



Σχολή Θετικών Επιστημών & Τεχνολογίας

Μεταπτυχιακή Εξειδίκευση στα Πληροφοριακά Συστήματα

Διπλωματική Εργασία

Δυναμική Δρομολόγηση Ηλεκτρικών Οχημάτων με Αξιοποίηση Δεδομένων OBD και Πολυκριτηριακή Βελτιστοποίηση

Μακρής Αλέξανδρος

Επιβλέπων καθηγητής: Καψάλης Βασίλειος

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.



Δυναμική Δρομολόγηση Ηλεκτρικών Οχημάτων με Αξιοποίηση Δεδομένων OBD και Πολυκριτηριακή Βελτιστοποίηση

Μακρής Αλέξανδρος

Επιτροπή Επίβλεψης Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

Καψάλης Βασίλειος

Καθηγητής Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών

Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής:

Καστανιώτης Δημήτριος

Μέλος ΣΕΠ, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Πάτρα, Σεπτέμβριος 2026

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται την ανάπτυξη ενός συστήματος δυναμικής δρομολόγησης ηλεκτρικών οχημάτων με βελτιστοποίηση στρατηγικών φόρτισης. Το σύστημα στοχεύει στην αντιμετώπιση των κύριων προκλήσεων της ηλεκτροκίνησης όπως την περιορισμένη αυτονομία και την ανάγκη για έξυπνη διαχείριση της ενέργειας. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω ενός ολοκληρωμένου υπολογιστικού πλαισίου που συνδυάζει μοντελοποίηση φυσικής, αλγοριθμική βελτιστοποίηση και δυναμική επαναδρομολόγηση σε πραγματικό χρόνο.

Για τον υπολογισμό της ενεργειακής κατανάλωσης υιοθετείται το μικροσκοπικό μοντέλο φυσικής VT-CPEM, το οποίο λαμβάνει υπόψη τις δυνάμεις έλξης, την κλίση του δρόμου, την αεροδυναμική αντίσταση και την κατανάλωση του συστήματος κλιματισμού συναρτήσει της εξωτερικής θερμοκρασίας. Το οδικό δίκτυο αναπαρίσταται ως State-Expanded Graph εμπλουτισμένο με υψομετρικά δεδομένα Copernicus DEM GLO-30 και δεδομένα σταθμών φόρτισης από το OpenChargeMap, αποθηκευμένο τοπικά σε αρχεία GraphML ανά Περιφερειακή Ενότητα για βέλτιστη απόδοση κατά τον χρόνο εκτέλεσης.

Ο αλγόριθμος δρομολόγησης βασίζεται σε έναν Label Setting αλγόριθμο που επιλύει το πρόβλημα MOSP-RC (Multi-Objective Shortest Path with Resource Constraints), ενσωματώνοντας ταυτόχρονα τρία κριτήρια βελτιστοποίησης: το χρόνο μετακίνησης, το επίπεδο φόρτισης και το οικονομικό κόστος. Η παραπάνω προσέγγιση ανήκει στο φάσμα των πολυκριτηριακών Label Setting αλγορίθμων (Martins, 1984) ενώ προστίθεται επιπλέον και ευρετική καθοδήγηση A* (Mandow & Pérez-de-la-Cruz, 2005, 2010). Ακόμα, εφαρμόζονται τεχνικές μείωσης πολυπλοκότητας που θυσιάζουν τη θεωρητική βέλτιστη λύση κατά Pareto προς όφελος της υπολογιστικής απόδοσης σε πραγματικό χρόνο.

Το σύστημα ενσωματώνει μηχανισμό δυναμικής επαναδρομολόγησης που ανιχνεύει αποκλίσεις μεταξύ εκτιμώμενης και πραγματικής κατανάλωσης και εκκινεί αυτόματα νέο υπολογισμό διαδρομής όταν η απόκλιση υπερβεί το 5% SoC. Η επικοινωνία μεταξύ εξυπηρετητή και εφαρμογής κινητού πραγματοποιείται μέσω REST API και WebSocket, ενώ για την επαλήθευση του συστήματος υλοποιήθηκε αρχιτεκτονική Hardware-in-the-Loop με πραγματικό πρωτόκολλο OBD-II μέσω Bluetooth.

Η πειραματική αξιολόγηση πραγματοποιήθηκε σε οδικό δίκτυο εννέα Περιφερειακών Ενοτήτων της Ηπείρου, της Θεσσαλίας και Δυτικής Μακεδονίας, περιοχών με έντονη ορεινή μορφολογία που καθιστά κρίσιμη την ακριβή εκτίμηση κατανάλωσης.

Λέξεις – Κλειδιά

Δρομολόγηση Ηλεκτρικών Οχημάτων, Label Setting, RCSP, VT-CPEM, Δυναμική Επαναδρομολόγηση, OBD-II, Βελτιστοποίηση Φόρτισης

Dynamic Routing of Electric Vehicles Using OBD Data and Multi-Objective Optimization

Makris Alexandros

Abstract

This thesis presents the development of a dynamic routing system for electric vehicles with optimized charging strategies. The system aims to tackle the key challenges of electric mobility, such as limited range and the need for intelligent energy management. This is achieved through a comprehensive computational framework that combines physics-based modeling, algorithmic optimization, and real-time dynamic re-routing.

