

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
Τμήμα Διδακτικής της Τεχνολογίας και Ψηφιακών Συστημάτων

**ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ
ΚΑΤΑΝΟΜΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΣΥΝΙΣΤΩΣΩΝ ΣΕ
ΦΥΣΙΚΕΣ ΟΝΤΟΤΗΤΕΣ**

Κομηνού Αντωνία

Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

Νοέμβριος 2007

Αφιερώνεται στην οικογένεια μου

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΡΠΛΙΑ

Πρόλογος

Η εξέλιξη των ασύρματων δικτύων επικοινωνιών οδήγησε σε συστήματα πέραν της τρίτης γενιάς (Beyond 3G - B3G). Οι απαιτήσεις για υψηλές ταχύτητες και ποιότητα παροχής υπηρεσιών, οδήγησαν στα προσαρμοστικά δίκτυα (Adaptive Networks). Τα δίκτυα αυτά έχουν τη δυνατότητα να αναδιαρθρώνονται δυναμικά προκειμένου να προσαρμοστούν στις απαιτήσεις του περιβάλλοντος. Στα πλαίσια της ανάπτυξης και εξέλιξης των προσαρμοστικών δικτύων, έχει προκύψει ένας νέος ερευνητικός τομέας που αφορά την δυναμική ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών σε φυσικές οντότητες του δικτύου. Βασικός στόχος της ανάθεσης είναι η αποδοτική διαχείριση των υπηρεσιών και των στοιχείων του δικτύου, με την κατάλληλη εκμετάλλευση των πόρων του. Η ερευνητική δραστηριότητα σε αυτό τον τομέα έχει να επιδείξει διάφορα μοντέλα ανάθεσης λειτουργικών συνιστωσών σε στοιχεία δικτύου όπως, μοντέλο ανάθεσης, βασισμένο σε AI planning τεχνικές, μοντέλο δυναμικής ανάθεσης στα πλαίσια end-to-end εφαρμογών, μοντέλο κλιμακωτής και ιεραρχικής ανάθεσης λειτουργικών συνιστωσών, μοντέλο αυτόνομης κατανομής λειτουργικών συνιστωσών

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής έχει υλοποιηθεί αλγόριθμος βελτιστοποίησης, ο οποίος βασισμένος σε χαρακτηριστικά των λειτουργικών συνιστωσών και των διαθέσιμων πόρων που εμπλέκονται, πραγματοποιεί εξαντλητική αναζήτηση όλων των δυνατών κατανομών, προκειμένου να εντοπίσει την κατανομή που εξασφαλίζει την αποδοτικότερη χρήση των διαθέσιμων πόρων και παράλληλα εξασφαλίζει την ορθή λειτουργία των υπηρεσιών που παρέχουν οι λειτουργικές συνιστώσες.

Ευχαριστίες

Καταρχάς θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα επίκουρο καθηγητή της διπλωματικής μου κ. Παναγιώτη Δεμέστιχα, που μου έδωσε τη δυνατότητα μέσω αυτής της εργασίας, να ασχοληθώ με αυτό τον τομέα. Επίσης τη λέκτορα Βέρα Σταυρουλάκη, για την καθοδήγησή και την αμέριστη βοήθειά της κατά την εκπόνηση αυτής της εργασίας.

Θέλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου που με στήριξε όλο αυτό το διάστημα, προσφέροντας ότι μπορούσε προκειμένου να ασχοληθώ αποκλειστικά με τα ακαδημαϊκά μου καθήκοντα.

Τέλος και περισσότερο θα ήθελα να ευχαριστήσω το συνάδελφο και φίλο μου Άγγελο Σατσάκη, που με την ηθική του συμπαράσταση πρωτίστως, και έπειτα με την εμπειρία του σε αυτό τον τομέα, και τα εύστοχα σχόλιά του συνέβαλλε εποικοδομητικά σε αρκετές φάσεις της εργασίας.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	i
Ευχαριστίες	ii
Περιεχόμενα.....	iii
Κατάλογος Εικόνων.....	v
Κατάλογος Πινάκων	vii
1. Εισαγωγή.....	1
1.1. Εξέλιξη δικτύων.....	1
1.2. Δυναμική ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών σε φυσικές οντότητες.....	3
1.3. Ερευνητική Δραστηριότητα.....	4
1.4. Ερευνητική Κατεύθυνση.....	5
1.5. Περιοχές εφαρμογής	6
1.5.1. B3G Infrastructures.....	6
1.5.2 Ασφάλεια	10
2. Αρχιτεκτονική Συστήματος	11
2.1. Εισαγωγή.....	11
2.2. Εφαρμογή του SDMP σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα B3G.....	14
3. Περιγραφή του προβλήματος ανάθεσης λειτουργικών συνιστωσών της αρχιτεκτονικής ενός συστήματος σε φυσικές οντότητες	17
3.1. Γενική Περιγραφή.....	17
3.2. Συμβολική Περιγραφή	18
3.2.1. Δεδομένα Εισόδου	18
3.2.2. Αντικειμενικοί Στόχοι.....	19
3.2.3. Περιορισμοί	19
3.3. Μαθηματική Περιγραφή.....	20
3.4. Λύση Προβλήματος	21
3.4.1. Phase 1 – Input (Initialization).....	22
3.4.2. Phase 2 – Διεξοδική Αναζήτηση (Exhaustive search).....	22
3.4.3. Phase 3 – Output	24
4. Αποτελέσματα.....	25
4.1. Σενάριο 1: Μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους ως προς τη μεταβολή του πλήθους των λειτουργικών συνιστωσών	25
4.1.1. Σενάριο 1A: Μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους ως προς τη μεταβολή του πλήθους των λειτουργικών συνιστωσών	28
4.2. Σενάριο 2: Μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους ως προς τη μεταβολή του φορτίου των λειτουργικών συνιστωσών.....	32
4.2.1. Σενάριο 2A: Μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους ως προς τη μεταβολή του φορτίου των λειτουργικών συνιστωσών.....	36
4.3. Σενάριο 3: Μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους ως προς τη μεταβολή της χωρητικότητας των φυσικών οντοτήτων	40
4.3.1. Σενάριο 3A: Μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους ως προς τη μεταβολή της χωρητικότητας των φυσικών οντοτήτων	44
4.4. Σενάριο 4: Μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους ως προς τη μεταβολή του signaling μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών.....	48
4.4.1. Σενάριο 4A: Μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους ως προς τη μεταβολή του signaling μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών.....	51

4.5. Σενάριο 5: Μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους ως προς τη μεταβολή του signaling μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών και της χωρητικότητας των φυσικών οντοτήτων	56
4.6 Σενάριο 6: Μεταβολή της τελικής κατανομής λειτουργικών συνιστωσών σε συνάρτηση με το πλήθος τους	61
5. Υλοποίηση Λογισμικού για την επίλυση προβλήματος ανάθεσης λειτουργικών συνιστωσών αναδιαρθρώμενων συστημάτων σε φυσικές οντότητες	67
5.1. Περιγραφή Οθονών	67
5.1.1. Δημιουργία Νέου Σεναρίου	67
5.1.2. Αποθήκευση Σεναρίου	70
5.1.3. Άνοιγμα Σεναρίου	71
5.2. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων	73
5.2.1. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση του Σεναρίου 1	73
5.2.1.1. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση του Σεναρίου 1Α	75
5.2.2. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση του Σεναρίου 2	77
5.2.2.1. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση του Σεναρίου 2Α	79
5.2.3. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση του Σεναρίου 3	81
5.2.3.1. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση του Σεναρίου 3Α	83
5.2.4. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση του Σεναρίου 4	85
5.2.4.1. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση του Σεναρίου 4Α	87
5.2.5. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση του Σεναρίου 5	89
5.2.6. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση του Σεναρίου 6	91
6. Συμπεράσματα	93
7. Ερευνητικά Ζητήματα	94
7.1. Μελλοντικές επεκτάσεις συστήματος	94
7.2. Service Nodes Pooling Concept	95
7.3. Utilization Cost	96
7.4. Optimized Agents	96
Βιβλιογραφία	98
Ακρωνύμια	101

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1: Αρχιτεκτονική Πλατφόρμας Διαχείρισης.....	13
Εικόνα 2: SDMP στα πλαίσια ενός reconfigurable συστήματος.....	14
Εικόνα 3: Γενική περιγραφή προβλήματος ανάθεσης λειτουργικών οντοτήτων C σε φυσικές οντότητες SN.....	18
Εικόνα 4: Βασικές φάσεις και επιμέρους βήματα διαδικασίας ανάθεσης.....	22
Εικόνα 5: Εξέλιξη της τιμής της συνάρτησης κόστους με την αύξηση του αριθμού των λειτουργικών συνιστωσών, για το σενάριο 1.....	27
Εικόνα 6: Εξέλιξη της τιμής της συνάρτησης κόστους με την αύξηση του αριθμού των λειτουργικών συνιστωσών, για το σενάριο 1A.....	31
Εικόνα 7: Εξέλιξη της τιμής της συνάρτησης κόστους με τη μεταβολή του φορτίου των λειτουργικών συνιστωσών, για το σενάριο 2.....	35
Εικόνα 8: Εξέλιξη της τιμής της συνάρτησης κόστους με τη μεταβολή του φορτίου των λειτουργικών συνιστωσών, για το σενάριο 2A.....	39
Εικόνα 9: Εξέλιξη της τιμής της συνάρτησης κόστους με βάση τη μεταβολή της χωρητικότητας κάθε φυσικής οντότητας SN, για το σενάριο 3.....	43
Εικόνα 10: Εξέλιξη της τιμής της συνάρτησης κόστους με βάση τη μεταβολή της χωρητικότητας κάθε φυσικής οντότητας SN, για το σενάριο 3A.....	47
Εικόνα 11: Εξέλιξη της τιμής της συνάρτησης κόστους με τη μεταβολή του κόστους επικοινωνίας μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών, για το σενάριο 4.....	50
Εικόνα 12: Εξέλιξη της τιμής της συνάρτησης κόστους με τη μεταβολή του κόστους επικοινωνίας μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών, για το σενάριο 4A.....	55
Εικόνα 13: Εξέλιξη της τιμής της συνάρτησης κόστους με τη μεταβολή του signaling , για το σενάριο 5.....	60
Εικόνα 14: Βασικές Λειτουργίες Λογισμικού.....	67
Εικόνα 15: Δημιουργία Νέου Σεναρίου.....	68
Εικόνα 16: Οθόνη βασικών χαρακτηριστικών λειτουργικών συνιστωσών (Components).....	69
Εικόνα 17: Οθόνη βασικών χαρακτηριστικών φυσικών οντοτήτων (SN).....	69
Εικόνα 18: Οθόνη αποτελεσμάτων.....	70
Εικόνα 19: Οθόνη εισαγωγής ονόματος νέου σεναρίου.....	71
Εικόνα 20: Οθόνη επιβεβαίωσης αποθήκευσης σεναρίου.....	71
Εικόνα 21: Οθόνη με ενδεικτικές τιμές των χαρακτηριστικών των λειτουργικών συνιστωσών.....	72
Εικόνα 22: Οθόνη με ενδεικτικές τιμές των χαρακτηριστικών των φυσικών οντοτήτων.....	72
Εικόνα 24: Αποτελέσματα για την περίπτωση 2, του σεναρίου 1.....	74
Εικόνα 25: Αποτελέσματα για την περίπτωση 3, του σεναρίου 1.....	74
Εικόνα 26: Αποτελέσματα για την περίπτωση 1, του σεναρίου 1A.....	75
Εικόνα 27: Αποτελέσματα για την περίπτωση 2, του σεναρίου 1A.....	76
Εικόνα 28: Αποτελέσματα για την περίπτωση 3, του σεναρίου 1A.....	76
Εικόνα 29: Αποτελέσματα για την περίπτωση 1, του σεναρίου 2.....	77
Εικόνα 30: Αποτελέσματα για την περίπτωση 2, του σεναρίου 2.....	78
Εικόνα 31: Αποτελέσματα για την περίπτωση 3, του σεναρίου 2.....	78
Εικόνα 32: Αποτελέσματα για την περίπτωση 1, του σεναρίου 2A.....	79
Εικόνα 33: Αποτελέσματα για την περίπτωση 2, του σεναρίου 2A.....	80
Εικόνα 34: Αποτελέσματα για την περίπτωση 3, του σεναρίου 2A.....	80

Εικόνα 36: Αποτελέσματα για την περίπτωση 2, του σεναρίου 3	82
Εικόνα 37: Αποτελέσματα για την περίπτωση 3, του σεναρίου 3	82
Εικόνα 38: Αποτελέσματα για την περίπτωση 1, του σεναρίου 3Α	83
Εικόνα 39: Αποτελέσματα για την περίπτωση 2, του σεναρίου 3Α	84
Εικόνα 40: Αποτελέσματα για την περίπτωση 3, του σεναρίου 3Α	84
Εικόνα 41: Αποτελέσματα για την περίπτωση 1, του σεναρίου 4	85
Εικόνα 42: Αποτελέσματα για την περίπτωση 2, του σεναρίου 4	86
Εικόνα 43: Αποτελέσματα για την περίπτωση 3, του σεναρίου 4	86
Εικόνα 44: Αποτελέσματα για την περίπτωση 1, του σεναρίου 4Α	87
Εικόνα 45: Αποτελέσματα για την περίπτωση 2, του σεναρίου 4Α	88
Εικόνα 46: Αποτελέσματα για την περίπτωση 3, του σεναρίου 4Α	88
Εικόνα 47: Αποτελέσματα για την περίπτωση 1, του σεναρίου 5	89
Εικόνα 48: Αποτελέσματα για την περίπτωση 2, του σεναρίου 5	90
Εικόνα 49: Αποτελέσματα για την περίπτωση 3, του σεναρίου 5	90
Εικόνα 50: Αποτελέσματα για την περίπτωση 1, του σεναρίου 6	91
Εικόνα 51: Αποτελέσματα για την περίπτωση 2, του σεναρίου 6	92

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Κόστη Επικοινωνίας για το σενάριο 1	25
Πίνακας 2: Απόσταση φυσικών οντοτήτων SN, για το σενάριο 1	26
Πίνακας 3: Φάση 3 – Αποτελέσματα, για το σενάριο 1	26
Πίνακας 4: Ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών C_i σε φυσικές οντότητες SN_j , για το σενάριο 1.....	28
Πίνακας 5: Φορτίο λειτουργικών συνιστωσών, για το σενάριο 1A	28
Πίνακας 6: Τιμές μεταβλητής r για κάθε λειτουργική συνιστώσα, για το σενάριο 1A	29
Πίνακας 7: Χωρητικότητα για κάθε φυσική οντότητα, για το σενάριο 1A.....	29
Πίνακας 8: Κόστη Επικοινωνίας, για το σενάριο 1A	30
Πίνακας 9: Απόσταση φυσικών οντοτήτων SN, για το σενάριο 1A	30
Πίνακας 10: Φάση 3 – Αποτελέσματα, για το σενάριο 1A	31
Πίνακας 11: Ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών C_i σε φυσικές οντότητες SN_j για το σενάριο 1A.....	32
Πίνακας 12: Φορτίο κάθε λειτουργικής συνιστώσας, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 2.....	33
Πίνακας 13: Φορτίο κάθε λειτουργικής συνιστώσας, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 2.....	33
Πίνακας 14: Φορτίο κάθε λειτουργικής συνιστώσας, για την περίπτωση 3 του σεναρίου 2.....	33
Πίνακας 15: Κόστη Επικοινωνίας, για το σενάριο 2	33
Πίνακας 16: Απόσταση φυσικών οντοτήτων SN, για το σενάριο 2	34
Πίνακας 17: Φάση 3 – Αποτελέσματα, για το σενάριο 2	34
Πίνακας 19: Τιμές μεταβλητής r για κάθε λειτουργική συνιστώσα, για το σενάριο 2A	36
Πίνακας 20: Χωρητικότητα για κάθε φυσική οντότητα, για το σενάριο 2A.....	37
Πίνακας 21: Φορτίο κάθε λειτουργικής συνιστώσας, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 2A.....	37
Πίνακας 22: Φορτίο κάθε λειτουργικής συνιστώσας, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 2A.....	37
Πίνακας 23: Φορτίο κάθε λειτουργικής συνιστώσας, για την περίπτωση 3 του σεναρίου 2A.....	38
Πίνακας 24: Κόστη Επικοινωνίας, για το σενάριο 2A	38
Πίνακας 25: Απόσταση φυσικών οντοτήτων SN, για το σενάριο 2A	38
Πίνακας 26: Φάση 3 – Αποτελέσματα, για το σενάριο 2A	39
Πίνακας 27: Ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών C_i σε φυσικές οντότητες SN_j , για το σενάριο 2A.....	40
Πίνακας 28: Χωρητικότητα φυσικών οντοτήτων, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 3	41
Πίνακας 29: Χωρητικότητα φυσικών οντοτήτων, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 3	41
Πίνακας 30: Χωρητικότητα φυσικών οντοτήτων, για την περίπτωση 3 του σεναρίου 3	41
Πίνακας 31: Κόστη Επικοινωνίας, για το σενάριο 3	41
Πίνακας 32: Απόσταση φυσικών οντοτήτων, για το σενάριο 3	42
Πίνακας 33: Φάση 3 - Αποτελέσματα, για το σενάριο 3	42

Πίνακας 35: Τιμές μεταβλητής r για κάθε λειτουργική συνιστώσα, για το σενάριο 3A	44
Πίνακας 37: Χωρητικότητα φυσικών οντοτήτων, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 3A	45
Πίνακας 38: Χωρητικότητα φυσικών οντοτήτων, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 3A	45
Πίνακας 39: Χωρητικότητα φυσικών οντοτήτων, για την περίπτωση 3 του σεναρίου 3A	45
Πίνακας 40: Κόστη Επικοινωνίας, για το σενάριο 3A	46
Πίνακας 41: Απόσταση φυσικών οντοτήτων, για το σενάριο 3A	46
Πίνακας 42: Φάση 3 - Αποτελέσματα, για το σενάριο 3A	47
Πίνακας 43: Ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών C_i σε φυσικές οντότητες SN_j για το σενάριο 3A	48
Πίνακας 44: Κόστος επικοινωνίας, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 4	49
Πίνακας 45: Κόστος επικοινωνίας, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 4	49
Πίνακας 46: Κόστος επικοινωνίας, για την περίπτωση 3 του σεναρίου 4	49
Πίνακας 47: Απόσταση μεταξύ φυσικών οντοτήτων, για το σενάριο 4	49
Πίνακας 48: Φάση 3 - Αποτελέσματα, για το σενάριο 4	50
Πίνακας 49: Ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών C_i σε φυσικές οντότητες SN_j για το σενάριο 4	51
Πίνακας 50: Τιμές μεταβλητής r κάθε λειτουργικής συνιστώσας, για το σενάριο 4A	52
Πίνακας 52: Χωρητικότητα κάθε φυσικής οντότητας, για το σενάριο 4A	52
Πίνακας 53: Κόστος επικοινωνίας, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 4A	53
Πίνακας 54: Κόστος επικοινωνίας, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 4A	53
Πίνακας 55: Κόστος επικοινωνίας, για την περίπτωση 3 του σεναρίου 4A	53
Πίνακας 56: Απόσταση μεταξύ φυσικών οντοτήτων, για το σενάριο 4A	54
Πίνακας 57: Φάση 3 - Αποτελέσματα, για το σενάριο 4A	54
Πίνακας 59: Τιμές μεταβλητής r κάθε λειτουργικής συνιστώσας, για το σενάριο 5	56
Πίνακας 60: Φορτίο κάθε λειτουργικής συνιστώσας, για το σενάριο 5	57
Πίνακας 61: Χωρητικότητα κάθε φυσικής οντότητας, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 5	57
Πίνακας 62: Χωρητικότητα κάθε φυσικής οντότητας, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 5	57
Πίνακας 63: Χωρητικότητα κάθε φυσικής οντότητας, για την περίπτωση 3 του σεναρίου 5	58
Πίνακας 64: Κόστος επικοινωνίας, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 5	58
Πίνακας 65: Κόστος επικοινωνίας, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 5	58
Πίνακας 66: Κόστος επικοινωνίας, για την περίπτωση 3 του σεναρίου 5	59
Πίνακας 67: Απόσταση d μεταξύ φυσικών οντοτήτων, για το σενάριο 5	59
Πίνακας 68: Φάση 3 – Αποτελέσματα, για το σενάριο 5	59
Πίνακας 70: Ποσοστό κατανομής τιμών μεταβλητής r των λειτουργικών συνιστωσών, για το σενάριο 6	62
Πίνακας 71: Τιμές μεταβλητής r λειτουργικών συνιστωσών, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 6	62
Πίνακας 72: Τιμές μεταβλητής r λειτουργικών συνιστωσών, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 6	62
Πίνακας 73: Ποσοστό κατανομής φορτίου λειτουργικών συνιστωσών, για το σενάριο 6	63
Πίνακας 74: Φορτίο λειτουργικών συνιστωσών, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 6	63

Πίνακας 75: Φορτίο λειτουργικών συνιστωσών, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 6	63
Πίνακας 76: Ποσοστό κατανομής χωρητικότητας των φυσικών οντοτήτων, για το σενάριο 6.....	63
Πίνακας 77: Χωρητικότητα φυσικών οντοτήτων, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 6.....	64
Πίνακας 78: Χωρητικότητα φυσικών οντοτήτων, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 6.....	64
Πίνακας 79: Κόστος επικοινωνίας μεταξύ λειτουργικών συνιστωσών, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 6.....	64
Πίνακας 80: Κόστος επικοινωνίας μεταξύ λειτουργικών συνιστωσών, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 6.....	64
Πίνακας 81: Απόσταση d μεταξύ φυσικών οντοτήτων, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 6.....	65
Πίνακας 82: Απόσταση d μεταξύ φυσικών οντοτήτων, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 6.....	65
Πίνακας 83: Φάση 3 – Αποτελέσματα, για το σενάριο 6	65
Πίνακας 84: Ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών C_i σε φυσικές οντότητες SN_j για το σενάριο 6.....	66

1. Εισαγωγή

1.1. Εξέλιξη δικτύων

Η ανάπτυξη των δικτύων ασύρματων επικοινωνιών προκειμένου να ικανοποιηθούν οι ολοένα αυξανόμενες ανάγκες των χρηστών για υπηρεσίες που θα παρέχονται σε υψηλές ταχύτητες και επίπεδα ποιότητας (Quality of Service, QoS) όπως οι πολυμεσικές υπηρεσίες (πχ video streaming) έχουν ορισμένες επιπτώσεις τόσο στους παρόχους των δικτύων όσο και στους χρήστες [14]. Οι επιπτώσεις για τους παρόχους είναι οι παρακάτω:

- **Μέγεθος δικτύου:** Η δυνατότητα παροχής υπηρεσιών σε ολοένα και περισσότερους χρήστες, με υψηλότερη ταχύτητα και αξιοπιστία, αναγκάζει τους παρόχους να εγκαθιστούν επιπλέον εξοπλισμό και στοιχεία δικτύου, αυξάνοντας έτσι το μέγεθος αυτού.
- **Πολυπλοκότητα:** Αναλογικά με το μέγεθος του δικτύου αυξάνεται η πολυπλοκότητα σε επίπεδο διασύνδεσης και επικοινωνίας των στοιχείων του δικτύου.
- **Καθυστέρηση:** Η πολυπλοκότητα του δικτύου αυξάνει το χρόνο απόκρισης του συστήματος, προκαλώντας καθυστέρηση στην παροχή υπηρεσιών προς τους χρήστες.
- **Κόστος:** Η πολυπλοκότητα του δικτύου, αυξάνει τις ανάγκες σε εξοπλισμό και κατ' επέκταση σε οικονομικές απαιτήσεις. Επιπλέον η μη αποδοτική χρήση των πόρων λόγω κακού σχεδιασμού του συστήματος αποτελεί ακόμη έναν λόγο για την αύξηση του κόστους προς τους παρόχους, ιδιαίτερα σε δίκτυα μεγάλου μεγέθους.
- **Δύσκολη διαχείριση:** Η διαχείριση σχετίζεται άμεσα με την πολυπλοκότητα και το μέγεθος του δικτύου. Όσο μεγαλύτερο είναι το δίκτυο τόσο περισσότερες πληροφορίες πρέπει να συλλεχθούν ώστε να ληφθούν υπόψη, και συνεπώς το αποτέλεσμα θα πρέπει να περιλαμβάνει περισσότερες αποφάσεις για την επίδοση και την αναδιάρθρωση του δικτύου.
- **Ασφάλεια:** Ανάλογα με το μέγεθος του δικτύου, αυξάνονται και τα σημεία πρόσβασης σε αυτό. Συνεπώς πρέπει να υπάρχει μια ολοκληρωμένη αρχιτεκτονική ασφαλείας που θα καλύπτει όλα τα σημεία πρόσβασης.

Από την μεριά των χρηστών οι επιπτώσεις μπορεί να είναι:

- Κόστος: Ανάλογα με την πολυπλοκότητα του δικτύου, η πολιτική χρέωσης από την πλευρά των παρόχων μεταβάλλεται, αυξάνοντας, συνήθως, το οικονομικό κόστος για τους χρήστες.
- Καθυστέρηση παροχής υπηρεσιών: Ανάλογα με την πολυπλοκότητα και το μέγεθος του δικτύου, αυξάνεται και ο χρόνος απόκρισης του συστήματος για την παροχή υπηρεσιών.

Κάθε πάροχος δικτύου προκειμένου να αντιμετωπίσει τα παραπάνω προβλήματα προσανατολίζεται σε αποδοτικούς τρόπους διαχείρισης. Στόχος της διαχείρισης των δικτύων είναι να παρακολουθεί συνεχώς τις απαιτήσεις των χρηστών, και να αποκρίνεται δημιουργώντας και προωθώντας καταλλήλως τις επιθυμητές υπηρεσίες, προσπαθώντας κάθε φορά να εκμεταλλευτεί αποδοτικά τους διαθέσιμους πόρους του δικτύου. Για τη διαχείριση του δικτύου πραγματοποιούνται οι ακόλουθες λειτουργίες [1],[2]:

- Διαχείριση Διάρθρωσης: Στόχος της λειτουργίας αυτής είναι η παρακολούθηση του δικτύου, ώστε να εισάγει στο σύστημα δρομολόγησης του, νέες συνδέσεις, λογικούς δρόμους καθώς και νέα στοιχεία δικτύου όταν απαιτηθεί.
- Διαχείριση Βλαβών: Αναλαμβάνει την παρακολούθηση, καταγραφή και αναφορά των βλαβών που συμβαίνουν στο δίκτυο.
- Διαχείριση Επίδοσης: Περιλαμβάνει τη συνεχή συγκέντρωση δεδομένων (δεδομένων κίνησης από τα στοιχεία δικτύου, throughput, utilization) που αφορούν την επίδοση των στοιχείων του δικτύου. Με αυτό τον τρόπο η επίδοση του δικτύου διατηρείται σε επιτρεπτά επίπεδα.
- Διαχείριση Ασφάλειας: Δεδομένου ότι ο χειρισμός του συστήματος διαχείρισης πραγματοποιείται από πολλούς χειριστές, απαιτείται για λόγους ασφαλείας, η χρήση κωδικών πρόσβασης και ο καθορισμός ρόλων. Με αυτό τον τρόπο οι εφαρμογές θα είναι προσβάσιμες μόνο από τους κατάλληλους χειριστές, διασφαλίζοντας έτσι την ορθή λειτουργία του δικτύου.
- Λογιστική Διαχείριση: Αφορά ζητήματα χρέωσης και τιμολόγησης ανάμεσα στους οργανισμούς διαχείρισης του δικτύου και τους χρήστες.

1.2. Δυναμική ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών σε φυσικές οντότητες

Τα δίκτυα αποτελούνται από σύνολα φυσικών οντοτήτων όπως server, σταθμούς βάσης, δρομολογητές. Με το ίδιο σκεπτικό ορίζεται και ένα σύνολο από λειτουργικές συνιστώσες που αντιστοιχίζονται σε λογικές οντότητες όπως:

- υπηρεσίες
- εφαρμογές
- συνιστώσες λογισμικού

Η δυναμική ανάθεση/κατανομή των λειτουργικών συνιστωσών στα στοιχεία δικτύου αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα ερευνητικά ζητήματα. Η έρευνα στον τομέα αυτό έγκειται στην εύρεση αλγορίθμων βέλτιστης κατανομής των οντοτήτων με στόχο την αύξηση της απόδοσης δικτύου [11], [17]. Οι ανάγκες που οδήγησαν προς αυτήν την κατεύθυνση παρουσιάζονται παρακάτω:

- Μεταβολές στους πόρους δικτύου: Οι πόροι του δικτύου διαρκώς μεταβάλλονται, ως προς τον πλήθος (προσθήκη επιπλέον κόμβων), τη διαθεσιμότητα (μπορεί κάποιος κόμβος να τεθεί εκτός λειτουργίας οπότε να προκύψει άρνηση υπηρεσίας) και τα χαρακτηριστικά (μπορεί για κάποιο λόγο να μειωθεί η επεξεργαστική ισχύς). Σε όλες τις περιπτώσεις θα πρέπει να γίνει ανακατανομή των λειτουργικών συνιστωσών στους πόρους του δικτύου, προκειμένου να διασφαλιστεί η καλύτερη δυνατή απόδοση. Παράδειγμα μια βλάβη σε κάποιον εξυπηρετητή δικτύου μπορεί να έχει αντίκτυπο στην ποιότητα παροχής υπηρεσιών ή ακόμα και στην διαθεσιμότητα υπηρεσίας
- Μεταβολές στις λειτουργικές συνιστώσες: Αντίστοιχα με τους πόρους του δικτύου μεταβάλλονται και οι λειτουργικές συνιστώσες, ως προς το πλήθος (προσθήκη ή κατάργηση λειτουργικής συνιστώσας), τα χαρακτηριστικά (επεξεργαστική ισχύ που μπορεί να απαιτούν). Παράδειγμα η αύξηση των αναγκαίων πόρων για την σωστή λειτουργία των λειτουργικών συνιστωσών μπορεί να οδηγήσει σε καθυστέρηση παροχής των αντίστοιχων υπηρεσιών αν αυτά δεν κατανεμηθούν σε φυσικές οντότητες κατάλληλες για την ορθή λειτουργία τους.

Η ανάθεση των λειτουργικών συνιστωσών σε φυσικές οντότητες αποτελεί ένα αμιγώς πρόβλημα διαχείρισης καθώς τα στοιχεία αυτά επηρεάζουν άμεσα την αποδοτικότητα του δικτύου. Για τον λόγο αυτό έχουν πραγματοποιηθεί αρκετές μελέτες πάνω σε αυτό το ζήτημα οι οποίες θα παρουσιαστούν επιγραμματικά στην επόμενη ενότητα.

1.3. Ερευνητική Δραστηριότητα

Όπως είναι φανερό από τα παραπάνω η απόδοση του δικτύου και η αξιόπιστη παροχή των υπηρεσιών συσχετίζονται άμεσα. Η ανάπτυξη αλγορίθμων με σκοπό την ανάθεση/κατανομή των λειτουργικών οντοτήτων στα στοιχεία δικτύου προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα παραπάνω προβλήματα κρίνεται αναγκαία. Στη βιβλιογραφία έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι για την ανάθεση λειτουργικών οντοτήτων σε στοιχεία δικτύου:

1. Παρουσίαση γενικού μοντέλου για την επίλυση προβλήματος δυναμικής ανάθεσης λειτουργικών οντοτήτων, με υλοποίηση αλγορίθμου βασισμένο σε AI planning τεχνικές [3].
2. Δυναμική σύνθεση και ανάθεση υπηρεσιών στα πλαίσια end-to-end εφαρμογών[4]. Είναι ένας αλγόριθμος που χρησιμοποιεί τη διαθεσιμότητα των καναλιών του δικτύου και το κόστος, προκειμένου να βρει την αποδοτικότερη γραμμή μεταφοράς στο δίκτυο.
3. Ιεραρχικός μηχανισμός για την κλιμακωτή ανάθεση υπηρεσιών σε προγραμματιζόμενα και ετερογενή δίκτυα (programmable and heterogeneous networks) [5]. Ο μηχανισμός αυτός συλλέγει τα χαρακτηριστικά για τα στοιχεία δικτύου και τα συγκρίνει με αυτά που απαιτούνται για την ανάθεση μιας υπηρεσίας, δημιουργώντας ένα πίνακα από τις παραμέτρους που απαιτούνται.
4. Μηχανισμός αυτόνομης ανάθεσης υπηρεσιών σε στοιχεία δικτύου, προκειμένου να επιτευχθεί αποτελεσματική και ευέλικτη κατανομή των υπηρεσιών. Ο αλγόριθμος αυτός πραγματοποιεί μια αρχική κατανομή των οντοτήτων με βάση τον τύπο τους και κατόπιν με βάση την κατάσταση κάθε οντότητας ή στοιχείου του δικτύου κάνει τις απαραίτητες αλλαγές έως ότου η κατανομή να μην προκαλεί προβλήματα [6]. Κύριο μειονέκτημα ότι θα αργεί σε πολύπλοκα και μεγάλα δίκτυα να βρει την βέλτιστη λύση, όμως από την πρώτη στιγμή θα υπάρχει μια κατανομή ακόμα και αν δεν είναι η βέλτιστη.

