



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ - ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών

«Κυβερνοασφάλεια Και Επιστήμη Δεδομένων»

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Τίτλος Διατριβής	«Οπτικοποίηση GTFS Δεδομένων» «GTFS Data Visualization»
Όνοματεπώνυμο Φοιτητή	Πεσκελίδης Βασίλης
Πατρώνυμο	Αλέξανδρος
Αριθμός Μητρώου	ΜΠΚΕΔ21043
Επιβλέπων	Ιωάννης Θεοδωρίδης, Καθηγητής

Ημερομηνία Παράδοσης Δεκέμβριος 2024

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Ιωάννης Θεοδωρίδης
Καθηγητής

Νικόλαος Πελέκης
Αν. Καθηγητής

Άγγελος Πικράκης
Επ. Καθηγητής

Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση της διπλωματικής αυτής εργασίας θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου σε όσους στάθηκαν δίπλα μου για όλο αυτό το χρονικό διάστημα.

Για τη διεκπεραίωση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας θα ήθελα να πω ένα θερμό ευχαριστώ στον επιβλέποντα καθηγητή μου Ιωάννη Θεοδωρίδη για την ανάθεση του θέματος, καθώς και στην Δρ. Ευαγγελία Χονδροδήμα και στον υποψήφιο διδάκτορα κ. Ιωάννη Κοντούλη, μέλη του Εργαστηρίου Επιστήμης Δεδομένων του Πανεπιστημίου Πειραιώς, για την πολύτιμη στήριξη και βοήθειά τους καθ' όλη τη διάρκεια. Επιπλέον, στο πανεπιστήμιο που μου έδωσε τη δυνατότητα να διευρύνω τις γνώσεις μου.

Τέλος, να ευχαριστήσω τους γονείς μου για τη στήριξή τους.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία εμβαθύνει στις ιδιαιτερότητες της οπτικοποίησης των δεδομένων αστικής μεταφοράς, χρησιμοποιώντας στατικά δεδομένα καθώς και δεδομένα πραγματικού χρόνου για βελτιστοποίηση αστικών μέσων μεταφοράς και λήψη αποφάσεων. Καθώς και την οπτικοποίηση σε πραγματικό χρόνο των μέσων μεταφοράς μέσω της ανεπτυγμένης εφαρμογής. Με βάση τις “Γενικές Προδιαγραφές Τροφοδοσίας Συγκοινωνιών (General Transit Feed Specification - GTFS)”, η εφαρμογή μετατρέπει τα σύνθετα δεδομένα μεταφορών σε ουσιαστικές οπτικές αφηγήσεις, αναδεικνύοντας τα χωρικά και χρονικά πρότυπα των υπηρεσιών μεταφορών. Η εφαρμογή αυτή υπογραμμίζει την κρίσιμη σημασία της αποτελεσματικής οπτικοποίησης δεδομένων στον αστικό σχεδιασμό, παρέχοντας στους ενδιαφερόμενους φορείς ένα δυναμικό σχέδιο της αστικής μεταφοράς. Η εργασία διερευνά τον σχεδιασμό της εφαρμογής, εστιάζοντας στις ανάγκες των χρηστών και τις λειτουργικές απαιτήσεις, και δίνει έμφαση στην ενσωμάτωση των δεδομένων GTFS με προηγμένα εργαλεία οπτικοποίησης. Η εφαρμογή αυτή επεξηγεί τον βαθύ αντίκτυπο της τεχνολογικής ολοκλήρωσης στον αστικό σχεδιασμό και τη διαχείριση των μεταφορών, προσφέροντας προοπτικές για την κατανόηση και τη βελτίωση του αστικού τοπίου, δίνοντας έμφαση στον εξελισσόμενο ρόλο των στρατηγικών με βάση τα δεδομένα στην αστική ανάπτυξη.

Λέξεις-κλειδιά: Οπτικοποίηση Αστικών Συγκοινωνιών, Εφαρμογή Δεδομένων GTFS, Ανάλυση Συγκοινωνιών σε Πραγματικό Χρόνο, Σχεδιασμός Δημόσιων Μεταφορών

Abstract

This thesis delves into the intricacies of urban transit data visualization, highlighting the transformative potential of combining real-time and static data for enhanced urban planning and decision-making. Rooted in the General Transit Feed Specification (GTFS), the study designs and implements an innovative application that converts complex transit data into meaningful visual narratives, showcasing spatial and temporal patterns of transit services. This research underscores the critical importance of effective data visualization in urban planning, providing stakeholders with a dynamic blueprint of urban transit. The thesis explores the application's design, focusing on user needs and functional requirements, and emphasizes the integration of GTFS data with advanced visualization tools. The application emerges as a comprehensive solution for visualizing public transit operations, supported by structured requirements analysis. The study illuminates the profound impact of technological integration in urban planning and transit management, offering new perspectives for understanding and improving city landscapes. It paves the way for future research and advancements in urban design, emphasizing the evolving role of data-driven strategies in urban development.

Keywords: Urban Transit Visualization, GTFS Data Application, Real-time Transit Analysis, Public Transport Planning

Περιεχόμενα

Περίληψη	4
Κατάλογος Σχημάτων	8
1. Ανάλυση Απαιτήσεων	11
1.1 Ανάγκες των χρηστών	11
1.2 Λειτουργικές απαιτήσεις	12
1.3 Μη λειτουργικές απαιτήσεις και περιορισμοί	13
1.4 Τεχνικοί περιορισμοί	15
2. Σχετικές Εργασίες	17
3. Σχεδιασμός εφαρμογής	32
3.1 Αρχιτεκτονική συστήματος	32
3.1.1 Config.Properties	32
3.1.2 Σύνδεση DBConnection	33
3.2 Ενότητες χειρισμού δεδομένων	34
3.2.1 Create_Tables	34
3.2.2 Get_Static_Data	38
3.2.3 Clean_Static_Data	39
3.3 Επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο	40
3.3.1 Get_Real_Time_Data	40
3.4 Ενότητα οπτικοποίησης δεδομένων	41
3.4.1 Data_Visualization	42
3.5 Λειτουργία αρχείων	43
3.6 Ακολουθία εκτέλεσης αρχείων	43
4. GTFS	45
4.1 Διεπαφή χρήστη και αλληλεπίδραση	46
4.1.1. Γραφική αναπαράσταση	46
4.1.2. Στοιχεία πλοήγησης	47
4.1.3. Διαδραστικό πλαίσιο	47
4.1.4. Οθόνες δεδομένων	47
4.1.5. Βρόχοι ανατροφοδότησης	47
4.2 Χαρακτηριστικά οπτικοποίησης και ανάλυσης	47
4.2.1. Ζωντανές απεικονίσεις διαδρομών διέλευσης	48
4.2.2. Καινοτόμος αναπαράσταση στάσεων	49
4.2.3. Ανάλυση σε βάθος	50
4.2.4. Δυνατότητες αρχειοθέτησης	50
4.2.5. Διαδραστικά επίπεδα και επικαλύψεις	50
4.3 Ακολουθία εκτέλεσης	50

4.3.1. Αρχική διαμόρφωση - Το θεμέλιο	51
4.3.2. Ολοκλήρωση δεδομένων - Η συμβολή	51
4.3.3. Αρχικοποίηση οπτικοποίησης - Ζωντανεύοντας τα δεδομένα	51
4.3.4. Ανανέωση σε πραγματικό χρόνο - Ο σφυγμός της πόλης	51
4.3.5. Η ροή εκτέλεσης της εφαρμογής	52
5. Συμπεράσματα	53
Βιβλιογραφία	55

Κατάλογος Σχημάτων

Σχήμα 1. Βασική δομή του μοντέλου πίνακα GTFS των Velasquez Ortiz et al. (2020).	18
Σχήμα 2. Χαρτογράφηση πόλεων σε μορφή GTFS στη μελέτη των Velasquez Ortiz et al. (2020).	18
Σχήμα 3. Δίκτυο μεταφοράς του Μόντρεαλ. Πηγή: Zahabi et al. (2017).	20
Σχήμα 4. Σημεία ταξιδιού GPS από τη συλλογή δεδομένων δρομολογίων διέλευσης μέσω smartphone και γραμμές διέλευσης. Πηγή: Zahabi et al. (2017).	21
Σχήμα 5. Κατανομή τροφοδοσιών VehiclePositions ανά στάση. Πηγή: (Abusalim, 2020)	23
Σχήμα 6. Κατανομή των τροφοδοσιών TripUpdates ανά στάση Πηγή: (Abusalim, 2020)	23
Σχήμα 7. Μοντέλο ροής δεδομένων OTP στη μελέτη του Abusalim, (2020)	24
Σχήμα 8. Instance OTP που εκτελείται στο Broward 2020 στη μελέτη του Abusalim, (2020).	24
Σχήμα 9. Σχέσεις γενικών προδιαγραφών τροφοδοσίας μεταφοράς (GTFS) στη μελέτη του Abusalim, (2020).	25
Σχήμα 10. Χάρτης του συστήματος Calgary Transit στη μελέτη των Prommaharaj et al., (2020).	26
Σχήμα 11. Διαδικασία προεπεξεργασίας δεδομένων GTFS στη μελέτη των Prommaharaj et al., (2020), από τα ακατέργαστα δεδομένα έως την οπτικοποίηση.	26
Σχήμα 12. Στιγμιότυπο της διεπαφής PubtraVis στη μελέτη των Prommaharaj et al., (2020).	27
Σχήμα 13. Παράδειγμα χρήσης χάρτη φόντου στη μελέτη των Prommaharaj et al., (2020).	27
Σχήμα 14. Παράδειγμα χρήσης της επιλογής TWO MAP, συγκρίνοντας μεταξύ των μονάδων πυκνότητας και κινητικότητας. (Πηγή: Prommaharaj et al., 2020).	28
Σχήμα 15. Στιγμιότυπο της υποενότητας ομοιότητας στην ενότητα ανάλυσης. Αυτό το δείγμα δείχνει τις πιο όμοιες διαδρομές με τη διαδρομή #1-20429 (επισημαίνεται με κόκκινο χρώμα) ταξινομημένες με βάση τις τιμές ομοιότητας συνημίτονου. (Πηγή: Prommaharaj et al., 2020).	29
Σχήμα 16. Διάγραμμα ροής μέτρησης του Gap Type. Πηγή: (Kaeoruean et al., 2020).	30
Σχήμα 17. Επίπεδα ζήτησης δημόσιας συγκοινωνίας (τύπος 1) ανά κοινότητα σε ωριαία διαστήματα από τις 5 έως τις 8 π.μ.. Πηγή: Kaeoruean et al., (2020)	31
Σχήμα 18. Επίπεδα προσφοράς δημόσιας συγκοινωνίας (τύπος 1) ανά κοινότητα σε ωριαία διαστήματα από τις 5 έως τις 8 π.μ. Πηγή: Kaeoruean et al., (2020).	31
Σχήμα 19. Αρχιτεκτονική συστήματος	32

Σχήμα 20. Σχεδιάγραμμα στατικών πινάκων στη Βάση.....	37
Σχήμα 21. Σχεδιάγραμμα real time πινάκων στη Βάση.....	37
Σχήμα 22. Γραφικό περιβάλλον εφαρμογής	46
Σχήμα 23. Αναπαράσταση διαδρομής με κόκκινη γραμμή με τα μπλε σημεία να αποτελούν τα λεωφορεία.....	49
Σχήμα 24. Οι μπλε κουκίδες αποτελούν τις στάσεις, ενώ οι αχνές κουκίδες αποτελούν εκείνες που έχει περάσει το λεωφορείο ανάλογα με την επιλογή του χρήστη στην κάθε κατεύθυνση.....	49

Εισαγωγή

Στην παρούσα εργασία καλούμαστε να λύσουμε το πρόβλημα που αντιμετωπίζουμε με τα μέσα μαζικής μεταφοράς και το πώς θα μπορούσε να γίνει καλύτερη η καθημερινότητα μας. Το πρόβλημα αποτελείται από πολλές πτυχές που δυσκολεύουν την καθημερινότητα του πολίτη, το πιο απλό είναι να μπορέσει να προγραμματίσει με όση περισσότερη ακρίβεια τις ενέργειες του χωρίς καθυστέρηση και ατυχίες στα μέσα μαζικής μεταφοράς.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την οπτικοποίηση η οποία μας παρέχει την πληροφορία της τοποθεσίας και της άφιξης του λεωφορείου στη στάση, καθώς και την έναρξη από το τέρμα του, ώστε να υπολογίζουμε με ακρίβεια τον χρόνο και την απόσταση που απέχει το λεωφορείο ανά πάσα στιγμή. Με αυτόν τον τρόπο θα μπορέσουμε να πετύχουμε την βέλτιστη μετακίνηση των πολιτών και να αποτρέψουμε την συμφόρηση και τον συνωστισμό στις στάσεις.

Με αυτή τη νέα δυναμική, προέκυψαν και προκλήσεις. Τα βασικότερα ερωτήματα σχετίζονται με τον τρόπο που μπορούμε να συλλάβουμε αποτελεσματικά αυτή τη συνεχή ροή δεδομένων και το πιο σημαντικό, τον τρόπο που τα επεξεργαζόμαστε και τα παρουσιάζουμε ώστε να έχει νόημα το τελικό αποτέλεσμα σε σχέση με την ακεραιότητα των δεδομένων. Από αυτή την άποψη, γίνεται αισθητή η σημασία της αποτελεσματικής οπτικοποίησης των δεδομένων. Συνδέοντας τα νήματα των στατικών δεδομένων και των δεδομένων πραγματικού χρόνου, όχι μόνο βελτιώνουμε την κατανόηση των αστικών μεταφορών αλλά και ενισχύουμε τη λήψη αποφάσεων με τις γνώσεις που απαιτούνται για έναν ολιστικό και τεκμηριωμένο αστικό σχεδιασμό.

Η παρούσα εργασία ξεκινά κατανοώντας τα διάφορα χαρακτηριστικά της οπτικοποίησης δεδομένων δημόσιας συγκοινωνίας. Βασιζόμενοι στην παγκοσμίως αναγνωρισμένη προδιαγραφή General Transit Feed Specification (GTFS), σχεδιάζουμε και υλοποιούμε μια εφαρμογή που υπόσχεται να μετατρέψει τα ακατέργαστα δεδομένα σε οπτικές ιστορίες. Αυτή η οπτικοποίηση έχει ως στόχο να αναδείξει τα χωρικά και χρονικά μοτίβα των υπηρεσιών μεταφοράς, προσφέροντας έτσι ανεκτίμητες ποιοτικές γνώσεις.

Στα κεφάλαια που ακολουθούν, αναλύεται ο σχεδιασμός και η λειτουργικότητα της εφαρμογής, η οποία υποστηρίζεται από μια δομημένη ανάλυση απαιτήσεων. Μέσω αυτής της ανάλυσης, σκοπεύουμε να τονίσουμε τη συνέπεια που προκύπτει από το συνδυασμό της τεχνολογίας με τον αστικό σχεδιασμό, προσφέροντας μια οπτική μέσω της οποίας μπορεί να γίνει αντιληπτός, να αναλυθεί και να βελτιωθεί ο ίδιος ο ιστός των πόλεων. Στο πνεύμα της συνεχούς μάθησης και εξέλιξης, η παρούσα εργασία επιδιώκει να βελτιώσει μελλοντικά την κατάσταση της εφαρμογής στον συνεχώς εξελισσόμενο τομέα του αστικού τομέα.

1. Ανάλυση Απαιτήσεων

Ο ψηφιακός μετασχηματισμός των αστικών μετακινήσεων έχει εκδηλωθεί με ένα κύμα παραγωγής και συσσώρευσης δεδομένων, το οποίο φέρνει αλλαγές σε διάφορους τομείς, όπως, μεταξύ άλλων, στις αστικές δημόσιες μεταφορές. Ο κεντρικός ρόλος των δεδομένων στην αναδιαμόρφωση των αστικών μας χώρων αποτελεί έναν αναδυόμενο επιστημονικό τομέα, με τους ερευνητές να επισημαίνουν τη συμβιωτική σχέση μεταξύ των ψηφιακών εξελίξεων και της αστικής εξέλιξης (Chondrodima et al., 2022). Τα συστήματα αστικών μεταφορών, ως κεντρικές υποδομές στις μητροπολιτικές περιοχές, επωφελούνται από αυτή την έκρηξη στην παραγωγή και διάθεση των δεδομένων. Η προδιαγραφή General Transit Feed Specification (GTFS), για παράδειγμα, παρέχει μια δομημένη μορφή για τα δρομολόγια των δημόσιων συγκοινωνιών και τις σχετικές γεωγραφικές πληροφορίες. Όταν διασυνδέεται με προηγμένα εργαλεία απεικόνισης, το GTFS αποτελεί ένα σημαντικό πλεονέκτημα για την επανασχεδίαση της διαχείρισης των αστικών συγκοινωνιών (Chondrodima et al., 2021).

Όπως διατυπώνεται από τους Chondrodima et al. (2022), τέτοιες εξελίξεις δύναται να μετασχηματίσουν τη κατάσταση των αστικών μεταφορών, αφενός σε επίπεδο λειτουργικότητας, αφετέρου σε ό,τι έχει να κάνει με την εμπειρία των χρηστών. Ωστόσο, η πρόκληση έγκειται στη δημιουργία εργαλείων, τα οποία να αξιοποιούν την πληθώρα των διαθέσιμων δεδομένων. Η μετατροπή των ακατέργαστων δεδομένων σε αξιοποιήσιμες γνώσεις-πληροφορίες απαιτεί μια κατανόηση των διαφορετικών αναγκών των ενδιαφερομένων μερών και, κατά συνέπεια, έναν εξελιγμένο σχεδιασμό εργαλείων που να μπορούν να ανταποκριθούν σε αυτές τις ποικίλες απαιτήσεις.

Αυτή η προσπάθεια για τη λήψη αποφάσεων βάσει δεδομένων στον τομέα της αστικής μεταφοράς δεν είναι χωρίς προηγούμενο. Υπάρχει μια αυξανόμενη συναίνεση στη βιβλιογραφία σχετικά με την επιτακτική ανάγκη εύρεσης στρατηγικών, που βασίζονται στα δεδομένα του αστικού σχεδιασμού, με τους μελετητές να υπογραμμίζουν την ανάγκη για εργαλεία που μπορούν να συγχωνεύσουν στατικά σύνολα δεδομένων με ροές δεδομένων (streaming data) σε πραγματικό χρόνο, προσφέροντας μια συνολική εικόνα του οικοσυστήματος (Li et al., 2023- Liu et al., 2020). Τέτοια εργαλεία όχι μόνο θα βελτιώσουν την ικανότητα λήψης αποφάσεων των αρχών μεταφορών, αλλά θα δώσουν στους μετακινούμενους έγκαιρες και σχετικές πληροφορίες, βελτιώνοντας έτσι τη συνολική εμπειρία χρήσης (Elliott & Lumley, 2020).

Σε αυτό το πλαίσιο, η ανάλυση που ακολουθεί σκοπεύει να εμβαθύνει στις πολύπλευρες απαιτήσεις που θα πρέπει να καλύπτει ένα εργαλείο οπτικοποίησης δεδομένων GTFS. Βασιζόμενοι στην υπάρχουσα βιβλιογραφία και αντλώντας πληροφορίες από πρωτοποριακές εργασίες (state-of-the-art) στον τομέα, η παρούσα ενότητα θα χαρτογραφήσει το περίγραμμα ενός ιδανικού εργαλείου, το οποίο θα συνδυάζει την τεχνολογία και τις ανάγκες των χρηστών.

1.1 Ανάγκες των χρηστών

Η κατανόηση των ξεχωριστών αναγκών των διάφορων ενδιαφερομένων μερών στις αστικές δημόσιες συγκοινωνίες είναι υψίστης σημασίας για τη διασφάλιση της αποτελεσματικής ανάπτυξης και της χρησιμότητας των εργαλείων οπτικοποίησης δεδομένων. Το εγχείρημα αυτό περιλαμβάνει την εξυπηρέτηση δύο πρωταρχικών οντοτήτων: των αρχών μεταφορών και των καθημερινών επιβατών.

Οι αρχές μεταφορών αναλαμβάνουν τη σημαντική ευθύνη της διατήρησης και βελτιστοποίησης των λειτουργιών των δημόσιων μεταφορών. Οι προκλήσεις που αντιμετωπίζουν είναι εκτεταμένες και απορρέουν τόσο από την πολύπλευρη φύση των λειτουργιών των μέσων μεταφοράς όσο και από τον περίπλοκο ιστό δεδομένων που

παράγουν (Li et al., 2023). Στο επίκεντρο των αναγκών τους βρίσκεται η απαίτηση για ένα εξελιγμένο ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης δεδομένων. Ένα τέτοιο σύστημα θα πρέπει να είναι ανθεκτικό, ικανό να αφομοιώνει τεράστιους όγκους δεδομένων που εκδηλώνονται με διάφορες μορφές - από περίπλοκες διατάξεις διαδρομών έως δυναμικό προγραμματισμό και ενημερώσεις μέχρι και την τελευταία στιγμή. Δεδομένης της ταχέως εξελισσόμενης φύσης των αστικών χώρων και των δικτύων μεταφορών, υπάρχει επίσης μια απτή ανάγκη για συστήματα που να μπορούν να συγχωνευθούν απρόσκοπτα στις προϋπάρχουσες υποδομές, εξασφαλίζοντας έτσι τη συνέχεια και αναιρώντας την ανάγκη για δυσκίνητες αναθεωρήσεις. Επιπλέον, για να μπορέσουν οι αρχές αυτές να λάβουν τεκμηριωμένες αποφάσεις, εκτός από τα δεδομένα, χρειάζονται και τις κατάλληλες μεθόδους επεξεργασίας και ανάλυσης δεδομένων. Οι πληροφορίες αυτές καθίστανται απαραίτητες όταν οι αρχές αντιμετωπίζουν προκλήσεις όπως ο εξορθολογισμός των δρομολογίων, η έγκαιρη αναπροσαρμογή των δρομολογίων και η συνετή κατανομή των πόρων, με στόχο την ενίσχυση της επιχειρησιακής απόδοσης και της ικανοποίησης των επιβατών (Li et al., 2023).

Ο ρόλος των επιβατών σε ένα σύστημα δημόσιων-αστικών μεταφορών είναι κομβικός, δεδομένου ότι ως χρήστες των μέσων μαζικής μεταφοράς επηρεάζονται άμεσα. Στη σημερινή ταχέως εξελισσόμενη αστική ζωή, η σημασία παραγωγής, αποθήκευσης και επεξεργασίας δεδομένων σε πραγματικό χρόνο είναι καταλυτική. Η ενημέρωση για τον ακριβή χρόνο άφιξης των λεωφορείων, τις πιθανές καθυστερήσεις ή ακόμη την ακριβή θέση-στιγμή των λεωφορείων σε πραγματικό χρόνο, αποτελούν περιπτώσεις που διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στον προγραμματισμό των δρομολογίων και στη συνολική εμπειρία των μετακινήσεων (Chondrodima et al., 2022). Το πραγματικό και πρακτικό όφελος από την αξιοποίηση των δεδομένων προκύπτει όταν τα δεδομένα αυτά ενσωματώνονται σε φιλικές προς τον χρήστη διεπαφές. Μια άρτια και εργονομικά σχεδιασμένη, διαδραστική οπτική διεπαφή βοηθά σημαντικά στη βελτίωση της συνολικής εμπειρίας χρήσης των επιβατών (Liu et al., 2020). Το σύγχρονο τοπίο, στο οποίο κυριαρχούν οι κινητές συσκευές, αυξάνει περαιτέρω την απαίτηση αυτές οι διεπαφές να είναι προσαρμοσμένες. Σε μια εποχή στην οποία πρωτοστατεί η ψηφιακή συνδεσιμότητα, οι μετακινούμενοι προσδοκούν και εκτιμούν την ευκολία πρόσβασης σε καίριες πληροφορίες για τις μεταφορές, μέσω smartphones, tablet ή φορητών υπολογιστών (Elliott & Lumley, 2020).

1.2 Λειτουργικές απαιτήσεις

Στις λειτουργικές απαιτήσεις ενός εργαλείου απεικόνισης δεδομένων GTFS πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι επιμέρους ανάγκες των χρηστών. Οι απαιτήσεις αυτές αποτελούν δομικό συστατικό στοιχείο του εργαλείου και, παράλληλα, διασφαλίζουν τη λειτουργική αποτελεσματικότητα και χρησιμότητά του (Wu et al., 2023).

Κεντρικό ρόλο στις απαιτήσεις αυτές διαδραματίζει ο τομέας της διαχείρισης δεδομένων, μια τεράστια ομπρέλα που περιλαμβάνει μυριάδες επιμέρους λειτουργίες. Στο πιο θεμελιώδες επίπεδο, το σύστημα απαιτεί έναν ισχυρό μηχανισμό για την ανάκτηση δεδομένων. Η ενσωμάτωση API ξεχωρίζει ως άξονας σε αυτό το πλαίσιο, λειτουργώντας ως γέφυρα για τη συνεχή άντληση δεδομένων από πληθώρα πηγών που παράγουν σύνολα δεδομένων GTFS (Chondrodima et al., 2022). Η ρευστότητα αυτής της εισροής δεδομένων συμπληρώνεται από τη δημιουργία μιας στιβαρής σύνδεσης με τη βάση δεδομένων, ένα κομβικό στοιχείο που επωμίζεται την ευθύνη της στέγασης και διαχείρισης τεράστιων συνόλων δεδομένων που εισρέουν από διάφορα κανάλια. Καθώς το τοπίο των δεδομένων συνεχίζει να εξελίσσεται και να επεκτείνεται, η ικανότητα του συστήματος να αρχειοθετεί δεδομένα αποκτά αυξημένη σημασία. Αυτή η λειτουργία δεν χρησιμεύει απλώς ως αποθήκη ιστορικών δεδομένων, αλλά ανοίγει το δρόμο για μελλοντικές εκτιμήσεις τάσεων και προβλέψεις, απαραίτητα συστατικά

για την ενίσχυση της αποτελεσματικότητας και της προβλεψιμότητας των υπηρεσιών μεταφορών (Wu et al., 2023).

