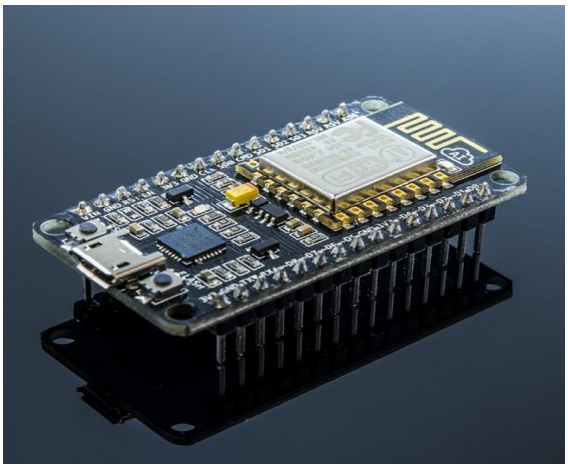
ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΙΚΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΤΩΝ

Αυτοματοποίηση σπιτιού με χρήση αισθητήρων σε mesh network μικροελεγκτών.



Γιώργος Σταματάκης – 2013 030 154

Σπυριδάκης Χρήστος – 2014 030 022

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο στόχος μας είναι να φτιάξουμε ένα δίκτυο πλέγματος (mesh network) από μερικά esp8266 (βλ. εικόνα εξωφύλλου) που είναι οικονομικά Wi-Fi modules με πολύ μικρή κατανάλωση ,κάτι που τα καθιστά ιδανικά για mesh δίκτυα. Πάνω σε αυτό το δίκτυο θα μεταφέρεται πληροφορία από διάφορους αισθητήρες που θα έχουν τοποθετηθεί πάνω στα esp8266 και θα καταλήγει σε ένα σταθμό βάσης που θα αποθηκεύει τα δεδομένα σε εξωτερική persistent μνήμη. Ανάλογα με τις μετρήσεις θα ενεργοποιούνται οι αντίστοιχες συσκευές μέσα στο χώρο (πχ. Σε περίπτωση φωτιάς θα ενεργοποιείται το buzzer). Τέλος θα γίνεται εξαγωγή στατιστικών στοιχείων από τις διάφορες μετρήσεις και θα προβάλλονται κάποια από τα αποτελέσματα σε οθόνη LCD του σταθμού βάσης.

Γιατί mesh network?

Ο βασικός λόγος είναι ότι δίνει ελευθερία τόσο στο χρήστη όσο και στον μηχανικό που το σχεδιάζει μιας και προβλήματα όπως η αυτονομία του δικτύου και η εμβέλεια των συσκευών σχεδόν εξαλείφονται. Το δίκτυο αρχικά δεν χρειάζεται να συνδεθεί με κάποιο router ή άλλη συσκευή για να δρομολογήσει ή να συντονίσει τους κόμβους του. Επίσης η ένταξη μιας νέας συσκευής στο δίκτυο δεν απαιτεί νέες ρυθμίσεις ή αλλαγές στην υπάρχουσα υποδομή, ο χρήστης μπορεί κυριολεκτικά να αγοράσει μια καινούρια συσκευή και απλά να πατήσει το ON. Επίσης η απόσταση των αισθητήρων μπορεί να είναι αρκετά μεγάλη μιας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ενδιάμεσοι κόμβοι σαν repeaters.