5. Χρήση agents για βέλτιστη κατανομή λειτουργικών συνιστωσών [21]: Ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιεί agents προκειμένου να εντοπίζει τοπικά το πρόβλημα και να το επιλύει. Βασικό πλεονέκτημα είναι ότι η διαδικασία εντοπισμού και επίλυσης του προβλήματος πραγματοποιείται ποιο γρήγορα. Ωστόσο αυτό δε σημαίνει ότι η λύση που εντοπίζει είναι πάντα η βέλτιστη.

1.4. Ερευνητική Κατεύθυνση

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα παρουσιαστεί η σχεδίαση και ανάπτυξη ενός αλγορίθμου δυναμικής ανάθεσης components σε service nodes, με στόχο την αύξηση της αποδοτικότητας του δικτύου λαμβάνοντας υπόψη μια πληθώρα χαρακτηριστικών κάθε στοιχείου όπως είναι τα ακόλουθα:

- Κόστος επικοινωνίας (signaling) μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών.
- Φορτίο που επιφέρουν οι λειτουργικές συνιστώσες στις φυσικές οντότητες στις οποίες θα ανατεθούν.
- Χωρητικότητα φυσικών οντοτήτων.

Η κύρια διαφορά του δικού μας αλγορίθμου είναι ότι γίνεται μια εξαντλητική αναζήτηση όλων των πιθανών συνδυασμών και επιλέγεται ο συνδυασμός που επιφέρει τη μεγαλύτερη απόδοση στο δίκτυο με βάση τα παραπάνω χαρακτηριστικά. Συγκριτικά με τους αλγορίθμους και τους μηχανισμούς που παρουσιάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα, οι διαφορές με την έρευνα της διπλωματικής, είναι οι ακόλουθες:

1. Σε αντίθεση με την πρώτη περίπτωση, δεν χρησιμοποιούμε AI Planning τεχνικές.
2. Στη δεύτερη περίπτωση ο αλγόριθμος που περιγράφεται λαμβάνει υπόψη του μόνο τις γραμμές μεταφοράς, ενώ αποκλείει τα χαρακτηριστικά των λειτουργικών συνιστωσών και των φυσικών οντοτήτων, σε αντίθεση με το δικό μας αλγόριθμο. Θα μπορούσαμε ίσως να χρησιμοποιήσουμε τον εν λόγω αλγόριθμο συμπληρωματικά για τη δική μας έρευνα.
3. Στην τρίτη περίπτωση ο αλγόριθμος με κριτήριο τα χαρακτηριστικά υπηρεσιών και προκειμένου να τα καταλείψει στα κατάλληλα στοιχεία δικτύου, προσπαθεί να βρει τη λύση στο τρέχον πρόβλημα σε ένα σύνολο προκαθορισμένων λύσεων. Η διαφορά με το δικό μας αλγόριθμο έγκειται στο ότι εμείς αναλαμβάνουμε να εντοπίσουμε τη λύση, αντιμετωπίζοντας ξεχωριστά κάθε νέο πρόβλημα χωρίς να το συσχετίζουμε με παλαιότερα.

4. Στην τέταρτη περίπτωση, η κατανομή των λειτουργικών συνιστωσών γίνεται με βάση τον τύπο τους. Κάθε φορά που παρουσιαστεί κάποιο πρόβλημα με την κατανομή, ο αλγόριθμος ξανατρέχει μόνο για το σημείο όπου εντοπίζεται το πρόβλημα για να βρει την νέα κατανομή. Η διαφορά με τον δικό μας τον αλγόριθμο είναι ότι αντιμετωπίζει κάθε πρόβλημα ως νέα κατάσταση και εκτελείται ξανά.
5. Στην τελευταία περίπτωση, ο αλγόριθμος που έχει υλοποιηθεί λειτουργεί ποιο κατανομημένα, καθώς κάθε agent εκτελείται τοπικά για την εύρεση και επίλυση πιθανών προβλημάτων. Βέβαια η λύση που βρίσκει μπορεί να μην είναι πάντα η βέλτιστη. Η διαφορά με το δικό μας τον αλγόριθμο έγκειται στο ότι ο δικός μας εκτελείται ποιο κεντρικοποιημένα.

1.5. Περιοχές εφαρμογής

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το πλήθος των υπηρεσιών και των κόμβων του δικτύου θα μπορεί να αυξάνεται συνεχώς. Συνεπώς κάθε φορά θα πρέπει το δίκτυο να αναδιαρθρώνεται και να προσαρμόζεται στις νέες συνθήκες έτσι ώστε κατά την κατανομή των υπηρεσιών να χρησιμοποιούνται, όσο είναι δυνατόν, όλοι οι διαθέσιμοι πόροι του δικτύου. Τα δίκτυα που μπορούν να καλύψουν αυτές τις ανάγκες καλούνται αναδιαρθρώμενα (reconfigurable), προσαρμοστικά (adaptive). Τα προσαρμοστικά δίκτυα έχουν όλα τα χαρακτηριστικά των αναδιαρθρώμενων δικτύων, δηλαδή την ικανότητα να αναδιαρθρώνονται δυναμικά. Οι δομές αυτές παρουσιάζονται στην ενότητα που ακολουθεί.

1.5.1. B3G Infrastructures

Η εξέλιξη των ασύρματων επικοινωνιών έχει οδηγήσει σε συστήματα πέραν της τρίτης γενιάς (Beyond Third Generation, B3G), που υποστηρίζουν τη συνύπαρξη και συνεργασία πολλαπλών ασύρματων τεχνολογιών πρόσβασης (Radio Access Technologies, RATs), σε μία ενιαία υποδομή. Η έννοια της αναδιάρθρωσης (reconfigurability) υποστηρίζεται με την παροχή τεχνολογιών που ενεργοποιούν τον εξοπλισμό δικτύου (τερματικά, στοιχεία δικτύου), ώστε να μπορεί δυναμικά να επιλέξει την κατάλληλη RAT.

Προκειμένου ο εξοπλισμός να μπορεί να λειτουργεί με αποτελεσματικό, αξιόπιστο και ασφαλές τρόπο θα πρέπει η διαχειριστική δομή (framework) να ικανοποιεί τις παρακάτω απαιτήσεις:

- Ανακάλυψη (Discovery) των διαθέσιμων δικτύων πρόσβασης και περιοδικοί έλεγχοι για νέα διαθεσιμότητα αυτών. Με λίγα λόγια ο εξοπλισμός θα πρέπει να μπορεί να αναγνωρίσει την ύπαρξη μιας νέας RAT.
- Παρακολούθηση (Monitoring) των διαθέσιμων δικτύων πρόσβασης. Απαιτεί συλλογή στατιστικών για τα χαρακτηριστικά των RATs. Υπολογίζονται παράμετροι όπως ισχύς λαμβανόμενου σήματος (dBm), επίπεδο θορύβου (dBm), bit rate (kb/s), bit error rate (kb/s). Όταν οι τιμές αυτές συλλεχθούν τότε συγκρίνονται με κάποιες προκαθορισμένες τιμές. Με βάση την πληροφορία που έχει συλλεχθεί κατά το στάδιο της ανακάλυψης, υπολογίζεται για κάθε RAT, το κόστος αναδιάρθρωσης (reconfiguration cost). Το κόστος αυτό μεταφράζεται σε ισχύ επεξεργασίας και χρόνο που απαιτείται για την αναδιάρθρωση. Τέλος πραγματοποιείται ένα φιλτράρισμα των διαθέσιμων δικτύων πρόσβασης με βάση τους πόρους που απαιτούνται για το reconfiguration. Μετά το φιλτράρισμα προκύπτει ένα σύνολο διαθέσιμων δικτύων με τα οποία θα υπάρξει αλληλεπίδραση στα παρακάτω στάδια.
- Διαπραγμάτευση (Negotiation). Ανταλλάσσονται προσφορές μεταξύ του τερματικού και των υποψήφιων RATs, όπως έχουν προκύψει από το φιλτράρισμα του προηγούμενου σταδίου, για να προκύψουν τα διάφορα reconfiguration patterns. Για τη διαπραγμάτευση πρέπει να ληφθούν υπόψη δύο θέματα: α) το πρωτόκολλο της διαπραγμάτευσης που θα καθορίσει το είδος της ανταλλασσόμενης πληροφορίας και τους κανόνες. β) Τη στρατηγική που θα ακολουθηθεί για τον τρόπο λήψης αποφάσεων μεταξύ των μερών που συμμετέχουν.

Για την ανταλλαγή πληροφοριών η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής: Το τερματικό αποστέλλει μια αίτηση προσφοράς στα RATs που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή κάλυψης. Η αίτηση θα περιλαμβάνει πληροφορίες που αφορούν τις υπηρεσίες που εμπλέκονται και στοιχεία του προφίλ του χρήστη (QoS για κάθε υπηρεσία, μέγιστο επιτρεπτό κόστος). Κάθε RAT θα λάβει την αίτηση, θα υπολογίσει τις απαιτήσεις σε πόρους δικτύου, και θα στείλει

απάντηση με τα στοιχεία που χρειάζεται το τερματικό. Το τερματικό συλλέγει όλες τις απαντήσεις που του αποστέλλονται και μέσω της διαδικασίας της επιλογής θα καταλήξει στην κατάλληλη RAT.

- Επιλογή (Selection) του κατάλληλου reconfiguration pattern. Ο μηχανισμός αυτός λαμβάνει υπόψη του πληροφορίες όπως το προφίλ του χρήστη και του τερματικού, αλλά και οι προσφορές που έχουν προκύψει έπειτα από τις διαπραγματεύσεις με τα διαθέσιμα δίκτυα.
- Υλοποίηση (Implementation) του επιλεγμένου reconfiguration pattern. Ο μηχανισμός αυτός αναλαμβάνει τη λήψη, εγκατάσταση και επικύρωση του λογισμικού που απαιτείται για την υλοποίηση της αναδιάρθρωσης. Επιπλέον χρησιμοποιεί τεχνικές διάγνωσης λαθών και ανάκαμψης σε περίπτωση λαθών.
- Θέματα διαχείρισης κινητικότητας. Η επιλογή μπορεί να συντελέσει στη μετάβαση από την υπάρχουσα RAT, στην καινούργια. Αυτή η διαδικασία θα πρέπει να πραγματοποιείται χωρίς να γίνεται αντιληπτή από το χρήστη, δηλαδή χωρίς να μειώνεται το επίπεδο ποιότητας υπηρεσιών.

Ενέργειες για την αντιμετώπιση θεμάτων ασφάλειας και αξιοπιστίας, θα πρέπει να πραγματοποιηθούν υπόψη κατά την διάρκεια των προαναφερθέντων διαδικασιών:

- Έλεγχος για την προέλευση του λογισμικού που θα εγκατασταθεί στον εξοπλισμό.
- Μηχανισμοί, τεχνικές που θα διασφαλίσουν ότι η ενέργεια αναδιάρθρωσης δεν θα επιφέρει μείωση της αποδοτικότητας του δικτύου.

Συνοψίζοντας είναι σημαντικό να αναφερθούν τα πλεονεκτήματα των reconfigurable δικτύων σε επίπεδο χρηστών, παρόχων δικτύων (network providers), κατασκευαστών εξοπλισμού (manufacturers), παρόχων υπηρεσιών (service providers) [7], [13]. [16], [18]. Ειδικότερα:

- Χρήστες: Διευκολύνεται η παροχή υπηρεσιών και της περιαγωγής στην επικοινωνία, λόγω της δυναμικής προσαρμογής των τερματικών. Επίσης η δυνατότητα της δυναμικής εγκατάστασης λογισμικού στα τερματικά θα βοηθήσει στη δημιουργία προσωποποιημένων ρυθμίσεων για κάθε χρήστη.
- Πάροχοι δικτύων: Μπορούν ποιο εύκολα να επιτύχουν υψηλό QoS και επίπεδα χωρητικότητας, μέσω της υποδομής τους, οπότε γίνονται ποιο

ανταγωνιστικοί. Επιπλέον η δυνατότητα δυναμικής εγκατάστασης configuration αρχείων, ενισχύει υπηρεσίες υποστήριξης πελατών. Τέλος η ύπαρξη αναδιαρθρώμενων στοιχείων δικτύου (σταθμοί βάσης) διευκολύνουν τη διαχείριση καθορισμένων λειτουργιών.

- Κατασκευαστές: Η έννοια του reconfigurability δίνει τη δυνατότητα χρήσης τερματικών και εξοπλισμού γενικότερα, με συνεχώς βελτιωμένα χαρακτηριστικά, προκειμένου να αναδιαρθρώνονται όταν απαιτηθεί από το δίκτυο.
- Πάροχοι υπηρεσιών: Και σε επίπεδο εφαρμογής, έννοια του reconfigurability, δίνει τη δυνατότητα downloading λογισμικού στα τερματικά του χρήστη. Επίσης οι πάροχοι υπηρεσιών μπορούν να εισάγουν επιπρόσθετα στοιχεία στις υπηρεσίες χωρίς να χρειάζεται να ανησυχούν για τη συμβατότητα.

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως τα προσαρμοστικά δίκτυα έχουν όλα τα χαρακτηριστικά των αναδιαρθρώμενων δικτύων, δηλαδή την ικανότητα να αναδιαρθρώνονται δυναμικά, επηρεάζοντας όλα τα επίπεδα της στοίβας του πρωτοκόλλου OSI [8]. Επιπλέον αυτό που τα ξεχωρίζει από τα αναδιαρθρώμενα είναι η ικανότητά τους να παρακολουθούν τις μεταβολές του δικτύου και να προσαρμόζονται σε αυτές. Ορισμένες από τις μεταβολές αυτές είναι οι ακόλουθες:

- Πτώση κόμβων
- Καταστάσεις hot-spot
- Μεταβολές κινητικότητας χρηστών
- Απαιτήσεις περιβάλλοντος

Τα προσαρμοστικά δίκτυα, εξαιτίας των χαρακτηριστικών τους, μπορούν να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις χρηστών, κατασκευαστών, παρόχων δικτύων και παρόχων υπηρεσιών [20]. Ειδικότερα:

- Χρήστες: Προσφέρουν χαμηλό κόστος, με υψηλό επίπεδο υπηρεσιών και επομένως μεγαλύτερη ικανοποίηση.
- Κατασκευαστές: Οι μεταβολές του δικτύου σε επίπεδο εξοπλισμού, αναγκάζουν οδηγούν στην αναδιάρθρωση και στην προσαρμογή. Άρα οι κατασκευαστές δεν χρειάζεται να απασχολούνται με ζητήματα ασυμβατότητας κάθε φορά που παράγουν νέα προϊόντα.

- Πάροχοι δικτύων: Μπορούν ποιο εύκολα να πετύχουν υψηλό επίπεδο υπηρεσιών σε χαμηλό κόστος, άρα γίνονται ποιο ανταγωνιστικοί.
- Πάροχοι υπηρεσιών: Μπορούν να εισάγουν νέες υπηρεσίες ποιο εύκολα, χωρίς να ανησυχούν για ασυμβατότητες.

1.5.2 Ασφάλεια

Μία από τις βασικές απειλές ασφάλειας δικτύων είναι η άρνηση υπηρεσίας. Ο εισβολέας προσπαθεί με διάφορες μεθόδους να υπερφορτώσει ή να σταματήσει την λειτουργία μιας υπηρεσίας δικτύου, όπως για παράδειγμα ενός Web Server. Σε αυτή την περίπτωση, η οντότητα “monitoring” του δικτύου, αντιλαμβάνεται πως υπάρχει πρόβλημα, οπότε ενεργοποιεί τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης στέλνοντας του κατάλληλα δεδομένα εισόδου, έτσι ώστε να μπορέσει να ανακαταλείψει την υπηρεσία που ήταν εγκατεστημένη στο Web Server που δέχτηκε επίθεση. Φυσικά από τα δεδομένα εισόδου θα απουσιάζει οποιαδήποτε πληροφορία σχετικά με τον Web Server που έχει δεχτεί επίθεση.

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαμορφώνεται ως ακολούθως. Η αρχιτεκτονική του δικτύου και αναλυτική περιγραφή του αλγορίθμου παρουσιάζονται αναλυτικά στο 2^ο και 3^ο κεφάλαιο αντιστοίχως. Αποτελέσματα, καθώς και περιγραφή του γραφικού περιβάλλοντος που έχουμε αναπτύξει για την εκτέλεση του αλγορίθμου, παρουσιάζονται στο 4^ο και 5^ο κεφάλαιο αντιστοίχως. Τέλος παραθέτουμε συμπεράσματα και προτάσεις για μελλοντική επέκταση της έρευνας μας.

2. Αρχιτεκτονική Συστήματος

2.1. Εισαγωγή

Ο αλγόριθμος δυναμικής ανάθεσης λειτουργικών συνιστωσών σε στοιχεία δικτύου (components σε service nodes) που έχουμε υλοποιήσει, θα μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε πλατφόρμα διαχείρισης η οποία διαθέτει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, όπως θα παρουσιαστούν παρακάτω στην ενότητα αυτή, ανεξάρτητα από το σύστημα στο οποίο είναι εγκατεστημένη. Συστήματα στα οποία θα μπορούσε να εγκατασταθεί η πλατφόρμα αυτή είναι τα ακόλουθα:

- Κατανεμημένο δίκτυο με ένα σύνολο από πόρους (πχ servers) και κάποιες λειτουργικές συνιστώσες που πρέπει να ανατεθούν σε αυτούς, για την παροχή υπηρεσιών σε χρήστες του συστήματος. Για παράδειγμα έστω ένα τραπεζικό σύστημα, που αποτελείται από ένα σύνολο εφαρμογών/υπηρεσιών, όπως εμφάνιση και πληρωμή εφαρμογών, ηλεκτρονικά εμβάσματα, παρακολούθηση κινήσεων λογαριασμών κλπ, οι οποίες είναι εγκατεστημένες και τρέχουν σε διάφορους servers, καθορισμένου πλήθους. Ιδανικά οι εφαρμογές αυτές θα πρέπει να εκτελούνται χωρίς σφάλματα, καθώς ο αντίκτυπος σε περίπτωση λάθους μπορεί να είναι σημαντικός, μιας και αναφερόμαστε σε οικονομικές συναλλαγές. Ωστόσο σε περίπτωση σφάλματος θα πρέπει να έχει προβλεφθεί η ενεργοποίηση της διαδικασίας που θα επιφέρει τις κατάλληλες αναδιαρθρώσεις στο δίκτυο ώστε, να συνεχιστεί η εκτέλεση των εφαρμογών. Ειδικότερα έστω κάποιος από τους server του συστήματος δυσλειτουργεί, είτε από υπερβολικό φόρτο, είτε εξαιτίας κάποιας βλάβης. Τότε θα πρέπει η εφαρμογή που εκτελείται σε αυτό το server, να εξυπηρετηθεί από κάποιο άλλο. Φυσικά αυτό συνεπάγεται αναδιάρθρωση του δικτύου, προκειμένου να μην υπερφορτωθούν οι υπόλοιποι servers. Τη διαδικασία εύρεσης της βέλτιστης ανακατανομής των εφαρμογών στους servers θα την αναλάβει η πλατφόρμα διαχείρισης, που θα αναλύσουμε στη συνέχεια.
- Συστήματα τηλεπικοινωνιών πέραν της τρίτης γενεάς (Beyond 3G – B3G), όπως τα προσαρμοστικά δίκτυα. Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενη ενότητα, στόχος των δικτύων B3G, είναι να προσφέρουν στους χρήστες πρόσβαση σε οποιαδήποτε υπηρεσία, απ'οπουδήποτε και όποτε το θελήσουν.

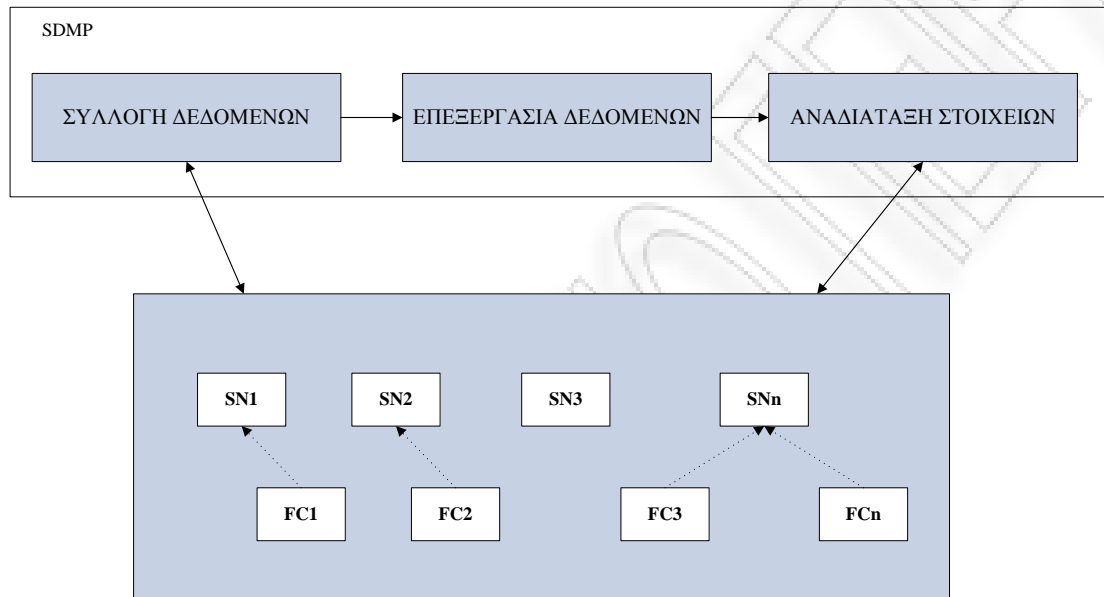
Αναλογικά με την αύξηση των υπηρεσιών που παρέχονται στο χρήστη, αυξάνεται και η πολυπλοκότητα του δικτύου. Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη σχεδίασης αναδιαρθρώμενων τερματικών μέσω λογισμικού, τα οποία θα αποτελούνται από προσαρμοστικά και αυτόνομα λειτουργικά συστατικά στοιχεία (software components - SC) που θα δύνανται να αλλάξουν, να αντικατασταθούν ή να αναδιαρθρωθούν ανάλογα με την ασύρματη τεχνολογία πρόσβασης που θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί κάθε φορά. Το Software Defined Radio (SDR) [9], [10] είναι η πρώτη τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε με στόχο τη διαχείριση συστημάτων ασύρματων επικοινωνιών μέσω λογισμικού. Μέρος του συστήματος αποτελεί και η τερματική συσκευή του χρήστη η οποία θα πρέπει να αναδιαρθρώνεται όταν αυτό είναι απαραίτητο. Το λογισμικό της τερματικής συσκευής μπορεί να αναλυθεί σε επιμέρους τμήματα τα οποία τα αποτελούνται από SCs. Συνεπώς, η αναδιάρθρωση της τερματικής συσκευής προϋποθέτει την εγκατάσταση των κατάλληλων SCs ανάλογα με τα χαρακτηριστικά κάθε τερματικής συσκευής. Τα χαρακτηριστικά αυτά θα είναι και τα κριτήρια με τα οποία ο αλγόριθμος θα πρέπει να αποφασίσει για τα SCs που ενδείκνυνται για κάθε συσκευή [11].

Οι λειτουργίες που θα πρέπει να πραγματοποιεί η πλατφόρμα διαχείρισης (Service Deployment Management Platform - SDMP) είναι οι εξής:

- Συλλογής Δεδομένων: Περιλαμβάνει συλλογή δεδομένων, πληροφοριών για λειτουργικές συνιστώσες και φυσικές οντότητες, όπως συνολικός φόρτος δικτύου, χωρητικότητα στοιχείων δικτύου, φορτίο και κόστος επικοινωνίας μεταξύ λειτουργικών συνιστωσών. Για παράδειγμα σε ένα σύστημα τηλεπικοινωνιών, μπορεί να υπάρχει μία οντότητα παρακολούθησης δικτύου, η οποία συλλέγει από το δίκτυο τις τιμές των παραμέτρων που χρειάζεται ο αλγόριθμος και τα στέλνει σε οντότητα που εκτελεί την εν λόγω λειτουργικότητα της πλατφόρμας μέσω κατάλληλης διεπαφής.
- Επεξεργασίας Δεδομένων: Η λειτουργία αυτή αφορά την επεξεργασία των δεδομένων που προέκυψαν από την προηγούμενη λειτουργικότητα, και λαμβάνοντας υπόψη ορισμένους περιορισμούς αναλαμβάνει να εντοπίσει όλες τις δυνατές αναδιατάξεις των στοιχείων που συμμετέχουν, και στη συνέχεια τη βέλτιστη.

- Αναδιάταξης στοιχείων: Αναλαμβάνει την εφαρμογή των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την εκτέλεση του

Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζεται η γενική αρχιτεκτονική της πλατφόρμας, όπως έχει προκύψει από τα παραπάνω, καθώς και αναλυτική περιγραφή των οντοτήτων που την απαρτίζουν:



Εικόνα 1: Αρχιτεκτονική Πλατφόρμας Διαχείρισης

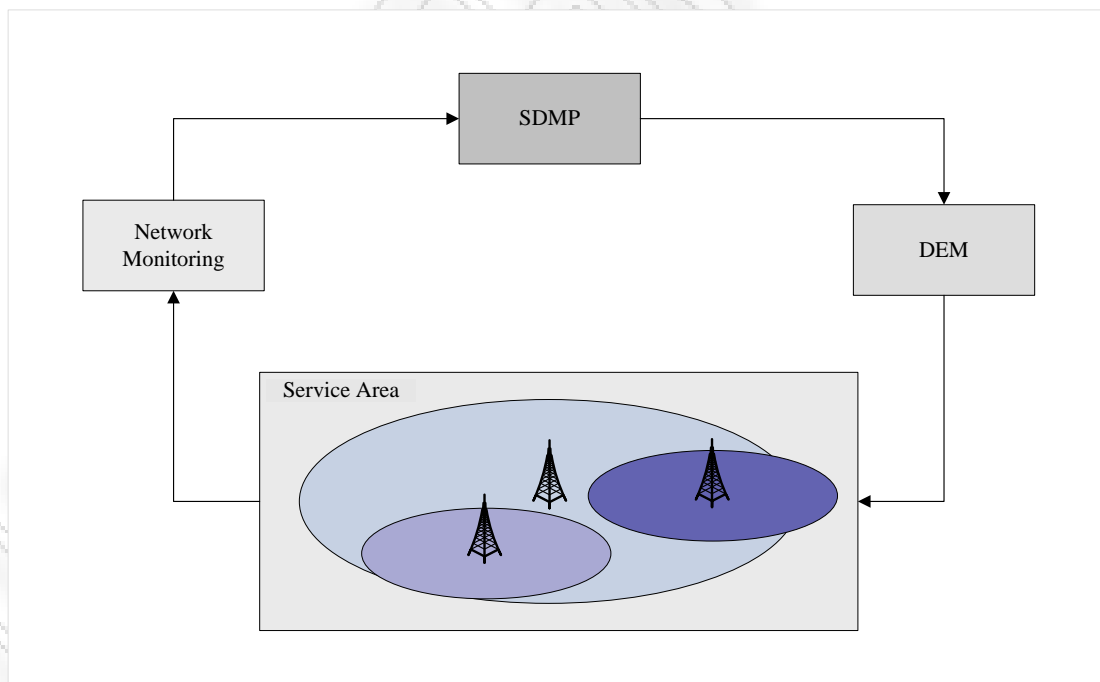
- Συλλογή Δεδομένων: Η λειτουργία αυτής της οντότητας είναι πολύ σημαντική για τη σωστή εκτέλεση του αλγορίθμου και κατεπέκταση στην σωστή αναδιάρθρωση των στοιχείων που συμμετέχουν. Αναλαμβάνει τη συλλογή τιμών παραμέτρων, όπως συνολικός φόρτος δικτύου, κόστος επικοινωνίας μεταξύ λειτουργικών συνιστωσών, χαρακτηριστικά των στοιχείων που συμμετέχουν. Οι τιμές των παραμέτρων αυτών επηρεάζουν την αποδοτικότητα του δικτύου, συνεπώς πρέπει η οντότητα αυτή συνεχώς να ενημερώνεται για τις αλλαγές που μπορεί να παρουσιαστούν στο δίκτυο.
- Επεξεργασία Δεδομένων: Η οντότητα αυτή αναλαμβάνει να ενεργοποιήσει να τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης, παρέχοντάς του ως input τα δεδομένα που έχει συλλέξει η προηγούμενη οντότητα. Ο αλγόριθμος, λαμβάνοντας υπόψη κατάλληλους περιορισμούς, αναλαμβάνει να εντοπίσει όλες τις δυνατές αναθέσεις των λειτουργικών συνιστωσών στις φυσικές οντότητες και να

επιλέξει αυτή τη λύση που θα επιφέρει μικρότερο κόστος και άρα τη μέγιστη αποδοτικότητα του δικτύου. Περισσότερες λεπτομέρειες για τους περιορισμούς και τη λειτουργία του αλγορίθμου θα δούμε αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

- Αναδιάταξη στοιχείων: Η οντότητα αυτή δέχεται ως input τη βέλτιστη λύση στην οποία κατέληξε ο αλγόριθμος, δηλαδή ένα σύνολο λειτουργικών συνιστωσών που έχουν ανατεθεί σε ένα σύνολο από φυσικές οντότητες. Σκοπός της είναι να επιφέρει τις απαραίτητες αλλαγές στην υποδομή του δικτύου.

2.2. Εφαρμογή του SDMP σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα B3G

Σε αυτή την υποενότητα θα παρουσιάσουμε αναλυτικά την ένταξη της πλατφόρμας διαχείρισης σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα B3G ή γενικότερα σε ένα αναδιαρθρώσιμο (reconfigurable) σύστημα. Η λειτουργία αυτή απεικονίζεται στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 2: SDMP στα πλαίσια ενός reconfigurable συστήματος

Στην εικόνα διακρίνουμε 4 οντότητες, από τις οποίες η «Network Monitoring» και «DEM» δεν ανήκουν στην πλατφόρμα SDMP, αλλά πρόκειται για modules του

reconfigurable συστήματος με τα οποία επικοινωνούν οι αντίστοιχες οντότητες του SDMP, όπως θα δούμε παρακάτω. Αναλυτικότερα:

- **Service Area:** Πρόκειται για το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο. Χωρίζεται σε κυψέλες, κάθε μία από τις οποίες εξυπηρετεί ορισμένο αριθμό κινητών ή μη χρηστών. Κύρια συστατικά της περιοχής κάλυψης είναι οι κεραίες που απαρτίζουν το συνολικό δίκτυο ασύρματης πρόσβασης και οι τερματικές συσκευές που επικοινωνούν με τις κεραίες. Οποιαδήποτε άλλη οντότητα ανήκει στο back bone του δικτύου.
- **Network Monitoring:** Πρόκειται για την οντότητα παρακολούθησης του δικτύου. Ρόλος της είναι να αναγνωρίζει τα διαθέσιμα δίκτυα στη συγκεκριμένη περιοχή και να παρακολουθεί την κατάστασή τους [12]. Ειδικότερα αναλαμβάνει να συλλέξει τιμές παραμέτρων απόδοσης και φόρτου δικτύου καθώς και στατιστικά στοιχεία (όπως χωρητικότητα φυσικών οντοτήτων, φορτίο που επιφέρουν οι λειτουργικές συνιστώσες, κόστος επικοινωνίας μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών) για τα χαρακτηριστικά των φυσικών οντοτήτων, και των λειτουργικών συνιστωσών. Όταν οι τιμές αυτές συλλεχθούν συγκρίνονται με προκαθορισμένες τιμές. Με αυτό τον τρόπο, μόλις διαπιστωθεί κάποια δυσλειτουργία, όπως υπερφόρτωση ή απώλεια ενός στοιχείου δικτύου, ή ακόμα και μείωση της συνολικής απόδοσης του δικτύου και κατεπέκταση της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών, αναλαμβάνει να ενεργοποιήσει τη διαδικασία της αναδιάρθρωσης. Συγκεκριμένα στέλνει τα δεδομένα που έχει συλλέξει στην οντότητα «Συλλογή Δεδομένων» του SDMP (Εικόνα 1).
- **SDMP:** Πρόκειται για την πλατφόρμα διαχείρισης που περιγράψαμε στην εισαγωγική ενότητα του κεφαλαίου αυτού. Σε περίπτωση που απαιτηθεί αναδιάρθρωση στο δίκτυο, η οντότητα «Συλλογή Δεδομένων» του SDMP αναλαμβάνει να συλλέξει τα δεδομένα που του στέλνει η οντότητα «Network Monitoring». Στη συνέχεια η οντότητα «Επεξεργασία Δεδομένων», ενεργοποιεί τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης OSCA (optimized Software component allocation), ο οποίος υπολογίζει τη βέλτιστη λύση αναδιάρθρωσης, ή αλλιώς τη βέλτιστη ανάθεση/κατανομή των λειτουργικών συνιστωσών στις φυσικές οντότητες. Τέλος η οντότητα «Αναδιάταξη Στοιχείων» αναλαμβάνει

να ενεργοποιήσει τη διαδικασία αναδιάρθρωσης στέλνοντας τη βέλτιστη λύση στην οντότητα DEM του δικτύου.

- **DEM (Decision Enforcement Module):** Αυτή η οντότητα του δικτύου αναλαμβάνει να επιφέρει τις απαραίτητες αλλαγές στην υποδομή του δικτύου, λαμβάνοντας υπόψη την τελική απόφαση της SDMP.

