



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

**ΤΜΗΜΑ ΔΙΔΑΚΤΙΚΗΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ
ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ**

**ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΕ
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ**

Ανδρέου Σ. Ιωάννης

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, 2006

ΕΠΕΑΕΚ



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΕΑΕΚ



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ
ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



Η ΠΑΙΔΕΙΑ ΣΤΗΝ ΚΟΡΥΦΗ
Επιχειρησιακό Πρόγραμμα
Εκπαίδευσης και Αρχικής
Επαγγελματικής Κατάρτισης

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εκπονήθηκε στο πλαίσιο του έργου ΕΠΕΑΕΚ II "ΗΡΑΚΛΕΙΤΟΣ - Υποτροφίες έρευνας στο Πανεπιστήμιο Πειραιώς" που εντάσσεται στην κατηγορία πράξεων 2.2.3.8 "Υποτροφίες Έρευνας με προτεραιότητα στη Βασική Έρευνα" που συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο (ΕΚΤ) κατά 75% και από Εθνικούς Πόρους κατά 25%, με φορέα χρηματοδότησης το Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων .

Περίληψη

Κατά την τελευταία δεκαετία παρουσιάζεται ολοένα αυξανόμενη ανάγκη για συστήματα που υποστηρίζουν αυτόματη ανάλυση του περιεχομένου οπτικών πηγών πολυμέσων. Επιπλέον, το διαρκώς αυξανόμενο πλήθος των διαθέσιμων οπτικών πηγών πολυμέσων, το οποίο συναντάται στο διαδίκτυο και σε εξειδικευμένες βάσεις δεδομένων, καθιστά ασύμφορη και αναποτελεσματική τη διαχείριση τέτοιων δεδομένων χωρίς τη χρήση ειδικών εργαλείων ανάκτησης. Οι ανάγκες αυτές οδήγησαν στη δημιουργία ενός νέου ερευνητικού πεδίου, της Ανάκτησης Πολυμέσων με Βάση το Περιεχόμενο. Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα και απαιτητικά προβλήματα στο χώρο αυτό αποτελεί η Ανάλυση ή/και Ανάκτηση Πολυμέσων με Βάση το Σχήμα.

Η παρούσα διατριβή ασχολείται με το πρόβλημα της ανάκτησης πολυμέσων με βάση το περιεχόμενό τους και επικεντρώνεται στις μεθόδους ανάκτησης, βάσει του σχήματος, αντικειμένων τα οποία περιέχονται σε οπτικές πηγές πολυμέσων. Μέσα στη διατριβή αυτή παρουσιάζεται μια νέα μέθοδος εύρεσης ομοιότητας μεταξύ σχημάτων, η οποία ονομάζεται Διαφορά Γωνίας Στροφής. Επιπλέον, παρουσιάζεται η βιβλιοθήκη G Computer Vision, ένα πρωτοπόρο σύστημα ανάκτησης πολυμεσικών δεδομένων με βάση την ομοιότητα μεταξύ σχημάτων, η οποία επιτρέπει το συνδυασμό Τεχνικών Σύγκρισης Σχημάτων καθώς και την επέκταση του συστήματος με νέες τεχνικές. Προτείνεται επίσης ένα πρωτότυπο υπολογιστικό περιβάλλον σχεδίασης δισδιάστατων διαγραμμάτων, με τη χρήση τεχνολογιών ανάκτησης, βάσει του σχήματος, από οπτικές πηγές πολυμέσων. Τέλος, παρουσιάζεται ένα πρωτότυπο υπολογιστικό περιβάλλον σύνθεσης τρισδιάστατων κόσμων, το οποίο αξιοποιεί τεχνολογίες ανάκτησης τρισδιάστατων πηγών πολυμέσων βάσει του σχήματος.

Ευχαριστίες

Η παρούσα διατριβή είναι το προϊόν της ερευνητικής μου προσπάθειας που πραγματοποιήθηκε στο Τμήμα Διδακτικής της Τεχνολογίας και Ψηφιακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Πειραιώς από το 2001 έως σήμερα. Στην προσπάθεια αυτή συνέβαλαν αρκετοί άνθρωποι, χωρίς τη βοήθεια των οποίων δεν θα ήταν δυνατή η ολοκλήρωση της διατριβής αυτής και για αυτόν το λόγο θα ήθελα να τους ευχαριστήσω.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αναπληρωτή Καθηγητή Νικήτα-Μαρίνο Σγούρο, ο οποίος υπήρξε Επιβλέπων Καθηγητής μου. Τον ευχαριστώ για το συνεχές ενδιαφέρον του και τη βοήθεια και ερευνητική καθοδήγηση που μου προσέφερε καθόλη τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής.

Ακόμα, ευχαριστώ τον καθηγητή Σπυρίδωνα Τζαφέστα και τον επίκουρο καθηγητή Παναγιώτη Δεμέστιχα, που συμμετείχαν στην Τριμελή Επιτροπή. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω την Εξεταστική Επιτροπή της διατριβής η οποία αποτελείται, εκτός των μελών της Συμβουλευτικής Επιτροπής, από τους: καθηγητή Γεώργιο Βασιλακόπουλο, καθηγητή Γεώργιο Παπακωνσταντίνου, επίκουρο καθηγητή Γεώργιο Ευθύμογλου και επίκουρο καθηγητή Ιωάννη Θεοδωρίδη. Ευχαριστώ όλα τα μέλη της Εξεταστικής Επιτροπής για την τιμή που μου κάνουν με τη συμμετοχή τους, καθώς και για τη διάθεση της πολύτιμης εμπειρίας και του χρόνου τους για την επιστημονική κρίση και εξέταση της διατριβής.

Ακόμα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους κριτές των επιστημονικών συνεδρίων και περιοδικών στα οποία συμμετείχα μέσω της υποβολής ερευνητικών εργασιών για τα πολύτιμα σχόλια και τις παρατηρήσεις τους, οι οποίες ήταν

πολύ χρήσιμες για τη βελτίωση της προσπάθειάς μου.

Ευχαριστώ επίσης τους υποψήφιους διδάκτορες ή λέκτορες και φίλους ή φίλες Γιάννη Παπαδάκη, Παναγιώτη Κοτζανικολάου, Αγάπιο Αβραμίδη, Σπύρο Βοσινάκη, Γιάννη Καλλιγκάτση, Δημήτρη Γλυνό, Αλέξανδρο Μαργαρίτη, Πυθαγόρα Καραμπιπέρη, Καστραντά Κώστα, Σύλβια Γαβαλά και Δέσποινα Παπακωνσταντίνου για τις ευχάριστες στιγμές που περάσαμε κατά τη διάρκεια της παρουσίας μας στο Πανεπιστήμιο Πειραιά. Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω την φίλη μου Ειρήνη Γεωργουλάκη, η οποία με βοήθησε κατά την επιμέλεια της διατριβής αυτής.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσοι με στήριξαν άμεσα ή έμμεσα κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διατριβής και ιδιαίτερα τους γονείς και τον αδερφό μου.

Ιωάννης Ανδρέου

Περιεχόμενα

Περίληψη	2
Ευχαριστίες	3
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	24
1.1 Το πρόβλημα της ανάκτησης πηγών πολυμέσων με βάση το σχήμα	24
1.2 Ανάλυση Περιεχομένου και Ανάκτηση Πολυμέσων	26
1.3 Αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της ανάκτησης με βάση το σχήμα	29
1.4 Αποτελεσματικότητα και Αποδοτικότητα της Ανάκτησης Πολυμέσων με Βάση το Σχήμα	30
1.5 Φιλικότητα προς το χρήστη	32
1.6 Περιληπτική συνεισφορά της διατριβής	34
2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	38
2.1 Εισαγωγή	38
2.2 Δομή των Τεχνικών Σύγκρισης Σχημάτων	40
2.3 Υπάρχουσες Τεχνικές Σύγκρισης Σχημάτων	41

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	6
2.4 Κατηγοριοποίηση των Τεχνικών Σύγκρισης	42
2.5 Υλοποιημένοι Αλγόριθμοι	43
2.5.1 Σύγκριση μεταξύ σχημάτων με χρήση Ροπών (Moments)	43
2.5.2 Σύγκριση μεταξύ σχημάτων με χρήση Γεωμετρικών Χαρακτηριστικών	48
2.5.3 Σύγκριση μεταξύ σχημάτων με χρήση Περιγραφών Φουριέ (Fourier Descriptors)	52
2.5.4 Σύγκριση μεταξύ σχημάτων με χρήση του Χώρου Καμπυλότητας Κλίμακας (Curvature Scale Space)	57
2.5.5 Νέα Ερευνητικά Αποτελέσματα	61
3 Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ ΓΩΝΙΑΣ ΣΤΡΟΦΗΣ	62
3.1 Εισαγωγή	62
3.2 Παραγωγή των περιγραφών της Διαφοράς Γωνίας Στροφής	65
3.2.1 Φάση προεπεξεργασίας των αρχικών σχημάτων	66
3.2.2 Παραγωγή των τιμών της ΔΓΣ	66
3.3 Σύγκριση Μεταξύ Σχημάτων με τη Διαφορά Γωνίας Στροφής	67
3.3.1 Εύρεση ομοίων περιοχών	69
3.3.2 Επιλογή των τελικών αντιστοιχισμένων περιοχών	70
3.4 Ανάλυση των αλγοριθμικών ιδιοτήτων της τεχνικής ΔΓΣ.	76
3.4.1 Γενικές ιδιότητες	76
3.4.2 Ανεξαρτησία από την κλίμακα του σχήματος	78
3.4.3 Αναλυσιμότητα σε υποδιαδικασίες	79

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	7
3.4.4 Πολυπλοκότητα και Ταχύτητα Εκτέλεσης	80
3.4.5 Παράμετροι της ΔΓΣ	86
3.5 Απεικόνιση και εξήγηση της ομοιότητας στο χρήστη	86
3.5.1 Υπολογισμός των παραμέτρων των Διαδικασιών Επεξήγησης	87
3.5.2 Ευθυγράμμιση των σχημάτων	90
3.5.3 Κινούμενη Απεικόνιση (Animation)	91
3.6 Αξιολόγηση της μεθόδου ΔΓΣ	93
3.7 Συμπεράσματα	98
3.8 Επιπλέον Σχήματα και Αποτελέσματα Αναζήτησης	99
4 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΑΣ	110
4.1 Εισαγωγή	110
4.2 Ανάκτηση Εικόνας και Βίντεο με Βάση το Σχήμα	111
4.3 Το σύστημα QBIC	112
4.3.1 Δυνατότητες του συστήματος	113
4.4 Η μηχανή αναζήτησης εικόνας Virage	116
4.5 Το Excalibur RetrievalWare SDK	116
4.6 Συμπεράσματα	117
5 ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΟΜΟΙΩΝ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	119
5.1 Εισαγωγή	119
5.2 Σύγκριση με Υπάρχουσες Πλατφόρμες	124

5.3 Αρχιτεκτονική της Βιβλιοθήκης	126
5.3.1 Γενική Αρχιτεκτονική	126
5.3.2 Αρχιτεκτονική Σύγκρισης Σχημάτων	128
5.4 Αποθήκευση Δεδομένων: Η κλάση Βάσης Δεδομένων Σχημάτων	129
5.5 Αναζήτηση στη Β.Δ.: Αντικείμενα τύπου Βιβλιοθήκης	134
5.6 Ενσωματωμένοι Αλγόριθμοι Σύγκρισης Σχημάτων	136
5.7 Υπολογισμός του βαθμού ομοιότητας και τελικά αποτελέσματα	139
5.8 Οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων: Αντικείμενα τύπου Εικόνας, Κινούμενης Εικόνας και Γραφικών	140
5.9 Εξαγωγή σχήματος από εικόνα	142
5.10 Παράδειγμα ενσωμάτωσης αλγορίθμου στη βιβλιοθήκη: Διαφορά Γωνίας Στροφής	145
5.10.1 Εισαγωγή	145
5.10.2 Προεπεξεργασία των σχημάτων	145
5.10.3 Δημιουργία των περιγραφών	146
5.10.4 Ανάκτηση Σχημάτων	146
5.10.5 Οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων	147
5.11 Υλοποίηση και πρότυπες εφαρμογές	148
5.11.1 Πρότυπη Εφαρμογή JcvRetrieve	148
5.11.2 Άλλες πρότυπες εφαρμογές	149
5.12 Αποτίμηση της βιβλιοθήκης	150
5.12.1 Αυτόματη αποτίμηση	151

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

9

5.12.2 Αποτελέσματα Αναζήτησης	151
5.13 Συμπεράσματα	152
6 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΣΧΗΜΑ- ΤΟΣ	160
6.1 Ανάκτηση εικόνας με βάση το σκίτσο	161
6.2 Ανάκτηση με βάση το σχήμα κατά τη Δημιουργία Πολυμέσων .	162
6.3 Προβλήματα της Σύγκρισης Σχημάτων για ανάκτηση με βάση το σκίτσο	163
6.4 Συμπεράσματα	164
7 ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΜΕ ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΣΧΗΜΑΤΟΣ	166
7.1 Εισαγωγή	166
7.2 Ανάκτηση πολυμέσων με βάση το σκίτσο	169
7.3 Διαδικασία δημιουργίας Σκίτσων	170
7.4 Ανάκτηση Σχημάτων	171
7.4.1 Βήματα της Ανάκτησης Σχημάτων	172
7.4.2 Βήμα Α: Διαλογή των σχημάτων με τη χρήση γεωμετρι- κών χαρακτηριστικών	172
7.4.3 Βήμα Β: Εύρεση Όμοιων Περιοχών	175
7.4.4 Βήμα Γ: Παραγωγή του αποτελέσματος της σύγκρισης .	176
7.4.5 Διαχείριση Ανοικτών Σχημάτων	177
7.5 Οπτικοποίηση και επεξήγηση των αποτελεσμάτων	179

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	10
7.6 Εισαγωγή σχημάτων στο σκίτσο	180
7.6.1 Διαδικασία 1: Κλειστά, μη κυκλικά σχήματα	182
7.6.2 Διαδικασία 2: Λοιποί τύποι σχημάτων	184
7.7 Υλοποίηση	185
7.8 Αξιολόγηση	187
7.8.1 Αξιολόγηση από τους χρήστες	187
7.9 Συμπεράσματα	189
7.10 Αποτελέσματα της Αξιολόγησης	191
7.10.1 Ερωτηματολόγιο	191
7.10.2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ερωτηματολογίου	192
8 ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΚΟΣΜΩΝ ΜΕ ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ	195
8.1 Εισαγωγή	195
8.2 Σχετική Βιβλιογραφία	198
8.3 Εξαγωγή Περιγραμμάτων από Τρισδιάστατα Μοντέλα	199
8.3.1 Απεικόνιση	200
8.3.2 Εξαγωγή σχήματος από την Εικόνα Απεικόνισης	200
8.4 Ανάκτηση σχημάτων και τρισδιάστατων μοντέλων	202
8.4.1 Προετοιμασία του ερωτήματος	202
8.4.2 Κύρια διαδικασία σύγκρισης δισδιάστατων σχημάτων	204
8.4.3 Ο αλγόριθμος Διαφοράς Γωνίας Στροφής	207

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	11
8.4.4 Παραμετροποίηση της Μηχανής Αναζήτησης Σχημάτων .	208
8.4.5 Ανάκτηση των τρισδιάστατων μοντέλων από τα δισδιάστατα περιγράμματα τους	209
8.5 Η τρισδιάστατη σκηνή	210
8.5.1 Αρχιτεκτονική	210
8.5.2 Είσοδος και Έξοδος Δεδομένων Σκηνής	212
8.6 Χρήση των ανακτημένων μοντέλων για τη Σύθεση Σκηνών . . .	213
8.6.1 Εισαγωγή ενός μοντέλου στη σκηνή	213
8.6.2 Αντικατάσταση με ανακτημένο μοντέλο	217
8.7 Η βάση δεδομένων για σχήματα και μοντέλα	217
8.7.1 Α: Παραγωγή Β.Δ. που περιέχει τα ονόματα των μοντέλων (επίπεδο 1)	219
8.7.2 Β: Παραγωγή Β.Δ. που περιέχει τα ονόματα των μοντέλων και σχήματα που έχουν εξαχθεί (επίπεδο 2)	220
8.7.3 Γ: Παραγωγή μιας Β.Δ. που καταγράφει τα ονόματα των αρχείων, τα εξαγόμενα σχήματα και τις περιγραφές τους (επίπεδο 3)	222
8.8 Υλοποίηση του Συστήματος	223
8.8.1 Χρήση του SR-3DEditor	223
8.8.2 Ανάπτυξη και διανομή του προγράμματος	224
8.9 Αξιολόγηση του Συστήματος	226
8.9.1 Αποδοτικότητα	226
8.9.2 Αξιολόγηση από χρήστες του συστήματος	228

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	12
8.10 Συμπεράσματα	231
8.11 Ερωτηματολόγιο	232
9 Συμπεράσματα - Μελλοντική εργασία	236
9.1 Πεδία περαιτέρω έρευνας	238
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	241
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ	252

Κατάλογος Σχημάτων

- 2.1 Δειγματοληψία ενός κλειστού σχήματος για τον υπολογισμό ροπών. Για τον υπολογισμό οποιουδήποτε βαθμού ροπής χρειάζεται μια δειγματοληψία της επιφάνειας του σχήματος. Το σχήμα παρουσιάζει ένα παράδειγμα αυτής της δειγματοληψίας. Διατρέχοντας όλο το ορθογώνιο που περικλείει το σχήμα, κρατάμε μόνο τα σημεία που είναι εσωτερικά ή που ανήκουν στην περιμετρο του σχήματος. Αυτά τα σημεία αποτελούν το δείγμα του σχήματος που θα χρησιμοποιηθεί και στιγματίζουν την παραπάνω εικόνα. 46
- 2.2 Υπολογισμός της κυκλικότητας. Το παραπάνω περίγραμμα (νυχτερίδα) έχει μεγάλη περίμετρο χωρίς να είναι κυκλικό. Ένας κύκλος με το ίδιο μήκος περιμέτρου με το σχήμα αυτό έχει πολύ μεγαλύτερο εμβαδόν. Επομένως η κυκλικότητα αυτού του σχήματος είναι μικρή. 49
- 2.3 Υπολογισμός της κυρτότητας. Το εμβαδόν του μικρότερου κυρτού σχήματος που περικλείει το παραπάνω σχήμα είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από το εμβαδόν του ίδιου του σχήματος. Επομένως, η κυρτότητα αυτού του σχήματος είναι μικρή. 49

2.4 Εκκεντρότητα: Η τιμή της υπολογίζεται από το λόγο του μήκους του A προς το μήκος του B . Τα A και B είναι η μεγάλη και η μικρή διάμετρος της έλλειψης που προσεγγίζει καλύτερα το παραπάνω σχήμα.	60
2.5 Εικόνα ΧΚΚ (CSS).	60
3.1 Παραγωγή των περιγραφών της ΔΓΣ από τα αρχικά σχήματα, μαζί με την διαδικασία της δειγματοληψίας.	68
3.2 Πολυγωνική μορφή (α), ΣΓΣ (β) και ΔΓΣ (γ). Στο ισογράμμα η ΣΓΣ έχει τιμές στο $[0, 2\pi)$, ενώ η ΔΓΣ στο $(-\pi, \pi]$	68
3.3 Σύγκριση Σχημάτων με τη μέθοδο ΔΓΣ. Κάθε ένα από τα τρία μεμονωμένα βήματα είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να είναι ανεξάρτητο. Έτσι είναι δυνατό να συνδυαστούν διαφορετικές υλοποιήσεις των επιμέρους βημάτων, εφόσον αυτές ακολουθούν ένα σύνολο κανόνων και υλοποιούν συγκεκριμένες λειτουργίες που απαιτούνται.	71
3.4 Εάν αυτές οι 2 καμπύλες συγκριθούν με την απλή διαδικασία ελέγχου γωνίας, θα θεωρηθούν παρόμοιες, δεδομένου ότι οι μεμονωμένες διαφορές για κάθε ζευγάρι ακμών είναι μικρές. Εντούτοις, συγκρίνοντας τα αθροίσματα των γωνιών (τις συνολικές αλλαγές γωνίας), καθώς η διαδικασία ελέγχου προχωρά προς τα εμπρός, η δοκιμή αποτυγχάνει στις ακμές i . Είναι αποδεκτό ότι τα μέρη $0 - i$ των καμπυλών είναι παρόμοια, αλλά αυτό δεν έχει ισχύ στις καμπύλες $0 - N$	71
3.5 Κανόνες για τον έλεγχο συμβατότητας απόστασης.	75

3.6 Κανόνες για τον έλεγχο συμβατότητας περιστροφής. Η συνάρτηση AngleCheck() περιορίζει μια οποιαδήποτε τιμή γωνίας στο $[0, \pi]$, αρχικά ανάγοντάς την στο $[-\pi, \pi]$ και έπειτα αφαιρώντας το πρόσημο. 75

3.7 Παράδειγμα που δείχνει την εφαρμογή των κανόνων συμβατότητας μεταξύ των ακολουθιών αντιστοίχισης. Η $A1 - C1$ είναι συμβατή με την $A2 - C2$, ενώ η $A1 - B1$ δεν είναι συμβατή με την $A2 - B2$. Κατά συνέπεια, η μέθοδος ΔΓΣ διαπιστώνει ότι τα A και C μοιάζουν περισσότερο από τι τα A και B . Θεωρούμε ότι μόνο οι σημειωμένες ακολουθίες αντιστοίχισης είχαν ανιχνευθεί. 75

- 3.8 Το σχήμα a συγκρίνεται με το σχήμα b . Και τα δύο σχήματα είναι κυκλικά. Καθώς και τα δυο σχήματα διατρέχουν 360 μοίρες και έχουν υποστεί δειγματοληψία (και τα δύο) με ανάλυση N , κάθε τιμή ΔΓΣ της περιγραφής τους είναι ίση με $360/N$ μοίρες. Αυτό σημαίνει πως μια διαδικασία αντιστοίχισης που ξεκινά από την κορυφή του a με την κόκκινη γραμμή μπορεί να ξεκινά στο σχήμα b από μια τις κορυφές b_1, b_2, b_3 ή b_4 ή οποιαδήποτε άλλη από τις κορυφές του σχήματος b . Το ίδιο μάλιστα ισχύει για οποιαδήποτε κορυφή του a . Το αποτέλεσμα της Εύρεσης Ομοίων Περιοχών θα ήταν N αντιστοιχιζόμενες περιοχές για κάθε μια από τις κορυφές του a , άρα N^2 αντιστοιχιζόμενες περιοχές συνολικά. Όμως, την πρώτη φορά που ανιχνεύεται μια αντιστοιχιζόμενη περιοχή, όπως αυτή που ξεκινά από τα a και b_1 , η οποία καλύπτει όλο (ή σχεδόν όλο) το μήκος των δύο σχημάτων, η διαδικασία σύγκρισης τελειώνει με μόνο αυτήν την ακολουθία εξαγόμενη (οι υπόλοιπες ακολουθίες είναι παρόμοιες, καθώς τα σχήματα είναι κυκλικά). Ο έλεγχος αυτός καλύπτει και την περίπτωση της σύγκρισης ακριβώς όμοιων σχημάτων, αφού όταν μια αντιστοιχιζόμενη περιοχή καλύπτει μεγάλο μέρος των δύο σχημάτων, η διαδικασία τελειώνει με τον ίδιο τρόπο. 82
- 3.9 Ευθυγράμμιση Σχημάτων. Δύο δείγματα υποβρύχιας πανίδας τοποθετήθηκαν το ένα πάνω στο άλλο με την διαδικασία ευθυγράμμισης. 94

- 3.10 Απεικόνιση του μετασχηματισμού του αρχικού σχήματος στο τελικό σχήμα (μήλο). Οι εσωτερικές στα σχήματα γραμμές χρησιμεύουν απλά για να δείξουν τις πρώτες κορυφές των ακολουθιών αντιστοίχισης. Στα πρώτα έξι στιγμιότυπα το σχήμα απλά περιστρέφεται (το μέγεθος του μεταβάλλεται απλά και μόνο ώστε να χωράει στο εκάστοτε πλαίσιο). Στα τελευταία έξι στιγμιότυπα, γίνεται παρεμβολή μεταξύ των κορυφών του περιστρεμμένου σχήματος και των αντίστοιχων κορυφών του δεύτερου σχήματος. Να σημειωθεί ότι τα διάστικτα τμήματα του σχήματος αλλάζουν ελάχιστα, δείχνοντας ότι αυτές οι περιοχές είχαν όντως αντιστοιχηθεί σε παρόμοιες περιοχές του B. Οι υπόλοιπες περιοχές του σχήματος επηρεάζονται περισσότερο από τον μετασχηματισμό, δικαιολογώντας τον απόρριψή τους από το τελικό σύνολο αντιστοίχισης της ΔΓΣ. 94
- 3.11 Η εφαρμογή JevRetrieve. Το αριστερό πλαίσιο απεικονίζει το επιλεγμένο σχήμα (πάνω -μπανάνα) και ένα από τα παρόμοια σχήματα (κάτω). Στο δεξιό πλαίσιο απεικονίζονται οι παρόμοιες περιοχές των δύο σχημάτων, με τη χρήση όμοιων χρωμάτων. . . 95
- 3.12 Αποτελέσματα αναζήτησης μόνο με τη ΔΓΣ, με $\text{minScore}=0.5$ και χαμηλή ανάλυση δειγματοληψίας ($N=40$). Το σχήμα ερώτησης είναι το πρώτο στοιχείο που ανακτάται. 102
- 3.13 Επιπλέον αποτελέσματα αναζήτησης μόνο με τη ΔΓΣ, με $\text{minScore}=0.5$ και $N=40$. Το σχήμα ερώτησης είναι το πρώτο στοιχείο που ανακτάται. 103

- 3.14 Αποτελέσματα αναζήτησης μόνο με τη ΔΓΣ, με $\text{minScore}=0.7$ και $N=40$. Το σχήμα ερώτησης είναι το πρώτο στοιχείο που ανακτάται. 104
- 3.15 Αποτελέσματα αναζήτησης με ένα συνδυασμό από γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Η τιμή του minScore είναι 0.5 για όλες τις ΤΣΣ. Το σχήμα ερώτησης είναι το πρώτο στοιχείο που ανακτάται. 105
- 3.16 Επιπλέον αποτελέσματα αναζήτησης με ένα συνδυασμό από γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Η τιμή του minScore είναι 0.5 για όλες τις ΤΣΣ. Το σχήμα ερώτησης είναι το πρώτο στοιχείο που ανακτάται. 106
- 3.17 Αποτελέσματα αναζήτησης με συνδυασμό γεωμετρικών χαρακτηριστικών και ΔΓΣ. Η τιμή του minScore είναι 0.5 για όλες τις ΤΣΣ. Το σχήμα ερώτησης είναι το πρώτο στοιχείο που ανακτάται. 107
- 3.18 Αποτελέσματα αναζήτησης με συνδυασμό γεωμετρικών χαρακτηριστικών και ΔΓΣ. Η τιμή του minScore είναι 0.5 για όλες τις ΤΣΣ. Το σχήμα ερώτησης είναι το πρώτο στοιχείο που ανακτάται. 108
- 3.19 Αποτελέσματα αναζήτησης με συνδυασμό γεωμετρικών χαρακτηριστικών και ΔΓΣ. Η τιμή του minScore είναι 0.5 για όλες τις ΤΣΣ. Το σχήμα ερώτησης είναι το πρώτο στοιχείο που ανακτάται. 109
- 4.1 Δημιουργία της βάσης δεδομένων και ανάκτηση εικόνας με το QVIC. Το παραπάνω σχήμα προέρχεται από το [58]. 115

- 5.1 Ψευδοκώδικας που αρχικοποιεί μια Βιβλιοθήκη και μια ΒΔΣ, συνδέει τα δύο αντικείμενα μεταξύ τους, φορτώνει τη ΒΔΣ από ένα αρχείο, ζητάει από την βιβλιοθήκη σχήματα τα οποία να μοιάζουν με το πρώτο σχήμα στη Β.Δ. (στη θέση 0) και εκτυπώνει τα αποτελέσματα. Ο κώδικας αυτός βρίσκεται και σε μορφή κώδικα *C*, ως παράδειγμα χρήσης, στην ιστοσελίδα της GCV (στον αντίστοιχο *C* κώδικα το αντικείμενο είναι το πρώτο όρισμα κάθε συνάρτησης). 130
- 5.2 Δομή της μηχανής αναζήτησης της GCV. Η ΒΔΣ περιέχει και τις Περιγραφές για τους Matchers που συνδέονται έμμεσα με αυτήν. 154
- 5.3 Απλό παράδειγμα ενός αρχείου ΒΔΣ (PDB). 155
- 5.4 Απλό παράδειγμα ενός αρχείου PDB(ΒΔΣ), με βάση την XML. Το αρχείο αυτό είναι ισοδύναμο με το αμέσως προηγούμενο αρχείο ΒΔΣ, και έχει παραχθεί από εκείνο με τη χρήση της εφαρμογής *gcn_xml_out* [26]. 156
- 5.5 Αναπαράσταση της διαδικασίας ανάκτησης σχήματος. Η επιτυχία (αποτυχία) ενός σχήματος σε κάποιο βήμα δηλώνεται με ένα μαύρο (άσπρο) τετράγωνο. Ο έλεγχος κάθε Matcher εφαρμόζεται στα μέχρι τότε αποτελέσματα, ελαττώνοντας κάθε φορά το πλήθος των αποτελεσμάτων. Έξι στοιχεία περνούν τον πρώτο έλεγχο, αλλά μόνο ένα περνά όλους τους ελέγχους. 156

- 5.6 Διαδικασία εξαγωγής σχήματος από εικόνα. Από αριστερά προς δεξιά εμφανίζονται: α) η αρχική εικόνα, β) η εικόνα μετά από κατωφλιοποίηση, γ) η εικόνα μετά τη διαγραφή των μικρών περιοχών και δ) το σχήμα που εξάγεται, ως το περίγραμμα της κεντρικής συνδεδεμένης περιοχής. 157
- 5.7 Προεπεξεργασία των σχημάτων 157
- 5.8 Η εφαρμογή JcvRetrieve. Το αριστερό πάνελ περιέχει το επιλεγμένο αντικείμενο (πάνω αριστερά - μπανάνα) και ένα από τα ανακτημένα αντικείμενα (κάτω αριστερά). Στο δεξιό πάνελ οι όμοιες περιοχές ζωγραφίζονται με το ίδιο χρώμα για να φανεί η αντιστοίχησή τους. 158
- 5.9 Ακρίβεια και ικανότητα ανάκτησης της μηχανής αναζήτησης για διάφορες παραμετροποιήσεις του συστήματος, όταν χρησιμοποιείται συνδυασμός ΔΓΣ και Γεωμετρικών Χαρακτηριστικών. . 158
- 5.10 Ακρίβεια και ικανότητα ανάκτησης της μηχανής αναζήτησης για διάφορες παραμετροποιήσεις του συστήματος, όταν χρησιμοποιείται μόνο η Διαφορά Γωνίας Στροφής. 159
- 7.1 Η συνολική διαδικασία ανάκτησης σχημάτων 173

- 7.2 Στιγμιότυπο του SR-Sketch. Κάτω αριστερά βρίσκεται ο καμβάς όπου ζωγραφίζει ο χρήστης. Πάνω αριστερά εμφανίζονται τα σχήματα που έχουν ανακτηθεί. Όταν επιλέγεται ένα από τα ανακτημένα σχήματα, μπορεί να τοποθετηθεί πάνω από το επιλεγμένο σκίτσο στον καμβά σχεδίασης, ή και να χρησιμοποιηθεί για να το αντικαταστήσει. Οι παράμετροι τοποθέτησης υπολογίζονται όπως στην παρ. 7.6. Το παράθυρο στα δεξιά παρουσιάζει μια οπτική επεξήγηση της σύγκρισης μεταξύ του τρέχοντος συστατικού του σχεδιαγράμματος και του επιλεγμένου ανακτηθέντος σχήματος. 181
- 7.3 Άξονες των ελλείψεων των σχημάτων με τη βέλτιστη εφαρμογή. Όταν τελειώνει η διαδικασία ευθυγράμμισης, τα δύο σχήματα έχουν κοινό κέντρο βάρους και οι μεγάλοι άξονες τους βρίσκονται στην ίδια ευθεία. 193
- 8.1 Απεικονίσεις ενός μοντέλου με έξι διαφορετικά σύνολα παραμέτρων. 203

- 8.2 Εξαγωγή του περιγράμματος ενός μοντέλου. Τα έξι διαφορετικά μέρη της παραπάνω εικόνας παρουσιάζουν: α) την αρχική εικόνα που παράγεται με την απεικόνιση του μοντέλου, β) την ίδια εικόνα μετά την κατωφλιοποίηση, η οποία περιέχει μόνο μαύρα ή άσπρα εικονοστοιχεία, γ) την παραπάνω εικόνα ανεστραμμένη (αυτό είναι ένα βήμα που απαιτείται από την διαδικασία εξαγωγής), δ) την εικόνα μετά την εφαρμογή του τελεστή *αυοίγματος*, ε) την εικόνα καθαρισμένη, μετά την αφαίρεση των μικρών συνδεδεμένων περιοχών και στ) την τελική εικόνα, η οποία καλύπτει τα κριτήρια της εξαγωγής περιγράμματος, καθώς περιέχει μόνο δυο συνδεδεμένες περιοχές. 203
- 8.3 Διάγραμμα μιας τρισδιάστατης σκηνής 214
- 8.4 Απλό αρχείο σκηνής, το οποίο περιγράφει ένα κόσμο με δύο αντικείμενα, τα οποία είναι όμοια (χρησιμοποιούν το ίδιο, μοναδικό μοντέλο) και είναι τοποθετημένα σε διαφορετικές θέσεις. 214
- 8.5 Παράδειγμα αρχείου Β.Δ. επιπέδου 3 233
- 8.6 Στιγμιότυπο του SR-3DEditor. Στο πάνω viewport απεικονίζεται η τρέχουσα σκηνή, ενώ στο κάτω viewport απεικονίζονται τα ανακτημένα σχήματα. Τα επιλεγμένα αντικείμενα στη σκηνή ξεχωρίζουν από έναν κύβο που τα περικλείει. Στο παραπάνω στιγμιότυπο, ο χρήστης έκανε ήδη μια αναζήτηση με ένα σκίτσο που έμοιαζε με αυτοκίνητο. 234
- 8.7 Συγκεντρωτικές απαντήσεις στο ερωτηματολόγιο. 235

Κατάλογος Πινάκων

- 3.1 Ακρίβεια και Ικανότητα Ανάκτησης για κάθε Β.Δ.: (Indep \equiv Αρχική Β.Δ., Noise \equiv Β.Δ. μετά την εισαγωγή θορύβου, NoiRot \equiv Β.Δ. μετά τις περιστροφές) 97
- 3.2 Χρονομέτρηση της μηχανής αναζήτησης για τα βήματα Α και Β της διαδικασίας σύγκρισης. Η πρώτη Β.Δ. (γραμμές 1 και 2) περιέχει 20 στοιχεία, ενώ οι άλλες περιέχουν από 200. 98

Κεφάλαιο 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά την τελευταία δεκαετία παρουσιάζεται ολοένα αυξανόμενη ανάγκη για συστήματα που υποστηρίζουν αυτόματη ανάλυση του περιεχομένου οπτικών πηγών πολυμέσων. Εφαρμογές που απαιτούν αυτόματη ανάλυση εικόνας περιλαμβάνουν έξυπνα συστήματα πλοήγησης, προγράμματα ανίχνευσης κίνησης και συστήματα ανάλυσης περιεχομένου. Ταυτόχρονα, το διαρκώς αυξανόμενο πλήθος των διαθέσιμων οπτικών πηγών πολυμέσων, το οποίο συναντάται στο διαδίκτυο και σε εξειδικευμένες βάσεις δεδομένων, καθιστά ασύμφορη και αναποτελεσματική τη διαχείριση τέτοιων δεδομένων χωρίς τη χρήση ειδικών εργαλείων ανάκτησης.

1.1 Το πρόβλημα της ανάκτησης πηγών πολυμέσων με βάση το σχήμα

Είναι γενικά αποδεκτό ότι το πρόβλημα της αυτόματης ανάλυσης οπτικού περιεχομένου είναι όχι μόνο δύσκολο στην επίλυση αλλά και πολυσύνθετο και χρονοβόρο. Είναι πρακτικά αδύνατο να κατασκευαστεί, με τις υπάρχουσες υποδομές σήμερα (υπολογιστική ισχύς, ερευνητικό υπόβαθρο, διαθέσιμοι πόροι), ένα σύστημα το οποίο να μπορεί να εξυπηρετήσει όλων των ειδών τις προκλήσεις που προκύπτουν από την ανάλυση των οπτικών πηγών πολυμέσων. Αντίθετα, η σύγχρονη εποχή προσφέρεται, εξαιτίας του τεράστιου

πλήθους οπτικών πολυμέσων, αλλά και του πλήθους καινοτομιών σχετικών με την ανάλυση τους, οι οποίες προτείνονται κάθε μέρα, για την επιλογή συγκεκριμένων, περιορισμένων προβλημάτων που χρήζουν διερεύνησης και αντιμετώπισης.

Για την ικανοποίηση των αναγκών ανάλυσης αλλά και ανάκτησης πολυμέσων έχουν προταθεί εκατοντάδες συστήματα. Κάθε ερευνητική ομάδα η οποία ασχολείται με το πρόβλημα της αυτόματης ανάλυσης πολυμέσων επιλέγει, ως κύριο στόχο, ένα πολύ συγκεκριμένο πεδίο έρευνας το οποίο σκοπεύει να εξερευνήσει σε βάθος. Κάθε προτεινόμενο σύστημα προσεγγίζει το πρόβλημα της αυτόματης ανάλυσης/ανάκτησης πολυμέσων με το δικό του τρόπο, σύμφωνα με τις προδιαγραφές και τις παραδοχές του συγκεκριμένου προβλήματος που το εκάστοτε σύστημα κατασκευάστηκε για να αντιμετωπίσει αλλά και το υπόβαθρο και τους πόρους της εκάστοτε ερευνητικής ομάδας. Με αυτόν τον τρόπο, εξάγονται πολύ συγκεκριμένα αλλά και χρήσιμα συμπεράσματα, τα οποία καταγράφονται και δημοσιεύονται. Ως αποτέλεσμα, η επιστήμη εξελίσσεται, καθώς δίνεται η δυνατότητα σε επόμενους ερευνητές να βελτιώσουν τα αποτελέσματα των προηγούμενων εργασιών ή/και να ενοποιήσουν πολλές προηγούμενες τεχνολογίες σε καινούργια συστήματα.

Από τα πρώτα βήματα της διερεύνησης του πεδίου αυτού έγιναν φανερές οι δυσκολίες που παρουσιάζει αυτός ο τομέας, όπως και ο μεγάλος απαιτούμενος χρόνος για την ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων που να αντιμετωπίζουν προβλήματα ανάλυσης/ανάκτησης οπτικού περιεχομένου. Ακόμα, έγινε φανερό πως *όλα* τα μέχρι τότε προτεινόμενα συστήματα δε μπορούσαν να αντιμετωπίσουν τις προκλήσεις του πεδίου αυτού με ολοκληρωμένο και αποδοτικό τρόπο.

Ένα από τα πιο ενδιαφέροντα προβλήματα κατά την περίοδο έναρξης της παρούσας διατριβής ήταν η ανάλυση/ανάκτηση περιεχομένου με βάση το σχήμα. Σήμερα, τέσσερα χρόνια μετά, και ενώ άλλα προβλήματα που αφορούν την Ανάκτηση Πολυμέσων έχουν αντιμετωπιστεί σε ικανοποιητικό βαθμό, η αποδοτική χρησιμοποίηση πληροφοριών σχήματος αποτελεί ακόμα μια από τις ισχυρότερες προκλήσεις στον τομέα αυτό. Παρά το μεγάλο πλήθος ερευνητικών ομάδων και των καινοτομιών που έχουν παρουσιαστεί στην Ανάκτηση Πολυμέσων, η Ανάκτηση Πολυμέσων με Βάση το Σχήμα δεν έχει φτάσει

ακόμα σε ικανοποιητικά επίπεδα αποτελεσματικότητας και απόδοσης.

Από όλα τα παραπάνω προκύπτει ότι υπάρχει ακόμα μεγάλο περιθώριο έρευνας, τόσο στις μεθόδους ανάκτησης πολυμέσων με βάση το σχήμα, όσο και στα ολοκληρωμένα συστήματα ανάκτησης πολυμέσων που αξιοποιούν πληροφορίες σχήματος. Τα συμπεράσματα αυτά αποτέλεσαν οδηγό για την πορεία της διατριβής αυτής προς την κατεύθυνση της έρευνας πάνω σε μεθόδους αυτόματης ανάκτησης πολυμέσων με βάση το σχήμα και στην ανάπτυξη συστημάτων που χρησιμοποιούν τέτοιου είδους τεχνολογίες.

1.2 Ανάλυση Περιεχομένου και Ανάκτηση Πολυμέσων

Στην προηγούμενη παράγραφο παρουσιάστηκαν κάποιες από τις προκλήσεις που αφορούν στην αυτόματη ανάλυση πολυμέσων. Προσδιορίστηκε ακόμα ο στόχος της διατριβής σε σχέση με την ανάλυση/ανάκτηση πολυμέσων με βάση το σχήμα. Επιπρόσθετα, υπάρχουν κάποια φιλοσοφικά προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν αρχικά για την ευκολότερη κατανόηση και προσέγγιση του προβλήματος. Ο τρόπος προσέγγισης του προβλήματος παραμένει ασαφής, καθώς προκύπτουν πολλά υποπροβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν για να υλοποιηθούν συστήματα Ανάκτησης Πολυμέσων με Βάση το Σχήμα.

Για τον εύκολο διαχωρισμό των υποπροβλημάτων αυτών θα προσπαθήσουμε να διαχωρίσουμε το συνολικό πρόβλημα της ανάκτησης/ανάλυσης πολυμέσων σε προβλήματα *Ανάλυσης* ή *Ανάκτησης*.

Από την αρχή αυτού του κεφαλαίου χρησιμοποιούμε τους όρους *ανάκτηση* και *ανάληψη* μαζί, όταν αναφερόμαστε στις συγκεκριμένες ενέργειες πάνω σε πηγές πολυμέσων. Η επιλογή αυτή είναι συνειδητή, καθώς δεν είναι δυνατόν, τουλάχιστον με τις τεχνολογίες που γνωρίζουμε μέχρι σήμερα, να επιτύχουμε *ανάκτηση* πολυμέσων χωρίς αυτά να έχουν αυτά υποστεί κάποιο βαθμό *ανάληψης*. Δεν είναι δυνατόν να εντοπίσουμε μέσα σε μια εικόνα ένα σχήμα που να μοιάζει με ένα πρότυπο σχήμα, αν δεν έχουν πρώτα εξαχθεί διάφορα ξεκάθαρα σχήματα από την εικόνα αυτή, τα οποία να έχουν χαρακτηριστικά

όμοια με αυτά του πρότυπου σχήματος. Αντίστοιχα, κάποιος μπορεί να ισχυριστεί ότι η ανάλυση πολυμέσων δεν έχει λόγο ύπαρξης χωρίς αντίστοιχες διαδικασίες ανάκτησης πολυμέσων. Αφότου εξάγουμε χαρακτηριστικά κάποιων πολυμέσων, χρειαζόμαστε τεχνολογίες ανάκτησης πολυμέσων για να τα αξιοποιήσουμε.

Παρά τη στενή σύνδεση μεταξύ των προβλημάτων της Ανάλυσης και της Ανάκτησης, είμαστε αναγκασμένοι να τα αντιμετωπίσουμε ξεχωριστά, ώστε να μειωθεί ο όγκος του συνολικού προβλήματος. Σε κάθε περίπτωση, αναπτύσσουμε λύσεις που αντιμετωπίζουν το συγκεκριμένο πρόβλημα ανάλυσης ή ανάκτησης, έχοντας πάντα υπόψη το γενικότερο στόχο στα πλαίσια του οποίου θα χρησιμοποιηθούν αυτές οι λύσεις. Ακόμα, για να μπορεί να εξεταστεί μια λύση σε κάποιο πρόβλημα, που αφορά είτε την ανάλυση είτε την ανάκτηση των εκάστοτε πολυμέσων, είναι ανάγκη να ενσωματωθεί σε κάποιο πρότυπο σύστημα που να παρέχει το σύνολο της λειτουργίας της ανάλυσης/ανάκτησης. Δε μπορούμε, για παράδειγμα, να ελέγξουμε μια καινούργια Τεχνική Σύγκρισης Σχημάτων (ανάκτηση σχήματος - βλ. κεφ. 2), αν δεν έχουμε πρόσβαση σε σχήματα τα οποία έχουν εξαχθεί από πραγματικές εικόνες, με την χρήση πραγματικών τεχνικών εξαγωγής σχήματος από εικόνα.

Η ανάλυση του περιεχομένου πηγών πολυμέσων είναι θεωρητικά το πρώτο πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί, καθώς τα πρωτογενή δεδομένα που είναι διαθέσιμα είναι τα ίδια τα πολυμέσα που θέλουμε να ανακτήσουμε. Για την ανάκτηση με βάση το σχήμα, τα αποτελέσματα της ανάλυσης πρέπει να περιλαμβάνουν κάποια σχήματα, τα οποία είναι συνήθως τα περιγράμματα αντικειμένων που εμφανίζονται στις διάφορες οπτικές πηγές πολυμέσων. Έτσι, ανάλογα με το είδος και τη μορφή των πηγών πολυμέσων που μας αφορούν, απαιτούνται κάποιες βασικές λειτουργίες ανάλυσης, οι οποίες μπορεί να είναι η εύρεση των βασικών χαρακτηριστικών μιας εικόνας, η εξαγωγή σχήματος από εικόνα, η εύρεση ενός δισδιάστατου περιγράμματος για ένα τρισδιάστατο σχήμα κ.α. Σε σχέση με την ανάκτηση των πολυμέσων, οι μέθοδοι ανάλυσης τους είναι πιο συγκεκριμένες και περιορισμένες, καθώς αφορούν

κάθε φορά στο συγκεκριμένο είδος πηγής και στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που μπορεί αυτό να έχει. Για παράδειγμα, κάθε μέθοδος ανάλυσης εικόνας αφορά συνήθως μόνο ένα συγκεκριμένο format εικόνας και τις περισσότερες των περιπτώσεων προϋποθέτει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά από τα στιγμιότυπα εικόνας, όπως π.χ. το αντικείμενο του ενδιαφέροντος να βρίσκεται στο κέντρο.

Από την άλλη, η ίδια η ανάκτηση δεν (πρέπει να) αφορά άμεσα στο είδος της πηγής που ανακτάται. Είναι δυνατό να εξάγουμε ίδιου είδους χαρακτηριστικά (π.χ. σχήματα) από πηγές διαφορετικού τύπου (διάφορα είδη εικόνας, βίντεο, τρισδιάστατα μοντέλα) και μετά να κάνουμε ανάκτηση σε οποιαδήποτε από αυτά με βάση την ίδια μέθοδο ανάκτησης πολυμέσων (που βασίζεται στο σχήμα). Σύμφωνα με τα παραπάνω, είναι δυνατόν, κατά την ανάκτηση πολυμέσων, να επιτύχουμε ανεξαρτησία της μεθόδου ανάκτησης από τα ίδια τα δεδομένα της ανάκτησης. Επομένως, προτείνοντας μια τεχνική ανάκτησης πολυμέσων υψηλού επιπέδου, μπορούμε να υλοποιήσουμε πολλές εφαρμογές ανάκτησης/ ανάλυσης πολυμέσων, χρησιμοποιώντας κάθε φορά επεκτάσεις που αξιοποιούν τα είδη πηγών πολυμέσων που μας αφορούν.

Το χαρακτηριστικό αυτό αποτέλεσε το δεύτερο σημαντικό κριτήριο που οδήγησε την παρούσα διατριβή στην συγκεκριμένη πορεία της. Έτσι, κύριο γνώμονα της διατριβής αυτής αποτελούν οι τεχνικές ανάκτησης πολυμέσων με βάση το σχήμα, ενώ τεχνικές ανάλυσης πολυμέσων χρησιμοποιήθηκαν/ αναπτύχθηκαν μόνο για τις απαραίτητες λειτουργίες εξαγωγής δεδομένων και ελέγχου των προτεινόμενων συστημάτων.

1.3 Αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της ανάκτησης με βάση το σχήμα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, έχουν προταθεί μέχρι τώρα πάρα πολλά συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν τεχνικές αυτόματης ανάκτησης πολυμέσων με βάση το περιεχόμενο των αντίστοιχων πηγών. Παρόλα αυτά, οι διάφοροι τρόποι που αξιοποιούνται τα δεδομένα αυτά είναι πολύ συγκεκριμένοι και περιορισμένοι. Συνηθέστερα, ένα σύστημα αυτόματης ανάκτησης πολυμέσων περιλαμβάνει:

1. μία ή περισσότερες διεπαφές επεξεργασίας του ερωτήματος αναζήτησης (query),
2. μια διεπαφή όπου παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της αναζήτησης, από όπου μπορεί να γίνει συνήθως και η ανάκτηση των πρωτογενών δεδομένων.

Πρόκληση για τα συστήματα αυτά παραμένει η χρησιμοποίηση των αποτελεσμάτων της ανάκτησης για συγκεκριμένους σκοπούς. Από τα συστήματα αυτά λείπουν οι εξειδικευμένες εφαρμογές που αξιοποιούν τα αποτελέσματα της αναζήτησης για την εξυπηρέτηση διαφόρων αναγκών, όπως για παράδειγμα η σχεδίαση και σύνθεση πολύπλοκων πολυμεσικών δεδομένων για επαγγελματικούς (π.χ μηχανολογικά σχέδια) ή καλλιτεχνικούς (όπως η σύνθεση διδιάστατων οκτίσων ή τριδιάστατων κόσμων) σκοπούς.

Το σημαντικότερο πρόβλημα στην αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της ανάκτησης των δεδομένων είναι η ενσωμάτωση των διαφόρων μηχανών αναζήτησης με βάση το Περιεχόμενο στις αντίστοιχες εφαρμογές που χρησιμοποιούνται ήδη για την κάλυψη αναγκών όπως οι παραπάνω. Αφενός μεν υπάρχουν

οι πλατφόρμες ανάκτησης πολυμέσων, αφαιτέρου δε υπάρχουν εφαρμογές οι οποίες μπορούν να αξιοποιήσουν διαφόρων ειδών πολυμεσικά δεδομένα για την σύνθεση πολυμεσικών προϊόντων. Για να δημιουργηθούν έξυπνες εφαρμογές χρήσης πολυμεσικών προϊόντων που να αξιοποιούν τα αποτελέσματα μιας αναζήτησης με βάση το περιεχόμενο, θα πρέπει αυτές να είναι ενήμερες (aware) για τα αποτελέσματα αυτά.

Μια λύση στο πρόβλημα αυτό είναι η ανάπτυξη έξυπνων πολυμεσικών εφαρμογών που να ενσωματώνουν λειτουργίες αυτόματης ανάκτησης πολυμέσων (με βάση το σχήμα). Μια άλλη λύση θα ήταν η δημιουργία αποδεκτών προτύπων τα οποία να καθορίζουν την μορφή των αποτελεσμάτων των μηχανών αναζήτησης και την αλληλεπίδραση αυτών με ήδη υπάρχοντα περιβάλλοντα αξιοποίησης πολυμέσων. Καθώς δεν υπάρχουν αυτή τη στιγμή κατάλληλα πρότυπα επικοινωνίας στις μηχανές ανάκτησης με βάση το σχήμα, στην παρούσα διατριβή χρησιμοποιείται η πρώτη προσέγγιση. Δηλαδή, έχουν αναπτυχθεί και προτείνονται συστήματα που αξιοποιούν μηχανές αναζήτησης με βάση το σχήμα, ενσωματώνοντάς τις μηχανές αυτές σε περιβάλλοντα επεξεργασίας πολυμέσων.

1.4 Αποτελεσματικότητα και Αποδοτικότητα της Ανάκτησης Πολυμέσων με Βάση το Σχήμα

Από την επισκόπηση της σχετικής βιβλιογραφίας γίνεται φανερό ότι οι περισσότερες από τις πλατφόρμες ανάκτησης πολυμέσων επιλέγουν την αξιοποίηση χαρακτηριστικών χρώματος και υφής των πηγών πολυμέσων έναντι των χαρακτηριστικών σχήματος. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, η επιλογή αυτή δεν είναι τυχαία, καθώς η αξιοποίηση των πληροφοριών σχήματος για την ανάκτηση πολυμέσων εξακολουθεί να παρουσιάζει πρακτικά προβλήματα

τα οποία αφορούν στα εξής:

- Η σωστή ανάλυση και εξαγωγή πληροφοριών σχήματος από υπάρχοντα πολυμέσα, όπως η εξαγωγή σχημάτων από εικόνα, είναι πολύ απαιτητική σε επεξεργαστική ισχύ, ενώ τα αποτελέσματά της δεν είναι πάντα αξιόπιστα. Δυστυχώς το πρόβλημα αυτό παραμένει και πιθανότατα θα παραμείνει για μεγάλο χρονικό διάστημα, δυσεπίλυτο, λόγω της πολυπλοκότητας του.
- Η ανάκτηση δεδομένων με βάση το σχήμα καθίσταται περαιτέρω προβληματική λόγω των υψηλών απαιτήσεων της σε επεξεργαστική ισχύ και της μικρής Ακρίβειας και Ικανότητας Ανάκτησης που παρουσιάζει.

Τα προβλήματα της *ανάκτησης* δεδομένων με βάση το σχήμα είναι δυνατόν να αντιμετωπιστούν μέσα από κατάλληλες λύσεις που προτείνονται σε διάφορα κεφάλαια της παρούσας διατριβής.

Συγκεκριμένα, προτείνεται μια καινούργια Τεχνική Σύγκρισης Σχημάτων, η Διαφορά Γωνίας Στροφής (ΔΓΣ, κεφ. 3), η οποία αποδεικνύεται πως αντιμετωπίζει επαρκώς τα παραπάνω προβλήματα.

Ακόμα παρουσιάζεται, στα πλαίσια της ανοικτής βιβλιοθήκης G Computer Vision (GCV, κεφ. 5), μια γενική αρχιτεκτονική ανάκτησης δεδομένων με βάση το σχήμα, η οποία μπορεί να ενσωματώσει διάφορες τεχνικές ανάκτησης σχήματος με τέτοιο τρόπο ώστε να βελτιώσει όλα τα χαρακτηριστικά της ανάκτησης (ταχύτητα ανάκτησης, ακρίβεια, ικανότητα ανάκτησης). Η αρχιτεκτονική αυτή είναι ανοιχτή σε επέκταση αλλά και ενσωμάτωση σε υπάρχοντα συστήματα. Μάλιστα, παρουσιάζονται (μέσα στην σελίδα της βιβλιοθήκης αυτής) αρκετά παραδείγματα και εφαρμογές που την χρησιμοποιούν.

Τέλος, παρουσιάζονται σε παρακάτω κεφάλαια διάφορες εφαρμογές που ενσωματώνουν μηχανές αναζήτησης με βάση το σχήμα για δισδιάστατα σχήματα και τρισδιάστατα μοντέλα. Στα κεφάλαια αυτά (7 και 8) περιγράφονται οι προσεγγίσεις που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάκτηση των αντίστοιχων πολυμεσικών δεδομένων, στα πλαίσια πραγματικών εφαρμογών. Ο αναγνώστης καλείται όχι μόνο να διαβάσει τις αποτιμήσεις των αντίστοιχων κεφαλαίων, οι οποίες καταδεικνύουν την αποτελεσματικότητα των προσεγγίσεων αυτών, αλλά και να χρησιμοποιήσει τις εφαρμογές αυτές, ώστε να διαμορφώσει την δική του άποψη για τη γενική εφαρμογή και αποτελεσματικότητα της αναζήτησης με βάση το σχήμα.

1.5 Φιλικότητα προς το χρήστη

Τα συστήματα ανάκτησης πολυμέσων με βάση το περιεχόμενο αποτελούν πολύπλοκα και εξεζητημένα συστήματα. Συνήθως υπάρχει ανάγκη για εισαγωγή πολλαπλών παραμέτρων στο σύστημα, η οποία απαιτεί κάποιο βαθμό εξειδίκευσης από τον χρήστη του συστήματος. Επιπλέον, οι τρόποι με τους οποίους θέτονται τα ερωτήματα στις μηχανές αναζήτησης πολυμέσων είναι περιορισμένοι και δυσνόητοι, αφού συνήθως περιλαμβάνουν μόνο διεπαφές στις οποίες ορίζονται αριθμητικές τιμές παραμέτρων του συστήματος. Τέλος, η χρήση τέτοιων συστημάτων δυσχεραίνεται από την έλλειψη επεξήγησης των αποτελεσμάτων της αναζήτησης στον χρήστη του συστήματος. Από τα παραπάνω καθίσταται φανερό πως χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία ο σχεδιασμός τόσο των τεχνικών ανάκτησης πολυμέσων όσο και των εφαρμογών ανάκτησης πολυμέσων, ώστε η χρήση των παραγόμενων συστημάτων να είναι φιλική στον χρήστη και αποδοτική.

Αποτελεί πεποίθηση του συγγραφέα ότι για τις διάφορες Τεχνικές Σύγκρι-

σης Σχημάτων πρέπει να παρέχονται μέθοδοι επεξήγησης των αποτελεσμάτων τους, δηλαδή απεικονίσεις των αποτελεσμάτων τους που να εξηγούν τους λόγους για τους οποίους δύο σχήματα θεωρούνται (αν-)όμοια. Ας θεωρήσουμε ότι ένας χρήστης παραμετροποιεί μια μηχανή αναζήτησης πολυμέσων και εκτελεί μια αναζήτηση πάνω σε αυτήν. Η (σύνθετη) τεχνική αναζήτησης που χρησιμοποιείται απαιτεί τη ρύθμιση διαφόρων παραμέτρων και το σύστημα του επιστρέφει απλά το σύνολο των αποτελεσμάτων αναζήτησης. Στην περίπτωση που ο χρήστης αυτός δεν κατέχει ειδικές γνώσεις πάνω στον τομέα της ανάκτησης πολυμέσων ή δε γνωρίζει ήδη τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζεται η μηχανή αναζήτησης από τις παραμέτρους που μπορεί να ορίσει, δεν είναι δυνατόν να χρησιμοποιήσει εμπειριστικά και ικανοποιητικά το σύστημα. Σε περίπτωση όμως που τα αποτελέσματα μιας σύγκρισης μεταξύ δύο σχημάτων αναλύονται και επεξηγούνται από την ίδια την Τεχνική Σύγκρισης Σχημάτων, ακόμα και κάποιος ο οποίος δεν γνωρίζει όλες τις λεπτομέρειες του συστήματος που χρησιμοποιεί θα μπορέσει να χρησιμοποιήσει πιο αποδοτικά το σύστημα αυτό.

Η νέα Τεχνική Σύγκρισης Σχημάτων που προτείνεται, η Διαφορά Γωνίας Στροφής (η οποία στο εξής θα αναφέρεται ως ΔΓΣ) (κεφ. 3), προβλέπει διαδικασίες εμφάνισης και επεξήγησης των αποτελεσμάτων της. Συγκεκριμένα η ΔΓΣ, για κάθε σύγκριση μεταξύ δύο σχημάτων, παράγει, πέρα από τον βαθμό ομοιότητάς των δύο σχημάτων, αντιστοιχίσεις μεταξύ περιοχών στα δύο σχήματα. Με βάση αυτές τις αντιστοιχήσεις αναπτύχθηκαν τεχνικές απεικόνισης των αποτελεσμάτων της ΔΓΣ, οι οποίες εξηγούν στον χρήστη την εσωτερική λειτουργία της ΔΓΣ για κάθε σύγκριση μεταξύ δύο σχημάτων.

Η βιβλιοθήκη ανάκτησης ομοίων σχημάτων GCV (κεφ. 5) περιλαμβάνει πρόβλεψη για την επεξήγηση των αποτελεσμάτων μιας σύγκρισης μεταξύ δύο σχημάτων. Για κάθε Τεχνική Σύγκρισης Σχημάτων που ενσωματώνεται στην

GCV υπάρχει η δυνατότητα ενσωμάτωσης δύο ειδών μεθόδων επεξήγησης των αποτελεσμάτων, μια μέθοδο απεικόνισης σε στατική εικόνα και μια για κινούμενη εικόνα (animation). Με την ενσωμάτωση των μεθόδων επεξήγησης στον ορισμό των τεχνικών αναζήτησης επιτυγχάνουμε την ανάπτυξη πιο ολοκληρωμένων και πιο φιλικών προς το χρήστη συστημάτων.

Όσον αφορά τα περιβάλλοντα ανάκτησης πολυμέσων με βάση το σχήμα, η διατριβή αυτή παρουσιάζει κάποια από τα πρώτα συστήματα τα οποία ανακτούν συγκεκριμένους τύπους πηγών πολυμέσων με βάση σκίτσα του χρήστη (βλ. κεφ. 7 και 8). Ο χρήστης των συστημάτων αυτών δε χρειάζεται να επιλέξει και να παραμετροποιήσει τις μεθόδους ανάκτησης. Η μόνη ενέργεια που χρειάζεται για να ξεκινήσει η αναζήτηση πολυμέσων είναι ο σχεδιασμός ενός σκίτσου στην οθόνη. Ακόμη, στις εφαρμογές αυτές, τα αποτελέσματα της αναζήτησης δεν ανακτώνται απλώς για τον χρήστη αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν περαιτέρω από τις ίδιες τις εφαρμογές για σύνθεση και σχεδιασμό δισδιάστατων και τρισδιάστατων πολυμέσων.

1.6 Περιληπτική συνεισφορά της διατριβής

Η παρούσα διατριβή ασχολείται με το πρόβλημα της ανάκτησης πολυμέσων με βάση το περιεχόμενό τους και επικεντρώνεται στις μεθόδους ανάκτησης με βάση το σχήμα αντικειμένων τα οποία περιέχονται σε οπτικές πηγές πολυμέσων.

Η διατριβή αυτή παρουσιάζει:

1. Μια νέα μέθοδο εύρεσης ομοιότητας μεταξύ σχημάτων, τον αλγόριθμο Διαφοράς Γωνίας Στροφής (ΔΓΣ), Η ΔΓΣ είναι μια μέθοδος που στηρίζεται στην ανάλυση των χαρακτηριστικών του περιγράμματος ενός αντικειμένου και αντιμετωπίζει επιτυχώς το πρόβλημα του υπολογισμού

ομοιότητας μεταξύ σχημάτων, ενώ είναι ταυτόχρονα αποδοτική αλλά και ανεκτική στο θόρυβο.

2. νέες μεθόδους επεξήγησης και οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων της ανάκτησης, οι οποίες στηρίζονται στον εντοπισμό μερικών ομοιοτήτων μεταξύ περιγραμμάτων.
3. την βιβλιοθήκη G Computer Vision (GCV), ένα πρωτοπόρο σύστημα ανάκτησης πολυμεσικών δεδομένων με βάση την ομοιότητα μεταξύ σχημάτων. Με την GCV η ανάκτηση δεδομένων με βάση το σχήμα απλοποιείται πολύ καθώς επιτρέπει την ανάκτηση με την χρήση ενός αριθμού μεθόδων σύγκρισης σχημάτων, ενώ επιτρέπει το συνδυασμό των μεθόδων αυτών καθώς και την επέκταση του συστήματος με νέες μεθόδους.
4. πρωτότυπα υπολογιστικά περιβάλλοντα σχεδίασης δισδιάστατων διαγραμμάτων, με τη χρήση τεχνολογιών ανάκτησης με βάση το σχήμα από οπτικές πηγές πολυμέσων. Στα πλαίσια της συγκεκριμένης διατριβής αναπτύχθηκε η εφαρμογή SR-Sketch, μια πρότυπη σχεδιαστική εφαρμογή που ενσωματώνει τεχνολογίες ανάκτησης με βάση το σχήμα. Ο χρήστης του SR-Sketch σχεδιάζει με το δείκτη του ποντικιού στην οθόνη, ενώ ένα υποσύστημα ανάκτησης σχημάτων του προτείνει επιπλέον σχήματα που μπορεί να χρησιμοποιήσει στο σχέδιο του. Τα σχήματα αυτά ανακτώνται από μια Β.Δ. σχημάτων λαμβάνοντας ως κριτήριο την ομοιότητά τους με σχήματα που έχει σχεδιάσει ο χρήστης.
5. πρωτότυπες μεθόδους ανάκτησης τρισδιάστατων μοντέλων με βάση περιγράμματα δισδιάστατων προβολών του. Βάσει αυτών των μεθόδων, μέθοδοι ανάκτησης δισδιάστατων σχημάτων επεκτείνονται ώστε να εφαρμόζονται σε τρισδιάστατα σχήματα.

6. πρωτότυπα υπολογιστικά περιβάλλοντα σύνθεσης τρισδιάστατων κόσμων, που αξιοποιούν τεχνολογίες ανάκτησης τρισδιάστατων πηγών πολυμέσων με βάση το σχήμα. Αναπτύχθηκε η εφαρμογή SR-3DEditor, μια εφαρμογή επεξεργασίας τρισδιάστατων σκηνών, η οποία συνδυάζει τεχνολογίες ανάκτησης σχήματος με ένα σύστημα εξαγωγής δισδιάστατων απεικονίσεων από τρισδιάστατα αντικείμενα και ένα περιβάλλον σχεδιασμού και ανάκτησης τρισδιάστατων μοντέλων. Σαν αποτέλεσμα, ο SR-3DEditor επιτρέπει στον χρήστη να σκισάρει πάνω σε μια επιφάνεια μια απεικόνιση ενός αντικείμενου, η οποία χρησιμοποιείται για να ανακτηθούν ένα ή περισσότερα τρισδιάστατα μοντέλα. Έπειτα τα ανακτημένα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εμπλουτίσουν την τρισδιάστατη σκηνή που επεξεργάζεται ο χρήστης.

Απαραίτητο κομμάτι της διατριβής αποτελεί η παρουσίαση της βιβλιογραφίας που αφορά στα ερευνητικά θέματα που αντιμετωπίζονται. Για το λόγο αυτό παρουσιάζεται εκτενής βιβλιογραφία σε :

1. Τεχνικές Σύγκρισης Σχημάτων, δηλαδή προτεινόμενες τεχνικές που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα της εύρεσης ομοιότητας μεταξύ δύο σχημάτων.
2. Συστήματα ανάκτησης οπτικών πολυμέσων με βάση το περιεχόμενο, ιδιαίτερα εκείνα τα οποία περιλαμβάνουν δυνατότητα αξιοποίησης πληροφοριών σχήματος.
3. Συστήματα ανάκτησης σχημάτων με χρήση σκίτσων που δημιουργεί ο χρήστης και συστήματα σχεδίασης με υποβοήθηση από Τεχνικές Σύγκρισης Σχημάτων.

4. Συστήματα επεξεργασίας τρισδιάστατων σκηνών και συστήματα ανάκτησης τρισδιάστατων μοντέλων με βάση το σχήμα.

Κεφάλαιο 2

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ

ΔΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

2.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια η ανάκτηση δεδομένων πολυμέσων με βάση το σχήμα (Shape-Based Retrieval) αποτελεί μια από τις πιο δραστήριες ερευνητικές περιοχές στο πεδίο των Συστημάτων Πολυμέσων. Πολλοί ερευνητές ασχολούνται σήμερα με αλγόριθμους εύρεσης ομοιοτήτων μεταξύ σχημάτων και μάλιστα τη χρονική περίοδο κατά την οποία συγγράφεται η παρούσα διατριβή υπάρχουν πολλοί αλγόριθμοι οι οποίοι πετυχαίνουν τον στόχο της εύρεσης μερικής ή ολικής ομοιότητας μεταξύ δύο σχημάτων σε ικανοποιητικό βαθμό.

