



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ  
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ  
ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*ΣΤΑ ΠΛΑΙΣΙΑ ΤΟΥ*

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟΥ ΔΙΠΛΩΜΑΤΟΣ ΕΙΔΙΚΕΥΣΗΣ  
ΕΠΙΣΤΗΜΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

---

*ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΙΝΗΤΗΣ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑΣ  
ΓΙΑ ΜΕΤΡΗΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗ  
ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΔΙΚΤΥΟΥ WI-FI ΑΠΟ  
ΤΕΛΙΚΟΥΣ ΧΡΗΣΤΕΣ"*

---

ΠΑΠΑΧΡΗΣΤΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

A.M. 1057089

*ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ*

Μπούρας Χρήστος Καθηγητής

*ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΠΙΤΡΟΠΗ*

Μπούρας Χρήστος Καθηγητής

Αλεξίου Γεώργιος Καθηγητής

Μπερμπερίδης Κωνσταντίνος Καθηγητής

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υπεύθυνο καθηγητή της διπλωματικής και καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής της Πολυτεχνικής σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών κ. Χρήστο Ι. Μπούρα για τις πολύτιμες συμβουλές του κατά τη διάρκεια εκπόνησης της μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον μεταδιδάκτορα κ. Βασίλειο Κόκινο, ο οποίος υπήρξε πολύτιμος συνεργάτης και καθοδηγητής μου σε όλη την διάρκεια της προσπάθειας που κατέβαλλα τόσο για τη μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία όσο και για την ερευνητική μου δραστηριότητα.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου για τη στήριξη, βοήθεια και συμπαράσταση που μου παρείχαν καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών μου.

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Κινητή τηλεφωνία, ασύρματα δίκτυα, πρόσβαση σε γρήγορο internet οπουδήποτε και οποτεδήποτε, είναι τεχνολογίες που έχουν αλλάξει δραματικά και ανεπιφύλακτα προς το καλύτερο, τις ζωές όλων μας. Η ανάπτυξη και βελτίωση συστημάτων και εφαρμογών που κάνουν χρήση του ασύρματου δικτύου Wi-Fi αποτελεί έναν εξελισσόμενο τομέα για τη βιομηχανία κινητών εφαρμογών. Στη μεγάλη εξέλιξη και συνεχή μεταβολή του τομέα αυτού συμβάλλουν οι συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις των σύγχρονων καιρών για προσφορά - πληθώρα υπηρεσιών στους πελάτες – χρήστες του σε σύντομο χρονικό διάστημα, ιδιαίτερα σε χώρους όπως πανεπιστήμια (campus) και χώρους συνεδρίων, όπου η προσέλευση του κόσμου είναι μεγάλη όπως και η ανταλλαγή δεδομένων.

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον για τη μελέτη και ανάπτυξη μηχανισμών που θα είναι σε θέση να μετρήσουν με ακρίβεια την απόδοση ενός δικτύου Wi-Fi στους παραπάνω χώρους.

Το σημαντικότερο πρόβλημα που εντοπίζεται στο Wi-Fi όπως έχει παρατηρηθεί μέχρι σήμερα αφορά στη μη ύπαρξη ενός ενιαίου εργαλείου που να είναι σε θέση να μετρήσει την απόδοση του δικτύου στη πλευρά του τερματικού χρήστη. Πιο συγκεκριμένα, εντοπίζεται αδυναμία στα υπάρχοντα εργαλεία που παρέχονται για τον προσδιορισμό του τρόπου με τον οποίο μεμονωμένοι τελικοί χρήστες μπορούν να εκτιμήσουν την πραγματική ταχύτητα και απόδοση του δικτύου Wi-Fi σε ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Έχοντας την παραπάνω ιδέα σαν βάση προχωρήσαμε στην αναζήτηση υπηρεσιών και εφαρμογών που θα μπορούσαν να καλύψουν την παραπάνω ανάγκη, διευκολύνοντας ουσιαστικά τελικούς χρήστες στην μέτρηση της ποιότητας του δικτύου στο οποίο είναι συνδεδεμένοι [1].

Αντικείμενο της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας αποτέλεσε η ανάπτυξη ενός μηχανισμού για την επαλήθευση των επιδόσεων του ασύρματου δικτύου Wi-Fi αξιοποιώντας την τεχνολογία JavaScript, με ταυτόχρονη

αξιοποίηση γνωστών εργαλείων όπως το NetTest &Boomerang σε κινητές συσκευές τύπου smartphones.

Η ανάπτυξη εφαρμογών πραγματοποιήθηκε τόσο για κινητά που υποστηρίζουν λογισμικό Android όσο και για λογισμικό iOS έτσι ώστε να είναι σε θέση χρήστες οποιασδήποτε κινητής πλατφόρμας να κάνουν χρήση των υπηρεσιών μέτρησης της ποιότητας δικτύου Wi-Fi.

Αφού λοιπόν καταγραφεί η μέτρηση από κάποια τερματική συσκευή, τα δεδομένα στέλνονται σε έναν κεντρικό server όπου πραγματοποιείται η αξιολόγηση του δικτύου, καταγράφοντας τη μέτρηση και επιστρέφοντας την ανάλυση της στον χρήστη με γραφικό περιβάλλον.

Επόμενο βήμα είναι η ανάπτυξη και ενσωμάτωση της παραπάνω εφαρμογής σαν εξωτερική βιβλιοθήκη έτσι ώστε σχεδιαστές εφαρμογών κινητής τηλεφωνίας να μπορούν να ενσωματώσουν την παραπάνω ιδέα στην εφαρμογή τους πραγματοποιώντας μέτρηση του δικτύου με τη συγκατάθεση του χρήστη, αλλά χωρίς διακοπή της εργασίας που πραγματοποιεί.

Τέλος παρατίθενται μέθοδοι για την βελτιστοποίηση της ποιότητας ασύρματου δικτύου στα πλαίσια της μεταπτυχιακής εργασίας.

Το τελικό αποτέλεσμα της εργασίας οδήγησε στην υλοποίηση του παραπάνω μηχανισμού μέτρησης της ποιότητας ασύρματου δικτύου Wi-Fi με ταυτόχρονη εφαρμογή τους σε περιβάλλοντα πανεπιστημίων (campus) και συνεδρίων για την εξακρίβωση της σωστής λειτουργίας του.

**Λέξεις κλειδιά:** crowdsourced network performance; performance monitoring; performance verification; wireless network; mobile application;

# ABSTRACT

Mobile telephony, wireless networks, fast internet access anytime, anywhere, are technologies that have changed dramatically and unreservedly for the better, the lives of all of us. Developing and Improving Systems and Applications Using the Wireless Network Wi-Fi is an evolving industry sector for mobile applications. The great evolution and constant change in this sector is contributing to the ever-increasing demands of modern times for offering - a wealth of services to customers - its users in the short term, especially in campuses and conference venues where the presence of the world is great as the exchange of data.

In recent years, there has been considerable research interest in the study and development of mechanisms that will be able to accurately measure the performance of a Wi-Fi network in the above areas.

The most important problem identified in Wi-Fi, as has been observed so far, is the lack of a single tool that will be able to measure network performance on the end user side. In particular, there is a weakness in the existing tools provided to determine how individual end-users can estimate the actual speed and performance of the Wi-Fi network over a certain period of time. Having the above idea as the basis, we have searched for services and applications that could meet the above need, effectively enabling end-users to measure the quality of the network to which they are connected [1].

The purpose of this postgraduate thesis was to develop a mechanism for verifying the performance of the Wi-Fi wireless network using JavaScript technology, using well-known tools such as NetTest & Boomerang on smartphones.

Application development was made for both Android and iOS software, so that users of any mobile platform can use the Wi-Fi quality-quality network.

After logging or counting from some terminal equipment, the data is sent to a central server where the network evaluation is performed, recording the measurement and restoring its analysis to the user with a graphical environment.

The next step is to develop and integrate the application as an external library so that mobile application designers can integrate the above idea into their application by making the network measurement with the user's consent but without interrupting the work it performs.

Finally, there are methods for optimizing the quality of the wireless network in the context of postgraduate work.

The final result of the work has led to the implementation of the above-mentioned Wi-Fi wireless quality measurement device, while being implemented in university venues and meetings to verify its proper functioning.

**Keywords:** crowdsourced network performance; performance monitoring; performance verification; wireless network; mobile application;

# ΔΗΜΟΣΙΕΥΣΕΙΣ

## Εκτός ΜΔΕ:

"Utilization of hybrid access femtocells during multicast transmissions in mobile networks", C. Bouras, N. Kanakis, V. Kokkinos, N. Papachristos and D. Vouyioukas, *2016 European Conference on Networks and Communications (EuCNC)*, Athens, 2016, pp. 190-194.

## Περίληψη:

Τα femtocells ενισχύουν την εσωτερική κάλυψη των υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας χρησιμοποιώντας τη ευρυζωνική σύνδεση του κάθε χρήστη. Αρχικά είχαν σχεδιαστεί για να εξυπηρετούν έναν αριθμό εγγεγραμμένων συσκευών χρηστών εντός της εμβέλειάς τους. Αυτός ο σχεδιασμός ωστόσο οδήγησε σε μη σωστή χρήση των πόρων των femtocells και ταυτόχρονα σε υψηλά επίπεδα παρεμβολών για τους μη εγγεγραμμένους χρήστες. Σήμερα, τα femtocells μπορούν να υποστηρίξουν μεταδόσεις πολυεκπομπής, ενώ η υβριδική λειτουργία τους επιτρέπει στους μη εγγεγραμμένους χρήστες να χρησιμοποιήσουν ένα μέρος των πόρων τους. Στο συγκεκριμένο paper προτείνουμε ένα νέο μηχανισμό που βασίζεται στην επιλογή του κατάλληλου μηχανισμού για μετάδοση δεδομένων. Ο μηχανισμός επιτρέπει στους μη εγγεγραμμένους χρήστες να χρησιμοποιήσουν ένα μέρος των πόρων του femtocells για εκπομπές πολυεκπομπής όταν βρίσκονται εντός της κάλυψής τους, χωρίς να επηρεάζεται η ποιότητα υπηρεσίας των υπόλοιπων χρηστών. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης δείχνουν ότι, ανάλογα με το τμήμα των πόρων του femtocells που διατίθενται σε μη εγγεγραμμένους χρήστες, ο μηχανισμός μπορεί να αυξήσει σημαντικά τη μέση απόδοση του χρήστη.

“Comparison of Point to Point and MBSFN transmissions in Next Generation Mobile Networks”, Christos Bouras, Nikos Kanakis, Vasileios Kokkinos, Nikolaos Papachristos, and Demosthenes Vouyioukas. In Proceedings of the 14th ACM International Symposium on Mobility Management and Wireless Access (MobiWac '16). ACM, New York, NY, USA, 2016, 169-172

Περίληψη:

Η Multicast / Broadcast Multicast Service over Single Frequency Network (MBSFN) έχει εισαγάγει προηγμένες δυνατότητες εκπομπής σε κυψελοειδή συστήματα. Στα συστήματα Long Term Evolution Advanced (LTE-A), η μετάδοση MBSFN δημιουργεί ομάδες πολυεκπομπής σε αναζήτηση ίδιων δεδομένων. Σε αυτή την εργασία συγκρίνουμε την παραδοσιακή επικοινωνία σημείου προς σημείο (PTP) με τις υπηρεσίες MBSFN μέσω πειραμάτων προσομοίωσης για διάφορες διανομές femtocell και διαμορφώσεις δικτύου. Η σύγκριση λαμβάνει υπόψη τη μέση απόδοση, το γενικό κόστος μετάδοσης, την κατανάλωση ενέργειας και την αύξηση της χωρητικότητας, καταλήγοντας στο συμπέρασμα ότι το MBSFN μέσω της μετάδοσης πολυεκπομπής μπορεί να εγγυηθεί τη βελτίωση της απόδοσης ακόμη και για τους χρήστες στα όρια των κυψελών.

"WiFiMon app measuring Wi-Fi performance as experienced by end-users", K. Baumann, C. Bouras, V. Kokkinos, N. Papachristos and K. Stamos, 2017 24th International Conference on Telecommunications (ICT), Limassol, 2017, pp. 1-5.

Περίληψη:

Η μέτρηση της ποιότητας και της αποτελεσματικότητας ενός ασύρματου δικτύου Wi-Fi είναι ιδιαίτερα δύσκολη, καθώς δεν υπάρχει εργαλείο που να μπορεί να καταγράφει μετρήσεις από όλες τις πλευρές του συστήματος, δηλαδή από το σημείο πρόσβασης και τον τελικό χρήστη. Τα υπάρχοντα εργαλεία είναι σε θέση να παρακολουθούν τη συνολική ποιότητα του ασύρματου δικτύου, παρόλο που δεν μπορούν να καθορίσουν τον τρόπο με τον οποίο οι τελικοί χρήστες βιώνουν την ποιότητα του Wi-Fi σε ένα συγκεκριμένο τμήμα του δικτύου σε μια δεδομένη στιγμή. Στην παρούσα εργασία παρουσιάζουμε ένα νέο εργαλείο, το οποίο ονομάζεται WiFiMon, το οποίο επιτρέπει τη μέτρηση, την καταγραφή και την εξαγωγή στατιστικών στοιχείων σχετικά με την ποιότητα ενός δικτύου Wi-Fi όπως τη βιώνουν οι τελικοί χρήστες. Οι μετρήσεις ενεργοποιούνται από τους τελικούς χρήστες όταν επισκέπτονται ιστότοπους με δυνατότητα WiFiMon ή / τρέχοντας κινητές εφαρμογές με δυνατότητα WiFiMon και καταγράφονται χωρίς την παρέμβαση των χρηστών. Κύριος στόχος του WiFiMon είναι να δώσει στους παρόχους δικτύων μια καλύτερη επισκόπηση του τρόπου με τον οποίο οι τελικοί χρήστες βιώνουν τις συνθήκες του δικτύου Wi-Fi.

“Extension to Middleware for IoT Devices, with Applications in Smart Cities” Bouras C., Kapoulas V., Kokkinos V., Leonardos D., Pipilas C., Papachristos N. In: Longo A. et al. (eds) Cloud Infrastructures, Services, and IoT Systems for Smart Cities. , (2018) IISSC 2017, CN4IoT 2017

Περίληψη:

Αυτή η εργασία προτείνει επεκτάσεις του Wubby (πλατφόρμα λογισμικού για συσκευές IoT, τεχνολογία που αναπτύχθηκε από την Econais A.E.) για την υποστήριξη ασύρματων μονάδων για κινητά δίκτυα (4 G / LTE-A και υποστήριξη των επικείμενων 5 G). Η προτεινόμενη επέκταση εικμεταλλεύεται τη χρήση τέτοιων μονάδων (modules), καθώς επιτρέπει τον εύκολο προγραμματισμό και την επαναχρησιμοποίηση του υπάρχοντος κώδικα. Προσθέτει έτσι στη συνέχεια ένα στρώμα συμβατότητας στις διάφορες ενότητες, καθώς αποτελεί ένα κοινό σύνολο κατηγοριών για τις ασύρματες μονάδες. Το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υποστηρίξει δικτυώσεις μιας ποικιλίας εφαρμογών και συσκευών IoT, συμπεριλαμβανομένων εφαρμογών για Smart Cities, χρησιμοποιώντας μια ποικιλία συσκευών IoT. Αυτό το έργο υποδηλώνει μια περίπτωση που επικεντρώνεται στην παρακολούθηση της ποιότητας του αέρα σε smart cities.

#### Υπο αξιολόγηση:

"WiFiMon: A Tool for Wi-Fi Performance Monitoring and Verification", K. Baumann, C. Bouras, V. Kokkinos, N. Papachristos and K. Stamos, (Wireless Networks)

#### Περίληψη:

Η μέτρηση της ποιότητας ενός ασύρματου δικτύου όπως τη βιώνουν οι τελικοί χρήστες είναι αρκετά δύσκολη, καθώς δεν υπάρχει ένα διαθέσιμο εργαλείο που να μπορεί να καταγράφει μετρήσεις από όλες τις πλευρές του συστήματος. Για να καλυφθεί αυτό το κενό, υπάρχει ανάγκη καλύτερης κατανόησης της συμπεριφοράς των προβλημάτων απόδοσης δικτύου καθώς και των απαιτήσεων για την ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) από την μεριά των χρηστών σε ασύρματα δίκτυα, ειδικά σε ιστότοπους που εξυπηρετούν μεγάλο αριθμό

χρηστών, όπως πανεπιστημιούπολεις ή συνεδριακούς χώρους. Η προσέγγιση που παρουσιάζεται σε αυτό το ερευνητικό έργο βασίζεται στην αλληλεπίδραση των τελικών χρηστών, παρέχοντας την ευκαιρία απεικόνισης της απόδοσης του δικτύου σε πραγματικό χρόνο. Παρουσιάζουμε αρχικά μια ανασκόπηση του αναπτυγμένου εργαλείου, το οποίο αποκαλούμε WiFiMon και το οποίο έχει τη δυνατότητα να καταγράφει μετρήσεις και να εξάγει στατιστικά στοιχεία σχετικά με την ποιότητα του δικτύου Wi-Fi όπως την αντιλαμβάνονται οι τελικοί χρήστες. Στην περίπτωση του WiFiMon, οι μετρήσεις ξεκινούν από τους τελικούς χρήστες - χωρίς την παρέμβασή τους - αφού επισκέπτονται μια ιστοσελίδα ή χρησιμοποιούν κινητές εφαρμογές. Το WiFiMon στοχεύει να δώσει μια σαφή κατανόηση των συνθηκών του δικτύου Wi-Fi στις οποίες συνδέονται οι τελικοί χρήστες, μετρώντας συγκεκριμένες παραμέτρους του δικτύου μέσω της τεχνολογίας JavaScript, όπως η λήψη / μεταφόρτωση της χωρητικότητας και ο χρόνος μετ'επιστροφής και η συσχέτιση αυτών των μετρήσεων με τα δεδομένα από διάφορα αρχεία καταγραφής για να λάβουμε πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την απόδοση του δικτύου. Τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν τη λειτουργικότητα του προτεινόμενου εργαλείου και την επεκτασιμότητά του σε ιστότοπους που περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό σημείων ασύρματης πρόσβασης.

"MCS Selection Exploiting Femtocells Utilization in Multicast Transmissions", C. Bouras, N. Kanakis, V. Kokkinos, N. Papachristos and D. Vouyioukas, (International Journal of Communication Systems) - Under Review

Περίληψη:

Η τεχνολογία Multicast Broadcast over Single Frequency Network (MBSFN), όπως παρουσιάστηκε από την Long Term Evolution Advanced (LTE-A), αναμένεται να είναι μέρος των επερχόμενων κυψελωιδών

συστημάτων που προσφέρουν σημαντικά οφέλη στις υπηρεσίες εκπομπής. Η μετάδοση MBSFN είναι κατάλληλη για την εξυπηρέτηση ομάδων πολυεκπομπής που αναζητούν το ίδιο περιεχόμενο. Επιπλέον, η ταχέως αναδυόμενη τεχνολογία των δικτύων femtocells και η υβριδική φύση τους μπορεί να οδηγήσει σε αποδοτική ανταλλαγή πόρων μεταξύ μη εγγεγραμμένων χρηστών όταν βρίσκονται μέσα στην κάλυψή τους. Η παρούσα εργασία έχει δύο στόχους. Αρχικά τρέξαμε πειράματα προσομοίωσης για να συγκρίνουμε τη μετάδοση MBSFN με την παραδοσιακή μετάδοση PTP για διάφορες κατανομές femtocell και αλλαγές τοπολογίας δικτύου. Δεύτερον, προτάθηκε ένας νέος μηχανισμός μετάδοσης πολυεκπομπής από μη εγγεγραμμένους χρήστες που εκμεταλλεύονται πόρους femtocells για υπηρεσίες πολυμεσιών μεταδόσεων, χωρίς να περιορίζουν τις απαιτήσεις δεδομένων των χρηστών. Τα αποτελέσματα προσομοίωσης οδηγούν σε σημαντική απόδοση του συστήματος σε μετρικές όπως μέση απόδοση, συνολική χωρητικότητα και κατανάλωση ενέργειας.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>1. Εισαγωγή.....</b>	<b>19</b>
<b>2. Ασύρματη επικοινωνία .....</b>	<b>22</b>
2.1 Ασύρματη επικοινωνία.....	23
2.2 Το πρότυπο IEEE 802.11 .....	25
2.2.1 IEEE 802.11b .....	27
2.2.2 IEEE 802.11a.....	27
2.2.3 IEEE 802.11g.....	28
2.2.4 Άλλα πρότυπα 802.11.....	28
2.3 Wi-Fi.....	29
2.4 Σημασία ασυρμάτου δικτύου (Wi-Fi).....	30
2.4.1 Η ανάγκη για ασύρματο δίκτυο .....	30
2.4.2 Χρήση του Wi-Fi μέσω <i>eduroam</i> .....	32
2.5 Ισχύς ασυρμάτου δικτύου .....	33
2.5.1 Σημασία σχεδιασμού ασυρμάτου δικτύου .....	33
2.5.2 Απαιτήσεις και μεταβλητές ασυρμάτου δικτύου .....	34
2.5.3 Κατανόηση της ισχύος του σήματος .....	34
2.5.4 Ιδανική ισχύς σήματος .....	35
<b>3. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας .....</b>	<b>37</b>
3.1 Geant project και WiFiMon.....	38
3.1.1 Λειτουργία και χρήση τουWiFiMon.....	38
3.1.2 Χρήση του WiFiMon από οργανισμούς εθνικού δικτύου έρευνας και εκπαίδευσης .....	37

3.1.3 Σχετικά εργαλεία.....	39
<b>4. Αρχιτεκτονική WiFiMon.....</b>	<b>42</b>
4.1 Διαδικασία καταγραφής μέτρησης.....	46
4.1.1 Μέτρα για την αποφυγή περιττών/επανειλημμένων μετρήσεων.	49
4.2 Υποστηριζόμενες πλατφόρμες .....	51
4.2.1 Πρόβλημα ανάπτυξης πολλαπλών πλατφορμών.....	51
<b>5. Θέματα υλοποίησης.....</b>	<b>56</b>
5.1 WiFiMon mobile εφαρμογή.....	57
5.2 Διαδικασία μέτρησης μέσω του WiFiMon App .....	59
5.3 WiFiMon λογισμικό και η διαδικασία της εφαρμογής .....	61
5.4 Το WiFiMon ως εξωτερική βιβλιοθήκη .....	65
<b>6. Περιγραφή λειτουργικότητας.....</b>	<b>66</b>
6.1 Η περίπτωση του DCU .....	67
<b>7. Μελέτη απόδοσης .....</b>	<b>75</b>
<b>8. Συμπεράσματα .....</b>	<b>84</b>
<b>9. Μελλοντική εργασία .....</b>	<b>87</b>
<b>10. Βιβλιογραφία .....</b>	<b>90</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....</b>	<b>93</b>

## AKPΩNYMA

W-LAN	Wireless LAN
OSI	Open Systems Interconnection
MAC	Media Access Control
FHSS	Frequency-hopping spread spectrum
DSSS	Direct-sequence spread spectrum
U-NII	Unlicensed National Information
OFDM	Orthogonal frequency-division
DCS	Distributed Control System
TPC	Transmitter Power Control
QoS	Quality of System
GUI	Graphical User Interface
SNMP	Simple Network Management
NREN	National Research and Education
RSSI	Received signal strength indication
IDE	Integrated Drive Electronics
HTML	HyperText Markup Language
CSS	Cascading Style Sheets
API	Application Programming Interface
WAP	Wireless Application Protocol
NMS	Network monitoring system
RTT	Round-trip time
RDB	Relational Database
AE	Analytic Engine
IP	Internet Protocol
DHCP	Dynamic Host Configuration
VLAN	Virtual LAN
JSON	JavaScript object notation

## Κατάλογος Εικόνων

<u>Εικόνα 1:</u> Διαδικασία WiFiMon.....	45
<u>Εικόνα 2:</u> Flow Cart αρχιτεκτονικής .....	47
<u>Εικόνα 3:</u> Μετρήσεις και συσχέτιση με logs.....	47
<u>Εικόνα 4:</u> WiFiMon πρόσφατες μετρήσεις.....	48
<u>Εικόνα 5:</u> Διαδικασία μέτρησης .....	51
<u>Εικόνα 6:</u> GEANT WiFi Monitoring Agent .....	57
<u>Εικόνα 7:</u> Η Αρχιτεκτονική της εφαρμογής WiFiMon.....	60
<u>Εικόνα 8:</u> WiFiMon Android UI.....	62
<u>Εικόνα 9:</u> Σελίδα διαμόρφωσης εφαρμογής WiFiMon.....	63
<u>Εικόνα 10:</u> Μήνυμα απόκρισης εφαρμογής WiFiMon.....	64
<u>Εικόνα 11:</u> Download & Upload Throughput.....	69
<u>Εικόνα 12:</u> Round Trip Time.....	70
<u>Εικόνα 13:</u> Download & Upload Throughput per AP MAC .....	71
<u>Εικόνα 14:</u> Download & Upload Throughput per NAS port type .....	71
<u>Εικόνα 15:</u> Download & Upload Throughput per Client MAC.....	73
<u>Εικόνα 16:</u> Download & Upload Throughput per OS.....	74
<u>Εικόνα 17:</u> Download & Upload Throughput per browser.....	74

<b><u>Εικόνα18:</u></b> Ληφθείσες μετρήσεις ανά λεπτό .....	80
<b><u>Εικόνα 19:</u></b> Disk space increase (καταγραφή κάθε 30 λεπτά) .....	81
<b><u>Εικόνα 20:</u></b> WiFiMon Web UI : Load time για μετρήσεις .....	81
<b><u>Εικόνα 21:</u></b> WiFiMon Web UI : Load time για τις σελίδες του Grafana.....	82

# Κατάλογος Πινάκων

<u>Πίνακας 1</u> : Ασύρματες 802.11 τεχνολογίες.....	29
<u>Πίνακας 2</u> : Αντιστοιχία dB - ισχύος.....	35
<u>Πίνακας 3</u> : Ένταση, χρήσεις και απαιτήσεις ασυρμάτου δικτύου .....	35
<u>Πίνακας 4</u> : Περιεχόμενα Javascript και Radius logs.....	50
<u>Πίνακας 5</u> : Προδιαγραφή προσομοίωσης .....	76
<u>Πίνακας 6</u> : Αποτελέσματα απόδοσης .....	77
<u>Πίνακας 7</u> : Χρόνος φόρτωσης GUI WiFiMon GUI.....	78

# 1. Εισαγωγή

---

## 1.1 Εισαγωγή

Τα τελευταία χρόνια σημειώθηκε σημαντική αύξηση στον αριθμό των συσκευών που χρησιμοποιούν οι χρήστες καθημερινά για να σερφάρουν στο διαδίκτυο να χρησιμοποιήσουν τα κοινωνικά δίκτυα ή ακόμα και για να κάνουν χρήση διαφόρων εφαρμογών, οι οποίες χρειάζονται πρόσβαση στο διαδίκτυο. Έξυπνες συσκευές, όπως τα smartphones και τα tablets, έχουν γίνει αναπόσπαστο κομμάτι της ανθρώπινης ζωής ως αποτελεσματικά εργαλεία επικοινωνίας.

