

ZigBee στο TinyOS: Υλοποίηση και Πειραματικές προκλήσεις

Μια Επισκόπηση του Άρθρου

*Κατανεμημένα Ενσωματωμένα Συστήματα Πραγματικού
Χρόνου*

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ

ΚΟΣΜΑΣ ΑΡΧΟΝΤΗΣ, 1084020

23/01/2025

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	3
Κύριο Μέρος	3
Φυσικό Επίπεδο & Hardware	3
Interference με IEEE 802.11 (Wi-Fi).....	3
Motes & Debugging	4
Τοπολογία Δικτύου Cluster-Tree στο ZigBee	5
Ελλιπές Specification	7
Γιατί Cluster-Tree;	7
Ασθενής Υπολογιστική Ισχύ των Ενσωματωμένων	8
Περιορισμοί Μνήμης	8
Προβλήματα Συγχρονισμού	9
Λειτουργικό Σύστημα TinyOS.....	10
Συμπεράσματα	10
Βιβλιογραφία	11

Εισαγωγή

Σκοπός αυτής της αναφοράς είναι η παρουσίαση της εργασίας των ερευνητών André Cunha, Ricardo Severino, Nuno Pereira, Anis Koubâa και Mário Alves, “*ZigBee over TinyOS: Implementation and Experimental Challenges*”, όπου παρουσιάζουν και περιγράφουν τα προβλήματα και ανοιχτά θέματα που αντιμετώπισαν στις προσπάθειές τους να υλοποιήσουν το πρωτόκολλο IEEE 802.15.4/ZigBee στο λειτουργικό σύστημα TinyOS, με κύριο στόχο την εφαρμογή του σε Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (ΑΔΑ, Wireless Sensor Networks/WSN).

Θα γίνει καταγραφή και κατηγοριοποίηση των προβλημάτων που αντιμετωπίστηκαν και ανάλυση τους, ύστερα από κατανόηση του αρχικού άρθρου.

Κύριο Μέρος

Οι ερευνητές είχαν ως σκοπό στην διαδικασία που περιγράφεται στο paper, να αναπτύξουν το open-ZB toolset ανοιχτού λογισμικού, που περιέχει περιβάλλον προσομοίωσης και υλοποίηση του stack πρωτοκόλλου στο TinyOS για τις συσκευές MICAz/TelosB.

Σε αυτές τις προσπάθειές τους, εντόπισαν θέματα που κυμαίνονται στις παρακάτω διαστάσεις, αλλά φυσικά υπάρχει αλληλεπίδραση και overlap μεταξύ τους, όπως θα περιγραφεί.

Φυσικό Επίπεδο & Hardware

Interference με IEEE 802.11 (Wi-Fi)

Το πρωτόκολλο IEEE 802.15.4 ορίζει συγκεκριμένα το υπό-επίπεδο MAC και Φυσικό επίπεδο των Low-Rate Wireless Private Area Networks (LR-WRANs), στα οποία βασίζεται το ZigBee πρωτόκολλο ώστε να αναπτύξει τα παραπάνω επίπεδα Δικτύου και Εφαρμογής.

Το Physical Layer, υπεύθυνο για μετάδοση και λήψη χρησιμοποιώντας radio channels, διαθέτει 3 λειτουργικά bands συχνότητας:

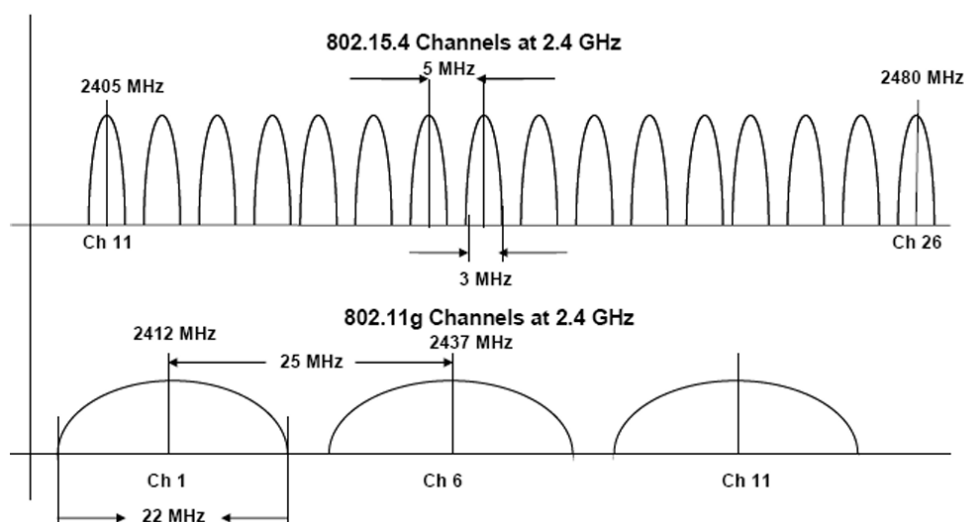
- 2.4 GHz, με 16 κανάλια μεταξύ 2.4 και 2.4835 GHz
- 915 MHz, με 10 κανάλια μεταξύ 902 και 928 GHz
- 868 MHz, με ένα κανάλι μεταξύ 868 και 868.6 MHz

Το πρόβλημα που αντιμετώπισε η ομάδα, έγκειται στο γεγονός ότι το IEEE 802.11 λειτουργεί επίσης στη συχνότητα 2.4 GHz, και έτσι υπάρχει επικάλυψη μεταξύ των δύο μεταδόσεων.

Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι στις δοκιμές τους, εξοπλισμός Wi-Fi δημιουργούσε παρεμβολές στις μεταδόσεις data και beacon frames, κάτι που οδηγούσε σε collisions, data corruption και

αποσυγχρονισμό στο δίκτυο. Επιπλέον, δημιουργούσε πρόβλημα κατά το slotted CSMA/CA, αφού το μέσο διάδοσης οι κόμβοι το διάβαζαν ως busy και δεν μετέδιδαν κατάλληλα τα πακέτα τους.

Τη παρεμβολή αυτή την επιβεβαίωσαν οι ερευνητές με spectrum analyzer, και τελικά παρατήρησαν ότι μόνο σε ένα κανάλι της 2.4 GHz band δεν υπήρχε επικάλυψη με το εύρος φάσματος του IEEE 802.11: το κανάλι 26 των 2480 MHz. Οπότε, χρησιμοποιώντας αυτό το κανάλι συνέχισαν να διεξάγουν τις ενέργειες τους, βρίσκοντας ένα workaround στο πρόβλημα της παρεμβολής.



Εικόνα 1: Τα φάσματα των IEEE 802.15.4/802.11

Σημειώνουν ότι το γεγονός αυτό πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψιν για αξιόπιστο deployment δικτύων ZigBee σε συχνότητα λειτουργίας 2.4 GHz.

Motes & Debugging

Οι αρχιτεκτονικές των 2 motes, TelosB και MICAz, παρουσιάζουν μερικές διαφορές κυρίως λόγω των MSP430 και 8-bits Atmega128 μικροελεγκτών, που έπρεπε να χειριστούν στην υλοποίηση. Απαιτήθηκε κατάλληλη επιλογή μονάδων driver (που παρέχονται από το TinyOS), καθώς και προσαρμογή της πρώτης έκδοσης της πλατφόρμας τους, που υποστήριζε μόνο το MICAz. Και οι δύο πλατφόρμες κάνουν χρήση του ράδιο-δέκτη 2.4GHz Chipcon CC2420, το MICAz απαιτεί τη χρήση μιας προγραμματιστικής επιφάνειας (MIB510), ενώ το TelosB διαθέτει δυνατότητες προγραμματισμού μέσω υπολογιστή, δια USB interface. Και τα δύο motes προσφέρουν μηχανισμό debugging με μετάδοση δεδομένων από σειριακή θύρα (COM/USB) και λήψη τους δια μέσου ενός communication listener (ListenRaw, Windows HyperTerminal).