Εντύπωση προκαλεί η διαφοροποίηση που συναντάται ανάμεσα σε αυτούς τους αλγόριθμους. Κάθε αλγόριθμος πετυχαίνει τον στόχο του μέσα από το δικό του πρίσμα αντιμετώπισης του προβλήματος. Είναι επόμενο λοιπόν κάθε διαφορετικός αλγόριθμος να έχει το δικό του πεδίο εφαρμογών στο οποίο να είναι αποδοτικότερος (ακόμα και για συγκεκριμένο πεδίο δεδομένων) από κάποιον άλλο, αλλά να υστερεί έναντι του ίδιου αλγόριθμου σε διαφορετικά

πεδία εφαρμογών ή/και δεδομένων.

Παρά την πρόοδο που έχει επιτευχθεί στο συγκεκριμένο πεδίο, εξακολουθούν να υπάρχουν τεχνικές αδυναμίες στους περισσότερους από τους αλγόριθμους που έχουν προταθεί. Το αποτέλεσμα αυτών των αδυναμιών είναι οι πιο προηγμένες τεχνικές που έχουν αναπτυχθεί να μη χρησιμοποιούνται ακόμη ευρέως στην πράξη, όπως σε ολοκληρωμένα Συστήματα Ανάκτησης Εικόνας με Βάση το Περιεχόμενο (Content-Based Image Retrieval Systems).

Στη διεθνή βιβλιογραφία χρησιμοποιείται ο όρος Shape Matching (Ταίριασμα Σχημάτων) για να περιγράψει τεχνικές που αναφέρονται στην εύρεση κοινών χαρακτηριστικών μεταξύ δισδιάστατων σχημάτων και στην αξιολόγηση και στην αξιοποίηση αυτών των χαρακτηριστικών. Για τις ανάγκες της παρούσης διατριβής, οι τεχνικές αυτές θα αναφέρονται, με την χρήση μιας πιο γενικής μετάφρασης, ως Τεχνικές Σύγκρισης Σχημάτων (ΤΣΣ). Ο πιο συνηθισμένος στόχος των ΤΣΣ αφορά στην ανάκτηση στατικής ή κινούμενης εικόνας (video), με βάση τα περιεχόμενα σχήματα.

Συστήματα που αξιοποιούν τις δυνατότητες των ΤΣΣ αποτελούν συστήματα αναζήτησης εικόνας από βάσεις δεδομένων ή το διαδίκτυο [58, 18, 67, 43]. Παρόλα αυτά, οι ΤΣΣ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πάρα πολλούς σκοπούς. Έχουν προταθεί συστήματα που μεταξύ άλλων υποβοηθούν την δημιουργία δισδιάστατων και τρισδιάστατων αναπαραστάσεων με αυτόματη ανάκτηση πολυμέσων [22]. Άλλα συστήματα ανιχνεύουν την κίνηση και τη συχνότητα της κίνησης σε βίντεο [40].

Πρέπει να σημειωθεί ότι η Ανάλυση Σχήματος, στο βαθμό που αυτή επιτυγχάνεται από τις διάφορες ΤΣΣ, δεν ασχολείται με γενικές τεχνικές που αφορούν την ανάκτηση εικόνας, δηλαδή δεν ενδιαφέρεται για τα υπόλοιπα συστατικά που ίσως απαιτούνται για εφαρμογές ανάκτησης εικόνας, αλλά

μόνο για τεχνικές που επιτυγχάνουν την σύγκριση μεταξύ δύο σχημάτων. Ακόμα, θεωρείται προϋπόθεση για μια ΤΣΣ να είναι ανεξάρτητη μετατόπισης, μεγέθυνσης και περιστροφής των σχημάτων, καθώς αυτοί οι μετασχηματισμοί δεν μεταβάλλουν το ίδιο το σχήμα. Αν θεωρήσουμε ότι έναν από τους κύριους σκοπούς των Συστημάτων Πολυμέσων αποτελεί η ανάπτυξη συστημάτων για την αυτόματη ανάλυση και κατανόηση της εικόνας από υπολογιστικά συστήματα, είναι φανερό ότι η χρήση των ΤΣΣ από μόνη της δε μπορεί να επιτελέσει το στόχο αυτό. Όμως μια εξελιγμένη μορφή μιας ΤΣΣ μπορεί να συμβάλει ουσιαστικά τόσο στην κατανόηση αυτού του στόχου όσο και στην υλοποίησή του, σε διάφορα επίπεδα.

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναφερθούν οι σημαντικότερες από τις τεχνικές σύγκρισης μεταξύ σχημάτων που υπάρχουν αυτήν την στιγμή. Επίσης θα αναλυθούν σε βάθος αυτοί οι αλγόριθμοι που σχετίζονται περισσότερο με τις καινοτομίες που παρουσιάζει η παρούσα διατριβή και έχουν υλοποιηθεί για τις ανάγκες της διατριβής. Θέματα όπως η εξαγωγή των σχημάτων από μια εικόνα δεν εντάσσονται στα θέματα που αντιμετωπίζει αυτό το κεφάλαιο. Στόχος του κεφαλαίου αυτού είναι δεν είναι απλά να παρουσιάσει μια θεωρητική ανάλυση των ΤΣΣ, αλλά και να αναφέρει πρακτικά θέματα που αφορούν στην υλοποίησή τους σε Η/Υ. Έτσι ο αναγνώστης θα λάβει μια πληρέστερη εικόνα των ΤΣΣ που τον ενδιαφέρουν και θα αποκτήσει ουσιαστικά εφόδια, τόσο για την ανάπτυξη και υλοποίηση τους όσο και για την χρήση τους σε διάφορες εφαρμογές.

2.2 Δομή των Τεχνικών Σύγκρισης Σχημάτων

Μία ΤΣΣ, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί τουλάχιστον για την ανάκτηση δεδομένων με βάση το σχήμα, πρέπει να υποστηρίζει τις παρακάτω λειτουρ-

γίες:

- α' Επεξεργασία των αρχικών σχημάτων, με στόχο τη δημιουργία ενδιάμεσων απεικονίσεων, οι οποίες πλησιάζουν περισσότερο τη λογική του σχεδιαστή της ΤΣΣ, όσον αφορά τα χαρακτηριστικά ενός σχήματος. Μια τέτοια απεικόνιση ονομάζεται *descriptor*, δηλαδή περιγραφέας, αν και στην παρούσα διατριβή θα χρησιμοποιηθεί η λέξη *περιγραφή*.
- β' Δυνατότητα σύγκρισης μεταξύ δύο περιγραφών διαφορετικών σχημάτων, η οποία σύγκριση αποσκοπεί στην εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την ομοιότητα μεταξύ σχημάτων, την εύρεση κοινών χαρακτηριστικών ή οποιαδήποτε άλλη χρήση που αφορά την σχέση δύο σχημάτων. Για να χρησιμοποιήσουμε μια ΤΣΣ στην Ανάκτηση Δεδομένων με Βάση το Σχήμα, η παραπάνω σύγκριση θα πρέπει να υπολογίζει ένα βαθμό ομοιότητας μεταξύ των δύο περιγραφών, που αντιστοιχεί στα δύο σχήματα από τα οποία προέρχονται οι περιγραφές.

2.3 Υπάρχουσες Τεχνικές Σύγκρισης Σχημάτων

Για την καλύτερη παρουσίαση των αλγόριθμων ομοιότητας σχημάτων είναι απαραίτητη η ταξινόμηση τους σύμφωνα με σημαντικές ιδιότητες που τους χαρακτηρίζουν. Κάθε δημοσιευμένος αλγόριθμος βασίζεται πάνω σε μια γενικότερη μαθηματική ή γεωμετρική τεχνική. Η παρουσίαση που ακολουθεί θα καταγράψει τις βασικότερες τεχνικές εύρεσης ομοιότητας μεταξύ σχημάτων και έπειτα θα κατηγοριοποιήσει αυτές και τις δημοσιευμένες χρήσεις τους ανάλογα με τις ιδιότητές τους. Για την παρουσίαση αυτή, πέρα από την μελέτη των ίδιων των δημοσιευμένων τεχνικών, χρησιμοποιήθηκαν ως βοήθημα και μελέτες καθώς και ταξινομήσεις που ήδη υπάρχουν και αναφέρονται στην βιβλιογραφία [69, 55, 61]. Μερικά μόνο από

τα βιβλία που ασχολούνται με την ανάλυση σχήματος ή αναφέρονται σε αυτήν στο πλαίσιο ευρύτερων θεμάτων, όπως η τεχνητή όραση, είναι τα: [56, 41, 90, 82, 84, 89, 21, 80, 86, 87, 19, 79, 77, 91, 78, 88, 75, 76].

Για την εύρεση ομοιότητας μεταξύ σχημάτων έχουν χρησιμοποιηθεί (ανάμεσα σε άλλες) οι παρακάτω τεχνικές: Συνάρτηση Γωνίας Στροφής (Turning Function) [57, 35], Tree Pruning, Γενικευμένος Μετασχηματισμός Hough, Pose Clustering [68], Geometric Hashing [70], η μέθοδος Ευθυγράμμισης (Alignment Method) [50], στατιστικά στοιχεία [81], Deformable Templates [66], Relaxation Labelling [60], Fourier Descriptors [74, 72], Wavelet Transform [46], Curvature Scale Space [24], Shape Context [64], Shape Indexing [42] και Νευρωνικά Δίκτυα (Neural Networks) [47].

2.4 Κατηγοριοποίηση των Τεχνικών Σύγκρισης

Όπως αναφέρεται και στο [55], παραπέμποντας στο [61], μια πρώτη κατηγοριοποίηση των τεχνικών σύγκρισης σχημάτων είναι σε αυτές που χρησιμοποιούν το περίγραμμα ενός σχήματος και σε αυτές που χρησιμοποιούν το εσωτερικό του σχήματος. Οι δύο αυτές κατηγορίες είναι γνωστές οι μεν ως *Τεχνικές Περιγράμματος* (boundary ή external) και οι δε ως *Τεχνικές Εσωτερικών Σημείων* (global ή internal). Παραδείγματα της πρώτης κατηγορίας είναι τα [53, 41, 48], ενώ η τεχνική Shape Context [64] μπορεί να θεωρηθεί τεχνική εσωτερικών σημείων.

Άλλη μία πιθανή κατηγοριοποίηση των τεχνικών σύγκρισης σχημάτων αναφέρεται στην αντιμετώπιση των σχημάτων είτε ως μια ενιαία οντότητα (Ολικές ΤΣΣ) είτε ως σύνολο επιμέρους στοιχείων (Τοπικές ΤΣΣ) . Παραδείγματα της πρώτης κατηγορίας είναι διάφορες τεχνικές που βασίζονται στο μετασχηματισμό Wavelet [46] και το μετασχηματισμό Φουριέ [74], ενώ της

δεύτερης οι Shape Context, Χώρος Καμπυλότητας Μεγέθους (CSS), Geometric Hashing, Συνάρτηση Γωνίας Στροφής και Διαφορά Γωνίας Στροφής [64, 24, 70, 35, 57, 3].

2.5 Υλοποιημένοι Αλγόριθμοι

Πρέπει να τονιστεί ότι, ενώ πλέον υπάρχει μεγάλος αριθμός δημοσιευμένων ΤΣΣ, σπάνια υπάρχει πρόσβαση σε κάποια μορφή υλοποίησης τους από τους εκάστοτε ερευνητές, η οποία να προσφέρεται για έλεγχο και πειραματισμό από τρίτους. Έτσι, κάποιος νέος ερευνητής πάνω στο θέμα της ομοιότητας μεταξύ σχημάτων πρέπει πάντα να ξεκινά από την αρχή, όσον αφορά στις υλοποιήσεις αυτών των τεχνικών. Επομένως η υλοποίηση των ΤΣΣ και η πρακτική μελέτη των χαρακτηριστικών τους σε πραγματικές εφαρμογές αποτέλεσαν σημαντικό μέρος του προγραμματισμού και της έρευνας κατά τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της διατριβής. Στη συνέχεια του κεφαλαίου αυτού θα παρουσιαστούν αναλυτικά κάποιες τεχνικές που υλοποιήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν εκτενώς κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής αυτής. Έτσι παρουσιάζονται στοιχεία και συμπεράσματα τα οποία παρήχθησαν από την ενασχόληση με τις τεχνικές αυτές, τα οποία διαφορετικά δε θα ήταν γνωστά.

2.5.1 Σύγκριση μεταξύ σχημάτων με χρήση Ροπών (Moments)

Οι Ροπές (Moments) χρησιμοποιούνται με διάφορους τρόπους για την αναπαράσταση και ανάκτηση σχημάτων [46], ενώ χρησιμοποιούνται ακόμα και για την απευθείας ανάκτηση εικόνας [39, 63]. Στην παρούσα διατριβή οι Ροπές χρησιμοποιούνται για την σύγκριση σχημάτων με βάση τα εσωτερικά

σημεία τους. Τα συμπεράσματα που εξάγονται από την υλοποίηση και την χρήση των Ροπών ως ΤΣΣ αναπτύσσονται περαιτέρω.

Ορισμός

Οι Γεωμετρικές Ροπές (Geometric Moments) $M_{x,y}$ και οι Κανονικοποιημένες Ροπές (Normalized Moments) $N_{x,y}$, για την εσωτερική περιοχή A , ενός δισδιάστατου σχήματος, δίνονται από τους παρακάτω τύπους:

$$M_{p,q} = \int \int_A x^p y^q dx dy \quad (2.1)$$

$$N_{p,q} = \frac{M_{p,q}}{M_{0,0}} \quad (2.2)$$

Όπως είναι φανερό από τον ορισμό τους, οι Γεωμετρικές Ροπές δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν απευθείας για την σύγκριση μεταξύ σχημάτων, αφού οι τιμές τους εξαρτώνται από το εμβαδόν του σχήματος. Οι Κανονικοποιημένες Ροπές παρέχουν ικανοποιητική λύση σε αυτό το πρόβλημα και ως εκ τούτου θεωρητικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για συγκρίσεις μεταξύ σχημάτων. Στη συνέχεια του παρόντος κεφαλαίου, όπου αναφέρεται η λέξη Ροπές μόνη της θα αναφέρεται στις Κανονικοποιημένες Ροπές. Υπάρχουν παραδείγματα στη βιβλιογραφία που βεβαιώνουν πως κάποια είδη Ροπών μπορούν να χρησιμοποιηθούν με σχετική επιτυχία [39] για ανάκτηση δεδομένων με βάση το σχήμα. Από το συγγραφέα έχουν υλοποιηθεί μέθοδοι παραγωγής Ροπών για κλειστά δισδιάστατα σχήματα. Στην συνέχεια θα αναλυθούν μέθοδοι που αφορούν στην παραγωγή και την χρήση των Ροπών.

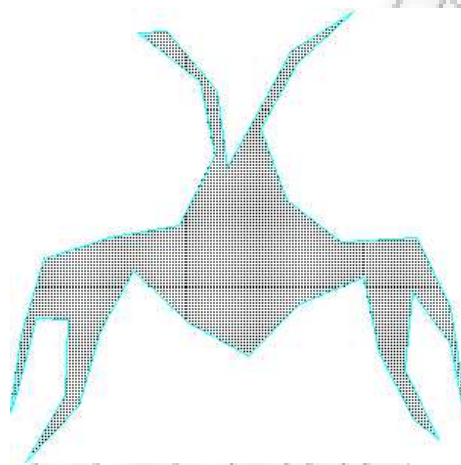
Παραγωγή των περιγραφών των Ροπών

Οι περιγραφές των Ροπών αποτελούνται από τις τιμές των ροπών των αντίστοιχων τάξεων. Επομένως η παραγωγή των περιγραφών των Ροπών ισοδυναμεί με τον υπολογισμό των τιμών αυτών για τα αρχικά σχήματα. Μετά από τη βιβλιογραφία σχετικά με τις Ροπές προκύπτει ως συμπέρασμα ότι δε μπορούμε να παράγουμε όλες τις Ροπές με μια και μοναδική μέθοδο, καλύπτοντας όλη την εσωτερική επιφάνεια ενός σχήματος. Έτσι η μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται όταν θέλουμε να παράγουμε Ροπές οποιουδήποτε βαθμού στηρίζεται στην δειγματοληψία της εσωτερικής περιοχής A του εκάστοτε σχήματος. Μια σχηματική επεξήγηση της δειγματοληψίας αυτής παρουσιάζεται στο σχήμα 2.1.

Όπως καθίσταται φανερό, η ποιότητα υπολογισμού των Ροπών με την μέθοδο της δειγματοληψίας εξαρτάται από το συχνότητα της δειγματοληψίας. Πρέπει να ληφθεί υπόψη όμως ότι όσο περισσότερα σημεία χρησιμοποιούμε στην δειγματοληψία, τόσο πιο αργή είναι η συνολική διαδικασία παραγωγής των Ροπών. Έτσι είναι αναγκαία η επιλογή μιας ισορροπίας μεταξύ ποιότητας και ταχύτητας υπολογισμού, ανάλογα με τον αριθμό και τον βαθμό των Ροπών που υπολογίζονται και σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής.

Κατά την διαδικασία της υλοποίησης και εφαρμογής των Ροπών εξήχθησαν τα εξής συμπεράσματα:

- α) Η διαδικασία παραγωγής των Ροπών είναι απλή στην υλοποίηση, αφού μόνο μια μέθοδος απαιτείται για τον υπολογισμό οποιουδήποτε βαθμού Ροπής, από την στιγμή που αποδεχόμαστε την χρήση της διαδικασίας δειγματοληψίας. Εναλλακτικά, μπορούμε να αποφύγουμε την δειγματοληψία για κάποιες ροπές που χρησιμοποιούνται ευρέως, με ξεχωριστές υλοποιήσεις, για μεγαλύτερη αποδοτικότητα και ακρίβεια. Σε αυτήν την



Σχήμα 2.1: Δειγματοληψία ενός κλειστού σχήματος για τον υπολογισμό ροπών. Για τον υπολογισμό οποιουδήποτε βαθμού ροπής χρειάζεται μια δειγματοληψία της επιφάνειας του σχήματος. Το σχήμα παρουσιάζει ένα παράδειγμα αυτής της δειγματοληψίας. Διατρέχοντας όλο το ορθογώνιο που περικλείει το σχήμα, κρατάμε μόνο τα σημεία που είναι εσωτερικά ή που ανήκουν στην περίμετρο του σχήματος. Αυτά τα σημεία αποτελούν το δείγμα του σχήματος που θα χρησιμοποιηθεί και σιγματίζουν την παραπάνω εικόνα.

περίπτωση χρειάζεται προσοχή, ώστε όλες οι ροπές που χρησιμοποιούνται για τον ίδιο σκοπό να παράγονται με μεθόδους οι οποίες να είναι συμβατές μεταξύ τους. Θα πρέπει, για παράδειγμα, να μην υπολογίζεται μια ροπή με μεγαλύτερη ακρίβεια από ότι μια άλλη, καθώς αυτό μπορεί να οδηγήσει σε λάθος συγκριτικά αποτελέσματα.

- β) Η *περιγραφή* ενός σχήματος με μια Ροπή είναι απλούστατη, αφού αποτελείται από μόνο ένα αριθμό. Για να γίνει όμως αποδοτική η χρήση τους στη σύγκριση σχημάτων απαιτείται προσεκτική μελέτη των ιδιοτήτων των ροπών. Για παράδειγμα, η Ροπή $N_{0,0}$ παρέχει τη θέση ενός σχήματος, η οποία είναι στην ουσία άνευ χρησιμότητας ως χαρακτηριστικό σύγκρισης.
- γ) Λόγω των ιδιοτήτων των Ροπών, για την υλοποίηση ΤΣΣ που στηρίζονται σε αυτές θα πρέπει να γίνει προσεκτική επιλογή των Ροπών εκείνων που θα χρησιμοποιηθούν, όσον αφορά το πλήθος και τον βαθμό τους. Συνήθως, ένας μικρός αριθμός Ροπών χαμηλού βαθμού περιγράφει μόνο τις σημαντικότερες ιδιότητες ενός σχήματος, χωρίς να δίνεται έμφαση στη λεπτομέρεια, ενώ η χρήση ανώτερων Ροπών είναι ευαίσθητη στον θόρυβο. Επίσης, η παραγωγή των *περιγραφών* τυχόν αντίστοιχων ΤΣΣ, δηλαδή ο υπολογισμός των $N_{x,y}$ που απαιτούνται, είναι ιδιαίτερα απαιτητική, λόγω της παραπάνω διαδικασίας δειγματοληψίας και τον υπολογισμό τους με την χρήση των τύπων 2.1 ή 2.2

Παρά τα σχετικά μειονεκτήματα των Ροπών, η χρησιμότητα τους στην σύγκριση και ανάκτηση σχημάτων είναι πολύ σημαντική, κυρίως λόγω της απλότητας και της ταχύτητας τους κατά την σύγκριση σχημάτων. Αν και δεν έχει υλοποιηθεί αυτόνομη ΤΣΣ με βάση τις Ροπές κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διατριβής, οι Ροπές έχουν χρησιμοποιηθεί για την υλοποίηση άλλων ΤΣΣ (παρ. 2.5.2) και εφαρμογών (κεφ. 7, 8).

2.5.2 Σύγκριση μεταξύ σχημάτων με χρήση Γεωμετρικών Χαρακτηριστικών

Υπάρχουν συγκεκριμένα Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά (ΓΧ) ενός σχήματος που χρησιμοποιούνται πολύ συχνά για σύγκριση μεταξύ σχημάτων. Κάποια από αυτά είναι η Κυκλικότητα (Circularity), η Εκκεντρότητα (Eccentricity) και η Κυρτότητα (Convexity).

Ορισμός της Κυκλικότητας

Η *Κυκλικότητα* (Circularity) ενός σχήματος Σ χαρακτηρίζει το κατά πόσο ένα σχήμα μοιάζει με κύκλο. Το σχήμα 2.2 επεξηγεί την έννοια της κυκλικότητας.

Συγκεκριμένα, αν το εμβαδόν του Σ είναι A , τότε η κυκλικότητα ενός σχήματος είναι ο λόγος του A προς το εμβαδόν του κύκλου που έχει το ίδιο μήκος περιμέτρου με το Σ . Άρα η κυκλικότητα ορίζεται ως:

$$C = A / (r^2 * \pi) \quad (2.3)$$

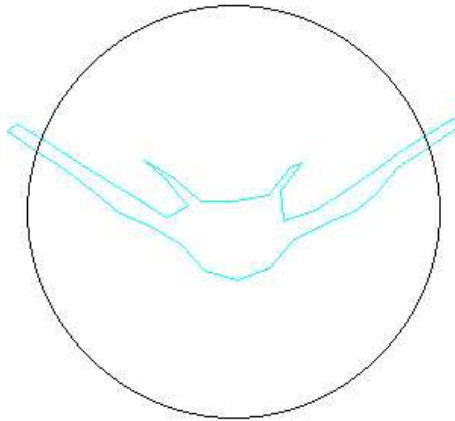
,όπου r η ακτίνα του κύκλου που έχει την ίδια περίμετρο με το σχήμα Σ .

Η κυκλικότητα ενός σχήματος παίρνει τιμές στο $[0, 1]$ και είναι 1 αν και μόνο αν αυτό είναι κύκλος. Η C παίρνει ιδιαίτερα μικρές τιμές όταν το σχήμα είναι μακρόστενο ή περιέχει κοίλα τμήματα.

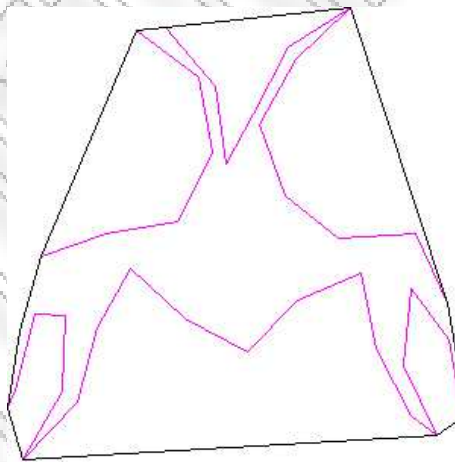
Ορισμός της Κυρτότητας

Η *Κυρτότητα* (Convexity) ενός σχήματος Σ χαρακτηρίζει το πόσο ένα σχήμα προσεγγίζει το κυρτό του περιβλήμα (Convex Hull), S_k (βλ. σχήμα 2.3).

Συγκεκριμένα, αν το εμβαδόν του Σ είναι A και το αντίστοιχο κυρτό περίβλημα έχει εμβαδόν A_k , τότε η κυρτότητα δίνεται από τον τύπο:



Σχήμα 2.2: Υπολογισμός της κυκλικότητας. Το παραπάνω περίγραμμα (νυ-
χτερίδα) έχει μεγάλη περίμετρο χωρίς να είναι κυκλικό. Ένας κύκλος με
το ίδιο μήκος περιμέτρου με το σχήμα αυτό έχει πολύ μεγαλύτερο εμβαδόν.
Επομένως η κυκλικότητα αυτού του σχήματος είναι μικρή.



Σχήμα 2.3: Υπολογισμός της κυρτότητας. Το εμβαδόν του μικρότερου κυρτού
σχήματος που περικλείει το παραπάνω σχήμα είναι κατά πολύ μεγαλύτερο
από το εμβαδόν του ίδιου του σχήματος. Επομένως, η κυρτότητα αυτού του
σχήματος είναι μικρή.

$$CON = A/A_{\kappa} \quad (2.4)$$

Η κυρτότητα έχει πεδίο τιμών το $[0, 1]$ και είναι 1 αν και μόνο αν το σχήμα Σ είναι κυρτό.

Ορισμός της Εκκεντρότητας

Έστω R η έλλειψη που προσεγγίζει βέλτιστα ένα κλειστό σχήμα, με βάση τα εσωτερικά σημεία του. Η *Εκκενρότητα* (Eccentricity) δίνεται από τον λόγο του μήκους της μεγαλύτερης ακτίνας της παραπάνω έλλειψης R_a , προς το μήκος της μικρότερης ακτίνας της, R_b (βλ. σχήμα 2.4).

Αν $N_{p,q}$ είναι οι Κανονικοποιημένες Ροπές (Normalized Moments) βαθμού $p+q$ του σχήματος Σ , τότε οι δύο ακτίνες R_a, R_b δίνονται αντίστοιχα από τους τύπους:

$$R_a = \sqrt{8 * (N_{2,0} + N_{0,2} + \sqrt{(N_{2,0} - N_{0,2})^2 + 4 * N_{1,1}^2})/2} \quad (2.5)$$

$$R_b = \sqrt{8 * (N_{2,0} + N_{0,2} - \sqrt{(N_{2,0} - N_{0,2})^2 + 4 * N_{1,1}^2})/2} \quad (2.6)$$

και η εκκενρότητα από τον τύπο:

$$ECC = R_a/R_b \quad (2.7)$$

Από τον παραπάνω ορισμό και τον τύπο 2.2 φαίνεται ότι για τον υπολογισμό της Εκκενρότητας απαιτείται ο υπολογισμός των ροπών (Moments): $M_{0,0}, M_{1,1}, M_{2,0}$ και $M_{0,2}$. Δυστυχώς, αν και είναι δυνατές πολλές βελτιστοποιήσεις στο χρόνο υπολογισμού των παραπάνω ροπών, ο υπολογισμός της

Εκκεντρότητας είναι ιδιαίτερα απαιτητικός σε χρόνο, όπως και η δημιουργία της αντίστοιχης *περιγραφής* του σχήματος. Για το σκοπό της σύγκρισης μεταξύ των σχημάτων, δε μας ενδιαφέρει πρακτικά αν θα συγκρίνουμε τις Εκκεντρότητες δυο σχημάτων ή τα αντίστροφά τους. Στην πράξη λοιπόν χρησιμοποιούμε το αντίστροφο της εκκεντρότητας, ECC^{-1} , που παίρνει τιμές στο $[0, 1]$, όπως και τα υπόλοιπα γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Η επιλογή αυτή διευκολύνει τους μαθηματικούς υπολογισμούς και απλοποιεί τον (κοινό) κώδικα που χρησιμοποιείται στις υλοποιήσεις των ΤΣΣ που αντιστοιχούν στα παραπάνω γεωμετρικά χαρακτηριστικά.

$$ECC^{-1} = R_b/R_a \quad (2.8)$$

Κοινά γνωρίσματα των ΤΣΣ που βασίζονται στα Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά

Όλες οι ΤΣΣ που αντιστοιχούν σε ένα από τα παραπάνω Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά (ΓΧ) δημιουργούν μια *περιγραφή* σχήματος που αποτελείται από ένα πραγματικό αριθμό στο $[0, 1]$. Η ιδιότητα αυτή:

- α) μας επιτρέπει να έχουμε ομοιόμορφο και απλό τρόπο αποθήκευσης για τις περιγραφές,
- β) μας δίνει διάφορες (και ομοιόμορφες) επιλογές ως προς τον τρόπο υπολογισμού της ομοιότητας μεταξύ σχημάτων,
- γ) μας επιτρέπει να εφαρμόζουμε πολύ γρήγορα τις αντίστοιχες ΤΣΣ.

Η απλότητα των ΓΧ εμπεριέχει πλεονεκτήματα αλλά και μειονεκτήματα. Είναι φανερό πως τα ΓΧ δε δύνανται από μόνα τους να περιγράψουν επαρκώς

τα χαρακτηριστικά ενός σχήματος, καθώς χαρακτηρίζουν μόνο πολύ συγκεκριμένες ιδιότητές τους. Παρά ταύτα, τα παραπάνω ΓΧ (μεταξύ άλλων), χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην ανάκτηση σχήματος λόγω της αποτελεσματικότητάς τους στη γρήγορη απόρριψη μη όμοιων σχημάτων. Συνοπτικά, συμπεραίνουμε ότι τα ΓΧ μπορούν να φανούν ιδιαίτερα χρήσιμα σε συνδυασμό με πιο περιγραφικές ΤΣΣ, οι οποίες συμπληρώνουν τα κενά τους όσον αφορά την κάλυψη των χαρακτηριστικών των σχημάτων.

2.5.3 Σύγκριση μεταξύ σχημάτων με χρήση Περιγραφών Φουριέ (Fourier Descriptors)

Στη διεθνή βιβλιογραφία με τον όρο Περιγραφές Φουριέ (ΠΦ - Fourier Descriptors) [74, 72, 38] δηλώνονται οι ΤΣΣ (ή/και οι αντίστοιχες περιγραφές τους) που υλοποιούνται με βάση κάποιο είδος εφαρμογής του μετασχηματισμού Φουριέ πάνω στα δεδομένα των αρχικών σχημάτων. Ο μετασχηματισμός Φουριέ έχει βρει εφαρμογές σε πολλαπλά πεδία των τεχνολογιών της Τεχνητής Όρασης και των Συστημάτων Πολυμέσων και είναι ευρεία η χρήση του στους τομείς της επεξεργασίας σήματος και εικόνας [85, 20, 84]. Στα [92] παρουσιάζονται εφαρμογές του μετασχηματισμού Φουριέ που μπορούν να εφαρμοστούν απευθείας σε τρισδιάστατα σχήματα. Όσον αφορά στον τομέα της Σύγκρισης Σχημάτων έχουμε αρκετά παραδείγματα μεθόδων που βασίζονται σε Περιγραφές Φουριέ [74, 72]. Για την παρούσα διατριβή έχουν υλοποιηθεί και ελεγχθεί τρεις διαφορετικές προτάσεις Περιγραφών Φουριέ, οι οποίες θα παρουσιαστούν στη συνέχεια. Ακολουθούν κάποιοι βασικοί ορισμοί που αφορούν στον μετασχηματισμό Φουριέ.

Ο μονοδιάστατος μετασχηματισμός Φουριέ δίνεται από τον τύπο:

$$F(s) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)e^{-i2xs} dx \quad (2.9)$$

ενώ ο δισδιάστατος από τον τύπο :

$$S(k_x, k_y) = \iint f(x, y)e^{-2\pi(k_x x + k_y y)} dx dy \quad (2.10)$$

και ο αντίστροφος του από τον τύπο :

$$f(x, y) = \iint S(k_x, k_y)e^{2\pi(k_x x + k_y y)} dk_x dk_y \quad (2.11)$$

Το αρχικό σχήμα, επί του οποίου θέλουμε να εφαρμόσουμε μια ΠΦ θεωρείται ως μια δισδιάστατη συνάρτηση, στην οποία εφαρμόζουμε το δισδιάστατο μετασχηματισμό Φουριέ, το αποτέλεσμα του οποίου παράγει την περιγραφή της μεθόδου. Οι περιγραφές μιας τεχνικής ΠΦ, που παράγονται από δύο αρχικά σχήματα, αποτελούνται από ένα μονοδιάστατο σήμα έκαστη, τα οποία σήματα είναι συγκρίσιμα μεταξύ τους και είναι εύκολο να βρεθεί ο βαθμός ομοιότητας τους.

Περιγραφή Φουριέ Με Μιγαδικές Συντεταγμένες

Η πρώτη μορφή ΠΦ είναι η Περιγραφή Φουριέ Με Μιγαδικές Συντεταγμένες (ΠΦΜΜΣ). Αυτή η τεχνική χρησιμοποιεί τις ίδιες τις συντεταγμένες ενός περιγράμματος ως τους όρους μιας σειράς μιγαδικών αριθμών. Συγκεκριμένα, τετημένη η (x) αποτελεί το πραγματικό μέρος αυτού του αριθμού, ενώ η τεταγμένη (y) αποτελεί το φανταστικό μέρος του αριθμού :

$$f(t) = x(t) + iy(t) \quad (2.12)$$

Μάλιστα, για να αφαιρέσουμε την εξάρτηση του αποτελέσματος από την θέση του, τοποθετούμε το κέντρο του σχήματος στο $(0, 0)$ αφαιρώντας τις συντεταγμένες του κέντρου από τις συντεταγμένες όλων των σημείων του περιγράμματος, δηλαδή:

$$f(t) = (x(t) - x_c) + i(y(t) - y_c) \quad (2.13)$$

όπου:

$$x_c = \frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} x(t), y_c = \frac{1}{N} \sum_{t=0}^{N-1} y(t) \quad (2.14)$$

και N ο αριθμός των σημείων του αρχικού σχήματος που λαμβάνουμε σαν είσοδο.

Για να δημιουργήσουμε την περιγραφή της ΠΦΜΜΣ, εφαρμόζουμε το δισδιάστατο μετασχηματισμό Φουριέ στην παραπάνω σειρά, και κρατάμε μόνο το πραγματικό μέρος του μετασχηματισμού, το οποίο δεν εξαρτάται από την περιστροφή του σχήματος. Ο πρώτος συντελεστής της παραγόμενης σειράς (FD_0) αφαιρείται, καθώς είναι ο μόνος συντελεστής που εξαρτάται από την θέση του σχήματος. Επιπλέον, για να επιτύχουμε ανεξαρτησία από το μέγεθος του σχήματος, διαιρούμε όλους τους συντελεστές που παράγονται με το δεύτερο συντελεστή (FD_1). Αν λοιπόν FD_n είναι το n -οστό στοιχείο - με πρώτο στοιχείο το FD_0 - του πραγματικού μέρους (μέγεθος) του αποτελέσματος του μετασχηματισμού, η περιγραφή του ΠΦΜΜΣ θα αποτελείται από τα στοιχεία:

$$\Pi = \left[\frac{FD_2}{FD_1}, \frac{FD_3}{FD_1}, \frac{FD_4}{FD_1}, \dots, \frac{FD_{N-1}}{FD_1} \right] \quad (2.15)$$

Περιγραφή Φουριέ Με Κεντρική Απόσταση

Η δεύτερη μορφή ΠΦ, η Περιγραφή Φουριέ Με Κεντρική Απόσταση (ΠΦΜ-ΚΑ), χρησιμοποιεί την απόσταση των σημείων του περιγράμματος από το κέντρο του σχήματος, δηλαδή:

$$R(t) = \sqrt{(x(t) - x_c)^2 + (y(t) - y_c)^2} \quad (2.16)$$

Άρα οι τιμές της συνάρτησης εισόδου είναι:

$$f(t) = R(t) + i * 0 \quad (2.17)$$

δηλαδή:

$$f(t) = R(t) \quad (2.18)$$

Η μορφή αυτή είναι εξ' ορισμού ανεξάρτητη από τη θέση του σχήματος, αφού αφαιρούνται οι συντεταγμένες του κέντρου. Όπως φαίνεται από την παραπάνω εξίσωση, η $f(t)$ παίρνει μόνο πραγματικές τιμές, άρα θα παραχθούν από το μετασχηματισμό Φουριέ μόνο $N/2$ διαφορετικές συχνότητες. Επομένως οι υπόλοιπες συχνότητες δεν θα χρειαστούν. Για να επιτευχθεί ανεξαρτησία από το μέγεθος του σχήματος, διαιρούμε όλους τους συντελεστές με τον πρώτο συντελεστή (FD_0). Επομένως, η περιγραφή της ΠΦΜΚΑ θα αποτελείται από τα στοιχεία:

$$\Pi = \left[\frac{FD_1}{FD_0}, \frac{FD_2}{FD_0}, \frac{FD_3}{FD_0}, \dots, \frac{FD_{N/2}}{FD_0} \right] \quad (2.19)$$

Περιγραφή Φουριέ Με Καμπυλότητα

Η τελευταία μορφή ΠΦ, η Περιγραφή Φουριέ Με Καμπυλότητα (ΠΦΜΚ), χρησιμοποιεί την καμπυλότητα σε κάθε σημείο του περιγράμματος, δηλαδή τη διαφορά στην διεύθυνση μεταξύ των δύο ακμών του σχήματος οι οποίες συνδέονται στο σημείο αυτό. Αν, σε μια διάσχιση των σημείων του περιγράμματος, $\theta(t)$ είναι η διεύθυνση της ακμής που καταλήγει στο σημείο που βρίσκεται στην θέση t , τότε η καμπυλότητα στο σημείο αυτό είναι:

$$\phi(t) = (\theta((t+1) \bmod(N)) - \theta(t)) \bmod(2\pi) \quad (2.20)$$

Η μορφή αυτή είναι εξ' ορισμού ανεξάρτητη από τη θέση του σχήματος, το μέγεθος του σχήματος αλλά και την περιστροφή, αφού στηρίζεται μόνο στην καμπυλότητα του περιγράμματος του σχήματος. Καθώς η $\phi(t)$ παίρνει μόνο πραγματικές τιμές θα παραχθούν από τον μετασχηματισμό Φουριέ μόνο $N/2$ διαφορετικές συχνότητες, άρα οι υπόλοιπες δεν θα χρειαστούν. Επομένως, η περιγραφή του ΠΦΜΚ θα αποτελείται από τα στοιχεία:

$$\Pi = [FD_0, FD_1, FD_2, \dots, FD_{N/2}] \quad (2.21)$$

Γενικές Παρατηρήσεις πάνω στις Περιγραφές Φουριέ

Αφότου παραχθούν οι περιγραφές των ΠΦ για δύο σχήματα, η ομοιότητα των σχημάτων μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την ευκλείδεια απόσταση. Αν ένα σχήμα περιγράφεται από την σειρά $\Pi_m = [f_m^0, f_m^1, \dots, f_m^K]$ και ένα άλλο σχήμα από την σειρά $\Pi_d = [f_d^0, f_d^1, \dots, f_d^K]$, τότε η απόστασή τους (ανομοιότητα) προκύπτει από τον τύπο:

$$\Delta = \sqrt{\sum_0^K (f_m^i - f_d^i)^2}, \quad (2.22)$$

όπου K ο αριθμός των συντελεστών στην περιγραφή. Βεβαίως, για να χρησιμοποιηθεί η παραπάνω τιμή σε εφαρμογές σύγκρισης σχημάτων πρέπει να κανονικοποιηθεί ανάλογα με τις προδιαγραφές της εκάστοτε χρήσης.

Όλες οι παραπάνω μέθοδοι, όπως φαίνεται παραπάνω, αγνοούν τις φάσεις του μετασχηματισμού ώστε να είναι ανεξάρτητες της περιστροφής. Σημαντικό ρόλο στην απόδοση των ΠΦ παίζει και ο τρόπος επιλογής των σημείων του περιγράμματος που τροφοδοτούν τις μεθόδους. Για την υλοποίηση των περιγραφών Φουριέ κατά την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας διατριβής χρησιμοποιήθηκε η ίδια μέθοδος επιλογής σημείων (δειγματοληψία) που παρουσιάζεται στην παρ. 3.2. Πρέπει επίσης να τονιστεί ότι στη βιβλιογραφία [74, 72] υπάρχουν πολλές διαφορετικές παραλλαγές των ΠΦ, κάθε μια με διαφορετικές συναρτήσεις εισόδου και διαφορετικά αποτελέσματα όσον αφορά την ανάκτηση των σχημάτων. Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρθηκαν μόνο αυτές οι ΠΦ που υλοποιήθηκαν και ελέγχθηκαν από το συγγραφέα με βάση την παρεχόμενη βιβλιογραφία. Τέλος η επιλογή των μεθόδων αυτών έγινε βάσει όχι μόνο της απόδοσής τους αλλά και λαμβάνοντας υπόψη την ευκολία υλοποίησής τους και την πρακτικότητά τους όσον αφορά τη χρήση τους μέσα σε συστήματα ανάκτησης σχημάτων.

2.5.4 Σύγκριση μεταξύ σχημάτων με χρήση του Χώρου Καμπυλότητας Κλίμακας (Curvature Scale Space)

Η τεχνική του Χώρου Καμπυλότητας - Κλίμακας (ΧΚΚ - Curvature Scale Space - CSS) [24] αποτελεί την πιο πολύπλοκη μέθοδο από αυτές που αναφέρθηκαν ως τώρα και ως προς την υλοποίηση της αλλά και ως προς το

πλήθος συμπερασμάτων που μπορούν να εξαχθούν από αυτήν. Βάση της τεχνικής αυτής αποτελεί η αξιοποίηση της καμπυλότητας του περιγράμματος ενός σχήματος, κατά τη σταδιακή εξομάλυνση του σχήματος αυτού. Η τεχνική αυτή πιθανότατα θα αποτελέσει μέρος των περιγραφών σχημάτων που θα υποστηρίζονται από το πρότυπο του MPEG-7 [4]. Κάποιες εκφράσεις που παρατίθενται παρακάτω στηρίχθηκαν στο [24].

Η καμπυλότητα μιας καμπύλης στο σημείο s της καμπύλης δίνεται από τον τύπο:

$$\kappa(s) = \lim_{h \rightarrow 0} \frac{\phi}{h} \quad (2.23)$$

όπου: ϕ η γωνιά ανάμεσα στα $t(s)$ και $t(s+h)$, όπου t είναι το διάνυσμα της εφαπτομένης του σχήματος.

Τα σημεία όπου αλλάζει πρόσημο η καμπυλότητα ονομάζονται Σημεία Μηδενισμού Καμπυλότητας.

Παραγωγή της Περιγραφής του ΧΚΚ

Έστω μια μονοδιάστατη Γκαουσιανή (Κανονική) συνάρτηση $g(u, \sigma)$, πλάτους σ . Από το αρχικό σχήμα λαμβάνουμε συγκεκριμένο αριθμό δειγμάτων με σταθερό βήμα, κατά μήκος του περιγράμματός του (παρ. 3.2). Η καμπύλη που παράγεται συνελίσσεται με Γκαουσιανές συναρτήσεις, $g(u, \sigma)$, σταδιακά αυξανόμενων διασπορών (σ). Οι καμπύλες που παράγονται από τις συνελίξεις αυτές δηλώνονται ως Γ_σ , όπου σ η διασπορά της εκάστοτε Γκαουσιανής. Έπειτα προσδιορίζονται τα Σημεία Μηδενισμού Καμπυλότητας (ΣΜΚ) για κάθε μια από τις Γ_σ . Η διαδικασία αυτή ξεκινά με τιμή διασποράς $\sigma = 0$, η οποία αυξάνεται σταδιακά, μέχρι μια προκαθορισμένη τιμή. Καθώς η διασπορά αυξάνεται, η Γ_σ συρρικνώνεται και εξομαλύνεται

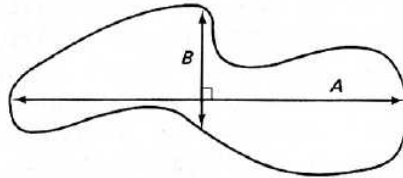
μέχρις ότου να αντιπροσωπεύει ένα κυρτό σχήμα. Σε αυτό το σημείο, η Γ_σ δε θα παρουσιάζει Σημεία Μηδενισμού Καμπυλότητας. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται *Διαδικασία Εξέλιξης* (Curve Evolution) της καμπύλης.

Αφότου προσδιοριστούν τα ΣΜΚ της Γ , μπορούμε να τα αναπαραστήσουμε στο επίπεδο (u, σ) , όπου u η θέση πάνω στην καμπύλη και σ το πλάτος της Γκαουσιανής. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας μπορεί να αναπαρασταθεί σε μια δυαδική, δισδιάστατη εικόνα η οποία ονομάζεται και *Εικόνα ΧΚΚ (CSS)* (σχήμα 2.5). Αυτή η εικόνα αποτελεί και την *περιγραφή* της αντίστοιχης ΤΣΣ, όπως τουλάχιστον αυτή υλοποιήθηκε από το συγγραφέα της διατριβής.

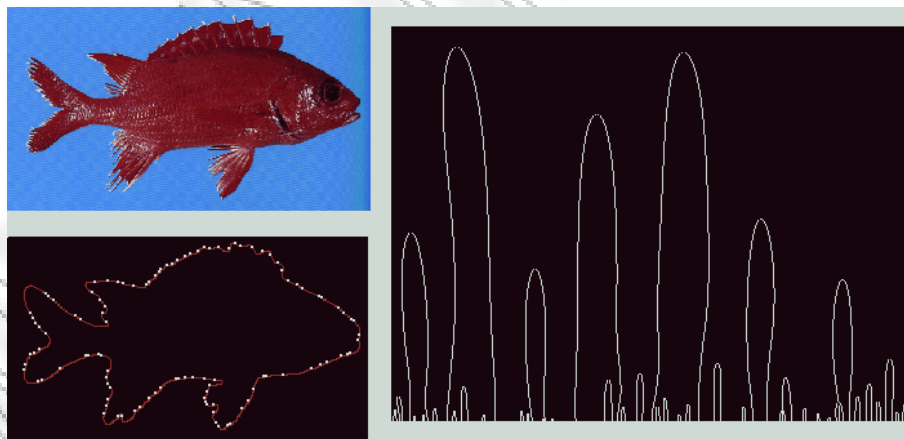
Σύγκριση Σχημάτων με τον Χώρο Καμπυλότητας Κλίμακας

Όσο το σ είναι σχετικά μικρό, η αρχική καμπύλη επηρεάζεται λίγο, με αποτέλεσμα να υπάρχουν όσα Σημεία Μηδενισμού Καμπυλότητας (ΣΜΚ) υπήρχαν αρχικά. Όμως όσο το σ αυξάνεται, το πλήθος των ΣΜΚ μειώνεται, καθώς εξομαλύνεται η Γ_σ . Επομένως, οι μικρότερες καμπύλες που εμφανίζονται στην εικόνα ΧΚΚ αντικατοπτρίζουν είτε θόρυβο είτε μικρές κυματώσεις στο σχήμα. Αντίθετα, οι βαθιές και επίμονες καμπύλες αντιπροσωπεύουν τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά του σχήματος. Κατ' αυτόν τον τρόπο μπορούμε να απομονώσουμε τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά δύο σχημάτων συγκρίνοντας μόνο τις ψηλότερες κορυφές που υπάρχουν στις εικόνες ΧΚΚ τους.

Η σύγκριση σχημάτων που βασίζεται στις εικόνες ΧΚΚ είναι αρκετά πολύπλοκη και δεν θα αναλυθεί εδώ, όμως τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά της αξίζει να αναφερθούν. Καταρχήν, η ΤΣΣ ΧΚΚ δεν επηρεάζεται από τη θέση και το μέγεθος του σχήματος, αφού το μόνο χαρακτηριστικό του σχήματος που αξιοποιεί είναι η καμπυλότητα του περιγράμματος, η οποία ομοίως δεν επηρεάζεται από αυτά. Μια περιστροφή του σχήματος γύρω από το κέντρο



Σχήμα 2.4: Εκκεντρότητα: Η τιμή της υπολογίζεται από το λόγο του μήκους του A προς το μήκος του B. Τα A και B είναι η μεγάλη και η μικρή διάμετρος της έλλειψης που προσεγγίζει καλύτερα το παραπάνω σχήμα.



Σχήμα 2.5: Εικόνα ΧΚΚ (CSS).

του αντιστοιχεί σε κυκλική μετατόπιση των στηλών της εικόνας ΧΚΚ προς τη μια ή την άλλη κατεύθυνση. Έχοντας αυτό υπόψη μπορούμε να υλοποιήσουμε τη συνάρτηση σύγκρισης ώστε να λαμβάνει ή όχι υπόψη (όσο αυτό είναι δυνατόν) την περιστροφή.

Γενικά συμπεράσματα για το Χώρο Καμπυλότητας Κλίμακας

Ο ΧΚΚ είναι η πρώτη ΤΣΣ με τοπικό χαρακτήρα που παρουσιάζεται σε αυτήν τη διατριβή, δηλαδή η πρώτη ΤΣΣ που αντιμετωπίζει ένα σχήμα ως άθροισμα επιμέρους στοιχείων. Κάθε στήλη της εικόνας ΧΚΚ προήλθε από ένα κομμάτι του περιγράμματος του αρχικού σχήματος. Αυτό σημαίνει πως, αν αντιστοιχίσουμε μέσω της σύγκρισης μια στήλη μιας εικόνας ΧΚΚ σε μια στήλη μιας άλλης εικόνας ΧΚΚ, έχουμε επίσης αντιστοιχίσει ένα κομμάτι του ενός σχήματος σε ένα κομμάτι του άλλου σχήματος. Θεωρητικά, αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές πολυμέσων, αν και δεν είναι γνωστή κάποια τέτοια εφαρμογή μέχρι σήμερα.

2.5.5 Νέα Ερευνητικά Αποτελέσματα

Κατά την διάρκεια εκπόνησης της διατριβής, πέρα από την υλοποίηση ήδη δημοσιευμένων ΤΣΣ, έχει προταθεί και υλοποιηθεί μια καινούργια ΤΣΣ η οποία παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 3. Επίσης παρουσιάζονται αρχιτεκτονικές που έχουν προταθεί από το συγγραφέα για τη χρήση των ΤΣΣ (κεφ. 5) αλλά και εφαρμογές αυτών σε Η/Υ (κεφ. 7 ,8).

Κεφάλαιο 3

Ο ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ ΔΙΑΦΟΡΑΣ

ΓΩΝΙΑΣ ΣΤΡΟΦΗΣ

3.1 Εισαγωγή

Αν και παρουσιάζεται ολοένα αυξανόμενη ανάγκη για Συστήματα Ανάκτησης Πολυμέσων με Βάση το Περιεχόμενο, εμπόδιο για την υλοποίηση και χρήση τέτοιων συστημάτων αποτελεί συχνά η σημαντική υπολογιστική πολυπλοκότητα των χρησιμοποιούμενων αλγορίθμων Τροχοπέδη αποτελεί ακόμα η αδυναμία αυτών των συστημάτων να εξηγήσουν στους χρήστες τους τη λογική που χρησιμοποιούν στις διαδικασίες εντοπισμού ομοιότητας και ανάκτησης. Αυτό το κεφάλαιο εισάγει τη Διαφορά Γωνίας Στροφής (ΔΓΣ - Turning Function Difference - ΤΦΔ), μια νέα και αποδοτική Τεχνική Σύγκρισης Σχημάτων (ΤΣΣ), η οποία είναι βασισμένη στην καμπυλότητα του περιγράμματος του σχήματος και είναι ανεξάρτητη μεταφοράς, περιστροφής και κλίμακας του σχήματος. Η τεχνική αυτή παράγει πληροφορίες για την αντιστοίχιση των σημείων που ανήκουν στα συγκρινόμενα σχήματα. Η ΔΓΣ επεξηγεί οπτικά τα αποτελέσματά της μέσω: α) μιας μεθόδου ευθυγράμμισης και β) μιας δυνα-

μικής οπτικής αναπαράστασης, που δίνει έμφαση στις ομοιότητες μεταξύ των πρότυπων σχημάτων και καθενός από τα επιλεγμένα σχήματα, όπως αυτές γίνονται αντιληπτές με τη ΔΓΣ.

Η προτεινόμενη ΤΣΣ είναι ενσωματωμένη στη βιβλιοθήκη Τεχνητής Όρασης GCV, κεφ. 5, [26].

Οι οπτικές τεχνολογίες ανάκτησης πληροφοριών αφορούν σε συστήματα που επιτρέπουν την ανάκτηση αποθηκευμένων οπτικών μέσων με βάση το οπτικό τους περιεχόμενο. Ένας από τους αρχικούς ερευνητικούς στόχους σε αυτήν την περιοχή είναι η δημιουργία μεθόδων που επιτρέπουν την ανάκτηση οπτικών μέσων με βάση την ομοιότητα που έχουν τα οπτικά χαρακτηριστικά ενός ερωτήματος με τα οπτικά χαρακτηριστικά μέσων που περιέχονται σε βάσεις δεδομένων.

Για τους ανθρώπους, το σχήμα είναι κυρίαρχο χαρακτηριστικό για τον προσδιορισμό παρόμοιων αντικειμένων και σκηνικών [64, 82]. Έτσι, έχουν προταθεί περίπλοκες μέθοδοι αναγνώρισης με βάση το σχήμα στην Τεχνητή Όραση, οι οποίες χρησιμοποιούνται σε διάφορα συστήματα [40, 54, 49]. Παρόλα αυτά, γενικές μέθοδοι αναγνώρισης σχήματος, οι οποίες είναι απαραίτητες για την Ανάκτηση Εικόνας με Βάση το Περιεχόμενο (ΑΕΒΠ- Content Based Image Retrieval), βρίσκονται ακόμα υπό ανάπτυξη. Όπως αναφέρεται στο [45], αν και οι τεχνικές για Ανάκτηση Εικόνας με Βάση το Περιεχόμενο που χρησιμοποιούν το χρώμα ή την υφή έχουν βελτιωθεί σημαντικά, η ανάκτηση εικόνας με βάση το σχήμα δεν είναι ακόμα αποτελεσματική σε ικανοποιητικό βαθμό. Στο [90] ερευνώνται διάφορα προβλήματα που συνδέονται με την αναγνώριση σχήματος και τις σχετικές τεχνικές.

Επιπλέον, η χρήση των συστημάτων Ανάκτησης Εικόνας με Βάση το Περιεχόμενο (ΑΕΒΠ) δυσχεραίνεται συχνά από την αδυναμία τους να εξηγήσουν

στο χρήστη τη λογική τους κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανάκτησης. Δύο από τις αιτίες που δυσχεραίνουν την επεξήγηση των αποτελεσμάτων της αναζήτησης σε αυτά τα συστήματα είναι η πολύπλοκη φύση των τεχνικών που χρησιμοποιούνται αλλά και η έμφαση που δίνεται στην απόδοση σε βάρος της φιλικότητας προς το χρήστη. Μια αιτία ακόμα είναι η χρησιμοποίηση τεχνικών που δεν παρέχουν κάποιο τρόπο επεξήγησής τους.

Στο κεφάλαιο 2 αναφέρεται πλήθος ΤΣΣ που έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί σε συστήματα ΑΕΒΠ, ενώ στο κεφάλαιο 4 θα αναφερθούν συστήματα ΑΕΒΠ, που εκμεταλλεύονται και σχηματικές πληροφορίες. Οι περισσότερες ΤΣΣ χρησιμοποιούν ή εστιάζουν σε ένα ή λίγα χαρακτηριστικά του σχήματος. Για παράδειγμα, ΤΣΣ όπως η Συνάρτηση Γωνίας Στροφής [57, 35], ή ο Χώρος Καμπυλότητας Κλίμακας [24] είναι βασισμένες μόνο στην καμπυλότητα του περιγράμματος ενός σχήματος. Αυτές οι μέθοδοι είναι απολύτως αιτιοκρατικές και στερούνται την έννοια της εμπειρίας, επομένως δεν δύνανται να μοντελοποιήσουν την εμπειρική και προσαρμοστική φύση της ανθρώπινης όρασης. Εντούτοις τέτοιες μέθοδοι ή ένας συνδυασμός τέτοιων μεθόδων μπορούν να έχουν αποτελέσματα που φαίνονται συχνά λογικά σε έναν άνθρωπο.

Προκειμένου όμως να εξηγηθεί στο χρήστη η σχετικότητα των αποτελεσμάτων τους είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε αυτές τις μεθόδους να αναλύονται οι πληροφορίες που χρησιμοποιεί κάθε ΤΣΣ και η σημασία των αποτελεσμάτων τους. Επιπλέον, δεδομένου ότι αυτό το είδος έρευνας έχει και οπτικά αποτελέσματα, αποτελεί πεποίθηση του συγγραφέα ότι μια ΤΣΣ πρέπει επίσης να παρέχει μια οπτική εξήγηση των εσωτερικών κριτηρίων της, π.χ. να διαγράφεται μια κατάλληλη έλλειψη η οποία να περιγράφει τα αποτελέσματα της Εκκεντρότητας, παρ. 2.5.2. Τέλος, ο μεγάλος αριθμός των ΤΣΣ δικαιολογεί την ανάγκη να απεικονιστούν τα εγγενή χαρακτηριστικά των αλγορίθμων τους.

Η Διαφορά Γωνίας Στροφής (ΔΓΣ) αποτελεί μια νέα ΤΣΣ που επιτρέπει την ανάκτηση παρόμοιων σχημάτων και την επεξήγηση των ανακτημένων αποτελεσμάτων, με βάση τη σύγκριση πολυγωνικών σχημάτων. Όπως θα καταδειχθεί παρακάτω, η ΔΓΣ περιγράφει πλήρως το περίγραμμα ενός σχήματος, με τρόπο ανεξάρτητο από τη μετατόπιση, την περιστροφή και τη μεγέθυνση του σχήματος αυτού. Είναι επίσης κατάλληλη για ανοικτά σχήματα και εξαιρετικά ανθεκτική στο θόρυβο. Το βασικό μέτρο της ΔΓΣ μοιάζει με αυτό της Συνάρτησης Γωνίας Στροφής [57, 35], ονομάζεται ΔΓΣ, όμοια με την αντίστοιχη ΤΣΣ, και είναι ανεξάρτητο θέσης, περιστροφής και μεγέθους του σχήματος. Επιπλέον, η μέθοδος ΔΓΣ υπολογίζει πληροφορίες αντιστοίχησης μεταξύ περιοχών των συγκρινόμενων σχημάτων που μας επιτρέπουν να παράγουμε επεξηγηματικές απεικονίσεις των αποτελεσμάτων της σύγκρισης μεταξύ των αρχικών σχημάτων.

Η διαδικασία επεξήγησης των αποτελεσμάτων της σύγκρισης χρησιμοποιεί δύο μεθόδους:

1. μια μέθοδο ευθυγράμμισης που παρουσιάζει τον τρόπο με τον οποίο καθένα από τα επιλεγμένα σχήματα μπορεί να μετασχηματιστεί γεωμετρικά στο πρότυπο σχήμα που παρέχεται από τον χρήστη,
2. μια μέθοδο δυναμικής αναπαράστασης που επεξηγεί γιατί δύο αντικείμενα χαρακτηρίζονται όμοια.

3.2 Παραγωγή των περιγραφών της Διαφοράς Γωνίας Στροφής

Για την παραγωγή της περιγραφής της ΔΓΣ από ένα σχήμα, απαιτούνται:

1. μια φάση ελέγχου και προεπεξεργασίας του αρχικού σχήματος,
2. η μετατροπή του σχήματος σε μορφή ΔΓΣ.

3.2.1 Φάση προεπεξεργασίας των αρχικών σχημάτων

Η προεπεξεργασία των αρχικών σχημάτων περιλαμβάνει:

1. Συνέλιξη των αρχικών πολυγώνων με μια μονοδιάστατη Γκαουσσιανή μήτρα για να ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα και ο θόρυβος από την εξαγωγή των σχημάτων (από εικόνα, βίντεο κ.λ.).
2. Δειγματοληψία του πολυγώνου σε N σημεία, τα οποία απέχουν μεταξύ τους ίσες αποστάσεις πάνω στο αρχικό περίγραμμα. Το N θα αναφέρεται στο εξής ως *ανάλυση* του σχήματος (ή της δειγματοληψίας).

3.2.2 Παραγωγή των τιμών της ΔΓΣ

Το βασικό μέτρο της μεθόδου, η ΔΓΣ, σε μια κορυφή ενός πολυγώνου, κατά την διάσχιση των κορυφών αυτού του πολυγώνου κατά μια επιλεγμένη φορά, ορίζεται ως η γωνία μεταξύ της ακμής που ακολουθεί την κορυφή αυτή και της ακμής πριν από την κορυφή αυτή. Συνεπώς, αυτό το μέτρο είναι η Διαφορά στη Συνάρτηση Γωνίας Στροφής (ΣΓΣ) μεταξύ διαδοχικών ακμών, καθώς η ΣΓΣ [35, 57] ισούται με την γωνία του διανύσματος κάθε ακμής με ένα διάνυσμα αναφοράς.

Για μια παραδοσιακά καθορισμένη ΣΓΣ, μια περιστροφή αντιστοιχεί σε μια επιλογή μιας διαφορετικής αφετηρίας. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τουλάχιστον μια περιττή αφαίρεση μιας τιμής αναφοράς για να επιτευχθεί σύγκριση από μια ΤΣΣ που βασίζεται στην ΣΓΣ. Ο νέος ορισμός ενσωματώνει

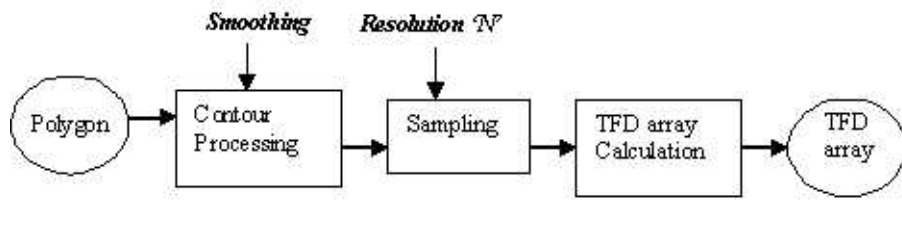
τη σταθερότητα του ίδιου του μέτρου έναντι της περιστροφής του σχήματος. Οι τιμές της ΔΓΣ βρίσκονται στο διάστημα $(-\pi, \pi]$, δεδομένου ότι αυτή η μορφή είναι η αποδοτικότερη για τους υπολογισμούς που απαιτούνται από το σύστημα. Αυτή είναι επίσης η αναπαράσταση που περιγράφει καλύτερα τη διάσχιση του σχήματος από μια κορυφή σε μια άλλη, μέσω δεξιών ή αριστερών στροφών, που ακολουθούνται από τα ευθύγραμμα τμήματα των ακμών, η οποία αναπαράσταση ήταν η βασική έμπνευση πίσω από αυτήν την ΤΣΣ.

Για κάθε πολύγωνο εισόδου, η έξοδος της φάσης παραγωγής των περιγραφών είναι μια σειρά τιμών ΔΓΣ, πλήθους N . Η συνολική διαδικασία παραγωγής των περιγραφών της ΔΓΣ απεικονίζεται στο σχήμα 3.1. Μια σύγκριση των ιστογραμμάτων των ορισμών των ΣΓΣ και ΔΓΣ απεικονίζεται στο σχήμα 3.2.

3.3 Σύγκριση Μεταξύ Σχημάτων με τη Διαφορά Γωνίας Στροφής

Η σύγκριση σχημάτων με τη μέθοδο ΔΓΣ δέχεται ως είσοδο δύο σειρές τιμών ΔΓΣ (μεγέθους N , δεδομένου ότι όλα τα πολύγωνα είναι κλειστά και έχουν τον ίδιο αριθμό κορυφών, λόγω της διαδικασίας δειγματοληψίας) που αντιπροσωπεύουν τα περιγράμματα των σχημάτων που συγκρίνονται. Η μέθοδος δέχεται επίσης ένα σύνολο παραμέτρων (`minScore`, `minLength`, `angleErr`, `distanceErr`, `rotationErr`), οι οποίες θα εξηγηθούν παρακάτω. Η έξοδος της μεθόδου ΔΓΣ αποτελείται από:

1. αντιστοιχίσεις μεταξύ περιοχών των σχημάτων που βρέθηκαν όμοιες και
2. το βαθμό ομοιότητας μεταξύ των σειρών της εισόδου. Ένας πιθανός ορισμός του βαθμού ομοιότητας θα ήταν ο αριθμός ακμών που περιλαμβάνονται στις περιοχές που αντιστοιχήθηκαν. Ο ορισμός που χρη-



Σχήμα 3.1: Παραγωγή των περιγραφών της ΔΓΣ από τα αρχικά σχήματα, μαζί με την διαδικασία της δειγματοληψίας.



Σχήμα 3.2: Πολυγωνική μορφή (α), ΣΓΣ (β) και ΔΓΣ (γ). Στο ιστόγραμμα η ΣΓΣ έχει τιμές στο $[0, 2\pi)$, ενώ η ΔΓΣ στο $(-\pi, \pi]$.

οιμοποιείται στην πράξη για την διαδικασία ολικής σύγκρισης, η οποία και αναπτύσσεται εδώ, αποτελεί το ποσοστό του αριθμού ακμών (ενός εκ των σχημάτων) που αντιστοιχήθηκαν ως προς το συνολικό αριθμό ακμών στο περίγραμμα του σχήματος. Ένα επιθυμητό χαρακτηριστικό του δεύτερου ορισμού είναι ότι οι παραγόμενες τιμές περιορίζονται στο διάστημα $[0, 1]$. Οι προτεινόμενες τιμές για την παράμετρο minScore , που είναι και ο ελάχιστος βαθμός ομοιότητας, είναι $1/2$ για ανάκτηση όμοιων σχημάτων και $1/3$ για ανάκτηση σχημάτων που περιέχουν απλά παρόμοιες περιοχές με το σχήμα που τίθεται ως ερώτημα. Τα πειράματα που έγιναν στις βάσεις δεδομένων των δοκιμών έχουν δώσει ικανοποιητικά αποτελέσματα με αυτές τις τιμές. Εάν η μέθοδος ΔΓΣ χρησιμοποιείται ως το μόνο κριτήριο, η δεύτερη τιμή πρέπει να χρησιμοποιηθεί. Η γενική διαδικασία σύγκρισης απεικονίζεται στο σχήμα 3.3.

3.3.1 Εύρεση ομοίων περιοχών

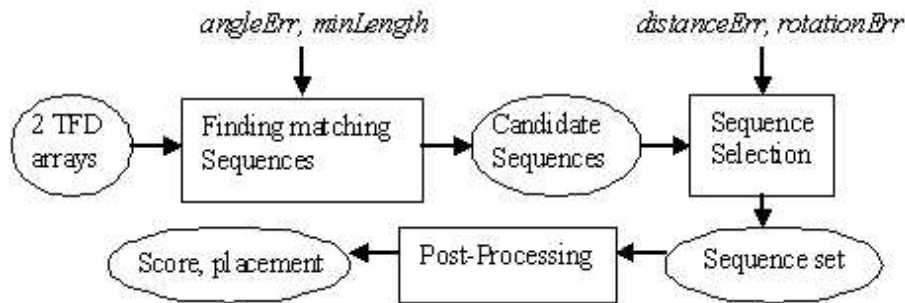
Αυτό το βήμα επιδιώκει να βρει αντιστοιχίσεις μεταξύ περιοχών που ανήκουν στα δύο σχήματα εισόδου. Τα πολύγωνα που συγκρίνονται μεταξύ τους δίνονται υπό μορφή δύο σειρών από πραγματικές τιμές ΔΓΣ ($A1, A2$), μεγέθους N . Πέρα από τις σειρές των ΔΓΣ, το βήμα αυτό δέχεται ως είσοδο μια πραγματική τιμή (angleErr), όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3), που δείχνει τη μέγιστη διαφορά μεταξύ αντίστοιχων τιμών της ΔΓΣ στις δύο σειρές, ώστε οι θέσεις αυτών των δύο τιμών να αντιστοιχίζονται επιτυχώς. Επιπλέον, δέχεται ως είσοδο το ελάχιστο πλήθος διαδοχικών αντιστοιχισμένων τιμών ΔΓΣ, minLength , που αποτελούν μια περιοχή προς αντιστοίχιση.

