



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ

Σχολή Τεχνολογιών

Πληροφορικής και Επικοινωνιών

Τμήμα Ψηφιακών Συστημάτων

Μεταπτυχιακή Διατριβή

Διαχείριση 5G Δικτύων και Υπηρεσιών:

Μελέτη διαχείρισης ετερογενούς δικτύου για βέλτιστη ενεργοποίηση/απενεργοποίηση κυψελών
(Εφαρμογή Περίπτωσης στην Εθνική Οδός Αθηνών Λαμίας)

Συγγραφέας

Μακαντάσης Γεώργιος

Εξεταστική Επιτροπή

Τσαγκάρης Κωνσταντίνος

Ρούσκας Άγγελος

Κυριαζής Δημοσθένης

Περιεχόμενα

1.Εισαγωγή.....	5
1.1 Επανάσταση των Κινητών Επικοινωνιών.....	5
1.2 Δίκτυα 5G	5
1.3 Χρήσεις 5G.....	7
1.4 Μοντέλα δανειοδότησης συχνοτήτων.....	8
1.5 Προκλήσεις 5G.....	10
2. Ορισμός προβλήματος.....	14
2.1 Πρόβλημα.....	14
2.2 MEC.....	14
2.2 Προτεινόμενη λύση.....	16
2.2 Συγκοινωνιακό Μοντέλο.....	18
3 Σύστημα.....	22
3.1 Αρχιτεκτονική.....	22
3.2Λειτουργία και ροή πληροφορίας.....	22
3.3 Dashboard.....	22
3.4 Rest Api.....	23
3.5. Back-end.....	26
3.6 Επεξεργασία δεδομένων Here Maps.....	27

3.7 Διαστασιολόγηση κυψελών.....	27
4. Εγκατάσταση	35
4.1 Microservices.....	35
4.2 Προβλήματα που μας οδηγούν σε Microservices.....	38
4.3 Πλεονεκτήματα Containers	42
5.Αλγόριθμος επίλυσης.....	45
5.1 SLA.....	45
5.Αλγόριθμος ενεργοποίησης/απενεργοποίησης small cells.....	46
6 Evaluation.....	50
6.1 Αποτελέσματα.....	50
7.Βιβλιογραφία.....	63

1.1 Επανάσταση των Κινητών Επικοινωνιών

Τις τελευταίες δεκαετίες, ο κόσμος μας έχει παρακολουθήσει μια επανάσταση στην εξέλιξη των συστημάτων κινητής επικοινωνίας που ξεκίνησε από τα πρώτα δίκτυα επικοινωνίας πρώτης γενιάς προς τα δίκτυα δεύτερης, τρίτης και τέταρτης γενιάς. Αυτή η εξέλιξη υπήρξε μια σημαντική κινητήρια δύναμη πίσω από την πρόοδο και την ανάπτυξη του κόσμου μας σε ένα προηγμένο και δικτυωμένο περιβάλλον. Η κινητή επικοινωνία έχει εξελιχθεί από μια υπηρεσία που είναι διαθέσιμη και προσιτή μόνο για λίγους ανθρώπους σε μια υπηρεσία που χρησιμοποιείται από την πλειοψηφία του παγκόσμιου πληθυσμού. Εκατομμύρια άνθρωποι σε όλο τον κόσμο αλληλοσυνδέονται μέσω της κινητής επικοινωνίας. Έχει γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής μας ζωής και οι εφαρμογές της είναι πανταχού παρούσες σε κάθε καθημερινή δραστηριότητα. Έχει πρωτοστατήσει σε πολλές εξελίξεις και έχει να δείξει επιτεύγματα σε διάφορους τομείς όπως η υγειονομική περίθαλψη, οι μεταφορές, η ενέργεια, η μεταποίηση, η αρχιτεκτονική, η γεωργία, η μηχανική, οι επιχειρήσεις, η εκπαίδευση, η μετεωρολογία, η ραδιοφωνία, τα μέσα μαζικής ενημέρωσης και η ψυχαγωγία.

Ταχεία ανάπτυξη στην παγκόσμια αγορά συσκευών κινητής τηλεφωνίας έχει παρατηρηθεί τα τελευταία χρόνια. Επιπλέον, η ανάπτυξη αυτή γίνεται συνεχώς αισθητή και ο κόσμος θα συνεχίσει να απολαμβάνει τον πολλαπλασιασμό συσκευών κινητής επικοινωνίας, όπως smartphones, tablet, φορητών συσκευών, και φορητών υπολογιστών, μαζί με νέες και υπάρχουσες υπηρεσίες και εφαρμογές που παρέχονται από συστήματα κινητής επικοινωνίας όπως φωνητική κλήση, τηλεδιάσκεψη, online gaming, ζωντανή ροή βίντεο και πολλά άλλα.

1.2 Δίκτυα 5G

Οι τεχνολογίες 5G δικτύων βασίζονται στην αποδοτικότερη διαχείριση του τηλεπικοινωνιακού φάσματος όσο και στη εισαγωγή νέων φασματικών ζωνών κοντά στην κεντρική συχνότητα της τάξης των GHz (millimeter wave communications) . Συνεπώς δημιουργούνται ετερογενή δίκτυα που διανέμουν τηλεπικοινωνιακή κίνηση μέσω διαφορετικών τύπων κυψελών που είναι συντονισμένες σε διαφορετικές κεντρικές συχνότητες και με διαφορετική ισχύ εκπομπής. Στόχος των ετερογενών δικτύων είναι να διαχειριστούν αποδοτικότερα μεγαλύτερο συχνοτικό εύρος ζώνης σε σχέση με τα

παραδοσιακά ομογενή δίκτυα έχοντας τη δυνατότητα να διαχειριστούν την πρόβλεψη για πολλαπλασιασμό της ζήτησης, η οποία εκτιμάται ότι θα είναι της τάξης του 1000. Για να μπορέσει να καλυφθεί η αυξημένη αυτή ζήτηση θα πρέπει να δεσμευτεί επιπλέον τηλεπικοινωνιακό φάσμα το οποίο θα μοιραστεί σε σταθμούς βάσης που θα λειτουργούν σε διαφορετικές συχνότητες, θα έχουν διαφορετικά μεγέθη κατανάλωσης ισχύος και θα αναλαμβάνουν την κάλυψη περιοχών διαφορετικού μεγέθους. Οι σταθμοί βάσης χωρίζονται σε 3 μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με την ισχύ εκπομπής τους και την συχνότητα λειτουργία τους. Οι κατηγορίες είναι οι εξής:

- Macrocells
- Smallcells (microcells, picocells)

Τι είναι ακριβώς το macro cell:

Το macro cell είναι είδος τηλεπικοινωνιακής κυψέλης ενδεδειγμένο για κάλυψη μεγάλης έκτασης που μπορεί να φτάνει κάποια χιλιόμετρα. Το γεγονός ότι έχουμε κάλυψη αρκετά μεγάλης περιοχής συγκεκριμένες η συχνοτική ζώνη των 800 MHz κυριαρχεί για μετάδοση τηλεπικοινωνιακής κίνησης σε μεγάλες αποστάσεις.

Τι είναι ακριβώς το small cell:

Smallcells αποτελούν σταθμοί βάσης που λειτουργούν εντός της εμβέλειας ενός macrocell και χρησιμοποιούνται συνήθως σε πολύ πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, όπως εμπορικά κέντρα, αθλητικές εγκαταστάσεις, αεροδρόμια και σιδηροδρομικούς σταθμούς - βασικά οπουδήποτε έχετε πολλούς ανθρώπους που χρησιμοποιούν δεδομένα σε δεδομένο χρονικό σημείο. Οι περισσότερες εφαρμογές υποδομών μικρών κυψελών (Smallcells) προορίζονται σήμερα για υπαίθρια χρήση. ενδέχεται να ενσωματώνουν ή να μην ενσωματώνουν ζώνες LTE χωρίς άδεια χρήσης. Ανάλογα με τη ζώνη λειτουργία η εμβέλεια τους κυμαίνεται από κάποιες δεκάδες ή εκατοντάδες μέτρα και ονομάζονται αντίστοιχα microcells ή picocells. Οι τεχνολογίες 5G φιλοδοξούν να δώσουν λύσεις και βελτιώσεις με τους εξής όρους:

I. **Network Capacity and Data Speed Improvement:** These can be achieved through dense small cell deployment, utilization of the millimeter-wave band, and M-MIMO and beamforming.

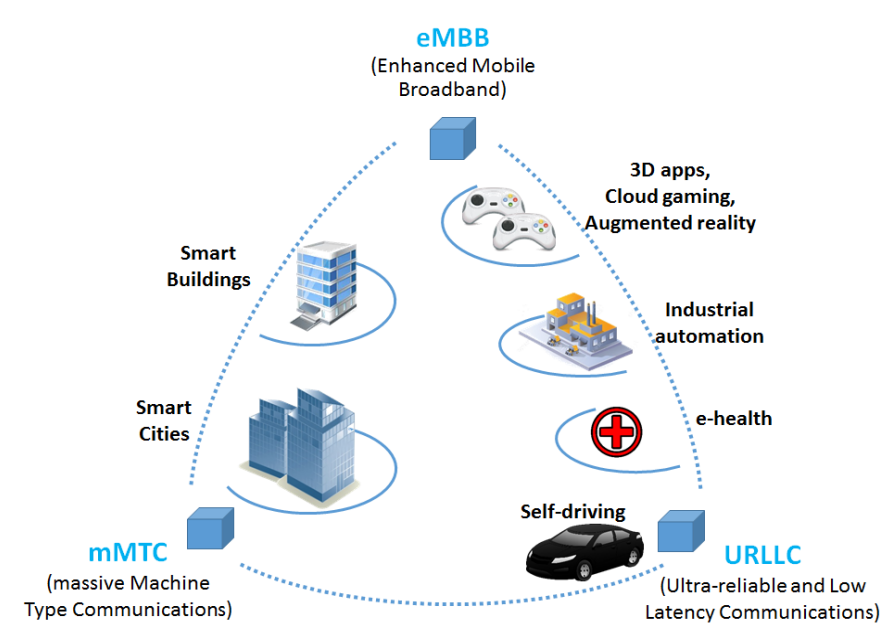
II. **Latency Reduction:** dense small cell deployment and D2D communication can be implemented to significantly reduce E2E latency.

III. **Spectral Efficiency Improvement:** This can be achieved by increasing modulation order, adopting D2D communication, M-MIMO, and adopting new waveforms for transmission.

IV. **Massive Connectivity for IoT:** This can be enabled through dense small cell and M-MIMO, Also, Network function virtualization (NFV) can be use where functions with hardware compatibility issues is deployed from the cloud.

1.3 Χρήσεις 5G

Στην ψηφιακή εποχή, οι χρήστες και οι συσκευές εξαρτώνται όλο και περισσότερο από διάφορες εφαρμογές και υπηρεσίες που περιλαμβάνουν τη δημιουργία, την πρόσβαση / επικοινωνία, την επεξεργασία και την αποθήκευση ψηφιακού περιεχομένου. Αυτές οι εξελίξεις επιταχύνθηκαν έντονα από τις ασύρματες / κινητές τεχνολογίες, οι οποίες προσέφεραν ασύγκριτες ευκαιρίες πρόσβασης / επικοινωνίας στους χρήστες. 5G αναμένεται να κυριαρχεί κυρίως από τις ακόλουθες κατηγορίες εφαρμογών: μαζική επικοινωνία τύπου μηχανής (mMTC), ενισχυμένη επικοινωνία κινητής ευζωνικής σύνδεσης (eMBB), εξαιρετικά αξιόπιστη επικοινωνία και σύνδεση χαμηλής καθυστέρησης (URLLC). Αυτές οι κύριες κατηγορίες θα διευκολύνουν τα σενάρια που σχετίζονται με κρίσιμες και απαιτητικές εφαρμογές για την υλοποίηση έξυπνων πόλεων, καθώς και την υλοποίηση εφαρμογών για τη βιομηχανία 4.0 και τις πτυχές αυτοματισμού. Επίσης, αναμένεται να υπάρξουν αυστηρές απαιτήσεις, προκειμένου να εξασφαλιστεί αξιόπιστη και ασφαλής εξυπηρέτηση με πολύ υψηλό ποσοστό διαθεσιμότητας. Η 1 απεικονίζει τις κύριες περιοχές εφαρμογής 5G.



Εικόνα 1. 5G use cases

1.4 Μοντέλα δανειοδότησης για τις διάφορες συχνότητες, licensed, unlicensed , lightly licensed

Για να καλυφθούν οι προδιαγραφές που έχουν οριστεί, οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι θα χρειαστεί να δεσμεύσουν περαιτέρω πόρους τόσο σε τηλεπικοινωνιακό φάσμα όσο και σε υπολογιστική ισχύ κάνοντας ευρεία χρήση υπολογιστικού νέφους (cloud computing). Ωστόσο, η επιτυχία των υπηρεσιών εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις εθνικές κυβερνήσεις και ρυθμιστικές αρχές. Πιο συγκεκριμένα, η ταχύτητα, η πρόσβαση και η ποιότητα των υπηρεσιών 5G εξαρτάται από τις κυβερνήσεις και τις ρυθμιστικές αρχές οι οποίες θα καθορίσουν και θα υποστηρίξουν την έγκαιρη πρόσβαση στο κατάλληλο τύπο φάσματος ανάλογα με τις ανάγκες των εφαρμογών. Συνεπώς Οι υπηρεσίες 5G θα διαφέρουν μεταξύ των χωρών. Αυτό, με τη σειρά του, άμεσα επηρεάζει την ανταγωνιστικότητα των εθνικών οικονομιών.

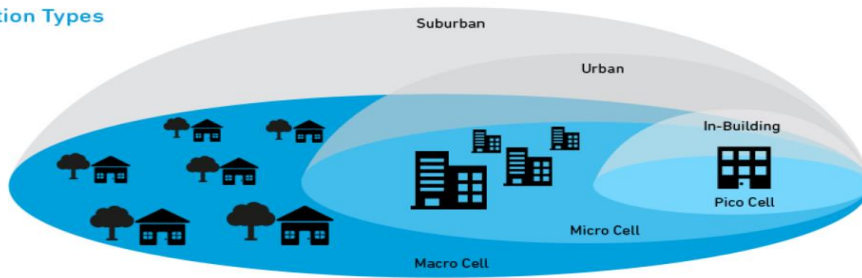
Οι ρυθμιστικές αρχές πρέπει να στοχεύουν καθιστούν διαθέσιμα 80-100 MHz συνεχούς φάσματος ανά πάροχο σε ζώνες 5G (δηλαδή 3,5 GHz) και περίπου 1 GHz ανά πάροχο σε ζώνες millimeter wave (δηλ. 26/28 GHz). Οι τρεις κύριες περιοχές κεντρικών συχνοτήτων είναι: υπό 1 GHz, 1-6 GHz και άνω των 6 GHz.

Το φάσμα μεταξύ 1-6 GHz προσφέρει ένα καλό μείγμα κάλυψης και χωρητικότητας. Αυτό περιλαμβάνει φάσμα εντός των 3,3-3,8 GHz το οποίο αναμένεται να αποτελέσει τη βάση πολλών υπηρεσιών 5G. Περιλαμβάνει επίσης επιπλέον φάσμα που μπορεί να έχει εκχωρηθεί ή ανακατασκευαστεί από παρόχους 5G συμπεριλαμβανομένων 1800 MHz, 2,3 GHz και 2,6 GHz κ.λπ.

Μακροπρόθεσμα, χρειάζεται περισσότερο φάσμα για να διατηρηθεί η ποιότητα 5G των υπηρεσιών και της αυξανόμενης ζήτησης, σε ζώνες μεταξύ 3 και 24 GHz. Τηλεπικοινωνιακό φάσμα κεντρικής συχνότητας πάνω από 6 GHz απαιτείται για την κάλυψη της εξαιρετικά υψηλής ταχύτητας ευρυζωνικότητα που προβλέπονται για 5G εφαρμογές. Επί του παρόντος Οι ζώνες 26 και 28 GHz έχουν τη μεγαλύτερη διεθνή υποστήριξη σε αυτό εύρος.

Επιπρόσθετα τηλεπικοινωνιακό φάσμα στην μη αδειοδοτημένη περιοχή όπως των 2.5 Ghz , 5Ghz και >60Ghz θα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βοηθητικό τόσο σε εσωτερικούς όσο και εξωτερικούς χώρους. Η χρήση πολλαπλών σταθμών βάσεων διαφορετικών κεντρικών συχνοτήτων αποτελεί κύριο συστατικό ενός ετερογενούς δικτύου πέμπτης γενιάς.

Base Station Types

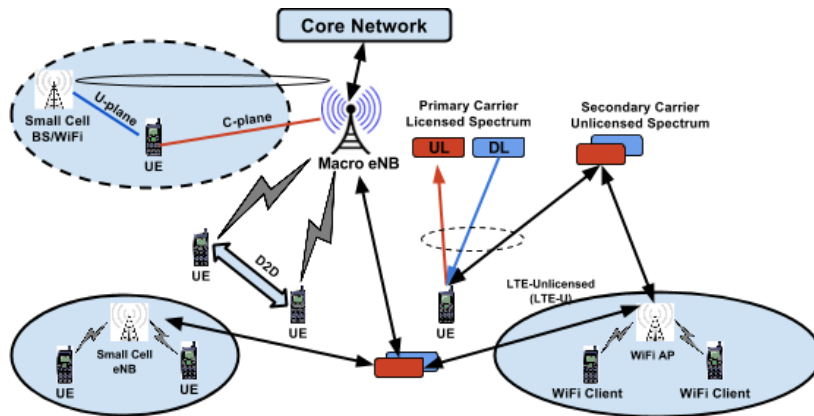


Cell Type	Output Power (W)	Cell Radius (km)	Users	Locations
Femtocell	0.001 to 0.25	0.010 to 0.1	1 to 30	Indoor
Pico Cell	0.25 to 1	0.1 to 0.2	30 to 100	Indoor/Outdoor
Micro Cell	1 to 10	0.2 to 2.0	100 to 2000	Indoor/Outdoor
Macro Cell	10 to >50	8 to 30	>2000	Outdoor

QORVO

©2017 Qorvo, Inc.

Εικόνα 2. 5G Ετερογενές Δίκτυο (Είδη κυψελών)



Εικόνα 3. 5G Ετερογενές Δίκτυο (Είδη κυψελών)

1.5 Προκλήσεις 5G Δικτύων

Η εκθετική αύξηση της ζήτησης δεδομένων στα ασύρματα δίκτυα και η προσέγγιση των θεωρητικών ορίων στη χωρητικότητα των ασυρμάτων συνδέσεων, μας υποχρεώνει να βρούμε νέες λύσεις και καινοτόμα σχέδια για να διαχειριστούμε την τεράστια κυκλοφορία δεδομένων. Στην παρούσα εργασία, γίνεται λόγος για τα ετερογενή δίκτυα (**HetNets**) που προσφέρουν μία αποτελεσματική λύση στο πρόβλημα της χωρητικότητας. Τα ετερογενή δίκτυα παρέχουν επαρκή αύξηση της χωρητικότητας καθώς χρησιμοποιούν πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική αποτελούμενη από κυψέλες (**cells**), όπως **macro cell**, **small cell**, αναμετάδοση από **συσκευή σε συσκευή (device to device)**. Ωστόσο, αυτή η αύξηση της χωρητικότητας δημιουργεί ορισμένες προκλήσεις στα HetNets οι οποίες περιγράφονται παρακάτω. Θεωρώντας το συντονισμό των παρεμβολών μεταξύ κυψελών (**ICIC**) ως τη μεγαλύτερη πρόκληση στα **HetNets**, γίνεται μελέτη της ανάπτυξης υπερσύγχρονων HetNets εστιάζοντας στο **ICIC**. Αποτελεσματικές τεχνικές **ICIC** επιτρέπουν επιπρόσθετη ουσιαστική αύξηση στη χωρητικότητα. Σχεδιάζεται υπερσύγχρονο **ICIC** πάνω από διεπαφή αέρος και στρατηγικές για αποτελεσματικά **HetNets**. Επιπλέον, υπάρχει η άποψη ότι τα HetNets κατέχουν την πρωτιά προς την πραγματοποίηση φιλόδοξων στόχων, από άποψη χωρητικότητας, της 5G τεχνολογίας.

Οι αναλυτές προβλέπουν εκρηκτική αύξηση στη ζήτηση μετάδοσης δεδομένων στα συστήματα ευρυζωνικής κινητής τηλεφωνίας τα επόμενα έτη καθώς υπηρεσίες ζωντανής μετάδοσης, παιχνίδια και κοινωνικά δίκτυα γίνονται ολοένα και περισσότερο δημοφιλή. Καθώς οι 4G τεχνολογίες καταβάλουν σημαντική προσπάθεια να ικανοποιήσουν τη ζήτηση, η προσδοκία είναι ότι ανάπτυξη κυψελών θα αποτύχει να καλύψει τη ζήτηση αν δεν υπάρξει δραματική αλλαγή σε μικρότερες κυψέλες. Το πρώτο κύμα συστημάτων 4ης Γενιάς αναπτύσσεται στην Ευρώπη, παρέχοντας μία παγκόσμια πλατφόρμα για ευρυζωνικές υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας σε οποιονδήποτε χρόνο και χώρο. Παρόλα αυτά, η κυκλοφορία δεδομένων κινητής τηλεφωνίας συνεχίζει να αυξάνεται και η ανάγκη για πιο πολύπλοκες ευρυζωνικές υπηρεσίες θα πιέσει τα όρια των τωρινών προτύπων ώστε να παρέχουν έναν πιο ολοκληρωμένο συνδυασμό μεταξύ ασυρμάτων τεχνολογιών και υψηλότερων ταχυτήτων, απαιτώντας μία νέα γενιά κινητής επικοινωνίας: το περίφημο 5G. Πώς θα μοιάζει ένα δίκτυο 5G (αναμένεται να τυποποιηθεί περίπου το 2020); Είναι πολύ νωρίς να το ορίσουμε με βεβαιότητα. Ωστόσο, είναι ευρέως αποδεκτό ότι σε αντίθεση με τα 4G δίκτυα, ένα 5G δίκτυο θα πρέπει να πετυχαίνει 1000 φορές μεγαλύτερη χωρητικότητα, 10 φορές μεγαλύτερη απόδοση φάσματος, μεγαλύτερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων (10 Gb/s για (**UEs**) στο κέντρο της κυψέλης και 5 Gb/s για (**UEs**) στο όριο της κυψέλης), 25 φορές μεγαλύτερη μέση διακίνηση κυψέλης,

5 φορές μείωση της καθυστέρησης από άκρο σε άκρο (**E2E**) και να υποστηρίζει 100 φορές περισσότερες συνδεδεμένες συσκευές με 10 φορές μεγαλύτερη διάρκεια ζωής μπαταρίας για συσκευές χαμηλής ισχύος. Σύγχρονες έρευνες στο 5G έχουν δείξει ότι η συσσωμάτωση των ακολούθων τεχνολογιών ενδεχομένως να μπορεί να επιτύχει αυτούς τους φιλόδοξους στόχους.