Energy consumption is computed using the VT-CPEM microscopic physics model, accounting for traction forces, road gradient, aerodynamic drag, and HVAC system consumption as a function of ambient temperature. The road network is represented as a State-Expanded Graph enriched with elevation data from Copernicus DEM GLO-30 and charging station data from OpenChargeMap, stored locally as GraphML files per regional unit to ensure optimal runtime performance.

The routing algorithm is based on a Heuristic Label Setting approach that solves the MOSP-RC (Multi-Objective Shortest Path with Resource Constraints) problem, simultaneously optimizing three criteria: travel time, battery state of charge, and monetary cost. The balance between speed and economy is controlled by a user-defined parameter α . Ten pruning mechanisms were implemented to manage computational complexity, including Fuzzy Domination and Directional Penalty, inspired by the NWRCA algorithm.

The system incorporates a dynamic rerouting mechanism that detects deviations between estimated and actual energy consumption via a Telemetry Engine, automatically triggering a new route calculation when the deviation exceeds 5% SoC. Communication between the backend

and mobile app is handled via REST API and WebSocket. For system validation, a Hardware-in-the-Loop architecture was implemented using the real OBD-II protocol over Bluetooth.

Experimental evaluation was conducted on the road network of nine Regional Units, regions characterized by mountainous terrain that makes accurate consumption estimation particularly critical.

Keywords

Electric Vehicle Routing, Label Setting Algorithm, RCSP, VT-CPEM, Dynamic Rerouting, OBD-II, Charging Optimization

Βιβλιογραφία

- Ahmadi, S., Bulinska, K., & Mądział, M. (2020). Macroscopic and microscopic emission models for electric and hybrid vehicles: A review. *Energies*, 13(21), 5828.
- Ahmadi, S., Raith, A., & Jalili, M. (2025). A Fast and Simple Algorithm for the Resource Constrained Shortest Path Problem. *33rd Annual European Symposium on Algorithms (ESA 2025), LIPIcs, Vol. 351*, pp. 97:1–97:15. Schloss Dagstuhl – Leibniz-Zentrum für Informatik.
- Ahmadi, S., Tack, G., Harabor, D., Kilby, P., & Jalili, M. (2024). Real-time energy-optimal path planning for electric vehicles. *Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling (ICAPS)*.
- Artmeier, A., Haselmayr, J., Leucker, M., & Sachenbacher, M. (2010). The optimal routing problem in the context of battery-powered electric vehicles. *Proceedings of the 1st International Conference on Green Computing*, 1158-1163.
- Berjoza, D., Pirs, V., & Jurgena, I. (2017). Research into the regenerative braking of an electric car in urban driving. *Proceedings of the 16th International Scientific Conference: Engineering for Rural Development*, 1171-1178.
- Baum, M., Dibbelt, J., Gamsa, A., Wagner, D., & Zündorf, T. (2019). Shortest feasible paths with charging stops for battery electric vehicles. *Transportation Science*, 53(6), 1627–1655.
- Baum, M., Dibbelt, J., Pajor, T., Sauer, J., Wagner, D., & Zündorf, T. (2020). Energy-optimal routes for battery electric vehicles. *Algorithmica*, 82(5), 1490–1546.
- De Cauwer, C., Van Mierlo, J., & Coosemans, T. (2015). Energy consumption prediction for electric vehicles based on real-world data. *Energies*, 8(8), 8573–8593.
- Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, 1(1), 269-271.
- Erdelić, T., & Carić, T. (2019). A survey on the electric vehicle routing problem: Variants and solution approaches. *Journal of Advanced Transportation*, 2019.
- Evtimov, I., Ivanov, R., & Sapundzhiev, G. (2020). Auxiliary energy consumption of electric vehicles. *Transport*, 35(4), 391-401.