Το πρόβλημα προκύπτει από το γεγονός ότι μετάδοση από τη θύρα COM εμποδίζει όλες τις άλλες λειτουργίες του mote, που συνήθως προκαλεί προβλήματα συγχρονισμού. Ωστε οι ερευνητές να ξεπεράσουν αυτή τη δυσκολία, και να αποκτήσουν απόλυτο έλεγχο στη κίνηση του δικτύου, αποφάσισαν να χρησιμοποιήσουν 2 network/protocol analysers:

- Το CC2420 Packet Sniffer για το IEEE 802.15.4 προσφέρει μια raw λίστα μεταδιδόμενων πακέτων
- Το Daintree Sensor Network Analyser, που διαθέτει επιπλέον λειτουργίες, όπως γεωγραφικά καταναμημένο sniffing, γραφική τοπολογία του δικτύου, στατιστικά, ροές μηνυμάτων, πληροφορίες PAN και συσχετίσεις.

Επιπλέον, ο CC2420 transceiver (που χρησιμοποιείται και από το MICAz, και από το TelosB motes) δυσκολεύεται να τηρήσει τις αυστηρές απαιτήσεις του IEEE 802.15.4 για τον turnaround χρόνο των 192 μs (12 symbols), λόγω των ενδογενών χρόνων απόκρισης στα data transitions μεταξύ των layer. Το Chipcon CC2420 μπορεί να χρειαστεί από μόνο του έως και 192 μs για εναλλαγή από λειτουργία δέκτη σε πομπού και αντιστρόφως. Επιπροσθέτως, η λειτουργία auto-acknowledge παράγει εσφαλμένα acknowledgements, και η περιορισμένη υπολογιστική ισχύς των motes κάνουν αδύνατη τη λειτουργία του συστήματος για τάξεις Beacon και Superframe μικρότερες των 3 (δηλαδή, μικρή διάρκεια μετάδοσης και περίοδος, βλέπε [Τοπολογία Δικτύου και MAC υπό-επίπεδο](#)), εφόσον πρέπει να περισσεύει χρόνος ώστε να εκτελεστούν άλλες εργασίες.

Ένα άλλο σημείο που αναφέρει η ομάδα για τις δυσκολίες της, είναι περί των διαφορετικών granularities των timers των MICAz και TelosB, που τους απέτρεπε στον ακριβή συγχρονισμό των συσκευών, κατά τη beacon-enabled λειτουργία, στις θεωρητικές τιμές που ορίζονται στο πρότυπο. Δηλώνουν ότι προσπάθησαν να τις προσεγγίσουν όσο το δυνατόν στο μέγιστο.

Τοπολογία Δικτύου Cluster-Tree στο ZigBee

Το ZigBee ορίζει 3 είδη συσκευής:

- ZigBee Coordinator (ZC): Ένα για κάθε PAN, εκκινεί και ρυθμίζει τη διαμόρφωση του δικτύου.
- ZigBee Router (ZR): συσχετίζεται (associated) ως κόμβος-παιδί με τον ZC ή με προηγούμενος συσχετισμένο ZR, και συμμετέχει σε multi-hop routing.
- ZigBee End Device (ZED): συσκευή αισθητήρας ή actuator, δεν επιτρέπει συσχετισμούς με άλλες συσκευές και δεν λαμβάνει μέρος στο routing.

Το IEEE 802.15.4 MAC υποστηρίζει 2 λειτουργικά modes που μπορεί να επιλέξει ο ZC:

- Non-beacon-enabled mode, όπου το πρωτόκολλο MAC είναι απλώς non-slotted CSMA/CA.
- Beacon-enabled mode, όπου έχουμε slotted CSMA/CA και beacons στέλνονται περιοδικά από τον Coordinator για συγχρονισμό των κόμβων.

Στη beacon-enabled λειτουργία, ορίζεται από τον ZC ένα Superframe structure, το οποίο αντιστοίχως κατασκευάζεται από:

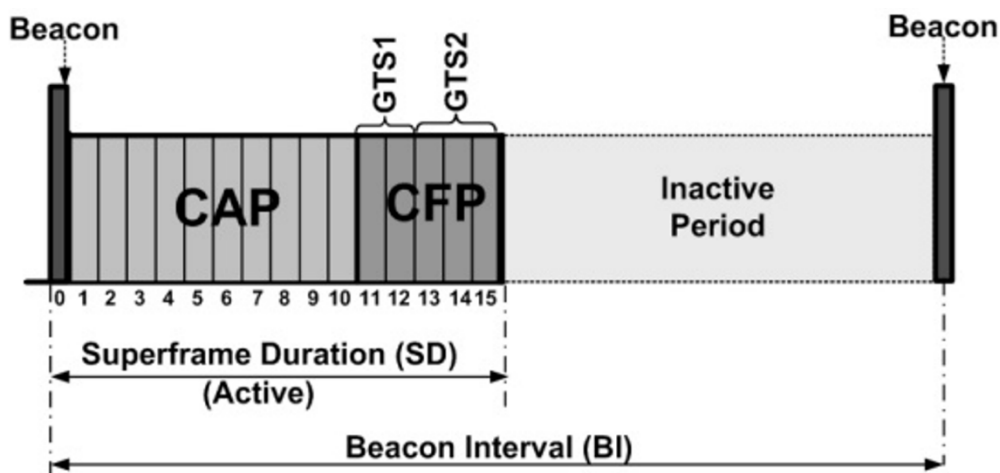
- Το Beacon Interval (BI), που ορίζει τον χρόνο μεταξύ δύο διαδοχικών beacon frames.
- Το Superframe Duration (SD), που ορίζει το ενεργό κομμάτι του BI, διαιρεμένο σε 16 ισομεγέθη time slots, κατά τα οποία επιτρέπονται frame transmissions.
- Προαιρετικά, στον υπόλοιπο χρόνο εφόσον $BI > SD$, βρίσκεται η ανενεργή περίοδος, όπου οι κόμβοι είναι σε κατάσταση sleep.

Τα BI, SD καθορίζονται από τις παραμέτρους Beacon Order, Superframe Order ως εξής:

$$BI = minimumDuration \cdot 2^{BO}, 0 \leq BO \leq 14$$

$$SD = minimumDuration \cdot 2^{SO}, 0 \leq SO \leq 14$$

Κάτα τη διάρκεια του Superframe Duration, υπάρχει Contention Access Period (CAP), ενώ επιπλέον υποστηρίζεται Contention Free Period (CFP), δια μέσου των Guaranteed Time Slots (GTS).

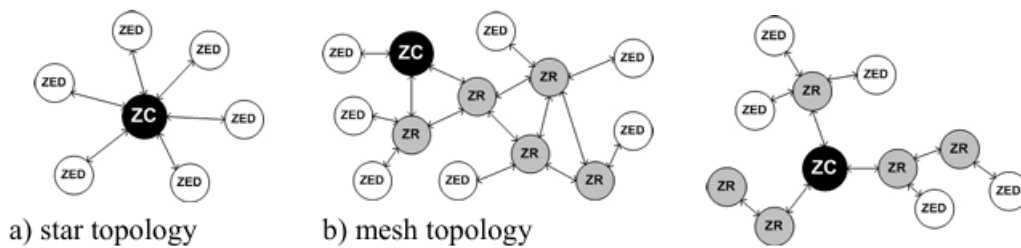


Εικόνα 2: Το Superframe structure και οι περίοδοι του SD, BI, CAP, GTS και CFP, και Inactive Period

Επιπλέον, το ZigBee υποστηρίζει 3 τοπολογίες δικτύου:

- Τοπολογία Star
- Τοπολογία Mesh

- Τοπολογία Cluster-Tree



Εικόνα 3: Οι 3 δικτυακές τοπολογίες του ZigBee, αστέρα, πλέγματος και cluster-tree

Η τοπολογία Cluster-Tree είναι μια ειδική περίπτωση ενός δικτύου mesh, με κατανεμημένο μηχανισμό συγχρονισμού, δηλαδή λειτουργεί στο *beacon-enabled mode*.

Ελλιπές Specification

Στο σημείο αυτό, η ερευνητική ομάδα το πρόβλημα που αντιμετώπισε είναι ότι οι προδιαγραφές του IEEE 802.15.4/ZigBee δεν περιγράφουν με λεπτομέρεια την υλοποίηση της αρχιτεκτονικής cluster-tree, παρά μόνο γενική περιγραφή του πως πρέπει να λειτουργεί το δίκτυο και ο αλγόριθμος tree routing του cluster-tree.