Scalability

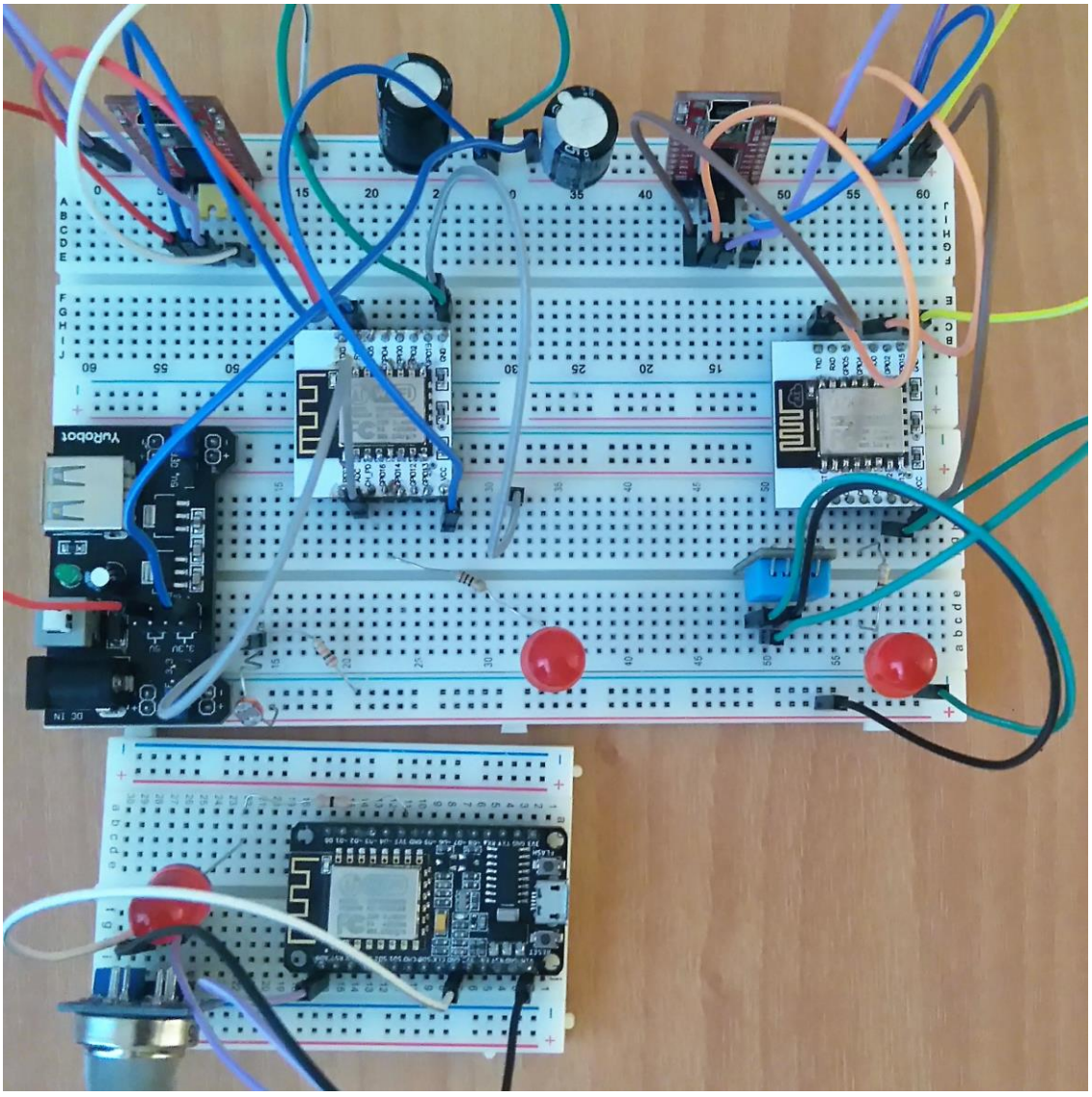
Το δίκτυο, λόγω της κατανεμημένης φύσης του, θα μπορεί να μεγαλώσει (scale out) σε πολύ μεγάλο βαθμό μιας και ο μόνος περιορισμός είναι ο αριθμός των modules που μπορεί να κρατήσει στη μνήμη (stack) του κάθε esp8266 (ένας αριθμός 16bit), ένα αρκετά μεγάλο νούμερο. Επίσης το γεγονός ότι η πληροφορία των αισθητήρων δεν περνάει μόνο από έναν κόμβο επιτρέπει μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης και καταργεί πιθανά bottlenecks.

Γιατί esp8266?

Το συγκεκριμένο Wi-Fi module είναι συμβατό με πολλούς microcontrollers (Arduino,Raspberry,Teensy) και ταυτόχρονα έχει αρκετά καλό documentation μιας και έχει συμπληρώσει κάποια χρόνια στην αγορά. Είναι οικονομικό (κοστίζει περίπου 3$) και καταναλώνει πολύ λίγη ενέργεια ενώ παράλληλα διαθέτει και αρκετά power saving modes (βλ. παράρτημα – πίνακα 1). Έχει αρκετά pins για τον έλεγχο όλων των αισθητήρων που σκοπεύουμε να χρησιμοποιήσουμε.