- Μη ορθογώνια πολλαπλή πρόσβαση (**NOMA**). Είναι καθοριστικό να θεωρήσουμε προηγμένες τεχνικές κωδικοποίησης και διαμόρφωσης για το 5G, μη ορθογώνια μορφή κύματος.
- Χωρική διαμόρφωση (**SM**). Είναι μία νέα τεχνική πολλαπλής εισόδου - πολλαπλής εξόδου (**MIMO**) η οποία μπορεί να μετριάσει τρία μείζονα προβλήματα στα συμβατικά συστήματα MIMO: διακαναλική παρεμβολή (**ICI**), συγχρονισμός μεταξύ κεραιών και πολλαπλές αλυσίδες ραδιοσυχνοτήτων (**RF**). Ένα σχέδιο που συνδυάζει MIMO Tx και MIMO Rx επεξεργασία, κατάλληλος έλεγχος και σήματα αναφοράς είναι επίσης καθοριστικά ώστε να επιτραπούν προηγμένες τεχνικές απόρριψης παρεμβολών (π.χ. ευθυγράμμιση παρεμβολών).
- Κύματα χιλιοστών (mmWave). Έχουν ήδη τυποποιηθεί για υπηρεσίες μικρής εμβέλειας και αναπτύχθηκαν για εφαρμογές όπως **small cell**. Επομένως το αποτέλεσμα θα μπορούσε να είναι ασύγκριτοι ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων και μία εντελώς διαφορετική εμπειρία για το χρήστη, αν αναπτυχθεί σε ευρυζωνικές εφαρμογές.
- Επικοινωνία ορατού φωτός (**VLC**). Λόγω της ανάπτυξης της τεχνολογίας διόδου εκπομπής ορατού φωτός (**LED**), η τεχνική αυτή είναι ελπιδοφόρα ώστε να συμπεριληφθεί στο 5G.
- MIMO υψηλής τάξης. Η υιοθέτησή τους στο 5G θα μπορούσε να αποτελέσει ένα σημαντικό άλμα με σεβασμό πάντοτε στα σημερινά τεχνολογικά επιτεύγματα.
- Γνωστικά ραδιοδίκτυα (**CRN**). Η τεχνική αυτή υπόσχεται να βελτιώσει τη χρησιμοποίηση του συνωστισμένου φάσματος ραδιοσυχνοτήτων.
- Ενσωμάτωση WiFi και 5G σε ένα βασικό δίκτυο.
- Το 5G τοπικής αποθήκευσης θα πρέπει να αποθηκεύει τις πληροφορίες τόσο στο small cell όσο και στην κινητή συσκευή για να μειωθεί η καθυστέρηση E2E.
- Η νέα ετερογενής αρχιτεκτονική 5G θα διαχωρίσει τις εσωτερικές από τις εξωτερικές τεχνολογίες. Για παράδειγμα, εσωτερικά θα χρησιμοποιούνται mmWave, VLC κ.α. ενώ εξωτερικά τα MIMO υψηλής τάξης.
- Οι φιλικές προς το περιβάλλον τεχνολογίες θα παίξουν σημαντικό ρόλο στο μονοπάτι εξέλιξης του 5G, με τους κατόχους σημαντικών θέσεων στον τομέα των επικοινωνιών να στρέφονται στην προοπτική μίας «πράσινης» κοινωνίας με αποδοτικές προσεγγίσεις ως προς το σχεδιασμό.

Οι παραπάνω τεχνολογίες προσδίδουν οφέλη τα οποία μεταφράζονται σε στόχους για το 5G. Βέβαια, το μεγαλύτερο όφελος μπορεί να επιτευχθεί μόνο αν μειωθεί η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη. Αυτό μπορεί να αποδειχθεί από τη δήλωση του Martin Cooper «Η ασύρματη χωρητικότητα διπλασιαζόταν κάθε 30 μήνες τα τελευταία 104 χρόνια». Αυτό μεταφράζεται σε αύξηση κατά ένα εκατομμύριο φορές από το 1957. Αναλύοντας αυτά τα οφέλη προκύπτει: βελτίωση κατά 25 φορές από τη διεύρυνση του φάσματος, βελτίωση κατά 5 φορές από τη διαίρεση του φάσματος σε μικρότερα κομμάτια, βελτίωση κατά 5 φορές λόγω καλύτερου σχεδιασμού στη διαμόρφωση (modulation schemes) και εντυπωσιακή βελτίωση κατά 1600 φορές μέσω της μείωσης του μεγέθους των κυψελών και της απόστασης εκπομπής. Το τεράστιο όφελος που προέκυψε από τη μείωση του μεγέθους των κυψελών προέρχεται από την αποδοτική χωρική επαναχρησιμοποίηση του φάσματος, ή εναλλακτικά, από την υψηλότερη απόδοση φάσματος. Παρέχοντας ένα βήμα προς το μελλοντικό ασύρματο κόσμο, τα **small cells** θεωρούνται το όχημα για πανταχού παρούσες υπηρεσίες οι οποίες προσφέρουν αποδοτικές και υψηλής ταχύτητας επικοινωνίες. Αν και υπάρχει στη βιβλιογραφία ολοκληρωμένη αντιμετώπιση των τεχνικών θεμάτων στα συμβατικά δίκτυα κυψέλης και στα HetNets, πολύ λίγες εργασίες αναφέρονται στο συντονισμό παρεμβολών σε 5G HetNets. Σύμφωνα με την παραπάνω παρατήρηση, όσο μικρότερη είναι η απόσταση, τόσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων, τόσο μικρότερη είναι η καθυστέρηση και τόσο καλύτερη η ανακτώμενη ενεργειακή απόδοση. Επομένως, στη συνέχεια του άρθρου θα εξηγήσουμε τις αρχιτεκτονικές και τεχνικές προκλήσεις στα HetNets, που αποτελούν ένα κομμάτι του παζλ για το 5G. Η τυποποίηση των HetNets σε 3GPP συμβατικά συστήματα κυψέλης (π.χ. **GSM, CDMA, HSPA κλπ.**) έχει ομογενή ανάπτυξη με σωστά σχεδιασμένους σταθμούς βάσης (**macro BSes**). Όλοι οι σταθμοί βάσης μοιράζονται κοινές παραμέτρους όπως ισχύς εκπομπής, θόρυβος, πρότυπο ακτινοβολίας κεραίας, αριθμός UEs που μπορούν να εξυπηρετηθούν και εγγυήσεις ποιότητας υπηρεσίας (**QoS**). Για να ικανοποιηθεί η αυξανόμενη ζήτηση κυκλοφορίας δεδομένων, η αύξηση των κυψελών ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο θεωρείται παράγοντας υψίστης σημασίας μαζί με τη διεύρυνση του φάσματος, τις MIMO τεχνικές κεραίας και την προηγμένη διαμόρφωση και κωδικοποίηση. Ωστόσο, τα ομογενή συστήματα κυψέλης αντιμετωπίζουν περιορισμούς στην αύξηση των κυψελών, όπως το αυξημένο κόστος των **BSes** και θέματα απόκτησης οικοπέδων σε αστικές περιοχές. Τα HetNets θεωρούνται πιο ευέλικτη και αποδοτική ως προς το κόστος λύση σε αυτούς τους περιορισμούς. Τα HetNets αποτελούνται από **macro BSes** με υψηλή ισχύ εκπομπής, έχοντας ως κύριο σκοπό την πανταχού κάλυψη πάνω από μεγάλες περιοχές, και από μικρές κυψέλες με χαμηλή ισχύ εκπομπής ως επικάλυψη πάνω από macro κυψέλες ώστε να αποφευχθούν κενά κάλυψης και να ικανοποιηθεί η ζήτηση σε υψηλή χωρητικότητα. Συμβατικά,

οι μικρές κυψέλες προστίθενται για την ενίσχυση της χωρητικότητας ή της κάλυψης. Για την ενίσχυση της χωρητικότητας των macro κυψελών, μικρές κυψέλες αναπτύχθηκαν εντός της macro περιοχής κάλυψης, και για την επέκταση της κάλυψης, μικρές κυψέλες αναπτύχθηκαν εκτός της κάλυψης της υποκείμενης macro κυψέλης. Με τη συμπύκνωση δικτύου, τα **SINR (signal to interference ratio)** και **BER (bit error rate)** δεν αποτελούν πλέον κύριους δείκτες επίδοσης των HetNets, τώρα οι μικρές κυψέλες προστίθενται για να ικανοποιήσουν την κατανομή του ρυθμού μεταφοράς δεδομένων που αντιλαμβάνεται ο χρήστης και στη φασματική απόδοση περιοχής. Αυτοί είναι δείκτες-κλειδιά που αξιολογούν την επίδοση (**KPIs**) των HetNets. Η macro κυψέλη έχει υψηλή ισχύ εκπομπής (5-40W), αναπτύσσει **node B (eNB)** και είναι συνδεδεμένη στο βασικό δίκτυο μέσω οπτικών ινών σε ιδανική περίπτωση ή μη ιδανικά μέσω μικροκυμάτων. Τα **macro eNBs** είναι επίσης συνδεδεμένα σε μικρές κυψέλες μέσω **X2** διεπαφής για συντονισμό παρεμβολών. Οι μικρές κυψέλες [όπως **pico, femto, wifi access point (AP) και relay node**] έχουν χαμηλή ισχύ (250 mW - 2 W) και είναι συνδεδεμένες στο βασικό δίκτυο με διαφορετικά μέσα τα οποία εξαρτώνται από τη φύση της μικρής κυψέλης. Για παράδειγμα οπτικές ίνες ή μικροκύματα χρησιμοποιούνται για pico κυψέλη και **DSL** ή ενσύρματο modem για femto κυψέλη. Οι μικρές κυψέλες μπορούν να αναπτυχθούν εσωτερικά ή εξωτερικά, βέβαια σε κάθε περίπτωση μπορούν να εξυπηρετήσουν εσωτερικούς και εξωτερικούς UEs. Επιπροσθέτως, μπορούν να αναπτυχθούν αραιά ή πυκνά. Για παράδειγμα αν λίγα hotspots πρέπει να καλυφθούν τότε λίγες μικρές κυψέλες αναπτύσσονται αραιά. Αντίθετα, πολλές μικρές κυψέλες μπορεί να αναπτυχθούν σε πυκνοκατοικημένες περιοχές για την ικανοποίηση της ζήτησης σε υψηλή κυκλοφορία δεδομένων. Οι μικρές κυψέλες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν όπως παρακάτω:

- Femto κυψέλες: Είναι BSes με κεραίες που εκπέμπουν και λαμβάνουν σε κάθε κατεύθυνση με περιορισμένη ισχύ που η μικρότερη τιμή της είναι στα 100 mW. Η σύνδεσή τους με το βασικό δίκτυο γίνεται μέσω προϋπάρχουσας DSL ή ενσύρματου modem πάνω από το IP δίκτυο. Οι εν λόγω κυψέλες δεν έχουν X2 διεπαφή έτσι το ICIC είναι ανέφικτο. Ωστόσο, τεχνικές ελέγχου ισχύος μπορούν να αναπτυχθούν ώστε να μειώσουν την παρεμβολή που προκαλείται από τις femto κυψέλες στις macro κυψέλες.
- Pico κυψέλες: Ο κύριος σκοπός των pico κυψελών είναι να υποδεικνύουν θέματα κάλυψης και χωρητικότητας σε hot-spots. Έχουν κεραίες που εκπέμπουν και λαμβάνουν σε κάθε κατεύθυνση με περιορισμένη ισχύ που κυμαίνεται μεταξύ 250 mW και 2W. Η X2 διεπαφή υπάρχει στις pico κυψέλες και για το λόγο αυτό το ICIC είναι εφικτό. Η σύνδεσή τους στο βασικό δίκτυο γίνεται μέσω οπτικών ινών ή μικροκυμάτων.

2.1 Ορισμός προβλήματος

Ο αποτελεσματικός προγραμματισμός του ετερογενούς δικτύου είναι ουσιαστικός για την αντιμετώπιση του αυξανόμενου αριθμού συνδρομητών κινητής ευρυζωνικής πρόσβασης και υπηρεσιών καθώς ανταγωνίζονται για περιορισμένους ραδιοφωνικούς πόρους. Οι πάροχοι κινητών επικοινωνιών στοχεύουν να αντιμετωπίσουν αυτήν την πρόκληση αυξάνοντας την παραγωγική τους ικανότητα με νέο ραδιοφάσμα, προσθέτοντας τεχνικές πολλαπλών κεραιών (MIMO) και εφαρμόζοντας αποτελεσματικότερα συστήματα διαμόρφωσης και κωδικοποίησης.

Ωστόσο, αυτά τα μέτρα από μόνα τους είναι ανεπαρκή στα πιο πολυσύχναστα περιβάλλοντα και ακόμα χειρότερα στα όρια των κυψελών, όπου η απόδοση μπορεί να υποβαθμιστεί σημαντικά. Τα ετερογενή δίκτυα μέσω της εγκατάστασης smallcells θα αυξήσουν την χωρητικότητα του δικτύου αλλά αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση κατανάλωσης καθώς το δίκτυο θα γίνεται ολοένα και πυκνό. Η ενεργειακή απόδοση του συστήματος θα μπορούσε να βελτιωθεί κάνοντας αποδοτικότερη χρήση του φάσματος μέσω ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης smallcells αλλά ταυτόχρονα θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψη η βέλτιστη επίδοση των εφαρμογών. Η διαρκής λειτουργία των smallcells μπορεί να αυξήσει σημαντικά την κατανάλωση ενέργειας έχοντας σοβαρές οικονομικές και οικολογικές επιπτώσεις. Μια εμφανής λύση στο πρόβλημα είναι να διατηρούνται τα smallcells σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας όταν το επιτρέπουν οι συνθήκες. Η παρακολούθηση της κινητικότητας και του πλήθους των χρηστών σε ένα ετερογενές δίκτυο θα μπορούσε να δώσει την πληροφορία που χρειάζεται για να μπουν τα smallcells σε κατάσταση χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας. Σε ένα αστικό περιβάλλον υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις μεταξύ διαφόρων χρονικών στιγμών εντός της ημέρας ή εντός διαφορετικών ημερών ανάλογα αν είναι εργάσιμες ή όχι. Πληροφορίες από την ροή οχημάτων σε κεντρικούς δρόμους θα μπορούσαν να αποτελέσουν σημαντική πηγή πληροφορίας για την ρύθμιση του ετερογενούς δικτύου ανάλογα με την ώρα της ημέρας και το πλήθος των συνδρομητών που βρίσκονται εντός εμβέλειας.

2.2 MEC

Το Mobile edge cloud αναδύεται ως μια πολλά υποσχόμενη τεχνολογία στο Διαδίκτυο πραγμάτων και εφαρμογών, όπως έξυπνο σπίτι και έξυπνη παρακολούθηση βίντεο. Στο έξυπνο σπίτι, διατίθενται διάφοροι αισθητήρες για την παρακολούθηση του οικιακού περιβάλλοντος και της φυσιολογικής υγείας των ατόμων. Τα δεδομένα που συλλέγονται από αισθητήρες αποστέλλονται σε μια εφαρμογή,

όπου εφαρμόζονται πολυάριθμοι αλγόριθμοι για την ανίχνευση συναισθημάτων, την αναγνώριση δραστηριότητας και τη διαχείριση της κατάστασης για την παροχή υπηρεσιών που σχετίζονται με την υγειονομική περίθαλψη και την έκτακτη ανάγκη και για τη διαχείριση πόρων στο σπίτι. Οι εκτελέσεις αυτών των αλγορίθμων απαιτούν ένα τεράστιο ποσό πόρων υπολογιστών και αποθήκευσης. Για να αντιμετωπιστεί το ζήτημα, η συμβατική προσέγγιση είναι η αποστολή των συλλεγόμενων δεδομένων σε μια εφαρμογή σε ένα cloud στο Διαδίκτυο. Αυτή η προσέγγιση έχει πολλά προβλήματα όπως υψηλή καθυστέρηση επικοινωνίας, κατανάλωση ενέργειας επικοινωνίας και περιττή κυκλοφορία δεδομένων στο κεντρικό δίκτυο. Για να ξεπεραστούν τα μειονεκτήματα της συμβατικής προσέγγισης που βασίζεται σε σύννεφο, προτείνεται ένα νέο σύστημα που ονομάζεται mobile edge cloud. Στο cloud edge mobile, πολλές κινητές και σταθερές συσκευές που διασυνδέονται μέσω ασύρματων τοπικών δικτύων συνδυάζονται για να δημιουργήσουν μια μικρή υποδομή cloud σε μια τοπική φυσική περιοχή όπως το σπίτι. Σε σύγκριση με τα παραδοσιακά κινητά κατανεμημένα υπολογιστικά συστήματα, το mobile edge cloud παρουσιάζει πολλές πολύπλοκες προκλήσεις λόγω του ετερογενούς υπολογιστικού περιβάλλοντος, του ετερογενούς και δυναμικού περιβάλλοντος δικτύου, της κινητικότητας των κόμβων και της περιορισμένης ισχύος της μπαταρίας. Οι απαιτήσεις για εξαγωγή αποτελεσμάτων σε πραγματικό χρόνο που σχετίζονται με διαδικτυακά πράγματα (smart things) και εφαρμογές διαδικτυακού περιεχομένου καθιστούν το πρόβλημα ακόμη πιο δύσκολο. Σε αυτή την εργασία, προτείνουμε μια αρχιτεκτονική βασισμένη σε μια προσέγγιση σχεδιασμού πολλαπλών επιπέδων για αποτελεσματική λήψη αποφάσεων. Το cloud computing παρέχει παντού, βολική και κατά παραγγελία πρόσβαση στο δίκτυο σε κοινόχρηστο σύνολο διαμορφώσιμων υπολογιστικών πόρων. Τα συστήματα υπολογιστικού νέφους περιλαμβάνουν ισχυρούς υπολογιστικούς πόρους συνδεδεμένους μέσω υψηλής ταχύτητας δικτύου. Λόγω των τελευταίων εξελίξεων στις κινητές τεχνολογίες υπολογιστών και δικτύωσης έχει γίνει εφικτή και η ενσωμάτωση διαφόρων κινητών συσκευών, όπως ρομπότ, εναέρια οχήματα, αισθητήρες και έξυπνα τηλέφωνα με δυνατότητα σύνδεσης στο cloud. Οι προσεγγίσεις για την ενσωμάτωση των κινητών συσκευών με συστήματα υπολογιστικού νέφους χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: **mobile ad hoc cloud** και **mobile cloud** βασισμένο σε σταθερές υποδομές. Στο cloud ad hoc για κινητά, πολλές φορητές συσκευές διασυνδέονται μέσω ενός κινητού δικτύου ad hoc δημιουργώντας ένα εικονικό κόμβο υπερυπολογιστών. Ενώ στο cloud που βασίζεται σε υποδομές οι κινητές συσκευές είναι ενσωματωμένες με ένα σύστημα υπολογιστικού νέφους μέσω ενός δικτύου επικοινωνίας με σταθερή υποδομή, όπως το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας. Τα υπολογιστικά συστήματα επιτρέπουν στις φορητές συσκευές να έχουν τεράστια πρόσβαση Σε υπολογιστική ισχύ. Αυτό κάνει δυνατή την εκτέλεση εφαρμογών που απαιτεί υψηλό υπολογιστικό κόστος όπως επεξεργασία εικόνας και βίντεο σε κινητά συσκευές. Αποθήκευση δεδομένων και εκτέλεση τέτοιων εφαρμογών στο cloud βελτιώνει επίσης την

αξιοπιστία και επεκτείνει τη διάρκεια ζωής της μπαταρίας στις κινητές συσκευές. Για να ξεπεραστούν τα μειονεκτήματα του παραδοσιακού κινητού καταναμημένου υπολογιστικού συστήματος, ένα κινητό **mobile edge cloud** είναι αυτό που προτείνεται. Στο cloud edge mobile, πολλαπλά κινητά και σταθερές συσκευές που διασυνδέονται μέσω δικτύου του τηλεπικοινωνιακού παρόχου που βασίζονται σε σταθερές υποδομές συνδυάζονται για να δημιουργήσουν μια μικρή υποδομή cloud σε μια τοπική φυσική περιοχή όπως το σπίτι. Το σύστημα cloud edge Mobile στοχεύει να χρησιμεύσει ως καταναμημένη υποδομή υπολογιστών και δικτύων που απαιτούν τεράστιο αριθμό υπολογιστών και πόρους αποθήκευσης. Μια τέτοια εφαρμογή είναι και η δυναμική ανάθεση τηλεπικοινωνιακών πόρων σε δυναμικό ετερογενές δίκτυο 5G. Η εφαρμογή θα μπορούσε να εκμεταλλευτεί την cloud υποδομή για να ορίσει συνδέσεις μεταξύ διαφορετικών κόμβων αλλά και την απενεργοποίηση τμημάτων του δικτύου που δεν χρησιμοποιούνται τις ώρες αιχμής βελτιώνοντας την ενεργειακή επίδοση του συστήματος.

2.3 Προτεινόμενη λύση

Πολλά σχήματα έχουν προταθεί στη βιβλιογραφία για την δυναμική ανάθεση πόρων σε ετερογενή δίκτυα μέσω ευριστικών αλγορίθμων, τόσο για την αποδοτικότερη χρήση φάσματος με όρους (spectral efficiency) όσο και τη βελτιστοποίηση της κατανάλωσης ισχύος.

Στην παρούσα εργασία θα παρουσιαστεί ένα case study της δυναμικής διαχείρισης ενός ετερογενούς δικτύου που αποτελείται από macro cell και small cells έχοντας επικεντρωθεί σε μια πολυσύχναστη γεωγραφική περιοχή της Αθήνας. Πιο συγκεκριμένα η περιοχή μελέτης είναι στον οδικό άξονα της εθνικής οδού Αθηνών-Λαμίας κατά μήκος των κόμβων Λένορμαν - Ιερά Οδός. Στη συγκεκριμένη μελέτη γίνεται εφαρμογή αλγορίθμου για την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση small cells κατά μήκος των διασταυρώσεων. Στόχος είναι να εξαχθούν συμπεράσματα για την αποδοτικότητα του φάσματος συναρτήσει της ισχύος εκπομπής (bps/Watt) κατά τη διάρκεια μιας ημερολογιακής ημέρας. Πηγή δεδομένων για την εφαρμογή του αλγορίθμου ανάθεσης πόρων είναι τα APIs της NOKIA (Here Maps). Μέσω APIs μπορεί να εξαχθούν συμπεράσματα για την κατανομή οχημάτων σε συγκεκριμένη οδό μέσω της λαμβανόμενης ταχύτητας των οχημάτων.