Πιο συγκεκριμένα, εντόπισαν ότι το μοντέλο αυτό περιλαμβάνει παραπάνω από έναν ZigBee Router που περιοδικά παράγει beacons για συγχρονισμό κόμβων, ή ομάδες κόμβων, στη γειτονιά τους. Αν σταλθούν αυτά τα περιοδικά beacon frames ανοργάνωτα ή χωρίς κατάλληλο προγραμματισμό, υπάρχει κίνδυνος συγκρούσεων και αποσυγχρονισμού μεταξύ του γονέα Router και της αντίστοιχης συσκευής-παιδί, εμποδίζοντας έτσι την επικοινωνία.

Μόνο πολύ βασικές προσεγγίσεις για επίλυση του προβλήματος βρήκαν οι ερευνητές στην βιβλιογραφία, οπότε και χρειάστηκαν να καταφύγουν σε δικές τους τεχνικές και μηχανισμούς beacon scheduling. Έτσι αποφεύγουν τελικά συγκρούσεις των beacon frame στα ZigBee Cluster-Tree δίκτυα.

Γιατί Cluster-Tree;

Οι ερευνητές κάνουν μια σύντομη παρουσίαση της τοπολογίας Cluster-Tree, σε σύγκριση με αυτή του πλέγματος, ώστε να αναδείξουν τη χρησιμότητά τους και τη σημαντικότητα των προβλημάτων που έχουν υπογραμμίσει.

Συγκεκριμένα, για τα θετικά του Cluster-Tree σε σύγκριση με το Mesh:

- Επιτρέπει περιόδους sleep για τα ZEDs και ZRs, σε σύγκριση με το πλέγμα, όπου μόνο οι ZED μπορούν να βρίσκονται σε κατάσταση sleep, κάνοντας έτσι αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας,
- Εφόσον το Cluster-Tree λειτουργεί στη beacon-enabled λειτουργία, υποστηρίζει περιόδους CFP άρα μπορεί να ικανοποιήσει απαιτήσεις αυστηρού πραγματικού χρόνου υπολογίζοντας worst-case καθυστερήσεις μηνύματος από άκρο-σε-άκρο.
- Πιο ελαφρύ το tree routing πρωτόκολλο που απαιτεί, σε σχέση με τα AODV-like στα οποία πρέπει να καταφύγει το Mesh, όσο αφορά τις απαιτήσεις μνήμης και υπολογιστικής πολυπλοκότητας. Ελάττωση του overhead.

Στα μειονεκτήματα της τοπολογίας εντοπίζονται τα παρακάτω επίσης:

- Το overhead να μεν μειώνεται, αλλά χάνεται η εφεδρική στα μονοπάτια routing που προσφέρεται στις τοπολογίες mesh. Γενικά, το μοντέλο με τα clusters από κόμβους είναι επιρρεπές στο πρόβλημα του Single Point of Failure, με ένα ελαττωματικό ZR να μπορεί να εκτοπίσει από το δίκτυο μια γειτονιά κόμβων.
- Ταυτόχρονα, ο συγχρονισμός που απαιτείται για την ικανοποίηση των απαιτήσεων πραγματικού χρόνου είναι εξαιρετικά δύσκολος να επιτευχθεί σε ολόκληρο το cluster-tree. Μικρά drifts διογκώνονται σε δέντρα υψηλότερο βάθους, και διατρέχεται ο κίνδυνος επικάλυψης της περιόδου CAP ενός node με την CFP ενός άλλου.
- Επιπλέον, παρουσιάζονται προβλήματα σε θέματα mobility, προσαρμογή του Superframe Duration κατά την είσοδο καινούργιου router στον κλάδο και εκ νέου συγχρονισμός, καθώς και δυναμική προσαρμογή των κύκλων.

Ως συμπέρασμα, δηλώνουν οι ερευνητές ότι αυτές οι δυσκολίες που σημειώνουν είναι οι λόγοι έλλειψης ευρείας υιοθεσίας, ή ακόμα και ακαδημαϊκών ερευνών, του μοντέλου cluster-model του ZigBee. Παρ' όλα αυτά, την θεωρούν επαρκή λύση με προοπτικές για εφαρμογές WSN πραγματικού χρόνου και με απαιτήσεις ενεργειακής απόδοσης.