Στον τομέα της βελτίωσης των δεδομένων, η εφαρμογή ενός ισχυρού μηχανισμού καθαρισμού δεδομένων είναι απαραίτητη. Η διαδικασία αυτή αντιμετωπίζει συστηματικά σφάλματα, ασυνέπειες και πλεονασμούς, διατηρώντας έτσι την ακεραιότητα και την ακρίβεια των δεδομένων που χρησιμοποιούνται για την οπτικοποίηση. Εξίσου σημαντική είναι η μετατροπή των ακατέργαστων δεδομένων σε μορφές βελτιστοποιημένες για σαφή οπτικοποίηση και λεπτομερή ανάλυση. Αυτοί οι μετασχηματισμοί συχνά συνεπάγονται από περίπλοκους υπολογισμούς για την εξαγωγή βασικών μετρικών μεταφορών, όπως ο χρόνος δρομολογίου και η απόσταση, εξασφαλίζοντας την ετοιμότητα των δεδομένων για προηγμένες αναλυτικές διαδικασίες (Chondrodima et al., 2021).

Εστιάζοντας στη πτυχή της οπτικοποίησης, οι δυνατότητες του συστήματος είναι κρίσιμης σημασίας. Θα πρέπει να ενσωματώνει μια ενότητα σχεδιασμένη για αυτόματες ενημερώσεις, επιτρέποντας στους χρήστες να παρακολουθούν σε πραγματικό χρόνο τα δεδομένα μεταφοράς μέσω διαδραστικών χαρτών. Ένας υψηλός βαθμός προσαρμοστικότητας είναι απαραίτητος, επιτρέποντας στους χρήστες να προσαρμόζουν τις προβολές επιλέγοντας συγκεκριμένες παραμέτρους, όπως μεμονωμένες διαδρομές ή συγκεκριμένα δρομολόγια, ώστε να εξάγουν σχετικές πληροφορίες από επιλεγμένα σύνολα δεδομένων (Chondrodima et al., 2022). Επιπλέον, η διασύνδεση του διαδραστικού χάρτη θα πρέπει να υποστηρίζει πολυεπίπεδες απεικονίσεις δεδομένων, παρέχοντας λεπτομερείς πληροφορίες που περιλαμβάνουν καθιερωμένες διαδρομές λεωφορείων και θέσεις λεωφορείων σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας τόσο τη χρηστικότητα όσο και το αναλυτικό βάθος (Aemmer et al., 2022).

Η διεπαφή χρήστη χρησιμεύει ως το κύριο σημείο αλληλεπίδρασης μεταξύ των χρηστών και του εργαλείου, γεγονός που επιβάλλει την τήρηση των αρχών του σχεδιασμού. Η έμφαση στην απλότητα διασφαλίζει την προσβασιμότητα για χρήστες με διαφορετικά επίπεδα τεχνολογικής επάρκειας. Εξίσου σημαντική είναι η ανταπόκριση της διεπαφής, που επιτρέπει την απρόσκοπτη προσαρμογή σε συσκευές με διαφορετικά μεγέθη οθόνης. Η ενσωμάτωση ενός ισχυρού μηχανισμού ανατροφοδότησης και υποστήριξης προάγει την άμεση επίλυση ζητημάτων, ενώ διευκολύνει τον συνεχή διάλογο μεταξύ χρηστών και προγραμματιστών, βελτιώνοντας έτσι την ικανοποίηση των χρηστών και ενισχύοντας την εμπιστοσύνη στο σύστημα (Wu et al., 2023).

Οι λειτουργικές απαιτήσεις ενός εργαλείου απεικόνισης δεδομένων GTFS θα πρέπει να δίνουν προτεραιότητα στην ακρίβεια των δεδομένων, την προσαρμοστικότητα και τον σχεδιασμό με επίκεντρο τον χρήστη. Οι απαιτήσεις αυτές πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τη δυναμική φύση των συστημάτων αστικών μεταφορών και το ταχέως εξελισσόμενο τεχνολογικό τοπίο, διασφαλίζοντας ότι το εργαλείο θα ανταποκρίνεται στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις και τα μεταβαλλόμενα πλαίσια.

1.3 Μη λειτουργικές απαιτήσεις και περιορισμοί

Οι λειτουργικές απαιτήσεις ενός εργαλείου απεικόνισης δεδομένων GTFS θα πρέπει να δίνουν προτεραιότητα στην ακρίβεια των δεδομένων, την προσαρμοστικότητα και τον σχεδιασμό με επίκεντρο τον χρήστη. Οι απαιτήσεις αυτές πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τη δυναμική φύση των συστημάτων αστικών μεταφορών και το ταχέως εξελισσόμενο τεχνολογικό τοπίο, διασφαλίζοντας ότι το εργαλείο θα ανταποκρίνεται στις μεταβαλλόμενες απαιτήσεις και τα μεταβαλλόμενα πλαίσια. Οι μη λειτουργικές απαιτήσεις είναι ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση ότι το σύστημα όχι μόνο επιτυγχάνει τον επιδιωκόμενο σκοπό του, αλλά και λειτουργεί με τρόπο που προάγει την εμπιστοσύνη των χρηστών, παρέχει συνεπή εμπειρία και παραμένει ανθεκτικό στο δυναμικό και ταχέως εξελισσόμενο ψηφιακό τοπίο.

Μια βασική μη λειτουργική απαίτηση είναι η επεκτασιμότητα. Καθώς οι αστικές περιοχές επεκτείνονται και τα δίκτυα μεταφοράς γίνονται όλο και πιο πολύπλοκα, το σύστημα πρέπει να επιδεικνύει εγγενή ευελιξία. Θα πρέπει να είναι σχεδιασμένο με ανθεκτικότητα ώστε να χειρίζεται αυξανόμενο όγκο δεδομένων και να υποστηρίζει κλιμακούμενο αριθμό ταυτόχρονων χρηστών, εξασφαλίζοντας απρόσκοπτη απόδοση υπό τις εξελισσόμενες απαιτήσεις (Singh & Kumar, 2022). Δεν πρόκειται απλώς για τη διαχείριση των αυξημένων φορτίων, αλλά για τη διαχείρισή τους με τρόπο που να διατηρεί, αν όχι να ενισχύει, την αποδοτικότητα και την ανταπόκριση του συστήματος.

Η ασφάλεια διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο σε αυτό το πλαίσιο. Σε μια εποχή αυξανόμενης ψηφιοποίησης, η προστασία των ευαίσθητων δεδομένων μεταφοράς από μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση και κακόβουλες δραστηριότητες είναι επιτακτική ανάγκη (Liu et al., 2020). Αυτό απαιτεί την εφαρμογή ισχυρών πρωτοκόλλων ασφαλείας και συστημάτων συνεχούς παρακολούθησης για τη διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων και την προστασία της ιδιωτικής ζωής των χρηστών.

Η βέλτιστη απόδοση αποτελεί θεμελιώδη προϋπόθεση για τη διασφάλιση της αξιοπιστίας και της αποδοτικότητας του συστήματος, ιδίως σε περιόδους μεγάλης εισροής δεδομένων και αυξημένης κίνησης χρηστών. Η σταθερότητα του συστήματος αποδεικνύεται μέσω της ικανότητάς του να διατηρεί την ομαλή λειτουργία υπό διαφορετικές συνθήκες φορτίου. Μια αποτελεσματικά βελτιστοποιημένη εφαρμογή είναι απαραίτητη, παρέχοντας στους χρήστες μια απρόσκοπτη εμπειρία χωρίς διακοπές ή καθυστερήσεις, ανεξάρτητα από τις απαιτήσεις του συστήματος (Chondrodima et al., 2022).

Κατά τη μετάβαση από τον εννοιολογικό σχεδιασμό στην πρακτική εφαρμογή, εμφανίζονται συχνά πολυάριθμοι τεχνικοί περιορισμοί, οι οποίοι θέτουν προκλήσεις που πρέπει να αντιμετωπιστούν συστηματικά. Για παράδειγμα, στην επιδίωξη της σταθερότητας, μπορεί να προκύψει η ανάγκη να περιοριστούν ορισμένες λειτουργίες για να διασφαλιστούν οι ταχύτητες ανάκτησης και επεξεργασίας δεδομένων. Η ενσωμάτωση διαφορετικών APIs - ένα ζωτικό στοιχείο για το εργαλείο - μπορεί να μην είναι πάντα απλή. Οι παραλλαγές στις μορφές δεδομένων, τα πιθανά προβλήματα συμβατότητας ή οι διαφορετικές συχνότητες ενημέρωσης μπορεί να αναδειχθούν ως προκλήσεις. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί ένα συνδυασμό ευφυούς σχεδιασμού του συστήματος, επαναληπτικών διαδικασιών δοκιμών και προσαρμοστικότητας. Τα μέτρα αυτά διασφαλίζουν τη συνέχεια των λειτουργιών του συστήματος και διατηρούν την ακεραιότητα των δεδομένων καθ' όλη τη διάρκεια της ανάπτυξης και της υλοποίησης (Barbeau, 2018).

Οι λειτουργικές απαιτήσεις του εργαλείου απεικόνισης δεδομένων GTFS καθορίζουν τις βασικές του δυνατότητες, περιγράφοντας το σκοπό για τον οποίο έχει σχεδιαστεί το σύστημα. Αντίθετα, οι μη λειτουργικές απαιτήσεις και οι περιορισμοί καθορίζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά που επηρεάζουν πόσο αποτελεσματικά το σύστημα εκτελεί αυτές τις λειτουργίες. Η επίτευξη ισορροπίας μεταξύ αυτών των διαστάσεων είναι απαραίτητη, καθώς μετατρέπει το σύστημα από ένα που απλώς ανταποκρίνεται στις βασικές προσδοκίες σε ένα που παρέχει εξαιρετικές επιδόσεις, αξιοπιστία και ικανοποίηση των χρηστών.

1.4 Τεχνικοί Περιορισμοί

Από την άποψη της ανάπτυξης, ο προληπτικός εντοπισμός και η αντιμετώπιση των πιθανών τεχνικών περιορισμών είναι ουσιαστικής σημασίας για τη διασφάλιση της ομαλής εξέλιξης του

έργου. Δεδομένου ότι το σύστημα έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα αλληλεξαρτώμενων λειτουργιών, μια πρώιμη πρόκληση έγκειται στην εξισορρόπηση του λειτουργικού πλούτου του συστήματος με τη συνολική απόδοσή του. Η διατήρηση αυτής της ισορροπίας καθίσταται ιδιαίτερα κρίσιμη καθώς το σύστημα επεξεργάζεται συνεχείς ροές δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Τέτοιες λειτουργίες απαιτούν σημαντική υπολογιστική ισχύ και βασίζονται σε ιδιαίτερα βελτιστοποιημένους αλγορίθμους για τη διατήρηση γρήγορων χρόνων απόκρισης (Elliott & Lumley, 2020). Για την αντιμετώπιση αυτών των απαιτήσεων, οι προγραμματιστές ενδέχεται να χρειαστεί να εξορθολογήσουν ή να δώσουν προτεραιότητα σε συγκεκριμένες λειτουργίες, διασφαλίζοντας ότι οι ταχύτητες επεξεργασίας δεδομένων παραμένουν σταθερές. Η προσέγγιση αυτή ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο καθυστερήσεων και διατηρεί μια απρόσκοπτη εμπειρία χρήστη, ακόμη και υπό υψηλά φορτία συστήματος (Alam et al., 2021). Η στρατηγική διαχείριση αυτών των συμβιβασμών όχι μόνο ενισχύει την απόδοση αλλά υποστηρίζει επίσης την επεκτασιμότητα και την αξιοπιστία του συστήματος (Wessel et al., 2017).

Η ενσωμάτωση πολλαπλών APIs, ένα κρίσιμο στοιχείο της διαδικασίας ανάκτησης δεδομένων, εισάγει ένα μοναδικό σύνολο προκλήσεων που πρέπει να αντιμετωπιστούν προσεκτικά. Η ποικιλομορφία στις μορφές και τα πρότυπα των δεδομένων στις διάφορες πηγές μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα συμβατότητας, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη δημιουργία προηγμένων αναλυτών δεδομένων για την ενοποίηση και τον μετασχηματισμό των δεδομένων σε μια ενιαία μορφή κατάλληλη για την ενσωμάτωση βάσεων δεδομένων (Chondrodima et al., 2021). Επιπλέον, οι ίδιες οι διεπαφές API συχνά συνοδεύονται από εγγενείς περιορισμούς, όπως ανώτατα όρια ποσοστών ή περιορισμούς στη διαθεσιμότητα δεδομένων, οι οποίοι μπορούν να θέσουν περιορισμούς στη συχνότητα και τον όγκο της ανάκτησης δεδομένων. Η αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων απαιτεί σχολαστικό σχεδιασμό για τη διασφάλιση μιας συνεπούς και αξιόπιστης ροής δεδομένων. Αυτό περιλαμβάνει την επιλογή API που ευθυγραμμίζονται με τις απαιτήσεις του συστήματος, τον σχεδιασμό αλγορίθμων ανάκτησης δεδομένων υψηλής απόδοσης και την εφαρμογή στρατηγικών προσωρινής αποθήκευσης δεδομένων για τη μείωση της εξάρτησης από εξωτερικές πηγές. Αυτά τα μέτρα ενισχύουν συλλογικά την απόδοση του συστήματος και εξασφαλίζουν την απρόσκοπτη ενσωμάτωση διαφορετικών ροών δεδομένων, υποστηρίζοντας τη λειτουργικότητα και την επεκτασιμότητα του εργαλείου (Chondrodima et al., 2022).

Η διασφάλιση της ανθεκτικότητας και της αξιοπιστίας της υποδομής της βάσης δεδομένων είναι ουσιαστικής σημασίας, ιδίως λόγω του αναμενόμενου όγκου και της πολυπλοκότητας των δεδομένων που πρέπει να διαχειρίζεται το σύστημα. Η αντιμετώπιση πιθανών περιορισμών στην αποθήκευση, ανάκτηση και διαχείριση δεδομένων απαιτεί την υιοθέτηση προηγμένων τεχνολογιών βάσεων δεδομένων ικανών να χειρίζονται αποτελεσματικά μεγάλα σύνολα δεδομένων. Οι τεχνολογίες αυτές θα πρέπει να υποστηρίζουν λειτουργίες δεδομένων υψηλής ταχύτητας, διατηρώντας παράλληλα την αξιοπιστία υπό ποικίλα φορτία. Επιπλέον, η προσοχή στον σχεδιασμό και τη βελτιστοποίηση του σχήματος της βάσης δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας για να καταστεί δυνατή η ταχεία ανάκτηση δεδομένων και να διευκολυνθεί η απρόσκοπτη ανάλυση δεδομένων. Με τη δόμηση της βάσης δεδομένων ώστε να δίνεται προτεραιότητα τόσο στην αποδοτικότητα όσο και στην επεκτασιμότητα, το σύστημα μπορεί να ανταποκριθεί στις απαιτήσεις των πολύπλοκων λειτουργιών δεδομένων, εξασφαλίζοντας παράλληλα μακροπρόθεσμη προσαρμοστικότητα και απόδοση (Kormáksson et al., 2014).

Η ασφάλεια των δεδομένων και η προστασία της ιδιωτικής ζωής είναι ένας άλλος κρίσιμος τομέας στον οποίο ενδέχεται να υπάρξουν περιορισμοί. Το σύστημα πρέπει να συμμορφώνεται με τους ισχύοντες νόμους και κανονισμούς περί προστασίας δεδομένων, οι οποίοι ενδέχεται να επιβάλλουν περιορισμούς στις πρακτικές χειρισμού και αποθήκευσης των δεδομένων. Η διασφάλιση της τήρησης αυτών των ρυθμιστικών εντολών απαιτεί την

ενσωμάτωση αυστηρών μέτρων ασφαλείας και ενδεχομένως τη διενέργεια τακτικών ελέγχων ασφαλείας για τον εντοπισμό και τον μετριασμό των πιθανών τρωτών σημείων (Alam et al., 2021).

2. Σχετικές Εργασίες

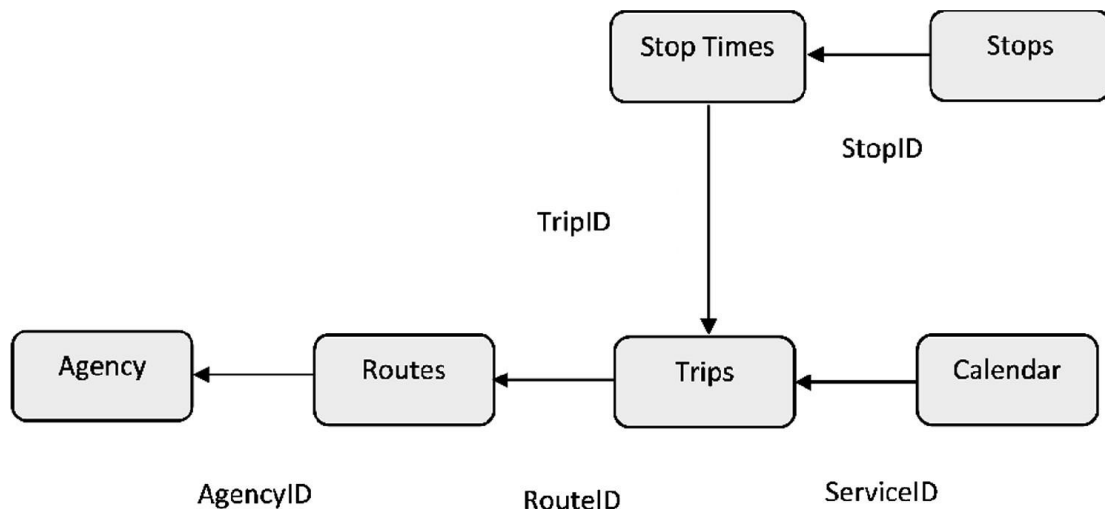
Στη μελέτη τους οι Velasquez Ortiz et al. (2020) ξεκίνησαν ένα φιλόδοξο έργο για τη χαρτογράφηση του συστήματος μεταφορών της πόλης Αγκουασκαλιέντες του Μεξικού, χρησιμοποιώντας δεδομένα GTFS. Η προσπάθεια αυτή βασίστηκε στο ευρύτερο πλαίσιο του μετασχηματισμού των δημόσιων μεταφορών σε ευφυείς μεταφορές, ευθυγραμμιζόμενη με το παράδειγμα των έξυπνων πόλεων. Το έργο τους δεν αποτελεί μόνο απόδειξη της αυξανόμενης ψηφιοποίησης και της καθοδηγούμενης από τα δεδομένα προσέγγισης στον αστικό σχεδιασμό, αλλά αναδεικνύει επίσης τις προκλήσεις και τις πιθανές λύσεις κατά την εφαρμογή τέτοιων τεχνολογιών σε μια ταχέως αναπτυσσόμενη πόλη.

Το Αγκουασκαλιέντες, όπως και πολλές αναπτυσσόμενες αστικές περιοχές, αντιμετώπισε σημαντικές προκλήσεις στις υπηρεσίες δημόσιων μεταφορών. Η έλλειψη ακριβών και επικαιροποιημένων πληροφοριών αποτελούσε σημαντικό εμπόδιο στην παροχή αποτελεσματικών υπηρεσιών. Το σύστημα μεταφορών της πόλης, παρά το γεγονός ότι ήταν εξοπλισμένο με τεχνολογία GPS, απέτυχε να την αξιοποιήσει αποτελεσματικά για τον εντοπισμό των λεωφορείων σε πραγματικό χρόνο. Αυτό το κενό στην παροχή υπηρεσιών οδήγησε σε αναξιόπιστα δρομολόγια λεωφορείων και παρατεταμένους χρόνους αναμονής για τους επιβάτες.

Οι ερευνητές αντιμετώπισαν αυτά τα ζητήματα προτείνοντας την εφαρμογή του μοντέλου GTFS. Το GTFS, που αναπτύχθηκε αρχικά στο Πόρτλαντ των ΗΠΑ σε συνεργασία με την Google, έφερε επανάσταση στη διαχείριση των δεδομένων των δημόσιων μεταφορών. Απλοποίησε τη δημιουργία εφαρμογών για την παρακολούθηση των δημόσιων συγκοινωνιών, όπως λεωφορεία και τρένα, καθιστώντας τις πληροφορίες πιο προσιτές και φιλικές προς το χρήστη. Η μορφή GTFS, η οποία περιλαμβάνει 13 πίνακες με βασικά χαρακτηριστικά, όπως το αναγνωριστικό της στάσης, το όνομα, το γεωγραφικό πλάτος και το γεωγραφικό μήκος, επιτρέπει την εύκολη αναγνώριση των στάσεων λεωφορείων σε χάρτες και διευκολύνει την ανάπτυξη εφαρμογών σχεδιασμού μεταφορών.

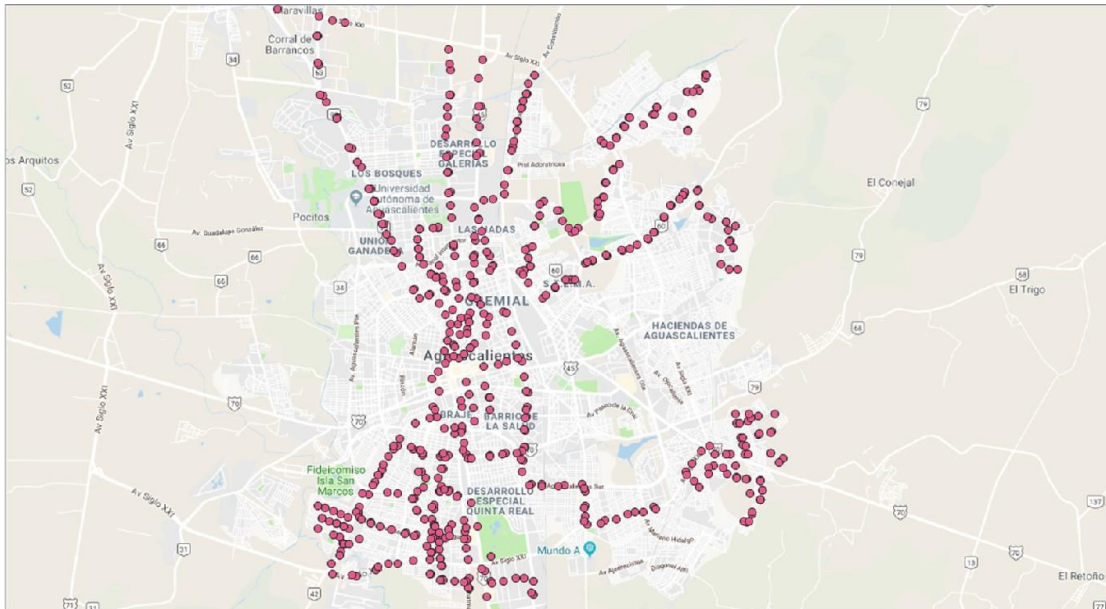
Ο πυρήνας της μεθοδολογίας των Velasquez Ortiz et al. (2020) περιελάμβανε την εφαρμογή του προτύπου GTFS, το οποίο είναι ζωτικής σημασίας για τη δημιουργία δρομολογίων και τον ακριβή εντοπισμό των λεωφορείων. Η προσέγγισή του σχεδιάστηκε για να δημιουργήσει μια ολοκληρωμένη τροφοδοσία δεδομένων, θέτοντας τα θεμέλια για την ανάπτυξη μελλοντικών εφαρμογών. Σημαντικό μέρος της μεθοδολογίας τους περιελάμβανε επίσης την ενσωμάτωση του GTFS-RT (Real-Time) για δυναμικές και σε πραγματικό χρόνο λειτουργίες.

Στην εργασία παρουσιάστηκε η βασική δομή του μοντέλου πίνακα GTFS (Σχήμα 1), δείχνοντας τον τρόπο με τον οποίο τα διάφορα αρχεία εντός του μοντέλου GTFS επικοινωνούν μεταξύ τους. Η επικοινωνία αυτή είναι κρίσιμη για την ορθή λειτουργία του ολόκληρου του συστήματος. Οι ερευνητές χρησιμοποίησαν επίσης το QGIS, ένα γεωγραφικό πληροφοριακό σύστημα, για την οπτικοποίηση των αρχείων GTFS χρησιμοποιώντας τους χάρτες της Google (Google Maps). Το βήμα αυτό ήταν ζωτικής σημασίας για τη διασφάλιση της ακρίβειας των δεδομένων πριν από την τελική εφαρμογή τους.



Σχήμα 1. Βασική δομή του μοντέλου πίνακα GTFS των Velasquez Ortiz et al. (2020).

Οι Velasquez Ortiz et al. (2020) παρουσίασαν τη χαρτογράφηση της πόλης χρησιμοποιώντας τη μορφή GTFS (Σχήμα 2). Αυτή η οπτική αναπαράσταση υπογράμμισε τις στάσεις που καταγράφηκαν στα αρχεία GTFS, ιδίως στο αρχείο stops.txt. Τα σημεία του χάρτη έδειχναν την ακριβή θέση των στάσεων, φανερώνοντας τον τρόπο με τον οποίο αυτές θα εμφανίζονταν μόλις η βάση δεδομένων GTFS μεταφορτωνόταν στους διακομιστές Google Maps. Αυτή η οπτικοποίηση ήταν ένα ουσιαστικό βήμα για την επικύρωση και τη διόρθωση των δεδομένων.



Σχήμα 2. Χαρτογράφηση πόλεων σε μορφή GTFS στη μελέτη των Velasquez Ortiz et al. (2020).

Μια βασική πτυχή του έργου τους ήταν η σύγκριση με παρόμοιες πρωτοβουλίες στην πόλη του Μεξικού, όπου ένα έργο με την ονομασία Maraton ανέλαβε να καταγράψει μαζικά τις στάσεις λεωφορείων. Παρόλο που το Maraton πέτυχε σημαντική συλλογή δεδομένων, αντιμετώπισε προκλήσεις στην ανάλυση και την επικύρωση των δεδομένων λόγω

ανακριβειών και πλεονασμών. Αντίθετα, το έργο Aguascalientes στόχευε σε μια πιο πρακτική εφαρμογή, με αποκορύφωμα την ανάπτυξη μιας εφαρμογής με βάση τα δεδομένα του GTFS.