Επομένως, είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε τις απαιτήσεις των τελικών χρηστών που είναι συνδεδεμένοι σε ένα συγκεκριμένο δίκτυο Wi-Fi, προκειμένου να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις τους για συνεχή δικτύωση. Η ικανότητα μέτρησης και επαλήθευσης της ποιότητας του ασύρματου δικτύου (Wi-Fi) που αντιμετωπίζουν οι τελικοί χρήστες είναι αρκετά δύσκολη, καθώς δεν υπάρχει ένα ενιαίο εργαλείο που να παρακολουθεί την ποιότητα του παρεχόμενου δικτύου από την οπτική γωνία του τελικού χρήστη. Από στατιστικής απόψεως, η μεγάλη ποσότητα δεδομένων (από δραστηριότητες τελικού χρήστη) μας επιτρέπει να αναλύουμε τις επιδόσεις ενός ασύρματου δικτύου, ακόμη και σε περιοχές που είναι πολυάριθμες όπως πανεπιστημιούπολεις ή συνεδριακοί χώροι. Σε αυτές τις ακραίες περιπτώσεις, οι χρήστες συνήθως αντιμετωπίζουν ορισμένα προβλήματα με την απόδοση του ασύρματου δικτύου. Το εργαλείο WiFiMon αντικείμενο μελέτης και ανάπτυξης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, το οποίο υλοποιείται από το GEANT, αποτελεί λύση στο πρόβλημα αυτό και προσπαθεί να καλύψει το χάσμα της απόδοσης του δικτύου όπως βιώνουν οι τελικοί χρήστες.

Το WiFiMon προσπαθεί να ενισχύσει τον τρόπο παρακολούθησης της ποιότητας του ασύρματου δικτύου σε ένα καλύτερο επίπεδο συγκριτικά με παρόμοια εργαλεία. Η κύρια εστίαση είναι στη βελτίωση της επαλήθευσης των μετρήσεων, της φιλικής προς το χρήστη ανάπτυξης διεπαφής, της ανάπτυξης

της εφαρμογής για κινητές συσκευές και του WiFiMon ως Υπηρεσίας (αυτοματοποίηση υπηρεσιών). Πρόκειται για ένα εργαλείο που απευθύνεται κυρίως σε διαχειριστές ασύρματων δικτύων, δεδομένου ότι η δυνατότητα απεικόνισης των δεδομένων που συλλέγονται μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένη λήψη αποφάσεων και αποδοτική εγκατάσταση σημείων πρόσβασης και σταθμών βάσης. Η παρούσα διπλωματική εργασία διαρθρώνεται ως εξής. Στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια αναφορά στην ασύρματη επικοινωνία εστιάζοντας στο πρωτόκολλο IEEE 802.11 και τη σημασία της ποιότητας ισχύος του δικτύου. Στη συνέχεια στο κεφάλαιο 3, γίνεται μια ανασκόπηση στη βιβλιογραφία για σχετικά εργαλεία ενώ στο κεφάλαιο 4 γίνεται μια αναφορά στο έργο του GEANT καθώς και μια εκτεταμένη εισαγωγή στο αντικείμενο μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας που είναι η εφαρμογή WiFiMon. Στο κεφάλαιο 4 αναφερόμαστε στην αρχιτεκτονική του συστήματος που χρησιμοποιείται στο WiFiMon ενώ στο κεφάλαιο 5, αναφερόμαστε σε θέματα υλοποίησης και τρόπους ενσωμάτωσης της εφαρμογής. Τα κεφάλαια 6 και 7 αντίστοιχα αναφέρονται σε πειράματα που πραγματοποιήθηκαν για να εξακριβώσουν την παραδοχή μας σχετικά με την μέτρηση της ποιότητας δικτύου μέσω μίας εφαρμογής που κάνει χρήση javascript. Τέλος στα κεφάλαια 8 και 9 έχουμε τα συμπεράσματα και τη μελλοντική εργασία ενώ στο κεφάλαιο 10 υπάρχει μία εκτεταμένη βιβλιογραφία στην οποία στηριχθήκαμε για την ανάπτυξη του εργαλείου WiFiMon.

## 2. Ασύρματη επικοινωνία

---

## 2.1 Ασύρματη επικοινωνία

Παρότι οι λύσεις ενσύρματης δικτύωσης παρείχαν ικανές επιδόσεις, ήταν ανεπαρκείς σε αρκετές περιπτώσεις εφαρμογών. Η ευελιξία που παρέχουν οι ασύρματες τεχνολογίες φάνηκε από νωρίς πως θα άνοιγε ένα τεράστιο πεδίο νέων εφαρμογών. Παράλληλα, η τεχνολογική εξέλιξη, έκανε δυνατή την παραγωγή συσκευών με πολύ μικρό κόστος και σε μεγάλες ποσότητες. Το αποτέλεσμα όλων αυτών είναι ότι την τελευταία δεκαετία βιώνουμε την όλο και πιο έντονη παρουσία των ασύρματων τεχνολογιών.

Γιατί ασύρματη δικτύωση; Η χρήση ασύρματου μέσου μετάδοσης έχει μία σειρά από πλεονεκτήματα:

### i) Κινητικότητα χρήση

Οι χρήστες μπορούν να μετακινούνται εντός της εμβέλειας του ασύρματου δικτύου, δηλαδή σε χώρο που θα έχουν επαρκές σήμα, διατηρώντας την συνδεσιμότητά τους με αυτό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μεγαλύτερη παραγωγικότητα - αποτελεσματικότητα στο εργασιακό περιβάλλον και όχι μόνο.

### ii) Ευκολία, ευελιξία και απλότητα εγκατάστασης

Δεν χρειάζονται πολύπλοκες εγκαταστάσεις. Μπορεί να γίνει η δικτύωση σε μέρη όπου η καλωδίωση θα ήταν αδύνατη. Η εγκατάσταση στις περισσότερες περιπτώσεις μπορεί να γίνει εύκολα αν ακολουθηθούν κάποιοι βασικοί κανόνες εγκατάστασης.

### iii) Κλιμάκωση, δυνατότητα επέκτασης

Τα ασύρματα δίκτυα μπορούν να διαρθρωθούν σε ένα πλήθος από τοπολογίες, ώστε να ταιριάζουν στις απαιτήσεις των εφαρμογών. Οι τοπολογίες αλλάζουν εύκολα και επεκτείνονται από απλά δίκτυα με μικρό αριθμό χρηστών,

ως μεγάλες δομές δικτύων με εκατοντάδες χρήστες και δυνατότητα περιαγωγής (roaming) και επεκτεινόμενους clusters.

#### iv) Κόστος

Παρόλο που το αρχικό κόστος εγκατάστασης είναι υψηλότερο σε σχέση με λύσεις ενσύρματης δικτύωσης, το κόστος για όλη τη διάρκεια ζωής της επένδυσης μπορεί να είναι μικρότερο, ιδιαίτερα σε δυναμικό περιβάλλον που απαιτεί συχνές αλλαγές, αναδιαρθρώσεις και μετακινήσεις. Επιπλέον το κόστος υλοποίησης - εγκατάστασης και συντήρησης - διαχείρισης του δικτύου είναι πολύ μικρό. Το σημαντικότερο κομμάτι του κόστους είναι η αγορά του εξοπλισμού. Επίσης με την εμφάνιση περισσότερων κατασκευαστών και τον έντονο ανταγωνισμό μεταξύ τους το κόστος έχει πέσει αισθητά, ενώ παράλληλα οι συσκευές έχουν αποκτήσει περισσότερα ποιοτικά χαρακτηριστικά. Έτσι, ενώ το 1998 ένα σημείο πρόσβασης (Access Point) είχε κόστος 1000-2000\$, τώρα έχει κόστος δέκα φορές μικρότερο. Μάλιστα τα περιθώρια κέρδους έχουν συμπιεστεί σε πολύ μεγάλο βαθμό για τους κατασκευαστές, προς όφελος βέβαια του καταναλωτή.

#### v) Ταχύτητες μετάδοσης

Όσο αναπτύσσεται η τεχνολογία, γίνεται δυνατή η μετάδοση μεγαλύτερων ρυθμών δεδομένων. Ήδη ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, από τα 2Mbps που μπορούσαν να επιτευχθούν αρχικά, έφτασε σήμερα σε ταχύτητες πάνω από 100Mbps ενώ ήδη έχουν εξαγγελθεί ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες.

#### vi) Αξιοπιστία - ανεξαρτησία

Ένα ασύρματο δίκτυο κατάλληλα διαμορφωμένο μπορεί να έχει μεγάλη αξιοπιστία. Έτσι μπορεί να σχεδιαστεί έτσι ώστε να εξακολουθεί να δουλεύει

ακόμα και όταν συμβαίνουν διακοπές ρεύματος περιλαμβάνοντας πολλές εναλλακτικές διαδρομές.

### vii) Εμβέλεια

Η εμβέλεια ενός ασύρματου δικτύου σε περιβάλλον γραφείου μπορεί να είναι μερικές δεκάδες μέτρα. Τα ραδιοκύματα σε εσωτερικό χώρο έχουν να διαπεράσουν τοίχους και οροφές οπότε υφίστανται σημαντική απόσβεση. Σε ανοικτό χώρο όπου υπάρχει οπτική επαφή ανάμεσα στις ασύρματες συσκευές, οι αποστάσεις που μπορεί να καλυφθούν είναι μεγαλύτερες.

### viii) Συμβατότητα με το υπάρχον δίκτυο

Τα περισσότερα ασύρματα δίκτυα έχουν προτυποποιημένο τρόπο σύνδεσης με τα υπάρχοντα ενσύρματα δίκτυα. Έτσι, η προσθήκη ασύρματης δικτύωσης σε υπάρχουσες δομές δικτύων μπορεί να γίνει με τον ευκολότερο τρόπο. Πολλές φορές δε, αποτελούν επέκταση ενός ενσύρματου δικτύου.

## **2.2 Το πρότυπο IEEE 802.11**

Αρχικά, το πρότυπο ήταν μέρος του προτύπου IEEE 802.4, με ονομασία 802.4L. Το 1990, η ομάδα του 802.4L μετονομάστηκε σε IEEE 802.11 WLAN Project Committee που δημιούργησε το ανεξάρτητο πρότυπο 802 που περιελάμβανε τρία specification για το φυσικό επίπεδο (PHY) και ένα κοινό στο επίπεδο MAC. Ο στόχος του 802.11 ήταν να υπάρχει συμβατότητα μεταξύ των προϊόντων ασύρματης δικτύωσης, κατά αντιστοιχία με το πρότυπο 802.3 για την ενσύρματη δικτύωση. Στη συνέχεια δημιουργήθηκαν υποπρότυπα του IEEE 802.11, όπως το IEEE 802.11a, IEEE 802.11b, IEEE 802.11e, IEEE 802.11f, IEEE 802.11g, IEEE 802.11n. Σήμερα τα ασύρματα δίκτυα που βασίζονται σε αυτήν την οικογένεια προτύπων είναι τα πλέον διαδεδομένα, ενώ κυκλοφορεί μεγάλη ποικιλία σχετικών προϊόντων στην αγορά.

Η 802.11 δημιουργήθηκε τον Ιούνιο του 1997 και αποτελεί μια οικογένεια προτύπων που περιγράφουν τη λειτουργία ασύρματων τοπικών δικτύων (WLAN, Wireless Local Access Network). Περιγράφονται τα δύο πρώτα επίπεδα του OSI, δηλαδή το φυσικό επίπεδο (PHY, Physical Layer) και το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (MAC, Medium Access Control). Τα πρωτόκολλα αυτά δημοσιεύονται από την IEEE γεγονός που είναι σημαντικό για την διαλειτουργικότητα, δηλαδή την ικανότητα συνεργασίας των συσκευών που το ακολουθούν.

Όπως όλα τα 802.x πρότυπα, έτσι και το 802.11 επικεντρώνεται στα δύο χαμηλότερα στρώματα του μοντέλου OSI ( Open System Interconnection ), δηλαδή στο φυσικό στρώμα (Physical Layer-PHY) και στο υπόστρωμα MAC (Medium Access Control-Ελέγχου προσπέλασης μέσου) του στρώματος διασύνδεσης δεδομένων (Data Link Layer) .

Η IEEE 802.11 περιγράφει μόνο τα δύο κατώτερα επίπεδα του OSI, επιτρέποντας έτσι σε οποιαδήποτε εφαρμογή να εργάζεται πάνω σε συσκευή 802.11 όπως ακριβώς θα εργαζόταν πάνω από Ethernet. Οι συσκευές 802.11 δηλαδή μεταφέρουν διαφανώς την πληροφορία από τα πιο πάνω επίπεδα του OSI.

Το 1997, μετά από επτά χρόνια μελέτης, η IEEE δημοσίευσε το πρότυπο IEEE 802.11, το πρώτο πρότυπο για ασύρματη δικτύωση. Το πρότυπο αυτό προβλέπει ρυθμούς μετάδοσης 1 και 2 Mbps. Η μετάδοση γίνεται με ασύρματο τρόπο με χρήση διαμόρφωσης FHSS ή DSSS σε ζώνες συχνοτήτων 915MHz, 2.4GHz, 5.2GHz ή υπέρυθρη μετάδοση στα 850nm ως 900nm. Υποστηρίζει δυνατότητες όπως προτεραιοποίηση της κίνησης, υποστήριξη εφαρμογών πραγματικού χρόνου και διαχείριση ισχύος συσκευής. Το πρότυπο γνώρισε περιορισμένη επιτυχία λόγω των πολύ χαμηλών ρυθμών μετάδοσης.

### **2.2.1 IEEE 802.11b**

Αναπτύχθηκε το 1999 και αποτελεί μια επέκταση στο αρχικό πρότυπο. Συγκεκριμένα υποστηρίζει μετάδοση επιπλέον σε ρυθμούς 5.5 και 11Mbps με κωδικοποίηση CCK (Complementary Code Keying). Μια δεύτερη κωδικοποίηση, PBCC (Packet Binary Convolutional Code) ορίστηκε για προαιρετική υλοποίηση υποστηρίζοντας μετάδοση 5.5 και 11Mbps και έχοντας ελαφρά καλύτερη ευαισθησία δέκτη με αντίτιμο την πολυπλοκότητα. Η μετάδοση γίνεται στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz. Είναι το πιο δημοφιλές από όλα τα πρότυπα και το πρότυπο με τη μεγαλύτερη διαλειτουργικότητα, το οποίο είναι ένα αποτελεσματικό και δοκιμασμένο πρότυπο. Οι προσθήκες της 802.11b σε σχέση με την 802.11 αφορούν μόνο τον τρόπο μετάδοσης, ενώ ο τρόπος πρόσβασης των συσκευών και οι τρόποι λειτουργίας μένουν οι ίδιοι. Μία συσκευή που λειτουργεί ακολουθώντας το 802.11b, υλοποιεί και τους τρόπους μετάδοσης του 802.11 και έτσι είναι συμβατή με αυτό. Αυτή η ιδιότητα ονομάζεται συμβατότητα προς τα πίσω, δηλαδή ότι οι καινούργιες συσκευές θα μπορούν να συνεργαστούν και με παλιότερες, προκειμένου να μην αναγκαστεί ο καταναλωτής να αλλάξει εξ ολοκλήρου τον εξοπλισμό του .

### **2.2.2 IEEE 802.11a**

Το 1999 δημιουργήθηκε η επέκταση στο αρχικό πρότυπο που προβλέπει μετάδοση στη ζώνη συχνοτήτων U-NII των 5GHz με ρυθμούς μετάδοσης 1, 2, 5.5, 11, 6, 12, 24 Mbps και προαιρετικά 36, 48, 54 Mbps χρησιμοποιώντας OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) διαμόρφωση. Η επέκταση αυτή αποσκοπούσε να καλύψει την ανάγκη για μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης. Επιλέχθηκε η λειτουργία σε μια υψηλότερη ζώνη συχνοτήτων, αφενός για να μπορούν να υποστηριχθούν οι μεγαλύτεροι ρυθμοί, αφετέρου ώστε να μην υπάρχει παρεμβολή από τις προηγούμενες συσκευές. Οι αντίστοιχες συσκευές είναι ασύμβατες με αυτές που εργάζονται με το 802.11b,

αφού ο τρόπος μετάδοσης, αλλά και οι ραδιοσυχνότητες που χρησιμοποιούνται είναι διαφορετικές.

### **2.2.3 IEEE 802.11g**

Το 802.11g αποτελεί επέκταση στο 802.11b ώστε να υποστηρίζει μεγαλύτερους ρυθμούς. Έτσι εκτός από τους ρυθμούς μετάδοσης του 802.11b, με CCK διαμόρφωση, υποστηρίζει και ρυθμούς μέχρι 54Mbps χρησιμοποιώντας OFDM διαμόρφωση. Οι αντίστοιχες συσκευές εργάζονται στη ζώνη συχνοτήτων των 2.4GHz, διατηρώντας συμβατότητα προς τα πίσω με το 802.11b.

### **2.2.4 Άλλα πρότυπα 802.11**

Πέρα των βασικών πρωτοκόλλων η οικογένεια προτύπων 802.11 περιλαμβάνει έναν αριθμό συμπληρωματικών προτύπων που προσθέτουν επιπλέον λειτουργικότητα στα ασύρματα δίκτυα: IEEE 802.11c [Λειτουργία γεφύρωσης (bridging) πλαισίων], 802.11 IEEE 802.11d [Επεκτάσεις στο πρότυπο ώστε να λειτουργεί σε επιπλέον ρυθμιστικά πλαίσια (άλλες ζώνες συχνοτήτων)], IEEE 802.11e [Υποστήριξη QoS στο MAC επίπεδο (EDCF, Enhanced DCF και HCF, Hybrid Coordination Function)], IEEE 802.11f [Συνιστώμενη πρακτική για το πρωτόκολλο IAPP, Inter Access Point Protocol, που αφορά την επικοινωνία μεταξύ σημείων πρόσβασης], IEEE 802.11h [Διαχείριση φάσματος στο 802.11a (DCS, Dynamic Channel Selection και TPC, Transmit Power Control)], IEEE 802.11i [Επεκτάσεις στο MAC επίπεδο για ενισχυμένη ασφάλεια. Περιγραφή πρωτοκόλλων 802.1X, TKIP, και AES [2][3].

**Πίνακας 1:** Ασύρματες 802.11 τεχνολογίες

	<b>802.11b</b>	<b>802.11a</b>	<b>802.11g</b>
<b>Μέγιστος αριθμός μετάδοσης (Mbps)</b>	11	54	54
<b>Τύπος διαμόρφωσης</b>	CCK	OFDM	CCK & OFDM
<b>Υποστηριζόμενοι ρυθμοί μετάδοσης</b>	1, 2, 5.5, 11 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps	OFDM: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps CCK: 1, 2, 5.5, 11 Mbps
<b>Συχνότητες</b>	2.4 - 2.497 GHz	5.15 - 5.35 GHz 5.425 - 5.675 GHz 5.725 - 5.875 GHz	2.4 - 2.497 GHz

## 2.3 Wi-Fi

Η εύκολη ευρυζωνική και αξιόπιστη ασύρματη διασύνδεση συστημάτων έχει γίνει πλέον στις μέρες μας αναγκαιότητα. Όλο και περισσότερα συστήματα σήμερα, υιοθετούν την ασύρματη τεχνολογία Wi-Fi προκειμένου να ικανοποιήσουν τις συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες των πολιτών. Οι ιδιαιτερότητες του μέσου διάδοσης (αέρας) και το μικρό εύρος ζώνης που διατίθενται καθιστούν την κατασκευή των συσκευών αυτών υπόθεση πολύπλοκη και ακριβή. Ωστόσο η ανάγκη μας να έχουμε εύκολη και γρήγορη πρόσβαση στο διαδίκτυο χωρίς τη χρήση καλωδίων, έχει καταστήσει το Wi-Fi πολύ δημοφιλές. Η ζήτηση γι' αυτό ολοένα και αυξάνεται και η μαζική παραγωγή, έχει ρίξει αισθητά τις τιμές των συσκευών αυτών [4].

## **2.4 Σημασία ασυρμάτου δικτύου (Wi-Fi)**

### **2.4.1 Η ανάγκη για ασύρματο δίκτυο**

Τα τελευταία χρόνια σημειώθηκε σημαντική αύξηση στον αριθμό των συσκευών που χρησιμοποιούν οι χρήστες καθημερινά για να σερφάρουν στο Διαδίκτυο, να χρησιμοποιήσουν μέσα κοινωνικής δικτύωσης και να παίξουν μέσω κινητών εφαρμογών. Οι τελευταίες τεχνολογικές συσκευές, όπως τα smartphones και τα tabletPC, αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της ανθρώπινης ζωής καθώς είναι πολύ αποτελεσματικά εργαλεία επικοινωνίας.