MILESTONE 1

Στο πρώτο Milestone θέσαμε ως βασικό στόχο την εξοικείωση μας με την τεχνολογία και το υλικό που δεσμευτήκαμε να χρησιμοποιήσουμε, κάτι που πιστεύουμε ότι πετύχαμε. Αρχικά προμηθευτήκαμε όλα τα απαραίτητα υλικά για να φτιάξουμε ένα μικρό demo που αποδεικνύει ότι το mesh που δημιουργήσαμε δουλεύει γρήγορα και με αξιοπιστία. Πιο συγκεκριμένα συγκεντρώσαμε 2 esp8266-12E και άλλα 2 NodeMCU-1.0 που είναι ουσιαστικά μια αναπτυξιακή πλατφόρμα με ένα esp8266-12E πάνω της. Χρησιμοποιήσαμε επίσης 2 FTDI για τη σύνδεση των 2 esp8266-12E με υπολογιστή για λόγους τόσο τροφοδοσίας όσο και ελέγχου του serial interface των esp. Τέλος, οι 3 αισθητήρες μας (θερμοκρασίας, αερίων και φωτός) τοποθετήθηκαν σε breadboard μαζί με τα υπόλοιπα 4 esp (NodeMCU KAI 12E) ενώ σε αυτό το στάδιο αντί για συσκευές τοποθετήσαμε απλά LEDs. Όσον αφορά την τροφοδοσία των εξαρτημάτων τα esp8266-12E τροφοδοτούνται από FTDIs ενώ τα NodeMCU συνδέονται κατευθείαν μέσω USB, για αυτό το λόγο δεν απαιτείται FTDI τόσο για τροφοδοσία όσο και για προγραμματισμό. Να σημειωθεί επίσης ότι επειδή τα esp8266-12E απαιτούν τροφοδοσία 3.3V και ~100mA ενώ οι αισθητήρες 5V έχουμε τοποθετήσει μια μικρή συσκευή τροφοδοσίας που βγάζει 5V στην μια μεριά του Breadboard.



Όσον αφορά τον κώδικα και τις μετρήσεις η πορεία που ακολουθήσαμε ξεκίνησε βρίσκοντας μια βιβλιοθήκη που επέτρεπε σε όλα τα είδη esp8266 να δημιουργούν ένα mesh network μεταξύ τους. Επίσης, το mesh παρέχει στους κόμβους του callbacks για διάφορα σημαντικά events όπως την προσχώρηση ενός νέου κόμβου στο υπάρχον δίκτυο αλλά και διάφορες μεθόδους εύκολης επικοινωνίας τύπου signal και broadcast. Η λογική πίσω από το mesh δίκτυο είναι ότι κατά την εκκίνησή του ο μικροελεγκτής θα σηκώσει ένα ad-hoc δίκτυο με SSID που έχει ένα προκαθορισμένο prefix, στη συνέχεια θα ψάξει να βρει άλλα δίκτυα τέτοιου τύπου με το αντίστοιχο prefix για να συνδεθεί και να φτιάξει ένα mesh δίκτυο που μπορεί να μεγαλώσει αντίστοιχα. Τα μηνύματα μέσα στο mesh ανταλλάσσονται μέσα από απλές TCP συνδέσεις ενώ ο κάθε κόμβος χαρακτηρίζεται από το μοναδικό κωδικό που έχει το κάθε esp8266 πάνω του (chipId), μια πληροφορία που παρέχεται εύκολα από το API του μικροελεγκτή. Τέλος να σημειωθεί ότι ο κώδικας του mesh network (όλα τα αρχεία της μορφής easyMesh*.*) δεν είχε καθόλου documentation ή σχόλια κάτι που σημαίνει ότι αφιερώσαμε αρκετό χρόνο για τη συγγραφή documentation και την αφαίρεση ή αντικατάσταση κάποιων μεθόδων.

