

Ανάπτυξη Διαδικτυακής Εφαρμογής με Στόχο τη Βέλτιστη Σειρά Επίσκεψης του Χρήστη/Πελάτη Σε Καταστήματα Παροχής Υπηρεσιών Με Ουρές

Χ. Παππάς

Πτυχιούχος Γεωπληροφορικός/Τοπογράφος

Η. Γκρίνιας*

Δρ. Επιστήμης Υπολογιστών

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ & Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής ΤΕ, Τ.Ε.Ι. Κεντρικής Μακεδονίας

Τέρμα Μαγνησίας, 62124 Σέρρες - ΕΛΛΑΣ

Τηλ.: +302321049394, Φαξ: +302321049107, e-mail: grinias@teiser.gr (*)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Η παρούσα εργασία αναφέρεται στη σχεδίαση και υλοποίηση διαδικτυακής εφαρμογής με στόχο τον υπολογισμό της βέλτιστης σειράς επίσκεψης του χρήστη της σε έναν αριθμό καταστημάτων παροχής υπηρεσιών με ουρές (υποκαταστήματα τραπεζών, ταχυδρομεία κ.α.) και την οπτικοποίηση της βέλτιστης αυτής διαδρομής πάνω στο χάρτη. Η εφαρμογή υπολογίζει τη βέλτιστη σειρά επίσκεψης ελαχιστοποιώντας το συνολικό εκτιμώμενο (προβλεπόμενο) χρόνο τόσο της διαδρομής από το ένα κατάστημα στο άλλο, όσο και αυτόν της εξυπηρέτησης του χρήστη/πελάτη από το κάθε κατάστημα. Το συγκεκριμένο πρόβλημα είναι το, κλασσικό στη Θεωρία Γράφων, Ασύμμετρο Πρόβλημα του Πλανόδιου (ή Περιοδεύοντος) Πωλητή (ΑΠΠΠ), αλλά με χρονικά μεταβαλλόμενες αποστάσεις (βάρους ή κόστος) μεταξύ των κόμβων-καταστημάτων, γεγονός που επιτείνει τη γνωστή δυσκολία (hardness) επίλυσης του προβλήματος ακόμα και για σχετικά μικρό αριθμό κόμβων επίσκεψης. Λόγω της μη ελεύθερης πρόσβασης στα πραγματικά δεδομένα ουρών των καταστημάτων παροχής υπηρεσιών στον Ελλαδικό χώρο, προσομοιώθηκε στον υπολογιστή η λειτουργία της ουράς εξυπηρέτησης για το καθένα κατάστημα χωριστά, ενώ αντίθετα, η εκτίμηση της χρονικής απόστασης μεταξύ των καταστημάτων γίνεται με κλήσεις συναρτήσεων του JavaScript Google Maps Directions API.

Λέξεις Κλειδιά: Ασύμμετρο Πρόβλημα Πλανόδιου Πωλητή (ΑΠΠΠ), Branch and Bound, Χρονικά Μεταβαλλόμενες Αποστάσεις, Θεωρία Ουρών, Προσομοίωση Λειτουργίας Ουρών, Πρόβλεψη Χρόνου Εξυπηρέτησης, Google Maps Directions API, Google Maps API, Ext, PostgreSQL

ABSTRACT: This work refers to the design and implementation of a web application which computes the optimal tour in a number of stores/offices providing services with queues (bank branches, post offices e.t.c.) and visualizes the results on the map. The application calculates the optimal tour minimizing the total estimated (predicted) time of the path from one office to another as well as that of client's waiting/service at each store. The

problem is the well known in Graph Theory Asymmetric Traveling Salesman Problem (ATSP), but with time varying distances (weights or costs) between the nodes-stores, a fact that accentuates the well known computational hardness in solving ATSP, even for a small number of nodes. Due to the non-open access to the real data of service queues in Greece, the operation of the queue was simulated on the computer for each store separately. By contrary, routing times between stores are provided by Google Maps Directions using their JavaScript API.

Keywords: Asymmetric Traveling Salesman Problem (ATSP), Branch and Bound, Time Varying Distances, Queue Theory, Waiting Queue Simulation, Waiting Time Prediction, Google Maps Directions API, Google Maps API, Ext, PostgreSQL

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι δημόσιες και μη υπηρεσίες που εξυπηρετούν καθημερινά τους πολίτες με υλικά ή πνευματικά αγαθά, κατά τη λειτουργία τους τηρούν κάποιες βασικές προδιαγραφές για την ομαλή και κατά το δυνατό ποιοτική εξυπηρέτηση των πελατών τους. Οι πελάτες αναπτύσσουν ουρές με προκαθορισμένη προτεραιότητα εξυπηρέτησης. Από τη στιγμή που θα φτάσει κάποιος πελάτης στο κατάστημα της υπηρεσίας μέχρι να του προσφερθεί η υπηρεσία που επιζητεί, μεσολαβεί ένα χρονικό διάστημα το οποίο είναι ο χρόνος αναμονής του πελάτη στην ουρά. Ο χρόνος της αναμονής στην ουρά και ο χρόνος που θα χρειαστεί ο υπάλληλος/εξυπηρετητής για να εξυπηρετήσει τον πελάτη, είναι ο χρόνος αναμονής του πελάτη στο σύστημα συνολικά ή αλλιώς ο χρόνος παραμονής στο κατάστημα.

Όταν ο πελάτης κάνει την επιλογή να επισκεφθεί κάποιο κατάστημα μεταξύ άλλων της ίδιας τάξης παροχής υπηρεσιών (όπως για παράδειγμα ένα

από τα υποκαταστήματα της ίδιας τράπεζας στην πόλη του), η επιλογή αυτή συνήθως βασίζεται σε κριτήρια ασυσχέτιστα με την ουρά και το χρόνο αναμονής. Είναι φυσιολογικό, εάν γίνει η παραδοχή ότι ο πελάτης έχει άγνοια για την κατάσταση στα καταστήματα μέχρι να φτάσει σε αυτά, να επιλέξει αυτό που είναι άμεσα (χωρικά) προσβάσιμο. Από την άλλη, εάν οι ανάγκες του προϋποθέτουν εξυπηρέτηση σε πάνω από ένα καταστήματα διαφορετικών υπηρεσιών, τότε θα χρειαστεί να υποστεί το χρόνο της ουράς αναμονής του εκάστοτε καταστήματος. Πάλι η επιλογή της ακολουθίας των καταστημάτων θα γινόταν σύμφωνα με τις ελλειπίες γνώσεις του πελάτη των ουρών αναμονής, αλλά, σε αυτή την περίπτωση, και των συνθηκών δρομολόγησης μεταξύ των καταστημάτων. Ο συνολικός χρόνος που θα ξοδέψει ώσπου να εξυπηρετηθεί από όλα τα καταστήματα, καθορίζεται από το χρόνο των διαδρομών που θα χρειαστεί να διανύσει για να τα επισκεφθεί και το χρόνο που θα ξοδέψει στο σύστημα του κάθε καταστήματος.