Στην παρούσα εργασία για να γίνει μια προσέγγιση του πλήθους των οχημάτων και άρα εν δυνάμει των τηλεπικοινωνιακών χρηστών, αναπτύχθηκε λογισμικό επεξεργασίας δεδομένων των χαρτών Here Maps μέσω του traffic API:

https://developer.here.com/documentation/traffic/dev_guide/topics_v6.1/resource-parameters-flow.html

Τα δεδομένα ροής οχημάτων μετατρέπονται σε πλήθος χρηστών μέσω στατιστικών συγκοινωνιακών μοντέλων. Το API των χαρτών NOKIA παρέχει δεδομένα διέλευσης οχημάτων με όρους ταχύτητας, μέσω της εξίσωσης traffic/flow γίνεται εκτίμηση του πλήθους τους. Κάθε αίτημα προς το Rest API για την λήξη δεδομένων ακολουθεί το πρότυπο http GET. Σε κάθε αίτημα λαμβάνεται μία λίστα αντικειμένων που αναπαριστούν πληροφορίες για την μέση ταχύτητα των οχημάτων, πληροφορίες για την ταχύτητα οχημάτων σε συνθήκες περιορισμένης κίνησης καθώς και την μέση ταχύτητα της οδού ενδιαφέροντος. Τα δεδομένα δίνονται μέσω των παρακάτω αναγνωριστικών.

- dE: Ονομασία διασταύρωσης
- qD: Ρεύμα κυκλοφορίας που αφορά η πληροφορία (+) προς Λαμία (-) προς Πειραιά\
- sP: Ταχύτητα οχημάτων την συγκεκριμένη χρονική στιγμή
- fF: Μέση ταχύτητα υπό συνθήκες καθόλου συμφόρησης
- JF: ποιότητα μετακίνησης βαθμονομούμενη από 1-10
- cN: ποσοστό ακρίβειας δεδομένων

```
"rWS": [{
  "rW": [{
    "fIS": [{
      "fI": [{
        "tMC": {
          "pC": 2010,
          "dE": "Αιγάλεω",
          "qD": "-",
          "lE": 1.32928,
          "additionalProperties": {}
        },
        "sHP": [],
        "cF": [{
          "tV": "TR",
          "sP": 66.43,
          "sU": 66.43,
          "fF": 79.1,
          "jF": 2.37377,
          "cN": 0.99,
          "additionalProperties": {}
        }
      ]
    }, {
      "tMC": {
        "pC": 2012,
        "dE": "Λεωφόρος Αθηνών",
        "qD": "-",
        "lE": 0.94331,
        "additionalProperties": {}
      },
      "sHP": [],
      "cF": [{
        "tV": "TR",
        "sP": 80,
        "sU": 92.98,
        "fF": 79.6,
        "jF": 0,
        "cN": 0.98,
        "additionalProperties": {}
      }
    ]
  }
], {
```

Εικόνα 4 Μοντέλο Δεδομένων κυκλοφορίας

2.4 Συγκοινωνιακό Μοντέλο

Η βασική θεώρηση για το συγκοινωνιακό μοντέλο βασίζεται στην παραδοχή ότι όσο μειώνεται η ταχύτητα των οχημάτων τόσο αυξάνεται η κυκλοφοριακή συμφόρηση. Η ιδιότητα της σχέσης ταχύτητας/ροής θα μπορούσε να δώσει σε ένα ετερογενές δίκτυο 5G τις πληροφορίες για την κατανομή χρηστών σε μια γεωγραφική περιοχή. Το ετερογενές δίκτυο θα μπορούσε να προσαρμοστεί σε αυτή την πληροφορία ενεργοποιώντας microcells όπου είναι δυνατόν. Αυτό θα είχε σα συνέπεια την αύξηση της χωρητικότητας και κατά συνέπεια την ποιότητα εξυπηρέτησης. Κατ' αντιστοιχία απενεργοποίηση microcells όταν ο τηλεπικοινωνιακός φόρτος είναι μειωμένος θα έδινε ένα βελτιωμένο ενεργειακό αποτύπωμα στο σύστημα.

$$u = u_f \left(1 - \frac{k}{k_j} \right)$$

Εικόνα 5 Εξίσωση free flow για υπολογισμό πυκνότητας χρηστών

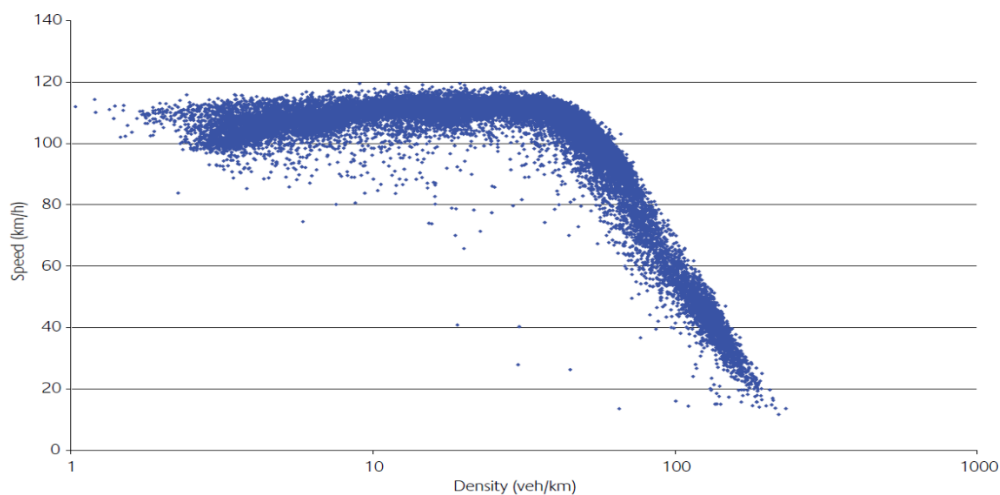
U_f : Ταχύτητα χωρίς συμφόρηση οχημάτων

U : Πραγματική Ταχύτητα

k_j : Μεγιστη συγκέντρωση οχημάτων υπό συνθήκες συμφόρησης

k : Πραγματική συγκέντρωση οχημάτων

Η παραπάνω σχέση συσχετίζει τη ροή οχημάτων με την ταχύτητα και την συγκέντρωση αυτών σε μια δεδομένη γεωγραφική περιοχή.



Εικόνα 6 Traffic/flow Equation results

Μέσω της εξίσωσης traffic flow γίνεται εκτίμηση της συγκέντρωσης οχημάτων στον Οδικό Άξονα Ιερά Οδός- Λένορμαν. Τα δεδομένα καταγράφονται σε σχεσιακές βάσεις δεδομένων και θα αποτελέσουν

βάση γνώσης για να εφαρμοστεί αλγόριθμος βέλτιστης ενεργοποίησης/απενεργοποίησης των ιδεατών small cells που βρίσκονται στους κόμβους (Ιερά Οδός, Λεωφ Αθηνών, Λένορμαν).



Εικόνα 7 Εικονικά σημεία small cells

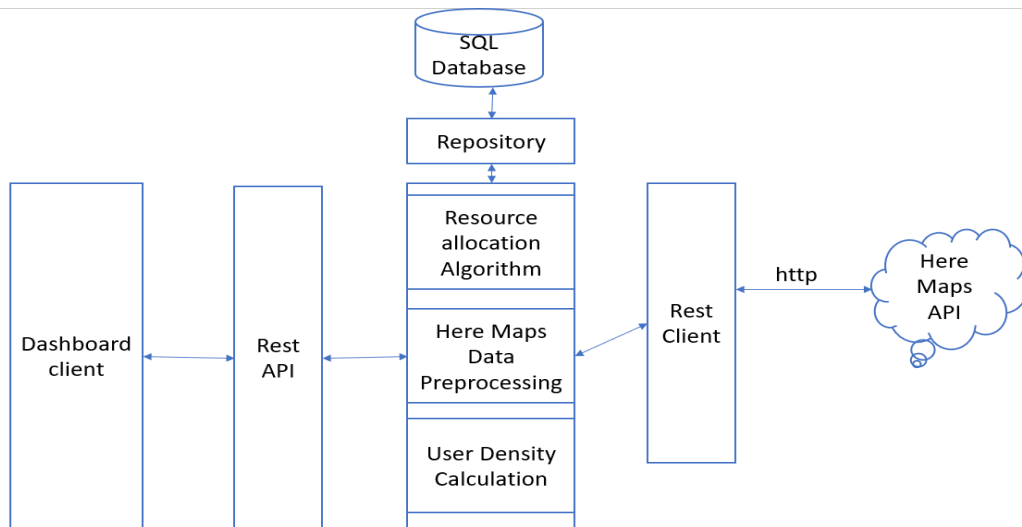
Παράμετρος	Τιμή
Bandwidth (Macro/3.5Ghz/6Ghz)	10Mhz,100Mhz,1,2Ghz
Average Modulation	64QAM
RBs Macro	50
RBs Micro	500
Macro Energy Consumption	800 W
Microcell Energy Consumption	40 W
Macro cell total rate	50Mbps (MIMO 2x2)

3.5 Ghz cell total rate	500Mbps (MIMO 2x2)
Number of 3.5 Ghz cells	3
Number of Macro cells	1
Number of 6Ghz cells	9

Εικόνα 8 Παράμετροι προσομοίωσης macro/small cells

Για την μελέτη του εικονικού δικτύου θεωρούμε την εικονική τοποθέτηση (3.5 GHZ) Small cells εντός κάθε κόμβου αναφοράς. Στην περιοχή εμβέλειας κάθε 3.5 GHZ small cell κατανέμονται 3 pico-cells στην φασματική ζώνη των 6 GHZ. Όλα τα small cells θα ενεργοποιούνται ή θα απενεργοποιούνται ανάλογα με την κυκλοφοριακή κίνηση ανά δεδομένη χρονική στιγμή με βάση τα αποτελέσματα του μοντέλου Traffic-flow. Στον οδικό άξονα υπό μελέτη οι χρήστες βρίσκονται υπό την κάλυψη ενός παραδοσιακού macro cell αλλά και πιο μικρών κυψελών micro-cells που εκπέμπουν σε αδειοδοτημένο φάσμα της τάξης των GHz. Η εμβέλεια τους κυμαίνεται από μερικές εκατοντάδες μέτρα έως και λιγότερο από 2 χιλιόμετρα. Η χρήση τους θα δώσει στο ετερογενές δίκτυο την απαιτούμενη χωρητικότητα για να εξυπηρετήσει την αυξανόμενη τηλεπικοινωνιακή ζήτηση σε ώρες αιχμής αλλά και να δώσει στα δίκτυα οχημάτων την δυνατότητα μετάδοσης πληροφορίας με την ελάχιστη καθυστέρηση. Σε περίπτωση που η τηλεπικοινωνιακή ζήτηση δεν μπορεί να καλυφθεί τηρώντας τα SLA, τότε θα μπορούν να ενεργοποιηθούν και πιο μικρές κυψέλες εντός της εμβέλειας ενός microcell. Η χρήση τους γίνεται σε περιπτώσεις υψηλής συγκέντρωσης πλήθους και οχημάτων σε συγκεκριμένη γεωγραφική περιοχή.

3.1 Αρχιτεκτονική Συστήματος



Εικόνα 9 Αρχιτεκτονική Συστήματος

Το σύστημα για την επίλυση του προβλήματος ανάθεσης πόρων στο εικονικό ετερογενές δίκτυο έχει cloud based αρχιτεκτονική. Πιο συγκεκριμένα τα τμήματα της εφαρμογής είναι χωρισμένα με τρόπο ώστε να είναι εύκολα προσβάσιμα πάνω από το Internet.

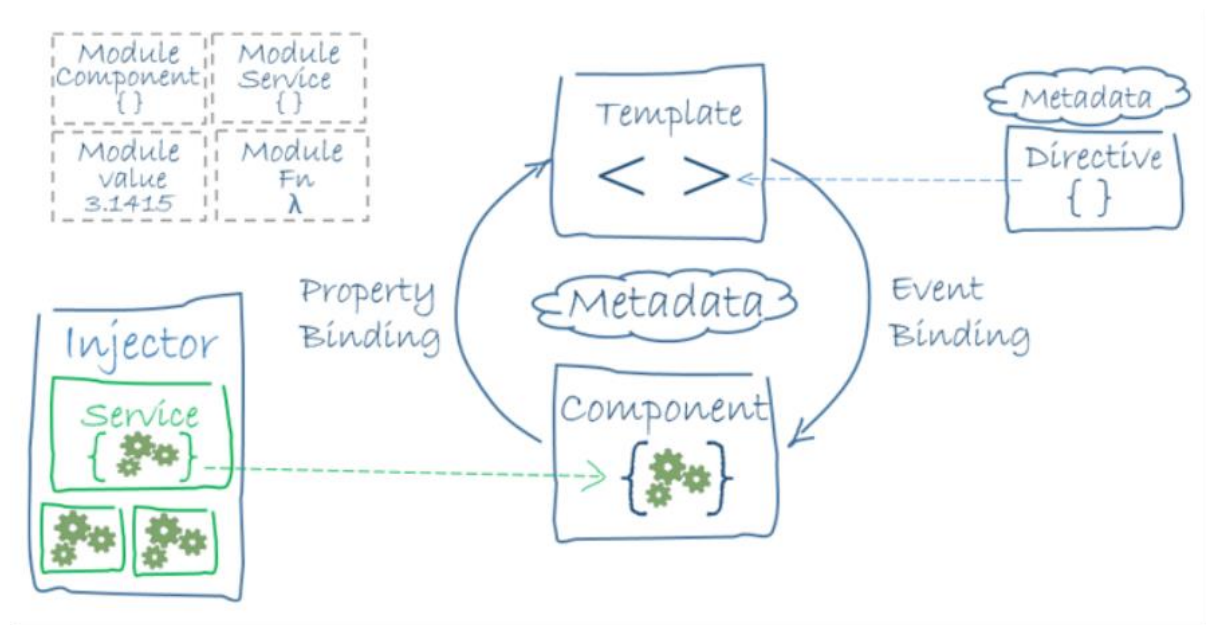
3.2 Λειτουργία συστήματος και ροή πληροφορίας

Οι πληροφορίες ροής οχημάτων επί της οδού ενδιαφέροντος μετατρέπονται σε πληροφορίες που αναπαριστούν τον αριθμό χρηστών σε μια δεδομένη χρονική στιγμή και αποθηκεύονται σε βάση δεδομένων. Μέσω μιας web based εφαρμογής ο χρήστης μπορεί να έχει πρόσβαση στις πληροφορίες ροής οχημάτων αλλά και δει ποια θα ήταν η βέλτιστη ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση small cells στον συγκεκριμένο οδικό άξονα.

3.3 Dashboard

Η πρόσβαση στην πληροφορία της ροής οχημάτων αλλά και στις ρυθμίσεις του ετερογενούς δικτύου μια δεδομένη χρονική στιγμή γίνεται μέσω web based εφαρμογής που πληροί τα χαρακτηριστικά της

“μονής σελίδας” (single page application). Η διαφορά από της παραδοσιακές εφαρμογές διαδικτύου εγγυάται στο ότι όλη η σελίδα χτίζεται στο λογισμικό browser του τελικού χρήστη και όχι στον εξυπηρετητή (server). Η τεχνολογία single page που επιλέχθηκε είναι η Angular v8.



Εικόνα 10 Αρχιτεκτονική Single Page App

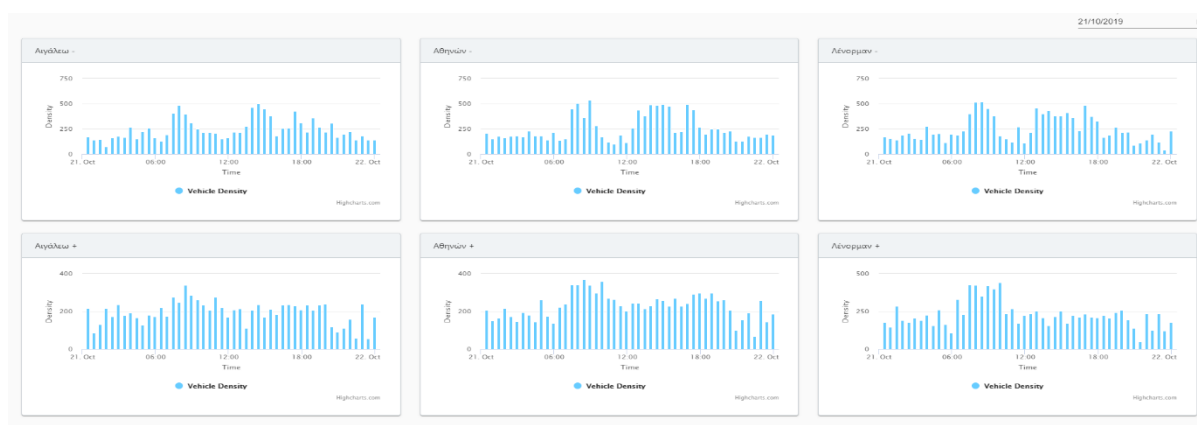
Τα κύρια δομικά στοιχεία μια Angular εφαρμογής

- Modules
- Components
- Services
- Directives

Κάθε σελίδα που υλοποιείται μέσω του παραπάνω μηχανισμού υλοποιεί μια διεπαφή χρήστη που μπορεί να απαρτίζεται από διαφορετικά δομικά στοιχεία. Κάθε δομικό στοιχείο αποτελεί ένα component. Κάθε component είναι υλοποιεί ένα συγκεκριμένο κομμάτι από τη λογική της εφαρμογής και οπτικοποιεί πληροφορίες στον τελικό χρήστη μέσω των Directives τα οποία δομούν μια HTML ιστοσελίδα εισάγοντας δυναμικό περιεχόμενο. Δυναμικό περιεχόμενο αποτελεί οποιαδήποτε πληροφορία έρχεται κάνοντας χρήση Rest API μέσω πρωτοκόλλου εφαρμογής HTTP. Το δυναμικό περιεχόμενο είναι διαθέσιμο σε κάθε component μέσω ενδιάμεσου λογισμικού το οποίο μπορεί να είναι κοινό. Το ενδιάμεσο λογισμικό αποτελεί το επίπεδο services της single page εφαρμογής.

Πολλά components και services μπορεί να αποτελέσουν κομμάτια κώδικα με δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης όπου είναι δυνατόν και συνθέτουν το επίπεδο των Modules.

Στην εικόνα φαίνεται ένα παράδειγμα ενός Angular Module που απεικονίζει έξι γραφικές παραστάσεις. Κάθε γραφική παράσταση αποτελεί ένα angular component που κάνει χρήση των directives για γραφική αναπαράσταση δεδομένων. Τα δεδομένα δίνονται σαν είσοδος σε κάθε component ξεχωριστά μέσω του επιπέδου service το οποίο είναι υπεύθυνο να λάβει δεδομένα μέσω του HTTP επιπέδου εφαρμογής. Η τεχνολογία της Angular δίνει επιπρόσθετα τη δυνατότητα για δυναμικό δέσιμο των δεδομένων (data Binding) με τα στοιχεία οπτικοποίησης. Στη συγκεκριμένη περίπτωση κάθε αλλαγή στη ροή των δεδομένων από το επίπεδο services επιφέρει αυτόματη ανανέωση των γραφικών παραστάσεων.



Εικόνα 11 Στιγμιότυπο Διεπαφής χρήστη

3.4 Rest API

Το REST (Representational State Transfer) αποτελεί ένα σύνολο από αρχές σχεδίασης μιας δικτυακής υπηρεσίας που επικεντρώνει στους πόρους (π.χ δεδομένα) ενός συστήματος. Η μεταβολή της κατάστασης (ενέργεια επί) των πόρων του συστήματος περιγράφεται και μεταφέρεται στο σύστημα μέσω του πρωτοκόλλου HTTP από διάφορους clients ανεξαρτήτως της γλώσσας στην οποία έχουν υλοποιηθεί. Οι υπηρεσίες REST Web επιτρέπουν στα αιτούμενα συστήματα να έχουν πρόσβαση και να χειρίζονται αναπαραστάσεις μέσω κειμένου των πόρων του Διαδικτύου χρησιμοποιώντας ένα ομοίμορφο και προκαθορισμένο σύνολο λειτουργιών. Το REST πρωτοεμφανίστηκε το 2000 από τον Roy Fielding στην ακαδημαϊκή του διατριβή με τίτλο «Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures». Κάθε REST υπηρεσία αποτελεί ένα client/server αμφίδρομο μοντέλο επικοινωνίας. Η ανταλλαγή δεδομένων γίνεται μέσω κατάλληλα δομημένων εντολών από την

εφαρμογή client προς την εφαρμογή του server, Οι εντολές REST περιβάλλον πραγματοποιούνται μέσω των ακόλουθων μεθόδων

- **HTTP GET**

Υλοποιεί διαδικασία μετάδοσης πληροφορίας από το server προς τον client. Η μέθοδος παρέχει ασφάλεια καθώς δεν αλλάζει την κατάσταση των δεδομένων και δεν πραγματοποιεί αλλαγές στο περιβάλλον της εφαρμογής.

- **HTTP POST**

Υλοποιεί διαδικασία μετάδοσης πληροφορίας από το client προς τον server. Τα δεδομένα που μεταφέρονται αποτελούν πληροφορίες προς αποθήκευση εμπλουτίζοντας τη βάση γνώσης της εφαρμογής.

- **HTTP PUT**

Υλοποιεί διαδικασία μετάδοσης πληροφορίας από το client προς τον server. Τα δεδομένα που μεταφέρονται αποτελούν πληροφορίες προς αποθήκευση ανανεώνοντας υπάρχοντα δεδομένα στην βάση γνώσης.

- **HTTP DELETE**

Υλοποιεί διαδικασία μετάδοσης πληροφορίας από το client προς τον server και θέτει τα δεδομένα προς διαγραφή από τη βάση γνώσης.

Τα δεδομένα που ανταλλάσσονται δομούν ένα κοινά αποδεκτό πρότυπο. Το μοντέλο δόμησης δεδομένων JSON έχει επιλεγεί για την μετάδοση δεδομένων προς όλα τα επίπεδα του λογισμικού για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας.

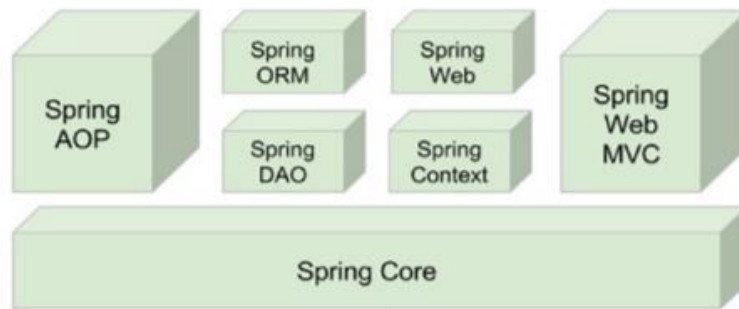
Οι πληροφορίες για τις ταχύτητες διέλευσης των οχημάτων λαμβάνονται μέσω web-based υπηρεσιών που υλοποιούν την αρχιτεκτονική **Rest**. Το πρωτόκολλο μετάδοσης είναι το Http. Οι Web υπηρεσίες που επιτρέπουν ανταλλαγή πληροφοριών με την παραπάνω μέθοδο μας δίνουν το πλεονέκτημα να χρησιμοποιήσουμε σαν τεχνολογία του λογισμικού οποιαδήποτε γλώσσα προγραμματισμού ή κάποιο σύνολο βοηθητικών εργαλείων (framework). Στην παρούσα εργασία η τεχνολογία για την αποθήκευση των κυκλοφοριακών δεδομένων και η εξαγωγή συμπερασμάτων βασίζεται σε ένα σύνολο εργαλείων που μας δίνει πρόσβαση η γλώσσα προγραμματισμού **java** μέσω του spring framework. Για την αποθήκευση των δεδομένων έγινε χρήση σχεσιακών βάσεων δεδομένων (MySQL). Η πρόσβαση στους πίνακες γίνεται με χρήση μετα-εργαλείων που ορίζονται από το java Persistence API . Με την παραπάνω τεχνική (Repository pattern) ο προγραμματιστής έχει μια σφαιρική αντίληψη όλων των οντοτήτων της εφαρμογής οι οποίες αναπαρίστανται μόνο ως αντικείμενα (objects). Η αποθήκευση των αντικειμένων στη σχεσιακή βάση δεδομένων θα γίνει μέσω

του Persistence API. Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ο τελικός κώδικας να είναι πιο ευανάγνωστος, μικρότερος σε έκταση και πιο αξιόπιστος καθώς μεγάλα κομμάτια κώδικα που σε άλλες περιπτώσεις θα αναλάμβαναν την αλληλεπίδραση με τη βάση δεδομένων πλέον αντικαθίστανται από μεθόδους που παρέχονται από το persistence API. Η χρήση του persistence API ενθαρρύνει την χαλαρή σύζευξη μεταξύ των τμημάτων της εφαρμογής. Για παράδειγμα μια μεταφορά της βάσης δεδομένων μεταξύ διαφορετικών τεχνολογιών και παρόχων δεν θα χρειαζόταν να επιφέρει αλλαγές στα τμήματα του λογισμικού που είναι υπεύθυνα για τον χειρισμό την αποθήκευσης και ανάκτησης πληροφορίας από την βάση δεδομένων.