Όσον αφορά τους διάφορους αισθητήρες που έχουμε συνδέσει με τα esp8266 και τα LEDs (μελλοντικές συσκευές) η διαδικασία υλοποίησης ήταν απλή. Αρχικά βρήκαμε και χρησιμοποιήσαμε τις βιβλιοθήκες που παρέχουν οι κατασκευαστές για τους αισθητήρες τους διαβάζοντας παράλληλα τις προδιαγραφές και το documentation του κάθε ενός. Να σημειωθεί εδώ ότι όλοι οι αισθητήρες μας λειτουργούν με 5V είσοδο ενώ τα esp8266 με 3.3 αυστηρά με αποτέλεσμα να έχουμε στα 2 κολλητά breadboard μας διαφορετική τροφοδοσία στην αριστερή και δεξιά μεριά αντίστοιχα. Επίσης η βιβλιοθήκη για το DHT11 του κατασκευαστή δεν λειτουργούσε σωστά μιας και ήταν για Arduino και όχι για esp8266 για αυτό και χρησιμοποιήσαμε μια διαφορετική βιβλιοθήκη, για περισσότερες πληροφορίες δείτε στην τελευταία σελίδα όλες τις πηγές μας. Στη συνέχεια ορίσαμε κάποιες τιμές των αισθητήρων σαν ανώτερα (ή κατώτερα) κατώφλια και κάθε φορά που παραβιάζονται ενεργοποιείται μια από τις συσκευές μας. Για παράδειγμα αν η φωτοαντίσταση πέσει σε πολύ χαμηλές τιμές (> 500) τότε θα ανάψει το LED που αντιστοιχεί στη συσκευή που κανονικά θα άναβε το LED strip. Υπενθυμίζουμε ότι οι ADCs των esp8266 είναι 10bit για αυτό και οι τιμές τους θα απεικονίζονται με uint8_t αριθμούς. Τέλος ο MQ135 ανιχνεύει αρκετά αέρια (πχ. βουτάνιο,CO..) αλλά δεν μπορεί να τα ξεχωρίσει για αυτό σε περίπτωση που ανιχνεύσει βουτάνιο και CO θα παρουσιάσει ένα αθροιστικό αποτέλεσμα σε PPM, παρόλα αυτά για τη δουλειά που το θέλουμε εμείς (ανίχνευση CO και βουτανίου) κάνει εξαιρετική δουλειά αλλά θα πρέπει να «κάψει» για περίπου 1 ώρα πριν αρχίσει να βγάζει σωστές μετρήσεις.

Όσον αφορά τη διαχείριση της πληροφορίας που παράγουν οι αισθητήρες αλλά και τη μετάδοσή της στο mesh τα βήματα που ακολουθήθηκαν αναφέρονται ρητά στο αρχείο WSN.ino και το βοηθητικό header file meshConstants.h. Αρχικά στο setup phase αρχικοποιείται το mesh network με τις κατάλληλες παραμέτρους (SSID, Password) , οι διάφορες μεταβλητές και callbacks που θα χρησιμοποιηθούν από τα sketch μας, οι software timers που χρησιμοποιούμε αλλά και οι hardware timers που παρέχει ο μικροελεγκτής. Οι software timers (os_timer_t) εκτελούν περιοδικά διάφορα tasks όπως την ανάγνωση των τιμών των ελεγκτών μας αλλά και διάφορα maintenance tasks του mesh μας, οι περίοδοι των timers είναι ορισμένοι στο αρχείο meshConstants.h. Ο hardware timer (timer0) είναι υπεύθυνος για την αποστολή δεδομένων και ανά ένα συγκεκριμένο αριθμό κύκλων εκτελεί μια ISR (Interrupt Service Routine) που αλλάζει την τιμή μιας μεταβλητής που με τη σειρά της ελέγχεται μέσα στο loop() και κάνει broadcast στο mesh τις τιμές του/των αισθητήρα/ων μας. Τέλος να σημειωθεί ότι το esp8266 διαθέτει Watchdog timer των 8s για περιπτώσεις ανάγκης ενώ σε περίπτωση που δεν κληθεί η εντολή delay() ή τελειώσει η loop() μέσα σε 1sec το software watchdog του esp8266 κάνει softlock το sketch μας.

Συνολικά το Memory Footprint μας είναι μικρό μιας και το σκέτσο μας πιάνει μόνο το 57% της μνήμης του esp8266 έτσι αν μελλοντικά θελήσει κάποιος να επεκτείνει το σχέδιο μας μπορεί να το κάνει εύκολα.

Ακολουθούν κάποια κομμάτια από τα logs των 3 esp8266 (2 αισθητήρες και 1 relay):

Αρχικά το παρακάτω κομμάτι του log είναι το πιο κλασικό παράδειγμα που βλέπει ένας παρατηρητής και παρουσιάζει 2 esp8266 να κάνουν broadcast τις μετρήσεις τους (το κομμάτι αυτό το παρατηρεί ένα 3ο esp8266 που λειτουργεί απλά σαν repeater).

```
Connection count: 2
Received from 16445372 : Gas PPM: 163
Received from 16445372 : C:24.00  H:55.00
Received from 16445372 : Gas PPM: 162
Received from 16445372 : C:24.00  H:55.00
Received from 16445372 : Gas PPM: 165
```

