

«Έλεγχος της Κυκλοφορίας υπό Συνθήκες Δυναμικής Φόρτισης με Μεθόδους Ελαχιστοποίησης του Ρίσκου»

Π Ε Ρ Ι Λ Η Ψ Η

Η διδακτορική διατριβή εξετάζει το σύνθετο πρόβλημα της διαχείρισης των δυναμικών φαινομένων της κυκλοφορίας με μεθόδους ελαχιστοποίησης του ρίσκου. Καθημερινά, οι χρήστες ενός μεταφορικού συστήματος βιώνουν διαφορετικά επίπεδα συμφόρησης κατά τη μετακίνησή τους. Οι απώλειες στο χρόνο μετακίνησης λόγω συμφόρησης είναι συνέπεια της δυναμικής αλληλοεξάρτησης της ζήτησης μετακινήσεων που εξυπηρετείται από το σύστημα και επηρεάζονται από τις παραμέτρους που ορίζουν τα χαρακτηριστικά λειτουργίας του.

Ο κύριος στόχος της διατριβής είναι η διερεύνηση και η διατύπωση κατάλληλης συλλογιστικής, μεθόδων και εργαλείων για την αποτελεσματική διαχείριση της κυκλοφορίας και των προβλημάτων συμφόρησης που παρατηρούνται σε αστικά δίκτυα, προσφέροντας μία διαφορετική προσέγγιση στο πρόβλημα μέσω της ανάλυσης και της διαχείρισης του ρίσκου του χρόνου μετακίνησης.

Η προσέγγιση της παρούσας διατριβής διέπεται από τις έννοιες του ρίσκου και της απώλειας του παραγωγικού χρόνου μετακίνησης. Το ρίσκο στο χρόνο μετακίνησης λαμβάνεται ως ο συνδυασμός της απώλειας του παραγωγικού χρόνου λόγω συμφόρησης και της πιθανότητας εμφάνισης αυτής της απώλειας εντός του χρονικού ορίζοντα ανάλυσης των δυναμικών φαινομένων της κυκλοφορίας. Για την μελέτη της απόδοσης του μεταφορικού συστήματος και τη βελτιστοποίηση της σηματοδότησης χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της Υπό Συνθήκη Αξία σε Κίνδυνο (Conditional Value-at-Risk), για την ποσοτικοποίηση και πρόβλεψη του κινδύνου εμφάνισης υψηλών επιπέδων συμφόρησης.

Η ανάγκη για διατύπωση ενός συστήματος που να μπορεί να διαχειρίζεται την πληροφορία, την πολυπλοκότητα των παραμέτρων των πολλαπλών προβλημάτων και την ευρύτητα των εναλλακτικών λύσεων που εμπεριέχονται στη διαχείριση της κυκλοφορίας οδήγησε στην ανάπτυξη ενός Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων. Η προτεινόμενη αρχιτεκτονική δομή του Συστήματος ενσωματώνει την ανάλυση ρίσκου και τη δυναμική μεσοσκοπική ανάλυση των κυκλοφοριακών συνθηκών στα υποσυστήματα που το αποτελούν.

Στην παρούσα διατριβή, το Σύστημα Υποστήριξης Αποφάσεων εξειδικεύεται και η μεθοδολογία εύρεσης βέλτιστης σηματοδότησης ελαχιστοποίησης ρίσκου διατυπώνεται ως βασικό δομικό μέρος του.

Η μεθοδολογία αρχικά ορίζεται στο επίπεδο του μεμονωμένου κόμβου, όπου αναλύεται το συνδυασμένο πρόβλημα της εύρεσης βέλτιστων φάσεων και χρόνων σηματοδότησης σταθερού χρόνου ως προγνωστικό εργαλείο εκτός σύνδεσης (offline) για την ελαχιστοποίηση του ρίσκου της μετακίνησης με μεσοσκοπική προσέγγιση. Παρουσιάζεται το μοντέλο ελαχιστοποίησης του ρίσκου για την περίπτωση του μεμονωμένου κόμβου, καθώς και το μοντέλο εκτίμησης της καθυστέρησης όπως ορίζεται στο Highway Capacity Manual 2010. Προτείνεται η χρήση δύο εναλλακτικών αλγορίθμων αναζήτησης λύσεων του προβλήματος, του ευρέως διαδεδομένου γενετικού αλγορίθμου και του αλγορίθμου διεσπαρμένης αναζήτησης, που προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα στη διαδικασία επίλυσης.