Η μελέτη ολοκληρώθηκε με την προσδοκία της ενσωμάτωσης των βασικών αρχείων GTFS και της ανάπτυξης μιας εφαρμογής με βάση αυτά τα αρχεία. Αυτή η ανάπτυξη θα τοποθετούσε το Aguascalientes ως μια κορυφαία πόλη στο Μεξικό, χρησιμοποιώντας το GTFS για τον γεωγραφικό εντοπισμό των δημόσιων μεταφορών, μετατρέποντάς το έτσι σε μια έξυπνη πόλη. Η εργασία των Velasquez Ortiz et al. αποτελεί ένα πολλά υποσχόμενο βήμα προς την κατεύθυνση της ενσωμάτωσης προηγμένων ψηφιακών λύσεων στις αστικές μεταφορές, αναδεικνύοντας τις δυνατότητες του GTFS για την ενίσχυση των συστημάτων δημόσιων μεταφορών και τη συμβολή στο πλαίσιο της έξυπνης πόλης.

Οι Zahabi et al. (2017) διεξήγαγαν μια μελέτη για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τα δρομολόγια μεταφοράς, χρησιμοποιώντας δεδομένα GPS σε συνδυασμό με τα δεδομένα του GTFS. Η έρευνα αυτή επικεντρώθηκε στο αστικό περιβάλλον του Μόντρεαλ του Καναδά, το οποίο διαθέτει ένα ισχυρό σύστημα δημόσιων μεταφορών, συμπεριλαμβανομένων των λεωφορείων, του μετρό και των προαστιακών σιδηροδρομικών γραμμών. Στόχος της μελέτης ήταν η ανάπτυξη ενός αλγορίθμου που θα μπορούσε να εξάγει δρομολόγια διέλευσης, συνδυάζοντας δεδομένα GPS που συλλέγονται από smartphones με γεωγραφικά ακριβή δεδομένα GTFS για τις διαδρομές διέλευσης.

Η θεμελιώδης πρόκληση που αντιμετώπισαν οι Zahabi et al. (2017) ήταν η ασάφεια στον προσδιορισμό των δρομολογίων διέλευσης λόγω των επικαλυπτόμενων δρομολογίων του συστήματος διέλευσης. Αυτή η γενικότητα γίνεται ιδιαίτερα έντονη στα κέντρα των πόλεων όπου οι διαδρομές διέλευσης διασταυρώνονται πυκνά. Η μελέτη πρότεινε έναν αλγόριθμο για τη μείωση αυτής της ασάφειας και την ακριβή εξαγωγή συμπερασμάτων για τις διαδρομές διέλευσης από δεδομένα GPS.

Η μεθοδολογία περιελάμβανε τη συλλογή επικυρωμένων δεδομένων διαδρομών διέλευσης από εθελοντές με τη χρήση της εφαρμογής DataMobile. Οι εθελοντές ακολουθούσαν ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα διαδρομών διέλευσης, οι οποίες επιλέχθηκαν από την πιο πρόσφατη περιφερειακή έρευνα δρομολογίων νοικοκυριών. Η συλλογή δεδομένων ήταν σχολαστική, με τους εθελοντές να καταγράφουν τον τρόπο μετακίνησής τους, τους αριθμούς των γραμμών και τυχόν ανωμαλίες που συνάντησαν κατά τη διάρκεια των διαδρομών τους. Η προσέγγιση αυτή παρείχε ένα ολοκληρωμένο σύνολο δεδομένων για τη μελέτη.

Μία από τις βασικές πτυχές της μελέτης ήταν η εστίασή της στην έννοια της ασάφειας των δρομολογίων διέλευσης. Οι Zahabi et al. (2017) επινόησαν ένα σύνολο κανόνων και αλγορίθμων για την επεξεργασία των δεδομένων GPS και τη μείωση της ασάφειας που σχετίζεται με τις επικαλυπτόμενες διαδρομές διέλευσης. Ο αλγόριθμος εντόπιζε τις γραμμές λεωφορείων που βρίσκονταν κοντά σε κάθε σημείο GPS και καθόριζε ποια σημεία ανήκαν σε τμήματα του μετρό ή σε διαδρομές με τα πόδια. Αυτή η εξελιγμένη ανάλυση ήταν καθοριστικής σημασίας για την αποκρυπτογράφηση των ακριβών διαδρομών διέλευσης από τα σημεία GPS.

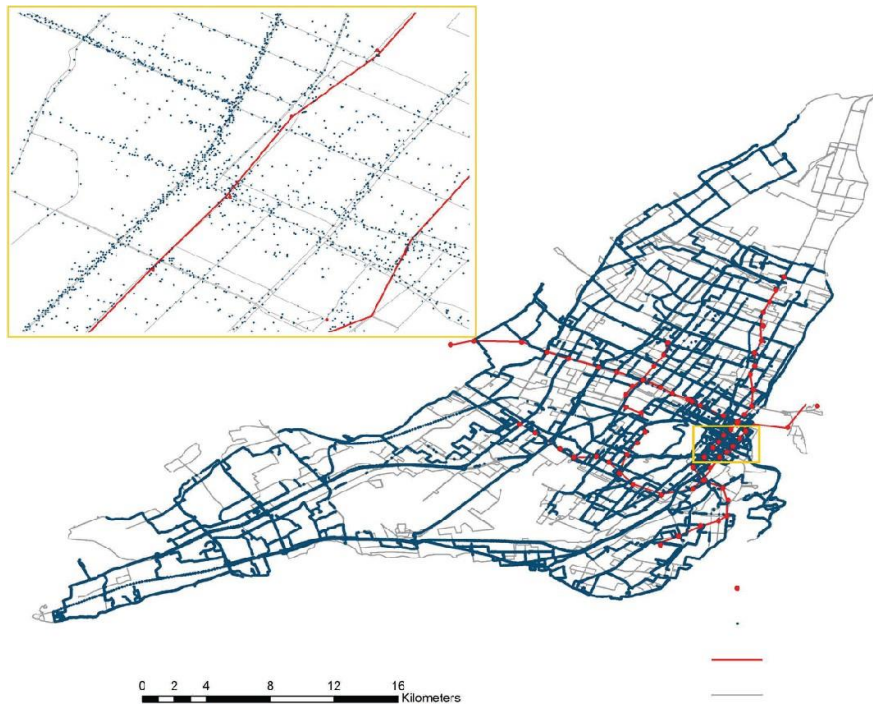
Ένα σημαντικό στοιχείο της μελέτης ήταν η επικύρωση του προτεινόμενου αλγορίθμου. Οι ερευνητές συνέκριναν τις προβλεπόμενες διαδρομές με τις πραγματικές διαδρομές που ανέφεραν οι εθελοντές. Η επιτυχία του αλγορίθμου ήταν εμφανής, καθώς προέβλεψε σωστά τη διαδρομή διέλευσης για ένα σημαντικό μέρος των διαδρομών. Αυτή η επικύρωση υπογράμμισε την αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου στην ακριβή εξαγωγή συμπερασμάτων για τα δρομολόγια διέλευσης σε αστικό περιβάλλον.

Οι Zahabi et al. (2017) ανέπτυξαν επίσης ένα μοντέλο παλινδρόμησης με βάση το δείγμα των καταγεγραμμένων δρομολογίων διέλευσης. Το μοντέλο αυτό αξιολόγησε την αποτελεσματικότητα του αλγορίθμου στον πληθυσμό των δρομολογίων διέλευσης στο νησί του Μόντρεαλ. Στο μοντέλο λήφθηκαν υπόψη παράγοντες όπως η ώρα της ημέρας, το μήκος του δρομολογίου-διαδρομής και η τοποθεσία εντός της πόλης. Τα ευρήματα έδειξαν ότι τα μακρύτερα δρομολόγια, τα δρομολόγια σε ώρες εκτός αιχμής και τα δρομολόγια εκτός του κέντρου της πόλης συνδέονταν με χαμηλότερη ασάφεια.

Στο Σχήμα 3 της μελέτης απεικονίζεται το εκτεταμένο δίκτυο συγκοινωνιών του Μόντρεαλ, που περιλαμβάνει γραμμές λεωφορείων, μετρό και προαστιακού τρένου. Αυτή η οπτική αναπαράσταση υπογράμμισε την πολυπλοκότητα και την πυκνότητα του συστήματος μεταφορών της πόλης, η οποία αποτέλεσε τη βάση για την ανάλυση της μελέτης. Στην εικόνα 4 παρουσιάστηκαν τα σημεία δρομολογίου GPS από τη συλλογή δεδομένων δρομολογίων διέλευσης μέσω smartphone μαζί με τις γραμμές διέλευσης, προσφέροντας μια σαφή απεικόνιση της γεωγραφικής κατανομής των δεδομένων και της πραγματικής εφαρμογής του αλγορίθμου.



Σχήμα 3. Δίκτυο μεταφοράς του Μόντρεαλ. Πηγή: Zahabi et al. (2017).



Σχήμα 4. Σημεία ταξιδιού GPS από τη συλλογή δεδομένων δρομολογίων διέλευσης μέσω smartphone και γραμμές διέλευσης. Πηγή: Zahabi et al. (2017).

Η έρευνα των Zahabi et al., (2017) συνέβαλε σημαντικά στον τομέα του σχεδιασμού της μεταφοράς και της εφαρμογής δεδομένων GPS. Με την επιτυχή ανάπτυξη και επικύρωση ενός αλγορίθμου για την εξαγωγή συμπερασμάτων για τα δρομολόγια μεταφοράς, η μελέτη άνοιξε νέους δρόμους για τη χρήση του GPS και των ταξιδιωτικών ερευνών μέσω smartphone στο σχεδιασμό των μεταφορών. Οι επιπτώσεις αυτής της έρευνας είναι εκτεταμένες, βοηθώντας δυναμικά τις αρχές σχεδιασμού μεταφορών και τους οργανισμούς μεταφορών στη συλλογή λεπτομερών πληροφοριών σχετικά με τη χρήση και τη ζήτηση των μεταφορών. Η μελέτη αποτελεί απόδειξη της καινοτόμου εφαρμογής της τεχνολογίας στον αστικό σχεδιασμό και των δυνατοτήτων των προσεγγίσεων με βάση τα δεδομένα για την ενίσχυση των συστημάτων δημόσιων μεταφορών.

Ο Abusalim (2020) διεξήγαγε μια ολοκληρωμένη ανάλυση της ακρίβειας και της αποτελεσματικότητας των ροών πραγματικού χρόνου του GTFS για τον προγραμματισμό δρομολογίων σε δίκτυα δημόσιας συγκοινωνίας. Η μελέτη αξιολόγησε σχολαστικά την ενσωμάτωση διαφόρων πηγών δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των στατικών ροών GTFS και των ροών GTFS Realtime, μαζί με τα δεδομένα δρόμων του OpenStreetMap (OSM), στο πλαίσιο του Open Trip Planner (OTP). Η ενσωμάτωση αυτή διευκόλυνε τον πολυτροπικό σχεδιασμό δρομολογίων σε δίκτυα μεταφοράς, επιτρέποντας την εξέταση τόσο των στατικών πληροφοριών για τα δρομολόγια όσο και των δυναμικών καθυστερήσεων στις μεταφορές.

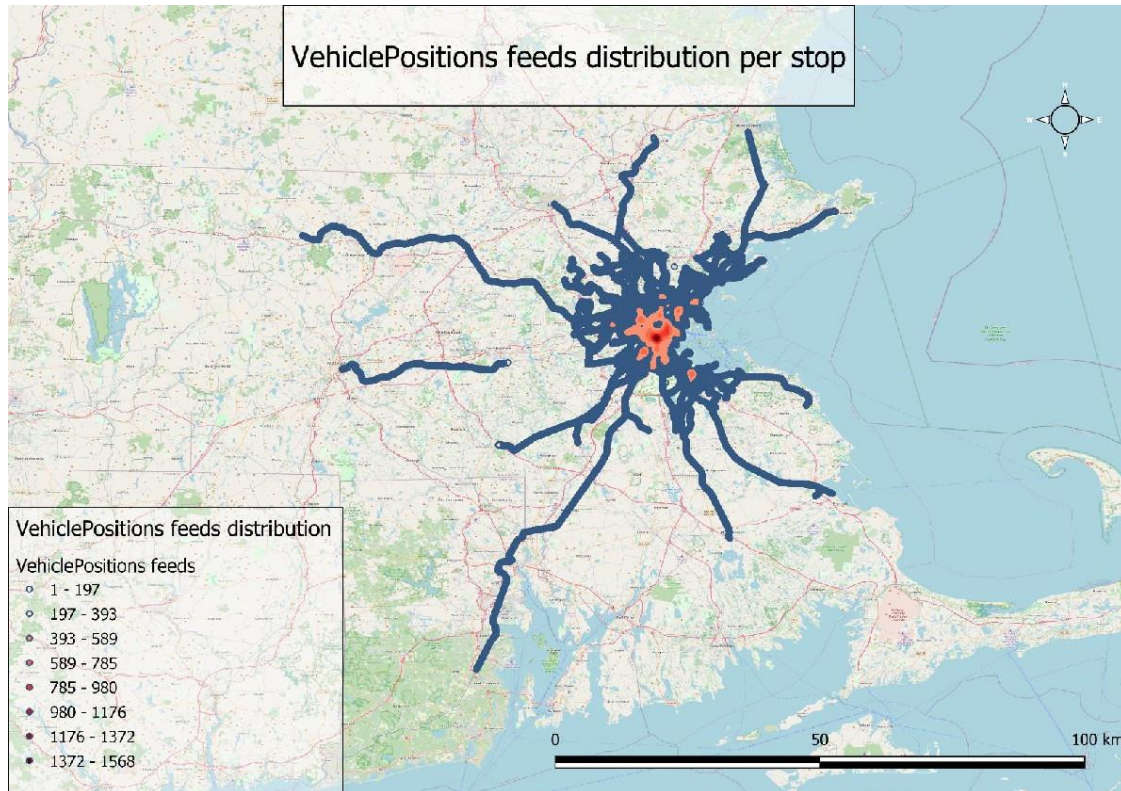
Η έρευνα του Abusalim (2020) επικεντρώθηκε κυρίως σε δύο περιοχές μελέτης: τη μητροπολιτική περιοχή της Βοστώνης, που εξυπηρετείται από την Αρχή Μεταφορών του Κόλπου της Μασαχουσέτης (MBTA), και την κομητεία Broward της Φλόριντα, που καλύπτεται από τη Broward County Transit (BCT). Η επιλογή της MBTA οφειλόταν στη μεγαλύτερη περιοχή κάλυψής της και στους ποικίλους τρόπους μεταφοράς, όπως τραμ, μετρό, λεωφορεία, τρένα και πλοία. Μια από τις κρίσιμες πτυχές της έρευνας ήταν η δημιουργία του OTP, μιας

εφαρμογής βασισμένης σε Java, για την ανάλυση και την οπτικοποίηση της ποιότητας και της πληρότητας των πληροφοριών GTFS σε πραγματικό χρόνο για διαφορετικούς τύπους οχημάτων. Αυτή η είναι κρίσιμη για την αξιολόγηση της ακρίβειας των καθυστερήσεων που παρέχονται από τις ροές GTFS, ένα χαρακτηριστικό που είναι ζωτικής σημασίας για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό των μεταφορών.

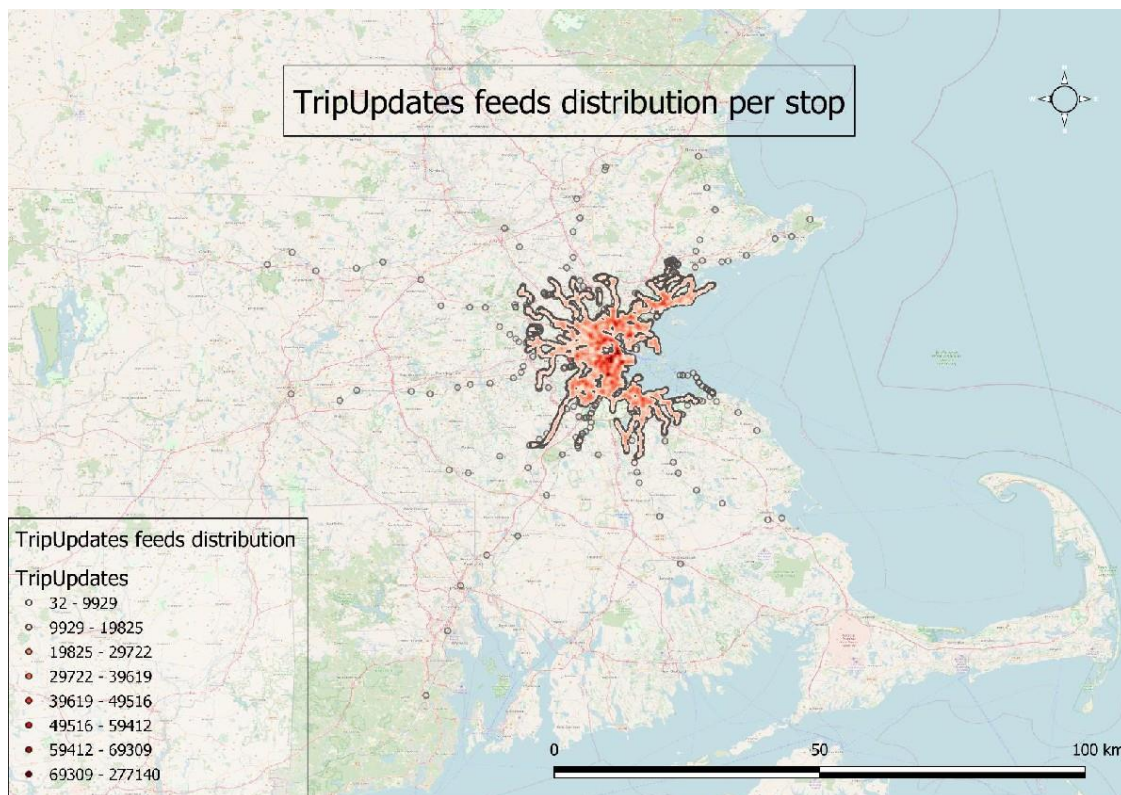
Η εργασία Abusalim, M. (2020) διεξήγαγε μια αξιολόγηση του αντίκτυπου των δεδομένων μεταφοράς σε πραγματικό χρόνο στους χρήστες ενός συστήματος προγραμματισμού δρομολογίων χρησιμοποιώντας το λογισμικό OTP. Η ανάλυση αυτή επικεντρώθηκε στην αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο η ενσωμάτωση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο ενίσχυσε τη χρηστικότητα, την ακρίβεια και την αποτελεσματικότητα του συστήματος όσον αφορά την παροχή αξιόπιστων πληροφοριών για τη μεταφορά. Τα ευρήματα υπογράμμισαν τη δυνατότητα του λογισμικού OTP να βελτιώσει την εμπειρία των χρηστών παρέχοντας έγκαιρες και ακριβείς λύσεις σχεδιασμού δρομολογίων, υπογραμμίζοντας τη σημασία των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στα σύγχρονα συστήματα μεταφοράς. Η μελέτη περιελάμβανε την αποκωδικοποίηση και την αποθήκευση των συλλεχθέντων ροών σε μια κεντρική χωρική βάση δεδομένων, αντιπαραβάλλοντάς τες με την αρχική ροή GTFS. Η προσέγγιση αυτή επέτρεψε μια τροποποιημένη ροή GTFS, η οποία ενσωμάτωσε τις καταγεγραμμένες θέσεις σε πραγματικό χρόνο, προσφέροντας έτσι μια ακριβέστερη απεικόνιση των καθυστερήσεων διέλευσης.

Η έρευνα διερεύνησε διάφορα σενάρια για τον προγραμματισμό δρομολογίων, καταδεικνύοντας την εξέλιξη των μεθόδων προγραμματισμού δρομολογίων με την πάροδο του χρόνου. Τα σενάρια αυτά κυμαίνονταν από παραδοσιακές προσεγγίσεις, όπως η στήριξη σε έντυπα δρομολόγια που δεν λάμβαναν υπόψη τις ενημερώσεις σε πραγματικό χρόνο, έως πιο προηγμένες μεθόδους που χρησιμοποιούν smartphones για τον υπολογισμό και τη βελτιστοποίηση των διαδρομών σε πραγματικό χρόνο. Συγκρίνοντας αυτές τις προσεγγίσεις, η μελέτη ανέδειξε τον μετασχηματιστικό αντίκτυπο των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και της τεχνολογίας κινητών τηλεφώνων στη βελτίωση της ακρίβειας, της αποτελεσματικότητας και της ευκολίας του προγραμματισμού δρομολογίων για τους επιβάτες. Τα σενάρια αυτά έδωσαν ένα παράδειγμα των πρακτικών επιπτώσεων της ενσωμάτωσης των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο στον προγραμματισμό δρομολογίων και ανέδειξαν τις διαφορές στους χρόνους δρομολογίου για διαφορετικούς τύπους επιβατών.

Είναι σημαντικό ότι η μελέτη εστίασε στην ανάλυση των δεδομένων καθυστέρησης. Ο Abusalim (2020) συνέκρινε δεδομένα καθυστερήσεων με και χωρίς ακραίες τιμές, καταδεικνύοντας πώς η κατανομή των δεδομένων αλλάζει σημαντικά κατά την απουσία τους. Τα σχήματα 5 και 6 της μελέτης απεικόνιζαν τη συγκέντρωση των ενημερώσεων για τις μεταφορές στην περιοχή της Βοστώνης, υποδεικνύοντας τις περιοχές που επηρεάζονται περισσότερο από τις ενημερώσεις σε πραγματικό χρόνο.



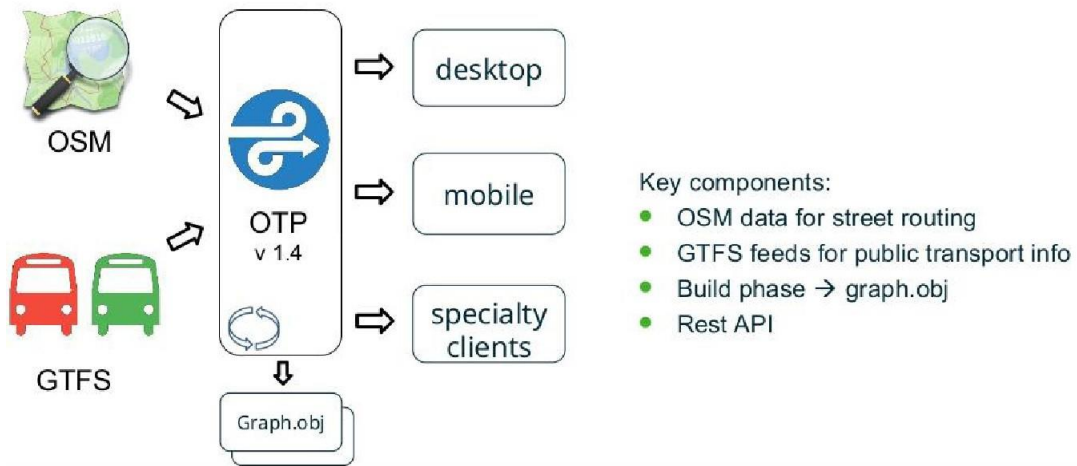
Σχήμα 5. Κατανομή τροφοδοσιών VehiclePositions ανά στάση. Πηγή: (Abusalim, 2020)



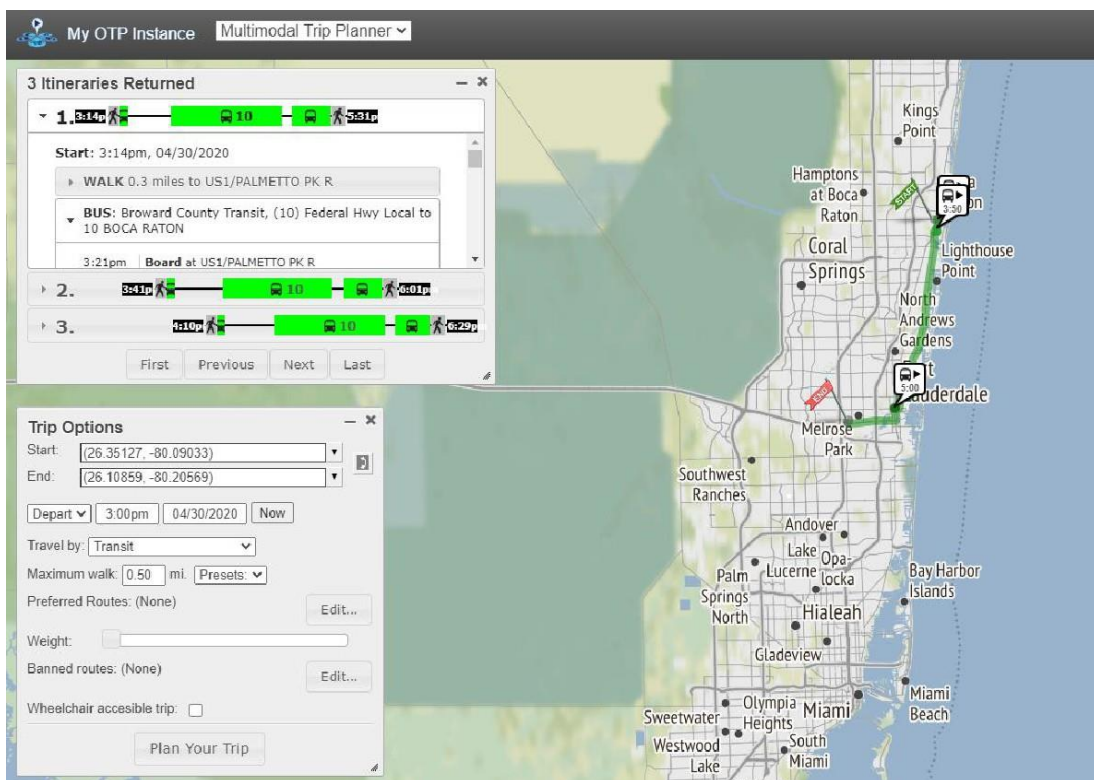
Σχήμα 6. Κατανομή των τροφοδοσιών TripUpdates ανά στάση Πηγή: (Abusalim, 2020)

Το σχήμα 7 απεικονίζει το μοντέλο ροής δεδομένων OTP της μελέτης του (Abusalim, 2020), ενώ στα σχήματα 12 και 13 φαίνεται η εκτέλεση της περίπτωσης στο Broward.

