



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ  
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

---

## ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΧΡΟΝΩΝ ΤΑΞΙΔΙΟΥ ΒΑΣΕΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΧΡΗΣΤΟΣ ΚΑΣΙΜΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

Δρ. ΚΟΣΜΑΤΟΠΟΥΛΟΣ ΗΛΙΑΣ

**ΧΑΝΙΑ 2008**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|                                                                                                                     |                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1- ΕΙΣΑΓΩΓΗ</u></b>                                                                                  | <b>5</b>                                |
| <b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 – ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ</u></b>                                                                | <b>7</b>                                |
| 2.1 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ                                                                 | 8                                       |
| 2.2 ΦΩΡΑΤΕΣ                                                                                                         | 11                                      |
| 2.2.1 ΓΕΝΙΚΑ                                                                                                        | 12                                      |
| 2.2.2 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΦΩΡΑΤΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΗΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΈΝΩΣΗ                                                           | 13                                      |
| 2.2.2.1 ΤΡΟΠΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ                                                                                          | 13                                      |
| 2.2.2.2 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΦΩΡΑΤΩΝ                                                                                           | 15                                      |
| <b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 – ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΟΙ ΟΠΟΙΟΙ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΙΣ ΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ</u></b> | <b>17</b>                               |
| 3.1 Η ΘΕΣΗ ΤΟΥ ΦΩΡΑΤΗ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗ ΓΡΑΜΜΗ ΤΟΥ STOP                                                                | 17                                      |
| 3.2 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΠΡΑΣΙΝΟΥ                                                                                  | 18                                      |
| 3.3 Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΤΟΥ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ ΚΑΙ ΤΩΝ ΛΩΡΙΔΩΝ ΑΥΤΟΥ                                                       | 18                                      |
| <b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 – ΔΙΚΤΥΟ ΕΦΡΜΟΓΗΣ</u></b>                                                                          | <b>19</b>                               |
| 4.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ ΣΤΑ ΧΑΝΙΑ                                                                        | 22                                      |
| 4.2 ΠΟΙΚΙΛΙΑ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ (LINKS)                                                                                      | 23                                      |
| <b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ</u></b>                                                                                | <b>24</b>                               |
| <b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 – ΕΚΤΙΜΗΤΕΣ( ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ) ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΞΗΣ</u></b>                                                | <b>31</b>                               |
| 6.1 ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΞΗΣ                                                                                   | 31                                      |
| 6.2 ΔΙΚΤΥΑ SIGMA-PI                                                                                                 | 35                                      |
| 6.3 ΔΙΚΤΥΑ PI-SIGMA                                                                                                 | 38                                      |
| 6.4 Η ΚΑΤΑΛΛΗΛΗ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΓΙΑ ΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΞΗΣ                                                            | 41                                      |
| <b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΤΟ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΜΕΙΩΣΗΣ ΟΡΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΞΗΣ</u></b>                 | <b>42</b>                               |
| 7.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ - ΒΑΣΙΚΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΕΣ                                                                  | 42                                      |
| 7.2 ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΗ MATLAB                                                                    | 43                                      |
| 7.3 ΣΥΝΟΠΤΙΚΟΣ ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΚΩΔΙΚΑ                                                                                | 43                                      |
| 7.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ – ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗ ΘΕΩΡΙΑ ΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ                              | ΣΦΑΛΜΑ! ΔΕΝ ΕΧΕΙ ΟΡΙΣΤΕΙ ΣΕΛΙΔΟΔΕΙΚΤΗΣ. |
| <b><u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΛΕΣΜΑΤΩΝ</u></b>                                                   | <b>49</b>                               |
| <b><u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1</u></b>                                                                                           | <b>51</b>                               |
| <b><u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2</u></b>                                                                                           | <b>58</b>                               |

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| <u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3</u> .....  | 942 |
| <u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4</u> .....  | 945 |
| <u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5</u> .....  | 949 |
| <u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6</u> .....  | 80  |
| <u>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7</u> .....  | 89  |
| <u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u> ..... | 94  |

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κύριο Ηλία Κοσματοπούλο χωρίς τη πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση του οποίου θα ήταν αδύνατη η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Με την άρτια καθοδήγησή του, την πραότητα του χαρακτήρα του και την γενικότερη συμπεριφορά του , συντέλεσε καθοριστικά στην περάτωση της εν λόγω μελέτης.

## 1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το πρόβλημα το οποίο καλούμαστε να επιλύσουμε στην παρούσα μελέτη είναι η βελτιστοποίηση του σφάλματος μεταξύ των πραγματικών μετρήσεων οι οποίες λαμβάνονται πειραματικά με την βοήθεια υψηλής ακρίβειας και αξιοπιστίας ψηφιακού χρονομέτρου των χρόνων ταξιδίου στο οδικό δίκτυο της πόλης των Χανίων και των λαμβανόμενων μετρήσεων μέσω ειδικών οργάνων των φωρατών επαγωγικού βρόγχου οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε κατάλληλες θέσεις οδικών αρτηριών και μας δίδουν ποικιλία μετρήσεων οι οποίες κατόπιν επεξεργασίας μέσω κατάλληλου λογισμικού μας δίδουν μια εκτίμηση των χρόνων ταξιδίου.

Η πολυπλοκότητα του εν λόγω προβλήματος καθιστά αδύνατη την επίλυση του με απλές μεθόδους και για αυτόν ακριβώς τον λόγο προχωρούμε στην επίλυση αυτού μέσω νευρωνικών δικτύων υψηλής τάξης.

Έχει αποδειχθεί ότι τα νευρωνικά δίκτυα υψηλής τάξης έχουν εκπληκτικές ιδιότητες υπολογισμού, αποθήκευσης και μάθησης. Η απόδοσή τους οφείλεται στο γεγονός ότι η δομή των νευρωνικών δικτύων υψηλής τάξης, μπορεί να προσαρμοσθεί στην δομή του προβλήματος. Συνεπώς το νευρωνικό δίκτυο που σχεδιάστηκε για συγκεκριμένη κατηγορία προβλημάτων εξειδικεύεται και γίνεται ακόμη πιο αποτελεσματικό στην επίλυση των προβλημάτων αυτών.

Με την βοήθεια λοιπόν των νευρωνικών δικτύων και με τη μέθοδο μείωσης όρων υψηλής τάξης καταλήγουμε σε ένα αρκετά ικανοποιητικό τελικό συνολικό σφάλμα όπως φαίνεται στο διάγραμμα 8.2 .

Το σφάλμα αυτό θεωρείται ικανοποιητικό αν αναλογιστούμε την κυκλοφοριακή κατάσταση στην πόλη των Χανίων καθώς μεγάλα προβλήματα στις μετρήσεις δημιούργησε τόσο το γεγονός της παράνομης στάθμευσης κοντά στους φωτεινούς σηματοδότες και πλησίον των φωρατών επαγωγικού βρόγχου το οποίο είχε ως συνέπεια την εξαγωγή πλασματικών μετρήσεων μέσω των φωρατών όσο και η ύπαρξη παράνομα παρκαρισμένων οχημάτων η οποία είχε ως συνέπεια την μείωση του αριθμού λωρίδων για τα κινούμενα οχήματα.

## 2.ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Η εκτίμηση της κυκλοφοριακής κατάστασης αποτελεί σημαντικό τμήμα της έρευνας που γίνεται με τη χρήση κλειστών βρόγχων ελέγχου και αναφέρεται στην εκτίμηση όλων των κυκλοφοριακών μεταβλητών (θέσεις οχημάτων, ταχύτητες, ροές κτλ.) ενός δικτύου σε κάθε χρονική στιγμή, βασισμένη σε κυκλοφοριακές μετρήσεις πραγματικού χρόνου. Πιο συγκεκριμένα, μέσω των αλγορίθμων εκτίμησης επιχειρείται να αποκτηθεί μια πλήρης εικόνα της κυκλοφοριακής κατάστασης με τη χρήση ενός περιορισμένου αριθμού διαθέσιμων πληροφοριών που παρέχονται από φωρατές κυκλοφορίας. Πρέπει να τονιστεί το γεγονός ότι ο αριθμός των μεταβλητών που εκτιμώνται μπορεί να είναι μεγαλύτερος από τον αριθμό των μεταβλητών κυκλοφορίας που μετρούνται απευθείας και παρέχονται ως πληροφορία.

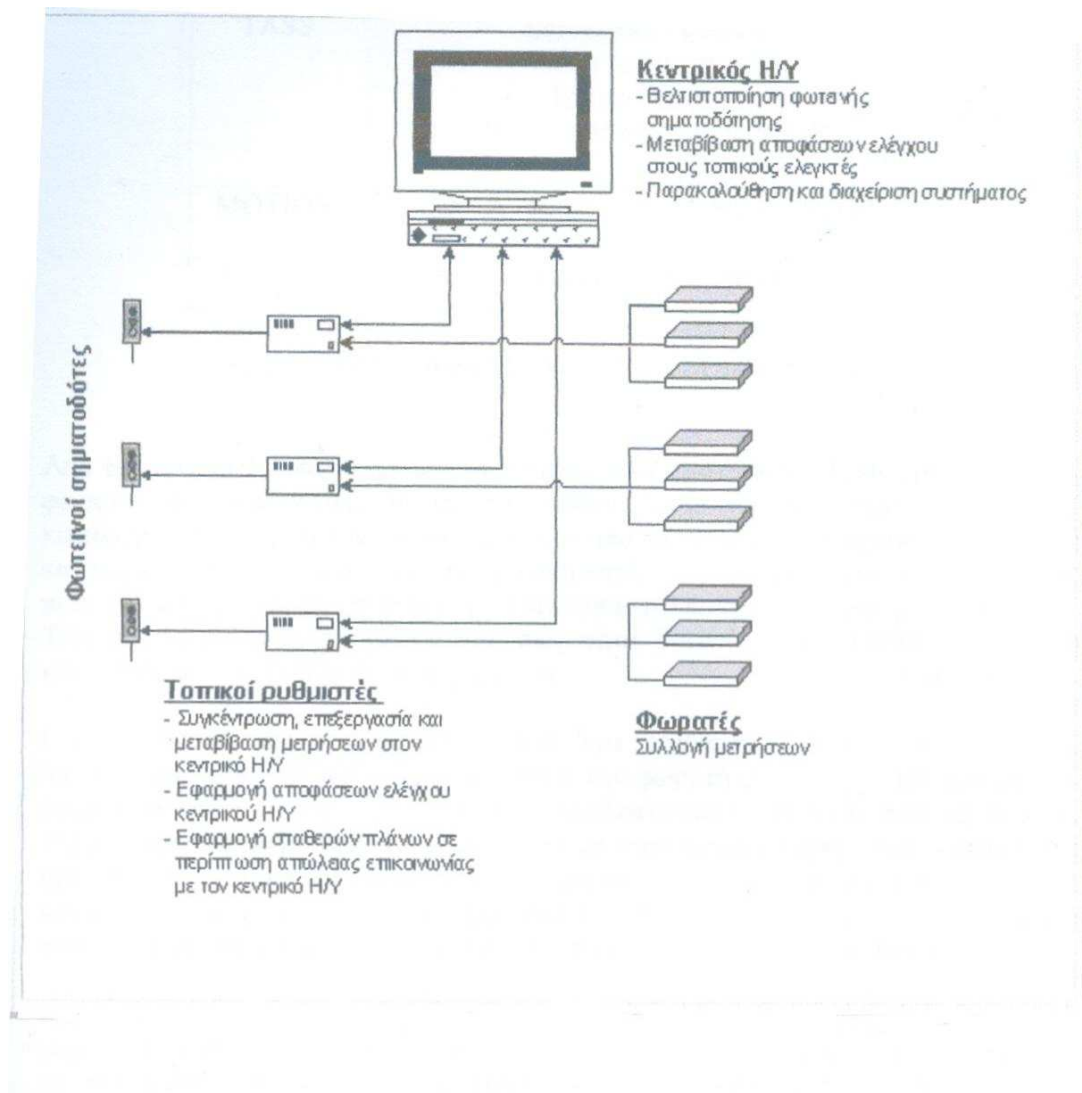
Μέχρι σήμερα, ένας περιορισμένος αριθμός ερευνών έχει πραγματοποιηθεί όσον αφορά την εκτίμηση της κυκλοφοριακής κατάστασης, κυρίως των οδών ταχείας κυκλοφορίας (αυτοκινητόδρομοι), οι οποίες στηρίζονταν, σχεδόν αποκλειστικά, στη μεθοδολογία του φίλτρου Kalman (Kalman and Bucy, 1961) και στις προεκτάσεις του για μη γραμμικά συστήματα (e.g. Jazwinsky, 1970).

Το πρόβλημα το οποίο καλούμαστε να επιλύσουμε στην παρούσα μελέτη είναι η βελτιστοποίηση του σφάλματος μεταξύ των πραγματικών μετρήσεων και των λαμβανόμενων μετρήσεων βάσει αλγορίθμου εκτίμησης βασισμένου στους εξής παράγοντες: μήκος συνδέσμου, θέση φωρατή, γραμμή στοπ, χρόνος πρασίνου.

## 2.1.Συστήματα ελέγχου απόκρισης αστικής κυκλοφορίας

Η επίδραση στην κυκλοφορία των κλασσικών συστημάτων ελέγχου σταθερής σηματοδότησης ,εξαρτάται όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, από τις πραγματικές κυκλοφοριακές συνθήκες. Σε περιπτώσεις όπου οι πραγματικές κυκλοφοριακές συνθήκες διαφέρουν σημαντικά από αυτές τις οποίες υποθέτει ένα τέτοιο πρόγραμμα σηματοδότησης είναι εξαιρετικά πιθανό οι συνθήκες κυκλοφορίας να επιδεινωθούν παρά να βελτιωθούν.

Η σημαντική αυτή διαπίστωση οδήγησε τους σχεδιαστές συστημάτων ελέγχου φωτεινής σηματοδότησης στην δημιουργία μιας δεύτερης γενιάς συστημάτων ελέγχου κυκλοφορίας, τα επονομαζόμενα συστήματα κυκλοφορίας με απόκριση(traffic-responsive systems). Στα συστήματα αυτά , αισθητήρες δρόμου χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση σε πραγματικό χρόνο πληροφοριών οι οποίες αφορούν τις συνθήκες κυκλοφορίας. Η πλειοψηφία των συστημάτων αυτών χρησιμοποιούν μαγνητικούς φωρατές επαγωγικού βρόγχου, οι οποίοι, είναι τοποθετημένοι κάτω από το έδαφος και ανιχνεύουν τη διέλευση ενός οχήματος. Η λειτουργία των εν λόγω φωρατών βασίζεται στο γεγονός ότι η μαγνητική επαγωγή του βρόγχου μεταβάλλεται όταν ένα όχημα περάσει πάνω από τον φωρατή. Ακολουθώντας, η πληροφορία που αφορά την διέλευση ενός οχήματος εκπέμπεται στον κόμβο στον οποίο βρίσκεται ο τοπικός ελεγκτής. Με τον τρόπο αυτό ο τοπικός ελεγκτής έχει πληροφορία σε πραγματικό χρόνο όσον αφορά τις επικρατούσες συνθήκες κυκλοφορίας στα διάφορα τμήματα του δρόμου.



**Σχήμα 2.1** Σχεδιάγραμμα ενός σύγχρονου συστήματος ΣΕΑΚ

Η ανάγκη να ελέγχονται κεντρικά όλοι οι τοπικοί ρυθμιστές και οι φωτεινοί σηματοδότες ενός αστικού κυκλοφοριακού δικτύου, καθώς και το γεγονός ότι οι συνθήκες κυκλοφορίας σε έναν συγκεκριμένο κόμβο έχουν άμεση εξάρτηση από τις συνθήκες κυκλοφορίας και τις εντολές ελέγχου σε έναν γειτονικό κόμβο, οδήγησε στην ανάπτυξη σύγχρονων Συστημάτων Ελέγχου απόκρισης Αστικής Κυκλοφορίας (ΣΕΑΚ-Urban traffic control). Στα εν λόγω συστήματα η πληροφορία συλλέγεται από τους φωρατές επαγωγικού βρόγχου και η κατάσταση των φωτεινών σηματοδοτών καθώς και των τοπικών ρυθμιστών εκπέμπεται σε έναν κεντρικό ελεγκτή κυκλοφορίας. Επιπλέον ο κεντρικός ελεγκτής στέλνει τις κατάλληλες εντολές ελέγχου στους τοπικούς ρυθμιστές

ώστε να αναλυθούν κατάλληλα οι συνθήκες κυκλοφορίας σε όλο το οδικό δίκτυο ή σε διάφορα τμήματά του. Σε αυτό το σημείο αξίζει να παραθέσουμε ορισμένες μεθοδολογίες ελέγχου: SCOOT, SCATS, PAC, PROLYN, CRONOS, COP, TUC κ.α..

Εν κατακλείδη, η χρησιμότητα τόσο του κεντρικού ελεγκτή (κεντρικός Η/Υ) όσο και των τοπικών ρυθμιστών αλλά και των φωρατών παρατίθενται στον πίνακα 2.1.

| Κεντρικός Η/Υ                                         | Τοπικοί ρυθμιστές                                                               | Φωρατές           |
|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| Βελτιστοποίηση φωτεινής σηματοδότησης                 | Συγκέντρωση, επεξεργασία και μεταβίβαση μετρήσεων στον κεντρικό Η/Υ             | Συλλογή μετρήσεων |
| Μεταβίβαση αποφάσεων ελέγχου στους τοπικούς ρυθμιστές | Εφαρμογή αποφάσεων ελέγχου κεντρικού Η/Υ                                        |                   |
| Παρακολούθηση και διαχείριση του συστήματος           | Εφαρμογή σταθερών πλάνων σε περίπτωση απώλειας επικοινωνίας με τον κεντρικό Η/Υ |                   |

**Πίνακας 2.1.** Βασικές λειτουργίες Κεντρικού Η/Υ, Τοπικών ρυθμιστών, Φωρατών στα συστήματα ΣΕΑΚ.

Η ταξινόμηση των συστημάτων ΣΕΑΚ με βάση τη θέση του φωρατή παρουσιάζεται στον πίνακα 2.2

| <b>Σύστημα</b> | <b>Θέση συσκευών μέτρησης</b>                                                                           |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TUC            | Τυχαία(προτιμητέο το ανάντη ήμισυ της οδού)                                                             |
| OPAC           | Ανάντη άκρο της οδού                                                                                    |
| COP            | Ανάντη άκρο της οδού                                                                                    |
| PRODYN         | Ανάντη άκρο της οδού                                                                                    |
| SCOOT          | Ανάντη άκρο της οδού                                                                                    |
| SCATS          | Πάνω ή ακριβώς ανάντη της γραμμής STOP                                                                  |
| TASS           | <u>Στρατηγικοί φωρατές</u> :Ανάντη ήμισυ της οδού/ <u>Τοπικοί φωρατές</u> :40 m ανάντη της γραμμής STOP |
| MOTION         | 50 και 150m ανάντη της γραμμής του STOP                                                                 |
| UTOPIA         | Ανάντη τμήμα οδών                                                                                       |

**Πίνακας 2.2** Ταξινόμηση ΣΕΑΚ με βάση τη θέση του φωρατή

Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να παρατεθούν συγκριτικές μελέτες μεταξύ των ΣΕΑΚ TUC και TASS τα οποία χρησιμοποιούνται στο αστικό δίκτυο των Χανίων το οποίο εξετάζεται στην παρούσα μελέτη αλλά και ενδεικτικά συγκριτικά στοιχεία μεταξύ του TUC και των SCOOT και BALANCE.Τα στοιχεία παρατίθενται στο παράρτημα 1 και προέρχονται από το ερευνητικό έργο SMART NETS.

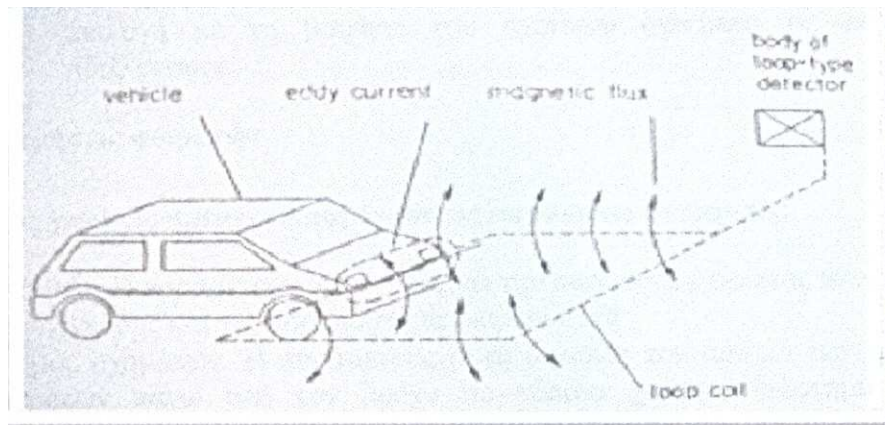
## 2.2 Φωρατές

Οι κυριότεροι τύποι αισθητήρων οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση κυκλοφοριακών δεδομένων σε δρόμους είναι οι εξής: αισθητήρες εικόνας, επαγωγικού βρόγχου φωρατές και αισθητήρες κίνησης Ultrasonic Doppler. Στο οδικό δίκτυο των Χανίων , μέρος του οποίου εξετάζουμε χρησιμοποιούνται επαγωγικού βρόγχου φωρατές, συνεπώς κρίνεται σκόπιμη μια παράθεση του τρόπου λειτουργίας τους, καθώς και άλλων σημαντικών για αυτούς στοιχείων.

### 2.2.1 Γενικά

Οι φωρατές επαγωγικού βρόγχου έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολλές περιπτώσεις ανίχνευσης της κίνησης. Οι βασικές αρχές λειτουργίας τους έχουν ως εξής: υπάρχει ένα μαγνητικό πεδίο κάτω από την επιφάνεια του δρόμου, όταν ένα εναλλασσόμενο ρεύμα στέλνεται σε αυτό δημιουργείται ένα μαγνητικό πεδίο ίδιας συχνότητας κοντά στην επιφάνεια του δρόμου. Εάν κάποιο μεταλλικό αντικείμενο εισχωρήσει σε αυτό το μαγνητικό πεδίο τότε η μαγνητική επαγωγή προκαλεί την εμφάνιση στροβιλικού ρεύματος στο αντικείμενο αυτό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την της αλλαγή της σύνθετης αντίστασης του loop coil. Αρχικά λοιπόν ανιχνεύεται η αλλαγή αυτή και αμέσως μετά το αντικείμενο(όχημα). Παρατηρούμε λοιπόν ότι το loop coil και το όχημα δρουν ως μετασχηματιστές. Δηλαδή, αν το μαγνητικό πεδίο είναι ο κύριος στροβιλιστής τότε το μεταλλικό αντικείμενο θα είναι το δευτερεύων πεδίο το οποίο είναι μικρότερο λόγω της μεταλλικής αντίστασης. Το κύριο τμήμα στροβιλισμού συγκρίνεται με το δευτερεύων, με εξαιρετικά χαμηλή αμοιβαία επαγωγή, η οποία μηδενίζεται όσο δεν παρατηρείται περίπτωση εμφάνισης οχήματος μέσα στο μαγνητικό πεδίο. Εάν ένα όχημα πλησιάζει στο μαγνητικό πεδίο, η αμοιβαία επαγωγή γίνεται υψηλή, προκαλώντας τη σύνθετη αντίσταση να αλλάξει τη φορά του κυρίου πεδίου του μετασχηματιστή. Αυτή η αλλαγή συνεπάγεται αλλαγή στη αντίσταση, στην επαγωγή και στην φάση. Όλες οι παραπάνω ποσότητες χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση των οχημάτων. Εντούτοις, σε πολλές περιπτώσεις, η ανιχνευτική μέθοδος βασίζεται στην αλλαγή επαγωγής. Η αλλαγή της επαγωγής στο μαγνητικό πεδίο επηρεάζεται επίσης από τη θερμοκρασία, τη βροχή και την τυχόν αλλαγή στην επιφάνεια του δρόμου, με αποτέλεσμα η αλλαγή της τιμής της επαγωγής να επηρεάζεται περισσότερο από αυτούς τους παράγοντες παρά από την διείσδυση οχημάτων στην υπό εξέταση περιοχή. Για αυτόν τον λόγο το φαινόμενο θα πρέπει να αντισταθμιστεί. Με χρήσιμα εργαλεία υπολογίζεται η εισροή οχημάτων, λαμβάνοντας υπόψιν μόνο την ποσότητα της επαγωγής η οποία μεταβάλλεται κατά τη διάρκεια της δημιουργίας της στην έξοδο από την υπό εξέταση περιοχή. Η αλλαγή στην

επαγωγή οφείλεται στην εισροή οχημάτων, ανάλογα και με τον τύπο του κάθε οχήματος, το σύστημα είναι πιο ευαίσθητο σε οχήματα μικρού μήκους και λιγότερο σε οχήματα μεγαλύτερου. (βλ. σχήμα 2.2)



**Σχήμα 2.2** Βασική αρχή λειτουργίας επαγωγικού βρόγχου

## 2.2.2 Προδιαγραφές φωρατών σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή ένωση

### 2.2.2.1 Τρόποι λειτουργίας

Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ευρωπαϊκής ένωσης οι φωρατές επαγωγικού βρόγχου θα πρέπει να παρέχουν δύο εναλλακτικούς τρόπους λειτουργίας: <<διέλευση>> και <<παρουσία>>.

- Κατά τη λειτουργία της διέλευσης ο φωρατής παράγει έναν βραχύ παλμό διάρκειας 75ms έως 150ms για κάθε ενεργοποίησή του από τη διέλευση οχήματος πάνω από το βρόγχο του.

Σε περίπτωση στάθμευσης οχήματος πάνω στο βρόγχο του θα είναι σε θέση να αντιλαμβάνεται άλλο όχημα το οποίο θα διέρχεται πάνω στο ελεύθερο μέρος του βρόγχου του σε 2 s το πολύ.

- Κατά τον τρόπο παρουσίας ο φωρατής θα δίνει μια συνεχή έξοδο , για όσο διαρκεί η παρουσία ενός οχήματος πάνω στο βρόγχο του. Η μέγιστη διάρκεια του παλμού θα καθορίζεται από ένα διακόπτη παρουσίας. Μετά τη μέγιστη αυτή διάρκεια το σύστημα θα επανέρχεται αυτόματα σε κατάσταση ηρεμίας, με προσαρμογή του στην αυτεπαγωγή του βρόγχου με το σταθμευμένο πάνω του όχημα, και ο φωρατής στο εξής θα αισθάνεται άλλα οχήματα τα οποία διέρχονται από το ελεύθερο τμήμα αυτού του βρόγχου.

Για έναν τυπικό βρόγχο 2m x 2m με τρεις σπείρες, με τη μέγιστη ευαισθησία του φωρατή και για ένα κλειστό επιβατικό όχημα σταθμευμένο ακριβώς πάνω στον βρόγχο, η μέγιστη διάρκεια του παλμού εξόδου θα μπορεί να ρυθμιστεί από 5 min έως 45 min περίπου.

Οι φωρατές θα διαθέτουν στιγμιαίο διακόπτη επαναφοράς (π.χ. κουμπί πίεσης) , με την βοήθεια του οποίου θα απενεργοποιούνται όλα τα κανάλια τα οποία καταγράφουν την παρουσία οχήματος. Το ίδιο αποτέλεσμα θα έχει και η επιλογή με τη βοήθεια του σχετικού διακόπτη στις λειτουργίες διέλευσης.