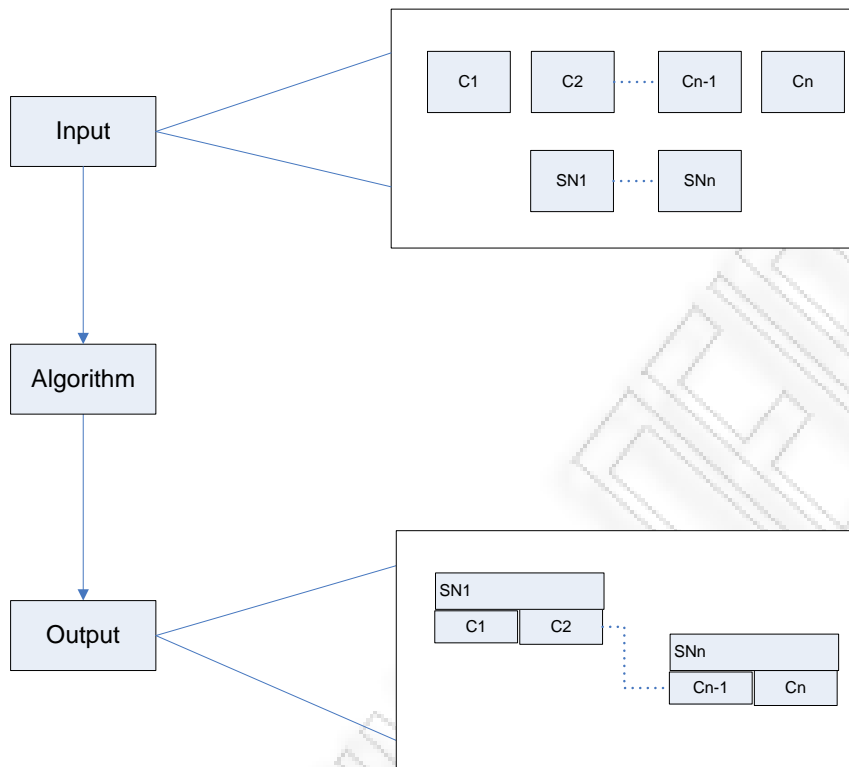
3. Περιγραφή του προβλήματος ανάθεσης λειτουργικών συνιστωσών της αρχιτεκτονικής ενός συστήματος σε φυσικές οντότητες

Όπως αναφέραμε και στο πρώτο κεφάλαιο, η δυναμική ανακατανομή λειτουργικών συνιστωσών σε φυσικές οντότητες, θα αυξήσει την αποδοτικότητα του δικτύου. Για αυτό το λόγο η ανάπτυξη ενός αλγορίθμου, που θα ελέγχει όλες τις δυνατές αναδιατάξεις (αναδιαρθρώσεις) και θα εντοπίζει την αποδοτικότερη, με βάση τα χαρακτηριστικά των στοιχείων που συμμετέχουν, κρίνεται απαραίτητη. Σε αυτό το κεφάλαιο θα διαγραμματικά και μαθηματικά η λειτουργία του αλγορίθμου βελτιστοποίησης. Το κεφάλαιο αυτό έχει διαμορφωθεί ως ακολούθως: Στην ενότητα 1 παρουσιάζεται μια γενική περιγραφή του προβλήματος. Στην ενότητα 2 περιγράφεται το πρόβλημα αλλά με τη χρήση μαθηματικών συμβόλων αυτή τη φορά. Η μαθηματική διατύπωση του προβλήματος παρουσιάζεται στην τρίτη ενότητα, ενώ στην τέταρτη περιγράφεται η προτεινόμενη υλοποίηση του αλγορίθμου.

3.1. Γενική Περιγραφή

Ένα από τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των προσαρμοστικών (adaptive) δικτύων είναι η άμεση απόκριση στις αλλαγές του δικτύου[20]. Η ανάθεση/κατανομή ενός συνόλου λειτουργικών συνιστωσών (components) σε ένα σύνολο φυσικών οντοτήτων (service nodes - SN) έχει επιπτώσεις στην ποιότητα υπηρεσιών (Qos) που θα παρέχονται στους χρήστες, και φυσικά στην απόδοση του δικτύου. Για το λόγο αυτό, στόχος του αλγορίθμου είναι η αύξηση της αποδοτικότητας του δικτύου με το χαμηλότερο δυνατό κόστος ή την μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των πόρων του δικτύου. Ο αλγόριθμος πραγματοποιεί μία διεξοδική αναζήτηση προκειμένου να εντοπίσει τη βέλτιστη διάταξη, λαμβάνοντας υπόψη δείκτες απόδοσης όπως α) συνολικός φόρτος δικτύου, β) κόστος επικοινωνίας μεταξύ λειτουργικών συνιστωσών και γ) χαρακτηριστικά λειτουργικών συνιστωσών και φυσικών οντοτήτων.

Η γενική περιγραφή του προβλήματος παρουσιάζεται στην εικόνα 3:



Εικόνα 3: Γενική περιγραφή προβλήματος ανάθεσης λειτουργικών οντοτήτων C σε φυσικές οντότητες SN

Τα δεδομένα του προβλήματος είναι τα εξής: α) Ένα σύνολο από components με καθορισμένα χαρακτηριστικά, β) Ένα σύνολο φυσικών οντοτήτων με καθορισμένα χαρακτηριστικά. Ζητείται εκείνη η ανάθεση των λειτουργικών συνιστωσών στις φυσικές οντότητες προκειμένου να μεγιστοποιηθεί η αποδοτικότητα του δικτύου. Η συμβολική περιγραφή του προβλήματος παρουσιάζεται στην ενότητα που ακολουθεί.

3.2. Συμβολική Περιγραφή

Σε αυτή την ενότητα περιγράφονται τα δεδομένα εισόδου, οι αντικειμενικοί στόχοι και οι περιορισμοί του προβλήματος.

3.2.1. Δεδομένα Εισόδου

Το input του προβλήματος, παρέχει πληροφορίες που αφορούν τις λειτουργικές συνιστώσες και τις φυσικές οντότητες. Το σύνολο (set) των λειτουργικών συνιστωσών C περιέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες που αφορούν τις λειτουργικές συνιστώσες που θα πρέπει να ανατεθούν στις επιμέρους φυσικές

οντότητες. Το σύνολο των SN αφορά τις διαθέσιμες φυσικές οντότητες. Ως ϕ_j (Cpc) θεωρούμε τη χωρητικότητα κάθε επιμέρους SN j . Ως Lc_i θεωρούμε το φορτίο (overhead) που προκαλεί κάθε λειτουργική συνιστώσα i (C_i). Το κόστος επικοινωνίας (signaling) μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών i, k (C_i, C_k), ορίζεται ως s_{ik} . Ως c_{ik} θεωρούμε μεταβλητές απόφασης και προσδιορίζουν αν οι συνιστώσες i, k έχουν ανατεθεί (deployed) σε διαφορετικές φυσικές οντότητες ή όχι. Ειδικότερα αν έχουν ανατεθεί στην ίδια φυσική οντότητα τότε $c_{ik} = 0$, αλλιώς $c_{ik} = 1$. Ως χ_{ij} , θεωρούμε μεταβλητές απόφασης, που παίρνουν τιμές 0, 1 και προσδιορίζουν αν η συνιστώσα i έχει ανατεθεί στο SN j ή όχι. Ως r_i θεωρούμε το πλήθος των κλήσεων μιας συνιστώσας i , από άλλες συνιστώσες. Τέλος ως d_{jl} , θεωρούμε την απόσταση ανάμεσα στα SN j, l .

3.2.2. Αντικειμενικοί Στόχοι

Οι αντικειμενικοί στόχοι του προβλήματος μας αναλύονται στη συνέχεια:

- Η εύρεση λύσης του προβλήματος, δηλαδή ενός συνδυασμού (φυσικών οντοτήτων) – (λειτουργικών συνιστωσών), που προκύπτει από την ανάθεση ενός υποσυνόλου συνιστωσών σε κάθε φυσική οντότητα.
- Να εντοπιστεί εκείνος ο συνδυασμός/λύση, που θα δώσει τη μικρότερη τιμή στη συνάρτηση κόστους (Objective Function - OF).

3.2.3. Περιορισμοί

Οι περιορισμοί που λαμβάνουμε υπόψη μας αναλύονται στη συνέχεια:

- $\sum Lc_i \cdot r_i \leq \phi_j, \forall i \in C, j \in SN$

Για το υποσύνολο των συνιστωσών που έχουν ανατεθεί σε μια φυσική οντότητα, δεν θα πρέπει το φορτίο που επιφέρουν συνολικά να ξεπερνά τη χωρητικότητα της οντότητας.

- Το κόστος επικοινωνίας (signaling) ανάμεσα στις λειτουργικές συνιστώσες που ανατίθενται στην ίδια φυσική οντότητα είναι μηδενικό. Εάν για κάποιο συνδυασμό το κόστος είναι μηδενικό, θα σημαίνει ότι πρόκειται για μια οντότητα SN που διαθέτει χωρητικότητα ίση με το άθροισμα των επιμέρους χωρητικότητων.

- Για να προκύψει κάποιος συνδυασμός/λύση, θα πρέπει όλες οι λειτουργικές συνιστώσες να έχουν ανατεθεί σε κάποια φυσική οντότητα. Αυτό σημαίνει πως το φορτίο που επιφέρει κάθε συνιστώσα πρέπει να είναι μικρότερο ή ίσο από τη χωρητικότητα κάποιας φυσικής οντότητας, έτσι ώστε να ανατεθεί σε αυτήν.
- Ανάμεσα στις φυσικές οντότητες η απόσταση $d \neq 0$.

3.3. Μαθηματική Περιγραφή

Λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα εισόδου και τους περιορισμούς, που αναφέραμε στην προηγούμενη ενότητα, ο αλγόριθμος εντοπίζει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς (λειτουργικών συνιστωσών)-(φυσικών οντοτήτων) και για κάθε έναν από αυτούς υπολογίζει τη συνάρτηση κόστους. Τέλος αποθηκεύεται η λύση/συνδυασμός που ελαχιστοποιεί τη τιμή της συνάρτησης κόστους.

Η συνάρτηση κόστους είναι καθαρός αριθμός και προκύπτει από τον υπολογισμό του κόστους επικοινωνίας μεταξύ των components (signaling) και του φορτίου επεξεργασίας που προκύπτει από την ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών σε φυσικές οντότητες. Το φορτίο της λειτουργικής συνιστώσας και τη χωρητικότητα κάθε φυσικής οντότητας τα μετράμε σε MB, ενώ το signaling το μετράμε σε επίπεδα/στάθμες.

Ο τύπος που υπολογίζει την αντικειμενική συνάρτηση κόστους είναι ο ακόλουθος:

$$OF = \sum_{total} = \sum s + \sum x(1)$$

\sum_{total} δηλώνει την τιμή της συνάρτησης κόστους για κάθε συνδυασμό και προκύπτει από το άθροισμα των προηγούμενων αθροισμάτων.

$\sum s$, δηλώνει το signaling που προκύπτει για κάθε συνδυασμό. Υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\sum s = \sum_{i,k \in C} \sum_{j,l \in SN, j \neq l} x_{ij} \cdot x_{kl} \cdot s_{ik} \cdot d_{jl} (2)$$

$\sum x$, δηλώνει το κόστος απόδοσης - το φορτίο- που επιφέρει η ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών σε μία φυσική οντότητα SN, που συμμετέχει στο συνδυασμό, Υπολογίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\sum x = \sum_{i \in C} \sum_{j \in SN} x_{ij} \cdot r_i \cdot p_{ij} \quad (3)$$

- Ως p_{ij} θεωρείται το φορτίο (overhead) που προκαλεί κάθε λειτουργική συνιστώσα i

(C_i), όταν ανατίθεται σε μία φυσική οντότητα j , δηλαδή $p_{ij} = \frac{Lc_i}{\varphi_j}$.

Για τον υπολογισμό του αθροίσματος λαμβάνονται υπόψη οι ακόλουθοι περιορισμοί:

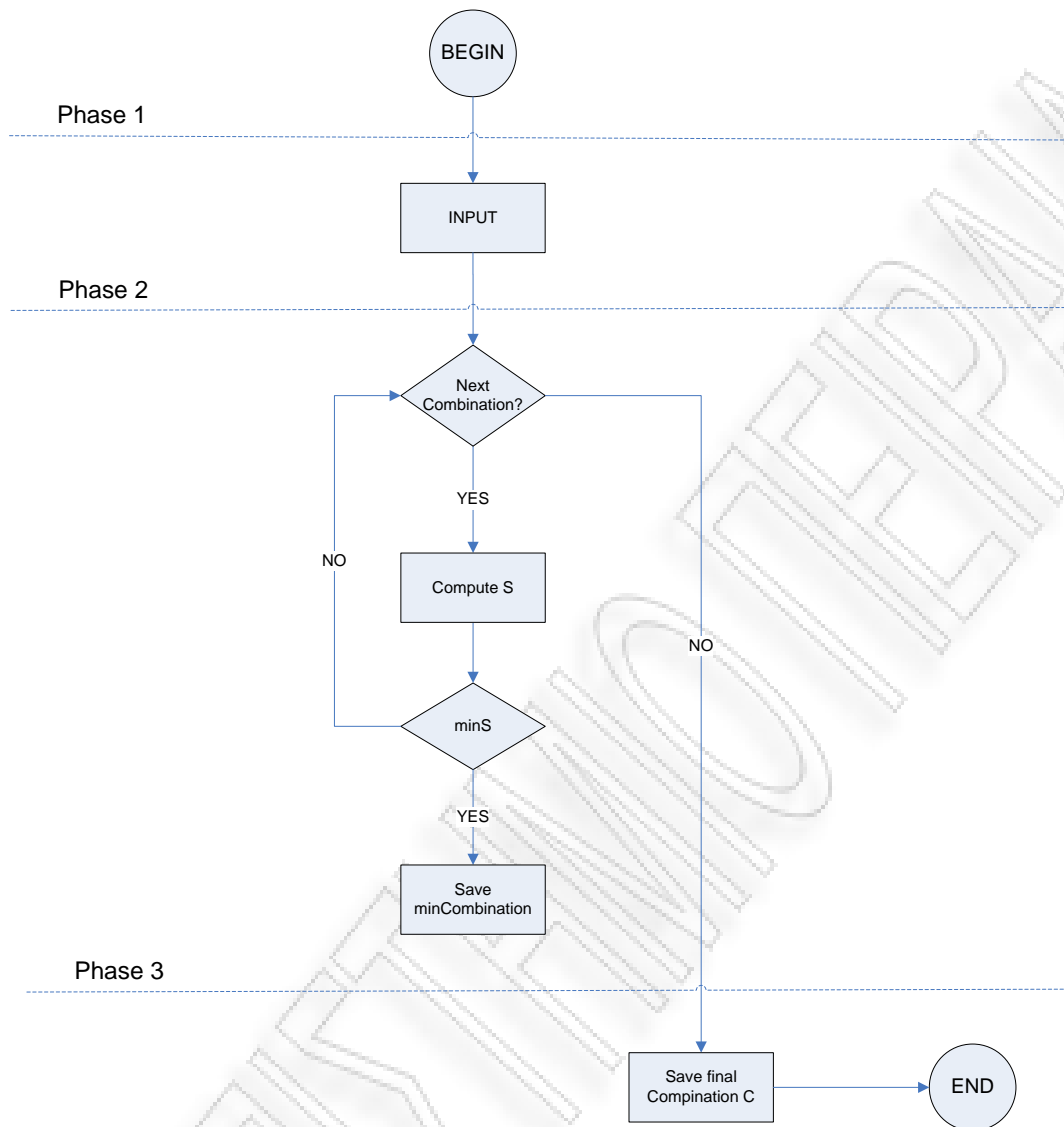
$$\begin{aligned} \sum_{j \in SN} x_{ij} &= 1 && \text{για κάθε } i \in C \\ \sum_{i \in C} x_{ij} \cdot r_i \cdot p_{ij} &\leq \varphi_j && \text{για κάθε } j \in SN \end{aligned} \quad (4)$$

Το σύνολο των περιορισμών (4) εξασφαλίζουν ότι το φορτίο που ανατίθεται σε κάθε SN δεν ξεπερνά τη χωρητικότητά του.

Από τον τύπο της συνάρτησης παρατηρούμε πως η τελική της τιμή μεταβάλλεται ανάλογα με τα δύο επιμέρους αθροίσματα, ή πιο απλά ανάλογα με τα μεγέθη του σε signaling και του κόστους επεξεργασίας. Τα μεγέθη αυτά είναι αντιστρόφως ανάλογα με την αποδοτικότητα του δικτύου. Συνεπώς η ελαχιστοποίηση της συνάρτησης κόστους είναι αναγκαία για την αύξηση της αποδοτικότητας του δικτύου.

3.4. Λύση Προβλήματος

Στην εικόνα 4, απεικονίζονται αναλυτικά οι βασικές φάσεις και τα επιμέρους βήματα που ακολουθούνται προκειμένου να ολοκληρωθεί η διαδικασία.



Εικόνα 4: Βασικές φάσεις και επιμέρους βήματα διαδικασίας ανάθεσης

3.4.1. Phase 1 – Input (Initialization)

Σε αυτή την πρώτη φάση του αλγορίθμου, αρχικοποιούνται το πλήθος των λειτουργικών συνιστωσών και των φυσικών οντοτήτων SN που θα συμμετέχουν στη διαδικασία, ανάλογα με τα δεδομένα που έχει εισάγει ο χρήστης.

3.4.2. Phase 2 – Διεξοδική Αναζήτηση (Exhaustive search)

Σε αυτή τη φάση, γνωρίζουμε πόσες λειτουργικές συνιστώσες και φυσικές οντότητες SN, θα συμμετέχουν, οπότε ανακτάμε από αρχείο τα δεδομένα που έχει εισάγει ο χρήστης προκειμένου, να καθοριστούν το φορτίο των συνιστωσών και η χωρητικότητα των οντοτήτων.

Συνεπώς δημιουργούνται οι δύο ακόλουθες λίστες:

- $Lc_i, \forall i \in C$
- $\varphi_j, \forall j \in SN$

Με αυτά τα δεδομένα ξεκινάει η διαδικασία διεξοδικής αναζήτησης όλων των δυνατών συνδυασμών με στόχο τον εντοπισμό εκείνου που ελαχιστοποιεί τη συνάρτηση κόστους. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται στα βήματα που ακολουθούν:

Βήμα 1: Δημιουργία όλων των δυνατών συνδυασμών (συνιστωσών) – SN

Το αποτέλεσμα αυτού του βήματος είναι μία λίστα που περιέχει όλους τους δυνατούς συνδυασμούς. Το πλήθος των δυνατών συνδυασμών είναι $SnNum^{componentsNum}$,

Βήμα 2: Υπολογισμός της συνάρτησης κόστους για κάθε συνδυασμό

Για κάθε στοιχείο (συνδυασμό) της λίστας του βήματος 1, ερευνάται ποιες και πόσες λειτουργικές συνιστώσες έχουν ανατεθεί σε κάθε SN του συνδυασμού. Αρχικά δημιουργούνται οι ακόλουθες λίστες:

- Λειτουργικές συνιστώσες που έχουν ανατεθεί στο ίδιο SN (1^η λίστα),
- Ζεύγη των λειτουργικών συνιστωσών που επικοινωνούν μεταξύ τους (2^η λίστα),
- Ζεύγη των λειτουργικών συνιστωσών που επικοινωνούν μεταξύ τους, αλλά δεν ανήκουν στο ίδιο SN (3^η λίστα).

Οπότε η συνάρτηση κόστους, $\sum_{combinationTotal}$ υπολογίζεται ως ακολούθως:

Βήμα 2.1: Υπολογισμός $\sum x$,

Για κάθε SN, του υποψήφιου συνδυασμού, εντοπίζουμε ποιες λειτουργικές συνιστώσες έχουν ανατεθεί σε αυτό. Υπολογίζουμε το φορτίο p_{ij} που επιφέρει, στο SN κάθε λειτουργική συνιστώσα. Για τον υπολογισμό του $\sum x$, χρησιμοποιούμε τον τύπο (3), δηλαδή αθροίζουμε τα επιμέρους φορτία, αφού προηγουμένως έχουμε συνυπολογίσει σε καθένα από αυτά, τη τιμή της μεταβλητής r_i .

Βήμα 2.2: Υπολογισμός $\sum s$,

Για κάθε στοιχείο της 3^{ης} λίστας ανακτώνται από αρχείο, οι τιμές c_{ik} , που δηλώνουν αν οι λειτουργικές συνιστώσες i, k, επικοινωνούν μεταξύ τους. Αν $c_{ik} = 0$, σημαίνει

πως οι λειτουργικές συνιστώσες i,k , επικοινωνούν, οπότε ανακτάμε και από το αρχείο το s_{ik} , που δηλώνει το signaling. Αν $c_{ik} = 1$, δεν υπάρχει επικοινωνία, οπότε θεωρούμε ότι $s_{ik} = 0$. Το $\sum s$ θα υπολογιστεί από τον τύπο (2).

Βήμα 2.3: Υπολογισμός $\sum_{combinationTotal}$

Δεδομένων των αθροισμάτων $\sum s$ και $\sum x$ χρησιμοποιείται η ακόλουθη εξίσωση:

$$\sum_{combinationTotal} = \sum s + \sum x$$

Βήμα 3: Αποθήκευση του συνδυασμού που θα δώσει την ελάχιστη τιμή της συνάρτησης κόστους.

Αν το $\sum_{combinationTotal}$ που προέκυψε από το προηγούμενο βήμα είναι μικρότερο από αυτό που είχε προκύψει μέχρι στιγμής αποθηκεύεται, και θεωρείται ως ελάχιστο.

3.4.3. Phase 3 – Output

Σε αυτήν την φάση θα προχωρήσει ο αλγόριθμος αν δεν υπάρχουν άλλοι συνδυασμοί για να ελέγξει. Συνεπώς σε αυτό το σημείο γνωρίζει την τιμή της OF για κάθε συνδυασμό. Στην φάση αυτή ο αλγόριθμος θα επιλέξει τον συνδυασμό που ελαχιστοποιεί τη συνάρτηση κόστους, ως ακολούθως:

$$OF = \sum_{total} = \min \sum_{combinationTotal}$$

4. Αποτελέσματα

Η μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους, μπορεί να μελετηθεί εκτενώς, μέσα από διαφορετικά σενάρια, στα οποία μία ή περισσότερες μεταβλητές της συνάρτησης μεταβάλλονται, ενώ οι υπόλοιπες διατηρούνται σταθερές. Οι γραφικές απεικονίσεις των βέλτιστων λύσεων, δηλαδή των λύσεων που θα δώσουν τη μικρότερη συνάρτηση κόστους, για κάθε περίπτωση των σεναρίων αυτών, έχουν προκύψει από την υλοποίηση σχετικής εφαρμογής, και παρατίθενται στο κεφάλαιο 5.

4.1. Σενάριο 1: Μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους ως προς τη μεταβολή του πλήθους των λειτουργικών συνιστωσών

Στο πρώτο αυτό σενάριο, μελετάμε τη μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους, ως προς τη μεταβολή του πλήθους των λειτουργικών συνιστωσών. Ειδικότερα θεωρούμε τις ακόλουθες παραδοχές:

- Το πλήθος των λειτουργικών συνιστωσών μεταβάλλεται, και λαμβάνει τιμές από 4,5,6.
- Το πλήθος των SN διατηρείται σταθερό και ισούται με 4.
- Κάθε λειτουργική συνιστώσα επιφέρει φορτίο ίσο με 8MB.
- Για κάθε λειτουργική συνιστώσα θεωρούμε ότι η μεταβλητή r , ισούται με 2.
- Η χωρητικότητα κάθε φυσικής οντότητας SN, διατηρείται σταθερή και ισούται με 20MB.
- Οι λειτουργικές συνιστώσες που επικοινωνούν μεταξύ τους, και το signaling λόγω της επικοινωνίας τους είναι καθορισμένα και φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Λειτουργικές Συνιστώσες	Κόστος Επικοινωνίας (Signaling)
0-2	2
2-4	2
3-5	2

Πίνακας 1:Κόστη Επικοινωνίας για το σενάριο 1

- Οι αποστάσεις (d) μεταξύ των SN είναι καθορισμένες και φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Φυσικές Οντότητες	Απόσταση
1-2	2
2-3	2

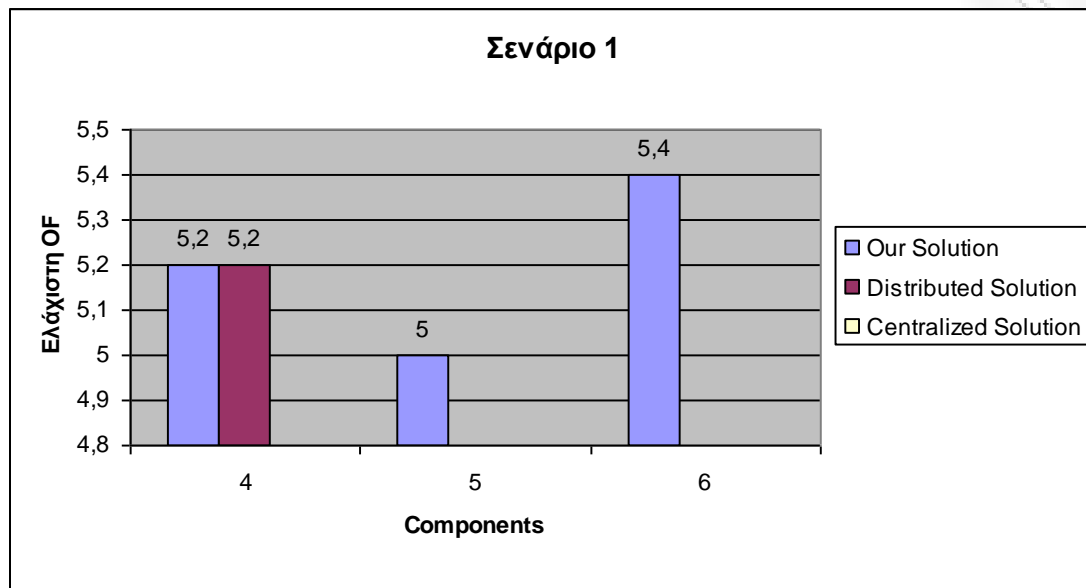
Πίνακας 2: Απόσταση φυσικών οντοτήτων SN, για το σενάριο 1

Από τις παραδοχές που παρουσιάσαμε προκύπτουν 3 περιπτώσεις. Για κάθε περίπτωση, δηλαδή για κάθε μεταβολή του πλήθους των λειτουργικών συνιστωσών, υπολογίζουμε την ελάχιστη τιμή της συνάρτησης κόστους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

	Πλήθος Λειτουργικών Συνιστωσών	Ελάχιστη OF
Περίπτωση 1	4	5.2
Περίπτωση 2	5	5
Περίπτωση 3	6	5.4

Πίνακας 3: Φάση 3 – Αποτελέσματα, για το σενάριο 1

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή της τιμής της OF, σε σχέση με τη μεταβολή του πλήθους των λειτουργικών συνιστωσών.



Εικόνα 5: Εξέλιξη της τιμής της συνάρτησης κόστους με την αύξηση του αριθμού των λειτουργικών συνιστωσών, για το σενάριο 1

Στη γραφική παράσταση της εικόνας 5, όπως και σε κάθε μία που θα ακολουθήσει, θα απεικονίζουμε και τις μεταβολές της συνάρτησης κόστους, για τις πλήρως καταναμημένες ή κεντρικοποιημένες λύσεις. Βέβαια στην παρούσα γραφική παράσταση, όπως βλέπουμε, δεν έχει προκύψει κεντρικοποιημένη λύση, που είναι απόλυτα λογικό μιας και το φορτίο των λειτουργικών συνιστωσών ήταν τέτοιο που δεν μπορούσε μία μόνο φυσική οντότητα να το επεξεργαστεί. Αντίθετα καταναμημένη προέκυψε μόνο για την περίπτωση 1, του σεναρίου που εξετάζουμε. Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις του σεναρίου δεν θα μπορούσε να προκύψει απόλυτα καταναμημένη λύση μιας και το πλήθος των λειτουργικών συνιστωσών ξεπερνά το πλήθος των φυσικών οντοτήτων.

Οι συνδυασμοί, για κάθε περίπτωση, όπως έχουν προκύψει από την εκτέλεση του αλγορίθμου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Περίπτωση 1			
SN0 – C0	SN1 - C1	SN2 - C2	SN3 - C3

Περίπτωση 2			
SN0 – C0,C1	SN1 – C2,C4	SN2 – C3	SN3
Περίπτωση 3			
SN0 – C0,C1	SN1 – C2,C4	SN2 – C3,C5	SN3

Πίνακας 4: Ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών Ci σε φυσικές οντότητες SNj, για το σενάριο 1

Γραφική απεικόνιση της βέλτιστης λύσης κάθε περίπτωσης του σεναρίου, ή αλλιώς οι οθόνες των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται στην υποενότητα 5.2.1 του κεφαλαίου 5.

4.1.1. Σενάριο 1Α: Μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους ως προς τη μεταβολή του πλήθους των λειτουργικών συνιστωσών

Πρόκειται για μια παραλλαγή του σεναρίου 1. Πάλι μελετάμε τη μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους, ως προς τη μεταβολή του πλήθους των λειτουργικών συνιστωσών, με τη διαφορά ότι οι τιμές των μεταβλητών που πρέπει να είναι σταθερές, να μεν διατηρούνται σταθερές αλλά διαφορετικές μεταξύ τους. Ειδικότερα θεωρούμε τις ακόλουθες παραδοχές:

- Το πλήθος των λειτουργικών συνιστωσών μεταβάλλεται, και λαμβάνει τιμές από 4,5,6.
- Το πλήθος των SN διατηρείται σταθερό και ισούται με 4.
- Το φορτίο που επιφέρει κάθε λειτουργική συνιστώσα φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

Λειτουργικές Συνιστώσες	Φορτίο
0	8
1	6
2	12
3	10
4	5
5	4

Πίνακας 5: Φορτίο λειτουργικών συνιστωσών, για το σενάριο 1Α

- Για κάθε λειτουργική συνιστώσα θεωρούμε ότι η μεταβλητή r , θα λάβει τιμές που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Λειτουργικές Συνιστώσες	Μεταβλητή r
0	2
1	3
2	3
3	1
4	1
5	2

Πίνακας 6: Τιμές μεταβλητής r για κάθε λειτουργική συνιστώσα, για το σενάριο 1Α

- Η χωρητικότητα κάθε φυσικής οντότητας SN , φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

Φυσικές Οντότητες	Χωρητικότητα
0	15
1	20
2	30
3	40

Πίνακας 7: Χωρητικότητα για κάθε φυσική οντότητα, για το σενάριο 1Α

- Οι λειτουργικές συνιστώσες που επικοινωνούν μεταξύ τους, και το signaling λόγω της επικοινωνίας τους είναι καθορισμένα και φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Λειτουργικές Συνιστώσες	Κόστος Επικοινωνίας (Signaling)
0-1	3
0-2	2
0-3	1.5
1-4	2.5
2-4	3
3-4	2
3-5	3

Πίνακας 8: Κόστη Επικοινωνίας, για το σενάριο 1Α

- Οι αποστάσεις (d) μεταξύ των SN είναι καθορισμένες και φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Φυσικές Οντότητες	Απόσταση d
0-1	3
0-2	2
0-3	4
1-2	2
1-3	1
2-3	2

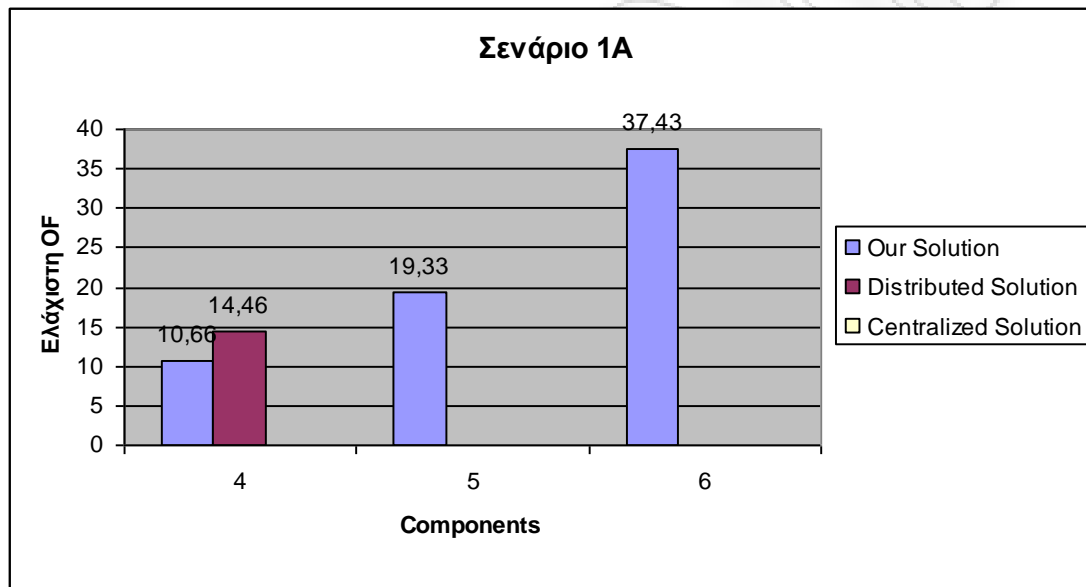
Πίνακας 9: Απόσταση φυσικών οντοτήτων SN, για το σενάριο 1Α

Από τις παραδοχές που παρουσιάσαμε προκύπτουν 3 περιπτώσεις. Για κάθε περίπτωση, δηλαδή για κάθε μεταβολή του πλήθους των λειτουργικών συνιστωσών, υπολογίζουμε την ελάχιστη τιμή της συνάρτησης κόστους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

	Πλήθος Λειτουργικών Συνιστωσών	Ελάχιστη OF
Περίπτωση 1	4	10.66
Περίπτωση 2	5	19.13
Περίπτωση 3	6	37.43

Πίνακας 10: Φάση 3 – Αποτελέσματα, για το σενάριο 1A

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή της τιμής της OF, σε σχέση με τη μεταβολή του πλήθους των λειτουργικών συνιστωσών.