Ως εκ τούτου, είναι επιτακτική ανάγκη να ικανοποιηθούν οι ανάγκες των χρηστών από τις υπάρχουσες υποδομές ασύρματων δικτύων. Η μέτρηση και η επαλήθευση της ποιότητας (ασύρματης λειτουργίας) ασύρματου δικτύου (Wi-Fi) είναι ιδιαίτερα δύσκολη, καθώς δεν υπάρχει ένα ενιαίο εργαλείο που να μπορεί να πραγματοποιήσει μέτρηση της ποιότητας του ασύρματου δικτύου όπως τη βιώνουν οι τελικοί χρήστες. Για να καλυφθεί το παραπάνω κενό, υπάρχει ανάγκη για καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς των διαφόρων ζητημάτων απόδοσης του δικτύου, καθώς και των απαιτήσεων για QoS από τη μεριά των χρηστών. Ενδιαφέρον παρουσιάζεται ιδιαίτερα στην περίπτωση όπου ασύρματα δίκτυα και συσκευές τύπου AP, καλούνται να εξυπηρετήσουν ένα μεγάλο αριθμό χρηστών, όπως πανεπιστήμια ή χώρους διεξαγωγής συνεδρίων. Από στατιστική άποψη, η μεγάλη ποσότητα δεδομένων που είμαστε σε θέση να μετρήσουμε από δραστηριότητες τελικών χρηστών στους παραπάνω χώρους μας επιτρέπει να αναλύουμε τις επιδόσεις ενός ασύρματου δικτύου σε ένα περιβάλλον όπως πανεπιστημιούπολεως / συνεδρίου. Μεγάλη σημασία δίνεται στη βελτίωση της επαλήθευσης των μετρήσεων, της ανάπτυξης μια διεπαφής GUI, όπως και της ανάπτυξης εφαρμογών για κινητές συσκευές ως υπηρεσίες αξιολόγησης του δικτύου ώστε να μπορούν τα παραπάνω δεδομένα και οι μετρήσεις να οπτικοποιηθούν σε ένα φιλικό για το χρήστη περιβάλλον. Για το λόγο αυτό, πολλές φορές οι χρήστες εξακολουθούν να αντιμετωπίζουν

ορισμένα ανοικτά ζητήματα στην παρακολούθηση ασύρματων επιδόσεων που είναι και το αντικείμενο μελέτης του GEANT.

Το GEANT μέσω του WiFiMon έχει στόχο τη ανάπτυξη ενός ενιαίου εργαλείου για την μέτρηση της απόδοσης του δικτύου WiFi όπως αυτή καθορίζεται από τη συμπεριφορά του τελικού χρήστη. Οι χρήστες κινητής τηλεφωνίας ως κύριοι υπεύθυνοι για τη συλλογή πλούσιας εμπειρίας από διάφορες υπηρεσίες και κινητές εφαρμογές που χρησιμοποιούν καθημερινά όπως οι εφαρμογές κοινωνικής δικτύωσης ή εφαρμογές που έχουν εκπαιδευτικό χαρακτήρα, θα μπορούσαν να είναι χρήσιμοι σε αυτή την έρευνα.

Όλες αυτές οι πληροφορίες δεδομένων θα μπορούσαν να εξαχθούν χρησιμοποιώντας μια καταγραφή μέτρησης σε κάθε ξεχωριστή συσκευή. Η παραπάνω ερευνητική δουλειά δεν έχει σκοπό να αντικαταστήσει τις παραδοσιακές μετρήσεις απόδοσης. Αντίθετα, αυτές συμπληρώνονται με τις μετρήσεις που καταγράφονται από τελικούς χρήστες, για την παροχή μιας υβριδικής λύσης που συνδυάζει πληροφορίες απόδοσης στατικής υποδομής (αντικειμενικές μετρήσεις) με συμπεριφορά δυναμικής απόδοσης χάρη στους τελικούς χρήστες (πελάτες κινητής τηλεφωνίας). Στην περίπτωση του WiFiMon, οι μετρήσεις λοιπόν ξεκινάνε από τελικούς χρήστες, χωρίς ωστόσο την παρέμβαση τους, αφού επισκέπτοντας μία ιστοσελίδα ή την αντίστοιχη mobile εφαρμογή μπορούν να καταγράψουν μία μέτρηση του δικτύου στο οποίο εξυπηρετούνται. Ένα τέτοιο μέτρο των τελικών συσκευών θα μπορούσε να είναι όχι μόνο καινοτόμο αλλά και κερδοφόρο, καθώς οι τελικοί χρήστες είναι εκείνοι που αντιμετωπίζουν τα περισσότερα προβλήματα στην εξυπηρέτηση των απαιτήσεών τους.

Τέλος, για τους παρόχους κινητής τηλεφωνίας θα είναι όφελος γιατί θα μπορούν εταιρείες που πουλάνε ασύρματους εξοπλισμούς όπως AP και routers να συνδράμουν στη βελτίωση των παρεχόμενων εξοπλισμών καθώς βάσει των μετρήσεων που παίρνουν θα μπορούμε να βγάλουμε πιο συλλογικά αποτελέσματα για την ποιότητα του δικτύου που αντιμετωπίζουν οι τελικοί

χρήστες. Η δυνατότητα που δίνεται επομένως μέσω του παραπάνω εργαλείου για απεικόνιση των δεδομένων που συλλέγονται όπως και η παρακολούθηση της κατάστασης του δικτύου σε πραγματικό χρόνο, μπορεί να οδηγήσει στη βελτίωση της λήψης αποφάσεων και την αποτελεσματική εγκατάσταση σημείων πρόσβασης (AP)[5][6][7] .

#### **2.4.2 Χρήση του *Wi-Fi* μέσω *eduroam***

Το eduroam (education roaming) ή αλλιώς περιαγωγή εκπαίδευσης είναι η ασφαλής παγκόσμια υπηρεσία πρόσβασης περιαγωγής που αναπτύχθηκε για τη διεθνή ερευνητική και εκπαιδευτική κοινότητα. Έχοντας ξεκινήσει στην Ευρώπη, το eduroam έχει κερδίσει δυναμική σε όλη την ερευνητική και εκπαιδευτική κοινότητα και είναι πλέον διαθέσιμο σε 72 περιοχές. Το eduroam επιτρέπει στους φοιτητές, τους ερευνητές και το προσωπικό των συμμετεχόντων ιδρυμάτων να αποκτήσουν πρόσβαση στο Διαδίκτυο σε όλη την πανεπιστημιούπολη και όταν επισκέπτονται άλλα συμμετέχοντα ιδρύματα στο εσωτερικό ή στο εξωτερικό απλά ανοίγοντας το φορητό υπολογιστή τους. Το eduroam διατίθεται σε χιλιάδες τοποθεσίες σε περισσότερες από 70 χώρες παγκοσμίως. Από πανεπιστημιούπολεις μέχρι καφετέριες. Κάντε κλικ εδώ για ένα διαδραστικό χάρτη χωρών όπου μπορείτε να eduroam.

Το eduroam βασίζεται στα πιο ασφαλή πρότυπα κρυπτογράφησης και πιστοποίησης που υπάρχουν σήμερα. Η ασφάλειά του υπερβαίνει κατά πολύ τα τυπικά εμπορικά σημάδια. Επιτρέπει σε οποιονδήποτε χρήστη από έναν δικτυακό τόπο που συμμετέχει στο eduroam να αποκτήσει πρόσβαση σε δίκτυο σε οποιοδήποτε ίδρυμα συνδέεται με το eduroam. Ανάλογα με τις τοπικές πολιτικές στα ιδρύματα που επισκέπτονται, οι συμμετέχοντες στην eduroam μπορούν επίσης να έχουν στη διάθεσή τους πρόσθετους πόρους.

Τα διαπιστευτήρια χρήστη διατηρούνται ασφαλή επειδή το eduroam δεν τα μοιράζεται με τον ιστότοπο που επισκέπτεται. Αντίθετα, διαβιβάζονται στο ίδρυμα προέλευσης του χρήστη, όπου μπορούν να επαληθευτούν και να

επικυρωθούν. Το σύστημα χρησιμοποιεί ένα δίκτυο εξυπηρετητών που διαχειρίζονται τα ιδρύματα και τα συμμετέχοντα Εθνικά Δίκτυα Έρευνας και Εκπαίδευσης (NREN) για την ασφαλή δρομολόγηση των αιτήσεων αυτών στο ινστιτούτο καταγωγής σας.

Το eduroam παρέχει αυθεντική πρόσβαση στο δίκτυο σε οποιαδήποτε τοποθεσία όπου είναι ενεργοποιημένη η υπηρεσία. Κάθε συμμετέχων οργανισμός που προσφέρει πρόσβαση σε δίκτυο σε πιστοποιημένους χρήστες είναι σε θέση να εφαρμόσει τις δικές του πολιτικές φιλτραρίσματος εφόσον ενημερώνει σαφώς τους χρήστες σχετικά με τους κανόνες φιλτραρίσματος [8].

## **2.5 Ισχύς ασυρμάτου δικτύου**

Σήμερα, υπάρχει μεγάλη ζήτηση για πόρους δικτύου στις πανεπιστημιούπολεις όπου οι χρήστες όπως οι ερευνητές, το προσωπικό και οι φοιτητές έχουν πρόσβαση στο Διαδίκτυο μέσω των φορητών υπολογιστών ή / και των smartphones τους. Επιπλέον, το ασύρματο δίκτυο θα πρέπει να σχεδιάζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ικανοποιεί τα αιτήματα των πελατών, ανεξάρτητα από τον αριθμό ή την τοποθεσία τους. Η μέτρηση και η επαλήθευση της απόδοσης ενός δικτύου Wi-Fi είναι εξαιρετικά δύσκολη, ειδικά εάν αυτές οι μετρήσεις πρέπει να λαμβάνουν υπόψη τις συνθήκες των τελικών χρηστών.

### **2.5.1 Σημασία σχεδιασμού ασυρμάτου δικτύου**

Το κλειδί για οποιαδήποτε καλή ασύρματη ανάπτυξη είναι ο σωστός σχεδιασμός, ο οποίος απαιτεί ένα σύνολο στόχων και απαιτήσεων που πρέπει να επιτευχθούν. Ο καθορισμός ελάχιστων απαιτήσεων για την ισχύ του σήματος στην περιοχή κάλυψης είναι σχεδόν πάντοτε μέρος της λίστας απαιτήσεων δικτύου.

### **2.5.2 Απαιτήσεις και μεταβλητές ασυρμάτου δικτύου**

Η επιθυμητή ισχύς σήματος για τη βέλτιστη απόδοση ποικίλλει ανάλογα με πολλούς παράγοντες, όπως ο θόρυβος στο μέσο μετάδοσης και στο περιβάλλον ασύρματης δικτύωσης, ο αριθμός των τερματικών χρηστών στο δίκτυο, οι επιθυμητοί ρυθμοί δεδομένων και οι εφαρμογές που θα χρησιμοποιηθούν. Για παράδειγμα, ένα σύστημα VoIP μπορεί να απαιτεί πολύ καλύτερη κάλυψη από κάποιο άλλο σύγχρονο σύστημα.

### **2.5.3 Κατανόηση της ισχύος του σήματος**

Η ισχύς του σήματος Wi-Fi σαν έννοια είναι αρκετά περίπλοκη. Ο ακριβέστερος τρόπος για να εκφραστεί είναι σε milliwatts (mW), αλλά καταλήγει σε αριθμό με αρκετά δεκαδικά ψηφία εξαιτίας της εξαιρετικά χαμηλής ισχύος μετάδοσης του Wi-Fi, καθιστώντας δύσκολη την ανάγνωση. Για παράδειγμα, το -40dBm είναι 0.0001 mW, και τα μηδενικά απλά γίνονται όλο και πιο έντονα όσο περισσότερο μειώνεται η ισχύς του σήματος.

Τελικά, ο ευκολότερος και πιο συνεπής τρόπος για να εκφράσουμε την ισχύ του σήματος είναι με το dBm, το οποίο αντιπροσωπεύει ντεσιμπέλ σε σχέση με ένα milliwatt και συνήθως μετατρέπονται σε dBm για να είναι συνεπείς και αναγνωρίσιμες από τον άνθρωπο.

- mW - χιλιοβατόρες (0,0001 mW = -40 dBm)
- RSSI - Ένδειξη έντασης σήματος λήψης (συνήθως 0-60 ή 0-255)
- dBm - Decibels σε σχέση με ένα milwatt (συνήθως -30 έως -100)

Το πρώτο πράγμα που πρέπει να καταλάβουμε για το dBm είναι ότι εργαζόμαστε σε αρνητικά. Στη συνέχεια, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι το dBm δεν κλιμακώνεται με γραμμικό τρόπο όπως θα περίμενε κανείς, αλλά είναι λογαριθμικό. Αυτό σημαίνει ότι οι αλλαγές ισχύος του σήματος δεν είναι ομαλές και βαθμιαίες. Ο κανόνας των 3 και των 10 τονίζει τον λογαριθμικό χαρακτήρα του dBm:

**Πίνακας 2:** Αντιστοιχία dB - ισχύος

3 dB απώλεια	-3 dB	Μείωση στο μισό της ισχύος σήματος
3 dB κέρδος	+3 dB	Διπλασιασμός ισχύος σήματος
10 dB κέρδος	+10 dB	10 φορές πιο ισχυρό σήμα
10 dB απώλεια	-10 dB	10 φορές πιο ασθενές σήμα

### 2.5.4 Ιδανική ισχύς σήματος

Για απλές εργασίες χαμηλής απόδοσης, όπως η αποστολή μηνυμάτων ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, η περιήγηση στον ιστότοπο ή η σάρωση γραμμικών κωδικών, τα 70 dBm είναι μια καλή ισχύς σήματος. Για εφαρμογές υψηλότερης απόδοσης, όπως φωνή μέσω IP ή βίντεο συνεχούς ροής, τα -67 dBm είναι καλύτερα και ορισμένοι μηχανικοί συστήνουν -65 dBm εάν σκοπεύετε να υποστηρίξετε φορητές συσκευές όπως iPhones και tablet Android. Όλα τα παραπάνω μπορούν να μας εγγυηθούν μία ικανοποιητική ποιότητα υπηρεσίας ή όπως αλλιώς ονομάζεται Quality of Service (QoS) στην ασύρματη επικοινωνία [9][10].

**Πίνακας 3:** Ένταση, χρήσεις και απαιτήσεις ασυρμάτου δικτύου

Ισχύς Σήματος		Απαιτείται για:
-30 dBm	Μέγιστη δυνατή ισχύς σήματος. Ο χρήστης μπορεί να απέχει λίγα μόνο μέτρα από το AP για να το επιτύχει αυτό. Δεν είναι επιθυμητό στον πραγματικό κόσμο.	-
-67 dBm	Ελάχιστη ισχύς σήματος για εφαρμογές που απαιτούν πολύ αξιόπιστη και έγκαιρη	VoIP/VoWiFi, streaming video

	παράδοση πακέτων.	
-70 dBm	Ελάχιστη ισχύς σήματος για αξιόπιστη παράδοση πακέτων.	Email, web
-80 dBm	Ελάχιστη ισχύς σήματος για βασική συνδεσιμότητα. Η παράδοση πακέτων μπορεί να είναι αναξιόπιστη.	-
-90 dBm	Πλησιάζοντας στο επίπεδο του θορύβου. Οποιαδήποτε λειτουργία είναι εξαιρετικά απίθανη.	-

### 3. Ανασκόπηση βιβλιογραφίας

---

## **3.1 GEANT Project και WiFiMon**

Οι δραστηριότητες του GEANT σαν ευρωπαϊκό πρόγραμμα σήμερα εστιάζεται στην παρακολούθηση και επαλήθευση της απόδοσης ενός ασύρματου δικτύου Wi-Fi, εφαρμόζοντας είτε τεχνικές εγνατάστασης κατάλληλων εξοπλισμών σε μέρη που επιθυμούμε να πραγματοποιήσουμε μετρήσεις όπως hardware probes είτε μελετώντας τη συμπεριφορά του ασύρματου δικτύου όπως αυτή γίνεται αντιληπτή από τερματικούς χρήστες. Αυτό είναι και το αντικείμενο και ο σκοπός ανάπτυξης και μελέτης του WiFiMon.

### **3.1.1 Λειτουργία και τρόπος WiFiMon**

Η προσέγγιση του WiFiMon για την παρακολούθηση και την επαλήθευση επιδόσεων από το πλήρες ασύρματο δίκτυο βασίζεται σε ένα αρχιτεκτονικό σχεδιασμό που χρησιμοποιεί τη τεχνολογία JavaScript και online εργαλεία μέτρησης και αξιολόγησης του δικτύου όπως είναι το NetTest και το Boomerang, που χρησιμοποιούνται σε πολλούς ιστότοπους. Όπως υποδηλώνει ο όρος, η ακρίβεια των μετρήσεων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τον αριθμό των "ολοκληρωμένων" συνόλων δεδομένων. Για να μπορεί να καταγραφεί μια μέτρηση ως πλήρης και να μπορεί να καταμετρηθεί για αξιολόγηση του δικτύου απαραίτητη προϋπόθεση είναι σωστή καταγραφή της. Από στατιστική άποψη, η μεγάλη ποσότητα μετρήσεων (από τερματικούς χρήστες μέσω laptops ή κινητών συσκευών τύπου smartphones) μας επιτρέπει να συλλέξουμε πληροφορίες σχετικά με την εμπειρία του χρήστη από τη σύνδεση του στο δίκτυο. Ιδιαίτερα σε χώρους όπως πανεπιστημιούπολεις και χώρους συνεδρίων όπου η διέλευση του κόσμου είναι μεγάλη τα δείγματα μετρήσεων που μπορούμε να συλλέξουμε είναι σαφώς μεγάλα και ικανά ώστε να μας δώσουν μια σαφή εικόνα για το δίκτυο. Όπως συμβαίνει σήμερα, το

WiFiMon υποστηρίζει τον κύκλο ανάπτυξης παρακολούθησης του δικτύου. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στη βελτίωση της επαλήθευσης των μετρήσεων, της ανάπτυξης GUI, της ανάπτυξης εφαρμογών για κινητές συσκευές και του WiFiMon ως υπηρεσίας (αυτοματοποίηση υπηρεσιών).

### **3.1.2 Χρήση του *WiFiMon* από οργανισμούς εθνικού δικτύου έρευνας και εκπαίδευσης**

Σύμφωνα με πειράματα που πραγματοποιηθήκαν από οργανισμούς εθνικού δικτύου έρευνας και εκπαίδευσης (National research and education network (NREN)), οι μετρήσεις συγκεκριμένων παραμέτρων ενός ασύρματου δικτύου είτε από web-browsers με χρήση της τεχνολογίας JavaScript είτε με χρήση κινητών εφαρμογών με ενσωμάτωση της παραπάνω τεχνολογίας βοήθησε στην εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά την ποιότητα δικτύου που απολαμβάνουν οι τελικοί αυτοί χρήστες. Πέρα όμως από τις μετρήσεις βασικό στοιχείο του μηχανισμού είναι και η συσχέτιση των μετρήσεων που έχουν καταγραφεί και οπτικοποιηθεί από τη μεριά του server με τα αρχεία logs που έχουμε στη διάθεση μας για κάθε session χρήσης του τερματικού χρήστη.

### **3.1.3 Σχετικά εργαλεία**

Στο πεδίο της αξιολόγησης του δικτύου Wi-Fi υπάρχουν αρκετά έργα και προγράμματα που επιτρέπουν την απομακρυσμένη αξιολόγηση του δικτύου Wi-Fi. Παρόλο που σήμερα οι περισσότερες προσεγγίσεις έχουν ως στόχο τον έλεγχο της απόδοσης του δικτύου η παρακολούθηση του δικτύου WLAN στις περιοχές παραδείγματος χάριν μιας πανεπιστημιούπολης πραγματοποιείται με την παρακολούθηση των σταθμών βάσης χρησιμοποιώντας τεχνικές όπως το ping ή σε προχωρημένες περιπτώσεις, με χρήση διαφόρων τοπολογιών σταθμών βάσης και AP. Σε ένα WLAN με βάση τον ελεγκτή, η κατάσταση σταθμού βάσης παρατηρείται γενικά με την παρακολούθηση και την επεξεργασία μηνυμάτων SNMPTrap. Εκτός από την παρακολούθηση, οι

ελεγκτές βελτιώνουν την ποιότητα του δικτύου μέσω κεντρικού διαχωρισμού καναλιών και ελέγχου ισχύος μετάδοσης. Παραδοσιακά, η ποιότητα της υπηρεσίας που βιώνει ο χρήστης ή ο τερματικός χρήστης έχει λάβει λίγη προσοχή, παρόλο που η σάρωση διεπαφής αέρα έχει εκτελεστεί σε κάποιο βαθμό. Το Cisco WCS (Wireless Control System) αναπτύχθηκε κυρίως για τον έλεγχο και την παρακολούθηση πολλών ελεγκτών WLAN της Cisco, αλλά περιλαμβάνει επίσης λειτουργίες συλλογής και οπτικοποίησης δεδομένων overtheair [11]. Από την άλλη πλευρά, η Wireless Management Suite της AirWave περιλαμβάνει διάφορες τεχνικές για παρακολούθηση και έλεγχο του ασύρματου δικτύου WLAN. Για την παρακολούθηση του δικτύου overtheair, η AirWave έχει αναπτύξει τη μονάδα VisualRF, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της ισχύος του σήματος και του διαχωρισμού του καναλιού [12]. Τα Cisco WCS και AirWave είναι έργα που αναπτύσσονται βάσει δεδομένων από σταθμούς βάσης. Στόχο έχουν την καταγραφή μετρήσεων από τη μεριά του σταθμού βάσης κεντροποιημένα χωρίς προοπτική για μελέτη της συμπεριφοράς του τελικού χρήστη. Ωστόσο, πολλά προϊόντα έχουν αναπτυχθεί από το πεδίο έρευνας της περιοχής. Το Motorola Air Defense Mobile μπορεί να εγκατασταθεί σε φορητούς υπολογιστές που λειτουργούν με Windows XP ή 2000 με κάρτα δικτύου Atheros 802.11 a / b / g, όπως Netgear (WAG511) ή Cisco (CB21AG), επιτρέποντας την παρακολούθηση της κυκλοφορίας στο WLAN και με επίκεντρο την ασφάλεια πληροφοριών [13]. Το Wireshark, είναι ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα για υπολογιστές Windows και Linux για την ανάλυση πρωτοκόλλων δικτύου. Το Wireshark [14] επιτρέπει την απλή ανάλυση της κυκλοφορίας στον εν λόγω υπολογιστή, αλλά δεν είναι τόσο κατάλληλη για την ολοκληρωμένη ανάλυση των δικτύων WLAN.

Ταυτόχρονα, η αύξηση των smartphones τα τελευταία χρόνια, δηλαδή οι συσκευές που μπορούν να υποστηρίξουν πλουσιότερη επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο και αμφίδρομη επικοινωνία από τα συμβατικά κινητά

τηλέφωνα των οποίων οι τεχνικές λειτουργίες περιελάμβαναν βασικά υπηρεσίες φωνής και σύντομων μηνυμάτων, άνοιξαν το δρόμο για έρευνα στην ανάπτυξη εφαρμογών. Με τις δύο παρακάτω ανάγκες και κυρίως από την πλευρά του πελάτη-τελικού χρήστη αναπτύξαμε το WiFiMon ως εφαρμογή παρακολούθησης για την ανάλυση και επαλήθευση του ασύρματου δικτύου Wi-Fi. Το WiFiMon διαφοροποιείται ως προς τις παραπάνω λύσεις δεδομένου ότι: (i) επιτρέπει καταγραφή μετρήσεων χωρίς την παρέμβαση του τερματικού χρήστη, (ii) τα αποτελέσματα κάθε μέτρησης είναι ακριβώς όπως γίνονται αντιληπτά από τους τερματικούς χρήστες, (iii) τα αποτελέσματα της απόδοσης του δικτύου συνδέονται με τα διαθέσιμα APs, όπου κάνοντας χρήση των DHCP logs γίνεται συσχέτιση των αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα στοιχεία που έχουν καταγραφεί στο αρχείο logs. Τέλος (iv) οι συσχετιζόμενες μετρήσεις αποθηκεύονται στην ίδια βάση δεδομένων έτσι ώστε ο διαχειριστής του ασύρματου δικτύου να είναι σε θέση να βγάλει ασφαλή συμπεράσματα για την παρεχόμενη ποιότητα του δικτύου.

## 4. Αρχιτεκτονική WiFiMon

---

Ο κύριος στόχος του WiFiMon είναι να παρέχει μία πλήρη εικόνα της ποιότητας του ασύρματου δικτύου όπως αυτή καταγράφεται απο τερματικούς χρήστες. Αυτό σημαίνει ότι όλες οι φορητές συσκευές μπορούν να θεωρηθούν ως πρωτογενή δεδομένα χρήσιμα για την αξιολόγηση του δικτύου.