#### 2.2.2.2 Μετρήσεις φωρατών

Οι φωρατές παρέχουν τις εξής μετρήσεις :

- Παρουσία , η παράμετρος αυτή δηλώνει την παρουσία οχήματος πάνω στον βρόγχο ανίχνευσης και για όσο διάστημα εκείνη διαρκεί.
- Αριθμός οχημάτων, η παράμετρος αυτή δηλώνει τον αριθμό οχημάτων τα οποία πέρασαν πάνω από το βρόγχο σε κάποιο χρονικό διάστημα το οποίο καθορίζεται στο λογισμικό της συσκευής. Ο μηδενισμός της παραμέτρου αυτής θα πραγματοποιείται μέσω του λογισμικού αυτού σε οποιοδήποτε σημείο του προγράμματος χρονισμού και ανεξάρτητα για κάθε ανιχνευτή.
- Κατάληψη, η παράμετρος αυτή δηλώνει τον χρόνο παρουσίας οχημάτων πάνω στον βρόγχο σε χρονικό διάστημα το οποίο θα καθορίζεται στο λογισμικό της συσκευής. Η μέτρηση του χρόνου παρουσίας γίνεται με βήμα το πολύ 100 ms. Ο μηδενισμός της παραμέτρου γίνεται μέσω του λογισμικού αυτού σε οποιοδήποτε σημείο του προγράμματος χρονισμού και ανεξάρτητα για κάθε ανιχνευτή. Όλες οι παραπάνω μπορούν να αποθηκεύονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα.
- Εξομαλυμένη κατάληψη, η παράμετρος αυτή δηλώνει τον μέσο κεντροβαρικό χρόνο παρουσίας οχημάτων πάνω στο βρόγχο σε μια σειρά χρονικών διαστημάτων και είναι κεντροβαρική μέση τιμή των καταλήψεων στα παραπάνω χρονικά διαστήματα. Ο μηδενισμός της παραμέτρου γίνεται μέσω του λογισμικού αυτού σε οποιοδήποτε σημείο του προγράμματος χρονισμού και ανεξάρτητα για κάθε ανιχνευτή.

- Εξομαλυμένος αριθμός οχημάτων, η παράμετρος αυτή είναι ο μέσος κεντροβαρικός αριθμός των οχημάτων πάνω στο βρόγχο σε μια σειρά χρονικών διαστημάτων.
- Χρονικό διάστημα, η παράμετρος αυτή δηλώνει την χρονική διάρκεια κατά την οποία δεν υπάρχει αυτοκίνητο πάνω στον βρόγχο.
- Τελευταίο συμπληρωμένο διάκενο, η παράμετρος αυτή δηλώνει το τελευταίο χρονικό διάκενο του οποίου έχει ολοκληρωθεί η μέτρηση. Η παράμετρος αλλάζει κάθε φορά που συμπληρώνεται το τρέχον χρονικό διάκενο, δηλαδή κάθε φορά που περνά όχημα πάνω από το βρόγχο.

Η μήτρα των ενδιάμεσων χρόνων , ο συνδυασμός των ομάδων σε φάσεις, η διαδοχή των φάσεων, τα μέγιστα και τα ελάχιστα όρια ένδειξης πρασίνου και οι άλλες απαραίτητες παράμετροι, ανάλογα με τη μεθοδολογία λειτουργίας , καθορίζονται από τον εκάστοτε μελετητή. Σε περίπτωση βλάβης έστω και ενός εκ των βρόγχων των φωρατών μιας ομάδας σηματοδοτών ο χρόνος πρασίνου της ομάδας αυτής θα παίρνει μια προκαθορισμένη από τον μελετητή σταθερή διάρκεια.

### 3.ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΟΙ ΟΠΟΙΟΙ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΙΣ ΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕΣΩ ΤΟΥ ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΥ ΕΚΤΙΜΗΣΗΣ

#### 3.1 Η θέση του φωρατή σε σχέση με τη γραμμή του stop

Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι χαμηλές τιμές της χρονικής κατάληψης του φωρατή υποδηλώνουν ότι η ουρά στον σύνδεσμο(link) βρίσκεται περίπου κατάντη της θέσης του φωρατή καθώς επίσης ότι μεσαίες τιμές κατάληψης καταδεικνύουν ότι η ουρά στον σύνδεσμο βρίσκεται γύρω από τη θέση του φωρατή ενώ τέλος μεγάλες τιμές χρονικής κατάληψης υποδηλώνουν ότι η ουρά στο σύνδεσμο βρίσκεται περίπου ανάντη του ρεύματος της θέσης του φωρατή. Παραταύτα παρατηρείται σε ορισμένες περιπτώσεις ο φωρατής να είναι κατειλημμένος για ένα μεγάλο ποσοστό του κύκλου αλλά το τμήμα το οποίο εξετάζουμε να διασχίζεται από μικρό σχετικά αριθμό οχημάτων. Αυτό συμβαίνει κατά κύριο λόγο διότι δεν λαμβάνουμε υπόψη τη σχέση της θέσης του φωρατή με τη γραμμή του stop( τη θέση δηλαδή του φωτεινού σηματοδότη). Όταν ο φωρατής βρίσκεται σε μικρή απόσταση από τον φωτεινό σηματοδότη υπάρχει μια αναλογία στις τιμές της χρονικής με την χωρική κατάληψη. Όσο εγγύτερα της θέσης του φωτεινού σηματοδότη βρίσκεται ο φωρατής τόσο περισσότερα αυτοκίνητα περνούν από αυτόν. Αντίστοιχα όταν βρίσκεται στο μέσον του συνδέσμου ο αριθμός των αυτοκινήτων μειώνεται ενώ όταν απομακρύνεται κι άλλο αντίστοιχα μειώνεται και ο αριθμός των αυτοκινήτων.

### 3.2 Η επίδραση του χρόνου πρασίνου

Όπως έχει αποδειχθεί και σε προηγούμενες μελέτες ο χρόνος πρασίνου αποτελεί σημαντικό παράγοντα επηρεασμού του χρόνου διαδρομής. Όπως συνάγεται με βάση απλό συλλογισμό, μεγάλος χρόνος πρασίνου οδηγεί σε μικρότερο χρόνο διαδρομής για το όχημα ενώ αντίστοιχα η μείωση του χρόνου πρασίνου συνεπάγεται και αύξηση του χρόνου διαδρομής.

### 3.3 Η επίδραση του μήκους του συνδέσμου και των λωρίδων αυτού

Ανάλογα με το πλήθος των λωρίδων κυκλοφορίας ανά ρεύμα κυκλοφορίας έχουμε και διαφορετικές τιμές χωρικής και χρονικής κατάληψης και αυτό συμβαίνει απλούστατα διότι σε μια λωρίδα μονής κυκλοφορίας η χωρική και η χρονική κατάληψη θα είναι μεγαλύτερες από ότι σε μια λωρίδα διπλής τριπλής κ.ο.κ. κυκλοφορίας καθώς για δεδομένη πάντα τη θέση του φωρατή σε σχέση με τη γραμμή του stop για ίδιο αριθμό αυτοκινήτων η ουρά θα είναι μεγαλύτερη στον μονής λωρίδας σύνδεσμο. Επιπλέον μπορούμε να αναφέρουμε ότι τα οχήματα αναπτύσσουν μεγαλύτερες ταχύτητες σε δρόμους με δύο ή και παραπάνω λωρίδες κυκλοφορίας ενώ τω αυτό συμβαίνει και σε συνδέσμους μεγάλου μήκους, τα αυτοκίνητα αναπτύσσουν μεγαλύτερες ταχύτητες όπως γίνεται όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος του εκάστωτε συνδέσμου. Έτσι γίνεται εύκολα αντιληπτός ο σημαντικότερος ρόλος της παραμέτρου του αριθμού λωρίδων κάθε συνδέσμου καθώς και του μήκους του συνδέσμου.

## 4.ΔΙΚΤΥΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Η συγκεκριμένη μελέτη εκτίμησης χρόνων ταξιδιού έχει ως δίκτυο εφαρμογής μέρος του οδικού δικτύου της πόλης των Χανίων. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων που εκπονήθηκαν καθώς δε και των προσομοιώσεων με βάση λογισμικό σε γλώσσα προγραμματισμού matlab θα παρουσιαστούν σε επόμενα κεφάλαια.

Τα Χανιά, που βρίσκονται στο βορειοδυτικό τμήμα της Κρήτης είναι η πρωτεύουσα του νομού Χανίων και καλύπτουν έκταση 11 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Οι κάτοικοι της πόλης είναι 70000 περίπου όμως την καλοκαιρινή περίοδο αυτοί ξεπερνούν κατά πολύ τις 100000. Το δημοτικό συμβούλιο της πόλης το οποίο είναι υπεύθυνο για τη ρύθμιση της φωτεινής σηματοδότησης έχει δημιουργήσει ένα ειδικό τμήμα για το σκοπό αυτό.

Το 1982 στα Χανιά υπήρχαν μόνο 9 κόμβοι με ελεγχόμενη φωτεινή σηματοδότηση, οι οποίοι και ελέγχονταν μέσω ενός συστήματος (τύπου AY) της εταιρίας SIEMENS. Το 1990 οι ελεγχόμενοι κόμβοι έγιναν 15 και συνέχιζαν να ελέγχονται από το ίδιο σύστημα. Το 1999 οι ελεγχόμενοι κόμβοι έγιναν 15 και συνέχισαν να ελέγχονται από την εταιρία SIEMENS μέσω όμως πλέον ενός νέου συστήματος τύπου M. Σήμερα στα Χανιά υπάρχουν 28 συνολικά κόμβοι με ελεγχόμενη φωτεινή σηματοδότηση ενώ το τμήμα το οποίο είναι υπεύθυνο για τον έλεγχό τους απαριθμεί 11 υπαλλήλους οι οποίοι είναι ως επί τω πλείστον τεχνικοί.

Ένας MIGRA CENTRAL H/Y της Siemens με λειτουργικό σύστημα WINDOWS NT παρακολουθεί καθημερινά τους αστικούς κόμβους και σε γενικές γραμμές παρέχει τα παρακάτω :

- Πλήρη επιτήρηση των κόμβων (δυσλειτουργίες, ζημιές, διακοπή λειτουργίας κ.λ.π.).
- Πλήρη συντονισμό όλων των αστικών κόμβων.
- Αλλαγή των σχεδίων ελέγχου σηματοδότησης σύμφωνα με την στρατηγική TASS ή την στρατηγική TUC.

Η SIEMENS GREECE (SAE) έχει καταφέρει την επιτυχή εφαρμογή της στρατηγικής TUC τμήματα του δικτύου των Χανίων. Αυτή η εφαρμογή λειτουργεί από τον Ιούνιο του 2001 παράλληλα με τον υπάρχον UTC σύστημα και λόγω των καλών αποτελεσμάτων της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε για την εφαρμογή της στρατηγικής TUC, η οποία επεκτάθηκε για ολόκληρο το ελεγχόμενο δίκτυο.

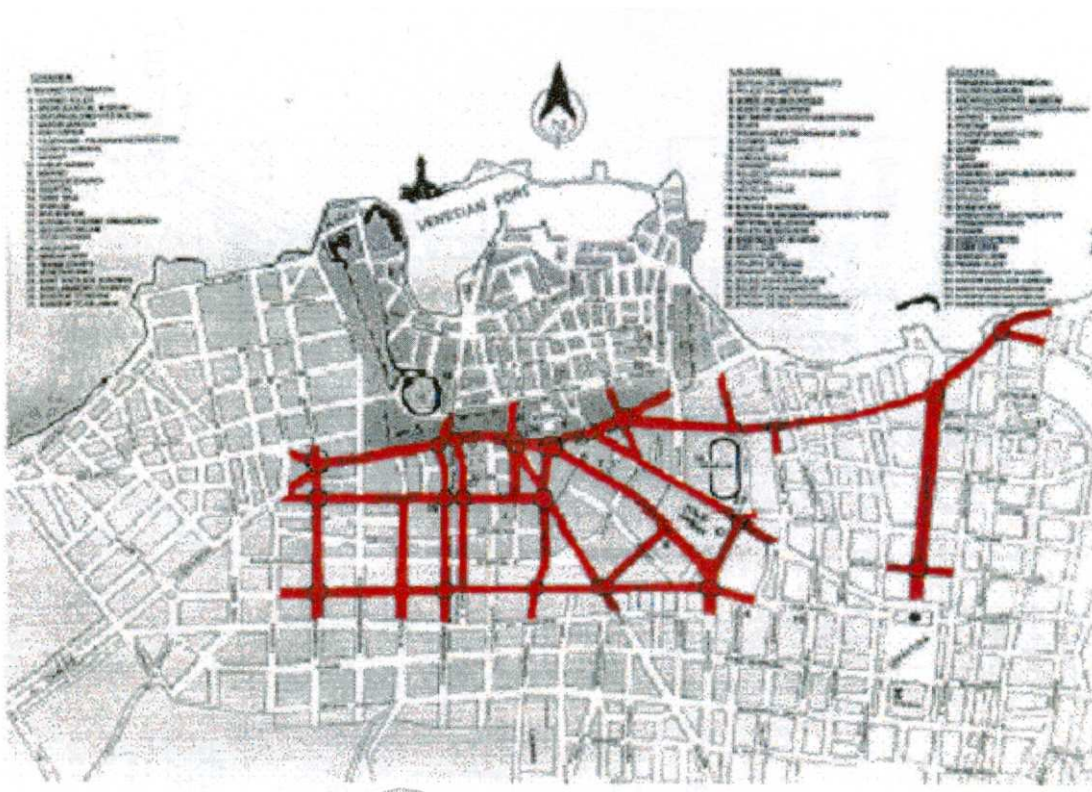
Το κύριο χαρακτηριστικό του συστήματος TUC είναι η μεγαλύτερη λειτουργική ανεξαρτησία σε σχέση με το υπάρχον MICRA UTC σύστημα. Τα κύρια πλεονεκτήματα της ανεξαρτησίας του συστήματος TUC είναι:

- Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού του η επιρροή του πάνω στο υπάρχον UTC σύστημα είναι πολύ μικρή.
- Το σύστημα TUC και το υπάρχον UTC σύστημα μπορούν να λειτουργήσουν παράλληλα αν και μόνο το ένα από τα δύο θα είναι on-line κάποια δεδομένη χρονική στιγμή.
- Η μεταφορά από το ένα σύστημα στο άλλο μπορεί να γίνει πολύ εύκολα.
- Το σύστημα TUC μπορεί να εγκατασταθεί με πολύ λίγες τροποποιήσεις σε άλλα υπάρχοντα UTC συστήματα από διαφορετικούς κατασκευαστές.

Το Σχήμα 4-1 της επόμενης σελίδας δείχνει έναν απλοποιημένο χάρτη του υπό μελέτη δικτύου που έχει μήκος περίπου 8 Km και αποτελείται από 22

ελεγχόμενους κόμβους. Οι περισσότεροι από τους συνδέσμους στο δίκτυο αυτό αποτελούνται από μόνο μια λωρίδα, γεγονός που σημαίνει ότι απροσδόκητα γεγονότα (όπως για παράδειγμα ατυχήματα) μπορούν να μπλοκάρουν το σύνδεσμο και επομένως να επιδεινώσουν την κατάσταση της κυκλοφορίας, ακόμα και αν η διάρκεια τους είναι μόνο μερικά λεπτά.

Επιπλέον, τα προβλήματα συμφόρησης δεν περιορίζονται μόνο στους δρόμους με τα απροσδόκητα γεγονότα αλλά διαδίδονται σε πολλούς άλλους δρόμους. Κατά τη διάρκεια των πρωινών και βραδινών ωρών υπάρχει συχνή κυκλοφορία λεωφορείων σχεδόν σε κάθε μέρος του δικτύου. Οι μετακινήσεις των πεζών δεν δημιουργούν ιδιαίτερο πρόβλημα στο δίκτυο και δεν υπάρχει λόγος για ειδική μεταχείριση. Η προτεραιότητα των μέσων μαζικής μεταφοράς δεν αποτελεί πρόβλημα στα Χανιά και έτσι το συγκεκριμένο τμήμα της στρατηγικής (PTP Module) δεν θα εφαρμοστεί στη συγκεκριμένη εργασία.



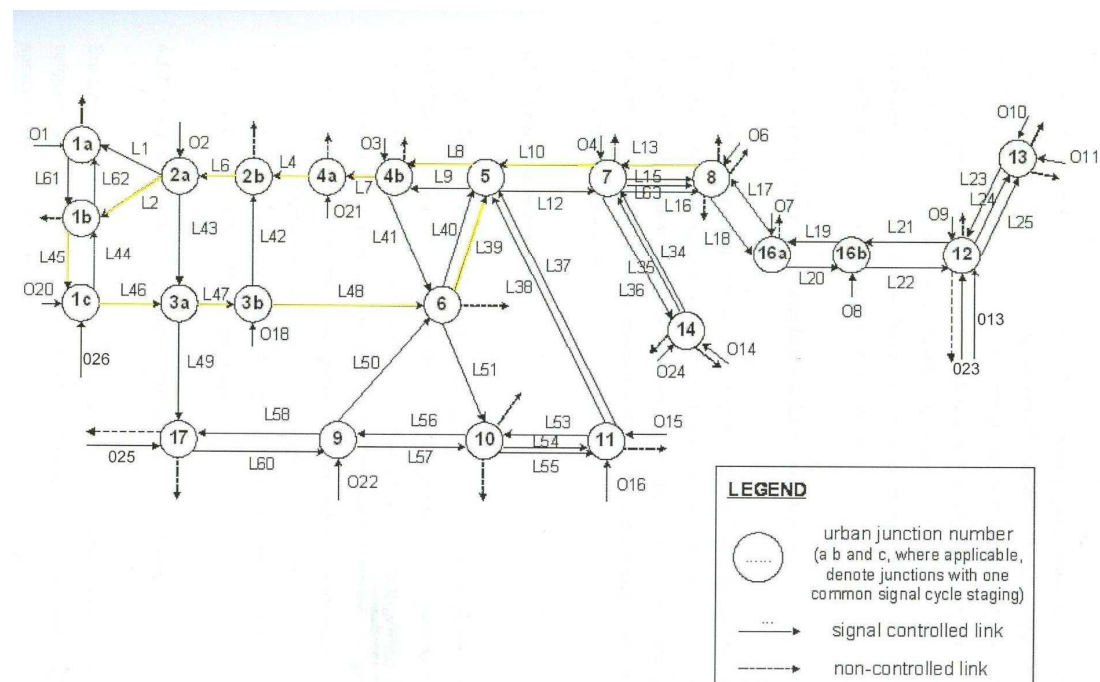
**Σχήμα 4-1 :** Το αστικό δίκτυο των Χανίων

#### 4.1 Χαρακτηριστικά της κυκλοφορίας στα Χανιά

Προβλήματα κυκλοφοριακής συμφόρησης αντιμετωπίζονται καθημερινά ειδικά στο κεντρικό και βόρειο μέρος του εξεταζόμενου δικτύου για περίπου μία έως δύο ώρες το πρωί και το βράδυ. Στις περισσότερες κυκλοφοριακές αρτηρίες της πόλης υπάρχει μεγάλη συμφόρηση στις 18:00 – 21:30 την Τρίτη, την Πέμπτη και την Παρασκευή το βράδυ λόγω των εμπορικών καταστημάτων. Ένας άλλος λόγος που προκαλεί τη συμφόρηση είναι η μεγάλη συχνότητα λεωφορείων, τα οποία επιβιβάζουν και αποβιβάζουν ανθρώπους στις στάσεις και συχνά εμποδίζουν την κυκλοφορία στη μία κατεύθυνση του δρόμου. Άλλοι λόγοι είναι η μείωση της χωρητικότητας λόγω της παράνομης στάθμευσης στους κύριους δρόμους και η υψηλή χρήση των οχημάτων από τους κατοίκους της πόλης. Μεγάλα προβλήματα συμφόρησης προκύπτουν σε ολόκληρο το δίκτυο κατά τη διάρκεια των βροχερών ημερών όταν δημιουργείται μια υπερβολική εσωτερική και εξωτερική ζήτηση, συνήθως μια ζήτηση που δεν μπορεί να στηριχτεί από την υπάρχουσα υποδομή του δικτύου. Προβλήματα βαριάς συμφόρησης προκύπτουν επίσης κατά τη διάρκεια της θερινής τουριστικής περιόδου. Το ήδη βαριά φορτωμένο οδικό δίκτυο της πόλης φορτώνεται περαιτέρω από τα πρόσθετα ιδιωτικά αυτοκίνητα και μοτοσικλέτες, τα ενοικιαζόμενα αυτοκίνητα και μοτοποδήλατα, τα τουριστικά λεωφορεία και την αυξημένη μετακίνηση των ταξί. Όλα τα προαναφερθέντα προβλήματα αντιμετωπίζονται καθημερινά εκτός από την Κυριακή και μερικές σπάνιες περιπτώσεις όπως για παράδειγμα τις ημέρες αργίας.

#### 4.2. Ποικιλία συνδέσμων (links)

Στο σχήμα 4.2 οι κόμβοι με ελεγχόμενη σηματοδότηση και ασφαλώς και οι σύνδεσμοι (links) του αστικού οδικού δικτύου της πόλης των Χανίων. Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν οι χρόνοι ταξιδιού των πλέον πολυσύχναστων οδικών αρτηριών του αστικού δικτύου των Χανίων και συγκεκριμένα οι εξής σύνδεσμοι: L13, L10, L8, L7, L4, L6, L2, L45, L48 και L39.



**Σχήμα 4.3** Εξεταζόμενοι σύνδεσμοι στην παρούσα μελέτη.

## 5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ

Πριν προχωρήσουμε στην παράθεση των ημερομηνιών(ημερών και ωρών) διεξαγωγής των πειραμάτων κρίνεται σκόπιμο να παραθέσουμε κάποια καίρια στοιχεία τα οποία έχουν ληφθεί από τις υπεύθυνες για το δίκτυο των Χανίων αρχές τα οποία συντελούν στην επεξεργασία των πειραματικά λαμβανόμενων μετρήσεων.

Στον πίνακα 5.1 παρουσιάζονται όλες οι καίριες παράμετροι των συνδέσμων του δικτύου, δηλαδή το μήκος(length) ο αριθμός λωρίδων(lanes), η ροή κορεσμού(sat flow) και η θέση του φωρατή στον σύνδεσμο(απόσταση από την γραμμή stop)(Dstopl). Επιπρόσθετα αναφέρουμε ότι ο κύκλος μιας περιόδου (cycle time) λαμβάνεται 90 sec ενώ το μέγιστο μήκος συνδέσμου(max length) 540.

Η χρησιμότητα αυτών των παραμέτρων δεν γίνεται αντιληπτή παρά μόνο με την παράθεση ενός παραδείγματος. Οι μετρήσεις αυτές επεξεργαζόμενες ως ακολούθως χρησιμοποιούνται σε περιβάλλον matlab Παρακάτω στον πίνακα 5.2 παρουσιάζουμε τις μετρήσεις οι οποίες έλαβαν χώρα στις 16/3 και ημέρα Παρασκευή και ώρες :

13:04      13:18      13:28      13:41      13:55

Στον πίνακα 5.2.1 παρατίθενται οι χρόνοι διέλευσης μετρούμενοι μέσω ψηφιακού χρονομέτρου ακριβείας σε κάθε εξεταζόμενο σύνδεσμο στις παραπάνω ώρες

### Πίνακας 5.2.1

|              |     |       |       |        |        |        |
|--------------|-----|-------|-------|--------|--------|--------|
| Time<br>diff | L13 | 30.33 | 63.84 | 67.59  | 69.32  | 68.23  |
|              | L10 | 18.29 | 15.23 | 15.07  | 16.09  | 16.08  |
|              | L8  | 37.34 | 6.18  | 8.87   | 7.95   | 7.94   |
|              | L7  | 13.55 | 32.33 | 40.79  | 43.01  | 44.88  |
|              | L4  | 37.70 | 46.30 | 43.21  | 44.23  | 45.31  |
|              | L6  | 4.29  | 4.64  | 4.88   | 4.99   | 5.02   |
|              | L2  | 91.51 | 86.17 | 89.57  | 90.07  | 91.67  |
|              | L45 | 48.15 | 59.91 | 67.82  | 68.51  | 67.99  |
|              | L46 | 68.04 | 58.00 | 50.36  | 53.54  | 58.99  |
|              | L47 | 8.38  | 4.75  | 9.34   | 9.76   | 10.06  |
|              | L48 | 40.14 | 53.94 | 113.29 | 119.99 | 127.92 |
|              | L39 | 23.46 | 21.19 | 46.77  | 49.67  | 51.70  |

Στον πίνακα 5.2.2 παρατίθεται η κανονικοποιημένη ροή των οχημάτων(flow).<sup>1</sup>

### Πίνακας 5.2.2

(Average  
Flow\*3600)/(Cycle\*1800)

|     |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| L13 | 0,189 | 0,267 | 0,244 | 0,244 | 0,278 |
| L10 | 0,311 | 0,333 | 0,356 | 0,389 | 0,256 |
| L8  | 0,356 | 0,478 | 0,533 | 0,444 | 0,456 |
| L7  | 0,356 | 0,478 | 0,533 | 0,444 | 0,456 |
| L4  | 0,544 | 0,422 | 0,634 | 0,222 | 0,456 |
| L6  | 0,544 | 0,422 | 0,634 | 0,222 | 0,456 |
| L2  | 0,378 | 0,311 | 0,511 | 0,511 | 0,444 |
| L45 | 0,267 | 0,244 | 0,178 | 0,222 | 0,222 |
| L46 | 0,867 | 1,4   | 0,356 | 1,4   | 1,911 |
| L47 | 0,867 | 1,4   | 0,356 | 1,4   | 1,911 |
| L48 | 0,389 | 0,367 | 0,333 | 0,222 | 0,389 |
| L39 | 0,511 | 0,4   | 0,333 | 0,356 | 0,422 |

<sup>1</sup>Κρίνεται σκόπιμο να αναφέρουμε ότι οι τιμές τόσο για το flow(ροή) όσο και για το occupancy(κατάληψη) είναι αυτές οι οποίες και ελήφθησαν άμεσα μέσω των Η/Υ του Δήμου και λαμβάνονται από τους φωρατές επαγωγικού βρόγχου

**Πίνακας 5.1 Χαρακτηριστικά των συνδέσμων του δικτύου**

| Name(ονομασία κόμβου) | SatFlow(ροή κορεσμού)<br>(veh\h) | Length(μήκος συνδέσμου)<br>(veh) | Lanes(αριθμός λωρίδων)<br>(km/h) | Dstopl<br>(απόσταση<br>Από τη γραμμή<br>του stop) |
|-----------------------|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------------|
| L34                   | 1575                             | 360                              | 1                                | 40                                                |
| L35                   | 3150                             | 360                              | 2                                | 40                                                |
| L36                   | 1575                             | 360                              | 1                                | 40                                                |
| L37                   | 1800                             | 540                              | 1                                | 90                                                |
| L38                   | 1800                             | 540                              | 1                                | 90                                                |
| L39                   | 1800                             | 118                              | 1                                | 40                                                |
| L40                   | 1800                             | 168                              | 1                                | 40                                                |
| L41                   | 3600                             | 196                              | 2                                | 50                                                |
| L42                   | 1800                             | 126                              | 1                                | 30                                                |
| L43                   | 3600                             | 188                              | 2                                | 40                                                |
| L44                   | 1800                             | 90                               | 1                                | 40                                                |
| L45                   | 1800                             | 190                              | 1                                | 30                                                |
| L46                   | 3600                             | 360                              | 2                                | 220                                               |
| L47                   | 3600                             | 80                               | 2                                | 40                                                |
| L48                   | 3600                             | 288                              | 2                                | 100                                               |
| L49                   | 2600                             | 280                              | 2                                | 150                                               |
| L50                   | 1800                             | 210                              | 1                                | 50                                                |
| L51                   | 3600                             | 260                              | 2                                | 80                                                |
| L53                   | 1800                             | 240                              | 1                                | 150                                               |
| L54                   | 3600                             | 240                              | 2                                | 80                                                |
| L55                   | 1800                             | 240                              | 1                                | 90                                                |
| L56                   | 3600                             | 140                              | 2                                | 60                                                |
| L57                   | 1800                             | 160                              | 1                                | 80                                                |
| L58                   | 3600                             | 280                              | 2                                | 100                                               |
| L59                   | 1635                             | 280                              | 1                                | 105                                               |
| L60                   | 1635                             | 118                              | 1                                | 50                                                |
| L61                   | 1635                             | 304                              | 1                                | 90                                                |
| L62                   | 1800                             | 160                              | 1                                | 40                                                |
| L1                    | 1800                             | 300                              | 1                                | 95                                                |
| L2                    | 2500                             | 300                              | 2                                | 95                                                |
| L4                    | 3600                             | 110                              | 2                                | 90                                                |
| L6                    | 3600                             | 46                               | 2                                | 40                                                |
| L7                    | 4725                             | 30                               | 3                                | 25                                                |
| L8                    | 4725                             | 40                               | 3                                | 30                                                |
| L9                    | 1800                             | 40                               | 1                                | 30                                                |
| L10                   | 5400                             | 60                               | 3                                | 44                                                |
| L12                   | 3600                             | 60                               | 2                                | 50                                                |
| L13                   | 3600                             | 64                               | 2                                | 40                                                |
| L15                   | 1800                             | 64                               | 1                                | 33                                                |
| L16                   | 1800                             | 64                               | 1                                | 33                                                |
| L17                   | 3600                             | 248                              | 2                                | 110                                               |
| L18                   | 3600                             | 248                              | 2                                | 40                                                |
| L19                   | 1800                             | 90                               | 1                                | 20                                                |
| L20                   | 1800                             | 90                               | 1                                | 20                                                |
| L21                   | 1800                             | 384                              | 1                                | 50                                                |
| L22                   | 2150                             | 384                              | 1                                | 90                                                |
| L23                   | 2200                             | 190                              | 1                                | 90                                                |
| L24                   | 1950                             | 190                              | 1                                | 60                                                |
| L25                   | 2400                             | 190                              | 1                                | 60                                                |

Στον πίνακα 5.2.3 παρατίθεται , πάντα για την συγκεκριμένη ημέρα και τις προαναφερθείσες ώρες, η κανονικοποιημένη κατάληψη για κάθε εξεταζόμενο σύνδεσμο.