Το πρόβλημα επίσκεψης του πελάτη σε ένα από τα καταστήματα της ίδιας τάξης παροχής υπηρεσιών έχει μελετηθεί πρόσφατα στο [1], στο οποίο περιγράφεται η συλλογή των δεδομένων των ουρών αναμονής που ακολουθήθηκε από τους συγγραφείς του και εφαρμόζονται γνωστοί αλγόριθμοι πρόβλεψης στο πρόβλημα της πρόβλεψης του χρόνου αναμονής των ουρών βάσει των δεδομένων προηγούμενων ωρών ή και ημερών. Επίσης προτείνεται ως εφαρμογή η βέλτιστη επιλογή-κατάστημα βάσει της πρόβλεψης του χρόνου αναμονής και της (χρονικά) κοντινότερης διαδρομής από τη θέση του πελάτη. Αντιθέτα, παρά την ενδελεχή αναζήτηση των συγγραφέων της παρούσας εργασίας, για το δεύτερο πρόβλημα της βέλτιστης σειράς επίσκεψης σε ένα αριθμό καταστημάτων παροχής υπηρεσιών με ουρές λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις χρονοαποστάσεις των διαδρομών όσο και το χρόνο αναμονής στο σύστημα ουρών των καταστημάτων, δε βρέθηκαν αναφορές στη βιβλιογραφία.

Θεωρώντας ως κόμβους το σημείο εκκίνησης s του πελάτη και τα n καταστήματα από τα οποία επιθυμεί να εξυπηρετηθεί (από N διαθέσιμα προς επιλογή) και ως ακμές τις διαδρομές ελάχιστης χρονικής απόστασης (χρονοαπόστασης) από τον ένα κόμβο προς όλους τους άλλους, τα δεδομένα

του προβλήματος αναπαρίστανται από έναν πλήρη και κατευθυνόμενο γράφο με βάρος ή κόστος της κάθε (κατευθυνόμενης) ακμής (a,b) το άθροισμα της εκτιμώμενης χρονοαπόστασης της διαδρομής από τον κόμβο a στον κόμβο b και, στην περίπτωση που $b \neq s$, τον εκτιμώμενο χρόνο αναμονής στο σύστημα του b . Τα βάρη επομένως δεν παραμένουν σταθερά, αλλά μεταβάλλονται χρονικά, σύμφωνα με τις συνθήκες οδικής κυκλοφορίας και του φόρτου εξυπηρέτησης στα καταστήματα παροχής υπηρεσιών.

Με δεδομένο τον πλήρη κατευθυνόμενο γράφο, το πρόβλημα ανάγεται μαθηματικά σε αυτό της εύρεσης της βέλτιστης σειράς επίσκεψης (ή του βέλτιστου γύρου) των επιλεγμένων από τον πελάτη κόμβων-καταστημάτων ακριβώς μία φορά, με κόμβο εκκίνησης τη θέση του πελάτη. Η βέλτιστη σειρά επίσκεψης, που σε αυτή την περίπτωση είναι ο γύρος που δίνει το ελάχιστο συνολικό χρονικό κόστος, εξαρτάται προφανώς από τη χρονική στιγμή που ο πελάτης επιθυμεί να ξεκινήσει την επίσκεψη στα καταστήματα, καθώς ο χρόνος εξυπηρέτησης από τα καταστήματα, αλλά σε πολλές περιπτώσεις και ο χρόνος των διαδρομών, μεταβάλλονται λόγω κίνησης πολιτών και οχημάτων κατά τη διάρκεια του ωραρίου λειτουργίας των καταστημάτων παροχής υπηρεσιών. Το πρόβλημα επομένως ανάγεται στο, γνωστό από τη Θεωρία Γράφων, Ασύμμετρο Πρόβλημα του Πλανόδιου (ή Περιοδεύοντος) Πωλητή (ΑΠΠΠ) [4], αλλά με χρονικά μεταβαλλόμενες χρονοαποστάσεις μεταξύ των κόμβων του γράφου.

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν να αναπτυχθεί μια διαδικτυακή εφαρμογή επίδειξης μιας πρώτης προσέγγισης επίλυσης του συνδυαστικού αυτού προβλήματος με δεδομένα τόσο για τις χρονοαποστάσεις των διαδρομών όσο και για τους χρόνους αναμονής στα συστήματα ουρών των καταστημάτων, θεωρώντας χρονικά μεταβλητούς μόνο τους χρόνους παραμονής στα καταστήματα και με περίπτωση μελέτης την πόλη των Σερρών. Η σχεδίαση της εφαρμογής βασίστηκε στο γεγονός ότι το πρόβλημα που επιλύει συνδυάζει την πληροφορία πρόβλεψης του χρόνου παραμονής στα καταστήματα με αυτή του χρόνου διέλευσης των διαδρομών μεταξύ των καταστημάτων. Για αυτό το λόγο, η διαδικτυακή

εφαρμογή υλοποιήθηκε σύμφωνα με το μοντέλο πελάτη/διακομιστή (client/server), με την πλευρά του διακομιστή να παρέχει τη λύση στο ΑΠΠΠ με χρονικά μεταβαλλόμενο κόστος παραμονής στα καταστήματα, κάνοντας τις απαραίτητες κλήσεις στην υπηρεσία πρόβλεψης αυτών των χρόνων κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του αλγορίθμου επίλυσης του ΑΠΠΠ.

Από τη διερεύνηση που έγινε στα πλαίσια της εργασίας, προέκυψε ότι η διαχείριση των ουρών των καταστημάτων παροχής υπηρεσιών σε όλη την Ελλάδα γίνεται αποκλειστικά από τον όμιλο εταιρειών MELLON¹. Λόγω επομένως της μη ελεύθερης πρόσβασης στα δεδομένα ουρών των καταστημάτων παροχής υπηρεσιών του Ελλαδικού χώρου, τα δεδομένα αυτά προσομοιώθηκαν στον υπολογιστή και χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για την πρόβλεψη (εκτίμηση) του χρόνου αναμονής από έναν απλό αλγόριθμο πρόβλεψης, ο οποίος αναπτύχθηκε ως διαδικτυακή υπηρεσία και καλείται από τον αλγόριθμο επίλυσης του ΑΠΠΠ για την πρόβλεψη του χρόνου αναμονής του συστήματος κάθε φορά που ο χρήστης/πελάτης φτάνει (θεωρητικά) σε ένα κατάστημα.

Αντίθετα, οι χρόνοι των διαδρομών από την αρχική θέση του πελάτη προς τα καταστήματα καθώς και μεταξύ των καταστημάτων θεωρήθηκαν σταθεροί και ανακτώνται κάθε φορά που απαιτείται από την εφαρμογή από τη διαδικτυακή υπηρεσία Google Maps Directions², με μια μέθοδο συμβατή με τους περιορισμούς χρήσης της υπηρεσίας που έχουν τεθεί από τη Google³. Αν και η υπόθεση αυτή ισχύει συνήθως στην περίπτωση που ο χρήστης κινείται πεζός (ή με ποδήλατο ή με κάποιο μαζικό μέσο μεταφοράς), σε μια πιο ρεαλιστική αντιμετώπιση του συνολικού προβλήματος οι χρονικές αποστάσεις των διαδρομών δε θα πρέπει να θεωρούνται σταθερές, αφού σε πολλές περιπτώσεις μεταβάλλονται και αυτές χρονικά ανάλογα με την κυκλοφοριακή κίνηση στο οδικό δίκτυο (ειδικά του κέντρου) των πόλεων. Συνακόλουθα, ο τρόπος μετακίνησης του πελάτη αποτελεί κρίσιμη παράμετρο για το πρόβλημα και την επίλυσή του. Ο χρόνος μετακίνησης (traveling time) μέσω ιδιωτικού οχήματος σχετίζεται άμεσα με τις συνθήκες κυκλοφορίας

που επικρατούν τη χρονική στιγμή που ο πελάτης επιθυμεί να ξεκινήσει την επίσκεψή του στα καταστήματα και στη βιβλιογραφία αναφέρονται αρκετοί αλγόριθμοι για την πρόβλεψή του, βασισμένοι στις μετρήσεις για το χρόνο διέλευσης των οχημάτων από τις οδούς του οδικού δικτύου των πόλεων [11]. Επιπλέον, έχουν αναπτυχθεί παράλληλοι αλγόριθμοι δρομολόγησης [2] καθώς και εφαρμογές πληροφόρησης του κοινού [3] που βασίζονται στον μεταβαλλόμενο χρόνο διέλευσης.