Μια επαναληπτική διαδικασία ελέγχου αρχίζει για κάθε ζευγάρι στοιχεί-

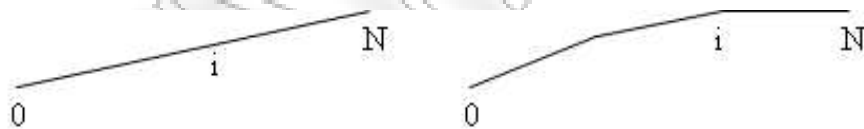
ων $(a1, a2)$, όπου $a1 \in A1$ και $a2 \in A2$, και ελέγχει τα $a1$ και $a2$ και τα στοιχεία που τα ακολουθούν, προκειμένου να εξετάσει εάν η (απόλυτη) απόσταση μεταξύ των αντίστοιχων στοιχείων των δύο σειρών είναι μικρότερη από την τιμή της $angleErr$. Η διαδικασία αυτή έχει υλοποιηθεί ώστε να δέχεται διαφορετικές συναρτήσεις ελέγχου των τιμών. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών μας έχουμε καταλήξει στο συμπέρασμα ότι υπάρχει μια πρόσθετη βελτίωση στην ακρίβεια εάν επίσης ελέγχουμε τη διαφορά των αθροισμάτων των τιμών ΔΓΣ (πάντα περιορισμένα μέσα στο $(\pi, \pi]$) να είναι κάτω από $angleErr$. Το σχήμα 3.4 αναπαριστά την βελτίωση που επιτυγχάνεται με την προσθήκη του ελέγχου αυτού στη συνολική διαδικασία ελέγχου των γωνιών. Εάν το μήκος μιας ακολουθίας ελέγχων είναι μεγαλύτερο ή ίσο με $minLength$, η ακολουθία θέτει υποψηφιότητα ως ακολουθία για αντιστοίχιση, που εκφράζεται υπό μορφή: $(start1, start2, length)$ όπου $start1, start2$ είναι αντίστοιχα οι αρχικές ακμές των περιοχών αντιστοίχισης και το $length$ είναι ο (ίδιος) αριθμός των ακμών σε κάθε περιοχή. Μια επιλογή $angleErr$ στο διάστημα $[0.4, 0.5]$ ακτινίων λειτουργεί αποτελεσματικά για οποιαδήποτε (αποδεκτή) ανάλυση N . Η επιλογή των τιμών της $minLength$ αναλύεται στην παρακάτω παράγραφο.

3.3.2 Επιλογή των τελικών αντιστοιχισμένων περιοχών

Αυτό το βήμα κατασκευάζει το τελικό σύνολο αντιστοιχισμένων περιοχών ($matchSet$) μεταξύ των δύο σχημάτων, το οποίο αποτελεί και το τελικό αποτέλεσμα της σύγκρισης. Το $matchSet$ είναι το μεγαλύτερο σύνολο (αθροιστικά) αντιστοιχισμένων περιοχών που είναι συμβατές ανά δύο. Δύο αντιστοιχισμένες περιοχές θεωρούνται συμβατές αν και μόνο αν επιβεβαιώνουν δύο ελέγχους που βασίζονται στην απόσταση και την περιστροφή μεταξύ τους. Αυτοί οι έλεγχοι εξηγούνται κατωτέρω και ορίζονται από τις παραμέτρους $distanceErr$ και $rotationErr$. Χάρην απλότητας, σε αυτήν την παράγραφο θα αναπαρι-



Σχήμα 3.3: Σύγκριση Σχημάτων με τη μέθοδο ΔΓΣ. Κάθε ένα από τα τρία μεμονωμένα βήματα είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να είναι ανεξάρτητο. Έτσι είναι δυνατό να συνδυαστούν διαφορετικές υλοποιήσεις των επιμέρους βημάτων, εφόσον αυτές ακολουθούν ένα σύνολο κανόνων και υλοποιούν συγκεκριμένες λειτουργίες που απαιτούνται.



Σχήμα 3.4: Εάν αυτές οι 2 καμπύλες συγκριθούν με την απλή διαδικασία ελέγχου γωνίας, θα θεωρηθούν παρόμοιες, δεδομένου ότι οι μεμονωμένες διαφορές για κάθε ζευγάρι ακμών είναι μικρές. Εντούτοις, συγκρίνοντας τα αθροίσματα των γωνιών (τις συνολικές αλλαγές γωνίας), καθώς η διαδικασία ελέγχου προχωρά προς τα εμπρός, η δοκιμή αποτυγχάνει στις ακμές i . Είναι αποδεκτό ότι τα μέρη $0 - i$ των καμπυλών είναι παρόμοια, αλλά αυτό δεν έχει ισχύ στις καμπύλες $0 - N$.

στούμε τις αντιστοιχισμένες περιοχές ως $X - Y$, όπου το X είναι μια περιοχή ενός σχήματος, η οποία είναι παρόμοια με μια περιοχή Y , ενός άλλου σχήματος. Ένα παράδειγμα παρέχεται για κάθε έλεγχο με σκοπό να βοηθήσει τους αναγνώστες.

Η πρώτη δοκιμή συμβατότητας είναι αυτή της απόστασης. Για τη διαδικασία σύγκρισης, δύο ακολουθίες αντιστοίχισης πρέπει να βρίσκονται σε λογικές αποστάσεις ως προς τις ακμές των σχημάτων στις οποίες αντιστοιχούν ($distanceErr$). Δύο περιοχές σε ένα πολύγωνο που βρίσκονται *κοντά* μεταξύ τους δεν θα μπορούσαν να αντιστοιχηθούν, με τη σειρά τους, σε δύο άλλες περιοχές ενός άλλου πολυγώνου οι οποίες είναι αρκετά *μακριά* μεταξύ τους πάνω σε εκείνο το πολύγωνο. Ας εξετάσουμε την περίπτωση του σχήματος 3.7, όπου η ακολουθία αντιστοίχισης $A1-B1$, που αποτελείται από τις περιοχές $A1$ και $B1$, ελέγχεται για τη συμβατότητα της με την $A2-B2$, η οποία αποτελείται από τις περιοχές $A2$ και $B2$. Έστω X_s (ή X_e) η πρώτη (τελευταία) κορυφή της περιοχής X , σε μια δεξιόστροφη διάσχιση των κορυφών του πολυγώνου που ανήκει η X . Η απόσταση μεταξύ κορυφών (π.χ. μεταξύ $A1_e$ και $A2_s$) μετριέται σε αριθμό κορυφών (στο επιλεγέν πολύγωνο, όπου οι κορυφές έχουν ίσες αποστάσεις -κατά την διάσχιση - μεταξύ τους). Το μήκος της δεξιόστροφης διάσχισης του πολυγώνου από την κορυφή X ως την κορυφή Y θα αναπαριστάται ως $x - > y$. Για να είναι η $A1 - B1$ συμβατή με την $A2 - B2$, η απόλυτη διαφορά μεταξύ των μηκών $A1_e - > A2_s$ και $B1_e - > B2_s$ πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση με $distanceErr$. Αυτός ο κανόνας πρέπει επίσης να ισχύει για τα $A2_e - > A1_s$ και $B2_e - > B1_s$. Για συντομία, οι κανόνες αυτοί εκφράζονται στο σχήμα 3.5.

Στην περίπτωση του σχήματος 3.7, οι ανωτέρω κανόνες δε μπορεί να εφαρμοστούν στη σχέση των $A1 - B1$ με $A2 - B2$. Εάν κάποιος μετρήσει την απόσταση $A1_e - > A2_s$, αυτή θα ήταν πολύ μεγαλύτερη από την απόσταση

$B1_e - > B2_s$. Κατά συνέπεια η ακολουθία αντιστοίχισης $A1 - B1$ δεν είναι συμβατή με την $A2 - B2$. Εντούτοις η απόσταση $C1_e - > C2_s$ είναι σχεδόν ίση με την απόσταση $A1_e - > A2_s$ και η απόσταση $C2_e - > C1_s$ είναι σχεδόν ίση με την απόσταση $A2_e - > A1_s$. Αυτό σημαίνει ότι η ακολουθία αντιστοίχισης $A1 - C1$ είναι συμβατή με την $A2 - C2$, σύμφωνα με τον έλεγχο απόστασης.

Ο δεύτερος έλεγχος συμβατότητας είναι ο έλεγχος περιστροφής και εξαρτάται από την παράμετρο *rotationErr*. Δύο περιοχές σε ένα πολύγωνο που είναι ομοίως προσανατολισμένες δε θα μπορούσαν να αντιστοιχηθούν, με τη σειρά τους, σε δύο άλλες περιοχές ενός άλλου πολυγώνου οι οποίες δεν είναι ομοίως προσανατολισμένες. Για να καθορίσουμε το σχετικό προσανατολισμό πρέπει αρχικά να ορίσουμε την αλλαγή του προσανατολισμού μεταξύ δύο κορυφών. Η αλλαγή του προσανατολισμού μεταξύ των κορυφών X, Y (του ίδιου πολυγώνου), είναι το άθροισμα των τιμών $\Delta\Gamma\Sigma$ που συναντούμε σε μια δεξιόστροφη διάσχιση των κορυφών του πολυγώνου από την κορυφή X στην κορυφή Y . Έστω $Rot(X, Y)$ η αλλαγή προσανατολισμού μεταξύ των κορυφών X, Y . Χρησιμοποιώντας τον ίδιο συμβολισμό όπως στον έλεγχο απόστασης, δύο περιοχές $(A1, A2)$ του πολυγώνου A είναι ομοίως προσανατολισμένες (αντίστοιχα) σε δύο περιοχές του πολυγώνου B , $(B1, B2)$ εφόσον ισχύουν οι σχέσεις του σχήματος 3.6.

Στην περίπτωση του σχήματος 3.7, αυτοί οι κανόνες δεν μπορεί να εφαρμοστούν στη σχέση των αντιστοιχισμένων περιοχών $A1 - B1$ και $A2 - B2$. Η $Rot(A1_e, A2_s)$ είναι σχεδόν μηδέν, ενώ η $Rot(B1_e, B2_s)$ είναι σχεδόν 90 μοίρες. Μια εύλογα καθορισμένη τιμή για τη μεταβλητή *rotationErr* οδηγεί τον ανωτέρω κανόνα σε αποτυχία. Εντούτοις η σχέση μεταξύ $A1 - C1$ και $A2 - C2$ ακολουθεί τον κανόνα. Κατά συνέπεια, αυτή η σχέση επιβεβαιώνει τον έλεγχο περιστροφής.

Τα γενικά αποτελέσματα για το σχήμα 3.7 είναι ότι η $A1 - B1$ δεν είναι συμβατή με την $A2 - B2$, ενώ η $A1 - C1$ είναι συμβατή με την $A2 - C2$. Κατά συνέπεια, στον τέλος της σύγκρισης των σχημάτων A και B , το τελικό σύνολο αντιστοιχισμένων περιοχών, *matchSet*, περιέχει μόνο την $A1 - B1$ (δεδομένου ότι καλύπτει μεγαλύτερο μήκος από την $A2 - B2$ και οι δυο τους είναι ασύμβατες). Εντούτοις όταν το A συγκρίνεται με το C , το τελικό *matchSet* περιέχει και την $A1 - C1$ και την $A2 - C2$. Αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερη ομοιότητα (οι όμοιες περιοχές καλύπτουν μεγαλύτερο μέρος των αρχικών σχημάτων) μεταξύ των A και C από τι μεταξύ των A και B .

Μια τιμή 0.4 ακτινίων για την μεταβλητή *rotationErr* είναι πάντα καλή για οποιοδήποτε ανάλυση N , δεδομένου ότι θέλουμε το κριτήριο της περιστροφής να έχει κάποιο βαθμό ανεκτικότητας. Μια αποδεδειγμένη καλή επιλογή *distanceErr* είναι $(1/10)N$, αλλά πρέπει να επιλέγεται *distanceErr* πάντα μεγαλύτερο του 1, ώστε να είναι ανεκτές τυχόν μικρές περιοχές θορύβου που αυξάνουν ή μειώνουν τοπικά το μήκος του πολυγώνου (κατά τη διαδικασία δειγματοληψίας). Η δύναμη της τεχνικής ΔΓΣ προέρχεται από την προσαρμοστικότητά της: εάν μια μεγαλύτερη ακολουθία αντιστοίχισης δε γίνεται αποδεκτή λόγω μικρών θορυβωδών περιοχών (ή λόγω λαθών στη μέτρηση του σχήματος που προκαλούνται από τη διαδικασία δειγματοληψίας), δύο ή περισσότερες υποψήφιας ακολουθίες αντιστοίχισης θα δημιουργηθούν και μπορεί να επιλεγθούν στο τελικό *matchSet*. Αυτή η ικανότητα απεικονίζει την ειδάλλως μη ανιχνεύσιμη (αλλά πιθανώς προφανή σε έναν άνθρωπο) μερική ομοιότητα των μεγαλύτερων περιοχών. Η τιμή της *minLength* που χρησιμοποιείται στο προηγούμενο βήμα, εκτός από το να αποκλείει ενδεχομένως *τυχαίες* αντιστοιχίσεις, αποτελεί βασικό συστατικό για την απόδοση αυτού του βήματος, δεδομένου ότι παράγονται λιγότερες αντιστοιχισμένες περιοχές προς εξέταση. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, επιλέγουμε μια τιμή

$$|(A1_e - > A2_s) - (B1_e - > B2_s)| \leq distanceErr$$

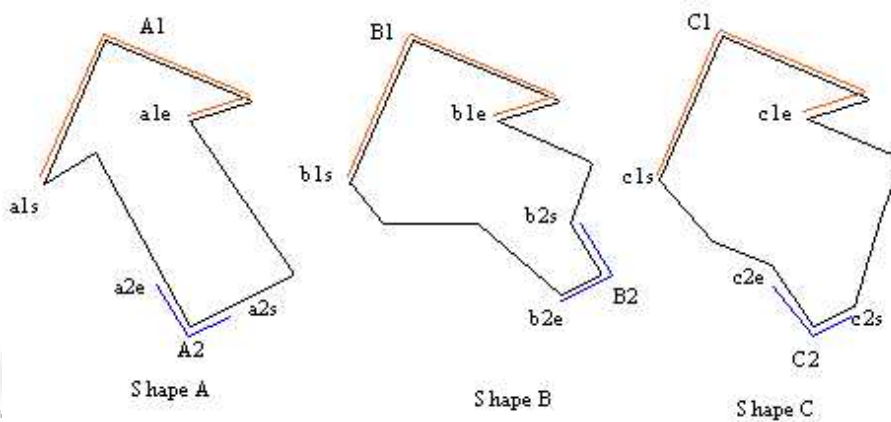
$$(A2_e - > A1_s) - (B2_e - > B1_s)| \leq distanceErr$$

Σχήμα 3.5: Κανόνες για τον έλεγχο συμβατότητας απόστασης.

$$AngleCheck(Rot(A1_e, A2_s) - Rot(B1_e, B2_s)) \leq rotationErr$$

$$AngleCheck(Rot(A2_e, A1_s) - Rot(B2_e, B1_s)) \leq rotationErr$$

Σχήμα 3.6: Κανόνες για τον έλεγχο συμβατότητας περιστροφής. Η συνάρτηση $AngleCheck()$ περιορίζει μια οποιαδήποτε τιμή γωνίας στο $[0, \pi]$, αρχικά ανάγοντάς την στο $[-\pi, \pi]$ και έπειτα αφαιρώντας το πρόσημο.



Σχήμα 3.7: Παράδειγμα που δείχνει την εφαρμογή των κανόνων συμβατότητας μεταξύ των ακολουθιών αντιστοίχησης. Η $A1 - C1$ είναι συμβατή με την $A2 - C2$, ενώ η $A1 - B1$ δεν είναι συμβατή με την $A2 - B2$. Κατά συνέπεια, η μέθοδος ΔΓΣ διαπιστώνει ότι τα A και C μοιάζουν περισσότερο από τι τα A και B . Θεωρούμε ότι μόνο οι σημειωμένες ακολουθίες αντιστοίχησης είχαν ανιχνευθεί.

της $minLength$ κοντά στο $(1/8)N$. Μια τέτοια τιμή για την $minLength$ περιορίζει επίσης το πλήθος των αντιστοιχισμένων περιοχών στο τελικό σύνολο ($matchSet$).

Μετά την παραγωγή του τελικού $matchSet$, ο βαθμός ομοιότητας μπορεί να υπολογιστεί ως το άθροισμα των μηκών των αντιστοιχισμένων περιοχών δια του ελάχιστου μήκους των δύο σχημάτων εισόδου (σε περίπτωση που οι περιμέτροι των σχημάτων δεν είναι ίσες). Επομένως ο υπολογισμός της ομοιότητας σχημάτων ως προς ένα σχήμα αναζήτησης είναι πιο αξιόπιστος όταν όλα τα σχήματα τα οποία συγκρίνονται με αυτό έχουν την ίδια περίμετρο. Αυτό ισχύει όταν όλα τα σχήματα που χρησιμοποιούνται στην ΤΣΣ ΔΓΣ υφίστανται δειγματοληψία με την ίδια ανάλυση N .

3.4 Ανάλυση των αλγοριθμικών ιδιοτήτων της τεχνικής ΔΓΣ.

3.4.1 Γενικές ιδιότητες

Η ΤΣΣ που περιγράφεται έχει διάφορες επιθυμητές ιδιότητες. Είναι ανεξάρτητη περιστροφής, εξ ορισμού του ίδιου του μέτρου, καθώς κάθε ΔΓΣ ορίζεται ως γωνία προσανατολισμού μιας ακμής σε σχέση με την προηγούμενη ακμή, άρα δεν χρειάζεται σταθερό σημείο αναφοράς. Εύλογο είναι ότι ο αλγόριθμος είναι επίσης ανεξάρτητος μετατόπισης, καθώς οι πληροφορίες που σχετίζονται με τη μετατόπιση δεν περιλαμβάνονται στην κατασκευή της σειράς ΔΓΣ ενός σχήματος.

Όπως αναφέρεται στην προηγούμενη παράγραφο, η ΤΣΣ ΔΓΣ είναι σε θέση να αναγνωρίζει τη μερική ομοιότητα δύο μεγάλων περιοχών διαφορετικών σχημάτων δια του εντοπισμού περισσότερων και μικρότερων υποπεριοχών

τους που είναι πραγματικά όμοιες. Με τη χρήση ενός δοκιμασμένου και περιορισμένου βαθμού ανεκτικότητας (λάθους) στους ελέγχους της απόστασης και της περιστροφής, είναι δυνατόν να απορριφθούν άμεσα οι μικρότερες περιοχές που δεν είναι όμοιες. Αυτό επιτρέπει έναν αποτελεσματικό υπολογισμό του βαθμού ομοιότητας με ανθεκτικότητα στο θόρυβο που εισάγεται είτε από την αρχική εξαγωγή των σχημάτων είτε από τη διαδικασία δειγματοληψίας.

Η αρχική διαδικασία εξομάλυνσης του σχήματος (παρ. 3.2) είναι απαραίτητη πριν τη διαδικασία δειγματοληψίας, δεδομένου ότι εξασφαλίζει την έλλειψη υπερβολικού θορύβου σε μεμονωμένα σχήματα. Το μήκος στην μέθοδο ΔΓΣ αναπαρίσταται από το πλήθος των τιμών ΔΓΣ. Χωρίς την εξομάλυνση του θορύβου, μερικοί τομείς ενός σχήματος που περιέχουν πολλές αλλαγές κατεύθυνσης θα μπορούσαν να θεωρηθούν από την μέθοδο ΔΓΣ μεγαλύτεροι από ό,τι είναι πραγματικά, καθιστώντας τη μέθοδο αναξιόπιστη.

Η επιλογή της ανάλυσης της δειγματοληψίας (N) είναι αρκετά απλή. Όταν αυξάνεται η N , αυξάνεται και ο βαθμός λεπτομέρειας του σχήματος που αντικατοπτρίζεται στο αποτέλεσμα της δειγματοληψίας, οδηγώντας ενδεχομένως σε πιο λεπτομερή αποτελέσματα. Εντούτοις, εάν το N είναι πολύ μεγάλο, εισάγεται και θόρυβος που μπορεί να αλλάξει το μέγεθος και τις τιμές μιας σειράς ΔΓΣ σημαντικά. Οι πειραματικές δοκιμές αποδεικνύουν ότι είναι καλύτερο να θυσιάσουν κάποιες λεπτομέρειες χάριν μεγαλύτερης αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων. Εντούτοις, εάν η λεπτομέρεια αποτελεί προτεραιότητα σε μια εφαρμογή (που προϋποθέτει ότι τα αρχικά δείγματα είναι ακριβή και δεν απαιτούν μεγάλη εξομάλυνση), είναι δυνατό να μειωθεί το πλάτος της Γκαουσιανής μήτρας συνέλιξής και να αυξηθεί η ανάλυση της δειγματοληψίας. Προτείνεται για τις άλλες παραμέτρους να χρησιμοποιούνται οι τιμές που δίνονται (ή έστω με μικρές αλλαγές). Η διαδικασία επιλογής περιοχών λειτουργεί πάλι αντισταθμιστικά στον εισαγόμενο θόρυβο. Το απο-

τέλεσμα της σύγκρισης θα είναι ακριβέστερο, αν και πιο απαιτητικό, καθώς οι πολυπλοκότητες όλων των βημάτων εξαρτώνται από το N .

3.4.2 Ανεξαρτησία από την κλίμακα του σχήματος

Η ανεξαρτησία από την κλίμακα επιτυγχάνεται εύκολα στην περίπτωση σύγκρισης ολόκληρων σχημάτων, η οποία περιγράφηκε λεπτομερώς ανωτέρω. Με τη δειγματοληψία όλων των μορφών στην ίδια ανάλυση (αφότου τα τυχόν μεγάλα ποσά θορύβου έχουν αφαιρεθεί με τη διαδικασία εξομάλυνσης), οι μορφές είναι ίσες ως προς το μήκος των περιγραμμάτων τους. Βέβαια, είναι λογικό ότι, παρά το γεγονός ότι κάποιο ποσοστό θορύβου έχει αφαιρεθεί, ακόμα υπάρχει αρκετός θόρυβος ώστε να έχει επιπτώσεις και στον αριθμό τιμών ΔΓΣ που δημιουργούνται από μια περιοχή του αρχικού σχήματος και στις ίδιες τις τιμές ΔΓΣ. Εντούτοις, η τεχνική ΔΓΣ μπορεί να χειριστεί αυτό το θόρυβο, δεδομένου ότι μπορεί να απορρίψει μια αρχική μεγάλη ακολουθία αντιστοίχισης και να επιλέξει δύο ή περισσότερα ζευγάρια μικρότερων ακολουθιών που έχουν πραγματικά παρόμοια στοιχεία. Για να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα, είναι αναγκαία η προσεκτική επιλογή των τιμών ευαισθησίας που επιλέγονται για τα σφάλματα στους ελέγχους απόστασης και περιστροφής. Το παρόν κεφάλαιο περιέχει τις ενδεικτικές τιμές για όλες τις παραμέτρους της μεθόδου ΔΓΣ.

Η ανεξαρτησία από την κλίμακα μπορεί να εξομοιωθεί στην περίπτωση της συγκρίσεως μερικών σχημάτων, δηλαδή στην περίπτωση όπου τουλάχιστον ένα από τα αρχικά σχήματα δεν είναι κλειστό. Η δυνατότητα μιας τέτοιας σύγκρισης είναι ζωτικής σημασίας σε περιπτώσεις όπου τα αντικείμενα επικαλύπτονται σε μια σκηνή ή σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση δεν είναι διαθέσιμο ολόκληρο το σχήμα. Στο [2] παρουσιάζεται μια εφαρμογή που στηρίζεται στη μερική σύγκριση σχημάτων με τη ΔΓΣ, για την ανάκτηση

σχημάτων, από Βάση Δεδομένων, που μοιάζουν με σχέδια του χρήστη επί της οθόνης. Τα βασικά χαρακτηριστικά της ΤΣΣ ΔΓΣ παραμένουν αναλλοίωτα. Το ένα από τα σχήματα που χρησιμοποιεί η ΤΣΣ βρίσκεται στη Β.Δ. και έχει υποστεί δειγματοληψία με μια προκαθορισμένη ανάλυση. Το μόνο που μένει να καθοριστεί σε αυτήν την περίπτωση είναι η ανάλυση δειγματοληψίας του δεύτερου σχήματος (του σχήματος ερώτησης από τον χρήστη).

Η ΤΣΣ ΔΓΣ εκτιμά το μήκος των σχημάτων με βάση τον αριθμό των κορυφών των επεξεργασμένων σχημάτων. Επομένως, αν όλα τα σχήματα στη Β.Δ. έχουν υποστεί δειγματοληψία με μια ανάλυση N , τότε μια ανοιχτή καμπύλη, η οποία υποτίθεται ότι αντιστοιχεί σε ένα ποσοστό a της περιφέρειας του κλειστού σχήματος στο οποίο ανήκει, πρέπει να υποστεί δειγματοληψία με ανάλυση aN , καθώς θεωρούμε ότι όλα τα κλειστά σχήματα είναι ίσα σε μήκος. Αν περιορίσουμε το βαθμό κάλυψης του κλειστού σχήματος από το ανοιχτό μεταξύ δυο ορίων, μπορούμε να παράγουμε έναν αριθμό αυξανόμενων αναλύσεων μέσα σε αυτά τα όρια και να παράγουμε ισάριθμες περιγραφές ΔΓΣ των σχημάτων που προκύπτουν δειγματοληπτικά με αυτές τις αναλύσεις. Αυτές οι περιγραφές χρησιμοποιούνται ύστερα στην αναζήτηση στη Β.Δ. Η μέθοδος ΔΓΣ θα αντιμετωπίσει τον θόρυβο που προκαλείται από τη διαδικασία δειγματοληψίας, χάρη στην ικανότητά της να αναγνωρίζει τις μερικές ομοιότητες μεγάλων περιοχών των σχημάτων. Αφότου η ανάκτηση σχημάτων με όλες τις περιγραφές τελειώσει, επιλέγονται τα αποτελέσματα με το μεγαλύτερο βαθμό ομοιότητας.

3.4.3 Αναλυσιμότητα σε υποδιαδικασίες

Μια σημαντική ιδιότητα της ΤΣΣ ΔΓΣ είναι ότι αναλύεται σε ανεξάρτητες υποδιαδικασίες. Τα σχήματα εισάγονται σε μορφή συντεταγμένων διαδοχικών κορυφών. Η μετατροπή σε τιμές ΔΓΣ, μετά τη διαδικασία δειγματοληψίας,

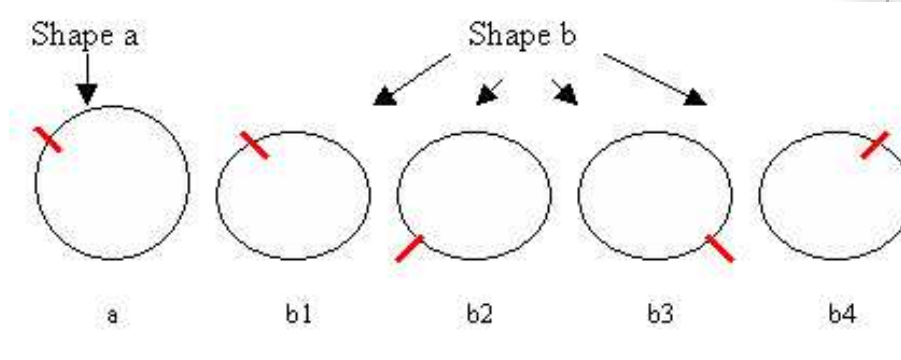
απλώς αφαιρεί τις πληροφορίες που αφορούν τη θέση, την κλίμακα και την περιστροφή του σχήματος. Επομένως, αν και τα δεδομένα μορφοποιούνται ώστε να είναι πιο εύκολα εκμεταλλεύσιμα από τη μέθοδο ΔΓΣ, η ίδια η μορφή του σχήματος δε χάνεται, επιτρέποντας την εισαγωγή επιπλέον διαδικασιών ελέγχου. Όπως φάνηκε στην παρ. 3.3, η εισαγωγή του ελέγχου περιστροφής στο βήμα Εύρεσης Ομοίων περιοχών (παρ. 3.3.1) βελτίωσε την αξιοπιστία της μεθόδου. Επιπλέον, οι δύο έλεγχοι του βήματος Επιλογής Ομοίων Σχημάτων είναι ανεξάρτητοι. Έτσι, μπορεί να αφαιρεθεί ένας από τους δύο ή/και να προστεθεί ένας καινούργιος έλεγχος. Η δυνατότητα αυτή επέτρεψε τη δοκιμή διαφορετικών συνδυασμών ελέγχων πριν την κατάληξη σε αυτούς τους δύο ελέγχους. Τα παραπάνω καταδεικνύουν την δυνατότητα επέκτασης και παραμετροποίησης της μεθόδου, μια δυνατότητα που προέρχεται από το διαχωρισμό της μεθόδου σε ανεξάρτητα και καλά ορισμένα βήματα.

3.4.4 Πολυπλοκότητα και Ταχύτητα Εκτέλεσης

Η τεχνική ΔΓΣ είναι από τις πιο γρήγορες ΤΣΣ τοπικού χαρακτήρα. Θεωρητικά έχει πολυπλοκότητα της τάξης του $O(N^4)$, αλλά η ενδεικτική πολυπλοκότητά του είναι πολύ χαμηλότερη. Καθώς η N έχει σταθερή τιμή, η μέγιστη διάρκεια εκτέλεσης της μεθόδου μπορεί να υπολογιστεί για ένα προκαθορισμένο, παραμετροποιημένο σύστημα. Κατά συνέπεια, ο αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί αξιόπιστα σε εφαρμογές πραγματικού χρόνου. Η πολυπλοκότητα της διαδικασίας δειγματοληψίας (παρ. 3.2) είναι $O(N)$, αλλά χρόνος εκτέλεσης της δεν πρέπει να θεωρηθεί μέρος της διαδικασίας Σύγκρισης Σχημάτων, καθώς συνήθως εκτελείται ανεξάρτητα και πριν από την διαδικασία σύγκρισης. Η διαδικασία Εύρεσης Όμοιων Περιοχών (παρ. 3.3.1) έχει μια θεωρητική πολυπλοκότητα της τάξης $O(N^3)$, καθώς σε κάθε τιμή ΔΓΣ του πρώτου σχήματος και κάθε τιμή ΔΓΣ του δεύτερου σχήματος ξεκινά μια δια-

δικασία η οποία αποτελείται από N βήματα πολυπλοκότητας $O(c)$ (σύγκριση και έλεγχος μεταξύ δύο αντίστοιχων τιμών ΔΓΣ), όπου c σταθερά. Αλλά για να καλυφτεί αυτό το μέγιστο, πρέπει κάθε γωνία του πρώτου σχήματος να είναι ίση με κάθε γωνία του δεύτερου σχήματος και όλες ίσες μεταξύ τους. Αυτή η περίπτωση συναντάται μόνο όταν συγκρίνονται δύο κύκλοι, και για την αντιμετώπισή της έχει εισαχθεί ειδικός έλεγχος: Απλώς, όταν μια αντιστοιχισμένη περιοχή καλύπτει ένα μεγάλο ποσοστό ($\approx 90\%$) κάθε σχήματος, τα σχήματα θεωρούνται αμέσως όμοια και η διαδικασία σύγκρισης τελειώνει επιστρέφοντας μόνο αυτήν την αντιστοιχισμένη περιοχή στο *matchSet*, με αποτέλεσμα αυτή η περίπτωση να αποτελεί τη γρηγορότερη περίπτωση σύγκρισης σχημάτων. Το σχήμα 3.8 απεικονίζει και εξηγεί την περίπτωση σύγκρισης δύο κυκλικών σχημάτων.

Το τελευταίο βήμα της σύγκρισης, η Επιλογή Ομοίων Περιοχών, είναι -θεωρητικά τουλάχιστον- το πιο αργό. Καθώς μια αντιστοιχισμένη περιοχή μπορεί να ξεκινήσει από οποιοδήποτε ζευγάρι τιμών ΔΓΣ, ο μέγιστος αριθμός τέτοιων ακολουθιών είναι N^2 , αν κάθε σχήμα έχει ανάλυση N . Όμως, λόγω της παραπάνω τεχνικής βελτιστοποίησης, ο μέγιστος αριθμός αντιστοιχισμένων περιοχών είναι αρκετά μικρότερος και θα αναπαρίσταται από εδώ και στο εξής με M . Επιλέγοντας για το *minLength* μια τιμή ίση με $N/8$ το M περιορίζεται, καθώς αποκλείονται όλες οι μικρές αντιστοιχισμένες περιοχές και βελτιώνεται σημαντικά η μέση ταχύτητα της συνολικής διαδικασίας. Σε αυτό το βήμα ελέγχεται κάθε δυνατός συνδυασμός των ακολουθιών που προκύπτουν από το προηγούμενο βήμα, κάτι που σε πρώτη ανάγνωση οδηγεί σε τεράστια πολυπλοκότητα (2^M). Είναι δυνατόν όμως να διαχωρίσουμε το βήμα αυτό σε δύο σκέλη. Το πρώτο σκέλος έχει θεωρητικά πολυπλοκότητα (M^2) ενώ το δεύτερο (2^M). Θα αποδειχτεί ότι το δεύτερο σκέλος πρακτικά έχει πολυπλοκότητα μικρότερη από 2^M και είναι σε κάθε περίπτωση γρηγορότερο



Σχήμα 3.8: Το σχήμα a συγκρίνεται με το σχήμα b . Και τα δύο σχήματα είναι κυκλικά. Καθώς και τα δυο σχήματα διατρέχουν 360 μοίρες και έχουν υποστεί δειγματοληψία (και τα δύο) με ανάλυση N , κάθε τιμή $\Delta\Gamma\Sigma$ της περιγραφής τους είναι ίση με $360/N$ μοίρες. Αυτό σημαίνει πως μια διαδικασία αντιστοίχισης που ξεκινά από την κορυφή του a με την κόκκινη γραμμή μπορεί να ξεκινά στο σχήμα b από μια τις κορυφές $b1, b2, b3$ ή $b4$ ή οποιαδήποτε άλλη από τις κορυφές του σχήματος b . Το ίδιο μάλιστα ισχύει για οποιαδήποτε κορυφή του a . Το αποτέλεσμα της Εύρεσης Ομοίων Περιοχών θα ήταν N αντιστοιχιζόμενες περιοχές για κάθε μια από τις κορυφές του a , άρα N^2 αντιστοιχιζόμενες περιοχές συνολικά. Όμως, την πρώτη φορά που ανιχνεύεται μια αντιστοιχιζόμενη περιοχή, όπως αυτή που ξεκινά από τα a και $b1$, η οποία καλύπτει όλο (ή σχεδόν όλο) το μήκος των δύο σχημάτων, η διαδικασία σύγκρισης τελειώνει με μόνο αυτήν την ακολουθία εξαγόμενη (οι υπόλοιπες ακολουθίες είναι παρόμοιες, καθώς τα σχήματα είναι κυκλικά). Ο έλεγχος αυτός καλύπτει και την περίπτωση της σύγκρισης ακριβώς όμοιων σχημάτων, αφού όταν μια αντιστοιχιζόμενη περιοχή καλύπτει μεγάλο μέρος των δύο σχημάτων, η διαδικασία τελειώνει με τον ίδιο τρόπο.

από το πρώτο. Επομένως, η πολυπλοκότητα που μας ενδιαφέρει θα είναι M^2 .

Το πρώτο σκέλος της διαδικασίας επιλογής περιοχών είναι η κατασκευή ενός Πίνακα Συμβατότητας (ΠΣ). Ο Π.Σ. αποτελείται από ένα δισδιάστατο πίνακα, έστω C , όπου $C_{i,j}$, με $i, j \in [0, M)$, αληθές αν και μόνο αν η αντιστοιχισμένη περιοχή i είναι συμβατή με την περιοχή j . Η συμβατότητα ορίζεται όπως στην παρ. 3.3.2. Η πολυπλοκότητα του πρώτου σκέλους είναι $O(M^2)$, η οποία θεωρητικά είναι ίση με $O(N^4)$, αλλά είναι στην πραγματικότητα αρκετά μικρότερη, όπως θα φανεί παρακάτω. Το δεύτερο βήμα αφορά στην εύρεση του καλύτερου δυνατού συνδυασμού συμβατών αντιστοιχισμένων περιοχών. Ενώ η πολυπλοκότητα του δεύτερου σκέλους παραμένει η ίδια, η εκτέλεσή του είναι πολύ γρηγορότερη με τη χρήση του Π.Σ., καθώς δεν ελέγχεται η συμβατότητα κατά τη δημιουργία των συνδυασμών.

Σε πρώτη ανάγνωση, η πολυπλοκότητα του δεύτερου βήματος θα έπρεπε να είναι 2^{M-1} . Όμως δεν υπάρχει καμιά περίπτωση χρήσης που να πλησιάζει αυτήν την πολυπλοκότητα. Πρακτικά, η πολυπλοκότητα του αλγόριθμου εύρεσης του καλύτερου συνδυασμού εξαρτάται από τον αριθμό των αληθών στοιχείων στον Π.Σ. Όμως είναι αδύνατο να δημιουργηθούν $2N$ συμβατές αντιστοιχισμένες περιοχές. Μάλιστα, το μέγιστος πλήθος συμβατών ανά δύο ακολουθιών είναι μικρότερο του N . Για να δημιουργηθεί ένα σύνολο N συμβατών ανά δύο μεταξύ τους ακολουθιών, όλες οι ακολουθίες στο σύνολο αυτό πρέπει να έχουν μήκος 1 και να ακολουθούν η μία την άλλη, κάτι που είναι αδύνατο από τον ορισμό του αλγόριθμου Εύρεσης Περιοχών. Έστω R το μέγιστο πλήθος στοιχείων ενός συνόλου συμβατών αντιστοιχισμένων περιοχών (υποψήφιο *match.Set*), με τη χρήση ανάλυσης N , ενός αριθμού υποψηφίων περιοχών ομοιότητας (αντιστοιχισμένων περιοχών) M και ένα προκαθορισμένο σύνολο παραμέτρων της μεθόδου ΔΓΣ. Η πολυπλοκότητα T ορίζεται στην εξίσωση 3.1:

$$T = \sum_1^R \binom{M}{i} \quad (3.1)$$

Πολυπλοκότητα εύρεσης του καλύτερου συνδυασμού για *matchSet*.

Από την εξίσωση 3.1 προκύπτει ότι αν $R < M$, η πολυπλοκότητα μειώνεται. Ισχύει ήδη ότι $R < N$, αλλά η μέθοδος ΔΓΣ επιβάλλει και άλλους περιορισμούς στα M και R . Καταρχήν, η τιμή της *minLength* θέτει στο R ένα άνω όριο ίσο με $N/\text{minLength}$. Για παράδειγμα, θέτοντας $\text{minLength} = N/8$, το R περιορίζεται στο $[0, 7]$ (καθώς οι ακολουθίες δεν μπορούν να ακολουθούν η μια την άλλη). Επιπλέον, ισχύει ότι $M < N^2/4$, καθώς ο μέγιστος αριθμός ακολουθιών που ξεκινούν από μια κορυφή είναι $N/2$. Το παραπάνω οφείλεται στη διαδικασία Εύρεσης Περιοχών, καθώς μια ακολουθία αντιστοίχισης δε μπορεί να ξεκινά από μια κορυφή που ακολουθεί κορυφή που περιέχεται ήδη σε ακολουθία αντιστοίχισης η οποία δημιουργήθηκε στην τρέχουσα διάσχιση του σχήματος. Επομένως μια σύγκριση σχημάτων με $\text{minLength} = N/8$ δεν αγγίζει την πολυπλοκότητα του σχήματος 3.1. Κάποιοι επιπλέον έλεγχοι βελτιστοποίησης, όπως αυτός που ελέγχει για ακριβώς όμοια σχήματα, ($\geq 90\%$ ομοιότητα), αποτρέπει αυτήν την κλιμάκωση στο πλήθος των πιθανών συνδυασμών. Επομένως, η παρακάτω εξίσωση:

$$T = \sum_1^7 \binom{N^2/4}{i} \quad (3.2)$$

υπολογίζει την θεωρητική πολυπλοκότητα σύγκρισης δύο σχημάτων, όταν $\text{minLength} = N/8$.

Η υλοποίηση της μεθόδου εύρεσης των πιθανών συνδυασμών για το *matchSet* στηρίζεται σε μια ειδική στοίβα εκτέλεσης η οποία διατηρεί, για λόγους βελτιστοποίησης, τα ενδιάμεσα αποτελέσματα των συνδυασμών. Με τη χρήση

αυτής της σοίβας επιτυγχάνουμε την αξιοποίηση των παραπάνω περιορισμών για το R . Πρακτικά, η εύρεση του βέλτιστου συνδυασμού δεν είναι το πιο χρονοβόρο βήμα της μεθόδου, καθώς οι δυνατές τιμές του N είναι τόσο περιορισμένες που κάνουν την εκτέλεση του βήματος αυτού γρηγορότερη από την εκτέλεση των M^2 ελέγχων συμβατότητας του προηγούμενου βήματος. Για το N έχουν χρησιμοποιηθεί τιμές στο διάστημα [16, 256]. Σε όλες τις περιπτώσεις, η δημιουργία του τελικού συνόλου ακολουθιών αντιστοίχισης, *matchSet*, ήταν πιο αργή από τη δημιουργία του αντίστοιχου Πίνακα Συμβατότητας. Είναι απίθανο να χρησιμοποιηθούν τιμές μεγαλύτερες του 256 για την ανάλυση, τουλάχιστον όσον αφορά την ολική σύγκριση σχημάτων. Αν τα σχήματα δεν είναι αρκετά λεπτομερή, μια υπερβολικά μεγάλη ανάλυση μάλλον θα αναπαράγει περισσότερο θόρυβο από το ανεκτό, με αποτέλεσμα να μη βελτιώνεται η ποιότητα της αντιστοίχισης ανάλογα με την ανάλυση.

Η ολική πολυπλοκότητα του αλγόριθμου ΔΓΣ μπορεί να υπολογιστεί επακριβώς όταν χρησιμοποιείται μια προκαθορισμένη ανάλυση για όλα τα σχήματα. Από τις δοκιμές όμως προκύπτει ότι για το συνηθισμένο πεδίο τιμών ανάλυσης (≤ 256) το πιο απαιτητικό βήμα είναι η δημιουργία του Π.Σ., το οποίο έχει πολυπλοκότητα $O(M^2)$, η οποία πολυπλοκότητα είναι μικρότερη από $N^2/4$. Η μέγιστη διάρκεια εκτέλεσης για μια σύγκριση μεταξύ δύο σχημάτων βρίσκεται αθροίζοντας την διάρκεια εκτέλεσης των επιμέρους βημάτων. Εκτελώντας τη ΔΓΣ σε ένα σύστημα με Pentium 3 με συχνότητα 1GHz, είναι δυνατή η σύγκριση 1500 σχημάτων ανά δευτερόλεπτο, όταν χρησιμοποιείται μια ανάλυση ίση με 64 (χωρίς την φάση της προεπεξεργασίας 3.2). Αυτός ο χρόνος περιλαμβάνει όλες τις διαδικασίες που ενεργοποιούνται από την στιγμή που ο χρήστης του συστήματος δοκιμής θέτει το ερώτημα στην μηχανή αναζήτησης μέχρι την στιγμή που τα αποτελέσματα επιστρέφονται (βλ. παρ. 3.6).

3.4.5 Παράμετροι της ΔΓΣ

Για να περιγράψουμε καλύτερα την ΔΓΣ, θα πρέπει να δικαιολογήσουμε την επιλογή των τιμών για τις παραμέτρους της μεθόδου. Η μέθοδος είναι όντως μια Τεχνική Σύγκρισης Σχημάτων, καθώς επιστρέφει το ποσοστό επικάλυψης των δύο συγκρινόμενων σχημάτων από αντιστοιχισμένες (δηλαδή παρόμοιες και συμβατές) περιοχές, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βαθμός ομοιότητας των δύο σχημάτων. Οι περιοχές αυτές είναι παρόμοιες, καθώς οι αλλαγές στον προσανατολισμό τους, στις αντίστοιχες κορυφές τους, είναι παρόμοιες. Για την αξιοποίηση και απόδοση της ΔΓΣ θα πρέπει να ακολουθούνται συγκεκριμένοι περιορισμοί στην παραμετροποίηση της. Για παράδειγμα, η *angleErr* αποτελεί τη μέγιστη διαφορά στην αλλαγή προσανατολισμού μεταξύ δύο κορυφών που αντιστοιχίζονται στα πλαίσια μιας ακολουθίας αντιστοίχισης. Οι προτεινόμενες τιμές (πεδίο ορισμού: [0.4, 0.5]) για την παράμετρο αυτή, όπως και οι προτεινόμενες τιμές για τις άλλες παραμέτρους της ΔΓΣ, οι οποίες αναφέρονται σε αυτό το κεφάλαιο, επιλέχθηκαν μετά από δοκιμές με αρκετά διαφορετικά σύνολα σχημάτων ως οι πιο κατάλληλες τιμές για χρήση με όλα τα σύνολα σχημάτων.

3.5 Απεικόνιση και εξήγηση της ομοιότητας στο χρήστη

Η ΔΓΣ είναι μια ΤΣΣ με *τοπικό* χαρακτήρα και βασίζεται στο περίγραμμα των αρχικών σχημάτων. Επομένως, είναι δυνατόν να εξαχθούν από το τελικό αποτέλεσμα της σύγκρισης πληροφορίες πέραν του βαθμού ομοιότητας των σχημάτων. Από τις ακολουθίες αντιστοίχισης του *matchSet* μπορούν να δημιουργηθούν ζεύγη μεταξύ κορυφών που ανήκουν η καθεμία σε ένα από τα

δύο σχήματα της σύγκρισης. Μάλιστα, έχει υλοποιηθεί διαδικασία η οποία αντιστοιχίζει κάθε κορυφή του ενός σχήματος σε μια κορυφή του άλλου σχήματος.

Με βάση την παραπάνω ιδιότητα της ΔΓΣ υλοποιήθηκαν μέθοδοι απεικόνισης των αποτελεσμάτων της σύγκρισης μεταξύ δύο σχημάτων. Παρακάτω παρουσιάζονται:

1. Ο υπολογισμός διαφόρων παραμέτρων που χρησιμοποιούνται για τις μεθόδους αυτές.
2. Μια μέθοδος ευθυγράμμισης των δύο συγκρινόμενων σχημάτων.
3. Μια δυναμική απεικόνιση (animation) που επεξηγεί τις αντιστοιχίσεις μεταξύ περιοχών των δύο σχημάτων.

3.5.1 Υπολογισμός των παραμέτρων των Διαδικασιών Επεξήγησης

Έστω A ένα πολύγωνο, το οποίο συγκρίνεται με ένα άλλο πολύγωνο B και έστω M το *matchSet* που παράγεται από την σύγκριση των σχημάτων με τη ΔΓΣ. Οι ακολουθίες αντιστοίχισης που αποτελούν το M περιγράφονται ως: $(startA, startB, length)$. Από κάθε τέτοια ακολουθία παράγεται μια άμεση αντιστοίχιση των κορυφών του A που περιλαμβάνονται στο διάστημα $[startA_i, (startA_i + length_i) \bmod(N_A)]$ σε κορυφές του B στο διάστημα $[startB_i, (startB_i + length_i) \bmod(N_B)]$, όπου N_A, N_B οι αναλύσεις των A και B . Για το i -οστό στοιχείο μιας αντιστοιχισμένης ακολουθίας η οποία αναπαρίσται ως $(startA, startB, length)$, και ανήκει στο M , όπου $(0 \leq i \leq length)$, δημιουργείται ένα ζεύγος (a_i, b_i) , όπου $a_i = (startA + i) \% N_A$ και $b_i = (startB + i) \% N_B$. Έτσι παράγεται από τη διαδικασία σύγκρισης ένα

σύνολο αντιστοιχήσεων μεταξύ κορυφών με στοιχεία $[a_i, b_i]$, το οποίο ονομάζουμε V .

Για κάθε κορυφή a_i , του πολυγώνου A , η οποία δεν ανήκει σε ζευγάρι που ανήκει στο V , η αντίστοιχη του κορυφή στο πολύγωνο B βρίσκεται με συγκεκριμένη διαδικασία που αναλύεται στη συνέχεια. Πρώτα πρέπει να εντοπίσουμε την αμέσως προηγούμενη και την αμέσως επόμενη κορυφή (a_p και a_n αντίστοιχα), οι οποίες ανήκουν σε ένα ζευγάρι του V , δηλαδή έχουν αντίστοιχες κορυφές στο πολύγωνο B (b_p και b_n αντίστοιχα). Ας ονομάσουμε την απόσταση διάσχισης μεταξύ των κορυφών στις θέσεις i και j του A : $DA_{ij} = ((j + N_A - i) \% N_A)$, όπου N_A είναι η ανάλυση του A . Η θέση της αντίστοιχης κορυφής για την a_i στο B θα είναι: $b_p + DA_{ip}(DB_{np}/DB_{np})$

Μετά την αντιστοίχιση όλων των κορυφών του A σε κορυφές του B , είναι δυνατόν να υπολογιστούν οι παράμετροι περιστροφής, μεγέθυνσης και μετατόπισης που μετασχηματίζουν γεωμετρικά το A όσο το δυνατό πλησιέστερα στο B . Το πρώτο βήμα είναι η κανονικοποίηση της θέσης των πολυγώνων. Η κανονικοποίηση γίνεται με τη μετατόπιση των σχημάτων κατά $-C_A, -C_B$, όπου C_A, C_B τα κέντρα βάρους των A, B , ώστε και τα δύο σχήματα να έχουν κέντρο το $(0, 0)$. Τα κανονικοποιημένα πολύγωνα θα ονομάζονται NA και NB .

Μετά την κανονικοποίηση της θέσης, εφαρμόζουμε τον παρακάτω μετασχηματισμό σε όλες τις κορυφές των δύο πολυγώνων: για κάθε κορυφή V , υπολογίζουμε τη γωνία μεταξύ του διανύσματος v (το οποίο ορίζεται από το $(0, 0)$ και την κορυφή V) και του άξονα X . Έτσι υπολογίζουμε τη βέλτιστη περιστροφή για κάθε κορυφή. Έπειτα, επιλέγουμε μια κορυφή του A που έχει μια αντίστοιχη κορυφή στο B . Βάσει του προηγούμενου βήματος, κάθε κορυφή του A έχει μια αντίστοιχη στο B , αλλά για να σιγουρευτούμε ότι δεν χάνεται ακρίβεια από την έμμεση αντιστοίχιση των κορυφών, επιλέγουμε μια

από τις κορυφές που είχε αρχικά αντιστοιχηθεί από την ίδια την κορυφή ΔΓΣ. Η γωνιά περιστροφής (*sang*) βρίσκεται απλά από τα διάνυσμα του (0,0) και τις κορυφές των NA και NB που επιλέχθηκαν. Η *sang* είναι η γωνία με την οποία πρέπει να περιστραφεί το NB ώστε να πλησιάσει το NA, σύμφωνα με την αντιστοίχιση των κορυφών τους που δημιουργήθηκε στα προηγούμενα βήματα.

Για την ελαχιστοποίηση του λάθους μεταξύ των τελικών NA, NB διορθώνουμε την τιμή της *sang* εκτελώντας την παρακάτω διαδικασία:

1. περιστρέφουμε το NB κατά *sang*,
2. για κάθε κορυφή του NB που αντιστοιχίζεται σε κορυφή του NA βρίσκουμε τη γωνία μεταξύ των διανυσμάτων που ορίζονται από τις αντίστοιχες κορυφές και το (0, 0),
3. υπολογίζουμε το μέσο όρο των παραπάνω ποσοτήτων (*sangCorr*).

Το *sangCorr* είναι η διόρθωση που πρέπει να εφαρμοστεί στο *sang*, ως εξής: $sang = sang + sangCorr$. Είναι δυνατόν η παραπάνω διαδικασία να εκτελεστεί γρηγορότερα, δοθέντος ότι ήδη έχουμε τις γωνίες των διανυσμάτων των κορυφών των NA και NB με τον άξονα X. Επομένως, το βήμα 2 μπορεί να εκτελεστεί άμεσα, χωρίς την περιστροφή, απλώς αφαιρώντας το *sang* και μετά περιορίζοντας το αποτέλεσμα στο $(-\pi, \pi]$. Έτσι, γίνεται εν τέλει μόνο μια περιστροφή με την διορθωμένη τιμή της *sang*.

Η τιμή της παραμέτρου της μεγέθυνσης (*scale*), εξαρτάται από τη φύση της παρουσίασης των αποτελεσμάτων. Επομένως, θα δείξουμε μόνο μια λύση που αξιοποιεί τις πληροφορίες που προκύπτουν από τη σύγκριση με τη μέθοδο ΔΓΣ. Αυτή η λύση επικεντρώνεται στην ελαχιστοποίηση της απόστασης μεταξύ

των αντιστοιχισμένων κορυφών των δύο κανονικοποιημένων πολυγώνων και αφότου το NB έχει περιστραφεί κατά $sang$:

1. Για κάθε κορυφή του NB, η οποία αντιστοιχίζεται σε μια κορυφή του NA, υπολογίζουμε τις αποστάσεις των δύο κορυφών από το $(0, 0)$, τις LB_i, LA_i αντίστοιχα.
2. Υπολογίζουμε την αναλογία των παραπάνω αποτελεσμάτων για κάθε ζευγάρι κορυφών, δηλαδή: $ratio_i = LA_i/LB_i$.
3. Υπολογίζουμε τη μεγέθυνση ως: $\frac{1}{N_B} \sum_{i=1}^{N_B} ratio_i$

Μεγεθύνοντας το N_B με την παραπάνω τιμή ελαχιστοποιούνται οι αποστάσεις μεταξύ των κορυφών των NA και NB που έχουν αντιστοιχηθεί μεταξύ τους. Η ίδια μέθοδος υπολογισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί τον υπολογισμό της μεγέθυνσης που ελαχιστοποιεί τις αποστάσεις μεταξύ όλων των κορυφών των δύο σχημάτων, αρκεί να χρησιμοποιηθούν όλες οι κορυφές του NB και οι αντίστοιχές τους στο NA. Υπενθυμίζουμε ότι μέχρι αυτή τη στιγμή δεν έχουν αλλάξει τα μεγέθη των NA και NB.

Για να τοποθετήσουμε το B στην θέση του A, ώστε να ελαχιστοποιείται η απόσταση μεταξύ τους, πρέπει να υπολογιστούν οι παράμετροι μετατόπισης, T_x, T_y , δηλαδή οι μετατοπίσεις στους άξονες X και Y που πρέπει να γίνουν στο B, ώστε αυτό να τοποθετηθεί στην θέση του A. Αυτά υπολογίζονται απλά αφαιρώντας τις συντεταγμένες των κέντρων των A και B.

3.5.2 Ευθυγράμμιση των σχημάτων

Αυτή και οι επόμενες παράγραφοι θα περιγράψουν τις οπτικές μεθόδους επεξήγησης των αποτελεσμάτων που επιστρέφει η μέθοδος ΔΓΣ, χρησιμοποιώντας το σύνολο ακολουθιών αντιστοίχισης (*matchSet*) και τις διαδικασίες που

περιγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Σκοπός της *ευθυγράμμισης* είναι η τοποθέτηση του πολυγώνου B πάνω στο πολύγωνο A, με τρόπο που να ελαχιστοποιούνται οι αποστάσεις μεταξύ αντιστοιχισμένων κορυφών. Μόνο γεωμετρικοί μετασχηματισμοί χρησιμοποιούνται σε αυτήν την διαδικασία. Η διαδικασία αυτή περιλαμβάνει τις παρακάτω ενέργειες:

1. Παραγωγή του NB από το B (μετά τα παραπάνω υπολογιστικά βήματα το NB υπάρχει ήδη), τοποθετώντας το κέντρο του στο $(0, 0)$.
2. Περιστροφή του NB κατά γωνία *ang*.
3. Μεγέθυνση του NB κατά *scale*.
4. Μετατόπιση του NB κατά C_A , όπου C_A το κέντρο του A.

Αυτά τα βήματα θα παράγουν ένα γεωμετρικά μετασχηματισμένο B, το οποίο τοποθετήθηκε ακριβώς πάνω στο A, το B1. Οι κορυφές του B1 που αντιστοιχήθηκαν σε κορυφές του A έχουν σχεδόν ελάχιστη απόσταση από τις αντίστοιχες κορυφές του A. Με την ίδια διαδικασία μπορεί να ελαχιστοποιηθεί η απόσταση μεταξύ όλων των κορυφών του B και των αντίστοιχων τους στο A ή μόνο για τα ζευγάρια των ακολουθιών αντιστοίχισης που περιέχονται στο *matchSet*.

3.5.3 Κινούμενη Απεικόνιση (Animation)

Ο μέσος χρήστης ενός συστήματος Ανάκτησης Εικόνας με Βάση το Περιεχόμενο στερείται των γνώσεων που απαιτούνται για να κατανοήσει τις εσωτερικές διαδικασίες ενός τέτοιου συστήματος, άρα μπορεί να κρίνει αν τα αποτελέσματα της μεθόδου ανάκτησης είναι σωστά βάσει μόνο των οπτικών απεικονίσεων που του δίνονται. Επομένως, είναι χρήσιμο να του εμφανίζονται όχι μόνο

τα αποτελέσματα της ανάκτησης αλλά και μια επεξήγηση αυτών, όποτε είναι δυνατό.

Για το χρήστη ενός συστήματος ΑΕΒΠ είναι πολύ χρήσιμη και επεξηγηματική μια κινούμενη απεικόνιση που δείχνει γιατί και σε ποια σημεία δύο σχήματα μοιάζουν. Ακόμη, πολλές φορές ανακτώνται σχήματα για τα οποία δεν είναι προφανείς οι λόγοι που κρίνονται παρόμοια με το σχήμα που χρησιμοποιείται σαν ερώτημα. Επομένως, μια οπτικοποίηση της ΤΣΣ που χρησιμοποιείται θα βοηθούσε το χρήστη να καταλάβει τους λόγους που το σύστημα ΑΕΒΠ θεωρεί δύο αντικείμενα ως όμοια. Η διαδικασία επεξήγησης που θα περιγραφεί παρακάτω βασίζεται στα ίδια τα δεδομένα που ανακτώνται και εξάγονται από την ΤΣΣ ΔΓΣ, τα οποία περιγράφηκαν μέχρι τώρα στο παρόν κεφάλαιο. Η παραπάνω διαδικασία ευθυγράμμισης είναι ένα βήμα προς την καλύτερη επεξήγηση των αποτελεσμάτων, όμως σε αυτήν την παράγραφο θα περιγραφεί μια πληρέστερη διαδικασία αναπαράστασης, μια Κινούμενη Απεικόνιση.

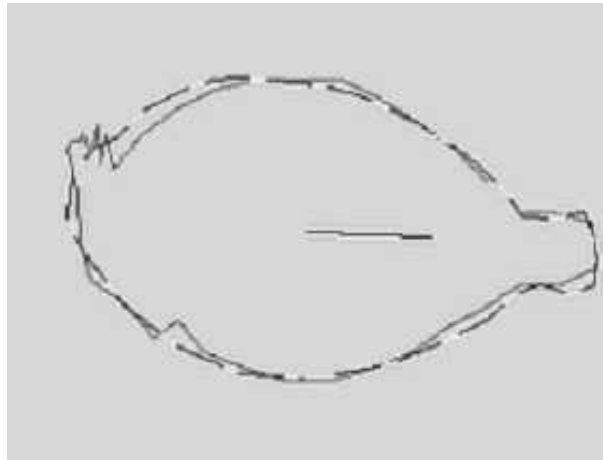
Κατά την διάρκεια της αναπαράστασης, το πρώτο πολύγωνο (Α) παραμένει αμετάβλητο, ενώ το δεύτερο πολύγωνο (Β) υφίσταται διαδοχικούς μετασχηματισμούς: για τα πρώτα n στιγμιότυπα, το Β περιστρέφεται σταδιακά μέχρις ότου να περιστραφεί συνολικά κατά γωνία ang , η οποία υπολογίζεται όπως παραπάνω. Στα επόμενα m στιγμιότυπα, οι κορυφές του Β μετατοπίζονται σταδιακά από τις θέσεις τους στο βήμα n προς τις αντίστοιχες κορυφές τους στο σχήμα Α (οι αντιστοιχίες αυτές παράγονται με τις διαδικασίες της παρ. 3.5.1.). Ένα παράδειγμα Κινούμενης Απεικόνισης περιέχεται στο σχήμα 3.10, όπου φαίνονται οι μετασχηματισμοί που εφαρμόζονται σε ένα σχήμα Α κατά τη σταδιακή μετατροπή του σε Β. Αυτές οι απεικονίσεις είναι δυνατό να παραχθούν με την χρήση των συναρτήσεων σε γλώσσα C της βιβλιοθήκης GCV (παρ. 5, [26]) Η διαδικασία Κινούμενης Απεικόνισης αξιοποιείται

και στην πρότυπη Java εφαρμογή JcvRetrieve, που απεικονίζεται στο σχήμα 3.11. Εναλλακτικά, στη σελίδα της GCV [26] παρέχονται παραδείγματα κώδικα σε C++ και Java που χρησιμοποιούν αυτές τις διαδικασίες για να παράγουν παρόμοιες απεικονίσεις.

3.6 Αξιολόγηση της μεθόδου ΔΓΣ

Για τη μέτρηση της ανθεκτικότητας, την απόδοσης και της καταλληλότητας της ΤΣΣ ΔΓΣ εφαρμόστηκε μια αυτοματοποιημένη διαδικασία αξιολόγησης. Καθώς η ΔΓΣ έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές ανάκτησης πληροφοριών, υπάρχουν αξιολογήσεις από χρήστες που αφορούν τη ΔΓΣ για συγκεκριμένα σύνολα δεδομένων, στις παρουσιάσεις των εφαρμογών αυτών (κεφ. 7, 8). Σε εκείνες τις αξιολογήσεις παρέχεται επίσης ανάλυση των πλεονεκτημάτων που προκύπτουν από τις παραπάνω μεθόδους οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων. Στα πλαίσια της παρούσας αξιολόγησης μετρήθηκαν η ακρίβεια και η ικανότητα ανάκτησης (Precision, Recall αντίστοιχα) της ΔΓΣ, όπως και η ταχύτητά της, χρησιμοποιώντας ένα ειδικά επιλεγμένο σύνολο σχημάτων. Η *ακρίβεια* μετράει κατά πόσο τα ανακτηθέντα αντικείμενα μοιάζουν στα αντικείμενα του ερωτήματος, ενώ η *ικανότητα ανάκτησης* ισούται με το ποσοστό των όμοιων σχημάτων τα οποία ανακτήθηκαν.

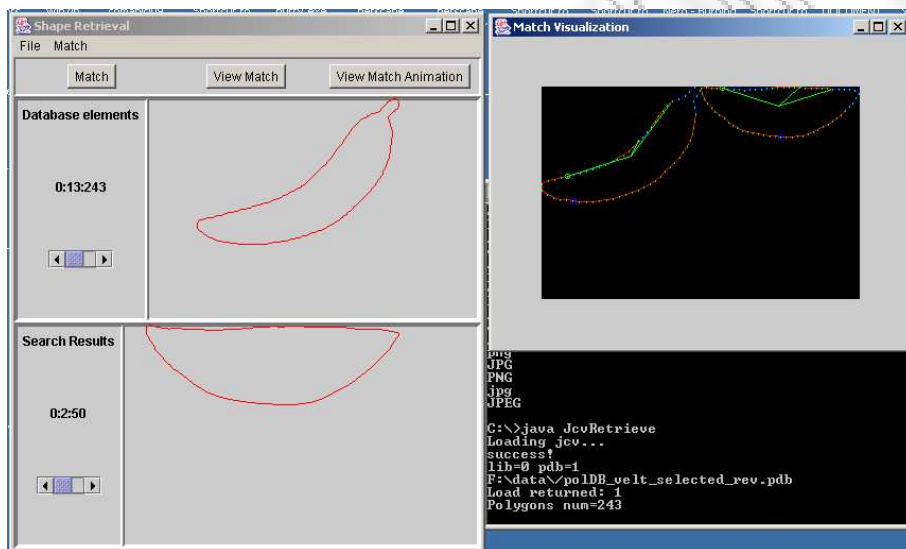
Από ένα σύνολο σχημάτων με θέμα την υποβρύχια πανίδα, Squid [24], επιλέχθηκαν 20 διαφορετικά σχήματα και τοποθετήθηκαν σε μια Βάση Δεδομένων. Κάθε αναζήτηση στη βάση δεδομένων με οποιοδήποτε από τα σχήματα της Β.Δ. επιστρέφει μόνο το ίδιο σχήμα με το οποίο γίνεται η ερώτηση, αν θέσουμε $minScore = 1/2$ ή $minScore = 1/3$. Στη συγκεκριμένη Β.Δ., και η *ακρίβεια* και η *ικανότητα ανάκτησης* παίρνουν τις μέγιστες τιμές τους, δηλαδή είναι ίσες με 1, καθώς επιστρέφονται όλα τα όμοια σχήματα και μόνο αυτά



Σχήμα 3.9: Ευθυγράμμιση Σχημάτων. Δύο δείγματα υποβρύχιας πανίδας τοποθετήθηκαν το ένα πάνω στο άλλο με την διαδικασία ευθυγράμμισης.



Σχήμα 3.10: Απεικόνιση του μετασχηματισμού του αρχικού σχήματος στο τελικό σχήμα (μήλο). Οι εσωτερικές στα σχήματα γραμμές χρησιμεύουν απλά για να δείξουν τις πρώτες κορυφές των ακολουθιών αντιστοίχισης. Στα πρώτα έξι στιγμιότυπα το σχήμα απλά περιστρέφεται (το μέγεθος του μεταβάλλεται απλά και μόνο ώστε να χωράει στο εκάστοτε πλαίσιο). Στα τελευταία έξι στιγμιότυπα, γίνεται παρεμβολή μεταξύ των κορυφών του περιστρεμμένου σχήματος και των αντίστοιχων κορυφών του δεύτερου σχήματος. Να σημειωθεί ότι τα διάστικτα τμήματα του σχήματος αλλάζουν ελάχιστα, δείχνοντας ότι αυτές οι περιοχές είχαν όντως αντιστοιχηθεί σε παρόμοιες περιοχές του B. Οι υπόλοιπες περιοχές του σχήματος επηρεάζονται περισσότερο από τον μετασχηματισμό, δικαιολογώντας τον απόρριψή τους από το τελικό σύνολο αντιστοίχισης της ΔΓΣ.



Σχήμα 3.11: Η εφαρμογή JcvRetrieve. Το αριστερό πλαίσιο απεικονίζει το επιλεγμένο σχήμα (πάνω -μπανάνα) και ένα από τα παρόμοια σχήματα (κάτω). Στο δεξιό πλαίσιο απεικονίζονται οι παρόμοιες περιοχές των δύο σχημάτων, με τη χρήση όμοιων χρωμάτων.