**Πίνακας 5.2.3**

Average  
Occurrancy/100

|     |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| L13 | 0,075 | 0,26  | 0,24  | 0,175 | 0,12  |
| L10 | 0,085 | 0,245 | 0,14  | 0,125 | 0,07  |
| L8  | 0,08  | 0,22  | 0,25  | 0,223 | 0,09  |
| L7  | 0,08  | 0,22  | 0,25  | 0,223 | 0,09  |
| L4  | 0,305 | 0,825 | 0,225 | 0,48  | 0,34  |
| L6  | 0,305 | 0,825 | 0,225 | 0,48  | 0,34  |
| L2  | 0,11  | 0,36  | 0,17  | 0,16  | 0,17  |
| L45 | 0,12  | 0,08  | 0,06  | 0,09  | 0,08  |
| L46 | 0,49  | 0,22  | 0,56  | 0,31  | 0,4   |
| L47 | 0,49  | 0,22  | 0,56  | 0,31  | 0,4   |
| L48 | 0,43  | 0,335 | 0,405 | 0,71  | 0,705 |
| L39 | 0,49  | 0,39  | 0,68  | 0,59  | 0,55  |

Τέλος, στον πίνακα 5.2.4 παρατίθενται οι σταθερές παράμετροι του κανονικοποιημένου μήκους συνδέσμου καθώς και της κανονικοποιημένης απόστασης από την γραμμή του stop. Οι δύο αυτές παράμετροι είναι ανεξάρτητες τόσο από τις πειραματικές μετρήσεις τις ληφθείσες δηλαδή μέσω του ψηφιακού χρονομέτρου όσο και από τις ληφθείσες από τους φωρατές μετρήσεις και εξαρτώνται μόνο από τον εκάστοτε σύνδεσμο.

**Πίνακας 5.2.4**

Length/Max\_Length  
Max\_Length=540

DstopL/Length

|     |       |     |       |
|-----|-------|-----|-------|
| L13 | 0,119 | L13 | 0,313 |
| L10 | 0,111 | L10 | 0,733 |
| L8  | 0,074 | L8  | 0,161 |
| L7  | 0,055 | L7  | 0,833 |
| L4  | 0,204 | L4  | 0,818 |
| L6  | 0,085 | L6  | 0,87  |
| L2  | 0,536 | L2  | 0,317 |
| L45 | 0,093 | L45 | 0,66  |
| L46 | 0,578 | L46 | 0,705 |
| L47 | 0,056 | L47 | 0,666 |
| L48 | 0,349 | L48 | 0,479 |
| L39 | 0,219 | L39 | 0,339 |

Οι υπόλοιπες ημέρες στις οποίες πραγματοποιήθηκαν πειράματα με γνώμονα το γεγονός της ύπαρξης μεγαλύτερου κυκλοφορικού φόρτου είναι Πέμπτη 12/2 και ώρες 17:49, 18:00, 18:12, 18:25. Την Πέμπτη 29/3 και ώρες 19:03, 19:15, 19:30, 19:43, 19:58. Το Σάββατο 6/4 και ώρες 11:30, 11:46, 11:59, 12:11, 12:28. Οι μετρήσεις οι οποίες ελήφθησαν παρουσιάζονται στο παράρτημα 2.

Σκόπιμη επιπλέον κρίνεται και η γραφική παρουσίαση εξέλιξης της ροής τόσο όσο και της κατάληψης σε κάθε εξεταζόμενο σύνδεσμο ξεχωριστά για όλες τις ημέρες και ώρες κατά τις οποίες ελήφθησαν οι πειραματικές μετρήσεις. (βλ. Παράρτημα 5). Αξίζει να σημειωθεί ότι μεγάλες τιμές της ροής συνεπάγονται, σε περίπτωση βέβαια πάντα μικρής τιμής του σφάλματος, μικρότερο χρόνο διαδρομής ενώ μεγάλες τιμές της κατάληψης συναπαντώνται με μεγαλύτερους χρόνους διαδρομής. Βέβαια θα πρέπει σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε ότι η σχέση μεταξύ ροής και χρόνου διαδρομής αλλά και αυτή μεταξύ κατάληψης και χρόνου διαδρομής δεν είναι σχέσεις γραμμικές συνεπώς δεν ισχύουν κατά ευθεία αναλογία, για αυτό άλλωστε στην μελέτη μας δεν χρησιμοποιούμε απλά μαθηματικά μοντέλα αλλά καταφεύγουμε στην επίλυση με χρήση νευρωνικών δικτύων υψηλής τάξης.

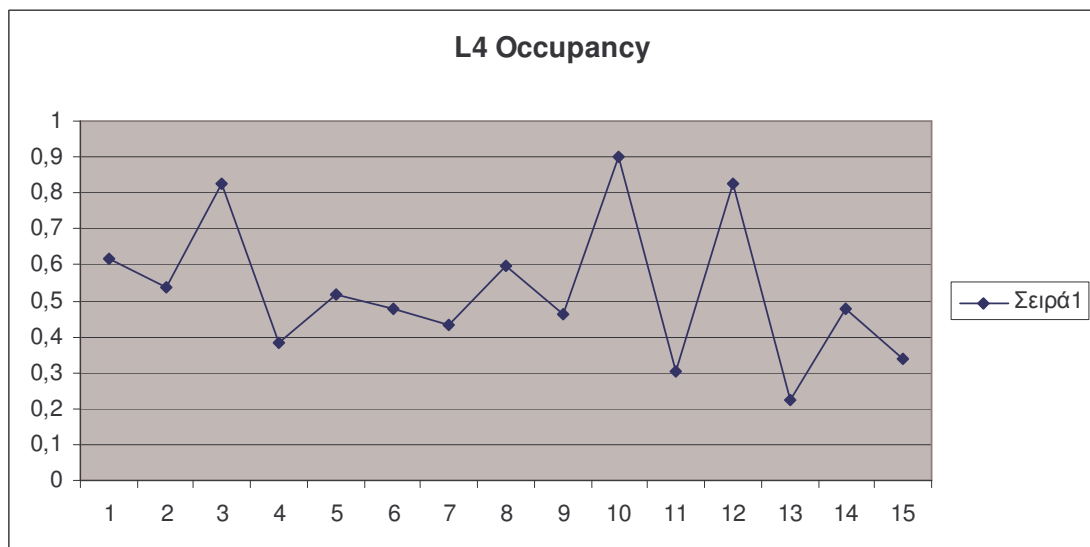
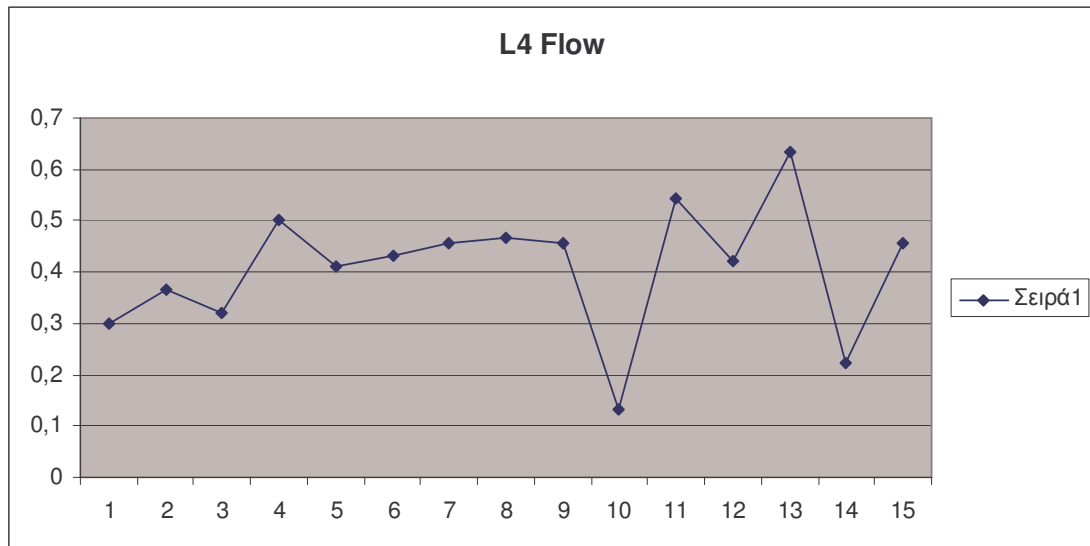
Τα παραπάνω γίνονται ευκολότερα κατανοητά με την χρήση ενός κατάλληλου παραδείγματος.

Στα διαγράμματα κατάληψης και ροής ανά για τον σύνδεσμο 4 τα οποία ακολουθούν οι τιμές 1,2,3,...,14,15 στον ψ άξονα αναφέρονται στις ημερομηνίες και συγκεκριμένες ώρες κατά τις οποίες ελήφθησαν οι μετρήσεις.

*Date Time(gmt+2)*

- 1: 6/4 11:30
- 2: 6/4 11:46
- 3: 6/4 11:59
- 4: 6/4 12:11
- 5: 6/4 12:28
- 6: 16/3 13:04
- 7: 16/3 13:18
- 8: 16/3 13:28
- 9: 16/3 13:41

*Date Time(gmt+2)*  
 10:16/3 13:55  
 11:29/3 19:03  
 12:29/3 19:15  
 13:29/3 19:30  
 14:29/3 19:43  
 15:29/3 19:58



Παρακάτω παραθέτουμε επιπρόσθετα και τις μετρήσεις οι οποίες ελήφθησαν μέσω ψηφιακού χρονομέτρου ανά ημερομηνία ενδεικτικά για δύο μόνο ημερομηνίες.

6/4

|    |       |       |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| L4 | 50.45 | 50.02 | 59.47 | 49.90 | 52.56 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|

29/3

|    |       |       |       |       |       |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|
| L4 | 54.46 | 50.83 | 39.28 | 56.29 | 44.48 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|

Ενδεικτικά η μέτρηση 13 δηλαδή η οποία παρουσιάζει μικρό χρόνο διαδρομής μόλις 39,28 sec εμφανίζει μεγάλη τιμή της ροής οχημάτων μεγαλύτερη του 0,6 ενώ παράλληλα τιμή κατάληψης μικρή κοντά στο 0,2.

Επιπλέον η μέτρηση 3 η οποία εμφανίζει τον μεγαλύτερο από τους παρατιθέμενους χρόνους διαδρομής , 59,47 sec , εμφανίζει μεγάλη τιμή κατάληψης άνω του 0,8 ενώ αντίστοιχα μικρή τιμή ροής κοντά στο 0,3.

Συνεπώς και με την βοήθεια πειραμάτων καταλήγουμε στο εμπειρικό αλλά πλέον και πειραματικά τεκμηριωμένο συμπέρασμα ότι μεγάλη τιμή ροής οχημάτων συνεπάγεται μικρό χρόνο διαδρομής ενώ μεγάλη τιμή της κατάληψης του συνδέσμου συνεπάγεται μεγάλο χρόνο διαδρομής.

## 6. ΕΚΤΙΜΗΤΕΣ(ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ) ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΞΗΣ

### 6.1 Νευρωνικά δίκτυα υψηλής τάξης

Τα νευρωνικά δίκτυα υψηλής τάξης έχει αποδειχθεί ότι έχουν εκπληκτικές ιδιότητες υπολογισμού, αποθήκευσης και μάθησης. Η απόδοσή τους οφείλεται στο γεγονός ότι η τάξη ή η δομή των νευρωνικών δικτύων υψηλής τάξης, μπορεί να προσαρμοσθεί στην τάξη ή τη δομή του προβλήματος. Συνεπώς το νευρωνικό δίκτυο που σχεδιάστηκε για συγκεκριμένη κατηγορία προβλημάτων εξειδικεύεται και γίνεται ακόμη πιο αποτελεσματικό στην επίλυση αυτών των προβλημάτων.

Ένα νευρωνικό δίκτυο υψηλής τάξης ορίζεται ως μια υψηλής τάξης λογική μονάδα (High Order Threshold Logic Unit – HOTLU) η οποία περιλαμβάνει όρους με υψηλής τάξης βάρη. Συνήθως, αλλά όχι πάντα, η έξοδος του είναι (1,0) ή (+1,-1). Ένα υψηλής τάξης νευρωνικό δίκτυο στρωμάτων (slab) ορίζεται ως ένα σύνολο λογικών μονάδων υψηλής τάξης (HOTLUs).

Ένα απλό στρώμα νευρωνικού δικτύου υψηλής τάξης περιγράφεται από τη σχέση:

$$y_i = S[net(i)] = S[T_0(i) + T_1(i) + T_2(i) + T_3(i) + K + T_k(i)]$$

(1)

όπου  $y_i$  είναι η έξοδος της  $i$ -οστής νευρωνικής μονάδας υψηλής τάξης και  $S$  είναι η σιγμοειδής συνάρτηση.  $T_n(i)$  είναι ο όρος  $n$ -οστής τάξης για την  $i$ -οστή μονάδα και  $k$  είναι η τάξη της μονάδας.

Ο όρος μηδενικής τάξης είναι ρυθμιζόμενο κατώφλι, που δηλώνεται ως  $W_0(i)$ . Ο όρος  $n$ -οστής τάξης είναι ένα γραμμικό σταθμισμένο άθροισμα από τα  $n$ -οστής τάξης γινόμενα των εισόδων, παραδείγματα των οποίων είναι τα:

$$T_1(i) = \sum_j W_1(i, j)x(j) \quad , \quad T_2(i) = \sum_j \sum_k W_2(i, j, k)x(j)x(k)$$

(2)

όπου  $x(j)$  είναι η  $j$ -οστή είσοδος στο νευρώνα  $i$ -οστής τάξης και  $W_n(i, j, \dots)$  είναι ένα ρυθμιζόμενο βάρος που συλλαμβάνει τη  $n$ -οστής τάξης συσχέτιση μεταξύ του  $n$ -οστής τάξης γινομένου των εισόδων και της εξόδου της μονάδας.

Αρκετά στρώματα μπορούν να συνδεθούν σειριακά τροφοδοτώντας την έξοδο ενός στρώματος ως είσοδο ενός άλλου στρώματος, για την παραγωγή δικτύων πολλαπλών στρωμάτων. Τα sigma-pi νευρωνικά δίκτυα είναι πολυεπίπεδα δίκτυα που μπορούν να έχουν όρους υψηλής τάξης σε κάθε επίπεδο. Ο αλγόριθμος μάθησης για αυτά τα δίκτυα είναι ο γενικευμένος back-propagation. Ωστόσο, οι sigma-pi μονάδες, όπως αρχικά κατασκευάστηκαν, δεν έχουν σταθερούς όρους βαρών, αν και είναι αρκετά απλό να ενσωματωθούν τέτοιες σταθερές στις εν λόγω μονάδες.

Η διαδικασία μάθησης περιλαμβάνει την εφαρμογή μιας καθορισμένης συνάρτησης στο νευρωνικό δίκτυο μέσω επαναληπτικής προσαρμογής των βαρών βασισμένη σε έναν συγκεκριμένο κανόνα μάθησης και στην αντίδραση του δικτύου στα σύνολα εκπαίδευσης. Η συνάρτηση που θα μαθευτεί αναπαριστάται από ένα σύνολο παραδειγμάτων που αποτελείται από το πιθανό διάνυσμα εισόδου σε συνδυασμό με μία επιθυμητή έξοδο. Το σύνολο εκπαίδευσης είναι υποσύνολο του συνόλου όλων των πιθανών παραδειγμάτων της συνάρτησης. Η υλοποίηση της διαδικασίας μάθησης περιλαμβάνει διαδοχική παρουσίαση παραδειγμάτων σχεδίασης ως ζεύγη εισόδου - εξόδου στο δίκτυο, τα οποία προέρχονται από το σύνολο εκπαίδευσης. Έπειτα από κάθε παρουσίαση, τα βάρη του δικτύου προσαρμόζονται ώστε να συλλαμβάνουν τη συσχέτιση της δομής της σχεδίασης.

Ένας συνηθισμένος κανόνας μάθησης μονού στρώματος είναι ο κανόνας perceptron, ο οποίος για τον κανόνα δεύτερης τάξης ενημέρωσης εκφράζεται ως:

$$W_2'(i, j, k) = W_2(i, j, k) + [t(i) - y(i)]x(j)x(k) \quad (3)$$

Εδώ  $t(i)$  είναι η επιθυμητή έξοδος και  $y(i)$  είναι η πραγματική έξοδος της  $i$ -οστής μονάδας για το  $x$  διάνυσμα εισόδου.

Υπάρχουν παρόμοιοι κανόνες μάθησης για τους υπόλοιπους όρους  $W_i$ . Εάν το δίκτυο αποδώσει τη σωστή έξοδο για κάθε παράδειγμα εισόδου στο σύνολο εκπαίδευσης, λέμε ότι το δίκτυο συνέκλινε, ή ότι έμαθε το σύνολο εκπαίδευσης. Εάν, έπειτα από τη μάθηση του συνόλου εκπαίδευσης, το δίκτυο δώσει τη σωστή έξοδο για ένα σύνολο παραδειγμάτων του συνόλου εκπαίδευσης, τα οποία δεν έχει δει ακόμη, λέμε ότι το δίκτυο είναι σωστά γενικευμένο.

Ένας ακόμη κανόνας μάθησης για τα νευρωνικά δίκτυα υψηλής τάξης είναι ο κανόνας εξωτερικού γινομένου (outer product rule), που είναι επίσης γνωστός ως κανόνας μάθησης Hebbian. Στην προκειμένη μορφή μάθησης, ο πίνακας συσχέτισης αναπτύσσεται απευθείας μέσω της σχέσης:

$$W_2(i, j, k) = \sum_{s=1}^{Np} [y^s(i) - y(i)][x^s(j) - x(j)][x^s(k) - x(k)]$$

$$y(i) = \left[ \sum_{s=1}^{Np} y^s(i) \right] / Np, \quad x(j) = \left[ \sum_{s=1}^{Np} x^s(j) \right] / Np,$$

όπου το  $Np$  δηλώνει τον αριθμό των υποδειγμάτων του συνόλου εκπαίδευσης. Το σύνολο εκπαίδευσης εκφράζεται ως  $\{(x^s, y^s), s \in (1, Np)\}$  και τα  $y$  και  $x$  είναι οι μέσοι όροι των  $y^s$  και  $x^s$  στο σύνολο εκπαίδευσης. Στην περίπτωση που το  $x$  είναι σχεδόν μηδέν [το οποίο ισχύει όταν οι εισοδοί ανήκουν στο  $(+1, -1)$ ], κερδίζουμε στην απλότητα των παραπάνω σχέσεων με μικρό τίμημα ακρίβειας αν θεωρήσουμε τους όρους  $x$  και  $y$  μηδενικούς. Αυτό καταδεικνύει την ελάττωση των υπολογισμών που επιτυγχάνεται με την κατάλληλη επιλογή αναπαράστασης των δεδομένων. Ανάλογες σχέσεις ισχύουν και για άλλες τάξεις [19].

Τα νευρωνικά δίκτυα υψηλής τάξης (HONN) αναπτύχθηκαν με την πρόθεση να διευρύνουν τη μη γραμμική περιγραφική ικανότητα των δικτύων feedforward perceptron πολλαπλών επιπέδων. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω αύξησης της μη γραμμικής περιγραφικής ικανότητας κάθε νευρώνα ξεχωριστά. Τα νευρωνικά δίκτυα υψηλής τάξης έχουν μονάδες αθροισμάτων (sigma) όπως και γινομένων (pi).

Ένα νευρωνικό δίκτυο υψηλής τάξης κατασκευάζει υψηλής τάξης πολυωνυμικά μοντέλα :

$$P(x) = w_0 + \sum_i w_i x_i + \sum_i \sum_j w_{ij} x_i x_j + \sum_i \sum_j \sum_k w_{ijk} x_i x_j x_k + K$$

ή συνοπτικά:

$$P(x) = w_0 + \sum_{i=1}^M w_i \prod_{j=1}^d x_j^r$$

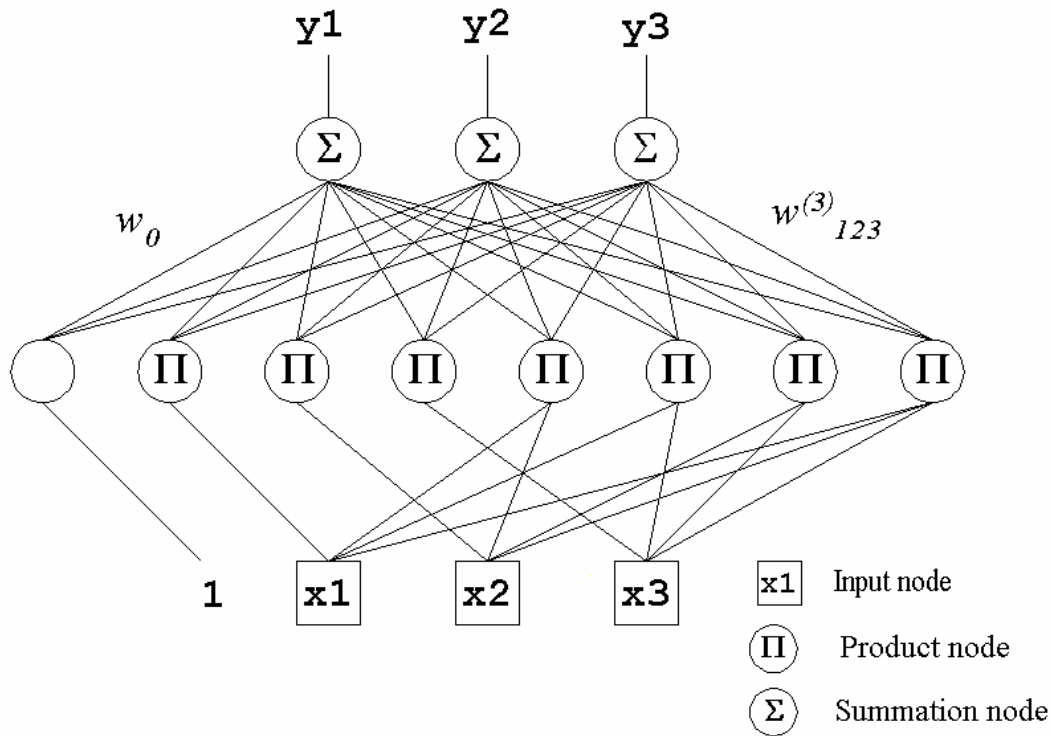
όπου:  $w_i$  είναι τα βάρη,  $M$  είναι ο μέγιστος αριθμός μονώνυμων,  $x_i$  είναι τα χαρακτηριστικά του διανύσματος εισόδου,  $r = 0, 1, 2, \dots$  είναι η δύναμη με την οποία το  $j$ -οστό χαρακτηριστικό  $x_i$  συμμετέχει στο  $i$ -οστό μονώνυμο.

Η μη γραμμικότητα των συναρτήσεων δομείται από διαδοχικά επίπεδα τα οποία έχουν μονάδες sigma και pi. Στο σχήμα 3.9 φαίνεται ένα νευρωνικό δίκτυο υψηλής τάξης το οποίο υπολογίζει τη συνάρτηση:

$$P(x) = \sigma(w_0 + \sum_{i=1}^M w_i \sigma(\prod_{j=1}^d x_j^r))$$

όπου  $x$  είναι το διάνυσμα εισόδου,  $w_i$  είναι τα βάρη,  $\sigma$  είναι η σιγμοειδής συνάρτηση:  $\sigma(s) = 1/(1 + e^{-s})$

Το πλήθος των κρυμμένων μονάδων στο πλήρως συνδεδεμένο HONN αυξάνει εκθετικά με το πλήθος των εισόδων (δηλαδή με την αύξηση της διάστασης του διανύσματος εισόδου).



Σχήμα 3.9: Το πλήρως συνδεδεμένο νευρωνικό δίκτυο υψηλής τάξης

## 6.2. Δίκτυα Sigma-Pi

Τα νευρωνικά δίκτυα sigma-pi (SPN) είναι feedforward δίκτυα στα οποία κάθε επίπεδο περιέχει όρους υψηλής τάξης. Τις περισσότερες φορές τα επίπεδα έχουν αθροιστικές μονάδες που τροφοδοτούνται μέσω σταθμικών συνδέσεων από τα ενδιάμεσα αποτελέσματα μονάδων γινομένων.

Τα νευρωνικά δίκτυα sigma-pi αποτελούν σποραδικώς συνδεδεμένα νευρωνικά δίκτυα υψηλής τάξης. Οι ερευνητές περιορίζουν την πολυωνυμική τάξη (δηλαδή την τοπολογία του δικτύου) στην κατάλληλη διαμόρφωση ώστε να επιτυγχάνεται ο επιθυμητός βαθμός ακρίβειας χρησιμοποιώντας εκ των προτέρων γνώση για τη δεδομένη εργασία.