Οι εφαρμογές τύπου client μπορούν να ανταλλάξουν μηνύματα μέσω πρωτοκόλλου REST χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο εφαρμογής http.

3.5 Back-end

Η γλώσσα και η πλατφόρμα Java παρέχει πληθώρα λειτουργιών για την αρχιτεκτονική και την κατασκευή εφαρμογών, που κυμαίνονται από πολύ βασικά δομικά στοιχεία τύπων δεδομένων και κλάσεων , έως λειτουργίες για την ανάπτυξη εφαρμογών σε περιβάλλον λειτουργίας web. Το Spring Boot Framework είναι ένα σύνολο λειτουργιών και προγραμματιστικών εργαλείων που δίνουν πρόσβαση σε βιβλιοθήκες για χειρισμό ροής δεδομένων μέσω REST API καθώς και ιεράρχηση λειτουργιών θέτοντας ξεχωριστά επίπεδα λογισμικού τόσο για την επεξεργασία των δεδομένων όσο και την αποθήκευση τους μετατρέποντας τις κλάσεις αντικειμένων σε κατάλληλα αντικείμενα προς αποθήκευση στη βάση δεδομένων. Δίνεται επίσης η δυνατότητα για αυτόματη μετατροπή αντικειμένων σε μορφή JSON και το αντίστροφο.

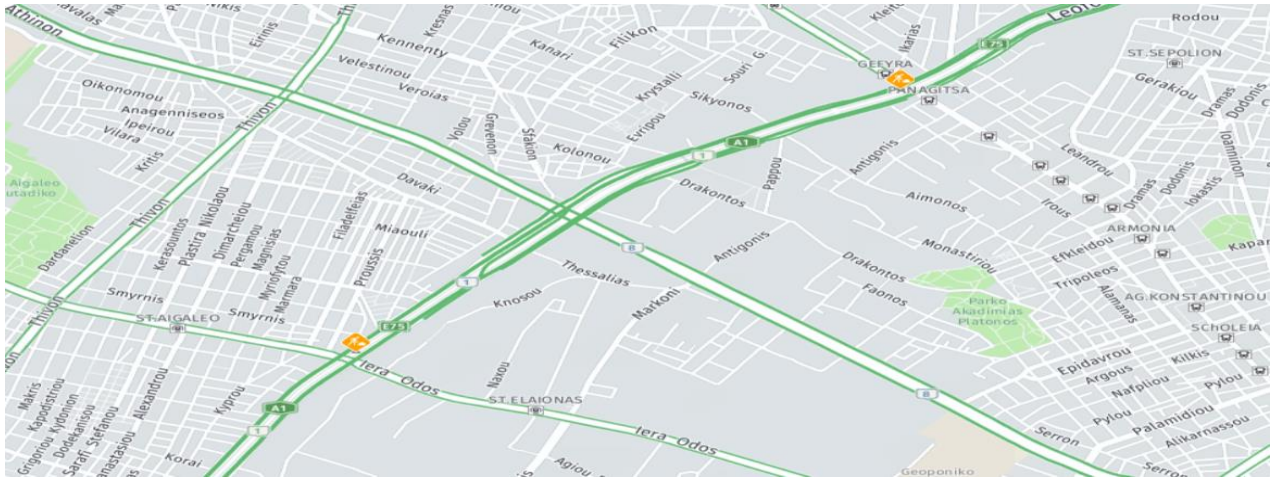


- *Spring Core*: Bean container and supporting utilities
- *Spring Context*: ApplicationContext, UI, validation, JNDI, Enterprise JavaBeans (EJB), remoting, and mail support
- *Spring DAO*: Transaction infrastructure, Java Database Connectivity (JDBC), and data access object (DAO) support
- *Spring ORM*: Hibernate, iBATIS, and Java Data Objects (JDO) support
- *Spring AOP*: An AOP Alliance-compliant aspect-oriented programming (AOP) implementation
- *Spring Web*: Basic integration features such as multipart functionality, context initialization through servlet listeners, and a web-oriented application context
- *Spring Web MVC*: Web-based Model-View-Controller (MVC) framework

Εικόνα 12 Αρχιτεκτονική Spring Boot Framework

3.6 Rest Client

Ο αλγόριθμος ανάθεσης τηλεπικοινωνιακών πόρων βασίζεται στην εκτίμηση των τηλεπικοινωνιακών χρηστών λαμβάνοντας δεδομένα για της ταχύτητες διέλευσης των οχημάτων. Η λήψη της πληροφορίας γίνεται ανά μισή ώρα. Τα δεδομένα που λαμβάνονται φιλτράρονται ώστε να έρθουν σε μορφή κατάλληλη προς επεξεργασία δομώντας το μοντέλο δεδομένων της εφαρμογής. Το μοντέλο δεδομένων αποτελείται από αντικείμενα κατάλληλα διαμορφωμένα ώστε να αποτελέσουν τις οντότητες για το Java Persistence API (Spring ORM) αλλά και να περιγράψουν τους πίνακες και τις συσχετίσεις που ορίζονται από την σχεσιακή βάση δεδομένων.



Εικόνα 13 Χάρτης περιοχής ενδιαφέροντος

3.7 Επεξεργασία Δεδομένων Here Maps

Για την εκτίμηση των χρηστών σε κάθε τμήμα της Εθνικής οδού θα πρέπει να γίνει υπολογισμός των οχημάτων σε συνθήκες συμφόρησης. Για να το πετύχουμε έγιναν οι εξής παραδοχές. Θεωρούμε ότι το μήκος κάθε τμήματος μεταξύ 2 διαδοχικών κόμβων είναι 900 m και κάθε όχημα απέχει από το προπορευόμενο 0.5 m σε συνθήκες συμφόρησης. Κάθε όχημα έχει μήκος 4.5 m και ο δρόμος αποτελείται από 3 λωρίδες κυκλοφορίας. Προσεγγιστικά ο μέγιστος αριθμός οχημάτων κατά μήκος 2 κόμβων είναι 540 οχήματα σε κάθε ρεύμα κυκλοφορίας.

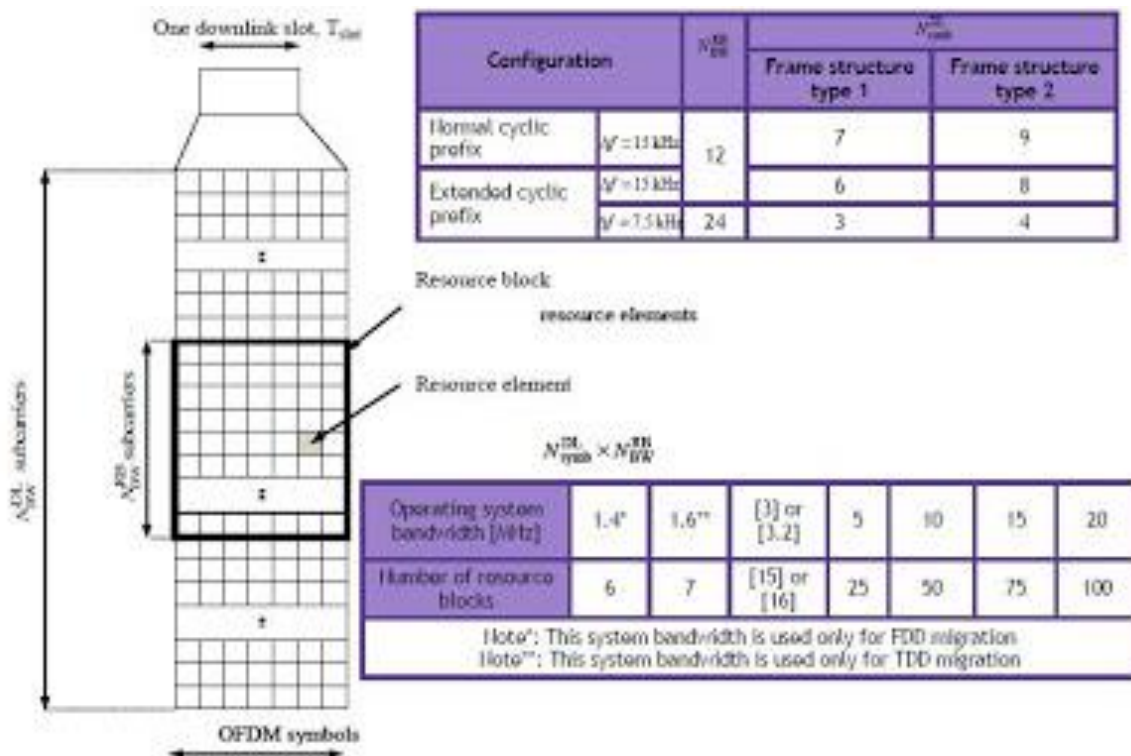
$$kj = \left(\frac{900}{0.5 + 4.5} \right) * 3$$

3.8 Διαστασιολόγηση Κυψελών

Οι κυψέλες όλων των μεγεθών βασίζονται σε τεχνολογία LTE σε διαφορετικές κεντρικές συχνότητες και εύρη ζώνης. Ανάλογα με το εύρος ζώνης στο οποίο λειτουργούν μπορούν να διαχειριστούν τηλεπικοινωνιακή κίνηση έχοντας διαφορετικό αριθμό από Resource Blocks προς ανάθεση. Ο

υπολογισμός των Resource blocks γίνεται διαιρώντας το διαθέσιμο εύρος ζώνης με την απόσταση που τοποθετούνται διαδοχικά subcarriers. Τα διαδοχικά subcarriers απέχουν μεταξύ τους 15 kHz και είναι 12 συνολικά. Συνεπώς έχουμε 180kHz ανά Resource block. Ο Συνολικός αριθμός Resource blocks ανά κυψέλη προκύπτει διαιρώντας το εύρος ζώνης με το συχνοτικό εύρος ενός Resource block. 10% των Resource blocks χρησιμοποιείται για σηματοδοσία. Για τις ανάγκες της μελέτης θα χρησιμοποιηθεί διαμόρφωση της τάξης του 256 QAM, και MIMO 2x2.

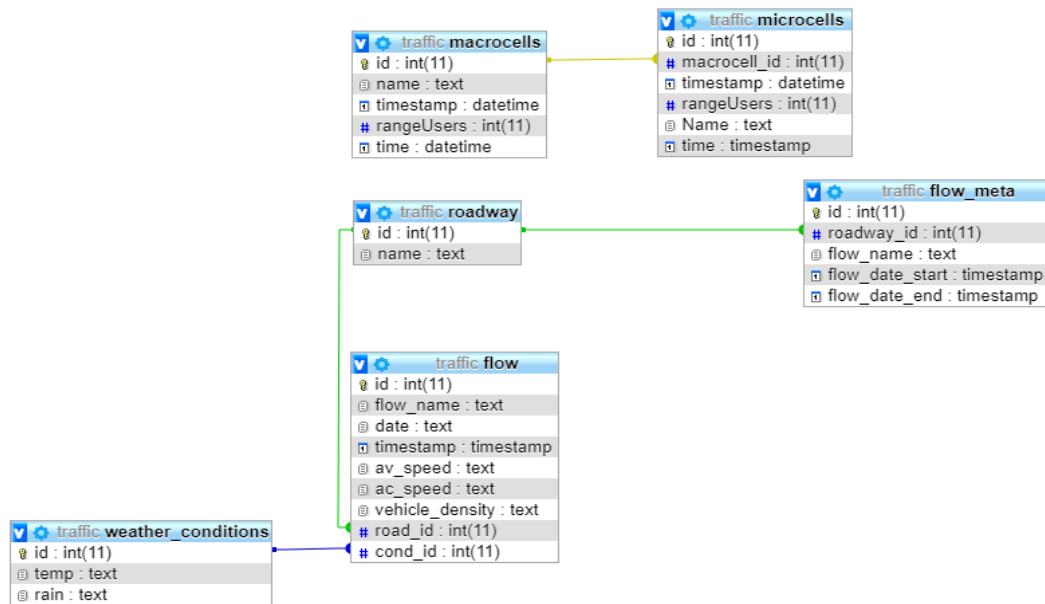
$$Rate (bits) = RBs * 12 subcarriers * 7 Resource elements * bits per symbol * 2$$



Εικόνα 14 LTE Frame

Ο ρυθμός που δίνεται από τη σχέση αφορά ένα subframe διάρκειας 1 ms.

3.9 Βάση Δεδομένων



Εικόνα 15 Αρχιτεκτονική Σχεσιακής βάσης δεδομένων

Μετά τη λήψη των δεδομένων από το τμήμα του Rest client, η πληροφορία αποθηκεύεται μέσω του Spring Data μηχανισμού σε σχεσιακή βάση δεδομένων. Τα δεδομένα δομούν πίνακες συσχετίσεων.

Οι πίνακες της βάσης δεδομένων έχουν δομηθεί ως εξής

- **Roadway**

Αναλαμβάνει την αποθήκευση όλων των ενδιάμεσων τμημάτων μεταξύ των διασταυρώσεων ονομαστικά και ξεχωριστά για κάθε ρεύμα κυκλοφορίας. Τα ενδιάμεσα τμήματα είναι τα εξής

- Αιγάλεω (+)
- Αιγάλεω(-)
- Λένορμαν (-)
- Λένορμαν(+)
- Λεωφ. Αθηνών (-)
- Λεωφ. Αθηνών (+)

- **Flow_meta**

Για κάθε τμήμα αποθηκεύουμε τις ημερομηνίες που έχουμε καταγράψει δεδομένα στα πεδία:

- Flow_date_start : Χρονική στιγμή που ελήφθησαν τα πρώτα δεδομένα
- Flow_date_end: Χρονική στιγμή που ελήφθησαν τα τελευταία δεδομένα

- **Flow**

Η πληροφορία ροής οχημάτων για κάθε ενδιάμεσο τμήμα αποθηκεύεται σε αυτό τον πίνακα

- road_id: Αναγνωριστικό τμήματος δρόμου που ανήκει η ροή
- timestamp: Χρονική στιγμή που αφορά η πληροφορία
- av_speed: Μέση ταχύτητα διερχόμενων οχημάτων
- ac_speed: Λαμβανόμενη ταχύτητα από το HERE API
- vehicle_density : Πυκνότητα οχημάτων εφαρμόζοντας το μοντέλο free flow πάνω στα δεδομένα ταχυτήτων διέλευσης.

- **Macrocell**

Αποθηκεύει πληροφορίες για τον αριθμό των χρηστών που βρίσκονται στην εμβέλεια του microcell. Με κάθε επιτυχημένη ανανέωση των πληροφοριών ανανεώνεται και η πληροφορία στο macrocell.

- Timestamp : Χρονική στιγμή ανανέωσης δεδομένων
- rangeUsers: Χρήστες εντός εμβέλειας

- **Microcell**

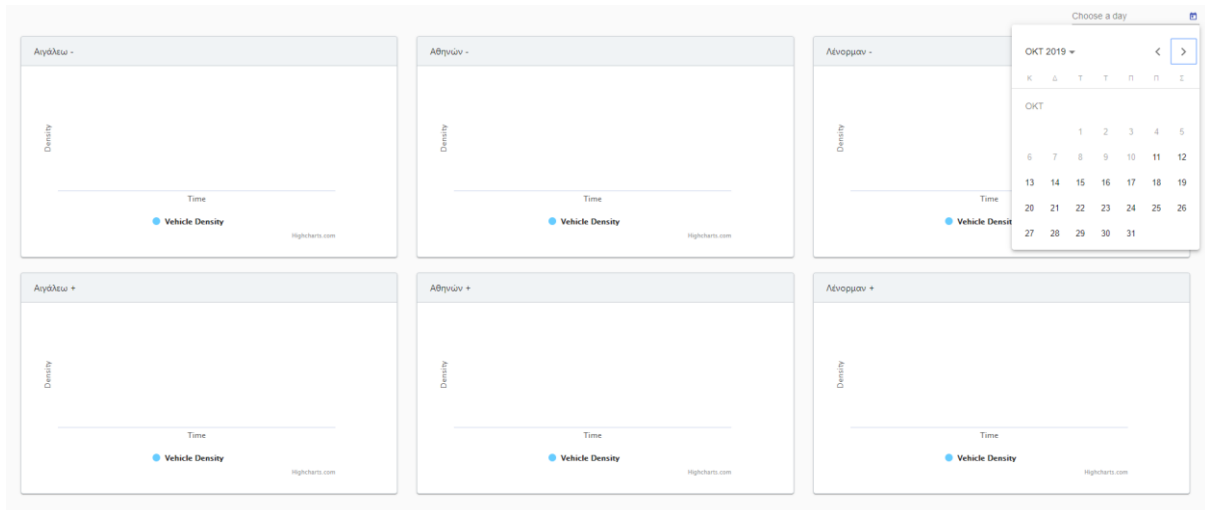
Κάθε microcell βρίσκεται εντός της εμβέλειας ενός macrocell. Κάθε επιτυχημένη ανανέωση των πληροφοριών ανανεώνει και πληροφορίες που αφορούν το microcell

- macrocell_id : Πληροφορία για συσχέτιση με macrocell
- Timestamp : Χρονική στιγμή ανανέωσης δεδομένων
- RangeUsers: Χρήστες εντός εμβέλειας

HTTP GET /Roadways

Μέθοδος για επιστροφή λίστας αντικειμένων τύπου **Roadway**. Η μέθοδος καλείται όταν η εφαρμογή client κάνει αίτημα για να λάβει ονομαστικά όλα τα ενδιάμεσα τμήματα της οδού προς παρατήρηση καθώς και τις ημερομηνίες που αφορούν τα αποθηκευμένα δεδομένα. Με τα λαμβανόμενα

δεδομένα η εφαρμογή δημιουργεί στοιχεία για οπτικοποίηση δεδομένων μέσω καρτών και δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να επιλέξει δεδομένα προς προβολή από της διαθέσιμες ημερομηνίες.

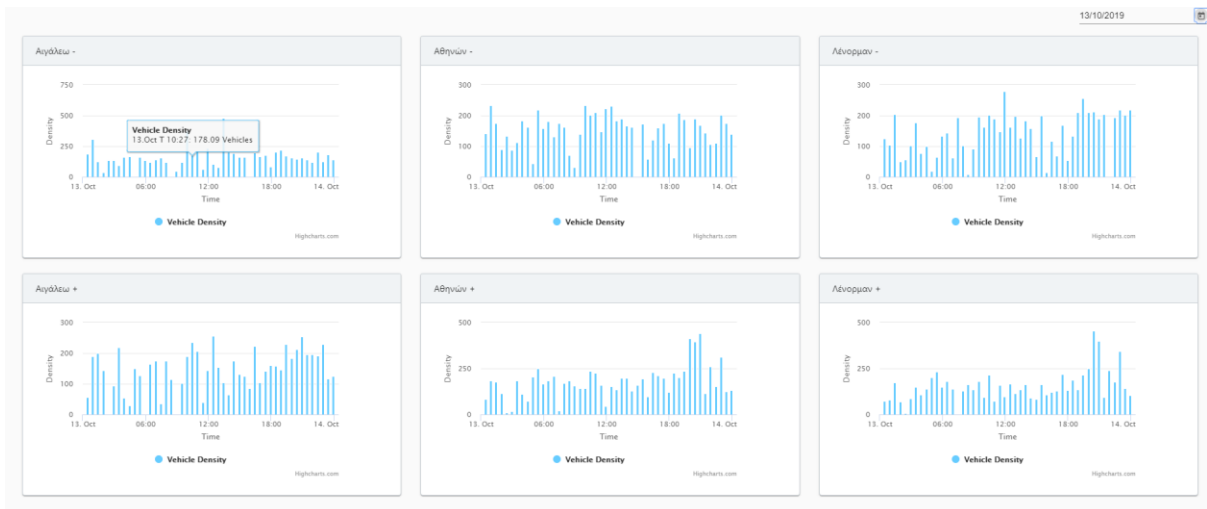


Εικόνα 16 Διεπαφή Ημερολογίου

HTTP GET /flows?roadName={param1}&flowName={param2}&start={param3}&end={param4}

- param1: Όνομα οδού
- param2: Όνομα Ροής
- param3 : Αρχική χρονική στιγμή
- param4: Τελική Χρονική στιγμή

Μέθοδος για επιστροφή λίστας αντικειμένων τύπου **FLOW**. Η μέθοδος καλείται όταν χρήστης επιλέξει μια ημερομηνία στο διαδραστικό ημερολόγιο. Ανάλογα με των πλήθος των τμημάτων που επιστρέφει η μέθοδος **GET /Roadways** η μέθοδος θα κληθεί αντίστοιχα με διαφορετικές παραμέτρους.