Η καμπύλη που παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα δείχνει τα κύρια στοιχεία και τους μηχανισμούς της αρχιτεκτονικής WiFiMon. Αυτή η προσέγγιση περιλαμβάνει τέσσερις δομικές μονάδες, ακολουθεί τα βήματα της διαδικασίας για τη συλλογή δεδομένων σχετικά με τη διεπαφή Wi-Fi των υποδομών με χρήση του eduroam και των καθορισμένων συλλεκτών, την αποθήκευση προσωρινών δεδομένων σε μορφές βάσεων δεδομένων (μη) SQL, την ανάλυση των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο και την οπτικοποίηση των δεδομένων αυτών σε πραγματικό χρόνο. Η αρχιτεκτονική μπορεί να χωριστεί σε πέντε blocks, τα οποία παρουσιάζουμε λεπτομερώς στις επόμενες παραγράφους.

#### *A. DataSource (Πηγή δεδομένων)*

Το επίπεδο πηγής δεδομένων (logs του διακομιστή Syslog) παράγει πληροφορίες μέσω της εφαρμογής WiFiMon (ή διευτυακών τόπων με ενσωματωμένες διαδικασίες δοκιμής), δηλαδή κώδικα JavaScript ενσωματωμένο στην πηγή ιστού που επιτρέπει στους χρήστες να εκτελούν δοκιμές διεργασιών χωρίς παρέμβαση και εξάγει δεδομένα μέσω του μηχανισμού της javascriptστέλνοντάς τα σε κεντρικούς servers.

Τα εργαλεία ανοικτού κώδικα, όπως το NetTest ή το Boomerang, ενσωματώνονται σε ιστότοπους προκειμένου να εξάγονται πληροφορίες σχετικά με το δίκτυο. Τέτοιες πληροφορίες περιλαμβάνουν δεδομένα απόδοσης, όπως μεταφορτώσεις και λήψεις εικόνων διαφόρων μεγεθών ο χρόνος RTT, χρόνος που χρειάζεται για να γίνει pingτης σελίδας όπως το βιώνει ο τελικός χρήστης.

## B. Relational Database (Σχισιακή Βάση Δεδομένων)

Τα δεδομένα συλλέγονται αυτόματα στη σχεσιακή βάση δεδομένων (RDB). Η RDB χρησιμοποιεί τη γλώσσα SQL για τη διερεύνηση και τη συντήρηση των δεδομένων. Η βάση δεδομένων βασίζεται σε τεχνολογίες ανοιχτού κώδικα, όπως η PostgreSQL για τη σχεσιακή βάση δεδομένων και η InfluxDB [15][16], για μια βάση δεδομένων χρονοσειρών που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση. Τα δεδομένα μπορούν εύκολα να οπτικοποιηθούν στη συνέχεια με χρήση εργαλείων όπως το Grafana [17].

## Γ. Analytic Engine (Αναλυτικός μηχανισμός)

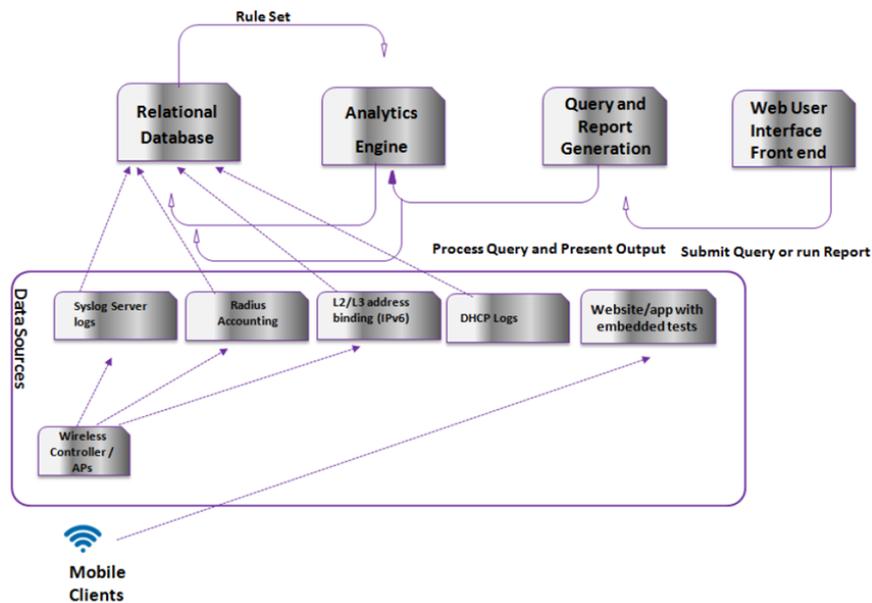
Ο Αναλυτικός Μηχανισμός είναι το μπλοκ αρχιτεκτονικής που χρησιμοποιείται για την εξέταση / ανάλυση των πρώτων δεδομένων του RDB και την προετοιμασία των δεδομένων αναφοράς. Έτσι, η κύρια λειτουργία του είναι να ταξινομεί τα δεδομένα που συλλέγονται, να τα αναλύει και να παρέχει οπτικοποιήσεις χρησιμοποιώντας εργαλεία που προσφέρουν τη μεγαλύτερη εικόνα της απόδοσης του ασύρματου δικτύου. Στην τρέχουσα προσέγγιση, το Grafana χρησιμοποιείται για τη δημιουργία των αποτελεσμάτων μέτρησης και παρακολούθησης.

## Δ. Query and Report Generation

Ο μηχανισμός QaRG χρησιμοποιείται για τη λήψη συγκεκριμένων πληροφοριών από το RDB και την analytic engine. Ο κύριος σκοπός του είναι να αναζητήσει χρήσιμες πληροφορίες από αυτά τα δύο μπλοκ αρχιτεκτονικής και να δημοσιεύσει αυτές τις πληροφορίες με τη μορφή αναφορών ή επιλογών απεικόνισης στην διεπαφή Web-user (Web-UI).

### E. Web User Interface Front End (Front End Διεπαφή)

Τα διαθέσιμα δεδομένα από το RDB και το analytic engine είναι προσβάσιμα μέσω ενός διαχειριστή δικτύου Web-UI, ο οποίος επιτρέπει την αναζήτηση δεδομένων. Το Web-UI επιτρέπει τη διερεύνηση των συλλεγόμενων δεδομένων αναφοράς απόδοσης και με τη σειρά τους ελέγχους κατάστασης του ασύρματου δικτύου. Το Web-UI αποτελείται από μια εφαρμογή Ιστού αναπτυγμένη με χρήση της τεχνολογίας Spring Boot [18] που χρησιμοποιεί τη λειτουργία Hibernate [19] για την αναζήτηση δεδομένων. Αυτό το μπλοκ της αρχιτεκτονικής δείχνει τα συλλεχθέντα δεδομένα και επιτρέπει επιλογές απεικόνισης σε πραγματικό χρόνο, όπως συλλεχθέντα δεδομένα από μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, συλλεχθέντα δεδομένα από ένα συγκεκριμένο WAP, ελάχιστες, μέσες τιμές μετρήσεων λήψης / φόρτωσης / λανθάνουσας διάρκειας κ.λπ.



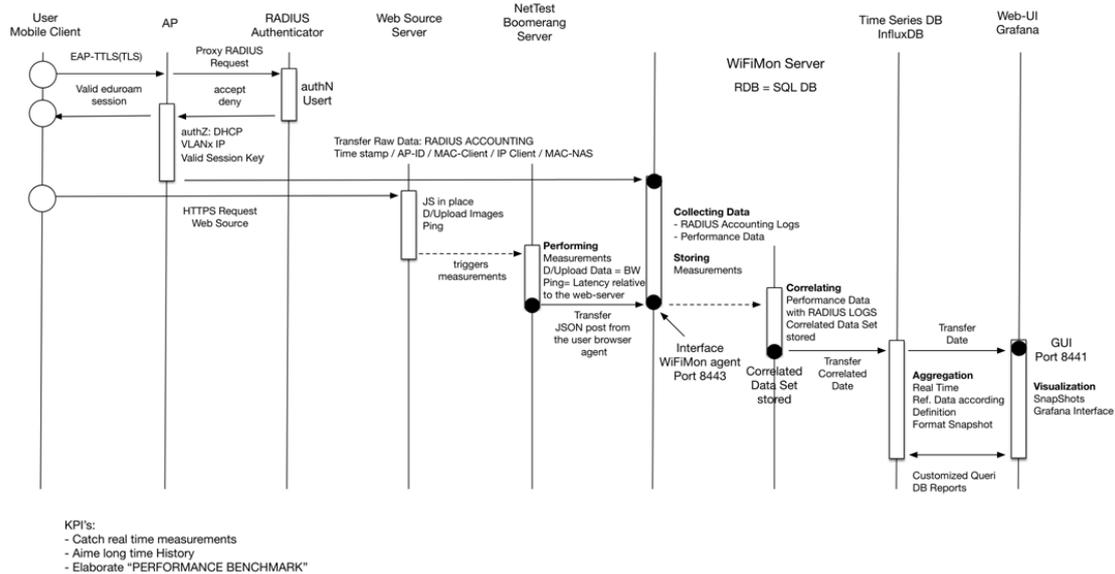
**Εικόνα 1** Διαδικασία WiFiMon

## 4.1 Διαδικασία καταγραφής μέτρησης

Στην παράγραφο αυτή περιγράφεται η διαδικασία που επιτρέπει την καταγραφή μετρήσεων μέσω του WiFiMon. Αρχικά ο τελικός χρήστης πρέπει να συνδεθεί σε κάποιο δίκτυο τύπου eduroam. Για να εκκινηθεί μία συνεδρία τύπου eduroam, ο χρήστης καλείται να αυθεντικοποιηθεί με χρήση του IEEE802.1x (EAP/TTLs) μέσω του Identity Provider (IdP) ενώ στη συνέχεια λαμβάνει δυνατότητα περιαγωγής εντός του πανεπιστημίου σύμφωνα με την πολιτική του Service Provider (SP). Στην συνέχεια ο DHCP είναι υπεύθυνος για διαμοιρασμό μίας μοναδικής διεύθυνσης IP στο συγκεκριμένο χρήστη. Η διαδικασία της αυθεντικοποίησης δημιουργεί και τις αντίστοιχες εγγραφές στα αρχεία DHCP και Radius logs, όπως και την αποθήκευση των εγγραφών αυτών σε ειδικά σχεδιασμένη βάση δεδομένων.

Αφού ολοκληρωθεί η διαδικασία αυθεντικοποίησης και ο χρήστης συνδεθεί επιτυχώς στο ασύρματο δίκτυο, επόμενο στάδιο είναι να επισκεφτεί μία ιστοσελίδα που υποστηρίζεται από το WiFiMon και η οποία εμπεριέχει όλη την απαραίτητη πληροφορία για την καταγραφή μέτρησης. Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να γίνει είτε μέσω Web browser με χρήση της τεχνολογίας javascript είτε με χρήση κάποια από τις υποστηριζόμενες πλατφόρμες WiFiMon με ενσωμάτωση javascript όπως αυτές παρουσιάζονται στην επόμενη ενότητα. Η ενσωματωμένη βιβλιοθήκη της javascript, διαθέτει δυνατότητα αυτόματης καταγραφής τεστ απόδοσης, αρκεί η IP του συγκεκριμένου χρήστη να βρίσκεται μέσα στο υποδίκτυο του WiFiMon. Πρακτικά η παραπάνω βιβλιοθήκη κάνει χρήση μερικών open-source Javascript εργαλείων όπως είναι το NetTest ή το Boomerang έτσι ώστε να εξάγει πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα του ασύρματου δικτύου. Οι πληροφορίες αυτές μπορεί να αφορούν, το download και upload throughput και το χρόνο RTT όπως αυτά γίνονται αντιληπτά από τον τερματικό χρήστη. Μόλις η μέτρηση έχει καταγραφεί τότε στη συνέχεια στέλνεται με χρήση της τεχνολογίας json, ώστε να

εξασφαλίσουμε ταχύτητα στη κίνηση των δεδομένων, σε μία βάση δεδομένων. Στη συνέχεια πραγματοποιείται η συσχέτιση των αποθηκευμένων δεδομένων με τα αντίστοιχα αρχεία logs του DHCP και Radius. Τα συσχετιζόμενα data-sets αποθηκεύονται επίσης σε μία χωροχρονική βάση δεδομένων όπως η InfluxDB για περαιτέρω ανάλυση των δεδομένων [20][21]. Η παραπάνω διαδικασία περιγράφεται και στο διάγραμμα που ακολουθεί για καλύτερη κατανόηση.



Εικόνα 2: Flow Cart αρχιτεκτονικής

### Pseudo code for correlating measurements with Radius logs

```

1: CHECK user_IP, timestamp //from measurements
2: CHECK client_IP, auth_timestamp // from Radius logs
3: WHILE auth_timestamp < timestamp // in descending order to
4: // select the most recent entry
5:   IF user_IP == client_IP
6:     INNER JOIN measurement and Radius_entry ON IP
7:     BREAK
8:   ENDIF
9: ENDWHILE

```

Εικόνα 3: Μετρήσεις και συσχέτιση με logs

Monitoring Results														
Monitoring results														
Id	Test Date/Time (UTC)	Start Time (UTC)	Username	Download Rate (Mbps)	Upload Rate (Mbps)	Ping (ms)	Client IP Address	Client IP (Logs)	Client MAC Address	AP IP Address	AP MAC Address	NAS Port Type	Tool	User Agent
952618	2017-12-19 10:02:38.317	2017-12-19 10:02:02.714541	kokkinos	44.7	0.0	8.0	150.140.141.20	150.140.141.20	00-24-D7-E2-4E-1A	150.140.141.12	00-0C-29-7C-03-7D	Wireless-802.11	boomerang	Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/63.0.3239.84 Safari/537.36
952617	2017-12-19 10:02:14.312	2017-12-19 10:02:02.714541	kokkinos	44.9	32.6	4.5	150.140.141.20	150.140.141.20	00-24-D7-E2-4E-1A	150.140.141.12	00-0C-29-7C-03-7D	Wireless-802.11	NetTest	Mozilla/5.0 (Windows NT 10.0; Win64; x64) AppleWebKit/537.36 (KHTML, like Gecko) Chrome/63.0.3239.84 Safari/537.36

GÉANT WiFi Monitoring Agent  
© 2016 GÉANT | Contact

**Εικόνα 4:** WiFiMon πρόσφατες μετρήσεις

Όπως αναφέραμε και παραπάνω οι μετρήσεις απο όλους τους χρήστες αποθηκεύονται σε μία χωροχρονική βάση δεδομένων μαζί με τα data-sets ακριβώς μετά την παραπάνω συσχέτιση με τα DHCP και Radius logs. Ο διαχειριστής του δικτύου μπορεί να έχει πρόσβαση στα δεδομένα μέσω του WiFiMon Web-UI και να τα οπτικοποιήσει με δυνατότητα παραγωγής διαγραμμάτων επιλέγοντας οποιοδήποτε χρονικό διάστημα επιθυμεί. Το Web-UI είναι κατασκευασμένο με χρήση της τεχνολογίας Spring Boot το οποίο χρησιμοποιεί Hibernate για την εξυπηρέτηση των ερωτημάτων στη βάση δεδομένων. Επίσης επιτρέπει την ανάλυση των δεδομένων βάσει συγκεκριμένου AP, συγκεκριμένης διεύθυνσης IP καθώς και συγκεκριμένης ασύρματης τεχνολογίας π.χ IEEE 802.11b κτλπ. Ένα παράδειγμα πλήρων μετρήσεων είναι διαθέσιμο στην παραπάνω Εικόνα 4 για καλύτερη κατανόηση.

### **4.1.1 Μέτρα για την αποφυγή περιπτώσεων / επανειλημμένων μετρήσεων**

Υποθέτουμε ότι ο κώδικας Javascript για την καταγραφή μέτρησης είναι ενσωματωμένος στην επίσημη σελίδα ή κινητή εφαρμογή του πανεπιστημίου που έχει εγκαταστήσει το WiFiMon ως εργαλείο αξιολόγησης του ασύρματου δικτύου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση μας ενδιαφέρει να καταγράψουμε μετρήσεις οι οποίες να μην γίνονται μέσω της επίσημης ιστοσελίδας ή εφαρμογής του πανεπιστημίου ωστόσο αυτές θα πρέπει να καταγράφονται από το τοπικό δίκτυο του πανεπιστημίου. Συνεπώς μετρήσεις από εξωτερικούς χρήστες δεν θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για την αξιολόγηση του συγκεκριμένου δικτύου. Τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών θα ήταν σχετικά με την τοποθεσία του εκάστοτε χρήστη (και την απόδοση του ασύρματου δικτύου) και συνεπώς δεν θα ήταν χρήσιμα για το υπό εξέταση δίκτυο WiFi.

Επιπλέον, το NetTest και το boomerang μεταφορτώνουν εικόνες σταθερού μεγέθους από ένα συγκεκριμένο διακομιστή και μετράνε το χρόνο που χρειάστηκε για να τις κατεβάσει κάθε χρήστης προκειμένου να υπολογιστεί το εύρος ζώνης καθώς και το RTT. Αυτό σημαίνει ότι τα τεστ που πραγματοποιούνται αυξάνουν πρακτικά το συνολικό μέγεθος των ιστότοπων. Ωστόσο η εμπειρία περιήγησης των χρηστών δεν θα αλλάξει, αφού τα ειδικά σχεδιασμένα scripts που εκκινούν τις μετρήσεις θα εκτελούνται μόνο μετά τη φόρτωση της σελίδας, αλλά θα έχουν αρνητικό αντίκτυπο, ειδικά εάν ένας χρήστης χρησιμοποιεί μια σύνδεση που έχει ήδη καταγραφεί. Αυτός είναι και ο σκοπός του WiFiMon, να μην περιορίζει – μειώνει την εμπειρία που ο χρήστης ήδη έχει για περιαγωγή εντός του ασύρματου δικτύου. Και σε αυτή την περίπτωση ωστόσο η παρεμπόδιση tests από IP εκτός των καταχωρημένων υποδικτύων είναι σημαντική. Εξίσου σημαντική είναι η αποφυγή επαναλαμβανόμενων μετρήσεων για χρήστες εντός των καταχωρημένων

υποδικτύων, προκειμένου να αποφευχθεί η υπερφόρτωση του δικτύου αλλά και του server. Στόχος του WiFiMon είναι κάθε μέτρηση που πραγματοποιείται να είναι μοναδική έτσι ώστε να έχουμε μία ξεκάθαρη εικόνα της ποιότητας του ασύρματου δικτύου που απολαμβάνει ο τερματικός χρήστης. Σε αυτή την κατεύθυνση, μόλις αρχίσει η μέτρηση, ορίζουμε ένα cookie που εμποδίζει την εκ νέου έναρξη μετρήσεων για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο (μπορεί να διαμορφωθεί από το διαχειριστή του δικτύου μέσω της javascript ή δια μέσω της mobile εφαρμογής που παρουσιάζεται παρακάτω). Με βάση τα παραπάνω, ο ψευδοκώδικας για την έναρξη μιας μέτρησης παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα καθώς και ο Πίνακας 6 εμπεριέχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες.

**Πίνακας 4:** Περιεχόμενα Javascript και Radius Logs

Τι χρειαζόμαστε	Javascript	RADIUS / DHCP
Timestamp	Timestamp	Timestamp
Performance result	Performance result	
ID of access point		ID of access point
IP address	IP address	IP address

---

**Pseudo code for performing/storing measurements**

---

```
1: SET registered_subnets //allow measurements only from WiFi subnet
2: CHECK if cookie is set for the user //avoid repeated measurements and
3:                                     //network overloading
4: IF user_IP inside registered_subnets
5:     IF cookie is not set
6:         GET timestamp
7:         CALCULATE download_throughput, upload_throughput, RTT
8:         GET user_IP, user_agent
9:         GET user_location // with Google API loader
10:        POST timestamp, download_throughput, upload_throughput,
11:            RTT, user_IP, user_agent, user_location to Postgres and
12:            InfluxDB databases
13:        SET cookie
14:    ENDIF
15: ENDIF
```

---

Εικόνα 5: Διαδικασία μέτρησης

## 4.2 Υποστηριζόμενες Πλατφόρμες

### 4.2.1 Πρόβλημα ανάπτυξης πολλαπλών πλατφορμών

Βασικό ζήτημα της ανάπτυξης για κινητές συσκευές είναι οι διαφορετικές πλατφόρμες και τα λειτουργικά συστήματα που λειτουργούν πάνω τους. Ένας στόχος είναι συνήθως η συμμετοχή όσο το δυνατόν περισσότερων χρηστών - η σκέψη των κινητών εφαρμογών, δηλαδή η υποστήριξη πολλαπλών πλατφορμών. Υπάρχουν βασικά τρεις διαφορετικοί τρόποι για να επιτευχθεί αυτό:

1. εγγενείς - μητρικές εφαρμογές (native mobile applications)
2. εφαρμογές Web
3. υβριδικές εφαρμογές

Κάθε εφαρμογή που παρουσιάζεται έχει τα δικά της θετικά και αρνητικά και δεν υπάρχει οριστική απάντηση σε ποια μέθοδο είναι η καλύτερη. Η επιλογή πρέπει πάντα να καθοδηγείται από μια ειδική ανάθεση καθηκόντων και το απαιτούμενο αποτέλεσμα.

### **Εγγενείς - native εφαρμογές**

Οι εφαρμογές που αναπτύσσονται για κάθε πλατφόρμα ξεχωριστά ονομάζονται εγγενείς - μητρικές. Ο πηγαίος κώδικας είναι συνήθως μοναδικός για κάθε υποστηριζόμενο λειτουργικό σύστημα. Ωστόσο, δεν είναι μόνο ο κώδικας και η γλώσσα προγραμματισμού καθώς κάθε πλατφόρμα καθορίζει εντελώς διαφορετική μεθοδολογία ανάπτυξης. Συνήθως ένας προγραμματιστής πρέπει να χρησιμοποιεί το ολοκληρωμένο περιβάλλον ανάπτυξης (IDE) που καθορίζεται από το λογισμικό του συστήματος, το λειτουργικό σύστημα επιφάνειας εργασίας όπου μπορεί να εκτελεστεί αυτό το IDE και όπου η εφαρμογή μπορεί να συνταχθεί, να συνδεθεί, να δοκιμαστεί και να περάσει σε φάση testing. Μερικές φορές ακόμη και το λειτουργικό σύστημα απαιτεί έναν συγκεκριμένο υπολογιστή για τη λειτουργία του. Οι περισσότερες από τις πλατφόρμες κινητής τηλεφωνίας έχουν δικές τους εφαρμογές, οπότε ο προγραμματιστής υποχρεούται να κατέχει έναν λογαριασμό προγραμματιστή και ούτω καθεξής.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των εγγενών εφαρμογών είναι το γεγονός ότι επιτρέπουν στον προγραμματιστή να βελτιστοποιήσει τον κώδικα μιας συγκεκριμένης πλατφόρμας. Είτε πρόκειται για γραφικά και τέλεια λεία κίνηση, προσαρμόζοντας την εφαρμογή και τη σύνδεσή της με το λειτουργικό σύστημα ή την πλήρη πρόσβαση σε αισθητήρες συσκευών και προγραμματιστικές διεπαφές, οι μητρικές εφαρμογές είναι η λύση με τις καλύτερες επιδόσεις.

Τα μειονεκτήματα προκύπτουν από την ανάγκη γραφής του κώδικα για κάθε πλατφόρμα ξεχωριστά. Ο κώδικας είναι περισσότερο ή λιγότερο

μοναδικός για κάθε λειτουργικό σύστημα και η εφαρμογή πρέπει επίσης να διατηρείται ξεχωριστά για αυτό το λόγο ένας προγραμματιστής πρέπει να χειριστεί περισσότερες τεχνολογίες και διαδικασίες.

## **Εφαρμογές Web**

Οι εφαρμογές Web είναι στην πραγματικότητα ιστοσελίδες που απαιτούν πολύ μεγαλύτερη αλληλεπίδραση με τους χρήστες τους. Οι προγραμματιστές χρησιμοποιούν τις ίδιες τεχνικές και γλώσσες που χρησιμοποιούνται για την ανάπτυξη ιστοτόπων όπως HTML, CSS και JavaScript. Η εφαρμογή αποθηκεύεται σε ένα διακομιστή ιστού από τον οποίο μεταφορτώνεται και εκκινείται μέσα από ένα πρόγραμμα περιήγησης στο διαδίκτυο.