Σε επίπεδο συντονισμένου δικτύου διατυπώνεται το ευρύτερο πρόβλημα εύρεσης σηματοδότησης δικτύου με κριτήριο την ελαχιστοποίηση του ρίσκου ως προγνωστικό υποσύστημα εκτός σύνδεσης και ως υποσύστημα απευθείας σύνδεσης, που εντάσσεται στο υποσύστημα σχεδιασμού στρατηγικών διαχείρισης κυκλοφορίας του προτεινόμενου Συστήματος Υποστήριξης Αποφάσεων. Αναλύεται και περιγράφεται με λεπτομέρεια το μοντέλο ρίσκου για την ανάλυση της απόδοσης του δικτύου μέσω

δυναμικής μεσοσκοπικής προσομοίωσης, το μοντέλο ελαχιστοποίησης του ρίσκου για την εύρεση των βέλτιστων ρυθμίσεων σηματοδότησης, ο αλγόριθμος αναζήτησης λύσεων και οι αντικειμενικές συναρτήσεις του προβλήματος βελτιστοποίησης. Η επίλυση του προβλήματος πραγματοποιείται μέσω του γενετικού αλγορίθμου πολλαπλών αντικειμενικών συναρτήσεων, με τη μία αντικειμενική συνάρτηση να αφορά στη μεσοσκοπική εκτίμηση της καθυστέρησης όλων των σηματοδοτούμενων κόμβων του δικτύου και τη δεύτερη να αφορά στο συντονισμό των σηματοδοτούμενων κόμβων, χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές προσεγγίσεις.

Η προτεινόμενη μεθοδολογία εύρεσης της βέλτιστης σηματοδότησης ελαχιστοποίησης ρίσκου σε μεσοσκοπικό επίπεδο εφαρμόστηκε στην περίπτωση του μεμονωμένου κόμβου και στην περίπτωση του σηματοδοτούμενου δικτύου, χρησιμοποιώντας υποδείγματα της βιβλιογραφίας. Η υλοποίηση της μεθοδολογίας πραγματοποιήθηκε αλγοριθμικά σε περιβάλλον MATLAB. Στην περίπτωση του μεμονωμένου κόμβου εξετάστηκαν διαφορετικοί αλγόριθμοι επίλυσης του προβλήματος της σηματοδότησης ως προς την ταχύτητα και την ακρίβεια της προκύπτουσας λύσης, ενώ πραγματοποιήθηκε και σύγκριση εναλλακτικών αντικειμενικών συναρτήσεων που χρησιμοποιούνται για την εύρεση της βέλτιστης λύσης. Στο πλαίσιο της ανάλυσης των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε επαλήθευση της εκτιμώμενης καθυστέρησης του κόμβου με μικροσκοπική προσέγγιση, χρησιμοποιώντας το λογισμικό AIMSUN.

Στην περίπτωση του σηματοδοτούμενου δικτύου οι προτεινόμενες προσεγγίσεις ελαχιστοποίησης του ρίσκου με μεσοσκοπική προσέγγιση εφαρμόστηκαν και συγκρίθηκαν με τα αποτελέσματα που παρέχονται από τη χρήση του λογισμικού TRANSYT-7F σε τρία επίπεδα ζήτησης, ενώ πραγματοποιήθηκε και σύγκριση με προσεγγίσεις της βιβλιογραφίας που αντιμετωπίζουν το πρόβλημα επικεντρώνοντας μόνο στην ώρα αιχμής και όχι στην εξέταση της χρονικής εξέλιξης του φαινομένου της ζήτησης και της προκύπτουσας καθυστέρησης. Ο δυναμικός μεσοσκοπικός καταμερισμός της ζήτησης στο δίκτυο πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό AIMSUN.

Επιπλέον, διερευνήθηκε η αξιοπιστία της προτεινόμενης μεθοδολογίας ελαχιστοποίησης ρίσκου μέσω της ανάλυσης ευαισθησίας διαφορετικών επιπέδων ζήτησης και συμβάντων. Διερευνήθηκε έτσι το κατά πόσο ένα πρόγραμμα σηματοδότησης σχεδιασμένο και βελτιστοποιημένο με την ελαχιστοποίηση της Υπό Συνθήκη σε Κίνδυνο είναι ικανό να προσφέρει στους χρήστες μικρότερο κίνδυνο να βιώσουν υψηλότερες τιμές καθυστερήσεων.

Επιπρόσθετα, η προτεινόμενη προσέγγιση εύρεσης βέλτιστης σηματοδότησης δικτύου ελαχιστοποίησης του ρίσκου εφαρμόστηκε και στην περίπτωση της απευθείας σύνδεσης προσαρμοστικού ελέγχου. Πραγματοποιήθηκε σύγκριση σε επιλεγμένα σενάρια με τα αποτελέσματα της αντίστοιχης προσέγγισης ελαχιστοποίησης του ρίσκου σταθερού χρόνου, αλλά και με τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του TRANSYT-7F ως μέθοδος σταθερού χρόνου και προσαρμοστικού ελέγχου.