Εικόνα 6: Εξέλιξη της τιμής της συνάρτησης κόστους με την αύξηση του αριθμού των λειτουργικών συνιστωσών, για το σενάριο 1A

Στη γραφική παράσταση της εικόνας 6, παρατηρούμε πως δεν προέκυψε κάποια κεντρικοποιημένη, ενώ και σε αυτή την περίπτωση, καταναμημένη λύση έχουμε μόνο για την περίπτωση 1, του σεναρίου που εξετάζουμε. Εδώ πρέπει να τονίσουμε πως σε σχέση με το σενάριο 1, να μεν διαφοροποιήσαμε τις τιμές των μεταβλητών που συμμετέχουν, ωστόσο η μεταβολή της συνάρτησης κόστους ακολουθεί την ίδια πορεία καθώς μεταβάλλεται το πλήθος των λειτουργικών συνιστωσών.

Οι συνδυασμοί, για κάθε περίπτωση, όπως έχουν προκύψει από την εκτέλεση του αλγορίθμου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Περίπτωση 1			
SN0	SN1 - C0, C3	SN2 - C1	SN3 - C2
Περίπτωση 2			
SN0 - C3	SN1 - C1, C4	SN2 - C0	SN3 - C2
Περίπτωση 3			
SN0 - C3	SN1 - C1	SN2 - C0,C4,C5	SN3 - C2

Πίνακας 11: Ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών C_i σε φυσικές οντότητες SN_j για το σενάριο 1A

Γραφική απεικόνιση της βέλτιστης λύσης κάθε περίπτωσης του σεναρίου, ή αλλιώς οι οθόνες των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται στην υποενότητα 5.2.1.1 του κεφαλαίου 5.

4.2. Σενάριο 2: Μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους ως προς τη μεταβολή του φορτίου των λειτουργικών συνιστωσών

Στο σενάριο αυτό, μελετάμε τη μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους, ως προς τη μεταβολή του φορτίου των λειτουργικών συνιστωσών. Ειδικότερα θεωρούμε τις ακόλουθες παραδοχές:

- Το πλήθος των λειτουργικών συνιστωσών διατηρείται σταθερό, και ισούται με 4.
- Το πλήθος των φυσικών οντοτήτων διατηρείται σταθερό και ισούται με 4.
- Για κάθε λειτουργική συνιστώσα θεωρούμε ότι η μεταβλητή r , ισούται με 2.
- Η χωρητικότητα κάθε φυσικής οντότητας, διατηρείται σταθερή και ισούται με 30MB.
- Το φορτίο(Load) των λειτουργικών συνιστωσών, για κάθε περίπτωση του σεναρίου, παρουσιάζεται στους ακόλουθους πίνακες:

Περίπτωση 1	
Component ID	Component Load
0	10
1	5
2	10

3	15
---	----

Πίνακας 12: Φορτίο κάθε λειτουργικής συνιστώσας, για την περίπτωση 1 του σεναρίου2

Περίπτωση 2	
Component ID	Component Load
0	2
1	15
2	15
3	9

Πίνακας 13: Φορτίο κάθε λειτουργικής συνιστώσας, για την περίπτωση 2 του σεναρίου2

Περίπτωση 3	
Component ID	Component Load
0	3
1	10
2	14
3	2

Πίνακας 14: Φορτίο κάθε λειτουργικής συνιστώσας, για την περίπτωση 3 του σεναρίου2

- Οι λειτουργικές συνιστώσες που επικοινωνούν μεταξύ τους, και το signaling λόγω της επικοινωνίας τους είναι καθορισμένα και φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Λειτουργικές Συνιστώσες	Κόστος Επικοινωνίας (Signaling)
0-2	2

Πίνακας 15: Κόστη Επικοινωνίας, για το σενάριο 2

- Οι αποστάσεις (d) μεταξύ των φυσικών οντοτήτων είναι καθορισμένες και φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Φυσικές Οντότητες	Απόσταση d
1-2	2
2-3	2

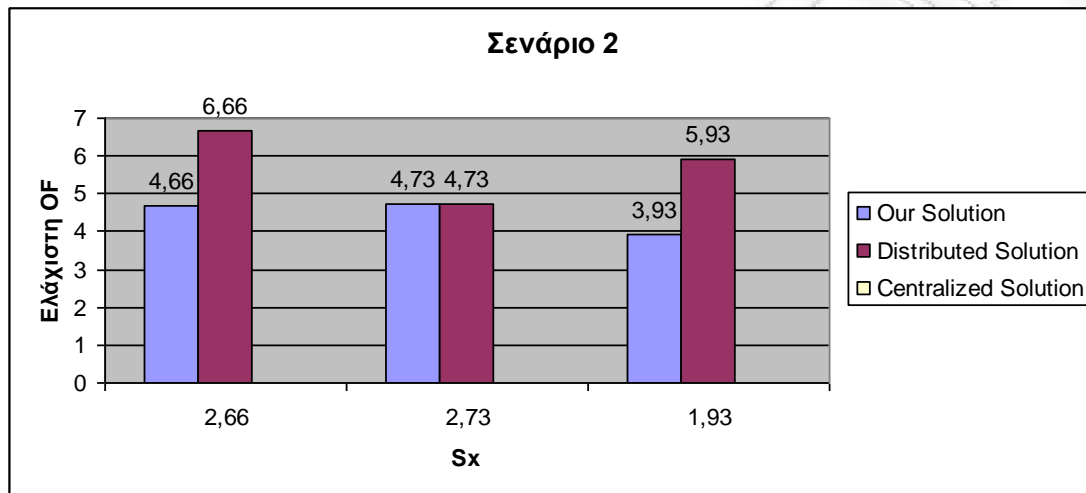
Πίνακας 16: Απόσταση φυσικών οντοτήτων SN, για το σενάριο 2

Από τις παραδοχές που παρουσιάσαμε προκύπτουν 3 περιπτώσεις. Για κάθε περίπτωση, δηλαδή για κάθε μεταβολή του φορτίου και κατ'επέκταση του αθροίσματος $\sum x$, υπολογίζουμε την ελάχιστη τιμή της συνάρτησης κόστους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

	$\sum x$	Ελάχιστη OF
Περίπτωση 1	2.66	4.66
Περίπτωση 2	2.73	4.73
Περίπτωση 3	1.93	3.93

Πίνακας 17: Φάση 3 – Αποτελέσματα, για το σενάριο 2

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή της τιμής της OF, σε σχέση με τη μεταβολή του φορτίου που επιφέρει κάθε λειτουργική συνιστώσα στη φυσική οντότητα που έχει ανατεθεί. Πράγματι παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται το φορτίο των λειτουργικών συνιστωσών, αυξάνεται το άθροισμα $\sum x$ και κατεπέκταση η τιμή της συνάρτησης κόστους, μιας και είναι μεγέθη ανάλογα.



Εικόνα 7: Εξέλιξη της τιμής της συνάρτησης κόστους με τη μεταβολή του φορτίου των λειτουργικών συνιστωσών, για το σενάριο 2

Στη γραφική παράσταση της εικόνας 7, παρατηρούμε πως δεν προέκυψε κάποια κεντρικοποιημένη λύση, ενώ καταναμεμημένη λύση προέκυψε σε όλες τις περιπτώσεις του σεναρίου που εξετάζουμε.

Οι συνδυασμοί, για κάθε περίπτωση, όπως έχουν προκύψει από την εκτέλεση του αλγορίθμου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Περίπτωση 1			
SN0 – C0,C1	SN1 – C2	SN2 – C3	SN3
Περίπτωση 2			
SN0 – C0	SN1 – C1	SN2 – C2	SN3 – C3
Περίπτωση 3			
SN0 – C0,C1,C3	SN1 – C2	SN2	SN3

Πίνακας 18: Ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών Ci σε φυσικές οντότητες SNj για το σενάριο 2

Γραφική απεικόνιση της βέλτιστης λύσης κάθε περίπτωσης του σεναρίου, ή αλλιώς οι οθόνες των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται στην υποενότητα 5.2.2 του κεφαλαίου 5.

4.2.1. Σενάριο 2Α: Μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους ως προς τη μεταβολή του φορτίου των λειτουργικών συνιστωσών

Πρόκειται για μια παραλλαγή του σεναρίου 2. Πάλι μελετάμε τη μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους, ως προς τη μεταβολή του φορτίου των λειτουργικών συνιστωσών, με τη διαφορά ότι οι τιμές των μεταβλητών που πρέπει να είναι σταθερές, να μην διατηρούνται σταθερές αλλά διαφορετικές μεταξύ τους. Ειδικότερα θεωρούμε τις ακόλουθες παραδοχές:

- Το πλήθος των λειτουργικών συνιστωσών διατηρείται σταθερό, και ισούται με 4.
- Το πλήθος των φυσικών οντοτήτων διατηρείται σταθερό και ισούται με 4.
- Για κάθε λειτουργική συνιστώσα θεωρούμε ότι η μεταβλητή r , θα λάβει τιμές που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Λειτουργικές Συνιστώσες	Μεταβλητή r
0	2
1	3
2	3
3	1

Πίνακας 19: Τιμές μεταβλητής r για κάθε λειτουργική συνιστώσα, για το σενάριο 2Α

- Η χωρητικότητα κάθε φυσικής οντότητας SN, φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα:

Φυσικές Οντότητες	Χωρητικότητα
0	30
1	25
2	40
3	20

Πίνακας 20: Χωρητικότητα για κάθε φυσική οντότητα, για το σενάριο 2Α

- Το φορτίο(Load) των λειτουργικών συνιστωσών, για κάθε περίπτωση του σεναρίου , παρουσιάζεται στους ακόλουθους πίνακες:

Περίπτωση 1	
Component ID	Component Load
0	10
1	5
2	10
3	15

Πίνακας 21: Φορτίο κάθε λειτουργικής συνιστώσας, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 2Α

Περίπτωση 2	
Component ID	Component Load
0	8
1	6
2	12
3	18

Πίνακας 22: Φορτίο κάθε λειτουργικής συνιστώσας, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 2Α

Περίπτωση 3	
Component ID	Component Load
0	10
1	2
2	3

3	14
---	----

Πίνακας 23: Φορτίο κάθε λειτουργικής συνιστώσας, για την περίπτωση 3 του σεναρίου 2Α

- Οι λειτουργικές συνιστώσες που επικοινωνούν μεταξύ τους, και το signaling λόγω της επικοινωνίας τους είναι καθορισμένα και φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Λειτουργικές Συνιστώσες	Κόστος Επικοινωνίας (Signaling)
0-1	3
0-2	2
0-3	1.5

Πίνακας 24: Κόστη Επικοινωνίας, για το σενάριο 2Α

- Οι αποστάσεις (d) μεταξύ των φυσικών οντοτήτων είναι καθορισμένες και φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Φυσικές Οντότητες	Απόσταση d
0-1	3
0-2	2
0-3	4
1-2	2
1-3	1
2-3	2

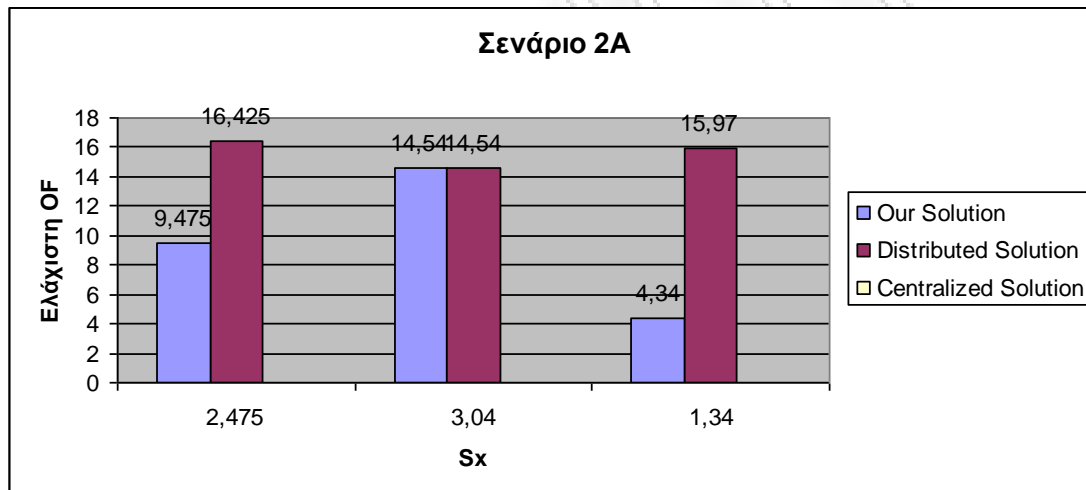
Πίνακας 25: Απόσταση φυσικών οντοτήτων SN, για το σενάριο 2Α

Από τις παραδοχές που παρουσιάσαμε προκύπτουν 3 περιπτώσεις. Για κάθε περίπτωση, δηλαδή για κάθε μεταβολή του φορτίου και κατ'επέκταση του αθροίσματος $\sum x$, υπολογίζουμε την ελάχιστη τιμή της συνάρτησης κόστους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

	$\sum x$	Ελάχιστη OF
Περίπτωση 1	2.475	9.475
Περίπτωση 2	3.04	14.54
Περίπτωση 3	1.34	4.34

Πίνακας 26: Φάση 3 – Αποτελέσματα, για το σενάριο 2A

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή της τιμής της OF, σε σχέση με τη μεταβολή του φορτίου που επιφέρει κάθε λειτουργική συνιστώσα στη φυσική οντότητα που έχει ανατεθεί. Πράγματι παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται το φορτίο των λειτουργικών συνιστωσών, αυξάνεται το άθροισμα $\sum x$ και κατεπέκταση η τιμή της συνάρτησης κόστους, μιας και είναι μεγέθη ανάλογα.



Εικόνα 8: Εξέλιξη της τιμής της συνάρτησης κόστους με τη μεταβολή του φορτίου των λειτουργικών συνιστωσών, για το σενάριο 2A

Στη γραφική παράσταση της εικόνας 8, παρατηρούμε πως δεν προέκυψε κάποια κεντροποιημένη λύση, ενώ κατανεμημένη λύση προέκυψε σε όλες τις περιπτώσεις του σεναρίου 2A. Μάλιστα, παρατηρείται απόκλιση στη μεταβολή της συνάρτησης κόστους, που παρατηρείται αν επιλεγθεί η κατανεμημένη λύση. Τέλος πρέπει να τονίσουμε πως σε σχέση με το σενάριο 2, παρόλο, που διαφοροποιήσαμε τις τιμές των μεταβλητών που συμμετέχουν η μεταβολή της συνάρτησης κόστους ακολουθεί την ίδια πορεία καθώς μεταβάλλεται το $\sum x$.

Οι συνδυασμοί, για κάθε περίπτωση, όπως έχουν προκύψει από την εκτέλεση του αλγορίθμου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Περίπτωση 1			
SN0 – C2	SN1 – C3	SN2 – C0,C1	SN3
Περίπτωση 2			
SN0 – C3	SN1 – C0	SN2 – C2	SN3 – C1
Περίπτωση 3			
SN0 – C3	SN1	SN2 - C0,C1,C2	SN3

Πίνακας 27: Ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών C_i σε φυσικές οντότητες SN_j , για το σενάριο 2Α

Γραφική απεικόνιση της βέλτιστης λύσης κάθε περίπτωσης του σεναρίου, ή αλλιώς οι οθόνες των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται στην υποενότητα 5.2.2.1 του κεφαλαίου 5.

4.3. Σενάριο 3: Μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους ως προς τη μεταβολή της χωρητικότητας των φυσικών οντοτήτων

Σε αυτό το σενάριο, μελετάμε τη μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους, ως προς τη μεταβολή της χωρητικότητας των φυσικών οντοτήτων. Ειδικότερα θεωρούμε τις ακόλουθες παραδοχές:

- Το πλήθος των λειτουργικών συνιστωσών διατηρείται σταθερό, και ισούται με 4.
- Το πλήθος των φυσικών οντοτήτων διατηρείται σταθερό και ισούται με 4.
- Για κάθε λειτουργική συνιστώσα θεωρούμε ότι η μεταβλητή r , ισούται με 2.
- Το φορτίο που επιφέρει κάθε λειτουργική συνιστώσα, διατηρείται σταθερό και ισούται με 8MB.
- Η χωρητικότητα (Capacity) των φυσικών οντοτήτων SN , για κάθε περίπτωση του σεναρίου, παρουσιάζεται στους ακόλουθους πίνακες:

Περίπτωση 1	
SN ID	SN Capacity
0	16
1	20
2	30
3	32

Πίνακας 28: Χωρητικότητα φυσικών οντοτήτων, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 3

Περίπτωση 2	
SN ID	SN Capacity
0	40
1	50
2	65
3	20

Πίνακας 29: Χωρητικότητα φυσικών οντοτήτων, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 3

Περίπτωση 3	
SN ID	SN Capacity
0	16
1	16
2	16
3	20

Πίνακας 30: Χωρητικότητα φυσικών οντοτήτων, για την περίπτωση 3 του σεναρίου 3

- Οι λειτουργικές συνιστώσες που επικοινωνούν μεταξύ τους, και το signaling λόγω της επικοινωνίας τους είναι καθορισμένα και φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Λειτουργικές συνιστώσες	Κόστος Επικοινωνίας (Signaling)
0-2	2

Πίνακας 31: Κόστη Επικοινωνίας, για το σενάριο 3

- Οι αποστάσεις (d) μεταξύ των φυσικών οντοτήτων SN είναι καθορισμένες και φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Φυσικές Οντότητες	Απόσταση d
1-2	2
2-3	2

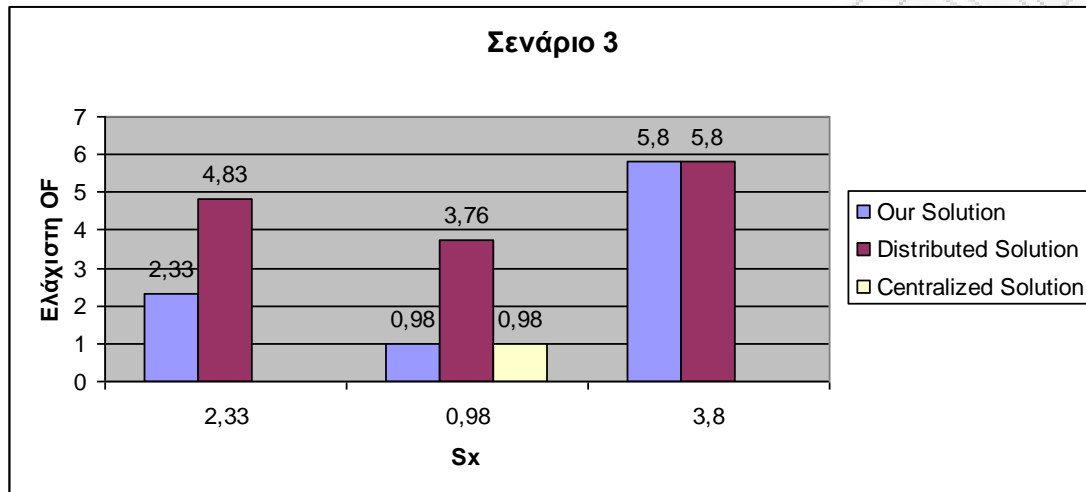
Πίνακας 32: Απόσταση φυσικών οντοτήτων, για το σενάριο 3

Από τις παραδοχές που παρουσιάσαμε προκύπτουν 3 περιπτώσεις. Για κάθε περίπτωση, δηλαδή για κάθε μεταβολή της χωρητικότητας και συνεπώς του $\sum x$, υπολογίζουμε την ελάχιστη τιμή της συνάρτησης κόστους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

	$\sum x$	Ελάχιστη OF
Περίπτωση 1	2.33	2.33
Περίπτωση 2	0,98	0,98
Περίπτωση 3	3.8	5.8

Πίνακας 33: Φάση 3 - Αποτελέσματα, για το σενάριο 3

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή της τιμής της OF, σε σχέση με τη μεταβολή της χωρητικότητας κάθε φυσικής οντότητας SN. Πράγματι παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται η χωρητικότητα των SN, μειώνεται το άθροισμα $\sum x$ μιας και είναι μεγέθη αντιστρόφως ανάλογα, και κατεπέκταση η τιμή της OF.



Εικόνα 9: Εξέλιξη της τιμής της συνάρτησης κόστους με βάση τη μεταβολή της χωρητικότητας κάθε φυσικής οντότητας SN, για το σενάριο 3

Στη γραφική παράσταση της εικόνας 9, παρατηρούμε πως προέκυψε κεντροποιημένη λύση στην περίπτωση 2, ενώ κατανομημένη λύση προέκυψε σε όλες τις περιπτώσεις του σεναρίου. Και εδώ παρατηρούμε πως οι κατανομημένες λύσεις επιφέρουν σημαντική απόκλιση στη μεταβολή της συνάρτησης κόστους.

Οι συνδυασμοί, για κάθε περίπτωση, όπως έχουν προκύψει από την εκτέλεση του αλγορίθμου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Περίπτωση 1			
SN0	SN1 – C1	SN2 – C3	SN3-C0,C2
Περίπτωση 2			
SN0	SN1	SN2 –C0,C1,C2,C3	SN3
Περίπτωση 3			
SN0 – C0	SN1 – C1	SN2-C2	SN3-C3

Πίνακας 34: Ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών Ci σε φυσικές οντότητες SNj για το σενάριο 3

Γραφική απεικόνιση της βέλτιστης λύσης κάθε περίπτωσης του σεναρίου, ή αλλιώς οι οθόνες των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται στην υποενότητα 5.2.3 του κεφαλαίου 5.

4.3.1. Σενάριο 3Α: Μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους ως προς τη μεταβολή της χωρητικότητας των φυσικών οντοτήτων

Πρόκειται για μια παραλλαγή του σεναρίου 3. Όπως και στο σενάριο 3 έτσι και εδώ, μελετάμε τη μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους, ως προς τη μεταβολή της χωρητικότητας των φυσικών οντοτήτων, με τη διαφορά ότι οι τιμές των μεταβλητών που πρέπει να είναι σταθερές, δε θα είναι όμοιες μεταξύ τους αλλά διαφορετικές. Ειδικότερα θεωρούμε τις ακόλουθες παραδοχές:

- Το πλήθος των λειτουργικών συνιστώσων διατηρείται σταθερό, και ισούται με 4.
- Το πλήθος των φυσικών οντοτήτων διατηρείται σταθερό και ισούται με 4.
- Για κάθε λειτουργική συνιστώσα θεωρούμε ότι η μεταβλητή r , θα λάβει τιμές που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Λειτουργικές Συνιστώσες	Μεταβλητή r
0	2
1	2
2	3
3	1

Πίνακας 35: Τιμές μεταβλητής r για κάθε λειτουργική συνιστώσα, για το σενάριο 3Α

- Το φορτίο που επιφέρει κάθε λειτουργική συνιστώσα, παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα:

Λειτουργικές Συνιστώσες	Φορτίο
0	6
1	8
2	5
3	12

Πίνακας 36: Φορτίο κάθε λειτουργικής συνιστώσας, για το σενάριο 3Α

- Η χωρητικότητα (Capacity) των φυσικών οντοτήτων SN, για κάθε περίπτωση του σεναρίου , παρουσιάζεται στους ακόλουθους πίνακες:

Περίπτωση 1	
SN ID	SN Capacity
0	16
1	20
2	30
3	32

Πίνακας 37: Χωρητικότητα φυσικών οντοτήτων, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 3A

Περίπτωση 2	
SN ID	SN Capacity
0	40
1	50
2	65
3	20

Πίνακας 38: Χωρητικότητα φυσικών οντοτήτων, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 3A

Περίπτωση 3	
SN ID	SN Capacity
0	16
1	16
2	16
3	20

Πίνακας 39: Χωρητικότητα φυσικών οντοτήτων, για την περίπτωση 3 του σεναρίου 3A

- Οι λειτουργικές συνιστώσες που επικοινωνούν μεταξύ τους, και το signaling λόγω της επικοινωνίας τους είναι καθορισμένα και φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Λειτουργικές Συνιστώσες	Κόστος Επικοινωνίας (Signaling)
0-1	3
0-2	2
0-3	1.5
1-4	2.5
2-4	3
3-4	2
3-5	3

Πίνακας 40: Κόστη Επικοινωνίας, για το σενάριο 3Α

- Οι αποστάσεις (d) μεταξύ των φυσικών οντοτήτων SN είναι καθορισμένες και φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Φυσικές Οντότητες	Απόσταση d
0-1	3
0-2	2
0-3	4
1-2	2
1-3	1
2-3	2

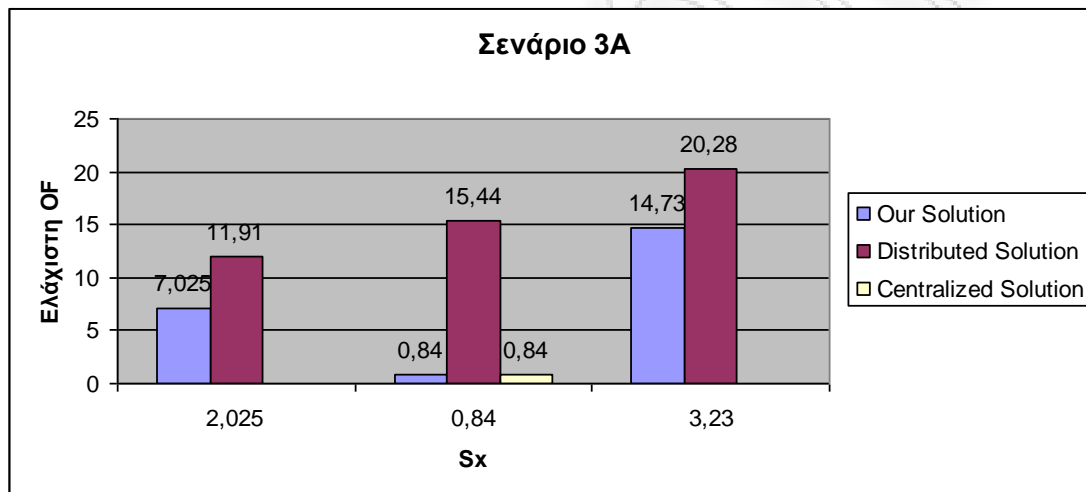
Πίνακας 41: Απόσταση φυσικών οντοτήτων, για το σενάριο 3Α

Από τις παραδοχές που παρουσιάσαμε προκύπτουν 3 περιπτώσεις. Για κάθε περίπτωση, δηλαδή για κάθε μεταβολή της χωρητικότητας και συνεπώς του $\sum x$, υπολογίζουμε την ελάχιστη τιμή της συνάρτησης κόστους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

	$\sum x$	Ελάχιστη OF
Περίπτωση 1	2.025	7.025
Περίπτωση 2	0.84	0.84
Περίπτωση 3	3.23	14.73

Πίνακας 42: Φάση 3 - Αποτελέσματα, για το σενάριο 3A

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή της τιμής της OF, σε σχέση με τη μεταβολή της χωρητικότητας κάθε φυσικής οντότητας SN. Πράγματι παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται η χωρητικότητα των SN, μειώνεται το άθροισμα $\sum x$ μιας και είναι μεγέθη αντιστρόφως ανάλογα, και κατεπέκταση η τιμή της OF.



Εικόνα 10: Εξέλιξη της τιμής της συνάρτησης κόστους με βάση τη μεταβολή της χωρητικότητας κάθε φυσικής οντότητας SN, για το σενάριο 3A

Στη γραφική παράσταση της εικόνας 10, παρατηρούμε πως προέκυψε κεντρικοποιημένη λύση στην περίπτωση 2, ενώ κατανομημένη λύση προέκυψε σε όλες τις περιπτώσεις του σεναρίου, επιφέροντας μεγάλη απόκλιση στη μεταβολή της συνάρτησης κόστους. Επίσης, όπως και στο σενάριο 3, έτσι και εδώ παρατηρούμε πως η μεταβολή της συνάρτησης κόστους ακολουθεί ίδια πορεία, παρόλο που οι σταθερές μεταβλητές είναι διαφορετικές μεταξύ τους.

Οι συνδυασμοί, για κάθε περίπτωση, όπως έχουν προκύψει από την εκτέλεση του αλγορίθμου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Περίπτωση 1			
SN0	SN1 – C2	SN2 – C3	SN3 - C0,C1
Περίπτωση 2			
SN0	SN1	SN2 – C0,C1,C2,C3	SN3
Περίπτωση 3			
SN0 – C3	SN1 – C0	SN2 – C2	SN3 – C1

Πίνακας 43: Ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών Ci σε φυσικές οντότητες SNj για το σενάριο 3A

Γραφική απεικόνιση της βέλτιστης λύσης κάθε περίπτωσης του σεναρίου, ή αλλιώς οι οθόνες των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται στην υποενότητα 5.2.3.1 του κεφαλαίου 5.

4.4. Σενάριο 4: Μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους ως προς τη μεταβολή του signaling μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών

Στο σενάριο αυτό, μελετάμε τη μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους, ως προς τη μεταβολή του signaling μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών. Ειδικότερα θεωρούμε τις ακόλουθες παραδοχές:

- Το πλήθος των λειτουργικών συνιστωσών διατηρείται σταθερό, και ισούται με 4.
- Το πλήθος των φυσικών οντοτήτων SN διατηρείται σταθερό και ισούται με 4.
- Για κάθε λειτουργική συνιστώσα θεωρούμε ότι η μεταβλητή r , ισούται με 2.
- Το φορτίο που επιφέρει κάθε λειτουργική συνιστώσα, διατηρείται σταθερό και ισούται με 8MB.
- Η χωρητικότητα κάθε φυσικής οντότητας, διατηρείται σταθερή και ισούται με 30MB.
- Το κόστος επικοινωνίας (signaling) μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών (Components), για κάθε περίπτωση του σεναρίου, παρουσιάζεται στους ακόλουθους πίνακες:

Περίπτωση 1	
Component ID	Κόστος Επικοινωνίας
0-1	3
0-2	2
0-3	1.5
1-2	2.5
1-3	3
2-3	4

Πίνακας 44: Κόστος επικοινωνίας, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 4

Περίπτωση 2	
Component ID	Κόστος Επικοινωνίας
0-1	3
1-2	2.5
2-3	4

Πίνακας 45: Κόστος επικοινωνίας, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 4

Περίπτωση 3	
Component ID	Κόστος Επικοινωνίας
2-3	4

Πίνακας 46: Κόστος επικοινωνίας, για την περίπτωση 3 του σεναρίου 4

- Οι αποστάσεις (d) μεταξύ των φυσικών οντοτήτων είναι καθορισμένες και φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Φυσικές Οντότητες	Απόσταση
1-2	2
2-3	2

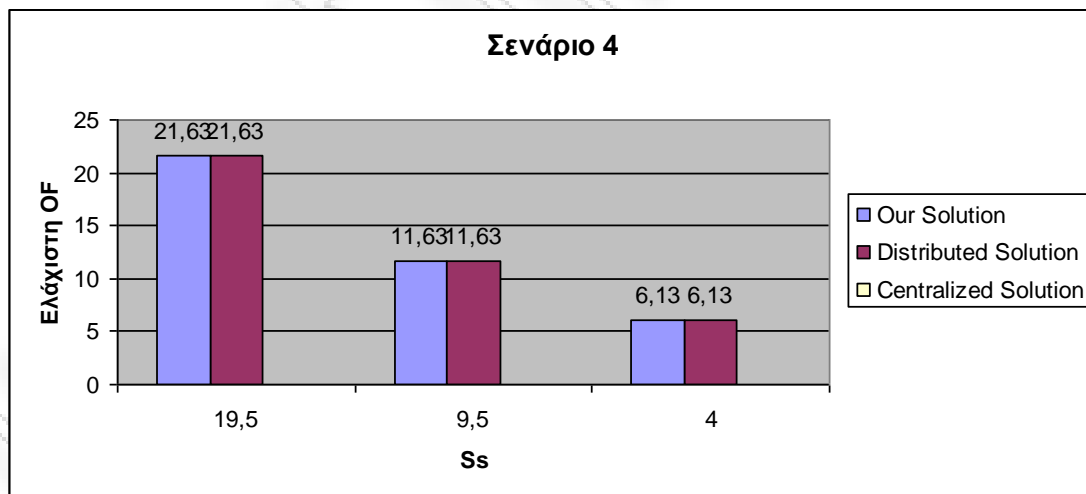
Πίνακας 47: Απόσταση μεταξύ φυσικών οντοτήτων, για το σενάριο 4

Από τις παραδοχές που παρουσιάσαμε προκύπτουν 3 περιπτώσεις. Για κάθε περίπτωση, δηλαδή για κάθε μεταβολή του κόστους επικοινωνίας και συνεπώς του αθροίσματος $\sum s$, υπολογίζουμε την ελάχιστη τιμή της συνάρτησης κόστους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

	$\sum s$	Ελάχιστη OF
Περίπτωση 1	19.5	21.63
Περίπτωση 2	9.5	11.63
Περίπτωση 3	4	6.13

Πίνακας 48: Φάση 3 - Αποτελέσματα, για το σενάριο 4

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή της τιμής της OF, σε σχέση με τη μεταβολή του κόστους επικοινωνίας μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών. Πράγματι παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται το φορτίο των λειτουργικών συνιστωσών, αυξάνεται το άθροισμα $\sum s$ και κατεπέκταση η τιμή της OF, μιας και είναι μεγέθη ανάλογα.