Οι εφαρμογές Web είναι σχετικά εύκολο να αναπτυχθούν. Ένα πλεονέκτημα είναι ότι ένα λογισμικό που δημιουργείται ως εφαρμογή Web είναι φυσικά πολλαπλή πλατφόρμα. Λειτουργεί μέσα σε ένα πρόγραμμα περιήγησης και δεν έχει σημασία ποιο πρόγραμμα περιήγησης χρησιμοποιείται συγκεκριμένα.

Η εφαρμογή Web ωστόσο δεν έχει πρόσβαση σε όλες τις δυνατότητες που παρέχει ένα λειτουργικό σύστημα σε μια εγγενή εφαρμογή. Το πρόβλημα αυτό επιλύεται από το τμήμα JavaScript της HTML 5, όπου η διασύνδεση των αλληλεπιδράσεων του τερματικού χρήστη αντιστοιχίζεται κατευθείαν σε μια λειτουργία της γλώσσας JavaScript.

## **Υβριδικές εφαρμογές**

Η τελευταία επιλογή που εξετάζεται σε αυτή τη διατριβή είναι η ανάπτυξη μιας υβριδικής εφαρμογής. Αυτή η μέθοδος καταβάλλει προσπάθειες για να συνδυάσει τις καλύτερες προσεγγίσεις της ανάπτυξης εφαρμογών και εφαρμογών ιστού. Ο πηγαίος κώδικας μπορεί να γραφτεί χρησιμοποιώντας

διαφορετικές τεχνολογίες και γλώσσες προγραμματισμού αφού είναι τυλιγμένο σε ένα ειδικό στρώμα κατά τη διάρκεια της κατασκευής που επιτρέπει την εκκίνηση της εφαρμογής σε διάφορες πλατφόρμες. Αυτό το επίπεδο προσθέτει τη δυνατότητα πρόσβασης στο εγγενές API ενός συστήματος, επομένως δεν υπάρχουν σχεδόν καθόλου όρια χρήσης.

Υπάρχουν περισσότερες επιλογές για την ανάπτυξη μιας υβριδικής εφαρμογής. Η πλειοψηφία περιλαμβάνει τη χρήση του στοιχείου WebView του λειτουργικού συστήματος για την εμφάνιση μιας εφαρμογής Web από κάτω. Αυτή η εφαρμογή Web είναι γραμμένη σε κοινές γλώσσες ιστού, όπου οι φυσικές διεπαφές προγραμματισμού αντιστοιχίζονται σε λειτουργίες JavaScript.

Συμπερασματικά, όλες οι δυνατότητες έχουν τα πλεονεκτήματα και τις ελλείψεις τους. Οι εγγενείς - μητρικές εφαρμογές επιτρέπουν στον προγραμματιστή να βελτιστοποιήσει τον κώδικα, να προσαρμόσει τη διεπαφή χρήστη και να επιτρέψει την καλύτερη συνεργασία με το λειτουργικό σύστημα. Από την άλλη πλευρά, είναι απαραίτητο να γραφεί κώδικας για κάθε πλατφόρμα. Οι εφαρμογές Web είναι πολυπλατφόρμες, αλλά δεν είναι πολύ ισχυρές όταν πρόκειται για τη σύνδεσή τους με ένα λειτουργικό σύστημα. Οι υβριδικές εφαρμογές είναι φορητές και προσφέρουν επίσης τεχνικές για να κάνουν χρήση των φυσικών διεπαφών προγραμματισμού των λειτουργικών συστημάτων. Ωστόσο, συνήθως δεν υποστηρίζουν πλήρως τη φυσική εμφάνιση και την αίσθηση ενός περιβάλλοντος χρήστη.

Συνοπτικά οι στόχοι που θα πρέπει να επιτευχθούν είναι οι εξής:

- Έμφαση στα δεδομένα :Ένας βασικός στόχος της εφαρμογής είναι η έμφαση στα δεδομένα. Μελέτες προσδιορίζουν την ανάγκη της εύκολης και διακριτής συναλλαγής ώστε όλοι οι χρήστες να χρησιμοποιούν όλο και περισσότερο την εφαρμογή είτε αυτούσια είτε σαν εξωτερική βιβλιοθήκη σε πανεπιστημιακή εφαρμογή.

- Έμφαση στο User Interface: Ακόμη ένας στόχος της εφαρμογής είναι η δημιουργία σωστού layout (διάταξη). Διάφορες μελέτες έχουν δείξει πως με τη χρήση εικόνων που περιέχουν συνοπτικά πληροφορίες αυξάνεται η αποτελεσματικότητα της εφαρμογής.

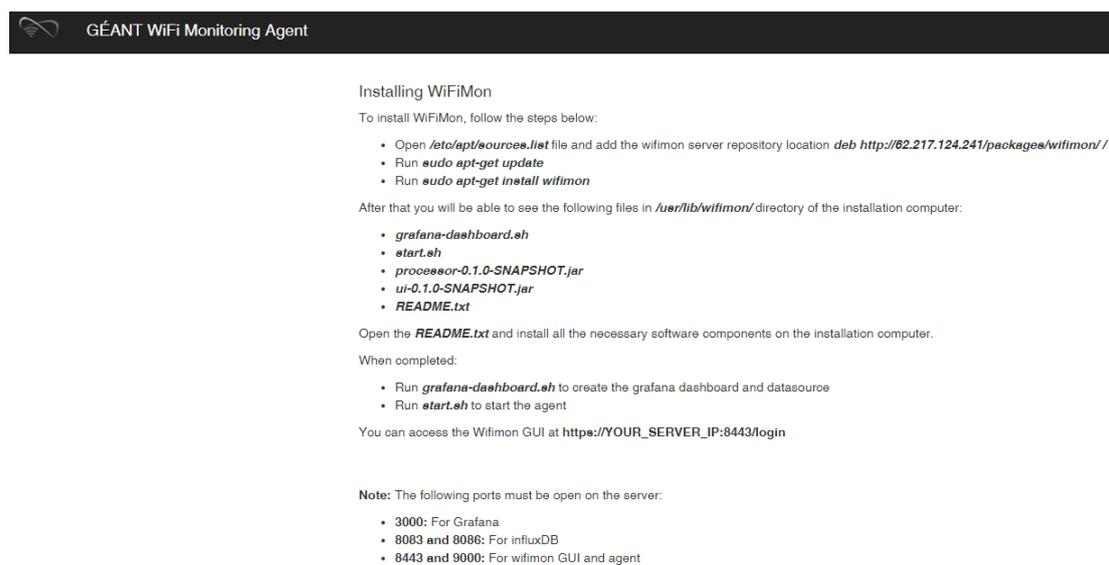
- Διαδραστικότητα: Η εφαρμογή θα πρέπει να αλληλεπιδρά με τον χρήστη και να τον ενημερώνει με διάφορους τρόπους για την καταγραφή της μέτρησης [22][23]

## **5. Θέματα Υλοποίησης**

---

## 5.1 WiFiMon Mobile Εφαρμογή

Το WiFiMon σήμερα υπήρχε υλοποιημένο σαν εργαλείο ανάλυσης του ασύρματου δικτύου μέσω Web-browser με χρήση javascript. Για τον τρόπο εγκατάστασης και χρήσης της εφαρμογής WiFiMon μπορείτε να δείτε την παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 6: GEANT WiFi Monitoring Agent

Έχοντας κατά νου τα τρία παραπάνω μοντέλα ανάπτυξης μιας mobile εφαρμογής καθώς και τις ανάγκες προχωρήσαμε στην ανάπτυξη της κινητής εφαρμογής που είναι και το αντικείμενο μελέτης και υλοποίησης στη παρούσα διπλωματική εργασία με δυνατότητα καταγραφής μετρήσεων από κινητές συσκευές τύπου smartphones.

Επί του παρόντος, οι πληροφορίες για τη μέτρηση και επαλήθευση της απόδοσης του Wi-Fi μπορούν να αναφερθούν με τρεις τρόπους: (α) κινητή συσκευή τελικού χρήστη, (β) Ασύρματο Σημείο Πρόσβασης (WAP) / Wi-Fi Controller και (γ) NMS. Οι δύο τελευταίες προσεγγίσεις επιτρέπουν τη βασική αντιμετώπιση προβλημάτων στους πελάτες και υποδεικνύουν πιθανές περιοχές προβλημάτων αν και δε δείχνουν την απόδοση των πραγματικών εφαρμογών ή

την απόδοση των κινητών συσκευών χωρίς συγκεκριμένη επέκταση ή λύση λογισμικού προμηθευτή, δηλ. δεν αναφέρουν ολόκληρη την ιστορία από την προοπτική της συσκευής πελάτη κινητής τηλεφωνίας [24].

Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω, εστιάζουμε στις συσκευές κινητών τελικών χρηστών και ερευνάμε τον τρόπο παροχής δεδομένων σχετικά με το δίκτυο (εύρος ζώνης, λανθάνουσα κατάσταση, κ.λπ.) με βάση τη συμπεριφορά των τελικών χρηστών στο ασύρματο δίκτυο της πανεπιστημιούπολης. Προηγούμενα έργα, προσπάθησαν να κατανοήσουν τυχόν προβλήματα στο ασύρματο δίκτυο και να βελτιώσουν την ικανότητα των υποδομών Wi-Fi, αυξάνοντας την πυκνότητα των AP σεντός μιας τοπολογίας. Ωστόσο, προς το παρόν δεν υπάρχει ένα μόνο εργαλείο που να μπορεί να ενεργοποιεί και να καταγράφει μετρήσεις από τις συσκευές τελικού χρήστη, χωρίς ο χρήστης να παρεμβαίνει πραγματικά για να ξεκινήσει τις δοκιμές απόδοσης.

Το εργαλείο που παρουσιάζεται σε αυτή τη διπλωματική εργασία (με την ονομασία WiFiMon) προσπαθεί να καλύψει αυτό το χάσμα. Η υπηρεσία προσφέρει ένα εργαλείο από άκρο σε άκρο για τη μέτρηση της ποιότητας ενός ασύρματου δικτύου Wi-Fi σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Επιτρέπει στους χρήστες να εκτελούν και να καταγράφουν μετρήσεις Wi-Fi σε πραγματικό χρόνο χωρίς την παρέμβασή τους, αφού η καταγραφή των μετρήσεων πραγματοποιείται στο background κατά την εκκίνηση της εφαρμογής. Η υπηρεσία αναπτύσσεται και προσφέρεται από την GÉANT και βασίζεται σε εργαλεία ανοικτού κώδικα (όπως το Nettek) που τηρούν τις απαιτήσεις της υπηρεσίας.

Πιο λεπτομερώς, μέσω της εφαρμογής WiFiMon, οι χρήστες πραγματοποιούν λήψη ορισμένων δειγμάτων εικόνων που βρίσκονται αποθηκευμένες σε κεντρικούς servers και αναφέρουν τη διακίνηση μεταφόρτωσης δεδομένων καθώς και το χρόνο (RTT) που απαιτείται για επικοινωνία με τον κεντρικό server. Για τις ανάγκες της παρούσας διπλωματικής εργασίας το WiFiMon αναπτύχθηκε τόσο για συσκευές Android

όσο και για συσκευές iOS με χρήση των αντίστοιχων developer tools Android Studio και XCode. Οι εφαρμογές είναι διαθέσιμες στην παραπάνω αναφορά [25] ενώ παράδειγμα του κώδικα υπάρχει στο παράρτημα που επισυνάπτεται.

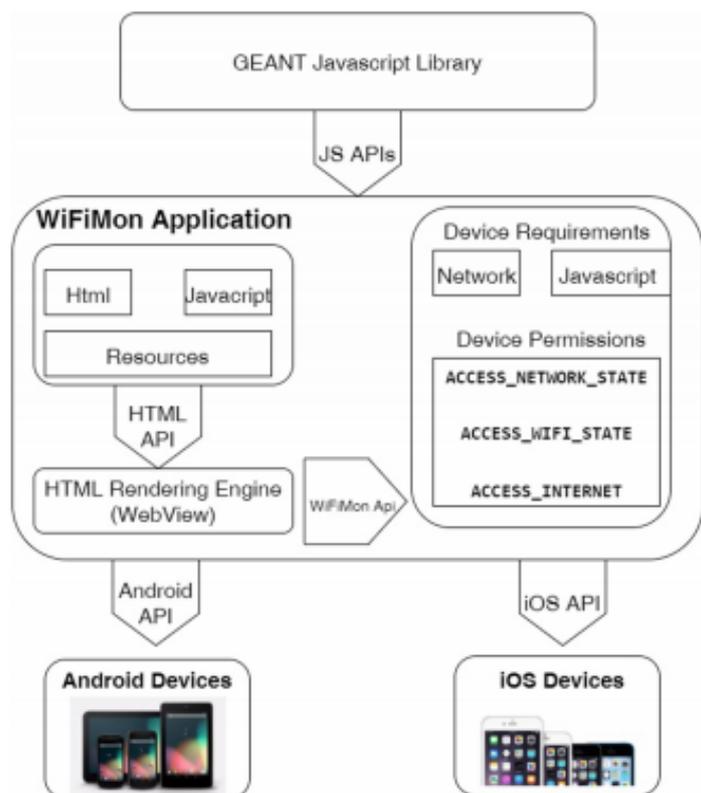
## 5.2 Διαδικασία μέτρησης μέσω του WiFiMon App

Ο τερματικός χρήστης συνδέεται στο αντίστοιχο WAP με ενεργοποιημένο το eduroam χρησιμοποιώντας το smartphone του / της. Ο έλεγχος ταυτότητας γίνεται μέσω IEEE802.1x (EAP / TTLS), λαμβάνει μια διεύθυνση IP από το διακομιστή DHCP και πραγματοποιείται στη συνέχεια καταχώρηση στο αρχείο καταγραφής λογαριασμών RADIUS και στο DHCP log σε τακτά χρονικά διαστήματα για επαλήθευση των τιμών που αποθηκεύτηκαν. Όλα τα παραπάνω δεδομένα εισάγονται στη συνέχεια στη βάση δεδομένων RDB.

Στο επόμενο βήμα, ο χρήστης πρέπει να ανοίξει την εφαρμογή WiFiMon (ή μια εξωτερική εφαρμογή για κινητά με WiFiMon ενσωματωμένη ως βιβλιοθήκη) ή να επισκεφθεί μια ιστοσελίδα με δυνατότητα WiFiMon (αυτή η ιστοσελίδα μπορεί να είναι μια σελίδα που επισκέπτεται συχνά, όπως μια πανεπιστημιακή πύλη ή κάποιο άλλος δικτυακός τόπος). Ο javascript μηχανισμός που εκτελείται στην ιστοσελίδα ενεργοποιεί αυτόματα μια σειρά από μετρήσεις απόδοσης δικτύου που αφορούν το εύρος ζώνης (ταχύτητες φόρτωσης και λήψης) και την καθυστέρηση (RTT). Τα αποτελέσματα των μετρήσεων συλλέγονται στο RDB όπου αναλύονται μαζί με τα δεδομένα από τα αρχεία καταγραφής RADIUS και DHCP (και ίσως το syslog), για να συσχετιστεί το αναγνωριστικό σημείου πρόσβασης (τοποθεσία) με την κινητή συσκευή και την απόδοσή του ασύρματου δικτύου.

Για την ανάπτυξη της εφαρμογής WiFiMon επιλέξαμε το κατάλληλο API ανάλογα με τη πλατφόρμα ανάπτυξης. Ωστόσο, η εφαρμογή WiFiMon θα έπρεπε να υλοποιηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να ενσωματωθεί από

πανεπιστημιακές εφαρμογές ως εξωτερική βιβλιοθήκη για ανάλυση μετρήσεων Wi-Fi.



**Εικόνα 7:** Η Αρχιτεκτονική της εφαρμογής WiFiMon

Η αρχιτεκτονική της εφαρμογής WiFiMon, όπως παρουσιάζεται στην παραπάνω εικόνα, αποτελείται από τρία μέρη:

- τη βιβλιοθήκη JavaScript GEANT και τα εργαλεία που βασίζονται στην Java, χρησιμοποιώντας το Spring Boot Framework για την ενεργοποίηση μετρήσεων και ανάλυσης παρακολούθησης,
- την εφαρμογή WiFiMon που τρέχει σε smartphones και στέλνει τις μετρήσεις στον διακομιστή και
- το κινητό λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιεί το κατάλληλο API για την κατασκευή της εφαρμογής για κινητά.

Όλα τα JavaScript plugins χρησιμοποιούν τεχνολογίες HTML και JSON και αλληλεπιδρούν με το κινητό λειτουργικό σύστημα μέσω του Android API [26] και του iOS API αντίστοιχα.

### 5.3 WiFiMon λογισμικό και παράδειγμα χρήσης της εφαρμογής

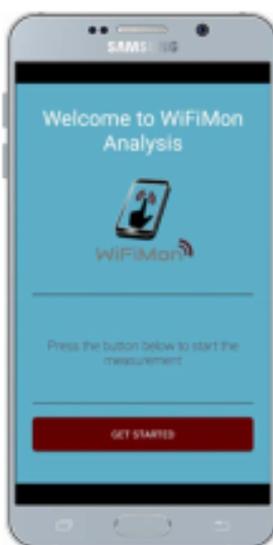
Στην πανεπιστημιούπολη DCU όπως και σε διάφορα πανεπιστημιακά campus παρατηρήσαμε ότι οι τελικοί χρήστες ικανοποιούν τις επικοινωνιακές τους ανάγκες μέσω της χρήσης έξυπνων συσκευών / τηλεφώνων. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της επικοινωνίας δεν πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας λειτουργίες που βασίζονται σε προγράμματα περιήγησης, αλλά χρησιμοποιώντας εφαρμογές συνεδριών. Ενώ το JavaScript στο πρόγραμμα περιήγησης είναι ένας εύκολος τρόπος προσέγγισης χρηστών, όσο ο χρόνος που ξοδεύουν οι χρήστες στις εφαρμογές για κινητά αυξάνεται. Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει μια επίδειξη επισκόπησης του WiFiMon που λειτουργεί σε συσκευές Android.

Δεδομένου ότι ο χρήστης μας είναι ήδη συνδεδεμένος στο WAP και λαμβάνει μια διεύθυνση IP, πρέπει να ακολουθήσει τα παρακάτω βήματα για να ξεκινήσει τις μετρήσεις απόδοσης:

- **Βήμα 1:** Πραγματοποίηση λήψης της εφαρμογής WiFiMon και εγκατάστασης χρησιμοποιώντας τα βήματα που περιγράφονται στο αρχείο Readme που συνοδεύει την εφαρμογή.
- **Βήμα 2:** Άνοιγμα της εφαρμογής WiFiMon. Μέσω μιας φιλικής διεπαφής χρήστη – UI, ο χρήστης πρέπει να διαμορφώσει τις επιλογές μέτρησης. Η διαμόρφωση περιλαμβάνει τη ρύθμιση: (1) της διεύθυνσης IP (ή του ονόματος τομέα) του διακομιστή όπου είναι εγκατεστημένος ο πράκτορας της Java και το RDB, (2) το σύνδεσμο προς το φάκελο από τον οποίο μεταφορτώνονται οι

εικόνες για την εκτέλεση των μετρήσεων, 3) τον χρόνο (σε λεπτά) λήξης του cookie που εμποδίζει επαναλαμβανόμενες μετρήσεις.

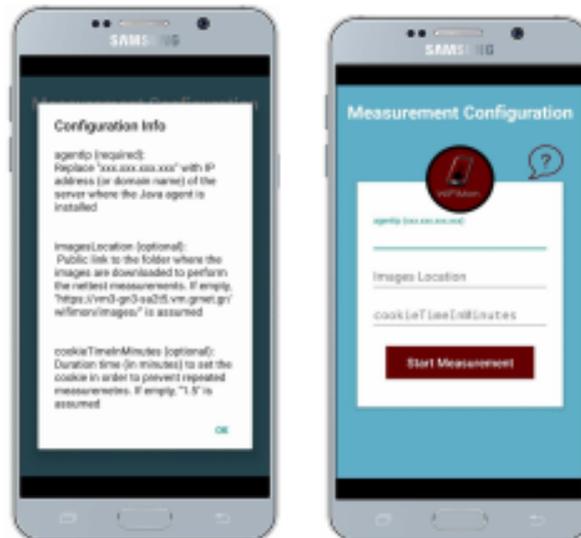
• **Βήμα 3:** Στη συνέχεια κάνουμε κλικ στο κουμπί Start Measurement (Έναρξη μέτρησης) και περιμένουμε την απάντηση, μέχρι να ολοκληρωθεί η μέτρηση. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, η εφαρμογή ξειινάει μια σειρά ενεργειών και ανταλλαγή δεδομένων με τον κεντρικό server (όπως η λήψη και μεταφόρτωση αιτημάτων αρχείων σε διακομιστή) και η αποθήκευση των αποτελεσμάτων στο RDB. Σε κάθε περίπτωση ο χρήστης θα λάβει ένα μήνυμα ειδοποίησης σχετικά με την κατάσταση των μετρήσεων [27].



**Εικόνα 8:** WiFiMon Android UI

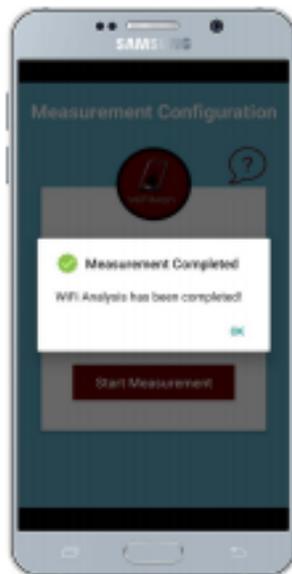
Όπως μπορούμε να δούμε, το UI είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί για οποιονδήποτε χρήστη, δίνοντας την ευκαιρία να δοκιμάσει τη ποιότητα σύνδεσης WiFi. Στο παραπάνω σχήμα παρουσιάζουμε την αρχική σελίδα της εφαρμογής για κινητά, στην οποία ειδοποιείται ο χρήστης για την εφαρμογή και το σκοπό της. Παρακάτω, ο χρήστης πρέπει να ρυθμίσει τις παραμέτρους των μετρήσεων όπως η διεύθυνση IP του φορέα (ή το όνομα τομέα) του διακομιστή όπου είναι εγκατεστημένος ο πράκτορας Java, οι εικόνες Location, ένας σύνδεσμος στο φάκελο όπου οι εικόνες μεταφορτώνονται για να

εκτελέσουν το nettest μετρήσεις και τελικά το cookieTimeInMinutes, ο χρόνος διάρκειας (σε λεπτά) για να ρυθμίσετε το cookie προκειμένου να αποφευχθούν επαναλαμβανόμενες μετρήσεις.



**Εικόνα 9:** Σελίδα διαμόρφωσης εφαρμογής WiFiMon

Με τις παραπάνω παραμέτρους να έχουν ρυθμιστεί, ο χρήστης μπορεί να πιάσει το πλήκτρο Start Measurement και στη συνέχεια η μέτρηση ξεκινά την αποστολή δεδομένων στο διακομιστή. Όταν ολοκληρωθεί η μέτρηση, εμφανίζεται ένα μήνυμα ειδοποίησης όπως δείχνει η εικόνα που φαίνεται παρακάτω.



**Εικόνα 10:** Μήνυμα απόκρισης εφαρμογής WiFiMon

Η αποθήκευση των αποτελεσμάτων στη βάση δεδομένων RDB είναι μόνο το μισό σκέλος της διαδικασίας. Στις πανεπιστημιούπολεις το δίκτυο Wi-Fi μπορεί να αποτελείται από μεγάλο αριθμό WAP και οι διαχειριστές θα πρέπει να γνωρίζουν από ποιο WAP έχει ξεκινήσει η μέτρηση. Επομένως, το δεύτερο μισό της διαδικασίας περιλαμβάνει τη συσχέτιση κάθε μέτρησης με το μοναδικό αναγνωριστικό του WAP. Οι πληροφορίες σχετικά με το μοναδικό αναγνωριστικό του WAP μπορούν να εξαχθούν από τα αρχεία καταγραφής RADIUS και DHCP.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφέρουμε ότι τα τρία βήματα για την έναρξη μετρήσεων επιδόσεων απαιτούνται μόνο όταν χρησιμοποιείται αυτόνομη εφαρμογή WiFiMon. Η εφαρμογή WiFiMon μπορεί επίσης να υιοθετηθεί ως βιβλιοθήκη σε εξωτερικές εφαρμογές κινητής τηλεφωνίας. Σε αυτή την περίπτωση, οι εξωτερικοί προγραμματιστές εφαρμογών θα έχουν ήδη διαμορφώσει τις τρεις παραμέτρους και ο χρήστης θα ενεργοποιήσει αυτόματα τις μετρήσεις κατά τη χρήση της εξωτερικής εφαρμογής, επομένως η παρέμβαση του χρήστη δεν θα είναι απαραίτητη.