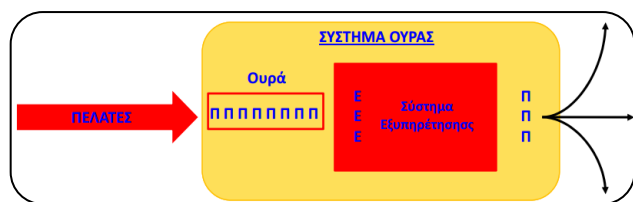
Η παρούσα εργασία έχει οργανωθεί ως εξής: στο Κεφάλαιο II περιγράφεται το θεωρητικό υπόβαθρο τόσο της Θεωρίας Ουρών όσο και του ΑΠΠΠ. Στο Κεφάλαιο III παρουσιάζεται αναλυτικά το πρόβλημα εύρεσης του βέλτιστου γύρου επίσκεψης σε καταστήματα παροχής υπηρεσιών με ουρές, ενώ στα Κεφάλαια IV και V περιγράφεται η υλοποίηση της υπηρεσίας πρόβλεψης του χρόνου παραμονής στα καταστήματα και της διαδικτυακής εφαρμογής επίλυσης του προβλήματος, αντίστοιχα. Τέλος, το Κεφάλαιο VI περιλαμβάνει τα συμπεράσματα της εργασίας.

II. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

A. Θεωρία ουρών αναμονής

Οι ουρές αναμονής είναι ένα ιδιαίτερα συνηθισμένο φαινόμενο στις αναπτυγμένες τεχνολογικά κοινωνίες. Ουρές σχηματίζουν, εκτός των άλλων, τα οχήματα στα δρόμα, οι πελάτες-φυσικά πρόσωπα σε καταστήματα τραπεζών, ταχυδρομείων ή στα ταμεία των super markets, τα αεροπλάνα στους αεροδιαδρόμους πριν την απογείωσή τους, τα δεδομένα σε ένα υπολογιστικό σύστημα και τα προγράμματα πριν και κατά την εκτέλεσή τους. Αν και η αναμονή είναι δυσάρεστη τόσο για τους πελάτες όσο και για τους διαχειριστές του συστήματος (λόγω της αύξησης του λειτουργικού κόστους διαχείρισής του), η κατάσταση αυτή είναι αναπόφευκτη όταν η ζήτηση για εξυπηρέτηση είναι μεγαλύτερη από την εξυπηρέτηση που μπορεί να προσφέρει η συγκεκριμένη υποδομή για οικονομικούς και άλλους λόγους.

Ένα σύστημα ουράς μπορεί να περιγραφεί ως εξής: οι πελάτες φτάνουν για εξυπηρέτηση και στην περίπτωση που δεν είναι άμεσα διαθέσιμη περιμένουν για αυτή στην ουρά αναμονής. Στη συνέχεια, μετά την αναμονή τους στην ουρά φτάνουν σε έναν ή περισσότερους σταθμούς εξυπηρέτησης (εξυπηρετητές) και μετά το πέρας της εξυπηρέτησης αυτής, αποχωρούν από το σύστημα. Ακόμα, πολλοί πελάτες ενδέχεται να αποχωρήσουν από την ουρά δυσαρεστημένοι πριν εξυπηρετηθούν, στην περίπτωση υπερβολικής αναμονής. Ένα βασικό τέτοιο σύστημα αναπαρίσταται σχηματικά στο Σχήμα 1. Ο όρος «πελάτης» χρησιμοποιείται εδώ με την ευρύτερη έννοια και δεν παραπέμπει απαραίτητως στον πελάτη-φυσικό πρόσωπο.



Σχήμα 1- Σύστημα Ουράς Αναμονής.

Ο αριθμός των εξυπηρετητών που απαιτούνται σε ένα σύστημα για την, κατά το δυνατόν, ομαλή λειτουργία των ουρών εξαρτάται τόσο από το χρόνο που περιμένει κάποιος πελάτης στην ουρά, όσο και από τον αριθμό των πελατών που περιμένουν στην ουρά. Η Θεωρία Ουρών (Queueing Theory) απαντά σε αυτά τα ερωτήματα μέσω λεπτομερούς μαθηματικής ανάλυσης [10]. Επιπλέον, μέσω της Θεωρίας Ουρών επιτυγχάνεται τόσο η μοντελοποίηση ενός οποιουδήποτε συστήματος ουρών αναμονής ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του όσο και η προσομοίωση της συμπεριφοράς του ανάλογα με τις παραμέτρους του. Ένα μοντέλο αναμονής χαρακτηρίζεται από:

1. Τη διαδικασία άφιξης των πελατών: συνήθως γίνεται η υπόθεση ότι οι χρόνοι μεταξύ των αφίξεων είναι ανεξάρτητοι και έχουν μία κοινή κατανομή. Σε πολλές πρακτικές καταστάσεις οι πελάτες φθάνουν σύμφωνα με την κατανομή Poisson. Επίσης, οι πελάτες μπορεί να φθάνουν κατά μόνες, ή σε ομάδες.
2. Τη συμπεριφορά των πελατών: οι πελάτες μπορεί να είναι υπομονετικοί και πρόθυμοι να περιμένουν. Ή οι πελάτες μπορεί να είναι

ανυπόμονοι και να αποχωρήσουν μετά από λίγο, πριν εξυπηρετηθούν.

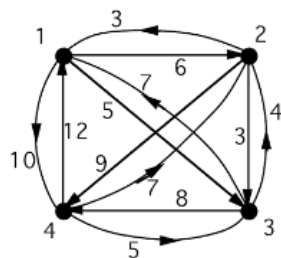
3. Τους χρόνους εξυπηρέτησης: συνήθως γίνεται η υπόθεση ότι οι χρόνοι εξυπηρέτησης είναι ανεξάρτητοι και ομοιόμορφα κατανεμημένοι, και ότι είναι ανεξάρτητοι από τους χρόνους αναμονής. Για παράδειγμα, οι χρόνοι εξυπηρέτησης μπορεί να είναι ντετερμινιστικοί ή εκθετικά κατανεμημένοι. Μπορεί επίσης να προκύψει ότι οι χρόνοι αναμονής εξαρτώνται από το μήκος της ουράς.
4. Την προτεραιότητα (ή πειθαρχία) της εξυπηρέτησης: οι πελάτες μπορεί να εξυπηρετηθούν κατά μόνες ή σε ομάδες. Υπάρχουν πολλές επιλογές ως προς τη σειρά με την οποία θα εισαχθούν στην εξυπηρέτηση. Αναφορικά σημειώνονται η σειρά όπου ο πρώτος που αφίχθη εξυπηρετείται και πρώτος (First Come First Served - FCFS), η τυχαία σειρά, η σειρά με τον τελευταίο που αφίχθη να εξυπηρετείται πρώτος, η σειρά με διαβαθμισμένη προτεραιότητα και η σειρά όπου μοιράζεται από κοινού ο εξυπηρετητής σε πολλούς πελάτες (σε υπολογιστικά συστήματα κυρίως).
5. Την ικανότητα της εξυπηρέτησης: μπορεί να υπάρχουν ένας ή πλήθος εξυπηρετητών για να βοηθήσουν τους πελάτες.
6. Τον χώρο αναμονής: μπορεί να υπάρχουν αναγκαστικοί περιορισμοί για το πλήθος των πελατών εντός του συστήματος.