Ασθενής Υπολογιστική Ισχύ των Ενσωματωμένων

Περιορισμοί Μνήμης

Άλλο ένα κρίσιμο θέμα για την κατάλληλη εφαρμογή του ZigBee πρωτοκόλλου σε καταμετρημένα ενσωματωμένα συστήματα, είναι οι κρίσιμους περιορισμοί των MICAz και TelosB σε ζητήματα μνήμης RAM. Το MICAz υποστηρίζει περίπου 4 kB μνήμης, ενώ το TelosB 10 kB. Στη πραγματικότητα, η RAM πρέπει να καλύψει τις ανάγκες και του

λειτουργικού συστήματος, και του protocol stack, και της εφαρμογής υψηλού επιπέδου, οπότε τα MICAz motes είναι ακόμα πιο περιορισμένα από τα TelosB.

Σε μια υλοποίηση και παράδειγμα που πραγματοποίησαν οι ερευνητές, η μνήμη που απαιτεί μια εφαρμογή που χρησιμοποιεί μόνο την λειτουργία IEEE 802.15.4 beacon-enabled χρειάστηκε 2678 bytes στη RAM, ενώ μια εφαρμογή χρησιμοποιώντας το ZigBee layer δικτύου 3224 bytes. Τονίζουν ότι αν πρέπει να φιλοξενηθούν πιο περίπλοκες user-level εφαρμογές και με το ZigBee Application Layer, οι περιορισμένη μνήμη σίγουρα θα προκύψει σαν σοβαρό πρόβλημα.

Προβλήματα Συγχρονισμού

Στην λειτουργία beacon-enabled, όλες οι συσκευές ZR και ZED πρέπει να συγχρονίζονται με τη συσκευή-γονέα τους μέσω των beacon frames, αλλιώς χάνουν τον συγχρονισμό και δεν μπορούν να λειτουργήσουν εντός του PAN.

Μερικά από τα αίτια που προκαλούν αποσυγχρονισμό καταγράφονται παρακάτω.

Περιορισμένη Υπολογιστική Ικανότητα για Θεμελιώδη Εργασίες Πρωτοκόλλου

Πέρα από την περιορισμένη μνήμη RAM, όπως συζητήθηκε, τα συστήματα και οι μικροελεγκτές υστερούν και σε βασική επεξεργαστική ισχύ, κάτι που δυσκολεύει τη διεξαγωγή θεμελιωδών εργασιών του πρωτοκόλλου, όπως τη δημιουργία beacon frames και την διαχείριση των GTS.

Χαμηλές τάξεις των BO/SO επίσης δυσχεραίνονται λόγω του χρόνου επεξεργασίας του beacon frame.

Απαιτητικό slotted CSMA/CA

Αρκετά απαιτητικό είναι και το slotted CSMA/CA σε θέματα ακρίβειας του timer, εφόσον η διαχείριση που προσφέρεται από το TinyOS των χρονομετρητών του υλικού δεν μπορούν να έχουν τις ακριβείς θεωρητικές τιμές, όπως περιγράφονται στις προδιαγραφές του IEEE 802.15.4 (To backoff 20 symbols, 320 μs).

Συχνότητα ασύγχρονων διακοπών/events λογισμικού και υλικού.

Η υψηλή συχνότητα ασύγχρονων software και hardware events, σε συνδυασμό με την περιορισμένη επεξεργαστική ισχύ των μικροεπεξεργαστών μπορεί να οδηγήσει σε έλλειμα χρόνου για τη διεξαγωγή υπολειπόμενων εργασιών του πρωτοκόλλου ή της υψηλότερου επιπέδου της εφαρμογής. Οι ερευνητές σημειώνουν ότι σπουδαίος αριθμός διακοπών πρέπει να διαχειριστούν σε αντίστοιχα μικρό χρονικό διάστημα.

Όλα αυτά τα προβλήματα οδηγούν στον κίνδυνο του desynchronization, που καταρρίπτει τις απαιτήσεις αυστηρού πραγματικού χρόνου, εφόσον η περίοδος CFP διατρέχει κίνδυνο να συγκρουστεί με μετάδοση πακέτου ενός node που νομίζει, μέσω drift συγχρονισμού, ότι βρίσκεται στην CAP.

