

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ / ΕΞΕΤΑΣΗ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

**Γκιόλιας Αθανάσιος  
Μεταπτυχιακός Φοιτητής**

**Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Κρήτης  
Επόπτης Μεταπτ. Εργασίας: Επικ. Καθηγητής, Χ. Δημητρόπουλος**

**Τετάρτη, 24/10/2018, 11:30  
Αίθουσα Β108, Τμήμα Επιστήμης Υπολογιστών, Πανεπιστήμιο Κρήτης**

**“ Εξερευνώντας τα όρια απόδοσης των επιπέδων PHY και MAC του LoRaWAN”**

Η ζήτηση για συνδεδεμένες συσκευές, σύμφωνα με το μοντέλο του διαδικτύου των πραγμάτων (IoT), αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά στο άμεσο μέλλον. Διάφορα πρότυπα αγωνίζονται να ξεπεράσουν τον ανταγωνισμό και να παρέχουν την μαζική συνδεσιμότητα που θα απαιτείται από έναν κόσμο όπου καθημερινά αντικείμενα αναμένεται να επικοινωνούν μεταξύ τους. Τα δίκτυα χαμηλής ισχύος και ευρείας περιοχής (LPWANs) εμφανίζονται ως λύση στις απαιτήσεις αυτές. Τα δίκτυα αυτά παρέχουν βελτιωμένη εμβέλεια και μικρότερη κατανάλωση ισχύος, με αντάλλαγμα χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, γεγονός που τα καθιστά ιδανικό υποψήφιο για τις συσκευές IoT.

Στην εργασία αυτή εξετάζουμε ένα νέο πρωτόκολλο φυσικού επιπέδου που ονομάζεται LoRa καθώς και το σχετιζόμενο πρωτόκολλο MAC επιπέδου LoRaWAN. Ο στόχος της εργασίας αυτής είναι να μελετηθούν διάφορες οπτικές των δύο αυτών επιπέδων μέσα από εκτενείς προσομοιώσεις και πραγματικά πειράματα έτσι ώστε να φτάσουμε σε χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με την απόδοση ενός τέτοιου δικτύου.

Ένας απλοποιημένος πομποδέκτης LoRa υλοποιήθηκε σε ραδιοπομπό διαμορφούμενο από λογισμικό (SDR) έτσι ώστε να μελετήσουμε και να αναλύσουμε τη μέθοδο συγχρονισμού στο χρόνο και στη συχνότητα σε πραγματικές συσκευές. Το μαθηματικό υπόβαθρο της μεθόδου συγχρονισμού και αποδιαμόρφωσης για το LoRa εξερευνήθηκε ενώ αναπτύχθηκε ένας αλγόριθμος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί από πύλες δικτύου LoRaWAN για τη διόρθωση λαθών κατά τη μετάδοση με υψηλό ρυθμό κωδικοποίησης. Επιπλέον, ένα ζεύγος συσκευών

χαμηλού κόστους LoRa/LoRaWAN κατασκευάστηκε, επιτρέποντάς μας να πραγματοποιήσουμε πειράματα σχετικά με την εμβέλεια μετάδοσης, την κατανάλωση ισχύος και να συγκρίνουμε την συμπεριφορά διαφόρων ρυθμών μετάδοσης. Η βιβλιοθήκη ανοιχτού κώδικα και οι εφαρμογές που δημιουργήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν στην δουλειά αυτή, διευκολύνουν την διαμόρφωση των συσκευών και την συλλογή δεδομένων για την δημιουργία χαρτών κάλυψης.