Στα πλαίσια της Θεωρίας Ουρών ένα σύστημα χαρακτηρίζεται από τις γεννήσεις (άφιξη πελατών) και τους θανάτους (αναχωρήσεις πελατών) κατά τη διάρκεια λειτουργίας του. Μια διαδικασία ουράς περιγράφεται από μία ακολουθία από σύμβολα και καθέτους A/B/X/Y/Z, όπου A είναι η κατανομή χρόνων μεταξύ των αφίξεων ή αλλιώς στατιστική γεννήσεων, B το μοτίβο εξυπηρέτησης όπως περιγράφεται από την κατανομή πιθανότητας για τους χρόνους εξυπηρέτησης ή αλλιώς η στατιστική θανάτου, X ο αριθμός των παράλληλων καναλιών εξυπηρέτησης ή αλλιώς σταθμοί εξυπηρέτησης, Y οι περιορισμοί στην χωρητικότητα του συστήματος και Z η πειθαρχία της ουράς.

Β. Ασύμμετρο Πρόβλημα Πλανόδιου Πωλητή (ΑΠΠΠ)

Το Πρόβλημα του Πλανόδιου Πωλητή (ΠΠΠ) (μτφρ. του Traveling Salesman Problem (TSP)) είναι ίσως από τα πιο γνωστά προβλήματα διακριτής βελτιστοποίησης [4]. Η δημοτικότητά του οφείλεται στο γεγονός ότι είναι απλό στη διατύπωση, δύσκολο να λυθεί σε εύλογο χρόνο και βρίσκει εφαρμογή σε πολλά πραγματικά προβλήματα. Όπως περιγράφεται στη συνέχεια, το πρόβλημα διατυπώνεται και λύνεται συνήθως πάνω σε πλήρεις βεβαρημένους γράφους με θετικό κόστος ακμών, κατευθυνόμενους ή μή. Στην περίπτωση μή κατευθυνόμενων γράφων έχουμε το Συμμετρικό ΠΠΠ (ΣΠΠΠ) ενώ εάν ο γράφος είναι κατευθυνόμενος το Ασύμμετρο ΠΠΠ (ΑΠΠΠ).

Ένας βεβαρημένος γράφος είναι μια διατεταγμένη τριάδα $G=(V, E, c)$ όπου V είναι το σύνολο των κόμβων ή κορυφών, E είναι το σύνολο των ακμών του G και c είναι συνάρτηση με πεδίο ορισμού το E και πεδίο τιμών πραγματικούς αριθμούς που αντιστοιχούν στο βάρος ή κόστος των ακμών. Στην περίπτωση που το σύνολο E των ακμών αποτελείται από διατεταγμένες δυάδες κορυφών του G (ορίζεται διάταξη των δύο κορυφών των ακμών) ο γράφος G καλείται κατευθυνόμενος. Εάν κάθε κόμβος του G συνδέεται με ακμές που κατευθύνονται προς όλους τους άλλους κόμβους, ο κατευθυνόμενος γράφος ονομάζεται πλήρης. Ένα παράδειγμα πλήρους κατευθυνόμενου γράφου παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.



Σχήμα 2-Κατευθυνόμενος, βεβαρημένος και πλήρης γράφος τεσσάρων κόμβων (Πηγή [4]).

Με δοσμένο τον πλήρη κατευθυνόμενο και βεβαρημένο γράφο, το ΑΠΠΠ συνίσταται στην εύρεση της βέλτιστης σειράς επίσκεψης όλων των κόμβων ακριβώς μία φορά (βέλτιστου γύρου), ξεκινώντας από έναν αρχικό κόμβο s του γράφου και επιστρέφοντας σε αυτόν ακολουθώντας τις

ακμές από τον ένα κόμβο στον άλλο. Το κόστος του κάθε γύρου είναι το άθροισμα κόστους των ακμών του και ο βέλτιστος γύρος είναι ο γύρος με ελάχιστο κόστος.

Κάθε στιγμιότυπο του ΑΠΠΠ σχετίζεται με τον πίνακα κόστους $C=[c_{ij}]$ του γράφου G , όπου c_{ij} είναι το κόστος της ακμής από τον κόμβο i στον κόμβο j . Ο πίνακας κόστους για το γράφο του Σχήμα 2 είναι ο εξής:

Πίνακας 1 - Πίνακας κόστους για τον γράφο του Σχήμα 2.

Κόμβος	1	2	3	4
1	0	6	5	10
2	3	0	3	9
3	7	4	0	8
4	12	7	5	0

Ξεκινώντας από τον αρχικό κόμβο s , ο αριθμός των διαφορετικών γύρων που πρέπει να εξεταστούν ώστε να βρεθεί ο βέλτιστος είναι $(|V|-1)!$ όπου $|V|$ ο αριθμός κόμβων του G . Στο παράδειγμα του Σχήμα 2 υπάρχουν $3!=6$ διαφορετικοί γύροι με συνολικό κόστος ο καθένας 29, 27, 30, 23, 27 και 22. Ο βέλτιστος γύρος είναι ο $\langle 1, 4, 3, 2, 1 \rangle$ με συνολικό (αθροιστικό) κόστος ακμών 22. Ωστόσο στην πράξη, η αύξηση του αριθμού των κόμβων του γράφου καθιστά την παραπάνω εξαντλητική διαδικασία επίλυσης του προβλήματος απαγορευτική, λόγω των εξαιρετικά μεγάλων χρονικών απαιτήσεων της εξέτασης του συνόλου των εναλλακτικών γύρων. Αν για παράδειγμα το προς επίλυση πρόβλημα αποτελείται από 21 κόμβους, η διαδικασία εξαντλητικού ελέγχου των πιθανών λύσεων του προβλήματος θα απαιτούσε $(n-1)!=(21-1)! = 20!$ βήματα έως ότου ολοκληρωθεί. Εάν ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση κάθε βήματος είναι ίσος με 1 msec. ο χρόνος υπολογισμού της βέλτιστης διαδρομής θα είναι ίσος με 770 αιώνες. Ως εκ τούτου, ο υπολογισμός της βέλτιστης σειράς μέσα από τον έλεγχο του συνόλου των πιθανών λύσεων του προβλήματος είναι πρακτικά αδύνατος [4].

Λόγω της γνωστής δυσκολίας (hardness) επίλυσης του ΑΠΠΠ, έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία αρκετοί αλγόριθμοι επίλυσής του [5]. Οι αλγόριθμοι αυτοί διακρίνονται στους ακριβείς και τους ευριστικούς ή προσεγγιστικούς λύτες του προβλήματος, ανάλογα με το εάν βρίσκουν μια

ακριβή λύση του προβλήματος ή όχι [6]-[9]. Αρκετοί από τους ακριβείς λύτες χρησιμοποιούν το σχεδιαστικό παράδειγμα αλγορίθμων Branch and Bound [5].