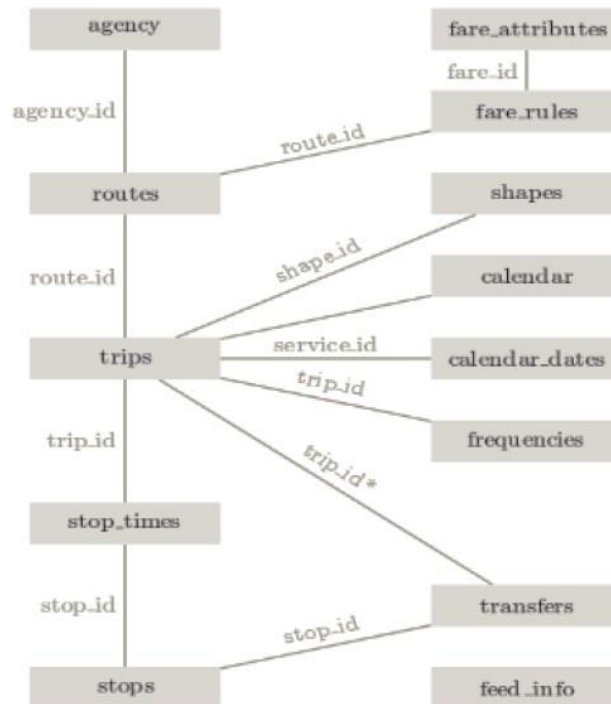
Architecture



Σχήμα 1. Μοντέλο ροής δεδομένων OTP στη μελέτη του Abusalim, (2020)



Σχήμα 8. Instance OTP που εκτελείται στο Broward 2020 στη μελέτη του Abusalim, (2020).



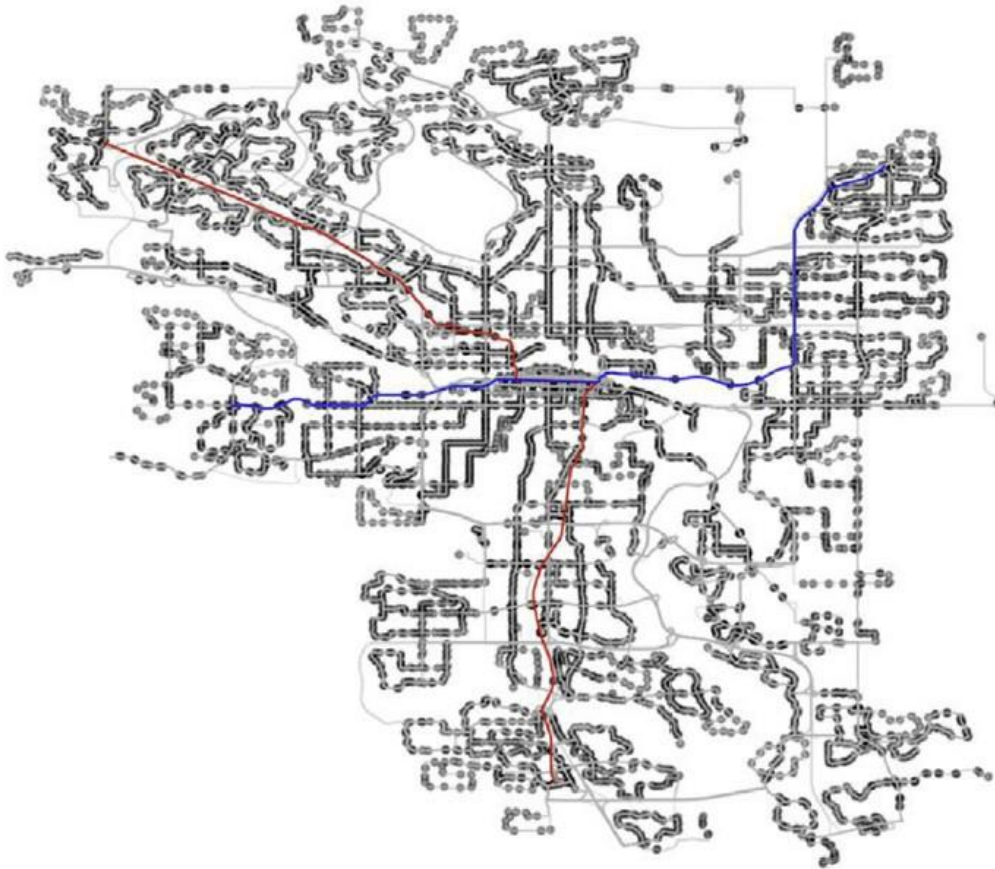
Σχήμα 9. Σχέσεις γενικών προδιαγραφών τροφοδοσίας μεταφοράς (GTFS) στη μελέτη του Abusalim, (2020).

Η έρευνα της Abusalim (2020) παρείχε μια διεξοδική αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας των ροών GTFS σε πραγματικό χρόνο για την ενίσχυση του σχεδιασμού δρομολογίων στα δίκτυα δημόσιων μεταφορών. Η σχολαστική προσέγγιση της μελέτης για την ενσωμάτωση και την ανάλυση διαφορετικών πηγών δεδομένων στο πλαίσιο OTP προσέφερε πολύτιμες γνώσεις σχετικά με τις δυνατότητες που προσφέρουν τα δεδομένα πραγματικού χρόνου για τον μετασχηματισμό των συστημάτων δημόσιων μεταφορών. Τα ευρήματα υπογράμμισαν τον κρίσιμο ρόλο των ακριβών και ολοκληρωμένων δεδομένων μεταφοράς για τη διευκόλυνση του αποτελεσματικού σχεδιασμού δρομολογίων. Υπογράμμισαν επίσης τη συνεχή εξέλιξη των συστημάτων πληροφόρησης για τις μεταφορές σε πραγματικό χρόνο, αναδεικνύοντας την αυξανόμενη πολυπλοκότητά τους και τις δυνατότητές τους να βελτιώσουν την εμπειρία των χρηστών. Καταδεικνύοντας τη σημασία της ενσωμάτωσης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, η μελέτη κατέδειξε πώς τα σύγχρονα συστήματα μεταφορών μπορούν να βελτιώσουν τη λειτουργική αποτελεσματικότητα και να ανταποκριθούν στις δυναμικές ανάγκες των επιβατών σε έναν ολοένα και πιο συνδεδεμένο κόσμο.

Οι Prommaharaj et al., (2020) διεξήγαγαν μια μελέτη που επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη ενός εργαλείου οπτικοποίησης δεδομένων, του PubtraVis, χρησιμοποιώντας δεδομένα GTFS. Το εργαλείο αυτό σχεδιάστηκε για να εμφανίζει τα χωρικά και χρονικά πρότυπα των υπηρεσιών δημόσιας μεταφοράς, επιτρέποντας έτσι ποιοτικά συμπεράσματα και αναλύσεις. Η μελέτη χρησιμοποίησε δεδομένα από την Calgary Transit ως μελέτη περίπτωσης για να επιδείξει τις δυνατότητες του PubtraVis στην οπτικοποίηση διαφόρων πτυχών της λειτουργίας των δημόσιων μεταφορών.

Η έρευνα ξεκίνησε με μια σε βάθος εξέταση του συστήματος μεταφοράς του Κάλγκαρι, το οποίο λειτουργεί από την Calgary Transit και παρέχει υπηρεσίες λεωφορείων και ελαφρών σιδηροδρομικών μεταφορών (LRT). Η ομάδα ανέλυσε τα δεδομένα GTFS από τον Απρίλιο έως τον Ιούνιο του 2016, εστιάζοντας στο στατικό στοιχείο, το οποίο περιλαμβάνει δρομολόγια και γεωγραφικές πληροφορίες. Η πολυπλοκότητα των δεδομένων GTFS απεικονίζεται

εύστοχα στο Σχήμα 10, παρουσιάζοντας την περίπλοκη σχέση μεταξύ διαφόρων αρχείων, όπως τα δρομολόγια, οι διαδρομές, οι χρόνοι απόστασης και οι στάσεις.



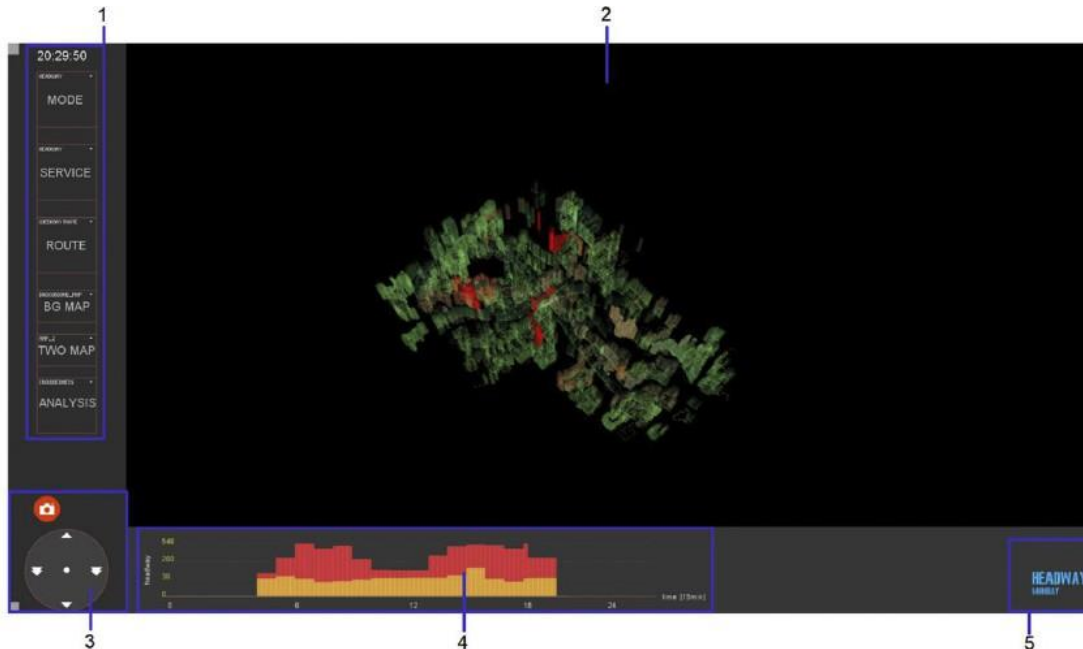
Σχήμα 10. Χάρτης του συστήματος Calgary Transit στη μελέτη των Prommaharaj et al., (2020).

Η προ επεξεργασία των δεδομένων αποτέλεσε μια κρίσιμη φάση στη διαδικασία ανάπτυξης, η οποία περιλαμβάνει δραστηριότητες όπως ο καθαρισμός, η αναδιοργάνωση, η εξαγωγή και το φιλτράρισμα, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 11. Τα ακατέργαστα δεδομένα που παρείχε η Calgary Transit, τα οποία ανέρχονταν σε 755 MB, υποβλήθηκαν σε μια ολοκληρωμένη διαδικασία διόρθωσης για την αντιμετώπιση σφαλμάτων και ασυνεπειών. Ακολούθησε συγχώνευση και αναδιάρθρωση για την παραγωγή ενός Αρχικού Αρχείου Δομής (Initial Structure File - ISF), μιας βελτιωμένης μορφής που έχει σχεδιαστεί για να διευκολύνει την αποτελεσματική πρόσβαση και ενσωμάτωση με το σύστημα απεικόνισης. Αυτή η σχολαστική προσέγγιση εξασφάλισε ότι τα δεδομένα ήταν τόσο ακριβή όσο και βέλτιστα δομημένα για τις επακόλουθες εργασίες ανάλυσης και οπτικοποίησης.



Σχήμα 11. Διαδικασία προ επεξεργασίας δεδομένων GTFS στη μελέτη των Prommaharaj et al., (2020), από τα ακατέργαστα δεδομένα έως την οπτικοποίηση.

Το PubtraVis αποτελείται από έξι ενότητες οπτικοποίησης: κινητικότητα, ταχύτητα, ροή, πυκνότητα, διαδρομή και ανάλυση, καθεμία από τις οποίες προσφέρει μοναδικές γνώσεις για τις λειτουργίες των δημόσιων μεταφορών. Για παράδειγμα, η ενότητα κινητικότητας οπτικοποιεί την κίνηση των οχημάτων στο δίκτυο μεταφοράς, όπως φαίνεται στο σχήμα 12, ενώ η ενότητα ταχύτητας, που εμφανίζεται στο σχήμα 13, αναπαριστά τα επίπεδα ταχύτητας των οχημάτων μεταφοράς χρησιμοποιώντας διαφορετικές αποχρώσεις του μπλε.



Σχήμα 12. Στιγμιότυπο της διεπαφής PubtraVis στη μελέτη των Prommaharaj et al., (2020).

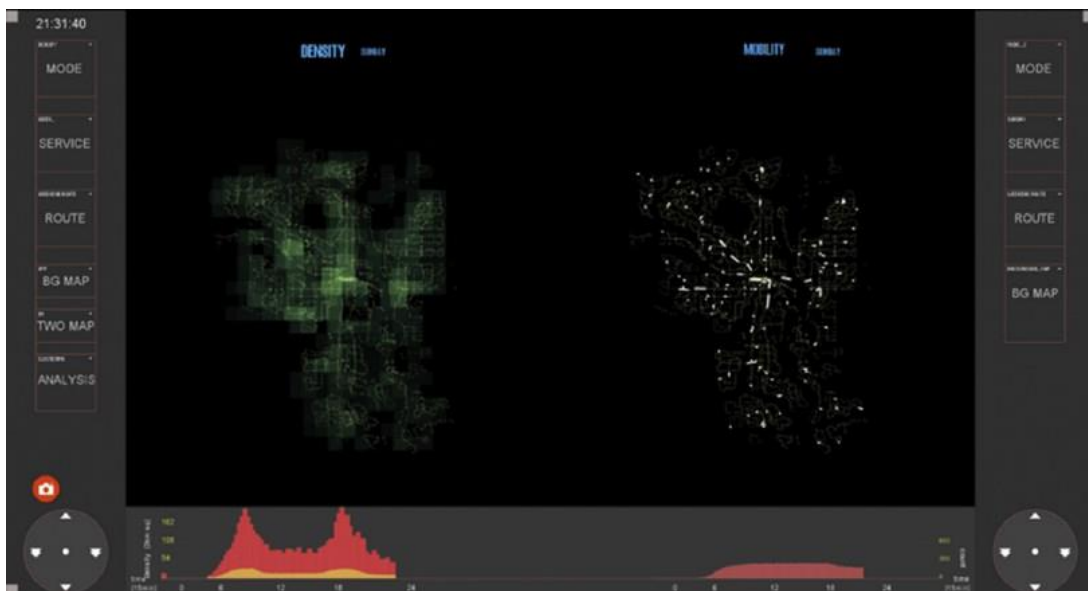


Σχήμα 13. Παράδειγμα χρήσης χάρτη φόντου στη μελέτη των Prommaharaj et al., (2020).

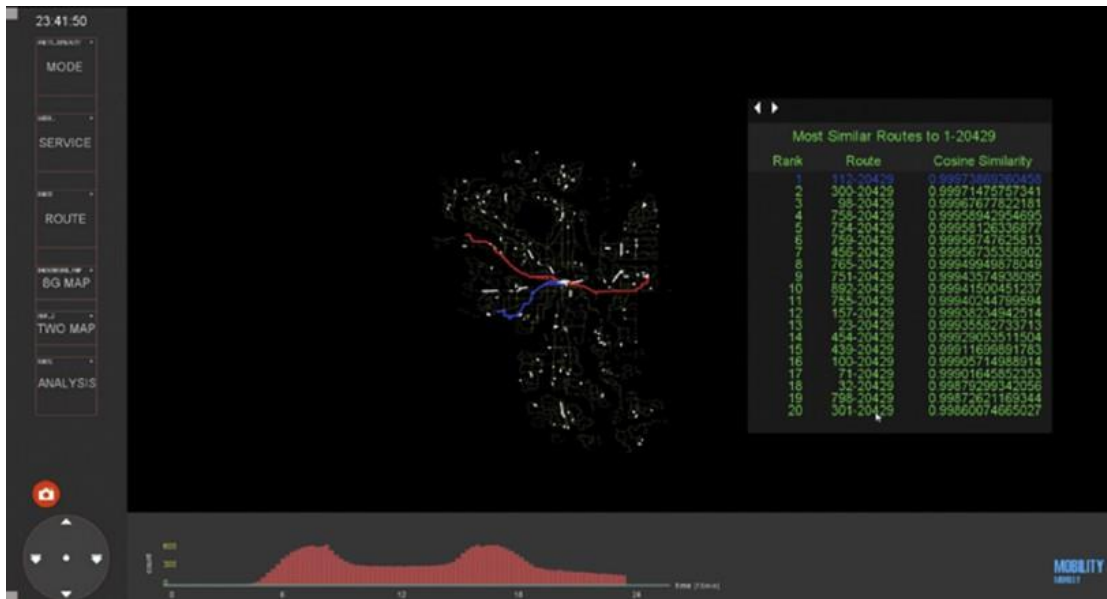
Η ενότητα ροής, που απεικονίζεται στο σχήμα 11, παρουσιάζει την κατευθυνόμενη ροή της μεταφοράς σε διάφορους σταθμούς, χρησιμοποιώντας χρωματικές γραμμές για την αναπαράσταση διαφορετικών κατευθύνσεων. Η ενότητα πυκνότητας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 13, χρησιμοποιεί μια τρισδιάστατη αναπαράσταση κουτιού για να απεικονίσει την κατανομή της πυκνότητας των οχημάτων στο σύστημα. Αυτή η ενότητα παρέχει μια ολοκληρωμένη επισκόπηση των προτύπων πυκνότητας, προσφέροντας πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με τη χωρική και χρονική κατανομή των οχημάτων.

Η διαδραστική διεπαφή του PubtraVis, επιτρέπει στους χρήστες να επιλέγουν διαφορετικές ενότητες και χαρακτηριστικά απεικόνισης, ενισχύοντας τη χρησιμότητα του εργαλείου για την ανάλυση των λειτουργιών μεταφοράς. Οι χρήστες μπορούν να προβάλλουν συγκεκριμένες υπηρεσίες και διαδρομές, να συγκρίνουν παράλληλα δύο ενότητες και να προσαρμόζουν την προβολή της κάμερας για μια ολοκληρωμένη ανάλυση.

Οι δυνατότητες ανάλυσης του εργαλείου διερευνώνται περαιτέρω μέσω υπομονάδων, όπως λίστες κορυφής, μέτρα ομοιότητας και ομαδοποίηση, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για την αξιολόγηση και τον σχεδιασμό συστημάτων μεταφοράς. Τα σχήματα 14 και 15 απεικονίζουν αυτές τις λειτουργίες, παρουσιάζοντας λίστες με σταθμούς με πολύ κόσμο και ομοιότητες διαδρομών με βάση λειτουργικά χαρακτηριστικά.



Σχήμα 14. Παράδειγμα χρήσης της επιλογής TWO MAP, συγκρίνοντας μεταξύ των μονάδων πυκνότητας και κινητικότητας. (Πηγή: Prommatharaj et al., 2020).



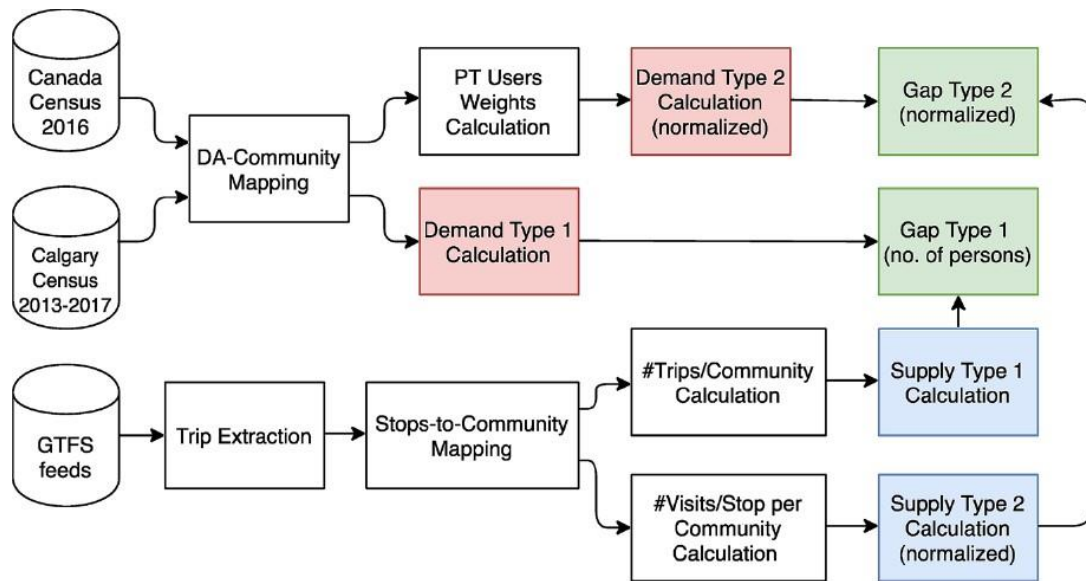
Σχήμα 15. Στιγμιότυπο της υποενότητας ομοιότητας στην ενότητα ανάλυσης. Αυτό το δείγμα δείχνει τις πιο όμοιες διαδρομές με τη διαδρομή #1-20429 (επισημαίνεται με κόκκινο χρώμα) ταξινομημένες με βάση τις τιμές ομοιότητας συνημίτονου. (Πηγή: Prommaharaj et al., 2020).

Η μελέτη των Prommaharaj et al. (2020) εισάγει το PubtraVis ως ένα νέο διαδραστικό εργαλείο που αξιοποιεί τα δεδομένα GTFS για την οπτικοποίηση και ανάλυση των λειτουργιών των δημόσιων μεταφορών από πολλαπλές οπτικές γωνίες. Η ανάπτυξη του εργαλείου και η επακόλουθη μελέτη της εμπειρίας των χρηστών αναδεικνύουν τις δυνατότητές του ως ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τον σχεδιασμό και τη λειτουργία των δημόσιων συγκοινωνιών, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη και φιλική προς τον χρήστη πλατφόρμα για την ανάλυση των δεδομένων των συγκοινωνιών.

Οι Kaewruean et al. (2020) διεξήγαγαν μια καινοτόμο μελέτη για τη γεφύρωση του χάσματος ζήτησης και προσφοράς στα συστήματα δημόσιων μεταφορών. Η μελέτη αυτή είναι σημαντική για τους πολεοδόμους και τη διαχείριση των δημόσιων μεταφορών, καθώς αποσκοπεί στην αποτελεσματική διαχείριση των υπηρεσιών μεταφοράς με τον εντοπισμό περιοχών με υψηλή ζήτηση ή αναποτελεσματική εξέλιξη της μεταφοράς. Η μελέτη εισάγει δύο καινοτόμες προσεγγίσεις για τη μέτρηση αυτών των κενών, οι οποίες αναφέρονται ως Gap Type 1 και 2.

Ο Gap Type 1 μετρά τη διαφορά μεταξύ της χωρητικότητας των δημόσιων συγκοινωνιών και του αριθμού των επιβατών ανά περιοχή, προσφέροντας μια πιο ρεαλιστική εκτίμηση. Ωστόσο, απαιτεί λεπτομερή στοιχεία επιβατών, τα οποία δεν είναι πάντα διαθέσιμα. Από την άλλη πλευρά, το Gap Type 2 χρησιμεύει ως πρακτική εναλλακτική λύση όταν λείπουν τα λεπτομερή δεδομένα επιβατών. Χρησιμοποιεί ένα σύστημα στάθμισης για την εκτίμηση των τιμών ζήτησης και εφαρμόζει μια πρόσφατα προτεινόμενη μέθοδο κανονικοποίησης, γνωστή ως M-score, για διαχρονική ανάλυση του χάσματος. Η προσέγγιση αυτή διευκολύνει τον εντοπισμό και την ανάλυση των ετήσιων προτύπων και τάσεων στα κενά υπηρεσιών.

Η μελέτη χρησιμοποίησε ως μελέτη περίπτωσης το σύστημα μεταφοράς του Κάλγκαρι στον Καναδά, αξιοποιώντας τρία βασικά σύνολα δεδομένων: το Canada Census (2016), το Calgary Census (2013-2017) και τις στατικές ροές GTFS. Το Σχήμα 1 στην εργασία απεικονίζει το διάγραμμα ροής για τη μέτρηση των κενών, δίνοντας έμφαση στην ενσωμάτωση αυτών των συνόλων δεδομένων.



Σχήμα 16. Διάγραμμα ροής μέτρησης του Gap Type. Πηγή: (Kaeouean et al., 2020).

Για τη μέτρηση του Gap Type 1 χρησιμοποιήθηκαν λεπτομερή δεδομένα επιβατών από την απογραφή του Καναδά. Τα δεδομένα αυτά παρείχαν τον αριθμό των επιβατών των δημόσιων συγκοινωνιών ανά περιοχή, επιτρέποντας τον υπολογισμό τόσο της ζήτησης όσο και της προσφοράς. Ο τύπος προσφοράς 1 προέκυψε από τη χωρητικότητα των οχημάτων δημόσιας συγκοινωνίας, με βάση τα δεδομένα από τις ροές GTFS. Αντίθετα, ο τύπος ελλείμματος 2 χρησιμοποίησε μια διαφορετική προσέγγιση, όπου δεδομένα επιβατών από μια διαφορετική χρονική περίοδο προβάλλονταν στην υπό μελέτη περίοδο. Η προσέγγιση αυτή ήταν ζωτικής σημασίας για τα έτη κατά τα οποία δεν υπήρχαν λεπτομερή στοιχεία επιβατών.