Οι μονάδες sigma υπολογίζουν το άθροισμα των σταθμικών εισόδων  $p_j$  από το χαμηλότερο  $j$ -οστό επίπεδο:

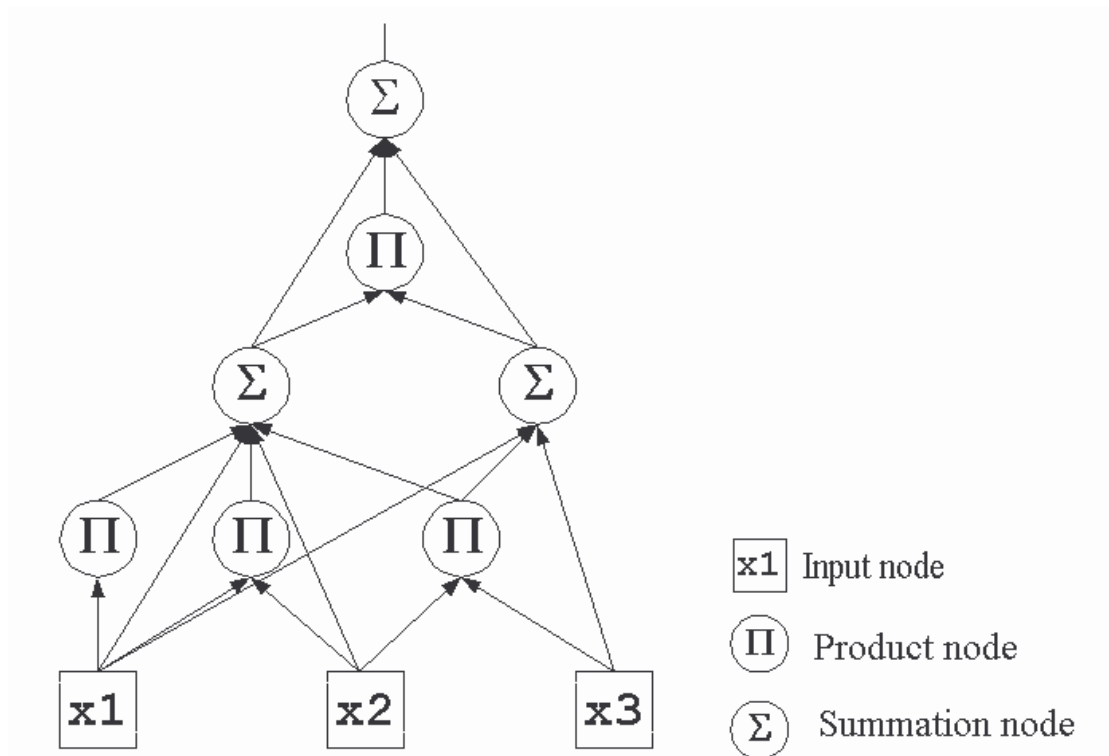
$$s = \sum_j w_i p_j$$

Οι μονάδες  $\rho_i$  υπολογίζουν το γινόμενο των σταθμικών εισόδων  $x_i$  από το χαμηλότερο  $i$ -οστό επίπεδο:

$$p_j = \prod_i w_i x_i$$

Η έξοδος των μονάδων διέρχεται μέσω της σιγμοειδούς συνάρτησης:

$$o = \sigma(s) = 1/(1 + e^{-s})$$



Σχήμα 3.10: Το νευρωνικό δίκτυο sigma-pi

Οι αρχές του αλγορίθμου μάθησης backpropagation ισχύουν και για τα sigma-pi δίκτυα. Ο κανόνας Δέλτα για τα βάρη  $w_{ij}$  στις συνδέσεις των κόμβων στα κρυμμένα επίπεδα έχει ως εξής:

$$\begin{aligned} \partial E / \partial s_j &= \sum_k (\partial E / \partial s_k) (\partial s_k / \partial s_j) \\ &= \sum_k (-\beta_k) \partial s_k / \partial s_j \\ &= \sum_k (-\beta_k) (\partial s_k / \partial o_j) (\partial o_j / \partial s_j) \\ &= \sum_k (-\beta_k) (s'_k) (\partial o_j / \partial s_j) \\ &= \sum_k (-\beta_k) (s'_k) o_j (1 - o_j) \end{aligned}$$

όπου  $s_k$  το  $s_k$  ορίζεται:

$$s_k = w_0 + \sum_{j1} w_{j1} o_{j1} + \sum_{j1} \sum_{j2} w_{j1j2} o_{j1} o_{j2} + \sum_{j1} \sum_{j2} \sum_{j3} w_{j1j2j3} o_{j1} o_{j2} o_{j3} + K$$

η παράγωγος του  $s_k$  είναι:

$$\partial s_k / \partial o_{j2} = s'_k = \sum_{j1} w_{j1j2} o_{j1} + \sum_{j1} \sum_{j3} w_{j1j2j3} o_{j1} o_{j3} + K$$

Συνεπώς το όφελος (benefit) είναι:  $\beta_j = -\partial E / \partial s_j = o_j (1 - o_j) \sum_k \beta_k s'_k$

### Αλγόριθμος εκπαίδευσης backpropagation για τα sigma-pi δίκτυα:

Αρχικοποίηση: Παραδείγματα  $\{(x_e, y_e)\}_{e=1}^N$ , θέσε τα αρχικά βάρη  $w_i$  σε μικρές τυχαίες τιμές, συντελεστής μάθησης  $\eta = 0.1$ .

Επανάληψη:

για κάθε παράδειγμα εκπαίδευσης  $(x, y)$

- πολλαπλασίασε τις εξόδους χρησιμοποιώντας τη σιγμοειδή συνάρτηση:

$$o_j = \sigma(s_j) = 1 / (1 + e^{-s_j})$$

$$o_k = \sigma(s_k) = 1 / (1 + e^{-s_k}),$$

όπου:

$$s_k = w_0 + \sum_{j1} w_{j1} o_{j1} + \sum_{j1} \sum_{j2} w_{j1j2} o_{j1} o_{j2} + \sum_{j1} \sum_{j2} \sum_{j3} w_{j1j2j3} o_{j1} o_{j2} o_{j3} + K$$

- πολλαπλασίασε το όφελος  $\beta_k$  στους κόμβους  $k$  στο επίπεδο εξόδου:  $\beta_k = o_k (1 - o_k) [y_k - o_k]$
- πολλαπλασίασε τις μεταβολές για τα βάρη  $j \rightarrow k$  στις συνδέσεις των κόμβων αθροισμάτων στο επίπεδο εξόδου:

$$\Delta w_{j1k} = \eta \beta_k o_{j1} \text{ και } \Delta w_{0k} = \eta \beta_k$$

$$\Delta w_{j2k} = \eta \beta_k o_{j1} o_{j2}$$

$$\Delta w_{j3k} = \eta \beta_k o_{j1} o_{j2} o_{j3}$$

- πολλαπλασίασε τα οφέλη  $\beta_{j2}$  για τους κρυμμένους αθροιστικούς κόμβους  $j$  σύμφωνα με τον τύπο:

$$\beta_{j2} = o_j (1 - o_j) [\sum_k \beta_k s'_{j2k}] \text{ // αποτελέσματα από πολλαπλούς}$$

κόμβους στο επόμενο επίπεδο

$$s'_{j2k} = \sum_{j1} w_{j1j2} o_{j1} + \sum_{j1} \sum_{j3} w_{j1j2j3} o_{j1} o_{j3} + K$$

- πολλαπλασίασε τις μεταβολές για τα βάρη  $i \rightarrow j$  στις συνδέσεις των κόμβων αθροισμάτων στα κρυμμένα επίπεδα:

$$\Delta w_{ij1} = \eta \beta_{j1} o_{i1} \quad \text{και} \quad \Delta w_{0j} = \eta \beta_j$$

$$\Delta w_{ij2} = \eta \beta_{j2} o_{i1} o_{i2}$$

$$\Delta w_{ij3} = \eta \beta_{j3} o_{i1} o_{i2} o_{i3}$$

- ενημέρωσε τα βάρη με τις μεταβολές που υπολόγισες:

$$w = w + \Delta w$$

ωστότου να ικανοποιηθεί η συνθήκη τερματισμού [20, 21].

### 6.3.Δίκτυα Pi-Sigma

Τα δίκτυα pi-sigma (PSN) είναι feedforward νευρωνικά δίκτυα με ένα μόνο κρυμμένο επίπεδο γραμμικών μονάδων αθροισμάτων, ενώ έχουν μονάδες γινομένων στο εξωτερικό επίπεδο. Η έννοια “pi-sigma” προέρχεται από το γεγονός ότι τα εν λόγω δίκτυα χρησιμοποιούν τα γινόμενα των αθροισμάτων από τα χαρακτηριστικά εισόδου, αντί για τα αθροίσματα των γινομένων όπως στα δίκτυα “sigma-pi”.

Το νευρωνικό δίκτυο pi-sigma του παρακάτω σχήματος υπολογίζει τη συνάρτηση:

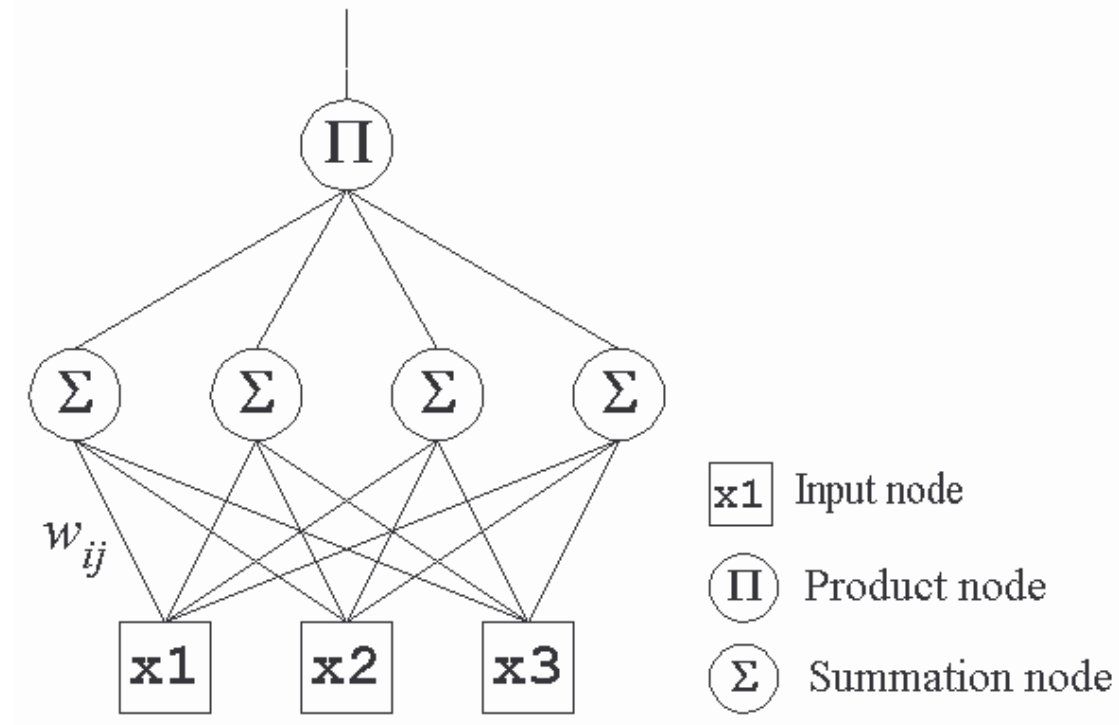
$$P(x) = \sigma \left( \prod_{i=1}^M \left( \sum_{j=1}^d w_{ij} x_j + w_{i0} \right) \right)$$

όπου  $x$  είναι το διάνυσμα εισόδου,  $w_j$  είναι τα βάρη,  $M$  είναι ο αριθμός των νευρώνων στο κρυμμένο επίπεδο και  $\sigma$  είναι η σιγμοειδής συνάρτηση:

$$\sigma = \sigma(s) = 1 / (1 + e^{-s})$$

Το πλήθος των βαρών από τις μονάδες εισόδου προς τις κρυμμένες μονάδες είναι γραμμικό στη διάσταση εισόδου. Τα βάρη στις συνδέσεις μεταξύ των κρυμμένων επιπέδων και του επιπέδου εξόδου είναι σταθερά και ίσα με τη μονάδα. Τέτοιου είδους τοπολογία με ένα κρυμμένο επίπεδο δίνει τη δυνατότητα ταχείας μάθησης των βαρών.

Το νευρωνικό δίκτυο pi-sigma διατηρεί την ισχυρή ικανότητα μάθησης των δικτύων πολλαπλών επιπέδων υψηλής τάξης, ενώ παράλληλα αποφεύγει ως ένα βαθμό τη συνδυαστική αύξηση του αριθμού των βαρών και των κρυμμένων επιπέδων, όταν αυξάνεται η διάσταση εισόδου.



Σχήμα 3.11: Το νευρωνικό δίκτυο Pi-Sigma

Ο κανόνας Δέλτα για τα βάρη  $w_{ij}$  στις συνδέσεις των κόμβων στα κρυμμένα επίπεδα έχει ως εξής:

$$\begin{aligned} \partial E_e / \partial s_j &= (\partial E_e / \partial o_k) (\partial o_k / \partial s_j) \\ &= (y_k - o_k) (\partial o_k / \partial p_j) (\partial p_j / \partial s_j) \\ &= (y_k - o_k) o_k (1 - o_k) (p'_j) \\ &= (y_k - o_k) o_k (1 - o_k) \left( \prod_{i=1}^M h_i \right) \end{aligned}$$

όπου το  $o_k$  ορίζεται:  $o_k = \sigma(p_j) \left( \prod_{i=1}^M h_i \right)$

και η παράγωγος  $\partial p_j / \partial s_j = p'_j$  είναι:  $p'_j = \prod_{i=1}^M h_i$

Ο κανόνας μέγιστης κατάβασης για τα δίκτυα pi-sigma γίνεται:

$$\Delta w_i = \eta (y_k - o_k) o_k (1 - o_k) \left( \prod_{i=1}^M h_i \right) x_i$$

### Επαυξημένος αλγόριθμος μάθησης Μέγιστης Κατάβασης για τα δίκτυα pi-sigma (Incremental Gradient Descent Learning Algorithm)

Αρχικοποίηση: Παραδείγματα  $\{(x_e, y_e)\}_{e=1}^N$ , θέσε τα αρχικά βάρη  $w_i$  σε μικρές τυχαίες τιμές, συντελεστής μάθησης  $\eta = 0.1$ .

Επανάληψη:

για κάθε παράδειγμα εκπαίδευσης  $(x_e, y_e)$

- πολλαπλασίασε την έξοδο:  $o = \sigma(\sum_{j=1}^M w_j x_j + w_0)$
- εάν ο perceptron δεν ανταποκριθεί σωστά ενημέρωσε τα

$$\text{βάρη: } w_i = w_i + \eta(y_k - o_k)o_k(1 - o_k)(\prod_{i \neq j}^M h_i)x_i$$

ωσότου να ικανοποιηθεί η συνθήκη τερματισμού

Τα νευρωνικά δίκτυα pi-sigma παρέχουν μόνο μια περιορισμένη εκτίμηση των δυναμοσειρών. Εξαιτίας αυτής της μειωμένης ιδιότητας εκτίμησης τα δίκτυα pi-sigma δεν είναι σε θέση να εκτιμήσουν ομοιόμορφα όλες τις συνεχείς συναρτήσεις πολλαπλών μεταβλητών που ορίζονται σε ένα συμπαγές σύνολο (compact set). Ωστόσο, μπορεί να επιτευχθεί γενική εκτίμηση αθροίζοντας τις εξόδους πολλαπλών δικτύων pi-sigma διαφορετικών τάξεων. Το αποτέλεσμα του συνδυασμού των pi-sigma δικτύων καλείται Ridge Polynomial Network (RPN) [22].

#### 6.4. Η κατάλληλη αρχιτεκτονική για τα Δίκτυα Υψηλής Τάξης

Το πλήθος των κρυμμένων μονάδων στα νευρωνικά δίκτυα υψηλής τάξης αυξάνεται εκθετικά με τον αριθμό των εισόδων. Ο αντικειμενικός σκοπός για την εύρεση της κατάλληλης αρχιτεκτονικής για τα HONN είναι η εξομάλυνση του προβλήματος της εκθετικής αύξησης και η γενίκευση του δικτύου, δηλαδή η μάθηση συναρτήσεων που παράγουν κατάλληλες αντιδράσεις σε άγνωστα παραδείγματα.

Το πρόβλημα της μάθησης της τοπολογίας και των βαρών των HONN, για τη βελτίωση της ικανότητας γενίκευσης αντιμετωπίζεται με προσεγγίσεις που μπορούν να χωριστούν σε δύο ομάδες:

- προσεγγίσεις κλαδέματος (pruning approach)s που ξεκινούν με μεγάλα δίκτυα και κατά την εκπαίδευση διαγράφουν κρυμμένες μονάδες και βάρη
- προσεγγίσεις κατασκευής (constructive approaches) που ξεκινούν με μικρά δίκτυα και καθώς αυξάνεται η ακρίβεια προσθέτουν κρυμμένες μονάδες και βάρη

Η εναλλακτική σ' αυτές τις προσεγγίσεις είναι ο εξελικτικός αλγόριθμος που βρίσκει τα βάρη του δικτύου και ταυτόχρονα σμικρύνει και επεκτείνει δυναμικά την τοπολογία του.

#### Σύγκριση Δικτύων Υψηλής Τάξης με Πολυεπίπεδα Δίκτυα

Τα νευρωνικά δίκτυα υψηλής τάξης χαρακτηρίζονται από διαφορετικές δυνατότητες ταξινόμησης:

- Νευρωνικά Δίκτυα Υψηλής Τάξης (HONN)
  - το πρώτο επίπεδο των HONN με τις μονάδες γινομένων δεύτερης τάξης έχει τη δυνατότητα να κατασκευάζει κοίλες και κυρτές περιοχές (regions)
- Νευρωνικά Δίκτυα Πολλαπλών Επιπέδων (MLP)
  - το πρώτο επίπεδο μαθαίνει ένα μόνο υπερεπίπεδο
  - το δεύτερο επίπεδο κάνει τμηματικά γραμμικές και κυρτές περιοχές
  - το τρίτο επίπεδο κάνει κοίλες και κυρτές περιοχές

## **7.Εφαρμογή στο συγκεκριμένο πρόβλημα** **Μεθοδολογία μείωσης όρων υψηλής τάξης**

### 7.1 Περιγραφή του προβλήματος-βασικές μεταβλητές

Για την βελτιστοποίηση του σφάλματος μεταξύ των πραγματικών μετρήσεων οι οποίες λαμβάνονται πειραματικά με την βοήθεια υψηλής ακρίβειας και αξιοπιστίας ψηφιακού χρονομέτρου των χρόνων ταξιδιού στο οδικό δίκτυο της πόλης των Χανίων και των λαμβανόμενων μετρήσεων μέσω ειδικών οργάνων των φωρατών επαγωγικού βρόγχου αναπτύσσουμε ένα νευρωνικό δίκτυο υψηλής τάξης το οποίο είναι ένα feedforward νευρωνικό δίκτυο. Για να το κάνουμε αυτό, θα χρησιμοποιήσουμε το προγραμματιστικό περιβάλλον της MATLAB.

Τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου έχουν παρουσιαστεί ενδελεχώς στο κεφάλαιο 5 και είναι παρατεθειμένα τόσο σε πίνακες του κεφαλαίου αυτού όσο και σε πίνακες του παραρτήματος 2.

Εν κατακλείδη αναφέρουμε τις μεταβλητές οι οποίες και χρησιμοποιήθηκαν στην μελέτη και είναι:

- time(χρόνοι μετρούμενοι μέσω ψηφιακού χρονομέτρου ακριβείας)
- occupancy(κατάληψη αρτηρίας από οχήματα, λαμβάνεται από τη χρήση φωρατών)
- length(μήκος συνδέσμου)
- dn-dstopl(απόσταση από τη γραμμή του stop)

Οι παραπάνω μεταβλητές επιλέχθηκαν καθώς χαρακτηρίζονται από αρκετές επιθυμητές ιδιότητες οι σπουδαιότερες από τις οποίες είναι: υπόκεινται σε ελάχιστες αναθεωρήσεις, είναι εγκαίρως διαθέσιμες και μετρούνται με μικρό σφάλμα.

## 7.2. Εισαγωγή – Προετοιμασία Δεδομένων στη MATLAB

Για την εφαρμογή των νευρωνικών δικτύων στο πρόβλημά μας θα χρησιμοποιήσουμε τη MATLAB 6.5. Το νευρωνικό δίκτυο υψηλής τάξης που θα κατασκευάσουμε είναι τύπου sigma-pi και θα φτάσει μέχρι και τρίτης τάξης.

Για την εύκολη επεξεργασία των δεδομένων και την εισαγωγή τους στο δίκτυο, έχουμε κατασκευάσει ένα πρόγραμμα στη MATLAB. Ο κώδικας του προγράμματος φαίνεται παρακάτω, Σημειώνουμε εδώ ότι ολόκληρος ο κώδικας του προγράμματος που χρησιμοποιούμε στην εφαρμογή, παρατίθεται στο παράρτημα 3.

## 7.3. Συνοπτικός σχολιασμός του κώδικα

```
clear all  
close all  
global tt pp train_init train_end
```

```
NEW=1;
```

```
load fcd_data.dat
```

```
[ii jj]=size(fcd_data);
```

```
for i=1:ii,  
    if fcd_data(i,2)<0.1  
        fcd_data(i,2)=0.1;  
    end  
    if fcd_data(i,2)==1  
        fcd_data(i,2)=0.1;  
    end  
end
```

```

end
fcd_data(:,2)=1./fcd_data(:,2);
fcd_data(:,2)=fcd_data(:,2)/max(fcd_data(:,2));

```

Στο πρώτο σκέλος του κώδικα προχωρούμε στις απαραίτητες αρχικοποιήσεις με βασικότερη την αρχικοποίηση και φόρτωση του πίνακα δεδομένων εισόδου **fcd\_data.dat**. Ο εν λόγω πίνακας εμπεριέχει τα εξής στοιχεία: στην πρώτη στήλη περιέχει όλες τις μετρήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν μέσω ψηφιακού χρονομέτρου υψηλής ακρίβειας, στην δεύτερη στήλη την κανονικοποιημένη κατάληψη , στην τρίτη στήλη την κανονικοποιημένη ροή, στην τέταρτη στήλη το κανονικοποιημένο μήκος συνδέσμου και στην πέμπτη και τελευταία στήλη την κανονικοποιημένη απόσταση από τη γραμμή του stop. Ο πίνακας αποτελεί ουσιαστικά μια συγκέντρωση όλων των μετρήσεων οι οποίες λήφθηκαν είτε μέσω χρονομέτρου είτε μέσω των φωρατών επαγωγικού βρόγχου. Ο εν λόγω πίνακας παρατίθεται στο παράρτημα 4.

Έπειτα , παρατίθενται οι επιμέρους εξισώσεις του νευρωνικού δικτύου(παραθέτουμε κάποιες από αυτές ενδεικτικά).

```

pp(1:4,:)=fcd_data(:,2:5)';
pp(5,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,2))';
pp(6,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,3))';
pp(7,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,4))';
pp(8,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,5))';
pp(9,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,3))';
pp(10,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,4))';
pp(11,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,5))';
pp(12,:)=(fcd_data(:,4).*fcd_data(:,4))';

```

Για να γίνει αντιληπτός ο τρόπος απεικόνισης τους ενδεικτικά αναφέρουμε:  
 $pp(5,:) = (fcd\_data(:,2) \cdot fcd\_data(:,2))' = occupancy \cdot occupancy$  ,αυτό συμβαίνει διότι πολλαπλασιάζετε η δεύτερη στήλη με την δεύτερη οι οποία στον πίνακα fcd\_data.dat αντιστοιχεί στην κανονικοποιημένη κατάληψη(occupancy).

Αντίστοιχα παραθέτουμε,

```
pp(6,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,3))'= occupancy*flow  
pp(27,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,3).*fcd_data(:,3))'=flow3
```

```
train_init=1;  
train_end=30;
```

```
eta=0.01;  
for iter=1:10000,  
    for i=train_init:train_end  
        error=tt(i,1)-theta'*pp(:,i);  
        theta=theta+eta*error*pp(:,i);  
    end  
    NER(iter,1)=norm(tt'-theta'*pp);  
    if iter>10 & NER(iter,1)>NER(iter-1,1)  
        break;  
    end  
    if mod(iter, 1000)==0  
        norm(tt'-theta'*pp)  
    end  
end
```

```
plot(NER)  
grid
```

```
figure
```

```
plot(tt');  
hold  
plot(theta'*pp, 'r')  
hold  
grid
```

```
figure
```

```
plot(100*abs((tt'-theta'*pp)./tt'))  
grid
```

```
mean(100*abs((tt'-theta'*pp)./tt'))  
save theta.dat theta -ascii
```

Στο τελευταίο κομμάτι του κώδικα προχωρούμε στην παράθεση των απαραίτητων μαθηματικών τύπων με σκοπό την εύρεση του σφάλματος του χρόνου διαδρομής. Αξίζει να αναφέρουμε ότι το σφάλμα το οποίο τελικά προκύπτει είναι το σφάλμα μεταξύ του μοντέλου το οποίο λαμβάνουμε μέσω των δεδομένων εισόδου του νευρωνικού δικτύου (κατάληψη, ροή , απόσταση από την γραμμή του stop, μήκος συνδέσμου, αναμενόμενος χρόνος πρασίνου) και των πραγματικών χρόνων διαδρομής των λαμβανομένων μέσω ψηφιακού χρονομέτρου.

Επιπλέον , στο τμήμα αυτό του κώδικα παραθέτουμε τις κατάλληλες εντολές ώστε να λάβουμε διαγράμματα εξαιρετικά χρήσιμα για την μελέτη μας τόσο όσον αφορά στο σφάλμα όσο και στην πορεία αυτού μέσω της τεχνικής μείωσης των μη-γραμμικών όρων του νευρωνικού δικτύου στην οποία προχωρήσαμε και θα αναφερθούμε παρακάτω εκτενέστερα .Τέλος προχωρούμε στην απαραίτητη αποθήκευση της τιμής του σφάλματος.

#### 7.4 Διαδικασία επίλυσης του προβλήματος-προσαρμογή στην θεωρία των νευρωνικών δικτύων

Το δίκτυο το οποίο δημιουργήσαμε είναι όπως προαναφέραμε ένα sigma-pi νευρωνικό δίκτυο το οποίο μπορεί να είναι πρώτης , δευτέρας ή τρίτης τάξης. Ο αλγόριθμος ο οποίος χρησιμοποιήθηκε είναι αλγόριθμος οπισθόδρομης διάδοσης( backpropagation).

Κάθε νευρωνικό δίκτυο εμπεριέχει ως γνωστόν κάποια δεδομένα εκπαίδευσης με βάση τα οποία καταλήγουμε να λαμβάνουμε και ορισμένα δεδομένα αξιολόγησης. Τα δεδομένα εκπαίδευσης στο εν λόγω νευρωνικό δίκτυο είναι τα δεδομένα του πίνακα fcd\_data.dat πλην των μετρήσεων μέσω ψηφιακού χρονομέτρου. Δηλαδή είναι : η κατάληψη, η ροή η απόσταση από τη γραμμή

του stop, το μήκος συνδέσμου και ο χρόνος πρασίνου. Τα δεδομένα αυτά αποτελούν τους παράγοντες οι οποίοι παρέχουν τελικά μια εκτίμηση του χρόνου διαδρομής ( $X_{\Delta_{\text{εκτ.}}}$ ) έτσι συμβολίζοντας τον λαμβανόμενο χρόνο διαδρομής μέσω χρονομέτρου ως  $X_{\Delta_{\mu}}$  το συνολικό σφάλμα εκπαίδευσης προκύπτει ως:  $\Sigma\phi.\text{Εκπ.} = \Sigma(X_{\Delta_{\mu}} - X_{\Delta_{\text{εκτ.}}})^2$

Όπως έχουμε προαναφέρει κατά τον συνοπτικό σχολιασμό του κώδικα έχουμε παραθέσει σε αυτόν μια σειρά εξισώσεων πρώτης δευτέρας και τρίτης τάξης. Οι εξισώσεις αυτές αποτελούν το κλειδί στην προσπάθεια μείωσης του σφάλματος εκπαίδευσης καθότι όπως θα αποδειχθεί πολλές από αυτές επιτείνουν το σφάλμα εκπαίδευσης ενώ άλλες αποτελούν καίριες παραμέτρους για την εύρεση του. Με σκοπό λοιπόν την εύρεση των καταλλήλων όρων-εξισώσεων υψηλής τάξης οι οποίες τελικά οδηγούν στην εύρεση της βέλτιστης τιμής του σφάλματος εκπαίδευσης και κατ'επέκτασιν του βέλτιστου τελικού σφάλματος χρησιμοποιούμε τη μέθοδο μείωσης όρων υψηλής τάξης.