## **5.4 Το WiFiMon ως εξωτερική βιβλιοθήκη**

Εκτός από μια αυτόνομη εφαρμογή όπου οι χρήστες μπορούν να ξεκινήσουν τη δοκιμή επιδόσεων, το WiFiMon μπορεί επίσης να υιοθετηθεί ως εκτεταμένη βιβλιοθήκη σε εξωτερικές εφαρμογές κινητής τηλεφωνίας (όπως εφαρμογές πανεπιστημίων), αφού ο κώδικας έχει κατασκευαστεί έτσι, ως απόδειξη της έννοιας της παρακολούθησης της απόδοσης. Παράδειγμα του παραπάνω κώδικα και πως αυτός μπορεί εύκολα να ενσωματωθεί σε οποιαδήποτε εφαρμογή υπάρχει στο σχετικό παράρτημα.

## 6. Περιγραφή λειτουργικότητας

---

Το WiFiMon σαν υπηρεσία δίνει τη δυνατότητα σε διαχειριστές δικτύου να έχουν μία ξεκάθαρη εικόνα της ποιότητας δικτύου που απολαμβάνουν οι τερματικοί χρήστες. Η λειτουργικότητα και απόδοση της δοκιμάστηκαν σε δύο πιλοτικές ιστοσελίδες: στην επίσημη ιστοσελίδα του πανεπιστημίου του Δουβλίνου (Dublin City University (DCU)) και κατά τη διάρκεια του συνεδρίου TNC2015 το οποίο έλαβε χώρα στο Porto της Πορτογαλίας. Τα αποτελέσματα των παραπάνω πειραμάτων παρουσιάζονται αναλυτικά στην συγκεκριμένη ενότητα.

Ειτός απο τη λειτουργικότητα και απόδοση της εφαρμογής WiFiMon σημαντικό ήταν η παραπάνω εφαρμογή να δοκιμαστεί κάτω απο συνθήκες αποστολής πολλών μετρήσεων ταυτόχρονα. Για το παραπάνω λόγο αρκετά stress tests πραγματοποιήθηκαν με στόχο την ανάδειξη της «αντοχής» της παραπάνω εφαρμογής στα παραπάνω τεστ.

## **6.1 Η περίπτωση του DCU**

Η υποδομή WiFi στην περίπτωση του DCU αποτελείται από ένα ζευγάρι controllers τύπου Motorola RFS7000 με χρήση επιπλέον Motorola-dependent Aps. Το πανεπιστήμιο του DCU χρησιμοποιεί FreeRADIUS [28] με ISC DHCP server σε Linux μηχανήμα. Ολόκληρο το campus του πανεπιστημίου διαθέτει περίπου 800 διαφορετικά APs για την κάλυψη των αναγκών για συνδεσιμότητα, διαφόρων χρηστών. Ο μέχρι τώρα τύπος λειτουργίας δικτύου δεν κάνει χρήση non-tunneled bridge mode, όπου οι τερματικοί χρήστες τοποθετούνται σε ένα τοπικό.

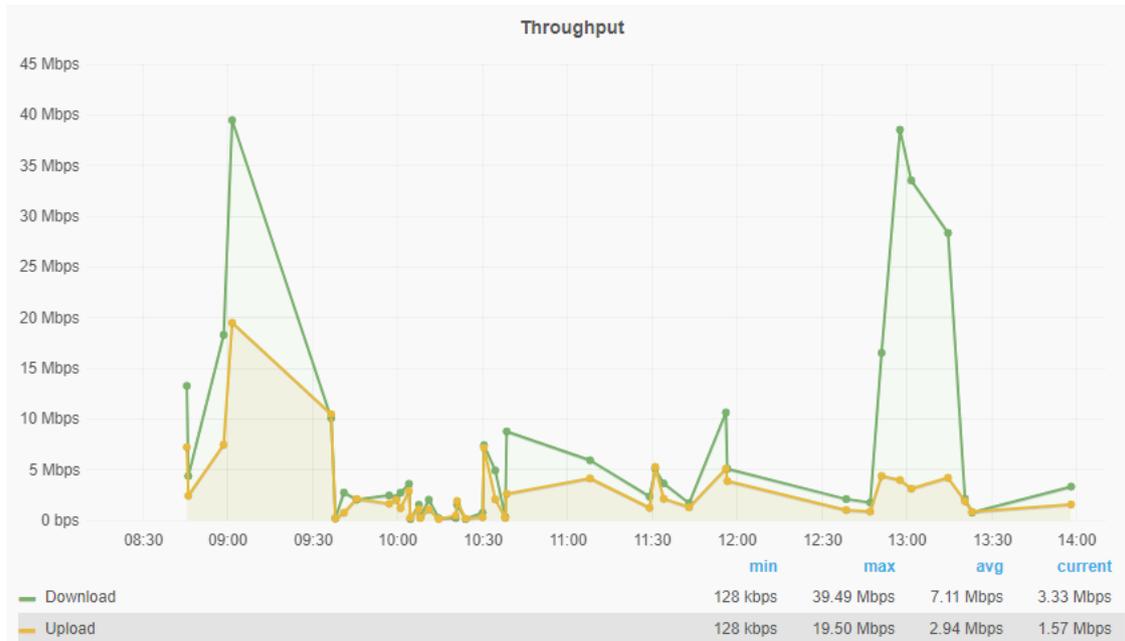
Η αυθεντικοποίηση του Wi-Fi γίνεται μέσω της eduroam υπηρεσίας για τοπικούς χρήστες αλλά και επισκέπτες της επίσημης ιστοσελίδας. Ένα αναγνωριστικό AP περιλαμβάνεται στα αρχεία καταγραφής Radius που επιτρέποντας την παρακολούθηση του χρήστη με βάση την τοποθεσία.

Η διαδικασία μέτρησης του συγκεκριμένου πειράματος είχε ως εξής:

Στις 26 Μαΐου 2017 από τις 08:30 έως τις 14:00, ένας αριθμός χρηστών οι οποίοι κινούνταν εντός του DCU campus, πραγματοποίησαν κατά την περιαγωγή τους μετρήσεις με χρήση του WiFiMon. Καθώς αυτοί περιηγούνταν οι τερματικό χρήστες με χρήση των διαφόρων τεχνολογιών Wi-Fi πραγματοποιούσαν μεταπομπές από το ένα AP στο άλλο εντός της περιγραφόμενης τοπολογίας. Οι παραπάνω μετρήσεις καταγράφτηκαν με χρήση της Web σελίδας του πανεπιστημίου ή της επίσημης mobile εφαρμογής οι οποίες κάνουν και οι δύο χρήση των απαραίτητων βιβλιοθηκών javascript του WiFiMon για να είναι σε θέση να καταγράψουν τις μετρήσεις μέσω του NetTest. Έτσι κατά τη διάρκεια της μέτρησης χρησιμοποιήθηκε ένας συγκεκριμένος αριθμός εικόνων διαφορετικού μεγέθους τις οποίες κατεβάζει ο server στην εκάστοτε μέτρηση για να καταγράψει το download και upload throughput όπως και το RTT. Ο συγκεκριμένος server βρισκόταν στην Αθήνα που σημαίνει ότι οι μετρήσεις και οι διάφορες τιμές των παραπάνω παραμέτρων λήφθηκαν βάσει τοποθεσίας. Αμέσως μετά την καταγραφή των μετρήσεων τα αποτελέσματα αποθηκεύονται σε μία χωροχρονική βάση δεδομένων και γίνεται στη συνέχεια ο συσχετισμός των APs με χρήση των Radius logs. Στις παρακάτω εικόνες διαγράμματα μπορείτε να δείτε τα αποτελέσματα των πειραμάτων όπως αυτά καταγράφτηκαν μετά τις μετρήσεις.

Στην παρακάτω Εικόνα 11 μπορούμε να δούμε τις τιμές download και upload throughput όπως καταγράφτηκαν από τους τερματικούς χρήστες. Η παρακάτω εικόνα μαζί με τις δυνατότητες του Grafana παρέχουν πληροφορίες όπως την ελάχιστη, μέγιστη και μέση τιμή του throughput. Πιο λεπτομερώς μπορούμε να δούμε ότι η μέγιστη τιμή throughput στην περίπτωση του download είναι 39.49Mbps ενώ η μέγιστη τιμή στην περίπτωση του upload throughput είναι 19.50Mbps. Ο μέσος όρος του throughput σύμφωνα με την εικόνα για την περίπτωση του download είναι 7.11Mbps και 2.94Mbps για την περίπτωση του upload αντίστοιχα. Η ελάχιστη τιμή και στις δύο περιπτώσεις εντοπίζεται στα 128Kbps. Από τη παρακάτω εικόνα είναι εμφανές ότι υπάρχει

μεγάλη διακύμανση μεταξύ του download και upload throughput. Οι παραπάνω ακραίες τιμές μπορεί να οφείλονται είτε σε προσωρινά προβλήματα του δικτύου κατά τη διάρκεια καταγραφής της μέτρησης είτε γιατί οι χρήστες διέθεταν κακή εμπειρία όσον αφορά την περιαγωγή τους στο διαδίκτυο λόγω αποσυνδέσεων είτε λόγω κακής ποιότητας σήματος.



**Εικόνα 11:** Download και Upload Throughput

Ωστόσο εκτός από τις τιμές του download και upload throughput αξιοσημείωτος είναι και ο χρόνος RTT όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 12. Ο μικρότερος χρόνος RTT είναι 32ms και αντίστοιχα ο μεγαλύτερος χρόνος RTT είναι 171ms. Οι παραπάνω τιμές φαίνονται φυσιολογικές αν αναλογιστεί κανείς ότι ο χρόνος RTT υπολογίζεται από το Δουβλίνο (Ιρλανδία) στην Αθήνα (Ελλάδα). Επιπλέον μπορούμε από την εικόνα να δούμε ότι στο χρονικό διάστημα 09:30 έως 10:30 το RTT πετυχαίνει τις μεγαλύτερες τιμές του. Σε αυτό το χρονικό διάστημα το download και upload throughput είναι ιδιαίτερα χαμηλό, πράγμα που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι έχουμε προσωρινά προβλήματα στο ασύρματο δίκτυο είτε κακή ποιότητα δικτύου (π.χ ο χρήστης είναι μακριά από την ακτίνα κάλυψης του AP) είτε οι χρήστες είναι

συνδεδεμένοι με APs που υποστηρίζουν διαφορετικές τεχνολογίες (π.χ 300Mbps IEEE 802.11an, 130Mbps IEEE 802.11bgn – Εικόνα 14).

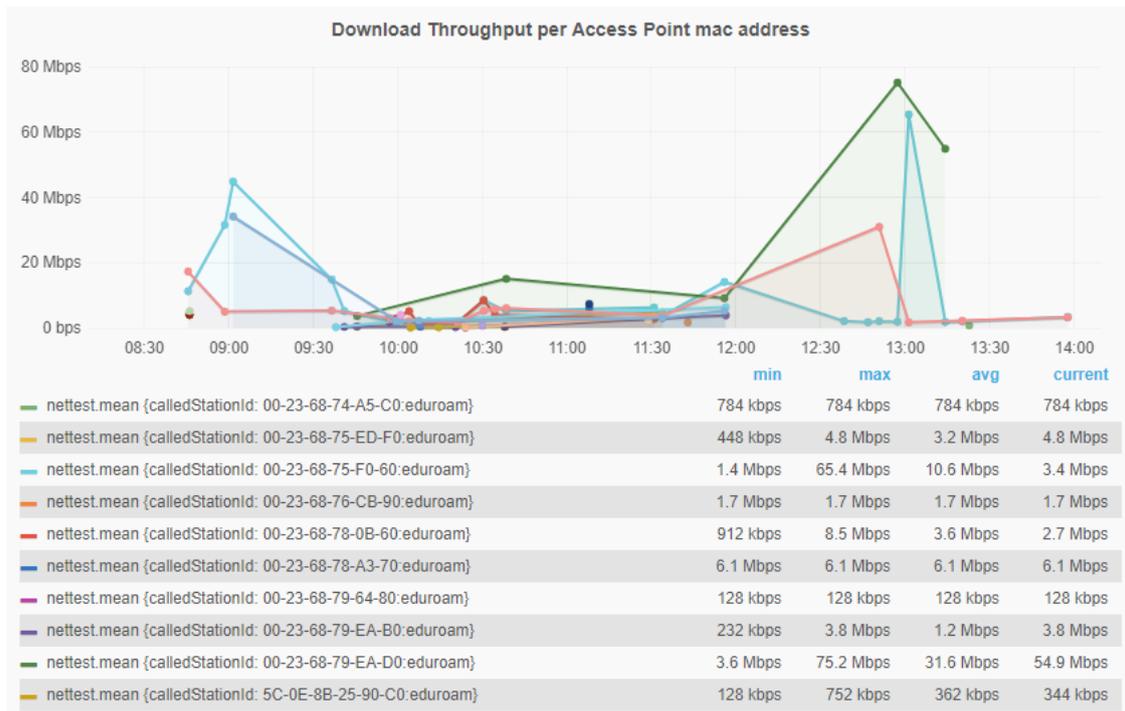


**Εικόνα 12:** Round trip time

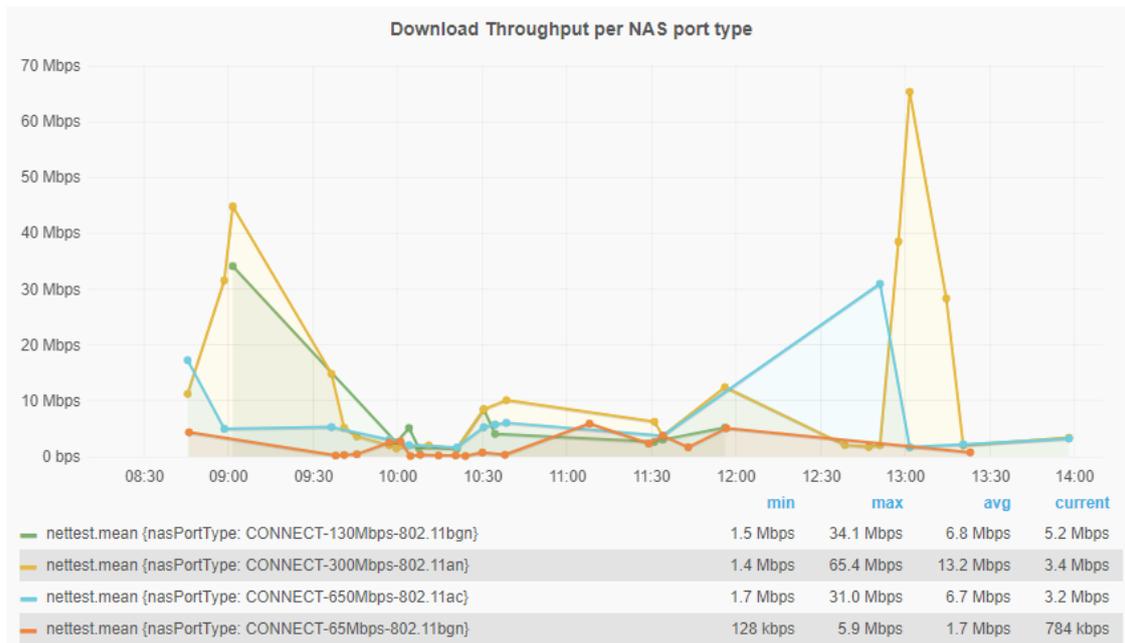
Επιπλέον επιλογές οπτικοποίησης περιλαμβάνουν:

- Μετρήσεις ανά IP (Εικόνα 13)
- Μετρήσεις ανά πρόγραμμα περιήγησης
- Ικανότητα προβολής μετρήσεων από συγκεκριμένο AP, πρόγραμμα περιήγησης, πελάτη κ.λπ.

Όπως παρατηρούμε από το διάγραμμα της εικόνας για κάθε AP έχουμε την ελάχιστη, μέση και μέγιστη throughput τιμή. Στατιστικά βλέπουμε ότι οι μέσες τιμές των throughput ανα AP συμπίπτουν εντός από κάποιες ακραίες πιθανόν τιμές. Η μέση τιμή υπολογίζεται στα 5 Mbps. Οι ακραίες τιμές που παρουσιάζονται μπορεί να οφείλονται σε μεταβολές του δικτύου ή αποστάσεις των χρηστών από το AP κατά τη διάρκεια της μέτρησης.



**Εικόνα 13:** Download throughput per AP MAC

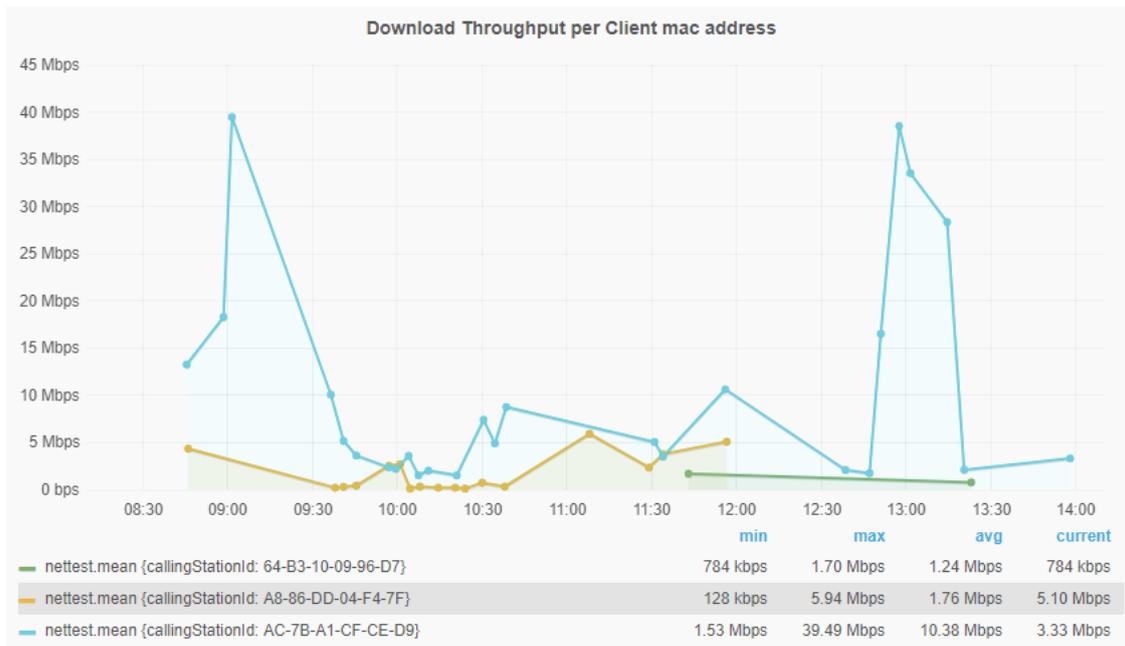


**Εικόνα 14:** Download throughput per NAS port type

Η συσχέτιση των αποτελεσμάτων μέτρησης με τα αρχεία καταγραφής Radius προσφέρει πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την ποιότητα της προσφερόμενης σύνδεσης σε τερματικούς χρήστες.

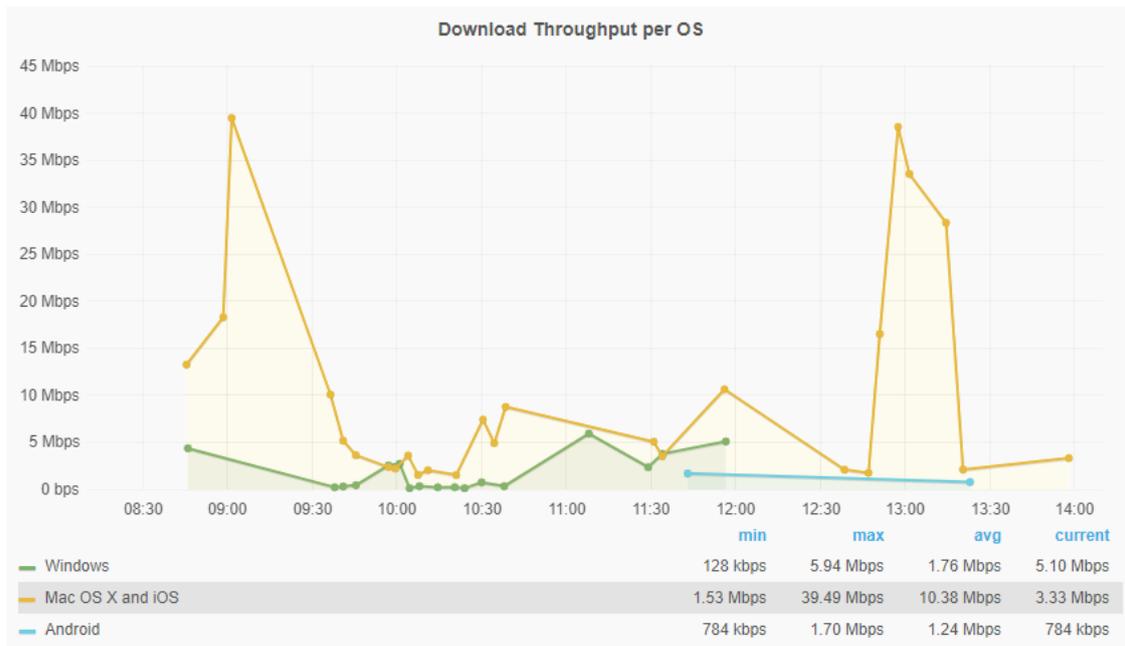
Οι παραπάνω εικόνες παρουσιάζουν τα αποτελέσματα download throughput ανά διεύθυνση και τεχνολογία AP MAC αντίστοιχα. Από αυτά τα στοιχεία, μπορούμε να δούμε ότι το WiFiMon παρέχει σημαντικές πληροφορίες στους διαχειριστές δικτύου σχετικά με την απόδοση των επιμέρους AP. Οι μέγιστες, ελάχιστες, μέσες και τρέχουσες τιμές για κάθε AP υπολογίζονται μαζί με τις πληροφορίες της κάθε τεχνολογίας AP επιτρέποντας έτσι στο διαχειριστή του δικτύου να αξιολογήσει την απόδοσή του.

Συγκεκριμένα, για την περίπτωση του DCU, μπορούμε να δούμε ότι τα αποτελέσματα απόδοσης από τα AP που υποστηρίζουν το πρότυπο 802.11an είναι υψηλότερα σε σχέση με αυτά που προκύπτουν από AP που υποστηρίζουν πρότυπα 802.11bgn.