- Fiori, C., Ahn, K., & Rakha, H. A. (2016). Power-based electric vehicle energy consumption model: Model development and validation. *Applied Energy*, 168, 257-268.
- Gandibleux, X., Beugnies, F., & Randriamasy, S. (2006). Martins' algorithm revisited for multi-objective shortest path problems with a MaxMin cost function. *4OR*, 4(1), 47-59.
- Google. Use eco-friendly routes on your Google Maps app. Google Maps Help. Ανακτήθηκε 5 Σεπτεμβρίου 2026, από <https://support.google.com/maps/answer/11470237>
- Google. (2026). Google Maps simplifies battery predictions and trip planning for 350+ Android Auto EV models. The Keyword. <https://blog.google/products-and-platforms/products/maps/google-maps-simplifies-battery-predictions-and-trip-planning-for-350-android-auto-ev-models/>
- Guo, J., Liu, H., Liu, T., Song, G., & Guo, B. (2024). The multi-objective shortest path problem with multimodal transportation for emergency logistics. *Mathematics*, 12(17), 2615.
- Hansen, P. (1980). Bicriterion path problems. In G. Fandel & T. Gal (Eds.), *Multiple Criteria Decision Making Theory and Application (Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, Vol. 177, pp. 109-127). Springer.
- Hart, P. E., Nilsson, N. J., & Raphael, B. (1968). A Formal Basis for the Heuristic Determination of Minimum Cost Paths. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, 4(2), 100-107.
- Iternio Planning AB. (2026a). *A Better Routeplanner* [Αρχική σελίδα]. Αναλήθηκε 5 Σεπτεμβρίου 2026, από <https://abetterrouteplanner.com/home>
- Iternio Planning AB. (2026b). API documentation. *A Better Routeplanner*. Αναλήθηκε 5 Σεπτεμβρίου 2026, από <https://abetterrouteplanner.com/resources/api>
- Iternio Planning AB (2026c). Premium. *A Better Routeplanner*. Αναλήθηκε 6 Σεπτεμβρίου 2026, από <https://abetterrouteplanner.com/premium>
- Irnich, S., & Desaulniers, G. (2005). Shortest path problems with resource constraints. In *Column Generation* (pp. 33-65). Springer, Boston, MA.
- Johnson, D. B. (1977). Efficient algorithms for shortest paths in sparse networks. *Journal of the ACM (JACM)*, 24(1), 1-13.
- Kambly, K., & Bradley, T. H. (2015). Estimating the HVAC energy consumption of plug-in electric vehicles. *Journal of Power Sources*, 275, 699-708.

- Keskin, M., & Çatay, B. (2016). Partial recharge strategies for the electric vehicle routing problem with time windows. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 65, 111-127.
- Kim, T., Song, W., Son, D. Y., Ono, L. K., & Qi, Y. (2019). Lithium-ion batteries: Outlook on present, future, and hybridized technologies. *Journal of Materials Chemistry A*, 7(7), 2942-2964.
- Larminie, J., & Lowry, J. (2012). *Electric vehicle technology explained (2nd ed.)*. John Wiley & Sons.
- Madow, L., & Pérez-de-la-Cruz, J. L. (2005). A new approach to multiobjective A* search. In *Proceedings of the 19th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI'05)* (pp. 218–223).
- Madow, L., & Pérez-de-la-Cruz, J. L. (2010). Multiobjective A* search with consistent heuristics. *Journal of the ACM*, 57(5), 1–25.
- Martins, E. Q. V. (1984). On a multicriteria shortest path problem. *European Journal of Operational Research*, 16(2), 236-245.
- Meyer, J., Böttcher, C. J., & Kreyenberg, D. (2018). Impact of the HVAC system on the range of an electric vehicle. In E. Amzallag (Ed.), *Electric Vehicle Systems Architecture* (pp. 45-56).
- Miah, S., et al. (2023). Review of electric vehicle charging technologies, standards, architectures, and converter configurations. *IEEE Access*, 11, 42123-42145.
- Miri, I., Fotouhi, A., & Ewin, N. (2021). Electric vehicle energy consumption modelling and estimation—A case study. *International Journal of Energy Research*.
- Montoya, A., Guéret, C., Mendoza, J. E., & Villegas, J. G. (2017). The electric vehicle routing problem with nonlinear charging function. *Transportation Research Part B: Methodological*, 103, 87-110.
- Othman, B., De Nunzio, G., Di Domenico, D., & Canudas-de-Wit, C. (2019). Ecological traffic management: A review of the modeling and control strategies for improving environmental sustainability of road transportation. *IFP Energies Nouvelles*.
- Pelletier, S., Jabali, O., & Laporte, G. (2017). Goods distribution with electric vehicles: Review and research perspectives. *Transportation Science*, 51(1), 3-22.

- Pillac, V., Gendreau, M., Guéret, C., & Medaglia, A. L. (2013). A review of dynamic vehicle routing problems. *European Journal of Operational Research*, 225(1), 1-11.
- Sachenbacher, M., Leucker, M., Artmeier, A., & Haselmayr, J. (2011). The shortest path problem revisited: Optimal routing for electric vehicles. *KI 2011: Advances in Artificial Intelligence*, 292-303.
- Schneider, M., Stenger, A., & Goeke, D. (2014). The electric vehicle-routing problem with time windows and recharging stations. *Transportation Science*, 48(4), 500-520.
- Shahjalal, M., Shams, T., Tasnim, M. N., Ahmed, M. R., Ahsan, M., & Haider, J. (2022). A critical review on charging technologies of electric vehicles. *Energies*, 15(21), 8239.
- Varga, B. O., Sagoian, A., & Mariasiu, F. (2019). Prediction of electric vehicle range: A comprehensive review of current issues and challenges. *Energies*, 12(9), 1734.
- Xu, Y. (2021). Electric vehicle routing problem: A review of recent approaches and algorithms. *Journal of Physics: Conference Series*.
- Zhao, G., Wang, X., & Negnevitsky, M. (2022). Connecting battery technologies for electric vehicles from battery materials to management. *iScience*, 25(2), 103744.