Εικόνα 11: Εξέλιξη της τιμής της συνάρτησης κόστους με τη μεταβολή του κόστους επικοινωνίας μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών, για το σενάριο 4

Στη γραφική παράσταση παρατηρούμε πως σε καμία περίπτωση δεν προέκυψε κεντροποιημένη λύση που είναι λογικό μιας και η χωρητικότητα κάθε φυσικής οντότητας δεν ήταν ικανή να επεξεργαστεί το συνολικό φορτίο των λειτουργικών

συνιστωσών. Παρατηρούμε ωστόσο πως η βέλτιστη λύση είναι η κατανεμημένη και στις τρεις περιπτώσεις.

Οι συνδυασμοί, για κάθε περίπτωση, όπως έχουν προκύψει από την εκτέλεση του αλγορίθμου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Περίπτωση 1			
SN0 – C1	SN1 – C2	SN2 – C0	SN3 – C3
Περίπτωση 2			
SN0 – C2	SN1 – C0	SN2 – C3	SN3 – C1
Περίπτωση 3			
SN0 – C0	SN1 – C2	SN2 – C1	SN3 – C3

Πίνακας 49: Ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών C_i σε φυσικές οντότητες SN_j για το σενάριο 4

Από τους συνδυασμούς που έχουν προκύψει παρατηρούμε πως και στις τρεις περιπτώσεις έχει επιλεγεί, ως βέλτιστη η κατανεμημένη λύση. Αυτό μπορεί εύκολα να προκύψει μιας και κάθε φυσική οντότητα δεν μπορεί να επεξεργαστεί το φορτίο που επιφέρουν περισσότερες από μία λειτουργικές συνιστώσες.

Γραφική απεικόνιση της βέλτιστης λύσης κάθε περίπτωσης του σεναρίου, ή αλλιώς οι οθόνες των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται στην υποενότητα 5.2.4 του κεφαλαίου 5.

4.4.1. Σενάριο 4A: Μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους ως προς τη μεταβολή του signaling μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών

Πρόκειται για παραλλαγή του σεναρίου 4. Μελετάμε τη μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους, ως προς τη μεταβολή του signaling μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών, με τη διαφορά ότι οι τιμές των μεταβλητών που πρέπει να διατηρούνται σταθερές δεν είναι όμοιες μεταξύ τους, αλλά διαφορετικές. Ειδικότερα θεωρούμε τις ακόλουθες παραδοχές:

- Το πλήθος των λειτουργικών συνιστωσών διατηρείται σταθερό, και ισούται με 4.
- Το πλήθος των φυσικών οντοτήτων SN διατηρείται σταθερό και ισούται με 4.

- Για κάθε λειτουργική συνιστώσα θεωρούμε ότι η μεταβλητή r , λαμβάνει τιμές που φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Λειτουργικές Συνιστώσες	Μεταβλητή r
0	3
1	3
2	1
3	4

Πίνακας 50: Τιμές μεταβλητής r κάθε λειτουργικής συνιστώσας, για το σενάριο 4A

- Το φορτίο που επιφέρει κάθε λειτουργική συνιστώσα, παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα:

Λειτουργικές Συνιστώσες	Φορτίο
0	8
1	10
2	12
3	6

Πίνακας 51: Φορτίο κάθε λειτουργικής συνιστώσας, για το σενάριο 4A

- Η χωρητικότητα κάθε φυσικής οντότητας, παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα:

Φυσικές Οντότητες	Χωρητικότητα
0	20
1	30
2	40
3	25

Πίνακας 52: Χωρητικότητα κάθε φυσικής οντότητας, για το σενάριο 4A

- Το κόστος επικοινωνίας (signaling) μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών (Components), για κάθε περίπτωση του σεναρίου , παρουσιάζεται στους ακόλουθους πίνακες:

Περίπτωση 1	
Component ID	Κόστος Επικοινωνίας
0-1	3
0-2	2
0-3	1.5
1-2	2.5
1-3	3
2-3	4

Πίνακας 53: Κόστος επικοινωνίας, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 4A

Περίπτωση 2	
Component ID	Κόστος Επικοινωνίας
0-1	3
1-2	5
2-3	4

Πίνακας 54: Κόστος επικοινωνίας, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 4A

Περίπτωση 3	
Component ID	Κόστος Επικοινωνίας
2-3	4

Πίνακας 55: Κόστος επικοινωνίας, για την περίπτωση 3 του σεναρίου 4A

- Οι αποστάσεις (d) μεταξύ των φυσικών οντοτήτων είναι καθορισμένες και φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Φυσικές Οντότητες	Απόσταση d
0-1	3
0-2	2
0-3	4
1-2	2
1-3	1
2-3	2

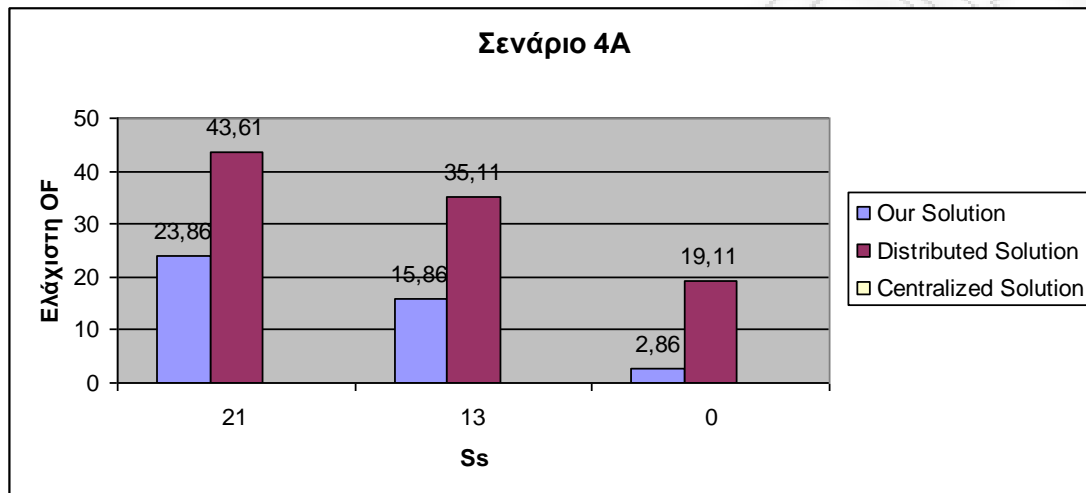
Πίνακας 56: Απόσταση μεταξύ φυσικών οντοτήτων, για το σενάριο 4A

Από τις παραδοχές που παρουσιάσαμε προκύπτουν 3 περιπτώσεις. Για κάθε περίπτωση, δηλαδή για κάθε μεταβολή του κόστους επικοινωνίας και συνεπώς του αθροίσματος $\sum s$, υπολογίζουμε την ελάχιστη τιμή της συνάρτησης κόστους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

	$\sum s$	Ελάχιστη OF
Περίπτωση 1	21	23.86
Περίπτωση 2	13	15.86
Περίπτωση 3	0	2.86

Πίνακας 57: Φάση 3 - Αποτελέσματα, για το σενάριο 4A

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή της τιμής της OF, σε σχέση με τη μεταβολή του κόστους επικοινωνίας μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών. Όπως και στο σενάριο 4, έτσι και εδώ παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται το φορτίο των λειτουργικών συνιστωσών, αυξάνεται το άθροισμα $\sum s$ και κατεπέκταση η τιμή της OF, μιας και είναι μεγέθη ανάλογα.



Εικόνα 12: Εξέλιξη της τιμής της συνάρτησης κόστους με τη μεταβολή του κόστους επικοινωνίας μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών, για το σενάριο 4A

Στη γραφική παράσταση παρατηρούμε πως σε καμία περίπτωση δεν προέκυψε κεντροποιημένη λύση. Και στις τρεις περιπτώσεις έχουν προκύψει καταναμημένες λύσεις που δίνουν τιμή συνάρτησης κόστους, μεγαλύτερη από αυτή που παρέχει η βέλτιστη λύση.

Οι συνδυασμοί, για κάθε περίπτωση, όπως έχουν προκύψει από την εκτέλεση του αλγορίθμου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Περίπτωση 1			
SN0	SN1 – C1	SN2 – C2,C3	SN3 – C0
Περίπτωση 2			
SN0	SN1 – C1	SN2 – C2,C3	SN3 – C0
Περίπτωση 3			
SN0	SN1 – C1	SN2 – C2,C3	SN3 – C0

Πίνακας 58: Ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών Ci σε φυσικές οντότητες SNj για το σενάριο 4A

Από τους συνδυασμούς που έχουν προκύψει παρατηρούμε πως και στις τρεις περιπτώσεις έχει επιλεγεί, ως βέλτιστη η κατανεμημένη λύση. Αυτό μπορεί εύκολα να προκύψει μιας και κάθε φυσική οντότητα δεν μπορεί να επεξεργαστεί το φορτίο που επιφέρουν περισσότερες από μία λειτουργικές συνιστώσες.

Γραφική απεικόνιση της βέλτιστης λύσης κάθε περίπτωσης του σεναρίου, ή αλλιώς οι οθόνες των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται στην υποενότητα 5.2.4.1 του κεφαλαίου 5.

4.5. Σενάριο 5: Μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους ως προς τη μεταβολή του signaling μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών και της χωρητικότητας των φυσικών οντοτήτων

Το σενάριο αυτό αποτελεί μία επέκταση του σεναρίου 4. Ειδικότερα μελετάμε τη μεταβολή της τιμής της συνάρτησης κόστους, ως προς τη μεταβολή του signaling μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών, ωστόσο λαμβάνουμε υπόψη και τη μεταβολή της χωρητικότητας των φυσικών οντοτήτων, μιας και, όπως θα δούμε αναλυτικά, επηρεάζει το άθροισμα $\sum s$. Ειδικότερα θεωρούμε τις ακόλουθες παραδοχές:

- Το πλήθος των λειτουργικών συνιστωσών διατηρείται σταθερό, και ισούται με 4.
- Το πλήθος των φυσικών οντοτήτων διατηρείται σταθερό και ισούται με 4.
- Για κάθε λειτουργική συνιστώσα θεωρούμε ότι η μεταβλητή r , λαμβάνει τιμές που φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Λειτουργικές Συνιστώσες	Μεταβλητή r
0	1
1	2
2	3
3	4

Πίνακας 59: Τιμές μεταβλητής r κάθε λειτουργικής συνιστώσας, για το σενάριο 5

- Το φορτίο που επιφέρει κάθε λειτουργική συνιστώσα, παρουσιάζεται στον ακόλουθο πίνακα:

Λειτουργικές Συνιστώσες	Φορτίο
0	8
1	15
2	10
3	7

Πίνακας 60: Φορτίο κάθε λειτουργικής συνιστώσας, για το σενάριο 5

- Η χωρητικότητα(Capacity) των φυσικών οντοτήτων SN, για κάθε περίπτωση του σεναρίου , παρουσιάζεται στους ακόλουθους πίνακες:

Περίπτωση 1	
SN ID	SN Capacity
0	120
1	30
2	30
3	30

Πίνακας 61: Χωρητικότητα κάθε φυσικής οντότητας, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 5

Περίπτωση 2	
SN ID	SN Capacity
0	42
1	30
2	30
3	30

Πίνακας 62: Χωρητικότητα κάθε φυσικής οντότητας, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 5

Περίπτωση 3	
SN ID	SN Capacity
0	40
1	32
2	16
3	24

Πίνακας 63: Χωρητικότητα κάθε φυσικής οντότητας, για την περίπτωση 3 του σεναρίου 5

- Το κόστος επικοινωνίας (signaling) μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών (Components), για κάθε περίπτωση του σεναρίου, παρουσιάζεται στους ακόλουθους πίνακες:

Περίπτωση 1	
Component ID	Κόστος Επικοινωνίας
0-1	3
0-2	2
0-3	1.5
1-2	2.5
1-3	3
2-3	4

Πίνακας 64: Κόστος επικοινωνίας, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 5

Περίπτωση 2	
Component ID	Κόστος Επικοινωνίας
0-1	3
1-2	2.5
2-3	4

Πίνακας 65: Κόστος επικοινωνίας, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 5

Περίπτωση 3	
Component ID	Κόστος Επικοινωνίας
2-3	6

Πίνακας 66: Κόστος επικοινωνίας, για την περίπτωση 3 του σεναρίου 5

- Οι αποστάσεις (d) μεταξύ των φυσικών οντοτήτων είναι καθορισμένες και φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Φυσικές Οντότητες	Απόσταση
1-2	2
2-3	2

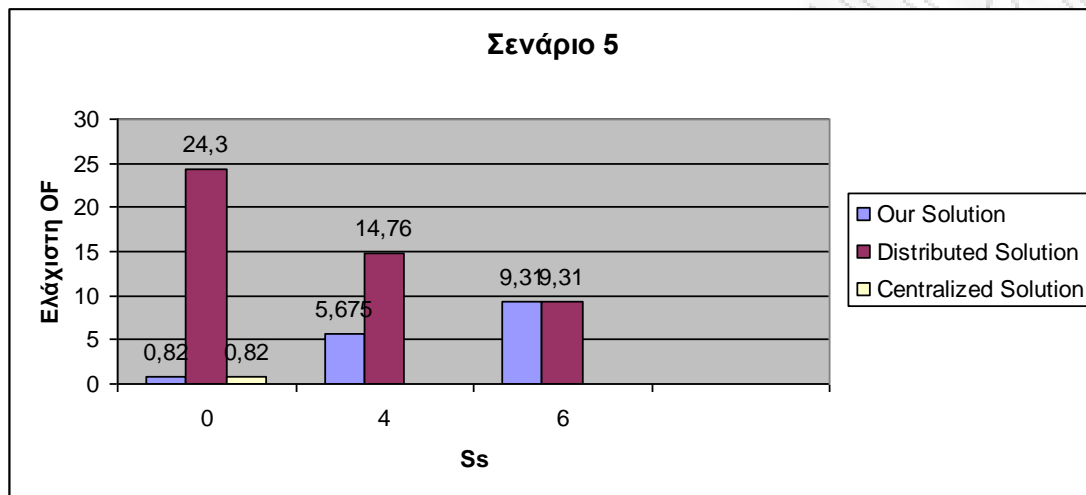
Πίνακας 67: Απόσταση d μεταξύ φυσικών οντοτήτων, για το σενάριο 5

Από τις παραδοχές που παρουσιάσαμε προκύπτουν 3 περιπτώσεις. Για κάθε περίπτωση, δηλαδή για κάθε μεταβολή του κόστους επικοινωνίας, και της χωρητικότητας των φυσικών οντοτήτων και συνεπώς των αθροισμάτων $\sum s$, $\sum x$, υπολογίζουμε την ελάχιστη τιμή της συνάρτησης κόστους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

	$\sum s$	Ελάχιστη OF
Περίπτωση 1	4	5.675
Περίπτωση 2	9.5	12.41
Περίπτωση 3	6	9.31

Πίνακας 68: Φάση 3 – Αποτελέσματα, για το σενάριο 5

Στην εικόνα που ακολουθεί παρουσιάζεται η μεταβολή της τιμής της OF, σε σχέση με τη μεταβολή του κόστους επικοινωνίας μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών. Πράγματι παρατηρούμε πως όσο αυξάνεται το φορτίο των λειτουργικών συνιστωσών, αυξάνεται το άθροισμα $\sum s$ και κατεπέκταση η τιμή της OF, μιας και είναι μεγέθη ανάλογα.



Εικόνα 13: Εξέλιξη της τιμής της συνάρτησης κόστους με τη μεταβολή του signaling, για το σενάριο 5

Στη γραφική παράσταση παρατηρούμε πως στην πρώτη περίπτωση έχει προκύψει κεντροποιημένη λύση η οποία ταυτίζεται και με τη βέλτιστη. Απόλυτα καταναμημένες λύσεις έχουν προκύψει και στις τρεις περιπτώσεις δίνοντας τιμή συνάρτησης κόστους, μεγαλύτερη από αυτή που παρέχει η βέλτιστη λύση, για τις περιπτώσεις 1, 2.

Οι συνδυασμοί, για κάθε περίπτωση, όπως έχουν προκύψει από την εκτέλεση του αλγορίθμου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Περίπτωση 1			
SN0 – C0,C1,C2,C3	SN1	SN2	SN3
Περίπτωση 2			
SN0 – C0,C1,C2	SN1 – C3	SN2	SN3
Περίπτωση 3			
SN0 – C2	SN1 – C1	SN2 – C0	SN3 - C3

Πίνακας 69: Ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών C_i σε φυσικές οντότητες SN_j για το σενάριο 5

Σε αυτό το σημείο είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον να δούμε πως έχουν τροποποιηθεί οι συνδυασμοί στις περιπτώσεις 1, 2 σε σχέση με τις αντίστοιχες του σεναρίου 4. Ο λόγος που σε αυτές τις περιπτώσεις, το $\sum s$ είναι μικρότερο, και οι συνδυασμοί τείνουν να είναι πιο κεντρικοποιημένοι είναι, η αύξηση της χωρητικότητας μιας φυσικής οντότητας SN σε μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό. Συγκεκριμένα, η αύξηση της χωρητικότητας του SN0 του επιτρέπει να επεξεργάζεται μεγαλύτερο φόρτο, που σημαίνει ότι περισσότεροι από ένα component θα ανατίθενται σε αυτόν. Λαμβάνοντας υπόψη το δεύτερο περιορισμό (ενότητα 4.2.3), το κόστος επικοινωνίας μεταξύ των λειτουργικών συνιστωσών που έχουν ανατεθεί στο SN0, είναι μηδενικό, άρα συνολικά το $\sum s$ θα είναι μικρότερο. Στην πρώτη περίπτωση το $\sum s$ είναι μηδενικό καθώς προέκυψε μια τελείως κεντρικοποιημένη λύση. Στη δεύτερη περίπτωση το $\sum s$ είναι απλώς μικρότερο μιας και δύο μόνο λειτουργικές συνιστώσες ανατέθηκαν στο SN0.

Γραφική απεικόνιση της βέλτιστης λύσης κάθε περίπτωσης του σεναρίου, ή αλλιώς οι οθόνες των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται στην υποενότητα 5.2.5 του κεφαλαίου 5.

4.6 Σενάριο 6: Μεταβολή της τελικής κατανομής λειτουργικών συνιστωσών σε συνάρτηση με το πλήθος τους

Στόχος αυτού του σεναρίου είναι να καταφέρουμε να κάνουμε μία πρόβλεψη για το πως διαμορφώνεται, από άποψη κατανομής των λειτουργικών συνιστωσών, η βέλτιστη λύση ενός σεναρίου στο οποίο το πλήθος των στοιχείων που συμμετέχουν ξεπερνάει το 8 ή αλλιώς οι συνδυασμοί που πρέπει να εξεταστούν ξεπερνάνε τους 8^8 . Για αυτό το σκοπό θα ακολουθήσουμε την εξής διαδικασία: Έστω ότι θέλουμε να δούμε πως θα διαμορφωθεί η τελική κατανομή ενός σεναρίου 20^{20} , στο οποίο οι τιμές των χαρακτηριστικών των στοιχείων που συμμετέχουν έχουν κατανομηθεί με ποσοστά 50%, 20%, 20%. Αυτό σημαίνει ότι το 50% των λειτουργικών συνιστωσών και των φυσικών οντοτήτων, έχουν ίδια χαρακτηριστικά. Το ίδιο ισχύει και για τα υπόλοιπα 20% και 20%. Για να το πετύχουμε αυτό θα εφαρμόσουμε την ίδια ποσοστιαία κατανομή στις περιπτώσεις 4x4, 8x8.

Ειδικότερα θεωρούμε τις ακόλουθες παραδοχές:

- Το πλήθος των λειτουργικών συνιστωσών C_i θα λάβει τιμές 4, 8.
- Το πλήθος των φυσικών οντοτήτων SN_j θα λάβει τιμές 4, 8.
- Για τις λειτουργικές συνιστώσες θεωρούμε ότι η μεταβλητή r , παίρνει τις ακόλουθες τιμές:

Ποσοστό λειτουργικών συνιστωσών	Μεταβλητή r
50%	2
20%	2
20%	3

Πίνακας 70: Ποσοστό κατανομής τιμών μεταβλητής r των λειτουργικών συνιστωσών, για το σενάριο 6

Περίπτωση 1 (4x4)	
Λειτουργικές συνιστώσες	Μεταβλητή r
0, 1	2
2	2
3	3

Πίνακας 71: Τιμές μεταβλητής r λειτουργικών συνιστωσών, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 6

Περίπτωση 2 (8x8)	
Λειτουργικές Συνιστώσες	Μεταβλητή r
0,1,2,3	2
4,5	2
6,7	3

Πίνακας 72: Τιμές μεταβλητής r λειτουργικών συνιστωσών, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 6

- Για τις λειτουργικές συνιστώσες θεωρούμε ότι το φορτίο, παίρνει τις ακόλουθες τιμές:

Ποσοστό λειτουργικών συνιστωσών	Φορτίο
50%	8
20%	5
20%	10

Πίνακας 73: Ποσοστό κατανομής φορτίου λειτουργικών συνιστωσών, για το σενάριο 6

Περίπτωση 1 (4x4)	
Λειτουργικές συνιστώσες	Φορτίο
0, 1	8
2	5
3	10

Πίνακας 74: Φορτίο λειτουργικών συνιστωσών, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 6

Περίπτωση 2 (8x8)	
Λειτουργικές Συνιστώσες	Φορτίο
0,1,2,3	8
4,5	5
6,7	10

Πίνακας 75: Φορτίο λειτουργικών συνιστωσών, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 6

- Για τις φυσικές οντότητες, θεωρούμε ότι η χωρητικότητα, παίρνει τις ακόλουθες τιμές:

Ποσοστό φυσικών οντοτήτων	Χωρητικότητα
50%	20
20%	30
20%	40

Πίνακας 76: Ποσοστό κατανομής χωρητικότητας των φυσικών οντοτήτων, για το σενάριο 6

Περίπτωση 1 (4x4)	
Φυσικές Οντότητες	Χωρητικότητα
0, 1	20
2	30
3	40

Πίνακας 77: Χωρητικότητα φυσικών οντοτήτων, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 6

Περίπτωση 2 (8x8)	
Φυσικές Οντότητες	Χωρητικότητα
0,1,2,3	20
4,5	30
6,7	40

Πίνακας 78: Χωρητικότητα φυσικών οντοτήτων, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 6

- Το κόστος επικοινωνίας (signaling) μεταξύ των λειτουργικών συνιστώσων, παίρνει τις ακόλουθες τιμές:

Περίπτωση 1 (4x4)	
Λειτουργικές συνιστώσες	Κόστος επικοινωνίας
0-1	2
2-3	2

Πίνακας 79: Κόστος επικοινωνίας μεταξύ λειτουργικών συνιστώσων, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 6

Περίπτωση 2 (8x8)	
Λειτουργικές συνιστώσες	Κόστος επικοινωνίας
0-1	2
2-3	2
4-5	2
6-7	2

Πίνακας 80: Κόστος επικοινωνίας μεταξύ λειτουργικών συνιστώσων, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 6

- Η απόσταση d μεταξύ των φυσικών οντοτήτων, παίρνει τις ακόλουθες τιμές:

Περίπτωση 1 (4x4)	
Φυσικές Οντότητες	Απόσταση d
0-1	2
2-3	2

Πίνακας 81: Απόσταση d μεταξύ φυσικών οντοτήτων, για την περίπτωση 1 του σεναρίου 6

Περίπτωση 2 (8x8)	
Φυσικές Οντότητες	Απόσταση d
0-1	2
2-3	2
4-5	2
6-7	2

Πίνακας 82: Απόσταση d μεταξύ φυσικών οντοτήτων, για την περίπτωση 2 του σεναρίου 6

Από τις παραδοχές που παρουσιάσαμε προκύπτουν 2 περιπτώσεις. Για κάθε περίπτωση, υπολογίζουμε την ελάχιστη τιμή της συνάρτησης κόστους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

	Πλήθος C, SN	Ελάχιστη OF
Περίπτωση 1	4	4.3
Περίπτωση 2	8	16.6

Πίνακας 83: Φάση 3 – Αποτελέσματα, για το σενάριο 6

Οι συνδυασμοί, για κάθε περίπτωση, όπως έχουν προκύψει από την εκτέλεση του αλγορίθμου παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Περίπτωση 1			
SN0 – C2	SN1	SN2 – C3	SN3 – C1, C2
Περίπτωση 2			
SN0 – C4	SN1 – C5	SN2	SN3
SN4 – C6	SN5 – C7	SN6 – C0, C1	SN7 – C2, C3

Πίνακας 84: Ανάθεση λειτουργικών συνιστωσών C_i σε φυσικές οντότητες SN_j για το σενάριο 6

Από τον πίνακα 84, παρατηρούμε πως και στις 2 περιπτώσεις έχει προκύψει ανάλογη κατανομή λειτουργικών συνιστωσών στις φυσικές οντότητες. Ειδικότερα παρατηρούμε τα ακόλουθα:

- Οι λειτουργικές οντότητες με φορτίο 8, $r=2$, ανατέθηκαν στις φυσικές οντότητες με χωρητικότητα 40.
- Οι λειτουργικές οντότητες με φορτίο 5, $r=2$, ανατέθηκαν στις φυσικές οντότητες με χωρητικότητα 20.
- Οι λειτουργικές οντότητες με φορτίο 10, $r=3$, ανατέθηκαν στις φυσικές οντότητες με χωρητικότητα 30.

Συνεπώς από αυτά τα συμπεράσματα μπορούμε να πούμε για ένα σενάριο της τάξης του 20×20 , η βέλτιστη λύση που θα προκύψει θα ακολουθήσει την ίδια κατανομή λειτουργικών συνιστωσών, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω. Βέβαια υπενθυμίζουμε ότι οι τιμές των χαρακτηριστικών των στοιχείων που συμμετέχουν, θα πρέπει να καθοριστούν με βάση τα ποσοστά τιμών που ορίζονται για αντίστοιχα σενάρια μικρότερου βεληνεκούς.

Γραφική απεικόνιση της βέλτιστης λύσης κάθε περίπτωσης του σεναρίου, ή αλλιώς οι οθόνες των αποτελεσμάτων παρουσιάζονται στην υποενότητα [5.2.6](#) του κεφαλαίου 5.

5. Υλοποίηση Λογισμικού για την επίλυση προβλήματος ανάθεσης λειτουργικών συνιστωσών αναδιαρθρώμενων συστημάτων σε φυσικές οντότητες

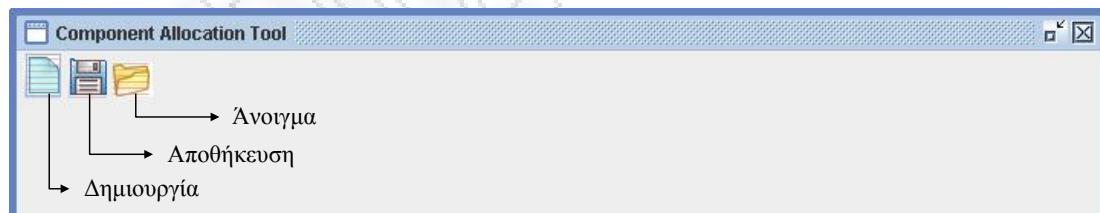
Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκε λογισμικό που υλοποιεί τον αλγόριθμο βελτιστοποίησης που παρουσιάστηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Η ανάπτυξη του λογισμικού έγινε σε γλώσσα προγραμματισμού JAVA. Στις ενότητες που ακολουθούν περιγράφονται αναλυτικά οι οθόνες του λογισμικού, και παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα των σεναρίων που παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο.

5.1. Περιγραφή Οθονών

Οι λειτουργίες που παρέχονται στο χρήστη του λογισμικού είναι οι ακόλουθες:

- Δημιουργία νέου σεναρίου
- Αποθήκευση σεναρίου
- Άνοιγμα υπάρχοντος σεναρίου

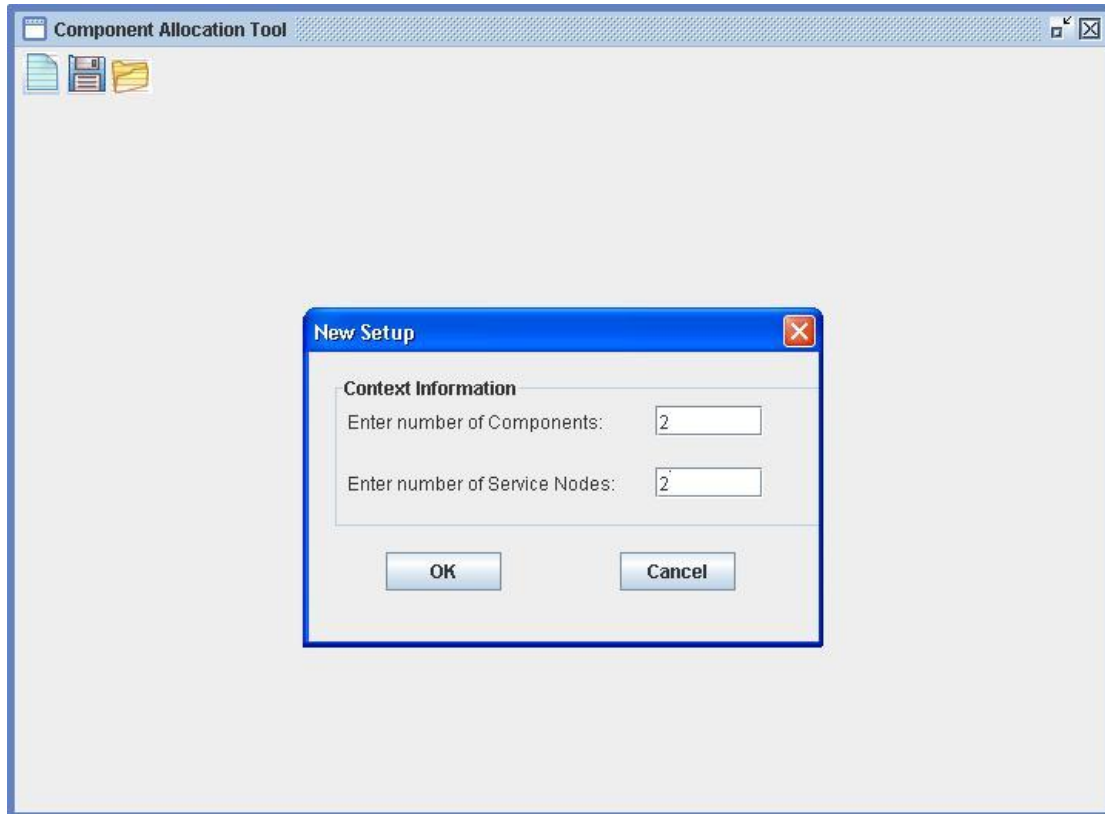
Οι λειτουργίες αυτές ενεργοποιούνται από τα αντίστοιχα κουμπιά που βρίσκονται στην πρώτη οθόνη της εφαρμογής, όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 14: Βασικές Λειτουργίες Λογισμικού

5.1.1. Δημιουργία Νέου Σεναρίου

Εάν ο χρήστης επιλέξει να δημιουργήσει ένα νέο σενάριο τότε εμφανίζεται μία φόρμα όπου καλείται να συμπληρώσει το πλήθος των λειτουργικών συνιστωσών και των φυσικών οντοτήτων που θα συμμετέχουν στο σενάριο.



Εικόνα 15: Δημιουργία Νέου Σεναρίου

Εάν ο χρήστης επιλέξει «Cancel» τότε η διαδικασία ακυρώνεται. Εάν επιλέξει «OK», τότε εμφανίζεται η δεύτερη οθόνη του λογισμικού, όπου ο χρήστης μπορεί, επιλέγοντας τα tabs «Components», «Service Nodes», να συμπληρώσει αντίστοιχα, τα βασικά χαρακτηριστικά των λειτουργικών συνιστωσών (φορτίο, ειδικό βάρος r , κόστος επικοινωνίας μεταξύ λειτουργικών συνιστωσών) καθώς και τα βασικά χαρακτηριστικά των φυσικών οντοτήτων (χωρητικότητα, απόσταση μεταξύ φυσικών οντοτήτων).