Ακολουθεί ένα απόσπασμα από την είσοδο ενός esp στο mesh.

```
0x8   -->scan started @ 179241403<--
0x8   stationScanCb():-- > scan finished @  181366979 < --
0x8         found : mesh1461612, -48dBm0x8    MESH_PRE< ---0x8
0x8         found : stamatakis, -75dBm0x8
0x8         found : OTE WiFi Fon, -74dBm0x8
0x8         found : mesh16445372, -52dBm0x8   MESH_PRE< ---0x8
 0x8        Found  2 nodes with _meshPrefix = "mesh"
0x8   connectToBestAP():0x8     findConnection(16445372): did not find connection
0x8   connectToBestAP(): Best AP is mesh16445372<---
0x4   stationStatus Changed to STATION_CONNECTING
0x8   manageConnections(): dropping 1461612 NODE_TIMEOUT last=180428708
node=183490327
0x8   closeConnection(): conn-chipId=1461612
0x8   meshDisconCb(): 0x8 AP connection.  No new action needed. local_port=5555
0x8   wifiEventCb(): EVENT_SOFTAPMODE_STADISCONNECTED
0x8   wifiEventCb(): EVENT_STAMODE_CONNECTED ssid=mesh16445372
0x8   wifiEventCb(): EVENT_STAMODE_GOT_IP
0x8   tcpConnect(): Got local IP=192.168.188.2
0x8   tcpConnect(): Dest IP=192.168.188.1
0x8   tcpConnect(): connecting type=16, state=0, local_ip=192.168.188.2,
local_port=34443, remote_ip=192.168.188.1 remote_port=5555
...
Connection count: 2
```

Υπό κανονικές συνθήκες τα esp απλά θα μεταδίδουν τις μετρήσεις τους στο δίκτυο. Περιοδικά θα γίνεται ένα scan από κάθε συσκευή για να δει αν πρέπει να γίνει κάποιο join, σε περίπτωση που χρειάζεται τότε το esp απλά συνδέεται στο esp8266 με το καλύτερο σήμα. Η ανταλλαγή στοιχείων αυτών των 2 esp8266 γίνεται μέσα από μια direct TCP σύνδεση. Στο τέλος εκτελείται το callback νέας σύνδεσης σε κάθε κόμβο του δικτύου.

MILESTONE 2

Στο 2ο μέρος, ασχοληθήκαμε περισσότερο με τη μεταφορά των components από το αρχικό breadboard σε prototyping board και έπειτα μία πρώτη έκδοση PCB (ώστε να είναι έτοιμη η τελική μορφή για το τρίτο Milestone) έτσι ώστε μελλοντικά όλα τα μέρη του πρότζεκτ μας να βρίσκονται πάνω σε μια PCB κάτι που σημαίνει ότι στοχεύουμε στη δημιουργία 3 PCB, μία δηλαδή για κάθε ζεύγος αισθητήρα-μικροελεγκτή-συσκευής.