Παρατηρούμε ότι οι αρχικές λαμβανόμενες εξισώσεις υψηλής τάξεις είναι 40, από αυτές τελικά καταλήγουμε μόλις σε 14 οι οποίες δεν επιτείνουν το σφάλμα ενώ αξίζει παράλληλα να σημειωθεί ότι σε αυτές καταλήγουμε μετά από μια πολύωρη διαδικασία προσομοιώσεων ώστε τελικά το σφάλμα να συγκλίνει και να οδηγηθούμε στο συμπέρασμα πως αυτό είναι και το τελικό σφάλμα. Η τελική μορφή της εξίσωσης έχει ως εξής:

- 1.pp(1)=occupancy
- 2.pp(2)=flow
- 3.pp(3)=length
- 4.pp(5)=occupancy<sup>2</sup>
- 5.pp(6)=occupancy\*flow
- 6.pp(7)=occupancy\*length
- 7.pp(14)=(dstop/length)<sup>2</sup>
- 8.pp(20)=flow\*occupancy\*length

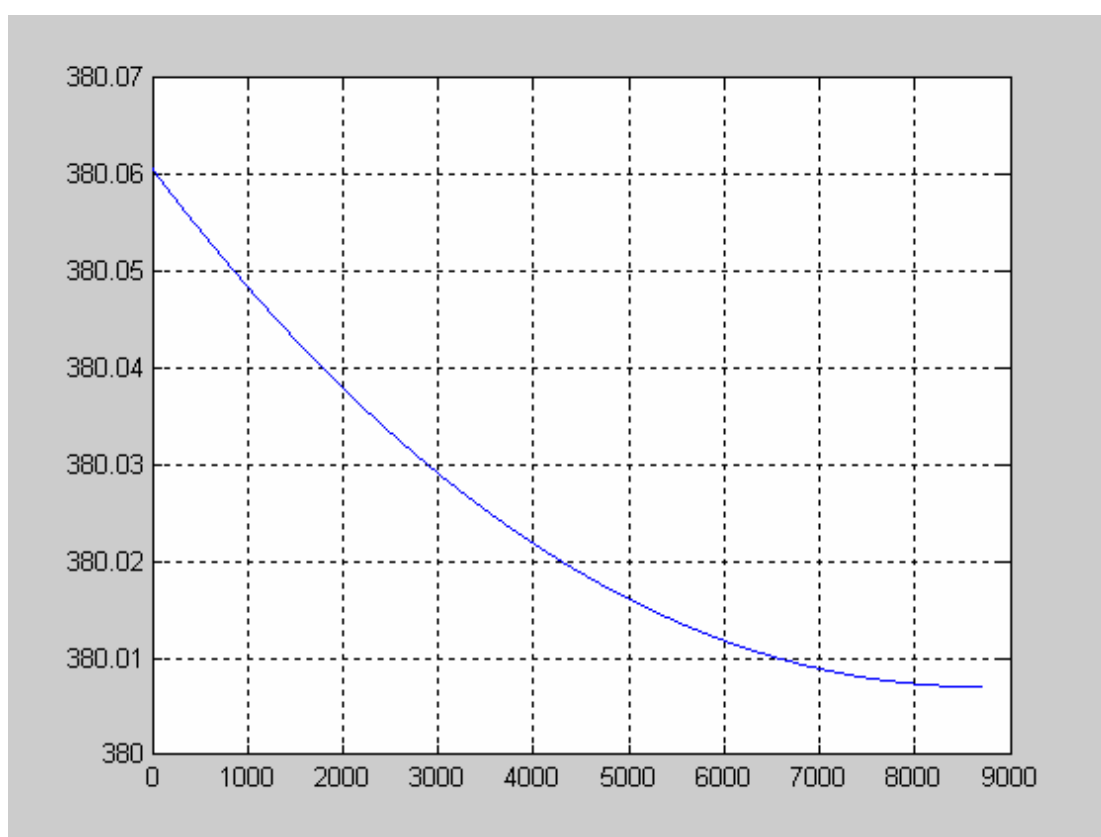
9.pp(25)=occupancy\*flow\*length  
 10.pp(27)=flow<sup>3</sup>  
 11.pp(28)=flow<sup>3</sup>\*length  
 12.pp(32)=dstop/length\*flow\*dstop/length  
 13.pp(38)=length<sup>3</sup>  
 14.pp(40)=dstop/length\*length\*dstop/length

Αξίζει να αναφέρουμε επιπλέον ότι ο χρόνος εκπαίδευσης(προσομοίωσης) για τους όρους πρώτης και δευτέρας ακόμα τάξης δεν ήταν μεγάλος και παρατηρήθηκε σύγκλιση της τιμής του σφάλματος μετά από σχετικά μικρό αριθμό επαναλήψεων. Ωστόσο ο χρόνος εκπαίδευσης των όρων τρίτης τάξης αποτέλεσε μια πολύ πιο χρονοβόρα διαδικασία διάρκειας αρκετών ωρών. Το γεγονός αυτό βεβαίως δεν αποτέλεσε έκπληξη καθότι η πολυπλοκότητα των όρων αυτών το δικαιολογεί. Στο παράρτημα 6 παραθέτουμε σε πίνακες τα αποτελέσματα των επαναλήψεων μέχρι τη σύγκλιση του σφάλματος για κάθε έναν από τους 40 όρους.

Επιπροσθέτως, αξίζει να αναφέρουμε σε επίπεδο κώδικα ότι εκτός των δεκατεσσάρων όρων της τελικής εξίσωσης οι υπόλοιποι όροι τέθηκαν ίσοι με το μηδέν ώστε να μην επηρεάζουν την τελική εξαγωγή του σφάλματος. Η τελική μορφή του κώδικα παρατίθεται στο παράρτημα 7.

## 8.Αποτελέσματα-Σχολιασμός αποτελεσμάτων

Το τελικό συνολικό σφάλμα εκπαίδευσης με την βοήθεια του κώδικα στο προγραμματιστικό περιβάλλον της MATLAB προκύπτει ίσο με 379,9954. Μια γραφική απεικόνιση του σφάλματος εκπαίδευσης και της πορείας σύγκλισής του δίδεται και γραφικά μέσω του διαγράμματος 8.1.

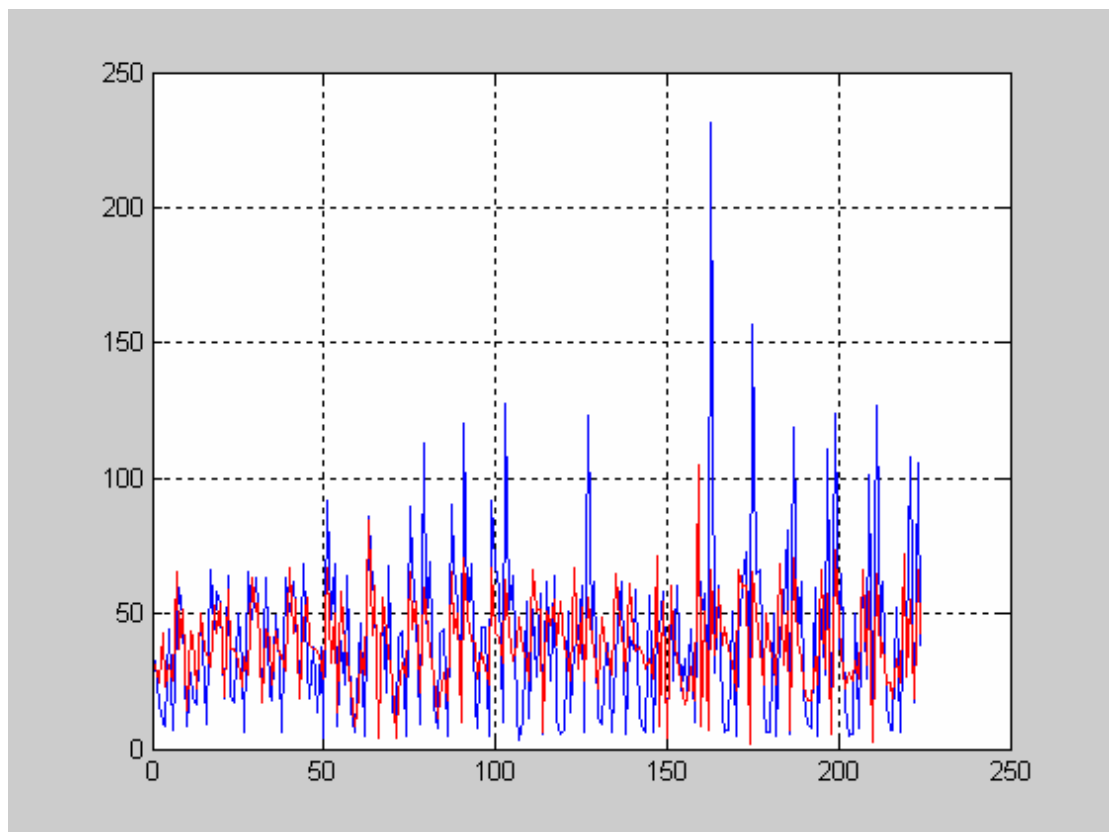


**Διάγραμμα 8.1**

Προκύπτει και γραφικά μέσω του διαγράμματος 8.2 όπου με μπλε χρώμα εμφανίζονται οι μετρήσεις μέσω ψηφιακού χρονομέτρου ενώ με κόκκινο οι μετρήσεις μέσω του μοντέλου του οποίου κάναμε χρήση, ότι το τελικό συνολικό σφάλμα είναι αρκούντως ικανοποιητικό. Παρατηρούμε μια γενικά ομοιόμορφη εικόνα με εξαίρεση ορισμένες μετρήσεις που παρουσιάζουν τεράστιες αποκλίσεις λόγω των ιδιαίτερων συνθηκών του αστικού δικτύου των Χανίων, στις 80 πρώτες μετρήσεις όπου έχουμε δείγμα σύγκρισης. Οι υπόλοιπες 140 περίπου μετρήσεις αποτελούν μετρήσεις πρόβλεψης για

επόμενα χρονικά διαστήματα με βάση πάντα το μοντέλο το οποίο ακολουθήθηκε.

Το σφάλμα όπως προαναφέραμε θεωρείται αρκούντως ικανοποιητικό αν λάβουμε υπόψη την κυκλοφοριακή κατάσταση στην πόλη των Χανίων καθώς μεγάλα προβλήματα στις μετρήσεις δημιούργησε τόσο το γεγονός της παράνομης στάθμευσης κοντά στους φωτεινούς σηματοδότες και πλησίον των φωρατών επαγωγικού βρόγχου το οποίο είχε ως συνέπεια την εξαγωγή πλασματικών μετρήσεων μέσω των φωρατών όσο και η ύπαρξη παράνομα παρκαρισμένων οχημάτων(φαινόμενα διπλοπαρκαρίσματος) η οποία είχε ως συνέπεια την μείωση του αριθμού λωρίδων για τα κινούμενα οχήματα.



**Διάγραμμα 8.2**

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1**

SMART NETS

IST – 2000 – 28090

Signal Management in Real Time  
for Urban traffic NETWORKS

### ***Κύριοι Στόχοι του Έργου***

Το ερευνητικό έργο SMART NETS είχε σαν κύριο στόχο την βελτίωση των διεθνώς γνωστών μεθόδων ελέγχου πραγματικού χρόνου μέσω της υλοποίησης, επίδειξης και συγκριτικής αξιολόγησης της στρατηγικής νέας γενιάς TUC (Traffic-responsive Urban Control). Η TUC εφαρμόζει προηγμένες μεθόδους αυτόματου ελέγχου και είχε επιδείξει σημαντικές βελτιώσεις – σε σύγκριση με προγράμματα σταθερού χρόνου σε συνθήκες κυκλοφοριακής συμφόρησης – τόσο σε επίπεδο πειραμάτων μέσω προσομοίωσης όσο και σε υλοποιήσεις σε οδικά δίκτυα μικρού μεγέθους. Στα πλαίσια του SMART NETS, η απόδοση της TUC αξιολογήθηκε σε σύγκριση με τρία προηγμένα συστήματα ελέγχου πραγματικού χρόνου. Πιο συγκεκριμένα, η υλοποίηση της TUC έλαβε χώρα σε ευμεγέθη τμήματα των δικτύων των Χανίων, Σαουθάμπτον και Μονάχου όπου βρίσκονται σε λειτουργία τα συστήματα ελέγχου TASS, SCOOT και BALANCE, αντίστοιχα. Κατά την διάρκεια της επίδειξης/αξιολόγησης η εφαρμογή της TUC και των υπάρχοντων συστημάτων εναλλασσόταν ανά εβδομάδα.

Στα πλαίσια του SMART NETS, συμμετείχαν ως παρατηρητές αντιπρόσωποι δέκα Ευρωπαϊκών πόλεων (Αθήνα, Μπελφαστ, Κοπεγχάγη, Μπιάλιστακ, Κορκ, Γλασκώβη, Γκρατς, Λονδίνο, Παρίσι και Πράγα), οι οποίες είχαν εκφράσει ενδιαφέρον για την εφαρμογή της TUC.

## Η Στρατηγική TUC

Η κύρια καινοτομία της TUC είναι η δυνατότητα διαχείρισης ουρών λαμβάνοντας υπόψη την τρέχουσα κυκλοφοριακή κατάσταση ολόκληρου του δικτύου. Ο σχεδιασμός της TUC βασίζεται στο συνδυασμό δύο βασικών μεθοδολογιών: μοντελοποίηση κυκλοφορίας μέσω του μαθηματικού προτύπου store-and-forward, στο οποίο δεν παρουσιάζεται το πρόβλημα της εκθετικής πολυπλοκότητας όπως σε άλλα πρότυπα μοντελοποίησης κυκλοφορίας, και μέθοδος Γραμμικού-Τετραγωνικού ελέγχου, η οποία οδηγεί σε απλές αλλά πολύ αποτελεσματικές στρατηγικές κλειστού βρόγχου. Η στρατηγική TUC υπολογίζει τους χρόνους πράσινου για όλους τους κόμβους του δικτύου σε κάθε περίοδο. Η διάρκεια περιόδου καθώς και οι χρονικές μετατοπίσεις (offsets) μπορούν να είναι σταθερές ή μεταβαλλόμενες από την TUC σε πραγματικό χρόνο. Τα κύρια χαρακτηριστικά της TUC είναι:

- Εξαιρετική αποτελεσματικότητα όπως φαίνεται από τα αποτελέσματα των διερευνήσεων σε προσομοιωμένες και πραγματικές κυκλοφοριακές συνθήκες.
- Υψηλή ευρωστία σε λάθη μετρήσεων και διαταραχές.
- Αξιοπιστία σε περίπτωση βλαβών εξοπλισμού (αισθητήρες, γραμμές επικοινωνίας κλπ.).
- Απόλυτη γενικότητα που οδηγεί σε εύκολη εφαρμογή (με χρήση διαθέσιμου λογισμικού) σε δίκτυα τυχαίων χαρακτηριστικών και διαστάσεων.
- Εξαιρετική απλότητα.
- Περιορισμένες απαιτήσεις μετρήσεων (απαιτείται ένας φωρατής ανά σημαντική οδό, σε τυχαίο σημείο της οδού).
- Χαμηλότερος υπολογιστικός φόρτος: Η υλοποίηση της TUC απαιτεί ένα απλό συμβατικό Η/Υ στο κέντρο ελέγχου.

## **Εφαρμογή στο Δίκτυο των Χανίων**

Το αστικό δίκτυο των Χανίων αποτελείται από 23 ελεγχόμενους κόμβους και καλύπτει ολόκληρο το ευρύτερο κέντρο της πόλης. Στο Χανιά, η TUC παρείχε χρόνους πράσινου, διάρκειες περιόδου και χρονική μετατόπιση και συγκρίθηκε με την στρατηγική TASS, που επιλέγει σε πραγματικό χρόνο προγράμματα σταθερών χρόνων τα οποία μεταβάλλονται τοπικά σε κάθε κόμβο βάσει μετρήσεων φωρατών (επενέργεια). Η στρατηγική TASS έχει εγκατασταθεί στα Χανιά εδώ και πέντε χρόνια. Για την τελειοποίηση των παραμέτρων της στρατηγικής αυτής απαιτήθηκε εντατική εργασία και συνεχής επίβλεψη όλα αυτά τα χρόνια, και συνεπώς η στρατηγική αυτή είναι πολύ πιο αποτελεσματική από στρατηγικές σταθερού χρόνου με τις οποίες είχε συγκριθεί η TUC στο παρελθόν.

Πειραματικές εφαρμογές της TUC στα Χανιά ξεκίνησαν τον Μάρτιο του 2003, η πρώτη φάση επίδειξης ξεκίνησε τον Μάιο του 2003, ενώ η τελευταία φάση επίδειξης έγινε τον Νοέμβριο του ίδιου έτους. Η αποτελεσματικότητα της TUC αξιολογήθηκε (βάσει μετρήσεων πραγματικού χρόνου) στα ίδια επίπεδα με αυτά της TASS για την περιοχή της ανατολικής εισόδου (2 κόμβοι), αλλά για το κέντρο της πόλης (21 κόμβοι) η απόδοση της TUC ήταν πολύ καλύτερη της TASS.

Πιο συγκεκριμένα, για τις ώρες 8:00-17:00 και 22:00-23:00 η μέση ταχύτητα (εκτίμηση από μετρήσεις φωρατών) ήταν έως και 13% υψηλότερη κατά την εφαρμογή της TUC σε σύγκριση με τη στρατηγική TASS.

## **Εφαρμογή στο Δίκτυο**

**του**

### **Σαουθάμπτον**

Στο Σαουθάμπτον, η απόδοση της TUC συγκρίθηκε με αυτή της στρατηγικής SCOOT, η οποία είναι και η πιο διαδεδομένη στρατηγική ελέγχου πραγματικού χρόνου διεθνώς. Η στρατηγική SCOOT έχει αναπτυχθεί εδώ και περισσότερο από 20 χρόνια και έχει υποστεί έκτοτε ποικίλες βελτιώσεις και τροποποιήσεις. Επίσης, αναφέρεται ότι το σύστημα SCOOT του

Σαουθάμπτον έχει τελειοποιηθεί με προσθήκες και επιλογές παραμέτρων κατά τα τελευταία 20 χρόνια, και θεωρείται μία από τις πιο επιτυχημένες εφαρμογές SCOOT διεθνώς. Τον Φεβρουάριο του 2003 έγινε η πρώτη πειραματική υλοποίηση της TUC σε ένα μικρό δίκτυο 3 κόμβων. Μετά την επιτυχή έκβαση αυτής της υλοποίησης, η TUC υλοποιήθηκε σε δύο δίκτυα του Σαουθάμπτον, το κέντρο της πόλης (35 κόμβοι) και την αρτηρία Bitterne (18 κόμβοι) που οδηγεί στο κέντρο της πόλης. Κατά την πρώτη φάση επίδειξης (Απρ.– Ιουν. 2003), εναλλασσόταν εβδομαδιαίως οι στρατηγικές TUC, SCOOT και η υβριδική στρατηγική TUC/SCOOT (όπου η TUC έλεγχε τους χρόνους πράσινου και η στρατηγική SCOOT την περίοδο και την χρονική μετατόπιση). Κατά την τελευταία φάση επίδειξης (Νοεμ. 2003) το υβριδικό σύστημα δεν εφαρμόστηκε. Η αποτελεσματικότητα της TUC εκτιμήθηκε για τα δύο δίκτυα ξεχωριστά.

### **Αρτηρία Bitterne**

Οι μετρήσεις φωρατών έδειξαν ότι οι ροές και οι καταλήψεις των συνδέσμων κατά την πρωινή συμφόρηση ήταν στα ίδια επίπεδα και για τις δύο στρατηγικές (με αυτές της TUC μερικές φορές καλύτερες). Εν γένει, οι σύνδεσμοι οι οποίοι είχαν καλύτερες κυκλοφοριακές συνθήκες κατά την εφαρμογή της TUC είναι σύνδεσμοι εισόδου στην αρτηρία στους οποίους η στρατηγική SCOOT εφαρμόζει «gating» (δηλαδή μικρούς χρόνους πράσινου, με σκοπό την ομαλή ροή εντός της αρτηρίας). Επίσης, παρόλο το γεγονός ότι κατά την εφαρμογή της TUC η μέση ταχύτητα ανά σύνδεσμο ήταν 4% χαμηλότερη (σε σχέση με αυτή της στρατηγικής SCOOT), η μέση αρμονική ταχύτητα (που λαμβάνει υπόψη το μήκος του συνδέσμου) ήταν εντυπωσιακά υψηλότερη (18%) κατά την πρωινή συμφόρηση.

Οι μετρήσεις βάσει συμπλεόντων οχημάτων έδειξαν μια υπεροχή της TUC της τάξης 30% κατά την πρωινή συμφόρηση, κυρίως στους συνδέσμους της αρτηρίας όπου η SCOOT εφαρμόζει «gating», χωρίς αυτό να σημαίνει υπεροχή της SCOOT στους υπόλοιπους συνδέσμους της αρτηρίας.

## **Σάββατα**

Μικρός αριθμός δεδομένων κυκλοφορίας που συλλέχθηκαν τα Σάββατα, έδειξαν μικρή διαφορά ανάμεσα στην απόδοση των δύο στρατηγικών. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι η TUC ήταν σε εφαρμογή κατά την διάρκεια του τελικού του παγκοσμίου κυπέλλου ράγκμπι με εξαιρετικά υψηλούς κυκλοφοριακούς φόρτους μετά το τέλος του αγώνα. Η TUC αντέδρασε εξαιρετικά αποτελεσματικά στην ξαφνική αύξηση των φόρτων, επιτυγχάνοντας μέση ταχύτητα 27 χλμ/ώρα για μέσους κυκλοφοριακούς φόρτους 530 οχημάτων/ώρα/λωρίδα, ενώ το επόμενο Σάββατο που βρισκόταν σε εφαρμογή η στρατηγική SCOOT, η μέση ταχύτητα ήταν κατά 26% χαμηλότερη για μέσους κυκλοφοριακούς φόρτους 420 οχημάτων/ώρα/λωρίδα.

## **Εφαρμογή στο Δίκτυο Μονάχου**

Το δίκτυο επίδειξης του Μονάχου αποτελείται από 25 ελεγχόμενους κόμβους. Στο Μόναχο, η συγκριτική αξιολόγηση έγινε ανάμεσα στην στρατηγική BALANCE και την υβριδική στρατηγική TUC/ BALANCE (όπου η TUC έλεγχε τους χρόνους πράσινου και η στρατηγική BALANCE την περίοδο και την χρονική μετατόπιση). Οι πλειονότητα των κόμβων του δικτύου διαθέτουν έλεγχο παροχής προτεραιότητας σε τραμ και λεωφορεία. Σε περίπτωση που η παροχή προτεραιότητας ενεργοποιείται, οι αποφάσεις των δύο στρατηγικών δεν υλοποιούνται στον κόμβο. Μετρήσεις κατάληψης, μέσης ταχύτητας και χρόνων διαδρομής έδειξαν παρόμοια απόδοση για τις δύο στρατηγικές. Όμως υπήρχε μεγάλη διαφορά στα αποτελέσματα σύγκρισης ανάμεσα στις δύο πρώτες και στις δύο τελευταίες εβδομάδες. Για παράδειγμα, ενώ η μέση κατάληψη κατά Μέσοι Χρόνοι Διαδρομής βάσει μετρήσεων συμπλεόντων οχημάτων (Μόναχο, την εφαρμογή της TUC ήταν κατά 1,5% πρωινή συμφόρηση) υψηλότερη για τις εβδομάδες 1/2, ήταν κατά 9,8% χαμηλότερη για τις εβδομάδες 3/4. Δυστυχώς, ένας περιορισμένος αριθμός μετρήσεων συμπλεόντων οχημάτων ήταν διαθέσιμος για συγκριτική αξιολόγηση.

Οπωσδήποτε, οι διαθέσιμες μετρήσεις δείχνουν μια σαφή υπεροχή (15%) της TUC για την διαδρομή 1 (την κύρια διαδρομή εισόδου στο κέντρο της πόλης) και ελαφρά υπεροχή της για τις άλλες δύο διαδρομές.

### **Αποδοχή Χρηστών**

Η αποδοχή της TUC από τους χρήστες (υπεύθυνους συστημάτων ελέγχου ΦΣ) ήταν πολύ υψηλή, ειδικά στην πόλη των Χανίων. Οι υπεύθυνοι συστημάτων ελέγχου ΦΣ ανέφεραν ότι η TUC είναι μια εξαιρετική στρατηγική, η οποία με προσεκτική τελειοποίηση των παραμέτρων της μπορεί να έχει εξαιρετική απόδοση, και ότι η απόδοσή της ήταν εξαιρετική σε σύγκριση με διεθνώς επιτυχημένες και διαδεδομένες στρατηγικές. Επίσης, οι υπεύθυνοι συστημάτων ελέγχου ΦΣ ανέφεραν ότι η υλοποίησή της ήταν απλή υπόθεση, όπου ο μεγαλύτερος φόρτος εργασίας απαιτήθηκε για την ανάπτυξη του λογισμικού διασύνδεσης της TUC με το τοπικό σύστημα ελέγχου ΦΣ.

### **Κοινωνικό-Οικονομικά Οφέλη**

Η ανάλυση των συγκριτικών αποτελεσμάτων ειδικά για την πόλη των Χανίων έδειξε ότι το όφελος από την εφαρμογή της TUC στα Χανιά κάτω από τις πιο συντηρητικές εκτιμήσεις θα οδηγήσει σε εξοικονόμηση 600.000 € ανά έτος. Για το Σαουθάμπτον και το Μόναχο δεν κατέστη δυνατή η εκτίμηση παρόμοιων μεγεθών όπως στα Χανιά μέσω της ανάλυσης των συγκριτικών αποτελεσμάτων, μιας και διαφορετικά δεδομένα κυκλοφοριακών μετρήσεων οδηγούσαν σε διαφορετικές εκτιμήσεις του οφέλους εφαρμογής της TUC. Σε κάθε περίπτωση, συνολικά και για τα 3 δίκτυα, εκτιμήθηκε ότι η εξοικονόμηση σε συνολικό κόστος λειτουργίας οχημάτων από την εφαρμογή της TUC είναι της τάξης του 10%.

### **Συμπεράσματα**

Η επίδειξη και συγκριτική αξιολόγηση της TUC στα τρία Ευρωπαϊκά αστικά οδικά δίκτυα απέδειξε ότι η TUC είναι μια εύρωστη και αξιόπιστη στρατηγική ελέγχου ΦΣ, είτε ως στρατηγική ολοκληρωμένου ελέγχου ΦΣ είτε ως κομμάτι μιας υβριδικής στρατηγικής. Η συγκριτική αξιολόγηση έδειξε ότι η TUC έχει παρόμοια ή και καλύτερη απόδοση από διεθνώς καθιερωμένες και εξελιγμένες στρατηγικές ελέγχου των τριών δικτύων επίδειξης τα οποία

σημειωτέον διαθέτουν διαφορετικά χαρακτηριστικά τόσο ως προς την τοπολογία τους όσο και ως προς την κυκλοφοριακή συμπεριφορά. Αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η TUC μπορεί επιτυχώς να υλοποιηθεί σε οποιοδήποτε αστικό οδικό δίκτυο στην Ευρώπη και αλλού. Συνολικά, το ερευνητικό έργο SMART NETS επέδειξε ότι η TUC μπορεί, εν δυνάμει, να αποτελέσει ένα από τους πιοσημαντικούς ανταγωνιστές στην αγορά υλοποίησης και εφαρμογής συστημάτων ελέγχου ΦΣ.