(καθώς όλα τα σχήματα είναι διαφορετικά μεταξύ τους).

Έπειτα χρησιμοποιούμε μια διαδικασία εισαγωγής θορύβου σε κάθε στοιχείο της Β.Δ: N (=ανάληψη ΔΓΣ) φορές επιλέγεται μια κορυφή του εκάστοτε πολυγώνου και μετακινείται τυχαία προς μια από οκτώ κατευθύνσεις (Β, ΒΑ, Α, ΝΑ, Ν, ΝΔ, Δ, ΒΔ), με αποτέλεσμα τυχαία εισαγωγή θορύβου στο σχήμα. Σε κάθε σχήμα εφαρμόζεται 10 φορές η παραπάνω διαδικασία, παράγοντας 10 διαφορετικά σχήματα με βάση το πρωτότυπο σχήμα, τα οποία μοιάζουν οπτικά στο αρχικό σχήμα, αλλά διαφέρουν αρκετά όσον αφορά τις συντεταγμένες συγκεκριμένων κορυφών.

Μια δευτερογενής Β.Δ., ισομεγέθης με την πρώτη, παράγεται με την περιστροφή των σχημάτων της πρώτης χρησιμοποιώντας τυχαίες γωνίες περιστροφής. Η παραπάνω διαδικασία προσομοιώνει το θόρυβο που παράγεται κατά την εξαγωγή σχημάτων από μια εικόνα, καθώς σε κάθε βήμα οι συντεταγμένες των πολυγώνων αποθηκεύονται ενδιάμεσα με ακρίβεια ακεραίου (όπως κατά την εξαγωγή σχήματος από εικόνα με ακρίβεια εικονοστοιχείου). Ο παρακάτω πίνακας (πιν. 3.6) παρουσιάζει τις αναμενόμενες τιμές της *ακρίβειας* και της *ικανότητας ανάκτησης* για κάθε μια από τις παραπάνω Β.Δ.

Όπως αναφέρθηκε στη παρ. 3.4, το δεύτερο βήμα της διαδικασίας σύγκρισης (Επιλογή Αντίστοιχων Ακολουθιών) δεν είναι το πιο χρονοβόρο βήμα, έστω και αν πρέπει να εξεταστούν όλοι οι συνδυασμοί των αντιστοιχισμένων ακολουθιών που παράγονται από το πρώτο βήμα (Εύρεση Αντίστοιχων Ακολουθιών). Μια καλή επιλογή της τιμής της *minLength* διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στην ταχύτητα εκτέλεσης του δεύτερου βήματος. Στον παρακάτω πίνακα (3.6), παρουσιάζονται οι μέσοι χρόνοι εκτέλεσης για τα βήματα Α και Β της διαδικασίας σύγκρισης για τις παραπάνω Β.Δ. όταν $minLength = (1/8) * N$. Το σύστημα αναφοράς ήταν ένας Η/Υ με Pentium

Β.Δ.-minScore	Ακρίβεια	Ικανότητα Ανάκτησης
Indep-1/2	1.0	1.0
Indep-1/3	1.0	1.0
Noise-1/2	0.999	0.853
Noise-1/3	0.932	0.956
NoiRot-1/2	0.967	0.798
NoiRot-1/3	0.896	0.810

Πίνακας 3.1: Ακρίβεια και Ικανότητα Ανάκτησης για κάθε Β.Δ.: (Indep \equiv Αρχική Β.Δ., Noise \equiv Β.Δ. μετά την εισαγωγή θορύβου, NoiRot \equiv Β.Δ. μετά τις περιστροφές)

3 1Ghz με 128 MB RAM και λειτουργικό σύστημα Windows 2000.

Τα αποτελέσματα της παραπάνω αποτίμησης είναι ικανοποιητικά, αφού καταδεικνύουν την ανεξαρτησία της μεθόδου ΔΓΣ από την περιστροφή και την ικανότητα της στην ανάκτηση παρόμοιων σχημάτων, ακόμα και υπό συνθήκες θορύβου. Οι παραπάνω ιδιότητες είναι απαραίτητες σε μια ΤΣΣ που χρησιμοποιείται σε ένα σύστημα Ανάκτησης Εικόνας με Βάση το Περιεχόμενο, καθώς ο χρήστης αναμένει την ανάκτηση των σχετικών σχημάτων, έστω και αν αυτά βρίσκονται στην Β.Δ. γεωμετρικά μετασχηματισμένα ή/και ελαφρώς παραμορφωμένα. Η ταχύτητα σύγκρισης έχει επίσης ιδιαίτερη σημασία σε μια μηχανή αναζήτησης σχημάτων καθώς ο χρήστης ενός συστήματος δεν είναι διατεθειμένος να περιμένει πολύ σε κάθε ερώτημα που θέτει. Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν πως μια αναζήτηση σε μια Β.Δ. με 200 στοιχεία δεν αργεί πάνω από 9 ms.

B.Δ.-minScore	Εύρεση A.A. (ms)	Επιλογή A.A. (ms)
Indep-1/2	1.5	0.8
Indep-1/3	1.5	0.8
Noise-1/2	7.87	5.01
Noise-1/3	7.85	5.02
NoiRot-1/2	8.82	4.22
NoiRot-1/3	8.96	5.04

Πίνακας 3.2: Χρονομέτρηση της μηχανής αναζήτησης για τα βήματα A και B της διαδικασίας σύγκρισης. Η πρώτη B.Δ. (γραμμές 1 και 2) περιέχει 20 στοιχεία, ενώ οι άλλες περιέχουν από 200.

3.7 Συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφηκε η τεχνική ΔΓΣ, μια αποδοτική και αποτελεσματική τεχνική για τον υπολογισμό της ομοιότητας μεταξύ σχημάτων, καθώς και για τον εντοπισμό και την επεξήγηση των επιμέρους ομοιοτήτων μεταξύ των συγκρινόμενων σχημάτων. Οι παραπάνω ιδιότητες αποδεικνύονται μέσω της αποτίμησης που παρουσιάστηκε, αλλά θα καταδειχτούν και σε κεφάλαια που ακολουθούν (5, 7 και 8), στα οποία παρουσιάζονται πλατφόρμες που χρησιμοποιούν τη ΔΓΣ. Παρουσιάστηκαν επίσης δυο διαφορετικές διαδικασίες απεικόνισης των αποτελεσμάτων της ΔΓΣ σε κάποιο πιθανό χρήστη της, οι οποίες εξηγούν σε αυτόν τις ιδιαιτερότητες της ΔΓΣ και οπτικοποιούν τη λογική και τη διαδικασία μέσω της οποίας δύο σχήματα χαρακτηρίζονται μερικά ή ολικά όμοια.

3.8 Επιπλέον Σχήματα και Αποτελέσματα Αναζήτησης

Παρακάτω παρουσιάζονται αποτελέσματα αναζήτησης μέσα από μια βάση δεδομένων με πολύγωνα. Σε όλα τα σχήματα πρέπει να τονιστεί ότι το πρώτο ανακτημένο σχήμα είναι και το σχήμα ερώτησης. Τα πολύγωνα αυτά έχουν εξαχθεί μετά από την προβολή τρισδιάστατων μοντέλων στο επίπεδο και την εξαγωγή των περιγραμμάτων τους μέσω μιας αυτόματης διαδικασίας εξαγωγής (όμοια με την διαδικασία της παρ. 8.3). Έτσι τα μοντέλα αυτά έχουν χαμηλή ανάλυση δειγματοληψίας και έχουν εξομαλυνθεί, ώστε να ελαχιστοποιείται ο θόρυβος που προκαλείται από την προβολή τους αλλά και την διαδικασία εξαγωγής περιγράμματος.

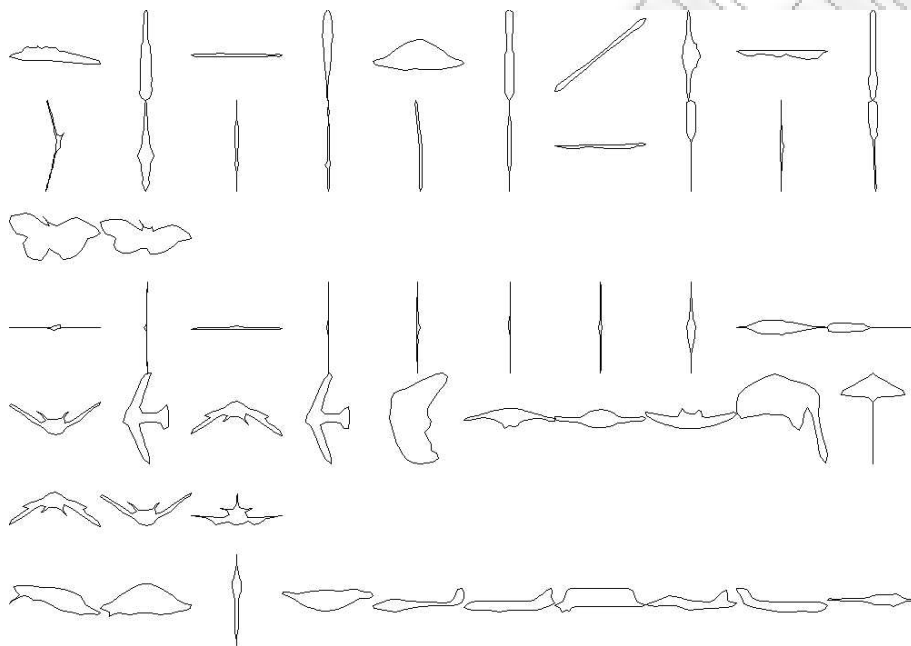
Τα παρακάτω αποτελέσματα αναζήτησης καταδεικνύουν μια σειρά από παρατηρήσεις, οι οποίες έγιναν μετά από δοκιμές με τις χρησιμοποιούμενες τεχνικές:

1. Για τις περισσότερες κατηγορίες σχημάτων, η ΔΓΣ επιστρέφει αποτελέσματα τα οποία θεωρούνται λογικά από ένα άνθρωπο (σχήματα 3.12, 3.13 και 3.14). Αλλά υπάρχουν και σχήματα για τα οποία δεν έχουν επιστραφεί τα χαρακτηριστικότερα σχήματα, σύμφωνα με το ανθρώπινο κριτήριο. Υπάρχουν ανόμοια σχήματα που ανακτώνται, καθώς συμβαίνει να υπάρχουν μέρη των περιγραμμάτων τους που να μοιάζουν με το σχήμα ερώτησης, ενώ τα χαρακτηριστικά των εσωτερικών σημείων τους είναι εντελώς ανόμοια.
2. Όταν χρησιμοποιούνται μόνο τα απλά Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά (ΓΧ), τα αποτελέσματα της αναζήτησης δεν είναι ικανοποιητικά (σχήματα 3.15 και 3.16). Τα βασικά κριτήρια που επιβάλλουν τα ΓΧ αφορούν

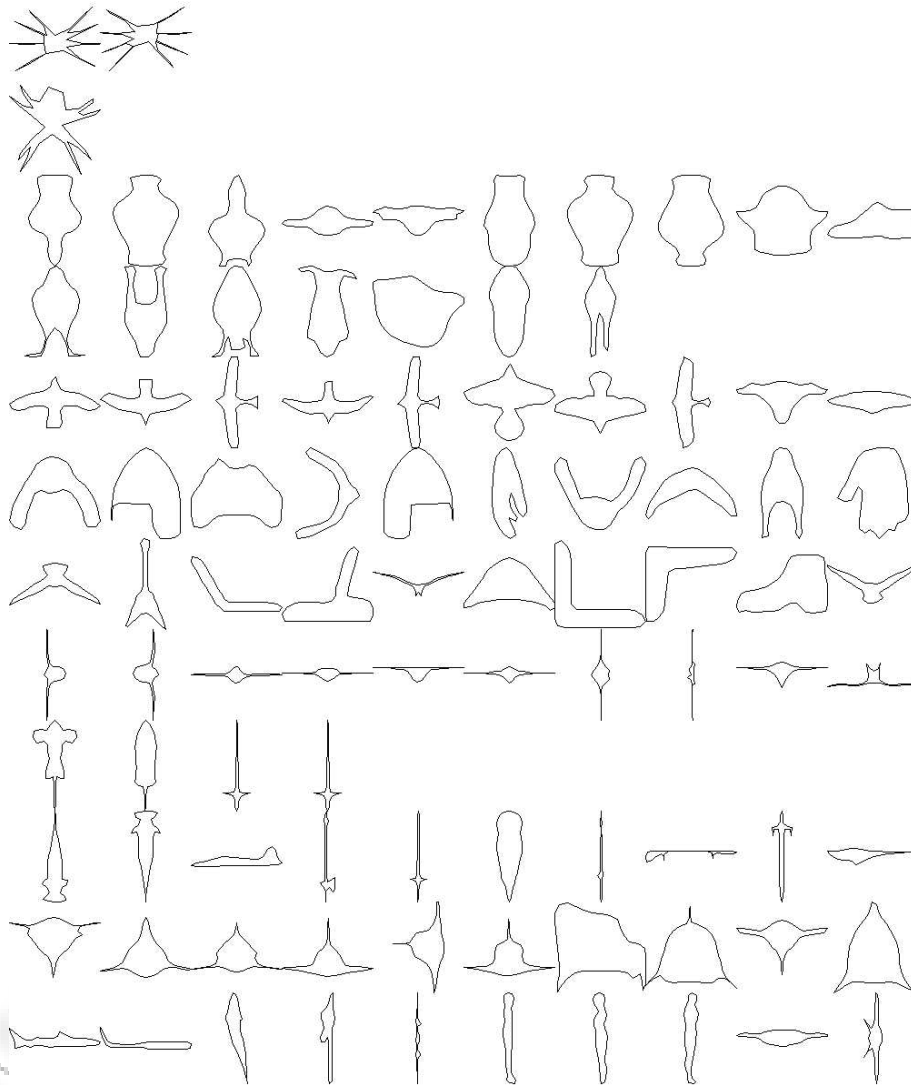
τα εσωτερικά σημεία των σχημάτων. Έτσι μπορεί αυτά τα κριτήρια να τηρούνται για σχήματα τα περιγράμματα των οποίων είναι πολλές φορές εντελώς ανόμοια με το σχήμα ερώτησης.

3. Συγκρίνοντας την αποτελεσματικότητα αναζήτησης μόνο με τη ΔΓΣ με την αποτελεσματικότητα της αναζήτησης μόνο με ΓΧ, παρατηρούμε ότι γενικά η ΔΓΣ έχει πολύ καλύτερη ακρίβεια, σύμφωνα με το ανθρώπινο μάτι. Μια εξήγηση για αυτό μπορεί να είναι ότι η παρατηρητικότητα του ανθρώπου όσον αφορά στοιχεία του περιγράμματος καθιστά το περιγράμμα βασικότατο στοιχείο για την αναγνώριση σχημάτων. Από τις παραπάνω ΤΣΣ, η ΔΓΣ είναι αυτή που βασίζεται στο περίγραμμα των σχημάτων, με αποτέλεσμα να είναι περισσότερο αποδοτική. Ακόμη μια εξήγηση για την διαφορά στην ακρίβεια των αποτελεσμάτων δίνεται από την ίδια την φύση των συγκρινόμενων τεχνικών. Ενώ τα ΓΧ χρησιμοποιούν μια απλή αριθμητική τιμή το καθένα, περιγράφοντας έτσι ένα μοναδικό χαρακτηριστικό, η ΔΓΣ χρησιμοποιεί από ένα σύνολο τιμών, οι οποίες αντιστοιχούν σε υπομήματα του περιγράμματος και ελέγχονται διεξοδικά για την εύρεση όμοιων στοιχείων.
4. Τέλος, τα καλύτερα αποτελέσματα δίνονται από το συνδυασμό ΓΧ και ΔΓΣ (σχήματα 3.17, 3.18 και 3.19). Συνδυασμένες αυτές οι τεχνικές παράγουν πολύ καλύτερα αποτελέσματα από αυτά που παράγονται αν χρησιμοποιηθεί η κάθε τεχνική ξεχωριστά. Κάτι τέτοιο ήταν αναμενόμενο, καθώς η ΔΓΣ βασίζεται στο περίγραμμα των σχημάτων, ενώ τα ΓΧ που χρησιμοποιούνται βασίζονται στα εσωτερικά σημεία των σχημάτων. Έτσι ένας συνδυασμός των παραπάνω τεχνικών καλύπτει επαρκέστερα τα χαρακτηριστικά ενός σχήματος, με αποτέλεσμα πιο ακριβή και πλήρη αποτελέσματα.

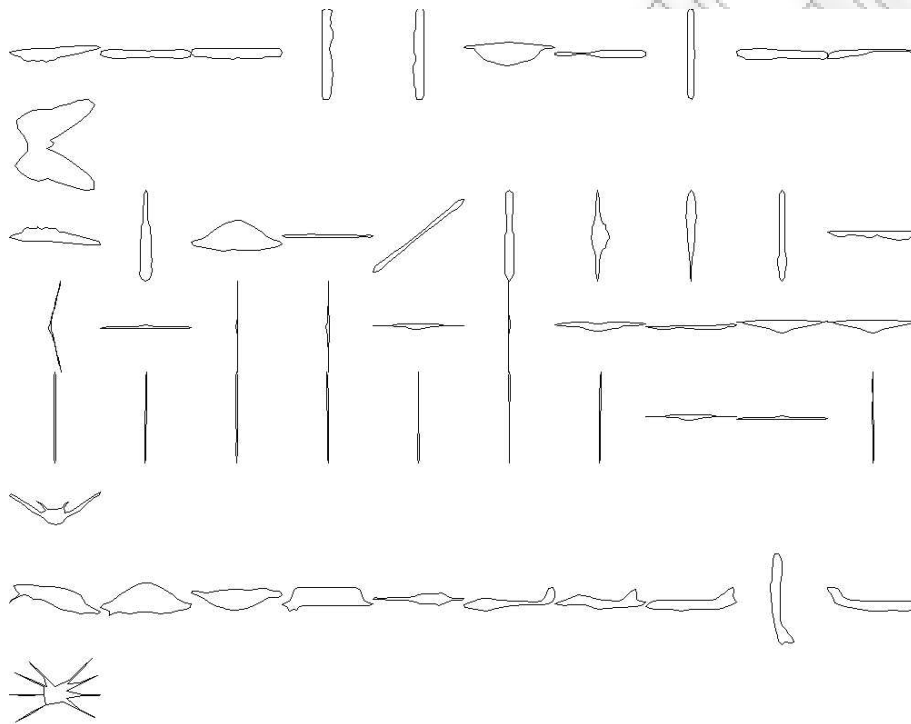
Αξίζει να αναφερθεί ότι η σύγκριση με ΓΧ είναι πολύ πιο γρήγορη από τη σύγκριση με τη χρήση της ΔΓΣ, αν και η τελευταία παράγει καλύτερα αποτελέσματα. Κατά την διάρκεια της διατριβής αναπτύχθηκε αρχιτεκτονική συνδυασμού ΤΣΣ για αναζήτηση σχημάτων, η οποία εκμεταλλεύεται και την ακρίβεια κάποιων τεχνικών και την ταχύτητα άλλων τεχνικών, με αποτέλεσμα γρήγορη και ταυτόχρονα αποτελεσματική αναζήτηση. Η αρχιτεκτονική αυτή υλοποιείται μέσα στα πλαίσια της βιβλιοθήκης GCV [26], βλ. παρ. 5.5.



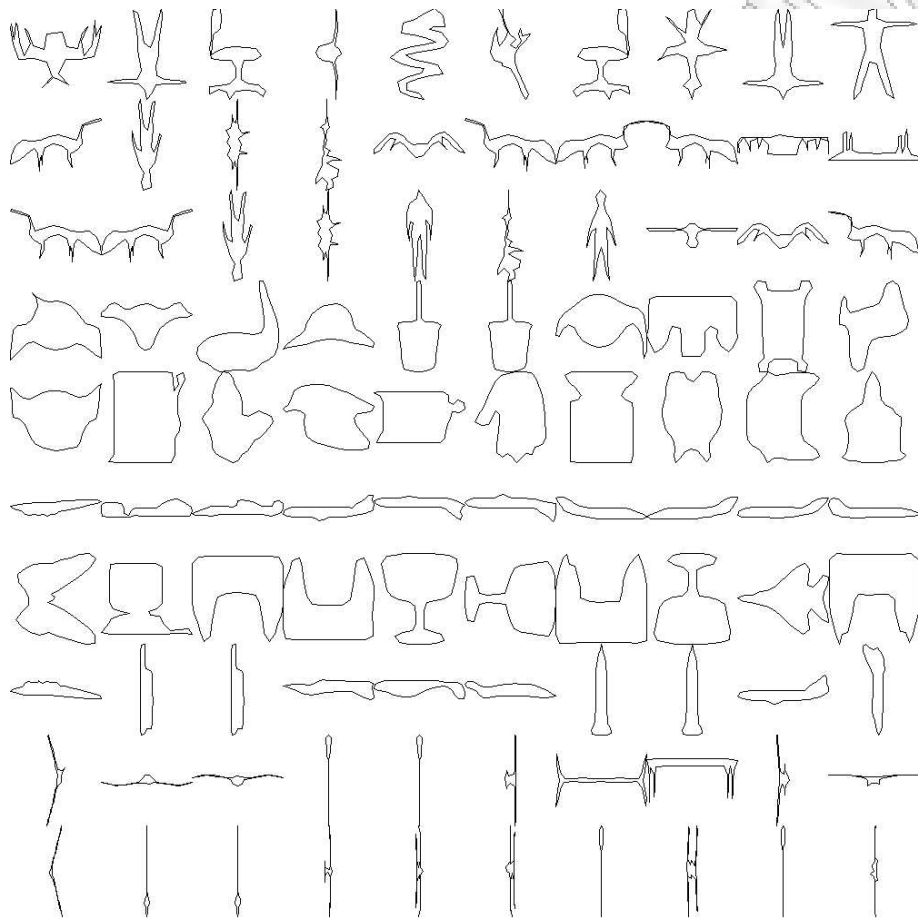
Σχήμα 3.12: Αποτελέσματα αναζήτησης μόνο με τη ΔΓΣ, με $\text{minScore}=0.5$ και χαμηλή ανάλυση δειγματοληψίας ($N=40$). Το σχήμα ερώτησης είναι το πρώτο στοιχείο που ανακτάται.



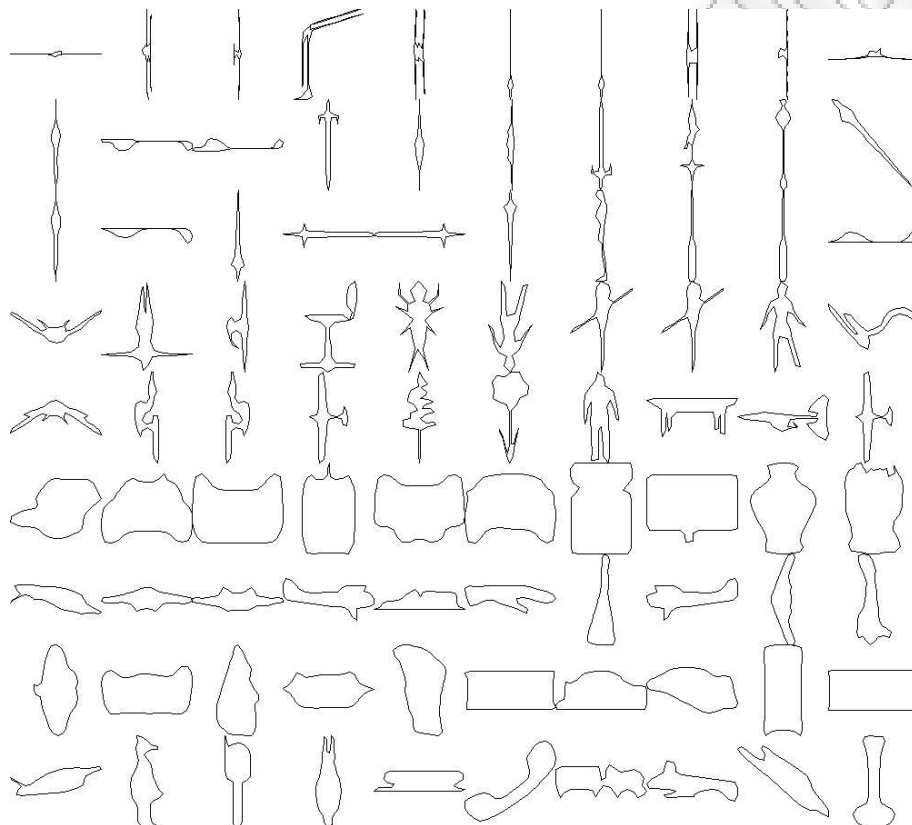
Σχήμα 3.13: Επιπλέον αποτελέσματα αναζήτησης μόνο με τη ΔΓΣ, με $\text{min-Score}=0.5$ και $N=40$. Το σχήμα ερώτησης είναι το πρώτο στοιχείο που ανακτάται.



Σχήμα 3.14: Αποτελέσματα αναζήτησης μόνο με τη ΔΓΣ, με minScore=0.7 και N=40. Το σχήμα ερώτησης είναι το πρώτο στοιχείο που ανακτάται.

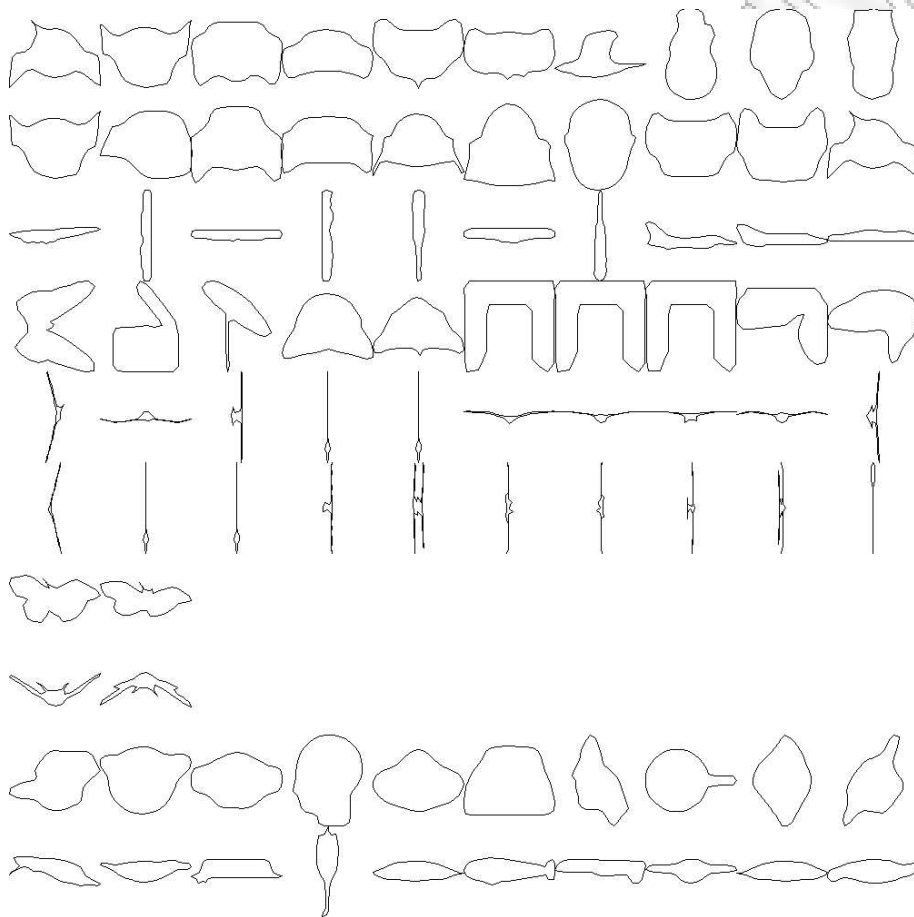


Σχήμα 3.15: Αποτελέσματα αναζήτησης με ένα συνδυασμό από γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Η τιμή του minScore είναι 0.5 για όλες τις ΤΣΣ. Το σχήμα ερώτησης είναι το πρώτο στοιχείο που ανακτάται.

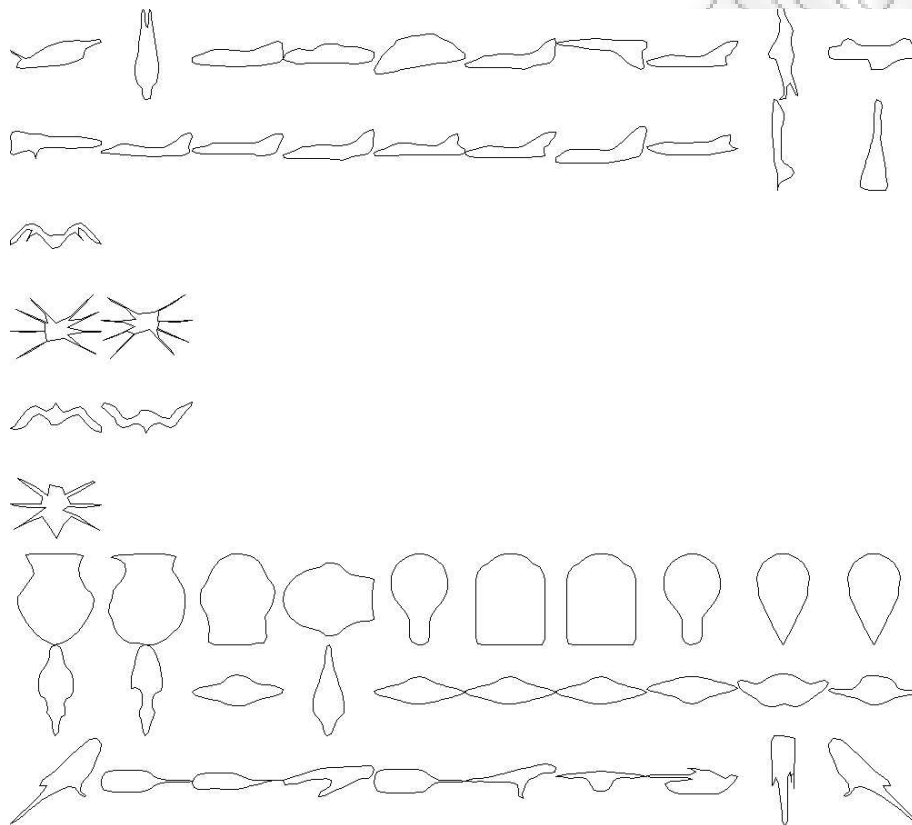


Σχήμα 3.16: Επιπλέον αποτελέσματα αναζήτησης με ένα συνδυασμό από γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Η τιμή του minScore είναι 0.5 για όλες τις ΤΣΣ.

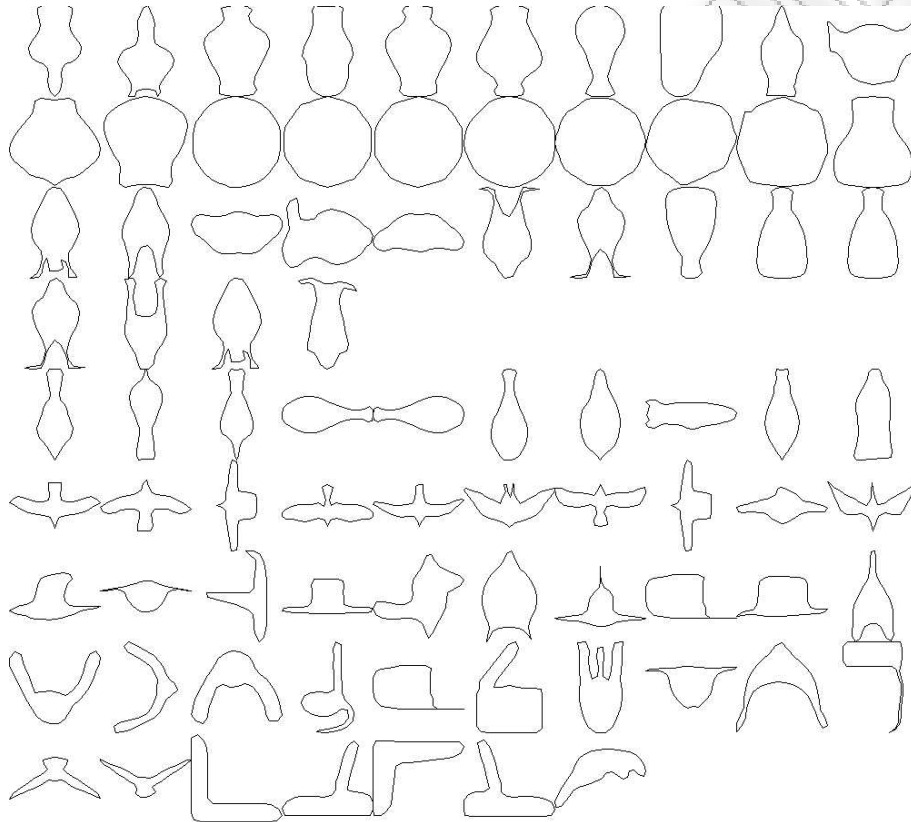
Το σχήμα ερώτησης είναι το πρώτο στοιχείο που ανακτάται.



Σχήμα 3.17: Αποτελέσματα αναζήτησης με συνδυασμό γεωμετρικών χαρακτηριστικών και ΔΓΣ. Η τιμή του minScore είναι 0.5 για όλες τις ΤΣΣ. Το σχήμα ερώτησης είναι το πρώτο στοιχείο που ανακτάται.



Σχήμα 3.18: Αποτελέσματα αναζήτησης με συνδυασμό γεωμετρικών χαρακτηριστικών και ΔΓΣ. Η τιμή του minScore είναι 0.5 για όλες τις ΤΣΣ. Το σχήμα ερώτησης είναι το πρώτο στοιχείο που ανακτάται.



Σχήμα 3.19: Αποτελέσματα αναζήτησης με συνδυασμό γεωμετρικών χαρακτηριστικών και ΔΓΣ. Η τιμή του minScore είναι 0.5 για όλες τις ΤΣΣ. Το σχήμα ερώτησης είναι το πρώτο στοιχείο που ανακτάται.

Κεφάλαιο 4

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΑΣ

4.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ολοένα αυξανόμενη ανάγκη για συστήματα Αυτόματης Ανάκτησης Οπτικών Πηγών Πολυμέσων (ΑΑΟΠΠ), δηλαδή συστήματα που επιτρέπουν την αποθήκευση οπτικών μέσων και την ανάκτησή τους με βάση το περιεχόμενό τους. Στην βιβλιογραφία αναφέρεται ένα μεγάλο πλήθος συστημάτων που χρησιμοποιούν ένα εξίσου μεγάλο πλήθος τεχνικών ανάκτησης εικόνας και κάθε είδους οπτικών πηγών πολυμέσων. Όμως, όπως καταδεικνύεται και παρακάτω, η ανάπτυξη τεχνικών αναγνώρισης σχημάτων και η χρήση τους για την ανάκτηση πολυμέσων δεν αποφέρει ακόμα ικανοποιητικά αποτελέσματα. Η πολυπλοκότητα του προβλήματος δυσκολεύει την υλοποίηση των συστημάτων ΑΑΟΠΠ και καθιστά πολλές φορές ασύμφορη την ενσωμάτωση τεχνικών ανάκτησης σχήματος σε τέτοια συστήματα.

Στο κεφάλαιο αυτό θα αναφερθούν διάφορα συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν Αυτόματη Ανάκτηση Πολυμέσων με βάση το Περιεχόμενο μαζί με

τις ιδιαίτερες λειτουργίες που παρέχουν. Κυρίως παρουσιάζονται συστήματα Ανάκτησης Εικόνας με Βάση το Περιεχόμενο (ΑΕΒΠ - Content Based Image Retrieval - CBIR). Ειδική έμφαση δίνεται στα συστήματα αυτά που αξιοποιούν πληροφορίες σχήματος καθώς και στις προκλήσεις που θέτει η χρησιμοποίηση των πληροφοριών σχήματος σε τέτοια συστήματα. Όπως θα αποδειχτεί σε αυτό το κεφάλαιο, ενώ παρουσιάζονται ολοένα και περισσότερα συστήματα Αυτόματης Ανάκτησης Οπτικών Πολυμέσων, με ολοένα και αυξανόμενες επιλογές στον τρόπο αναζήτησης, οι δυνατότητες των συστημάτων αυτών στην ανάκτηση πολυμέσων με βάση το σχήμα παραμένουν περιορισμένες.

4.2 Ανάκτηση Εικόνας και Βίντεο με Βάση το Σχήμα

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικά από τα πιο γνωστά συστήματα Ανάκτησης Εικόνας και Βίντεο που εκμεταλλεύονται Τεχνικές Σύγκρισης Σχημάτων:

1. Το σύστημα Query by Image Content (QBIC) [58] της IBM παρέχει δυνατότητες ανάκτησης εικόνας μέσω ενός συνόλου κριτηρίων επιλογής που βασίζονται στο χρώμα, την υφή, τη σχετική θέση και το σχήμα αντικειμένων. Τα πολυμέσα ανακτώνται με βάση σχήματα που είτε έχουν εξαχθεί από άλλη εικόνα είτε σχεδιάζονται από το χρήστη του συστήματος.
2. Το σύστημα VIR [18], της Virage, χρησιμοποιεί πληροφορίες σχήματος για την ανάκτηση εικόνων.
3. Το σύστημα Excalibur Visual RetrievalWare SDK (βλ. τεχνικές προδιαγραφές [17]) παρέχει δυνατότητες ανάκτησης εικόνας με βάση διάφορα χαρακτηριστικά, ανάμεσα στα οποία και πληροφορίες σχήματος.

4. Στο [59] περιγράφεται ένα σύστημα που ανακτά εικόνες που αναπαριστούν logos και trademarks με βάση πληροφορίες χρώματος και σχήματος.
5. Τέλος, στα [34, 65, 73] αναφέρονται μέθοδοι που αξιοποιούν πληροφορίες σχήματος για την ανάκτηση πολυμέσων.

Οι παραπάνω είναι μόνο μερικές από τις σημαντικότερες εργασίες στον τομέα της ανάκτησης πολυμέσων με βάση το σχήμα. Σε πολλές από τις εργασίες αυτές οι χρησιμοποιούμενες *μηχανές αναζήτησης* έχουν επεκταθεί ώστε να αναζητούν τα αποτελέσματά τους όχι μόνο μέσα σε δεδομένα στατικών εικόνων αλλά και για να ανιχνεύουν αντικείμενα και να ανακτούν βίντεο. Στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να παρουσιάσει μόνο μερικά δείγματα από εργασίες που έχουν γίνει στον τομέα της ανάκτησης εικόνας και βίντεο, με τα χαρακτηριστικά τους και όχι να παραθέσει μια λίστα με τα (πέρα πολλά) συστήματα που έχουν προταθεί στον τομέα αυτό. Εξάλλου, το πλήθος αυτών των συστημάτων είναι απαγορευτικό για κάτι τέτοιο στα πλαίσια της διατριβής αυτής. Τα συστήματα που παρουσιάζονται αναλυτικά είναι μερικά από τα πιο παλιά αλλά και ολοκληρωμένα συστήματα. Αυτό καταδεικνύεται από το γεγονός ότι συνεχίζουν να υπάρχουν σήμερα και μάλιστα πωλούνται ως εμπορικά συστήματα ή ως βάση για εμπορικά συστήματα.

4.3 Το σύστημα QBIC

Το σύστημα QBIC (IBM's Query By Image Content) [58] είναι ένα από τα πρώτα ολοκληρωμένα συστήματα για ανάκτηση εικόνας που υλοποιήθηκε. Αν και το ίδιο το προϊόν είναι αυτή τη στιγμή εμπορικό, τη στιγμή που προτάθηκε επηρέασε πολύ την έρευνα πάνω σε συστήματα ανάκτησης εικόνας, λόγω της επιτυχίας που παρουσίασε. Σήμερα, το QBIC χρησιμοποιείται σε

διάφορα συστήματα που υποστηρίζουν λειτουργίες Ανάκτησης Εικόνας με Βάση το Περιεχόμενο (ΑΕΒΠ), όπως ψηφιακά μουσεία, βιβλιοθήκες κ.α. [9] και παρέχεται ως μέρος ενός εμπορικού πακέτου της IBM για διαχείριση περιεχομένου, το DB2 Content Manager [1]. Παρακάτω θα παρουσιαστούν οι δυνατότητες του συστήματος QBIC.

4.3.1 Δυνατότητες του συστήματος

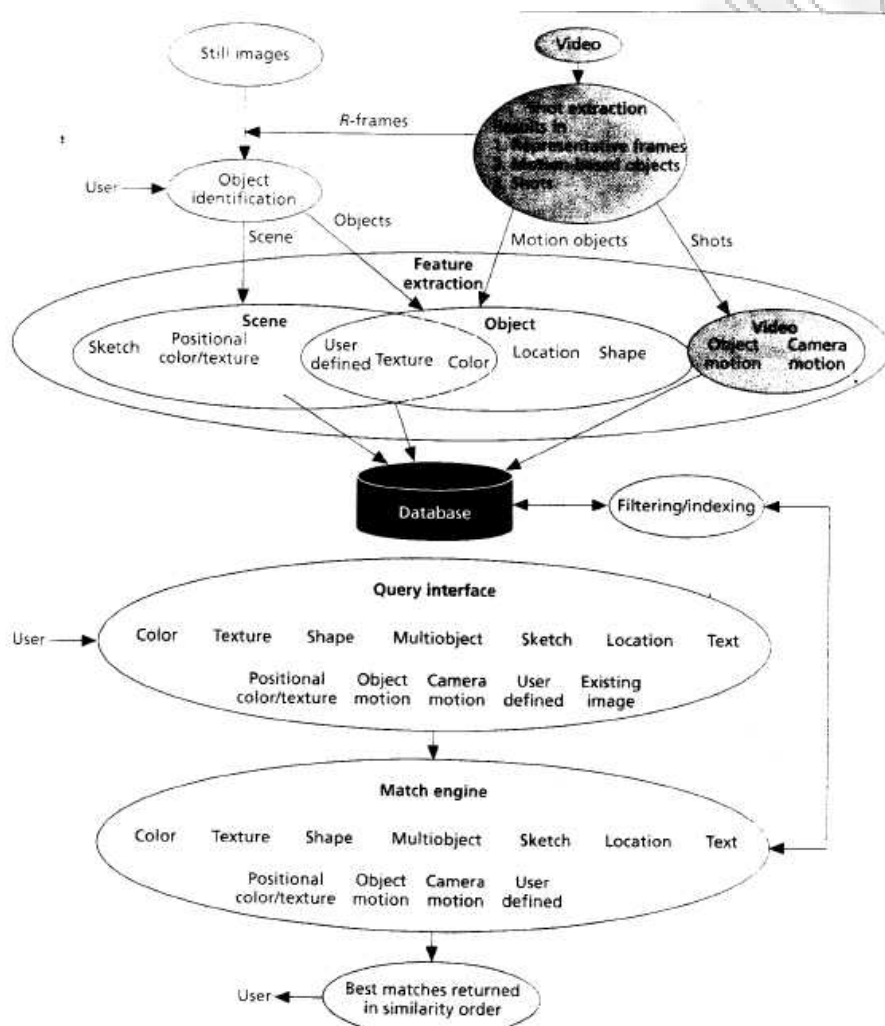
Το QBIC παρέχει στον χρήστη ένα ευρύ φάσμα διεπαφών που ενεργοποιούν την μηχανή αναζήτησης. Μέσω των διεπαφών αυτών, ο χρήστης παρέχει στην μηχανή αναζήτησης ένα σύνολο δεδομένων διαφόρων τύπων, τα οποία αναζητούνται στις εικόνες που περιέχονται στο πεδίο αναζήτησης. Έτσι ένα ερώτημα στη μηχανή αναζήτησης μπορεί να περιλαμβάνει δεδομένα για ένα ή περισσότερα από τα παρακάτω στοιχεία :

- χρώμα,
- υφή (texture),
- χαρακτηριστικά ενός ή παραπάνω σχημάτων,
- κάποιο σκίτσο από το χρήστη του συστήματος,
- τη σχετική θέση κάποιων αντικειμένων στην εικόνα,
- κάποιο κείμενο,
- σχετικές θέσεις για υφή/χρώμα,
- την κίνηση κάποιου αντικειμένου (αν πρόκειται για βίντεο),
- την κίνηση της κάμερας (αν πρόκειται για βίντεο),

- ένα παράδειγμα εικόνας.

Το QBIC συγκρίνει τις πληροφορίες που του δίνονται από τη διεπαφή ερώτησης με τα στοιχεία που γνωρίζει για τις εικόνες που ανήκουν στο πεδίο αναζήτησης και επιστρέφει τα επικρατέστερα αποτελέσματα, ταξινομημένα σύμφωνα με την σχετικότητα τους (relevancy) με τα δεδομένα του ερωτήματος. Η ανάκτηση των εικόνων γίνεται από μια βάση δεδομένων, η οποία περιέχει δεδομένα που περιγράφουν τις εικόνες που αποτελούν το πεδίο αναζήτησης. Τα δεδομένα αυτά είτε εξάγονται από τις αρχικές εικόνες με (ημι-)αυτόματες διαδικασίες είτε παράγονται/εισάγονται με τη βοήθεια κάποιου χρήστη του συστήματος. Οι διαδικασίες κατασκευής της βάσης δεδομένων και ανάκτησης εικόνας παρουσιάζονται μαζί στο σχήμα 4.1.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το QBIC είναι ένα από τα πιο πλήρη συστήματα Ανάκτησης Εικόνας με Βάση το Περιεχόμενο (ΑΕΒΠ), καθώς λαμβάνει υπόψη και αξιοποιεί πολλά χαρακτηριστικά μιας εικόνας. Παρά τις πολλές δυνατότητες του QBIC, η ανάκτηση σχήματος με αυτό γίνεται συνήθως με βάση πληροφορίες χρώματος και υφής. Η επιλογή αυτή δεν οφείλεται μόνο σε αδυναμία του ίδιου του QBIC, αλλά και στην πολυπλοκότητα της ανάκτησης εικόνας με βάση το σχήμα. Το χρώμα και η υφή μιας εικόνας μπορούν να περιγραφούν με μικρό όγκο δεδομένων και να αξιοποιηθούν επίσης με ταχύτητα και αποτελεσματικότητα με βάση τις υπάρχουσες τεχνολογίες. Από την άλλη, αν και μπορεί σε πολλές περιπτώσεις να είναι δυνατή και η ανάκτηση με βάση το σχήμα, ο χρόνος απόκρισης του συστήματος επιβραδύνεται σημαντικά όταν χρησιμοποιούνται πληροφορίες σχήματος. Επίσης, δεν είναι δυνατή η εξαγωγή σχήματος από οποιαδήποτε εικόνα. Τέλος, τα αποτελέσματα της εξαγωγής σχήματος, ακόμα και όταν μπορούν να παραχθούν, δεν είναι πάντα αξιόπιστα.



Σχήμα 4.1: Δημιουργία της βάσης δεδομένων και ανάκτηση εικόνας με το QBIC. Το παραπάνω σχήμα προέρχεται από το [58].

Χαρακτηριστικό παράδειγμα χρήσης του QBIC είναι το [9].

4.4 Η μηχανή αναζήτησης εικόνας Virage

Η μηχανή αναζήτησης εικόνας της Virage [18, 12] προσπαθεί να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της ανάκτησης εικόνας μέσα από μια ανοικτή αρχιτεκτονική που επιτρέπει στον προγραμματιστή να ενσωματώσει καινούργιες δυνατότητες στο ήδη υπάρχον σύστημα και να τροποποιήσει τις ήδη υπάρχουσες. Με αυτόν τον προσανατολισμό, το σύστημα της Virage προσπαθεί να αντιμετωπίσει γενικά προβλήματα, όπως ανάκτηση εικόνας με βάση το χρώμα, την υφή ή το σχήμα, αλλά και ειδικότερα θέματα, όπως η αναγνώριση προσώπων. Στις δυνατότητες του συστήματος περιλαμβάνεται και η διαχείριση βίντεο. Σήμερα, η ίδια η μηχανή αναζήτησης δεν προσφέρεται ως έχει από την εταιρία Virage, η οποία πλέον προωθεί ένα πλήρες σύστημα για διαχείριση περιεχομένου, με έμφαση στη διαχείριση πολυμεσικών δεδομένων, το VS Archive [13].

4.5 Το Excalibur RetrievalWare SDK

Το RetrievalWare SDK είναι μια γενικής χρήσης μηχανή αναζήτησης η οποία χρησιμοποιεί τεχνολογίες βασισμένες σε semantic networks για την αναζήτηση διαφόρων τύπων πληροφορίας. Το RetrievalWare SDK υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα τύπων αρχείων δεδομένων και γλωσσών διεπαφής (παρέχει APIs για πολλές αρχιτεκτονικές). Στον τομέα της αναζήτησης πολυμέσων το σύστημα αυτό υποστηρίζει:

1. αναζήτηση σε αρχεία ήχου,
2. αναζήτηση σε διάφορα αρχεία εικόνας,
3. ανάλυση βίντεο (και ανάκτηση) με βάση πληροφορίες χρώματος, υφής

και σχήματος,

4. δυνατότητες χρήσης spider για αναζήτηση σε σελίδες web,
5. διασύνδεση με άλλες μηχανές αναζήτησης.

Πλέον το RetrievalWare SDK παρέχεται ως εμπορικό προϊόν από την εταιρία Convera. Μια περιγραφή του προϊόντος παρέχεται στην ηλ. σελίδα [7].

4.6 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν διάφορα συστήματα Ανάκτησης Εικόνας με Βάση το Περιεχόμενο. Η πρώτη παρατήρηση που προκύπτει από αυτήν την παρουσίαση είναι η γρήγορη ανάπτυξη αυτών των συστημάτων και ο εμπλουτισμός τους με ολοένα περισσότερες δυνατότητες. Ταυτόχρονα, η αποδοτικότητά τους έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια με το συνδυασμό πολλών νέων τεχνολογιών και ιδεών.

Στο τομέα της ανάκτησης εικόνας με βάση το σχήμα, βλέπουμε ότι αρκετές πλέον μηχανές αναζήτησης χρησιμοποιούν το σχήμα ως χαρακτηριστικό αναζήτησης. Παρόλη την τεχνολογική πρόοδο σε πολλούς τομείς της Ανάκτησης Εικόνας, το σχήμα εξακολουθεί να *μη* χρησιμοποιείται ως *κύριο* χαρακτηριστικό αναζήτησης. Πολλές από τις προκλήσεις που θέτει η ανάκτηση εικόνας με βάση το σχήμα έχουν αντιμετωπιστεί, αλλά όπως καθίσταται φανερό οι συνθήκες δεν έχουν ωριμάσει αρκετά για την αξιόπιστη και αποδοτική χρήση πληροφοριών σχήματος στον τομέα αυτό. Καθώς ή διατριβή αυτή ασχολείται κατά κύριο λόγο με τη σύγκριση σχημάτων και την αξιοποίηση των αποτελεσμάτων της, στην διάρκεια της εκπόνησης της αναπτύχθηκε ένα πλήρες σύστημα για την ανάκτηση πληροφοριών με βάση το σχήμα. Στο επόμενο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί μια βιβλιοθήκη ανάκτησης όμοιων σχημάτων, η

GCV. Η GCV μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτόνομα είτε ως εργαλείο εντοπισμού ομοιοτήτων μεταξύ σχημάτων είτε να χρησιμοποιηθεί από ένα εργαλείο ανάκτησης εικόνας ή βίντεο για την ανάλυση των πληροφοριών σχήματος.

Κεφάλαιο 5

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΑΝΑΚΤΗΣΗΣ ΟΜΟΙΩΝ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

5.1 Εισαγωγή

Τα συστήματα Ανάκτησης Εικόνας με Βάση το Περιεχόμενο αποτελούν ένα από τα πιο ενεργά πεδία έρευνας στην Ανάκτηση Πολυμέσων με Βάση το Περιεχόμενο (ΑΕΒΠ). Παρά ταύτα, καθώς υλοποιούνται νέες μέθοδοι ανάκτησης, κάθε μια με τα δικά της μοναδικά χαρακτηριστικά και τις δικές τις προϋποθέσεις, η δημιουργία και διαχείριση μηχανών Ανάκτησης Εικόνας καθίσταται διαρκώς πολυπλοκότερη. Επιπλέον, είναι εξαιρετικά δύσκολο για τους χρήστες συστημάτων Ανάκτησης Εικόνας να κατανοήσουν τις εσωτερικές διαδικασίες των τεχνικών ανάκτησης σχήματος και να τις χρησιμοποιήσουν, επειδή είναι πολύπλοκες και μη διασαφητικές.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η βιβλιοθήκη GCV (G Computer Vision Library), η οποία αποτελεί μια πλήρη λύση για την ανάκτηση ομοίων σχημάτων, με δυνατότητες επέκτασης και ενσωμάτωσης σε άλλα συστήματα καθώς και επεξήγησης των αποτελεσμάτων στον χρήστη. Η GCV αντιμετωπί-

ζει όλες τις προκλήσεις που προκύπτουν κατά την ανάκτηση των εικόνων που περιέχουν απλά αντικείμενα με τη χρήση πληροφοριών που αφορούν το σχήμα των αντικειμένων. Η βιβλιοθήκη έχει σχεδιαστεί ως εργαλείο για έρευνα και για αυτό είναι ελεύθερα διαθέσιμη, μαζί με τεκμηρίωση και παραδείγματα, από τη σελίδα [26]. Ανάμεσα στις μεθόδους που έχουν υλοποιηθεί και ενσωματωθεί στην GCV είναι και ο αλγόριθμος ΔΓΣ, ο οποίος περιγράφηκε στο κεφάλαιο 3.

Κάθε Τεχνική Σύγκρισης Σχημάτων (ΤΣΣ) παρουσιάζει βέλτιστη αποτελεσματικότητα για συγκεκριμένα προβλήματα και δεδομένα. Για παράδειγμα, η χρήση ενός απλού ολικού κριτηρίου, όπως η Κυκλικότητα ή η Εκκεντρότητα (παρ. 2.5.2), είναι ιδανική σε περιπτώσεις όπου αρκεί ένας κατά προσέγγιση προσδιορισμός της ομοιότητας μεταξύ των περιοχών που καταλαμβάνουν δύο σχήματα. Τεχνικές όπως οι παραπάνω εκτελούνται πολύ γρήγορα, καθώς για τη σύγκριση μεταξύ δύο σχημάτων γίνεται απλώς σύγκριση μεταξύ δύο αριθμητικών τιμών, μία για το κάθε σχήμα. Εντούτοις, για την κάλυψη των χαρακτηριστικών του περιγράμματος ενός σχήματος, απαιτείται για παράδειγμα η χρήση ενός μέτρου που να προκύπτει από την καμπυλότητα του περιγράμματος, όπως η ΔΓΣ (κεφ. 3) ή ο ΧΚΚ (παρ. 2.5.4). Από τα παραπάνω εξάγεται λογικά το συμπέρασμα ότι ένα εργαλείο Ανάκτησης Εικόνας με Βάση το Σχήμα καλό είναι να παρέχει τρόπους να συγκρίνει ή/και να συνδυάζει ΤΣΣ για να επιτύχει βέλτιστη απόδοση για την εκάστοτε εφαρμογή. Η εμπειρία δείχνει πως ο συνδυασμός ΤΣΣ μπορεί να βελτιώσει τα αποτελέσματα της ανάκτησης σχήματος, ώστε τα ανακτημένα αντικείμενα να ανταποκρίνονται περισσότερο στις απαιτήσεις των χρηστών.

Επιπλέον, η διαφορετικότητα και πολυπλοκότητα των υπαρχόντων ΤΣΣ απαιτούν έως ένα βαθμό κατανόηση των εσωτερικών διαδικασιών τους από το χρήστη ενός συστήματος. Ειδικότερα, για να μπορεί ένας χρήστης να δη-

μιουργήσει ένα αποτελεσματικό φίλτρο, ώστε να βρίσκει σχήματα από συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογών, πρέπει αυτός να γνωρίζει, έστω και επιφανειακά, τη λειτουργία πολλών διαφορετικών τεχνικών και να μπορεί να τις παραμετροποιήσει. Για να διευκολυνθεί η απόκτηση των απαραίτητων γνώσεων, αλλά και για να εξηγούνται κάθε φορά τα αποτελέσματα μίας αναζήτησης με βάση το σχήμα, είναι πολύ σημαντική η παρουσίαση των πληροφοριών που χρησιμοποιεί κάθε ΤΣΣ και η επεξήγηση των αποτελεσμάτων τους. Καθώς ο συγκεκριμένος τομέας έρευνας έχει ούτως ή άλλως οπτικά αποτελέσματα, θεωρείται αναγκαίο μια ΤΣΣ να παράγει επίσης και κάποια μέθοδο οπτικής απεικόνισης των αποτελεσμάτων της, για παράδειγμα να ζωγραφίζονται δυο ελλείψεις για σύγκριση δύο σχημάτων με τη μέθοδο της Εκκεντρότητας, παρ. 2.5.2. Ο μεγάλος αριθμός των ΤΣΣ είναι ένας από τους παράγοντες που δικαιολογούν την ανάγκη οπτικοποίησης των εσωτερικών χαρακτηριστικών τους.

Το κεφάλαιο αυτό περιγράφει ένα πρωτότυπο εργαλείο για ανάκτηση σχήματος, την βιβλιοθήκη G Computer Vision (GCV), η οποία περιλαμβάνει και διαχειρίζεται ένα σύνολο από Τεχνικές Σύγκρισης Σχημάτων. Ο στόχος πίσω από την υλοποίηση της GCV υπήρξε η δημιουργία μιας μηχανής αναζήτησης σχήματος για γενική χρήση. Η GCV εκπληρώνει τον στόχο της καθώς:

- έχει δυνατότητες επέκτασης και ενσωμάτωσης: η αρχιτεκτονική της επιτρέπει στο χρήστη (ή προγραμματιστή) το συνδυασμό διαφορετικών τεχνικών ανάκτησης σχήματος με αποτέλεσμα τη βελτίωση της αποτελεσματικότητας, της ανεκτικότητας και της απόδοσης των επιμέρους τεχνικών.
- αποτελείται από ανεξάρτητες οντότητες και επιτρέπει την επέκταση των υπαρχόντων οντοτήτων, καθώς και την προσθήκη νέων.

- συμπληρώνεται από εργαλεία για είσοδο/ έξοδο δεδομένων, δημιουργώντας μια επαρκή εργαλειοθήκη για ανάκτηση απλών εικόνων και επεξήγηση των αποτελεσμάτων.
- μπορεί να χρησιμοποιηθεί εύκολα ως μηχανή αναζήτησης σχήματος, καθώς λειτουργεί ανεξάρτητα από την προέλευση των σχημάτων, είτε αυτά προέρχονται από εικόνα είτε από βίντεο ή από άλλη πηγή. Έτσι μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μηχανή αναζήτησης για διάφορα είδη πολυμέσων.
- δύναται να ενσωματωθεί σε μια μεγαλύτερη μηχανή αναζήτησης πολυμέσων, η οποία θα χρησιμοποιεί και πληροφορίες χρώματος, υφής κ.α., καλύπτοντας τις ανάγκες εύρεσης ομοιότητας βάσει του σχήματος.

Οι πληροφορίες που αξιοποιούνται από μια μηχανή ανάκτησης σχημάτων περιλαμβάνουν τα αρχικά και τα επεξεργασμένα σχήματα, κατηγοριοποιήσεις των σχημάτων, την προέλευση αυτών, τα ενδιάμεσα και τελικά αποτελέσματα της αναζήτησης, καθώς και τη σχετικότητα ενός ανακτημένου σχήματος (ομοιότητα με το σχήμα ερώτησης). Η αποθήκευση, διαχείριση και χρήση όλων των απαιτούμενων πληροφοριών μέσα σε κάθε ξεχωριστή ΤΣΣ αποτελούν επιβαρυντική, αναποτελεσματική και πολυδαπανηρή επιλογή για μια μηχανή ανάκτησης σχήματος. Η GCV παρέχει στους χρήστες γρήγορα αποτελέσματα, ενώ ταυτόχρονα λειτουργεί αφαιρετικά όσον αφορά τις λεπτομέρειες διαχείρισης του συστήματος. Συν τοις άλλοις, η επέκταση του συστήματος είναι πολύ εύκολη, καθώς αυτό χρησιμοποιεί ένα πολύ μικρό αριθμό συναρτήσεων. Για την προσθήκη μιας νέας λειτουργίας στο σύστημα, χρειάζεται η υλοποίηση ενός μικρού αριθμού διαδικασιών. Πέρα από τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από το συνδυασμό διαφορετικών ΤΣΣ, η αποδοτικότητα της μηχανής αναζήτησης ευνοείται επίσης από την αποθήκευση των σχετικών

πληροφοριών με ενιαίο τρόπο.

Η GCV ενσωματώνει, μεταξύ άλλων ΤΣΣ, την ΔΓΣ, καθώς και τις μεθόδους επεξήγησης των αποτελεσμάτων που αυτή υποστηρίζει. Η αποτελεσματικότητα της βιβλιοθήκης παρουσιάζεται μέσα από μια πρότυπη εφαρμογή που τη χρησιμοποιεί. Στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου παρουσιάζονται:

1. μια σύγκριση της GCV με υπάρχοντα συστήματα ανάκτησης πολυμέσων με βάση το σχήμα,
2. η αρχιτεκτονική της βιβλιοθήκης GCV,
3. μια εισαγωγή στη διαδικασία σύγκρισης σχημάτων της βιβλιοθήκης,
4. οι λειτουργίες εισόδου/εξόδου που υποστηρίζονται,
5. μια αναλυτική περιγραφή της αρχιτεκτονικής αναζήτησης σχημάτων,
6. τα αντικείμενα τύπου *Matcher*, τα οποία αποτελούν μια αφαίρεση για τις ΤΣΣ που είναι ενσωματωμένες ή μπορούν να ενσωματωθούν στην βιβλιοθήκη,
7. οι διαδικασίες υπολογισμού των τελικών βαθμών ομοιότητας και εξαγωγής των τελικών αποτελεσμάτων,
8. η χρήση της βιβλιοθήκης για οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων,
9. μια διαδικασία εξαγωγής σχήματος από εικόνα,
10. ένα παράδειγμα ενσωμάτωσης μιας ΤΣΣ μέσα στην βιβλιοθήκη,
11. στοιχεία που αφορούν την υλοποίηση του συστήματος, η πρότυπη Java εφαρμογή *JcnRetrieve*, η οποία χρησιμοποιεί την GCV και άλλες μικρές εφαρμογές που περιλαμβάνονται στο πακέτο της GCV,

12. αποτίμηση του συστήματος και
13. τελικά συμπεράσματα.

5.2 Σύγκριση με Υπάρχουσες Πλατφόρμες

Στα περισσότερα συστήματα Ανάκτησης Εικόνας με Βάση το Περιεχόμενο, η ανάκτηση των εικόνων γίνεται κυρίως με βάση το χρώμα, την υφή ή τη θέση των αντικειμένων, ενώ η χρήση του σχήματος είναι υποβοηθητική (βλ. κεφ. 4). Επιπλέον, πολύ λίγα από τα προτεινόμενα συστήματα ενσωματώνουν επαρκή αριθμό ΤΣΣ που υπάρχουν στην βιβλιογραφία και στα περισσότερα από αυτά δεν παρέχονται μηχανισμοί επέκτασης και προσθήκης νέων μεθόδων και κριτηρίων ανάκτησης. Αλλά και η δυνατότητα συνδυασμού ΤΣΣ είναι περιορισμένη, στα όποια +συστήματα που κάτι τέτοιο υποστηρίζεται. Παράλληλα, για το χρήστη ενός συστήματος ΑΕΒΠ, η πιο προφανής δυσχέρεια είναι η αδυναμία του να κατανοήσει τις εσωτερικές διαδικασίες του συστήματος, ώστε να το παραμετροποιήσει καλύτερα για τις δικές του ανάγκες. Κανένα από τα συστήματα που εξετάστηκαν (κεφ. 4) δεν εξηγεί τους λόγους για τους οποίους δύο σχήματα κρίνονται (αν-)όμοια. Καθώς είναι επιτακτικό να μπορεί ο χρήστης να προσαρμόσει το σύστημα στις ανάγκες του, είναι αναγκαία η κατανόηση της συμπεριφοράς του συστήματος υπό διαφορετικές παραμέτρους και με διαφορετικά δεδομένα. Μια μέθοδος οπτικής απεικόνισης των αποτελεσμάτων, όπως αυτή που παρέχεται μέσω της ΔΓΣ (κεφ. 3), σίγουρα δίνει λύσεις στον χρήστη ενός συστήματος ΑΕΒΠ, σε αυτό το ζητούμενο.

Σε αντίθεση με τα συστήματα που αναφέρθηκαν στο κεφ. 4, το παρόν σύστημα επικεντρώνεται στην ανάκτηση σχήματος, εξερευνώντας τη σε βάθος. Η GCV στοχεύει λοιπόν στην απλοποίηση της ανάκτησης πολυμέσων με βάση το σχήμα γενικότερα. Για την επίτευξη αυτού του στόχου, η GCV:

- α' Είναι επεκτάσιμη: Κάθε χαρακτηριστικό της βιβλιοθήκης μπορεί να τροποποιηθεί και να επεκταθεί σύμφωνα με τις ανάγκες του χρήστη. Η GCV παρέχει ένα δικό της μοντέλο για προγραμματισμό με βάση τα αντικείμενα (Object Oriented Programming), το οποίο επιτρέπει την υπερκάλυψη της συμπεριφοράς οποιουδήποτε αντικειμένου, **αφότου αυτό έχει δημιουργηθεί**. Μέσω αυτού του μηχανισμού, η προσθήκη μιας νέας ΤΣΣ είναι πολύ εύκολη, αφού απαιτείται η υλοποίηση μόνο ενός πολύ μικρού αριθμού συναρτήσεων.
- β' Αποτελείται από ανεξάρτητα υποσυστήματα: Η GCV παρέχει ξεχωριστές διεπαφές για κάθε είδος χρήσης της (είσοδο/έξοδο δεδομένων, αποθήκευση δεδομένων, παραμετροποίηση και διαχείριση). Οι ευθύνες κάθε υποσυστήματος είναι ξεχωριστές και διακριτές, επιτρέποντας πολλές διαφορετικές χρήσεις των ίδιων υποσυστημάτων: π.χ. ενώ είναι δυνατόν να αρχικοποιηθεί η Β.Δ. των σχημάτων από ένα αρχείο εισόδου, είναι επίσης δυνατό αυτή να αρχικοποιηθεί προγραμματιστικά, με εισαγωγή δεδομένων με την κλήση κατάλληλων συναρτήσεων της βιβλιοθήκης.
- γ' Επιτρέπει τον εύκολο συνδυασμό πολλών ΤΣΣ. Η ενσωμάτωση μιας ΤΣΣ σε ένα φίλτρο πολλών ΤΣΣ γίνεται με την απλή κλήση μιας συνάρτησης.
- δ' Επιτρέπει την είσοδο/έξοδο δεδομένων από/προς XML [14], PDB (παρ. 5.4) και άλλα είδη αρχείων.
- ε' Είναι επεξηγηματική: Η GCV επιτρέπει την δημιουργία και χρήση στατικών και δυναμικών εικόνων που επεξηγούν στο χρήστη τη διαδικασία επιλογής των αποτελεσμάτων. Συνεπώς, ένα σύστημα ΑΕΒΠ που στηρίζεται στην GCV μπορεί εύκολα να εξηγεί στον χρήστη τις εσωτερικές του διαδικασίες, επιτρέποντας με αυτόν τον τρόπο την καλύτερη παραμετροποίηση του και κατά συνέπεια τη βελτίωση της απόδοσης του συστήματος.