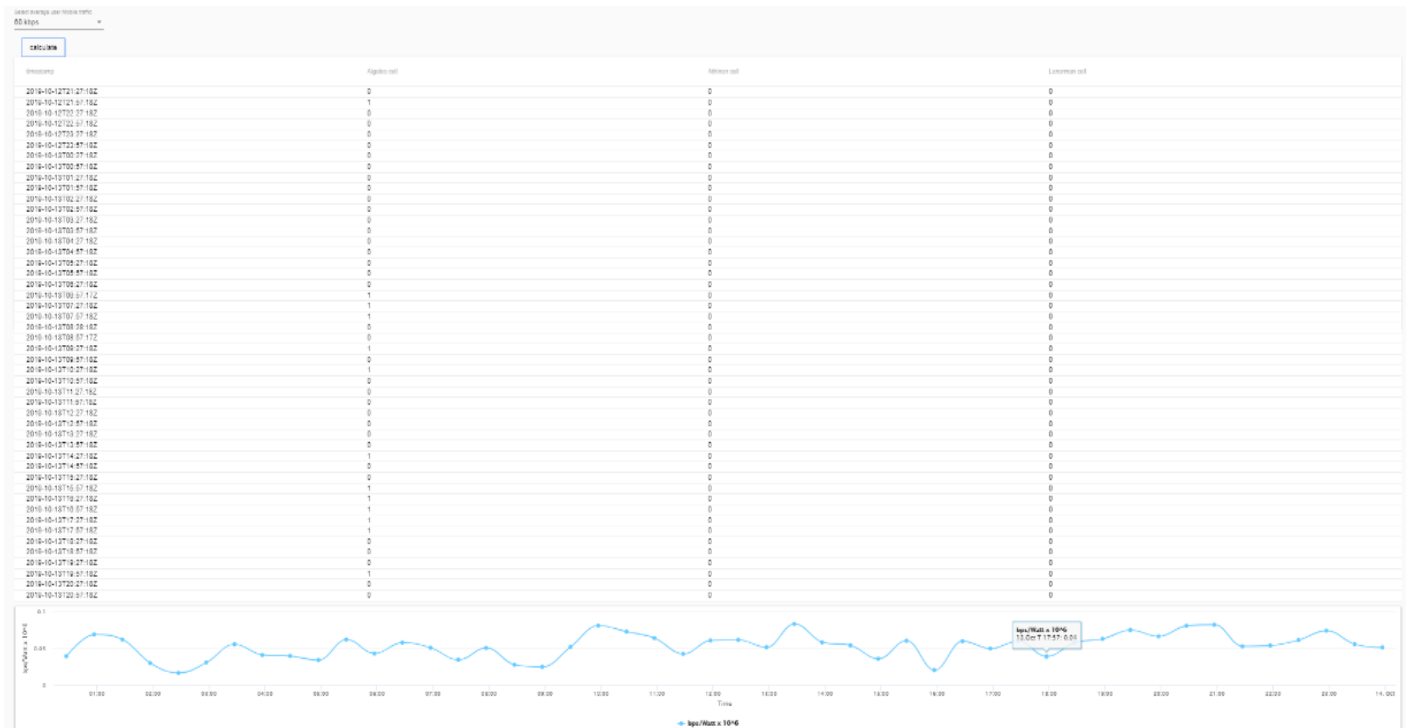


Εικόνα 17 Πληροφορίες ροής οχημάτων ανά τμήμα και χρονική στιγμή

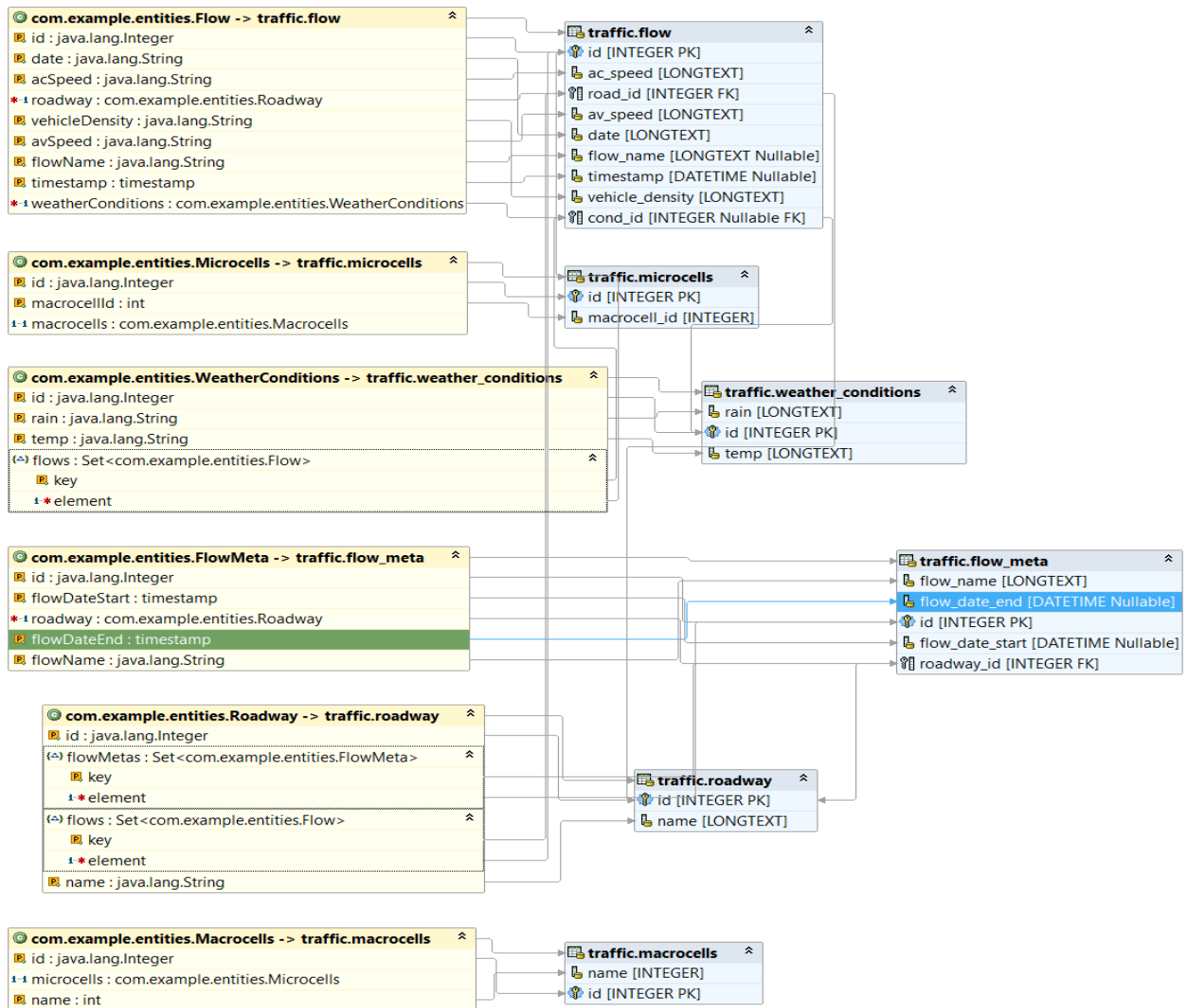
HTTP GET /CalculateSolutions?rate={param}

- param: Ρυθμός δεδομένων που απαιτεί κατά μέσο όρο κάθε χρήστης σε όλα τα τμήματα της οδού (δίνεται από τον χρήστη μέσω διεπαφής μενού).

Η μέθοδος αρχικοποιεί την διαδικασία υπολογισμού και ανάθεσης πόρων. Το αποτέλεσμα παρουσιάζεται με μορφή διαδραστικού πίνακα αποτελούμενο από 4 στήλες. Κάθε στήλη δηλώνει αν έχει ενεργοποιηθεί κάποιο smallcell/ricocell για τη λύση που αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Η αποδοτικότητα του συστήματος με όρους bps/Watt παρουσιάζεται επίσης σαν γραφική παράσταση.



Εικόνα 18 Στιγμιότυπο εξόδου εφαρμογής



Εικόνα 18 Μοντέλο δεδομένων

4.1 Microservices

Για την εγκατάσταση των των εφαρμογών σε κέντρο δεδομένων (data center), ακολουθήθηκε η διαδικασία χωρισμού σε μικροπηρεσίες (microservices) μέσω της τεχνολογίας **Docker Engine**. Κάθε μικροπηρεσία συνθέτει ένα εικονικό λειτουργικό σύστημα το οποίο αναλαμβάνει να επιτελέσει μια συγκεκριμένη λειτουργία. Συνολικά το σύστημα χωρίστηκε σε 3 υπηρεσίες

Service 1

- Dashboard

Service 2

- Resource Allocation
- User Density Calculation

Service 3

- Database Management System

```
### STAGE 1: Build ###

# We label our stage as 'builder'

FROM node:8.11.2-alpine as node
RUN apk update && apk add --no-cache make git
WORKDIR /usr/src/app

COPY package*.json ./

RUN npm install

COPY . .

## Build the angular app in production mode and store the artifacts in dist folder
RUN npm run build

### STAGE 2: Setup ###

FROM nginx:1.13.3-alpine

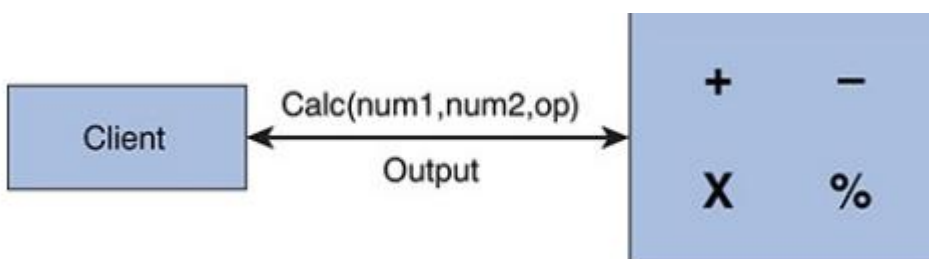
COPY --from=node /usr/src/app/dist /usr/share/nginx/html
## Copy our default nginx config
COPY ./nginx.conf /etc/nginx/conf.d/default.conf
```

Εικόνα 19 Dashboard Docker File

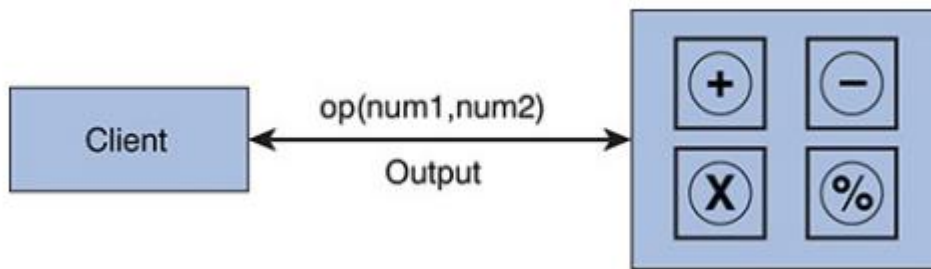
```
1 FROM openjdk:8
2 ADD target/gs-rest-service-0.1.0.jar gs-rest-service-0.1.0.jar
3 EXPOSE 8090
4 ENTRYPOINT ["java", "-jar", "gs-rest-service-0.1.0.jar"]
```

Εικόνα 20 JDK Environment Dockerfile

Μια μικροπηρεσία είναι μια ανεξάρτητη οντότητα που λειτουργεί ανεξάρτητα σχεδιασμένη σαν ξεχωριστό εκτελέσιμο με δυνατότητες επικοινωνία με άλλες μικροπηρεσίες μέσω πρωτοκόλλου εφαρμογής http (RESTful web services), ή μέσω ουρών μηνυμάτων (message brokers). Αυτό που διαφοροποιεί τις μικροπηρεσίες από τις παραδοσιακές εφαρμογές είναι ότι μπορούν να αναπτυχθούν να ελεγχθούν και να εγκατασταθούν σε παραγωγικά περιβάλλοντα ανεξάρτητα από άλλες μικροπηρεσίες ή άλλες εφαρμογές. Η αρχιτεκτονική των μικροπηρεσιών για να είναι επιτυχημένη θα πρέπει να πληροί όλες τις προδιαγραφές και απαιτήσεις του καλού προγραμματισμού όπως η απαίτηση για όσο το δυνατόν λιγότερες εξαρτήσεις μεταξύ διαφορετικών οντοτήτων της εφαρμογής. Κάθε μικροπηρεσία είναι ταγμένη στο να υλοποιεί μια συγκεκριμένη διεργασία. Στην αρχιτεκτονική μικροπηρεσιών της παρούσας εργασίας έχουν υλοποιηθεί 4 μικροπηρεσίες που υλοποιούν διαφορετικές λειτουργίες και επικοινωνούν μέσω του πρωτοκόλλου Rest που περιεγράφηκε παραπάνω. Ο διαχωρισμός του προβλήματος σε πολλαπλές μικροπηρεσίες μας δίνει περισσότερη ανεκτικότητα σε σφάλματα καθώς τυχόν σφάλματα θα επηρέαζαν τη λειτουργία μόνο συγκεκριμένων υπηρεσιών και όχι ολόκληρη την εφαρμογή ως σύνολο. Αντίθετα αν είχε επιλεγεί μονολιθική αρχιτεκτονική όλες οι λειτουργίες θα ήταν συγκεντρωμένες σε ένα εκτελέσιμο τύπου (.war).



Εικόνα 20 Παράδειγμα μονολιθικής εφαρμογής



Εικόνα 21 Παράδειγμα εφαρμογής χωρισμένης σε μικροπηρεσίες

Για να απλοποιηθεί η ανάπτυξη του λογισμικού και να μπορούν να προστεθούν εύκολα νέες μελλοντικές λειτουργίες θα πρέπει να οι μικροπηρεσίες να είναι απομονωμένες μεταξύ τους και να επικοινωνούν με μηχανισμούς REST αλλά επίσης μπορούν και να δεσμεύουν διαφορετικούς υπολογιστικούς πόρους καθώς είναι δεδομένο ότι διαφορετικές λειτουργίες μπορούν να έχουν και διαφορετικές απαιτήσεις σε μνήμη ή ισχύ επεξεργαστή ανά διαφορετικές περιόδους.

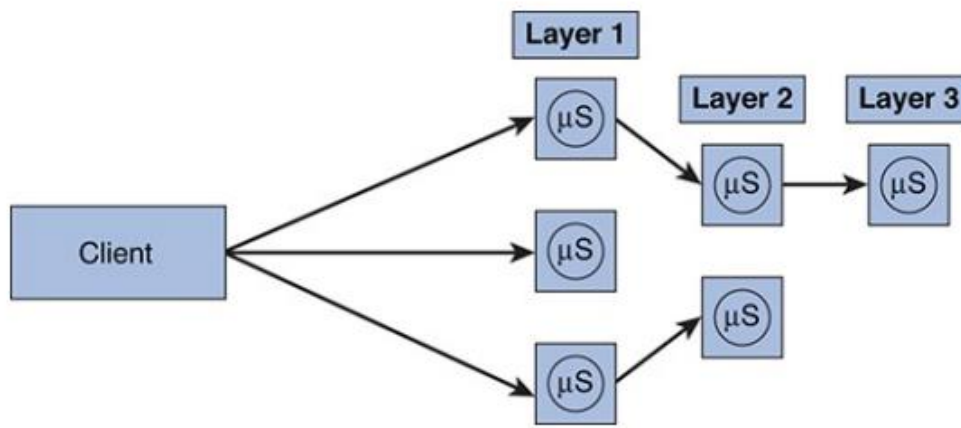
4.2 Προβλήματα που μας οδηγούν προς microservices

Με την πάροδο του χρόνου, η εφαρμογή θα γίνει πιο περίπλοκη, Σε αυτό το σημείο, τα πράγματα τείνουν να καταρρέουν και οι οργανισμοί αρχίζουν να αντιμετωπίζουν τις ακόλουθες προκλήσεις:

- Προκλήσεις απόδοσης
- Επίδοση κατά την κλιμάκωση της εφαρμογής (scaling)
- Μεγαλύτεροι κύκλοι ελέγχου της εφαρμογής
- Πιο περίπλοκες διαδικασίες κατά την εγκατάσταση νέων λειτουργιών
- Μεγαλύτερα διαστήματα κατά τα οποία η εφαρμογή δεν είναι διαθέσιμη
- Η εφαρμογή αναγκαστικά δεν είναι διαθέσιμη κατά τις αναβαθμίσεις.
- Ολόκληρη η εφαρμογή είναι ταυτισμένη με μία γλώσσα προγραμματισμού

- Δεν υπάρχει τρόπος να κλιμακωθούν (scale up) συγκεκριμένα τμήματα της εφαρμογής.

Σε αυτές τις περιπτώσεις η αρχιτεκτονική των μικροπηρεσιών μπορεί να δώσει πολλά πλεονεκτήματα τα οποία θα φανούν μόνο σε περιπτώσεις που η εφαρμογή γίνεται εξαιρετικά μεγάλη. Η μετάβαση σε αρχιτεκτονική μικροπηρεσιών θα δώσει το πλεονέκτημα του τμηματικού προγραμματισμού διαφορετικών οντοτήτων της εφαρμογής πιθανών σε διαφορετικές τεχνολογίες τα οποίες θα μπορούν να εγκαθίστανται σε παραγωγικό περιβάλλον ανεξάρτητα ταχύτερα και να δεσμεύουν ξεχωριστούς πόρους.



Εικόνα 21 Παράδειγμα εφαρμογής χωρισμένης σε πολυεπίπεδες μικροπηρεσίες

Συνεπώς δημιουργείται μια αρχιτεκτονική πολλαπλών στοιχείων λογισμικού που μας δίνει τα εξής πλεονεκτήματα:

- **Απλότητα.**

Κάθε μικροπηρεσία υλοποιεί πολύ συγκεκριμένες εργασίες μικρές εργασίες, συνεπώς υπάρχει μικρότερος πηγαίος κώδικας προς συντήρηση και καλύτερη διαχείριση σφαλμάτων

- **Κλιμάκωση.**

Για την κλιμάκωση των εφαρμογών (scaling) απαιτείται εγκατάσταση ξεχωριστών εφαρμογών που έχουν αρκετά μεγάλες απαιτήσεις σε υπολογιστικούς πόρους. Με τις αρχιτεκτονικές μικροπηρεσιών η κλιμάκωση των εφαρμογών γίνεται στοχευμένα όπου υπάρχει μεγαλύτερος υπολογιστικός φόρτος.

- **Συνεχή επέκταση του λογισμικού.**

Η αρχιτεκτονική μικροπηρεσιών προσφέρει ταχύτερους κύκλους ανάπτυξης εφαρμογών και οδηγεί σε μια νέα κουλτούρα ανάπτυξης λογισμικού μέσω συνεχόμενων παραδόσεων διαφορετικών εκδόσεων του πηγαίου κώδικα και παροχή αναβαθμίσεων. (CI/CD).

- **Λιγότερες εξαρτήσεις.**

Η απομόνωση μεταξύ των μικροπηρεσιών προσφέρει μεγαλύτερη ελευθερία κινήσεων στην ομάδα των προγραμματιστών καθώς μειώνεται η πιθανότητα σφαλμάτων εξαιτίας αλληλεξαρτήσεων.

- **Ανοχή σε σφάλματα.**

Απομόνωση σφαλμάτων σε συγκεκριμένα τμήματα των μικροεφαρμογών με αποτέλεσμα να αποτρέπεται η “πτώση” ολόκληρης της εφαρμογής. Σε μια μονολιθική αρχιτεκτονική οποιοδήποτε σφάλμα θα καθιστούσε ολόκληρη της εφαρμογή μη πρόσβαση.

- **Τμηματοποίηση αποθήκευσης δεδομένων.**

Σε αντίθεση με τις μονολιθικές εφαρμογές που όλα τα δεδομένα σώζονται σε μια κεντρική βάση δεδομένων, οι μικροεφαρμογές μπορούν να παρέχουν διαχωρισμό μεταξύ των δεδομένων, καθώς κάθε μικροεφαρμογή διαχειρίζεται αποκλειστικά τα δικά της δεδομένα.

Καθώς οι εταιρείες επεκτείνονται, αντιμετωπίζουν αυξανόμενες προκλήσεις λόγω της συνεχούς ανάπτυξης λογισμικού και της επεκτασιμότητας. Με την πάροδο του χρόνου, με περισσότερους χρήστες, το λογισμικό τείνει να γίνεται πολύπλοκο και στη συνέχεια ξεκινούν οι προκλήσεις της επεκτασιμότητας.

Το Docker είναι μια πρωτοβουλία τεχνολογίας ανοιχτού κώδικα που αντιμετωπίζει τα προβλήματα ανάπτυξης και κλιμάκωσης λογισμικού διαχωρίζοντας τις εφαρμογές από τις εξαρτήσεις της υποδομής. Αντιμετωπίζει αυτά τα προβλήματα με κοντέινερ (containers), τα οποία μας επιτρέπουν να συσκευάσουμε την εφαρμογή με όλες τις εξαρτήσεις της, συμπεριλαμβανομένης της δομής καταλόγου, των μεταδεδομένων, του χώρου διεργασιών, των συνόλων θυρών και ούτω καθεξής. Μπορούμε να τρέξουμε τη συσκευασμένη εφαρμογή με τον ίδιο τρόπο, πάντα, σε όλα τα μηχανήματα και τα περιβάλλοντα. Αυτό κάνει το Docker ενδιαφέρον και είναι ο μοναδικός μεγαλύτερος παράγοντας στην μεγάλη του άνοδο. Οι containers διαφέρουν από τις εικονικές μηχανές. Οι Εικονικές μηχανές στην απλούστερη μορφή τους, είναι ένα αυτόνομο σύστημα που

περιλαμβάνει τα πάντα, από το δικό του λειτουργικό σύστημα (ονομάζεται guest OS) έως ένα περιβάλλον εφαρμογών και την ίδια την εφαρμογή. Πολλαπλές εικονικές μηχανές ανά κεντρικό υπολογιστή μπορούν να εγκατασταθούν χρησιμοποιώντας ένα επίπεδο που ονομάζεται hypervisor πάνω από το κεντρικό λειτουργικό σύστημα του κεντρικού υπολογιστή. Ο hypervisor λειτουργεί ως πάροχος υπολογιστικών πόρων δίνοντας την εντύπωση στις εφαρμογές ότι εκτελούνται πάνω σε ξεχωριστό υλικό.

Πριν από τις εικονικές μηχανές, οι εταιρείες χρησιμοποιούσαν αποκλειστικούς διακομιστές για μια εφαρμογή. Στο παραγωγικό περιβάλλον, όλοι οι πόροι του διακομιστή αφιερώθηκαν σε μία εφαρμογή ως βέλτιστη πρακτική. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα τη σπατάλη πόρων όταν η εφαρμογή δεν μπορούσε να χρησιμοποιεί όλους τους πόρους ανά πάσα στιγμή. Όλοι γνωρίζουμε πόσο ισχυροί έχουν γίνει αυτοί οι διακομιστές και τα μηχανήματα με την πάροδο του χρόνου. Ως εκ τούτου, η εικονικοποίηση παρείχε αυτή την τεράστια ευκαιρία να χρησιμοποιήσει τους πόρους του διακομιστή πιο αποτελεσματικά, παρέχοντας ταυτόχρονα τον διαχωρισμό εφαρμογών έτσι ώστε κάθε εφαρμογή να μπορεί να εκτελείται στο δικό της λειτουργικό σύστημα ως ξεχωριστή εικονική μηχανή. Αυτό το μοντέλο ήταν ευρέως επιτυχημένο και στην πραγματικότητα προήλθε το σύννεφο (cloud). Οι εικονικές μηχανές προσέφεραν πολλά πλεονεκτήματα:

- Απόδοση.

Μια εικονική μηχανή αισθάνεται και λειτουργεί σαν ξεχωριστή μηχανή. Το βασικό πλεονέκτημα είναι η αποτελεσματική χρήση πόρων και η απομόνωση από άποψη ασφάλειας.

- Ευκαμψία.