Για περισσότερες πληροφορίες: Λίστα Συνεργαζόμενων Φορέων:

Christiane Bielefeldt Napier University, Transport Research Institute – UK  
(Co-Transport Research Institute ordinator)

Napier University Πολυτεχνείο Κρήτης, Δήμος Χανίων, Siemens AE - Greece  
Redwood House Southampton City Council, Siemens Traffic Controls,  
66 Spylaw Road University of Southampton -UK Edinburgh EH10 5BR  
Kreisverwaltungsreferat Munich, Gevas Software, TransVer  
Τηλ: + 44 131 455 5140 - Germany  
e-mail: chr.bielefeldt@btopenworld.com

Ιστοσελίδα SMART NETS: [www.smart-nets.napier.ac.uk](http://www.smart-nets.napier.ac.uk)

SMART

NETS

Project funded by the  
European Community  
under the “Information  
Society Technology”  
Programme (1998-2002)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2

### Μετρήσεις 6/4

|           |     |        |        |        |        |        |
|-----------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| time diff | L13 | 60.01  | 66.40  | 61.63  | 64.80  | 62.11  |
|           | L10 | 12.70  | 15.77  | 20.15  | 16.11  | 16.09  |
|           | L8  | 5.85   | 6.35   | 9.19   | 5.11   | 7.01   |
|           | L7  | 6.59   | 6.01   | 7.38   | 5.68   | 6.77   |
|           | L4  | 50.45  | 50.02  | 59.47  | 49.90  | 52.56  |
|           | L6  | 4.87   | 4.73   | 5.04   | 7.87   | 6.11   |
|           | L2  | 39.84  | 42.82  | 51.76  | 66.30  | 65.32  |
|           | L45 | 61.29  | 51.38  | 27.31  | 26.10  | 36.66  |
|           | L46 | 73.00  | 80.77  | 110.92 | 101.05 | 108.09 |
|           | L47 | 16.28  | 5.70   | 6.44   | 16.04  | 17.09  |
|           | L48 | 156.75 | 118.82 | 124.10 | 127.02 | 105.66 |
|           | L39 | 65.04  | 40.60  | 36.81  | 38.09  | 37.44  |

(Average  
Flow\*3600)/(Cycle\*1800)

|     |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| L13 | 0.155 | 0.233 | 0.266 | 0.266 | 0.211 |
| L10 | 0.289 | 0.333 | 0.467 | 0.544 | 0.344 |
| L8  | 0.281 | 0.237 | 0.370 | 0.341 | 0.319 |
| L7  | 0.281 | 0.237 | 0.370 | 0.341 | 0.319 |
| L4  | 0.300 | 0.367 | 0.322 | 0.500 | 0.411 |
| L6  | 0.300 | 0.367 | 0.322 | 0.500 | 0.411 |
| L2  | 0.467 | 0.378 | 0.422 | 0.467 | 0.467 |
| L45 | 2.400 | 0.156 | 1.644 | 1.822 | 1.533 |
| L46 | 1.022 | 0.756 | 0.844 | 0.956 | 0.555 |
| L47 | 1.022 | 0.756 | 0.844 | 0.956 | 0.555 |
| L48 | 0.344 | 0.256 | 0.178 | 0.356 | 0.278 |
| L39 | 0.356 | 0.489 | 0.400 | 0.511 | 0.422 |

Average  
Occuppancy/100

|     |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| L13 | 0.055 | 0.29  | 0.295 | 0.365 | 0.16  |
| L10 | 0.065 | 0.15  | 0.315 | 0.295 | 0.37  |
| L8  | 0.1   | 0.076 | 0.23  | 0.126 | 0.17  |
| L7  | 0.1   | 0.076 | 0.23  | 0.126 | 0.17  |
| L4  | 0.615 | 0.535 | 0.825 | 0.385 | 0.515 |
| L6  | 0.615 | 0.535 | 0.825 | 0.385 | 0.515 |
| L2  | 0.14  | 0.09  | 0.13  | 0.14  | 0.27  |
| L45 | 0.31  | 0.97  | 0.79  | 0.5   | 0.83  |
| L46 | 0.17  | 0.17  | 0.15  | 0.17  | 0.63  |
| L47 | 0.17  | 0.17  | 0.15  | 0.17  | 0.63  |
| L48 | 0.745 | 0.83  | 0.805 | 0.735 | 0.6   |
| L39 | 0.68  | 0.49  | 0.59  | 0.32  | 0.41  |

## Μετρήσεις 29/3

|           |     |       |        |       |       |        |
|-----------|-----|-------|--------|-------|-------|--------|
| time diff | L13 | 63.92 | 64.03  | 61.98 | 59.21 | 60.23  |
|           | L10 | 12.98 | 10.4   | 12.04 | 12.28 | 21.75  |
|           | L8  | 3.3   | 5.55   | 9.28  | 7.11  | 33.15  |
|           | L7  | 10.59 | 6.92   | 37.41 | 5.88  | 20.59  |
|           | L4  | 54.46 | 50.83  | 39.28 | 56.29 | 44.48  |
|           | L6  | 11.32 | 13.7   | 6.06  | 6.17  | 10.14  |
|           | L2  | 51.5  | 36.63  | 33.61 | 45.2  | 75.48  |
|           | L45 | 26.76 | 41.43  | 55.24 | 43.26 | 48.46  |
|           | L46 | 57.3  | 60.17  | 62.04 | 58.34 | 57.58  |
|           | L47 | 5.56  | 6.09   | 5.36  | 6.06  | 13.51  |
|           | L48 | 61.78 | 123.06 | 41.58 | 55.75 | 231.34 |
|           | L39 | 24.91 | 39.49  | 36.98 | 25.29 | 28.3   |

(Average  
Flow\*3600)/(Cycle\*1800)

|     |       |       |       |       |       |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| L13 | 0.278 | 0.2   | 0.222 | 0.244 | 0.267 |
| L10 | 0.289 | 0.278 | 0.478 | 0.333 | 0.367 |
| L8  | 0.251 | 0.2   | 0.251 | 0.324 | 0.391 |
| L7  | 0.251 | 0.2   | 0.251 | 0.324 | 0.391 |
| L4  | 0.433 | 0.456 | 0.467 | 0.456 | 0.133 |
| L6  | 0.433 | 0.456 | 0.467 | 0.456 | 0.133 |
| L2  | 0.4   | 0.511 | 0.556 | 0.467 | 0.111 |
| L45 | 0.022 | 0.556 | 0.111 | 1.578 | 0.999 |
| L46 | 0.778 | 0.578 | 0.489 | 0.889 | 0.844 |
| L47 | 0.778 | 0.578 | 0.489 | 0.889 | 0.844 |
| L48 | 0.5   | 0.489 | 0.411 | 0.4   | 0.3   |
| L39 | 0.311 | 0.422 | 0.422 | 0.378 | 0.533 |

Average  
Occupancy/100

|     |      |       |       |       |       |
|-----|------|-------|-------|-------|-------|
| L13 | 0.18 | 0.085 | 0.3   | 0.17  | 0.165 |
| L10 | 0.06 | 0.07  | 0.155 | 0.08  | 0.14  |
| L8  | 0.09 | 0.083 | 0.096 | 0.113 | 0.206 |
| L7  | 0.09 | 0.083 | 0.096 | 0.113 | 0.206 |
| L4  | 0.48 | 0.435 | 0.595 | 0.465 | 0.9   |
| L6  | 0.48 | 0.435 | 0.595 | 0.465 | 0.9   |
| L2  | 0.12 | 0.2   | 0.18  | 0.25  | 0.65  |
| L45 | 0.01 | 0.02  | 0.01  | 0.2   | 0.13  |
| L46 | 0.17 | 0.08  | 0.1   | 0.18  | 0.23  |
| L47 | 0.17 | 0.08  | 0.1   | 0.18  | 0.23  |
| L48 | 0.34 | 0.55  | 0.67  | 0.55  | 0.645 |
| L39 | 0.13 | 0.32  | 0.41  | 0.33  | 0.42  |

Τέλος παραθέτουμε τις μετρήσεις στις 12/2 χωρίς την παραπάνω επεξεργασία αλλά όπως αυτές προήλθαν από την χρήση ψηφιακού χρονομέτρου απευθείας αλλά και απευθείας από τους φωρατές οι τιμές για occupancy και flow έτσι ώστε να παραθέσουμε και το εν λόγω στάδιο στον αναγνώστη και να κατανοήσει βαθύτερα την διαδικασία επεξεργασίας των στοιχείων.

### **17:49(17:49:53)**

| ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ | ΧΡΟΝΟΣ(min/sec/dsec) | OCCUPANCY | FLOW  |
|-----------|----------------------|-----------|-------|
| L13       | 32.66                | 19/12     | 14/12 |
| L10       | 48.86                | 15/12     | 15/24 |
| L8        | 58.43                | 716/17    | 8/7/7 |
| L7        | 1.06.83              | 7/16/17   | 8/7/7 |
| L4        | 1.51.33              | 25/35     | 21/22 |
| L6        | 1.58.42              | 25/35     | 21/22 |
| L2        | 2.44.55              | 12        | 14    |
| L45       | 3.44.20              | 3         | 15    |
| L46       | 4.32.54              | 46        | 30    |
| L47       | 4.41.31              | 46        | 30    |
| L48       | 5.09.34              | 42/43     | 20/18 |

### **18:00(17:59:55)**

| ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ | ΧΡΟΝΟΣ(min/sec/dsec) | OCCUPANCY | FLOW    |
|-----------|----------------------|-----------|---------|
| L13       | 19.41                | 29/34     | 8/6     |
| L10       | 35.88                | 9/36      | 11/6    |
| L8        | 1.25.66              | 7/9/9     | 8/10/11 |
| L7        | 1.50.22              | 7/9/9     | 8/10/11 |
| L4        | 1.59.16              | 30/39     | 27/27   |
| L6        | 3.05.40              | 30/39     | 27/27   |
| L2        | 3.49.88              | 100       | 0       |
| L45       | 4.47.89              | 1         | 9       |
| L46       | 5.41.31              | 55        | 18      |
| L47       | 5.59.93              | 55        | 18      |
| L48       | 7.03.98              | 67/83     | 12/8    |

**18:12(18:12:49)**

| ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ | ΧΡΟΝΟΣ(min/sec/dsec) | OCCUPANCY | FLOW   |
|-----------|----------------------|-----------|--------|
| L13       | 19.08                | 18/15     | 10/9   |
| L10       | 36.52                | 11/7      | 11/18  |
| L8        | 1.26.31              | 8/10/22   | 9/8/17 |
| L7        | 1.57.28              | 8/10/22   | 9/8/17 |
| L4        | 2.03.14              | 38/44     | 22/21  |
| L6        | 3.08.28              | 38/44     | 22/.21 |
| L2        | 3.55.87              | 28        | 28     |
| L45       | 4.58.81              | 0         | 1      |
| L46       | 5.51.49              | 56        | 24     |
| L47       | 6.09.99              | 56        | 24     |
| L48       | 7.12.99              | 15/12     | 12/12  |

**18:25(18:25:43)**

| ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ | ΧΡΟΝΟΣ(min/sec/dsec) | OCCUPANCY | FLOW    |
|-----------|----------------------|-----------|---------|
| L13       | 20.02                | 14/11     | 10/10   |
| L10       | 38.14                | 20/10     | 10/21   |
| L8        | 1.27.40              | 5/12/14   | 6/13/15 |
| L7        | 1.58.31              | 5/12/14   | 6/13/15 |
| L4        | 2.04.28              | 37/39     | 25/23   |
| L6        | 3.07.26              | 37/39     | 25/23   |
| L2        | 3.57.94              | 13        | 17      |
| L45       | 4.59.85              | 2         | 9       |
| L46       | 5.50.48              | 69        | 24      |
| L47       | 6.10.98              | 69        | 24      |
| L48       | 7.19.31              | 54/52     | 18/18   |

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

#### Κώδικας

```
clear all
close all
global tt pp train_init train_end

NEW=1;

load fcd_data.dat

[ii jj]=size(fcd_data);

for i=1:ii,
    if fcd_data(i,2)<0.1
        fcd_data(i,2)=0.1;
    end
    if fcd_data(i,2)==1
        fcd_data(i,2)=0.1;
    end
end

fcd_data(:,2)=1./fcd_data(:,2);
fcd_data(:,2)=fcd_data(:,2)/max(fcd_data(:,2));

tt=fcd_data(:,1);
pp(1:4,:)=fcd_data(:,2:5)';
pp(5,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,2))';
pp(6,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,3))';
pp(7,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,4))';
pp(8,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,5))';
pp(9,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,3))';
pp(10,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,4))';
pp(11,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,5))';
pp(12,:)=(fcd_data(:,4).*fcd_data(:,4))';
pp(13,:)=(fcd_data(:,4).*fcd_data(:,5))';
pp(14,:)=(fcd_data(:,5).*fcd_data(:,5))';
pp(15,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,2).*fcd_data(:,2))';
pp(16,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,2).*fcd_data(:,3))';
pp(17,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,2).*fcd_data(:,4))';
```

```

pp(18,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,2).*fcd_data(:,5))';
pp(19,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,2).*fcd_data(:,3))';
pp(20,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,2).*fcd_data(:,4))';
pp(21,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,2).*fcd_data(:,5))';
pp(22,:)=(fcd_data(:,4).*fcd_data(:,2).*fcd_data(:,4))';
pp(23,:)=(fcd_data(:,4).*fcd_data(:,2).*fcd_data(:,5))';
pp(24,:)=(fcd_data(:,5).*fcd_data(:,2).*fcd_data(:,5))';
pp(25,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,3).*fcd_data(:,4))';
pp(26,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,3).*fcd_data(:,5))';
pp(27,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,3).*fcd_data(:,3))';
pp(28,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,3).*fcd_data(:,4))';
pp(29,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,3).*fcd_data(:,5))';
pp(30,:)=(fcd_data(:,4).*fcd_data(:,3).*fcd_data(:,4))';
pp(31,:)=(fcd_data(:,4).*fcd_data(:,3).*fcd_data(:,5))';
pp(32,:)=(fcd_data(:,5).*fcd_data(:,3).*fcd_data(:,5))';
pp(33,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,4).*fcd_data(:,4))';
pp(34,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,4).*fcd_data(:,5))';
pp(35,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,4).*fcd_data(:,3))';
pp(36,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,4).*fcd_data(:,4))';
pp(37,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,4).*fcd_data(:,5))';
pp(38,:)=(fcd_data(:,4).*fcd_data(:,4).*fcd_data(:,4))';
pp(39,:)=(fcd_data(:,4).*fcd_data(:,4).*fcd_data(:,5))';
pp(40,:)=(fcd_data(:,5).*fcd_data(:,4).*fcd_data(:,5))';
pp(41,:)=ones(1,ii);

```

```

%pp(30:40,:)=zeros(size(pp(30:40,:)));

```

```

if NEW==1
    theta=zeros(41,1);
else
    load theta.dat
    theta=theta;
end

```

```

train_init=1;
train_end=30;

```

```

eta=0.01;
for iter=1:10000,
    for i=train_init:train_end
        error=tt(i,1)-theta'*pp(:,i);
        theta=theta+eta*error*pp(:,i);
    end
    NER(iter,1)=norm(tt'-theta'*pp);
    if iter>10 & NER(iter,1)>NER(iter-1,1)
        break;
    end
end

```

```

        if mod(iter, 1000)==0
            norm(tt'-theta'*pp)
        end
    end

    plot(NER)
    grid

    figure

    plot(tt');
    hold
    plot(theta'*pp, 'r')
    hold
    grid

    figure

    plot(100*abs((tt'-theta'*pp)./tt'))
    grid

    mean(100*abs((tt'-theta'*pp)./tt'))
    save theta.dat theta -ascii

```

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4

### *Πίνακας fcd\_data.dat*

| Time  | occupancy   | flow        | length      | Dstopl |
|-------|-------------|-------------|-------------|--------|
| 32.66 | 0.155       | 0.317073171 | 0.118518519 | 0.313  |
| 16.2  | 0.135       | 0.475609756 | 0.111111111 | 0.733  |
| 9.57  | 0.133333333 | 0.178861789 | 0.074074074 | 0.161  |
| 8.4   | 0.133333333 | 0.178861789 | 0.055555556 | 0.833  |
| 44.5  | 0.3         | 0.524390244 | 0.203703704 | 0.818  |
| 7.09  | 0.3         | 0.524390244 | 0.085185185 | 0.87   |
| 46.13 | 0.12        | 0.341463415 | 0.555555556 | 0.317  |
| 59.65 | 0.03        | 0.365853659 | 0.092592593 | 0.66   |
| 48.34 | 0.46        | 0.731707317 | 0.577777778 | 0.705  |
| 8.77  | 0.46        | 0.731707317 | 0.055555556 | 0.666  |
| 28.03 | 0.425       | 0.463414634 | 0.259259259 | 0.479  |
| 19.41 | 0.315       | 0.170731707 | 0.118518519 | 0.313  |
| 16.47 | 0.225       | 0.207317073 | 0.111111111 | 0.733  |
| 49.78 | 0.083333333 | 0.235772358 | 0.074074074 | 0.161  |
| 24.56 | 0.083333333 | 0.235772358 | 0.055555556 | 0.833  |
| 8.94  | 0.345       | 0.658536585 | 0.203703704 | 0.818  |
| 66.24 | 0.345       | 0.658536585 | 0.085185185 | 0.87   |
| 44.48 | 1           | 0.01        | 0.555555556 | 0.317  |
| 58.01 |             | 0.219512195 | 0.092592593 | 0.66   |
| 53.42 |             | 0.43902439  | 0.577777778 | 0.705  |
| 18.62 | 0.55        | 0.43902439  | 0.055555556 | 0.666  |
| 64.05 | 0.75        | 0.243902439 | 0.259259259 | 0.479  |
| 19.08 | 0.165       | 0.231707317 | 0.118518519 | 0.313  |
| 17.44 | 0.09        | 0.353658537 | 0.111111111 | 0.733  |
| 49.79 | 0.133333333 | 0.276422764 | 0.074074074 | 0.161  |
| 30.97 | 0.133333333 | 0.276422764 | 0.055555556 | 0.833  |
| 5.86  | 0.41        | 0.524390244 | 0.203703704 | 0.818  |
| 65.14 | 0.41        | 0.524390244 | 0.085185185 | 0.87   |
| 47.59 | 0.28        | 0.682926829 | 0.555555556 | 0.317  |
| 62.94 | 0.01        | 0.024390244 | 0.092592593 | 0.66   |
| 52.68 | 0.56        | 0.585365854 | 0.577777778 | 0.705  |
| 18.5  | 0.56        | 0.585365854 | 0.055555556 | 0.666  |
| 63    | 0.135       | 0.292682927 | 0.259259259 | 0.479  |
| 20.02 | 0.125       | 0.243902439 | 0.118518519 | 0.313  |
| 18.12 | 0.15        | 0.37804878  | 0.111111111 | 0.733  |
| 49.26 | 0.103333333 | 0.276422764 | 0.074074074 | 0.161  |
| 30.91 | 0.103333333 | 0.276422764 | 0.055555556 | 0.833  |
| 5.97  | 0.38        | 0.585365854 | 0.203703704 | 0.818  |
| 62.98 | 0.38        | 0.585365854 | 0.085185185 | 0.87   |
| 50.68 | 0.13        | 0.414634146 | 0.555555556 | 0.317  |
| 61.91 | 0.02        | 0.219512195 | 0.092592593 | 0.66   |
| 50.63 | 0.69        | 0.585365854 | 0.577777778 | 0.705  |
| 20.5  | 0.69        | 0.585365854 | 0.055555556 | 0.666  |
| 68.33 | 0.53        | 0.43902439  | 0.259259259 | 0.479  |
| 30.33 | 0.075       | 0.189       | 0.119       | 0.313  |
| 18.29 | 0.085       | 0.311       | 0.111       | 0.733  |
| 37.34 | 0.08        | 0.356       | 0.074       | 0.161  |
| 13.55 | 0.08        | 0.356       | 0.055       | 0.833  |

|        |       |       |       |       |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| 37.70  | 0.305 | 0.544 | 0.204 | 0.818 |
| 4.29   | 0.305 | 0.544 | 0.085 | 0.87  |
| 91.51  | 0.11  | 0.378 | 0.536 | 0.317 |
| 48.15  | 0.12  | 0.267 | 0.093 | 0.66  |
| 68.04  | 0.49  | 0.867 | 0.578 | 0.705 |
| 8.38   | 0.49  | 0.867 | 0.056 | 0.666 |
| 40.14  | 0.43  | 0.389 | 0.349 | 0.479 |
| 23.46  | 0.49  | 0.511 | 0.219 | 0.339 |
| 63.84  | 0.26  | 0.267 | 0.119 | 0.313 |
| 15.23  | 0.245 | 0.333 | 0.111 | 0.733 |
| 6.18   | 0.22  | 0.478 | 0.074 | 0.161 |
| 32.33  | 0.22  | 0.478 | 0.055 | 0.833 |
| 46.30  | 0.825 | 0.422 | 0.204 | 0.818 |
| 4.64   | 0.825 | 0.422 | 0.085 | 0.87  |
| 86.17  | 0.36  | 0.311 | 0.536 | 0.317 |
| 59.91  | 0.08  | 0.244 | 0.093 | 0.66  |
| 58.00  | 0.22  | 1.4   | 0.578 | 0.705 |
| 4.75   | 0.22  | 1.4   | 0.056 | 0.666 |
| 53.94  | 0.335 | 0.367 | 0.349 | 0.479 |
| 21.19  | 0.39  | 0.4   | 0.219 | 0.339 |
| 67.59  | 0.24  | 0.244 | 0.119 | 0.313 |
| 15.07  | 0.14  | 0.356 | 0.111 | 0.733 |
| 8.87   | 0.25  | 0.533 | 0.074 | 0.161 |
| 40.79  | 0.25  | 0.533 | 0.055 | 0.833 |
| 43.21  | 0.225 | 0.634 | 0.204 | 0.818 |
| 4.88   | 0.225 | 0.634 | 0.085 | 0.87  |
| 89.57  | 0.17  | 0.511 | 0.536 | 0.317 |
| 67.82  | 0.06  | 0.178 | 0.093 | 0.66  |
| 50.36  | 0.56  | 0.356 | 0.578 | 0.705 |
| 9.34   | 0.56  | 0.356 | 0.056 | 0.666 |
| 113.29 | 0.405 | 0.333 | 0.349 | 0.479 |
| 46.77  | 0.68  | 0.333 | 0.219 | 0.339 |
| 69.32  | 0.175 | 0.244 | 0.119 | 0.313 |
| 16.09  | 0.125 | 0.389 | 0.111 | 0.733 |
| 7.95   | 0.223 | 0.444 | 0.074 | 0.161 |
| 43.01  | 0.223 | 0.444 | 0.055 | 0.833 |
| 44.23  | 0.48  | 0.222 | 0.204 | 0.818 |
| 4.99   | 0.48  | 0.222 | 0.085 | 0.87  |
| 90.07  | 0.16  | 0.511 | 0.536 | 0.317 |
| 68.51  | 0.09  | 0.222 | 0.093 | 0.66  |
| 53.54  | 0.31  | 1.4   | 0.578 | 0.705 |
| 9.76   | 0.31  | 1.4   | 0.056 | 0.666 |
| 119.99 | 0.71  | 0.222 | 0.349 | 0.479 |
| 49.67  | 0.59  | 0.356 | 0.219 | 0.339 |
| 68.23  | 0.12  | 0.278 | 0.119 | 0.313 |
| 16.08  | 0.07  | 0.256 | 0.111 | 0.733 |
| 7.94   | 0.09  | 0.456 | 0.074 | 0.161 |
| 44.88  | 0.09  | 0.456 | 0.055 | 0.833 |
| 45.31  | 0.34  | 0.456 | 0.204 | 0.818 |
| 5.02   | 0.34  | 0.456 | 0.085 | 0.87  |
| 91.67  | 0.17  | 0.444 | 0.536 | 0.317 |
| 67.99  | 0.08  | 0.222 | 0.093 | 0.66  |
| 58.99  | 0.4   | 1.911 | 0.578 | 0.705 |
| 10.06  | 0.4   | 1.911 | 0.056 | 0.666 |

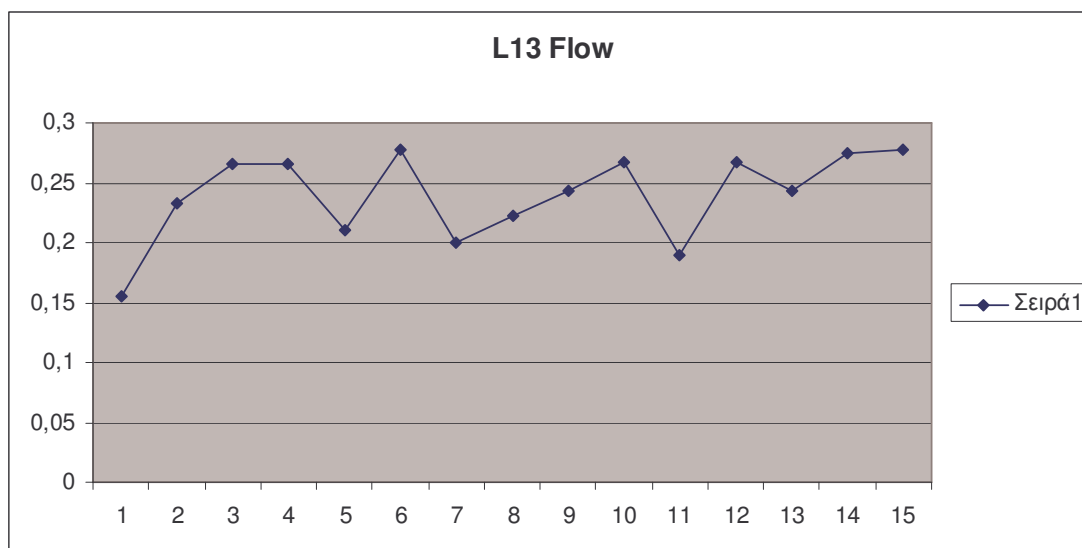
|        |       |       |       |       |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| 127.92 | 0.705 | 0.389 | 0.349 | 0.479 |
| 51.70  | 0.55  | 0.422 | 0.219 | 0.339 |
| 63.92  | 0.18  | 0.278 | 0.119 | 0.313 |
| 12.98  | 0.06  | 0.289 | 0.111 | 0.733 |
| 3.3    | 0.09  | 0.251 | 0.074 | 0.161 |
| 10.59  | 0.09  | 0.251 | 0.055 | 0.833 |
| 54.46  | 0.48  | 0.433 | 0.204 | 0.818 |
| 11.32  | 0.48  | 0.433 | 0.085 | 0.87  |
| 51.5   | 0.12  | 0.4   | 0.536 | 0.317 |
| 26.76  | 0.01  | 0.022 | 0.093 | 0.66  |
| 57.3   | 0.17  | 0.778 | 0.578 | 0.705 |
| 5.56   | 0.17  | 0.778 | 0.056 | 0.666 |
| 61.78  | 0.34  | 0.5   | 0.349 | 0.479 |
| 24.91  | 0.13  | 0.311 | 0.219 | 0.339 |
| 64.03  | 0.085 | 0.2   | 0.119 | 0.313 |
| 10.4   | 0.07  | 0.278 | 0.111 | 0.733 |
| 5.55   | 0.083 | 0.2   | 0.074 | 0.161 |
| 6.92   | 0.083 | 0.2   | 0.055 | 0.833 |
| 50.83  | 0.435 | 0.456 | 0.204 | 0.818 |
| 13.7   | 0.435 | 0.456 | 0.085 | 0.87  |
| 36.63  | 0.2   | 0.511 | 0.536 | 0.317 |
| 41.43  | 0.02  | 0.556 | 0.093 | 0.66  |
| 60.17  | 0.08  | 0.578 | 0.578 | 0.705 |
| 6.09   | 0.08  | 0.578 | 0.056 | 0.666 |
| 123.06 | 0.55  | 0.489 | 0.349 | 0.479 |
| 39.49  | 0.32  | 0.422 | 0.219 | 0.339 |
| 61.98  | 0.3   | 0.222 | 0.119 | 0.313 |
| 12.04  | 0.155 | 0.478 | 0.111 | 0.733 |
| 9.28   | 0.096 | 0.251 | 0.074 | 0.161 |
| 37.41  | 0.096 | 0.251 | 0.055 | 0.833 |
| 39.28  | 0.595 | 0.467 | 0.204 | 0.818 |
| 6.06   | 0.595 | 0.467 | 0.085 | 0.87  |
| 33.61  | 0.18  | 0.556 | 0.536 | 0.317 |
| 55.24  | 0.01  | 0.111 | 0.093 | 0.66  |
| 62.04  | 0.1   | 0.489 | 0.578 | 0.705 |
| 5.36   | 0.1   | 0.489 | 0.056 | 0.666 |
| 41.58  | 0.67  | 0.411 | 0.349 | 0.479 |
| 36.98  | 0.41  | 0.422 | 0.219 | 0.339 |
| 59.21  | 0.17  | 0.244 | 0.119 | 0.313 |
| 12.28  | 0.08  | 0.333 | 0.111 | 0.733 |
| 7.11   | 0.113 | 0.324 | 0.074 | 0.161 |
| 5.88   | 0.113 | 0.324 | 0.055 | 0.833 |
| 56.29  | 0.465 | 0.456 | 0.204 | 0.818 |
| 6.17   | 0.465 | 0.456 | 0.085 | 0.87  |
| 45.2   | 0.25  | 0.467 | 0.536 | 0.317 |
| 43.26  | 0.2   | 1.578 | 0.093 | 0.66  |
| 58.34  | 0.18  | 0.889 | 0.578 | 0.705 |
| 6.06   | 0.18  | 0.889 | 0.056 | 0.666 |
| 55.75  | 0.55  | 0.4   | 0.349 | 0.479 |
| 25.29  | 0.33  | 0.378 | 0.219 | 0.339 |
| 60.23  | 0.165 | 0.267 | 0.119 | 0.313 |
| 21.75  | 0.14  | 0.367 | 0.111 | 0.733 |
| 33.15  | 0.206 | 0.391 | 0.074 | 0.161 |
| 20.59  | 0.206 | 0.391 | 0.055 | 0.833 |