Επομένως, αν και η GCV είναι μια επαρκής μηχανή αναζήτησης από μόνη της, έχει σχεδιαστεί με τρόπο τέτοιο που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέρος μιας μηχανής αναζήτησης πολυμέσων. Το κεφάλαιο αυτό θα καταδείξει πως η GCV βοηθά στην ανάπτυξη και επέκταση εφαρμογών, όπως αυτές που αναφέρθηκαν στο κεφ. 4, οι οποίες χαρακτηρίζουν τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα της ανάκτησης πολυμέσων.

5.3 Αρχιτεκτονική της Βιβλιοθήκης

5.3.1 Γενική Αρχιτεκτονική

Η παράγραφος αυτή σκιαγραφεί την εσωτερική δομή και τις λειτουργίες της υλοποιημένης βιβλιοθήκης ανάκτησης σχήματος (GCV). Η βιβλιοθήκη παρέχει μεγάλο αριθμό εργαλείων πέρα από τις βασικές ΤΣΣ, μέσω των υλοποιημένων κλάσεων *αντικειμένων*. *Αντικείμενα* αποτελούν για παράδειγμα οι υλοποιήσεις των ΤΣΣ, στις οποίες θα αναφερόμαστε ως *Matchers*. Άλλα *αντικείμενα* είναι οι *Εικόνες* (Image), οι οποίες χρησιμοποιούνται για είσοδο, επεξεργασία και αποθήκευση γραφικών, οι *Δυναμικές Εικόνες* (Animation), οι οποίες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή πολλαπλών εικόνων ανά τακτά χρονικά διαστήματα, τα *Πολύγωνα* (Polygon), που χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση και επεξεργασία σχημάτων και τα αντικείμενα *Γραφικών* (Graphics), τα οποία παρέχουν λειτουργίες σχετικές με δισδιάστατα γραφικά. Για μια λεπτομερή περιγραφή των αντικειμένων και των συναρτήσεών τους οι αναγνώστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν την τεκμηρίωση της GCV [26].

Η προγραμματιστική διεπαφή της GCV έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

1. Είναι συμβατή με κάθε προγραμματιστικό εργαλείο και πλατφόρμα, καθώς είναι γραμμένη στη γλώσσα *C*.
2. Η διεπαφή του συστήματος περιορίζει ελάχιστα την εσωτερική υλοποίηση της βιβλιοθήκης, επιτρέποντας στον προγραμματιστή που τη χρησιμοποιεί να γράφει μια φορά τον κώδικά του χωρίς να ενδιαφέρεται για τις αλλαγές που γίνονται ή θα γίνουν στην GCV, επιτρέποντας την επαναχρησιμοποίηση του ίδιου κώδικα.
3. Η ίδια η διεπαφή παραμένει μικρή σε μέγεθος (μόνο 25 συναρτήσεις). Οι ονοματολογικές συμβάσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί για τις συναρτήσεις και τις παραμέτρους τους εξασφαλίζουν ότι ο αριθμός αυτός δεν θα αυξηθεί σε μεγάλο βαθμό.
4. Αν και γραμμένη σε *C*, η GCV ακολουθεί τους κανόνες του Object Oriented Programming (OOP): Είναι πολύ εύκολο να εισαχθούν νέοι τύποι δεδομένων και να προσαρμοστούν ή να επεκταθούν υπάρχοντες τύποι δεδομένων, και μάλιστα την ώρα της εκτέλεσης ενός προγράμματος. Κάθε υποσύστημα της βιβλιοθήκης είναι δύναται να επεκταθεί μέσω ενός μηχανισμού *OOP* που λειτουργεί την ώρα της εκτέλεσης, διαμέσω των συναρτήσεων ενός αντικειμένου τύπου `CustomObjectInfo`. Η εφαρμογή `gcn_test_coi` δίνει ένα παράδειγμα χρήσης αυτού του μηχανισμού. Σε συγκεκριμένα αντικείμενα, όπως σε αντικείμενα τύπου `Matcher`, ειδικοί μηχανισμοί επέκτασης διευκολύνουν τη διαδικασία αυτή. Πληροφορίες για τα παραπάνω και πηγαίος κώδικας υπάρχουν στη σελίδα της GCV [26].

Για ένα ερευνητή που ασχολείται με την Ανάκτηση Πολυμέσων, η χρησιμότητα της GCV προκύπτει από το γεγονός ότι δεν τον απασχολεί με λεπτομέρειες υλοποίησης. Αντίθετα, παρέχονται σε αυτόν πολλές ευκολίες, ακόμα

και οι λειτουργίες εισόδου και εξόδου των δεδομένων. Συνεπώς, ο προγραμματιστής μπορεί να χρησιμοποιήσει πολύ εύκολα τις ήδη παρεχόμενες λειτουργίες, όπως να φορτώσει μια Β.Δ. με σχήματα, να θέσει ερωτήματα και να πάρει απαντήσεις σχετικά με αυτήν και να παρουσιάσει τα αποτελέσματα. Εφόσον απαιτούνται επιπλέον λειτουργίες, υπάρχει η δυνατότητα ενσωμάτωσης και αυτών στη βιβλιοθήκη, με τη χρήση των παρεχόμενων μηχανισμών επέκτασης. Τέλος, η εργαλειοθήκη της GCV παρέχεται ελεύθερα, μαζί με τεκμηρίωση, παραδείγματα χρήσης και εφαρμογές σε C και Java, από την ιστοσελίδα [26].

5.3.2 Αρχιτεκτονική Σύγκρισης Σχημάτων

Αναφορικά με τη σύγκριση σχημάτων, τα βασικά στοιχεία (*Αντικείμενα*) της GCV είναι τα αντικείμενα τύπου *Βιβλιοθήκης* (Libraries -LIB) και τα αντικείμενα τύπου *Βάσεων Δεδομένων Σχημάτων* (ΒΔΣ - Polygon Databases - PDB). Ένα αντικείμενο ΒΔΣ περιέχει όλα τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση σχημάτων, συμπεριλαμβανομένων των σχημάτων και των προσωρινών δεδομένων που χρειάζονται από το υποσύστημα ανάκτησης, των σχετικών με τα σχήματα. Ένα αντικείμενο *βιβλιοθήκης* δικαιολογεί το όνομά του με το γεγονός ότι παρέχει τις λειτουργίες με τις οποίες ο χρήστης παραμετροποιεί και χρησιμοποιεί τη μηχανή αναζήτησης. Οι *βιβλιοθήκες* αποτελούν επίσης το αλγοριθμικό τμήμα της μηχανής αναζήτησης και είναι μπορούν να παραμετροποιηθούν. Μια βιβλιοθήκη περιέχει ένα πλήθος από ΤΣΣ, υλοποιημένες ως αντικείμενα τύπου *Matcher*, και τις παραμέτρους τους. Για να χρησιμοποιηθεί η μηχανή αναζήτησης πρέπει να δημιουργηθεί ένα αντικείμενο Βιβλιοθήκης και να συνδεθεί με μία ΒΔΣ, από την οποία αντλεί η βιβλιοθήκη τα δεδομένα της. Αυτός ο διαχωρισμός των αλγορίθμων από τα δεδομένα είναι απαραίτητος, ώστε να μην υπάρχουν περιττά επα-

να λαμβανόμενα δεδομένα και να επιτρέπεται η χρήση διαφορετικών συνόλων παραμέτρων και αλγορίθμων στα ίδια δεδομένα, καθώς και η χρήση των ίδιων δεδομένων αλλά με διαφορετικές παραμέτρους και αλγορίθμους.

Ο ψευδοκώδικας στο σχήμα 5.1 αρχικοποιεί μια Β.Δ. από ένα αρχείο κειμένου και θέτει μια ερώτηση σε αυτή με τη χρήση ενός αντικειμένου Βιβλιοθήκης.

Λαμβάνοντας υπόψη και τους παραπάνω ορισμούς, η συνολική διαδικασία Σύγκρισης Σχημάτων περιλαμβάνει:

1. Φόρτωση της Β.Δ. από ένα αρχείο, ή εξαγωγή των σχημάτων από αντίστοιχες εικόνες.
2. Εφαρμογή κάποιων μετασχηματισμών στα σχήματα, όπως εξομάλυνση και δειγματοληψία σε συγκεκριμένη ανάλυση.
3. Δημιουργία των περιγραφών (βλ. παρ. 2.2) για κάθε Matcher που περιλαμβάνει η εκάστοτε Βιβλιοθήκη.
4. Ερώτηση του συστήματος, το οποίο συνδυάζει ένα σύνολο από Matchers.
5. Ανάκτηση των αποτελεσμάτων και δημιουργία οπτικών αναπαραστάσεων τους.

5.4 Αποθήκευση Δεδομένων: Η κλάση Βάσης Δεδομένων Σχημάτων

Η GCV παρέχει εργαλεία με τα οποία ο προγραμματιστής μπορεί να εξάγει σχήματα από εικόνες και να συσχετίσει σχήματα με αυτές. Εντούτοις, αυτή η

```
//create Polygon Database and Library Objects and connect them
lib=createLibrary()
pdb=createPolygonDatabase()
lib.setPolygonDatabase(pdb)
//load the pdb
pdb.load(PDB_FILE)
//match the first shape in the database!
lib.setQuery(0)
lib.match()
//print the result indices
s=lib.getResultsNum()
print("Results # " + s)
for(i=0, i<s, i=i+1){
index=lib.getResult(i)
print(index)
}
```

Σχήμα 5.1: Ψευδοκώδικας που αρχικοποιεί μια Βιβλιοθήκη και μια ΒΔΣ, συνδέει τα δύο αντικείμενα μεταξύ τους, φορτώνει τη ΒΔΣ από ένα αρχείο, ζητάει από την βιβλιοθήκη σχήματα τα οποία να μοιάζουν με το πρώτο σχήμα στη Β.Δ. (στη θέση 0) και εκτυπώνει τα αποτελέσματα. Ο κώδικας αυτός βρίσκεται και σε μορφή κώδικα *C*, ως παράδειγμα χρήσης, στην ιστοσελίδα της GCV (στον αντίστοιχο *C* κώδικα το αντικείμενο είναι το πρώτο όρισμα κάθε συνάρτησης).

διαδικασία είναι αργή και πολλάκις επαναλαμβανόμενη για τα ίδια δεδομένα. Επομένως, είναι χρήσιμο να υπάρχει κάποιος τρόπος αποθήκευσης των αποτελεσμάτων της που να ικανοποιεί τις ανάγκες του συστήματος. Για την απλοποίηση της φόρτωσης μιας ΒΔΣ στην GCV, δημιουργήθηκε ένα απλό είδος αρχείου κειμένου, το οποίο περιλαμβάνει τα χαρακτηριστικά των σχημάτων που θα χρησιμοποιηθούν από το σύστημα. Παραδείγματα αρχείων ΒΔΣ υπάρχουν στην σελίδα [26]. Πέρα από τις συντεταγμένες των κορυφών, κάθε αρχείο ΒΔΣ περιέχει κατηγορίες πολυγώνων (χρήσιμο για την αποτίμηση του συστήματος), ονόματα εικόνων για κάθε σχήμα κ.α. Ένα μικρό παράδειγμα αρχείου ΒΔΣ παρατίθεται στο σχήμα 5.3. Να σημειώσουμε ότι σε αυτό το είδος αρχείου δε περιλαμβάνονται οι Περιγραφές των αντίστοιχων *Matchers*. Αυτό σημαίνει ότι οι Περιγραφές παράγονται κατά την εκτέλεση του προγράμματος και διατηρούνται μόνο στη μνήμη.

Κάθε πληροφορία στο αρχείο ΒΔΣ τοποθετείται σε ξεχωριστή γραμμή. Ένα αρχείο αποτελείται από τέσσερα τμήματα, το καθένα με μια χαρακτηριστική λέξη στην πρώτη γραμμή, για παράδειγμα το τμήμα πολυγώνων ξεκινά με την γραμμή *polSize [number]*. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατή η επέκταση των υπάρχόντων τμημάτων του αρχείου και η προσθήκη νέων τμημάτων. Η συνάρτηση που φορτώνει το αρχείο αναφέρει τον αριθμό των τμημάτων του που φορτώθηκαν. Συνεπώς, παρόλο που ένα αρχείο ΒΔΣ αποτελείται κανονικά από 4 τμήματα, τα οποία θα αναφερθούν παρακάτω, είναι δυνατόν το αρχείο να περιέχει μέρος αυτών ή ακόμα και επιπλέον τμήματα, τα οποία μπορεί να αφορούν σε συγκεκριμένες εφαρμογές. Βέβαια, για να λειτουργήσει η μηχανή αναζήτησης, θα πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον τα δύο πρώτα τμήματα, δηλαδή η επικεφαλίδα και το τμήμα Πολυγώνων, ώστε να φορτωθούν τα πολύγωνα της Β.Δ..

Το πρώτο τμήμα ενός αρχείου ΒΔΣ είναι η επικεφαλίδα, η οποία αποτε-

λείται από τον τύπο του αρχείου (PDB) και μια ακέραια τιμή, την `sampleSize`, η οποία καθορίζει την ανάλυση που χρησιμοποιήθηκε για την δειγματοληψία των πολυγώνων, αν αυτά είναι προεπεξεργασμένα. Αν η `sampleSize` έχει τιμή ≤ 2 , τότε τα πολύγωνα δεν έχουν δειγματοληφθεί. Στην τελευταία περίπτωση, τα πολύγωνα που αποθηκεύονται στο αρχείο ΒΔΣ είναι τα αρχικά σχήματα, τα οποία μπορεί να έχουν διαφορετικό αριθμό κορυφών το καθένα. Το δεύτερο τμήμα περιέχει τα ίδια τα σχήματα. Αυτό το τμήμα ξεκινά με τον αριθμό των σχημάτων, `polSize`. Για κάθε σχήμα υπάρχουν: μια γραμμή `'pSize [value]'` - ανεξάρτητη από την τιμή του `sampleSize` - και διαδοχικές γραμμές που περιέχουν τις συντεταγμένες των κορυφών του σχήματος. Το τρίτο τμήμα περιέχει τις κατηγορίες των παραπάνω σχημάτων. Η τιμή `catSize` είναι το πλήθος των κατηγοριών. Κάθε κατηγορία καθορίζεται από το όνομά της και το πρώτο και το τελευταίο στοιχείο της (για την ακρίβεια, ένα στοιχείο μετά το τελευταίο). Το τελευταίο τμήμα του αρχείου αποτελείται από συμβολοσειρές όπου αποθηκεύεται η προέλευση των εικόνων, οι οποίες σχετίζονται με καθένα από τα παραπάνω σχήματα. Η τιμή `strSize` είναι το πλήθος αυτών των συμβολοσειρών. Κάθε συμβολοσειρά βρίσκεται στη δική της γραμμή, μετά από έναν αριθμό που δείχνει το σχήμα στο οποίο αντιστοιχεί.

Για να διευκολυνθεί η μετατροπή δεδομένων από/προς μορφή αρχείου ΒΔΣ, καθώς και για να παρέχεται μια γενικά αποδεκτή μορφή εισόδου/εξόδου, η GCV παρέχει συναρτήσεις για την αποθήκευση της βάσης σε μορφή XML [14], ενώ προσφέρονται εργαλεία που μετατρέπουν δεδομένα από μορφή PDB σε XML και αντίστροφα. Το σχήμα 5.4 αναπαριστά το παραπάνω αρχείο PDB (σχ. 5.3), μεταφρασμένο σε XML. Ο ορισμός ενός σχήματος στο tag `polygon` είναι πανομοιότυπος με αυτόν που χρησιμοποιεί η μεταγλώσσα γραφικών SVG, ώστε να είναι πιο εύκολα προσπελάσιμα τα δεδομένα του αρχείου αυτού από άλλες εφαρμογές.

Αν τα αρχεία δεν έχουν υποστεί προεπεξεργασία, τότε πρέπει να περάσουν την διαδικασία της προεπεξεργασίας τους τη στιγμή που ένα αρχείο ΒΔΣ φορτώνεται από την GCV. Αυτή η διαδικασία είναι όμοια με τη διαδικασία που χρησιμοποιείται για την προετοιμασία των σχημάτων από την Τεχνικής Σύγκρισης Σχημάτων ΔΓΣ, δηλαδή περιλαμβάνει:

1. Συνέλιξη των αρχικών πολυγώνων με μια μονοδιάστατη Γκαουσουσιανή μήτρα για να ελαχιστοποιηθούν τα σφάλματα και ο θόρυβος από την εξαγωγή των σχημάτων (από εικόνα, βίντεο κ.λ.π.).
2. Δειγματοληψία του πολυγώνου σε N σημεία, τα οποία απέχουν ίσες αποστάσεις κατά την διάσχιση του αρχικού πολυγώνου. Το N θα αναφέρεται στο εξής ως *ανάλυση* του σχήματος.

Η προέλευση των σχημάτων, η οποία αποτελεί το τελευταίο τμήμα ενός αρχείου ΒΔΣ, επιτρέπει στην GCV να χρησιμοποιηθεί ως σύστημα Ανάκτησης Εικόνας με Βάση το Περιεχόμενο (ΑΕΒΠ). Από την στιγμή που η μηχανή αναζήτησης επιστρέφει ένα σχήμα, γνωρίζουμε αυτόματα και την εικόνα από την οποία αυτό προήλθε. Με την ενεργοποίηση μιας επιλογής, ένα αντικείμενο ΒΔΣ, στο οποίο αποθηκεύονται προσωρινά τα δεδομένα του αρχείου ΒΔΣ, μπορεί να φορτώσει στη μνήμη και τις αντίστοιχες εικόνες, παρέχοντας τις απευθείας στο χρήστη της βιβλιοθήκης, όταν αυτές ζητηθούν.

Αφότου τα δεδομένα ενός αρχείου ΒΔΣ φορτωθούν σε ένα αντικείμενο τύπου ΒΔΣ, αυτό μπορεί να παρέχει στα άλλα υποσυστήματα της GCV:

- Τα αρχικά σχήματα (ως Πολύγωνα).
- Τα επεξεργασμένα σχήματα (ως επεξεργασμένα Πολύγωνα).
- Τις εικόνες (ή την προέλευσή τους) που αντιστοιχούν σε κάθε σχήμα.

- Τις Περιγραφές των σχημάτων για κάθε Matcher.
- Άλλες πληροφορίες που μπορεί να χρησιμοποιήσει η μηχανή αναζήτησης, π.χ. τις διαδρομές από τις οποίες φορτώθηκαν αρχεία, τις κατηγορίες των σχημάτων κ.α.

5.5 Αναζήτηση στη Β.Δ.: Αντικείμενα τύπου Βιβλιοθήκης

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για να χρησιμοποιηθεί η μηχανή αναζήτησης είναι αναγκαίο να δημιουργηθεί ένα αντικείμενο Βιβλιοθήκης, να παραμετροποιηθεί και να συνδεθεί με ένα αντικείμενο ΒΔΣ. Μέσα στη Βιβλιοθήκη περιέχεται μια στοίβα από Matchers. Οι συνηθισμένες λειτουργίες μιας στοίβας, όπως η προσθήκη στοιχείου στην κορυφή και η αφαίρεση στοιχείου από αυτή υποστηρίζονται, με τη διαφορά ότι τα αντικείμενα που διαχειρίζεται η στοίβα είναι αντικείμενα τύπου Matcher. Ο χρήστης διαμορφώνει τη στοίβα αυτή σύμφωνα με τις ανάγκες του, συνδέει τη Βιβλιοθήκη με μια ΒΔΣ και μετά θέτει ερωτήματα στη βάση. Τα ερωτήματα γίνονται με δύο τρόπους: είτε ζητούνται τα πολύγωνα στη Β.Δ. που μοιάζουν με ένα αντικείμενο τύπου Πολυγώνου, είτε ζητούνται τα πολύγωνα στη Β.Δ. που μοιάζουν με ένα πολύγωνο που βρίσκεται ήδη σε συγκεκριμένη θέση μέσα στη Β.Δ.. Οι περιγραφές που αντιστοιχούν σε μια Β.Δ. ανανεώνονται αυτόματα ανάλογα με το είδος των Matchers που είναι συνδεδεμένα έμμεσα με αυτήν, μέσω ενός αντικειμένου Βιβλιοθήκης, απλοποιώντας την προετοιμασία της μηχανής αναζήτησης.

Όταν τίθεται ένα ερώτημα σε μια Βιβλιοθήκη, αναζητά τις θέσεις των πολυγώνων μέσα στην τρέχουσα ΒΔΣ που μοιάζουν στο ερώτημα. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μιας διαδικασίας πολλαπλών βημάτων: ξεκινώντας από τον πάτο

της στοίβας (υπάρχει πρόσβαση σε όλα τα στοιχεία της στοίβας) και τελειώνοντας στην κορυφή, η μηχανή αναζήτησης ρωτά όλους τους Matchers, για το αν το ερωτηθέν σχήμα μοιάζει με σχήματα που υπάρχουν στη ΒΔΣ, δηλαδή οι Matchers εκτελούνται με την σειρά που εισήχθησαν στην στοίβα. Η σειρά ερώτησης των Matchers είναι σημαντική, γιατί σε κάθε βήμα απορρίπτονται κάποια σχήματα, τα οποία δε φτάνουν ποτέ στους επόμενους ελέγχους. Το σχήμα 5.5 απεικονίζει αυτή τη διαδικασία. Η διαδικασία υπολογισμού της ομοιότητας, η ταξινόμηση των αποτελεσμάτων, καθώς και η υλοποίηση των ΤΣΣ μέσα στους Matchers θα αναλυθούν στις επόμενες ενότητες.

Ας εξετάσουμε την περίπτωση όπου ένας χρήστης εφαρμόζει πρώτα ένα απλό ολικό κριτήριο, όπως η Κυρτότητα (2.5.2) και έπειτα μια πιο πολύπλοκη ΤΣΣ, όπως ο Χώρος Καμπυλότητας Κλίμακας (ΧΚΚ -παρ. 2.5.4). Σε αυτήν την περίπτωση πρέπει:

- α) να αρχικοποιήσει την στοίβα, αφαιρώντας όποιους Matchers υπάρχουν ήδη εκεί,
- β) να προσθέσει τον Matcher που αντιστοιχεί στην Κυρτότητα και
- γ) να προσθέσει τον Matcher που αντιστοιχεί στον ΧΚΚ.

Έτσι η παραγόμενη στοίβα θα περιέχει την Κυρτότητα στον πάτο της στοίβας και τον ΧΚΚ στην κορυφή. Με την ερώτηση μιας βιβλιοθήκης που έχει τροποποιηθεί όπως παραπάνω, οι Matchers θα εκτελεστούν με σειρά: Κυρτότητα, ΧΚΚ. Με τον τρόπο αυτό παράγεται ένα συνολικό φίλτρο αναζήτησης που είναι πιο αποδοτικό και πιο ακριβές στα αποτελέσματα από ότι αν εφαρμόζαμε οποιονδήποτε από τους δύο Matchers ανεξάρτητα. Η Κυρτότητα θα αφαιρέσει πολλά ανόμοια σχήματα εξαιρετικά γρήγορα λόγω της ταχύτητας εκτέλεσής της, επιλέγοντας μόνο μερικά σχήματα, στα οποία θα εφαρμοστεί

ο πιο λεπτομερής αλλά και χρονοβόρος έλεγχος του ΧΚΚ. Εν τέλει, καθώς τα δύο κριτήρια έχουν διαφορετικά πλεονεκτήματα έκαστο, τα αποτελέσματα έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια, αφού το κάθε κριτήριο καλύπτει τις αδυναμίες του άλλου.

5.6 Ενσωματωμένοι Αλγόριθμοι Σύγκρισης Σχημάτων

Βασικό στοιχείο της βιβλιοθήκης GCV αποτελούν οι υλοποιήσεις των ΤΣΣ. Κάθε ΤΣΣ που ενσωματώνεται στη βιβλιοθήκη αναπαριστάται ως υλοποίηση της κλάσης *Matcher*. Η παράγραφος αυτή θα παρουσιάσει την κλάση *Matcher* και τα χαρακτηριστικά της. Κάθε ΤΣΣ χρησιμοποιεί συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των σχημάτων για να τα συγκρίνει μεταξύ τους. Συνήθως αυτά τα χαρακτηριστικά εξάγονται από το σχήμα με χρήση ειδικών διαδικασιών. Στη βιβλιογραφία, οι οντότητες που προκύπτουν από τέτοιες διαδικασίες εξαγωγής ονομάζονται Περιγραφές (βλ. κεφ. 2). Μία απλή Περιγραφή είναι για παράδειγμα η τιμή της Κυρτότητας ενός σχήματος, δηλαδή η αναλογία του εμβαδού ενός σχήματος προς το εμβαδόν του μικρότερου κυρτού σχήματος στο οποίο μπορεί να εγγραφεί. Η τιμή αυτή από μόνη της αποτελεί την Περιγραφή για μια ΤΣΣ (υλοποιημένη ως ο *Matcher* της Κυρτότητας), η οποία συγκρίνει δύο σχήματα χρησιμοποιώντας μόνο τις κυρτότητές τους. Για την GCV, κάθε Περιγραφή αναπαριστάται από ένα αντικείμενο κλάσης που είναι υποκλάση της κλάσης *Περιγραφή*. Οι ίδιοι οι *Matchers* παρέχουν την υλοποίηση για τη δημιουργία και καταστροφή των Περιγραφών τους, χρησιμοποιώντας τα σχήματα που υπάρχουν σε ένα αντικείμενο ΒΔΣ.

Ένας *Matcher* παρέχει τις παρακάτω λειτουργίες:

1. Δημιουργεί τις δικές του Περιγραφές, δηλαδή τις εσωτερικές αναπαραστάσεις των σχημάτων που χρησιμοποιεί για τη σύγκριση μεταξύ σχημάτων.
2. Συγκρίνει δύο Περιγραφές και επιστρέφει την ομοιότητά τους στο διάστημα $[0, 1]$. Η ομοιότητα αυτή ισχύει για τα σχήματα από τα οποία παρήχθησαν οι δύο Περιγραφές
3. Δημιουργεί οπτικές επεξηγήσεις της ομοιότητας μεταξύ δύο σχημάτων.

Συνολικά, ένας *Matcher* πρέπει να υποστηρίζει ένα σύνολο συναρτήσεων. Οι συναρτήσεις αυτές περιγράφονται με ψευδοκώδικα ως: *Αποτέλεσμα* \leftarrow *Συνάρτηση (Παράμετροι)*. Το *Αποτέλεσμα* είναι ο τύπος της τιμής που επιστρέφει η συνάρτηση και μπορεί να είναι είτε ένα αντικείμενο είτε μια απλή αριθμητική τιμή (ακέραια ή κινητής υποδιαστολής).

- *Περιγραφή* \leftarrow *CreateDescriptor(Πολύγωνο)* : Η συνάρτηση αυτή επεξεργάζεται το αρχικό πολύγωνο και παράγει την Περιγραφή του *Matcher*. Όταν ένας *Matcher* τοποθετείται μέσα στη στοιβά μιας Βιβλιοθήκης, η οποία είναι συνδεδεμένη με μια ΒΔΣ, καλείται η παραπάνω συνάρτηση για κάθε πολύγωνο της ΒΔΣ, ώστε να δημιουργηθούν οι Περιγραφές για κάθε Πολύγωνο της ΒΔΣ. Οι Περιγραφές αυτές διατηρούνται μέχρι να αποσυνδεθεί η Βιβλιοθήκη από τη ΒΔΣ ή να αφαιρεθεί ο *Matcher* από τη Βιβλιοθήκη.
- *Αποτέλεσμα-Σύγκρισης* \leftarrow *CompareShapes(Περιγραφή1, Περιγραφή2)* : Οι περιγραφές 1 και 2 έχουν δημιουργηθεί με την κλήση της *CreateDescriptor* από τον ίδιο *Matcher*. Η συνάρτηση *CompareShapes* επιστρέφει ένα αντικείμενο τύπου *Αποτέλεσμα-Σύγκρισης*. Ένα *Αποτέλεσμα-Σύγκρισης* περιέχει τα αποτελέσματα της σύγκρισης δύο Περιγραφών

με τη χρήση ενός *Matcher*. Ο *Matcher* μπορεί να χρησιμοποιήσει το *Αποτέλεσμα-Σύγκρισης* για την απεικόνιση της σύγκρισης, τον έλεγχο λαθών ή για στατιστικά στοιχεία. Η κλάση *Αποτέλεσμα-Σύγκρισης* παρέχει τουλάχιστον μια συνάρτηση, την *getScore()*, η οποία επιστρέφει το βαθμό ομοιότητας μεταξύ των δύο σχημάτων από τα οποία προήλθαν οι περιγραφές που συγκρίνονται, στο διάστημα $[0, 1]$. Όταν ένα αντικείμενο Βιβλιοθήκης διατρέχει τη σοίβα του, καλεί την *CompareShapes* για κάθε σχήμα της Β.Δ. και το ερωτηθέν σχήμα. Τα *Αποτελέσματα-Σύγκρισης* που παράγονται χρησιμοποιούνται για την επικύρωση ή απόρριψη των σχημάτων.

- *Εικόνα* ← *DrawMatch(Περιγραφή1, Περιγραφή2, Πολύγωνο1, Πολύγωνο2, Αποτέλεσμα-Σύγκρισης, ...)* : Η συγκεκριμένη συνάρτηση δημιουργεί ένα αντικείμενο τύπου *Εικόνας* (βλ. παρ. 5.8) και απεικονίζει πάνω του κατάλληλες οπτικές περιγραφές του τρόπου που επιτυγχάνεται η σύγκριση μεταξύ των Πολύγωνο1 και Πολύγωνο2. Οι Περιγραφή1 και Περιγραφή2 είναι οι Περιγραφές που δημιουργήθηκαν από το *Matcher* με τη χρήση των δύο παραπάνω πολύγωνων. Το *Αποτέλεσμα-Σύγκρισης* είχε δημιουργηθεί από τη σύγκριση των Περιγραφή1 και Περιγραφή2. Επιπλέον παράμετροι μπορεί επίσης να περιλαμβάνουν το πλάτος και το ύψος της *Εικόνας*.
- *Κινούμενη-Εικόνα* ← *AnimateMatch(Περιγραφή1, Περιγραφή2, Πολύγωνο1, Πολύγωνο2, Αποτέλεσμα-Σύγκρισης, ...)* : Η συνάρτηση αυτή δέχεται τις ίδιες παραμέτρους με την παραπάνω αλλά δημιουργεί και επιστρέφει ένα αντικείμενο τύπου *Κινούμενης Εικόνας* (βλ. παρ. 5.8). Αυτό το αντικείμενο περιέχει μια σειρά εικόνων που δημιουργούν την εντύπωση της κινούμενης εικόνας, η οποία περιγράφει τον τρόπο που

έγινε η σύγκριση μεταξύ των δύο σχημάτων.

Μέχρι στιγμής, η GCV ενσωματώνει Matchers που υλοποιούν τις παρακάτω Τεχνικές Σύγκρισης Σχήματος:

- Ολικά Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά: Κυκλικότητα, Εκκεντρότητα, Κυρτότητα (βλ. παρ. 2.5.2),
- Περιγραφές Φουριέ: Με βάση την Καμπυλότητα, την Κεντρική Απόσταση και τις Συντεταγμένες του περιγράμματος (βλ. παρ. 2.5.3),
- τη Διαφορά Γωνίας Στροφής (βλ. παρ. 3) και
- το Χώρο Καμπυλότητας Μεγέθους (βλ. παρ. 2.5.4).

Για κάθε Matcher στη στοιβα μιας Βιβλιοθήκης υπάρχει μία τιμή στο διάστημα $[0, 1]$, η οποία καθορίζει αν ένα σχήμα συμφωνεί με τον έλεγχο της σύγκρισης ή όχι. Ο Matcher παράγει ένα *Αποτέλεσμα-Σύγκρισης* το οποίο περιέχει το βαθμό ομοιότητας. Όταν ο βαθμός ομοιότητας είναι μικρότερος από τη τιμή ελέγχου, το σχήμα της Β.Δ. που ελέγχεται θεωρείται ανόμοιο με το σχήμα της ερώτησης, ενώ, στην περίπτωση που είναι μεγαλύτερος ή ίσος από αυτή, θεωρείται όμοιο (για την ΤΣΣ που αντιπροσωπεύει ο Matcher).

5.7 Υπολογισμός του βαθμού ομοιότητας και τελικά αποτελέσματα

Μετά την περιγραφή του τρόπου εύρεσης των όμοιων σχημάτων, θα καταγραφεί ο τρόπος με τον οποίο ανακτώνται τα τελικά αποτελέσματα και υπολογίζεται ο τελικός βαθμός ομοιότητας. Στην παράγραφο 5.5 περιγράφηκε ο

τρόπος με τον οποίο χρησιμοποιούνται τα αποτελέσματα της σύγκρισης κάθε Matcher για να μειωθεί το πλήθος των πιθανών αποτελεσμάτων. Αφότου εφαρμοστεί η διαδικασία επιλογής για κάθε Matcher, τα αποτελέσματα θα πρέπει να ταξινομηθούν για την παρουσίασή τους, σύμφωνα με το βαθμό ομοιότητάς τους με το ερωτηθέν σχήμα.

Για το σκοπό αυτό παρέχονται διάφορα σενάρια υπολογισμού της ομοιότητας. Η συνήθης συμπεριφορά του συστήματος είναι να χρησιμοποιεί για την ταξινόμηση των αποτελεσμάτων μόνο τα αποτελέσματα του τελευταίου Matcher, και αυτό για πρακτικούς κυρίως λόγους. Με αυτόν τον τρόπο μπορούν να χρησιμοποιηθούν και Matchers οι οποίοι δεν επιστρέφουν ακριβή και αναλογικό βαθμό ομοιότητας μεταξύ σχημάτων. Επίσης, διευκολύνεται πολύ ο υπολογισμός των τελικών αποτελεσμάτων και επιτρέπεται η ελαχιστοποίηση της χρησιμοποιούμενης μνήμης. Εναλλακτικά, υπάρχει δυνατότητα χρήσης σταθμικού μέσου των αποτελεσμάτων όλων των Matchers της στοίβας. Μέρος της μελλοντικής έρευνας ίσως να αποτελέσει μια μέθοδος αυτόματου υπολογισμού των βαρών των Matchers, με την τροφοδότηση του συστήματος με εμπειρικά αποτελέσματα ή το ιστορικό από προηγούμενες αναζητήσεις σε γνωστές βάσεις δεδομένων σχημάτων.

5.8 Οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων: Αντικείμενα τύπου Εικόνας, Κινούμενης Εικόνας και Γραφικών

Η βιβλιοθήκη GCV είναι κάτι παραπάνω από μια μηχανή αναζήτησης. Πέρα από τις λειτουργίες αναζήτησης, η GCV παρέχει τα αντικείμενα τύπου *Εικόνας*, *Κινούμενης Εικόνας* και *Γραφικών*, τα οποία δημιουργούν πολλές

δυνατότητες για δισδιάστατα γραφικά. Με τη χρήση αυτών των αντικειμένων οι *Matchers* όχι μόνο επιστρέφουν τα αποτελέσματα και τις βαθμολογίες τους, αλλά δημιουργούν και κατάλληλες οπτικοποιήσεις των αποτελεσμάτων, ώστε να εξηγούν τους λόγους που δύο σχήματα κρίνονται όμοια. Οι διαδικασίες οπτικοποίησης της ΤΣΣ ΔΓΣ, οι οποίες περιγράφηκαν στην παρ. 3.5, είναι υλοποιημένες και μέσα στην GCV και αποτελούν παράδειγμα χρήσης της βιβλιοθήκης. Επιπλέον, τα αντικείμενα τύπου *Εικόνας*, *Κινούμενης Εικόνας* και *Γραφικών* μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για γενικές χρήσεις, όπως η επεξεργασία εικόνας και η απεικόνιση δισδιάστατων γραφικών γενικά. Παρακάτω παρουσιάζονται συνοπτικές περιγραφές των κλάσεων αυτών:

1. *Γραφικά (Graphics)*: Τα αντικείμενα τύπου *Γραφικών* δεν αποτελούν μέρος ενός αλγόριθμου Σύγκρισης Σχήματος, αλλά χρησιμοποιούνται από ΤΣΣ για να σχεδιάσουν απεικονίσεις των αποτελεσμάτων τους. Ουσιαστικά είναι μια διεπαφή της GCV που επιτρέπει στο χρήστη να σχεδιάζει πάνω σε μια δισδιάστατη επιφάνεια, καθώς παρέχει συναρτήσεις για σχεδιασμό γραμμών και σχημάτων, το γέμισμα πολυγώνων και την επεξεργασία εικόνων. Μέχρις στιγμής, από την GCV μπορούν να δημιουργηθούν αντικείμενα *Γραφικών* που να σχεδιάζουν πάνω σε ένα αντικείμενο *Εικόνας*. Αυτή η *Εικόνα* μπορεί αργότερα να προβληθεί, να εκτυπωθεί ή να αποθηκευτεί. Γενικά, για τον σχεδιασμό μιας απεικόνισης απαιτείται η χρήση ενός αντικειμένου *Γραφικών*.
2. *Εικόνα (Image)*: Ένα αντικείμενο *Εικόνας* αντιπροσωπεύει μια δισδιάστατη εικόνα που είναι αποθηκευμένη στη μνήμη. Παρέχει συναρτήσεις διαχείρισης εικόνας, όπως φόρτωση/ αποθήκευση εικόνας από/σε αρχείο, διεργασίες *blitting*, όπως αντιγραφή, μηδενισμός, αντιστροφή περιοχών της εικόνας κ.α. Από αντικείμενα *Εικόνας* μπορούν να

παραχθούν αντικείμενα Γραφικών, τα οποία δίνουν σχεδιαστικές δυνατότητες στον χρήστη. Οι Matchers χρησιμοποιούν τα παραγόμενα αντικείμενα Γραφικών για να αναπαραστήσουν τα αποτελέσματά τους σε μια Εικόνα.

3. Κινούμενη-Εικόνα (Animation): Ένα αντικείμενο Κινούμενης Εικόνας είναι ένα αντικείμενο που δημιουργεί την εντύπωση κινούμενης εικόνας. Μπορεί να αναπαρασταθεί ως μια σειρά από στιγμιότυπα, το καθένα από τα οποία έχει συγκεκριμένη διάρκεια ζωής και μια φράση που το περιγράφει. Ένα τέτοιο αντικείμενο είναι δυνατόν να κινηθεί μπροστά ή πίσω στο χρόνο και να παράγει ένα στιγμιότυπο που αντιστοιχεί στην τρέχουσα χρονική στιγμή. Τα στιγμιότυπα αυτά σχεδιάζονται με τη χρήση αντικειμένων Γραφικών και Εικόνων και οπτικοποιούνται πάνω σε μια Εικόνα είτε σε φυσικό μέγεθος είτε προσαρμοσμένα στο μέγεθος της τελικής εικόνας. Από αυτό το αντικείμενο παράγεται μια κινούμενη αναπαράσταση ως εξής: Ο χρόνος κινείται προς τα εμπρός συνεχώς μέχρι να εμφανιστεί και το τελευταίο στιγμιότυπο του αντικειμένου. Ανά τακτά διαστήματα ζητείται από το αντικείμενο Κινούμενης Εικόνας να παράγει το τρέχον στιγμιότυπο. Καθώς αυτά τα στιγμιότυπα εμφανίζονται στον χρήστη, αυτός έχει την εντύπωση της κινούμενης εικόνας. Οι Matchers μπορούν να δημιουργήσουν τέτοια αντικείμενα για να αναπαραστήσουν τα αποτελέσματά τους σε κινούμενη εικόνα.

5.9 Εξαγωγή σχήματος από εικόνα

Μια από τις λειτουργίες που ενσωματώνει η GCV είναι και η αυτόματη εξαγωγή σχήματος από εικόνα. Καθώς η ίδια η βιβλιοθήκη αναφέρεται στην ανάκτηση κλειστών σχημάτων, έχει υλοποιηθεί μια διαδικασία η οποία επε-

ξεργάζεται μια εικόνα και εξάγει τις συντεταγμένες του *κεντρικού* αντικειμένου που αυτή αναπαριστά. Αυτή η δυνατότητα καθιστά την GCV ένα αυτόνομο εργαλείο ανάκτησης εικόνας, καθώς καλύπτει έτσι όλες τις βασικές λειτουργίες ενός συστήματος ανάκτησης εικόνας με βάση το σχήμα. Ο αλγόριθμος εξαγωγής σχήματος αναφέρεται σε εικόνες που αναπαριστούν ένα βασικό σχήμα, το οποίο απεικονίζεται πάνω σε ομοιόμορφο φόντο. Τέτοιες εικόνες είναι πολύ συχνές σε σύνολα εικόνων που αναφέρονται στην Τεχνητή Όραση, ενώ είναι εύκολη και η παραγωγή τους από πιο πολύπλοκες εικόνες με διαδικασίες επεξεργασίας εικόνας. Περαιτέρω θα παρουσιαστούν τα βασικά χαρακτηριστικά αυτού του αλγόριθμου εξαγωγής σχήματος.

Ο αλγόριθμος δέχεται στην είσοδο μια εικόνα, την οποία μετατρέπει αρχικά σε δυαδική, με βάση μια τιμή κατωφλίου για την φωτεινότητα των εικονοστοιχείων της. Για την απλοποίηση της διαδικασίας, όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας που έχουν φωτεινότητα μικρότερη από την τιμή κατωφλίου γίνονται 0 ενώ τα υπόλοιπα 1. Έπειτα εφαρμόζονται διαδοχικά τα παρακάτω βήματα:

1. *Βρίσκονται όλες οι συνδεδεμένες περιοχές ίδιου χρώματος στην εικόνα, μέσω μιας διαδικασίας που διασχίζει όλη την εικόνα.*
2. *Διαγράφονται οι παραγόμενες περιοχές που δε μας ενδιαφέρουν. Κατ' αρχάς υπολογίζεται το εμβαδόν των περιοχών. Οι περιοχές οι οποίες είναι μικρότερες από μια σχετική τιμή κατωφλίου (η οποία προσαρμόζεται ανάλογα με το μέγεθος της εικόνας), διαγράφονται από την εικόνα. Η διαγραφή μιας περιοχής γίνεται με το χρωματισμό της με το αντίθετο χρώμα (δηλαδή 1 αντί για 0 και αντίστροφα). Το σχήμα μιας περιοχής λαμβάνεται επίσης υπόψη. Η εκκεντρότητα (παρ. 2.5.2) μιας περιοχής πρέπει να βρίσκεται κάτω από μια προκαθορισμένη τιμή, αλλιώς*

θεωρείται και αυτή άκυρη, με αποτέλεσμα να διαγράφεται.

3. *Επιλέγεται η περιοχή που αντιστοιχεί στο σχήμα που θα εξαχθεί.* Αν μας ενδιέφερε να βρούμε όλα τα σχήματα που υπάρχουν στην εικόνα, το μόνο επιπλέον βήμα που χρειάζεται θα ήταν η εύρεση της περιοχής που αντιστοιχεί στο φόντο της εικόνας. Έτσι, όλες οι υπόλοιπες περιοχές αντιστοιχίζονται σε ένα αντικείμενο της εικόνας. Επειδή όμως η διαδικασία θεωρεί πως η εικόνα περιέχει μόνο ένα βασικό αντικείμενο, θα πρέπει σε αυτό το βήμα να έχουν φτάσει μόνο δύο περιοχές: μια για το φόντο και μια για το *κεντρικό* αντικείμενο της εικόνας. Επομένως, αν το πλήθος των περιοχών είναι διάφορο του 2, η διαδικασία αποτυγχάνει.
4. *Εξάγονται οι συντεταγμένες των κορυφών του κεντρικού αντικειμένου.* Οι δύο περιοχές χαρακτηρίζονται, σύμφωνα με την τοπολογία τους, η μια ως φόντο και η άλλη ως το αντικείμενο που μας ενδιαφέρει. Διατρέχοντας τα ακραία σημεία της δεύτερης περιοχής παράγονται τα σημεία που μας ενδιαφέρουν. Βέβαια, για την αποτελεσματική χρησιμοποίηση του εξαγόμενου σχήματος, είναι αναγκαίο να εφαρμοστεί η διαδικασία εξομάλυνσης της παρ. 5.10.2 στο σχήμα.

Το σχήμα 5.6 περιέχει μια αναπαράσταση της παραπάνω διαδικασίας εξαγωγής σχήματος από εικόνα.

5.10 Παράδειγμα ενσωμάτωσης αλγορίθμου στη βιβλιοθήκη: Διαφορά Γωνίας Στροφής

5.10.1 Εισαγωγή

Η Τεχνική Σύγκρισης Σχημάτων (ΤΣΣ) Διαφοράς Γωνίας Στροφής (ΔΓΣ), η οποία περιγράφεται στο κεφάλαιο 3, υλοποιείται ως *Matcher* μέσα στην GCV. Στις παρακάτω παραγράφους θα περιγραφεί η υλοποίηση αυτής της τεχνικής ως παράδειγμα υλοποίησης, ώστε να γίνει κατανοητή η διαδικασία ενσωμάτωσης μιας ΤΣΣ στην GCV και να καταδειχθούν τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν από την ενσωμάτωση μιας τεχνικής στη βιβλιοθήκη. Για την υλοποίηση ενός *Matcher* απαιτείται η υλοποίηση ενός πολύ μικρού αριθμού συναρτήσεων. Παρακάτω θα παρουσιαστεί μια αντιστοίχιση των διαδικασιών της ΔΓΣ με συναρτήσεις που αποτελούν διεπαφή της GCV και κάποιες τεχνικές λεπτομέρειες που αφορούν στο σχεδιασμό της τεχνικής ΔΓΣ.

5.10.2 Προεπεξεργασία των σχημάτων

Η ΔΓΣ, όπως και κάθε ΤΣΣ που ενσωματώνει η GCV, απαιτεί ένα βήμα προεπεξεργασίας των σχημάτων, ώστε να επιτευχθεί καλή απόδοση και επιστροφή αποδεκτών αποτελεσμάτων. Η βασική αυτή διαδικασία προεπεξεργασίας αποτελείται, όπως αναφέρθηκε και στην παρ. 3.2, από α) την εξομάλυνση των σχημάτων με τη συνέλιξη τους με μια Γκαουσιανή μήτρα και β) τη δειγματοληψία των σχημάτων σε μια προκαθορισμένη ανάλυση. Εντούτοις, κατά την δημιουργία μιας Βάσης Δεδομένων Σχημάτων, τα αρχικά σχήματα υποβάλλονται έτσι κι αλλιώς σε μια τέτοια διαδικασία προεπεξεργασίας. Επομένως, αυτό το βήμα δεν απαιτεί ειδική μέριμνα από την ΔΓΣ ή οποιαδήποτε άλλη ΤΣΣ.

5.10.3 Δημιουργία των περιγραφών

Η ΤΣΣ ΔΓΣ (η οποία περιγράφεται αναλυτικά στο κεφάλαιο 3) στηρίζεται στην ανάλυση της καμπυλότητας του περιγράμματος ενός αντικειμένου. Συγκεκριμένα, το βασικό μέτρο της, κατά την διάσχιση των κορυφών ενός πολυγώνου, σε μια συγκεκριμένη κορυφή V , είναι η αλλαγή στην κατεύθυνση που παρουσιάζεται μεταξύ της ακμής που φτάνει σε αυτήν την κορυφή και στην ακμή που ξεκινά από αυτήν την κορυφή, με πεδίο το $(-π, π]$.

Για κλειστά σχήματα, τα οποία υποστηρίζει η GCV, η ΔΓΣ θεωρεί δεδομένο ότι όλα τα σχήματα έχουν το ίδιο μήκος περιγράμματος, εφόσον την αφορά μόνο ο αριθμός των κορυφών ενός σχήματος και τα σχήματα υφίστανται πάντα δειγματοληψία από την GCV, με ανάλυση N . Επομένως, η περιγραφή της ΔΓΣ είναι μια σειρά τέτοιων τιμών ΔΓΣ, πλήθους N . Άρα, όταν καλείται η συνάρτηση `CreateDescriptor` για το `Matcher` της ΔΓΣ, δημιουργείται μια Περιγραφή η οποία περιέχει αυτήν την σειρά τιμών ΔΓΣ. Όταν στη συνέχεια συγκρίνονται οι Περιγραφές της ΔΓΣ με την κλήση της συνάρτησης `CompareShapes`, ως ορίσματα χρησιμοποιούνται δύο τέτοιες Περιγραφές.

5.10.4 Ανάκτηση Σχημάτων

Όταν η μηχανή αναζήτησης καλείται να βρει όμοια σχήματα με ένα σχήμα που δίνεται ως ερώτηση, πρέπει να συγκρίνει αυτό το σχήμα με κάθε σχήμα στην τρέχουσα ΒΔΣ. Αν το σχήμα ερώτησης είναι μέλος αυτής της ΒΔ, τότε υπάρχουν ήδη οι Περιγραφές του για όλους τους `Matchers` που χρειάζεται, αλλιώς, αυτές παράγονται εκείνη τη στιγμή με την κλήση των συναρτήσεων `CreateDescriptor` για κάθε `Matcher` που βρίσκεται στον τρέχον αντικείμενο Βιβλιοθήκης. Έπειτα, όλες οι Περιγραφές των σχημάτων της ΒΔ θα περάσουν τη διαδικασία επιλογής της παρ. 5.5. Αυτός που υλοποιεί την ΤΣΣ ΔΓΣ μέ-

σα στην GCV χρειάζεται μόνο να γράψει την συνάρτηση `CompareShapes`, η οποία δέχεται ως ορίσματα δύο Περιγραφές σχημάτων της ΔΓΣ και επιστρέφει ένα αντικείμενο τύπου *Αποτέλεσμα-Σύγκρισης*. Ο βαθμός ομοιότητας δύο σχημάτων λαμβάνεται καλώντας την συνάρτηση `getScore()` του παραγόμενου αυτού αντικείμενου και αντιστοιχεί στο ποσοστό των συμβατών όμοιων περιοχών που βρέθηκαν μεταξύ των δύο σχημάτων. Εκτός του βαθμού ομοιότητας πάντως, το Αποτέλεσμα-Σύγκρισης που παράγεται από την ΔΓΣ εμπεριέχει τις αντιστοιχίσεις μεταξύ περιοχών των συγκρινόμενων σχημάτων, σύμφωνα με την ενότητα 3.3.

5.10.5 Οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω (ενότητα 5.6), κάθε `Matcher` περιλαμβάνει τις δικές του μεθόδους οπτικοποίησης, μέσα από τις συναρτήσεις `DrawMatch` και `AnimateMatch`. Με αυτές τις συναρτήσεις παράγονται αντικείμενα τύπου *Εικόνας* και *Κινούμενης Εικόνας* αντίστοιχα, τα οποία εμπεριέχουν οπτικές επεξηγήσεις του τρόπου με τον οποίο επιτεύχθηκε η σύγκριση δύο σχημάτων. Στην παράγραφο 3.5 αναφέρθηκαν δύο μέθοδοι επεξήγησης των αποτελεσμάτων από τη ΔΓΣ. Τα αντικείμενα *Εικόνας* και *Κινούμενης Εικόνας* που παράγονται από την ΔΓΣ αναπαράγουν ακριβώς αυτές τις οπτικοποιήσεις. Αυτό είναι δυνατό, καθώς στο *Αποτέλεσμα-Σύγκρισης* του `Matcher` της ΔΓΣ περιλαμβάνονται όλα τα δεδομένα εξόδου της μεθόδου. Συνεπώς, κατά την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων της ΔΓΣ μέσα από την GCV, χρησιμοποιούνται υλοποιήσεις των διαδικασιών οπτικοποίησης, οι οποίες περιγράφονται στην ενότητα 3.5.

5.11 Υλοποίηση και πρότυπες εφαρμογές

Όλες οι μέθοδοι ανάκτησης εικόνας και σχήματος και επεξήγησης αποτελεσμάτων που αναφέρθηκαν παραπάνω αποτελούν μέρος ενός εργαλείου ανάκτησης σχήματος με διεπαφή στη γλώσσα C, της βιβλιοθήκης G Computer Vision. Η βιβλιοθήκη αυτή, πέρα από τους βασικούς αλγορίθμους σύγκρισης σχήματος, υλοποιεί αρκετές λειτουργίες επεξεργασίας εικόνας, εισάγει τον τύπο αρχείου *PDB* (και το αντίστοιχο του σε *XML*) για αποθήκευση σχημάτων εισόδου και άλλα εργαλεία γενικής χρήσης. Η GCV παρέχει επίσης έτοιμη διεπαφή για Java με την χρήση JNI [2], η οποία έχει ακριβώς την ίδια σύνταξη με την έκδοση για C. Οι αναγνώστες παρακαλούνται να δοκιμάσουν τη βιβλιοθήκη και τα αποτελέσματά της για ανάκτηση σχήματος και οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων μέσα από εφαρμογές ανοικτού κώδικα που έχουν υλοποιηθεί σε C++ ή Java και διατίθενται στον δικτυακό τόπο της GCV [26].

5.11.1 Πρότυπη Εφαρμογή JcvRetrieve

Ανάμεσα στις πρότυπες εφαρμογές της GCV υπάρχει και η Java εφαρμογή JcvRetrieve, για ανάκτηση όμοιων σχημάτων, η οποία παρουσιάζει όλες τις δυνατότητες της GCV που αναφέρονται στο παρόν κεφάλαιο. Στο σχήμα 5.8 περιέχεται ένα στιγμιότυπο από τη χρήση της εφαρμογής αυτής.

Η εφαρμογή JcvRetrieve χρησιμοποιείται ως εξής. Καταρχήν, ο χρήστης φορτώνει ένα αρχείο PDB ή XML από τον δίσκο. Η διαδικασία φόρτωσης περιλαμβάνει την ανανέωση του τρέχοντος αντικειμένου Βάσης Δεδομένων Σχημάτων (ΒΔΣ), την δημιουργία των περιγράφων που χρειάζονται για το τρέχον αντικείμενο Βιβλιοθήκης και την ανανέωση του Java μέρους της εφαρμογής. Με την εκκίνηση του προγράμματος, δημιουργείται ένα αντικείμενο Βιβλιο-

θήκης που περιέχει μόνο την μέθοδο ΔΓΣ. Ο χρήστης μπορεί να διαχειριστεί την στοίβα των Matchers με την χρήση των μενού Pop Matcher, Push Matcher και View Stack. Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα 5.1, οι αλλαγές στην στοίβα των Matchers αυτόματα ανανεώνουν την κατάσταση των Περιγραφών και της ΒΔΣ, όπου απαιτείται.

Το κύριο πάνελ (αριστερά) της εφαρμογής χωρίζεται σε δύο υποπάνελ (πάνω και κάτω). Στο πάνω πάνελ επιλέγεται το σχήμα ερώτησης ενώ στα δεξιά εμφανίζεται αυτό το αντικείμενο. Τα αποτελέσματα της ανάκτησης εμφανίζονται στο κάτω πάνελ και ο χρήστης μετακινείται μέσα σε αυτά προς τα δεξιά ή αριστερά. Αφότου εμφανιστούν τα αποτελέσματα, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ένα από αυτά και να δει την επεξήγηση της ομοιότητας του με το σχήμα της ερώτησης με την μορφή εικόνας ή κινούμενης εικόνας με τα αντίστοιχα κουμπιά. Όταν επιλέγεται ένα από αυτά τα κουμπιά, δημιουργείται το αντίστοιχο αντικείμενο Εικόνας ή Κινούμενης Εικόνας. Έπειτα, σε ξεχωριστό παράθυρο στα αριστερά, εμφανίζεται η αντίστοιχη οπτικοποίηση στον χρήστη (Match Visualization). Όταν δεν υποστηρίζεται η λειτουργία οπτικοποίησης από τον αντίστοιχο Matcher απλά εμφανίζεται ένα μήνυμα που ενημερώνει τον χρήστη.

5.11.2 Άλλες πρότυπες εφαρμογές

Πέρα από την JcnRetrieve, στην εργαλειοθήκη της GCV περιλαμβάνονται και πολλά παραδείγματα χρήσης της GCV και άλλες εφαρμογές γενικής χρήσης που χρησιμοποιούν την GCV, σε μορφή ανοικτού κώδικα, μαζί με τεκμηρίωση. Αυτές οι εφαρμογές καλύπτουν τομείς επεξεργασίας εικόνας, είσοδο/έξοδο από αρχείο κειμένου και XML κ.α. Ολόκληρη η εργαλειοθήκη της GCV παρέχεται στον δικτυακό τόπο [26] σε μορφή ενός πλήρους πακέτου. Κάποιες από τις παραπάνω εφαρμογές υπάρχουν απλά σαν παραδείγματα

χρήσης και για τον έλεγχο καλής λειτουργίας του συστήματος ενώ άλλες χρησιμοποιούνται πρακτικά σαν εργαλεία ανάπτυξης. Η εργαλειοθήκη περιλαμβάνει συνολικά περίπου 10000 γραμμές κλειστού κώδικα για την βιβλιοθήκη και 4400 γραμμές ανοικτού κώδικα για τις επιπλέον εφαρμογές σε C/C++ και Java. Η βασική βιβλιοθήκη της GCV είναι απόλυτα αυτόνομη καθώς δεν εξαρτάται από καμία άλλη βιβλιοθήκη.

5.12 Αποτίμηση της βιβλιοθήκης

Η αποτίμηση της GCV ως σύστημα ανάκτησης σχήματος περιλαμβάνει αυτόματες αποτιμήσεις που σκοπό έχουν να υπολογίσουν την αποτελεσματικότητά και την ταχύτητά της. Μια αποτίμηση ενός τέτοιου συστήματος εμπεριέχει αντικειμενικές δυσκολίες και απαιτεί συγκεκριμένες παραδοχές από τον εκτιμητή του συστήματος. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, για την αποτίμηση του συστήματος παρουσιάζονται :

1. Μια μέθοδος αυτόματης αποτίμησης. Για να είναι μια τέτοια αποτίμηση αντικειμενική, θα πρέπει να χρησιμοποιεί ένα πεδίο αναζήτησης, για τα στοιχεία του οποίου να είναι ξεκάθαρες οι σχέσεις ομοιότητας ή ανομοιότητας μεταξύ τους. Δηλαδή θα πρέπει να μην υπάρχουν αμφιβολίες για έναν άνθρωπο όσον αφορά τις σχέσεις ομοιότητας μεταξύ οποιοδήποτε δύο σχημάτων του πεδίου αναζήτησης.
2. Ένα σύνολο αποτελεσμάτων αναζήτησης, έτσι ώστε ο τελικός χρήστης να μπορεί και υποκειμενικά να κρίνει την ορθότητα της λογικής της αναζήτησης.

5.12.1 Αυτόματη αποτίμηση

Στην παράγραφο 3.6 παρουσιάζεται η αυτόματη αποτίμηση της ΔΓΣ, μιας από τις ΤΣΣ που υλοποιούνται μέσα στην GCV. Η αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα της GCV, όσον αφορά την ΔΓΣ, αντικατοπτρίζεται στα αποτελέσματα αυτής της αποτίμησης διότι:

- για την αποτίμηση εκείνη χρησιμοποιήθηκαν οι ίδιες υλοποιήσεις ΤΣΣ που χρησιμοποιούνται μέσα στην GCV και
- το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε για να γίνει ο συνδυασμός των διαφόρων ΤΣΣ στηρίζεται στην αρχιτεκτονική της GCV.

Για την αξιολόγηση της GCV ως σύνολο επαναλήφθηκε η αποτίμηση της παρ. 3.6, αυτή τη φορά για όλες τις ΤΣΣ που χρησιμοποιούνται και για συνδυασμούς της. Τα σχήματα 5.9 και 5.10 παρουσιάζουν τα αποτελέσματα της αποτίμησης.

Τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικά για κάποιες ΤΣΣ, όπως η ΔΓΣ. Παράλληλα παρατηρείται μεγάλη βελτίωση στην ταχύτητα και τα άλλα ποιοτικά χαρακτηριστικά (ακρίβεια, ικανότητα ανάκτησης) της ανάκτησης, όταν συνδυάζονται διαφορετικές και ανόμοιες ΤΣΣ.

5.12.2 Αποτελέσματα Αναζήτησης

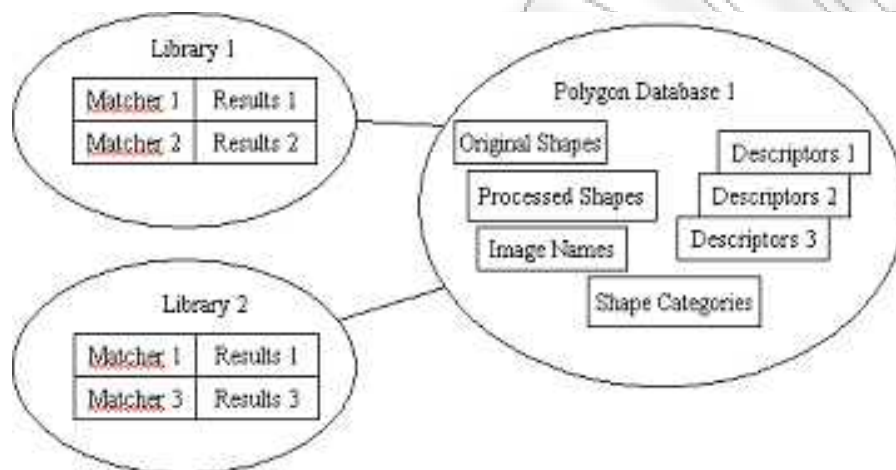
Στην παράγραφο 3.8 παρουσιάστηκαν σύνολα αποτελεσμάτων αναζήτησης με βάση το σχήμα. Οι μέθοδοι αναζήτησης που χρησιμοποιήθηκαν για αυτές τις αναζητήσεις αξιοποιούσαν μία ΤΣΣ ή συνδυασμό πολλών ΤΣΣ. Στην τρέχουσα παράγραφο δεν θα γίνει εκτενής ανάλυση και σχολιασμός των αποτελεσμάτων αυτών καθώς αυτά έχουν ήδη γίνει στην παρ. 3.8. Παρόλα αυτά, από την

πρώτη ματιά σε εκείνα τα αποτελέσματα μπορεί να παρατηρήσει κάποιος την ευεργετική επίδραση του συνδυασμού πολλών Τεχνικών Σύγκρισης Σχημάτων (ΤΣΣ) σε ένα φίλτρο, ως προς την ταχύτητα και την αποτελεσματικότητά της αναζήτησης. Τα αποτελέσματα αυτά επιτρέπουν στον αναγνώστη να διαπιστώσει, με το δικό του κριτήριο, την ανάγκη για συνδυασμό ΤΣΣ. Όμως ο συνδυασμός ΤΣΣ σε μια και μόνο αναζήτηση είναι δυνατός χάρη στην αρχιτεκτονική της GCV. Επομένως, τα αποτελέσματα αυτά, μέσω της θετικής εντύπωσης που αφήνουν σε όλους σχεδόν τους (θεωρητικά υποκειμενικούς) χρήστες, παρέχουν ίσως το πιο αντικειμενικό μέτρο της αξίας της βιβλιοθήκης GCV.

5.13 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε η GCV, ένα πρωτότυπο και πλήρες εργαλείο για ανάκτηση εικόνων με απλά αντικείμενα, με τη χρήση λειτουργιών ανάκτησης σχήματος, το οποίο παρέχεται ελεύθερα για δοκιμή και επέκταση στη διεύθυνση [26]. Η GCV ενσωματώνει και επιτρέπει την ανάπτυξη Τεχνικών Σύγκρισης Σχημάτων (ΤΣΣ) μέσα σε μια αρχιτεκτονική που παρέχει α) αποθήκευση των off-line δεδομένων του συστήματος, β) αυτόματη διαχείριση των εσωτερικών δεδομένων, γ) κοινή διεπαφή των λειτουργιών των ΤΣΣ και δ) εργαλεία για διαχείριση εικόνας και κινούμενης εικόνας. Μέσω των παρεχόμενων λειτουργιών οι ΤΣΣ επεκτείνονται, ώστε να παρέχουν επεξηγήσεις για τον τρόπο που υπολογίζονται οι ομοιότητες μεταξύ σχημάτων. Επίσης, παρουσιάστηκε η ενσωμάτωση της ΤΣΣ Διαφοράς Γωνίας Στροφής (κεφ. 3) μέσα στην GCV, ως παράδειγμα υλοποίησης. Συνολικά, ένας προγραμματιστής/ερευνητής μπορεί να επωφεληθεί από τη χρήση της GCV για να επιταχύνει την ανάπτυξη σχετικών τεχνικών και να βελτιώσει τα αποτελέσματα της δουλειάς του, ενώ ο χρήστης ενός τελικού συστήματος ανάκτησης σχήματος που

βασίζεται στην GCV μπορεί ευκολότερα να αντιληφθεί τη χρήση του συστήματος αυτού, χάρη στις ενσωματωμένες λειτουργίες οπτικοποίησης της GCV.



Σχήμα 5.2: Δομή της μηχανής αναζήτησης της GCV. Η ΒΔΣ περιέχει και τις Περιγραφές για τους Matchers που συνδέονται έμμεσα με αυτήν.

```
PDB // <- header
// if sampleSize>2, the polygons are ALL
// presampled at this resolution:
sampleSize -1
polSize 1 // <- # of polygons
pSize 4 // <- # of vertices for this polygon
// the following lines contain vertices:
0 128 131
1 129 131
2 130 131
3 131 131
// # of categories for shapes:
catSize 1
// a shape category, named general,
// starting at 0, ending at 1:
general 0 1
// # of strings, which contain image paths:
strSize 1
// the first image path:
0 F:/data/images/velt_selected/002 .PCT.bmp
```

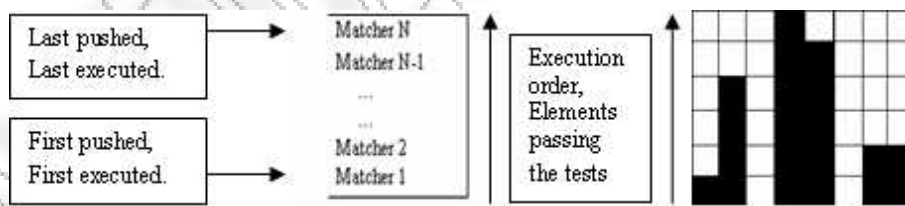
Σχήμα 5.3: Απλό παράδειγμα ενός αρχείου ΒΔΣ (PDB).

```

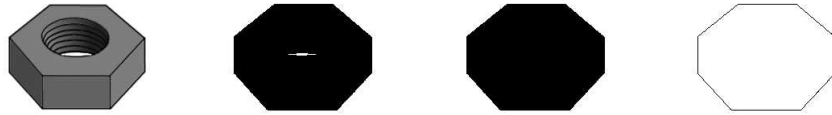
<?xml version="1.0" standalone="no"?>
<PDB sampleSize="-1">
<polygons>
<polygon points="128 131, 129 131, 130 131, 131 131" />
</polygons>
<categories>
<cat start="0" end="1">general</cat>
</categories>
<names>
<name>F:/data/images/velt_selected/002 .PCT.bmp</name>
</names>
</PDB>

```

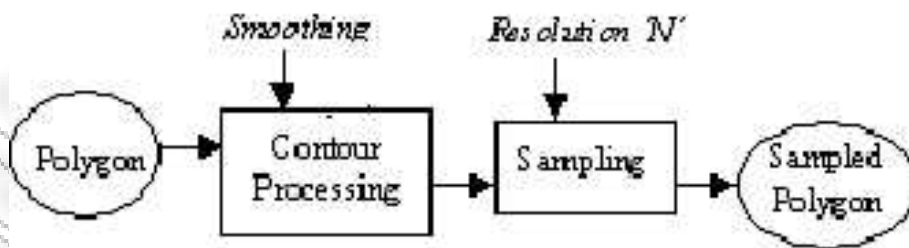
Σχήμα 5.4: Απλό παράδειγμα ενός αρχείου PDB(ΒΔΣ), με βάση την XML. Το αρχείο αυτό είναι ισοδύναμο με το αμέσως προηγούμενο αρχείο ΒΔΣ, και έχει παραχθεί από εκείνο με τη χρήση της εφαρμογής `gcn_xml_out` [26].