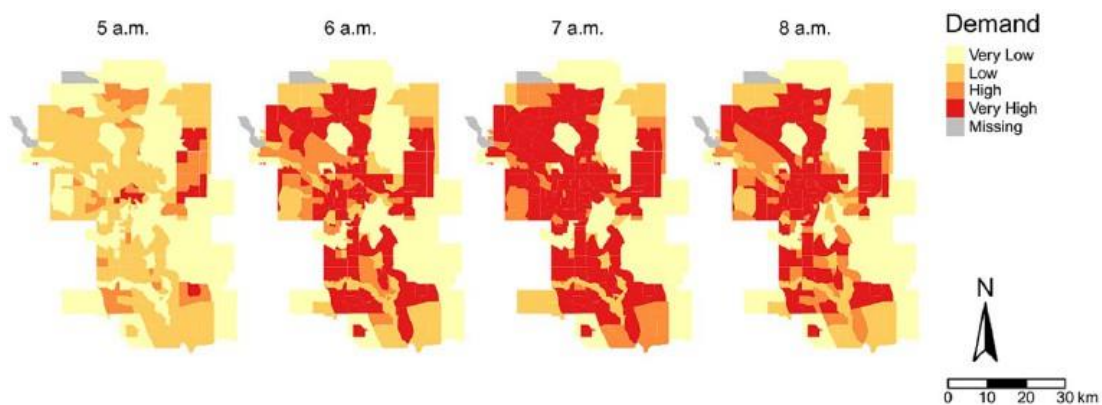
Η μεθοδολογία της μελέτης ήταν εμπειριστατωμένη και λεπτομερής. Περιελάμβανε την αντιστοίχιση των δεδομένων μεταξύ των απογραφών του Καναδά και του Κάλγκαρι και την επεξεργασία των στατικών ροών GTFS, οι οποίες περιείχαν εκτεταμένα μεταδεδομένα για το σύστημα μεταφορών του Κάλγκαρι. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση της χωρητικότητας των υπηρεσιών μεταφοράς και την κατανόηση των προτύπων χρήσης των δημόσιων μεταφορών στο Κάλγκαρι.

Ένα από τα βασικά ευρήματα της μελέτης ήταν ο εντοπισμός των υπο-εξυπηρετούμενων και υπερ-εξυπηρετούμενων περιοχών στο σύστημα δημόσιων μεταφορών του Κάλγκαρι. Το Gap Type 1 αποκάλυψε τα πρότυπα της ζήτησης και της προσφοράς μέσω μεταφοράς σε διαφορετικές ώρες του πρωινού, όπως φαίνεται στα Σχήματα 17 και 18. Στα σχήματα αυτά απεικονίστηκαν τα επίπεδα ζήτησης και προσφοράς ανά κοινότητα σε ωριαία διαστήματα κατά τις πρωινές ώρες αιχμής. Η ανάλυση έδειξε ότι η ζήτηση γενικά κορυφώθηκε κατά την ώρα 7 π.μ. και ήταν σταθερά υψηλή κατά μήκος των γραμμών LRT, ενώ το επίπεδο προσφοράς αντανάκλασε την ποσότητα των παρεχόμενων υπηρεσιών δημόσιας συγκοινωνίας στις διάφορες κοινότητες.

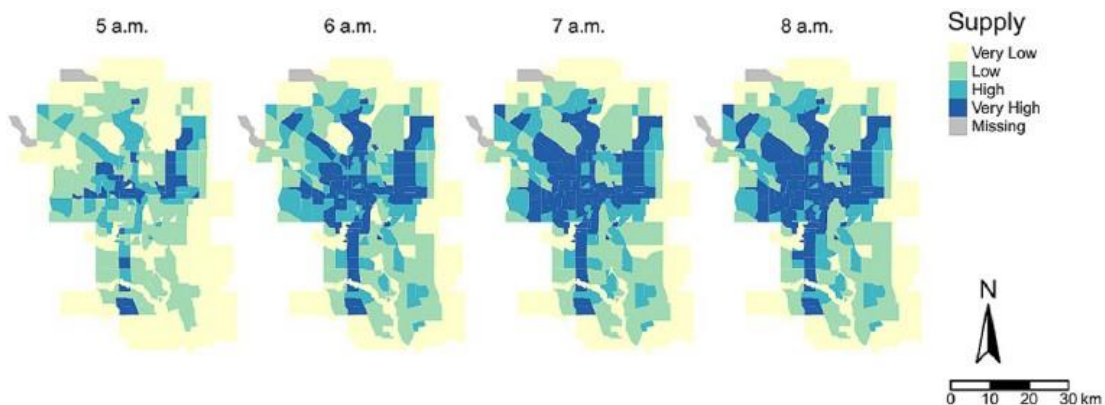
Το Gap Type 2, που αναλύθηκε για πέντε συνεχόμενα έτη από το 2013 έως το 2017, παρείχε πληροφορίες σχετικά με τις κανονικοποιημένες ωριαίες τιμές ζήτησης και προσφοράς σε διάφορες κοινότητες. Η μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι και οι δύο τύποι κενών Gap Type 1 και 2 είναι απαραίτητοι για τον αποτελεσματικό σχεδιασμό του συστήματος δημόσιων μεταφορών και τη βελτίωση των υπηρεσιών. Αυτές οι μετρήσεις των κενών προσφέρουν μια νέα προοπτική για τα ωριαία κενά και συμβάλλουν σημαντικά στο σχεδιασμό του συστήματος

δημόσιων μεταφορών. Τα ευρήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και τους οργανισμούς μεταφορών για να διατυπώσουν συστάσεις βάσει δεδομένων για καλύτερο σχεδιασμό των υπηρεσιών μεταφορών και για την κατανόηση των αναδυόμενων προτύπων χρήσης γης. Επιπλέον, η μελέτη αναγνώρισε αρκετούς περιορισμούς, όπως ότι η ανάλυση περιορίστηκε σε καθημερινές και πρωινές ώρες, και πρότεινε τομείς για μελλοντική έρευνα.

Συνοψίζοντας, η μελέτη των Kaeruean et al., (2020) παρέχει ένα ολοκληρωμένο πλαίσιο για τον προσδιορισμό των κενών ζήτησης-προσφοράς στις δημόσιες μεταφορές, εισάγοντας νέες μεθοδολογίες και γνώσεις που είναι ζωτικής σημασίας για τον αστικό σχεδιασμό και τη διαχείριση των δημόσιων μεταφορών.



Σχήμα 17. Επίπεδα ζήτησης δημόσιας συγκοινωνίας (τύπος 1) ανά κοινότητα σε ωριαία διαστήματα από τις 5 έως τις 8 π.μ.. Πηγή: Kaeruean et al., (2020)



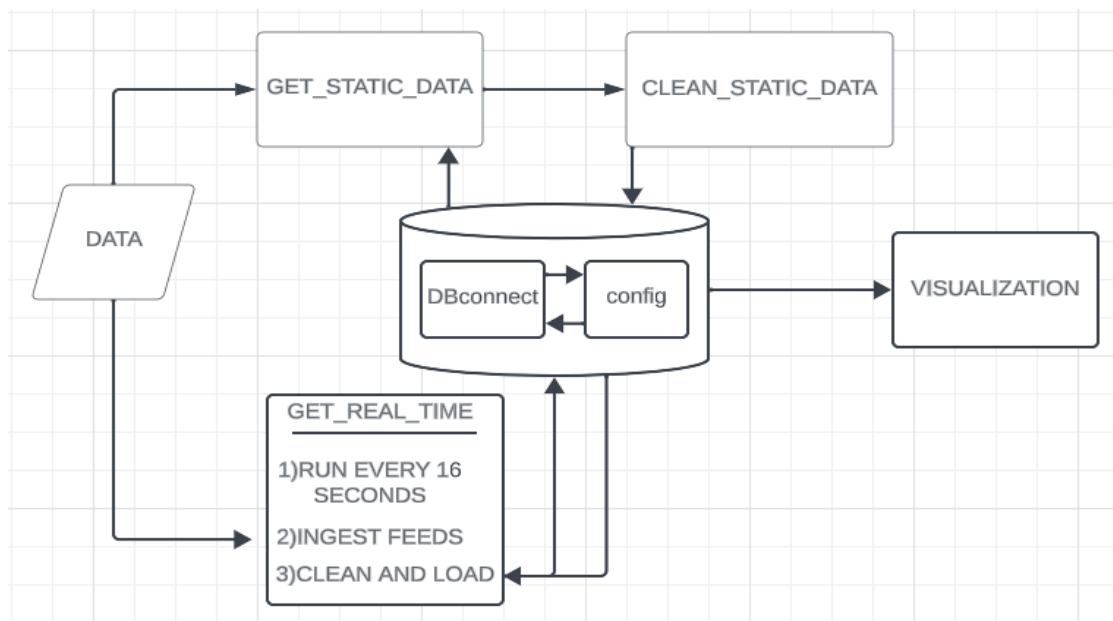
Σχήμα 18. Επίπεδα προσφοράς δημόσιας συγκοινωνίας (τύπος 1) ανά κοινότητα σε ωριαία διαστήματα από τις 5 έως τις 8 π.μ.. Πηγή: Kaeruean et al., (2020).

3. Σχεδιασμός εφαρμογής

Στην προσπάθεια υλοποίησης ενός ολοκληρωμένου εργαλείου οπτικοποίησης δεδομένων GTFS, η σχολαστική προσοχή στη σχεδιαστική πτυχή είναι απαραίτητη. Η φάση του σχεδιασμού αποτελεί βασικό πυλώνα στην ανάπτυξη αυτού του συστήματος, όπου η εστίαση έγκειται σε μεγάλο βαθμό στην οριοθέτηση των λειτουργικών ενότητων και στην καθιέρωση της ροής δεδομένων μεταξύ τους, διαμορφώνοντας ουσιαστικά τον κεντρικό άξονα της εφαρμογής (Chondrodima et al., 2022). Η εξέταση της δομικής βάσης μέσω ενός τυποποιημένου πλαισίου, όπως η Ενοποιημένη Γλώσσα Μοντελοποίησης (Unified Modeling Language-UML), εξασφαλίζει ένα σχεδιασμό που χαρακτηρίζεται από σαφήνεια και συνοχή. Η παρούσα ενότητα περιγράφει λεπτομερώς τις προδιαγραφές σχεδιασμού κάθε ενότητας και τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους, δημιουργώντας ένα ισχυρό πλαίσιο που διευκολύνει την απρόσκοπτη ενσωμάτωση και την αποτελεσματική εκτέλεση.

3.1 Αρχιτεκτονική συστήματος

Ο σχεδιασμός του συστήματος βασίζεται σε μια αρχιτεκτονική που υποδέχεται διάφορες λειτουργικές ενότητες (modules), καθεμία από τις οποίες είναι επιφορτισμένη με συγκεκριμένες αρμοδιότητες. Οι εν λόγω ενότητες είναι σχολαστικά σχεδιασμένες ώστε όχι μόνο να εκπληρώνουν τους καθορισμένους ρόλους τους, αλλά και να συνεργάζονται με άλλες μονάδες, δημιουργώντας έτσι ένα συνεκτικό περιβάλλον.



Σχήμα 19. Αρχιτεκτονική συστήματος.

3.1.1 Config.Properties

Το αρχείο config.properties αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο του συστήματός μας, παίζοντας καθοριστικό ρόλο στη διασφάλιση της προκαταρκτικής ρύθμισης για την επικοινωνία και τη μεταφορά των δεδομένων. Ουσιαστικά, λειτουργεί ως πύλη προς τη βάση δεδομένων μας, περιέχοντας τις απαραίτητες παραμέτρους για την εγκαθίδρυση μιας σύνδεσης

Μέσα σε αυτό το αρχείο ορίζονται τα διαπιστευτήρια της βάσης δεδομένων, όπως ο κεντρικός υπολογιστής (DB_HOST), το συγκεκριμένο σχήμα στο οποίο εγκαθίσταται η σύνδεση (DB_SCHEMA), ο χρήστης με τον οποίο ξεκινά η σύνδεση (DB_User), ο κωδικός πρόσβασης για αυτόν τον χρήστη (DB_PWD) και ο αριθμός θύρας (PORT). Αυτή η συλλογή παραμέτρων εξασφαλίζει μια ασφαλή και σταθερή σύνδεση με το σύστημα της βάσης δεδομένων, το οποίο, στην περίπτωση μας, βρίσκεται τοπικά, όπως υποδεικνύεται από την τιμή localhost για το DB_HOST.

Επιπλέον, το αρχείο config.properties παρέχει μια άμεση διεύθυνση URL (STATIC_DATA) από την οποία μπορούν να ληφθούν τα στατικά δεδομένα του GTFS. Αυτή η σύνδεση δεδομένων είναι ζωτικής σημασίας για τη διατήρηση της εφαρμογής μας ενημερωμένης με τα πιο πρόσφατα δεδομένα διέλευσης λεωφορείων.

Τέλος, μια καθορισμένη διαδρομή (PARENT_FOLDER) υποδεικνύει τη θέση στο σύστημα όπου αποθηκεύονται τα στατικά δεδομένα που λαμβάνονται από την παρεχόμενη διεύθυνση URL. Αυτό εξασφαλίζει μια οργανωμένη προσέγγιση αποθήκευσης, η οποία στη συνέχεια διευκολύνει την αποτελεσματική ανάκτηση και επεξεργασία των δεδομένων.

Οργανώνοντας και συγκεντρώνοντας αυτές τις παραμέτρους διαμόρφωσης σε ένα μοναδικό αρχείο, προσδίδουμε στο σύστημα ευελιξία και επεκτασιμότητα. Η αλλαγή των διαπιστευτηρίων της βάσης δεδομένων, η τροποποίηση των πηγών δεδομένων ή η ενημέρωση των θέσεων αποθήκευσης μπορούν να πραγματοποιηθούν με ελάχιστες προσαρμογές στο αρχείο config.properties, διασφαλίζοντας ότι το σύστημα παραμένει προσαρμόσιμο στις εξελισσόμενες απαιτήσεις.

3.1.2 *Σύνδεση DBConnection*

Η ενότητα DBConnection χρησιμεύει ως κρίσιμος μεσάζων, συνδέοντας τις ρυθμίσεις διαμόρφωσης με τη βάση δεδομένων και μεταφράζοντάς τις σε διεργασίες που μπορούν να αναληφθούν. Αυτή η ενότητα έχει σχεδιαστεί για τη δημιουργία ασφαλών και αξιόπιστων συνδέσεων, με έμφαση στην ευρωστία. Η διαδικασία σύνδεσης ξεκινά με τη συμπερίληψη βασικών βιβλιοθηκών, όπως η psycopg2, η οποία επιτρέπει την επικοινωνία με βάσεις δεδομένων PostgreSQL, και η jproperties, η οποία διευκολύνει την ανάγνωση λεπτομερειών διαμόρφωσης από το αρχείο config.properties. Κατά την κλήση της συνάρτησης get_connection, η ενότητα ανακτά τις βασικές παραμέτρους-τον κεντρικό υπολογιστή, το όνομα της βάσης δεδομένων, τα διαπιστευτήρια χρήστη, τον κωδικό πρόσβασης και τη θύρα-από το αρχείο ρυθμίσεων. Αυτές οι παράμετροι χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για την έναρξη μιας σύνδεσης με τη βάση δεδομένων PostgreSQL. Μόλις γίνει επιτυχώς η σύνδεση, δημιουργείται ένας δρομέας (cursor), επιτρέποντας την εκτέλεση εντολών SQL για διάφορες λειτουργίες της βάσης δεδομένων. Σε περίπτωση σφαλμάτων σύνδεσης ή άλλων ζητημάτων, η ενότητα είναι εξοπλισμένη για την καταγραφή εξαιρέσεων, ιδίως σφαλμάτων που σχετίζονται με τη βάση δεδομένων, και τη δημιουργία λεπτομερών μηνυμάτων που βοηθούν στην αντιμετώπιση προβλημάτων. Αυτή η προσέγγιση εξασφαλίζει μια ασφαλή και αποτελεσματική αλληλεπίδραση με τη βάση δεδομένων, διατηρώντας παράλληλα τη διαφάνεια στη διαχείριση των σφαλμάτων.

Η ενότητα DBConnection παίζει καθοριστικό ρόλο στη διαχείριση των αλληλεπιδράσεων με τη βάση δεδομένων, παρέχοντας ένα ασφαλές και αποτελεσματικό πλαίσιο που στηρίζει τις λειτουργίες δεδομένων του συστήματος. Ο σχεδιασμός της εξασφαλίζει την αξιοπιστία και την ακεραιότητα των θεμελιωδών διαδικασιών που είναι απαραίτητες για την απρόσκοπτη διαχείριση και εκτέλεση δεδομένων.

3.2 **Ενότητες χειρισμού δεδομένων**

Αφού δημιουργηθεί επιτυχώς η σύνδεση με τη βάση δεδομένων, η προσοχή στρέφεται στην ανάπτυξη και τη λειτουργικότητα των ενότητων που έχουν σχεδιαστεί ειδικά για τον αποτελεσματικό χειρισμό και τον χειρισμό των δεδομένων. Αυτές οι ενότητες είναι αναπόσπαστο στοιχείο για τη διασφάλιση της απρόσκοπτης επεξεργασίας, αποθήκευσης και ανάκτησης δεδομένων, ευθυγραμμιζόμενες με τις λειτουργικές απαιτήσεις του συστήματος. Εστιάζοντας σε βελτιστοποιημένες πρακτικές διαχείρισης δεδομένων, τα εν λόγω στοιχεία διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση της συνολικής απόδοσης, αξιοπιστίας και επεκτασιμότητας του συστήματος.

3.2.1 Create_Tables

Η ενότητα `create_tables` παίζει καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία της βάσης για την αποθήκευση δεδομένων στη βάση δεδομένων. Ειδικά προσαρμοσμένη για να καταγράφει ποικίλα σύνολα δεδομένων που προέρχονται από πολλαπλά API, αυτή η ενότητα διαμορφώνει κάθε πίνακα για να παρέχει έναν εναρμονισμένο, αποτελεσματικό και συστηματικό μηχανισμό αποθήκευσης. Παρακάτω παρατίθεται μια λεπτομερής ανάλυση κάθε πίνακα και των μερών του:

- **agency:** Ο πίνακας αυτός χρησιμεύει ως κεντρικός κατάλογος για τους διάφορους οργανισμούς διαμεταφορών, συγκεντρώνοντας βασικές πληροφορίες που υποστηρίζουν την αποτελεσματική ενσωμάτωση και προσβασιμότητα των δεδομένων. Περιλαμβάνει πεδία όπως η επίσημη ονομασία του οργανισμού, η διεύθυνση URL του ιστότοπού του και η κύρια γλώσσα που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία, εξασφαλίζοντας σαφήνεια στις αλληλεπιδράσεις των χρηστών. Επιπλέον, περιλαμβάνει την επικρατούσα χρονική ζώνη λειτουργίας του οργανισμού, η οποία είναι κρίσιμη για τον συγχρονισμό των δρομολογίων και των υπηρεσιών. Καταγράφονται επίσης στοιχεία επικοινωνίας, όπως ένας άμεσος αριθμός τηλεφώνου και μια επίσημη διεύθυνση ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, καθώς και μια διεύθυνση URL αφιερωμένη σε πληροφορίες σχετικά με τα ναύλα, ενισχύοντας την ευκολία των χρηστών. Επιπλέον, ο πίνακας προσδιορίζει την έκδοση της ροής δεδομένων που παρέχει ο οργανισμός, διασφαλίζοντας τη συμβατότητα και την ακρίβεια στις ενημερώσεις του συστήματος. Με την οργάνωση αυτού του πλούτου πληροφοριών σε δομημένη μορφή, ο πίνακας όχι μόνο διευκολύνει την απρόσκοπτη ενσωμάτωση σε μεγαλύτερα συστήματα, αλλά και βελτιώνει τη συνολική αποτελεσματικότητα και αξιοπιστία της διαδικασίας διαχείρισης δεδομένων.
- **alerts:** Αυτός ο πίνακας λειτουργεί ως ένα κρίσιμο εργαλείο παρακολούθησης, σχεδιασμένο να επιβλέπει και να διαχειρίζεται βασικές ειδοποιήσεις, διασφαλίζοντας τη λειτουργική ακεραιότητα του συστήματος και διευκολύνοντας την άμεση αντιμετώπιση πιθανών προβλημάτων. Ο σχεδιασμός του περιέχει πολλαπλές διαστάσεις μιας ειδοποίησης, συμπεριλαμβανομένης της αιτίας που την προκαλεί, του επακόλουθου αποτελέσματός της, της κλίμακας σοβαρότητας, του συγκεκριμένου αναγνωριστικού διαδρομής που αφορά, της κατευθυνόμενης διαδρομής και οποιουδήποτε εξηγηματικού ή συμβουλευτικού κειμένου που τη συνοδεύει.
- **calendar:** Αυτός ο πίνακας είναι δομημένος έτσι ώστε να ενσωματώνει τις ημέρες λειτουργίας κατά τη διάρκεια μιας εβδομάδας, μαζί με τις ημερομηνίες έναρξης και λήξης του προγράμματος.
- **feed_info:** Αυτός ο πίνακας παρέχει λεπτομερείς πληροφορίες σχετικά με την ροή δεδομένων, συμπεριλαμβανομένης της οντότητας ή του εκδότη που είναι υπεύθυνος για τη διάδοσή της. Καταγράφει επίσης τη διεύθυνση URL του ιστότοπού του εκδότη, την προεπιλεγμένη γλώσσα που χρησιμοποιείται για την επικοινωνία και την ενεργή

χρονική περίοδο της ροής. Αυτή η δομημένη αναπαράσταση εξασφαλίζει σαφήνεια και διευκολύνει την αποτελεσματική ενσωμάτωση και χρήση των δεδομένων εντός του συστήματος.

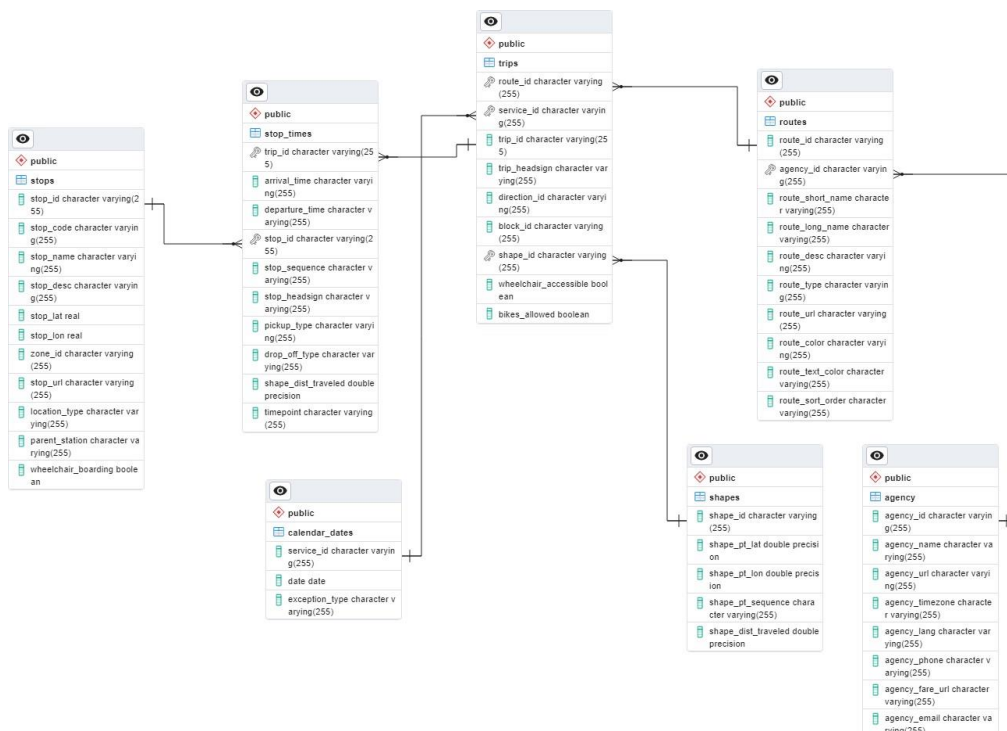
- **routes:** Ο πίνακας αυτός χρησιμεύει ως ένα ολοκληρωμένο αποθετήριο πληροφοριών για κάθε διαδρομή, παρέχοντας λεπτομερή εικόνα των χαρακτηριστικών και των ιδιοτήτων κάθε διαδρομής. Αφομοιώνει συνοπτικά και μακροσκελή αναγνωριστικά δρομολογίων, τον κατηγοριακό τύπο του δρομολογίου (π.χ. λεωφορείο, τρένο), ακόμη και οπτικά χαρακτηριστικά, όπως τα σχετικά θεματικά χρώματα.
- **shapes:** Ο πίνακας shapes παρέχει μια λεπτομερή αναπαράσταση των γεωγραφικών περιγραμμάτων που σχετίζονται με διάφορες διαδρομές, κωδικοποιώντας τα γεωμετρικά μοτίβα που καθορίζουν τις διαδρομές τους. Αυτό χρησιμεύει ως κρίσιμος πόρος για την ακριβή χαρτογράφηση και απεικόνιση των διαδρομών μεταφοράς εντός του συστήματος..
- **stop_times:** Αυτός ο πίνακας είναι ο χρονομέτρης, καταγράφοντας σχολαστικά τις ακριβείς στιγμές των αφίξεων και αναχωρήσεων στις διάφορες στάσεις, εξασφαλίζοντας μεγάλη ακρίβεια.
- **stops:** Ο πίνακας αυτός παρέχει μια ολοκληρωμένη καταγραφή των μεμονωμένων στάσεων, η οποία εκτείνεται πέρα από τα βασικά αναγνωριστικά στοιχεία, όπως τα ονόματα. Περιλαμβάνει ακριβείς γεωγραφικές συντεταγμένες, οι οποίες ορίζονται από το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, και λεπτομερή πρόσθετα χαρακτηριστικά που ενισχύουν την προσβασιμότητα, εξασφαλίζοντας τη συμμετοχικότητα και τη χρηστικότητα για όλους τους χρήστες.
- **trip_updates:** Αυτός ο πίνακας λειτουργεί ως δυναμικό εργαλείο αναφοράς, παρακολουθώντας ενημερώσεις και αλλαγές σε δρομολόγια σε πραγματικό χρόνο. Καταγράφει και εμφανίζει μεταβολές που κυμαίνονται από μικρές προσαρμογές του χρονοδιαγράμματος έως σημαντικές καθυστερήσεις, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη επισκόπηση για την αποτελεσματική διαχείριση του συστήματος.
- **trips:** Αυτός ο πίνακας περιλαμβάνει δεδομένα κατεύθυνσης, επιλογές προσβασιμότητας και συνδέσεις με σχετικές διαδρομές και τα γεωγραφικά τους σχήματα.
- **vehicle_positions:** Αυτός ο πίνακας λειτουργεί ως σύστημα παρακολούθησης σε πραγματικό χρόνο, παρακολουθώντας τις χωρικές θέσεις των οχημάτων με ακρίβεια. Συλλέγει και εμφανίζει βασικές λεπτομέρειες, όπως το τρέχον γεωγραφικό πλάτος και μήκος των οχημάτων, τη διόπτευση κατεύθυνσης, την ταχύτητα και τις συγκεκριμένες διαδρομές που πραγματοποιούν. Αυτή η ολοκληρωμένη δυνατότητα παρακολούθησης ενισχύει την επίγνωση της κατάστασης και υποστηρίζει την αποτελεσματική διαχείριση της μεταφοράς.
- **vehicle:** Αυτός ο πίνακας παρέχει μια λεπτομερή επισκόπηση των επιμέρους προδιαγραφών των οχημάτων, συμπεριλαμβανομένων των δυνατοτήτων καθήμενων και όρθιων θέσεων, των μηχανισμών των θυρών και των βασικών χαρακτηριστικών που έχουν σχεδιαστεί για να διασφαλίζουν την ένταξη και την προσβασιμότητα. Καταγράφοντας αυτά τα χαρακτηριστικά, υποστηρίζει την ανάλυση και τη βελτιστοποίηση του σχεδιασμού και της λειτουργικότητας των οχημάτων στο πλαίσιο του συστήματος μεταφοράς.