Οι πόροι μπορούν να διατεθούν ανάλογα με τις ανάγκες. Οι CPU, η μνήμη και τα παρόμοια μπορούν να διανεμηθούν σε αρχικές απαιτήσεις και όταν χρειάζεται. Επιπλέον, η κατανομή πόρων μπορεί να προσαρμοστεί αυτόματα σε κάποιο υψηλότερο ποσοστό. Αυτή η ιδέα είναι επίσης γνωστή ως ελαστικότητα.

- Δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας και ανάκτηση.

Οι εικονικές μηχανές μπορούν να αποθηκευτούν ως ένα μόνο αρχείο που μπορεί εύκολα να δημιουργηθεί αντίγραφο ασφαλείας σε άλλη πηγή. Εάν και όταν απαιτείται, μπορεί να αντιγραφεί ξανά.

- Ελευθερία λειτουργικού συστήματος.

Μπορούν να υπάρχουν διαφορετικά λειτουργικά συστήματα επισκεπτών στον ίδιο υπεύθυνο. Επομένως, μπορείτε να υποστηρίξετε της εφαρμογές που καλύπτουν της συγκεκριμένες ανάγκες της σε λειτουργικά συστήματα.

- Απόδοση και κίνηση.

Είναι πολύ εύκολο να μετακινηθεί μια εικονική μηχανή από τον ένα κεντρικό υπολογιστή στον άλλο σε περίπτωση υποβάθμισης της απόδοσης στον κεντρικό υπολογιστή.

- Κοινή χρήση εικονικών μηχανών. Η μετακίνηση και η κοινή χρήση εικονικών μηχανών σε ένα WAN απαιτεί πολύ χρόνο λόγω του μεγάλου μεγέθους.

4.3 Πλεονεκτήματα Containers

Οι containers αποτελούν ένα αυτόνομο εικονικό σύστημα που περιέχει τη διαδικασία που εκτελείται, όλα τα αρχεία, εξαρτήσεις, χώρο διεργασίας και θύρες που απαιτούνται για την εκτέλεση της εφαρμογής. Δεδομένου ότι κάθε κοντέινερ έχει όλες τις διαθέσιμες θύρες, κάνουμε τη χαρτογράφηση σε επίπεδο Docker.

- Πελάτης Docker.

Μια διεπαφή χρήστη ή μια διεπαφή γραμμής εντολών χρησιμοποιείται για την επικοινωνία με τον Docker daemon.

- Εικόνες Docker.

Αρχεία προτύπων μόνο για ανάγνωση ενός κοντέινερ Docker τα οποία μπορούν είτε να χρησιμοποιηθούν είτε να διανεμηθούν. Σε αντίθεση με τις εικονικές μηχανές, αυτά τα αρχεία μπορούν να ελεγχθούν μέσω εκδόσεων. Κάθε εικόνα αποτελείται από πολλά επίπεδα που μπορούν να κοινοποιηθούν σε εικόνες. Ας υποθέσουμε ότι πρέπει να αναβαθμιστεί η υπάρχουσα εφαρμογή. Η ενημέρωση θα δημιουργήσει ένα νέο επίπεδο πάνω από την υπάρχουσα εικόνα. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να αποσταλεί και να αναπτυχθεί μόνο το νέο επίπεδο, κάνοντας τη συνολική διαδικασία ελαφρύτερη και ταχύτερη, και αυτό καθιστά τα containers ελαφριά.

- Ελαφρύ.

Τα κοντέινερ Docker δεν έχουν δικό τους λειτουργικό σύστημα, επομένως το μέγεθός τους μειώνεται. Επίσης, τα κοντέινερ μπορούν να αποθηκευτούν ως εικόνες, τα οποία είναι απλά αρχεία που μπορούν να ελεγχθούν και να διανεμηθούν εύκολα.

- Φορητό.

Ένα κοντέινερ Docker είναι το άθροισμα μιας εφαρμογής και όλες οι εξαρτήσεις της συνδυάζονται ανεξάρτητα από το μοντέλο ανάπτυξης, την έκδοση λειτουργικού συστήματος και ούτω καθεξής. Αυτό το κοντέινερ μπορεί εύκολα να μεταφερθεί σε άλλο μηχάνημα κεντρικού υπολογιστή με τη μορφή εικόνας και να εκτελεστεί χωρίς προβλήματα. Δημιουργείται μία φορά εκτελείτε παντού.

- Επαναχρησιμοποίηση.

Οι εικόνες Docker είναι απλά ένα σύνολο επιπέδων και οι διαδοχικές εντολές δημιουργούν νέα επίπεδα εικόνων για τη δημιουργία μιας τελικής εικόνας. Μόλις δημιουργηθεί μια εικόνα, το Docker το επαναχρησιμοποιεί για νέες κατασκευές, γεγονός που καθιστά τις κατασκευές (builds) πιο γρήγορες και μικρότερες εικόνες, καθώς επαναχρησιμοποιεί ή μοιράζεται αυτές τις εικόνες. Για παράδειγμα, ενδέχεται να έχουμε μια εικόνα με, ας πούμε, το αρχείο 1 πάνω από έναν διακομιστή ιστού Apache που εκτελείται στο Ubuntu. Ας υποθέσουμε ότι χρειαζόμαστε μια άλλη εικόνα με το αρχείο 2 πάνω από τον διακομιστή web Apache που εκτελείται στο Ubuntu. Δεδομένου ότι έχουμε ήδη την πρώτη εικόνα, το Docker θα επαναχρησιμοποιήσει όλα τα επίπεδα της πρώτης εικόνας εκτός από το επίπεδο αρχείου 1 για να δημιουργήσει μια δεύτερη εικόνα. Αυτό σημαίνει ότι και οι δύο τελικές εικόνες θα μοιράζονται τα επίπεδα του Ubuntu και του Apache και κάθε εικόνα θα έχει ένα δικό της επίπεδο αρχείων, το οποίο θα είναι η μόνη διαφορά μεταξύ αυτών των δύο εικόνων.

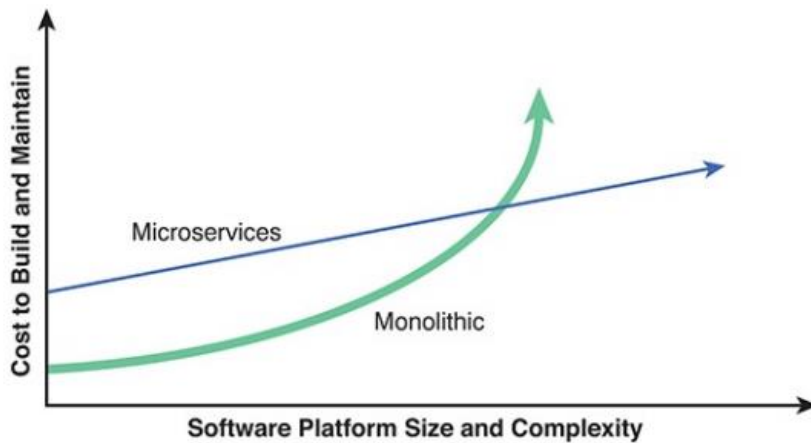
- Γρήγορη ανάπτυξη.

Τα Docker containers είναι πλήρως αυτόνομα, ελαφριά πακέτα που είναι εύκολο να διανεμηθούν και δοκιμάζονται πλήρως κατά τη διάρκεια του κύκλου δοκιμών. Το ίδιο κοντέινερ μπορεί να αναπτυχθεί στην παραγωγή χωρίς καθόλου ή ελάχιστες αλλαγές, επιταχύνοντας έτσι την ανάπτυξη και μειώνοντας τις επιστροφές λόγω εξαρτήσεων από το περιβάλλον. Αυτή η δυνατότητα είναι επίσης κλειδί για συνεχή ανάπτυξη.

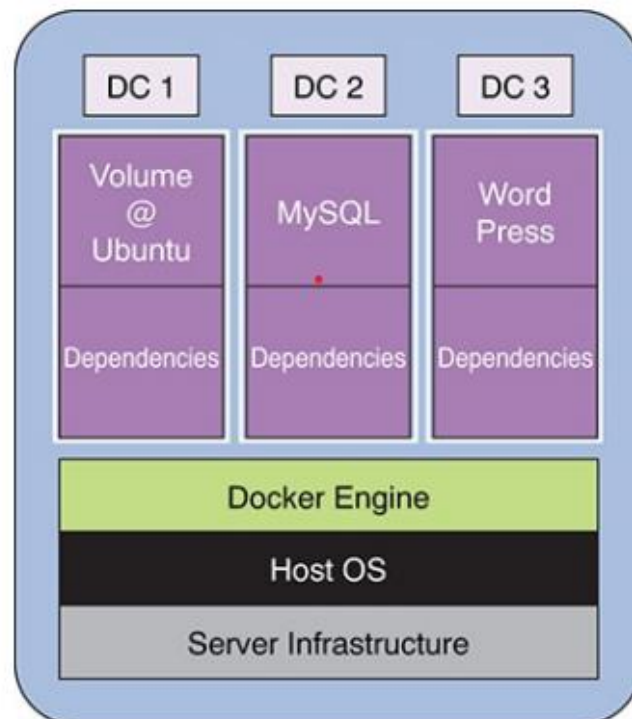
- Αποτελεσματική χρήση των πόρων.

Όπως οι εικονικές μηχανές, το Docker χρησιμοποιεί τους πόρους αποτελεσματικά, ίσως καλύτερα από ό,τι οι εικονικές μηχανές, λόγω του μικρότερου βάρους των κοντέινερ Docker. Ταυτόχρονα, παρέχει αποδεκτή απομόνωση. Λόγω του μεγέθους τους, μπορεί να εγκατασταθεί ένας μεγαλύτερος αριθμός κοντέινερ σε έναν κεντρικό υπολογιστή σε σύγκριση με τον αριθμό των εικονικών μηχανών

που είναι εγκατεστημένοι στον ίδιο κεντρικό υπολογιστή. Σε πολλές περιπτώσεις, τα κοντέινερ Docker είναι προτιμότερα από εικονικές μηχανές, αλλά ας είμαστε πολύ σαφείς: το Docker δεν πρόκειται να αντικαταστήσει εικονικές μηχανές. Στην πραγματικότητα, οι τυπικές αναπτύξεις εκμεταλλεύτηκαν τη δύναμη και των δύο τεχνολογιών εκτελώντας το Docker μέσα σε εικονικές μηχανές, κάνοντας τη χρήση πόρων πολύ αποτελεσματική.



Εικόνα 22 Monolithic vs Microservices



Εικόνα 23 Docker Image Stack

5.1 SLA

Το πιο συνηθισμένο στοιχείο ενός SLA είναι ότι οι υπηρεσίες πρέπει να παρέχονται στον πελάτη όπως συμφωνήθηκε στη σύμβαση. Για παράδειγμα, οι πάροχοι υπηρεσιών διαδικτύου και οι τηλεπικοινωνίες θα συμπεριλαμβάνουν συνήθως συμφωνίες επιπέδου υπηρεσιών σύμφωνα με τους όρους των συμβάσεων τους με τους πελάτες τους για να καθορίσουν το επίπεδο των υπηρεσιών. Διαφορετικές εφαρμογές εξυπηρετούνται από διαφορετικά λογικά τμήματα του δικτύου (Network slices) που έχουν διαφορετικές απαιτήσεις σε καθυστέρηση ροής δεδομένων (latency) και ρυθμούς μετάδοσης (throughput).

Τρεις βασικές κλάσεις υπηρεσιών έχουν οριστεί κατά την πορεία εξέλιξης των 5G επικοινωνιών (eMBB, mMTC, URLLC) όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Η κλάση υπηρεσιών eMBB είναι εξέλιξη του broadband internet μέσω τεχνολογίας 4G, χαρακτηρίζεται από μετάδοση μεγάλου όγκου πληροφορίας με μέγιστο τους ρυθμούς μετάδοσης. eMBB εφαρμογές αποτελούν η υψηλής ποιότητας μετάδοση βίντεο και ήχου, αλλά και οι εφαρμογές επομένης γενιάς για επαυξημένης ή εικονικής πραγματικότητα. Οι υπηρεσίες κλάσης mMTC και URLLC χρησιμοποιούνται από εφαρμογές που θα μπορούσαν να χαρακτηριστούν ως υψίστης σημασίας και ζωτικού ρόλου καθώς οποιαδήποτε καθυστέρηση στην μετάδοση δεδομένων θα μπορούσε να επιφέρει σοβαρά προβλήματα στο έργο που επιτελούν ή ακόμα και απώλεια ανθρώπινης ζωής. Σε αυτές τις υπηρεσίες βασίζονται εφαρμογές όπως τα δίκτυα οχημάτων.

Οι απαιτήσεις δικτύου τέτοιων εφαρμογών επικεντρώνονται κυρίως στο να υπάρχει σταθερή καθυστέρηση στην μετάδοση μικρών πακέτων δεδομένων που μπορεί να είναι της τάξης λίγων bytes. Η καθυστέρηση αυτή δεν θα πρέπει να ξεπερνά το 1ms. Συνεπώς 2 διαφορετικά SLA που θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν από τους παρόχους προς τους πελάτες των ετερογενών δικτύων είναι:

Οι πελάτες υπηρεσιών eMBB να έχουν δεδομένο ρυθμό μετάδοσης ικανό να μεταφέρει υψηλής ποιότητας βίντεο στο 90% του χρόνου. Ένας ρυθμός μετάδοσης 6-10Mbps είναι ικανός να υποστηρίξει ροή βίντεο και ήχου σε υψηλή ευκρίνεια. Όλα τα οχήματα θα πρέπει να μπορούν να υποστηρίξουν mMTC εφαρμογές έχοντας σαν απαίτηση μέγιστης καθυστέρησης 1ms για πακέτα της τάξης 5 Bytes. Οι εφαρμογές στις κλάσεις mMTC σε ένα περιβάλλον 5G τηλεπικοινωνιών θα πρέπει να μπορούν να παρέχουν μετάδοση μικρών τηλεπικοινωνιακών πακέτων με μικρή καθυστέρηση και υψηλή αξιοπιστία σε τεράστιο όγκο συσκευών (Τα δίκτυα οχημάτων θα πρέπει να υπακούουν στις παραπάνω απαιτήσεις)

Ο αλγόριθμος διαχείρισης του εικονικού ετερογενούς δικτύου στον οδικό άξονα ενδιαφέροντος έχει σαν στόχο πέραν της βελτίωσης της ενεργειακής αποδοτικότητας να τηρεί και τα παραπάνω κριτήρια για την αξιοπιστία λειτουργίας των εφαρμογών.

5.2 Αλγόριθμος Ενεργοποίησης/Απενεργοποίησης Small Cells

Έχοντας χτίσει μια βάση γνώσης για το κυκλοφοριακό φορτίο της περιοχής μελέτης το σύστημα μπορεί να εφαρμόσει αλγόριθμο για την ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση των small cells. Η έξοδος του αλγορίθμου θα αναπαριστά τη βέλτιστη ρύθμιση του συστήματος ανά δεδομένες χρονικές στιγμές μέσα σε ένα 24ωρο καθώς και την απόδοση του συστήματος με όρους bps/Watt. Η τηλεπικοινωνιακή ζήτηση σε (bps) ανά χρήστη έχει οριστεί σε κλάσεις μεγέθους 64kpbs, 640kpbs και 6Mbps.

Η λύση του προβλήματος δυναμικής ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης των small cells μπορεί να αναπαρασταθεί μέσω δυοδιάστατου πίνακα με διακριτές τιμές {0,1}.

Η λύση στο πρόβλημα δίνεται μετά από δοκιμή όλων των πιθανών συνδυασμών ανάθεσης χρηστών σε small cells που βρίσκονται σε κοντινή εμβέλεια. Σε περίπτωση που το small cell είναι απενεργοποιημένο τότε οι χρήστες ανατίθενται για εξυπηρέτηση στο macro cell το οποίο έχει εντός εμβέλειας τα εικονικά microcells των Κόμβων ενδιαφέροντος.

Το κριτήριο επιλογής της βέλτιστης λύσης ανά δεδομένη χρονική στιγμή είναι η μεγιστοποίηση της συνάρτησης του όγκου ροής δεδομένων προς την κατανάλωση ενέργεια (bps/watt).

$$\frac{\sum_{u \in \mathcal{M}} \min \left(\frac{W_M C_{u,M}}{|\mathcal{M}|}, L_u \right) + \sum_{s=1}^{n_S} \sum_{u \in \mathcal{S}_s} \min \left(\frac{W_S C_{u,s}}{|\mathcal{S}_s|}, L_u \right)}{P_B + n_S P_{S_1}}$$

Εικόνα 24 Συνάρτηση Υπολογισμού rate/watt

W_M : Macrocell Available Bandwidth

W_S : Microcell Available Bandwidth

$C_{u,M}$: Spectral efficiency χρήστη u από το Macro cell

$C_{u,s}$: Spectral efficiency χρήστη u από το Microcell s

n_s : Αριθμός small cells

P_B : Ισχύς λειτουργίας Macro cell.

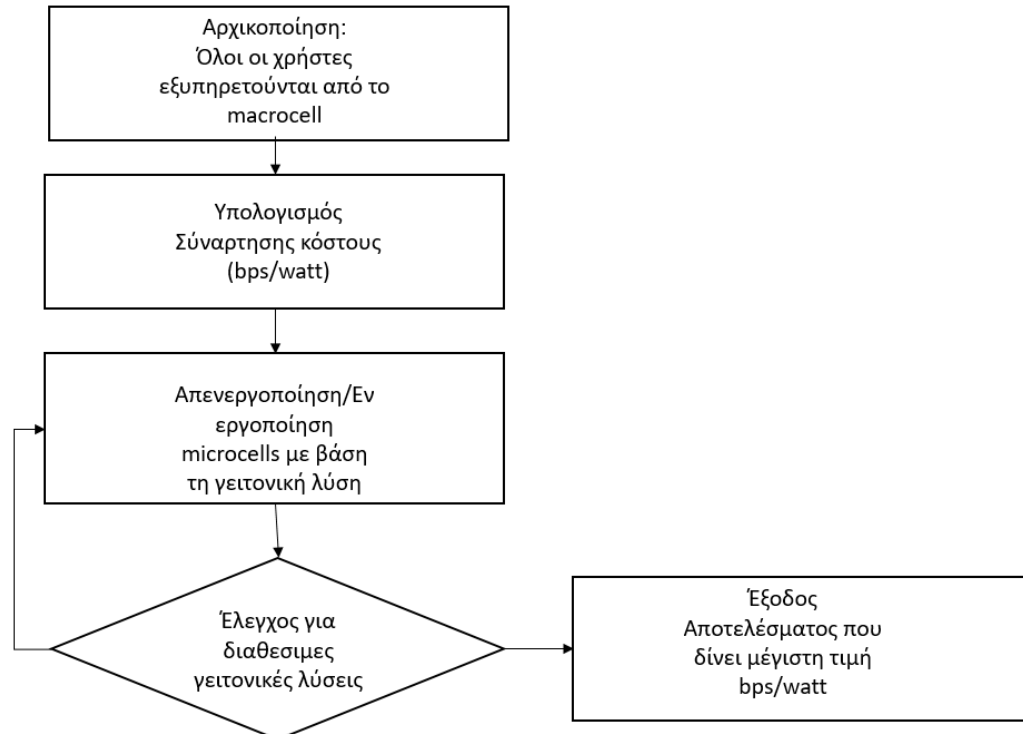
P_{s1} : Ισχύς λειτουργίας Micro cell.

L_u : Τηλεπικοινωνιακή ζήτηση χρήστη u

$|M|$: Χρήστες εντός Macro cell

$|S|$: Χρήστες εντός Micro cell.

Η λύση του συστήματος που μεγιστοποιεί την συνάρτηση ροής δεδομένων προς κατανάλωση ενέργειας επιλέγεται ως βέλτιστη για μια δεδομένη χρονική στιγμή. Το πλήθος όλων των πιθανών συνδυασμών λύσεων είναι n_s^2 .

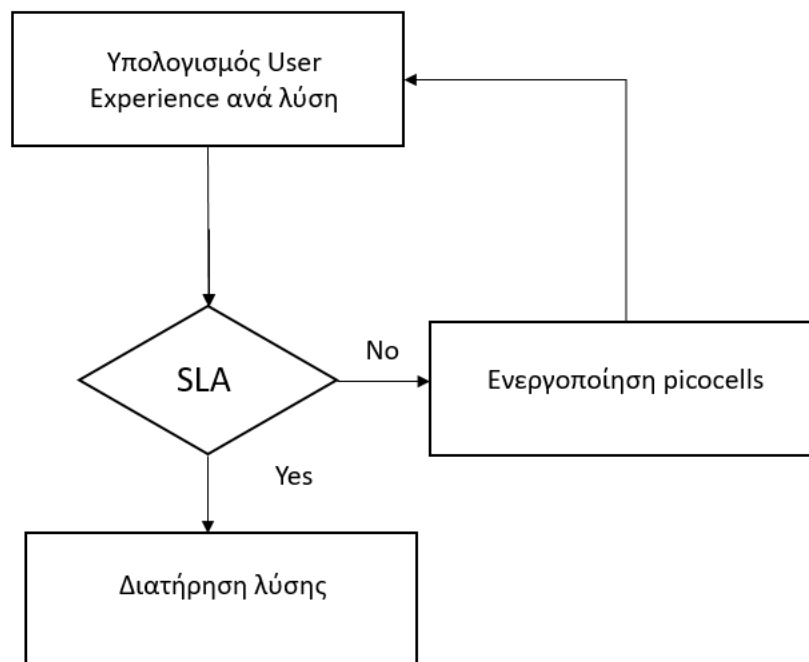


Εικόνα 25 Διάγραμμα Ροής

Με βάση την αρχική λύση όλοι οι χρήστες της εθνικής οδού στην περιοχή μελέτης εξυπηρετούνται από το macro cell. Γίνονται δοκιμές στα επόμενα στάδια του αλγορίθμου για το αν κάποια ενεργοποίηση microcell σε κάποιο κόμβο θα έδινε κάποιο καλύτερο αποτέλεσμα σε όρους bps/watt. Όταν η βέλτιστη λύση υπολογιστεί τότε ο αλγόριθμος τερματίζεται και επιστρέφει μέσω Rest API το αποτέλεσμα στην εφαρμογή της διεπαφής χρήστη.

Ανάλογα με την πυκνότητα των χρηστών ανά τμήματα της οδού και την τηλεπικοινωνιακή ζήτηση θα ενεργοποιηθούν τα Smallcells κεντρικής συχνότητας 3.5 Ghz. Από μόνη της αυτή η προσέγγιση θέτει σαν στόχο την αποκλειστικά την ενεργειακή αποδοτικότητα. Σε αυτό το στάδιο θα προστεθούν συνθήκες για να τηρούνται τα **SLA** καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας. Σε περίπτωση που τα

SLA δεν μπορούν να τηρηθούν τότε δοκιμάζονται λύσεις ενεργοποιώντας μικρότερα base stations (picocells 6Ghz).