III. ΒΕΛΤΙΣΤΗ ΣΕΙΡΑ ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΟΧΗΣ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ

Το πρόβλημα της βέλτιστης σειράς επίσκεψης σε καταστήματα παροχής υπηρεσιών με ουρές, με την υπόθεση ότι οι χρονοαποστάσεις μεταξύ των διαδρομών των καταστημάτων δε μεταβάλλονται χρονικά, μπορεί να αναπαρασταθεί από έναν πλήρη, κατευθυνόμενο και βεβαρημένο γράφο $G=(V, E, c)$ όπου:

- Το σύνολο των κόμβων V αποτελούν τα n καταστήματα παροχής υπηρεσιών που ο πελάτης επιθυμεί να επισκεφθεί ($1 \leq n \leq N$), καθώς και το σημείο s εκκίνησής του.
- Το σύνολο των κατευθυνόμενων ακμών E , αποτελείται από κατευθυνόμενες ακμές από κάθε κόμβο προς όλους τους άλλους.
- Η συνάρτηση κόστους $c(a,b;t)$ της ακμής (a,b) , για $b \neq s$, δεν είναι σταθερή αλλά εξαρτάται από το (ελάχιστο) χρονικό κόστος της διαδρομής $c(a,b)$ από το σημείο a στο σημείο b συν την εκτίμηση του κόστους παραμονής $c_q(b,t)$ στο σύστημα της ουράς του καταστήματος b τη χρονική στιγμή t άφιξης του πελάτη.
- Η συνάρτηση κόστους $c(a,s)$ είναι σταθερή και τίθεται σε μια πολύ μικρή τιμή, για κάθε $b \neq s$, δεν μας ενδιαφέρει δηλ. ο χρόνος επιστροφής στο αρχικό σημείο s , μετά την επίσκεψη σε όλα τα καταστήματα.

Με αυτή την πιο αυστηρή διατύπωση του προβλήματος, η εύρεση του βέλτιστου γύρου επισκέψεων ανάγεται στο ΑΠΠΠ, με τη σημαντική διαφορά ότι το συνολικό (αθροιστικό) κόστος του μονοπατιού $\langle s, v_1, \dots, v_m \rangle$ ($m \leq n$) εξαρτάται από τη χρονική στιγμή t_0 έναρξης του γύρου καθώς και από τους χρόνους άφιξης $t_1, t_2, \dots, t_m$ στα καταστήματα $v_1, v_2, \dots, v_m$.

IV. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑΣ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΧΡΟΝΟΥ ΑΝΑΜΟΝΗΣ

A. Προσομοίωση ουρών αναμονής

Η παρούσα μελέτη προσομοιώνει το σύνηθες μοντέλο ουράς των καταστημάτων υπηρεσιών (ΔΕΗ, ΕΛΤΑ, τράπεζες κ.ά.) στην Ελλάδα. Είναι ένα σύστημα όπου οι πελάτες φθάνουν σε μη ντετερμινιστικούς, τυχαίους χρόνους που ακολουθούν την εκθετική κατανομή, εξυπηρετούνται σε τυχαίους χρόνους μεταξύ τους που επίσης κατανέμονται εκθετικά, υπάρχει ένα κέντρο εξυπηρέτησης άρα μία ουρά με πολλαπλές θέσεις εξυπηρέτησης (με εξυπηρετητές όσες και οι θέσεις) και η πειθαρχία εξυπηρέτησης είναι FCFS ή αλλιώς FIFO (First In First Out). Η χωρητικότητα του καταστήματος θεωρητικά λογίζεται ως άπειρη ή αρκετά μεγάλου πλήθους και υπάρχει ένα κανάλι εξυπηρέτησης, το οποίο μπορεί να έχει πολλούς εξυπηρετητές.

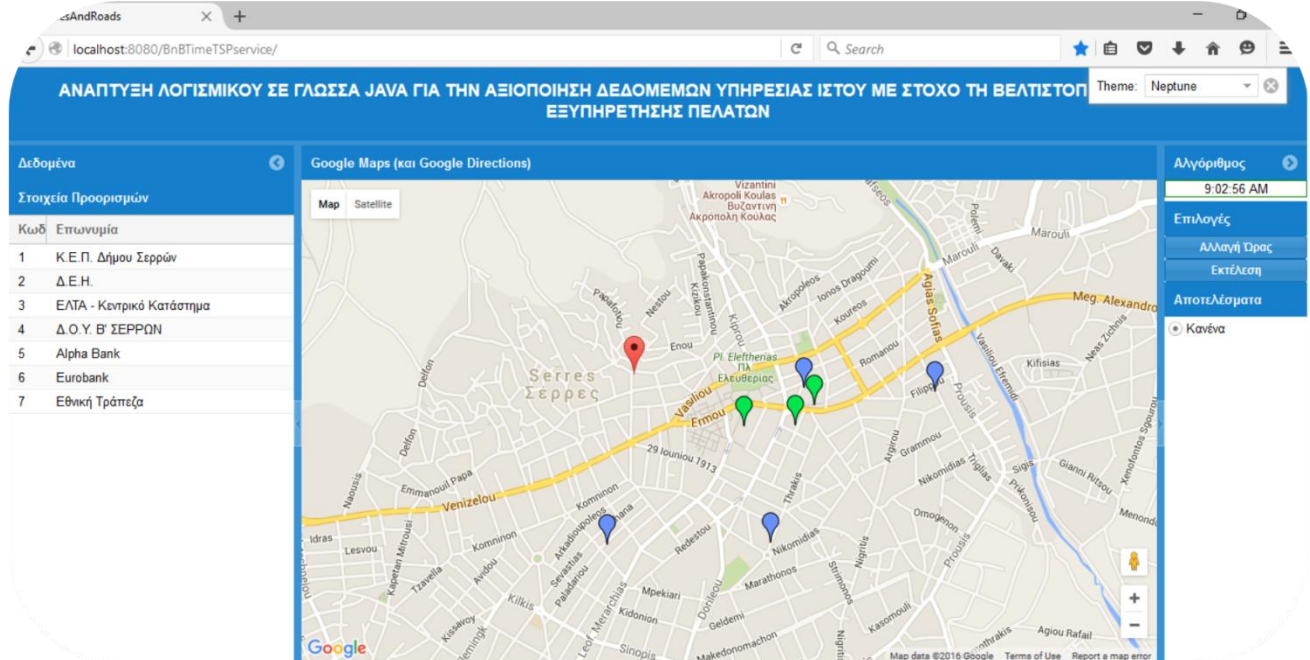
Οπότε το πρόβλημα της ουράς αναμονής των εν λόγω υπηρεσιών ανάγεται σε προσομοίωση ουρών M/M/1 όπου οι χρόνοι αφίξεων και έναρξης της επόμενης εξυπηρέτησης υπακούουν στην εκθετική κατανομή και υπάρχει ένα σημείο εξυπηρέτησης, ανεξάρτητα από το ποιοί εξυπηρετητές επιτελούν έργο. Τα ακριβή χαρακτηριστικά μιας τέτοιας προσομοίωσης είναι τα εξής:

- Ο αριθμός αφίξεων ακολουθεί την κατανομή Poisson με ρυθμό αφίξεων (αριθμό αφίξεων ανά μονάδα χρόνου) λ .
- Οι πελάτες προσέρχονται στο κατάστημα κατά μόνας (όχι σε ομάδες) και δεν εγκαταλείπουν την ουρά πριν εξυπηρετηθούν.
- Οι χρόνοι έναρξης της επόμενης εξυπηρέτησης ακολουθούν την εκθετική κατανομή με ρυθμό εξυπηρέτησης (αριθμό εξυπηρετούμενων ανά μονάδα χρόνου) μ .
- Μία θέση εξυπηρέτησης
- Απεριόριστο μήκος ουράς
- Απεριόριστος πληθυσμός
- Πειθαρχία ουράς η FCFS

Μέσω προσομοίωσης των ουρών αναμονής των καταστημάτων παρήχθησαν 5 χρονικές ακολουθίες με συμβάντα αφίξεων και έναρξης εξυπηρέτησης πελατών για κάθε ουρά των $N=7$ καταστημάτων της εφαρμογής, με στόχο να χρησιμοποιηθούν στην πρόβλεψη του χρόνου

αναμονής στο σύστημα (αναμονή στην ουρά και χρόνος εξυπηρέτησης) για το κάθε κατάσταση k ($1 \leq k \leq 7$). Κάθε μια από τις 5 ακολουθίες AS_{kw} του

ώστε να χρησιμοποιηθούν από την υπηρεσία πρόβλεψης του χρόνου αναμονής στο σύστημα των καταστημάτων.



Σχήμα 3- Διαδικτυακή διεπαφή της εφαρμογής εύρεσης της βέλτιστης σειράς επίσκεψης.

ιδίου καταστήματος θεωρήθηκε ότι αντιστοιχεί στο ιστορικό κίνησης του καταστήματος για μια συγκεκριμένη ημέρα των 5 προηγούμενων εβδομάδων w ($1 \leq w \leq 5$).

Για την παραγωγή των ακολουθιών χρησιμοποιήθηκε μια, καθοδηγούμενη από συμβάντα (event driven), υλοποίηση του G/G/1 μοντέλου ουράς αναμονής (υποπερίπτωση του οποίου αποτελεί το μοντέλο M/M/1) σε γλώσσα Java⁴. Θεωρήθηκε ένας κοινός ρυθμός εξυπηρέτησης μ για όλες τις ουρές των καταστημάτων και διαφορετικός ρυθμός αφίξεων λ_k για την ουρά του κάθε καταστήματος k . Κατά τη διάρκεια της προσομοίωσης για κάθε πελάτη καταγράφεται (α) η ώρα άφιξής του στο κατάστημα (β) η ώρα έναρξης της εξυπηρέτησής του, η οποία, εφόσον η ουρά δεν είναι άδεια, είναι η ώρα αναχώρησης του προηγούμενου πελάτη από το κατάστημα και (γ) η ώρα τέλους της εξυπηρέτησής του. Τα δεδομένα αυτά αποθηκεύονται στη συνέχεια σε σχεσιακές βάσεις PostgreSQL στη μορφή:

$[customer_id, arrival_time, start_of_service_time, end_of_service_time, k, w]$

Β. Υπηρεσία πρόβλεψης χρόνου αναμονής

Η διαδικτυακή υπηρεσία πρόβλεψης του χρόνου αναμονής χρησιμοποιεί τα δεδομένα της βάσης τα οποία έχουν παραχθεί για κάθε κατάσταση, με στόχο να προβλέψει το μέσο χρόνο αναμονής για τη χρονική στιγμή t στο διάστημα 8:00-14:30 της λειτουργίας των καταστημάτων. Έχει υλοποιηθεί ως Java Servlet⁵ το οποίο δέχεται μια αίτηση HTTP POST που περιλαμβάνει τη χρονική στιγμή t για την οποία απαιτείται η πρόβλεψη και τον κωδικό k του καταστήματος και επιστρέφει τον εκτιμώμενο χρόνο παραμονής στο σύστημα του καταστήματος $W_k(t)$ για τη χρονική στιγμή t . Η εκτίμηση του χρόνου $W_k(t)$ περιλαμβάνει τα παρακάτω βήματα:

1. Αρχικά το διάστημα 8:00-14:30 χωρίζεται σε χρονικά διαστήματα σταθερού μήκους τ .
2. Υπολογίζεται το διάστημα T στο οποίο βρίσκεται ο χρόνος t .
3. Για κάθε ακολουθία συμβάντων AS_{kw} υπολογίζεται ο μέσος χρόνος παραμονής στο σύστημα $W_{kw}(T)$ ως το άθροισμα των χρόνων παραμονής στο σύστημα των πελατών των οποίων η εξυπηρέτηση τελείωσε στο χρονικό διάστημα T , διά του αριθμού τους.

4. Τέλος, η εκτίμηση του χρόνου παραμονής στο σύστημα $W_k(t)$ προκύπτει από τον ενδιάμεσο ή μεσαίο (median) των χρόνων $W_{kw}(T)$.

Πρέπει να σημειωθεί ότι εφόσον η μέθοδος πρόβλεψης βασίζεται σε δεδομένα προηγούμενων εβδομάδων, οι χρονοσειρές $W_{kw}(T)$ μπορούν να υπολογισθούν, από τα βήματα 1 και 3 παραπάνω, αμέσως μετά την προσομοίωση και να αποθηκευθούν στη βάση μαζί με τα δεδομένα των χρονικών ακολουθιών. Αυτό σημαίνει ότι αν τα δεδομένα προηγούμενων ημερών των ουρών των καταστημάτων ήταν διαθέσιμα στην εφαρμογή, η πρόβλεψη θα μπορούσε να γίνεται από τον αλγόριθμο εύρεσης της βέλτιστης σειράς επίσκεψης και να μην απαιτείται αίτημα προς την υπηρεσία πρόβλεψης που περιγράφεται εδώ. Κάτι τέτοιο βέβαια προϋποθέτει ότι η μέθοδος πρόβλεψης έχει παγιωθεί μετά από συστηματικούς ελέγχους της ακρίβειάς της και ξεφεύγει από τα πλαίσια της παρούσας εργασίας.

V. ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΕΥΡΕΣΗΣ ΒΕΛΤΙΣΤΗΣ ΣΕΙΡΑΣ ΕΠΙΣΚΕΨΗΣ

A. Υπηρεσία διακομιστή βέλτιστης σειράς επίσκεψης

Η διαδικτυακή υπηρεσία εύρεσης της βέλτιστης σειράς επίσκεψης δέχεται στη μορφή HTTP POST το αίτημα υπολογισμού της βέλτιστης σειράς επίσκεψης των n επιλεγμένων καταστημάτων και επιστρέφει αναλυτική πληροφορία για το βέλτιστο γύρο επίσκεψης. Έχει υλοποιηθεί ως Java Servlet και το αίτημα περιλαμβάνει:

1. Τη χρονική στιγμή t_0 της εκκίνησης του γύρου.
2. Τον πίνακα κόστους με τις (σταθερές) χρονοαποστάσεις των διαδρομών τόσο μεταξύ των καταστημάτων όσο και του σημείου εκκίνησης από τα καταστήματα.

Η απόκριση της υπηρεσίας περιλαμβάνει αναλυτική περιγραφή για τη βέλτιστη διαδρομή $\langle v_1, v_2, \dots, v_n \rangle$ στη μορφή:

$[v_i, arrival_time, departure_time]$.

Η εύρεση της βέλτιστης σειράς επίσκεψης γίνεται από την υλοποίησή σε Java ενός αλγορίθμου επίλυσης του ΑΠΠΠ με τη σχεδιαστική μέθοδο Branch and Bound με συνάρτηση άνω φράγματος.