Λειτουργικό Σύστημα TinyOS

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, το λειτουργικό σύστημα παρουσιάζει πρόβλημα κατά την υλοποίηση του stack του ZigBee στο γεγονός ότι απαιτεί μέρος της RAM για να εκτελείται, σε ένα σύστημα ήδη περιορισμένο ως προς τη μνήμη και δυσκολεύεται ο μικροεπεξεργαστής να ανταπεξέλθει.

Επιπλέον, έχει γίνει αναφορά στο πρόβλημα που δημιουργείται με τη συχνότητα των ασύγχρονων διακοπών στο σύστημα, και η διαχείρισή τους από το λειτουργικό, που καταναλώνει ήδη πολύτιμο χρόνο από την εκτέλεση θεμελιωδών ενεργειών πρωτοκόλλου.

Μαζί με τα παραπάνω, οι ερευνητές παρατηρούν ότι ο προεπιλεγμένος scheduler του TinyOS είναι επίσης και non-preemptive, και δεν υποστηρίζει προτεραιότητες.

Υπάρχουν 2 είδη διακοπών, radio και timer interrupts, όμως τονίζεται ότι όταν ένα beacon frame πρέπει να επεξεργαστεί και να μεταδοθεί, ενέργειες time critical για το πρωτόκολλο, η διεργασία τοποθετείται από τον event handler στην FIFO queue και πρέπει να περιμένει.

Η ερευνητική ομάδα λοιπόν, εν όψει των δυσκολιών αυτών, λαμβάνει την απόφαση να μετακινηθεί από το TinyOS στο λειτουργικό σύστημα πραγματικού χρόνου ERIKA. Προσθέτουν όμως ότι για beacon orders μεγαλύτερες του 3, το σύστημα λειτουργεί σταθερά.

Συμπεράσματα

Με το πέρας της εργασίας των ερευνητών, έχει γίνει λεπτομερής επισκόπηση των βασικών λειτουργιών του IEEE 802.15.4/ZigBee πρωτοκόλλου και τα προβλήματα που προκύπτουν κατά την προσπάθεια υλοποίησης του stack για WSN υπό το TinyOS.

Πρέπει να καλυφθούν τα κενά στις προδιαγραφές του IEE 802.15.4 όσο αφορά τη τοπολογία δικτύου Cluster-Tree, καθώς και να βρεθεί λύση για το πρόβλημα της επικάλυψης των συχνοτήτων λειτουργίας αυτού και του IEEE 802.11. Το πρόβλημα του συγχρονισμού της τοπολογίας προέκυψε συχνά, και πρέπει ομοίως να περιγραφεί εις βάθος η διαδικασία αυτή για το Cluster-Tree.

Συμπεραίνεται, όπως συνέβη και από την ερευνητική ομάδα, ότι τα motes MICAz και TelosB δεν κατέχουν το κατάλληλο και ικανό υλικό που απαιτούν για τους σκοπούς τους, και πρέπει να στραφούν σε πιο επεξεργαστικά ισχυρά μοντέλα.

Το TinyOS επίσης προκύπτει μη ικανό να ικανοποιήσει τις αυστηρές απαιτήσεις σε χρονισμό, κάτι που λύνεται με προσθήκη λειτουργικότητας προτεραιοτήτων και καλύτερης διαχείρισης των διακοπών κατά την διεξαγωγή κρίσιμων ενεργειών δικτύου.

Βιβλιογραφία

- Cunha, André, Ricardo Severino, Nuno Pereira, Anis Koubâa and Mário Alves. “ZIGBEE OVER TINYOS: IMPLEMENTATION AND EXPERIMENTAL CHALLENGES.” (2008).
- Κουμπιάς, Σταύρος Α., “Κατανεμημένα Ενσωματωμένα Συστήματα Πραγματικού Χρόνου: Μια γενική Θεώρηση”, Πάτρα, Πανεπιστήμιο Πατρών, 2022
- Raj, Deepak, “Micaz and TelosB”, <https://www.slideshare.net/slideshow/cop-25826485/25826485>, 2013.
- TinyOS Documentation, http://tinyos.stanford.edu/tinyoswiki/index.php/TinyOS_Documentation_Wiki