Εικόνα 26 Διάγραμμα Ροής

6. Evaluation

Το σύστημα έκανε παρατήρηση ροής οχημάτων μεταξύ των αναφερθέντων διασταυρώσεων στην εθνική οδό Αθηνών Λαμίας. Μέσω της διεπαφής χρήστη μπορούμε να παρατηρήσουμε την πυκνότητα κυκλοφορίας έτσι όπως έχει υπολογιστεί με βάση τα παραπάνω βήματα και να εφαρμόσουμε τον αλγόριθμο κατανομής πόρων του εικονικού ετερογενούς δικτύου παρατηρώντας πως αυτό συμπεριφέρεται από άποψη ενεργειακής κατανάλωσης θέτοντας πάντα ως προτεραιότητα την εκπλήρωση των προδιαγραφών που τίθενται από τα **SLA**.

Έγιναν δοκιμές για διάφορες ημέρες αναφοράς εντός του μήνα Οκτώβρη 2019.

Παρουσιάζονται ενδεικτικά αποτελέσματα τόσο σε εργάσιμες ημέρες όσο και αργίες όπως Κυριακές ή εθνικές εορτές (28^η Οκτωβρίου). Για όλες τις ημέρες και ώρες έγιναν ξεχωριστές δοκιμές επίδοσης οδηγούμενες από διαφορετικές παραδοχές στις απαιτήσεις χρηστών και οχημάτων σε τηλεπικοινωνιακή κίνηση. Οι απαιτήσεις ροής δεδομένων ορίζονται ανά χρήστη ή όχημα στις εξής κατηγορίες

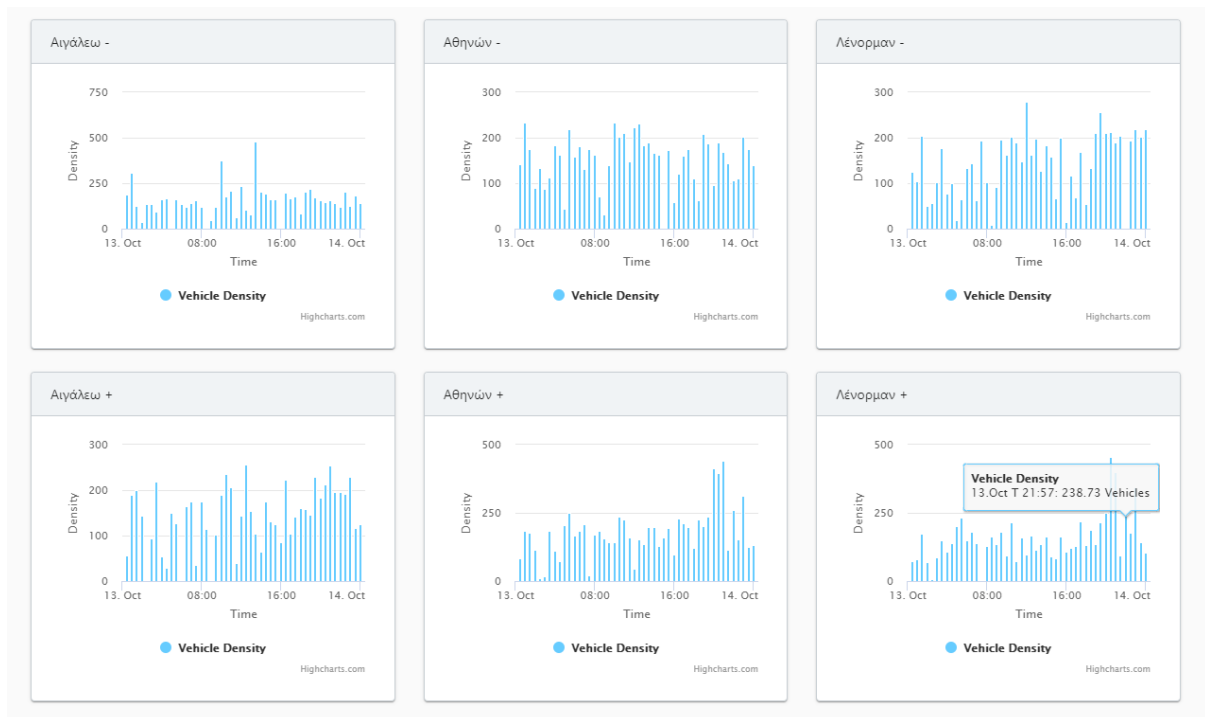
- 60 kbps
- 600kbps
- 6Mbps

Η κινητικότητα οχημάτων ανά ρεύμα κυκλοφορίας παρουσιάζεται με μορφή bar chart. Η απόφαση του συστήματος για το ποια small cells πρέπει να ενεργοποιηθούν ή όχι ανά δεδομένη χρονική στιγμή, Η απόδοση του συστήματος συναρτήσκει της ενέργειας κατανάλωσης, αλλά και η συνολική χρησιμοποίηση του συστήματος (%). Το σύστημα λαμβάνει αποφάσεις ανά 30 λεπτά καθημερινά έχοντας συνολικά 48 ημερήσιες αποφάσεις.

6.1 Αποτελέσματα

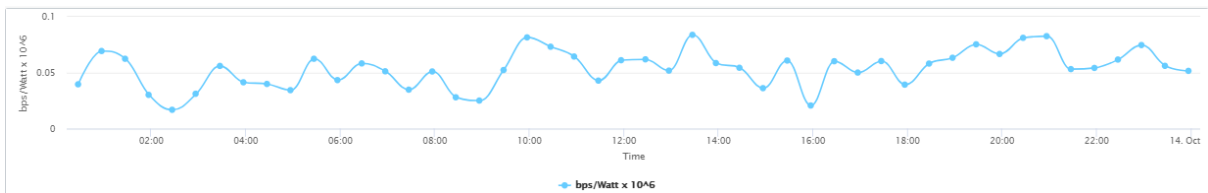
Τα αποτελέσματα του αλγορίθμου ανάθεσης πόρων παρουσιάζονται σε 3 τμήματα. Η κίνηση οχημάτων κατά τη διάρκεια της ημέρας παρουσιάζεται σε μορφή barcharts ανά ρεύμα κυκλοφορίας και η επιλογή λύσης απεικονίζεται με μορφή πίνακα με τιμές {0,1} ανάλογα με το αν έχει επιλεγεί να μείνει ανοιχτό ή όχι το small-cell/rico-cell στη συγκεκριμένη διασταύρωση μια δεδομένη χρονική στιγμή. Ακολουθούν αποτελέσματα εκτέλεσης της εφαρμογής για διακριτές ημέρες και ώρες κατά το μήνα Οκτώβριο 2019.

13/10/2019 [60kbps]



Εικόνα 27 Ροή Οχημάτων

Timestamp	Algaleo cell	Athinos cell	Lenorman cell	Pico Algaleo cell	Pico Athinos cell	Pico Lenorman cell
2019-10-12T21:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-12T21:57:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-12T22:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-12T22:57:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-12T23:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-12T23:57:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T00:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T00:57:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T01:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T01:57:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T02:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T02:57:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T03:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T03:57:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T04:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T04:57:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T05:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T05:57:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T06:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T06:57:17Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-13T07:27:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-13T07:57:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-13T08:28:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T08:57:17Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T09:27:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-13T09:57:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T10:27:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-13T10:57:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T11:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T11:57:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T12:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T12:57:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T13:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T13:57:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T14:27:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-13T14:57:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T15:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T15:57:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-13T16:27:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-13T16:57:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-13T17:27:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-13T17:57:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-13T18:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T18:57:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T19:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T19:57:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-13T20:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T20:57:18Z	0	0	0	0	0	0



Εικόνα 28 Παρουσίαση λύσης

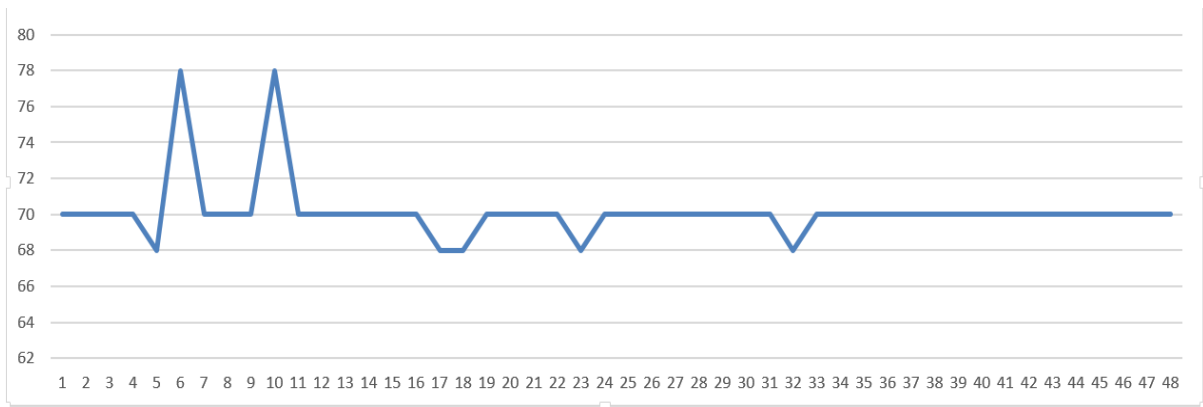
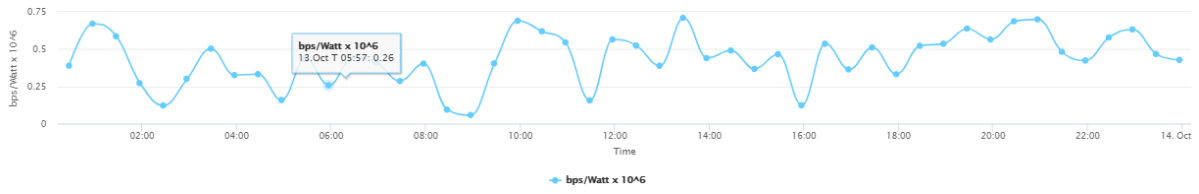


Εικόνα 29 System Utilization

13/10/2019 [600kbps]

2019-10-12T21:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-12T21:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-12T22:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-12T22:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-12T23:27:18Z	1	1	0	0	0	0
2019-10-12T23:57:18Z	1	0	1	0	1	0
2019-10-13T00:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T00:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T01:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T01:57:18Z	1	1	0	1	0	0
2019-10-13T02:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T02:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T03:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T03:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T04:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T04:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T05:27:18Z	1	1	0	0	0	0
2019-10-13T05:57:18Z	1	1	0	0	0	0
2019-10-13T06:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T06:57:17Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T07:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T07:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T08:28:18Z	1	1	0	0	0	0
2019-10-13T08:57:17Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T09:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T09:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T10:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T10:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T11:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T11:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T12:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T12:57:18Z	1	1	0	0	0	0
2019-10-13T13:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T13:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T14:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T14:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T15:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T15:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T16:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T16:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T17:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T17:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T18:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T18:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T19:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T19:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T20:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T20:57:18Z	1	1	1	0	0	0

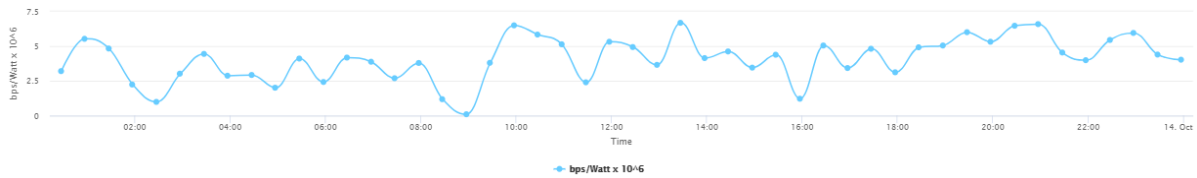
Εικόνα 30 Παρουσίαση λύσης



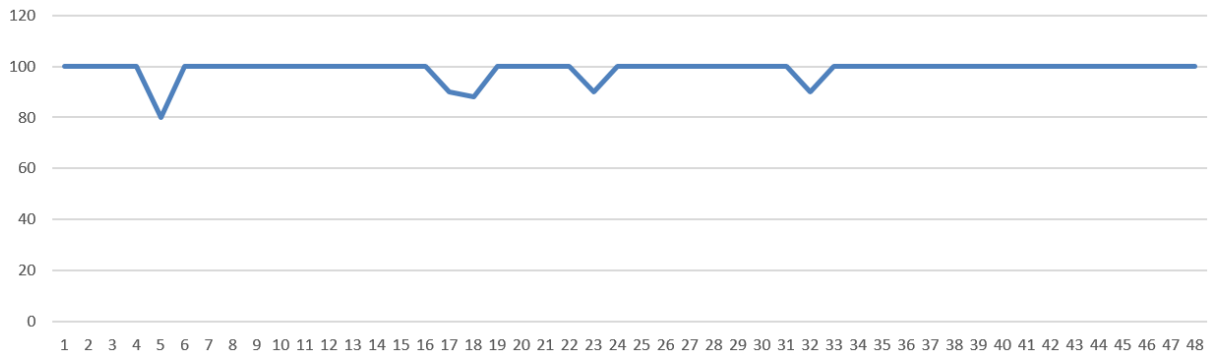
Εικόνα 30 System Utilization

13/10/2019 [6Mbps]

timestamp	Algalia cell	Athion cell	Lenorman cell	Pico Algalia cell	Pico Athion cell	Pico Lenorman cell
2019-10-12T21:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-12T21:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-12T22:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-12T22:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-12T23:27:18Z	1	1	1	0	1	0
2019-10-12T23:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T00:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T00:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T01:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T01:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T02:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T02:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T03:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T03:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T04:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T04:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T05:27:18Z	1	1	1	0	1	1
2019-10-13T05:57:18Z	1	1	0	0	1	1
2019-10-13T06:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T06:57:17Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T07:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T07:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T08:28:18Z	1	1	1	0	1	1
2019-10-13T08:57:17Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T09:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T09:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T10:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T10:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T11:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T11:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T12:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T12:57:18Z	1	1	1	0	1	1
2019-10-13T13:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T13:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T14:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T14:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T15:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T15:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T16:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T16:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T17:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T17:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T18:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T18:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T19:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T19:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T20:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T20:57:18Z	1	1	1	1	1	1

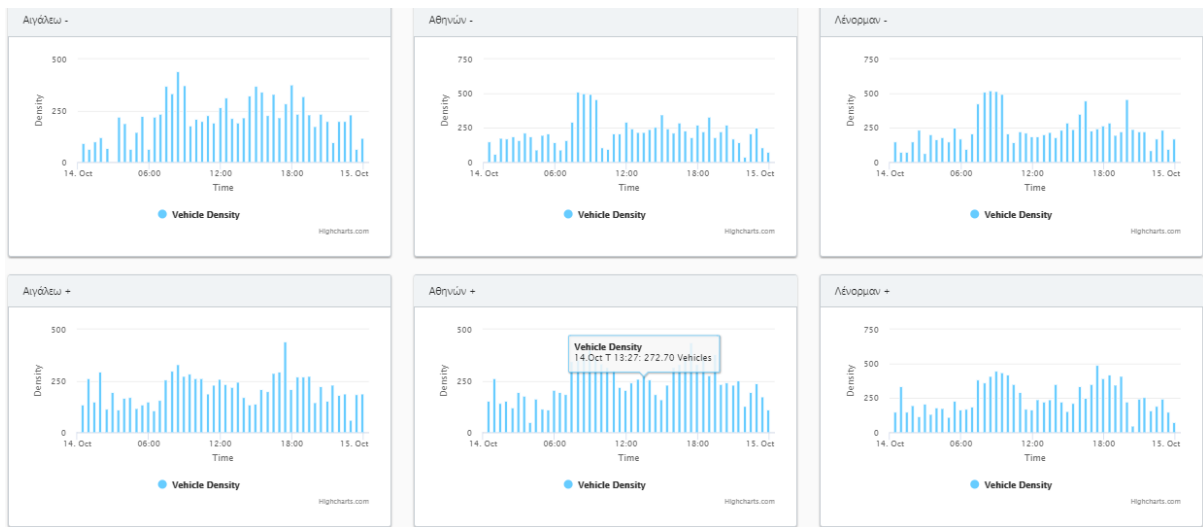


Εικόνα 31 Παρουσίαση λύσης



Εικόνα 32 System Utilization

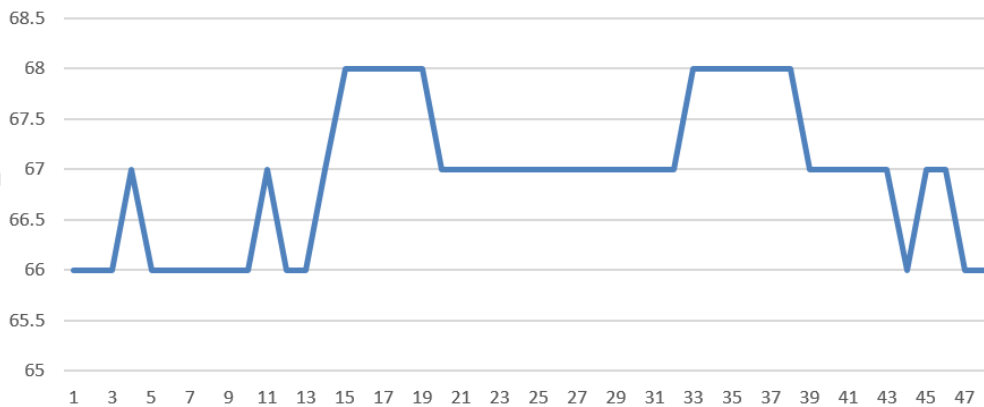
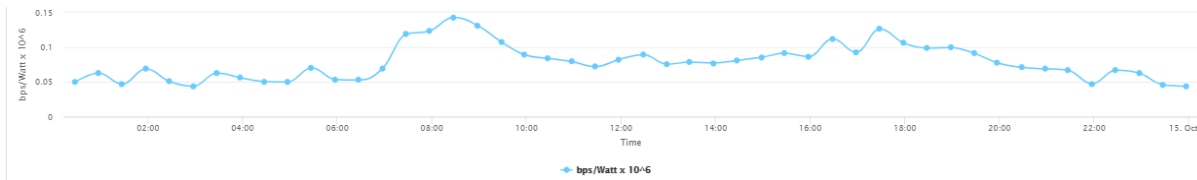
14/10/2019 [60kbps]



Εικόνα 33 Διάγραμμα Ροής Οχημάτων

timestamp	Algaleo cell	Athinos cell	Lenorman cell	Pico Algaleo cell	Pico Athinos cell	Pico Lenorman cell
2019-10-13T21:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T21:57:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T22:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T22:57:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-13T23:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-13T23:57:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-14T00:27:18Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-14T00:57:17Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-14T01:27:17Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-14T01:57:17Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-14T02:27:17Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T02:57:17Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-14T03:27:17Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-14T03:57:17Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T04:27:18Z	1	1	0	0	0	0
2019-10-14T04:57:18Z	1	1	0	0	0	0
2019-10-14T05:27:18Z	1	1	0	0	0	0
2019-10-14T05:58:18Z	1	1	0	0	0	0
2019-10-14T06:28:17Z	1	1	0	0	0	0
2019-10-14T06:57:17Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T07:27:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T07:57:17Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T08:27:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T08:57:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T09:28:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T09:58:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T10:27:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T10:57:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T11:27:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T11:58:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T12:27:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T12:58:19Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T13:28:18Z	1	1	0	0	0	0
2019-10-14T13:58:18Z	1	1	0	0	0	0
2019-10-14T14:28:17Z	1	1	0	0	0	0
2019-10-14T14:58:18Z	1	1	0	0	0	0
2019-10-14T15:28:18Z	1	1	0	0	0	0
2019-10-14T15:58:18Z	1	1	0	0	0	0
2019-10-14T16:28:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T16:57:18Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T17:28:17Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T17:58:17Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T18:27:17Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T18:57:17Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-14T19:27:17Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T19:57:17Z	1	0	0	0	0	0
2019-10-14T20:27:17Z	0	0	0	0	0	0
2019-10-14T20:57:17Z	0	0	0	0	0	0

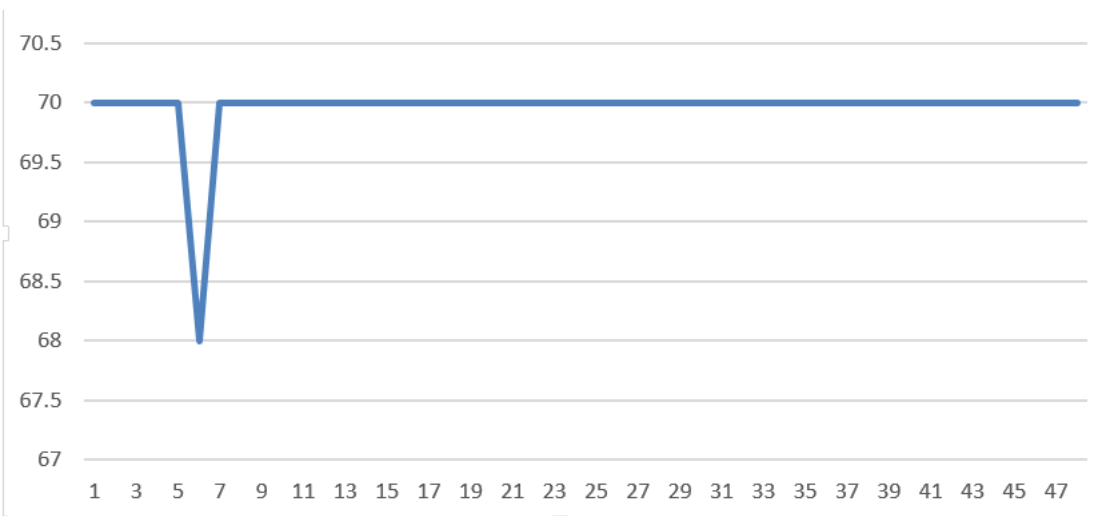
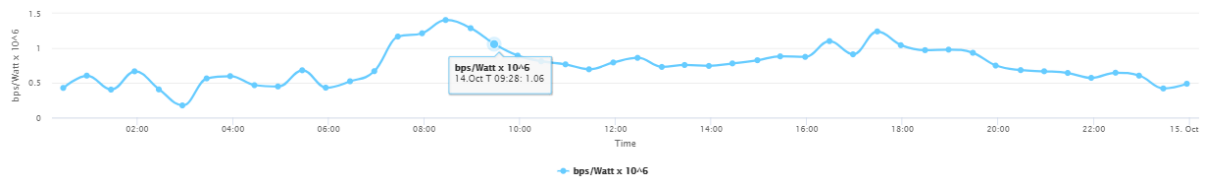
Εικόνα 34 Παρουσίαση λύσης



Εικόνα 35 System Utilization

14/10/2019 [600kbps]