Η υλοποίηση αυτή τροποποιήθηκε κατάλληλα ώστε να καλεί την υπηρεσία πρόβλεψης χρόνου παραμονής σε κάθε μια από τις χρονικές στιγμές $t_1, t_2, \dots, t_m$ άφιξης στα καταστήματα του μονοπατιού $\langle s, v_1, v_2, \dots, v_m \rangle$.

B. Διαδικτυακή διεπαφή της εφαρμογής

Για την επίδειξη τόσο του προβλήματος όσο και μιας πρώτης προσέγγισης για την επίλυσή του, αναπτύχθηκε διαδικτυακή διεπαφή με χρήση της JavaScript βιβλιοθήκης οπτικού/διαδικτυακού προγραμματισμού Ext⁷ 4.0. Όπως φαίνεται στο Σχήμα 3, η διεπαφή περιλαμβάνει τρία πάνελ. Το πρώτο με τίτλο «Δεδομένα» περιλαμβάνει την περιγραφική πληροφορία των 7 καταστημάτων. Στο δεύτερο εμφανίζονται γραφικά πάνω στο χάρτη τόσο τα σημεία των καταστημάτων όσο και τα αποτελέσματα της εφαρμογής για το βέλτιστο γύρο. Σε αυτό το πάνελ ο χρήστης μπορεί να επιλέξει αρχικό σημείο (εμφανίζεται με κόκκινο στο στιγμιότυπο του Σχήμα 3) και κάποια από τα διαθέσιμα καταστήματα, τα οποία από πράσινα εμφανίζονται μπλε όπως φαίνεται στο Σχήμα 3. Ο προγραμματισμός των λειτουργιών οπτικοποίησης και επιλογής βασίστηκε αποκλειστικά σε συναρτήσεις του Google Maps JavaScript API⁸. Το τρίτο πάνελ με τίτλο «Αλγόριθμος» επιτρέπει στο χρήστη να αλλάξει την τρέχουσα ώρα σε μια άλλη τυχαία στο διάστημα 8:00 με 14:30 και να εκκινήσει τον αλγόριθμο εύρεσης της βέλτιστης σειράς επίσκεψης στα επιλεγμένα καταστήματα και με τρέχουσα ώρα (χρονική στιγμή εκκίνησης) την τρέχουσα ώρα του ρολογιού της διεπαφής. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη της εφαρμογής να δοκιμάσει με σχετική ευκολία την εύρεση της βέλτιστης σειράς επίσκεψης με διαφορετικές επιλογές αρχικής θέσης, διαφορετικά κάθε φορά επιλεγμένα καταστήματα καθώς και χρονικές στιγμές εκκίνησης.

Κατά τη φόρτωση της εφαρμογής γίνεται υπολογισμός των διαδρομών ελαχίστων χρονοαποστάσεων από το κάθε κατάστημα προς όλα τα άλλα μέσω AJAX αιτημάτων στην εφαρμογή Google Maps Directions. Οι χρονοαποστάσεις αυτές χρησιμοποιούνται κάθε φορά για τον υπολογισμό του βέλτιστου γύρου, ενώ οι διαδρομές από τις οποίες προκύπτουν για

την οπτικοποίησή του αποτελέσματος πάνω στο χάρτη.

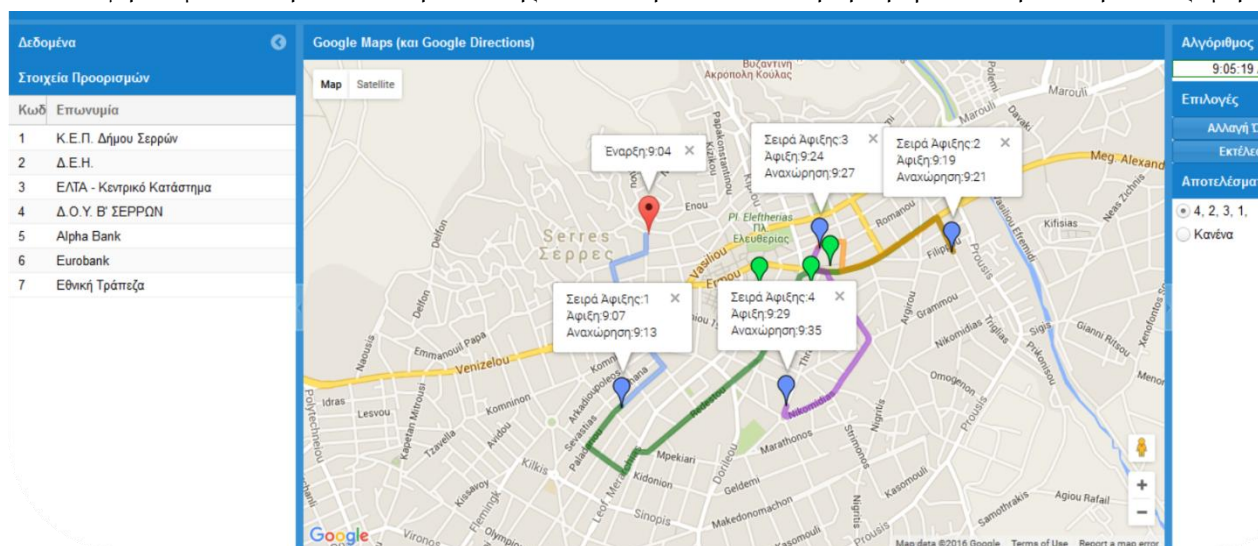
Η ακολουθία ενεργειών από τη στιγμή t_0 που ο χρήστης της εφαρμογής επιλέξει αρχικό σημείο εκκίνησης και καταστήματα και πατήσει στη συνέχεια «Εκτέλεση» είναι η εξής:

1. Η διεπαφή στέλνει ένα AJAX αίτημα στην υπηρεσία Google Maps Directions για τον υπολογισμό των χρονοαποστάσεων από το σημείο εκκίνησης προς τα καταστήματα.
2. Στη συνέχεια, η διεπαφή στέλνει ένα HTTP POST αίτημα στην υπηρεσία εύρεσης της βέλτιστης σειράς επίσκεψης.
3. Η υπηρεσία υπολογίζει τη βέλτιστη σειρά επίσκεψης με κλήσεις στην υπηρεσία

καταστημάτων στο πάνελ με τίτλο «Στοιχεία προορισμών». Έτσι, στο αποτέλεσμα του Σχήμα 4 ο χρήστης θα πρέπει να περάσει πρώτα από τη «ΔΟΥ Β' Σερρών» μετά από τη «ΔΕΗ» κ.λ.π.

VI. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία περιγράφηκε αναλυτικά η σχεδίαση και υλοποίηση διαδικτυακής εφαρμογής με στόχο τον υπολογισμό της βέλτιστης σειράς επίσκεψης του χρήστη της σε έναν αριθμό καταστημάτων παροχής υπηρεσιών με ουρές και την οπτικοποίηση της βέλτιστης αυτής διαδρομής



Σχήμα 4 – Οπτικοποίηση αποτελέσματος της εφαρμογής.