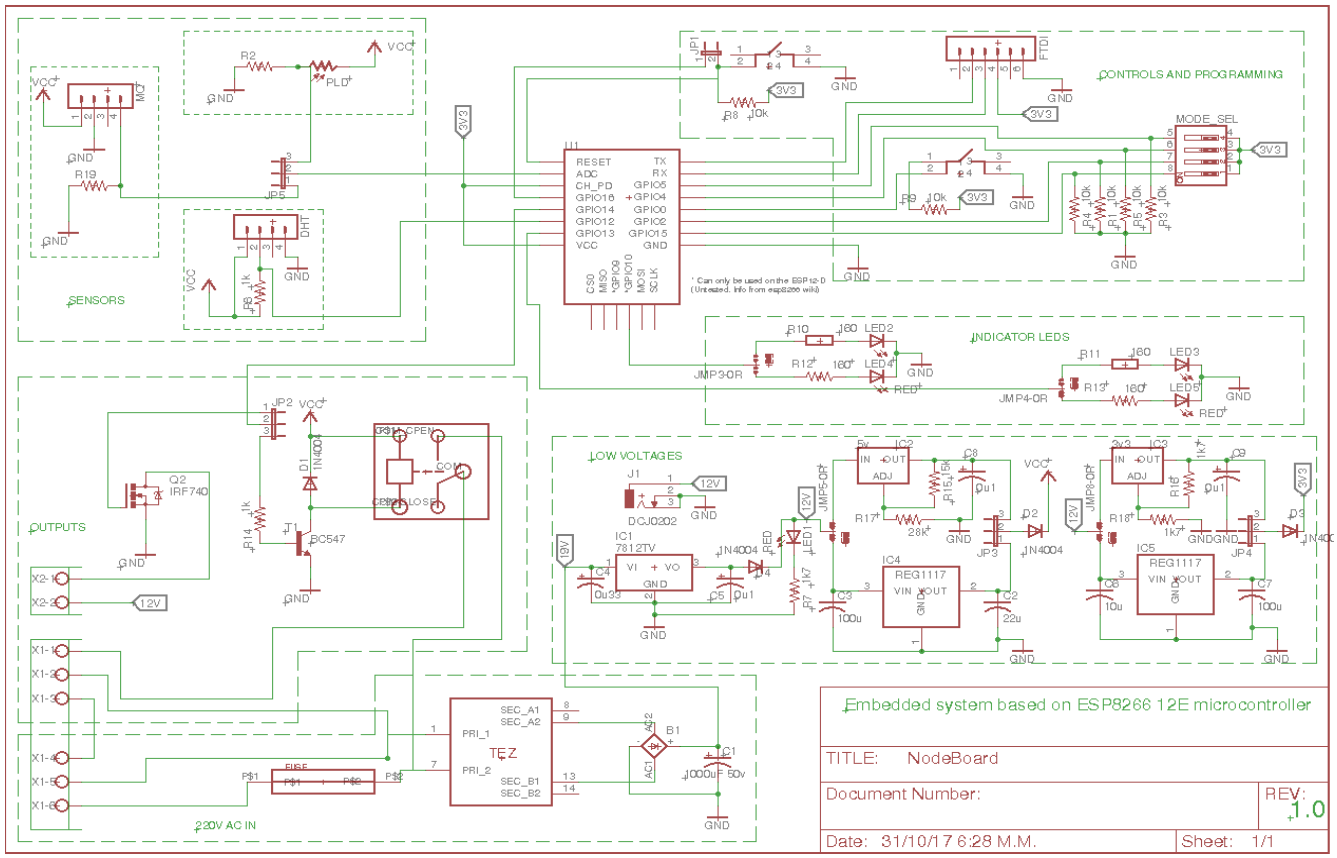
Σε πρώτο στάδιο αποφασίσαμε για το είδος και τον αριθμό των components που θα τοποθετηθούν πάνω στην πλακέτα σύμφωνα με τα ζητούμενα της πρότασης μας, συμβουλευόμενοι τα datasheets των κατασκευαστών ώστε να επιβεβαιώσουμε την ομαλή λειτουργία των υποσυστημάτων μας. Έπειτα ακολουθήσαμε κάποιες από τις βασικές προδιαγραφές ασφαλείας που ορίζονται στο πρότυπο IPC-2221A αλλά δεν υπήρχε η δυνατότητα και ο χρόνος για να ακολουθηθούν κατά γράμμα όλες οι απαιτήσεις του προτύπου, όπως για παράδειγμα η δυνατότητα εκτύπωσης από μηχανή (η τύπωση και το τρύπημα έγιναν με “το χερι” και είχαν σημαντικές συνέπειες για τις οποίες άλλαξαν οι βασικές διαστάσεις των vias/pads κλπ.)

Στη συνέχεια σχεδιάσαμε με τη βοήθεια της πλατφόρμας EAGLE το σύστημά μας για ένα μόνο αισθητήρα και προσθέσαμε κάποιους διακόπτες επιλογής έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί η ίδια πλακέτα για όλους τους αισθητήρες. Έτσι αυξάνουμε ελάχιστα το επιπλέον υλικό αλλά κερδίζουμε αλλού επειδή τώρα έχουμε μόνο ένα είδος πλακέτας που πρέπει να τυπώσουμε ενώ το μόνο που απαιτείται για να δουλέψει ένας αισθητήρας είναι το άνοιγμα των κατάλληλων Deep Switches. Τέλος δημιουργήσαμε διάφορα footprints για κάποια από τα components μας καθώς ήταν δυσπρόσιτη η εύρεση βιβλιοθήκης τους από τους κατασκευαστές.