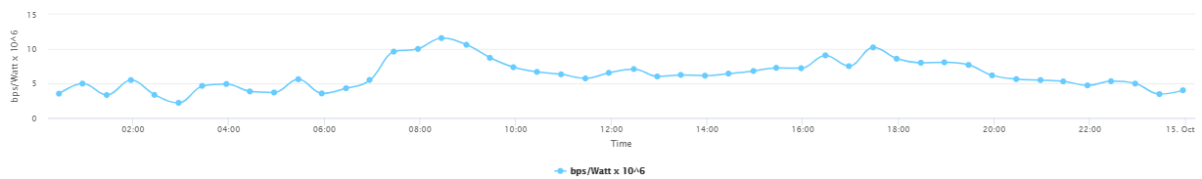
timestamp	Aigaleo cell	Athinos cell	Lenorman cell	Pico Aigaleio cell	Pico Athinos cell	Pico Lenorman cell
2019-10-13T21:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T21:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T22:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T22:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T23:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-13T23:57:18Z	1	1	0	0	0	0
2019-10-14T00:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T00:57:17Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T01:27:17Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T01:57:17Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T02:27:17Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T02:57:17Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T03:27:17Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T03:57:17Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T04:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T04:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T05:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T05:58:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T06:28:17Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T06:57:17Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T07:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T07:57:17Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T08:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T08:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T09:28:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T09:58:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T10:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T10:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T11:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T11:58:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T12:27:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T12:58:19Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T13:28:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T13:58:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T14:28:17Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T14:58:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T15:28:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T15:58:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T16:28:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T16:57:18Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T17:28:17Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T17:58:17Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T18:27:17Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T18:57:17Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T19:27:17Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T19:57:17Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T20:27:17Z	1	1	1	0	0	0
2019-10-14T20:57:17Z	1	1	1	0	0	0



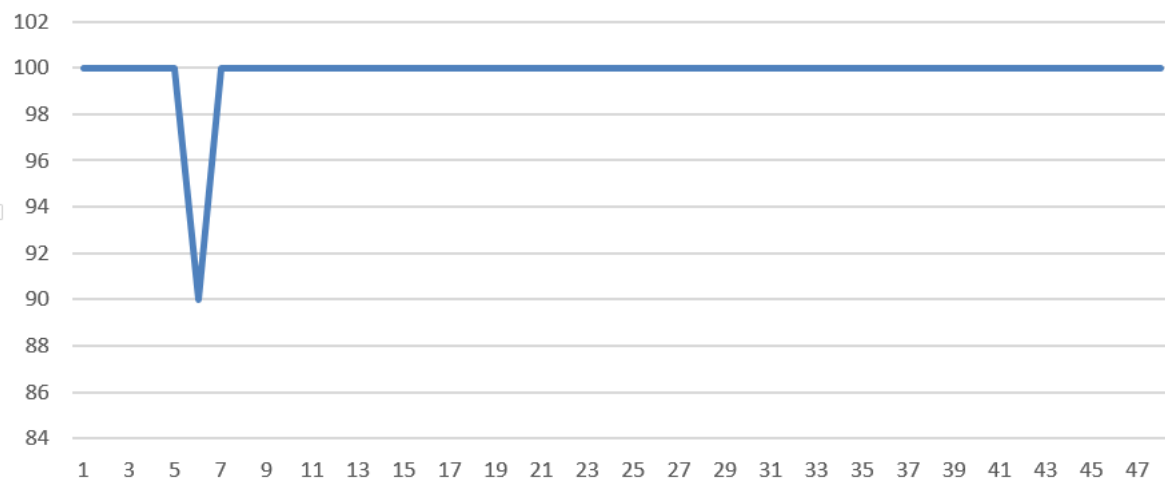
Εικόνα 36 System Utilization

14/10/2019 [6Mbps]

timestamp	Aigaleo cell	Athinson cell	Lenorman cell	Pico Aigalio cell	Pico Athinson cell	Pico Lenorman cell
2019-10-13T21:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T21:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T22:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T22:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T23:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-13T23:57:18Z	1	1	1	0	1	1
2019-10-14T00:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T00:57:17Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T01:27:17Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T01:57:17Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T02:27:17Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T02:57:17Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T03:27:17Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T03:57:17Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T04:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T04:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T05:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T05:58:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T06:28:17Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T06:57:17Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T07:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T07:57:17Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T08:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T08:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T09:28:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T09:58:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T10:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T10:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T11:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T11:58:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T12:27:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T12:58:19Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T13:28:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T13:58:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T14:28:17Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T14:58:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T15:28:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T15:58:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T16:28:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T16:57:18Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T17:28:17Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T17:58:17Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T18:27:17Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T18:57:17Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T19:27:17Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T19:57:17Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T20:27:17Z	1	1	1	1	1	1
2019-10-14T20:57:17Z	1	1	1	1	1	1

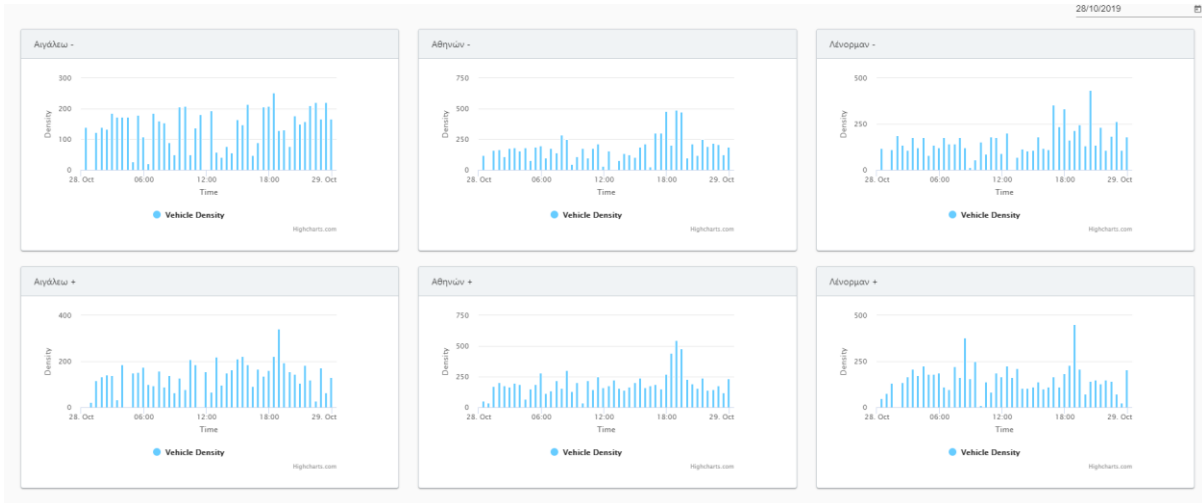


Εικόνα 37 Παρουσίαση λύσης

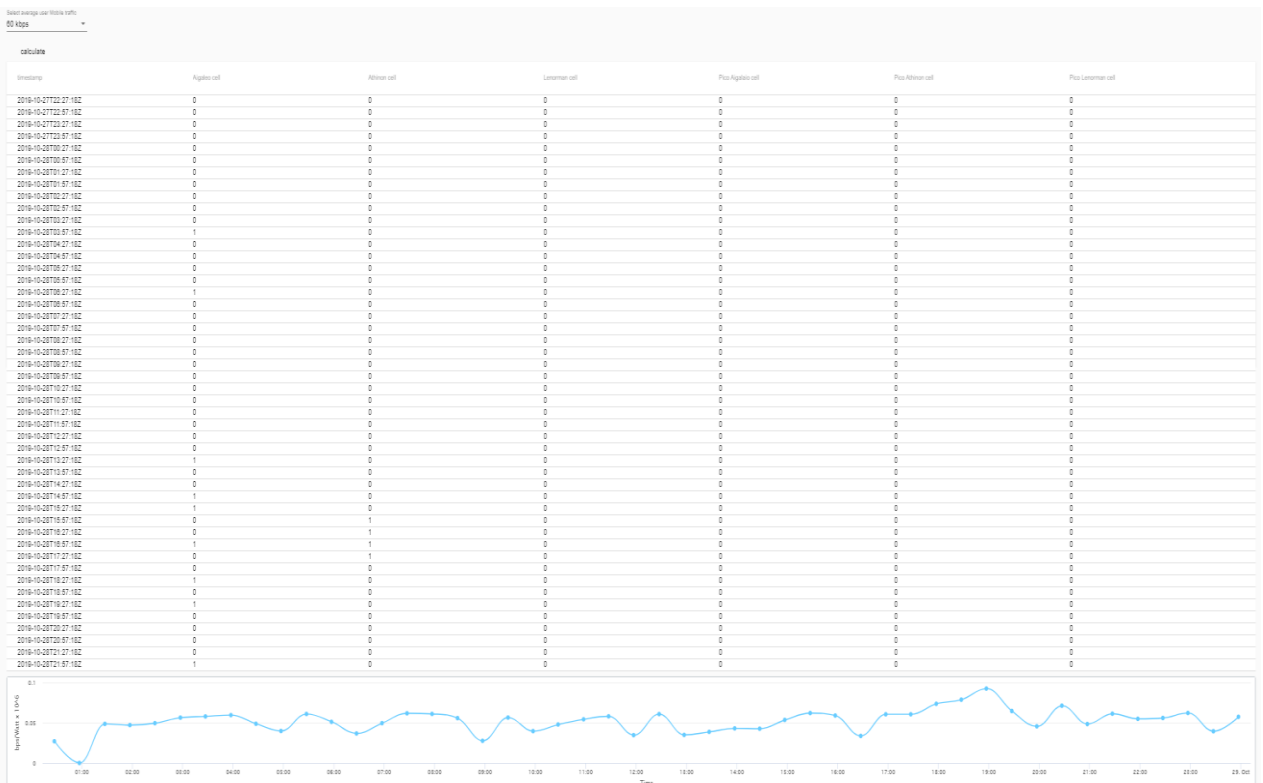


Εικόνα 38 System Utilization

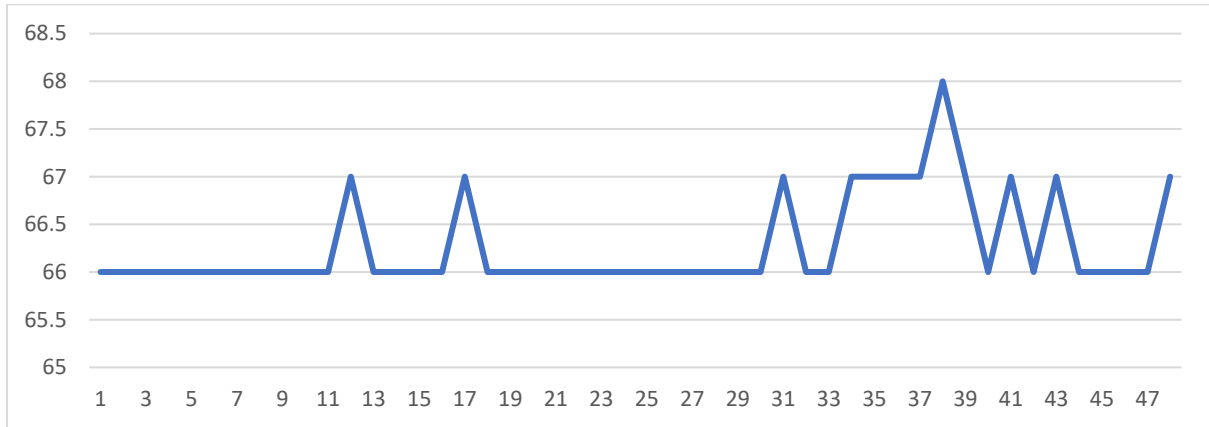
28/10/2019 [60kbps]



Εικόνα 39 Διάγραμμα Ροής Οχημάτων

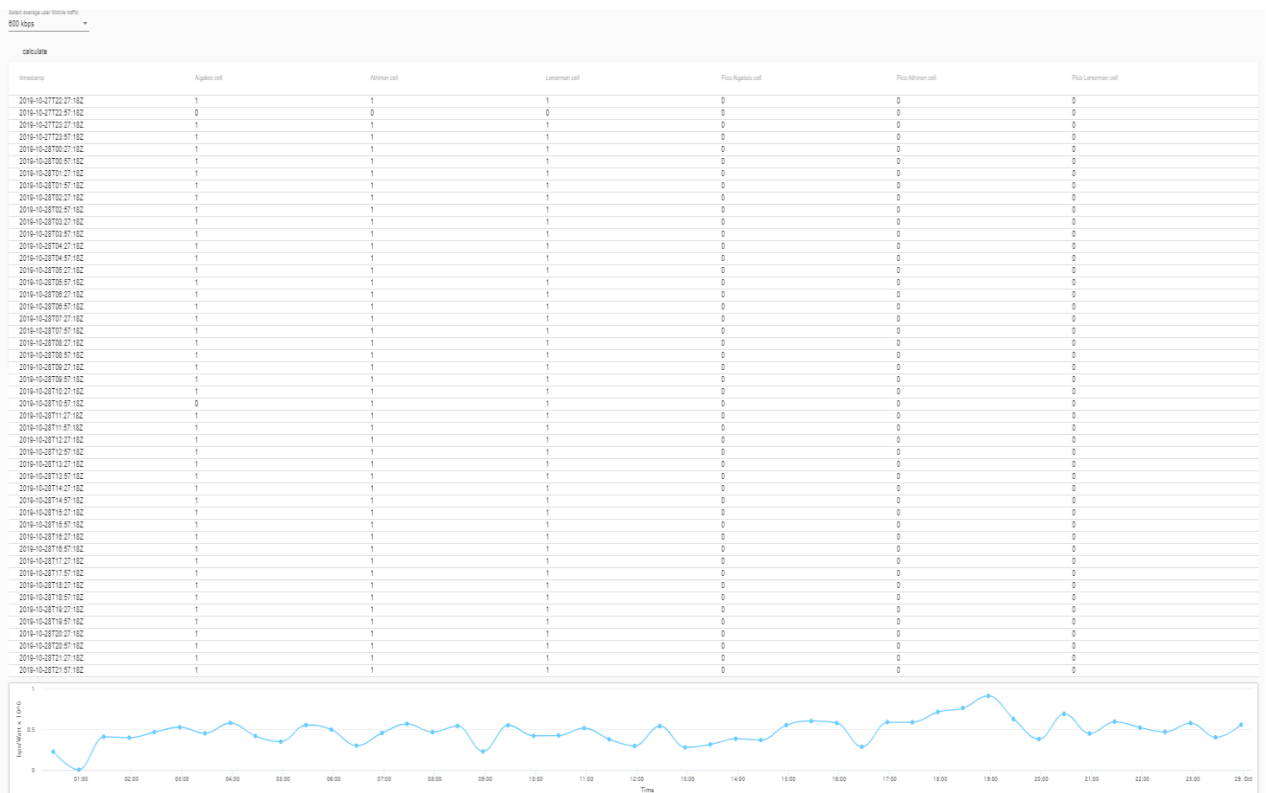


Εικόνα 40 Παρουσίαση λύσης

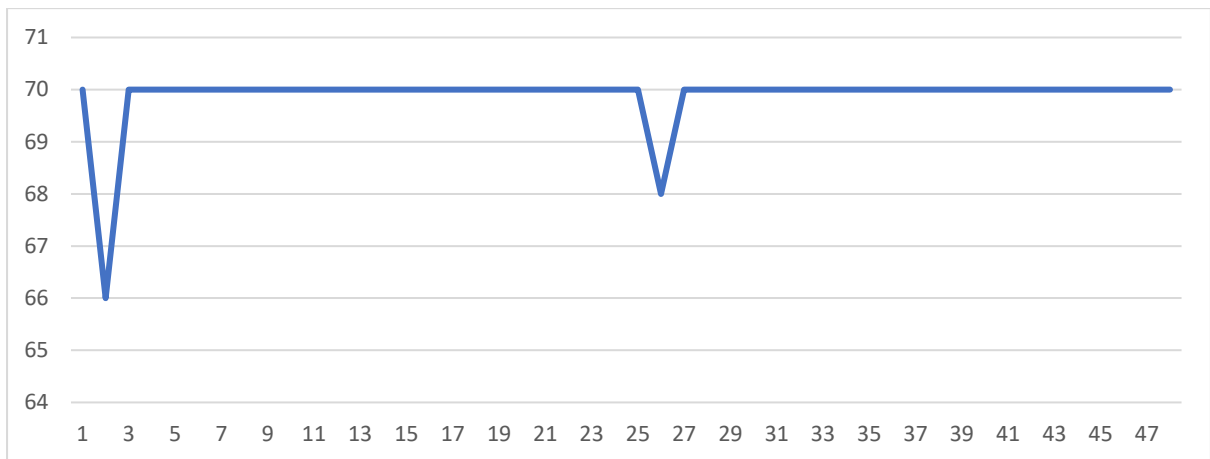


Εικόνα 41 System Utilization

28/10/2019 [600 kbps]

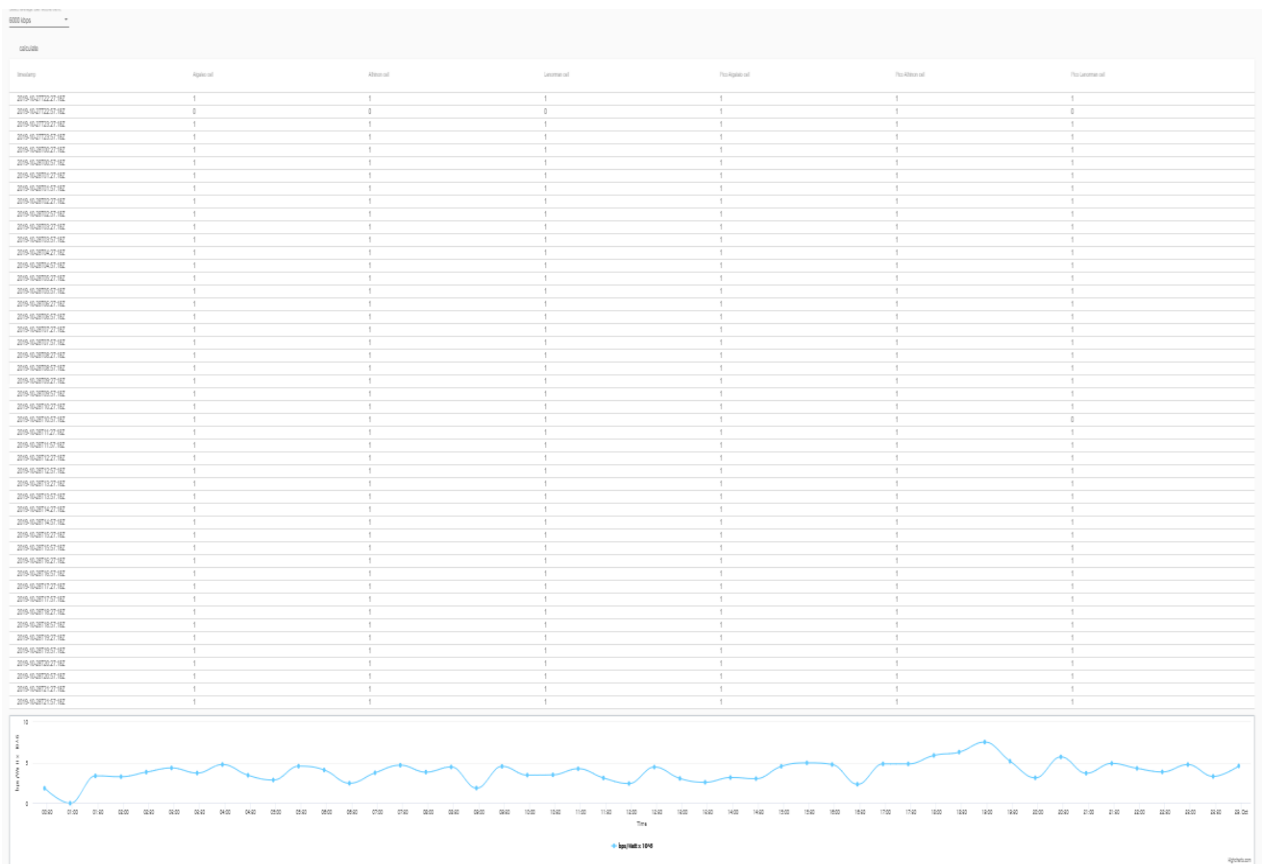


Εικόνα 42 Διάγραμμα Ροής

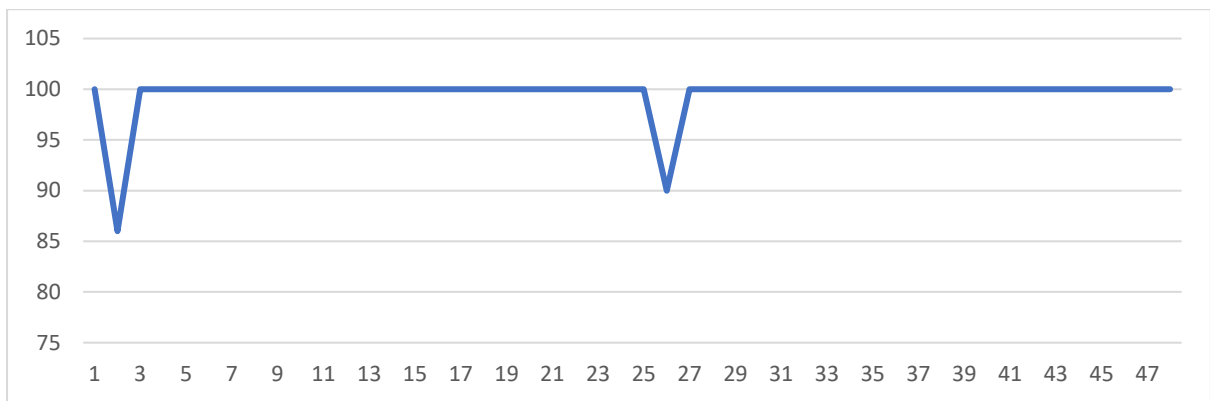


Εικόνα 43 System Utilization

28/10/2019 [6 Mbps]



Εικόνα 44 Παρουσίαση λύσης



Εικόνα 45 System Utilization

Βιβλιογραφία

1. Mobile traffic forecasting for maximizing network slicing resource utilization, IEEE INFOCOM - IEEE Conference on Computer Communications 2017
1. Dynamic cell activation and user association for green 5G heterogeneous cellular networks, IEEE 26th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)
2. Mobile traffic forecasting for maximizing network slicing resource utilization, IEEE INFOCOM - IEEE Conference on Computer Communications 2017
3. QoS-guaranteed Scheduling for Small Cell Networks, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959517300590>
4. Speed, flow and density of motorway traffic, TRL Insight Report INS003
5. Mobile Edge Cloud: Opportunities and Challenges
6. Microservices from theory to practices, IBM Redbooks, [online] Available: <http://www.redbooks.ibm.com/redbooks/pdfs/sg248275.pdf>.
7. Understand the architecture", Docker documentation, [online] Available: <https://docs.docker.com/engine/introduction/understanding-docker/>
8. About Docker", Docker documentation, [online] Available: <https://docs.docker.com/engine/misc/>
9. <https://spring.io/>
10. <https://angular.io/>
11. <https://developer.here.com/>
12. Emerging technologies in software, hardware and management aspects towards the 5G era: Trends and Challenges", 5G Networks: Fundamental Requirements, Enabling Technologies, and Operations Management, Oct. 2018
13. Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, White Paper, pp. 2015-2020, Feb 2016.
14. <https://www.3gpp.org/>
15. <https://hibernate.org/>
16. <https://www.mysql.com/>
17. Mobile Traffic Forecasting for Maximizing 5G Network Slicing Resource Utilization Conference Paper (PDF Available) · May 2017
18. 4G: LTE/LTE-Advanced for Mobile Broadband Second Edition
19. Mobile Edge Computing: Opportunities, solutions, and challenges Article (PDF Available) in Future Generation Computer Systems 70 · September 2016
20. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/fielding_dissertation.pdf