4. Ακολουθεί η συντακτική ανάλυση του αποτελέσματος και η οπτικοποίησή του πάνω στο χάρτη όπως φαίνεται στο Σχήμα 4. Πάνω από το σημείο εκκίνησης εμφανίζεται η ώρα έναρξης t_0 του γύρου ενώ πάνω από κάθε κατάστημα εμφανίζονται η σειρά άφιξης και ο εκτιμώμενος χρόνος άφιξης σε και αναχώρησης από αυτό. Εμφανίζονται επίσης με διαφορετικά χρώματα οι διαδρομές ελαχίστων χρονοαποστάσεων που προτείνεται στον πελάτη να ακολουθήσει. Παράλληλα στο πάνελ «Αποτελέσματα» εμφανίζονται, με τη σειρά επίσκεψης, οι κωδικοί των καταστημάτων οι οποίοι αντιστοιχούν στο πεδίο «Κωδ» των

πάνω στο χάρτη. Το συγκεκριμένο πρόβλημα ανάγεται στο, κλασσικό στη Θεωρία Γράφων, Ασύμμετρο Πρόβλημα του Πλανόδιου (ή Περιοδεύοντος) Πωλητή (ΑΠΠΠ), αλλά με χρονικά μεταβαλλόμενες αποστάσεις (βάρος ή κόστος) μεταξύ των κόμβων-καταστημάτων. Για την ακριβή επίλυση του ΑΠΠΠ με χρονικά μεταβαλλόμενα βάρη χρησιμοποιήθηκε ένας αλγόριθμος Branch and Bound με συνάρτηση άνω φράγματος, υλοποιημένος σε Java. Λόγω της μη ελεύθερης πρόσβασης στα πραγματικά δεδομένα ουρών των καταστημάτων παροχής υπηρεσιών στον Ελλαδικό χώρο, προσομοιώθηκε στον υπολογιστή η λειτουργία της ουράς εξυπηρέτησης για το καθένα κατάστημα χωριστά και για μία συγκεκριμένη μέρα σε (χρονικό) βάθος πέντε εβδομάδων. Τα δεδομένα αυτά χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια για την απαιτούμενη από την

εφαρμογή πρόβλεψη των χρόνων εξυπηρέτησης βάσει ενός απλού αλγορίθμου πρόβλεψης που υλοποιήθηκε σε Java. Αντίθετα, η εκτίμηση της χρονικής απόστασης μεταξύ των καταστημάτων έγινε με κλήσεις συναρτήσεων του JavaScript Google Maps Directions API. Για την ανάπτυξη της διεπαφής της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη ανοιχτού κώδικα JavaScript Ext 4.0, ενώ η οπτικοποίηση των σημείων των καταστημάτων και των βέλτιστων διαδρομών πάνω στο χάρτη γίνεται με κλήσεις συναρτήσεων του Google Maps JavaScript API.

Στις επεκτάσεις της εφαρμογής περιλαμβάνονται η λειτουργία της σε πραγματικά δεδομένα τόσο των ουρών των υπηρεσιών όσο και του χρόνου δρομολόγησης σε συνθήκες κυκλοφοριακής κίνησης, καθώς επίσης και η μεταφορά της σε πλατφόρμα ανάπτυξης εφαρμογών για «έξυπνα» κινητά. Σε αυτή την περίπτωση θα μπορούσαν να ελεγχθούν διεξοδικά γνωστοί αλγόριθμοι πρόβλεψης που βασίζονται σε χρονοσειρές αλλά και αλγόριθμοι ακριβούς επίλυσης του ΑΠΠΠ, με στόχο η εφαρμογή να είναι όντως χρηστική (από άποψη ακρίβειας πρόβλεψης, χρόνου εκτέλεσης και ευκολίας χρήσης της διεπαφής) για τους πολίτες/πελάτες που θα τη χρησιμοποιήσουν.

VII. ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Ye Zhang, Le T. Nguyen, and Joy Zhang. 2013. "Wait time prediction: how to avoid waiting in lines?," In Proceedings of the 2013 ACM conference on Pervasive and ubiquitous computing adjunct publication (UbiComp '13 Adjunct). ACM, New York, NY, USA, 481-490. DOI=<http://dx.doi.org/10.1145/2494091.2495980>
- [2] Ziliaskopoulos, A.K., Kotzinos, D. and Mahmassani, H.S. (February 1997). "Design and implementation of parallel time-dependent least time path algorithms for intelligent transportation systems applications". Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Special Issue: Parallel Computing In Transport Research, Vol. 5C, Issue 2, pp. 95-107.
- [3] K. Evangelidis, Th. Papadopoulos, K. Papatheodorou and P. Papaioannou, "Combining WEB - GEO Services for Mobility Smart Applications" 20th European Conference on Mobility Management (ECOMM2016), Athens, 2016.

- [4] Jonathan L. Gross, Jay Yellen, and Ping Zhang. 2013. Handbook of Graph Theory, Second Edition (2nd ed.). Chapman & Hall/CRC.
- [5] Gilbert Laporte, "The traveling salesman problem: An overview of exact and approximate algorithms", European Journal of Operational Research, Volume 59, Issue 2, 1992, Pages 231-247, ISSN 0377-2217, [http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217\(92\)90138-Y](http://dx.doi.org/10.1016/0377-2217(92)90138-Y).
- [6] Bellman, R. (1960), "Combinatorial Processes and Dynamic Programming", in Bellman, R.; Hall, M. Jr., Combinatorial Analysis, Proceedings of Symposia in Applied Mathematics 10, American Mathematical Society, pp. 217-249.
- [7] Bellman, R. (1962), "Dynamic Programming Treatment of the Travelling Salesman Problem", J. Assoc. Comput. Mach., 9: 61-63, doi:10.1145/321105.321111
- [8] Held, M.; Karp, R. M. (1962), "A Dynamic Programming Approach to Sequencing Problems", Journal of the Society for Industrial and Applied Mathematics, 10 (1): 196-210, doi:10.1137/0110015
- [9] Rego, César; Gamboa, Dorabela; Glover, Fred; Osterman, Colin (2011), "Traveling salesman problem heuristics: leading methods, implementations and latest advances", European Journal of Operational Research, 211 (3): 427-441, doi:10.1016/j.ejor.2010.09.010, MR 2774420
- [10] U. Narayan Bhat, "An Introduction to Queueing Theory: Modeling and Analysis in Applications", Springer Science & Business Media, 2008.
- [11] Usue Mori, Alexander Mendiburu, Maite Álvarez, and Jose A. Lozano, "A review of travel time estimation and forecasting for Advanced Traveller Information Systems", Transportmetrica A: Transport Science, Vol. 11, Iss. 2, 2015

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

Ηλίας Κ. Γκρίνιας

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ και Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής ΤΕ
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κεντρικής Μακεδονίας
Τέρμα Μαγνησίας
62124 Σέρρες - Ελλάδα

Τη/ Fax: +30 23210 49393/+30 23210 49107

e-mail: grinias@teiser.gr

Χωρογραφίες/ Τεύχος 5/ Αρ 1/ 2018 – σελ 11-21

¹ <http://mellongroup.com/>

² <https://developers.google.com/maps/documentation/directions/>

³ <https://developers.google.com/maps/documentation/directions/usage-limits>

⁴ <http://the-lost-beauty.blogspot.gr/2010/06/gg1-queue-model-simulation-in-java.html>

⁵ <http://docs.oracle.com/javaee/6/tutorial/doc/bnafd.html>

⁶ <http://www.sanfoundry.com/java-program-implement-branch-bound-method-perform-combinatorial-search/>

⁷ <https://www.sencha.com/products/extjs/#overview>

⁸ <https://developers.google.com/maps/documentation/javascrip/>