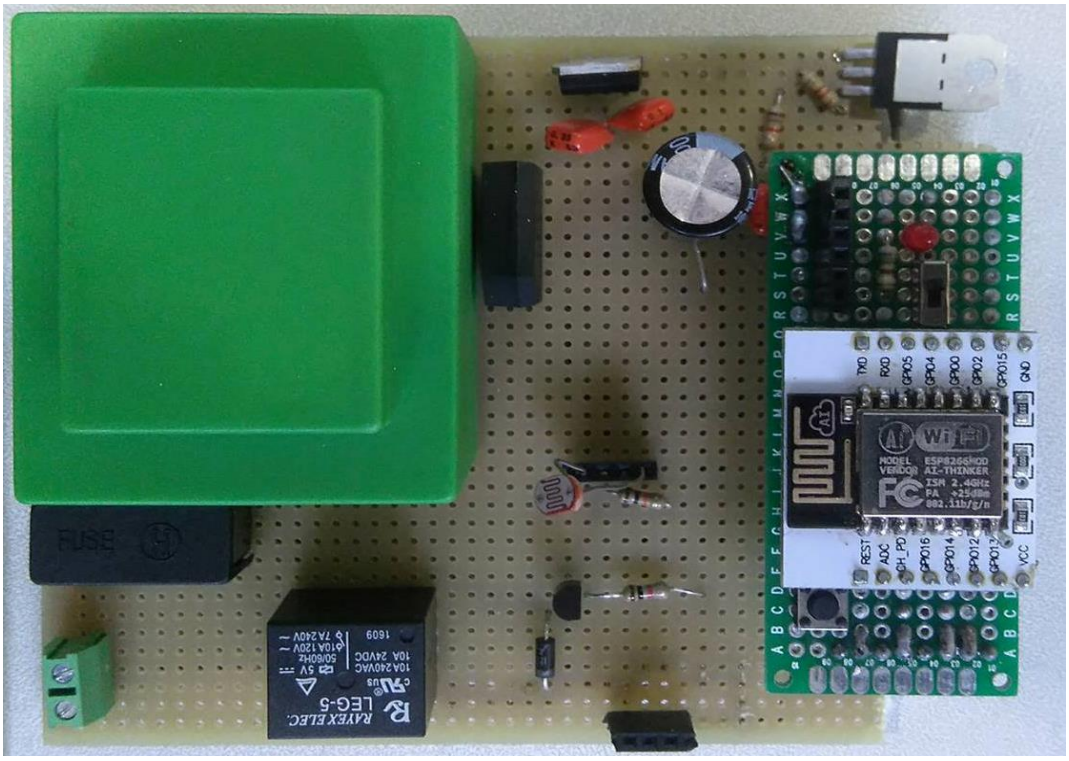
Όσον αφορά το throughput και το latency του κατανεμημένου δικτύου παρατηρήσαμε ότι για 5 nodes υπάρχει περίπου 50ms delay από τη στιγμή που στέλνει ο ένας κόμβος ένα μήνυμα 4KB μέχρι τη στιγμή που τελειώνει την επεξεργασία του ο/οι παραλήπτης/ες. Να σημειωθεί ότι ο ελεγκτής δεν στέλνει αμέσως τα πακέτα που του ζητούνται αλλά τα αποθηκεύει σε ένα προσωρινό TCP stack το οποίο επεξεργάζεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα, συγκεκριμένα όταν γίνεται κλήση εντολών τύπου yield και delay(). Αν δεν γίνει επεξεργασία της στοίβας για αρκετές εκατοντάδες ms η ενεργή σύνδεση WiFi τερματίζεται βίαια και γίνεται reset του μικροελεγκτή, να σημειωθεί ότι στις προδιαγραφές τους συστήματός μας η λήψη, η επεξεργασία και η αποστολή μηνυμάτων διαρκούν περίπου μια τάξη μεγέθους λιγότερο. Τέλος το θεωρητικό μέγεθος του δικτύου καθορίζεται από το stack που έχει ο μικροελεγκτής πάνω του, στην περίπτωσή μας το μέγεθος είναι 4MB από τα οποία χρησιμοποιούμε 256KB για το sketch μας και άλλα 37KB για τις μεταβλητές μας άρα ο υπόλοιπος χώρος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση μηνυμάτων και τις διευθύνσεις άλλων esp8266.

Όσον αφορά την εξοικονόμηση ενέργειας δεν έχουμε προχωρήσει σε κάποιες αλλαγές μιας και μελλοντικά οι πλακέτες μας θα έχουν σύνδεση με το ηλεκτρικό δίκτυο. Η τελική πλακέτα θα περιλαμβάνει onboard τροφοδοτικό το οποίο θα δημιουργηθεί με τον μετασχηματισμό του ρεύματος αρχικά από 220v AC σε 14v AC και έπειτα με την βοήθεια ανόρθωσης και σταθεροποίησης σε 12v DC από όπου και θα τροφοδοτείται ολόκληρο το κύκλωμα μας.