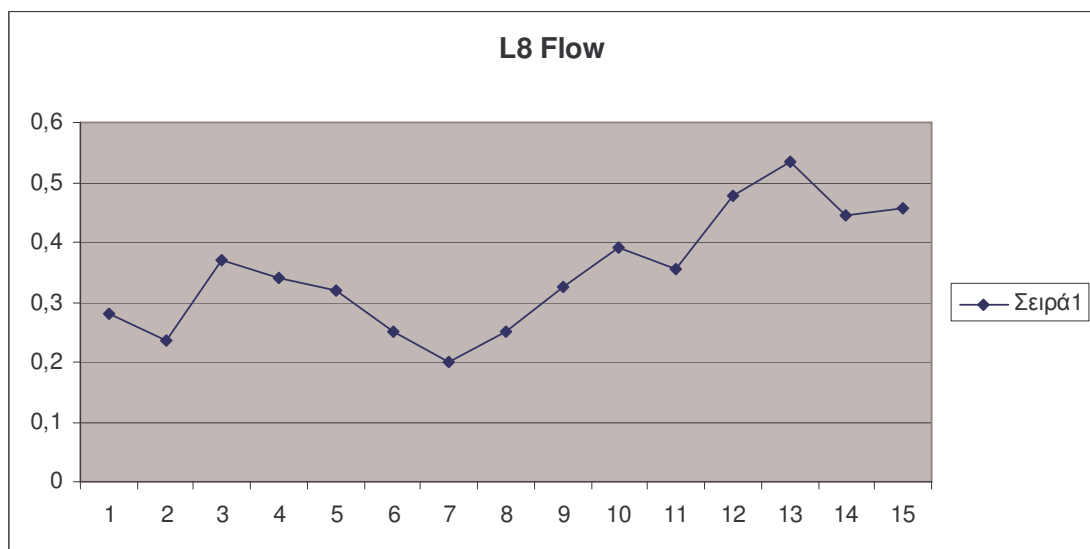
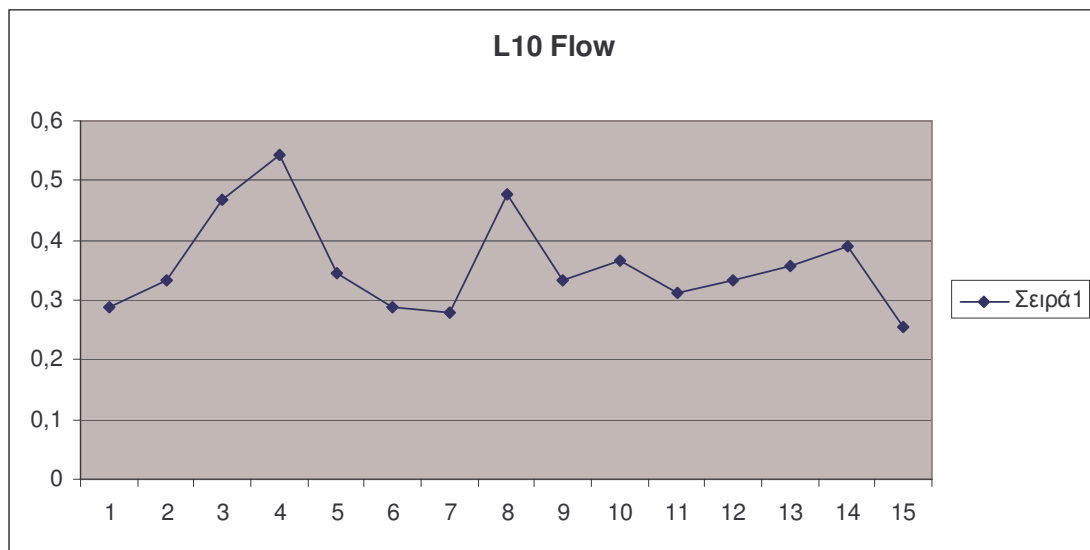
|        |       |       |       |       |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| 44.48  | 0.9   | 0.133 | 0.204 | 0.818 |
| 10.14  | 0.9   | 0.133 | 0.085 | 0.87  |
| 75.48  | 0.65  | 0.111 | 0.536 | 0.317 |
| 48.46  | 0.13  | 0.999 | 0.093 | 0.66  |
| 57.58  | 0.23  | 0.844 | 0.578 | 0.705 |
| 13.51  | 0.23  | 0.844 | 0.056 | 0.666 |
| 231.34 | 0.645 | 0.3   | 0.349 | 0.479 |
| 28.3   | 0.42  | 0.533 | 0.219 | 0.339 |

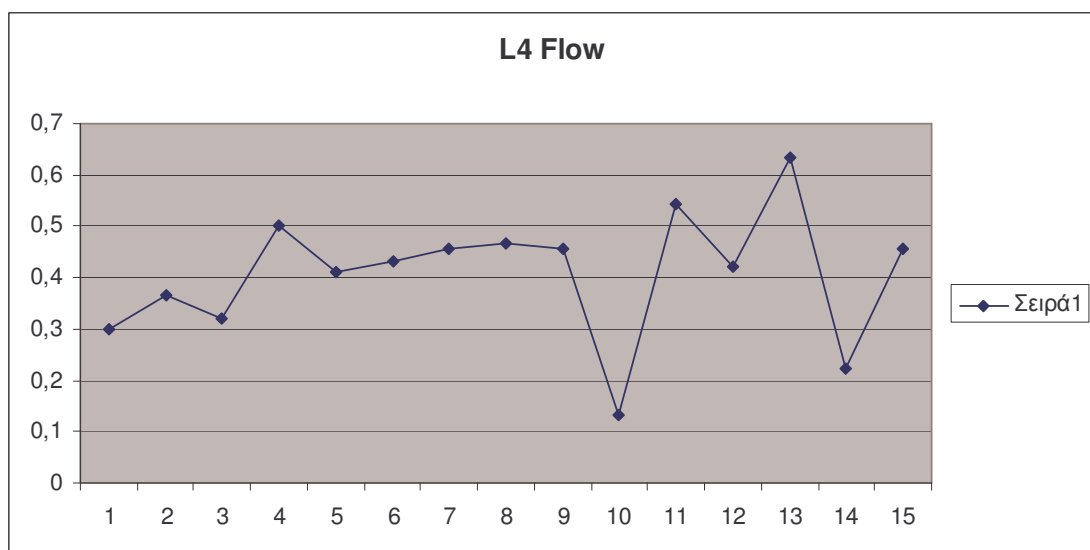
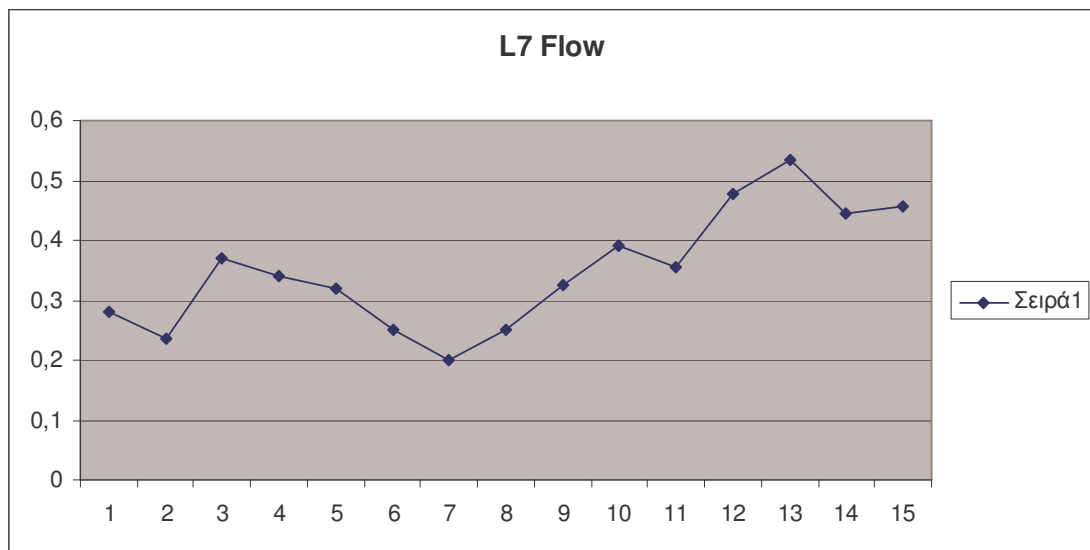
## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5

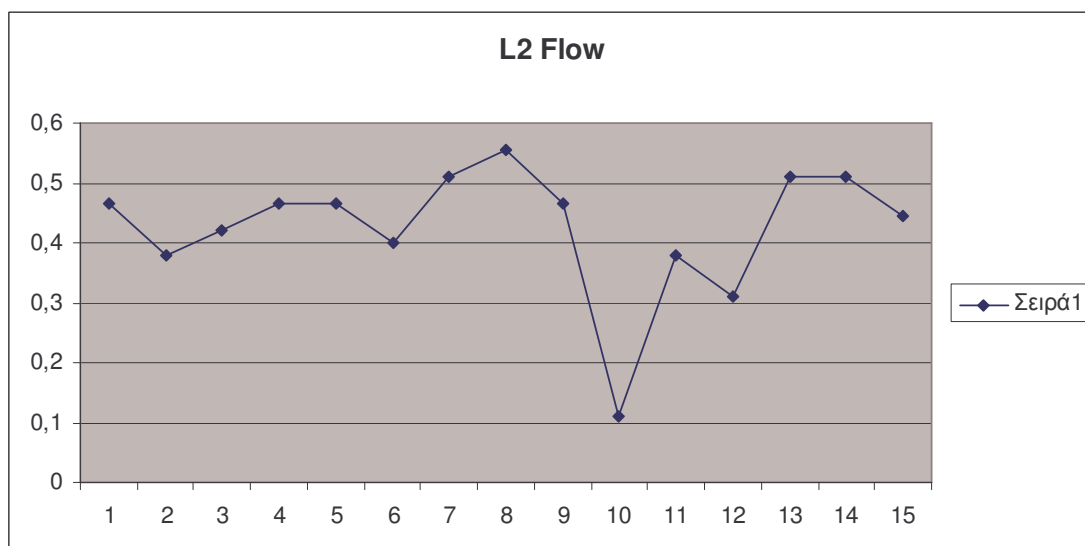
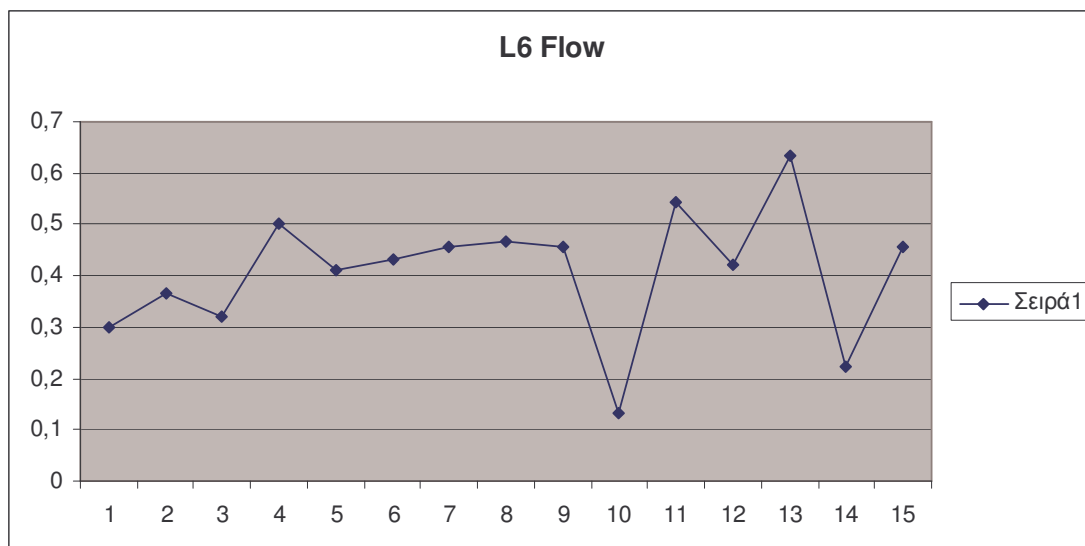
Στα διαγράμματα κατάληψης και ροής ανά σύνδεσμο τα οποία ακολουθούν οι τιμές 1,2,3,...,14,15 στον  $\psi$  άξονα αναφέρονται στις ημερομηνίες και συγκεκριμένες ώρες κατά τις οποίες ελήφθησαν οι μετρήσεις.

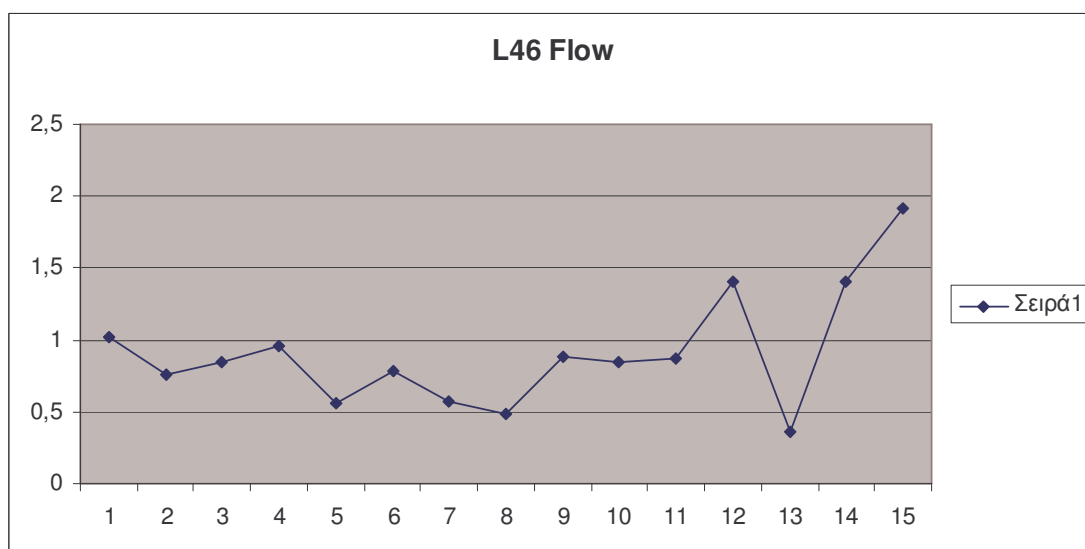
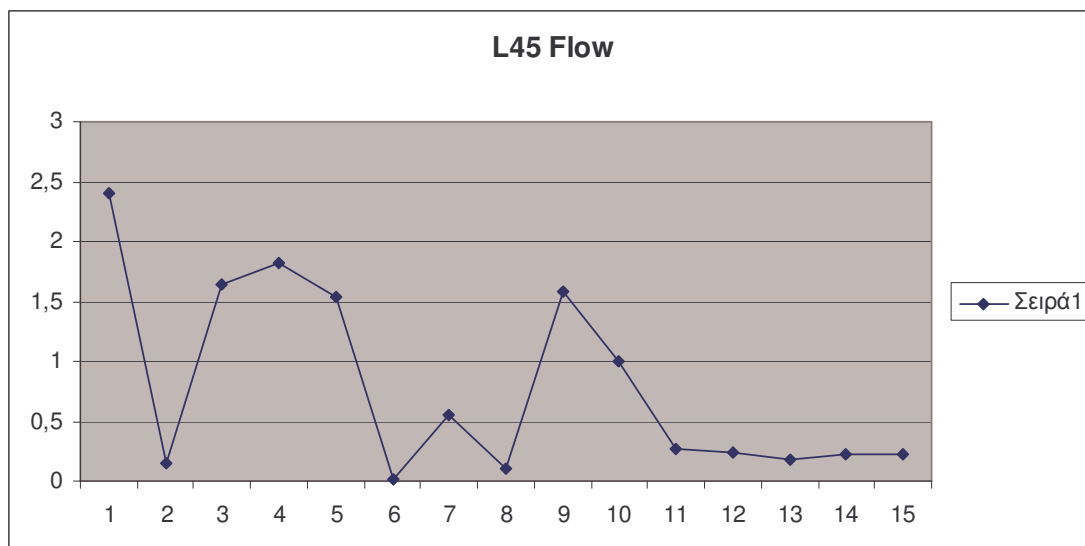
*Date Time(gmt+2)*  
1: 6/4 11:30  
2: 6/4 11:46  
3: 6/4 11:59  
4: 6/4 12:11  
5: 6/4 12:28  
6: 16/3 13:04  
7: 16/3 13:18  
8 : 16/3 13:28  
9: 16/3 13:41  
10:16/3 13:55  
11:29/3 19:03  
12:29/3 19:15  
13:29/3 19:30  
14:29/3 19:43  
15:29/3 19:58

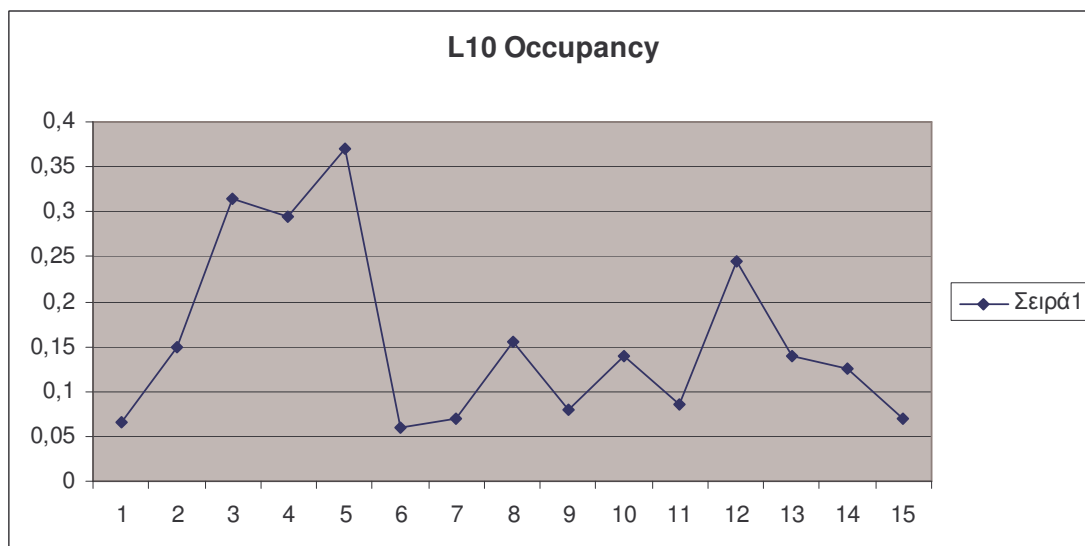
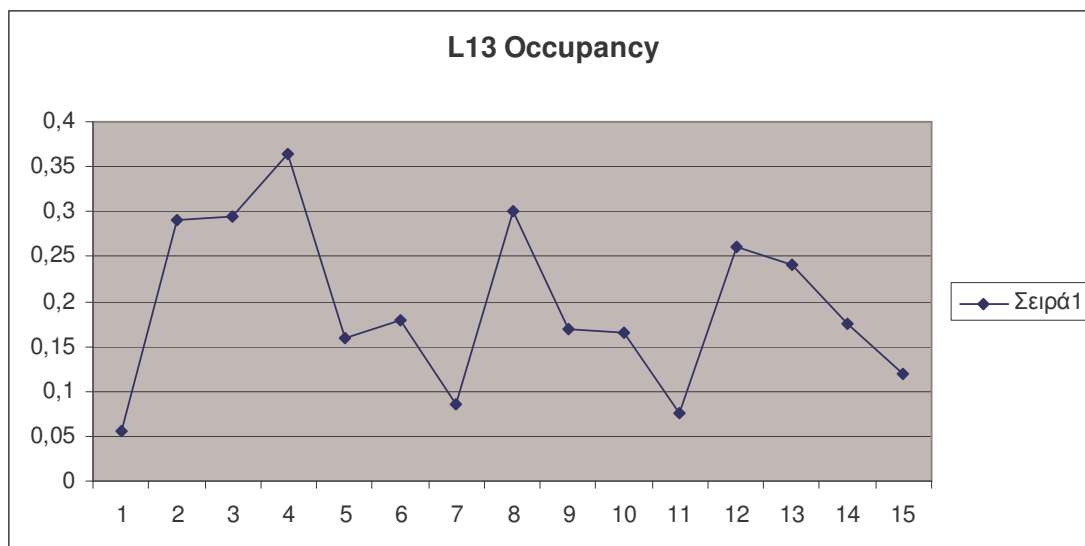


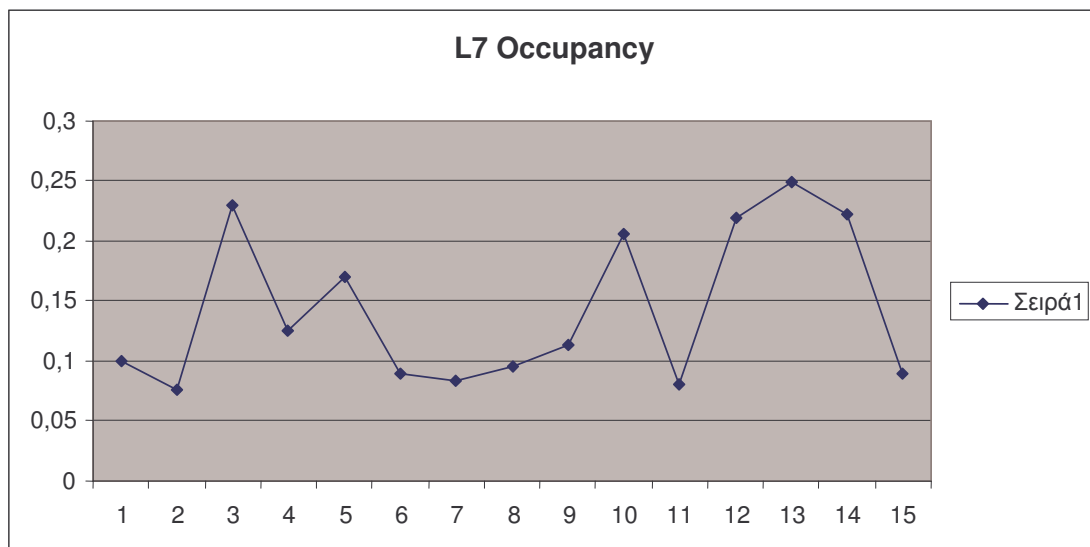
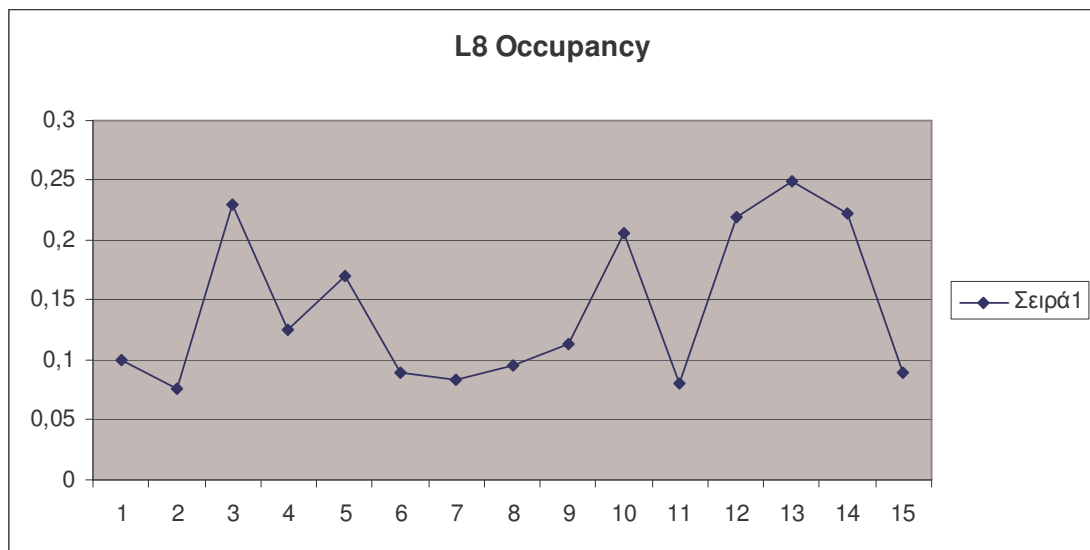


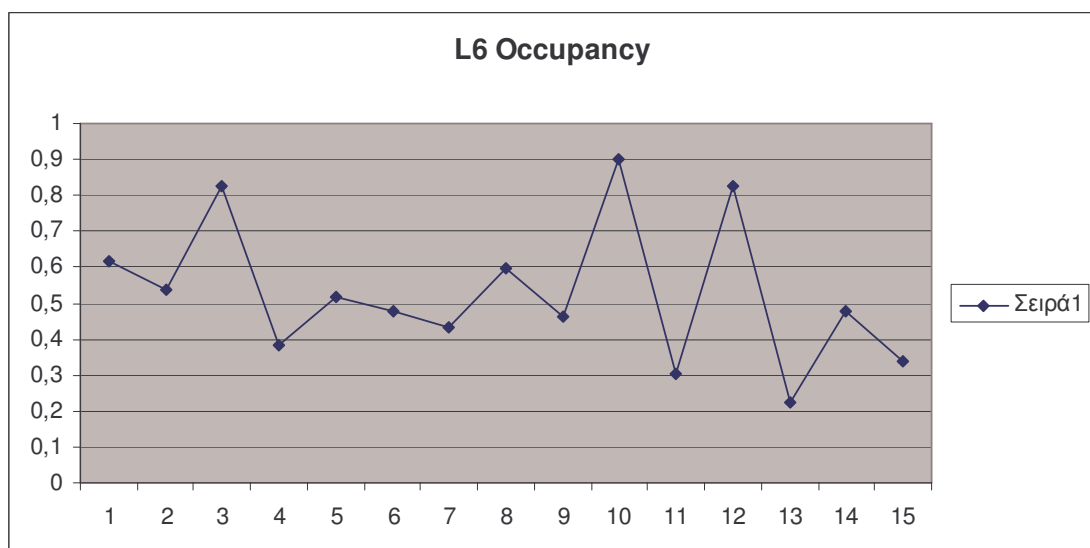
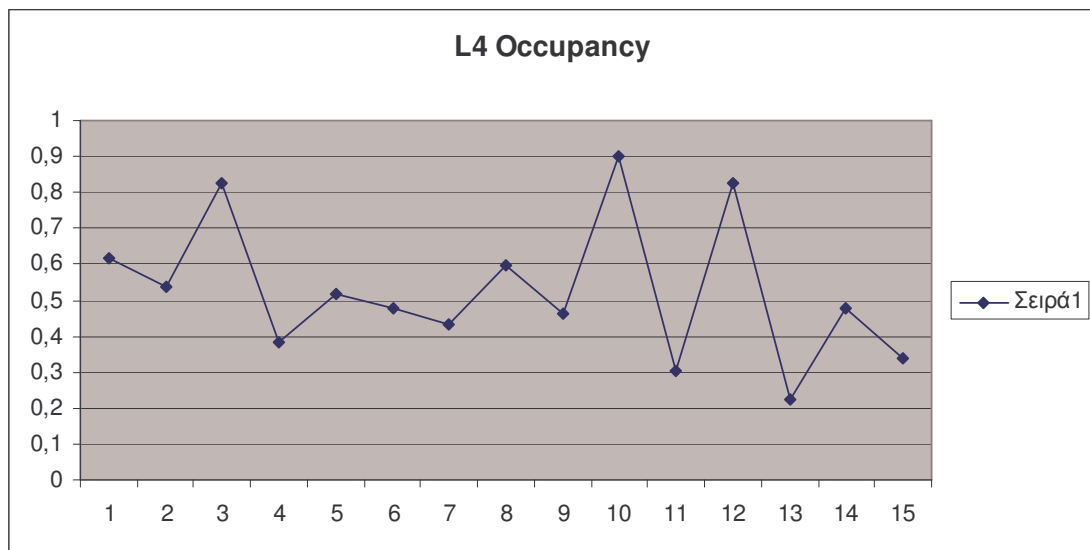