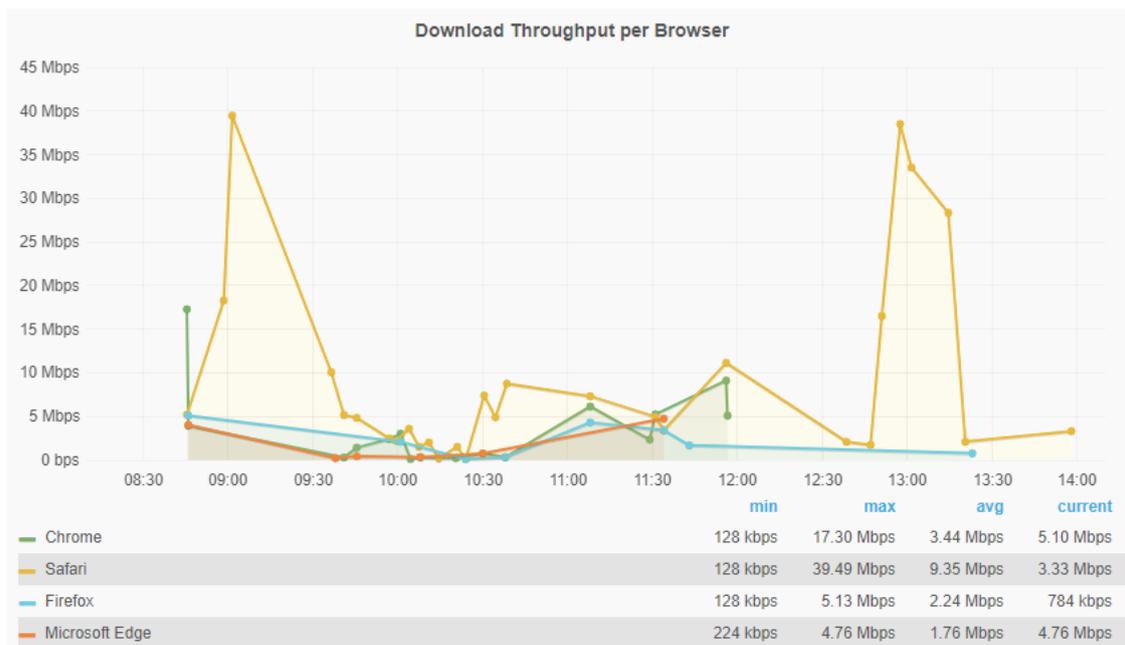
**Εικόνα 15:** Download throughput per Client MAC

Οι πληροφορίες σχετικά με τη διεύθυνση MAC της συσκευής του τερματικού χρήστη περιλαμβάνονται στα αρχεία καταγραφής Radius ενώ το OS και το πρόγραμμα περιήγησης εξάγονται από τη συμβολοσειρά User-Agent στην κεφαλίδα HTTP. Οι τιμές του download και upload throughput μπορούν να γίνουν αντιληπτές και από τη παρακάτω εικόνα. Παρατηρούμε ότι ανάλογα το operating system κάθε φορά έχουμε διαφορετική καμπύλη που αφορά το download και upload throughput. Στο παρακάτω παράδειγμα η μέγιστη τιμή φαίνεται στη περίπτωση του συστήματος Mac OS X σε αντίθεση με εκείνη που καταγράφηκε από κινητή συσκευή τύπου Android. Παρατηρούμε ότι η μέγιστη τιμή απο desktop ή laptop συσκευή με λογισμικό MAC OS X έφερε τιμή throughput κοντά στα 40 Mbps συγκριτικά με εκείνη στη περίπτωση του Android που είναι μόλις 1.7 Mbps. Οι παραπάνω πληροφορίες είναι εξαιρετικά χρήσιμες για να ελέγξουμε εάν πιθανά ανεπαρκή αποτελέσματα οφείλονται σε κακή απόδοση των APs ή των μεμονωμένων συσκευών / OS / browser.



**Εικόνα 16:** Download throughput per OS

Στη τελευταία εικόνα παρακάτω παρατηρούμε τις μεταβολές της βασικής μας μετρικής Download Throughput όσον αφορά τη χρήση διαφορετικού browser. Βλέπουμε ότι ανάλογα με το browser που χρησιμοποιήθηκε στο εκάστοτε σύστημα έχουμε μεταβολή από 4.76Mbps έως 39.49Mbps



**Εικόνα 17:** Download throughput per browser

## 7. Μελέτη Απόδοσης

---

Η δεύτερη παρακολούθηση και επαλήθευση απόδοσης προσομοίωσης πραγματοποιήθηκε τον Ιούλιο του 2017 στις 13 και 14 του μήνα αντίστοιχα. Το πείραμα αυτό διήρκεσε περίπου 24 ώρες. Έτσι ξεκινήσαμε μια σειρά δοκιμών προκειμένου να εξετάσουμε την επεκτασιμότητα του WiFiMon agent όταν λαμβάνει μεγάλο αριθμό μετρήσεων και να εξετάσουμε τις επιδόσεις του WiFiMon GUI όσο οι μετρήσεις στις δύο βάσεις δεδομένων που χρησιμοποιούνται στο WiFiMon αυξάνονται. Προς αυτή την κατεύθυνση, δημιουργήσαμε ένα ρεύμα δεδομένων JSON σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας τον ένα JSON Generator [28]. Οι προδιαγραφές και η χρήση των εικονικών μηχανών (VM) που χρησιμοποιήσαμε για τις προσομοιώσεις ακραίων καταστάσεων βρίσκονται στον παρακάτω πίνακα.

**Πίνακας 5:** Προδιαγραφή προσομοίωσης

Virtual Machine	Usage	RAM	CPU	Hard Disk	Operating System
vm1	WiFiMon instance	2GB	1	9.8 GB HD	debian-squeeze
vm2	JSON Data Generator	2GB	1	9.8 GB HD	Ubuntu (12.04)
vm3	JSON Data Generator	2GB	1	9.8 GB HD	Ubuntu-trusty (14.04)
vm4	JSON Data Generator	2GB	1	9.8 GB HD	debian-squeeze

Η γεννήτρια δεδομένων JSON σε κάθε VM που διαθέσαμε ρυθμίστηκε έτσι ώστε να εκτελέσει μια ακολουθία 10 μετρήσεων (περίπου 1 ανά 250 ms), στη συνέχεια σταματάει για περίπου 1 δευτερόλεπτο και συνεχίζει με την επανάληψη νέας σειράς μετρήσεων. Οι παραπάνω ρυθμίσεις δημιούργησαν περίπου 150-200 JSON αιτήσεις / μετρήσεις ανά λεπτό ανά VM. Οι μετρήσεις από όλα τα VM καταχωρήθηκαν στο ίδιο μηχάνημα WiFiMon (vm1). Στη συγκεκριμένη περίπτωση το WiFiMon έλαβε περίπου 450-600 μετρήσεις ανά λεπτό. Οι μετρήσεις συσχετίστηκαν επίσης με τα Radius logs έτσι ώστε να αυξηθεί η πολυπλοκότητα. Δείγματα αρχείων καταγραφής Radius logs εισήχθησαν χειροκίνητα στην PostgreSQL σε αυτή την κατεύθυνση.

Το πείραμά μας ξεκίνησε μετρώντας το χρόνο που απαιτείται για τη φόρτωση δύο σελίδων του GUI WiFiMon. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακας 6 και Πίνακας 7 αντίστοιχα.

**Πίνακας 6:** Αποτελέσματα απόδοσης

Ημερομηνία και ώρα (UTC)	Μετρήσεις	Αριθμός μετρήσεων	Used Disk Space (KB)	Disk Space Increase (KB)
2017-07-13 09:27	133243	-	7100736	-
2017-07-13 09:57	147923	14680 (~489/min)	7117496	16760
2017-07-13 10:27	162531	14608 (~487/min)	7134332	16836
2017-07-13 10:57	176436	13905 (~464/min)	7150924	16592
2017-07-13 11:27	190721	14285 (~476/min)	7167344	16420
2017-07-13 11:57	204671	13950 (~465/min)	7183128	15784
2017-07-13 12:27	220666	15995 (~533/min)	7200784	17656
2017-07-13 12:57	234900	14234 (~474/min)	7217344	16560
...	...	...	...	...
2017-07-14 06:27	845744	610844 (~582/min)	7338968	121624

2017-07-14 06:57	860199	14455 (~482/min)	7355920	16952
2017-07-14 07:27	877140	16941 (~565/min)	7372984	17064
2017-07-14 07:57	894873	17733 (~591/min)	7394308	21324
2017-07-14 08:27	912327	17454 (~582/min)	7411852	17544
2017-07-14 08:57	930476	18149 (~605/min)	7430844	18992
2017-07-14 09:27	948469	17993 (~600/min)	7448964	18120

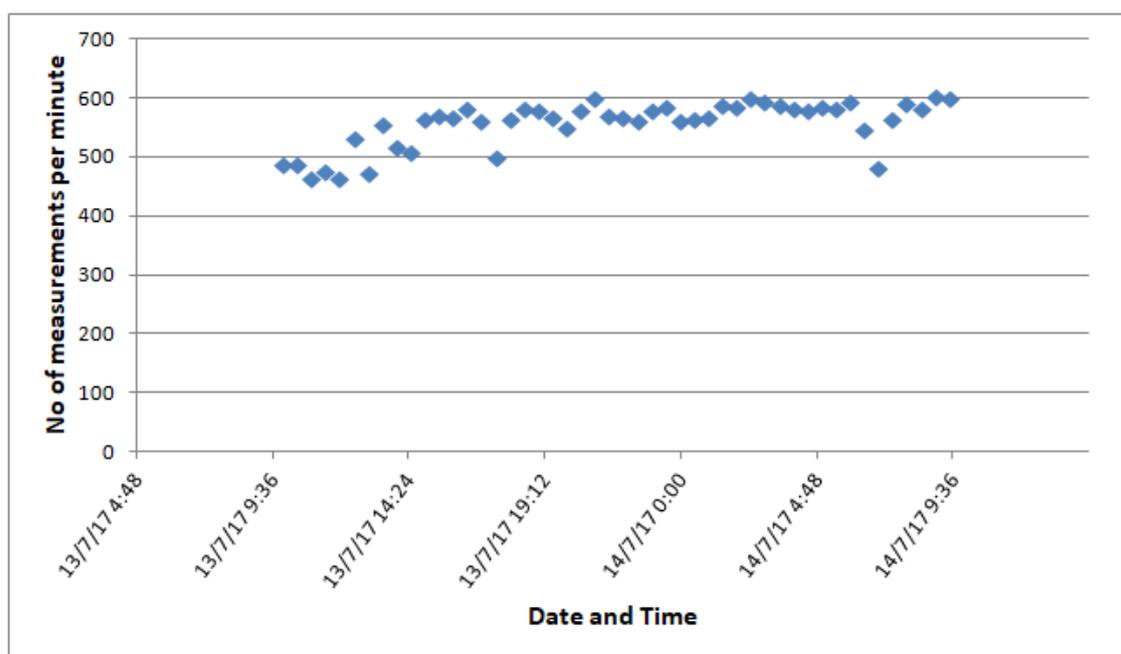
**Πίνακας 7:** Χρόνος φόρτωσης GUIWiFiMon GUI

Ημερομηνία και ώρα (UTC)	Μετρήσεις (sec)	Grafana page (sec)
2017-07-13 09:27	1.12	2.30
2017-07-13 09:57	1.24	1.86
2017-07-13 10:27	1.13	2.17

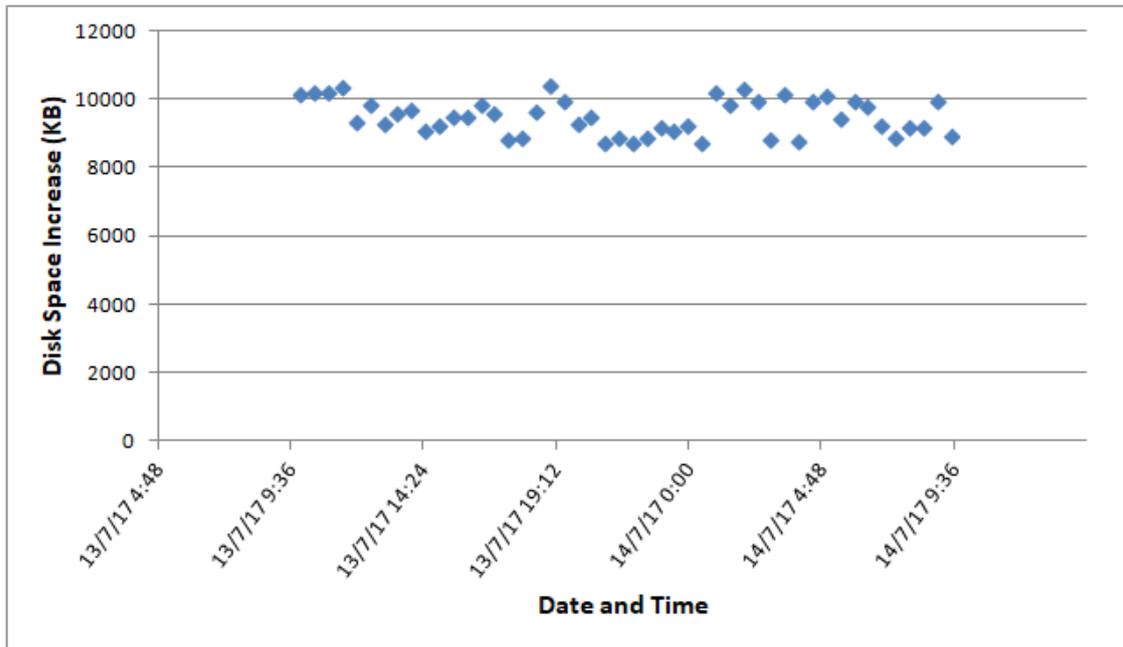
2017-07-13 10:57	1.01	2.26
2017-07-13 11:27	1.26	1.99
2017-07-13 11:57	1.57	2.22
2017-07-13 12:27	1.23	1.98
2017-07-13 12:57	1.07	1.95
...	...	...
2017-07-14 06:27	1.85	2.01
2017-07-14 06:57	2.11	2.33
2017-07-14 07:27	1.78	2.08
2017-07-14 07:57	2.16	1.98
2017-07-14 08:27	2.18	2.16
2017-07-14 08:57	2.25	2.33
2017-07-14 09:27	1.92	2.20

Αξίζει να σημειωθεί ότι πριν από τη διαδικασία ελέγχου υπήρχαν περίπου 6000 (πραγματικές) μετρήσεις αποθηκευμένες στη βάση δεδομένων μας. Με την γεννήτρια δεδομένων JSON προσομοιώσαμε περισσότερες από 942.000 μετρήσεις, ενώ αρχίσαμε να μετράμε τις μετρήσεις απόδοσης όταν ο αριθμός μέτρησης ήταν 133243.

Υποθέτοντας ότι μια ρεαλιστική ποσότητα μετρήσεων θα ήταν περίπου 100-1000 μετρήσεις ανά ώρα (από όλα τα σημεία πρόσβασης και συμπεριλαμβανομένων μετρήσεων ανίχνευσης υλικού και μετρήσεων τελικών χρηστών) και λαμβάνοντας υπόψη ότι η βάση δεδομένων μας έχει ήδη αποθηκεύσει περισσότερες από 948000 μετρήσεις χωρίς να επηρεάζει την απόδοση WiFiMon, μπορούμε να συμπεράνουμε τα αποτελέσματα στον ακόλουθο πίνακα. Ο πίνακας δείχνει τον εγγυημένο χρόνο της ομαλής λειτουργίας της WiFiMon, υποθέτοντας ότι τρέχει σε ένα μηχάνημα με προδιαγραφές παρόμοιες με τις προδιαγραφές του VM που φιλοξενεί τον πράκτορα WiFiMon. Τα παρακάτω διαγράμματα μας δείχνουν μια καλύτερη απεικόνιση των στοιχείων των παραπάνω πινάκων.

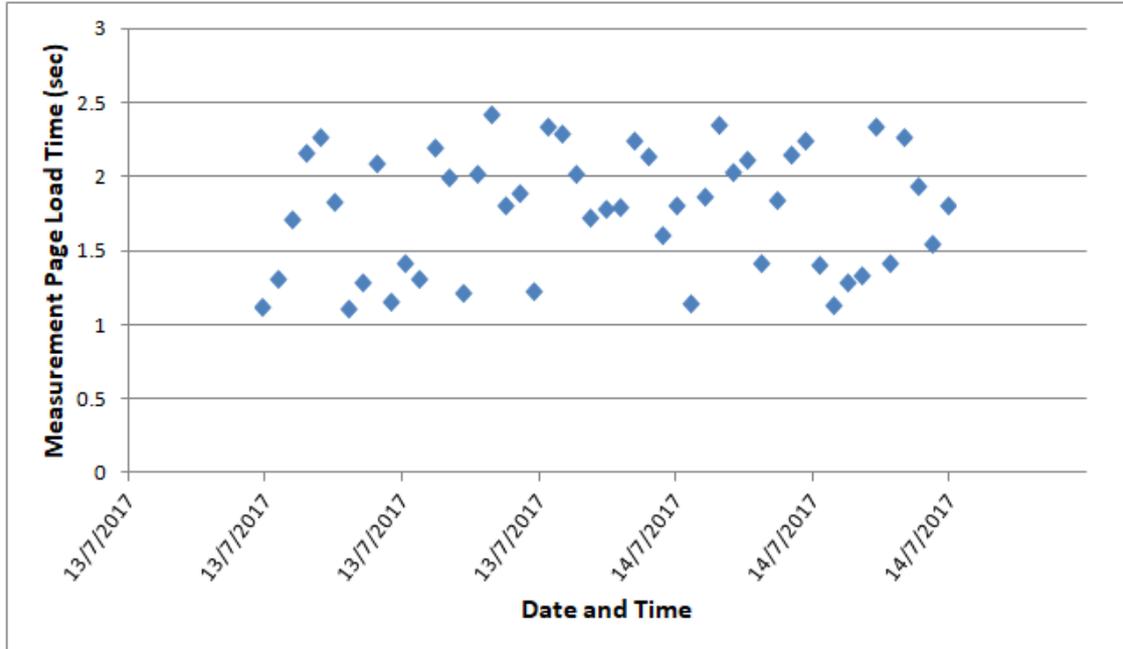


**Εικόνα 18:** Ληφθείσες μετρήσεις ανα λεπτό

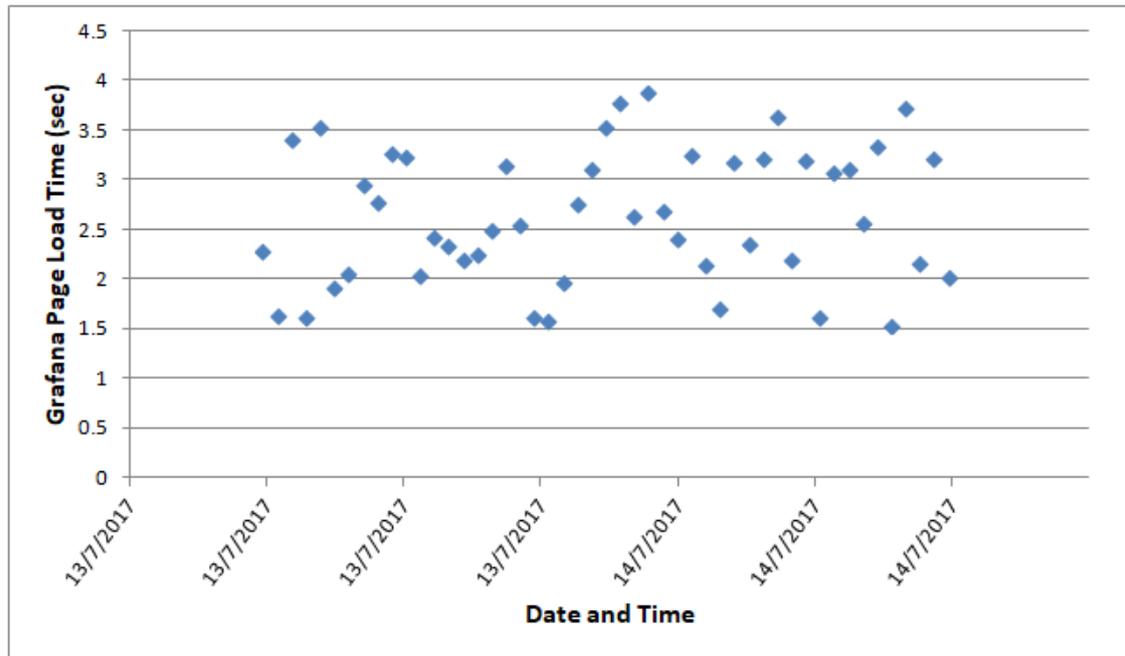


**Εικόνα 19:** Disk space increase (καταγραφή κάθε 30 λεπτά)

Ενδιαφέρον παρουσιάζει το παρακάτω διάγραμμα της εικόνας που δείχνει το χρόνο φόρτωσης της μέτρησης σε δευτερόλεπτα. Όπως μπορούμε να δούμε ο χρόνος αυτός κειμένεται από 1.1 – 2.5sec.



**Εικόνα 20:** WiFiMon Web UI: Load time για μετρήσεις



**Εικόνα 21:** WiFiMon Web UI: Load time για τις σελίδες του Grafana

Η προσομοίωση διήρκεσε 24 ώρες. Κάθε 30 λεπτά, καταγράψαμε τον αριθμό των μετρήσεων και τον χρησιμοποιημένο χώρο στο δίσκο vm1 που φιλοξένησε το αντίστοιχο instance και τις βάσεις δεδομένων του WiFiMon. Η Εικόνα 18 παρουσιάζει τον αριθμό των μέσω ληφθέντων μετρήσεων ανά λεπτό ενώ η Εικόνα 19 την αύξηση του χώρου στο δίσκο σε vm1 όπως καταγράφεται από την ομάδα μας κάθε 30 λεπτά. Επιπλέον, μετρήσαμε το χρόνο που απαιτείται για τη φόρτωση δύο σελίδων του WiFiMon Web UI, της σελίδας μέτρησης και της σελίδας Grafana που περιλαμβάνει όλες τις δυνατότητες του εργαλείου οπτικοποίησης των δεδομένων.

Συνολικά, πραγματοποιήσαμε προσομοίωση πάνω από 800.000 συσχετισμένων μετρήσεων κατά τη διάρκεια των 24 ωρών. Ακόμη και για αυτή τη μεγάλη (και πυκνή) ποσότητα μετρήσεων, η ομαλή και ισχυρή απόδοση του WiFiMon δεν επηρεάστηκε όπως φαίνεται στα δύο παραπάνω σχήματα.

Σε κανονικά περιβάλλοντα (όπως οι πανεπιστημιούπολεις που περιλαμβάνουν μεγάλο αριθμό AP), μια ρεαλιστική ποσότητα μετρήσεων θα ήταν περίπου 500 μετρήσεις ανά ώρα. Επομένως, υπό κανονικές συνθήκες και

σύμφωνα με τα αποτελέσματα των stress test results, το εργαλείο WiFiMon μπορεί να προσφέρει μια ισχυρή και αποτελεσματική λύση για τη μέτρηση (και την οπτικοποίηση) της ποιότητας ενός ασύρματου δικτύου όπως τη βιώνουν οι τελικοί χρήστες.

## 8. Συμπεράσματα

---

Στην παρούσα εργασία αναπτύξαμε και παρουσιάσαμε μια αυτόνομη εφαρμογή για κινητά που επιτρέπει και αποθηκεύει μετρήσεις απόδοσης. Αυτή η εφαρμογή μπορεί επίσης να υιοθετηθεί ως βιβλιοθήκη σε εξωτερικές εφαρμογές κινητής τηλεφωνίας για να επιτρέπει μετρήσεις μέσω αυτών των εφαρμογών χωρίς παρέμβαση του χρήστη. Οι μετρήσεις από την εφαρμογή WiFiMon μαζί με αυτές που ενεργοποιούνται από ιστοσελίδες με δυνατότητα WiFiMon μπορούν να δώσουν μια καλύτερη εικόνα των συνθηκών Wi-Fi όπως βιώνουν οι τελικοί χρήστες και θα μπορούσαν να επιτρέψουν στους διαχειριστές δικτύων να παρακολουθούν ποιο AP παρουσιάζει ανεπαρκή απόδοση.

Η εμπειρία που αποκτήθηκε μέχρι τώρα δείχνει ότι είναι δυνατή η μέτρηση συγκεκριμένων παραμέτρων ενός ασύρματου δικτύου μέσω JavaScript και η συσχέτιση αυτών των μετρημένων ακατέργαστων δεδομένων από διάφορα αρχεία καταγραφής. Πραγματοποιήθηκαν διάφορα βήματα για τη μετάφραση της βάσης γνώσεων σε μια ολοκληρωμένη, βιώσιμη και αυτοματοποιημένη υπηρεσία παρακολούθησης και επικύρωσης των επιδόσεων του WiFi στην πανεπιστημιούπολη. Ακολουθώντας τις παραπάνω ανάγκες, αναπτύχθηκε μια εφαρμογή για κινητά για πλατφόρμες iOS και Android. Σε αυτήν την τρέχουσα εργασία επιβεβαιώσαμε την παραδοχή μας ότι είναι δυνατή η συλλογή πληροφοριών σχετικά με την απόδοση Wi-Fi με τη χρήση μη επεμβατικών δοκιμών εύρους ζώνης σε συσκευές τελικού χρήστη. Τα δεδομένα που συλλέγονται για τη μέτρηση της απόδοσης του δικτύου (εύρος ζώνης) συλλέγονται χρησιμοποιώντας JavaScript, εγκατεστημένα σε επιλεγμένες πηγές ιστού που παρέχονται από τους φορείς εκμετάλλευσης δικτύου, ρυθμισμένες από τον προγραμματιστή σε κάθε περίπτωση απόπροεπιλογή ή πληκτρολογώντας τον χρόνο λήξης IP και Cookie. Έτσι, τα αρχεία JavaScript τρέχουν στο πρόγραμμα περιήγησης του τελικού χρήστη, κατόπιν αιτήματος των πηγών ιστού.