Από την εφαρμογή τόσο στο επίπεδο του μεμονωμένου κόμβου όσο και στο επίπεδο του συντονισμένου δικτύου, διαπιστώθηκε ότι η προσέγγιση της ανάλυσης της εξέλιξης των φαινομένων συμφόρησης για εκτεταμένο χρονικό διάστημα, και η εισαγωγή της ανάλυσης του ρίσκου στη διαχείριση της κυκλοφορίας παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Συγκεκριμένα, διαπιστώθηκε ότι περιορίζεται το ρίσκο του χρόνου μετακίνησης και το ρίσκο εμφάνισης υψηλών διακυμάνσεων της συμφόρησης. Επιπλέον διαπιστώθηκε ότι με την προτεινόμενη προσέγγιση παρατηρείται συνολικά μία καλύτερη λειτουργία του συστήματος (κόμβος και δίκτυο), δηλαδή και η συνολική καθυστέρηση όλων των οχημάτων σε όλη τη χρονική περίοδο ανάλυσης είναι καλύτερη. Η ανάλυση των μεθοδολογιών και τα αποτελέσματα των εφαρμογών τους καλύπτουν τον κύριο στόχο της διατριβής, αναπτύσσοντας

αλγοριθμικές διαδικασίες, μεθόδους και εργαλεία για την αποτελεσματική διαχείριση της κυκλοφορίας και των προβλημάτων συμφόρησης αστικών δικτύων. Συνολικά, η διατριβή διαπιστώνεται ότι συνέβαλλε στην ανάλυση του προβλήματος μέσω μίας διαφορετικής προσέγγισης που δεν έχει χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν ενισχύοντας τις μεθόδους ανάλυσης των κυκλοφοριακών δικτύων και τις μεθόδους βελτιστοποίησης της διαχείρισης της κυκλοφορίας μέσω της ανάλυσης και διαχείρισης του ρίσκου. Η διατριβή εξέτασε ένα θέμα που έχει τόσο ερευνητικό όσο και πρακτικό ενδιαφέρον και η συμβολή της δύναται να μεγιστοποιηθεί εάν οι μέθοδοι και οι διαδικασίες που διατυπώθηκαν εφαρμοστούν σε πραγματικές συνθήκες ανάλυσης και διαχείρισης δικτύων, βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής των χρηστών του μεταφορικού συστήματος και συμβάλλοντας θετικά στην οικονομία και στο περιβάλλον.

Η διατριβή εξετάζει ένα θέμα που έχει τόσο ερευνητικό όσο και πρακτικό ενδιαφέρον. Από τα αποτελέσματα των εφαρμογών, προκύπτει ότι η συμβολή της διατριβής δύναται να μεγιστοποιηθεί, εάν οι μεθοδολογίες και οι διαδικασίες που διατυπώνονται εφαρμοστούν σε πραγματικές συνθήκες ανάλυσης και διαχείρισης δικτύων, βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής των χρηστών του συστήματος και συμβάλλοντας θετικά στην οικονομία και στο περιβάλλον.

Δημοσιεύσεις στο πλαίσιο της Διδακτορικής Διατριβής

Εργασίες σε επιστημονικά περιοδικά:

1. Papatzikou, E., & Stathopoulos, A. (2018). Decision Support System for Network Traffic Control Risk Management. *International Journal of Scientific and Engineering Research*, Volume 9, Issue 10, October 2018.
2. Papatzikou, E., & Stathopoulos, A. (2018). Rapid Algorithm for Finding the Best Combination of Signaling Phases using Optimization Methods. *International Journal of Transportation Science and Technology*, ISSN 2046-0430, <https://doi.org/10.1016/j.ijst.2018.10.005>.
3. Papatzikou, E. & Stathopoulos, A. (2015). An optimization method for sustainable traffic control in urban areas. *Transportation Research- Part C: Emerging Technologies*, Volume 55, 179-190.

Εργασίες σε πρακτικά συνεδρίων:

4. Papatzikou E., Stathopoulos A., Papadakos P. (2017). Integrated Risk Management for Traffic Control Improvement. *Proc., 8th Congress on Transportation Research in Greece, Thessaloniki*
5. Papatzikou E., & Stathopoulos A. (2017) Conditional value-at-risk optimization of traffic control at isolated intersection. In *Models and Technologies for Intelligent Transportation Systems (MT-ITS)*, 2017 5th IEEE International Conference (627-632). IEEE.
6. Papatzikou, E., Stathopoulos, A. Papadakos, P. (2014). Testing Traffic Control Strategies in Gaborone Using Dynamic Traffic Assignment Tools. *Proc., 19th World Congress, IFAC'14. Cape Town, South Africa.*
7. Papatzikou, E. & Stathopoulos, A. (2013). Investigating dynamic traffic assignment using a mesoscopic approach. *Proc., 6th Congress on Transportation Research in Greece. Thessaloniki.*

8. Papatzikou, E. & Stathopoulos, A. (2013). Value-at-Risk Assessment of Dynamic Network Loading. Proc., IFAC Workshop on Advances in Control and Automation Theory for Transportation Applications, ACATTA 2013. Istanbul, Turkey.
9. Papatzikou, E. & Stathopoulos, A. (2013). Risk Assessment of the Stability Properties of the Dynamic Network Loading. Proc., 92nd Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, D.C.
10. Papatzikou, E. & Stathopoulos, A. (2012). A Dynamic Traffic Assignment Measure of Stability Based on Network Efficiency. Proc., 13th IFAC Symposium on Control in Transportation Systems.
11. Papatzikou, E., Dimitriou, L., Stathopoulos, A. (2011). An Application-Oriented Comparative Analysis Of Alternative Network Demand Assignment Methods Regarding Energy Consumption And Environmental Factors, Proc., HKSTS, Hong Kong.