Συμπληρώνοντας τη δημιουργία πινάκων, η ενότητα είναι έξυπνα σχεδιασμένη ώστε να αποφεύγεται ο πλεονασμός. Αυτό αποδεικνύεται από τον εγγενή έλεγχο κατά της δημιουργίας διπλών πινάκων, όπως υποδεικνύεται από τον μηχανισμό σφάλματος DuplicateTable.

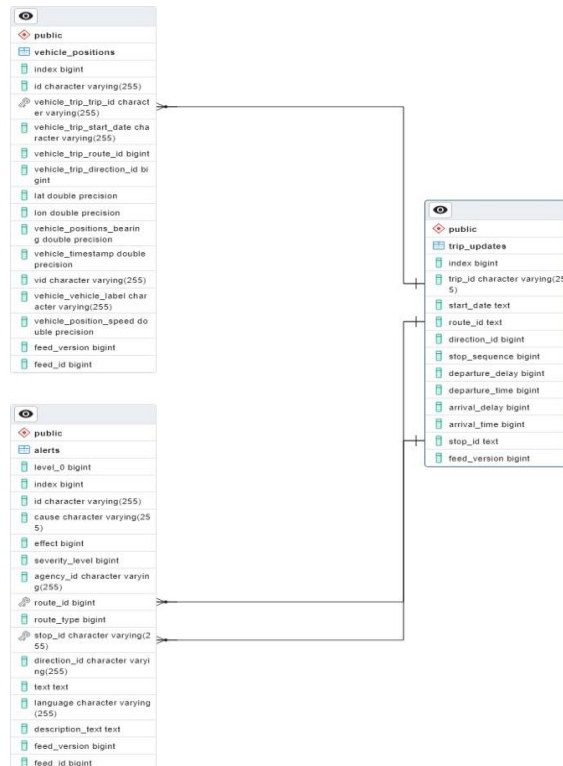
Επιπλέον, για να ενισχυθεί η αποτελεσματικότητα και η ευελιξία των λειτουργιών εξαγωγής δεδομένων, ιδίως στο πλαίσιο πολύπλοκων απαιτήσεων ερωτημάτων, η ενότητα εισάγει ένα σύνολο καινοτόμων δεικτών. Οι δείκτες αυτοί έχουν σχεδιαστεί για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας υποβολής ερωτημάτων και τη βελτίωση της συνολικής απόκρισης και των αναλυτικών δυνατοτήτων του συστήματος. Οι δείκτες είναι οι εξής:

- **idx_alert_routes:** στον πίνακα ειδοποιήσεων.
- **idx_trips_headsign:** Βελτιστοποίηση των αναζητήσεων με βάση το χαρακτηριστικό trip_headsign του πίνακα trips.
- **idx_vehicle_trip_trip_id:** Βελτίωση των αναζητήσεων στην πτυχή vehicle_trip_trip_id στον πίνακα vehicle_positions.
- **idx_stop_times_trip_id:** Εστίαση των αναζητήσεων στον τομέα trip_id του πίνακα stop_times.

Η ενότητα create_tables αποτελεί θεμελιώδες στοιχείο, διασφαλίζοντας ότι τα δεδομένα που λαμβάνονται από το API αποθηκεύονται σε μια συνεκτική, οργανωμένη και βελτιστοποιημένη ως προς τις επιδόσεις δομή. Αυτή η ενότητα παίζει κρίσιμο ρόλο στη διατήρηση της ακεραιότητας και της αποτελεσματικότητας των διαδικασιών διαχείρισης δεδομένων του συστήματος.



Σχήμα 20. Σχεδιάγραμμα στατικών πινάκων στη Βάση.



Σχήμα 21. Σχεδιάγραμμα real time πινάκων στη Βάση.

3.2.2 Get_Static_Data

Η ενότητα `Get_Static_Data` χρησιμεύει ως κεντρικό στοιχείο στο πλαίσιο ανάκτησης δεδομένων του συστήματος. Με την απρόσκοπτη διασύνδεση με προκαθορισμένα API, η ενότητα αυτή διευκολύνει την αποτελεσματική εξαγωγή δεδομένων, ενώ παράλληλα κατευθύνει συστηματικά τα ανακτηθέντα δεδομένα σε καθορισμένες θέσεις αποθήκευσης. Ένα βασικό χαρακτηριστικό αυτής της μονάδας είναι η ικανότητά της να μετράζει τον πλεονασμό δεδομένων μέσω της χρήσης της παραμέτρου `feed_version`, διασφαλίζοντας ότι μόνο τα πιο ενημερωμένα και συναφή δεδομένα ενσωματώνονται στο σύστημα. Η λειτουργία αυτή ενισχύει την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα της διαδικασίας διαχείρισης δεδομένων, ενισχύοντας τη συνολική απόδοση του συστήματος.

Για να αποκωδικοποιήσουμε τις ιδιαιτερότητες αυτής της ενότητας, ας εξετάσουμε βήμα προς βήμα τα σημαντικότερα στοιχεία του κώδικά της:

- **Ρύθμιση εξαρτήσεων και σύνδεση βάσης δεδομένων:**
 - ο Η ενότητα ξεκινά με την εισαγωγή βασικών βιβλιοθηκών που κυμαίνονται από το χειρισμό αιτημάτων HTTP (`requests`) έως την επεξεργασία δεδομένων (`pandas`) και τη διασύνδεση με το λειτουργικό σύστημα (OS).

- ο Στη συνέχεια, εγκαθίσταται μια σύνδεση με τη βάση δεδομένων χρησιμοποιώντας τη μέθοδο `DBconnection.get_connection()`, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός αντικειμένου σύνδεσης, τα οποία είναι κομβικά για τις μετέπειτα αλληλεπιδράσεις με τη βάση δεδομένων.
- **Ορισμοί καταλόγων και διευθύνσεων URL:**
 - ο Η μεταβλητή `PARENT_FOLDER` ορίζεται για να δείχνει στον κύριο κατάλογο όπου θα βρίσκονται τα στατικά δεδομένα που ανακτώνται από το API.
 - ο Η μεταβλητή `NEW_FOLDER` δημιουργεί δυναμικά ένα όνομα φακέλου που έχει τη ρίζα του στο τρέχον `timestamp`, εξασφαλίζοντας έναν μοναδικό κατάλογο για κάθε λειτουργία ανάκτησης δεδομένων.
 - ο Η διεύθυνση URL καθορίζει το τελικό σημείο που χρησιμοποιείται για την εξαγωγή δεδομένων, κατευθύνοντας το σύστημα σε μια συμπιεσμένη (ZIP) έκδοση του συνόλου δεδομένων. Η προσέγγιση αυτή εξασφαλίζει αποτελεσματική ανάκτηση δεδομένων, διατηρώντας παράλληλα τη συμβατότητα με τις απαιτήσεις επεξεργασίας του συστήματος.
 - ο Το `NEW_PATH` διαμορφώνεται στη συνέχεια με τη συνένωση του γονικού καταλόγου με τον πρόσφατα δημιουργηθέντα φάκελο, δημιουργώντας μια πλήρη διαδρομή για την αποθήκευση των δεδομένων.
- **Λήψη και αποσυμπίεση δεδομένων API:**
 - ο Πραγματοποιείται ένα αίτημα HTTP GET στην καθορισμένη διεύθυνση URL. Μετά την επιτυχή απόκριση (κωδικός κατάστασης HTTP 200), τα συμπιεσμένα δεδομένα εγγράφονται σε ένα αρχείο.
 - ο Στη συνέχεια, αυτό το αρχείο zip αποσυμπιέζεται αμέσως, με τα περιεχόμενά του να αποθηκεύονται στο `NEW_PATH` που είχε οριστεί προηγουμένως.
- **Έλεγχος ανανέωσης των δεδομένων:**
 - ο Η ουσία της διασφάλισης της ανανέωσης των δεδομένων περιστρέφεται γύρω από την `feed_version`. Ο κώδικας προσδιορίζει πρώτα τη διαδρομή προς το αρχείο `feed_info.txt`, το οποίο κατά πάσα πιθανότητα περιέχει αυτές τις πληροφορίες έκδοσης.
 - ο Στη συνέχεια ανακτάται η τελευταία `feed_version` από τη βάση δεδομένων.
 - ο Στη συνέχεια, η `feed_version` από το νεοανακτηθέν αρχείο `feed_info.txt` συγκρίνεται με εκείνη της βάσης δεδομένων. Εάν δεν υπάρχει προηγούμενη εγγραφή ή εάν υπάρχει διαφορά μεταξύ της τρέχουσας και της προηγούμενης έκδοσης, αυτό υποδηλώνει ότι τα πρόσφατα ανακτηθέντα δεδομένα είναι πρωτότυπα και όχι αντίγραφα του προηγουμένως αποθηκευμένου συνόλου δεδομένων.

Η ενότητα `Get_Static_Data` αντιπροσωπεύει μια σχολαστικά σχεδιασμένη ενσωμάτωση αποτελεσματικής αλληλεπίδρασης API, δομημένης αποθήκευσης δεδομένων και στιβαρής διαχείρισης πλεονασμού. Αξιοποιώντας την παράμετρο `feed_version`, η ενότητα διασφαλίζει ότι το αποθετήριο δεδομένων παραμένει ενημερωμένο, εξαλείφοντας αποτελεσματικά τους πλεονασμούς και ενισχύοντας τη συνολική αποδοτικότητα του συστήματος.

3.2.3 *Clean_Static_Data*

Η ενότητα `clean_static_data` διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στον αγωγό επεξεργασίας δεδομένων, καθώς λειτουργεί αμέσως μετά τη φάση ανάκτησης δεδομένων. Πρωταρχικός της στόχος είναι να βελτιώσει και να ελέγξει τα δεδομένα που συλλέγονται, διασφαλίζοντας ότι τηρούν τους όρους και τις κατευθυντήριες γραμμές που περιγράφονται στην τεκμηρίωση του έργου. Η διαδικασία αυτή βελτιώνει την ποιότητα των δεδομένων και τα προετοιμάζει για την επακόλουθη ανάλυση και ενσωμάτωση.

Εμβαθύνοντας περισσότερο στη λειτουργία του:

- **Αρχική ρύθμιση και ροή εκτέλεσης:**
 - ο Η ενότητα αρχικοποιείται ρυθμίζοντας τη σύνδεση με τη βάση δεδομένων και δημιουργώντας τον απαιτούμενο δρομέα για την εκτέλεση εντολών SQL για διάφορες λειτουργίες της βάσης δεδομένων.
 - ο Στη συνέχεια, προβλέπει την έκδοση της ροής από τη βάση δεδομένων και διακρίνει τον τύπο των δεδομένων προς καθαρισμό με βάση το όνομα του αρχείου. Τα ονόματα αρχείων κυμαίνονται από "stops.txt", "stop_times.txt", έως "vehicles.txt", και το καθένα έχει την ειδική λειτουργία καθαρισμού του.
- **Καθαρισμός δεδομένων:**
 - ο stop_stop_times: Αυτή η λειτουργία διασφαλίζει τη συνοχή των δεδομένων μεταξύ στάσεων και χρόνων στάσης. Οι στάσεις που δεν έχουν αντίστοιχες εγγραφές στους χρόνους στάσης διαγράφονται. Ομοίως, οι χρόνοι στάσεων χωρίς αντίστοιχες στάσεις καθαρίζονται επίσης.
 - ο agency_routes: Σε αυτή τη λειτουργία, κάθε οργανισμός που δεν διαθέτει σχετική διαδρομή αφαιρείται από το σύνολο δεδομένων. Ομοίως, αφαιρούνται οι διαδρομές που δεν συνδέονται με αντίστοιχο οργανισμό. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζεται η συνοχή και η συνεκτικότητα της δομής δεδομένων, διατηρώντας μόνο έγκυρες και σχετικές σχέσεις.
 - ο calendar_dates_calendar: Η λειτουργία αυτή διαπιστώνει ότι όλες οι ημερολογιακές ημερομηνίες έχουν αντίστοιχη ημερολογιακή καταχώρηση. Οποιαδήποτε ασυμφωνία οδηγεί σε διαγραφή.
- **Βελτίωση δεδομένων:**
 - ο all_tables_trips: Η λειτουργία αυτή αποσκοπεί στη διασφάλιση της ακεραιότητας των δεδομένων με τη διασταύρωση των δρομολογίων με τις ώρες στάσης, τις διαδρομές και το ημερολόγιο. Μόνο τα δρομολόγια που έχουν έγκυρες συσχετίσεις εισάγονται στον πίνακα trips.
- **Ανάλυση χωρικών δεδομένων:**
 - ο detect_spatial_problems_stops: Αυτή η συνάρτηση ξεκινά μια αναζήτηση για τον εντοπισμό χωρικών ασυμφωνιών. Υπολογίζει τη γεωδαιτική απόσταση μεταξύ των συντεταγμένων της στάσης και των συντεταγμένων του σχήματος. Σημαντικές αποκλίσεις μπορεί να υποδηλώνουν ασυνέπειες στα δεδομένα. Ωστόσο, η διορθωτική ενέργεια, η οποία επί του παρόντος εφαρμόζεται ως σχολιασμένη διαγραφή, υπογραμμίζει την ανάγκη περαιτέρω βελτίωσης ή χειροκίνητης αναθεώρησης για να διασφαλιστεί η ακρίβεια και η αξιοπιστία των δεδομένων.

Στο τέλος της εκτέλεσής της, η ενότητα clean_static_data εγγυάται ότι τα στατικά δεδομένα είναι απαλλαγμένα από ασυνέπειες, πλεονασμούς και λανθασμένες ευθυγραμμίσεις. Κληροδοτεί ένα καθαρισμένο και καλά δομημένο σύνολο δεδομένων, προετοιμασμένο για τα επόμενα στάδια επεξεργασίας και τις περίπλοκες αναλύσεις.

3.3 Επεξεργασία δεδομένων σε Πραγματικό χρόνο

Στα συστήματα δεδομένων, αν και τα στατικά δεδομένα παραμένουν απαραίτητα, η ικανότητα αποτελεσματικής επεξεργασίας και αξιοποίησης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο αναγνωρίζεται όλο και περισσότερο ως κρίσιμο συστατικό της λειτουργικότητας του σύγχρονου συστήματος. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα όταν η προσδοκία είναι να παρέχονται έγκαιρες πληροφορίες και άμεσες απαντήσεις με βάση τις τρέχουσες ροές δεδομένων. Το σύστημα που περιγράφεται εδώ είναι εξοπλισμένο για τη διαχείριση και την επεξεργασία και των δύο

τύπων δεδομένων, με ιδιαίτερη έμφαση στη λήψη και επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

3.3.1 *Get_Real_Time_Data*

Η ενότητα *Get_Real_Time_Data* επιδεικνύει την ικανότητα του συστήματος να επεξεργάζεται και να ενσωματώνει δεδομένα πραγματικού χρόνου. Αυτό το τμήμα του συστήματος επικεντρώνεται στην ανάκτηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, αντλώντας νέα δεδομένα σε σταθερά διαστήματα των 16 δευτερολέπτων. Αυτή η περιοδικότητα διασφαλίζει ότι το σύστημα παραμένει ενημερωμένο με τα πιο πρόσφατα δεδομένα, διατηρώντας σχεδόν άμεση επίγνωση τυχόν αναδυόμενων προτύπων ή ανωμαλιών.

Ο υποκείμενος κώδικας περιλαμβάνει μια σειρά λειτουργιών:

- **Εισαγωγή βιβλιοθηκών:** Εισάγονται βασικές βιβλιοθήκες όπως οι `time`, `requests`, `pandas` και συγκεκριμένοι σύνδεσμοι βάσεων δεδομένων. Αυτές οι βιβλιοθήκες διευκολύνουν τις λειτουργίες ανάκτησης, επεξεργασίας και αποθήκευσης δεδομένων.

```
import time
```

```
import requests
```

```
import pandas as pd
```

```
import DBconnection
```

```
...
```

- **Σύνδεση βάσης δεδομένων:** Το σύστημα εγκαθιστά μια σύνδεση με τη βάση δεδομένων `Metro_Transit` τόσο μέσω παραδοσιακών μεθόδων που βασίζονται σε δρομείς όσο και μέσω `SQLAlchemy` για πιο προηγμένες λειτουργίες βάσης δεδομένων.

```
cursor, conn = DBconnection.get_connection()
```

```
db =
```

```
create_engine('postgresql+psycopg2://postgres:vasilis@localhost/Metro_Transit')
```

```
conn_alchemy = db.connect()
```

- **Συλλογή και παρουσίαση δεδομένων:** Το σύστημα καταγράφει δεδομένα εντοπισμού του οχήματος, όπως γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος, αναγνωριστικά δρομολογίου, αναγνωριστικά διαδρομής και χρονοσφραγίδες, μεταξύ άλλων χαρακτηριστικών. Τα δεδομένα αυτά είναι απαραίτητα για την παρακολούθηση των κινήσεων σε πραγματικό χρόνο και τη λήψη σχετικών αποφάσεων με βάση αυτά..

```
...
```

```
<table>
```

```
...
```



```

<td>vehicle_trip_trip_id</td>

<td>lat</td>

<td>lon</td>

...

</table>

```

Ενώ ο κώδικας περιλαμβάνει λειτουργικά τμήματα για ενημερώσεις και ειδοποιήσεις, τα στοιχεία αυτά είναι προς το παρόν σχολιασμένα στην υπάρχουσα εφαρμογή. Η απόφαση αυτή πάρθηκε για να διασφαλιστεί ότι ο χρόνος εκτέλεσης του συστήματος παραμένει εντός του αυστηρού ορίου των 16 δευτερολέπτων. Αν και προσωρινά απενεργοποιημένα, αυτά τα τμήματα διαθέτουν σημαντικές δυνατότητες για μελλοντικές βελτιώσεις, προσφέροντας τη δυνατότητα διευρυμένης λειτουργικότητας όταν χαλαρώσουν οι περιορισμοί του χρόνου εκτέλεσης ή επιτευχθούν περαιτέρω βελτιστοποιήσεις.

3.4 Ενότητα οπτικοποίησης δεδομένων

Η ενότητα οπτικοποίησης δεδομένων, κωδικοποιημένη στο αρχείο "data_visualization", έχει ως κύριο στόχο να παρέχει στους χρήστες μια διαδραστική οπτική αναπαράσταση των υπηρεσιών μεταφοράς. Η αρχικοποίηση αυτής της ενότητας παρέχει στους χρήστες ένα αισθητικό γραφικό περιβάλλον που αναπαριστά οπτικά διαδρομές, δρομολόγια και στάσεις. Επιπλέον, προσφέρει λεπτομερείς πληροφορίες, συμπεριλαμβανομένου του αριθμού των λεωφορείων, της διάρκειας των διαδρομών και των αποστάσεων δρομολογίου, ενισχύοντας την κατανόηση και την αλληλεπίδραση του χρήστη με το σύστημα. Η διεπαφή ανανεώνεται κάθε 15 δευτερόλεπτα, διασφαλίζοντας την ακρίβεια των απεικονιζόμενων δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.

3.4.1 Data_Visualization

Το αρχείο "data_visualization" ενσωματώνει διάφορες βιβλιοθήκες Python, όπως η folium για την απεικόνιση χαρτών και η PyQt5 για λειτουργίες GUI. Ακολουθεί μια σύντομη παρουσίαση των σημαντικών συστατικών του:

- **Αρχική ρύθμιση:** Εισάγονται εξαρχής ενότητες όπως time, folium και DBconnection, θέτοντας τις βάσεις για τις επόμενες λειτουργίες.
- **Γραφική διεπαφή:** Η κλάση Example αρχικοποιεί το κύριο παράθυρο γραφικής διεπαφής όπου στεγάζονται τα στοιχεία χάρτη και ελέγχου. Μέσα σε αυτό, η μέθοδος initUI σχεδιάζει τη διάταξη και στεγάζει διάφορα στοιχεία του GUI, όπως:
 - o ComboBoxes: Dropdowns για διαδρομές, δρομολόγια και κατεύθυνση.
 - o Radio Buttons: Διευκολύνουν τις επιλογές για την εμφάνιση είτε της διαδρομής-δρομολογίου είτε των στάσεων στο χάρτη.
 - o Labels & Textboxes: Χρησιμοποιούνται για την εμφάνιση πληροφοριών όπως το μήκος του δρομολογίου, η απόσταση δρομολογίου, ο αριθμός των λεωφορείων κ.λπ. Τα Textboxes προσφέρουν ειδικά μια αμετάβλητη απεικόνιση, διασφαλίζοντας ότι οι χρήστες μπορούν μόνο να βλέπουν και όχι να τροποποιούν τα δεδομένα που παρουσιάζονται.

- **Αλληλεπίδραση με τη βάση δεδομένων:** Χρησιμοποιώντας την ενότητα DBconnection, οι λειτουργίες της βάσης δεδομένων ανακτούν τα απαραίτητα δεδομένα για να συμπληρώσουν τις αναπτυσσόμενες λίστες (fill_combobox_routes και fill_combobox_trips). Αυτές οι λειτουργίες εκτελούν ερωτήματα SQL για να αντλήσουν τις τελευταίες περιγραφές διαδρομών και επικεφαλίδες δρομολογίων.
- Δημιουργία και ενημέρωση χάρτη:
 - o create_map: Δημιουργεί τον αρχικό χάρτη με κέντρο μια συγκεκριμένη τοποθεσία.
 - o update_map: Ανάλογα με την επιλεγμένη διαδρομή, το δρομολόγιο και την κατεύθυνση, αυτή η μέθοδος ανανεώνει τον χάρτη με τα σχετικά δεδομένα. Τα κουμπιά επιλογής υπαγορεύουν αν θα εμφανιστεί η διαδρομή-ταξίδι ή οι στάσεις. Οι στάσεις που δεν έχει πραγματοποιήσει ακόμη ένα λεωφορείο απεικονίζονται με έντονο μπλε χρώμα, ενώ εκείνες που έχουν ήδη ολοκληρωθεί εμφανίζονται με πιο αχνή απόχρωση.

Από το κώδικα στο "data_visualization", είναι σαφές ότι η ενότητα χρησιμοποιεί εκτενώς το PyQt5 για στοιχεία GUI και το folium για λειτουργίες χαρτογράφησης, παρουσιάζοντας στους χρήστες μια δυναμική, οπτική αναπαράσταση των δεδομένων διέλευσης σε πραγματικό χρόνο. Η ενσωμάτωση της διαδραστικότητας, σε συνδυασμό με την ικανότητα της ενότητας να έχει πρόσβαση και να χρησιμοποιεί δεδομένα σε πραγματικό χρόνο, ενισχύει την αποτελεσματικότητα αυτού του εργαλείου απεικόνισης, καθιστώντας το ιδιαίτερα κατατοπιστικό και ελκυστικό για τους χρήστες.

3.5 Λειτουργία αρχείων

Ο σχεδιασμός λαμβάνει υπόψη σενάρια στα οποία οι χρήστες απαιτούν μια πιο εστιασμένη ή συγκεκριμένη προβολή των δεδομένων, καλύπτοντας ποικίλες αναλυτικές ανάγκες και προτιμήσεις. Για μια τέτοια εξειδίκευση, οι χρήστες μπορούν να εμβαθύνουν σε μεμονωμένες διαδρομές. Για να απεικονίσουν όλα τα λεωφορεία που λειτουργούν σε μια συγκεκριμένη διαδρομή, οι χρήστες πρέπει πρώτα να επιλέξουν την επιθυμητή διαδρομή από την επιλογή "διαδρομές" και στη συνέχεια να επιλέξουν την παύλα από την κατηγορία "επικεφαλής διαδρομής". Αυτή η ακολουθία προσφέρει μια λεπτομερή προβολή, επιτρέποντας στους χρήστες να επικεντρωθούν στις δραστηριότητες μιας μεμονωμένης διαδρομής, κατανοώντας τις ιδιαιτερότητες και τη δυναμική της.