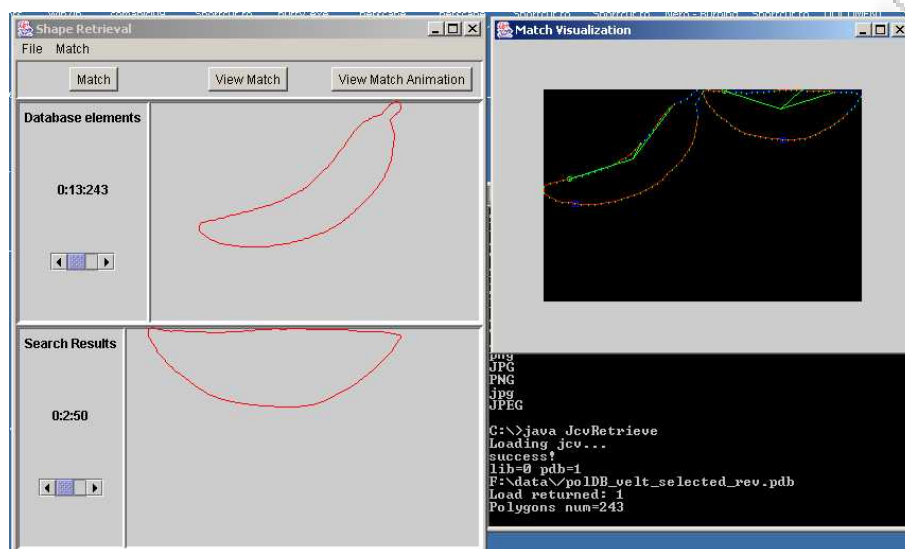
Σχήμα 5.5: Αναπαράσταση της διαδικασίας ανάκτησης σχήματος. Η επιτυχία (αποτυχία) ενός σχήματος σε κάποιο βήμα δηλώνεται με ένα μαύρο (άσπρο) τετράγωνο. Ο έλεγχος κάθε Matcher εφαρμόζεται στα μέχρι τότε αποτελέσματα, ελαττώνοντας κάθε φορά το πλήθος των αποτελεσμάτων. Έξι στοιχεία περνούν τον πρώτο έλεγχο, αλλά μόνο ένα περνά όλους τους ελέγχους.



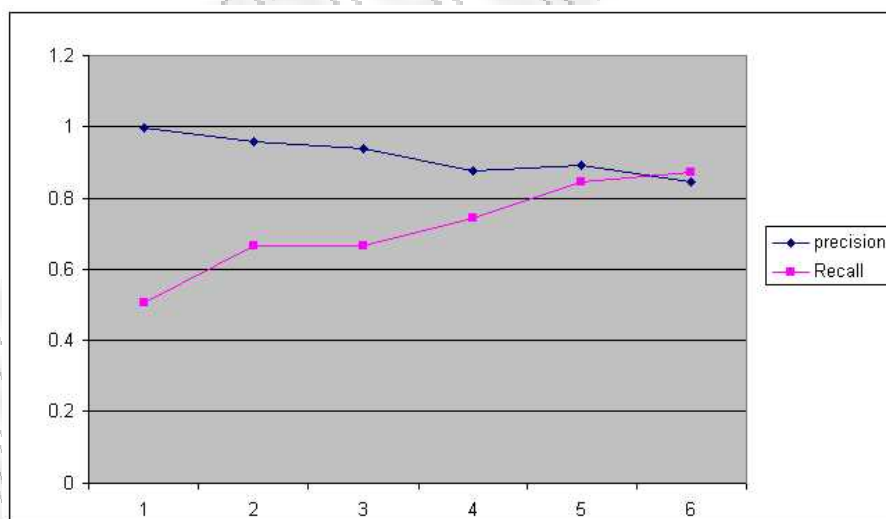
Σχήμα 5.6: Διαδικασία εξαγωγής σχήματος από εικόνα. Από αριστερά προς δεξιά εμφανίζονται: α) η αρχική εικόνα, β) η εικόνα μετά από κατωφλιοποίηση, γ) η εικόνα μετά τη διαγραφή των μικρών περιοχών και δ) το σχήμα που εξάγεται, ως το περίγραμμα της κεντρικής συνδεδεμένης περιοχής.



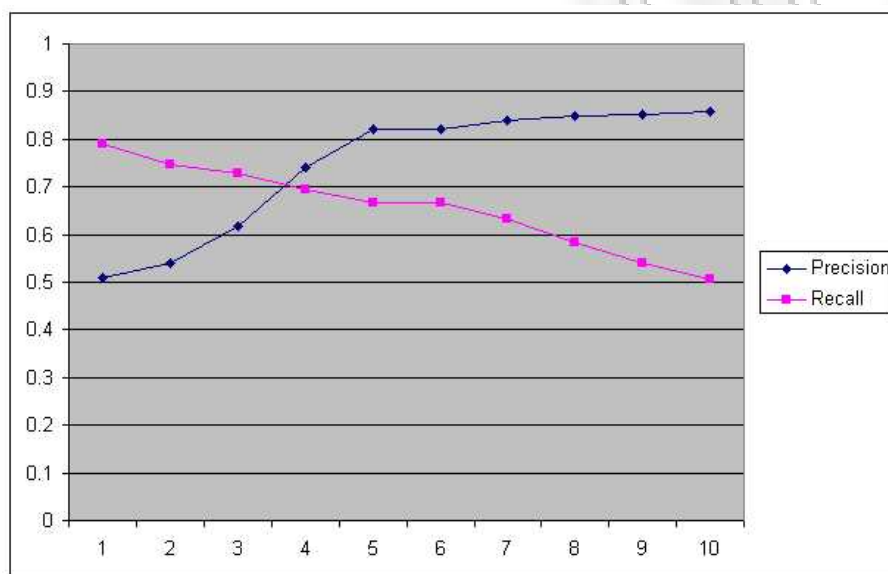
Σχήμα 5.7: Προεπεξεργασία των σχημάτων



Σχήμα 5.8: Η εφαρμογή JcvRetrieve. Το αριστερό πάνελ περιέχει το επιλεγμένο αντικείμενο (πάνω αριστερά - μπανάνα) και ένα από τα ανακτημένα αντικείμενα (κάτω αριστερά). Στο δεξιό πάνελ οι όμοιες περιοχές ζωγραφίζονται με το ίδιο χρώμα για να φανεί η αντιστοίχησή τους.



Σχήμα 5.9: Ακρίβεια και ικανότητα ανάκτησης της μηχανής αναζήτησης για διάφορες παραμετροποιήσεις του συστήματος, όταν χρησιμοποιείται συνδυασμός ΔΓΣ και Γεωμετρικών Χαρακτηριστικών.



Σχήμα 5.10: Ακρίβεια και ικανότητα ανάκτησης της μηχανής αναζήτησης για διάφορες παραμετροποιήσεις του συστήματος, όταν χρησιμοποιείται μόνο η Διαφορά Γωνίας Στροφής.

Κεφάλαιο 6

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΣΧΗΜΑΤΟΣ

Η ζήτηση για Συστήματα Αυτόματης Ανάκτησης Οπτικών Πληροφοριών (ΑΑΟΠ), δηλαδή συστημάτων που επιτρέπουν την αποθήκευση και αναζήτηση οπτικών μέσων, είναι ολοένα αυξανόμενη. Οι χρήστες τέτοιων συστημάτων επιλέγουν τα βασικά χαρακτηριστικά των μέσων και εκτελούν την αναζήτηση με βάση αυτά τα χαρακτηριστικά. Μια άμεση εφαρμογή τέτοιας λειτουργικότητας βρίσκεται στα συστήματα αναζήτησης οπτικών πηγών πολυμέσων, στα οποία υποστηρίζεται αναζήτηση βάσει κάποιου σκίτσου του ίδιου του χρήστη του συστήματος. Επιπλέον, σε εφαρμογές, όπως η δημιουργία σχεδιαγραμμάτων από μηχανικούς ή η δημιουργία παρουσιάσεων για επαγγελματικούς σκοπούς, η δυνατότητα ανάκτησης εικόνων και πολυμέσων με βάση κάποιο σκίτσο θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη. Τέλος, και η καλλιτεχνική δημιουργία μπορεί να ωφεληθεί από την αυτόματη ανάκτηση προηγούμενων έργων με βάση το σκίτσο.

6.1 Ανάκτηση εικόνας με βάση το σκίτσο

Η χρησιμοποίηση σκίτσου ως σχήμα αναζήτησης έχει πρόσφατα ενσωματωθεί σε διάφορα συστήματα Ανάκτησης Εικόνας με Βάση το Περιεχόμενο (ΑΕΒΠ). Στα περισσότερα από τα συστήματα αυτά θεωρείται ότι το σκίτσο του χρήστη προσεγγίζει με αρκετή ακρίβεια την επιθυμητή εικόνα και ότι όλα τα στοιχεία του σκίτσου είναι έγκυρα. Παρακάτω αναφέρονται εργασίες και συστήματα που προτείνουν ή χρησιμοποιούν σκίτσα για την ανάκτηση εικόνων ή άλλων πολυμεσικών δεδομένων.

1. Το QBIC [58] περιγράφει τα σχήματα με τη χρήση ενός συνόλου από γεωμετρικές ροπές, την περίμετρο και τον προσανατολισμό του βασικού άξονα των σχημάτων.
2. Τα Photobook [23] και Virage [18] αποτελούν επίσης συστήματα που αξιοποιούν σχήματα (και σκίτσα) για την ανάκτηση εικόνας.
3. Στο Netra [71] χρησιμοποιούνται τρεις διαφορετικές αναπαραστάσεις που βασίζονται στον μετασχηματισμό Φουριέ. Βάσει αυτών των αναπαραστάσεων ανακτώνται εικόνες που ταιριάζουν με μια περιοχή ενδιαφέροντος (region of interest) μιας εικόνας.
4. Στο [43] παρουσιάζεται ένα σύστημα ανάκτησης εικόνας που ενσωματώνει λειτουργίες ανάλυσης των αποτελεσμάτων του. Αν και στο σύστημα χρησιμοποιείται ως κλειδί αναζήτησης κυρίως η κατανομή χαρακτηριστικών χρώματος στις περιοχές μιας εικόνας, ο χρήστης μπορεί να σχεδιάσει ξεχωριστά ένα απλό αντικείμενο, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ως το κύριο συστατικό μιας αναζήτησης με βάση το σχήμα. Η Τεχνική Σύγκρισης Σχημάτων που χρησιμοποιείται είναι ένα απλός αλγόριθμος, ο οποίος βασίζεται σε μια παραλλαγή των Περιγραφών Φουριέ [72].

5. Το [25] ενσωματώνει μια μηχανή ανάκτησης εικόνας βάσει του σκίτσου μέσα σε ένα Γεωγραφικό Πληροφοριακό Σύστημα (GIS). Στην περίπτωση αυτή το σχήμα που χρησιμοποιείται για την αναζήτηση μπορεί να σχεδιάζεται εξαρχής από το χρήστη ή να εξάγεται από μια επιλεγμένη περιοχή μιας εικόνας.
6. Το σύστημα QVE [51] χρησιμοποιεί σκίτσο για την αναζήτηση εικόνας.

6.2 Ανάκτηση με βάση το σχήμα κατά τη Δημιουργία Πολυμέσων

Τα τελευταία χρόνια εμφανίζονται ολοένα και περισσότερα συστήματα δημιουργίας τεχνικών σχεδίων και πολύπλοκων πολυμεσικών δεδομένων, τα οποία αξιοποιούν μεθόδους αυτόματης ανάκτησης συστατικών με τη χρήση πληροφοριών σχήματος. Η χρήση σκίτσων του χρήστη για την ανάκτηση τέτοιων πολυμεσικών συστατικών αποτελεί καλή λύση σε αυτή την περίπτωση, καθώς:

- Διευκολύνει τον χρήστη του συστήματος, δεδομένου ότι η δημιουργία σκίτσου είναι μια εύκολη και διαισθητική διαδικασία, που δεν απαιτεί ειδικές γνώσεις από τον χρήστη.
- Επιταχύνει σημαντικά την εκτέλεση των ενεργειών, καθώς η δημιουργία του ερωτήματος γίνεται πολύ γρήγορα.

Μερικά συστήματα κατασκευής τεχνικών διαγραμμάτων και πολύπλοκων πολυμεσικών δημιουργιών αναφέρονται παρακάτω:

1. Η υπηρεσία MARS [22] παρέχει ένα περιβάλλον δημιουργίας πολυμέσων. Το περιβάλλον αυτό επιτρέπει την ενσωμάτωση σκίτσων στα ερωτήματα προς την μηχανή αναζήτησης πολυμέσων που χρησιμοποιεί.
2. Στο [36] ο χρήστης του συστήματος μπορεί να αναζητήσει στοιχεία μιας βάσης δεδομένων με κωδικοποιημένα σχέδια χρησιμοποιώντας ένα σκίτσο που δημιουργήθηκε σε ένα παράθυρο CAD.

6.3 Προβλήματα της Σύγκρισης Σχημάτων για ανάκτηση με βάση το σκίτσο

Στο κεφάλαιο 2 αναφέρονται μερικές από τις σημαντικότερες Τεχνικές Σύγκρισης Σχημάτων (ΤΣΣ) που χρησιμοποιούνται για την ανάκτηση πολυμέσων. Η ανάκτηση πολυμέσων με βάση σκίτσο του χρήστη παρουσιάζει ιδιαιτερότητες που αξίζει να αναφερθούν, καθώς καθοδηγούν την επιλογή των τεχνικών που χρησιμοποιούνται σε συστήματα που υποστηρίζουν παρόμοιες λειτουργίες.

1. Ένα σκίτσο αναμένεται να έχει ένα βαθμό λάθους ή θορύβου, ως αποτέλεσμα της χρήσης του συστήματος σχεδίασης, ανεξάρτητα με του επιπέδου εξοικείωσης του χρήστη. Επομένως, οι ΤΣΣ που χρησιμοποιούνται πρέπει να έχουν συγκεκριμένο βαθμό ανεκτικότητας στο θόρυβο ανάλογα με την εφαρμογή.
2. Ανάλογα με τις παραδοχές του συστήματος, τα σχήματα μπορεί να παρουσιάζουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, όπως να είναι ανοικτά ή κλειστά και να αποτελούνται από ευθύγραμμα τμήματα ή να έχουν πολλές διακυμάνσεις στην κατεύθυνση του περιγράμματος (το τελευταίο χαρακτηριστικό απαντάται σε σχήματα που παράγονται από εργαλεία

ελεύθερης σχεδίασης). Άρα, οι χρησιμοποιούμενες ΤΣΣ είναι αναγκαίο να αντιμετωπίζουν επιτυχώς όλες τις δυνατές περιπτώσεις.

Όπως αναφέρθηκε και στην παρ. 2.4, οι ΤΣΣ διαχωρίζονται σε ολικές (global) και τοπικές (local). Οι εσωτερικές αναπαραστάσεις των ολικών ΤΣΣ βασίζονται στην ολότητα ενός σχήματος, ενώ οι αναπαραστάσεις των τοπικών ΤΣΣ αποτελούνται από συστατικά που αναπαριστούν το καθένα μια τοπική περιοχή του όλου σχήματος. Με βάση τα παραπάνω, οι ολικές ΤΣΣ αναμένονται να είναι πιο γρήγορες σε εκτέλεση και να έχουν μεγαλύτερη ανεκτικότητα σε λάθη. Από την άλλη, οι τοπικές ΤΣΣ αναμένονται να είναι πιο πολύπλοκες και να παράγουν πιο ακριβή και περιγραφικά αποτελέσματα.

Για τη χρήση σκίτσων από μια ΤΣΣ αυτή η ΤΣΣ πρέπει να καλύπτει κάποιες βασικές προϋποθέσεις, για παράδειγμα δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιήσουμε *καμιά* από τις *ολικές* ΤΣΣ (κεφ. 2) σε σχήματα που είναι ανοικτά, καθώς θεωρείται εκ των προτέρων δεδομένο ότι τα σχήματα που χρησιμοποιούν είναι κλειστές καμπύλες. Στα περισσότερα από τα συστήματα που αναφέρονται παραπάνω, οι ΤΣΣ που χρησιμοποιούνται είναι βασισμένες σε ολικά κριτήρια, με αποτέλεσμα τον περιορισμό του πεδίου εφαρμογής τους. Από την άλλη, στα συστήματα που χρησιμοποιούν τοπικά κριτήρια για την αναζήτηση, οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι α) άκρως προσαρμοσμένες στο συγκεκριμένο πρόβλημα και β) η αναζήτηση επιβραδύνεται λόγω της απαιτητικής σε επεξεργαστική ισχύ φύσης των τοπικών ΤΣΣ.

6.4 Συμπεράσματα

Στην παράγραφο αυτή αναφέρθηκαν συστήματα τα οποία χρησιμοποιούν σκίτσα για την ανάκτηση πολυμέσων και τη σχεδίαση πολύπλοκων εικόνων με βάση τεχνικές αυτόματης ανάκτησης σχημάτων. Από την πρώτη παρατήρη-

ση κατέστη φανερή η αύξηση στο πλήθος και την ποιότητα των συστημάτων αυτών. Παρά ταύτα, το μεγαλύτερο πλήθος αυτών των συστημάτων δεν έχουν φτάσει σε επίπεδο εμπορικής αξιοποίησης, αλλά παραμένουν στο στάδιο της ερευνητικής ανάπτυξης. Υπάρχουν ακόμα πολλές προκλήσεις που δεν έχουν αντιμετωπιστεί ακόμα, ενώ πολλές από τις νέες τεχνολογίες στον τομέα της αναγνώρισης (σύγκρισης) σχημάτων δεν αξιοποιούνται. Στο παρακάτω κεφάλαιο παρουσιάζεται το SR-Sketch, ένα πρωτότυπο σύστημα που αξιοποιεί τα σκίτσα του χρήστη, μέσω λειτουργιών αυτόματης ανάκτησης σχήματος, για να διευκολύνει και να επιταχύνει τη δημιουργία δισδιάστατων διαγραμμάτων.

Κεφάλαιο 7

ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΜΕ ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΣΧΗΜΑΤΟΣ

7.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό περιγράφει την πρωτότυπη εφαρμογή SR-Sketch, μια εφαρμογή σχεδίασης που λειτουργεί και ως εργαλείο ταχείας παραγωγής σχεδιαγραμμάτων και ως μηχανή ανάκτησης σχημάτων. Στο SR-Sketch, ο χρήστης σχεδιάζει σχήματα στην οθόνη του υπολογιστή χρησιμοποιώντας το δείκτη του ποντικιού. Οποιαδήποτε στιγμή ο χρήστης μπορεί να ζητήσει από την εφαρμογή να του παρέχει σχήματα από μια Β.Δ. που μοιάζουν με κάποιο από τα σχήματα που έχει σχεδιάσει, ώστε να τα χρησιμοποιήσει στην εργασία της κατασκευής του σχεδίου. Το SR-Sketch ευθυγραμμίζει και αντικαθιστά αυτόματα σχήματα στο υπάρχον σχέδιο με σχήματα που ανακτώνται από την εσωτερική μηχανή αναζήτησης σχημάτων. Επίσης, παρέχεται στο χρήστη του συστήματος και επεξήγηση της ομοιότητας του σχεδίου με οποιοδήποτε

ανακτηθέν σχήμα. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του συστήματος καταδεικνύουν ότι το σύστημα ανακτά με ικανοποιητικό τρόπο όμοια σχήματα και ότι είναι ανεκτικό στο θόρυβο, γρήγορο και αξιόπιστο. Το SR-Sketch είναι διαθέσιμο για δοκιμή στην ηλεκτρονική διεύθυνση [28].

Το σύστημα σχεδίασης SR-Sketch έχει τα εξής πλεονεκτήματα:

- Ο χρήστης του συστήματος δε χρειάζεται να είναι εξαιρετικά ικανός σχεδιαστής, καθώς μπορεί πάντα να αντικαθιστά δικά του τμήματα ενός σχεδίου με καλύτερα σχέδια, από τα ήδη υπάρχοντα.
- Η διαδικασία δημιουργίας σχεδιαγραμμάτων ή εικόνων που αναφέρονται σε συγκεκριμένο θέμα επιταχύνεται και έχει καλύτερα αποτελέσματα, καθώς είναι δυνατή η κατασκευή Β.Δ. που αφορούν σε συγκεκριμένα θέματα.
- Ο χρήστης του SR-Sketch μπορεί να δημιουργήσει τις δικές του Β.Δ. με σχέδια ή να τις παράγει από προηγούμενες δουλειές του, αυξάνοντας την επαναχρησιμοποίηση και αξιοποίηση προηγούμενης εργασίας.
- Μέσω μιας διαδικασίας επεξήγησης, ο χρήστης αντιλαμβάνεται καλύτερα τη λειτουργία της μηχανής αναζήτησης σχημάτων, βελτιώνοντας την ικανότητά του στον χειρισμό της. Επομένως, δε χρειάζεται ο χρήστης να γνωρίζει τίποτα για τις εσωτερικές διεργασίες της μηχανής αναζήτησης.

Το SR-Sketch χρησιμοποιεί μια νέα μηχανή αναζήτησης σχημάτων, η οποία ανακτά όμοια σχήματα με ένα πρότυπο που δίνεται από το χρήστη (για σκίτσα που έχουν κατασκευαστεί από άνθρωπο ή υπολογιστή), χρησιμοποιώντας μια μέθοδο ανάκτησης σχήματος με βάση το περιεχόμενο. Η αξιολόγηση που διενεργήθηκε έδειξε πως αυτή η μέθοδος δύναται να αντι-

μετωπίσει επιτυχώς περιοχές θορύβου και λάθη που προκύπτουν από το ανθρώπινο χέρι. Η προσαρμοστικότητα της μεθόδου αυτής αξιοποιείται ώστε να παρέχεται στο χρήστη μιας εφαρμογής Συγγραφής Πολυμέσων η δυνατότητα να παραμετροποιήσει την μέθοδο ώστε :

1. να εξισορροπήσει τα αλληλοσυγκρουόμενα κριτήρια της Ακρίβειας και της Ικανότητας Ανάκτησης (Precision, Recall),
2. να εξισορροπήσει τα αλληλοσυγκρουόμενα κριτήρια του Χρόνου Ανάκτησης και της Ικανότητας Ανάκτησης και
3. να ανακτήσει σχέδια με βάση ανοικτά (όχι ολόκληρα) σχήματα.

Στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν :

- παρατηρήσεις πάνω στη σχετική βιβλιογραφία, αναφορικά με: α) την ανάκτηση πολυμέσων με βάση σκίτσα από χρήστες, β) τη δημιουργία πολυμέσων με υποβοήθηση από λειτουργίες αυτόματης ανάκτησης πολυμέσων και γ) τις μεθόδους ανάκτησης σκίτσων.
- η γενική διαδικασία δημιουργίας σκίτσων από τον χρήστη,
- μια λεπτομερής παρουσίαση της διαδικασίας ανάκτησης σχημάτων, με την οποία ανακτώνται τα σχήματα που προτείνονται στο χρήστη,
- οι αυτόματες διαδικασίες οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων και επεξήγησης τους στο χρήστη,
- η διαδικασία εισαγωγής των σχημάτων στο συνολικό σκίτσο,
- στοιχεία που αφορούν στην υλοποίηση του συστήματος,

- μια αξιολόγηση της εφαρμογής και των χρησιμοποιούμενων διαδικασιών και
- τελικά συμπεράσματα.

Στο τέλος του κεφαλαίου παρατίθενται μια παρουσίαση της διαδικασίας αξιολόγησης του συστήματος, τα αποτελέσματα της αξιολόγησης, καθώς και συμπεράσματα που προκύπτουν από τα αποτελέσματα αυτά.

7.2 Ανάκτηση πολυμέσων με βάση το σκίτσο

Στο κεφάλαιο 6 παρουσιάστηκε βιβλιογραφία πάνω σε συστήματα που χρησιμοποιούν σκίτσα για ανάκτηση πηγών πολυμέσων. Όπως φαίνεται από την παραπάνω παρουσίαση της σχετικής βιβλιογραφίας, οι περισσότερες μέθοδοι σύγκρισης σχημάτων που χρησιμοποιούνται σε συστήματα Ανάκτησης Εικόνας με Βάση το Περιεχόμενο στηρίζονται σε ολικές Περιγραφές, καθώς για τα συστήματα αυτά οι πιο σημαντικές επιθυμητές ιδιότητες είναι η ταχύτητα, η απλότητα και η ανεκτικότητα στο θόρυβο (αν και δεν είναι όλες οι ολικές Τεχνικές Σύγκρισης Σχημάτων αξιόπιστες). Εντούτοις, για μια μέθοδο που χρησιμοποιείται σε ένα αλληλεπιδραστικό περιβάλλον ανάκτησης σχήματος (ειδικά αν τα ανακτημένα αποτελέσματα χρησιμοποιούνται για την βελτίωση πολυμεσικών προϊόντων, όπως σχεδιαγράμματα), η χρήση μόνο ολικών κριτηρίων είναι ανεπαρκής, καθώς καθίσταται αδύνατο να ανιχνευθούν ομοιότητες μεταξύ περιοχών των εικόνων ή σχημάτων.

Η μέθοδος ανάκτησης σχήματος που θα περιγραφεί στο τρέχον κεφάλαιο υπερνικά αυτές τις δυσκολίες με τη χρήση ενός συνδυασμού ολικών και μερικών κριτηρίων, όπως ο συνδυασμός των τεχνικών Κυκλικότητας, Κυρτότητας και Εκκεντρότητας με τη τεχνική Διαφοράς Γωνίας Στροφής. Στη συνέχεια

αυτού του κεφαλαίου θα καταδειχτεί ότι η συνολική μέθοδος είναι αξιόπιστη, αποδοτική και επεξηγηματική από μόνη της, άρα ιδανική για χρήση στα πλαίσια μιας εφαρμογής δημιουργίας σχεδιαγραμμάτων.

7.3 Διαδικασία δημιουργίας Σκίτσων

Το SR-Sketch αποτελεί τη διεπαφή χρήστη για ένα σύστημα ανάκτησης σχημάτων, το οποίο επιτρέπει στο χρήστη του να σκισάρει τον τύπο του σχήματος για τον οποίο ενδιαφέρεται. Επιπρόσθετα, το εργαλείο υποστηρίζει λειτουργίες παραγωγής σκίτσων, επιτρέποντας στο σχεδιαστή να αντικαταστήσει συστατικά του δικού του σκίτσου με παρόμοια συστατικά που έχουν ανακτηθεί από μια Β.Δ. με σχήματα. Συνολικά, η διαδικασία δημιουργίας Σκίτσων με αυτόματη ανάκτηση σχήματος περιλαμβάνει:

1. σύγκριση ενός σχήματος που δημιούργησε ο χρήστης με σχήματα από μια Β.Δ., ώστε να βρεθούν όμοια συστατικά,
2. οπτικοποίηση (κατόπιν αίτησης του χρήστη) της διαδικασίας με την οποία συγκρίθηκε το σχήμα του χρήστη με ένα από τα σχήματα της Β.Δ. και
3. Εισαγωγή σχημάτων που ανακτήθηκαν από τη Β.Δ. μέσα στο σχεδιάγραμμα του χρήστη, ευθυγραμμισμένα με τα σχήματα που υπάρχουν ήδη εκεί.

Οι επόμενες ενότητες περιγράφουν διεξοδικά τα παραπάνω βήματα.

7.4 Ανάκτηση Σχημάτων

Η μέθοδος σύγκρισης σχημάτων που χρησιμοποιείται για την ανάκτηση σχημάτων δέχεται ως είσοδο δύο πολύγωνα με N και M κορυφές αντίστοιχα. Έπειτα, προσπαθεί να εντοπίσει παρόμοιες ακολουθίες κορυφών στα δύο πολύγωνα. Το βασικό χαρακτηριστικό που χρησιμοποιείται είναι η Διαφορά Δ στην κατεύθυνση (ή Διαφορά Γωνίας Στροφής) που υπάρχει μεταξύ δύο διαδοχικών ακμών ενός πολυγώνου, κατά τη διάσχιση των κορυφών αυτού του πολυγώνου. Για να ελαχιστοποιηθεί το ποσοστό του θορύβου, κάθε πολύγωνο πρέπει να υποστεί δειγματοληψία σε μια προκαθορισμένη ανάλυση και να εξομαλυνθεί μέσω της συνέλιξης με μια Γκαουσιανή μονοδιάστατη μήτρα. Ο πυρήνας της μεθόδου ανάκτησης, η Τεχνική Σύγκρισης Σχημάτων (ΤΣΣ) Διαφοράς Γωνίας Στροφή (ΔΓΣ), η οποία αναλύεται διεξοδικά στο κεφάλαιο 3 έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- είναι ανεξάρτητη περιστροφής/ μετατόπισης/ μεγέθυνσης,
- είναι ανθεκτική στο θόρυβο είτε αυτός προέρχεται από το ανθρώπινο χέρι είτε από άλλες πηγές,
- είναι αρκετά γρήγορη για εφαρμογές πραγματικού χρόνου και
- είναι ικανή να εφαρμοστεί για την ανάκτηση ανοικτών (ή όχι ολόκληρων) σχημάτων, μια ιδιότητα απαραίτητη για τη χρήση της στην εφαρμογή SR-Sketch.

Μετά την προεπεξεργασία των σχημάτων δημιουργούνται δύο μήτρες μεγέθους N και M από τα αντίστοιχα πολύγωνα, οι οποίες περιέχουν τιμές ΔΓΣ. Η διαδικασία παραγωγής των τιμών ΔΓΣ γίνεται ως ακολούθως: κάθε προεπεξεργασμένο πολύγωνο αναπαριστάται ως μια μήτρα από διανύσματα, τα

οποία ορίζονται από τις διαφορές των συντεταγμένων κάθε κορυφής και τις προηγούμενης της, κατά την διάσχιση του πολυγώνου. Η αναπαράσταση αυτή μας επιτρέπει να υπολογίσουμε την τιμή της ΔΓΣ μιας κορυφής ως τη γωνία μεταξύ των δύο διαδοχικών διανυσμάτων που είναι γειτονικά σε αυτήν, με τη χρήση του εσωτερικού γινομένου τους. Το πρόσημο του εσωτερικού γινομένου καθορίζει και το πρόσημο της τιμής της ΔΓΣ. Στη συνέχεια του κεφαλαίου, η ανάλυση της διαδικασίας προεπεξεργασίας (και κατά συνέπεια και του πολυγώνου) θα αναφέρεται με το γράμμα Ν. Μια τιμή $N=40$ είναι επαρκής για τη χρήση της συγκεκριμένης εφαρμογής.

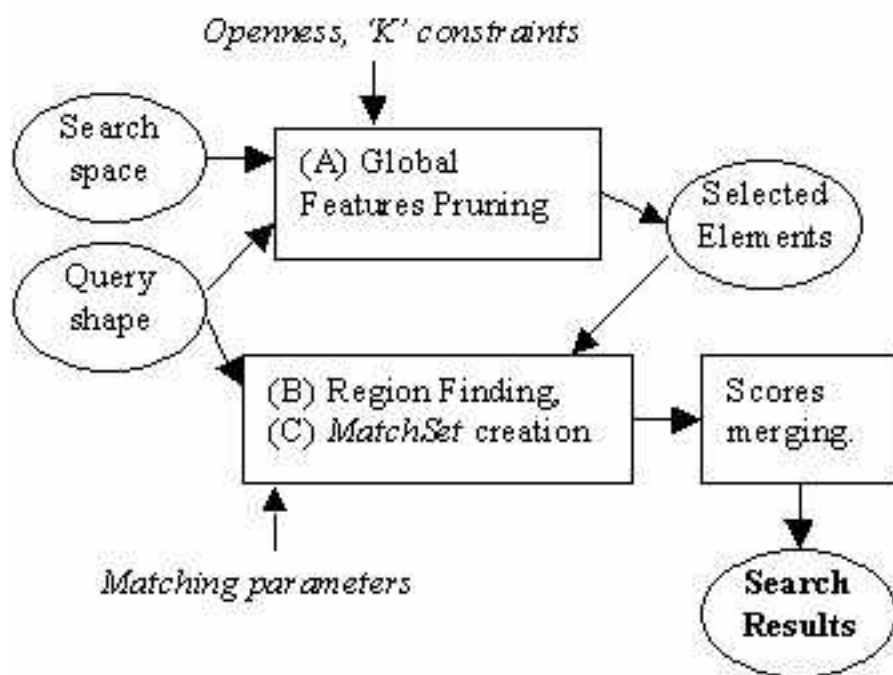
7.4.1 Βήματα της Ανάκτησης Σχημάτων

Η συνολική διαδικασία ανάκτησης σχημάτων αποτελείται από τρία βήματα :

- Α: τη αρχική γρήγορη επιλογή των όμοιων σχημάτων, με τη χρήση ολικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών,
- Β: την εύρεση όμοιων περιοχών μεταξύ του σχήματος ερώτησης και καθενός από τα σχήματα που πέρασαν το πρώτο βήμα και
- Γ: τη δημιουργία του τελικού αποτελέσματος σύγκρισης μεταξύ του σχήματος ερώτησης και καθενός από τα σχήματα που πέρασαν το βήμα Α. Από το βήμα αυτό εξάγεται ο βαθμός ομοιότητας μεταξύ του σχήματος ερώτησης και καθενός από τα σχήματα που ελέγχθηκαν.

7.4.2 Βήμα Α: Διαλογή των σχημάτων με τη χρήση γεωμετρικών χαρακτηριστικών

Όπως θα προκύψει παρακάτω, η ΤΣΣ ΔΓΣ είναι ικανή να περιγράψει όλες τις ιδιότητες του περιγράμματος ενός σχήματος. Στην περίπτωση των κλειστών



Σχήμα 7.1: Η συνολική διαδικασία ανάκτησης σχημάτων

σχημάτων, η αξιοποίηση διαφόρων ολικών γεωμετρικών χαρακτηριστικών παρέχει κάλυψη των χαρακτηριστικών της εσωτερικής περιοχής ενός σχήματος, βελτιώνοντας την ακρίβεια της μεθόδου και αυξάνοντας δραματικά την ταχύτητά της.

Με βάση το χαρακτηρισμό των δύο συγκρινόμενων σχημάτων ως *ανοικτά* ή *κλειστά*, το πρώτο βήμα υπολογίζει την ομοιότητα των σχημάτων αυτών, βάσει ενός συνόλου από ολικά χαρακτηριστικά τους. Συγκεκριμένα, ο βαθμός *ανοίγματος* μιας πολυγωνικής καμπύλης υπολογίζεται ως το ποσοστό του μήκους της απόστασης μεταξύ της πρώτης και της τελευταίας κορυφής της προς το μήκος της ίδιας της καμπύλης. Μια καμπύλη θεωρείται *κλειστή* αν και μόνο αν αυτό το ποσοστό είναι κάτω από μια τιμή κατώφλιου. Σε διαφορετική περίπτωση θεωρείται *ανοικτή*. Η αρχική τιμή για αυτό το κατώφλι καθορίστηκε, μετά από δοκιμές, στην τιμή 0,1.

Στην περίπτωση που συγκρίνονται δύο *κλειστές* καμπύλες, τότε δημιουργούνται αντίστοιχα πραγματικά κλειστά σχήματα, συνδέοντας την πρώτη με την τελευταία κορυφή κάθε καμπύλης. Έπειτα, υπολογίζονται οι τιμές των Καμπυλότητας, Κυρτότητας και Εκκεντρότητας για κάθε ένα από αυτά τα σχήματα (βλ. παρ. 2.5.2). Η συνολική ομοιότητα μεταξύ δύο τέτοιων σχημάτων υπολογίζεται με τη σύγκριση αυτών των τιμών καθώς και των τιμών *ανοίγματος* τους.

Για κάθε μία από τις Κυκλικότητα, Εκκεντρότητα, Κυρτότητα και *Άνοιγμα* ορίζουμε μια αντίστοιχη τιμή κατώφλιου λάθους, K , στο πεδίο $(0, 1]$. Για καθένα από τα παραπάνω κριτήρια υπολογίζουμε την αναλογία των τιμών του σχήματος ερώτησης προς τις αντίστοιχες τιμές κάθε σχήματος της Β.Δ.. Για να περάσει ένα σχήμα της Β.Δ. το βήμα επιλογής, η αναλογία αυτή πρέπει να είναι μεταξύ K και $1/K$ για κάθε κριτήριο. Τυπικές τιμές για το K ορί-

ζονται στο $[0.6, 0.7]$. Όταν τουλάχιστον μια από τις συγκρινόμενες καμπύλες προσδιορίζεται ως *ανοικτή*, η συνολική ομοιότητα για αυτό το βήμα λαμβάνει υπόψη μόνο τον βαθμό *ανοίγματος*.

Πέρα από τον προσδιορισμό των ολικών κριτηρίων που θα χρησιμοποιηθούν, το κριτήριο του *ανοίγματος* χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του σχεδιασμένου σχήματος ως *ανοικτού* ή *κλειστού* για τα επόμενα βήματα. Όταν ένα σχήμα που έχει σχεδιαστεί από το χρήστη θεωρηθεί *κλειστό*, η πρώτη και η τελευταία κορυφή του συνδέονται, σχηματίζοντας ένα πραγματικά κλειστό σχήμα. Η φάση προεπεξεργασίας και υπολογισμού των Περιγραφών για τις διάφορες ΤΣΣ που χρησιμοποιούνται συντελούνται μετά τη δημιουργία του κλειστού σχήματος. Η διεπαφή του χρήστη του συστήματος παρέχει την επιλογή να παρακαμφθεί αυτός ο έλεγχος και να θεωρούνται όλα τα σχήματα ως κλειστά.

7.4.3 Βήμα Β: Εύρεση Όμοιων Περιοχών

Το δεύτερο βήμα παράγει ένα πλήθος από αντιστοιχίσεις μεταξύ περιοχών των δύο σχημάτων που συγκρίνονται με βάση τις τιμές ΔΓΣ τους. Η διαδικασία σύγκρισης των τιμών ΔΓΣ που χρησιμοποιείται δε θα αναλυθεί εδώ καθώς είναι ακριβώς ίδια με την διαδικασία που περιγράφεται στην παρ. 3.3. Οι μόνες διαφορές που παρουσιάζονται στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι ότι α) μπορεί να χρησιμοποιηθούν διαφορετικές αναλύσεις (M και N) για τα δύο σχήματα και β) ότι δύο κορυφές δε συνδέονται μεταξύ τους (πρώτη και τελευταία) στην περίπτωση ενός *ανοικτού* σχήματος.

Η δεύτερη περίπτωση παράγει μια ασυνέχεια στις τιμές ΔΓΣ του εκάστοτε σχήματος, που πρέπει να ληφθεί υπόψη. Όταν ένα σχήμα θεωρείται *ανοικτό*, η διάσχιση του πρέπει να σταματήσει στην τελευταία κορυφή του. Αντίθετα,

όταν το σχήμα είναι κλειστό, η διάσχιση μπορεί να συνεχίσει κανονικά στην πρώτη κορυφή. Σε κάθε περίπτωση, η διάσχιση περιορίζεται, ώστε να έχει μήκος μικρότερο ή ίσο με $\min(N, M)$.

Καθώς η διαδικασία σύγκρισης δέχεται και κλειστά και ανοικτά σχήματα ως είσοδο, υπάρχουν τρεις διαφορετικές περιπτώσεις σύγκρισης για αυτό το βήμα:

1. να συγκρίνονται δύο κλειστά σχήματα
2. να συγκρίνονται δύο ανοικτά σχήματα
3. να συγκρίνονται ένα κλειστό με ένα ανοικτό σχήμα

Αν και το βήμα αυτό λειτουργεί ικανοποιητικά και στις τρεις περιπτώσεις, η συνολική διαδικασία σύγκρισης παράγει τα καλύτερα αποτελέσματα όταν συγκρίνονται μεταξύ τους δύο κλειστά σχήματα, διότι: α) αυτό επιτρέπει τη χρήση των ολικών κριτηρίων και β) χρησιμοποιείται πληροφορία για μεγαλύτερη περιοχή κάθε σχήματος.

7.4.4 Βήμα Γ: Παραγωγή του αποτελέσματος της σύγκρισης

Το τρίτο βήμα επιλέγει το τελικό σύνολο αντιστοιχισμένων ακολουθιών από τα δύο σχήματα που θα αποτελέσουν το `matchSet`. Το `matchSet` είναι το μεγαλύτερο (αθροιστικά) σύνολο ακολουθιών αντιστοίχισης οι οποίες παρήχθησαν από το προηγούμενο βήμα και είναι *συμβατές* ανά δύο.

Όπως αναφέρθηκε και στην παρ. 3.3, δύο ακολουθίες αντιστοίχισης είναι συμβατές όταν δεν αλληλοκαλύπτονται και όταν περνάνε τους ελέγχους της *απόστασης* και της *περιστροφής*. Πέρα από την έλλειψη αλληλοκάλυψης,

δύο ακολουθίες αντιστοίχισης για να είναι συμβατές πρέπει να βρίσκονται σε ικανές αποστάσεις μεταξύ τους και οι σχετικές γωνίες περιστροφής τους να είναι μικρές. Δύο περιοχές του ενός σχήματος που είναι κοντά η μία στην άλλη δε μπορούν να αντιστοιχηθούν σε δύο περιοχές του άλλου σχήματος που είναι μακριά η μία από την άλλη.

Η διαδικασία δημιουργίας του `matchSet` δε θα αναλυθεί στην παρούσα παράγραφο, καθώς είναι όμοια με τη διαδικασία που αναλύθηκε σε βάθος στην παρ. 3.3.1. Η μόνη διαφορά στην διαδικασία είναι ο έλεγχος για την ασυνέχεια που δημιουργείται, όταν στα σχήματα που συγκρίνονται υπάρχει τουλάχιστον ένα *ανοικτό* σχήμα. Ο τελικός βαθμός ομοιότητας σε αυτό το βήμα είναι: $length(matchSet)/min(N, M)$, όπου $length(matchSet)$ είναι το συνολικό μήκος όλων των ακολουθιών που περιέχονται μέσα στο `matchSet`. Το πλήθος των ανακτημένων σχημάτων από την διαδικασία ανάκτησης μεταβάλλεται, όταν μεταβάλλεται μια κατάλληλη τιμή κατωφλίου για το βαθμό ομοιότητας.

7.4.5 Διαχείριση Ανοικτών Σχημάτων

Για *κλειστά* σχήματα, η σύγκριση σχημάτων είναι ανεξάρτητη του μεγέθους, καθώς το μόνο χαρακτηριστικό που προσδιορίζει το μέγεθος είναι η ανάλυση της δειγματοληψίας N , η οποία έχει την ίδια τιμή για όλα τα σχήματα. Παρά ταύτα, στην περίπτωση σκίτσων, πρέπει να αντιμετωπιστεί το γεγονός ότι αρκετά συχνά τα σχήματα που σχεδιάζει ο χρήστης είναι *ανοικτά*. Σε αυτήν την περίπτωση, χρειάζεται ειδικός τρόπος υπολογισμού της ανάλυσης που πρέπει να χρησιμοποιηθεί, καθώς το σύστημα αγνοεί την μορφή του τμήματος της καμπύλης που λείπει.

Η έλλειψη αυτή καλύπτεται με διαφορετικές υποθέσεις του συστήματος

για το μήκος L , του τμήματος που λείπει, μεταξύ δηλαδή της πρώτης και της τελευταίας κορυφής, άρα και με διαφορετικές τιμές ανάλυσης για το σύνολο του σχήματος. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιούνται δύο παράμετροι: (α) η N_r , ένας φυσικός αριθμός που αναπαριστά τον αριθμό των διαφορετικών αναλύσεων που θα χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμένο σχήμα και (β) η V_r , ένας θετικός πραγματικός αριθμός που αναπαριστά την πιθανή διακύμανση των τιμών του L . Οι εξ' ορισμού τιμές των παραμέτρων αυτών είναι: $N_r = 3, V_r = 3.0$. Αν N είναι μια ανάλυση που θα έπρεπε να εφαρμοστεί στο σχήμα, εφόσον ήταν κλειστό, και N_i η ανάλυση που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για την i -ιοστή έκδοση του ανοικτού σχήματος, τότε:

$$N_i = \frac{i * V_r}{N_r} D_s, \quad (7.1)$$

όπου D_s είναι ο αριθμός των κορυφών που θα αντιστοιχούσαν στο τμήμα του πολυγώνου που λείπει, αν το σχήμα ήταν όντως κλειστό (συνδέοντας την πρώτη με την τελευταία κορυφή του) και το σχήμα είχε υποστεί δειγματοληψία με ανάλυση N . Προφανώς, το N_i στρογγυλοποιείται σε ακέραια τιμή.

Με τη διαδικασία αυτή παράγονται N_r διαφορετικά σχήματα από το αρχικό σχήμα, μέσω την επεξεργασίας του με διαφορετικές αναλύσεις, που κυμαίνονται από: N^* (μήκος του ανοικτού σχήματος / μήκος του ανοικτού σχήματος + (μήκος του ευθύγραμμου τμήματος που κλείνει το σχήμα) * (1 + V_r)) έως και: N^* (μήκος του ανοικτού σχήματος / μήκος του υποτιθέμενου κλειστού σχήματος)

Μετά τη δημιουργία των επεξεργασμένων εκδόσεων του αρχικού σχήματος, η μηχανή αναζήτησης καλείται να ανακτήσει όμοια σχήματα με κάθε μια από αυτές ως σχήμα ερώτησης. Τα τελικά αποτελέσματα που εμφανίζονται είναι τα πρώτα στοιχεία μιας ταξινομημένης λίστας που περιέχει όλα τα

αποτελέσματα της μηχανής αναζήτησης. Όταν ένα σχήμα της Β.Δ. ανακτάται περισσότερες από μία φορές, για διαφορετικές αναλύσεις του σκίτσου αναζήτησης, διατηρείται μόνο μια φορά στην λίστα, για την έκδοση του σκίτσου που βαθμολογήθηκε με τον μεγαλύτερο βαθμό ομοιότητας με το σχήμα αυτό. Είναι προφανές ότι, αυξάνοντας τη τιμή του N_r , αυξάνουμε ταυτόχρονα την ικανότητα ανάκτησης του συστήματος αλλά και το χρόνο απόκρισης.

Όλες οι παραπάνω παράμετροι μπορούν να παραμετροποιηθούν, ώστε να βελτιστοποιηθούν τα αποτελέσματα για κάθε πεδίο δεδομένων. Στην πράξη όμως στις περισσότερες των περιπτώσεων γίνεται αυτόματη παραμετροποίηση του συστήματος με τη χρήση των ίδιων των δεδομένων μιας Β.Δ. σχημάτων.

7.5 Οπτικοποίηση και επεξήγηση των αποτελεσμάτων

Όπως αναφέρθηκε στις παρ. 3.1 και 3.3, ένα από τα προϊόντα της σύγκρισης σχημάτων με τη μέθοδο ΔΓΣ είναι η αντιστοίχιση μεταξύ περιοχών των περιγραμμάτων των δύο σχημάτων. Αυτή η πληροφορία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παραχθεί μια απλή αναπαράσταση των ομοιοτήτων των δύο σχημάτων ως εξής:

1. σχεδιάζονται (σε ένα καμβά) και τα δύο σχήματα, το ένα δίπλα στο άλλο, μετατοπισμένα και μεγεθυμένα ώστε να χωρούν στις αντίστοιχες περιοχές τους.
2. οι περιοχές που είναι όμοιες σχεδιάζονται με συγκεκριμένο χρώμα, ενώ οι υπόλοιπες με διαφορετικό χρώμα και
3. για κάθε περιοχή αντιστοίχισης σχεδιάζεται ένα ευθύγραμμο τμήμα, από την αρχή της έως το κέντρο βάρους του σχήματος.

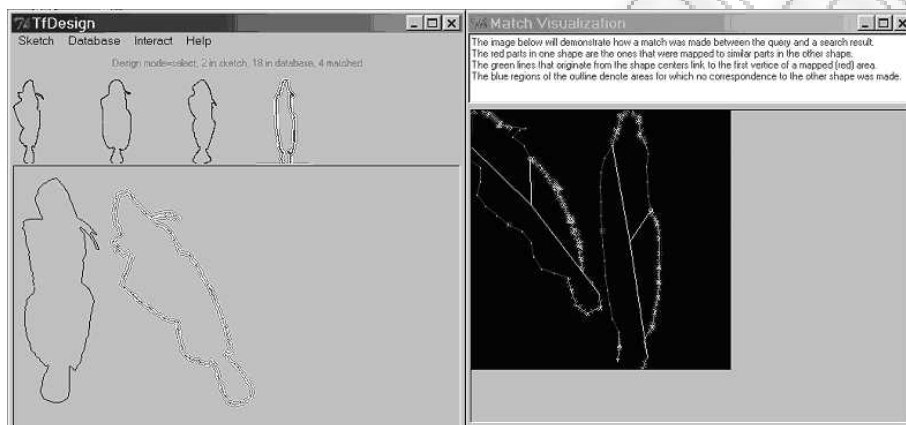
Αυτή η απλή αναπαράσταση παρέχει μια επεξηγηματική απεικόνιση των αποτελεσμάτων της διαδικασίας σύγκρισης και παρουσιάζει τις ομοιότητες που βρέθηκαν μεταξύ δύο σχημάτων. Αυτές οι ομοιότητες καμιά φορά δεν είναι άμεσα αντιληπτές από το ανθρώπινο μάτι, ειδικά αν τα δύο σχήματα έχουν περιστραφεί. Η αναπαράσταση αυτή δημιουργείται πάνω σε μια εικόνα η οποία τοποθετείται σε ξεχωριστό παράθυρο της εφαρμογής. Ένα παράδειγμα τέτοιας εικόνας παρουσιάζεται στο στιγμιότυπο του SR-Sketch του σχήματος 7.2.

7.6 Εισαγωγή σχημάτων στο σκίτσο

Το αποτελέσματα της αναζήτησης σχημάτων από την Β.Δ. αποτελούνται από τα πιθανά όμοια σχήματα, ταξινομημένα σύμφωνα με τον βαθμό ομοιότητάς τους με το σχήμα ερώτησης. Όταν ο χρήστης επιλέγει ένα από αυτά τα σχήματα, αυτό περιστρέφεται και μεγεθύνεται ώστε να ταιριάζει καλύτερα με το επιλεγμένο σχήμα του σκίτσου (σχήμα ερώτησης). Έπειτα σχεδιάζεται, με διαφορετικό χρώμα, πάνω από το σκιτσαρισμένο σχήμα, δίνοντας στο χρήστη την επιλογή να αποφασίσει αν θα το ενσωματώσει στο σκίτσο του. Η διαδικασία τοποθέτησης, η οποία θα περιγραφεί παρακάτω, περιλαμβάνει τα εξής βήματα, κατά σειρά εφαρμογής τους στο σχήμα:

1. μετατόπιση στην αρχή των αξόνων,
2. περιστροφή,
3. μεγέθυνση και
4. μετατόπιση στις συντεταγμένες του σχήματος ερώτησης.

Έστω ότι θέλουμε να αντικαταστήσουμε το σχήμα S_2 , το οποίο βρίσκεται μέσα στο σκίτσο, με το σχήμα S_1 , το οποίο ανακτήθηκε από την Β.Δ.. Κατ'



Σχήμα 7.2: Στιγμιότυπο του SR-Sketch. Κάτω αριστερά βρίσκεται ο καμβάς όπου ζωγραφίζει ο χρήστης. Πάνω αριστερά εμφανίζονται τα σχήματα που έχουν ανακτηθεί. Όταν επιλέγεται ένα από τα ανακτημένα σχήματα, μπορεί να τοποθετηθεί πάνω από το επιλεγμένο σκίτσο στον καμβά σχεδίασης, ή και να χρησιμοποιηθεί για να το αντικαταστήσει. Οι παράμετροι τοποθέτησης υπολογίζονται όπως στην παρ. 7.6. Το παράθυρο στα δεξιά παρουσιάζει μία οπτική επεξήγηση της σύγκρισης μεταξύ του τρέχοντος συστατικού του σχεδιαγράμματος και του επιλεγμένου ανακτηθέντος σχήματος.

αρχάς, τα κέντρα βάρους των δύο σχημάτων ταυτοποιούνται. Αυτό επιτυγχάνεται με τη μετατόπιση των σχημάτων με τέτοιο τρόπο ώστε αμφότερα να αποκτήσουν ως κέντρο βάρους το σημείο $(0, 0)$. Έπειτα υπολογίζεται η γωνία περιστροφής που ευθυγραμμίζει το S_1 με το S_2 . Για το σκοπό αυτό, στην περίπτωση που και τα δύο σχήματα είναι *κλειστά*, υπολογίζονται αρχικά οι κυκλικότητες των δύο σχημάτων. Αν οι κυκλικότητες και των δύο σχημάτων είναι πάνω από μια τιμή κατωφλίου, θεωρούνται *κυκλικά*. Σε αυτήν την περίπτωση, ακολουθείται η διαδικασία 1, αλλιώς ακολουθείται η διαδικασία 2.

Η παράμετρος μεγέθυνσης υπολογίζεται διαιρώντας τις διαστάσεις των ορθογωνίων, μέσα στα οποία περικλείονται τα δύο σχήματα, μετά την περιστροφή. Αφότου υπολογιστεί η γωνία περιστροφής, το S_1 περιστρέφεται γύρω από $(0, 0)$, που είναι και το κέντρο βάρους του, και μετά μεγθύνεται και μετατοπίζεται ώστε να αποκτήσει ως κέντρο βάρους το αρχικό κέντρο βάρους του S_2 .

7.6.1 Διαδικασία 1: Κλειστά, μη κυκλικά σχήματα

Για καθένα από τα δύο σχήματα S_1, S_2 , βρίσκουμε τη συνάρτηση της ευθείας $Y = a + rX$, για την οποία η αναμενόμενη απόσταση από κάθε εσωτερικό σημείο του εκάστοτε σχήματος είναι ελάχιστη. Για το σκοπό αυτό υπολογίζουμε τις Κανονικοποιημένες Ροπές N_{11}, N_{20}, N_{02} . Πάνω στην παραπάνω ευθεία βρίσκεται η μεγάλη ακτίνα της βέλτιστα εφαπτόμενης έλλειψης του σχήματος. Εκτελούμε όλους τους παραπάνω υπολογισμούς με τα σχήματα να έχουν κέντρο βάρους το $(0, 0)$, ώστε η ευθεία να περιγράφεται από την εξίσωση $Y = rX$, και $r = \tan(R)$, όπου R η γωνία περιστροφής. Αυτό μας επιτρέπει να βελτιστοποιήσουμε τις συναρτήσεις υπολογισμού των ροπών. Οι μαθηματικοί ορισμοί των Γεωμετρικών Ροπών M_{pq} και των Κανονικοποιη-

μένων Ροπών N_{pq} , σειράς $p + q$, για τα σημεία μιας περιοχής A , με R την γωνία περιστροφής που αντιστοιχεί στην εξίσωση $Y = rX$, η οποία είναι πάνω στη μεγάλη ακτίνα της καλύτερα εφαρμοζόμενης έλλειψης στην περιοχή A , δίνονται από τις παρακάτω εξισώσεις.

$$M_{pq} = \int \int_A x^p y^q dx dy \quad (7.2)$$

$$N_{pq} = \frac{M_{pq}}{M_{00}} \quad (7.3)$$

$$R = \tan^{-1} \left(\frac{N_{11}}{N_{20} - N_{02}} \right) \quad (7.4)$$

Οι Γεωμετρικές Ροπές είναι οι ίδιες με τις Κεντρικές Ροπές για τα παραπάνω σχήματα, καθώς αυτά έχουν κέντρο το $(0, 0)$. Μετά τον υπολογισμό της R , περιστρέφουμε το S_1 , ώστε να ευθυγραμμιστούν οι μεγάλοι άξονες των καλύτερα εφαρμοζόμενων ελλείψεων για τα σχήματα S_1, S_2 .

Παρόλο που μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε τη γωνία περιστροφής που ευθυγραμμίζει τους άξονες για τα σχήματα S_1, S_2 , την R_i , υπάρχει η περίπτωση η σωστή γωνία περιστροφής να είναι είτε η $R_2 - R_1$ είτε η $\pi + R_2 - R_1$. Η επιλογή της κατάλληλης γωνίας γίνεται ως εξής: περιστρέφουμε το S_1 κατά $R_2 - R_1$ και έπειτα επαναχρησιμοποιούμε τα αποτελέσματα της διαδικασίας σύγκρισης για να επαληθεύσουμε ότι πρόκειται για τη σωστή γωνία. Για κάθε κορυφή v_1 του σχήματος S_1 , η οποία αντιστοιχίστηκε με την κορυφή v_2 του σχήματος S_2 , ελέγχουμε αν βρίσκονται στις ίδιες πλευρές του (τώρα) κοινού κεντρικού άξονα. Εφόσον ισχύει αυτό για τα περισσότερα ζευγάρια αντιστοιχισμένων κορυφών, τότε επιλέχθηκε η σωστή γωνία, αλλιώς η γωνία περιστροφής για το S_1 είναι η $\pi + R_2 - R_1$.

7.6.2 Διαδικασία 2: Λοιποί τύποι σχημάτων

Για τους υπόλοιπους τύπους σχημάτων, η διαδικασία ευθυγράμμισης είναι απλούστερη, αλλά λιγότερο αξιόπιστη. Τα δύο σχήματα μετατοπίζονται ξανά για να αποκτήσουν κέντρο βάρους το $(0, 0)$. Έπειτα, για κάθε κορυφή v_1 του S_1 , η οποία αντιστοιχήθηκε στην κορυφή v_2 του S_2 , υπολογίζουμε τη γωνία D , χρησιμοποιώντας τις γωνίες F_1, F_2 , που σχηματίζονται ανάμεσα στον άξονα των x και τα v_1, v_2 , αντίστοιχα:

$$D_1 = F_2 - F_1 \quad (7.5)$$

$$D = \begin{cases} 2\pi + D_1, & D_1 < -\pi \\ 2\pi - D_1, & D_1 > \pi \\ D_1, & -\pi \leq D_1 \leq \pi \end{cases} \quad (7.6)$$

Το D , όπως ορίζεται παραπάνω, είναι η γωνία, σε ακτίνια, που πρέπει να περιστρέψουμε το διάνυσμα v_1 , ώστε να ευθυγραμμιστεί με το διάνυσμα v_2 . Η τελική γωνία περιστροφής R' , για ολόκληρο το σχήμα, υπολογίζεται ως εξής (τα αθροίσματα υπολογίζονται χρησιμοποιώντας όλα τα ζευγάρια κορυφών που προκύπτουν από την διαδικασία σύγκρισης):

$$S = \sum D \quad (7.7)$$

$$R' = \sum F(D, S), \quad (7.8)$$

όπου:

$$F(D, S) = \left\{ \begin{array}{ll} 2 * \pi - D, & S < 0, D > 0 \\ 2 * \pi + D, & S > 0, D < 0 \\ D, & S * D \geq 0 \end{array} \right\} \quad (7.9)$$

Οι παραπάνω ορισμοί περιγράφουν μαθηματικά την παρακάτω διαδικασία. Πρώτα γίνεται προσπάθεια ευθυγράμμισης των σχημάτων με τη χρήση του αξόνων v_1 και v_2 , έπειτα το δεύτερο σχήμα περιστρέφεται κατά 180 μοίρες, αν αυτό προκύπτει από τις πληροφορίες που παρέχει το αποτέλεσμα της σύγκρισης, και έπειτα εφαρμόζεται μια μικρή διορθωτική περιστροφή.

Πρέπει να τονιστεί ότι αυτή η διαδικασία είναι γρηγορότερη αλλά δεν είναι σε όλες τις περιπτώσεις ακριβής. Για παράδειγμα, το αποτέλεσμα της δειγματοληψίας των σχημάτων μπορεί να παρήγαγε κακή διασπορά των κορυφών ή η διαδικασία σύγκρισης να μην κάλυψε επαρκή περιοχή του σχήματος ώστε να επιτευχθεί ακρίβεια. Επιπλέον, ο προσδιορισμός των κέντρων βάρους δεν είναι ακριβής από την στιγμή που τα σχήματα είναι ανοικτά. Επομένως, σε κάποιες περιπτώσεις, ο χρήστης πρέπει να επέμβει στο τοποθετημένο σχήμα για να διορθώσει την περιστροφή του σχήματος.

7.7 Υλοποίηση

Το περιβάλλον του SR-Sketch υλοποιήθηκε με τη γλώσσα Python [10] και τα εργαλεία Tcl/Tk [11], ενώ η μηχανή αναζήτησης σχήματος υλοποιήθηκε στην C++, ως ένα C-Python module. Επίσης δημιουργήθηκαν δύο είδη αρχείου, ένα δυαδικό και ένα απλού κειμένου, για την αποθήκευση των σκίτσων και των Β.Δ.. Ο χρήστης του SR-Sketch μπορεί να φορτώσει πολλά σχήματα μαζί από ένα αρχείο σκίτσων ή μόνο ένα.

Η εφαρμογή λειτουργεί σε δύο καταστάσεις: εισαγωγής (insert) και επι-

λογής (select). Η πρώτη χρησιμοποιείται όταν ο χρήστης θέλει να εισάγει νέα σχήματα στο σκίτσο. Σε αυτήν την κατάσταση, ο δημιουργός του σκίτσου χρησιμοποιεί το δείκτη του ποντικιού για να σχεδιάσει το σχήμα. Μόλις σχεδιαστεί το πρωτότυπο σχήμα, το πρόγραμμα μπαίνει σε κατάσταση εισαγωγής. Στην κατάσταση εισαγωγής, οποιοδήποτε σχήμα από αυτά που υπάρχουν στο σκίτσο μπορεί να συγκριθεί με τα σχήματα μιας προεπιλεγμένης Β.Δ. σχημάτων. Έπειτα, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ένα από τα ανακτημένα σχήματα και να το τοποθετήσει πάνω από το πρωτότυπο ή και να αντικαταστήσει το πρωτότυπο. Όλη η εφαρμογή, συμπεριλαμβανομένου του πηγαίου κώδικα Python, είναι διαθέσιμη στην ηλεκτρονική διεύθυνση [28], για έλεγχο και δοκιμή.

Το SR-Sketch δοκιμάστηκε με διάφορες Β.Δ. σχημάτων, διαφόρων μεγεθών (από 200 ως 1000 σχήματα) και θεμάτων. Μερικές από αυτές τις Β.Δ. είναι διαθέσιμες στο [28], ενώ μπορούν να δημιουργηθούν και καινούργιες με τη χρήση της βιβλιοθήκης GCV[26]. Η εφαρμογή δοκιμάστηκε σε έναν Η/Υ με επεξεργαστή 1GHz Pentium3, 128 MB RAM (με τον οποίο έγινε η αποτίμηση του συστήματος) και σε ένα δεύτερο με επεξεργαστή 2.66 Pentium 4, 512 MB RAM.

Και στα δύο συστήματα, η μηχανή αναζήτησης σχημάτων ήταν αποδοτική και δεν καθυστέρουσε την εργασία του σχεδιαστή. Ο χρόνος απόκρισης της διαδικασίας ανάκτησης ήταν αποδεκτός (πάντα κάτω από 1 ms). Σε αυτόν το χρόνο περιλαμβάνεται ο χρόνος απόκρισης που αφορά το σχεδιασμό στην οθόνη, ο οποίος αποτέλεσε και σημαντικό μέρος της καθυστέρησης. Στο σχήμα 7.2 παρουσιάζεται ένα στιγμιότυπο του προγράμματος.

7.8 Αξιολόγηση

Η μέθοδος ανάκτησης που χρησιμοποιεί το SR-Sketch βασίζεται κυρίως στην Τεχνική Σύγκρισης Σχημάτων (ΤΣΣ) Διαφοράς Γωνίας Στροφής (ΔΓΣ). Όπως αποδείχθηκε στο κεφ. 3, η ΔΓΣ είναι ανεξάρτητη περιστροφής, μεγέθους και μετατόπισης, ενώ είναι ικανή για ανάκτηση σχετικών αποτελεσμάτων, ακόμα και όταν εισάγεται θόρυβος στα δεδομένα εισόδου. Τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι απαραίτητα για μια εφαρμογή δημιουργίας πολυμέσων, καθώς ο χρήστης μιας τέτοιας εφαρμογής αναμένει την ανάκτηση των σχετικών αποτελεσμάτων, έστω και όταν τα σχήματα έχουν υποστεί γεωμετρικούς μετασχηματισμούς ή έχουν υποβληθεί σε θόρυβο. Η ταχύτητα είναι ακόμα απαραίτητη στην ανάκτηση σχημάτων καθώς πιθανή μακριά καθυστέρηση στην ανάκτηση των σχημάτων θα δυσχέραινε τη δημιουργική διαδικασία. Η ταχύτητα της ΔΓΣ παρουσιάζεται στην παρ. 3.6 και αποδεικνύεται ικανοποιητική για εφαρμογές πραγματικού χρόνου, αφού για 200 στοιχεία, ο χρόνος απόκρισης είναι πάντα μικρότερος ή ίσος από $10ms$.

7.8.1 Αξιολόγηση από τους χρήστες

Στα πλαίσια της αξιολόγησης του SR-Sketch, μια ομάδα από 15 ανθρώπους το δοκίμασαν και καταγράφηκαν οι αντιδράσεις και παρατηρήσεις τους. Όλοι οι αξιολογητές ήταν εξοικειωμένοι με τη χρήση υπολογιστών αλλά κανένας από αυτούς δεν είχε χρησιμοποιήσει παρόμοιο σύστημα Ανάκτησης Πολυμέσων με Βάση το Περιεχόμενο. Δέκα από τους παραπάνω χρήστες συμπλήρωσαν από ένα ερωτηματολόγιο που τους δόθηκε. Μετά τη συμπλήρωση των ερωτηματολογίων ακολούθησε συζήτηση με τους χρήστες, αναφορικά με την εμπειρία τους με το SR-Sketch. Το ερωτηματολόγιο επισυνάπτεται, μαζί με μια περίληψη των αποτελεσμάτων, στο τέλος του κεφαλαίου. Ο σκοπός της

αξιολόγησης από τους χρήστες ήταν ο εντοπισμός των λειτουργιών που οι ίδιοι οι χρήστες θεωρούν πιο χρήσιμες και η περιγραφή τυχόν προβλημάτων στον χειρισμό του συστήματος. Τα ακόλουθα συμπεράσματα εξάχθηκαν από τις δοκιμές:

1. η αρχιτεκτονική του προγράμματος επιτρέπει την ξεχωριστή επεξεργασία καθενός από τα στοιχεία του σκίτσου (ανεξάρτητα σχήματα). Αυτή η ιδιότητα της ανεξαρτησίας των σχημάτων αυξάνει τη λειτουργικότητα του προγράμματος. Η εφαρμογή επιτρέπει επίσης την αποθήκευση των προηγούμενων εργασιών (σκίτσων) και τη μετέπειτα φόρτωση αυτών ή τμημάτων τους. Ένα αρχείο τύπου σκίτσου μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σαν Β.Δ. ή να ενσωματωθεί σε μια ήδη υπάρχουσα Β.Δ.. Οι αξιολογητές του συστήματος βρήκαν αυτήν τη δυνατότητα πολύ χρήσιμη, αφού αυξάνει τις πιθανότητες επαναχρησιμοποίησης των αποτελεσμάτων της εργασίας.
2. Η ιδέα της αυτόματης ανάκτησης σχημάτων (αντί να σχεδιάζονται κάθε φορά από την αρχή ή να επιλέγονται με συμβατικό τρόπο από μια Β.Δ.) θεωρήθηκε εξαιρετικά χρήσιμη και πρωτοποριακή. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, το SR-Sketch ανακτούσε στοιχεία της Β.Δ. σχημάτων που έμοιαζαν με τα σχήματα που σχεδίαζε ο εκάστοτε χρήστης.
3. Επιπλέον, αν και κανένας από τους χρήστες δεν είχε εμπειρία χρήσης ενός τέτοιου συστήματος ανάκτησης με βάση το σχήμα, όλοι τους κατόνησαν την ιδέα αυτή και την χρησιμοποίησαν με επιτυχία. Ένας από τους λόγους που επέτρεψε σε άπειρους χρήστες να εργαστούν με το σύστημα ικανοποιητικά, έπειτα από πολύ σύντομο χρονικό διάστημα, ήταν το γεγονός ότι το σύστημα δεν απαιτεί παραμετροποίηση από αυτούς. Το μόνο που απαιτείται από τους χρήστες είναι να λειτουργήσουν

το σύστημα μέσω του οπτικού και διαισθητικού περιβάλλοντός του.