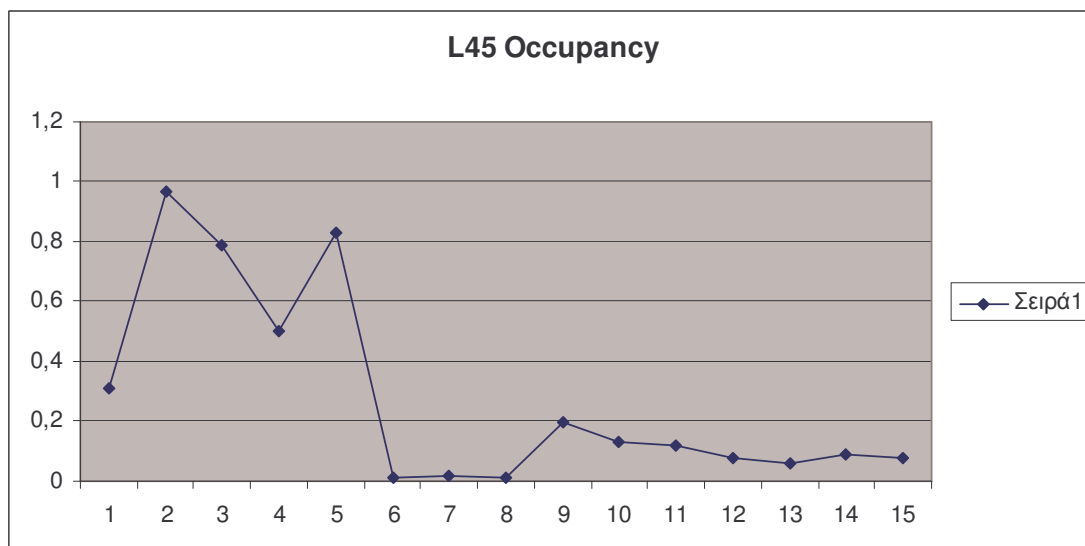
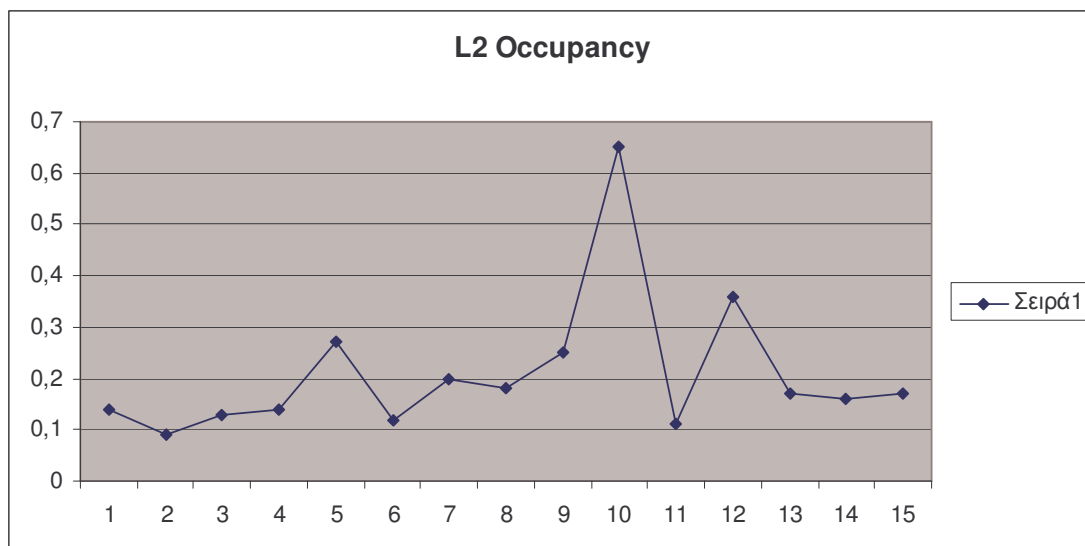


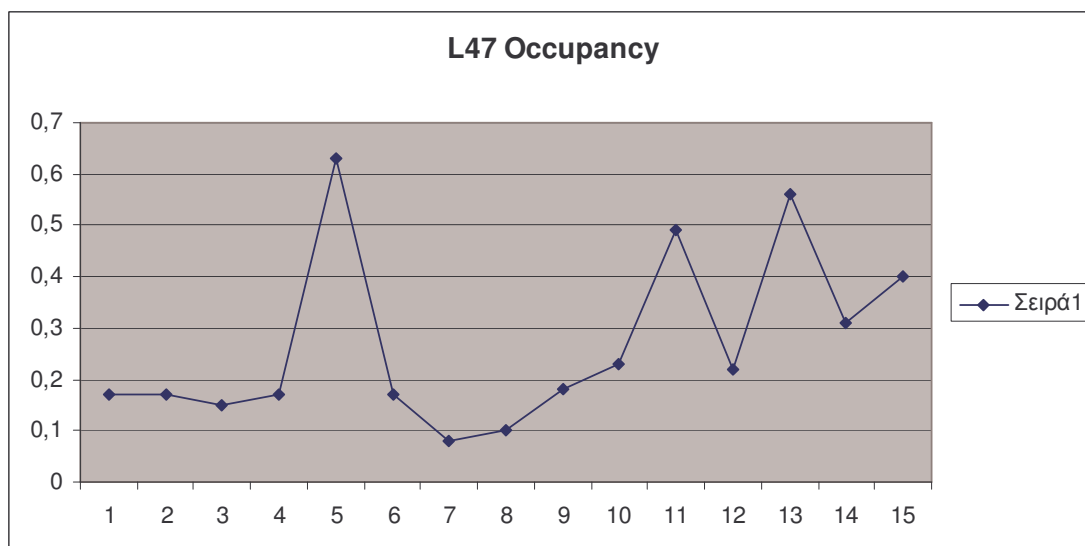
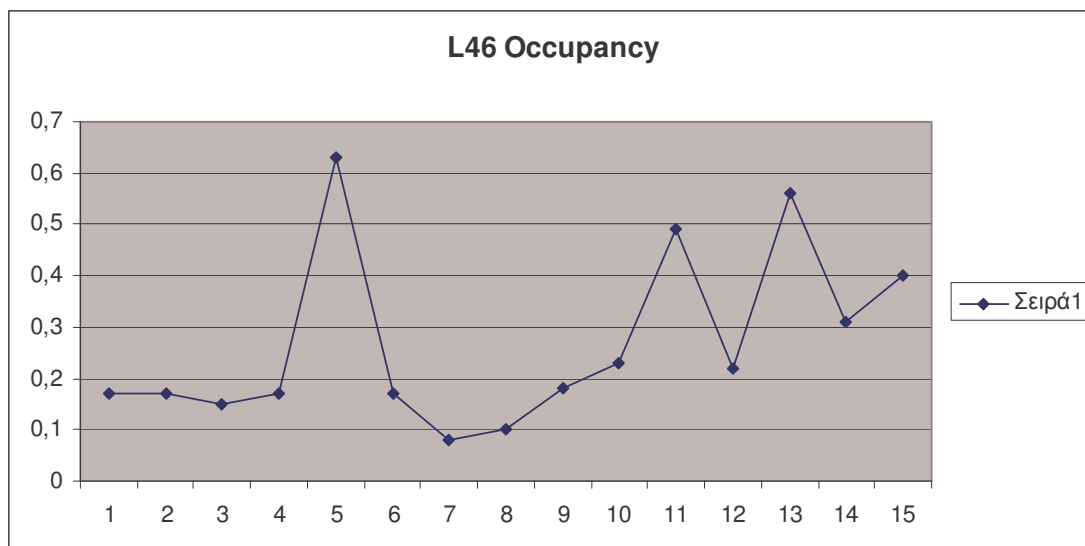


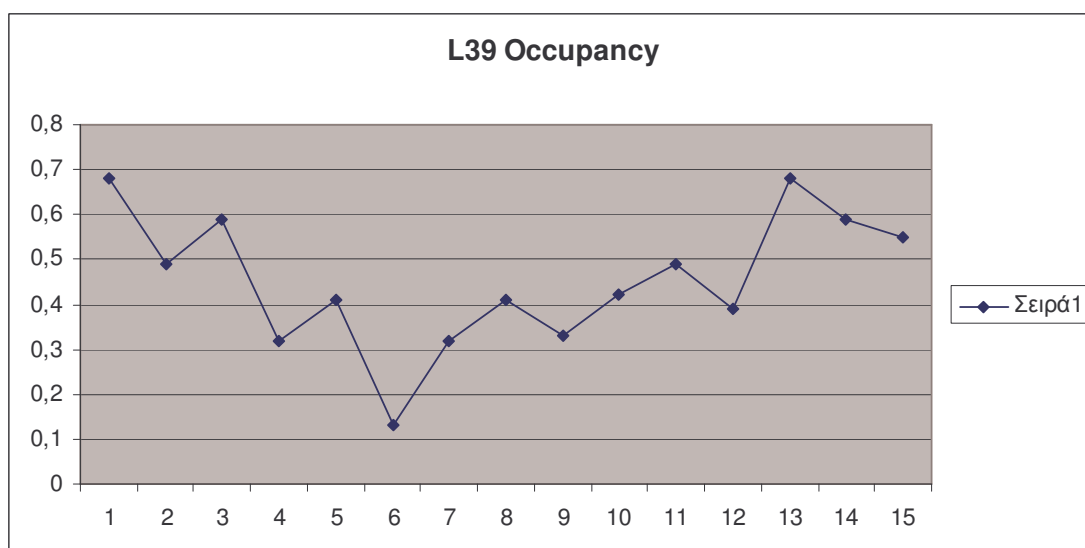
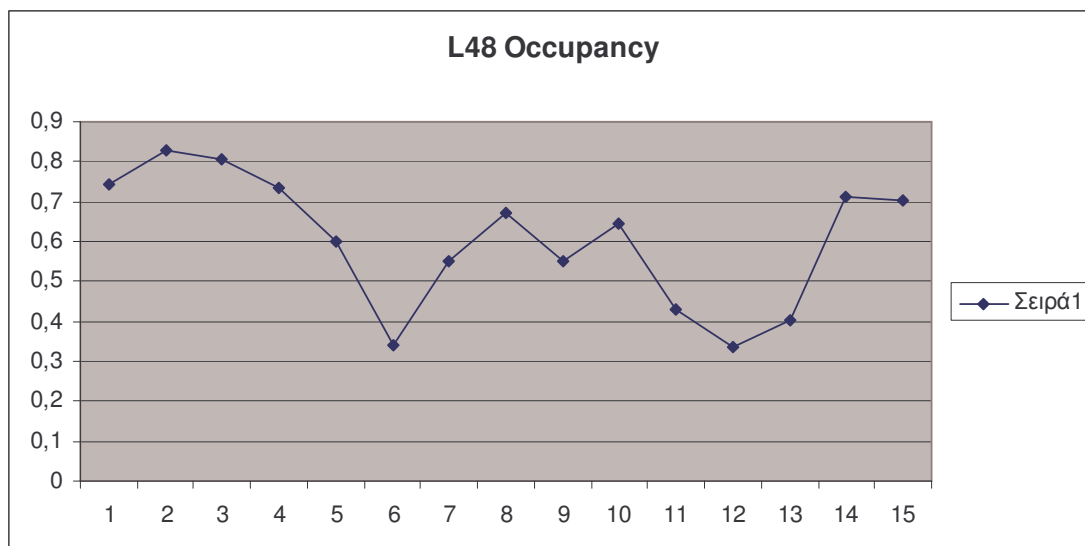












## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6**

Στους παρακάτω πίνακες όταν έχουμε περαιτέρω πτώση τιμών πέραν της ένατης επανάληψης δεν παρατίθεται και σημειώνουμε την ένδειξη κλπ ως ένδειξη περαιτέρω πτώσης.

### **Όρος 40**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 402,3181 |
| 2                   | 402,3181 |
| 3                   | 402,3181 |

### **Όρος 39**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 403,6001 |
| 2                   | 398,0715 |
| 3                   | 397,2613 |

### **Όρος 38**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 404,8694 |
| 2                   | 400,3283 |
| 3                   | 399,8982 |

### **Όρος 37**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 403,5588 |
| 2                   | 397,8333 |
| 3                   | 396,9920 |

### **Όρος 36**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 403,4566 |
| 2                   | 397,6944 |
| 3                   | 396,8373 |

### **Όρος 35**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 404,1112 |
| 2                   | 398,7833 |
| 3                   | 398,1048 |

### **Όρος 34**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 404,1091 |
| 2                   | 398,7010 |
| 3                   | 397,9651 |

### **Όρος 33**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 404,3595 |
| 2                   | 398,9277 |
| 3                   | 398,1546 |

### **Όρος 32**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 405,5235 |
| 2                   | 404,1298 |

### **Όρος 31**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 404,6488 |
| 2                   | 399,0144 |
| 3                   | 398,1738 |

**Όρος 30**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 404,5194 |
| 2                   | 398,7965 |
| 3                   | 397,9005 |

**Όρος 29**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 401,5597 |
| 2                   | 393,5210 |
| 3                   | 391,1768 |
| 4                   | 390,9666 |

**Όρος 28**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 403,6009 |
| 2                   | 307,0119 |
| 3                   | 395,2282 |
| 4                   | 394,9740 |

**Όρος 27**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 419,2294 |
| 2                   | 419,2294 |
| 3                   | 419,2294 |
| 4                   | 419,2294 |

**Όρος 26**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 401,5823 |
| 2                   | 393,3643 |
| 3                   | 390,6983 |
| 4                   | 390,2437 |

### **Όρος 25**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 403,0611 |
| 2                   | 395,8467 |
| 3                   | 393,6509 |
| 4                   | 393,3855 |

### **Όρος 24**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 401,1758 |
| 2                   | 392,8107 |
| 3                   | 390,3777 |
| 4                   | 390,2697 |

### **Όρος 23**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 401,1583 |
| 2                   | 392,7249 |
| 3                   | 390,2673 |
| 4                   | 390,1013 |

### **Όρος 22**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 401,4129 |
| 2                   | 392,8006 |
| 3                   | 390,0522 |
| 4                   | 389,7474 |

### **Όρος 21**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 401,5823 |
| 2                   | 392,3607 |
| 3                   | 388,9362 |
| 4                   | 387,9515 |

### **Όρος 20**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 402,7516 |
| 2                   | 394,5690 |
| 3                   | 390,5173 |
| 4                   | 390,4850 |

### **Όρος 19**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 400,7095 |
| 2                   | 392,3458 |
| 3                   | 389,7285 |
| 4                   | 389,2855 |

### **Όρος 18**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 400,3407 |
| 2                   | 391,7963 |
| 3                   | 389,2141 |
| 4                   | 388,8569 |

### **Όρος 17**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 401,3506 |
| 2                   | 391,7104 |
| 3                   | 386,8817 |
| 4                   | 386,8492 |

### **Όρος 16**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 401,2819 |
| 2                   | 391,4044 |
| 3                   | 387,4017 |
| 4                   | 385,9990 |
| 5                   | 385,7521 |

### **Όρος 15**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 401,7478 |
| 2                   | 390,9436 |
| 3                   | 386,5239 |
| 4                   | 385,0101 |
| 5                   | 384,7398 |

### **Όρος 14**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 407,4626 |
| 2                   | 401,7532 |
| 3                   | 400,8367 |
| 4                   | 400,8367 |
| 5                   | 400,8367 |

### **Όρος 13**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 401,2913 |
| 2                   | 390,1114 |
| 3                   | 385,2868 |
| 4                   | 383,4623 |
| 5                   | 383,0488 |

### **Όρος 12**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 401,2776 |
| 2                   | 390,6758 |
| 3                   | 385,8072 |
| 4                   | 383,7668 |
| 5                   | 383,1058 |

### **Όρος 11**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 401,5599 |
| 2                   | 391,6627 |
| 3                   | 386,6174 |
| 4                   | 384,0256 |
| 5                   | 382,8181 |
| 6                   | 382,4074 |
| 7                   | 382,3834 |

### **Όρος 10**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 402,3124 |
| 2                   | 391,7908 |
| 3                   | 385,7586 |
| 4                   | 382,1437 |
| 5                   | 379,9681 |
| 6                   | 378,6930 |
| 7                   | 377,9959 |
| 8                   | 377,6753 |
| 9                   | 377,6013 |

### **Όρος 9**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 409,9072 |
| 2                   | 400,6668 |
| 3                   | 394,5071 |
| 4                   | 390,2150 |
| 5                   | 387,1337 |
| 6                   | 384,8774 |
| 7                   | 383,1929 |
| 8                   | 381,6753 |
| 9                   | 380,6013 |
| 10                  | Κλπ      |

### Όρος 8

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 409,8385 |
| 2                   | 400,6526 |
| 3                   | 394,4955 |
| 4                   | 390,1324 |
| 5                   | 386,1337 |
| 6                   | 384,5404 |
| 7                   | 382,7331 |
| 8                   | 381,3022 |
| 9                   | 379,3429 |

### Όρος 7

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 413,4088 |
| 2                   | 410,2679 |
| 3                   | 409,3796 |
| 4                   | 409,3303 |

### Όρος 6

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 409,6796 |
| 2                   | 401,0100 |
| 3                   | 395,3966 |
| 4                   | 391,6799 |
| 5                   | 389,2323 |
| 6                   | 387,6326 |
| 7                   | 386,5984 |
| 8                   | 385,9409 |
| 9                   | 385,5341 |
| 10                  | Κλπ      |

### **Όρος 5**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 412,1749 |
| 2                   | 404,6868 |
| 3                   | 399,7544 |
| 4                   | 396,2450 |
| 5                   | 393,6037 |
| 6                   | 391,5465 |
| 7                   | 389,9120 |
| 8                   | 388,5973 |
| 9                   | 387,5343 |
| 10                  | Κλπ      |

\*για τον όρο 5 αξίζει να σημειώσουμε ότι έχουμε πτώση αλλά η αντιστοιχη στον όρο 8 είναι χαμηλότερη άρα δεν τον μηδενίζουμε

### **Όρος 4**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 410,4609 |
| 2                   | 399,9207 |
| 3                   | 393,0083 |
| 4                   | 388,3405 |
| 5                   | 383,1337 |
| 6                   | 381,8774 |
| 7                   | 380,1929 |
| 8                   | 379,6753 |
| 9                   | 379,6013 |
| 10                  | Κλπ      |

### **Όρος 3**

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 438,3623 |
| 2                   | 431,8043 |
| 3                   | 428,4066 |
| 4                   | 426,3693 |

## Όρος 2

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 427,1455 |
| 2                   | 418,2740 |

## Όρος 1

| Αριθμός επαναλήψεων | Τιμή     |
|---------------------|----------|
| 1                   | 413,1680 |
| 2                   | 403,1316 |
| 3                   | 396,2869 |

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7

```
clear all  
close all  
global tt pp train_init train_end
```

```
NEW=0;
```

```
load fcd_data.dat
```

```
[ii jj]=size(fcd_data);
```

```
for i=1:ii,  
    if fcd_data(i,2)<0.1  
        fcd_data(i,2)=0.1;  
    end  
    if fcd_data(i,2)==1  
        fcd_data(i,2)=0.1;  
    end
```

```
end
```

```
fcd_data(:,2)=1./fcd_data(:,2);
fcd_data(:,2)=fcd_data(:,2)/max(fcd_data(:,2));
```

```
tt=fcd_data(:,1);
pp(1:4,:)=fcd_data(:,2:5)';
pp(5,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,2))';
pp(6,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,3))';
pp(7,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,4))';
pp(8,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,5))';
pp(9,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,3))';
pp(10,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,4))';
pp(11,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,5))';
pp(12,:)=(fcd_data(:,4).*fcd_data(:,4))';
pp(13,:)=(fcd_data(:,4).*fcd_data(:,5))';
pp(14,:)=(fcd_data(:,5).*fcd_data(:,5))';
pp(15,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,2).*fcd_data(:,2))';
pp(16,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,2).*fcd_data(:,3))';
pp(17,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,2).*fcd_data(:,4))';
pp(18,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,2).*fcd_data(:,5))';
pp(19,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,2).*fcd_data(:,3))';
pp(20,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,2).*fcd_data(:,4))';
pp(21,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,2).*fcd_data(:,5))';
pp(22,:)=(fcd_data(:,4).*fcd_data(:,2).*fcd_data(:,4))';
pp(23,:)=(fcd_data(:,4).*fcd_data(:,2).*fcd_data(:,5))';
pp(24,:)=(fcd_data(:,5).*fcd_data(:,2).*fcd_data(:,5))';
pp(25,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,3).*fcd_data(:,4))';
pp(26,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,3).*fcd_data(:,5))';
pp(27,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,3).*fcd_data(:,3))';
pp(28,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,3).*fcd_data(:,4))';
pp(29,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,3).*fcd_data(:,5))';
pp(30,:)=(fcd_data(:,4).*fcd_data(:,3).*fcd_data(:,4))';
pp(31,:)=(fcd_data(:,4).*fcd_data(:,3).*fcd_data(:,5))';
pp(32,:)=(fcd_data(:,5).*fcd_data(:,3).*fcd_data(:,5))';
pp(33,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,4).*fcd_data(:,4))';
pp(34,:)=(fcd_data(:,2).*fcd_data(:,4).*fcd_data(:,5))';
pp(35,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,4).*fcd_data(:,3))';
pp(36,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,4).*fcd_data(:,4))';
pp(37,:)=(fcd_data(:,3).*fcd_data(:,4).*fcd_data(:,5))';
pp(38,:)=(fcd_data(:,4).*fcd_data(:,4).*fcd_data(:,4))';
pp(39,:)=(fcd_data(:,4).*fcd_data(:,4).*fcd_data(:,5))';
pp(40,:)=(fcd_data(:,5).*fcd_data(:,4).*fcd_data(:,5))';
pp(41,:)=ones(1,ii);
```

```

%pp(40,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(39,:)=zeros(size(pp(1,:)));
%pp(38,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(37,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(36,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(35,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(34,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(33,:)=zeros(size(pp(1,:)));
%pp(32,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(31,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(30,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(29,:)=zeros(size(pp(1,:)));
%pp(28,:)=zeros(size(pp(1,:)));
%pp(27,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(26,:)=zeros(size(pp(1,:)));
%pp(25,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(24,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(23,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(22,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(21,:)=zeros(size(pp(1,:)));
%pp(20,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(19,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(18,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(17,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(16,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(15,:)=zeros(size(pp(1,:)));
%pp(14,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(13,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(12,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(11,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(10,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(9,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(8,:)=zeros(size(pp(1,:)));
%pp(7,:)=zeros(size(pp(1,:)));
%pp(6,:)=zeros(size(pp(1,:)));
%pp(5,:)=zeros(size(pp(1,:)));
pp(4,:)=zeros(size(pp(1,:)));
%pp(3,:)=zeros(size(pp(1,:)));
%pp(2,:)=zeros(size(pp(1,:)));
%pp(1,:)=zeros(size(pp(1,:)));
if NEW==1
    theta=zeros(41,1);

```

```

else
    load theta.dat
    theta=theta;

end

train_init=1;
train_end=80;

eta=0.001;
for iter=1:100000,
    for i=train_init:train_end
        error=tt(i,1)-theta'*pp(:,i);
        theta=theta+eta*error*pp(:,i);
    end
    NER(iter,1)=norm(tt'-theta'*pp);
    if iter>10 & NER(iter,1)>NER(iter-1,1)
        break;
    end
    if mod(iter, 1000)==0
        norm(tt'-theta'*pp)
    end
end

plot(NER)
grid

figure

plot(tt');
hold
plot(theta'*pp, 'r')
hold
grid

figure

```

```
plot(100*abs((tt'-theta'*pp)./tt'))  
grid
```

```
'final total error'  
    norm(tt'-theta'*pp)
```

```
save theta.dat theta -ascii  
save BEST
```

## Βιβλιογραφία

- [1] H. Chen and S. Grant Muller, "Use of sequential learning for short-term traffic flow forecasting", *Transportation Research C*, vol. 9, pp. 319-336, 2001.
- [2] K. Choi and Y. Chung, "A Data Fusion Algorithm for Estimating Link Travel Time". *ITS Journal*, Vol.7 pp. 235-260. 2002.
- [3] L. Chu, J. Oh and W. Recker, "Adaptive Kalman Filter Based Freeway Travel Time Estimation, 2005 TRB Annual Meeting.
- [4] B. Coifman, "Vehicle reidentification and travel time measurement, Part II: "Uncongested freeways and the onset of congestion", *Proc. 4th IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 146-151, 2001.
- [5] B. Coifman and M. Cassidy, "Vehicle reidentification and travel time measurement, Part I: Congested freeways", *Proc. 4th IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 140-145, 2001.
- [6] F. Dion and H. Rakha, "Estimating spatial travel times using automatic vehicle identification data". *Proceedings of the 82nd annual meeting of the Transportation Research Board*, Washington D.C. CDROM, 2003.
- [6] N.-E. El Faouzi, "Fusion de données pour l'estimation des temps de parcours via la théorie d'evidence", *Recherche Transports Sécurité*, No. 68, pp. 15-27, 2000.
- [7] E. Faouzi and N. Eddin. "Data-driven aggregative schemes for multisource estimation fusion: a road travel time application". *Proceedings of the Multisource Information Fusion: Architectures, Algorithms, and Applications 2004* (Ed. Dasarathy, Belur V.), Volume 5434, pp. 351-359 (2004).
- [8] B A Frith (2003a). *Highways Agency Journey Time Database: TRL Technical note 1: Review of data sources*. TRL Unpublished report PR/T/107/03. TRL, Crowthorne.
- [9] B A Frith (2003b). *Highways Agency Journey Time Database: TRL Technical note 2: Data preference and processing*. TRL Unpublished report PR/T/108/03. TRL, Crowthorne.
- [10] B A Frith (2004). *Journey Time Database: System Overview*. TRL Unpublished report UPR/T/071/04. TRL, Crowthorne.
- [11] Z. Jia, C. Chen, B. Coifman, and P. Varaiya, "The PeMS algorithms for accurate, real-time estimates of g-factors and speeds from single-loop detectors", *Proc. 4th IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 538-543, 2001.
- [12] S. Kachani and G. Perakis, "Second-order fluid dynamics models for travel times in dynamic transportation networks", *Proc. 4th IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 253-258, 2001.
- [13] P. Kachroo, K. Ozbay, and A. G. Hobeika, "Real-time travel time estimation using macroscopic traffic flow models", *Proc. 4th IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 134-139, 2001.
- [14] M. Papageorgiou, *Comments on Annex B of D10.3 and a Suggestion for a New Travel Time Estimator*, Unpublished Working Note, 1999.
- [15] M. Papageorgiou, *Comments on Annex B of D10.3 and a Suggestion for a New Travel Time Estimator*, Unpublished Working Note, 1999.
- [16] D. Park, L.R. Rillet, and G. Han, "Spectral basis neural networks for real-time travel forecasting", *ASCE Journal of Transportation Engineering*, vol. 125, pp. 515-523, 1999.
- [17] J. Rice and E. van Zwet, "A simple and effective method for predicting travel times on freeways", *Proc. 4th IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 229-234, 2001.

- [18] H. J. M. van Grol, S. Manfredi, M. Danech-Pajouh, On-Line Network State Estimation and Short Term Prediction, Deliverable 5.2 of DACCORD, Transport Telematics Programme, Brussels, Belgium, 1991.
- [19] Y. Wang and N. L. Nihan, "Freeway traffic speed estimation with single-loop outputs", Transportation Research Record No. 1727, pp. 120-126, 2000.
- [20] Y. Wang, M. Papageorgiou and A. Messmer, "RENAISSANCE – A unified macroscopic model-based approach to real-time freeway network traffic surveillance. Transportation Research Part C, vol. 14, pp. 190-212.
- [21] K. E. Wunderlich, D. E. Kaufman, and R. L. Smith, "Link travel time prediction for decentralized route guidance architectures", IEEE Trans. Intelligent Transportation Systems, vol. 1, pp. 4-14, 2000.
- [22] X. Zhang, J. Rice and P. Bickel, Empirical Comparison of Travel Time Estimation Methods, California PATH Research Report UCB-ITS-PRR-99-43, University of California, Berkeley, 1999.
- [23] P. Zheng, M. McDonald and D. Jeffery. "An algorithm for delay estimation at roadworks". Research Report. Transportation Research Group, University of Southampton, 2006.
- [24] P. Zheng, M. McDonald and D. Jeffery. "Improving delay dissemination". Research Report. Transportation Research Group, University of Southampton, 2006.
- [25] Z. Zhou and W. Wang, "A travel time estimation model for route guidance systems", Proc. Intern. Conf. on Traffic and Transportation Studies, pp. 547-552, 2000.