Υπάρχει επίσης ένα πρόσθετο επίπεδο λεπτομέρειας που είναι διαθέσιμο. Για τους χρήστες που ενδιαφέρονται για μια συγκεκριμένη διαδρομή αλλά και για μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, το σύστημα απαιτεί μια διαδικασία επιλογής δύο βημάτων. Πρώτον, ο χρήστης επιλέγει μια κατεύθυνση. Ακολούθως, επιλέγει μια διαδρομή από το "heading δρομολογίου". Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι εάν, μετά από αυτές τις επιλογές, δεν εμφανίζονται δεδομένα, αυτό είναι ενδεικτικό της απουσίας διαθέσιμων δεδομένων για τον συγκεκριμένο συνδυασμό. Σε τέτοιες περιπτώσεις, ο χρήστης καλείται είτε να αλλάξει κατεύθυνση είτε να επιλέξει μια εντελώς διαφορετική διαδρομή για να διασφαλίσει την απεικόνιση δεδομένων.

Η λειτουργία αρχειοθέτησης χρησιμεύει ως ευέλικτη διεπαφή, προσφέροντας στους χρήστες τη δυνατότητα πρόσβασης τόσο σε ολοκληρωμένες, υψηλού επιπέδου επισκοπήσεις όσο και σε λεπτομερείς, λεπτομερείς προβολές δεδομένων. Αυτή η ευελιξία διασφαλίζει ότι το σύστημα ανταποκρίνεται σε ποικίλες αναλυτικές ανάγκες, παρέχοντας τόσο εύρος όσο και βάθος πληροφοριών για την αποτελεσματική λήψη αποφάσεων.

3.6 Ακολουθία εκτέλεσης αρχείων

Η ουσία ενός αποτελεσματικού και διαδραστικού εργαλείου απεικόνισης δεδομένων GTFS δεν έγκειται μόνο στο σχεδιασμό του, αλλά και στην ακρίβεια της ακολουθίας εκτέλεσής του. Αυτή η ακολουθία έχει σχεδιαστεί σχολαστικά για τη βελτιστοποίηση των επιδόσεων του συστήματος, τη διασφάλιση της ακρίβειας της ανάκτησης δεδομένων και την παροχή φιλικών προς το χρήστη οπτικοποιήσεων, ενισχύοντας έτσι τη συνολική λειτουργικότητα και τη χρηστικότητα του συστήματος. Ας εμβαθύνουμε σε αυτή την ακολουθία:

- **Διαμόρφωση με `config.properties`:** Το σημείο εκκίνησης είναι το αρχείο `config.properties`. Πριν από την έναρξη της διαδικασίας απεικόνισης δεδομένων, είναι απαραίτητο να διαμορφώσετε με ακρίβεια τις παραμέτρους στο συγκεκριμένο αρχείο. Αυτό το βήμα καθορίζει τις θεμελιώδεις ρυθμίσεις που απαιτούνται για την αποτελεσματική λειτουργία του συστήματος και την επίτευξη των επιδιωκόμενων στόχων του. Η σωστή διαμόρφωση των παραμέτρων διασφαλίζει ότι το σύστημα είναι κατάλληλα ευθυγραμμισμένο με τις επιχειρησιακές προσδοκίες, θέτοντας τις βάσεις για τις επόμενες διαδικασίες.
- **Εντοπισμός του αρχείου `DBconnection`:** Η διασφάλιση ότι το αρχείο `DBconnection` βρίσκεται στον ίδιο κατάλογο με τα άλλα αρχεία κώδικα είναι ζωτικής σημασίας. Αυτή η τοποθέτηση διευκολύνει την απρόσκοπτη σύνδεση και αλληλεπίδραση μεταξύ των αρχείων, εξαλείφοντας πιθανές δυσλειτουργίες ή ανωμαλίες στην ανάκτηση δεδομένων που μπορεί να προκύψουν από λάθος τοποθέτηση των αρχείων.
- **Αρχικοποίηση με `create_tables`:** Μετά την ολοκλήρωση των αρχικών ρυθμίσεων, η εκτέλεση της διαδικασίας `create_tables` δημιουργεί τη θεμελιώδη δομή της βάσης δεδομένων. Αυτό το βήμα δημιουργεί τους απαραίτητους πίνακες, οργανώνοντας τον αποθηκευτικό χώρο για να φιλοξενήσει και να διαχειριστεί αποτελεσματικά τα εισερχόμενα δεδομένα. Μια ανάλογη διαδικασία θα ήταν η δημιουργία `containers` για την αποθήκευση συγκεκριμένων συνόλων δεδομένων, διασφαλίζοντας ότι δεν θα υπάρξει σύγχυση και καθιστώντας την επακόλουθη ανάκτηση αποτελεσματική.
- **Απόκτηση δεδομένων με `get_static_data`:** Μετά τη δημιουργία πινάκων, εκτελείται το αρχείο `get_static_data`. Αυτό το βήμα εξάγει όλα τα στατικά δεδομένα που είναι απαραίτητα για τη λειτουργικότητα του εργαλείου, σχηματίζοντας το θεμελιώδες στρώμα πάνω στο οποίο θα ενσωματωθούν και θα χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα πραγματικού χρόνου.
- **Βελτιστοποίηση μέσω `clean_static_data`:** Τα δεδομένα, στην ακατέργαστη μορφή τους, συχνά χρειάζονται βελτίωση. Το βήμα `clean_static_data` εκτελείται σε αυτό το στάδιο για να βελτιώσει το σύνολο δεδομένων αφαιρώντας τις περιττές ή περιττές πληροφορίες, διασφαλίζοντας ότι μόνο τα σχετικά και ακριβή δεδομένα διατηρούνται για περαιτέρω επεξεργασία. Δεδομένου του όγκου και της πολυπλοκότητας των δεδομένων, αυτό το βήμα μπορεί να απαιτήσει κάποιο χρόνο. Όμως αυτός ο χρόνος που δαπανάται εξασφαλίζει την ακεραιότητα των δεδομένων και βελτιώνει τη συνολική αποδοτικότητα του συστήματος.
- **Δυναμική ανάκτηση δεδομένων μέσω `get_real_time_data`:** Για μια πραγματικά διαδραστική εμπειρία, τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο είναι ζωτικής σημασίας. Το αρχείο `get_real_time_data`, όταν εκτελείται, αντλεί και ενημερώνει συνεχώς τα δεδομένα σε πραγματικό χρόνο. Εξασφαλίζει ότι το εργαλείο υπερβαίνει την προβολή στατικών ιστορικών δεδομένων, παρέχοντας στους χρήστες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για την τρέχουσα κατάσταση του δικτύου μεταφορών, αποτυπώνοντας αποτελεσματικά τη δυναμική του φύση.
- **Οπτικοποίηση με `data_visualization`:** Το τελικό στάδιο αυτής της ακολουθίας είναι η διαδικασία `data_visualization`, η οποία μετατρέπει τα επιμελημένα και ενημερωμένα δεδομένα σε οπτικά ελκυστικά, κατανοητά και διαδραστικά γραφικά. Το στάδιο αυτό ολοκληρώνει τον κύκλο επεξεργασίας δεδομένων μετατρέποντας μεγάλους όγκους σύνθετων δεδομένων σε προσιτές και ουσιαστικές οπτικές αναπαραστάσεις.

Η ακολουθία εκτέλεσης του αρχείου αντιπροσωπεύει μια σχολαστικά δομημένη διαδικασία που μετατρέπει τα ακατέργαστα δεδομένα σε προηγμένες οπτικές γνώσεις. Κάθε βήμα διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο στη διασφάλιση της αποτελεσματικότητας και της λειτουργικότητας του εργαλείου οπτικοποίησης δεδομένων GTFS, παρέχοντας παράλληλα βελτιωμένη εμπειρία χρήστη. Αυτή η προσεκτικά σχεδιασμένη ακολουθία αναδεικνύει τη σημασία του εργαλείου ως προτύπου στον τομέα της οπτικοποίησης δεδομένων GTFS, αποδεικνύοντας την καινοτόμο προσέγγιση και την πρακτική εφαρμογή του.

4. GTFS

Το παράδειγμα του αστικού σχεδιασμού και της αστικής ανάπτυξης έχει υποστεί σημαντικό μετασχηματισμό, ο οποίος οφείλεται στην έξαρση των τεχνολογικών εξελίξεων και των μεθοδολογιών με επίκεντρο τα δεδομένα. Οι αστικοί χώροι, οι οποίοι κάποτε θεωρούνταν στατικές οντότητες με σπάνιες αλλαγές, εξετάζονται πλέον μέσα από το πρίσμα των δυναμικών οικοσυστημάτων, που αντιδρούν συνεχώς σε διάφορα ερεθίσματα και εξελίσσονται σε πραγματικό χρόνο. Τα συστήματα μεταφορών, ιδίως τα αστικά λεωφορεία, διαδραματίζουν αναντικατάστατο ρόλο στη λειτουργία των αστικών περιοχών. Τα συστήματα αυτά χρησιμεύουν ως κρίσιμες υποδομές, διευκολύνοντας τη μετακίνηση ανθρώπων και αγαθών, διαμορφώνοντας τη δυναμική της αστικής ζωής και επηρεάζοντας διάφορες κοινωνικές, οικονομικές και περιβαλλοντικές πτυχές.

Η εφαρμογή που παρουσιάζεται σε αυτό το έργο ευθυγραμμίζεται με τις εξελισσόμενες απαιτήσεις της σύγχρονης ανάλυσης των αστικών μεταφορών. Ενσωματώνοντας δεδομένα λεωφορείων σε πραγματικό χρόνο με στατικά σύνολα δεδομένων, προσφέρει μια ολοκληρωμένη και δυναμική απεικόνιση των προτύπων αστικής μεταφοράς. Αυτή η συγχώνευση των πηγών δεδομένων δεν αποτελεί μόνο ένα τεχνολογικό επίτευγμα, αλλά χρησιμεύει επίσης ως ένα ισχυρό αναλυτικό εργαλείο, παρέχοντας στους ενδιαφερόμενους βαθιά γνώση της ροής της κυκλοφορίας και της χρήσης των δημόσιων μεταφορών εντός της πόλης. Η δυνατότητα συνδυασμού αυτών των συνόλων δεδομένων δίνει τη δυνατότητα στους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων να υιοθετήσουν μια προληπτική προσέγγιση, αξιοποιώντας αξιοποιήσιμες πληροφορίες για τη βελτιστοποίηση των στρατηγικών αστικής κινητικότητας αντί να βασίζονται σε αντιδραστικά μέτρα.

Στο ανταγωνιστικό τοπίο της οπτικοποίησης δεδομένων και της ανάλυσης των αστικών μεταφορών, η εφαρμογή αυτή διακρίνεται χάρη στην καινοτόμο ενσωμάτωση ροών δεδομένων και την εστίασή της στην παροχή αναλυτικής αξίας υψηλού αντίκτυπου. Η μοναδική της πρόταση έγκειται στη μετατροπή των ακατέργαστων δεδομένων σε ουσιαστικές γνώσεις, διευκολύνοντας τη βαθύτερη κατανόηση της δυναμικής της μεταφοράς και επιτρέποντας τον στρατηγικό σχεδιασμό για τη βελτίωση της αστικής κινητικότητας.

Χάρη στα ανοιχτά δεδομένα της Metro Transit, μπορέσαμε να αντλήσουμε δυναμικά δεδομένα από τα API, όπως το `'https://svc.metrotransit.org/mtgtfs/vehiclepositions.pb'`, το οποίο παρέχει πληροφορίες για τη θέση των λεωφορείων. Επιπλέον, αξιοποιήσαμε τις ενημερώσεις διαδρομών από το `'https://svc.metrotransit.org/mtgtfs/tripupdates.pb'`, καθώς και τις ειδοποιήσεις για τυχόν αλλαγές από το `'https://svc.metrotransit.org/mtgtfs/alerts.pb'`. Προχωρώντας στα στατικά δεδομένα: `'https://svc.metrotransit.org/mtgtfs/gtfs.zip'`, τα οποία απαρτίζονται από τα data sets:

- Stops
- Stop_times
- Trips
- Agency
- Routes
- Calender_dates
- Calendar
- Shapes

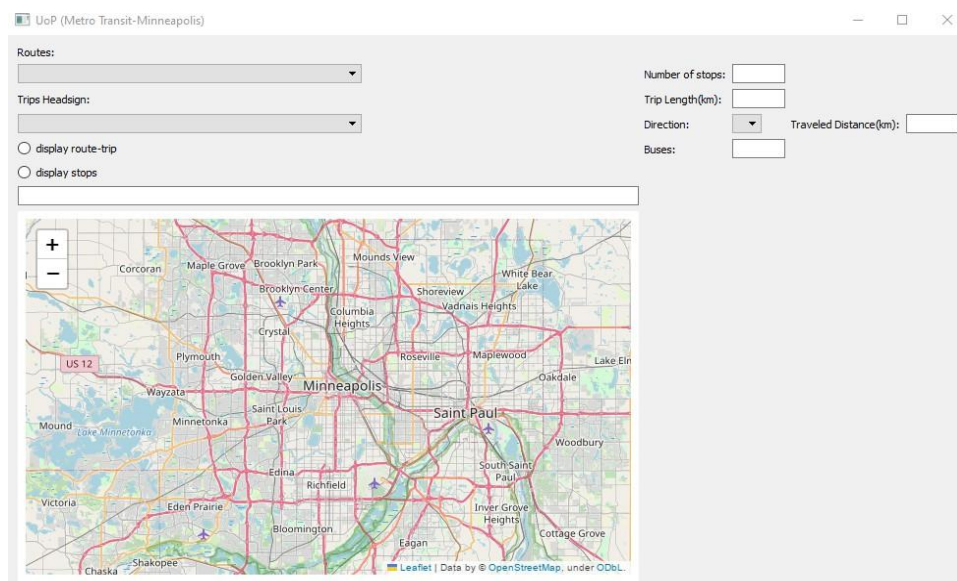
Οι επόμενες ενότητες παρέχουν μια εις βάθος εξέταση των χαρακτηριστικών της εφαρμογής, συμπεριλαμβανομένων των δυνατοτήτων εμπλοκής του χρήστη, των τεχνικών οπτικοποίησης και των αναλυτικών λειτουργιών της. Με την αξιολόγηση αυτών των πτυχών, στόχος είναι να καθιερωθεί η εφαρμογή όχι απλώς ως ένα πρόσθετο εργαλείο για τους πολεοδόμους, αλλά ως ένα κρίσιμο πλεονέκτημα. Γεφυρώνει το χάσμα μεταξύ των ακατέργαστων δεδομένων και των εφαρμόσιμων στρατηγικών, προσφέροντας μια νέα προσέγγιση για την αντιμετώπιση των προκλήσεων της ανάλυσης και του σχεδιασμού των αστικών μεταφορών σε έναν όλο και περισσότερο καθοδηγούμενο από τα δεδομένα.

4.1 Διεπαφή χρήστη και αλληλεπίδραση

Η εφαρμογή παρέχει ένα διαδραστικό περιβάλλον με χάρτη που ενημερώνεται κάθε 15 δευτερόλεπτα, προσφέροντας λεπτομερή και δυναμική απεικόνιση του δικτύου λεωφορείων της πόλης. Με λειτουργικά και αισθητικά σχεδιασμένη διεπαφή, περιλαμβάνει αναπτυσσόμενα μενού, χρωματική κωδικοποίηση και διαδραστικά χαρακτηριστικά που επιτρέπουν την εξερεύνηση διαδρομών και στατιστικών στοιχείων. Ενσωματώνει αριθμητικές ενδείξεις για ακριβή δεδομένα, ενώ παρέχει μηχανισμούς ανατροφοδότησης που εμπλέκουν τους χρήστες στη συνεχή βελτίωσή της. Η εφαρμογή εστιάζει στον προσανατολισμό στον χρήστη, καθιστώντας τα δεδομένα προσβάσιμα και αξιοποιήσιμα για τη βελτιστοποίηση της εμπειρίας των αστικών συγκοινωνιών.

4.1.1. Γραφική αναπαράσταση

Κατά την εκκίνηση η εφαρμογή προσφέρει μια λεπτομερή απεικόνιση του δικτύου λεωφορείων της πόλης. Με βάση τις αρχές της σύγχρονης χαρτογραφίας και της οπτικοποίησης δεδομένων, η διεπαφή έχει σχεδιαστεί ώστε να είναι τόσο λειτουργική όσο και οπτικά ελκυστική. Ο χάρτης ενημερώνεται κάθε 15 δευτερόλεπτα, αντικατοπτρίζοντας τις αλλαγές στην κυκλοφορία των λεωφορείων σε πραγματικό χρόνο και αποτυπώνοντας τη δυναμική φύση των συστημάτων αστικών συγκοινωνιών. Η προσέγγιση αυτή διασφαλίζει ότι οι χρήστες λαμβάνουν μια ακριβή και ενημερωμένη αναπαράσταση του δικτύου μεταφορών, συνδυάζοντας την πρακτικότητα με την αισθητική ελκυστικότητα.



Σχήμα 22. Γραφικό περιβάλλον εφαρμογής.

4.1.2. **Στοιχεία Πλοήγησης**

Κεντρικό ρόλο στη χρηστικότητα της εφαρμογής παίζουν τα στοιχεία πλοήγησης. Καλά δομημένα αναπτυσσόμενα μενού απλοποιούν τη διαδικασία επιλογής διαδρομής και δρομολογίου. Αυτά τα μενού, σχεδιασμένα με σαφήνεια και ακρίβεια, καθοδηγούν τους χρήστες μέσα στον τεράστιο ιστό των διαθέσιμων δρομολογίων, επιτρέποντάς τους να επικεντρωθούν σε συγκεκριμένα δρομολόγια ή να επεκτείνουν την προβολή τους σε πολλαπλές διαδρομές. Ενσωματώνονται συνοδευτικά στοιχεία, συμπεριλαμβανομένης της χρωματικής κωδικοποίησης και της εικονογραφίας, για να βελτιωθεί η ικανότητα του χρήστη να ερμηνεύει αποτελεσματικά τις εμφανιζόμενες πληροφορίες και να ανταποκρίνεται κατάλληλα.

4.1.3. **Διαδραστικό Πλαίσιο**

Πέρα από την παθητική προβολή, η εφαρμογή προωθεί ένα περιβάλλον αλληλεπίδρασης. Οι χρήστες μπορούν να εμβαθύνουν σε συγκεκριμένες διαδρομές λεωφορείων, να διακρίνουν την κατεύθυνση, να αναλύουν τα μήκη των διαδρομών και ακόμη και να εξερευνούν τις αμέτρητες στάσεις που βρίσκονται σε μια διαδρομή. Αυτό το διαδραστικό πλαίσιο είναι ζωτικής σημασίας για την εξυπηρέτηση διαφορετικών προσωπικοτήτων χρηστών. Για έναν καθημερινό μετακινούμενο, παρέχει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για τη βελτιστοποίηση του δρομολογίου του.

4.1.4. **Οθόνες δεδομένων**

Η απεικόνιση με βάση το χάρτη συμπληρώνεται από στρατηγικά τοποθετημένες αριθμητικές ενδείξεις που παρέχουν στους χρήστες βασικές μετρήσεις της μεταφοράς. Αυτές οι οθόνες προσφέρουν ποσοτικές πληροφορίες, όπως οι συνολικές αποστάσεις διαδρομών, ο αριθμός των λεωφορείων που λειτουργούν και άλλα σχετικά στατιστικά στοιχεία. Με την ενσωμάτωση αυτών των αριθμητικών στοιχείων, η εφαρμογή γεφυρώνει το χάσμα μεταξύ των οπτικών αναπαραστάσεων και των αξιοποιήσιμων δεδομένων, ενισχύοντας τόσο την ερμηνευσιμότητα όσο και τις δυνατότητες λήψης αποφάσεων.

4.1.5. **Βρόχοι ανατροφοδότησης**

Αναγνωρίζοντας την αξία της ανατροφοδότησης των χρηστών, η διεπαφή ενσωματώνει μηχανισμούς για τους χρήστες ώστε να αναφέρουν αποκλίσεις, να προσφέρουν προτάσεις ή ακόμη και να μοιράζονται ιδέες. Η προσέγγιση αυτή διασφαλίζει ότι η εφαρμογή παραμένει ακριβής και ενημερωμένη, ενώ παράλληλα ενισχύει την αίσθηση της δέσμευσης της κοινότητας. Με τη συμμετοχή των χρηστών στη συνεχή ανάπτυξη και τελειοποίησή του, το εργαλείο ενθαρρύνει τη συλλογική επένδυση στη συνεχή βελτίωση και αποτελεσματικότητά του.

Βασιζόμενη σε θεμελιώδεις έννοιες που ενδεχομένως παρουσιάστηκαν στο Κεφάλαιο 3, η διεπαφή αυτής της εφαρμογής υπογραμμίζει τη σύνθεση της τεχνολογίας και του σχεδιασμού, των δεδομένων και της αισθητικής, της λειτουργικότητας και της εμπλοκής του χρήστη. Αποτελεί απόδειξη του τρόπου με τον οποίο οι σύγχρονες εφαρμογές, ιδίως σε τομείς τόσο κρίσιμους όσο ο αστικός σχεδιασμός, πρέπει να θέτουν ως προτεραιότητα τον προσανατολισμό στον χρήστη, διασφαλίζοντας ότι τα πολύπλοκα δεδομένα καθίστανται προσβάσιμα, ερμηνεύσιμα και εφαρμόσιμα σε μια ποικίλη βάση χρηστών.

4.2 **Χαρακτηριστικά οπτικοποίησης και ανάλυσης**

Ο ταχύς ρυθμός της αστικής ανάπτυξης αναδεικνύει την ανάγκη για εξελιγμένα εργαλεία οπτικοποίησης ικανά να μεταφράζουν τα ακατέργαστα δεδομένα σε αξιοποιήσιμα συμπεράσματα. Τα εργαλεία αυτά χρησιμεύουν ως κρίσιμος μεσάζων, επιτρέποντας στους ενδιαφερόμενους να ερμηνεύουν πολύπλοκα σύνολα δεδομένων μέσω οπτικά ελκυστικών και κατανοητών μορφών. Η σχέση μεταξύ των δεδομένων και της αναπαράστασής τους επεκτείνεται πέρα από την αισθητική, διαδραματίζοντας καθοριστικό ρόλο στον καθορισμό της αποτελεσματικότητας της εξαγωγής γνώσεων και της πρακτικής εφαρμογής αυτών των γνώσεων.

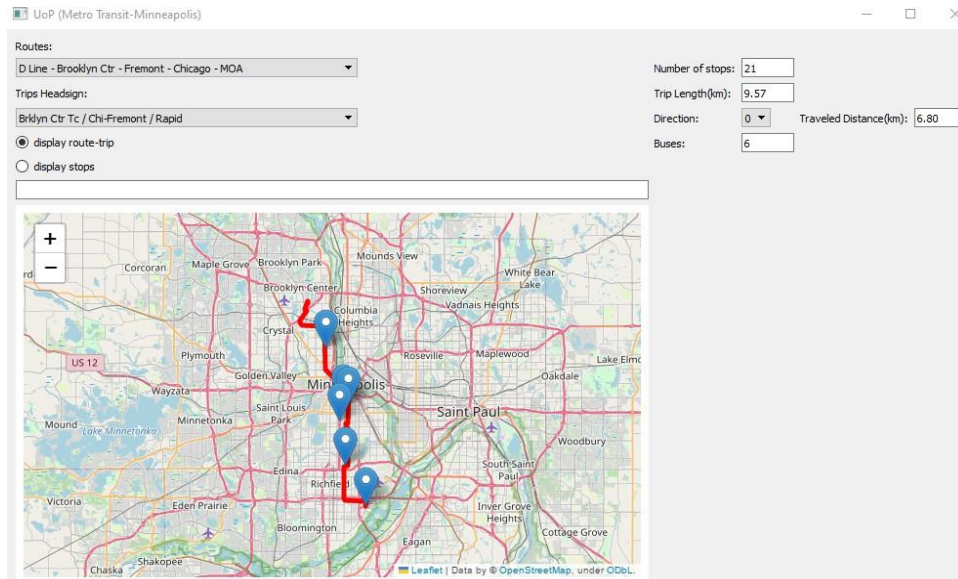
Με βάση τις έννοιες που συζητήθηκαν στο Κεφάλαιο 3, η έλευση των μεγάλων δεδομένων και η αυξανόμενη χρήση ψηφιακών εργαλείων στον αστικό σχεδιασμό σηματοδοτούν μια αλλαγή παραδείγματος από τις παραδοσιακές στατικές απεικονίσεις σε δυναμικές, σε πραγματικό χρόνο και διαδραστικές προσεγγίσεις. Η παρούσα εφαρμογή αποτελεί παράδειγμα αυτής της σύγχρονης μετατόπισης, ενσωματώνοντας προηγμένα χαρακτηριστικά οπτικοποίησης για την υποστήριξη τεκμηριωμένων αποφάσεων και την ενίσχυση των διαδικασιών αστικού σχεδιασμού.