Component Allocation Tool

Components Service Nodes Output

In the following table you must fill in load, weight and name for each Component

	Load	Weight r
C0		
C1		

In the following table you must fill the signaling between Components

	C0	C1
C0		
C1		

Execute

Εικόνα 16: Οθόνη βασικών χαρακτηριστικών λειτουργικών συνιστωσών (Components)

Component Allocation Tool

Components Service Nodes Output

In the following table you must fill in capacity, and name for each Service Node

	Capacity
SN0	
SN1	

In the following table you must fill the distance between Service Nodes

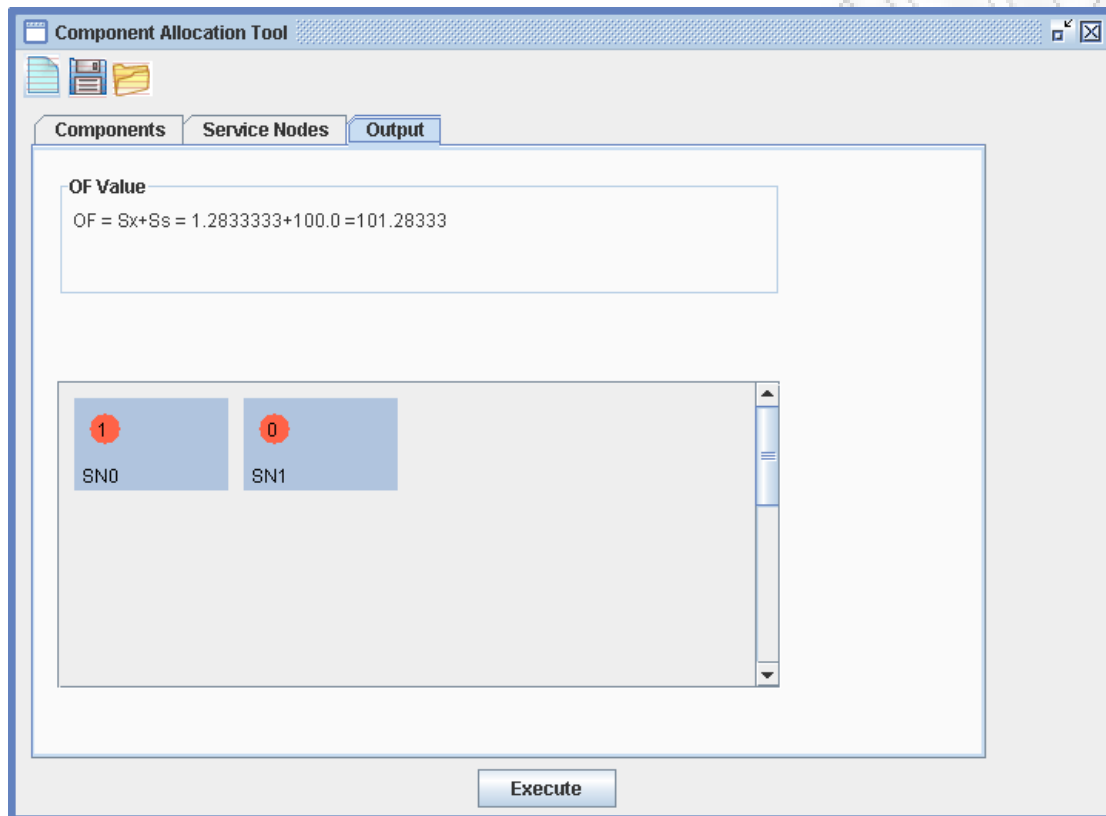
	SN0	SN1
SN0		
SN1		

Execute

Εικόνα 17: Οθόνη βασικών χαρακτηριστικών φυσικών οντοτήτων (SN)

Μόλις ο χρήστης συμπληρώσει τις τιμές που θέλει, επιλέγει «Execute», οπότε ενεργοποιείται η διαδικασία εντοπισμού της βέλτιστης κατανομής των λειτουργικών συνιστωσών στις φυσικές οντότητες. Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία αυτή, ο χρήστης θα μπορεί να έχει γραφική απεικόνιση των αποτελεσμάτων πατώντας το tab «Output».

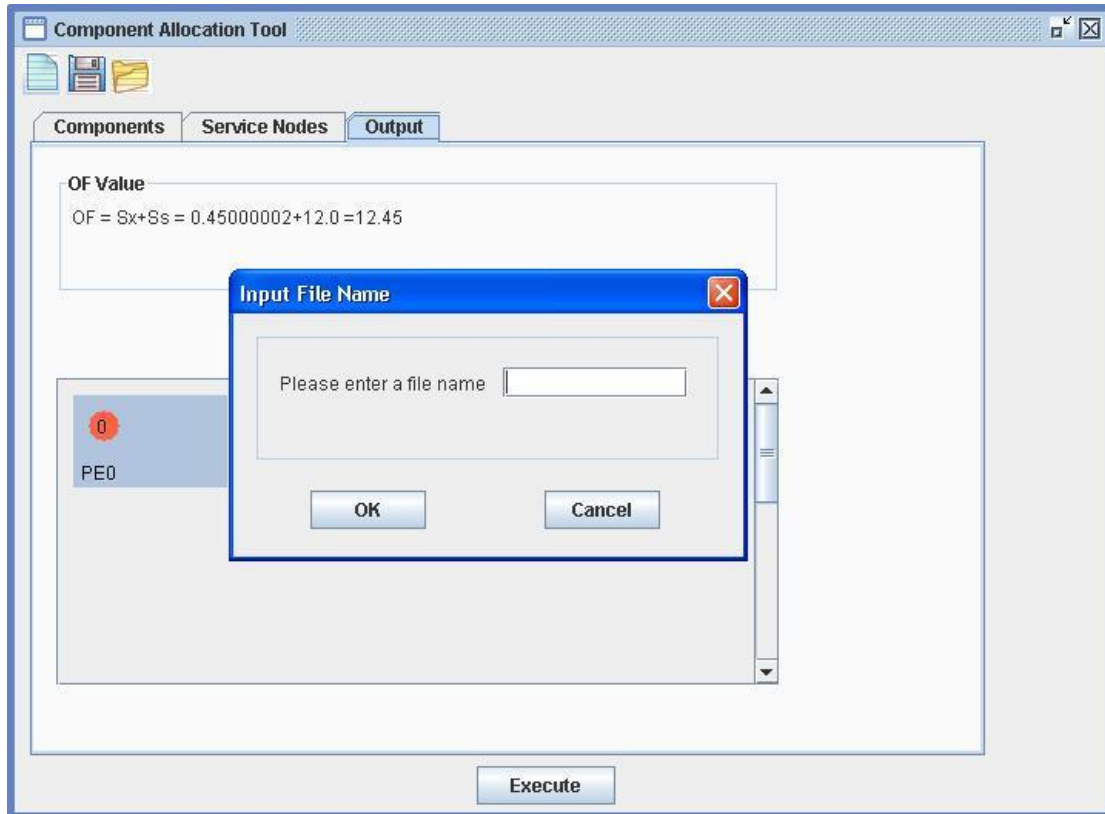
Ενδεικτικά, έχουμε εισάγει κάποιες τιμές οπότε προκύπτει το ακόλουθο αποτέλεσμα:



Εικόνα 18: Οθόνη αποτελεσμάτων

5.1.2. Αποθήκευση Σεναρίου

Σε περίπτωση που ο χρήστης θέλει να αποθηκεύσει το σενάριο που μόλις δημιούργησε, τότε μπορεί να πατήσει το κουμπί της αποθήκευσης από το βασικό μενού. Έτσι, όπως φαίνεται και στην εικόνα που ακολουθεί, εμφανίζεται μία φόρμα όπου ο χρήστης καλείται να συμπληρώσει το όνομα του αρχείου του σεναρίου που θα δημιουργηθεί.



Εικόνα 19: Οθόνη εισαγωγής ονόματος νέου σεναρίου

Μόλις ο χρήστης συμπληρώσει το όνομα του .properties αρχείου, εμφανίζεται η ακόλουθη οθόνη επιβεβαίωσης :



Εικόνα 20: Οθόνη επιβεβαίωσης αποθήκευσης σεναρίου

5.1.3. Άνοιγμα Σεναρίου

Η εφαρμογή δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη, απλά πατώντας το αντίστοιχο κουμπί από το βασικό μενού, να ανοίξει κάποιο από τα υπάρχοντα σενάρια, είτε για να τα τροποποιήσει, είτε για να τα επανεκτελέσει. Σε αυτή την Περίπτωση εμφανίζεται η οθόνη στην οποία παρουσιάζονται συμπληρωμένα τα βασικά χαρακτηριστικά των λειτουργικών συνιστωσών και των φυσικών οντοτήτων. Στις εικόνες 8, 9 που ακολουθούν παρουσιάζονται οθόνες με κάποιες ενδεικτικές τιμές:

Component Allocation Tool

Components | Service Nodes | Output

In the following table you must fill in load, weight and name for each Component

	Load	Weight r
C0	5	3
C1	4	2

In the following table you must fill the signaling between Components

	C0	C1
C0		5
C1	5	

Execute

Εικόνα 21: Οθόνη με ενδεικτικές τιμές των χαρακτηριστικών των λειτουργικών συνιστωσών

Component Allocation Tool

Components | **Service Nodes** | Output

In the following table you must fill in capacity, and name for each Service Node

	Capacity
SN0	15
SN1	20

In the following table you must fill the distance between Service Nodes

	SN0	SN1
SN0		4
SN1	4	

Execute

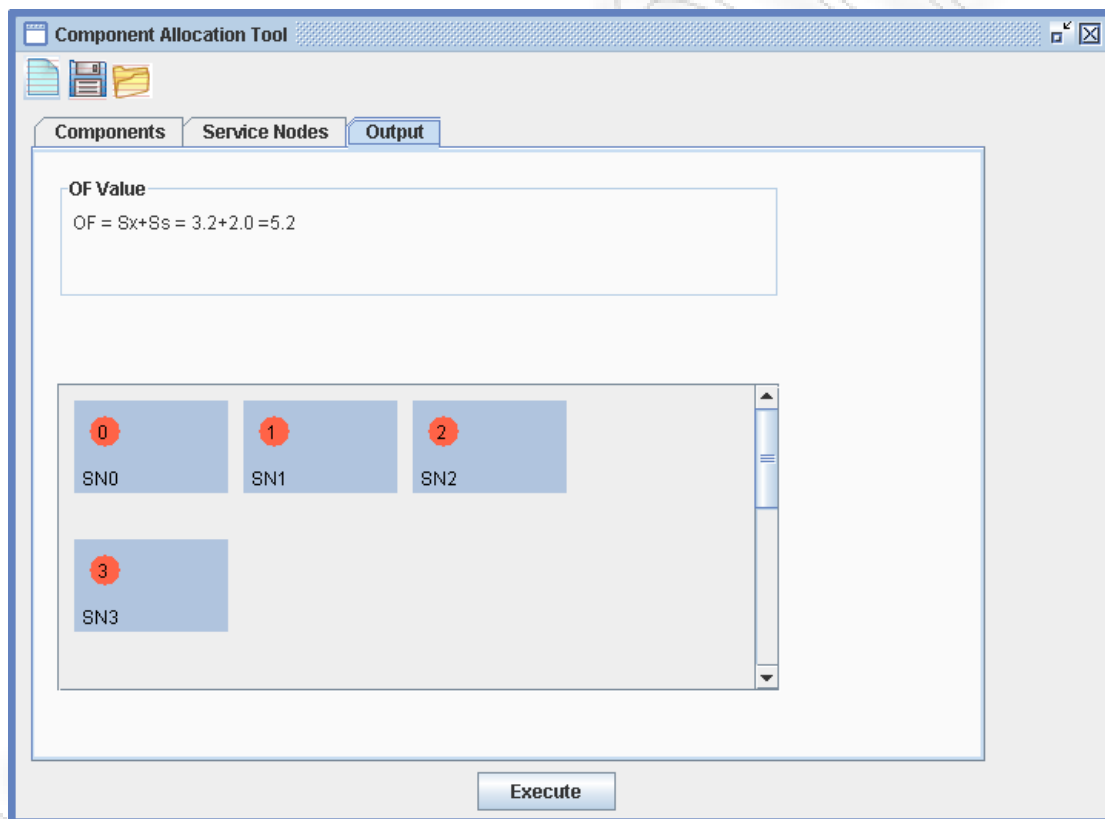
Εικόνα 22: Οθόνη με ενδεικτικές τιμές των χαρακτηριστικών των φυσικών οντοτήτων

5.2. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων

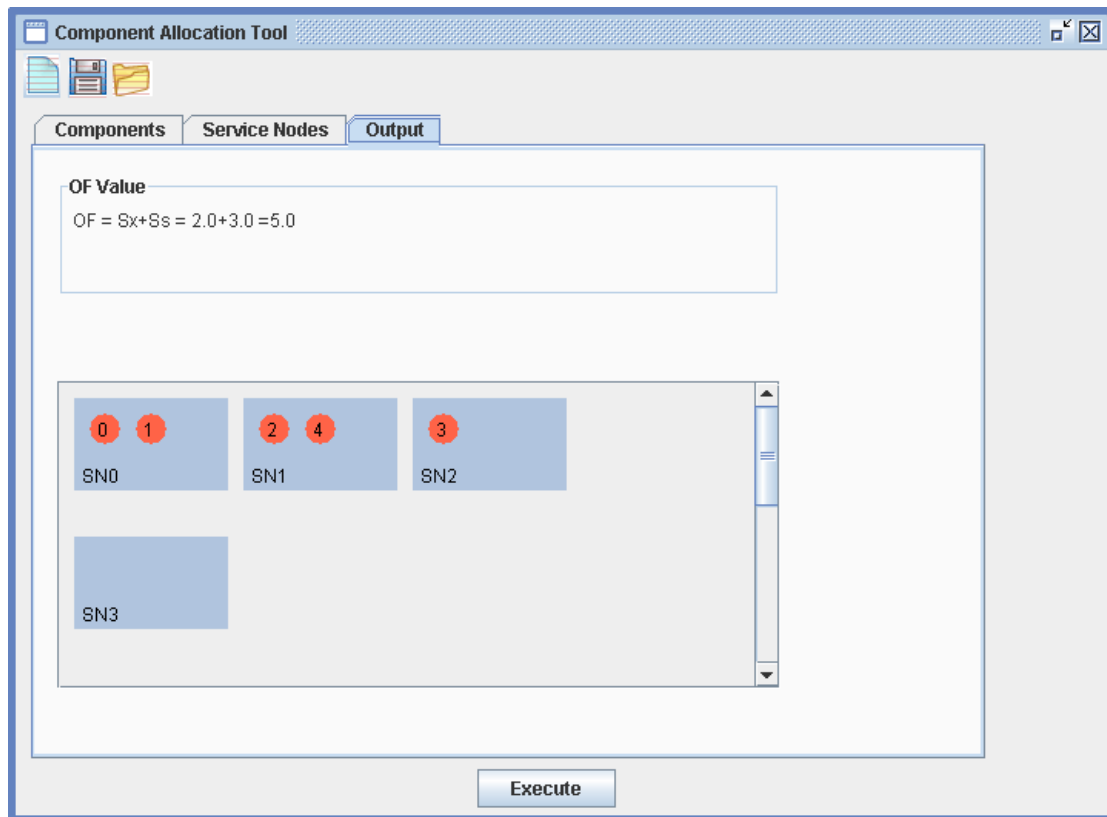
Στις υποενότητες που ακολουθούν θα παρουσιάσουμε γραφικά τη βέλτιστη κατανομή των λειτουργικών συνιστωσών στις φυσικές οντότητες για κάθε περίπτωση χρήσης των σεναρίων που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4.

5.2.1. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση του Σεναρίου 1

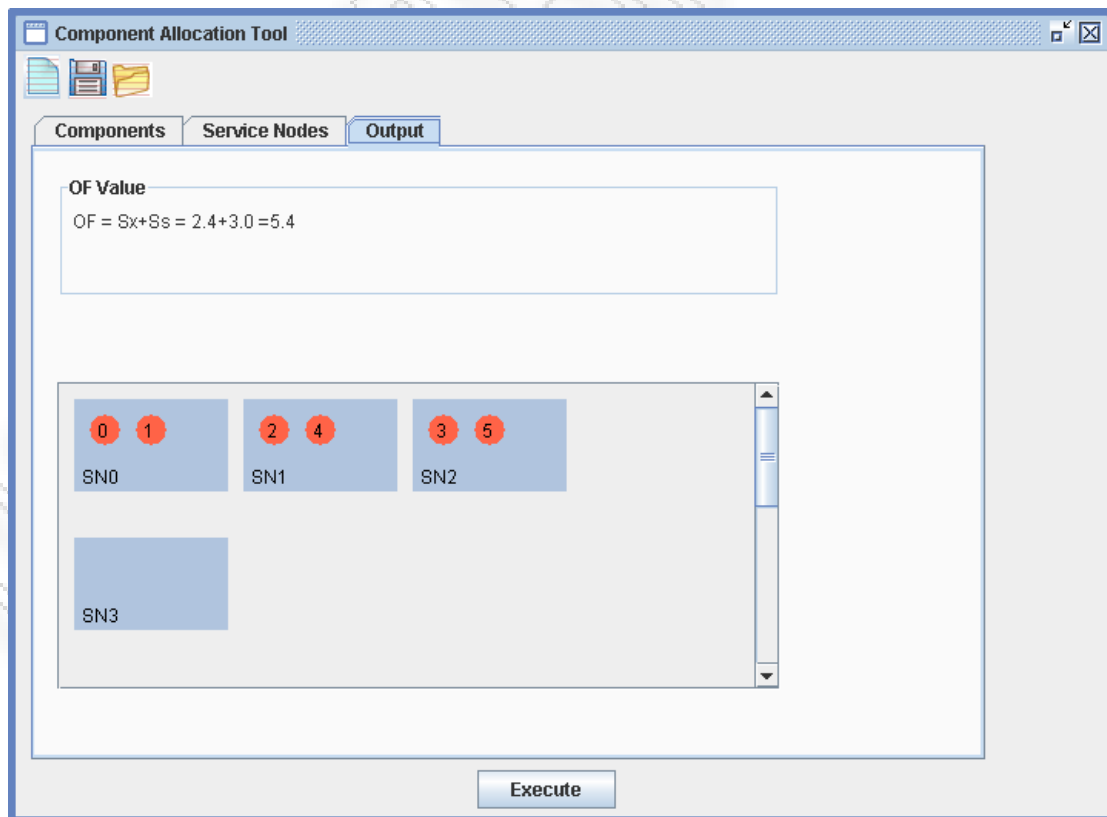
Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζουμε την οθόνη των αποτελεσμάτων από την εκτέλεση των περιπτώσεων 1, 2, 3 αντιστοίχως, του πρώτου σεναρίου (βλ. 4.1).



Εικόνα 23: Αποτελέσματα για την περίπτωση 1, του σεναρίου 1



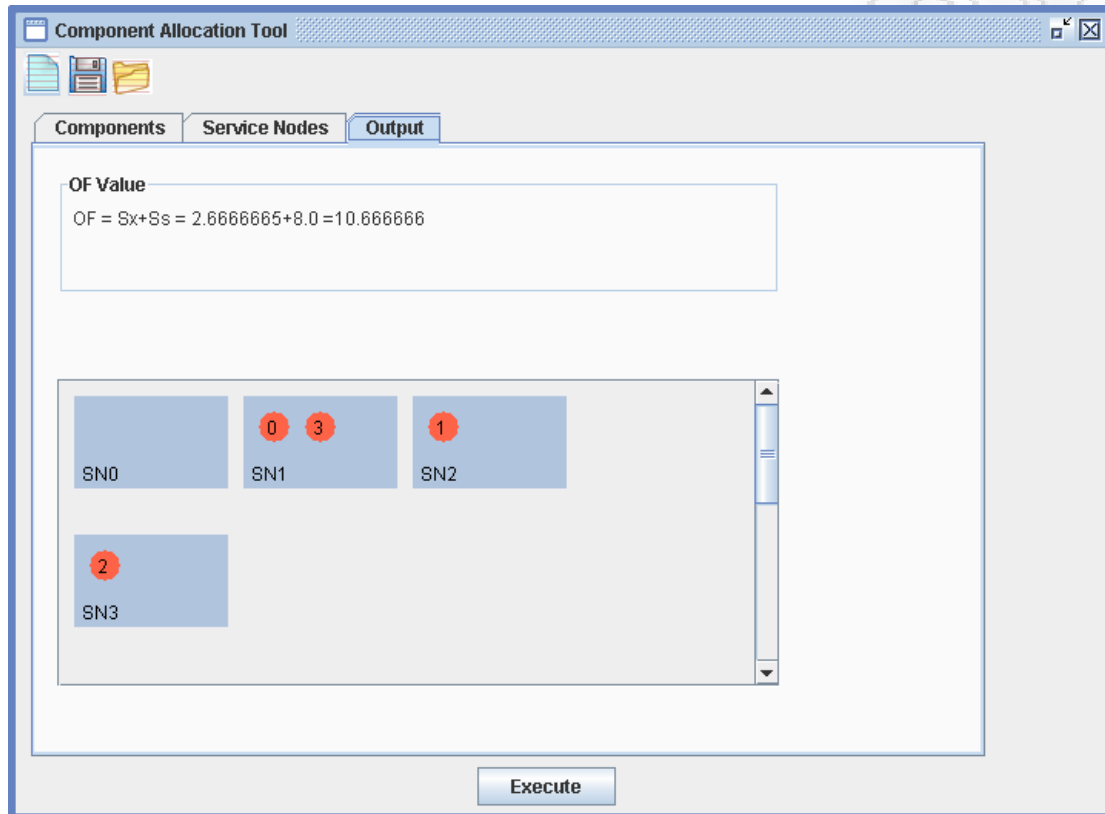
Εικόνα 24: Αποτελέσματα για την περίπτωση 2, του σεναρίου 1



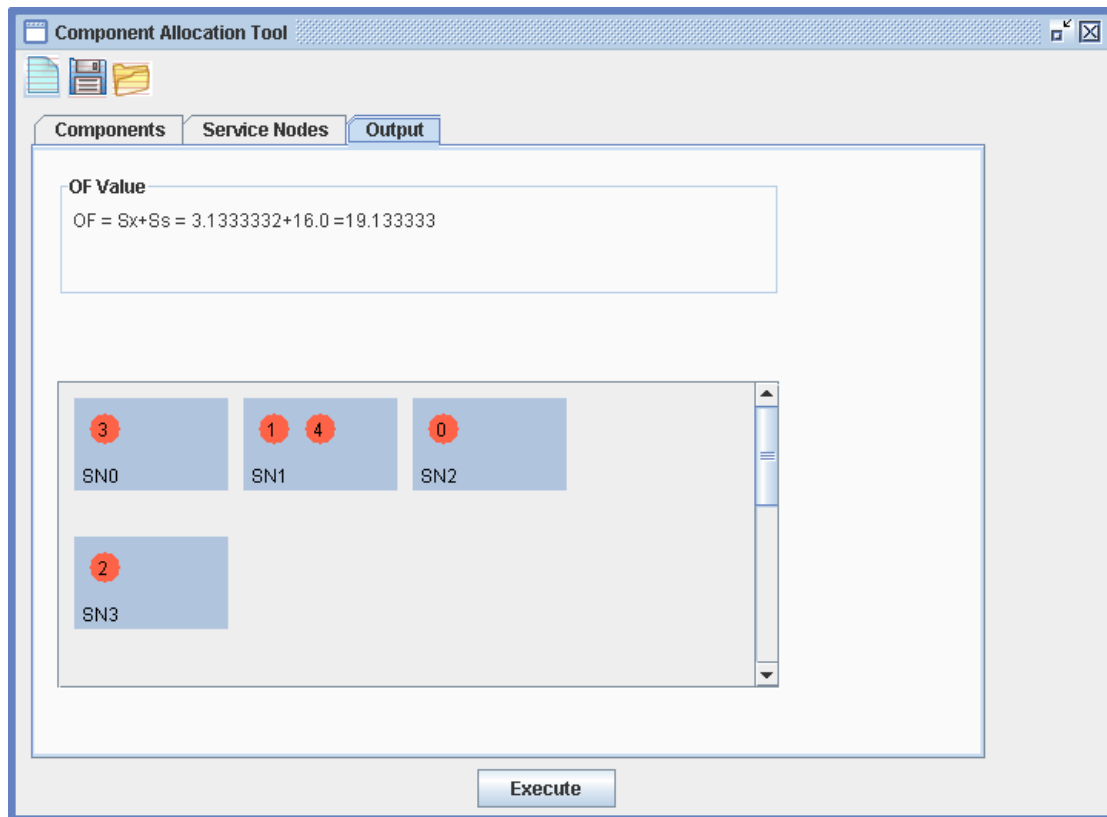
Εικόνα 25: Αποτελέσματα για την περίπτωση 3, του σεναρίου 1

5.2.1.1. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση του Σεναρίου 1A

Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζουμε την οθόνη των αποτελεσμάτων από την εκτέλεση των περιπτώσεων 1, 2, 3 αντιστοίχως, του σεναρίου 1A (βλ. 4.1.1).



Εικόνα 26: Αποτελέσματα για την περίπτωση 1, του σεναρίου 1A



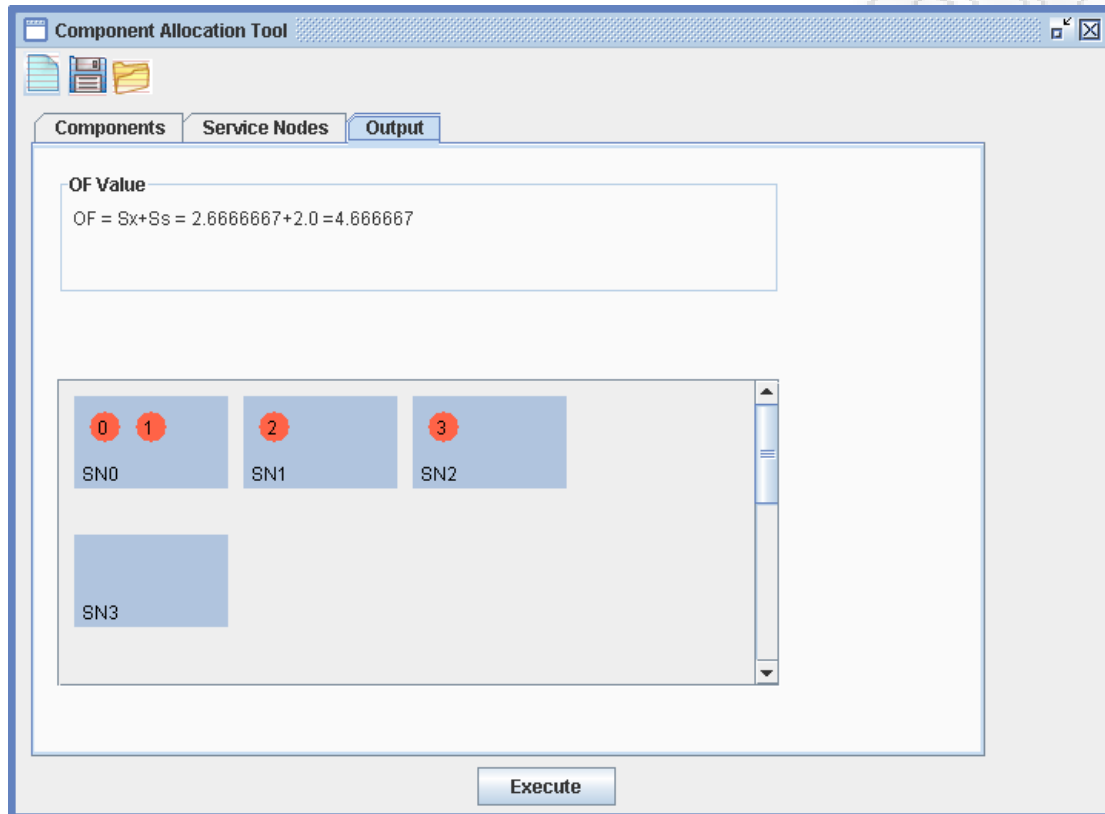
Εικόνα 27: Αποτελέσματα για την περίπτωση 2, του σεναρίου 1Α



Εικόνα 28: Αποτελέσματα για την περίπτωση 3, του σεναρίου 1Α

5.2.2. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση του Σεναρίου 2

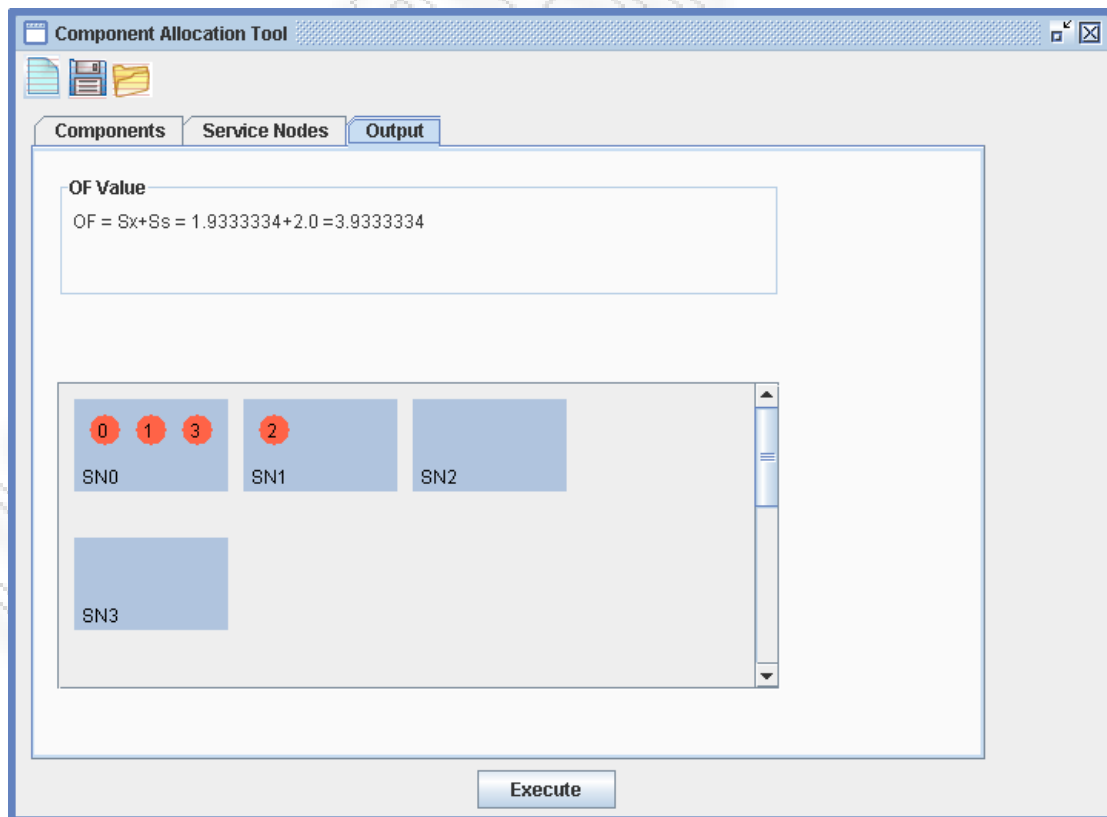
Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζουμε την οθόνη των αποτελεσμάτων από την εκτέλεση των περιπτώσεων 1, 2, 3 αντιστοίχως, του δεύτερου σεναρίου (βλ. 4.2).