Ένας πλήρης προσομοιωτής LoRaWAN δημιουργήθηκε και ένα εκτενές σύνολο από αποτελέσματα προσομοιώσεων παρουσιάζεται και εξετάζεται. Ο προσομοιωτής μας έχει μια πλειάδα μεταβλητών παραμέτρων και χρησιμοποιεί τρία μοντέλα διάδοσης έτσι ώστε να είναι δυνατή η ακριβής παραμετροποίηση των προσομοιώσεων και να φτάσουμε σε πιο στοχευμένα συμπεράσματα. Συνεπώς, μπορεί να βοηθήσει στην κατανόηση της επίδρασης που έχουν διάφορες επιλογές κατά την σχεδίαση ενός LoRaWAN δικτύου, όπως η πυκνότητα των συσκευών, η επιλογή των ρυθμών μετάδοσης, τα ποσοστά κόμβων που περιμένουν επιβεβαίωση, η ισχύς εκπομπής, ακόμα και η τοποθέτηση των κόμβων και των πυλών δικτύου στον πραγματικό κόσμο.

Μέσα από αυτή την δουλειά, επιβεβαιώσαμε μια μέθοδο συγχρονισμού για το πρωτόκολλο LoRa ενώ αποκαλύψαμε σημαντικές λεπτομέρειες σχετικά με έναν τρόπο διόρθωσης λαθών κατά την μετάδοση από μια συσκευή σε μια πύλη δικτύου με χαμηλή επιβάρυνση και την υπάρχουσα δομή πακέτου. Σε σύγκριση με παρόμοιες δουλειές, ο προσομοιωτής μας δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα λόγω της προσέγγισης πραγματικών δικτύων ενώ μελετήθηκε και η ενεργειακή αυτονομία του δικτύου.

**Giolias Athanasios**

**M.Sc. Thesis**

**Computer Science Department**

**University of Crete**

**Master's Thesis Supervisor: Assistant Professor, X. Dimitropoulos**

**Wednesday, 24/10/2018, 11:30**

**Room B108, Computer Science Dept., University of Crete**

**“Exploring LoRaWAN PHY & MAC layers performance limits”**

**ABSTRACT**

The demand for connected devices, according to the Internet of Things (IoT) paradigm, is expected to grow considerably in the immediate future. Various standards are currently contending to surpass the competition and provide the massive connectivity that will be required by a world in which everyday objects are expected to communicate with each other. The Low Power Wide Area Networks (LPWANS) appear as a solution to these demands. LPWANS provide improved range and less power consumption, at the expense of lower data rates, making them ideal candidates for IoT devices.

In this thesis we examine a recently introduced PHY layer called LoRa (Long-Range) and the accompanying MAC layer protocol LoRaWAN. The aim of our work is to study several aspects of the LoRaWAN PHY and MAC layers, through extensive simulations and real-world experiments in order to reach to fruitful conclusions regarding the LoRaWAN performance.

A simplified LoRa transceiver was implemented on Software Defined Radio (SDR) in order to study and analyze the time and frequency synchronization procedure of real devices in detail. The mathematical background of the synchronization and demodulation process of Lora was explored, while a potential algorithm that may be used by LoRaWAN gateways to correct transmission errors with high coding rate was also developed. Moreover, a pair of low-cost LoRa/LoRaWAN capable devices was assembled that allowed us to perform real-world experiments regarding the transmission range, power consumption and compare the behaviour of several data rates. The open-source library and applications that were created and used during this work, facilitate the configuration of the devices and the collection of uplink/downlink data to create coverage maps.

Furthermore, a complete LoRaWAN simulator was created and an extensive set of simulation results is presented and examined accordingly. Our simulator has a large number of tunable parameters and uses three distinct path loss models in order to be able to fine tune the simulations and reach to more solid conclusions. Therefore, it can assist in the understanding of the effects that several choices can have during a LoRaWAN network design, such as network density, choice of data rates, percentages of nodes with confirmed uplinks, transmission power and even the positioning of the nodes and gateways in the real world.

Through this work, we verified a synchronization method for LoRa while also revealed important details regarding a way to correct LoRa uplink transmission errors with low overhead, keeping the existing packet structure. Moreover, our simulator compared with similar works, provides more reliable results which are closer to real-world network deployments, taking also the battery life into account.