Η εφαρμογή εμφανίζει ένα διαδραστικό περιβάλλον χαρτογράφησης των διαδρομών των λεωφορείων της Metro Transit (Μινεάπολη), με βασικά στοιχεία και δεδομένα:

- Επιλογές Διαδρομής και Προορισμού (Routes, Trip Headings)
- Προβολή Στοιχείων Διαδρομής (Αριθμός στάσεων, συνολικό μήκος διαδρομής, διαλυθείσα απόσταση, αριθμός λεωφορείων στη διαδρομή)
- Αλληλεπιδραστικός Χάρτης (εμφανίζει τις στάσεις, τη διαδρομή του λεωφορείου και το στίγμα του λεωφορείου)
- Επιλογές Προβολής (Υπάρχουν εναλλαγές για προβολή ολόκληρης της διαδρομής (display route-trip) ή μόνο των στάσεων [display stops])

4.2.1. Ζωντανές απεικονίσεις διαδρομών διέλευσης

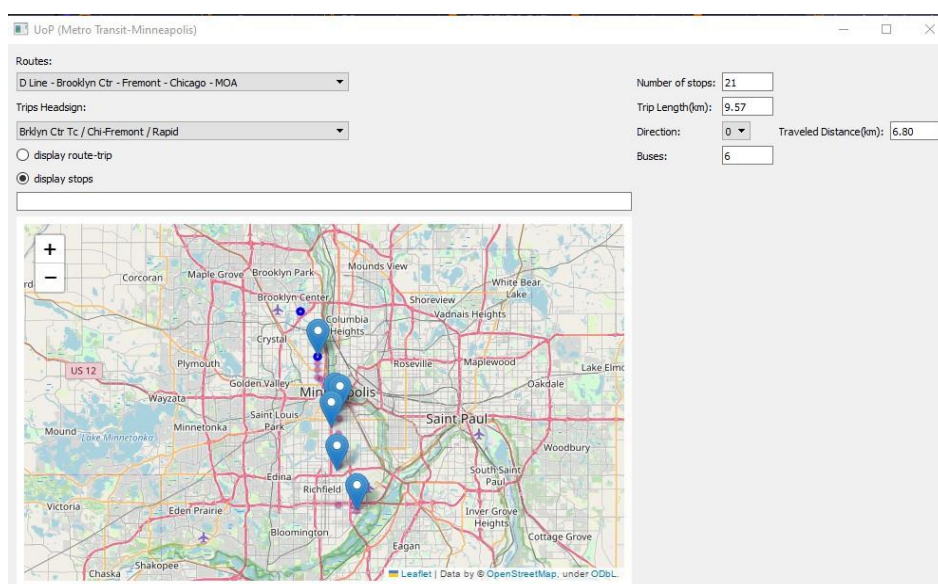
Στο επίκεντρο της σουίτας οπτικοποίησης της εφαρμογής βρίσκεται η ικανότητά της να αναπαριστά γραφικά τις διαδρομές μεταφοράς. Τα διάφορα τμήματα των διαδρομών, με βάση την κατάσταση ολοκλήρωσής τους, κωδικοποιούνται με χρώμα, ενώ τα ολοκληρωμένα τμήματα απεικονίζονται με έντονο κόκκινο χρώμα. Αυτή η επιλογή βασίζεται στην ψυχολογία των χρωμάτων, όπου το κόκκινο, που συχνά συνδέεται με τη δράση, προειδοποιεί άμεσα τον χρήστη (Hilliard, 2013). Η δυναμική προσαρμογή των χρωματικών μοτίβων σε πραγματικό χρόνο παρέχει μια διαισθητική αναπαράσταση των κινήσεων των λεωφορείων, επιτρέποντας στους χρήστες να κατανοήσουν άμεσα τη δυναμική των μεταφορών και τη δραστηριότητα του συστήματος.



Σχήμα 23. Αναπαράσταση διαδρομής με κόκκινη γραμμή με τα μπλε σημεία να αποτελούν τα λεωφορεία.

4.2.2. Καινοτόμος αναπαράσταση στάσεων

Οι στάσεις, οι οποίες χρησιμεύουν ως κρίσιμοι κόμβοι στο δίκτυο διέλευσης, αναπαρίστανται οπτικά χρησιμοποιώντας διαφορετικές αποχρώσεις του μπλε για να ενισχύσουν τη σαφήνεια και τη διαφοροποίηση. Αυτή η χρωματική διαβάθμιση όχι μόνο οριοθετεί τις ολοκληρωμένες από τις επερχόμενες στάσεις, αλλά προσφέρει επίσης διακριτικές υποδείξεις σχετικά με τη συχνότητα των λεωφορείων και τους χρόνους παραμονής σε κάθε στάση. Μια τέτοια διαφοροποιημένη αναπαράσταση είναι ζωτικής σημασίας για τους σχεδιαστές ώστε να εντορίζουν πιθανά σημεία συμφόρησης ή ανεπαρκώς χρησιμοποιούμενα τμήματα του δικτύου.



Σχήμα 24. Οι μπλε κουκίδες αποτελούν τις στάσεις, ενώ οι αχνές κουκίδες αποτελούν εκείνες που έχει περάσει το λεωφορείο ανάλογα με την επιλογή του χρήστη στην κάθε κατεύθυνση.

4.2.3. **Ανάλυση σε βάθος**

Η εφαρμογή υπερβαίνει τις βασικές οπτικοποιήσεις, διευκολύνοντας τη διαδραστική και σε βάθος εξερεύνηση των δεδομένων μεταφοράς. Οι χρήστες μπορούν να αναλύουν λεπτομερώς συγκεκριμένες διαδρομές, καλύπτοντας τις ανάγκες τόσο προηγμένων αναλυτικών εργασιών όσο και περιστασιακών ερευνών. Αυτή η λειτουργικότητα παρέχει μια ολοκληρωμένη κατανόηση του δικτύου μεταφοράς, ενώ παράλληλα ικανοποιεί ποικίλες απαιτήσεις των χρηστών. Επιτρέποντας την προσαρμογή της εμπειρίας προβολής - από την εστιασμένη ανάλυση μεμονωμένων διαδρομών έως τη συνολική προβολή ολόκληρου του δικτύου - η εφαρμογή ανταποκρίνεται αποτελεσματικά σε ποικίλες αναλυτικές και πρακτικές ανάγκες.

4.2.4. **Δυνατότητες αρχειοθέτησης**

Μια σημαντική αλλά συχνά παραγνωρισμένη πτυχή της οπτικοποίησης δεδομένων είναι η ικανότητα ανάλυσης και σύγκρισης δεδομένων σε διαφορετικές χρονικές περιόδους. Η λειτουργία αρχειοθέτησης της εφαρμογής καλύπτει αποτελεσματικά αυτή την ανάγκη, επιτρέποντας στους χρήστες να αποθηκεύουν συγκεκριμένες προβολές και να τις αντιπαραβάλλουν με δεδομένα σε πραγματικό χρόνο ή με δεδομένα που είχαν αρχειοθετηθεί προηγουμένως. Αυτή η λειτουργία υποστηρίζει διαχρονικές μελέτες, επιτρέποντας μια ολοκληρωμένη ανάλυση των αλλαγών και των τάσεων στα πρότυπα διέλευσης με την πάροδο του χρόνου.

4.2.5. **Διαδραστικά επίπεδα και επικαλύψεις**

Επεκτείνοντας τις αρχές της διαδραστικότητας και της προσαρμογής, η εφαρμογή επιτρέπει στους χρήστες να ενσωματώσουν πρόσθετα επίπεδα δεδομένων, όπως δημογραφικές πληροφορίες, πρότυπα χρήσης γης και άλλες αστικές μετρήσεις. Αυτό το χαρακτηριστικό ενισχύει το αναλυτικό βάθος, επιτρέποντας μια ολοκληρωμένη εξέταση του τρόπου με τον οποίο τα συστήματα διέλευσης λεωφορείων αλληλεπιδρούν με την ευρύτερη αστική δυναμική.

Οι λειτουργίες οπτικοποίησης και ανάλυσης της εφαρμογής δεν αποτελούν απλώς τεχνικές υλοποιήσεις, αλλά έχουν σχεδιαστεί σκόπιμα για να αντιμετωπίσουν τις πολυπλοκότητες των δεδομένων αστικής μεταφοράς. Αξιοποιώντας την προηγμένη τεχνολογία παράλληλα με τις αρχές σχεδιασμού με επίκεντρο τον χρήστη, η εφαρμογή μετατρέπει τα ακατέργαστα δεδομένα σε προσβάσιμες και αξιοποιήσιμες γνώσεις. Η προσέγγιση αυτή διασφαλίζει ότι ο αστικός σχεδιασμός και οι διαδικασίες λήψης αποφάσεων ενημερώνονται από αξιόπιστα στοιχεία και μια λεπτή κατανόηση του διασυνδεδεμένου αστικού τοπίου.

4.3 **Ακολουθία εκτέλεσης**

Στο πλαίσιο των ταχέων τεχνολογικών εξελίξεων και της αυξανόμενης εξάρτησης από αστικά περιβάλλοντα με βάση τα δεδομένα, η αλληλουχία εκτέλεσης των εφαρμογών διαδραματίζει κρίσιμο ρόλο. Καθώς τα αστικά συστήματα εξαρτώνται όλο και περισσότερο από την ενσωμάτωση ποικίλων ψηφιακών πλατφορμών και συνόλων δεδομένων, η δομημένη και

αποτελεσματική επεξεργασία των δεδομένων καθίσταται απαραίτητη για τη διασφάλιση της βέλτιστης απόδοσης.

Με βάση τη συζήτηση στο Κεφάλαιο 3, η οποία υπογραμμίζει τη σημασία της ψηφιακής ευχέρειας στον αστικό σχεδιασμό, η αλληλουχία εκτέλεσης χρησιμεύει ως θεμέλιο για τον ορθολογισμό των ροών δεδομένων και την παροχή αποτελεσμάτων σε πραγματικό χρόνο. Η προσέγγιση αυτή όχι μόνο ενισχύει τη λειτουργική αποδοτικότητα, αλλά διασφαλίζει επίσης την αξιοπιστία και την ανταπόκριση του συστήματος, επιτρέποντάς του να ανταποκρίνεται στις δυναμικές απαιτήσεις των σύγχρονων αστικών χώρων.

4.3.1. Αρχική διαμόρφωση - Το θεμέλιο

Το αρχικό βήμα στη ροή εργασιών της εφαρμογής περιλαμβάνει τη διαμόρφωση των απαραίτητων παραμέτρων στο αρχείο `config.properties`. Ενώ αυτή η διαδικασία μπορεί να φαίνεται απλή, είναι μια κρίσιμη θεμελιώδης εργασία που καθορίζει το πλαίσιο για όλες τις επόμενες λειτουργίες. Παρόμοια με τον καθορισμό του σχεδίου για τον πολεοδομικό σχεδιασμό, η ακριβής διαμόρφωση σε αυτό το στάδιο εξασφαλίζει σαφήνεια, κατεύθυνση και αποτελεσματικότητα στην εκτέλεση της εφαρμογής, θέτοντας τις βάσεις για απρόσκοπτη λειτουργία.

4.3.2. Ολοκλήρωση δεδομένων - Η συμβολή

Μετά τη ρύθμιση των παραμέτρων, η εφαρμογή προχωρά στην κρίσιμη εργασία της ενσωμάτωσης δεδομένων. Η διαδικασία αυτή συνδυάζει δεδομένα λεωφορείου σε πραγματικό χρόνο με στατικά σύνολα δεδομένων, δημιουργώντας μια συνεργιστική σχέση που ενισχύει το βάθος και τη χρησιμότητα της ανάλυσης που προκύπτει. Αντλώντας στοιχεία από διεπιστημονικές προσεγγίσεις στον αστικό σχεδιασμό, όπως συζητήθηκε στο κεφάλαιο 3, η ολοκλήρωση αυτή προσφέρει μια δυναμική αναπαράσταση του τρέχοντος συστήματος μεταφοράς, ενώ παράλληλα παρέχει ιστορικό πλαίσιο και αναλυτικό βάθος. Αυτή η ολοκληρωμένη προοπτική διευκολύνει την πληρέστερη κατανόηση των προτύπων μεταφοράς και υποστηρίζει την πιο τεκμηριωμένη λήψη αποφάσεων.

4.3.3. Αρχικοποίηση οπτικοποίησης - Ζωντανεύοντας τα δεδομένα

Μετά τη φάση ολοκλήρωσης των δεδομένων, ενεργοποιείται η ενότητα `data_visualization` για τη μετατροπή των ακατέργαστων δεδομένων σε διαδραστικές και κατανοητές οπτικές αναπαραστάσεις. Η διαδικασία αυτή υπερβαίνει την παραδοσιακή στατική οπτικοποίηση, δημιουργώντας ένα ελκυστικό περιβάλλον όπου τα αριθμητικά δεδομένα και οι μετρήσεις παρουσιάζονται σε μια διαισθητική και φιλική προς τον χρήστη μορφή. Αντανακλώντας τις τάσεις που συζητήθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια, αυτή η δυναμική οπτικοποίηση ευθυγραμμίζεται με τις αρχές του σύγχρονου αστικού σχεδιασμού, δίνοντας έμφαση στη συμμετοχικότητα, τη συμμετοχή των χρηστών και την εστίαση στην ενίσχυση της εμπειρίας του χρήστη.

4.3.4. Ανανέωση σε πραγματικό χρόνο - Ο σφυγμός της πόλης

Ένα από τα χαρακτηριστικά που ξεχωρίζουν στην εφαρμογή και αντικατοπτρίζουν το ευρύτερο θέμα της αστικής ανταπόκρισης σε πραγματικό χρόνο, είναι η περιοδική ανανέωση κάθε 15 δευτερόλεπτα. Η λειτουργία αυτή διασφαλίζει ότι οι χρήστες λαμβάνουν μια δυναμική

αναπαράσταση του δικτύου μεταφορών της πόλης, η οποία αντικατοπτρίζει τις λειτουργίες του σε πραγματικό χρόνο και όχι ένα στατικό στιγμιότυπο. Καθώς ο αστικός σχεδιασμός τονίζει όλο και περισσότερο τη σημασία της ανταπόκρισης σε πραγματικό χρόνο, η λειτουργία αυτή αποτελεί παράδειγμα της μετατόπισης από στατικά πρότυπα σχεδιασμού σε δυναμικά, προσαρμοστικά συστήματα ικανά να αντιμετωπίσουν τις πολυπλοκότητες των σύγχρονων αστικών περιβαλλόντων.

4.3.5. Η ροή εκτέλεσης της εφαρμογής

Η αποτελεσματική λειτουργία της εφαρμογής βασίζεται όχι μόνο στην ακριβή εκτέλεση των επιμέρους βημάτων αλλά και στην απρόσκοπτη ολοκλήρωση των φάσεων της. Αυτή η διασυνδεδεμένη σχέση διασφαλίζει ότι τα διάφορα στοιχεία της εφαρμογής λειτουργούν συντονισμένα για να προσφέρουν μια αδιάλειπτη και συνεκτική εμπειρία χρήσης. Όπως ένα καλά σχεδιασμένο αστικό περιβάλλον όπου οι υποδομές, οι δημόσιοι χώροι και οι χώροι πρασίνου είναι αρμονικά ισορροπημένοι, έτσι και η ακολουθία εκτέλεσης της εφαρμογής ενσωματώνει τις αρχές του ολοκληρωμένου ψηφιακού σχεδιασμού.

Η κάθε φάση συνδέεται με σκοπό με την επόμενη, δημιουργώντας μια δομημένη ροή εργασιών που εξαλείφει πιθανές εμπλοκές ή διαταραχές. Η φάση διαμόρφωσης θέτει τις βάσεις, επιτρέποντας την αποτελεσματική λειτουργία των επόμενων διαδικασιών, όπως η ενσωμάτωση δεδομένων και η οπτικοποίηση. Ο αγωγός επεξεργασίας δεδομένων μεταβαίνει απρόσκοπτα στην ενότητα οπτικοποίησης, διασφαλίζοντας ότι οι πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο δεν είναι μόνο προσβάσιμες, αλλά και παρουσιάζονται με διαισθητικό και φιλικό προς τον χρήστη τρόπο. Αυτός ο συγχρονισμός ενισχύει την ανταπόκριση του συστήματος, επιτρέποντάς του να προσαρμόζεται δυναμικά στις αλλαγές στην εισαγωγή δεδομένων ή στις απαιτήσεις των χρηστών.

Πρωθώντας μια συνεχή και αποτελεσματική ροή μεταξύ των συστατικών της, η εφαρμογή αποδεικνύει τη σημασία του συνεκτικού σχεδιασμού στα ψηφιακά συστήματα. Η προσέγγιση αυτή όχι μόνο βελτιστοποιεί τις επιδόσεις, αλλά υπογραμμίζει επίσης τη σημασία της ανθρωποκεντρικότητας, διασφαλίζοντας ότι οι ενδιαφερόμενοι μπορούν να αντλούν αξιοποιήσιμες πληροφορίες χωρίς να αντιμετωπίζουν καθυστερήσεις ή ασυνέπειες. Μέσω της ολοκληρωμένης ακολουθίας εκτέλεσης, η εφαρμογή αποτελεί παράδειγμα ενός μοντέλου ψηφιακής καινοτομίας που είναι τόσο λειτουργικό όσο και προσαρμοστικό στις πολυπλοκότητες των σύγχρονων συστημάτων δεδομένων.

5. Συμπεράσματα

Οι αστικοί χώροι είναι πολύπλοκες και δυναμικές οντότητες, που εξελίσσονται και αναδιαμορφώνονται συνεχώς ως απάντηση σε ένα πλήθος παραγόντων που κυμαίνονται από τις κοινωνικοοικονομικές αλλαγές έως τις τεχνολογικές εξελίξεις. Οι υποδομές μεταφορών αποτελούν θεμελιώδες στοιχείο του αστικού δυναμισμού, καθώς χρησιμεύουν ως κρίσιμος παράγοντας κινητικότητας και προσβασιμότητας. Το δίκτυο μεταφορών μιας πόλης λειτουργεί ως η σανίδα σωτηρίας της, διευκολύνοντας τη μετακίνηση των κατοίκων, εξασφαλίζοντας την πρόσβαση σε βασικές υπηρεσίες και υποστηρίζοντας την οικονομική δραστηριότητα στην τοπική κοινωνία. Στο πεδίο του αστικού σχεδιασμού, η κατανόηση και η βελτίωση αυτού του περιπλοκού δικτύου αποτελεί μια μόνιμη πρόκληση.

Η εφαρμογή που περιγράφεται στην παρούσα έρευνα αναδεικνύεται ως μια καινοτόμος λύση για την αντιμετώπιση αυτής ακριβώς της πρόκλησης. Ευθυγραμμισμένη με την αρχή ότι "η πληροφορία είναι δύναμη", η εφαρμογή επιδιώκει να ενδυναμώσει τους πολεοδόμους, τις αρχές μεταφορών και τους μετακινούμενους παρέχοντας ένα ολοκληρωμένο εργαλείο για την καλύτερη κατανόηση και πλοήγηση στην πολυπλοκότητα των συστημάτων αστικών λεωφορειακών μεταφορών.

Η εφαρμογή αυτή αναπτύχθηκε με βάση τις προδιαγραφές General Transit Feed Specification (GTFS), ένα ευρέως αναγνωρισμένο πρότυπο για την αναπαράσταση των διαδρομών των δημόσιων μεταφορών και των σχετικών γεωγραφικών πληροφοριών. Τηρώντας αυτό το βιομηχανικό πρότυπο, η εφαρμογή επεκτείνει τη λειτουργικότητά της ενσωματώνοντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο και παρουσιάζοντάς τα σε μια διαισθητική και φιλική προς το χρήστη μορφή. Η ενσωμάτωση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο είναι ιδιαίτερα κρίσιμη, καθώς τα συστήματα αστικών μεταφορών είναι εγγενώς δυναμικά. Οι καθυστερήσεις, οι εκτροπές δρομολογίων και οι διακοπές των υπηρεσιών είναι συνήθη φαινόμενα που απαιτούν επικαιροποιημένες πληροφορίες. Δίνοντας προτεραιότητα στα δεδομένα πραγματικού χρόνου, η εφαρμογή διασφαλίζει ότι οι χρήστες έχουν πρόσβαση στην πιο πρόσφατη και ακριβή αναπαράσταση του δικτύου μεταφορών, ενισχύοντας τόσο τη χρηστικότητα όσο και τις δυνατότητες λήψης αποφάσεων.

Τα παραδοσιακά εργαλεία ανάλυσης μεταφορών συχνά επικεντρώνονται στην προγνωστική ανάλυση, προσπαθώντας να προβλέψουν μελλοντικά μοτίβα με βάση ιστορικά δεδομένα. Ενώ οι παραδοσιακές προσεγγίσεις των δεδομένων μεταφοράς συχνά επικεντρώνονται στις ιστορικές τάσεις και τη μακροπρόθεσμη ανάλυση, μπορεί να παραβλέπουν την αξία της καταγραφής της τρέχουσας κατάστασης του συστήματος. Η παρούσα εφαρμογή αποκλίνει από τέτοιες πρακτικές δίνοντας προτεραιότητα στη δυναμική απεικόνιση των μοτίβων διέλευσης λεωφορείων σε πραγματικό χρόνο. Αυτή η εστίαση στις παρούσες συνθήκες επιτρέπει στις αρχές μεταφορών να παρακολουθούν και να ανταποκρίνονται σε τρέχουσες καταστάσεις, επιτρέποντας άμεσες παρεμβάσεις, όπως προσαρμογές δρομολογίων ή τροποποιήσεις υπηρεσιών με βάση τις επικρατούσες συνθήκες.

Επιπλέον, το τοπίο των αστικών συγκοινωνιών δεν αφορά μόνο τα λεωφορεία που κινούνται σε διαδρομές. Πρόκειται για τους κόμβους που συνδέουν τις στάσεις λεωφορείων. Πρόκειται για τους επιβάτες που μεταφέρουν τους καθημερινούς μετακινούμενους. Πρόκειται για τα μοτίβα που σχηματίζουν τους καθημερινούς ρυθμούς μιας πόλης σε κίνηση. Συνθέτοντας δεδομένα λεωφορείων σε πραγματικό χρόνο με στατικά δεδομένα, αυτή η εφαρμογή δημιουργεί μια ολιστική εικόνα που περικλείει όλες αυτές τις πτυχές. Μέσω της απεικόνισης που παρέχει η εφαρμογή, οι χρήστες αποκτούν μια ολοκληρωμένη κατανόηση της δυναμικής κίνησης και της λειτουργικότητας των συστημάτων αστικών μεταφορών, προσφέροντας

πληροφορίες για τον τρόπο με τον οποίο η πόλη λειτουργεί και προσαρμόζεται σε πραγματικό χρόνο.

Συμπερασματικά, η διασταύρωση της τεχνολογίας και του αστικού σχεδιασμού αποκτά ολοένα και μεγαλύτερη σημασία για τη διαμόρφωση των πόλεων του μέλλοντος. Εργαλεία όπως αυτή η εφαρμογή αναδεικνύουν τις δυνατότητες για τη δημιουργία αστικών χώρων που δεν είναι μόνο λειτουργικά αποδοτικοί αλλά και μελετημένα σχεδιασμένοι ώστε να εναρμονίζονται με τις ανθρώπινες εμπειρίες και τις περιβαλλοντικές εκτιμήσεις. Αξιοποιώντας την αλληλεπίδραση μεταξύ δεδομένων, σχεδιασμού και δυναμικής προσαρμοστικότητας, τέτοιες καινοτομίες θέτουν νέα πρότυπα για την αστική ανάπτυξη, διασφαλίζοντας ότι οι πόλεις θα εξελίσσονται με τρόπους που θα είναι τόσο έξυπνοι όσο και βιώσιμοι.

Βιβλιογραφία

- Abusalim, M. (2020). Accuracy and Effectiveness of GTFS Transit Feeds for Trip Planning in Public Transit Networks. <https://www.marshallplan.at/images/All-Papers/MP-2020/Abusalim+1026.PDF>
- Aemmer, Z., Ranjbari, A., & MacKenzie, D. (2022). Measurement and classification of transit delays using GTFS-RT data. *Public Transport*, 14(2), 263-285.
- Alam, O., Kush, A., Emami, A., & Pouladzadeh, P. (2021). Predicting irregularities in arrival times for transit buses with recurrent neural networks using GPS coordinates and weather data. *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, 12, 7813-7826.
- Barbeau, S. J. (2018, January). Quality control-lessons learned from the deployment and evaluation of GTFS-realtime feeds. In *97th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC*.
- Chondrodima, E., Georgiou, H., Pelekis, N., & Theodoridis, Y. (2022). Particle swarm optimization and RBF neural networks for public transport arrival time prediction using GTFS data. *International Journal of Information Management Data Insights*, 2(2), 100086.
- Chondrodima, E., Georgiou, H., Pelekis, N., & Theodoridis, Y. (2021). Public transport arrival time prediction based on GTFS data. In *International Conference on Machine Learning, Optimization, and Data Science* (pp. 481-495). Cham: Springer International Publishing.
- Elliott, T., & Lumley, T. (2020). Modelling the travel time of transit vehicles in real-time through a GTFS-based road network using GPS vehicle locations. *Australian & New Zealand Journal of Statistics*, 62(2), 153-167.
- Hilliard, B. (2013). Colour psychology. <http://www.seahorsesconsulting.com/DownloadableFiles/ColourPsychology.pdf>.
- Kaeoruean, K., Phithakkitnukoon, S., Demissie, M. G., Kattan, L., & Ratti, C. (2020). Analysis of demand-supply gaps in public transit systems based on census and GTFS data: a case study of Calgary, Canada. *Public Transport*, 12, 483-516.
- Kormáksson, M., Barbosa, L., Vieira, M. R., & Zadrozny, B. (2014, December). Bus travel time predictions using additive models. In *2014 IEEE international conference on data mining* (pp. 875-880). IEEE.
- Li, X., Cottam, A., & Wu, Y. J. (2023). Transit Arrival Time Prediction Using Interaction Networks. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 24(4), 3833-3844.
- Liu, D., Sun, J., & Wang, S. (2020, May). Bustime: Which is the right prediction model for my bus arrival time?. In *2020 5th IEEE International Conference on Big Data Analytics (ICBDA)* (pp. 180-185). IEEE.

- Prommaharaj, P., Phithakkitnukoon, S., Demissie, M. G., Kattan, L., & Ratti, C. (2020). Visualizing public transit system operation with GTFS data: A case study of Calgary, Canada. *Heliyon*, 6(4).
- Singh, N., & Kumar, K. (2022). A review of bus arrival time prediction using artificial intelligence. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*, 12(4), e1457.
- Velasquez Ortiz, R. A., Álvarez Rodríguez, F. J., Vargas Martin, M., & Ponce Gallegos, J. C. (2020). Mapping of the Transportation System of the City of Aguascalientes Using GTFS Data for the Generation of Intelligent Transportation Based on the Smart Cities Paradigm. In *Advances in Emerging Trends and Technologies: Volume 1* (pp. 177-185). Springer International Publishing.
- Wessel, N., Allen, J., & Farber, S. (2017). Constructing a routable retrospective transit timetable from a real-time vehicle location feed and GTFS. *Journal of Transport Geography*, 62, 92-97.
- Wu, J., Du, B., Gong, Z., Wu, Q., Shen, J., Zhou, L., & Cai, C. (2023). A GTFS data acquisition and processing framework and its application to train delay prediction. *International Journal of Transportation Science and Technology*, 12(1), 201-216.