Εικόνα 29: Αποτελέσματα για την περίπτωση 1, του σεναρίου 2



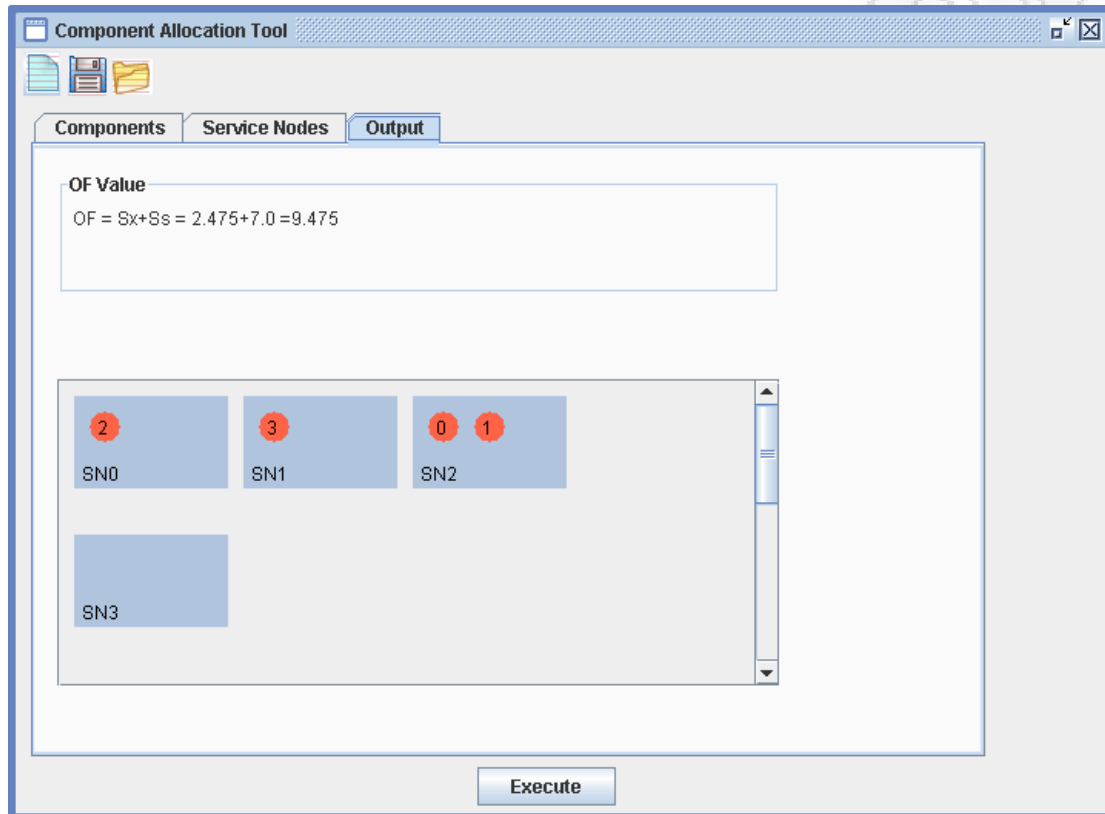
Εικόνα 30: Αποτελέσματα για την περίπτωση 2, του σεναρίου 2



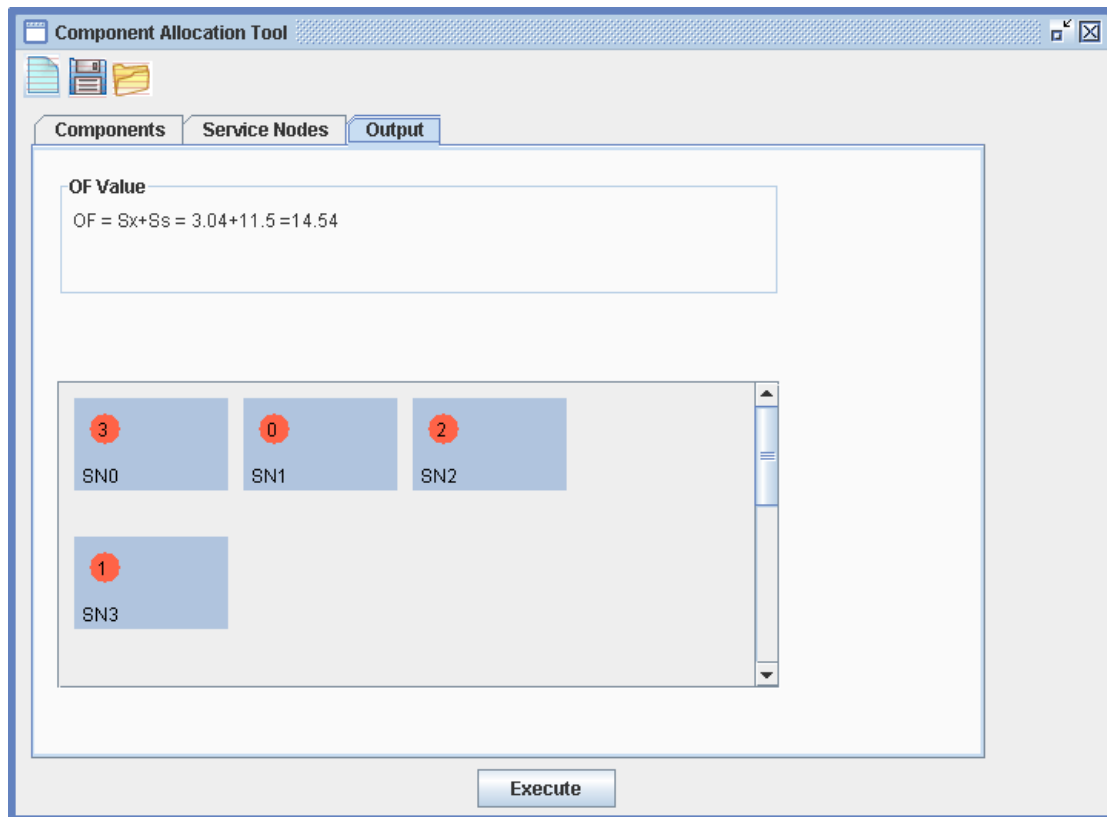
Εικόνα 31: Αποτελέσματα για την περίπτωση 3, του σεναρίου 2

5.2.2.1. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση του Σεναρίου 2Α

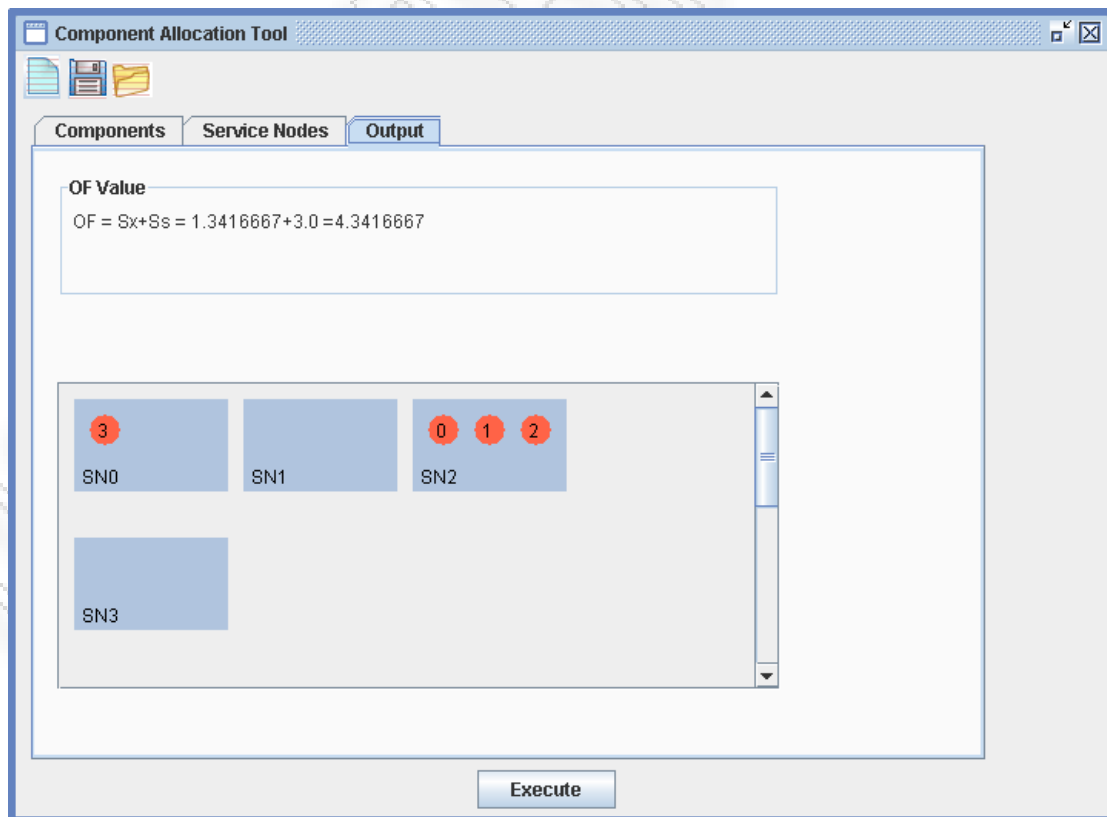
Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζουμε την οθόνη των αποτελεσμάτων από την εκτέλεση των περιπτώσεων 1, 2, 3 αντιστοίχως, του σεναρίου 2Α (βλ. 4.2.1).



Εικόνα 32: Αποτελέσματα για την περίπτωση 1, του σεναρίου 2Α



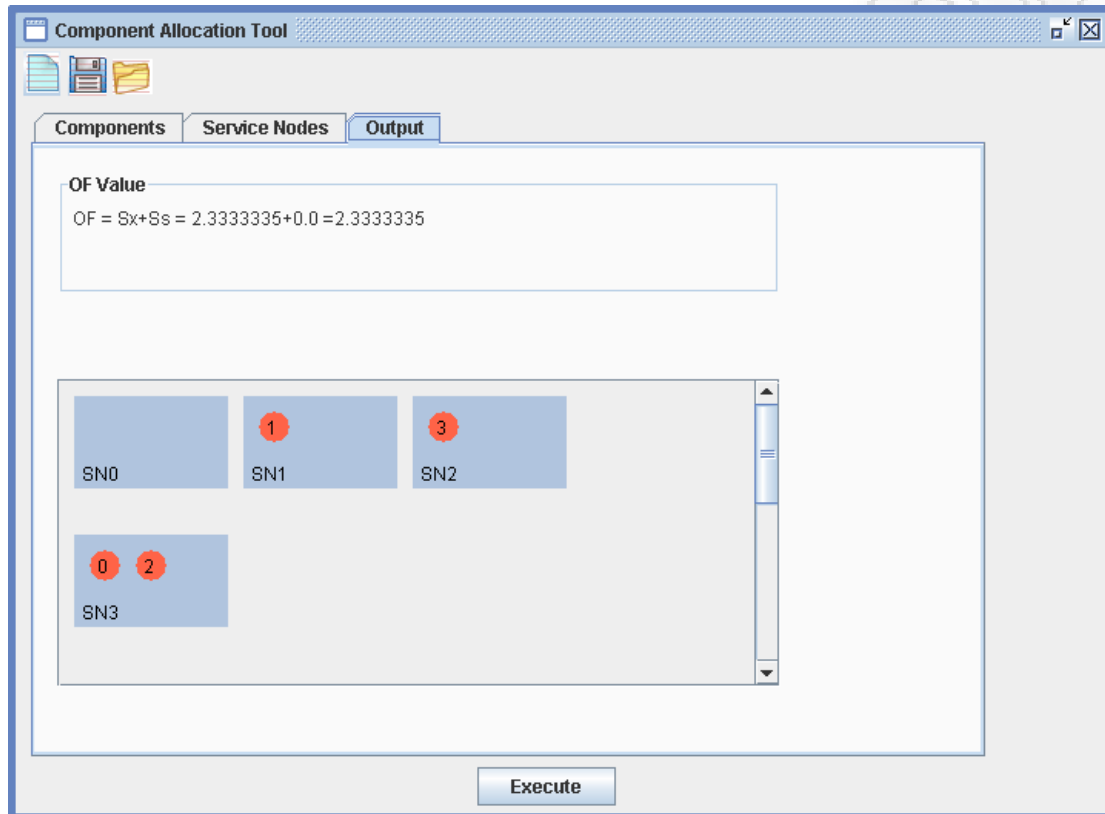
Εικόνα 33: Αποτελέσματα για την περίπτωση 2, του σεναρίου 2Α



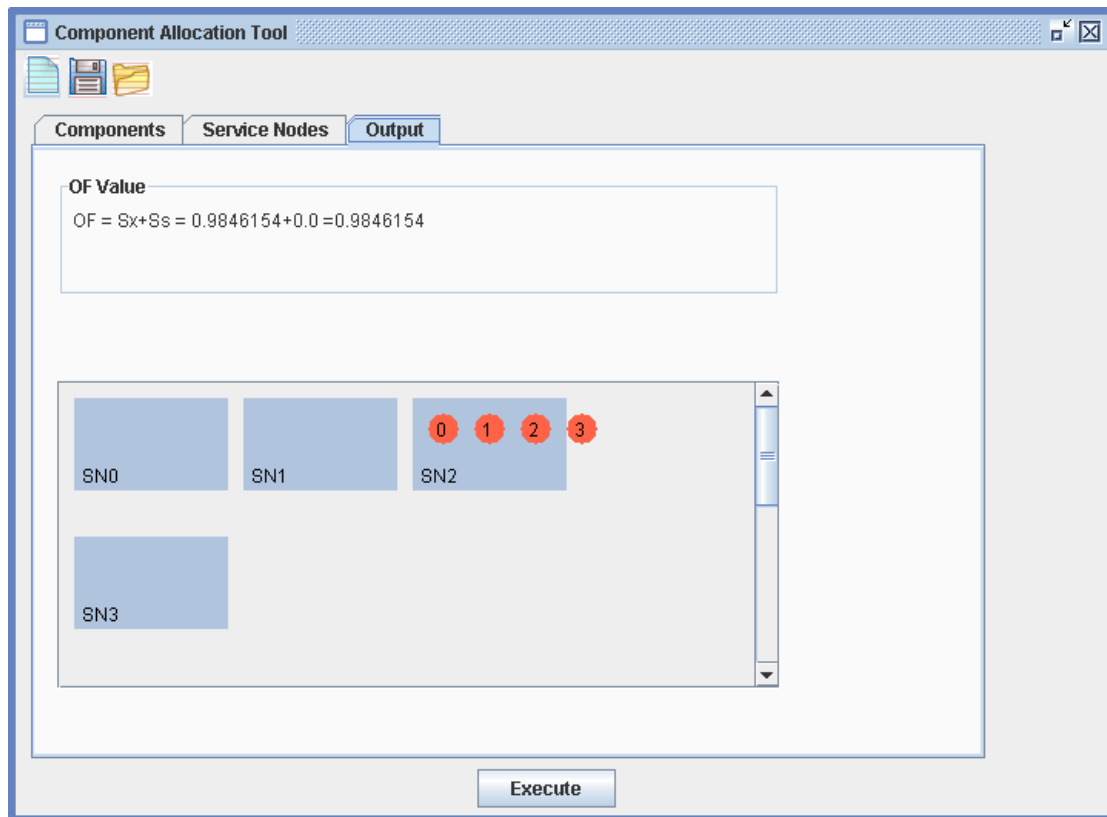
Εικόνα 34: Αποτελέσματα για την περίπτωση 3, του σεναρίου 2Α

5.2.3. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση του Σεναρίου 3

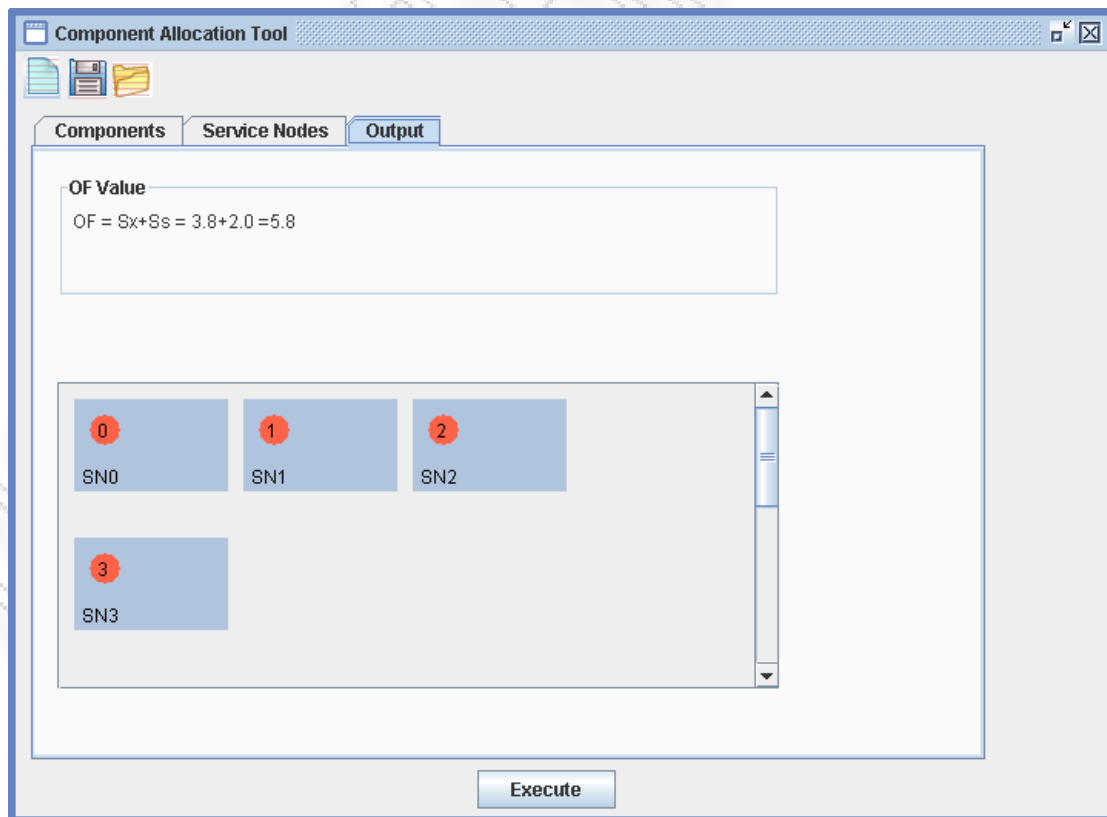
Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζουμε την οθόνη των αποτελεσμάτων από την εκτέλεση των περιπτώσεων 1, 2, 3 αντιστοίχως, του δεύτερου σεναρίου (βλ. 4.3).



Εικόνα 35: Αποτελέσματα για την περίπτωση 1, του σεναρίου 3



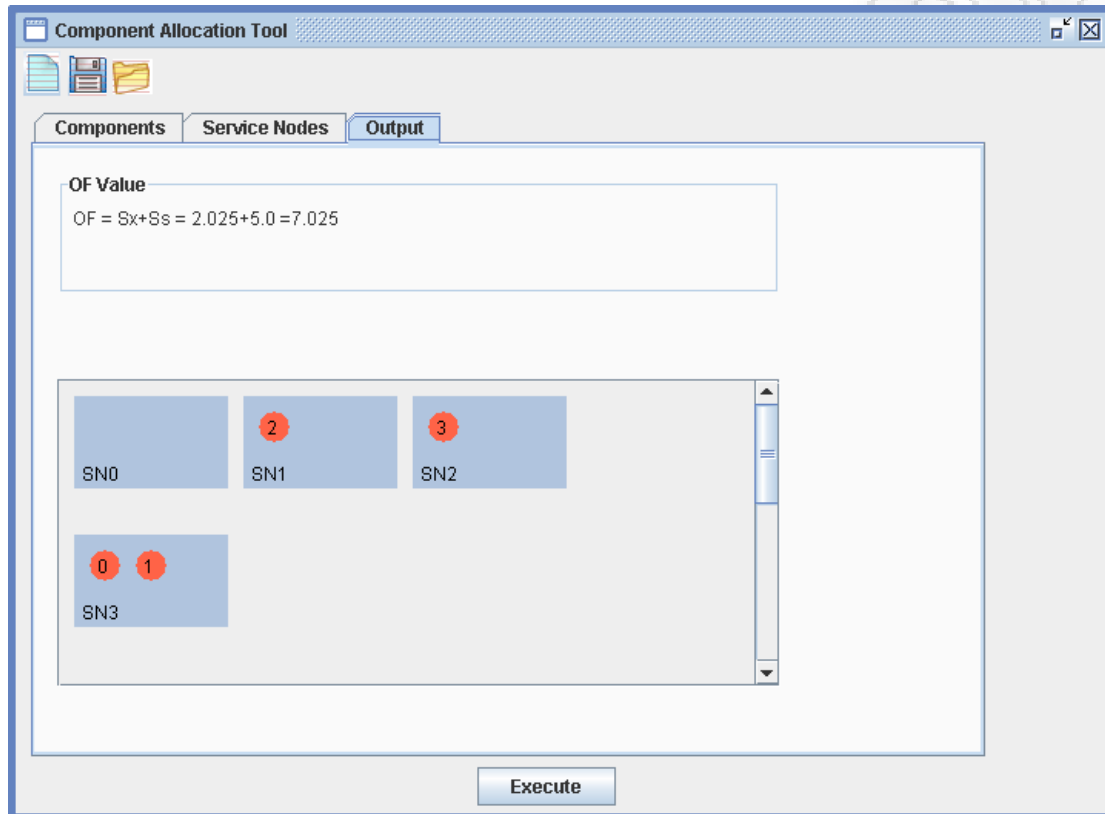
Εικόνα 36: Αποτελέσματα για την περίπτωση 2, του σεναρίου 3



Εικόνα 37: Αποτελέσματα για την περίπτωση 3, του σεναρίου 3

5.2.3.1. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση του Σεναρίου 3A

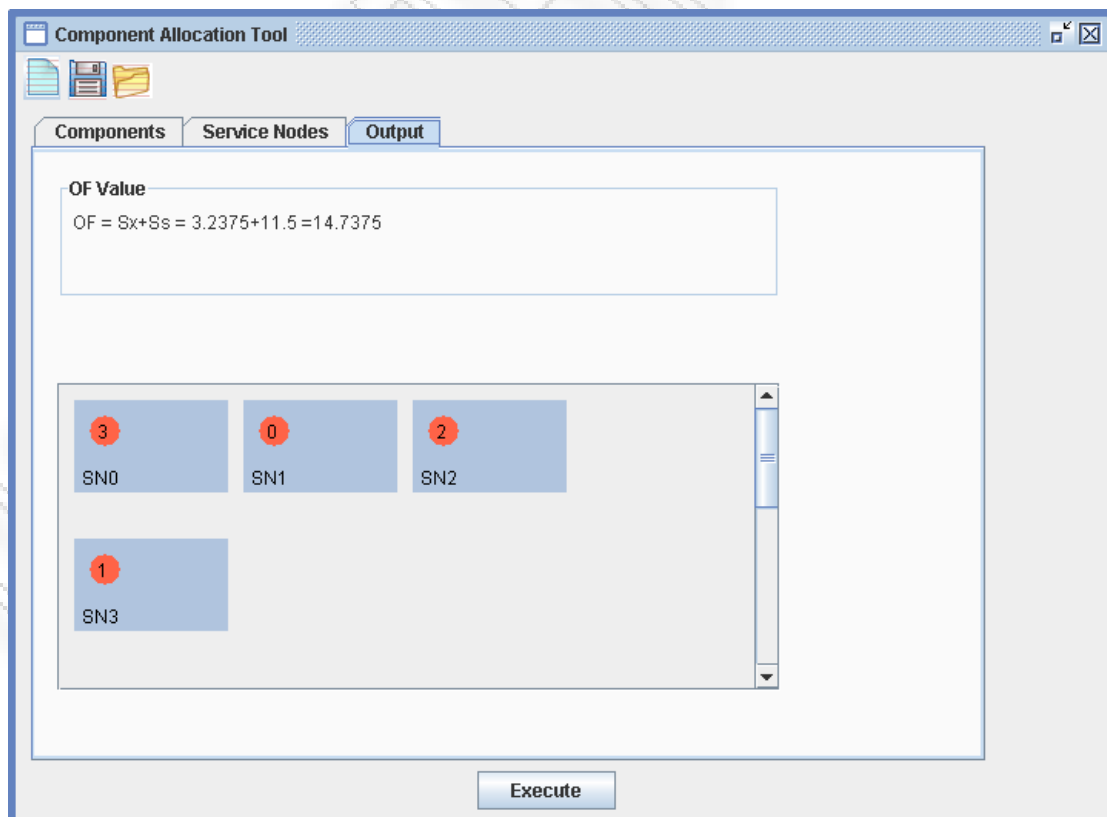
Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζουμε την οθόνη των αποτελεσμάτων από την εκτέλεση των περιπτώσεων 1, 2, 3 αντιστοίχως, του σεναρίου 3A (βλ. 4.3.1).



Εικόνα 38: Αποτελέσματα για την περίπτωση 1, του σεναρίου 3A



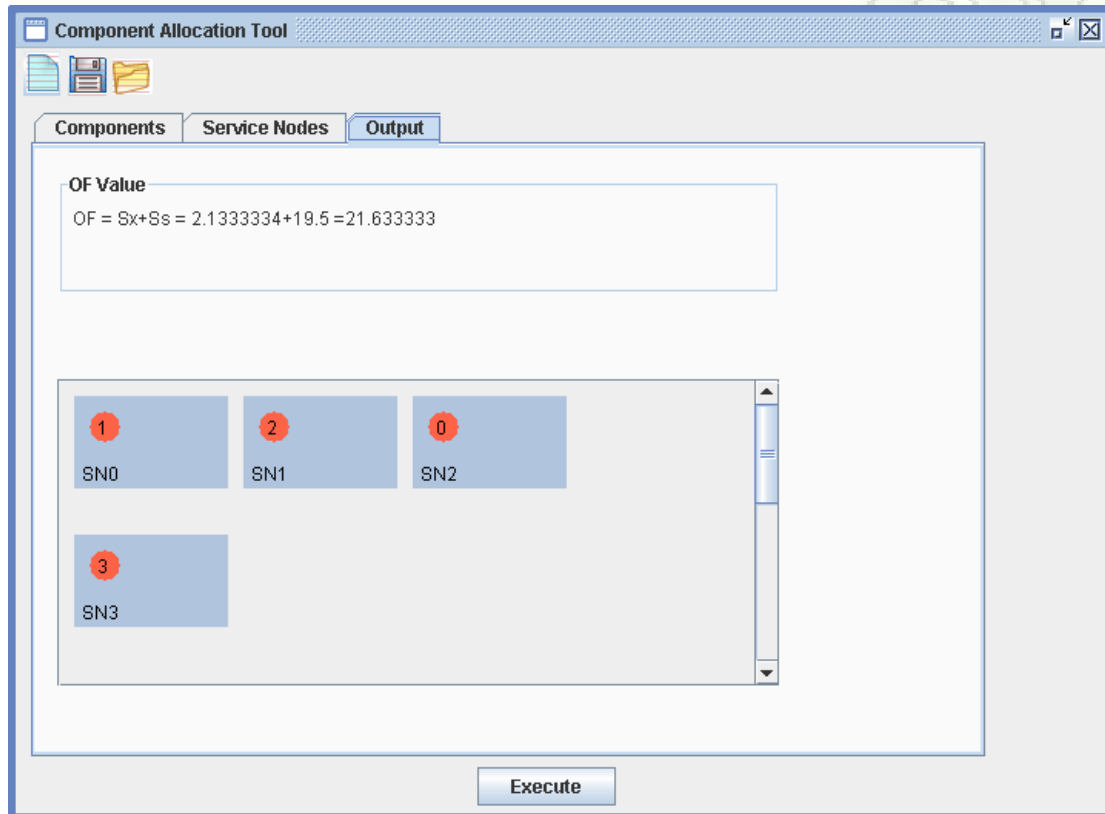
Εικόνα 39: Αποτελέσματα για την περίπτωση 2, του σεναρίου 3Α



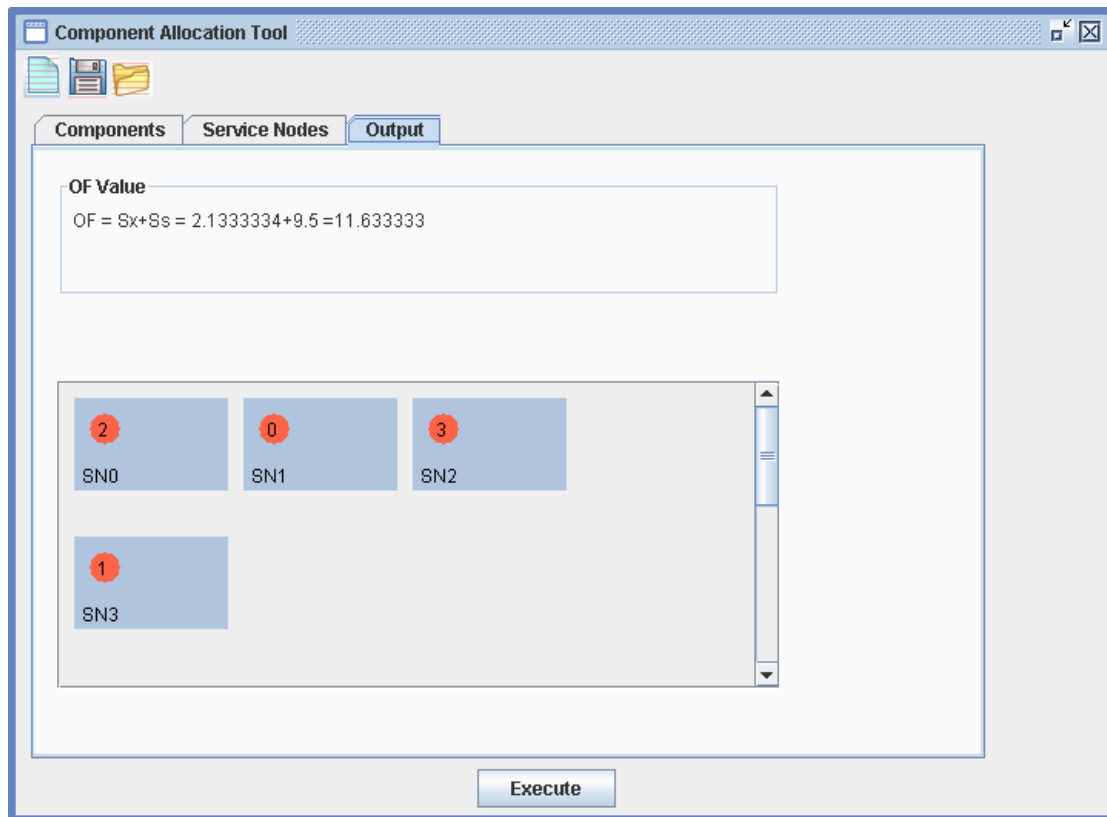
Εικόνα 40: Αποτελέσματα για την περίπτωση 3, του σεναρίου 3Α

5.2.4. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση του Σεναρίου 4

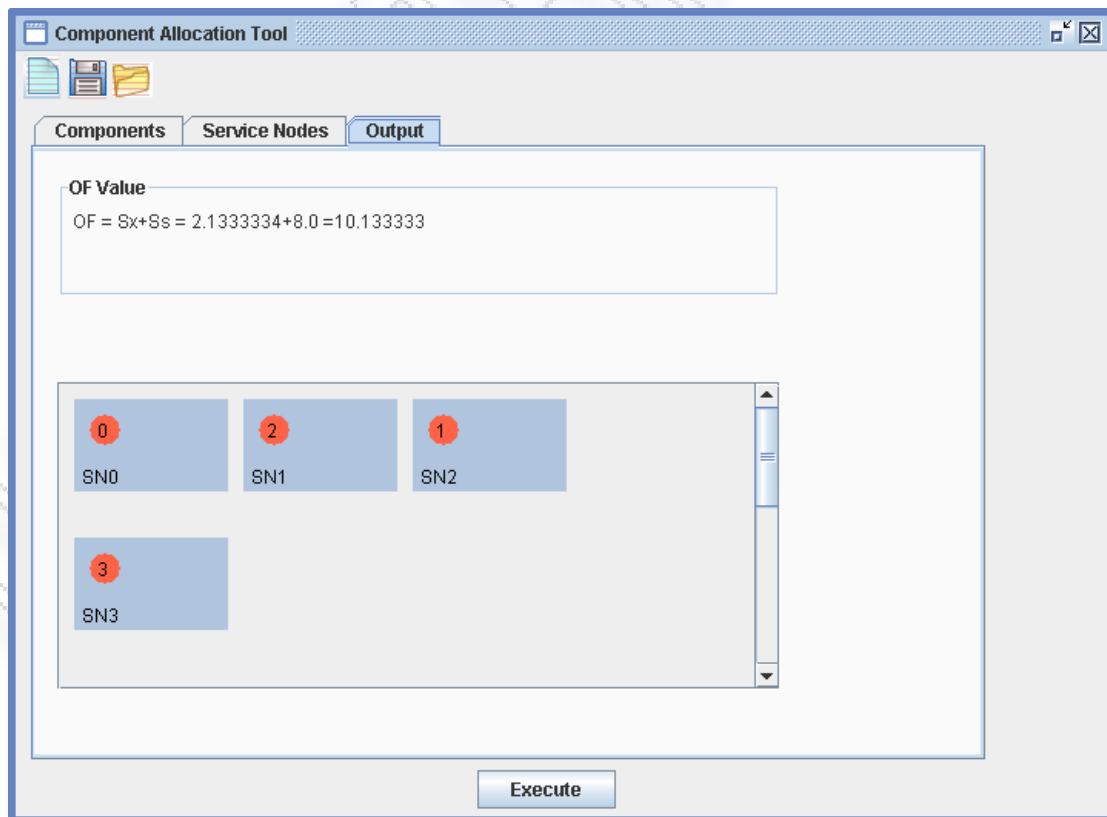
Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζουμε την οθόνη των αποτελεσμάτων από την εκτέλεση των περιπτώσεων 1, 2, 3 αντιστοίχως, του σεναρίου 4 (βλ. 4.4).