Από την άλλη πλευρά, τα δεδομένα απόδοσης δικτύου σε σχέση με τις πηγές δεδομένων (αρχεία καταγραφής που αναφέρονται παραπάνω), ο χρόνος και τα αναγνωριστικά AP δείχνουν τη συμπεριφορά απόδοσης στο Δίκτυο Campus. Σε μια παραδοσιακή μέτρηση (χωρίς γεωγραφική τοποθεσία που συλλέγεται) δεν απαιτείται αλληλεπίδραση από τον τελικό χρήστη. Όπως είδαμε, η εφαρμογή WiFiMon περιορίζει τις μετρήσεις απόδοσης σε καθορισμένα υποδίκτυα IP, αποτρέπει την επιάλυση των μετρήσεων με τη βοήθεια cookies, καταγράφει τον χρήστη του προγράμματος περιήγησης η οποία μας επέτρεψε να σπάσουμε τα αποτελέσματά μας από το πρόγραμμα περιήγησης, την πλατφόρμα και την κινητή / επιφάνεια εργασίας και τέλος να συγκρίνουμε τις αντικειμενικές μετρήσεις απόδοσης από δείγματα υλικού με εκείνες από συσκευές τελικών χρηστών.

## 9. Μελλοντική εργασία

---

Επόμενο βήμα στην έρευνα μας σχετικά με το WiFiMon θα μπορούσε να είναι η επέκταση της παραπάνω εφαρμογής ώστε να επιτρέπει στους τελικούς χρήστες να προβάλλουν και να οργανώνουν τα αποτελέσματα των μετρήσεων που συλλέγονται στην πλευρά του server με γραφικό τρόπο. Η εφαρμογή WiFiMon ως κινητή έχει αναπτυχθεί με καινοτόμο τρόπο ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ενσωματωμένη βιβλιοθήκη για ανάπτυξη παρόμοιων εφαρμογών με σκοπό να ενσωματωθεί σε μελλοντικές εφαρμογές κινητής τηλεφωνίας του ίδιου του πανεπιστημίου και ως απόδειξη και επαλήθευση της έρευνας μας θα μπορούσαμε να κάνουμε διάφορες μετρήσεις σε ασύρματα δίκτυα Wi-Fi.

Θέματα ιδιωτικού απορρήτου: Παρόλο που τα αποτελέσματα από τη δοκιμή απόδοσης δηλ. Τα αποτελέσματα φόρτωσης και μεταφόρτωσης δεδομένων θεωρούνται ευλόγως ως μη ευαίσθητες πληροφορίες, το γεγονός ότι η δοκιμή απόδοσης συσχετίζεται με αρχεία καταγραφής που ενδέχεται να περιέχουν ευαίσθητα δεδομένα logs πρέπει να αντιμετωπίζονται με τη μέγιστη προσοχή. Όλα πρέπει να είναι σύμφωνα με τις πολιτικές της πανεπιστημιούπολης και τις νομικές υποχρεώσεις. Στόχος μας είναι να ενημερώσουμε την WiFiMon σε αυτή την κατεύθυνση και να επιτρέψουμε πρόσθετες επιλογές, όπως την εμφάνιση / απόκρυψη ή ακόμα και την αποθήκευση / αγνόηση δεδομένων που σχετίζονται με το χρήστη.

Αυτά τα επεξεργασμένα δεδομένα από την εφαρμογή Android / iOS WiFiMon θα μπορούσαν να μοιραστούν ασύρματα στον server για αποθήκευση και περαιτέρω επεξεργασία μέσω διαδικτύου. Η βασική ιδέα είναι η χρήση μιας πιο σύγχρονης βάσης δεδομένων που υποστηρίζει μεγάλους όγκους δεδομένων, αρκεί τα radius logs και οι καθημερινές μετρήσεις να αυξάνονται. Παραδείγματα τέτοιων βάσεων δεδομένων είναι η Elasticsearch και Kibana. Η ελαστική αναζήτηση βάσεων δεδομένων παρέχει την κατάλληλη αναζήτηση, έχει σχεδόν σε πραγματικό χρόνο αναζήτηση και υποστηρίζει την πολυεπίπεδη μετρήσεις

Καθώς μια μέτρηση μπορεί να εξαρτάται από τη θέση των χρηστών και την κατάσταση της συσκευής, είναι απαραίτητο να επαληθεύσουμε εάν οι μετρήσεις που λαμβάνονται μέσω JavaScript είναι αρκετά ακριβείς. Για να επαληθεύσουμε την ακρίβειά τους, στόχος μας είναι να δημιουργήσουμε ένα υβριδικό περιβάλλον, το οποίο θα αποτελείται από WiFiMon και hardware probes σε διαφορετικά δωμάτια μιας πανεπιστημιούπολης ή ενός συνεδριακού χώρου. Με αυτό τον τρόπο θα μπορούσαμε να συγκρίνουμε τις αντικειμενικές μετρήσεις προερχόμενες από τα διάφορα probes με τις ευκαιριακές μετρήσεις για τις συσκευές τελικών χρηστών και να εξετάσουμε αν ακολουθούν τις ίδιες τάσεις.

Τέλος η πρόβλεψη της συμπεριφοράς απόδοσης (κυρίως της υποβάθμισης της απόδοσης) θα επιτευχθεί με την καταγραφή των μακροχρόνιων ιστορικών και τη συγκριτική αξιολόγηση των επιδόσεων. Θα αξιολογηθεί η υπάρχουσα εργασία στις προβλέψεις απόδοσης και θα αναπτυχθεί μια προσέγγιση εκμάθησης μηχανής για τη συμπεριφορά των φορητών υπολογιστών-πελατών και των AP. Η απεικόνιση τέτοιων προβλέψεων θα διευκολύνει περαιτέρω τη διαδικασία λήψης αποφάσεων των διαχειριστών δικτύου κατά την εγκατάσταση ενός νέου δικτύου.

## 10. Βιβλιογραφία

---

1. Nielsen, "SO MANY APPS, SO MUCH MORE TIME FOR ENTERTAINMENT". Available from: <http://www.nielsen.com/us/en/insights/news/2015/so-many-apps-somuch-more-time-for-entertainment.html>
2. <http://www.ebusinessforum.gr/old/content/downloads/Wi-Fi-Guide-final.part1.pdf>
3. Steven Gorshe; Arvind Raghavan; Thomas Starr; Stefano Galli, "WiFi: IEEE 802.11 Wireless LAN," in *Broadband Access: Wireline and Wireless - Alternatives for Internet Services* , 1, Wiley Telecom, 2014, pp.448
4. <http://brain.ee.auth.gr/dokuwiki/doku.php?id=wi-fi:wi-fi>
5. [https://www.geant.org/Projects/GEANT\\_Project\\_GN4](https://www.geant.org/Projects/GEANT_Project_GN4)
6. <https://www.geant.org/wifimon>
7. L. DiCioccio, R. Teixeira, C. Rosenberg, "Measuring Home Networks with HomeNet Profiler", International Conference on Passive and Active Network Measurement (PAM 2013), pp. 176-186, 2013
8. <https://www.eduroam.org/what-is-eduroam/>
9. <http://www.quadratek.net/blog/news/2013/12/12/9-advantages-to-using-a-wireless-network>
10. <https://support.metageek.com/hc/en-us/articles/201955754-Understanding-WiFi-Signal-Strength>
11. [http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps5755/ps6301/ps6305/product\\_data\\_sheet0900aec802570d0.pdf](http://www.cisco.com/en/US/prod/collateral/wireless/ps5755/ps6301/ps6305/product_data_sheet0900aec802570d0.pdf)
12. [www.airwave.com/products/](http://www.airwave.com/products/)
13. <http://www.airdefense.net/products/admobile/>
14. <http://www.wireshark.org>
15. PostgreSQL, "PostgreSQL: The world's most advanced open source database". Available from: <https://www.postgresql.org/>
16. Influxdata, "influxDB". Available from: <https://influxdata.com/timeseries-platform/influxdb/>
17. Grafana, grafana.org, "Beautiful metric & analytic dashboards". Available form: <http://grafana.org/>
18. Spring, "Building an Application with Spring Boot". Available from: <https://spring.io/guides/gs/spring-boot/>
19. HIBERNATE, "Hibernate. Everything data". Available from: <http://hibernate.org/>

20. Boomerang, “SOASTA/boomerang”. Available from:  
<https://github.com/SOASTA/boomerang>
21. V. Kokkinos, K. Stamos, N. Kanakis, K. Baumann, A. Wilson, and J. Healy, “Wireless Crowdsourced Performance Monitoring and Verification - WiFi Performance Measurement Using End-User Mobile Device Feedback”. In Proceedings of the 8th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT '16), Lisbon, Portugal, pp. 432-437
22. H. Stadler, M. Großmann and U. R. Krieger, "Design of a Secure Mobile Business Communication Platform Utilizing Next Generation Web Technologies," *2016 IEEE 13th International Conference on e-Business Engineering (ICEBE)*, Macau, 2016, pp. 257-263
23. R. Berjon, S. Faulkner, I. Hickson, T. Leithead, E. D. Navara, E. O'Connor, S. Pfeiffer, *Htm15.1. A vocabulary and associated APIs for HTML and XHTML*, 2013, [online]  
Available: <http://www.w3.org/TR/2013/WD-htm151-20131029/>.
24. K. Baumann, C. Bouras, V. Kokkinos, N. Papachristos and K. Stamos, "WiFiMon app measuring Wi-Fi performance as experienced by end-users," 2017 24th International Conference on Telecommunications (ICT), Limassol, Cyprus, 2017, pp. 1-5.
25. GEANT, “WiFiMon mobile app”. Available from:  
[http://ru6.cti.gr/ru6/system/files/tools\\_and\\_mechanisms/WiFiMon\\_Mobile\\_App.zip](http://ru6.cti.gr/ru6/system/files/tools_and_mechanisms/WiFiMon_Mobile_App.zip)
26. Android Documentation, <http://developer.android.com/reference/classes.html>
27. D. Nelson, and A. DeKok, “Common Remote Authentication Dial In User Service (RADIUS) Implementation Issues and Suggested Fixes”, December 2007. Available from:  
<https://tools.ietf.org/html/rfc5080>
28. JSON Data Generator. Available from:  
<https://github.com/acesinc/json-data-generato>

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

```
import android.annotation.SuppressLint;
import android.app.AlertDialog;
import android.content.DialogInterface;
import android.net.http.SslError;
import android.os.Bundle;
import android.support.v7.app.ActionBar;
import android.support.v7.app.AppCompatActivity;
import android.view.KeyEvent;
import android.view.Menu;
import android.view.View;
import android.webkit.SslErrorHandler;
import android.webkit.WebView;
import android.webkit.WebViewClient;
import android.widget.Button;
import android.widget.EditText;
import android.widget.ImageView;
import android.widget.ListView;
import android.widget.TableLayout;
import android.widget.TableRow;
import android.widget.TextView;

import org.apache.commons.io.IOUtils;
import org.json.JSONArray;

import java.io.IOException;
import java.security.SecureRandom;
import java.security.cert.X509Certificate;

import javax.net.ssl.HostnameVerifier;
import javax.net.ssl.HttpURLConnection;
import javax.net.ssl.SSLContext;
import javax.net.ssl.SSLSession;
import javax.net.ssl.TrustManager;
import javax.net.ssl.X509TrustManager;

/**
 * Created by Papachristos Nikolaos on .
 */

Public class Measurements extends AppCompatActivity{
```

```
Stringdata="";
TableLayouttl;
ListViewuserList;
TableRowtr;
TextViewlabel;
publicStringusername,email,description;
Integerdashboard_id;
JSONArraycontacts=null;
```

```
@Override
publicvoidonCreate(Bundle savedInstanceState){
super.onCreate(savedInstanceState);
setContentView(R.layout.measurements);
getSupportActionBar().setTitle("");
getSupportActionBar().setDisplayHomeAsUpEnabled(true);
```

```
ActionBaractionBar=getSupportActionBar();
actionBar.hide();
```

```
finalImageViewimageButton=(ImageView)findViewById(R.id.ask);
imageButton.setOnClickListener(newView.OnClickListener){
@Override
publicvoidonClick(Viewview){
// do whatever we wish!
AlertDialog.Builderbuilder=newAlertDialog.Builder(Measurements.this);
builder.setTitle("Configuration Info");
builder.setMessage("agentIp (required): \nReplace \"xxx.xxx.xxx.xxx\"
with IP address (or domain name) of the server where the Java agent is
installed\n"+
"\n \nimagesLocation (optional): \n Public link to the folder where the
images are downloaded to perform the nettest measurements. If empty,
\"https://vm3-gn3-sa2t5.vm.grnet.gr/wifimon/images/\" is assumed\n"+
"\n \ncookieTimeInMinutes (optional): \nDuration time (in minutes) to
set the cookie in order to prevent repeated measuremetns. If empty, \"1.5\"
is assumed");
```

```
String positiveText=getString(android.R.string.ok);
builder.setPositiveButton(positiveText,
new DialogInterface.OnClickListener){
@Override
Public void on Click(DialogInterfacedialog,intwhich){
```

```

// positive button logic
dialog.dismiss();
}
});

AlertDialogdialog=builder.create();
// display dialog
dialog.show();
}
});

Buttonstart = (Button)findViewById(R.id.test);

start.setOnClickListener(new View.OnClickListener(){

@Override
public void onClick(View arg0){

    final EditTextagentIp=(EditText)findViewById(R.id.agentIp);
    final EditTextimages=(EditText)findViewById(R.id.images);
    final EditTextcookie=(EditText)findViewById(R.id.cookie);
    String agentIp_new=null;
    String images_new=null;
    String cookie_new=null;

    if(agentIp.getText().toString().equals(""))
    {
        agentIp_new="vm11-gn3-sa2t5.vm.grnet.gr";
    }
    else
    {
        agentIp_new=agentIp.getText().toString();
    }
    if(images.getText().toString().equals(""))
    {
        images_new="";
    }
    else
    {
        images_new=images.getText().toString();
    }
    if(agentIp.getText().toString().equals(""))
    {

```

```

cookie_new="0.01";
}

else
{
cookie_new=cookie.getText().toString();
}

System.out.println("agentIp_new: "+agentIp_new+"
images_new"+images_new+" cookie_new"+cookie_new);

finalWebViewwebView=(WebView)findViewById(R.id.webView1);

// fails here
webView.setWebViewClient(newWebViewClient(){

@Override
publicvoidonReceivedSslError(WebViewview,finalSslErrorHandlerhandl
er,SslErrorerror){
handler.proceed();

}
});
webView.getSettings().setJavaScriptEnabled(true); // enable javascript

// webView.loadUrl("https://vm3-gn3-sa2t5.vm.grnet.gr/measurement.html");

try{
Stringcontent=IOUtils.toString(getAssets().open("web/wifimon.html"))
.replaceAll("%ERR_TITLE%",agentIp_new)
.replaceAll("%ERR_TITLE1%",images_new)
.replaceAll("%ERR_TITLE2%",cookie_new);
webView.loadDataWithBaseURL("file:///android_asset/web/wifimon.htm
l",content,"text/html","UTF-8",null);
}catch(IOExceptione){
e.printStackTrace();
}

// webView.loadUrl("file:///android_asset/web/wifimon.html");

```

```

newAlertDialog.Builder(Measurements.this)
    .setTitle("Measurement Completed")
    .setMessage("WiFi Analysis has been completed!")
    .setPositiveButton(android.R.string.yes,new DialogInterface.OnClickListener()
    {
        public void onClick(DialogInterface dialog,int which){
            // continue with delete
            dialog.dismiss();

        }
    })

    .setIcon(R.drawable.approved)
    .show();
}

});

}

@SuppressWarnings("TrulyRandom")
public static void handleSSLHandshake(){
    try{
        TrustManager[] trustAllCerts=new TrustManager[]{new X509TrustManager
        (){
            public X509Certificate[] getAcceptedIssuers(){
                return new X509Certificate[0];
            }
        }

        @Override
        public void checkClientTrusted(X509Certificate[] certs,String authType){
        }

        @Override
        public void checkServerTrusted(X509Certificate[] certs,String authType){
        }
    }
};

SSLContext sc=SSLContext.getInstance("SSL");
sc.init(null,trustAllCerts,new SecureRandom());
HttpsURLConnection.setDefaultSSLSocketFactory(sc.getSocketFactory());

```

```

HttpsURLConnection.setDefaultHostnameVerifier(newHostnameVerifier(
){
@Override
publicbooleanverify(Stringarg0,SSLSessionarg1){
returntrue;
}
});
}catch(Exceptionignored){
}
}
}

```

```

publicbooleanonCreateOptionsMenu(Menumenu){
// Inflate the menu; this adds items to the action bar if it is present.
getMenuInflater().inflate(R.menu.menu_main,menu);

returntrue;
}

```

```

@Override
publicbooleanonKeyDown(intkeyCode,KeyEventevent){
if((keyCode==KeyEvent.KEYCODE_BACK)){
onBackPressed();
}
returnsuper.onKeyDown(keyCode,event);
}
}
}

```

## Android UI

### Measurements.xml

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<RelativeLayout xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
android:layout_width="match_parent"
android:layout_height="match_parent"
android:background="#5fb0c9"
android:orientation="vertical"
android:scrollbarAlwaysDrawVerticalTrack="true">

<TextView
android:id="@+id/login_title"
android:layout_width="fill_parent"
android:layout_height="wrap_content"
android:layout_marginBottom="16dp"
android:layout_marginTop="22dp"
android:gravity="center_horizontal"
android:text="Measurement Configuration"

```

```
android:textColor="#fff"  
android:textSize="26sp"  
android:textStyle="bold" />
```

```
<RelativeLayout  
    android:layout_width="fill_parent"  
    android:layout_height="wrap_content"  
    android:layout_below="@+id/login_title"  
    android:layout_marginLeft="30dp"  
    android:layout_marginRight="30dp"  
    android:layout_marginTop="70dp"  
    android:background="#fff"  
    android:elevation="4dp"  
    android:orientation="vertical"  
    android:padding="20dp"  
    android:id="@+id/relativeLayout">  
  
    <LinearLayout  
        android:layout_width="fill_parent"  
        android:layout_height="wrap_content"  
        android:orientation="vertical"  
        android:paddingTop="30dp">  
  
        <android.support.design.widget.TextInputLayout  
            android:layout_width="match_parent"  
            android:layout_height="wrap_content">  
  
            <EditText  
                android:id="@+id/agentIp"  
                android:layout_width="fill_parent"  
                android:layout_height="wrap_content"  
                android:drawableTint="#FF4081"  
                android:singleLine="true"  
  
                android:hint="agentIp (xxx.xxx.xxx.xxx)"  
                android:inputType="textEmailAddress" />  
            </android.support.design.widget.TextInputLayout>  
  
            <android.support.design.widget.TextInputLayout  
                android:layout_width="match_parent"  
                android:layout_height="wrap_content">  
  
                <EditText  
                    android:id="@+id/images"  
                    android:layout_width="fill_parent"  
                    android:layout_height="wrap_content"  
                    android:layout_marginTop="16dp"  
                    android:singleLine="true"  
                    android:drawableTint="#FF4081"  
  
                    android:hint="Images Location"  
                    android:inputType="textEmailAddress" />  
                </android.support.design.widget.TextInputLayout>  
  
            <android.support.design.widget.TextInputLayout  
                android:layout_width="match_parent"  
                android:layout_height="wrap_content">  
  
                <EditText  
                    android:id="@+id/cookie"  
                    android:layout_width="fill_parent"  
                    android:layout_height="wrap_content"  
                    android:layout_marginTop="16dp"  
                    android:singleLine="true"  
                    android:drawableTint="#FF4081"  
                    android:hint="cookieTimeInMinutes"  
                    android:inputType="numberPassword" />  
            </android.support.design.widget.TextInputLayout>
```

```

        </android.support.design.widget.TextInputLayout>
        <Button
            android:id="@+id/test"
            android:layout_width="fill_parent"
            android:layout_height="wrap_content"
            android:layout_margin="22dp"
            android:background="#660000"
            android:text="Start Measurement"
            android:textAllCaps="false"
            android:textColor="#fff"
            android:textSize="18sp" />
    </LinearLayout>
</RelativeLayout>
    <WebView xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
        android:id="@+id/webView1"
        android:visibility="gone"
        android:layout_width="fill_parent"
        android:layout_height="fill_parent"
    />
<ImageButton
    android:id="@+id/user_profile_photo"
    android:layout_width="100dp"
    android:layout_height="100dp"
    android:layout_below="@+id/login_title"
    android:layout_centerHorizontal="true"
    android:layout_marginTop="16dp"
    android:background="@drawable/user_profile_image_background"
    android:elevation="4dp"
    android:src="@drawable/logo1" />

    <ImageView
        android:id="@+id/ask"
        android:layout_width="50dp"
        android:layout_height="50dp"
        android:src="@drawable/ask"
        android:layout_alignTop="@+id/user_profile_photo"
        android:layout_alignRight="@+id/relativeLayout"
        android:layout_alignEnd="@+id/relativeLayout" />
</RelativeLayout>

```

## Start\_page.xml

```

<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<ScrollView xmlns:android="http://schemas.android.com/apk/res/android"
    android:layout_width="fill_parent"
    android:background="#5fb0c9"
    android:layout_height="fill_parent"
    android:fitsSystemWindows="true">

    <LinearLayout
        android:orientation="vertical"
        android:layout_width="match_parent"
        android:layout_height="match_parent"
        android:paddingTop="30dp"
        android:background="#5fb0c9"
        android:paddingLeft="24dp"
        android:paddingRight="24dp"
        android:weightSum="1">

        <TextView
            android:id="@+id/love_music"
            android:layout_width="wrap_content"
            android:layout_height="wrap_content"

```

```
android:fontFamily="sans-serif-thin"
android:text="Welcome to WiFiMon Analysis"
android:textColor="#fff"
android:textSize="@dimen/backdrop_title"
android:gravity="center"
android:layout_alignParentTop="true"
android:textStyle="bold"
android:layout_alignParentLeft="true"
android:layout_alignParentStart="true"
android:layout_alignParentRight="true"
android:layout_alignParentEnd="true"
android:autoText="true" />
```

```
<ImageView
    android:layout_width="match_parent"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:src="@drawable/wifimon_logo"
    android:layout_centerVertical="true"
    android:layout_centerHorizontal="true"
    android:layout_weight="0.66" />
```

```
<View
    android:layout_width="fill_parent"
    android:layout_height="1dip"
    android:layout_marginBottom="10dp"
    android:background="#000000" />
```

```
<TextView
    android:id="@+id/love_music1"
    android:layout_width="wrap_content"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:fontFamily="sans-serif-thin"
    android:text="Press the button below to start the measurement"
    android:textColor="#660000"
    android:textSize="@dimen/backdrop_subtitle"
    android:gravity="center"
    android:paddingTop="50dp"
    android:layout_alignParentTop="true"
    android:layout_alignParentLeft="true"
    android:layout_alignParentStart="true"
    android:layout_alignParentRight="true"
    android:layout_alignParentEnd="true"
    android:autoText="true" />
```

```
<View
    android:layout_width="fill_parent"
    android:layout_height="1dip"
    android:layout_marginTop="50dp"
    android:background="#000000" />
```

```
<android.support.v7.widget.AppCompatButton
    android:id="@+id/get_started"
    android:layout_width="fill_parent"
    android:layout_height="wrap_content"
    android:layout_marginTop="20dp"
    android:fontFamily="sans-serif-thin"
    android:background="@drawable/mybutton"
    android:padding="15dp"
    android:textColor="#fff"

    android:text="Get Started"
    android:textStyle="bold" />
```

```
<TextView
```

```
        android:id="@+id/copyrights"
        android:layout_width="match_parent"
        android:layout_height="wrap_content"
        android:fontFamily="sans-serif-thin"
        android:text="Copyright © 2016 Research Unit 6"
        android:textColor="#660000"
        android:textSize="@dimen/backdrop_subtitle"
        android:gravity="center"
        android:layout_marginTop="80dp"
        android:autoText="true" />
    </LinearLayout>
</ScrollView>
```