4. Η πραγματική επιτυχία της ιδέας της αυτόματης ανάκτησης σχήματος δε μπορεί να μετρηθεί μόνο με αυτόματες αξιολογήσεις που στηρίζονται στην *ακρίβεια* και την *ικανότητα ανάκτησης* της μηχανής αναζήτησης, όπως η αξιολόγηση της παρ. 3.6. Κάποιες φορές, ένας χρήστης σχεδιάζει ένα σχήμα και ανακτά αποτελέσματα για αυτό το σχήμα, τα οποία, αν και μοιάζουν με το σχήμα της σχεδίασης, δεν μοιάζουν καθόλου με αυτό που θα επιθυμούσε ο χρήστης να ανακτήσει με το σχήμα που σχεδίασε. Η χρήση του συστήματος με κάποια επιτυχία αποδείχτηκε απλή υπόθεση, αλλά όσο καλύτερα κάποιος γνωρίζει τις έννοιες που κρύβονται κάτω από το περιβάλλον που χρησιμοποιεί την μηχανή αναζήτησης, τόσο πιο αποτελεσματικός μπορεί να γίνει. Η χρήση της διαδικασίας οπτικής επεξήγησης συνέβαλλε στην επιτυχία του συστήματος κατά την διάρκεια των δοκιμών, καθώς: (α) καθησυχάζει τους χρήστες ότι το σύστημα λειτουργεί κανονικά καθώς ακολουθεί κανόνες που βασίζονται στην ομοιότητα μεταξύ περιοχών του συστήματος και (β) βοήθησε τους ενδιαφερόμενους χρήστες να κατανοήσουν την εσωτερική διαδικασία σύγκρισης.

7.9 Συμπεράσματα

Το κεφάλαιο αυτό περιέγραψε το SR-Sketch, ένα πρωτότυπο σύστημα για σύνθεση σκίτσων με τη χρήση αυτόματης ανάκτησης σχήματος. Ο χρήστης του συστήματος μπορεί να σχεδιάζει ανεξάρτητα σχήματα και μετά να συγκρίνει τα σχήματά του με τα στοιχεία μιας Β.Δ. σχημάτων. Με τον τρόπο αυτόν, ο χρήστης μπορεί να εντοπίσει τα σχήματα της Β.Δ. που μοιάζουν με τα συστατικά του σκίτσου του (πολυγωνικά σχήματα) και να τα χρησιμοποιήσει για να

εμπλουτίσει ή να διορθώσει το τελικό αποτέλεσμα. Το σύστημα είναι ικανό να ενσωματώνει αυτόματα τα ανακτηθέντα σχήματα μέσα στο σκίτσο του χρήστη. Το SR-Sketch μπορεί να βελτιώσει την ευκολία και ορθότητα της διαδικασίας δημιουργίας σκίτσων που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένα θέματα, όπως για παράδειγμα μηχανικά ή επιστημονικά σχεδιαγράμματα και επιτρέπει στους γραφίστες να αυτοματοποιήσουν μέρος της εργασίας τους.

Το SR-Sketch χρησιμοποιεί μια μέθοδο ανάκτησης που βασίζεται στη Διαφορά Γωνίας Στροφής (ΔΓΣ) (κεφ. 3), μια Τεχνική Σύγκρισης Σχημάτων που έχει ικανοποιητικό βαθμό ακρίβειας και ικανότητας ανάκτησης σχημάτων. Οι ίδιοι οι χρήστες που δοκίμασαν το σύστημα ικανοποιήθηκαν από την απόδοσή του. Αυτή η νέα μηχανή σύγκρισης και ανάκτησης σχημάτων είναι κατάλληλη για ενσωμάτωση σε εφαρμογές δημιουργίας και επαναχρησιμοποίησης σκίτσων καθώς:

- είναι ανεξάρτητη περιστροφής, ανεκτική στον θόρυβο και εφαρμόσιμη για μερική ή ολική σύγκριση σχημάτων,
- είναι αρκετά γρήγορη για εφαρμογές πραγματικού χρόνου, όπως ένα εργαλείο σύνθεσης σκίτσων. Για Β.Δ. μέχρι και 200 στοιχείων ο χρόνος απόκρισης είναι μικρότερος των $200ms$.
- Μπορεί να παραμετροποιηθεί, ώστε να εξισορροπήσει ακρίβεια και ικανότητα ανάκτησης,
- Μπορεί να παραμετροποιηθεί, ώστε να εξισορροπήσει επίσης ικανότητα ανάκτησης και χρόνο απόκρισης. Ακόμα και αν δε σχεδιαστεί ολόκληρο το σχήμα, η αύξηση της τιμής μιας παραμέτρου (N_r) αυξάνει την πιθανότητα εύρεσης σχετικών αποτελεσμάτων αναζήτησης, καλώντας τη διαδικασία αναζήτησης περισσότερες φορές, με ελαφρά διαφορετικές

εκδόσεις του ίδιου σχήματος.

- Είναι ικανή να παράγει οπτικές επεξηγήσεις των αποτελεσμάτων της διαδικασίας σύγκρισης, αυξάνοντας έτσι την αξιοπιστία της στους χρήστες.

Το σύστημα SR-Sketch δύναται εύκολα να επεκταθεί σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα ανάκτησης/ σύνθεσης εικόνας με την ενσωμάτωση λειτουργιών κατακερματισμού εικόνας και εξαγωγής ιδιοτήτων από εικόνα. Αν περιγράψουμε μια εικόνα με ένα σύνολο από (ανοικτές ή κλειστές) καμπύλες, μπορούμε να εφαρμόσουμε την ίδια τεχνική σύγκρισης σε εικόνες και στιγμιότυπα από βίντεο αντί για σκίτσα. Με ένα τέτοιο σύστημα, ο χρήστης μιας εφαρμογής σχεδιασμού σκίτσων θα μπορούσε να δημιουργήσει πολυμεσικά προϊόντα υψηλής ποιότητας, με την προσθήκη συστατικών εικόνας στα σχέδιά του.

7.10 Αποτελέσματα της Αξιολόγησης

7.10.1 Ερωτηματολόγιο

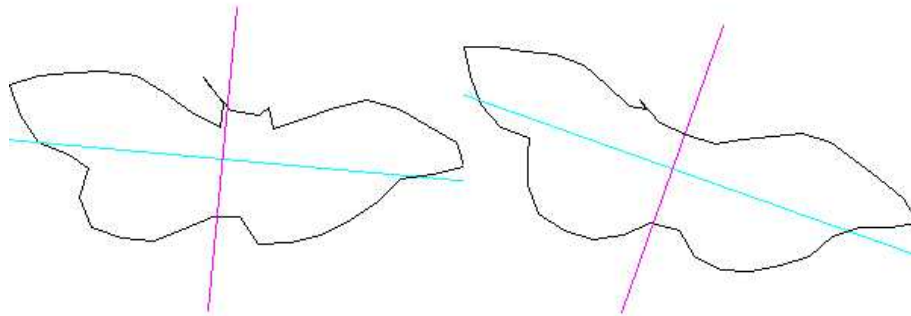
Βαθμολογήστε το σύστημα, απαντώντας στις παρακάτω ερωτήσεις με ένα βαθμό από το 1 (χαμηλότερο) ως το 5 (υψηλότερο):

- E1) Πόσο εύκολα μάθατε να χρησιμοποιείτε το σύστημα;
- E2) Έχοντας υπόψη τα διαθέσιμα στοιχεία από την Β.Δ. σχημάτων, πόσο συχνά ανακτήθηκαν από το σύστημα τα σχήματα που θεωρούσατε εσείς πιο πιθανά;
- E3) Πόσο βοήθη η Αυτόματη Ανάκτηση Σχήματος τη δημιουργία ενός σχήματος;

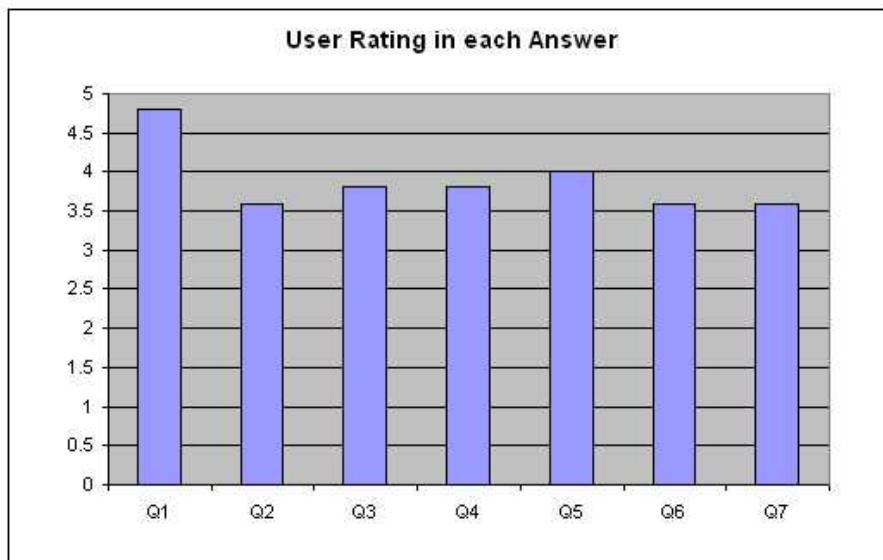
- E4) Πόσο σας βοήθησε το σύστημα οπτικής επεξήγησης (εικόνα που εμφανίζεται στο δεξιό παράθυρο της εφαρμογής) να κατανοήσετε τη λειτουργία του συστήματος, κατά τη διάρκεια των πρώτων δοκιμών;
- E5) Επιταχύνεται η διαδικασία σχεδιασμού σκίτσων με τη χρήση ΑΑΣ;
- E6) Διευκολύνεται η διαδικασία σχεδιασμού σκίτσων με τη χρήση ΑΑΣ;
- E7) Καθίσταται πιο ακριβής η διαδικασία σχεδιασμού σκίτσων με τη χρήση ΑΑΣ;

7.10.2 Συγκεντρωτικά αποτελέσματα ερωτηματολογίου

- Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης από τους χρήστες καταδεικνύουν ότι είναι πολύ εύκολο για ανθρώπους που ξέρουν να χρησιμοποιούν έναν Η/Υ να μάθουν να χρησιμοποιούν το SR-Sketch (Q1).
- Οι γνώμες των χρηστών για τη σχετικότητα των ανακτημένων σχημάτων (Q2) κυμαίνονται. Σε μεγάλο βαθμό, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κάποιοι χρήστες είχαν εμβαθύνει περισσότερο στην λειτουργία του συστήματος από ότι άλλοι χρήστες. Πέρα από το λογισμικό, που είναι διαθέσιμο στην διεύθυνση [28], υπάρχει επιπλέον λογισμικό που επιτρέπει την επιθεώρηση/ διαχείριση των Β.Δ. σχημάτων και των άλλων ειδών αρχείων που χρησιμοποιεί το σύστημα, στο οποίο είχε πρόσβαση μόνο μέρος των χρηστών. Οι χρήστες που είχαν πρόσβαση στο λογισμικό αυτό και επένδυσαν περισσότερο χρόνο στη χρήση του συστήματος έδωσαν καλύτερη βαθμολογία στη σχετικότητα των αποτελεσμάτων του συστήματος.
- Όλοι οι χρήστες συμφώνησαν πως η Αυτόματη Ανάκτηση Σχήματος (ΑΑΣ) είναι ιδιαίτερα βοηθητική στη δημιουργία σκίτσων (Q3).



Σχήμα 7.3: Άξονες των ελλείψεων των σχημάτων με τη βέλτιστη εφαρμογή. Όταν τελειώνει η διαδικασία ευθυγράμμισης, τα δύο σχήματα έχουν κοινό κέντρο βάρους και οι μεγάλοι άξονες τους βρίσκονται στην ίδια ευθεία.



- Οι περισσότεροι χρήστες εκμεταλλεύτηκαν το σύστημα Οπτικής Επεξήγησης πολύ συχνά και του έδωσαν καλή βαθμολογία (Q4), καθώς τους βοήθησε να κατανοήσουν τη διαδικασία σύγκρισης σχημάτων κατά τις πρώτες δοκιμές τους.
- Οι περισσότεροι χρήστες συμφώνησαν επίσης ότι το σκιτσάρισμα είναι πιο γρήγορο όταν υπάρχει υποβοήθηση από ΑΑΣ (Q5).
- Ακόμα οι περισσότεροι χρήστες θεώρησαν ότι η ΑΑΣ έκανε ευκολότερη τη δημιουργική εργασία τους (Q6). Αν και οι βαθμοί σε αυτήν την ερώτηση δεν είναι τόσο υψηλοί όσο θα μπορούσαν να είναι, είναι κατανοητό ότι δε μπορούν όλοι οι χρήστες να εξοικειωθούν το ίδιο με μια νέα δυνατότητα και να την εκμεταλλευτούν το ίδιο γρήγορα.
- Ο βαθμός ακρίβειας (Q7) καταδεικνύει ότι οι χρήστες θεώρησαν ότι τα τελικά αποτελέσματα της δουλειάς τους ήταν πιο ακριβή με τη χρήση ΑΑΣ από ότι θα ήταν χωρίς αυτήν.
- Η ικανότητα επαναχρησιμοποίησης προηγούμενης εργασίας, με την εκμετάλλευση Β.Δ. σχημάτων, βελτιώνει την ποιότητα του τελικού αποτελέσματος, καθώς η επιπλέον προσπάθεια που απαιτείται για την παραγωγή λεπτομερών σχημάτων χρειάζεται να δαπανάται πλέον μόνο μια φορά, δηλαδή πριν τη διαδικασία της κατασκευής Β.Δ. σχημάτων. Τέλος, η ΑΑΣ βοηθά τη διαδικασία επιλογής σχημάτων σημαντικά, καθώς δε χρειάζεται πλέον ο χρήστης να αναζητά χειροκίνητα μέσα στη Β.Δ. σχήματα που είχαν δημιουργηθεί προηγουμένως.

Κεφάλαιο 8

ΣΥΝΘΕΣΗ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΩΝ ΚΟΣΜΩΝ ΜΕ ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

8.1 Εισαγωγή

Το κεφάλαιο αυτό περιγράφει την εφαρμογή SR-3DEditor, ένα πλήρες σύστημα για τη δημιουργία, επεξεργασία και απεικόνιση τρισδιάστατων σκηνών, που περιλαμβάνει πρωτότυπες τεχνολογίες για γρήγορη σύνθεση των σκηνών. Το σύστημα επιτρέπει στον χρήστη να σχεδιάζει δισδιάστατες απεικονίσεις τρισδιάστατων σχημάτων με τη χρήση του ποντικιού. Παρέχεται η δυνατότητα ανάκτησης (από μια βάση δεδομένων τρισδιάστατων μοντέλων) των στοιχείων αυτών που έχουν παρόμοια περιγράμματα με το σκίτσο του χρήστη, από τα οποία ο χρήστης επιλέγει αυτά που τον ενδιαφέρουν. Έπειτα, το σύστημα υπολογίζει τις παραμέτρους ενός γεωμετρικού μετασχηματισμού που τοποθετεί το ανακτημένο μοντέλο μέσα στη τρισδιάστατη σκηνή με τρόπο που το περιγράμματά του να μοιάζει, όσο είναι δυνατόν, με το σχήμα που

σχεδίασε ο χρήστης. Τα αποτελέσματα της αξιολόγησης του συστήματος καταδεικνύουν ότι οι χρήστες του ικανοποιήθηκαν από το σύστημα και ιδιαίτερα από την αύξηση της αποδοτικότητας που συνεπάγεται η λειτουργία της αυτόματης ανάκτησης. Το σύστημα SR-3DEditor διατίθεται ελεύθερα για χρήση και αξιολόγηση.

Η χρήση του συστήματος SR-3DEditor έχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

1. ο χρήστης του συστήματος δε χρειάζεται να ψάχνει μέσα σε βάσεις δεδομένων τρισδιάστατων μοντέλων, χιλιάδων ίσως, για να βρει το μοντέλο που τον ενδιαφέρει.
2. Η δημιουργία, αποθήκευση και ανάκτηση τρισδιάστατων σκηνών είναι πολύ απλή, καθώς για την αποθήκευση τους χρησιμοποιείται η μεταγλώσσα XML [14]. Επομένως, είναι πολύ εύκολη η επεξεργασία των δεδομένων, για παράδειγμα με την εφαρμογή ενός XSLT[15] αρχείου.
3. Η δημιουργία μιας τρισδιάστατης σκηνής που αναφέρεται σε συγκεκριμένο θέμα επιταχύνεται με τη χρήση Βάσεων Δεδομένων Σχημάτων (ΒΔΣ) που δημιουργήθηκαν ειδικά για αυτό το θέμα.
4. Το SR-3DEditor μπορεί να δημιουργήσει τις δικές του ΒΔΣ ή να τις παράγει από προηγούμενες ΒΔΣ ή τρισδιάστατες σκηνές, επιτρέποντας την επαναχρησιμοποίηση και εκμετάλλευση προηγούμενων εργασιών.
5. Η αυτόματη τοποθέτηση των τρισδιάστατων μοντέλων στη σκηνή απλοποιεί την επεξεργασία και διαχείριση των σκηνών.
6. Το σύστημα επιτρέπει τη δημιουργία αρχείων ΒΔ με διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας, επιτρέποντας στο χρήστη να βελτιστοποιήσει τη ΒΔ για διαφορετικές χρήσεις. Η λειτουργία αυτή και τα πλεονεκτημάτα που προκύπτουν από αυτήν θα αναλυθούν στην παράγραφο 8.7

7. Ίσως το σημαντικότερο πλεονέκτημα του χρησιμοποιούμενου συστήματος ανάκτησης είναι ότι η ανάκτηση με βάση το περιεχόμενο επιτρέπει την αυτόματη δημιουργία των ΒΔ, δηλαδή δε χρειάζεται κανενός είδους ανθρώπινη μεσολάβηση για τη διαχείριση των περιεχομένων της ΒΔ (π.χ. για να προσθέσει μεταδεδομένα), καθώς τα πολυμεσικά δεδομένα αναλύονται πλέον αυτόματα. Το SR-3DEditor διατίθεται ελεύθερα από τη διεύθυνση [27].

Το SR-3DEditor χρησιμοποιεί μια μηχανή εύρεσης ομοιότητας μεταξύ σχημάτων και ανάκτησης σχημάτων, η οποία ανακτά τρισδιάστατα μοντέλα (βάσει σκίτσων που φτιάχτηκαν από ανθρώπους ή εισαγόμενων σκίτσων), με τη χρήση μιας μεθόδου ανάκτησης με βάση το περιεχόμενο. Όποτε ο χρήστης επιθυμεί να προσθέσει ένα νέο μοντέλο στην σκηνή, σκισάρε στην οθόνη ένα πολύγωνο, το οποίο προσεγγίζει το περίγραμμα μιας όψης του επιθυμητού μοντέλου. Τότε ερωτάται η μηχανή αναζήτησης και τα αποτελέσματα της ερώτησης αυτής αποτελούνται από πολύγωνα και τα τρισδιάστατα μοντέλα, από τα οποία εξήχθησαν αυτά τα πολύγωνα. Το σύστημα μπορεί να τοποθετήσει ένα τρισδιάστατο μοντέλο μπροστά στο χρήστη, με τέτοιες παραμέτρους περιστροφής και μετατόπισης, ώστε το περίγραμμα του μοντέλου να ευθυγραμμίζεται με το πολύγωνο που σκίσαρε ο χρήστης. Το σύστημα SR-3DEditor είναι αυτάρκες όσον αφορά την διαχείριση της βάσης δεδομένων σχημάτων/ μοντέλων, καθώς παρέχει δικές του λειτουργίες για την εξαγωγή των πολυγώνων από τρισδιάστατα σχήματα και για την παραγωγή και διαχείριση αρχείων ΒΔ.

Στην συνέχεια αυτού του κεφαλαίου θα παρουσιαστούν:

- σχετική βιβλιογραφία,
- η διαδικασία εξαγωγής τρισδιάστατων σχημάτων με την απεικόνιση των τρισδιάστατων μοντέλων,

- η μηχανή σύγκρισης σχημάτων που χρησιμοποιεί εξαγόμενα σχήματα για να ανακτήσει τρισδιάστατα μοντέλα,
- η αρχιτεκτονική μιας τρισδιάστατης σκηνής,
- οι διαδικασίες με τις οποίες ένα ανακτημένο μοντέλο μπορεί να εισαχθεί στην σκηνή,
- η μορφή του αρχείου μιας ΒΔ για πολύγωνα, η οποία χρησιμοποιείται για την κοινή αποθήκευση των δεδομένων,
- η υλοποίηση του συστήματος και
- μια αξιολόγηση του συστήματος.
- Τέλος, παρουσιάζονται τα συνολικά συμπεράσματα του κεφαλαίου και περιγράφεται πιθανή μελλοντική εργασία.

8.2 Σχετική Βιβλιογραφία

Κατά τα τελευταία χρόνια, υπήρξε μεγάλη πρόοδος στον τομέα της Ανάκτησης Πολυμέσων με Βάση το Περιεχόμενο. Κάποιες από τις σχετικές νέες τεχνολογίες παρουσιάζονται στα: [41, 47, 52, 48, 53, 60, 64, 24, 55, 70, 46, 68, 35, 66, 69, 42, 57, 74, 45, 72, 50]. Εφαρμογές που χρησιμοποιούν Ανάκτηση Πολυμέσων με Βάση το Περιεχόμενο είναι οι: [58, 43]. Στις εφαρμογές [25, 43, 37, 36] περιλαμβάνεται ανάκτηση πολυμέσων με βάση ανθρώπινο σκίτσο. Το [81] περιγράφει μια τεχνική για ανάκτηση τρισδιάστατων μοντέλων με τη χρήση κατανομών σχημάτων. Η εμφάνιση του MPEG-7 [4] επιτάχυνε την ανάγκη για αξιόπιστες τεχνικές ανάλυσης και ανάκτησης περιεχομένου. Η τρέχουσα περίοδος για την ανάκτηση με βάση το περιεχόμενο προσδιορίζεται από τις εφαρμογές που χρησιμοποιούν πρακτικά τέτοιες τεχνικές σε

δημιουργικούς και παραγωγικούς στόχους. Έχουν εμφανιστεί (διαδικτυακές) εφαρμογές για ανάκτηση τρισδιάστατων μοντέλων [62, 44], καθώς και εφαρμογές δημιουργίας πολυμέσων που υποβοηθούνται από Ανάκτηση με βάση το Σχήμα [36, 22].

Το σύστημα που παρουσιάζεται σε αυτό το κεφάλαιο μπορεί να θεωρηθεί επέκταση της δισδιάστατης εφαρμογής SR-Sketch, η οποία παρουσιάζεται στο κεφάλαιο 7 ([2]). Το SR-Sketch επιτρέπει στους χρήστες του να δημιουργήσουν δισδιάστατα σχήματα και έπειτα τους προτείνει παρόμοια σχήματα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιήσουν για να αντικαταστήσουν τα ήδη σχεδιασμένα ή ως προσθήκη στο υπάρχον σχέδιο. Εσωτερικά και το SR-Sketch και το νέο σύστημα χρησιμοποιούν μια μηχανή αναζήτησης σχημάτων με βάση το περιεχόμενο. Σε αντίθεση με το SR-Sketch, στο παρόν σύστημα δεν ανακτώνται τα ίδια τα σχήματα αλλά τα αποτελέσματα της μηχανής αναζήτησης χρησιμοποιούνται σε σχέση με άλλα πολυμεσικά στοιχεία, ώστε να ενημερώνουν για την πληροφορία που μας ενδιαφέρει και τον τρόπο που πρέπει αυτή να χρησιμοποιηθεί. Για την υλοποίηση αυτής της σχέσης και για να ανεξαρτητοποιηθούν τα δεδομένα από την εφαρμογή, όλα τα νέα είδη αρχείων που δημιουργήθηκαν κρίθηκε απαραίτητο να στηρίζονται στην XML.

8.3 Εξαγωγή Περιγραμμάτων από Τρισδιάστατα Μοντέλα

Το SR-3DEditor παρέχει μια αυτόνομη λειτουργία εξαγωγής σχημάτων, η οποία εξάγει περιγράμματα τρισδιάστατων μοντέλων. Στη συνέχεια, η μηχανή ανάκτησης χρησιμοποιεί τα εξαγόμενα σχήματα ως κλειδιά με τα οποία ανακτώνται τα τρισδιάστατα μοντέλα. Για το σκοπό αυτό, το SR-3DEditor υλοποιεί μια μέθοδο η οποία παράγει δισδιάστατα σχήματα από ένα τρισδιά-

στατο μοντέλο, εξάγοντας περιγράμματα του μοντέλου αυτού, καθώς εξετάζει το μοντέλο από διαφορετικές θέσεις κατόπτευσης. Η διαδικασία εξαγωγής αποτελείται από δύο φάσεις για κάθε εξαγόμενο σχήμα: α) απεικόνιση του μοντέλου και β) εξαγωγή του περιγράμματος του μοντέλου από τη δισδιάστατη εικόνα που παρήχθη από την Απεικόνιση. Η μέθοδος επιστρέφει επιπλέον πληροφορίες, οι οποίες περιγράφουν τις παραμέτρους του γεωμετρικού μετασχηματισμού που χρησιμοποιήθηκαν για την απεικόνιση του μοντέλου.

8.3.1 Απεικόνιση

Το SR-3DEditor απεικονίζει το μοντέλο στο κέντρο του οπτικού πεδίου του τρισδιάστατου κόσμου, χρησιμοποιώντας διάφορα σύνολα παραμέτρων περιστροφής. Η διαδικασία απεικόνισης πιστοποιεί ότι το μοντέλο απεικονίζεται σωστά και ότι χωρά μέσα στις διαστάσεις του παραθύρου στο οποίο προβάλλεται η απεικόνιση. Όταν εκτελείται αυτή η φάση αλληλεπιδραστικά, ο χρήστης της εφαρμογής βλέπει το μοντέλο να απεικονίζεται με άσπρο χρώμα, πάνω σε μαύρο φόντο, καθώς ο τρισδιάστατος χώρος στερείται άλλων αντικειμένων και φωτός. Υπάρχουν έξι διαφορετικά σύνολα παραμέτρων περιστροφής, το καθένα από τα οποία παράγει μια όψη του μοντέλου, για κάθε μια από τις πλευρές του κύβου που εγκλείει το μοντέλο, ήτοι μπροστά, πίσω, αριστερά, δεξιά, πάνω και κάτω (βλ. σχήμα. 8.1). Η προσέγγιση αυτή για την επιλογή των γωνιών όψης κρίνεται απλοϊκή χρήζει βελτίωσης στο μέλλον.

8.3.2 Εξαγωγή σχήματος από την Εικόνα Απεικόνισης

Η φάση αυτή (σχήμα 8.2) αποτελείται από τα παρακάτω βήματα:

- 1) ανάκτηση του buffer της OpenGL, στην κατάσταση που βρίσκεται μετά την απεικόνιση του μοντέλου, ως δισδιάστατη εικόνα. Με τον τρόπο αυτόν

παράγεται μια εικόνα στην μνήμη, η οποία περιέχει τα περιεχόμενα του OpenGL viewport.

- 2) Κατωφλιοποίηση της εικόνας, ώστε να παραμείνουν μόνο εντελώς άσπρα και μόνο εντελώς μαύρα εικονοστοιχεία.
- 3) Η χρήση του μορφολογικού τελεστή *ανοίγματος* (βλ. τεκμηρίωση της [5]) για κάποιες επαναλήψεις, ώστε να διαγραφούν μικρές συνδεδεμένες περιοχές που πιθανότατα αποτελούν θόρυβο και δε μας ενδιαφέρουν. Ο αριθμός των επαναλήψεων του τελεστή εξαρτάται από το μέγεθος της εικόνας.
- 4) Διαγραφή των μικρών συνδεδεμένων περιοχών, καθώς δεν είναι σημαντικές, με την επικάλυψή τους με το χρώμα που τις περικλείει. Το μέγεθος μιας περιοχής εξάγεται μετρώντας τον αριθμό των εικονοστοιχείων που αυτή περιλαμβάνει. Όταν ο λόγος του μεγέθους της προς το μέγεθος της εικόνας είναι μικρότερος από μια ορισμένη τιμή κατωφλίου, τότε η περιοχή αυτή διαγράφεται.
- 5) Εύρεση των διαφορετικών συνδεδεμένων περιοχών που περιέχονται εκείνη τη στιγμή στην εικόνα. Σε αυτό το σημείο, η εικόνα θα πρέπει να περιέχει ακριβώς δύο συνδεδεμένες περιοχές, μια μαύρη (φόντο) και μια άσπρη (το σχήμα). Καθώς η διαδικασία εξαγωγής αναφέρεται μόνο σε αυτήν την περίπτωση, αν η εικόνα σε αυτό το στάδιο έχει μόνο μία συνδεδεμένη περιοχή ή περισσότερες από δύο περιοχές, η διαδικασία σταματά εδώ και ο χρήστης λαμβάνει μια προειδοποίηση.
- 6) Παραγωγή του περιγράμματος της άσπρης περιοχής (σχήμα), ως ένα διάλυμα από συντεταγμένες σημείων (δηλαδή ένα πολύγωνο) και τέλος:

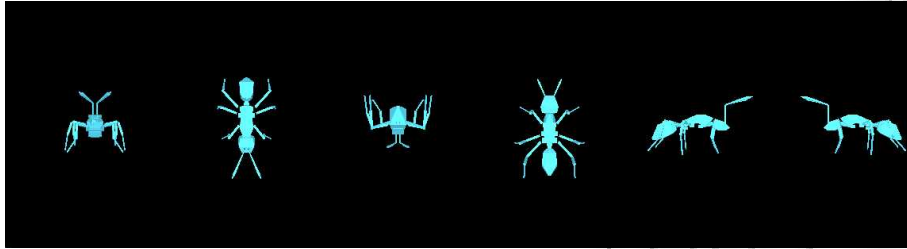
7) προετοιμασία του παραγόμενου πολύγωνου για τη μηχανή αναζήτησης. Κατά τη διαδικασία αυτή, το παραγόμενο πολύγωνο κατ' αρχάς συνελίσσεται με μια Γκαουσιανή μήτρα και μετά υφίσταται δειγματοληψία, σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφεται στο 3.2, ώστε να περιέχει ένα προκαθορισμένο αριθμό κορυφών. Με τη διαδικασία αυτή αφαιρείται ο θόρυβος που εισάγει η διαδικασία εξαγωγής (οι συντεταγμένες των κορυφών έχουν ακρίβεια ακεραίου, καθώς το πολύγωνο εξάγεται με ακρίβεια εικονοστοιχείου) και διατηρείται ο αριθμός των κορυφών σταθερός για κάθε σχήμα, ώστε οι απαιτήσεις των σχημάτων σε αποθηκευτικό χώρο και σε επεξεργαστική ισχύ κατά την χρήση τους να περιορίζονται μεταξύ αναμενόμενων ορίων.

8.4 Ανάκτηση σχημάτων και τρισδιάστατων μοντέλων

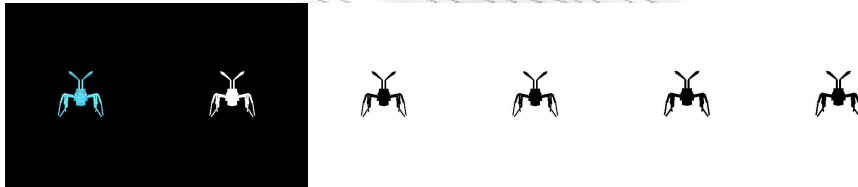
Στόχος του SR-3DEditor είναι να λειτουργεί αλληλεπιδραστικά με το χρήστη ως ένα σύστημα ανάκτησης τρισδιάστατων μοντέλων, επιτρέποντας του να σχεδιάζει το είδος του μοντέλου που τον ενδιαφέρει. Ο χρήστης απλά σχεδιάζει ένα πολύγωνο στην οθόνη και η μηχανή αναζήτησης ερωτάται με αυτό και ανακτά σχετικά σχήματα και μοντέλα. Η παρακάτω παράγραφος θα περιγράψει τις ανεξάρτητες διαδικασίες που συνθέτουν τη διαδικασία ανάκτησης, από τη στιγμή που ο χρήστης σχεδιάζει ένα πολύγωνο στην οθόνη μέχρι τη στιγμή που εμφανίζονται τα ανακτημένα σχήματα και μοντέλα στην οθόνη.

8.4.1 Προετοιμασία του ερωτήματος

Καθώς ο χρήστης σχεδιάζει ένα σχήμα στην οθόνη με την χρήση του δείκτη του ποντικιού, παράγεται ένα διάνυσμα από δισδιάστατα σημεία, οι συντεταγ-



Σχήμα 8.1: Απεικονίσεις ενός μοντέλου με έξι διαφορετικά σύνολα παραμέτρων.



Σχήμα 8.2: Εξαγωγή του περιγράμματος ενός μοντέλου. Τα έξι διαφορετικά μέρη της παραπάνω εικόνας παρουσιάζουν: α) την αρχική εικόνα που παράγεται με την απεικόνιση του μοντέλου, β) την ίδια εικόνα μετά την κατωφλιοποίηση, η οποία περιέχει μόνο μαύρα ή άσπρα εικονοστοιχεία, γ) την παραπάνω εικόνα ανεστραμμένη (αυτό είναι ένα βήμα που απαιτείται από την διαδικασία εξαγωγής), δ) την εικόνα μετά την εφαρμογή του τελεστή *ανοίγματος*, ε) την εικόνα καθαρισμένη, μετά την αφαίρεση των μικρών συνδεδεμένων περιοχών και στ) την τελική εικόνα, η οποία καλύπτει τα κριτήρια της εξαγωγής περιγράμματος, καθώς περιέχει μόνο δυο συνδεδεμένες περιοχές.

μένες των οποίων έχουν ακρίβεια ακεραίου και αναπαριστούν το σχήμα του ερωτήματος, ως συντεταγμένες πάνω στην περιοχή σχεδίασης της εφαρμογής. Για να τεθεί το σχήμα αυτό ως ερώτημα στην μηχανή αναζήτησης χρειάζεται να είναι ένα κλειστό σχήμα με τουλάχιστον τρεις κορυφές, καθώς αναπαραστήσει το περίγραμμα ενός σχήματος. Εφόσον καλύπτονται τα παραπάνω κριτήρια, το σχήμα που σχεδίασε ο χρήστης περνά από ένα στάδιο δειγματοληψίας, ώστε να δημιουργηθεί μια έκδοσή του η οποία στη συνέχεια θα δοθεί στη μηχανή αναζήτησης. Παράλληλα με το σχήμα που σχεδιάζει ο χρήστης, στην οθόνη εμφανίζεται επίσης και το σχήμα που παράγεται από το στάδιο της δειγματοληψίας. Η φάση δειγματοληψίας περιλαμβάνει τα παρακάτω δύο βήματα:

- 1) συνέλιξη της συνάρτησης του πολυγώνου με μια Γκαουσιανή [16] μήτρα και
- 2) δειγματοληψία του πολυγώνου σε N σημεία, τα οποία απέχουν ίσες αποστάσεις κατά τη διάσχιση του αρχικού πολυγώνου. Η μεταβλητή N θα αναφέρεται ως *Ανάλυση* δειγματοληψίας, από εδώ και στο εξής.

8.4.2 Κύρια διαδικασία σύγκρισης δισδιάστατων σχημάτων

Η διαδικασία ανάκτησης τρισδιάστατων σχημάτων συγκρίνει το δισδιάστατο σχήμα που σχεδίασε ο χρήστης με δισδιάστατα περιγράμματα που παρήχθησαν από τρισδιάστατα μοντέλα. Επομένως, το βασικό συστατικό της είναι μια μηχανή αναζήτησης που βασίζεται σε δισδιάστατα σχήματα. Η βιβλιοθήκη GCV, η οποία παρουσιάστηκε στο κεφάλαιο 5, χρησιμοποιεί μια άλλη υλοποίηση αυτής της μηχανής αναζήτησης. Κύριο συστατικό της μηχανής αυτής

αποτελεί μια λίστα από μεθόδους σύγκρισης σχημάτων, τις οποίες αποκαλούμε *Matchers*, κάθε μια από τις οποίες υπολογίζει ένα βαθμό ομοιότητας μεταξύ δύο δοθέντων σχημάτων. Η μηχανή αναζήτησης χρησιμοποιεί τους *Matchers* για να ανακτήσει τα σχήματα που μοιάζουν περισσότερο με το σχήμα του ερωτήματος, σύμφωνα με το συνολικό βαθμό ομοιότητας κάθε σχήματος με το σχήμα ερωτήματος. Το τρέχον σύστημα επεκτείνει τη δισδιάστατη μηχανή αναζήτησης με σχέσεις πολλά προς ένα μεταξύ σχημάτων και τρισδιάστατων μοντέλων, ώστε όταν ανακτάται ένα δισδιάστατο σχήμα να ανακτάται και το αντίστοιχο τρισδιάστατο μοντέλο.

Κάθε αλγόριθμος σύγκρισης σχήματος (*Matcher*) είναι σχεδιασμένος ώστε :

- 1) να παράγει εσωτερικές περιγραφές των δισδιάστατων σχημάτων από αυτά, τις οποίες ονομάζουμε απλά *Περιγραφές*,
- 2) να συγκρίνει δύο *Περιγραφές* μεταξύ τους και να παράγει το αποτέλεσμα της σύγκρισης και
- 3) να παράγει, από το αποτέλεσμα της σύγκρισης, ένα βαθμό ομοιότητας, στο πεδίο $[0, 1]$, ο οποίος δηλώνει πόσο όμοια είναι τα σχήματα από τα οποία παρήχθησαν οι *Περιγραφές*.

Για κάθε *Matcher* στην λίστα, η μηχανή αναζήτησης διατηρεί ένα σύνολο σχετικών παραμέτρων, οι οποίες αποτελούνται από ένα βάρος *weight* και έναν ελάχιστο βαθμό ομοιότητας *minScore*. Όταν ενεργοποιείται η μηχανή αναζήτησης με ένα σχήμα *ερωτήματος*, δημιουργούνται οι *περιγραφές* αυτού του σχήματος για κάθε *Matcher* στην τρέχουσα λίστα των *Matchers*. Έπειτα, για κάθε σχήμα στη Β.Δ. (τρέχον σχήμα), γίνεται διαδοχική προσπέλαση όλων των *Matchers*, ώστε για κάθε *Matcher*, να συγκρίνεται η *περιγραφή* του σχήματος του ερωτήματος με την *περιγραφή* του τρέχοντος σχήματος, χρησιμοποιώντας

τον εσωτερικό αλγόριθμο κάθε Matcher- σημειώνεται ότι οι περιγραφές των Matchers για τα σχήματα της Β.Δ. έχουν κατασκευαστεί προηγουμένως. Από το αποτέλεσμα της σύγκρισης των δύο περιγραφών επιστρέφεται μια τιμή στο πεδίο [0, 1]. Η τιμή αυτή αναπαριστά το βαθμό ομοιότητας του σχήματος ερωτήματος με το τρέχον σχήμα, σύμφωνα με τον τρόπο που ο εσωτερικός αλγόριθμος κάθε Matcher αντιλαμβάνεται την ομοιότητα μεταξύ σχημάτων.

Εφόσον αυτή η τιμή είναι κάτω από το *minScore* που αντιστοιχεί στον τρέχοντα Matcher, η διαδικασία σταματά αυτόματα και ο τελικός βαθμός ομοιότητας μεταξύ του τρέχοντος σχήματος της Β.Δ. και του σχήματος ερωτήματος λαμβάνει μια αρνητική τιμή, ώστε να φαίνεται πως η σύγκριση μεταξύ του ερωτήματος και του τρέχοντος σχήματος απέτυχε. Μια πιο *ορθόδοξη* σχεδίαση θα απαιτούσε την συνέχιση της εφαρμογής των Matchers μέχρι το τέλος της λίστας και τον υπολογισμό του τελικού βαθμού ομοιότητας, ανεξαρτήτως των επιμέρους βαθμών ομοιότητας που επιστρέφουν κάθε Matcher ξεχωριστά, αντί για τη διακοπή της διαδικασίας και τη μη παραγωγή αξιόπιστου τελικού αποτελέσματος για κάποιο σχήμα της Β.Δ.. Προπάντων, αυτή η άποψη θα κρίνονταν ορθή καθώς με τη διακοπή της διαδικασίας τα τελικά αποτελέσματα για τα σχήματα της Β.Δ. δεν είναι άμεσα συγκρίσιμα. Εντούτοις, η διαδικασία διάσχισης που προτείνεται παραπάνω επιτρέπει σε σημαντικό βαθμό τη βελτιστοποίηση της μηχανής αναζήτησης: τοποθετώντας τους γρηγορότερους Matchers στην αρχή της λίστας, καθίσταται δυνατό το ξεκαθάρισμα της Β.Δ., οδηγώντας σε πολύ μικρότερο σύνολο σχημάτων, από τα πρώτα κιόλας βήματα της διάσχισης της λίστας και με πολύ μικρότερο υπολογιστικό κόστος. Επομένως, με την ταξινόμηση των Matchers ως προς το υπολογιστικό κόστος τους κατά τη σύγκριση των περιγραφών σχημάτων τους, επιτυγχάνεται σημαντικότερη βελτιστοποίηση χρόνου. Έπειτα, θέτοντας $minScore=0$ για όλους τους Matchers, η μηχανή δεν απορρίπτει ενδιάμεσα

κανένα σχήμα, διασφαλίζοντας ότι τα τελικά αποτελέσματα είναι αξιόπιστα σε άμεσες μαθηματικές συγκρίσεις.

Ο τελικός βαθμός ομοιότητας με το σχήμα ερωτήματος, για ένα σχήμα της Β.Δ., εφόσον το σχήμα αυτό πέρασε με επιτυχία από όλους τους Matchers της λίστας, ισούται με το σταθμικό μέσο των επιμέρους βαθμών ομοιότητας για κάθε Matcher, περιορισμένο στο πεδίο $[0, 1]$.

8.4.3 Ο αλγόριθμος Διαφοράς Γωνίας Στροφής

Η διαδικασία σύγκρισης σχημάτων βασίζεται κυρίως στον αλγόριθμο Διαφοράς Γωνίας Στροφής (ΔΓΣ - βλ. κεφ. 3, [3]). Καθώς η ΔΓΣ περιγράφεται πλήρως στο κεφάλαιο 3, δε θα περιγραφεί αναλυτικά στο παρόν, παρά μόνο κρίνεται αναγκαίο να αναφερθούν τα στοιχεία της αυτά που επιτρέπουν την εφαρμογή αυτής σε ένα σύστημα ανάκτησης τρισδιάστατων σχημάτων.

Η ΔΓΣ είναι ένας πρωτότυπος αλγόριθμος για τη σύγκριση σχημάτων και την ανάκτηση ομοίων σχημάτων, ο οποίος βασίζεται στη σύγκριση πολυγωνικών καμπυλών. Η ΔΓΣ περιγράφει πλήρως το περίγραμμα ενός σχήματος, ανεξάρτητα από τη θέση, την περιστροφή και το μέγεθός του σχήματος. Το βασικό μέτρο της ΔΓΣ είναι μια βελτίωση της Συνάρτησης Γωνίας Στροφής [57, 35], με την προσθήκη των ιδιοτήτων της ανεξαρτησίας από μετατόπιση, μεγέθυνση και περιστροφή. Επιπλέον, είναι ικανή για μερική σύγκριση σχημάτων και πολύ εύρωστη στην αντιμετώπιση θορύβου. Τέλος, από τη σύγκριση με τη χρήση της ΔΓΣ, παράγονται πληροφορίες αντιστοίχισης που επιτρέπουν την παραγωγή οπτικοποιήσεων που επεξηγούν τα αποτελέσματα της σύγκρισης.

Για την εφαρμογή SR-3DEditor, η χρήση της ΔΓΣ ως μέθοδο ανάκτησης μοντέλων επιτρέπει, πέρα από τις άλλες δυνατότητες του συστήματος, την αυ-

τόματη τοποθέτηση του μοντέλου μέσα στον τεχνητό κόσμο. Η σύγκριση δύο σχημάτων με τη ΔΓΣ παράγει, εκτός από το βαθμό ομοιότητας των δύο σχημάτων, αντιστοιχήσεις μεταξύ περιοχών των δύο σχημάτων. Στο SR-3DEditor, από αυτές τις αντιστοιχήσεις παράγονται οι παράμετροι τοποθέτησης των τρισδιάστατων μοντέλων, παρ. 8.6.

8.4.4 Παραμετροποίηση της Μηχανής Αναζήτησης Σχημάτων

Η διαδικασία αναζήτησης δισδιάστατων σχημάτων είναι το πιο κρίσιμο τμήμα του συστήματος, όσον αφορά την ταχύτητα εκτέλεσης, καθώς είναι η πιο απαιτητική σε υπολογιστική ισχύ διαδικασία που εκτελείται καθώς ο χρήστης αλληλεπιδρά με το σύστημα (σε πραγματικό χρόνο). Η απόδοση και ταχύτητα της διαδικασίας σύγκρισης εξαρτώνται από την ταχύτητα εκτέλεσης των Matchers, καθώς και τον τρόπο που αυτοί χρησιμοποιούνται. Ο SR-3DEditor παραμετροποιεί τη μηχανή αναζήτησης ώστε να χρησιμοποιεί τέσσερις διαφορετικούς Matchers, με την παρακάτω σειρά: Κυκλικότητα, Κυρτότητα, Εκκεντρότητα και ΔΓΣ (βλ. παρ. 2.5.2 και 3).

Οι τρεις πρώτοι Matchers χρησιμοποιούν απλά Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά για να επιτελέσουν την σύγκριση μεταξύ σχημάτων. Οι περιγραφές τους μάλιστα αποτελούνται η κάθε μια από μία μόνο αριθμητική τιμή, καθιστώντας αυτές τις μεθόδους πολύ αποδοτικές, όσον αφορά τις απαιτήσεις τους σε αποθηκευτικό χώρο και χρόνο επεξεργασίας κατά τη διαδικασία σύγκρισης. Επομένως, οι Matchers των Γεωμετρικών Χαρακτηριστικών είναι ιδανικοί για χρήση σε μια μηχανή αναζήτησης που λειτουργεί ελέγχοντας διαδοχικά τις απαντήσεις των Matchers, ειδικότερα όταν αυτοί τοποθετούνται στην αρχή της λίστας εκτέλεσης. Συγκριτικά, η μέθοδος σύγκρισης σχημάτων ΔΓΣ αφενός

μεν είναι αρκετά πιο αργή σε σχέση με αυτές τις μεθόδους και απαιτεί περισσότερο αποθηκευτικό χώρο, αφετέρου δε είναι πιο ανθεκτική στο θόρυβο και έχει μεγαλύτερη ακρίβεια από αυτές (βλ. παρ. 3.6). Συνεπώς, συνδυάζοντας τις τρεις μεθόδους γεωμετρικών χαρακτηριστικών στην αρχή της λίστας, με τη ΔΓΣ στο τέλος της λίστας, επιτυγχάνουμε ταυτόχρονα ταχύτητα, ανθεκτικότητα στο θόρυβο και ακρίβεια. Όταν η μηχανή αναζήτησης λειτουργεί με αυτή τη μορφή για μια Β.Δ. μεσαίου μεγέθους (περίπου 2000 μοντέλα και 7000 σχήματα), παράγει αποτελέσματα της αναζήτησης μέσα σε λίγα μόλις δευτερόλεπτα.

8.4.5 Ανάκτηση των τρισδιάστατων μοντέλων από τα δισδιάστατα περιγράμματα τους

Κάθε δισδιάστατο σχήμα στη βάση δεδομένων σχετίζεται με ένα τρισδιάστατο μοντέλο, από το οποίο εξήχθη. Συνεπώς, μαζί με τα επικρατέστερα σχήματα μπορούν να ανακτηθούν και τα σχετικά μοντέλα. Ο SR-3DEditor χρειάζεται τα δισδιάστατα σχήματα πολύ συχνά και για αυτό το σκοπό τα έχει πάντα 'φορτωμένα' στη μνήμη, ενώ τα τρισδιάστατα μοντέλα, λόγω των συνήθως υψηλών απαιτήσεων τους σε μνήμη, παραμένουν αποθηκευμένα στο δίσκο και 'φορτώνονται' μόνο όταν αυτό καθίσταται απαραίτητο, δηλαδή όταν ανακτώνται από τη μηχανή αναζήτησης ή όταν προστίθενται στον τρισδιάστατο κόσμο του SR-3DEditor. Επομένως, αφότου ανακτηθούν τα πιο όμοια σχήματα, φορτώνονται και τα απαραίτητα μοντέλα (κάθε μοντέλο φορτώνεται μόνο μια φορά, ασχέτως πόσα σχήματα το χρησιμοποιούν) και παρουσιάζονται στο χρήστη μαζί με τα σχήματα μέσω των οποίων ανακτήθηκαν και ταξινομημένα ως προς τον βαθμό ομοιότητας.

8.5 Η τρισδιάστατη σκηνή

8.5.1 Αρχιτεκτονική

Ο τρισδιάστατος κόσμος του SR-3DEditor βασίζεται σε μια δενδροειδή δομή, όπου οι κόμβοι δεν περιέχουν δεδομένα οι ίδιοι, αλλά ένα αριθμό 'κλαδιών', το καθένα από τα οποία περιέχει:

- παραμέτρους τοποθέτησης, δηλαδή παραμέτρους μετατόπισης, περιστροφής και μεγέθυνσης,
- ένα αντικείμενο τύπου `Renderable`, δηλαδή ένα αντικείμενο που μπορεί να απεικονιστεί με OpenGL [6], σε αυτήν την περίπτωση ένα τρισδιάστατο μοντέλο και
- επιπλέον δεδομένα, όπως αν ο κόμβος είναι επιλεγμένος και άλλες παραμέτρους απεικόνισης, οι οποίες χρησιμοποιούνται από τη μηχανή απεικόνισης.

Η αρχιτεκτονική αυτή εμπεριέχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

1. επιτρέπει την ομαδοποίηση των αντικειμένων σε μια δενδροειδή δομή. Το `Renderable` αντικείμενο σε έναν κόμβο-κλαδί μπορεί να είναι είτε ένα μοντέλο, καθιστώντας το *φύλλο* του δένδρου, είτε ένας άλλος εσωτερικός κόμβος. Με αυτόν τον τρόπο είναι δυνατή η ομαδοποίηση πολλών αντικειμένων μαζί, ώστε η εφαρμογή κάποιων μετασχηματισμών σε μια ομάδα να γίνεται απλά με την εφαρμογή των μετασχηματισμών στον κόμβο-πατέρα τους.

2. Αποφεύγεται η ύπαρξη των ίδιων πληροφοριών περισσότερες από μία φορές. Κάθε μοντέλο που φορτώνεται από μια συγκεκριμένη διαδρομή αρχείου ή ηλεκτρονική διεύθυνση υπάρχει μόνο μια φορά στο δέντρο της σκηνής. Το σύστημα διαχειρίζεται τα μοντέλα με ειδικό τρόπο: κάθε μοντέλο αποθηκεύεται ξεχωριστά και οι πηγές τους (διαδρομές προέλευσης) διατηρούνται μοναδικές, ενώ έχει υλοποιηθεί ένα σύστημα μέτρησης αναφορών (reference counting) για την απελευθέρωση τους.

Χάριν απλότητας, για τη σκηνή του SR-3DEditor χρησιμοποιείται μόνο ένα επίπεδο στο δένδρο, ενώ υπάρχει μόνο ένας εσωτερικός κόμβος (ρίζα), τα κλαδιά του οποίου περιέχουν αναφορές σε μοντέλα ως Renderable αντικείμενα. Η ίδια η ρίζα του δένδρου εξαρτάται από ένα σύνολο παραμέτρων περιστροφής, μετατόπισης και μεγέθυνσης, που αντιστοιχούν στις παραμέτρους της *κάμερας* με την οποία βλέπουμε τον κόσμο. Κάθε φορά που προστίθεται ένα αντικείμενο που απεικονίζει ένα μοντέλο, δημιουργείται ένα φύλλο του δένδρου και προστίθεται στον κεντρικό κόμβο του, με κατάλληλες παραμέτρους περιστροφής, μετατόπισης και μεγέθυνσης, ενώ το Renderable αντικείμενο του νέου κόμβου *δείχνει* στα δεδομένα του μοντέλου που θέλουμε να απεικονίσουμε. Αν ήδη υπάρχει στο δένδρο ένα μοντέλο με τον ίδια διαδρομή προέλευσης με το νέο μοντέλο, τότε δεν υπάρχει λόγος να φορτωθεί το μοντέλο δεύτερη φορά. Σε αυτήν την περίπτωση, το νέο φύλλο θα χρησιμοποιεί τα ήδη υπάρχοντα δεδομένα του μοντέλου, διαφορετικά θα δημιουργηθεί και θα φορτωθεί ένα καινούργιο μοντέλο από το δίσκο. Για τη διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων της σκηνής, τα ίδια τα δεδομένα των μοντέλων διατηρούνται αμετάβλητα κατά τη διάρκεια της παραμονής τους στο δένδρο της σκηνής.

Όσον αφορά την αλληλεπίδραση του χρήστη με τη σκηνή, ακολουθείται ο ακόλουθος απλός κανόνας όταν χρησιμοποιούνται τα πλήκτρα μετατόπισης, περιστροφής κτλ.: όταν κάποια από τα αντικείμενα της σκηνής είναι επιλεγμένα από το χρήστη (τα επιλεγμένα αντικείμενα χαρακτηρίζονται από έναν κύβο που τα περιβάλλει), τότε ο εκάστοτε μετασχηματισμός εφαρμόζεται στα επιλεγμένα αντικείμενα και μόνο σε αυτά, δηλαδή επηρεάζονται οι παράμετροι μετατόπισης ή περιστροφής των κόμβων τους. Εφόσον όμως δεν είναι επιλεγμένο κανένα αντικείμενο, τότε ο μετασχηματισμός εφαρμόζεται στις συντεταγμένες της *κάμερας*, επηρεάζοντας με αυτόν τον τρόπο την απεικόνιση όλων των αντικειμένων.

8.5.2 Είσοδος και Έξοδος Δεδομένων Σκηνής

Η τρέχουσα τρισδιάστατη σκηνή μπορεί να εισαχθεί/ εξαχθεί από/ σε ένα αρχείο XML. Επομένως μια τυπική χρήση του SR-3DEditor περιλαμβάνει:

- α) τη φόρτωση ενός XML αρχείου που περιέχει μια ήδη υπάρχουσα σκηνή ή τη δημιουργία μιας σκηνής από την αρχή,
- β) την επεξεργασία της σκηνής και
- γ) την αποθήκευση της σκηνής σε ένα XML αρχείο σκηνής.

Ένα τέτοιο αρχείο περιλαμβάνει:

1. τις διαδρομές προέλευσης των αρχείων και τους τύπους τους,
2. τις παραμέτρους της κάμερας και
3. *απεικονίσεις* των παραπάνω μοντέλων που ορίζουν τα συστατικά της σκηνής, δηλαδή XML tags που περιέχουν παραμέτρους τοποθέτησης και την ταυτότητα του μοντέλου που θα χρησιμοποιηθεί με αυτές τις παραμέτρους.

Ένα παράδειγμα ενός μικρού αρχείου σκηνής παρατίθεται στο σχήμα 8.4.

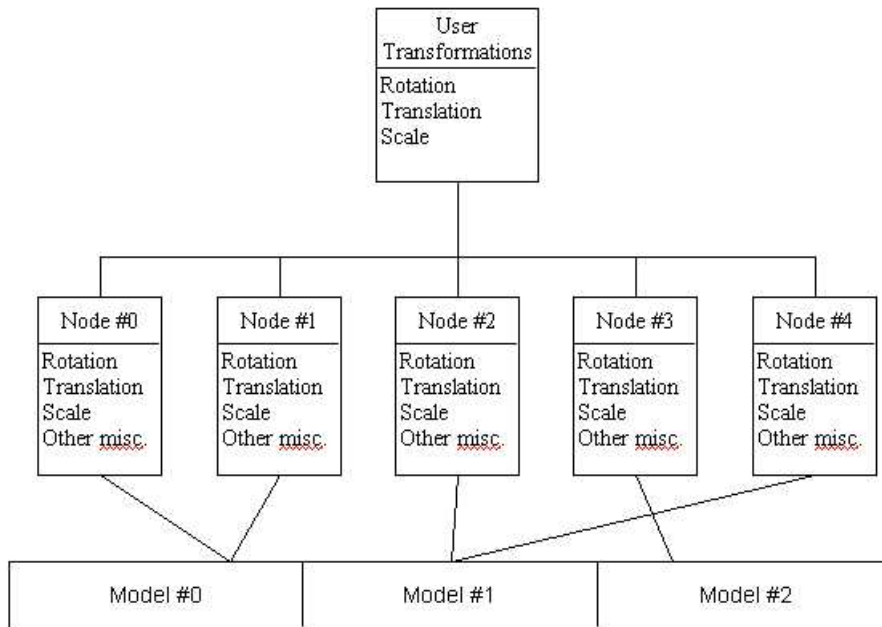
8.6 Χρήση των ανακτημένων μοντέλων για τη Σύνθεση Σκηνών

Ο SR-3DEditor βοηθά τη σύνθεση τρισδιάστατων σκηνών, επιτρέποντας στο χρήστη να αντικαταστήσει αντικείμενα από την υπάρχουσα σκηνή με αντίστοιχα αντικείμενα από μια βάση δεδομένων. Ένα αυτόματα ανακτημένο μοντέλο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σύνθεση μιας σκηνής με δύο τρόπους:

1. μπορεί να εισαχθεί και να ευθυγραμμιστεί με το σχήμα που σχεδίασε ο χρήστης ή
2. μπορεί να αντικαταστήσει ένα υπάρχον τρισδιάστατο μοντέλο, κληρονομώντας τις παραμέτρους τοποθέτησής του.

8.6.1 Εισαγωγή ενός μοντέλου στη σκηνή

Ένα νέο μοντέλο εισάγεται στη σκηνή πάντα μπροστά στη θέα του χρήστη, με το κέντρο του πάνω στον άξονα των Z (άξονας του ματιού), μεγεθυμένο και μετατοπισμένο με τέτοιο τρόπο ώστε να χωρά στην περιοχή που βλέπει ο χρήστης (viewport). Οι αρχικές παράμετροι περιστροφής του σχήματος είναι ίδιες με τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εξαγωγή του δισδιάστατου σχήματος, με το οποίο επιτεύχθηκε η ανάκτησή του. Αυτή η τοποθέτηση του μοντέλου είναι όμοια με την τοποθέτηση που χρησιμοποιήθηκε κατά τη φάση της εξαγωγής του σχήματος. Με αυτόν τον τρόπο, ο χρήστης βλέπει το μοντέλο ολοκληρωμένα και μπορεί να αποφασίσει καλύτερα αν θα το κρατήσει ή αν θα το αφαιρέσει από τη σκηνή εξαιρετικά γρήγορα.



Σχήμα 8.3: Διάγραμμα μιας τρισδιάστατης σκηνής

```

<?xml version="1.0" standalone="no" ?>
- <scene>
  <model modeltype="ase" filename="F:/data/models/ase/strange1.ase" />
  <base position="0 0 0" rotation="1 0 0 0 1 0 0 0 1" />
  <view position="-2 -2 -10" model="0" />
  <view position="2 2 -10" model="0" />
</scene>

```

Σχήμα 8.4: Απλό αρχείο σκηνής, το οποίο περιγράφει ένα κόσμο με δύο αντικείμενα, τα οποία είναι όμοια (χρησιμοποιούν το ίδιο, μοναδικό μοντέλο) και είναι τοποθετημένα σε διαφορετικές θέσεις.

Αυτός ο τρόπος κατόπτευσης είναι απλός αλλά και αποτελεσματικός, όπως θα καταδειχτεί και στην αξιολόγηση του συστήματος (παρ. 8.9).

Καθώς χρησιμοποιούμε τον αλγόριθμο ΔΓΣ στη μηχανή αναζήτησης, μπορούμε να προσθέσουμε άλλη μια λειτουργία στην τεχνική τοποθέτησης του μοντέλου, τον υπολογισμό της παραμέτρου περιστροφής η οποία τοποθετεί το τρισδιάστατο μοντέλο στη σκηνή με τέτοιο τρόπο, ώστε να πλησιάζει περισσότερο το σχήμα που σχεδίασε ο χρήστης. Όταν συγκρίνονται δύο σχήματα με τη μέθοδο ΔΓΣ, το αποτέλεσμα της σύγκρισης περιέχει την γωνία περιστροφής, η οποία κάνει το δεύτερο σχήμα να ευθυγραμμίζεται με το πρώτο, ήτοι το σχήμα της Β.Δ. να ευθυγραμμίζεται με το σχήμα ερώτησης. Σε οποιαδήποτε στιγμή στη διάρκεια της σχεδίασης, ο χρήστης μπορεί να ερευνήσει για όμοια σχήματα στην εκάστοτε Β.Δ. και μετά να επιλέξει, από τα αποτελέσματα της αναζήτησης, τα σχήματα που θεωρεί ο ίδιος κατάλληλα. Τότε το σύστημα αυτόματα ευθυγραμμίζει και αντικαθιστά το σχήμα που σχεδίασε ο χρήστης με το αντίστοιχο μοντέλο από τη Β.Δ.

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο (κεφ. 7, [2]), το SR-Sketch είναι ένα σύστημα το οποίο ανακτά δισδιάστατα σχήματα από μια Β.Δ. και μετά τα χρησιμοποιεί ως συστατικά του σχεδίου που κατασκευάζει ο χρήστης του συστήματος, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο τον χρόνο χρήσης του συστήματος και αυξάνοντας την λειτουργικότητά του. Το SR-Sketch επιτρέπει στο χρήστη να σχεδιάζει σχήματα στην οθόνη του υπολογιστή με τη χρήση του δείκτη του ποντικιού. Μετά τη σχεδίαση ενός σχήματος ο χρήστης μπορεί να ρωτήσει τη μηχανή αναζήτησης για σχήματα που μοιάζουν στο σχέδιο του και να επιλέξει αυτά τα οποία θέλει να χρησιμοποιήσει. Έπειτα, το σύστημα ευθυγραμμίζει αυτόματα και αντικαθιστά σχήματα του χρήστη με τα επιλεγμένα σχήματα από τη Β.Δ. Για κάθε σύγκριση ενός σχήματος του σκίτσου με ένα σχήμα της Β.Δ., η εφαρμογή παρέχει μια οπτική επεξήγηση της ομοιότη-

τας των δύο σχημάτων, χρησιμοποιώντας πληροφορίες ευθυγράμμισης που παρήχθησαν από την αλγόριθμο ΔΓΣ.

Η οπτικοποίηση αυτή είναι μια διαδικασία ευθυγράμμισης που περιλαμβάνει:

1. τη μεγέθυνση των δύο σχημάτων, ώστε να καταλαμβάνουν το ίδιο εμβαδόν,
2. τη μετατόπιση των δύο σχημάτων, ώστε να συμπέσουν τα κέντρα βάρους τους,
3. τη περιστροφή ενός εκ των δύο σχημάτων γύρω από την αρχή των αξόνων, κατά γωνία που υπολογίζεται με βάση τα δεδομένα της μεθόδου ΔΓΣ, η οποία επιστρέφει αντιστοιχίσεις μεταξύ περιοχών των αρχικών σχημάτων. Με τη χρήση αυτών των αντιστοιχήσεων υπολογίζεται μια γωνία περιστροφής. Όταν ένα από τα σχήματα περιστρέφεται γύρω από το κέντρο βάρους του κατά τη γωνία αυτή, οι αντιστοιχισμένες περιοχές βρίσκονται τόσο κοντά μεταξύ τους, όσο αυτό είναι δυνατό χωρίς να αλλοιωθούν τα αρχικά σχήματα.

Η επέκταση της μεθόδου ευθυγράμμισης για τρισδιάστατα μοντέλα είναι απλή. Από τη στιγμή που το τρισδιάστατο μοντέλο έχει τοποθετηθεί όπως είχε τοποθετηθεί προηγουμένως για την εξαγωγή του σχήματος που ανακτήθηκε, μια περιστροφή του μοντέλου γύρω από τον άξονα των Z κατά γωνία ίση με αυτήν που παρήγαγε η μέθοδος ΔΓΣ θα ευθυγραμμίσει το μοντέλο με το σχήμα της ερώτησης - το οποίο προέρχεται με δειγματοληψία από το σχήμα που σχεδίασε ο χρήστης • όπως αν ήταν ένα δισδιάστατο σχήμα. Βέβαια, καθώς ένα δισδιάστατο σχήμα δεν περιλαμβάνει τη διάσταση του βάθους, δεν είναι

δυνατόν να *εικάζουμε* τη θέση ή το μέγεθος του ανακτημένου μοντέλου. Επομένως χρησιμοποιούνται σταθερές παράμετροι μετατόπισης και μεγέθυνσης για την εισαγωγή του ανακτημένου μοντέλου στη σκηνή. Λαμβάνοντας υπόψη τον τελευταίο περιορισμό, για να είναι οπτικά ικανοποιητικό το αποτέλεσμα της ευθυγράμμισης, το σχεδιασμένο σχήμα πρέπει να είναι κεντραρισμένο στον άξονα των Z, ο οποίος περνά από το κέντρο του παραθύρου σχεδίασης (και του OpenGL viewport).

8.6.2 Αντικατάσταση με ανακτημένο μοντέλο

Κατά την αντικατάσταση ενός μοντέλου με ένα άλλο μοντέλο μέσα στη σκηνή, δεν επηρεάζονται οι παράμετροι τοποθέτησης του αρχικού μοντέλου. Όπως φαίνεται από την παρ. 8.5, η αρχιτεκτονική της σκηνής του SR-3DEditor ανεξαρτητοποιεί την τοποθέτηση των αντικειμένων που παρατηρεί ο χρήστης από τα πραγματικά δεδομένα των μοντέλων που χρησιμοποιούνται, όπως συντεταγμένες κορυφών και χρώματα. Επομένως, η αντικατάσταση ενός τρισδιάστατου μοντέλου από ένα άλλο τρισδιάστατο μοντέλο είναι απλή, καθώς χρειάζεται μόνο η αντικατάσταση μιας αναφοράς σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο από μια αναφορά στο καινούργιο μοντέλο. Το καινούργιο αντικείμενο που προκύπτει κληρονομεί τις υπόλοιπες ιδιότητες του αρχικού αντικειμένου, που αφορούν στην τοποθέτηση του μέσα στην σκηνή.