Εικόνα 41: Αποτελέσματα για την περίπτωση 1, του σεναρίου 4



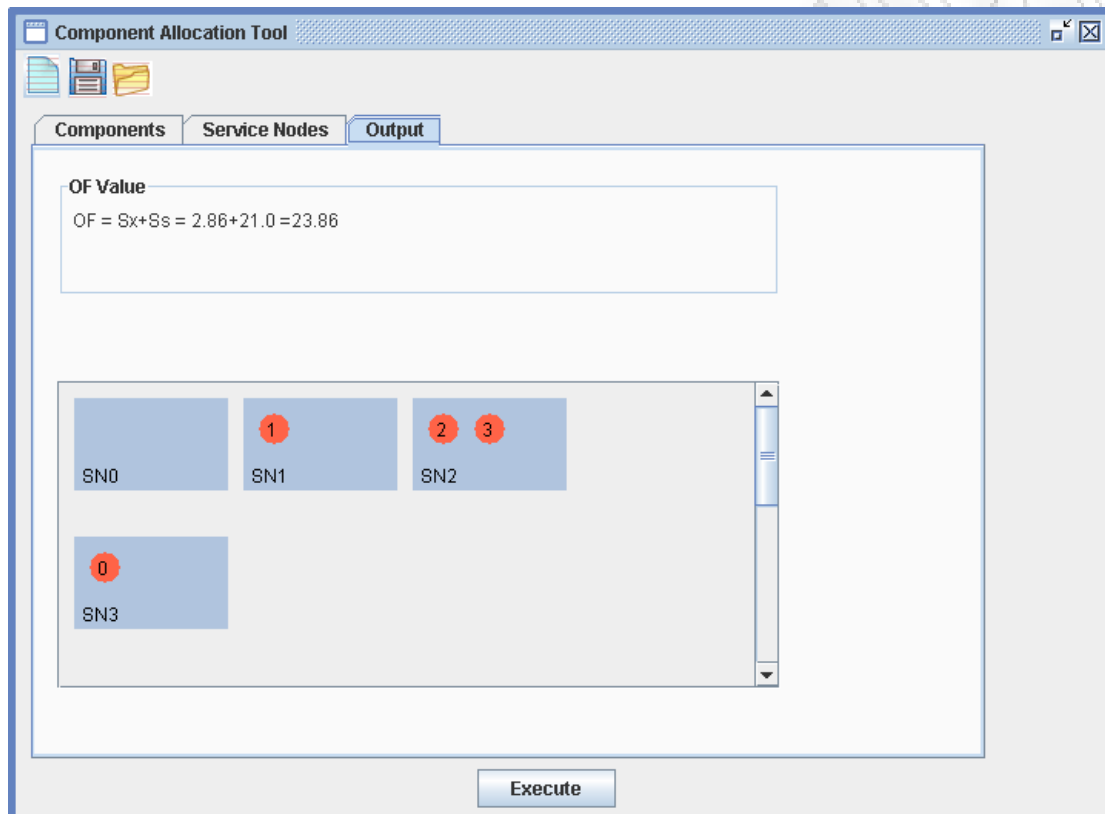
Εικόνα 42: Αποτελέσματα για την περίπτωση 2, του σεναρίου 4



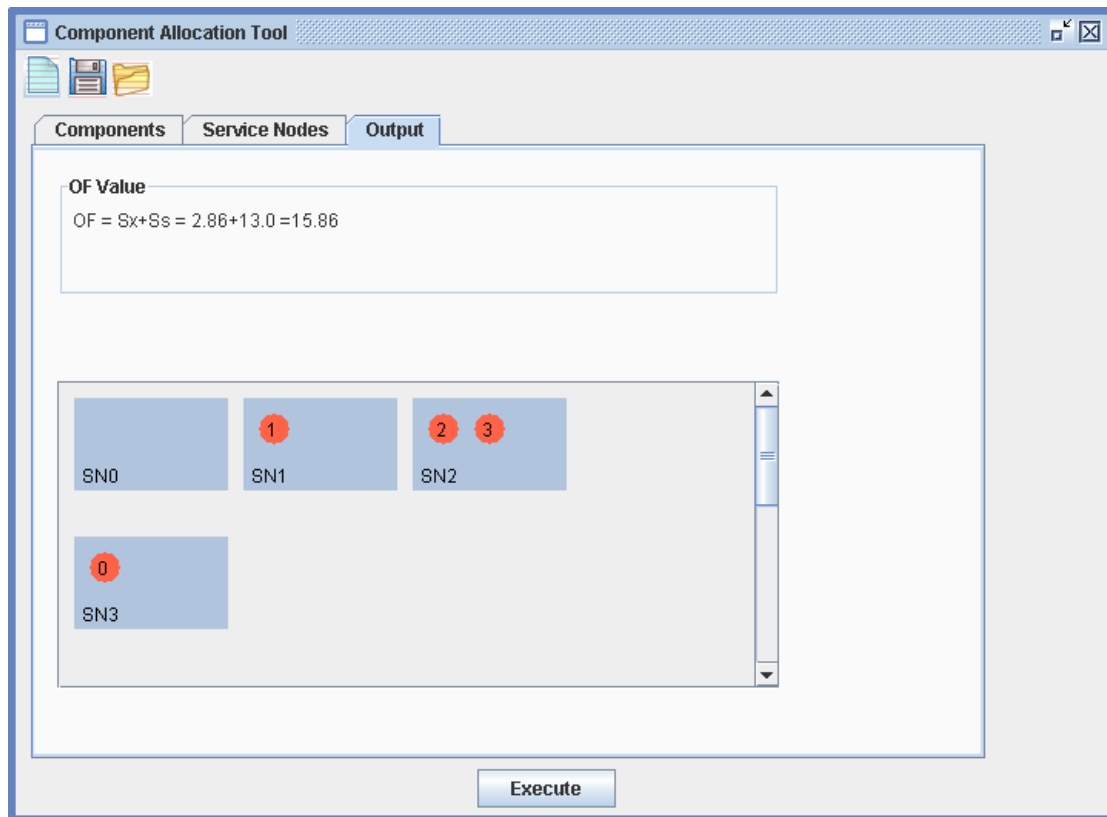
Εικόνα 43: Αποτελέσματα για την περίπτωση 3, του σεναρίου 4

5.2.4.1. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση του Σεναρίου 4A

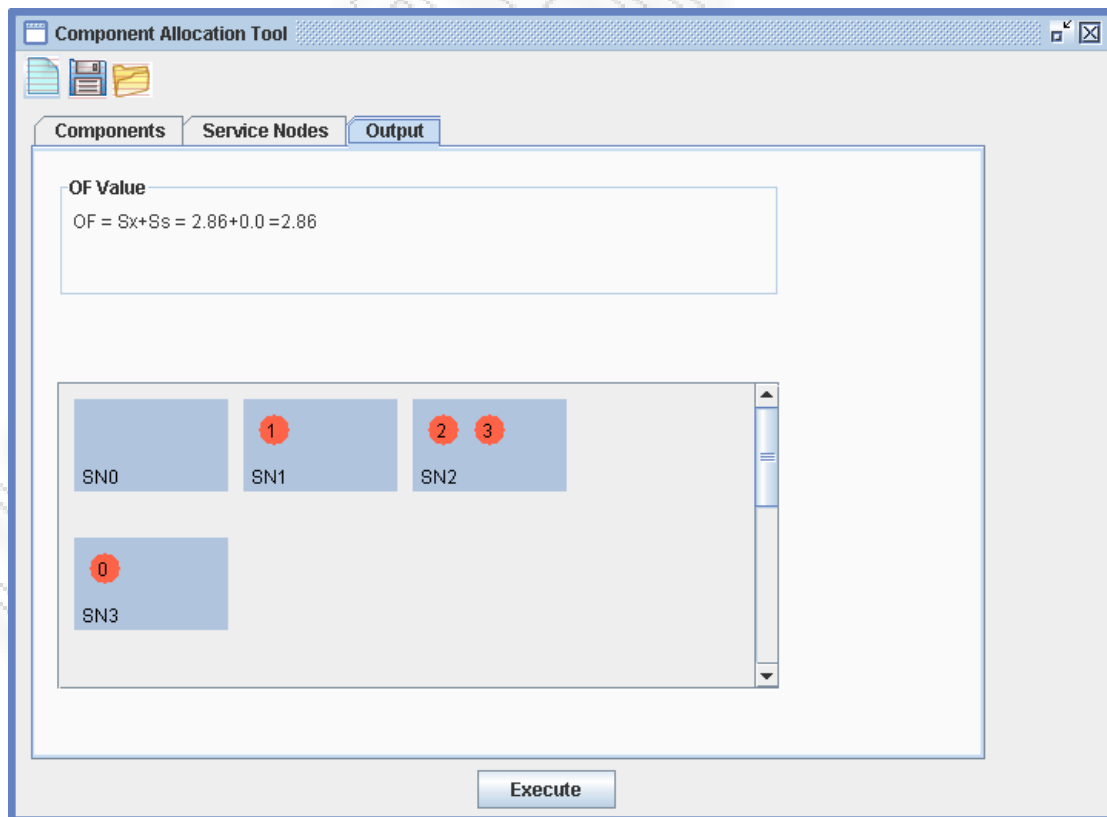
Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζουμε την οθόνη των αποτελεσμάτων από την εκτέλεση των περιπτώσεων 1, 2, 3 αντιστοίχως, του σεναρίου 4A (βλ. 4.4.1).



Εικόνα 44: Αποτελέσματα για την περίπτωση 1, του σεναρίου 4A



Εικόνα 45: Αποτελέσματα για την περίπτωση 2, του σεναρίου 4A



Εικόνα 46: Αποτελέσματα για την περίπτωση 3, του σεναρίου 4A

5.2.5. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση του Σεναρίου 5

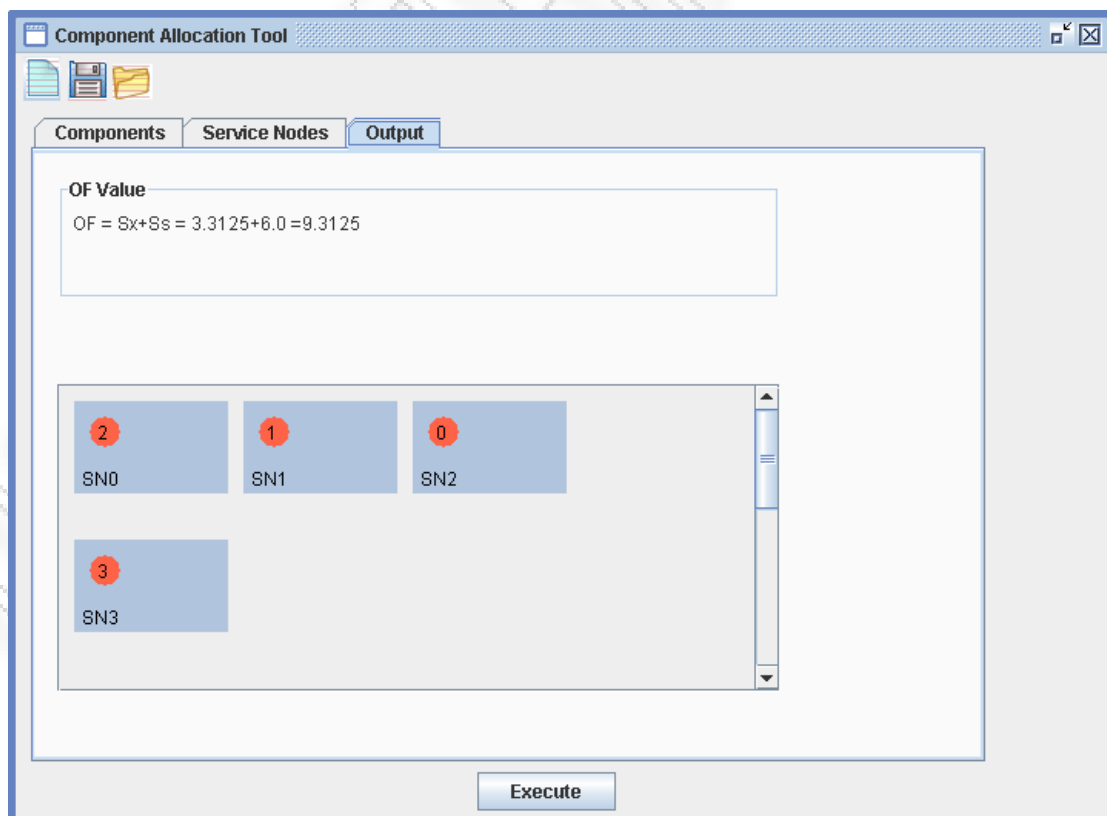
Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζουμε την οθόνη των αποτελεσμάτων από την εκτέλεση των περιπτώσεων 1, 2, 3 αντιστοίχως, του σεναρίου 5 (βλ. 4.5).



Εικόνα 47: Αποτελέσματα για την περίπτωση 1, του σεναρίου 5



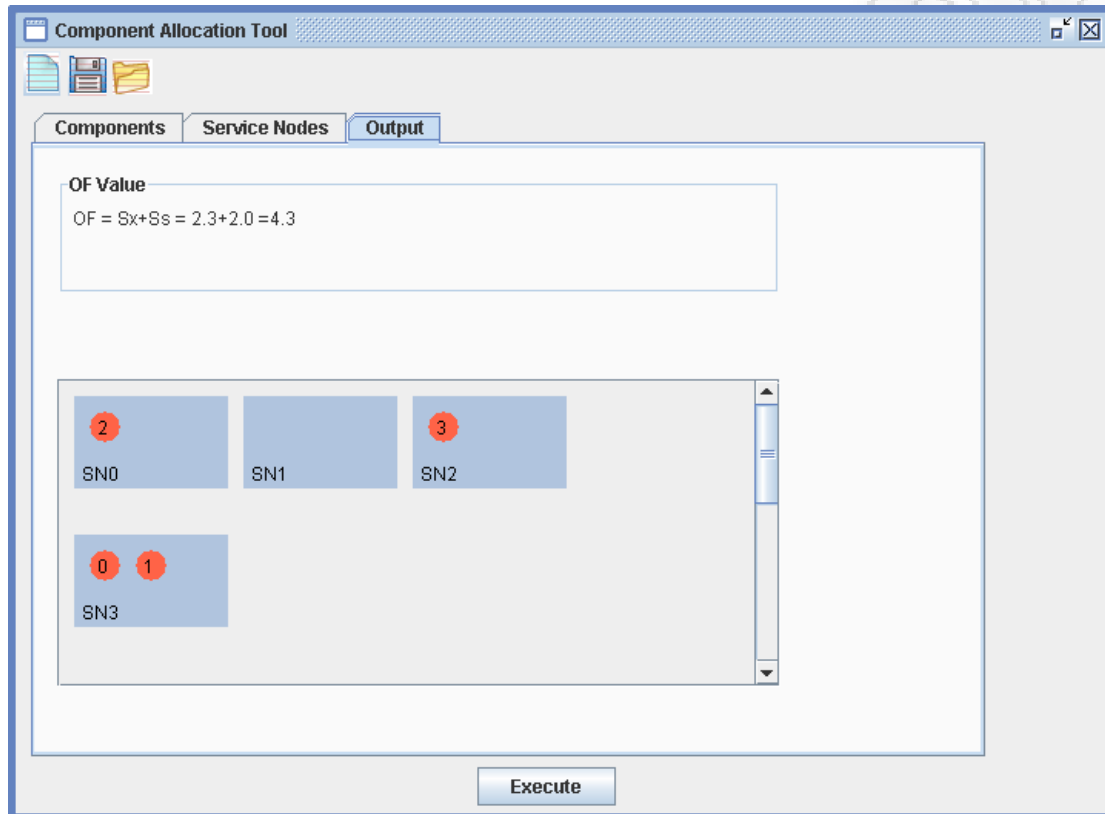
Εικόνα 48: Αποτελέσματα για την περίπτωση 2, του σεναρίου 5



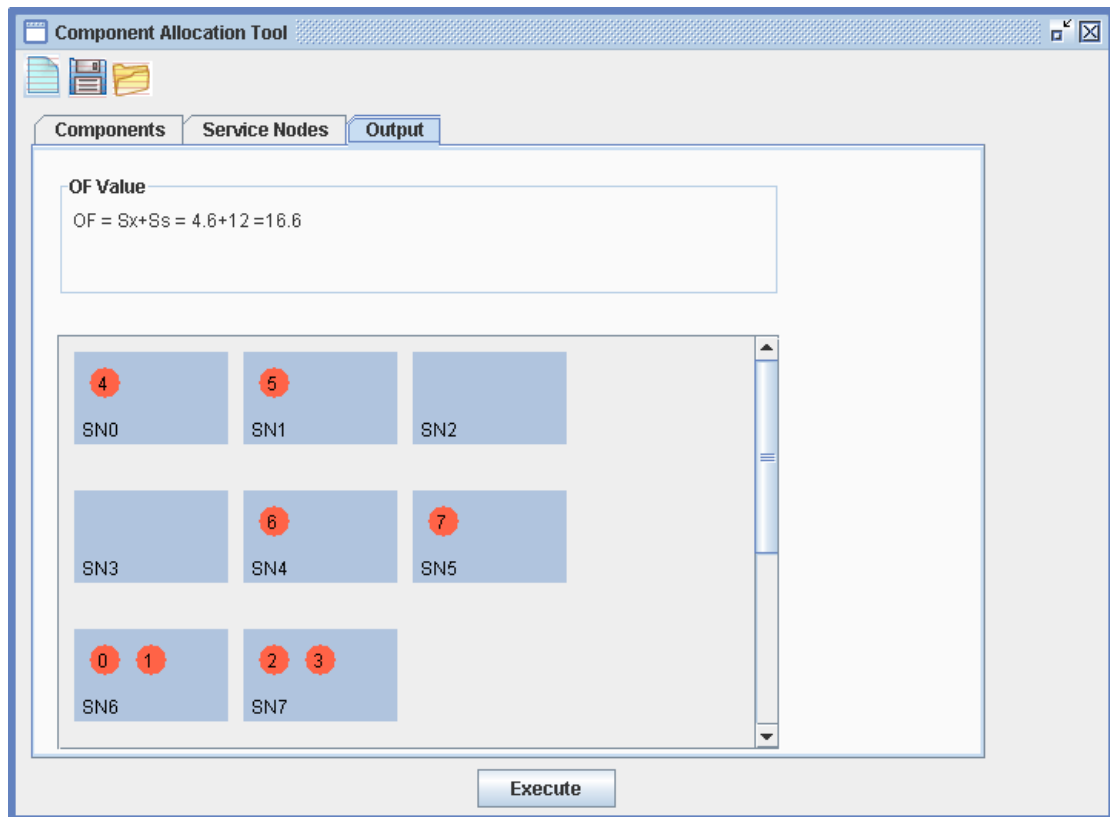
Εικόνα 49: Αποτελέσματα για την περίπτωση 3, του σεναρίου 5

5.2.6. Γραφική απεικόνιση αποτελεσμάτων για κάθε περίπτωση του Σεναρίου 6

Στις εικόνες που ακολουθούν παρουσιάζουμε την οθόνη των αποτελεσμάτων από την εκτέλεση των περιπτώσεων 1, 2 αντιστοίχως, του σεναρίου 6 (βλ. 4.6).



Εικόνα 50: Αποτελέσματα για την περίπτωση 1, του σεναρίου 6



Εικόνα 51: Αποτελέσματα για την περίπτωση 2, του σεναρίου 6

6. Συμπεράσματα

Η έρευνα και ανάπτυξη των ασύρματων συστημάτων επικοινωνιών έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη ευέλικτων υποδομών που θα μπορούν να καλύψουν τις ανάγκες των χρηστών σε υψηλές ταχύτητες και ποιότητα υπηρεσιών. Κύριος στόχος είναι η αποδοτική εκμετάλλευση των πόρων του συστήματος, έτσι ώστε να μειωθεί το κόστος για τους παρόχους αλλά και για τους χρήστες, ενώ παράλληλα θα αυξάνεται η ασφάλεια, η ταχύτητα και ποιότητα παροχής των υπηρεσιών στους χρήστες.

Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης που παρουσιάσαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της αποδοτικότητας του δικτύου. Στοχεύει στη βέλτιστη και δυναμική ανάθεση/κατανομή λειτουργικών συνιστωσών σε φυσικές οντότητες, έτσι ώστε να αντιμετωπιστούν προβλήματα όπως μεταβολές στους πόρους του δικτύου, πτώση κόμβων και γενικότερα παράγοντες που μειώνουν τη συνολική απόδοση του δικτύου.

Ο αλγόριθμος βελτιστοποίησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανεξάρτητα από τις τεχνολογίες που υποστηρίζει κάθε πλατφόρμα για την οποία προορίζεται. Δηλαδή θα μπορούσε δώσει αποτελέσματα είτε ενσωματωθεί σε ένα κατακεντρωμένο δίκτυο, είτε σε ένα ολοκληρωμένο σύστημα τηλεπικοινωνιών B3G. Δείγμα αποτελεσμάτων του αλγορίθμου, παρουσιάστηκαν στα κεφάλαιο 3, 4, έπειτα από την εκτέλεση μιας σειράς σεναρίων. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον προκαλεί το γεγονός ότι σε αρκετά από τα σενάρια που εκτελέσαμε, η βέλτιστη λύση που προέκυπτε δεν ήταν, στις περισσότερες περιπτώσεις, η απόλυτα κατακεντρωμένη ή κεντρικοποιημένη, αντίθετα ήταν κάτι ενδιάμεσο. Αυτό ακριβώς είναι και το βασικό πλεονέκτημα του αλγορίθμου, ότι ελέγχει όλες τις πιθανές κατανομές και μπορεί να καταλήξει σε λύσεις που πραγματικά θα βελτιστοποιήσουν την απόδοση του δικτύου.

Φυσικά στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αρκετά είναι τα θέματα που προέκυψαν, μερικά εκ των οποίων αφορούν τη μελλοντική επέκταση του συστήματος. Τα θέματα αυτά θα μελετηθούν εκτενώς στο επόμενο κεφάλαιο.

7. Ερευνητικά Ζητήματα

Κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, προέκυψαν αρκετά ζητήματα σε διάφορους τομείς, που δεν ήταν δυνατόν να αναπτυχθούν μέσα στο πλαίσιο που εξετάζουμε. Τα θέματα που εντοπίσαμε μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως ακολούθως:

- Μελλοντικές επεκτάσεις συστημάτων
- Service nodes pooling concept.
- Utilization cost:
- Optimized Agents.

7.1. Μελλοντικές επεκτάσεις συστήματος

Όπως αναφέραμε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο αλγόριθμος βέλτιστης ανάθεσης λειτουργικών συνιστωσών σε φυσικές οντότητες, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανεξαρτήτως πλατφόρμας και τεχνολογίας. Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι δεν πρέπει να προβούμε σε επιπλέον επεκτάσεις, όπως περιγράφονται ακολούθως:

- Τα αποτελέσματά από την εκτέλεση του αλγορίθμου για καθορισμένα σενάρια, παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 3. Ωστόσο οι κατηγορίες των σεναρίων που παραθέσαμε, αποτελούν ένα μικρό δείγμα, όπου το πλήθος των λειτουργικών συνιστωσών και των φυσικών οντοτήτων είναι σχετικά περιορισμένο. Για την εκτέλεση σεναρίων "μεγαλύτερων διαστάσεων", δηλαδή με σημαντικά μεγαλύτερο πλήθος λειτουργικών συνιστωσών και φυσικών οντοτήτων, απαιτείται αρκετή υπολογιστική ισχύς, μιας και οι συνδυασμοί που πρέπει να εξεταστούν ολοένα αυξάνονται και κατεπέκταση αυξάνεται και ο χρόνος επεξεργασίας. Συνεπώς για να πάρουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα θα μπορούσαμε να εγκαταστήσουμε ένα κατανομημένο σύστημα, ή ένα grid υπολογιστών, ώστε να διαμοιραστεί καταλλήλως το πλήθος των συνδυασμών, και να μειωθεί ταυτόχρονα ο χρόνος επεξεργασίας.
- Θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε πραγματικές τιμές των παραμέτρων που εισάγουμε στον υπολογισμό της αντικειμενικής συνάρτησης κόστους. Για παράδειγμα, στη παρούσα φάση, το πλήθος κλήσεων r (βλ. 3.2.1) μεταξύ των επιμέρους λειτουργικών συνιστωσών, το διαβάζουμε από τα δεδομένα

που εισάγει ο χρήστης. Μελλοντικά θα μπορούσε η διαδικασία αυτή να γίνεται δυναμικά, δηλαδή μέσω ενός module, να παρακολουθούμε στο δίκτυο το πραγματικό πλήθος κλήσεων, και να το εισάγουμε στον αλγόριθμό μας.

- Θα μπορούσαμε να εισάγουμε περισσότερους περιορισμούς στο σύστημά μας, από αυτούς που αναφέραμε στην ενότητα 3.2.3. Για παράδειγμα, μπορεί να υπάρχει η απαίτηση μια λειτουργική συνιστώσα να πρέπει να εξυπηρετηθεί από συγκεκριμένη φυσική οντότητα.
- Θα μπορούσαμε να έχουμε ένα module, που με χρήση αλγορίθμων εύρεσης βέλτιστης διαδρομής, όπως ο Bellman Ford [8], να καταλήγει σε ένα πίνακα με τις βέλτιστες διαδρομές από ένα κόμβο του δικτύου προς όλους τους υπόλοιπους κόμβους. Η πληροφορία που περιγράφεται σε αυτό τον πίνακα, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από το δικό μας αλγόριθμο βελτιστοποίησης, έτσι ώστε αν διαπιστωθεί βλάβη σε κάποιο στοιχείο του δικτύου, ο αλγόριθμος να είναι σε θέση να γνωρίζει τις μικρότερες αποστάσεις d (βλ. 3.2.1) μεταξύ των κόμβων που έχουν απομείνει. Οπότε θα επιλέξει τη διαδρομή με τη μικρότερη απόσταση d , καθώς όσο μειώνεται η απόσταση d , μειώνεται και η τιμή της αντικειμενικής συνάρτησης κόστους (βλ. 3.3 σχέσεις (1), (2)).
- Θα μπορούσαμε να ανασχεδιάσουμε τον αλγόριθμο με τέτοιο τρόπο ώστε, για μεγάλα και πολύπλοκα συστήματα, να εφαρμόζεται περιοδικά η λύση που έχει προκύψει ως καλύτερη εκείνη τη στιγμή. Με αυτό τον τρόπο το σύστημα βελτιώνεται βαθμιαία, προσφέροντας πάντα μία λύση στο πρόβλημα που ενδεχομένως έχει προκύψει, και καταλήγοντας στη τελική λύση που θα είναι και η βέλτιστη.

7.2. Service Nodes Pooling Concept

Σε ένα ετερογενές περιβάλλον τόσο ως προς τις τεχνολογίες των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων όσο και ως προς τον αριθμό των διαφορετικών παρόχων υπηρεσιών, υπάρχει η δυνατότητα διαμοιρασμού πόρων [23] ανάμεσα στους παρόχους υπό συγκεκριμένες συνθήκες. Ένα ενδεικτικό παράδειγμα είναι ότι ο πάροχος Α αντιμετωπίζει πρόβλημα σε μια περιοχή και έχει ανάγκη από συγκεκριμένο αριθμό πόρων τους οποίους μπορεί να παρέχει ο πάροχος Β. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να ακολουθήσει εκ νέου κατανομή των υπηρεσιών στους νέους πόρους. Στο

παραπάνω παράδειγμα αν θεωρήσουμε τους πόρους σαν Service nodes και τις υπηρεσίες σαν software components παρατηρούμε την άμεση σύνδεση του αλγόριθμου βελτιστοποίησης, και κατά επέκταση της πλατφόρμας, με τον πάροχο του δικτύου και των υπηρεσιών. Η χρήση μιας τέτοιας πλατφόρμας από τον πάροχο θα του επιφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα είτε έχει τον ρόλο του A είτε του B. Από την πλευρά του A: οι χρήστες θα εξυπηρετηθούν και δεν θα εμφανιστεί το φαινόμενο άρνησης υπηρεσίας (Denial of Service) και από την πλευρά του B υπάρχει αύξηση εσόδων καθώς θα υπάρχει χρέωση για την χρήση πόρων που ανήκουν σε διαφορετικό πάροχο.

7.3. Utilization Cost

Στο πλαίσιο του Service node pooling ο αλγόριθμος μπορεί να επεκταθεί λαμβάνοντας υπόψη το κόστος και τον χρόνο χρήσης κάθε service node. Συνεπώς ο αλγόριθμος θα χρειάζεται σαν είσοδο το κόστος και τον χρόνο χρήσης κάθε service node σε περίπτωση που ανήκει σε διαφορετικό πάροχο. Συνεπώς θα πρέπει να γίνει προσαρμογή της OF ώστε να συμπεριλαμβάνει και το χρόνο και κόστος χρήσης. Όπως και στην OF που περιγράφηκε στις προηγούμενες ενότητες έτσι και στην επέκτασή της με την εισαγωγή του κόστους, θα επιλέγεται η OF με την μικρότερη τιμή θεωρώντας ότι παράλληλα το κόστος για τον πάροχο θα είναι το μικρότερο δυνατό. Είναι σαφές κατά επέκταση ότι κάθε πάροχος θα αναπτύξει διαφορετικές πολιτικές κοστολόγησης για την χρήση των πόρων του από άλλους παρόχους α) ανάλογα με τις επεξεργαστικές δυνατότητες του service node, β) την γεωγραφική τους κατανομή, γ) ταχύτητα δικτύου, δ) τον χρόνο χρήσης κλπ.

7.4. Optimized Agents

Οι Agents είναι αυτόνομες συνιστώσες λογισμικού, οι οποίοι είναι προγραμματισμένοι να λειτουργήσουν με βάση τις ρυθμίσεις των χρηστών τους σε περιβάλλοντα δικτύων με σκοπό να αντιπροσωπεύσουν τους αποστολείς τους. Μια από τις χαρακτηριστικές χρήσεις αυτών είναι οι δημοπρασίες [22]. Με τον αλγόριθμο βέλτιστης κατανομής των λειτουργικών συνιστωσών οι Agents κατανέμονται πιο αποδοτικά. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται μέθοδοι βέλτιστης λειτουργίας των agents. Ειδικότερα για την περίπτωση βέλτιστης λειτουργίας [20], έχει υλοποιηθεί αλγόριθμος που έχει ως στόχο τη βελτιστοποίηση του signaling από την πλευρά της

λειτουργίας των agents και όχι από την πλευρά κατανομή τους. Συνεπώς θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε αυτό τον αλγόριθμο συμπληρωματικά με το δικό μας ώστε να μειώσουμε ακόμα περισσότερο το signaling και κατά συνέπεια τη τιμή της συνάρτησης κόστους.

Βιβλιογραφία

- [1] “Διαχείριση Δικτύων Τηλεπικοινωνιών”, Ε.Οικονόμου.
- [2] http://www.cisco.com/univered/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/nmbasics.htm
- [3] T. Kichkaylo, A. Ivan, V. Karamcheti, “Constrained component deployment in wide-area networks using AI planning techniques”, Parallel and Distributed Processing Symposium, 2003. Proceedings. International, April 2003.
- [4] R. Haas, P. Droz, B. Stiller, "Distributed Service Deployment over Programmable Networks", Distributed Systems Operations and Management ([DSOM'01](#)) Workshop (title of the workshop: "Internet Services: Management Beyond the Element"), Nancy, France, October 2001.
- [5] R. Haas, P. Droz, B. Stiller, “A hierarchical mechanism for the scalable deployment of services over large programmable and heterogeneous networks”, IEEE Commun. 2001. ICC 2001, Vol 7, pp. 2074-2078.
- [6] R. Haas, P. Droz, B. Stiller, "Autonomic Service Deployment in Networks", [IBM Systems Journal](#), Vol. 42, No. 1, January 2003.
- [7] T. Doran, “IEEE 1220: for practical systems engineering”, Computer Vol. 36, No. 5, May 2006, pp. 92-94.
- [8] “Δίκτυα Υπολογιστών”, Andrew S. Tanenbaum.
- [9] Friedrich K. Jondral, “Software-Defined Radio—Basics and Evolution to Cognitive Radio,” EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, vol. 2005, no. 3, pp. 275-283, 2005.
- [10] <http://www.sdrforum.org/>
- [11] N. Georganopoulos, T. Farnham, R. Burgess, T. Scholer, J. Sessler, Z. Golubicic, S. Buljore, “Terminal-centric view of software-reconfigurable system architecture and enabling components and technologies”, IEEE Commun. Mag, Vol. 42, No. 5, May 2004, pp. 100-110.
- [12] V. Stavroulaki, S. Buljore, P. Roux, E. Melin, “Equipment management issues in B3G, end-to-end reconfigurable systems“, IEEE Wireless Commun. Mag, Vol 13, No. 3, June 2006, pp. 24-32.
- [13] P. Demestichas, V. Stavroulaki, D. Boscovic, A. Lee, J. Strassner, “m@ANGEL: autonomic management platform for seamless cognitive

- connectivity to the mobile internet”, IEEE Commun. Mag., Vol. 44, No. 6, June 2006, pp. 118-127.
- [14] P. Demestichas, L. Papadopoulou, V. Stavroulaki, M. Theologou, G. Vivier, G. Martinez, F. Galliano, “Wireless beyond 3G: Managing Services and Network Resources”, IEEE Computer, Vol. 35, No. 8, Aug. 2002. P. Demestichas, G. Vivier, K. El-Khazen, M. Theologou, “Evolution in wireless systems management concepts: from composite radio to reconfigurability”, IEEE Commun. Mag., Vol. 42, No. 5, May 2004, pp. 90-98.
- [15] Jon Inouye, Jim Binkley, Jonathan Walpole, “Dynamic Network Reconfiguration Support for Mobile Computers”, International Conference on Mobile Computing and Networking, Budapest, Hungary, Pages: 13-22, Year: 1997, ISBN:0-89791-988-2, ACM Press. Available at: <http://web.cecs.pdx.edu/~walpole/papers/mobicom1997.pdf>
- [16] Jurgen Wolf, “Network Resource Management for Real-Time Streams within a Multimedia Document Server Architecture”, In Proc. of 49. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium (IWK), Illmenau, 2004. Available at: <http://www.informatik.uni-hamburg.de/TKRN/world/staff/jw/Wol04.pdf>
- [17] C. Kloeck, et. al. “Functional Architecture of Reconfigurable Systems”, 14th Wireless World Research Forum Meeting, San Diego, CA/USA, 7-8. July 2005.
- [18] P. Demestichas, N. Koutsouris, G. Koundourakis, K. Tsagkaris, A. Oikonomou, V. Stavroulaki, L. Papadopoulou, M. Theologou, G. Vivier, K. El-Khazen, "Management of networks and services in a composite radio context", IEEE Wireless Communications Magazine, August 2003
- [19] S. Sharma, A. G. Spilling, and A. R. Nix, "Adaptive coverage for UMTS macrocells based on situation awareness," presented at IEEE VTS 53rd Vehicular Technology Conference (VTS SPRING 2001), May 6-9 2001, Rhodes, 2001.
- [20] D. Sislak, M. Rehak, M. Pechoucek, P. Benda, “Optimizing agents operation in partially inaccessible and disruptive environment”, Intelligent Agent Technology, IEEE/WIC/ACM International Conference on, 19-22 Sept. 2005, pp. 140-143.
- [21] M.A. Fecko, J. Sucec, S. Samtani, A. Staikos, “Deployment Mode Functionalities of Dynamic Domain Optimization Agent (DDOA) for OSPF

- Area Design”, Military Communications Conference, 2006. MILCOM 2006, 23-25 Oct. 2006, pp. 1-7.
- [22] L. Lee, “Agent-based Auctions”, Autonomous Decentralized Systems, 2001. Proceedings. 5th International Symposium on Vol , Issue , 2001 pp. 144 - 145
- [23] <http://web.syr.edu/~ejhumphr/Cognitive%20Radio%20Research/Spectrum%20Efficiency%20and%20Cognitive%20Radio.ppt>

Ακρωνύμια

AI	Artificial Intelligence
B3G	Beyond 3G
Ci	Component i
DEM	Decision Enforcement Module
OF	Objective Function
OSI	Open System Interconnection
QoS	Quality of Service
RAT	Radio Access Technology
SC	Software Component
SDMP	Service Deployment Management Platform
SDR	Software Defined Radio
SNj	Service node j