8.7 Η βάση δεδομένων για σχήματα και μοντέλα

Για την αποτελεσματική χρήση του SR-3DEditor απαιτούνται εργαλεία για τη δημιουργία και/ ή επεξεργασία των βάσεων δεδομένων που χρησιμοποιεί, δηλαδή των αρχείων που αποθηκεύονται τα σχήματα και τα μοντέλα που ανακτώνται. Για την απλούστευση της διαδικασίας, τα εργαλεία αυτά έχουν

ενσωματωθεί στο ίδιο το SR-3DEditor. Καθώς το SR-3DEditor είναι πρότυπη εφαρμογή, χρησιμοποιήθηκαν XML αρχεία για την αποθήκευση δεδομένων, αντί να χρησιμοποιηθεί μια σχεσιακή Β.Δ.. Η επιλογή αυτή αποδείχθηκε πολύ καλή κατά την ανάπτυξη και τον έλεγχο του συστήματος. Η αποθήκευση σε μορφή XML απλοποιεί επίσης τη χρήση και την εκμετάλλευση των δεδομένων από τρίτους, λειτουργία που ευνοεί η ανοικτή αρχιτεκτονική του SR-3DEditor.

Ο SR-3DEditor οργανώνει τα δεδομένα μοντέλων και σχημάτων σε τρία επίπεδα, από αρχεία που περιέχουν μόνο τις πιο απαραίτητες πληροφορίες έως αρχεία που περιέχουν μέχρι και προσωρινά δεδομένα που επιταχύνουν τη διαδικασία εκκίνησης της μηχανής αναζήτησης. Επομένως, έχουν ενσωματωθεί στο σύστημα τρεις κύριες διαδικασίες αναφορικά με την εισαγωγή/εξαγωγή αρχείων, η καθεμία εκ των οποίων παράγει μια βάση δεδομένων διαφορετικού επιπέδου.

1. *Μόνο διαδρομές των αρχείων μοντέλων:* αναζήτηση μέσα στο δέντρο ενός συστήματος αρχείων για υποστηριζόμενα μοντέλα τρισδιάστατων μοντέλων και εγγραφή των διαδρομών τους μέσα σε μια Β.Δ. *επιπέδου 1*.
2. *Μοντέλα και αντίστοιχα σχήματα:* από ένα αρχείο *επιπέδου 1*, το οποίο περιέχει μόνο τα ονόματα των αρχείων των μοντέλων, παράγεται ένα αρχείο *επιπέδου 2*, το οποίο περιέχει επιπλέον περιγράμματα των μοντέλων, τα οποία έχουν εξαχθεί από τα μοντέλα, μετά την απεικόνισή αυτών από διαφορετικές όψεις. Τα περιγράμματα αυτά αποτελούν τα κλειδιά βάσει των οποίων η μηχανή αναζήτησης συγκρίνει το σχήμα ερώτησης, ώστε να ανακτήσει ένα μοντέλο.
3. *Μοντέλα, αντίστοιχα σχήματα και Περιγραφές των σχημάτων:* από ένα

αρχείο *επιπέδου-2*, όπως αυτό παράγεται από την προηγούμενη διαδικασία, δημιουργείται μια πλήρης έκδοση του αρχείου Βάσης Δεδομένων, το οποίο περιλαμβάνει, πέρα από τα περιεχόμενα του αρχείου επιπέδου 2, και τις *περιγραφές* των σχημάτων για τους *Matchers* που χρησιμοποιεί η εκάστοτε μηχανή αναζήτησης.

Βέβαια, για να χρησιμοποιηθεί ένα αρχείο Β.Δ. για ανάκτηση μοντέλων, θα πρέπει το αρχείο να είναι τουλάχιστον επιπέδου 2, δηλαδή να περιέχει τα μοντέλα μαζί με τα σχήματα που έχουν εξαχθεί από αυτά. Το τρίτο βήμα αποτελεί απλά μια βελτιστοποίηση στο χρόνο *φόρτωσης* του αρχείου. Η δημιουργία των Περιγραφών των σχημάτων από τους *Matchers* είναι συνήθως μια χρονοβόρα διαδικασία. Όταν ως Β.Δ. χρησιμοποιείται ένα αρχείο επιπέδου 2, αυτές οι περιγραφές πρέπει να παραχθούν επιτόπου, ενώ ένα αρχείο επιπέδου 3 περιέχει αυτές τις περιγραφές σε μορφή κειμένου. Η μηχανή αναζήτησης διαβάζει πάντα τις περιγραφές που περιέχονται μέσα στο αρχείο και παράγει εκείνη τη στιγμή τις περιγραφές που δεν περιέχονται. Παρακάτω θα περιγραφούν οι αυτοματοποιημένες διαδικασίες που δημιουργούν και παραμετροποιούν βάσεις δεδομένων κάθε επιπέδου.

8.7.1 Α: Παραγωγή Β.Δ. που περιέχει τα ονόματα των μοντέλων (επίπεδο 1)

Η διαδικασία αυτή αναζητά, μέσα σε ένα υποδένδρο ενός συστήματος αρχείων, αρχεία τρισδιάστατων γραφικών που υποστηρίζονται από το σύστημα. Έως τώρα, υποστηρίζονται από το σύστημα τρία διαφορετικά είδη αρχείων για τρισδιάστατα μοντέλα: *.ase, *.off, *.asc. Όσα αρχεία με κατάλληλη επέκταση εντοπίζονται εισάγονται (οι διαδρομές τους) στο αρχείο επιπέδου 1.

8.7.2 Β: Παραγωγή Β.Δ. που περιέχει τα ονόματα των μοντέλων και σχήματα που έχουν εξαχθεί (επίπεδο 2)

Κατά την εκτέλεση της διαδικασίας αυτής, κάθε μοντέλο της Β.Δ. επιπέδου 1 περνά από τα επόμενα βήματα :

1. επιβεβαίωση ότι η διαδρομή του αρχείου είναι σωστή και απόπειρα ανάγνωσης του μοντέλου. Σε περίπτωση που το μοντέλο δεν είναι κατάλληλο, τα επόμενα βήματα δεν εκτελούνται για το συγκεκριμένο μοντέλο και ο χρήστης ειδοποιείται ανάλογα.
2. Εφαρμογή, για κάθε μοντέλο, μιας *Υπηρεσίας Εξαγωγής*, ώστε να παραχθεί συγκεκριμένος αριθμός σχημάτων. Μια Υπηρεσία Εξαγωγής είναι ένα αντικείμενο, το οποίο μπορεί να εξάγει ένα αριθμό σχημάτων από ένα μοντέλο, χρησιμοποιώντας κάποιες παραμέτρους απεικόνισης. Στην περίπτωση του SR-3DEditor, η Υπηρεσία Εξαγωγής είναι το ίδιο το κύριο παράθυρο της εφαρμογής. Η διαδικασία εξαγωγής που χρησιμοποιείται από τον SR-3DEditor περιγράφεται στην παρ. 8.3.
3. Εγγραφή των δεδομένων στο τελικό αρχείο Β.Δ. Προστίθενται εγγραφές με το όνομα του αρχείου του μοντέλου και τα σχήματα που έχουν εξαχθεί στο τελικό αρχείο. Έπειτα απελευθερώνονται και οι πόροι που αυτά κατελάμβαναν. Προστίθεται επίσης σε κάθε ένα από τα σχήματα και μια συσχέτιση με το μοντέλο από το οποίο εξήχθη. Επίσης, για κάθε σχήμα, ο SR-3DEditor επιστρέφει τη μήτρα περιστροφής που χρησιμοποιήθηκε για την απεικόνιση του μοντέλου (βλ. παρ. 8.3), η οποία μήτρα αποθηκεύεται μαζί με τις συντεταγμένες των κορυφών κάθε εξαγόμενου σχήματος.

Η διαδικασία παραγωγής της Β.Δ. επιπέδου 2 είναι η πιο χρονοβόρα και πολύπλοκη διαδικασία της παραγωγής της Β.Δ.. Για τη διευκόλυνση του χρήστη και για την αποτελεσματική εφαρμογή του SR-3DEditor σε υπολογιστές μέσω προδιαγραφών, η υλοποίηση της διαδικασίας εξαγωγής έγινε με τρόπο που διευκολύνει το χρήστη και εξοικονομεί πόρους του συστήματός του.

Ας υποθέσουμε ότι παράγεται μια Β.Δ. με 2000 μοντέλα, όπου κάθε μοντέλο περιέχει περίπου 1000 κορυφές. Εάν η υλοποίηση του συστήματος φόρτωνε και επεξεργαζόταν όλα τα μοντέλα ταυτόχρονα, οι απαιτήσεις της διαδικασίας σε μνήμη θα ήταν υπερβολικές και ένα μέσο σύστημα δεν θα ήταν σε θέση να αντιμετωπίσει την πολυπλοκότητα της διαδικασίας αυτής. Επιπλέον, εάν το σύστημα αποτύγχανε εξαιτίας ενός λογικού λάθους ή ενός κακώς δομημένου αρχείου, ο χρήστης δεν θα μπορούσε να εντοπίσει την αιτία της αποτυχίας. Για το σκοπό αυτό, κάθε μοντέλο φορτώνεται, χρησιμοποιείται και μετά ελευθερώνονται οι πόροι που αυτό χρησιμοποίησε. Με αυτόν τον τρόπο διασφαλίζεται ότι οι απαιτήσεις σε μνήμη δεν θα υπερβαίνουν κατά πολύ τις απαιτήσεις της επεξεργασίας ενός μόνο μοντέλου. Επιπλέον, τα αποτελέσματα της επεξεργασίας κάθε μοντέλου αποθηκεύονται στο τελικό αρχείο, μόλις η επεξεργασία κάθε μοντέλου ολοκληρωθεί. Κατ' αυτόν τον τρόπο, δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να παρακολουθήσει την εξέλιξη της διαδικασίας και να εντοπίσει τυχόν αρχεία μοντέλου που οδήγησαν σε πιθανή αποτυχία του συστήματος, ώστε να τα απομακρύνει. Για λόγους αλληλεπίδρασης και ελέγχου είναι δυνατή και η οπτική παρακολούθηση της διαδικασίας εξαγωγής.

8.7.3 Γ: Παραγωγή μιας Β.Δ. που καταγράφει τα ονόματα των αρχείων, τα εξαγόμενα σχήματα και τις περιγραφές τους (επίπεδο 3)

Η υψηλή πολυπλοκότητα χρόνου της διαδικασίας παραγωγής των περιγραφών δημιούργησε την ανάγκη για ένα μηχανισμό αποθήκευσης των περιγραφών αυτών μέσα στην Β.Δ., ώστε να μην είναι απαραίτητη η παραγωγή τους από τα αντίστοιχα σχήματα, κάθε φορά που διαβάζεται το αρχείο της Β.Δ. Για την παραγωγή μιας Β.Δ. που περιλαμβάνει τις περιγραφές των σχημάτων (επίπεδο 3) από μια Β.Δ. επιπέδου 2, ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα :

Για κάθε έναν από τους Matchers της τρέχουσας μηχανής αναζήτησης :

1. παράγονται οι περιγραφές κάθε σχήματος του αρχείου εισόδου,
2. οι περιγραφές αυτές ενσωματώνονται στο καινούργιο αρχείο, μαζί με τα περιεχόμενα του αρχείου επιπέδου 2, με τέτοιο τρόπο, ώστε κάθε περιγραφή να αντιστοιχεί στο σχήμα από το οποίο έχει παραχθεί.

Ένα παράδειγμα πλήρους, επιπέδου 3 αρχείου Β.Δ. παρουσιάζεται στο σχήμα 8.5: το αρχείο αυτό ξεκινά με το tag PDB (Polygon DataBase), με προαιρετικό στοιχείο το `sampleSize`, το οποίο είναι η ανάλυση δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκε πριν την αποθήκευση, στα πολύγωνα που εμπεριέχονται. Η ιδιότητα αυτή προϋπήρχε και στην αρχική μορφή κειμένου του PDB (βλ. παρ. 5.4). Κατ' αρχάς, μέσα στο κυρίως tag βρίσκονται τα tags των μοντέλων (`model`), τα οποία περιέχουν το καθένα τον τύπο και τη διαδρομή ενός αρχείου τρισδιάστατου μοντέλου - ένα αρχείο επιπέδου 1 περιέχει μόνο τα παραπάνω στοιχεία. Τα `polygon tags` περιγράφουν τα εξαγόμενα πολύγωνα. Πέρα από το χαρακτηριστικό `points`, το οποίο περιέχει τις κορυφές

του πολυγώνου, το tag αυτό περιλαμβάνει την ταυτότητα του μοντέλου, από το οποίο έχει εξαχθεί το πολύγωνο (`modelIndex`) και τη μήτρα περιστροφής που χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή του σχήματος (`rotation`). Έως αυτό το σημείο περιγράφηκαν τα στοιχεία που πρέπει να περιέχει μια Β.Δ. επιπέδου 2. Τα descriptor tags (ένα για κάθε Matcher της μηχανής αναζήτησης που παρήγαγε την Β.Δ.) περιέχουν τις περιγραφές, σε μορφή κειμένου, των σχημάτων, για τον εκάστοτε Matcher. Κάθε tag descriptors περιλαμβάνει:

- α) τον τύπο του Matcher (χαρακτηριστικό type) και
- β) ένα tag `d` για κάθε πολύγωνο στο αρχείο, το οποίο περιέχει την περιγραφή του Matcher για το πολύγωνο αυτό.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι Matchers των χαρακτηριστικών της Κυκλικότητας, Εκκεντρότητας και Κυρτότητας δημιουργούν πολύ απλές περιγραφές: μόνο μια δεκαδική τιμή αποθηκεύεται για κάθε πολύγωνο. Η περιγραφή του Matcher της ΔΓΣ αποτελείται από την ανάλυση δειγματοληψίας (40 στη συγκεκριμένη περίπτωση) και τις ίδιες τις τιμές της Διαφοράς Γωνίας Στροφής. Η παραπάνω μορφή αρχείου είναι μια επέκταση του αρχείου XML-PDB, το οποίο ορίστηκε στην παρ. 5.4, γεγονός που επιτρέπει τη μετατροπή του σε αρχείο κειμένου PDB (με τη χρήση των εργαλείων που βρίσκονται στη σελίδα [26]) και τη χρήση του σαν Β.Δ. αναζήτησης σχημάτων και για τη βιβλιοθήκη GCV, κεφ. 5.

8.8 Υλοποίηση του Συστήματος

8.8.1 Χρήση του SR-3DEditor

Ο δημιουργός της τρισδιάστατης σκηνής μετακινείται μέσα στο χώρο χρησιμοποιώντας το πληκτρολόγιο. Κάθε κίνηση στους άξονες X, Y, Z ή περιστροφή

γύρω από αυτούς γίνεται με το πάτημα πλήκτρων. Συγκεκριμένα, το ίδιο πλήκτρο που μετασχηματίζει τις παραμέτρους της κάμερας μέσα από την οποία είναι ορατός ο κόσμος μετασχηματίζει και τις παραμέτρους των επιλεγμένων αντικειμένων της σκηνής, όταν τουλάχιστον ένα αντικείμενο είναι επιλεγμένο. Η επιλογή/ επαναφορά των αντικειμένων γίνεται με το πλήκτρο του ποντικιού. Με τους παραπάνω τρόπους γίνεται η τοποθέτηση των αντικειμένων στο χώρο, σύμφωνα με τις επιθυμίες του χρήστη, επιτρέποντας την επεξεργασία της τρισδιάστατης σκηνής.

Η πρόσβαση στις λειτουργίες ανάκτησης δεδομένων του προγράμματος αρχίζει με το δεξί πλήκτρο του ποντικιού. Με διαδοχικά πατήματα του δεξιού πλήκτρου, ο χρήστης σχεδιάζει ένα πολύγωνο, το οποίο θα χρησιμοποιηθεί ως ερώτημα στη μηχανή αναζήτησης σχημάτων. Έπειτα, με το πλήκτρο *M* ξεκινά η διαδικασία αναζήτησης, χρησιμοποιώντας το πολύγωνο που έχει σχεδιαστεί μέχρι εκείνη την στιγμή. Τα αποτελέσματα της ανάκτησης παρουσιάζονται στο χρήστη στο κάτω viewport του παραθύρου, ως ζευγάρια μοντέλων και εξαγόμενων σχημάτων. Ο χρήστης μετακινείται μέσα στα αποτελέσματα με τη χρησιμοποιώντας τα πλήκτρα πλοήγησης και επιλέγει το σχήμα που τον ενδιαφέρει. Όταν επιλέγεται ένα σχήμα (με το πλήκτρο *return*), αυτό προστίθεται στην σκηνή ακριβώς μπροστά στην κάμερα. Εφόσον χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος ΔΓΣ για την ανάκτηση του επιλεγμένου σχήματος, θα εφαρμοστεί στο μοντέλο μια επιπλέον περιστροφή γύρω από τον άξονα των *Z* (άξονας του ματιού). Η γωνία περιστροφής υπολογίζεται από τη ΔΓΣ, με τρόπο που η δισδιάστατη απεικόνιση του μοντέλου προσεγγίζει το σχεδιασμένο σχήμα.

8.8.2 Ανάπτυξη και διανομή του προγράμματος

Ο SR-3DEditor αναπτύχθηκε με την χρήση μόνο της γλώσσας C++, και υποστηρίζει τις πλατφόρμες των Windows από τα Windows NT 4.0 και μετέπειτα.

Για την είσοδο αρχείων XML χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη libxml2 [3]. Η διεπαφή του προγράμματος στηρίζεται στην πρωτότυπη βιβλιοθήκη AWT, μια βιβλιοθήκη που παρέχει αφαιρετική πρόσβαση σε λειτουργίες γραφικού περιβάλλοντος, με τρόπο που είναι ανεξάρτητος από την πλατφόρμα υλοποίησης. Για την υλοποίηση του SR-3DEditor και των συστατικών του, εφαρμόστηκαν πολλές λειτουργίες Αντικειμενοστραφούς Προγραμματισμού, οι οποίες δεν παρέχονται στην standard βιβλιοθήκη της C++, όπως:

- μέτρηση των αναφορών σε αντικείμενα (Object Reference Counting), λειτουργία ιδιαίτερα χρήσιμη για την απλοποίηση της διαχείρισης της μνήμης της τρισδιάστατης σκηνής, καθώς και άλλων συστατικών του προγράμματος,
- επέκταση των λειτουργιών χειρισμού Εξαιρέσεων (Extended Exception Handling). Επεκτάθηκε ουσιαστικά ο τυποποιημένος μηχανισμός χειρισμού των εξαιρέσεων με πρότυπες λειτουργίες, ώστε να παρέχονται και να απεικονίζονται περισσότερες πληροφορίες στο χρήστη, όπως το όνομα της συνάρτησης όπου προκλήθηκε η εξαίρεση, το όνομα του αρχείου κώδικα, απεικόνιση της κατάστασης της στοίβας (stack tracing) κ.α.
- Χειρισμός λοιπών λαθών και χειρισμών Σημάτων (Signal Handling). Επίσης χρήσιμη λειτουργία για εντοπισμό λαθών και έλεγχο του προγράμματος.

Η εφαρμογή υλοποιήθηκε ως ένα σύνολο ανεξάρτητων συστατικών. Η διεπαφή του χρήστη είναι ανεξάρτητη από την μηχανή αναζήτησης, ώστε η υλοποίηση του ενός να μην επηρεάζει το άλλο. Η μηχανή επεκτάθηκε απλώς με κώδικα που χειρίζεται τα τρισδιάστατα μοντέλα και παρέχει τα σημεία

επικοινωνίας που χρησιμοποιεί η κυρίως εφαρμογή για να χρησιμοποιήσει τη μηχανή αναζήτησης. Ένα από τα πλεονεκτήματα της χρήσης της XML είναι ότι είναι εύκολα επεξεργάσιμη και διαχειρίσιμη. Αν και η Β.Δ. και τα αρχεία σκηνης παράγονται συνήθως από τον SR-3DEditor, είναι δυνατόν να δημιουργηθούν και με έναν επεξεργαστή αρχείων XML ή με απλό XSLT κώδικα. Η εφαρμογή παρέχεται ως πακέτο που περιλαμβάνει εγχειρίδιο και παραδείγματα αρχείων, από τη σελίδα: [27].

8.9 Αξιολόγηση του Συστήματος

8.9.1 Αποδοτικότητα

Για την ανάλυση της αποδοτικότητας του SR-3DEditor καταγράφηκαν στατιστικά χρήσης του με ένα σύνολο μοντέλων. Το σύστημα που χρησιμοποιήθηκε κατά τη διάρκεια της δοκιμής ήταν ένας υπολογιστής με επεξεργαστή Pentium3 με συχνότητα 2.66 GHz και λειτουργικό σύστημα Windows2000. Για την αποτίμηση χρησιμοποιήθηκε η Β.Δ. τρισδιάστατων μοντέλων από τη διεύθυνση [62] για να παραχθεί μια Β.Δ. σε XML, χρησιμοποιώντας τις λειτουργίες του μενού του SR-3DEditor. Αυτή η Β.Δ. περιέχει 1800 τρισδιάστατα μοντέλα καλής ανάλυσης.

Δημιουργία και φόρτωση των αρχείων της Β.Δ.

Κατ' αρχάς έπρεπε να δημιουργηθεί ένα αρχείο Β.Δ. χρησιμοποιώντας τις διαδικασίες που περιγράφονται στην παράγραφο 8.7. Δημιουργήθηκε λοιπόν ένα αρχείο επιπέδου 1 από έναν κατάλογο του συστήματος που περιείχε όλα τα μοντέλα. Έπειτα, κατασκευάστηκε από το αρχείο αυτό μια Β.Δ. επιπέδου 2. Η διαδικασία αυτή διήρκεσε πέντε λεπτά για όλα τα μοντέλα του αρχείου. Το αντίστοιχο αρχείο επιπέδου 3 δημιουργήθηκε σε λιγότερο από δύο λεπτά.

Στο αρχείο αυτό τελικά περιέχονται όλα τα μοντέλα τα οποία βρέθηκαν στο υποδέντρο του κύριου καταλόγου, μαζί με περίπου 7200 πολύγωνα που εξήχθησαν συνολικά από τα μοντέλα. Για κάθε πολύγωνο συμπεριλαμβάνονται και τέσσερις περιγραφές, από τις οποίες οι περιγραφές της ΔΓΣ καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο χώρο αποθήκευσης, ενώ η περιγραφή της Εκκεντρότητας ήταν η πιο χρονοβόρα κατά την παραγωγή της. Η όλη διαδικασία παραγωγής της Β.Δ. επιπέδου 3 διήρκεσε λιγότερο από οκτώ λεπτά.

Κατά τη φόρτωση των Β.Δ. παρατηρήθηκε ότι η συγκεκριμένη Β.Δ. επιπέδου 3 φόρτωσε στο μισό χρόνο από ότι η Β.Δ. επιπέδου 2, από την οποία δημιουργήθηκε. Η διαφορά στο χρόνο φόρτωσης των αρχείων είναι λογική, μια που στην περίπτωση του αρχείου 3 η μηχανή αναζήτησης σχημάτων πρέπει να παράγει δυναμικά τις περιγραφές των σχημάτων. Ο επιπλέον χρόνος επεξεργασίας που απαιτείται για τη δημιουργία των περιγραφών είναι η αιτία της καθυστέρησης. Από τους *Matchers* που χρησιμοποιήθηκαν, οι περιγραφές της ΔΓΣ ήταν οι πιο γρήγορες στην κατασκευή, ενώ οι περιγραφές της Κυκλικότητας οι πιο χρονοβόρες. Επομένως, αν και μια Β.Δ. επιπέδου 3 καταλαμβάνει περισσότερο χώρο από μια Β.Δ. επιπέδου 2, η βελτίωση εντούτοις στο χρόνο φόρτωσης είναι σημαντική. Στον υπολογισμό του χρόνου φόρτωσης λαμβάνεται υπόψη και ο χρόνος κατασκευής του DOM δέντρου των XML αρχείων. Η ύπαρξη του αρχείου επιπέδου 3 είναι πολύ χρήσιμη λόγω της ύπαρξης των *Matchers* των Γεωμετρικών Χαρακτηριστικών (ΓΧ). Η φόρτωση ενός αρχείου Β.Δ. που περιέχει τις περιγραφές μόνο των ΓΧ είναι αρκετά ταχύτερη από τη φόρτωση του αντίστοιχου επιπέδου 3, λόγω του μικρού μεγέθους των περιγραφών αυτών αλλά και του σημαντικού χρόνου επεξεργασίας που απαιτείται για την παραγωγή τους. Κρίνεται σε όλες τις περιπτώσεις προτιμότερο αυτές οι περιγραφές να υπολογίζονται και να αποθηκεύονται στη Β.Δ. και να μην παράγονται σε κάθε φόρτωση της Β.Δ.

Αναζήτηση στην Β.Δ.

Η πιο χρονοβόρα διαδικασία κατά την αναζήτηση στη Β.Δ. για μοντέλα είναι φυσικά η εύρεση όμοιων σχημάτων με το σχήμα ερώτησης. Για μια Β.Δ. με περίπου 7200 πολύγωνα, η διαδικασία αυτή διαρκεί κατά μέσο όρο τρία δευτερόλεπτα, ενώ ο χρόνος απόκρισης μπορεί να κυμαίνεται από μερικά ms μέχρι πέντε δευτερόλεπτα. Η μεγάλη αυτή διακύμανση οφείλεται στον αλγόριθμο διαδοχικών απορρίψεων των σχημάτων που χρησιμοποιεί η μηχανή αναζήτησης (παρ. 8.4 και 5.5). Παρ' όλα αυτά, η διαδικασία διαδοχικών απορρίψεων είναι απαραίτητη, καθώς, αν όλα τα σχήματα ελέγχονταν από όλους τους Matchers, ο μέσος χρόνος απόκρισης θα μπορούσε να φτάσει το ένα λεπτό για τη Β.Δ. που χρησιμοποιούμε.

Ακόμη ένα στοιχείο που λαμβάνεται υπόψη είναι η πολυπλοκότητα των μοντέλων. Τα μοντέλα της Β.Δ. που αναφερόμαστε περιέχουν πολλές φορές πάνω από 2000 κορυφές το καθένα, καταλαμβάνοντας πολλούς πόρους του συστήματος. Η ίδια η απεικόνιση των μοντέλων με OpenGL χρειάζεται κάποιο χρόνο, με αποτέλεσμα κάποια καθυστέρηση, όταν πολλά από τα μοντέλα αυτά εμφανίζονται στο viewport των αποτελεσμάτων. Για να είναι ικανό το σύστημα να δουλεύει απρόσκοπτα, ο αριθμός των μοντέλων που ανακτώνται περιορίζεται από κάποιο άνω όριο, ώστε να περιορίζονται οι ανάγκες σε μνήμη και να απεικονίζονται τα αποτελέσματα της αναζήτησης με ικανοποιητική ταχύτητα.

8.9.2 Αξιολόγηση από χρήστες του συστήματος

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του SR-3DEditor είναι η αποτελεσματικότητά του στην ανάκτηση όμοιων μοντέλων. Αυτό το χαρακτηριστικό όμως δεν είναι δυνατό να μετρηθεί με κάποιο κοινό μέτρο αξιολόγησης, όπως

η ακρίβεια και η ικανότητα ανάκτησης, καθώς: α) τα στοιχεία προς ανάκτηση (μοντέλα) συγκρίνονται με διαφορετικού είδους στοιχεία, δηλαδή δισδιάστατα σχήματα και β) ο τρόπος που σχεδιάζεται το περίγραμμα ενός σχήματος είναι προφανώς πολύ υποκειμενικός σε κάθε άτομο που σχεδιάζει. Επομένως, για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας στην ανάκτηση του SR-3DEditor χρησιμοποιήσαμε μια διαδικασία αξιολόγησης από χρήστες του συστήματος. Μια ομάδα από δέκα χρήστες πειραματίστηκαν με το SR-3DEditor και καταγράφηκαν οι αντιδράσεις και τα σχόλιά τους. Οι χρήστες αυτοί ήταν εξοικειωμένοι με το χειρισμό H/Y, αλλά κανείς τους δεν είχε χρησιμοποιήσει κάποιο ανάλογο εργαλείο ανάκτησης με βάση το περιεχόμενο. Σε κάθε χρήστη δόθηκε ένα ερωτηματολόγιο προς συμπλήρωση και ακολούθησε σύντομη συζήτηση με τους σχεδιαστές του συστήματος. Το ερωτηματολόγιο ακολουθεί στο τέλος του κεφαλαίου, μαζί με μια περίληψη των αποτελεσμάτων. Ο στόχος των δοκιμών από τους χρήστες ήταν η εύρεση των δυνατοτήτων που θεωρούνται πιο χρήσιμες και ο εντοπισμός πιθανών προβλημάτων πιθανόν να προκύψουν κατά τη χρήση του συστήματος. Από τις δοκιμές προέκυψαν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

1. οι χρήστες έμειναν γενικά ικανοποιημένοι από την ευκολία στην χρήση του συστήματος. Αν και κάποιοι χρήστες χρειάστηκε να επενδύσουν κάποιο χρόνο έως ότου να εξοικειωθούν με το χειρισμό των πλήκτρων, όλοι τους κατανόησαν ότι συγκεκριμένοι χειρισμοί με τα πλήκτρα είναι απαραίτητοι για να επιταχυνθεί η επεξεργασία της τρισδιάστατης σκηνής.
2. Η δυνατότητα των χρηστών να δουν τα αποτελέσματα της δουλειάς τους σχηματοποιημένα σε ένα δέντρο XML τους επέτρεψε να κατανοήσουν καλύτερα το σύστημα. Κάποιοι από τους χρήστες χρησιμοποίησαν ακόμα και κάποιους επεξεργαστές XML για να τροποποιήσουν κάπως την σκηνή.

3. Η ιδέα της αυτόματης ανάκτησης μοντέλων (αντί για την χειροκίνητη επιλογή από μια Β.Δ.) κρίθηκε ως εξαιρετικά χρήσιμη και πρωτοποριακή. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, το SR-3DEditor ανέκτησε στοιχεία από την επιλεγμένη Β.Δ. που έμοιαζαν με το επιλεγμένο σκίτσο.
4. Αν και κανένας από τους χρήστες της δοκιμής δεν είχε εμπειρία με κάποιο ανάλογο σύστημα ανάκτησης πληροφοριών, όλοι τους αντιλήφθηκαν αμέσως τη γενική ιδέα και μπόρεσαν να την αξιοποιήσουν. Ένας από τους λόγους που άπειροι χρήστες μπόρεσαν πολύ σύντομα να χρησιμοποιήσουν το σύστημα αποδοτικά ήταν η ευκολία στον χειρισμό του, καθώς δεν απαιτείται από τον χρήστη να παραμετροποιήσει το σύστημα. Αυτός απλά χρησιμοποιεί τις λειτουργίες του μέσα από ένα παραστατικό σύστημα αλληλεπίδρασης.
5. Όπως αναφέρθηκε και στην παράγραφο 8.3, το σύστημα επιλέγει με πολύ απλό τρόπο τις προβολές του μοντέλου από τις οποίες θα εξάγει τα περιγράμματά του. Μερικές φορές τυγχάνει όψεις του μοντέλου που είναι χαρακτηριστικές για αυτό να μην περιλαμβάνονται στην παραγωγή των περιγραμμάτων. Παρ' όλα αυτά, το σύστημα καταφέρνει να παράγει ικανοποιητικά αποτελέσματα με τον τρέχοντα τρόπο επιλογής όψεων, όπως φαίνεται από τα σχόλια των χρηστών.
6. Ο σχεδιασμός ενός σκίτσου που να μοιάζει με το περίγραμμα ενός τρισδιάστατου αντικειμένου είναι μια υποκειμενική διαδικασία. Κάθε άτομο σχεδιάζει με βάση την προσωπική του αντίληψη το περίγραμμα ενός αυτοκινήτου ή ενός αεροπλάνου. Εντούτοις, οι χρήστες που επένδυσαν λίγο χρόνο στην εκμάθηση της διεπαφής σχεδίασης, κατόρθωσαν να βελτιώσουν τις ικανότητές τους μετά από λιγότερο από 5 ή 6 σκίτσα. Για την αποτελεσματική χρήση της διεπαφής σχεδίασης δεν απαιτείται ταλέντο

στη σχεδίαση, ενώ η απαραίτητη εμπειρία αποκτάται μέσα σε λίγα μόνο λεπτά. Μετά τη χρήση της διεπαφής σχεδίασης, πολλοί χρήστες θα θεωρούσαν ανεπαρκή μια διεπαφή η οποία θα παρείχε μόνο αναζήτηση-και-επιλογή (browse-and-select) από τη Β.Δ. ή μόνο αναζήτηση με βάση κείμενο.

8.10 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάστηκε ο SR-3DEditor, ένα πλήρες σύστημα δημιουργίας, επεξεργασίας και απεικόνισης τρισδιάστατων σκηνών, οι οποίες αποτελούνται από τρισδιάστατα μοντέλα. Ο SR-3DEditor εμπλουτίζει την επιλογή των τρισδιάστατων μοντέλων: αντί για χειροκίνητη αναζήτηση μέσα σε μια Β.Δ., όπως χρησιμοποιούν τα περισσότερα συστήματα, ο SR-3DEditor χρησιμοποιεί ένα πιο διαισθητικό περιβάλλον. Παρέχεται στο χρήστη η δυνατότητα να σχεδιάζει μια δισδιάστατη αναπαράσταση του μοντέλου, η οποία χρησιμοποιείται εν συνεχεία σε αντιπαραβολή με τα περιγράμματα των τρισδιάστατων μοντέλων του πεδίου αναζήτησης, από διάφορες όψεις. Ένα μοντέλο που ανακτάται με την παραπάνω διαδικασία μπορεί να προστεθεί στην τρισδιάστατη σκηνή και να υποστεί την ίδια επεξεργασία με τα υπόλοιπα αντικείμενα της σκηνής. Τα τρισδιάστατα μοντέλα αποθηκεύονται/ ανακτώνται από μια Β.Δ. σε XML, ενώ και η ίδια η τρισδιάστατη σκηνή αποθηκεύεται σε XML. Η ίδια η εφαρμογή του SR-3DEditor μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία των κατάλληλων Β.Δ.. Η απλότητα και η ευκολία του συστήματος εκτιμήθηκε από τους ανθρώπους που το δοκίμασαν.

Ο SR-3DEditor είναι ένα από τα πρώτα πλήρη συστήματα που συνδυάζουν τρισδιάστατα γραφικά μαζί με Ανάκτηση με Βάση το Σχήμα. Στο μέλλον θα διεξαχθεί προσπάθεια να ενσωματωθούν και τεχνικές ανάκτησης με βάση

το χρώμα και την υφή, ώστε να επεκταθούν οι ικανότητες ανάκτησης του συστήματος. Ακόμη, διερευνηθεί η ανάκτηση τρισδιάστατων μοντέλων με τη χρήση πληροφοριών που βασίζονται στην εμπειρία του συστήματος, όπως οι σχετικές θέσεις μεταξύ αντικειμένων σε άλλες σκηνές. Η έρευνα προς αυτήν την κατεύθυνση θα έχει ως αποτέλεσμα ευελπιστούμε την κατασκευή ενός συστήματος που θα προβλέπει τις ανάγκες των χρηστών του, ακόμα και χωρίς το ίδιο το περιβάλλον σχεδίασης.

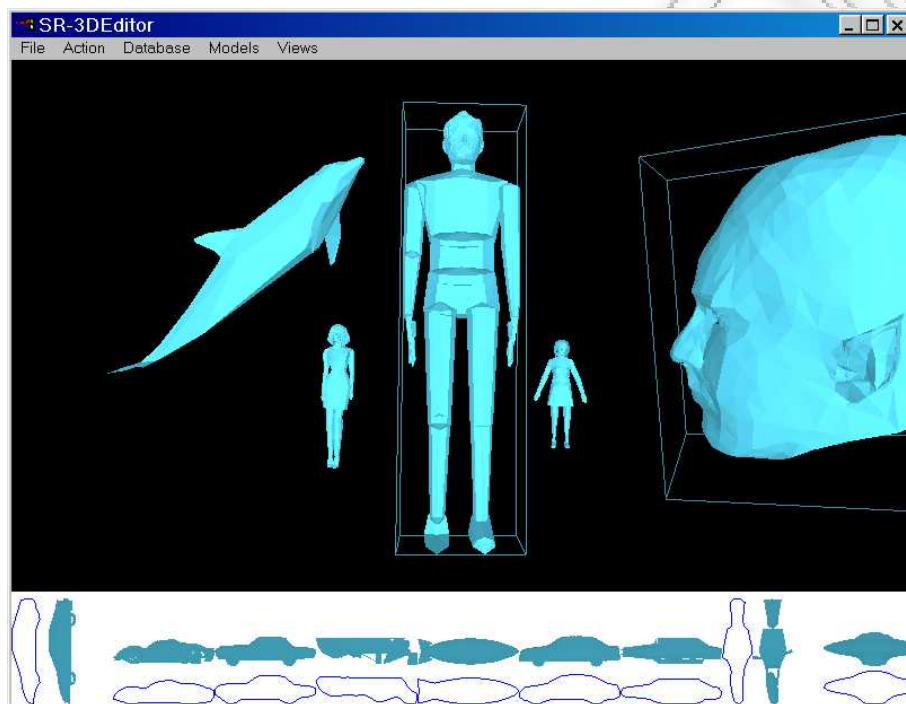
8.11 Ερωτηματολόγιο

Βαθμολογήστε το σύστημα SR-Sketch, απαντώντας στις παρακάτω ερωτήσεις με βαθμολογία από 1 (κατώτατη) έως και 5 (ανώτατη):

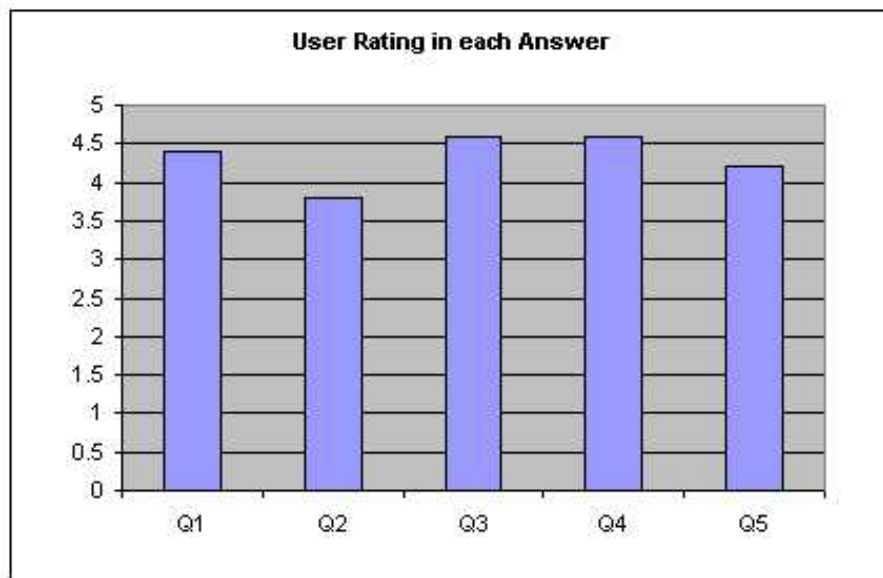
- 1) Πόσο εύκολα μάθατε την χρήση του συστήματος;
- 2) Λαμβάνοντας υπόψη την επιλεγμένη Β.Δ., πόσο συχνά θεωρείτε ότι το σύστημα ανακτά τα μοντέλα που μοιάζουν περισσότερο στο σχεδιασμένο πολύγωνο;
- 3) Πόσο βοηθά η Αυτόματη Ανάκτηση Σχήματος το στόχο της σύνθεσης τρισδιάστατων σκηνών;
- 4) Επιταχύνεται η σύνθεση τρισδιάστατων σκηνών με την Αυτόματη Ανάκτηση Σχήματος;
- 5) Διευκολύνεται η σύνθεση τρισδιάστατων σκηνών με την Αυτόματη Ανάκτηση Σχήματος;

```
<?xml version="1.0" standalone="no" ?>
- <PDB sampleSize="-1">
  <model modeltype="off" filename="f:/data/psb_v1/benchmark/db/0/m0/m0.off" />
  <polygon modelIndex="0" rotation="1 0 0 0 1 0 0 0 1" points="117.465 118.504, 125.722
    127.265, 128.988 138.845, 134.092 148.2, ..." />
  <polygon modelIndex="0" rotation="1 0 0 0 -1 1.22461e-016 0 -1.22461e-016 -1"
    points="138.429 122.871, 148.642 131.381, 152.817 129.925, 161.504 124.495,
    ..." />
  - <descriptors type="Circularity">
    <d data="0.113837" />
    <d data="0.137566" />
  </descriptors>
  - <descriptors type="Eccentricity">
    <d data="0.626107" />
    <d data="0.381655" />
  </descriptors>
  - <descriptors type="Convexity">
    <d data="0.113837" />
    <d data="0.137566" />
  </descriptors>
  - <descriptors type="Tfd">
    <d data="40 2.91512 0.420426 -0.111467 -1.53049 ..." />
    <d data="40 3.05137 -0.984536 1.74862 0.325921 ..." />
  </descriptors>
</PDB>
```

Σχήμα 8.5: Παράδειγμα αρχείου Β.Δ. επιπέδου 3



Σχήμα 8.6: Στιγμιότυπο του SR-3DEditor. Στο πάνω viewport απεικονίζεται η τρέχουσα σκηνή, ενώ στο κάτω viewport απεικονίζονται τα ανακτημένα σχήματα. Τα επιλεγμένα αντικείμενα στη σκηνή ξεχωρίζουν από έναν κύβο που τα περικλείει. Στο παραπάνω στιγμιότυπο, ο χρήστης έκανε ήδη μια αναζήτηση με ένα σκίτσο που έμοιαζε με αυτοκίνητο.



Σχήμα 8.7: Συγκεντρωτικές απαντήσεις στο ερωτηματολόγιο.

Κεφάλαιο 9

Συμπεράσματα - Μελλοντική εργασία

Τα τελευταία χρόνια παρουσιάζεται ολοένα αυξανόμενη ανάγκη για συστήματα που υποστηρίζουν ανάκτηση οπτικών πηγών πολυμέσων με βάση το περιεχόμενο. Εφαρμογές που απαιτούν δυνατότητες ανάκτησης βάσει του περιεχομένου περιλαμβάνουν συστήματα πλοήγησης, ανίχνευσης κίνησης, ανάλυσης περιεχομένου και ανάκτησης πολυμέσων από το διαδίκτυο. Το πλήθος των διαθέσιμων οπτικών πηγών πολυμέσων στο διαδίκτυο και σε βάσεις δεδομένων καθιστούν πλέον ασύμφορη και πολλές φορές ανέφικτη την ανάκτηση των πολυμέσων ενδιαφέροντος με συμβατικές μεθόδους αναζήτησης, όπως αναζήτηση μέσα σε υποκαταλόγους ή αναζήτηση με βάση κείμενο.

Ταυτόχρονα, παρατηρείται αλματώδης ανάπτυξη σε όλους τους τομείς της ανάκτησης πολυμέσων με βάση το περιεχόμενο. Μεγάλος αριθμός τεχνικών ανάκτησης πολυμέσων προτείνονται συνεχώς, ενώ ακόμα περισσότερες είναι οι εφαρμογές οι οποίες αξιοποιούν τέτοιες τεχνικές. Παρά την ανάπτυξη αυτή, είναι εύκολο κανείς να παρατηρήσει, μέσα από την υπάρχουσα βιβλιογραφία, τις δυσχέρειες που εξακολουθούν να συναντώνται στην ανάκτηση πολυμέσων

με βάση το σχήμα. Αν και έχουν παρουσιαστεί αρκετές τεχνικές ανάκτησης πολυμέσων με βάση το σχήμα, ελάχιστες είναι οι εφαρμογές που τις αξιοποιούν. Ακόμα και οι εφαρμογές αυτές, οι οποίες θεωρούνται πρωτοπόρες στους τομείς της ανάκτησης πολυμέσων, χρησιμοποιούν ελάχιστα τις πληροφορίες σχήματος για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της αναζήτησης.

Η παρούσα διατριβή προσεγγίζει το πρόβλημα της ανάκτησης πολυμέσων μέσα από ένα πρακτικό πρίσμα. Επιλέγονται ως επίκεντρο της έρευνας οι προκλήσεις της ανάκτησης πολυμέσων με βάση χαρακτηριστικά σχήματος και όχι η ανάλυση των πολυμέσων ή η εξαγωγή χαρακτηριστικών σχήματος. Στόχος είναι η αξιολόγηση των Τεχνικών Σύγκρισης Σχημάτων και η αξιοποίηση τους για ανάκτηση πολυμέσων. Αντίθετα, η εξαγωγή πληροφοριών σχήματος περιορίζεται μόνο στην κάλυψη των αναγκών στις συγκεκριμένες εφαρμογές που παρουσιάζονται. Με τον τρόπο αυτό, ανάγουμε το πρόβλημα της ανάκτησης πολυμέσων με βάση το σχήμα σε πρόβλημα ανάκτησης ομοίων σχημάτων.

Η ανάκτηση ομοίων σχημάτων αντιμετωπίζεται με ολοκληρωμένο, θεωρητικό αλλά και πρακτικό, τρόπο. Κατ' αρχάς αξιολογούνται οι ήδη υπάρχουσες τεχνικές σύγκρισης σχημάτων ως προς την αποδοτικότητα και τη δυνατότητα εφαρμογής τους. Έπειτα, προτείνεται μια καινούργια τεχνική σύγκρισης σχημάτων, η Διαφορά Γωνίας Στροφής, η οποία αποδεικνύεται αποτελεσματική και αποδοτική για πολλά και διαφορετικά προβλήματα. Ακόμα, ορίζεται και υλοποιείται μια αρχιτεκτονική αναζήτησης σχημάτων, η οποία μπορεί να αξιοποιήσει ένα σύνολο από διαφορετικές τεχνικές σύγκρισης σχημάτων. Η αρχιτεκτονική αυτή, η οποία παρουσιάζεται για πρώτη φορά στα πλαίσια της βιβλιοθήκης για ανάκτηση όμοιων σχημάτων GCV, έχει δυνατότητες επέκτασης και ενσωμάτωσης σε άλλα συστήματα. Τέλος, παρουσιάζονται εφαρμογές που χρησιμοποιούν όλες τις προτεινόμενες καινοτομίες για τη σύνθεση διο-

διάστατων και τρισδιάστατων πολυμεσικών προϊόντων. Οι εφαρμογές αυτές καταδεικνύουν την αποτελεσματικότητα των προτεινόμενων μεθόδων, αλλά και την επίδραση που μπορούν αυτές να έχουν στον τρόπο με τον οποίο χειριζόμαστε έως σήμερα τα πολυμεσικά δεδομένα.

Εν τέλει, η διατριβή αυτή έχει ως στόχο να βοηθήσει δευτερευόντως όχι μόνο τη θεωρητική εξέλιξη του τομέα της ανάκτησης πολυμέσων αλλά και την πρακτική υλοποίηση συστημάτων που να στηρίζονται στον τομέα αυτό. Για το λόγο αυτό, μεγάλο μέρος των παραδοτέων της διατριβής αυτής είναι ελεύθερα διαθέσιμα στο διαδίκτυο. Οι ενδιαφερόμενοι αναγνώστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα προτεινόμενα συστήματα για πειραματισμό, για εξαγωγή δεδομένων, καθώς και για επέκτασή τους. Επιπρόσθετα, μπορούν να μελετήσουν την τεκμηρίωσή τους, η οποία συμπληρώνει τα στοιχεία που παρέχονται από την παρούσα διατριβή. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ο συγγραφέας ελπίζει να συμβάλλει στην περαιτέρω ανάπτυξη ολοκληρωμένων συστημάτων, τα οποία να υιοθετούν αρχιτεκτονικές ανάκτησης πολυμέσων με βάση το σχήμα και γενικότερα με βάση το περιεχόμενο.

9.1 Πεδία περαιτέρω έρευνας

Εξακολουθούν να υπάρχουν πολλές προκλήσεις στον τομέα ανάκτησης πολυμέσων. Κάποιες από αυτές μπορούν να αντιμετωπιστούν εν μέρει από τα προϊόντα αυτής της διατριβής και εν μέρει από ήδη υπάρχοντα αποτελέσματα σε διαφορετικούς τομείς έρευνας.

Μια πρόκληση αποτελεί η εφαρμογή των προτεινόμενων τεχνολογιών για αναζήτηση πηγών πολυμέσων που προέρχονται από το διαδίκτυο. Κατά τη διάρκεια της διατριβής αυτής προτάθηκαν και υλοποιήθηκαν αυτόνομες τεχνολογίες, οι οποίες αφορούν στην επεξεργασία και την ανάκτηση πολυμέ-

σων. Για την ανάκτηση συγκεκριμένων πηγών πολυμέσων (όπως τρισδιάστατα μοντέλα ή εικόνες συγκεκριμένου τύπου) από το διαδίκτυο και γενικά από δικτυακές πλατφόρμες απαιτείται μόνο η υλοποίηση ενός συστήματος ανίχνευσης τέτοιων πηγών πολυμέσων (spider) και η ενσωμάτωση όλων των απαιτούμενων υποσυστατικών σε ένα σύστημα διαχείρισης πληροφοριών Πολυμέσων. Με την κατασκευή ενός τέτοιου συστήματος θα είναι δυνατή η ανάκτηση πληροφοριών με βάση το σχήμα, με τον ίδιο τρόπο που οι σημερινές μηχανές αναζήτησης, όπως η Google [8], ανακτά πληροφορίες στο διαδίκτυο με βάση το κείμενο.

Λαμβάνοντας υπόψη τις τεράστιες απαιτήσεις των διαδικασιών ανάλυσης και ανάκτησης πολυμέσων, γίνεται αντιληπτό ότι θα υπάρχει πάντα ανάγκη για περισσότερους πόρους επεξεργασίας και αποθήκευσης των δεδομένων που χρησιμοποιούν αυτές οι διαδικασίες. Όσον αφορά την επεξεργασία των δεδομένων, αποτελεί στόχο για τη συνέχεια της παρούσας έρευνας η αξιοποίηση τεχνολογιών παράλληλης ή/και κατανεμημένης επεξεργασίας. Στα πλαίσια της προσπάθειας αυτής, έχει ήδη ξεκινήσει η ανάπτυξη ενός συστήματος αυτόματης επεξεργασίας και ανάκτησης πολυμέσων με βάση το περιεχόμενο, η οποία στηρίζεται σε τεχνολογίες Ψπολογιστικού Πλέγματος (Grid). Με τη χρήση των τεχνολογιών Υπολογιστικού Πλέγματος είναι δυνατή η αξιοποίηση υπολογιστικών και αποθηκευτικών πόρων πολλών υπολογιστών ταυτόχρονα, με αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας του συστήματος και την αντιμετώπιση προβλημάτων έλλειψης αποθηκευτικού χώρου.

Επιπλέον, η αξιοποίηση του ιστορικού των αποτελεσμάτων αναζήτησης (relevance feedback) μπορεί να βελτιώσει σημαντικά, έως και δραματικά, την απόδοση των προτεινόμενων συστημάτων. Ένα πρόβλημα, το οποίο δεν έχει ακόμα αντιμετωπιστεί, είναι η αυτόματη ομαδοποίηση (clustering) των πολυμέσων με βάση τα αποτελέσματα της αναζήτησης από μια μηχανή αναζή-

τησης, όπως αυτές που περιγράφονται σε διάφορα σημεία της διατριβής. Με τη χρήση των αποτελεσμάτων από προηγούμενες αναζητήσεις καθίσταται δυνατή η ανάπτυξη έμπειρων συστημάτων, τα οποία θα επιτυγχάνουν καλύτερη ταχύτητα και ακρίβεια αποτελεσμάτων με λιγότερους πόρους.

Εν τέλει, μελλοντική εργασία θα έχει σίγουρα ως στόχο την ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών και συστημάτων που θα εξυπηρετούν νέες ανάγκες στους τομείς της αυτόματης ανάλυσης, αναζήτησης αλλά και συγγραφής πολυμέσων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] ibm's bd2 content manager. <http://www-306.ibm.com/software/data/cm/cmgr/mp/>.
- [2] jni tutorial. <http://java.sun.com/docs/books/tutorial/native1.1/>.
- [3] libxml2 library. <http://www.xmlsoft.org/>.
- [4] mpeg-7 overview. <http://www.chiariglione.org/mpeg/standards/mpeg-7/mpeg-7.htm>.
- [5] opencv library. <http://www.intel.com/research/mrl/research/opencv/>.
- [6] opengl library. <http://www.opengl.org/>.
- [7] retrievalware tool product report. <http://www.searchtools.com/tools/retrievalware.html>.
- [8] the google search engine. <http://www.google.com>.
- [9] the hermitage museum digital library.
<http://www.heritagemuseum.org/cgi-bin/db2www/qbicSearch.mac/qbic?selLang=En>
- [10] the python programming language. <http://www.python.org/>.
- [11] the tool command language and tk toolkit home.
<http://tcl.sourceforge.net/>.

- [12] virage, inc web site. <http://www.virage.com/>.
- [13] vs archive content management system.
<http://www.virage.com/solutions/details.html?solutionID=5&categoryID=1&products=0>
- [14] w3c xml page. <http://www.w3.org/XML/>.
- [15] w3c xslt page. <http://www.w3.org/TR/xslt>.
- [16] web page with definition of gaussian distribution.
http://en.wikipedia.org/wiki/Normal_distribution.
- [17] Excalibur sdk: Technical characteristics sheet. www-3.ibm.com/software/data/informix/pubs/techbriefs/excalibur2.pdf.
- [18] Jeffrey R. Bach, Charles Fuller, Amarnath Gupta, Arun Hampapur, Bradley Horowitz, Rich Humphrey, Ramesh C. Jain, and Chiao-Fe Shu. Virage image search engine: an open framework for image management. *Storage and Retrieval for Still Image and Video Databases IV*, 2670(1):76–87, 1996.
- [19] D. H. Ballard and C. M. Brown. *Computer Vision*. Prentice Hall, 1982.
- [20] Henning Bassmann and Philipp W. Besslich. *Ad Oculos Digital Image Processing*. Thomson Publishing, 95.
- [21] R. Duda and P. Hart. *Pattern Classification and Scene Analysis*. John Wiley, 1973.
- [22] A. Henrich and G. Robbert. Mars: A retrieval service for multimedia authoring environments. In *ADBIS-DASFAA Symposium*, pages 88–98, 2000.

- [23] A. Pentland, R. W. Picard, and S. Sclaroff. Photobook: Tools for content-based manipulation of databases. *In Proc. Storage and Retrieval for Image and Video Databases II, SPIE*, 185:34–47, 1994.
- [24] Abbasi S., Mokhtarian F., and Kittler F. Curvature scale space image in shape similarity retrieval. *Multimedia Systems*, 7(6), 1999.
- [25] Agouris P. and Stefanidis A. Sketch-based image retrieval in an integrated gis environment. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 32:597–604, September 1998. Part IV.
- [26] Andreou I. G computer vision library. <http://thalis.cs.unipi.gr/~gandreou/gcv/index.html>.
- [27] Andreou I. Sr-3deditor 3d scene synthesis application page. http://thalis.cs.unipi.gr/~gandreou/sr_3deditor/index.html.
- [28] Andreou I. Sr-sketch sketch creation application page. http://thalis.cs.unipi.gr/~gandreou/sr_sketch/index.html.
- [29] Andreou I. and Sgouros N. M. Utilizing shape retrieval in sketch synthesis. To be published in *Multimedia Tools and Applications*.
- [30] Andreou I. and Sgouros N. M. Sketch creation utilizing shape matching techniques. *In IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, volume 1, pages 153–156, July 2003. Baltimore, USA.
- [31] Andreou I. and Sgouros N. M. Computing, explaining and visualizing shape similarity in content-based image retrieval. *Information Processing and Management*, 41(5):1121–1139, 2005.

- [32] Andreou I. and Sgouros N. M. Gcv library: A complete toolkit for shape-based image retrieval. In *17th IMACS World Congress*, July 2005. Paris, France.
- [33] Andreou I. and Sgouros N. M. Shape-based retrieval of 3d models in scene synthesis. In *International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, volume 4, pages 3124–3129, October 10-12 2005. Hawaii, USA.
- [34] Anil K. Jain and Aditya Vailaya. Image retrieval using color and shape. *Pattern Recognition*, 2(3):375–393, 1996.
- [35] Arkin E. M. et al. An efficiently computable metric for comparing polygonal shapes. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1991.
- [36] Barton J. and Love D. Retrieving designs from a sketch using an automated gt coding and classification system. In *IEPM2003*, 2003. Porto.
- [37] Bimbo A. D. and P. Pala. Visual image retrieval by elastic matching of user sketches. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 19(2), 1997.
- [38] Chan Yuk Ming. *Shape Based Image Retrieval in Iconic Image Databases*. PhD thesis, Chinese University of Hong Hong, June 1999.
- [39] Cho-Huak Teh and Ronald T. Chin. On image analysis by the methods of moments. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 10(4):496–513, 1988.

- [40] D. Koller, J. Weber, and J. Malik. Robust multiple car tracking with occlusion reasoning. In *ECCV*, pages 189–196, May 2000. LNCS 800, Springer-Verlag.
- [41] Davis L., Young L., and Fu K. S. *Handbook of Pattern Recognition and Image Processing*. Prentice Hall, 1986.
- [42] Del Bimbo A. and Pala P. Shape indexing by structural properties. In *Int. Conf. on Multimedia Computing and Systems*, 1997. Ottawa, Canada.
- [43] Di Sciascio E. and Mongiello M. Query by sketch and relevance feedback for content-based image retrieval over the web. *Journal of Visual Languages and Computing, special issue on Distributed Multimedia Systems*, 10(6), 1999.
- [44] D.Y. Chen, X.P. Tian, Y.T. Shen, and M. Ouhyoung. On visual similarity based 3d model retrieval. In *EUROGRAPHICS*, volume 22, 2003.
- [45] Eakins P. Automatic image content retrieval – are we getting anywhere? In *Third Int. Conf. on Electronic Library and Visual Information (ELVIRA3)*, pages 123–135, 1996.
- [46] Gene C.-H. Chuang and C.-C. Jay Kuo. Wavelet descriptor of planar curves. *IEEE Transactions on Image Processing*, 5(1), January 1996.
- [47] Gold S. *Matching and Learning Structural and Spatial Representations with Neural Networks*. PhD thesis, Yale University, 1995.
- [48] Goshtasby A. Description and discrimination of planar shapes using shape matrices. *IEEE Transactions on PAMI*, 7:738–743, 1985.

- [49] Holden E. J. and Owens R. Representing the finger-only topology for hand shape recognition. *Machine Graphics & Vision Journal*, 12(2):187-202, 2003.
- [50] Huttenlocher D. and Ullman S. Object recognition using alignment. In *International Conference on Computer Vision*, page 102-111, June 1-3 1987. London.
- [51] K. Hirata and T. Kato. Query by visual example, content based image retrieval. In: *Lecture Notes in Computer Science*, 580:56-71, 1992.
- [52] Kartikeyan B. and Sarkar A. Shape description by time series. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 11:977-984, 1989.
- [53] Kashyap R. and Chellappa R. Stochastic models for closed boundary analysis: Representation and reconstruction. *IEEE Transactions on Information Theory*, 27:627-737, 1981.
- [54] Shpitalni M. Lipson H. Correlation-based reconstruction of a 3d object from a single freehand sketch. In *AAAI Spring Symposium on Sketch Understanding*, pages 99-104, 2002.
- [55] Loncaric S. A survey on shape analysis techniques. *Pattern Recognition*, 31(8), 1998. Elsevier.
- [56] Nevatia R. *Shape Analysis and Recognition*. Prentice Hall, 1982.
- [57] Niblack W. and Yin J. A pseudo-distance measure for 2-d shapes based on turning angle. In *Image Processing*, 1995. Washington DC.

- [58] Niblak W. et al. The qbic project: Querying images by content using color, texture, and shape. *In Storage and Retrieval for Image and Video Databases, SPIE*, 1908:173–182, 1993.
- [59] O. E. Badawy and M. Kamel. Shape-based image retrieval applied to trademark images. *International Journal of Image and Graphics*, 2(3):375–393, 2002.
- [60] Paul W.H. Kwan, Keisuke Kameyama, and Kazuo Toraichi. On a relaxation-labeling algorithm for real-time contour-based image similarity retrieval. *Image and Vision Computing*, 21(3):285–294, 2003.
- [61] Pavlidis T. A review of algorithms for shape analysis. *Computer Graphics and Image Processing*, 7:301–312, 1978.
- [62] Philip Shilane, Patrick Min, Michael Kazhdan, and Thomas Funkhouser. The princeton shape benchmark. In *Shape Modeling International*, 2004. Genova, Italy, <http://shape.cs.princeton.edu/benchmark/>.
- [63] R. Palaniappan, P. Raveendran, and S. Omatu. New invariant moments for non-uniformly scaled images. *Pattern Analysis and Applications*, 3:78–87, 2000.
- [64] S. Belongie, J. Malik, and J. Puzicha. Shape matching and object recognition using shape contexts. *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 21(24):509–522, April 2002.
- [65] S. Sclaroff and A. P. Pentland. Search by shape examples: Modeling nonrigid deformation. 1994.

- [66] Sclaroff S. and Pentland A. P. Modal matching for correspondence and recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 17(6), June 1995.
- [67] Smith J.R. and Chang S.F. Visualeek: a fully automated content-based image query system. In *In: Proc. of ACM Multimedia'96*, 1996.
- [68] Stockman G. Object recognition and localization via pose clustering. *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, 40(3):361-387, 1987.
- [69] Veltkamp R. C. Similarity measures and algorithms. In *Int. Conf. on Shape Modeling and Applications (SMI)*, pages 370-377, 2001. Genova Italy.
- [70] Wolfson H. and Rigoutsos I. Geometric hashing: an overview. *IEEE Computation Science and Engineering*, pages 10-21, October-December 1997.
- [71] W.Y. Ma and B. Manjunath. Netra: A toolbox for navigating large image databases. *Multimedia Systems*, 7(3):184-198, 1999.
- [72] Y. Rui, A.C. She, and T.S. Huang. Modified fourier descriptors for shape representation-a practical approach. In *First workshop on image databases and multimedia search*, 1996.
- [73] Y.S. Kim and W.Y. Kim. Content-based trademark retrieval system using a visually salient feature. 1997.
- [74] Zhang D. S. and Lu G. A comparative study on shape retrieval using fourier descriptors with different shape signatures. In *Intelligent*

- Multimedia and Distance Education (ICIMADE01)*, pages 1–9, June 1–3 2001. Fargo, ND, USA.
- [75] R. Haralick and L. Shapiro. *Computer and Robot Vision*, vol. 1. Addison Wesley, 1992.
- [76] R. Haralick and L. Shapiro. *Computer and Robot Vision*, vol. 2. Addison Wesley, 1992.
- [77] B. Horn. *Robot Vision*. MIT Press and McGraw-Hill, 1986.
- [78] A. K. Jain. *Fundamentals of Digital Image Processing*. Prentice Hall, 1989.
- [79] M. Levine. *Vision in Man and Machine*. McGraw-Hill, 1985.
- [80] R. Nevatia. *Machine Perception*. Prentice Hall, 1982.
- [81] R. Osada, T. Funkhouser, B. Chazelle, and D. Dobkin. Matching 3d models with shape distributions. In *International Conference on Shape Modeling and Applications*, pages 154–166, May 2001.
- [82] S. E. Palmer. *Vision Science: Photons to Phenomenology*. MIT Press, June 1999.
- [83] John Papadakis, Ioannis Andreou, and Vassileios Chrissikopoulos. Interactive search results. *Lecture Notes In Computer Science*, 2458:448–462, 2002.
- [84] J. R. Parker. *Algoritms for Image Processing and Computer Vision*. John Wiley, 1997.
- [85] Maria Petrou and Panagiota Bosdogianni. *Image Processing, The Fundamentals*. John Wiley, 1999.

- [86] A. Rosenfeld and A. C. Kak. *Digital Image Processing, 2nd Ed., vol.1.* Academic Press, 1982.
- [87] A. Rosenfeld and A. C. Kak. *Digital Image Processing, 2nd Ed., vol.2.* Academic Press, 1982.
- [88] R. Schalkoff. *Digital Image Processing and Computer Vision.* John Wiley, 1989.
- [89] Linda J. Shapiro and George C. Stockman. *Computer Vision.* Prentice Hall, 2001.
- [90] S. Ulman. *Higher Level Vision.* MIT Press, 1995.
- [91] I. Young and editors K. S. Fu. *Handbook of Pattern Recognition and Image Processing.* Academic Press, 1986.
- [92] Hao Zhang and Eugene Fiume. Shape matching of 3-d contours using normalized fourier descriptors. In *Shape Modeling International*, pages 261-270, 2002.

ΔΗΜΟΣΙΕΥΜΕΝΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

- [1] Andreou I. and Sgouros N. M. Utilizing shape retrieval in sketch synthesis. To be published in *Multimedia Tools and Applications* journal.
- [2] Andreou I. and Sgouros N. M. Sketch creation utilizing shape matching techniques. In *IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, July 2003. Baltimore, USA.
- [3] Andreou I. and Sgouros N. M. Computing, explaining and visualizing shape similarity in content-based image retrieval. *Information Processing and Management*, 41(5):1121-1139, 2005.
- [4] Andreou I. and Sgouros N. M. Gcv library: A complete toolkit for shape-based image retrieval. In *17th IMACS World Congress*, July 2005. Paris, France.
- [5] Andreou I. and Sgouros N. M. Shape-based retrieval of 3d models in scene synthesis. In *International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, October 10-12 2005. Hawaii, USA.

Ευρετήριο

- GCV, 35
- SR-3DEditor, 36, 195
- SR-Sketch, 35, 166
- CBIR, 111
- CSS, 57
- Circularity, 48
- Content Based Image Retrieval, 111
- Convexity, 48
- Curvature Scale Space, 57
- Eccentricity, 50
- Fourier Descriptors, 52
- G Computer Vision library
- Ορισμός, 119
- GCV, 119
- Geometric Moments, 44
- Matcher, 126
- Moments, 43
- Normalized Moments, 44
- PDB, 128
- TFD, 62
- Turning Function Difference, 62
- angleErr, 69
- descriptor, 41
- distanceErr, 72
- matchSet, 70
- minLength, 69
- minScore, 69
- rotationErr, 73
- ΑΕΒΠ, 111
- Ανάκτηση Εικόνας με Βάση το Περιεχόμενο, 111
- Βάση Δεδομένων Σχημάτων, 128
- ΒΔΣ, 128
- ΔΓΣ, 34
- βλ. Διαφορά Γωνίας Στροφής, 62
- Διαφορά Γωνίας Στροφής, 34
- Ορισμός, 62
- Εικόνα ΧΚΚ, 59
- Εκκεντρότητα, 50
- Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά, 48

- Γεωμετρικές Ροπές, 44
ΓΧ, 48
- Κανονικοποιημένες Ροπές, 44
Κυκλικότητα, 48
Κυριότητα, 48
- Ολικές ΤΣΣ, 42
- Περιγραφές Φουριέ, 52
περιγραφή, 41
Περιγραφή Φουριέ Με Καμπυλότητα,
56
Περιγραφή Φουριέ Με Κεντρική Από-
σταση, 55
Περιγραφή Φουριέ Με Μιγαδικές Συν-
τεταγμένες, 53
- ΠΦ, 52
ΠΦΜΚ, 56
ΠΦΜΚΑ, 55
ΠΦΜΜΣ, 53
προεπεξεργασία σχημάτων, 66
- Χώρος Καμπυλότητας Κλίμακας, 57
ΧΚΚ, 57
- Ροπές, 43
- Συνάρτηση Γωνίας Στροφής, 65
- Τεχνικές Εσωτερικών Σημείων, 42
Τεχνικές Περιγράμματος, 42
Τεχνικές Σύγκρισης Σχημάτων, 39
Τοπικές ΤΣΣ, 42
ΤΣΣ, 39