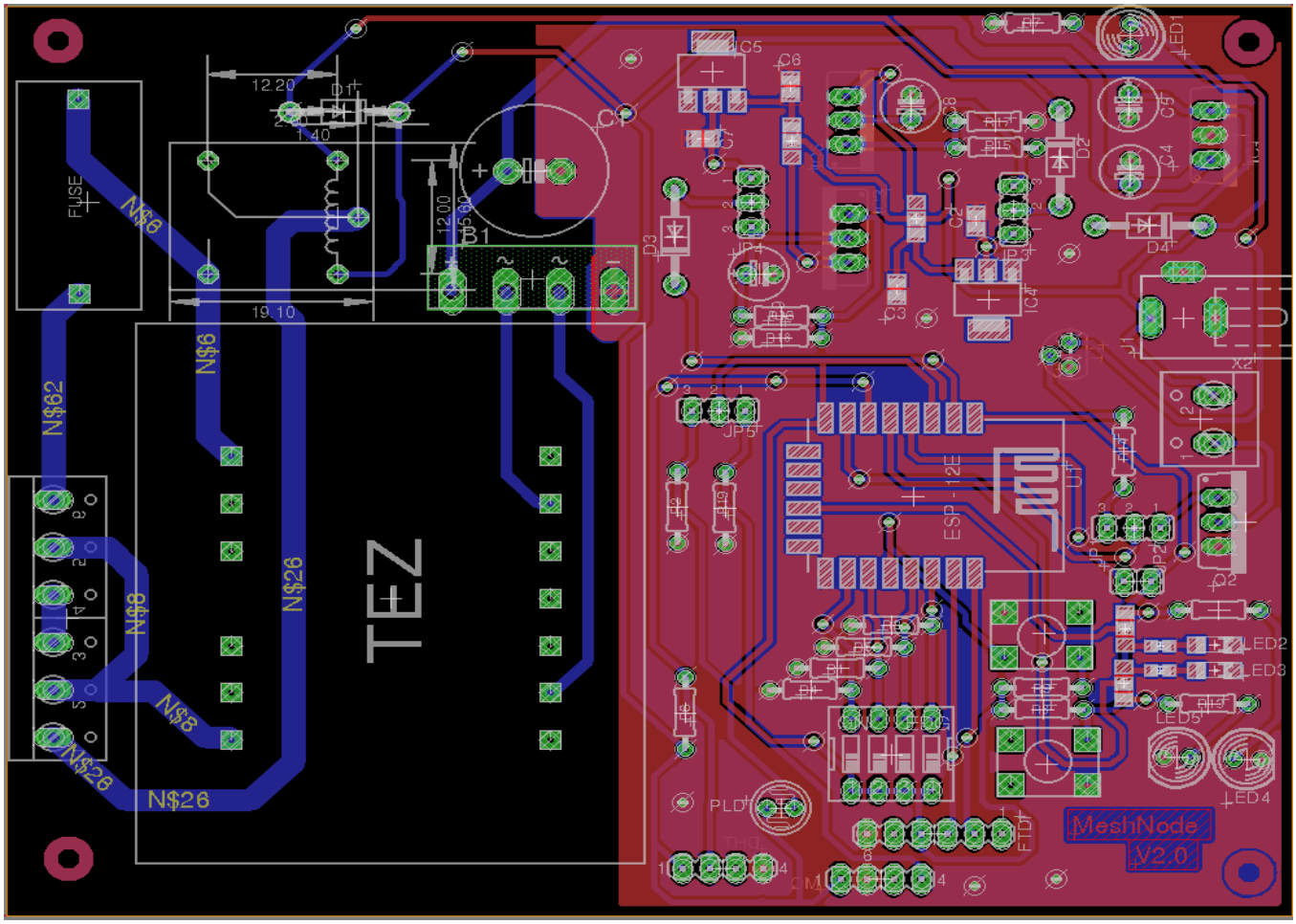
Ακολουθεί το σχηματικό με την λογική του οποίου δημιουργήσαμε σε διάτρητη πλακέτα (για έναν μόνο αισθητήρα όμως) το κύκλωμα μας, καθώς επίσης και ένα αρχικό version του τυπωμένου το οποίο θα παρουσιάσουμε στο 3^{0} Milestone.



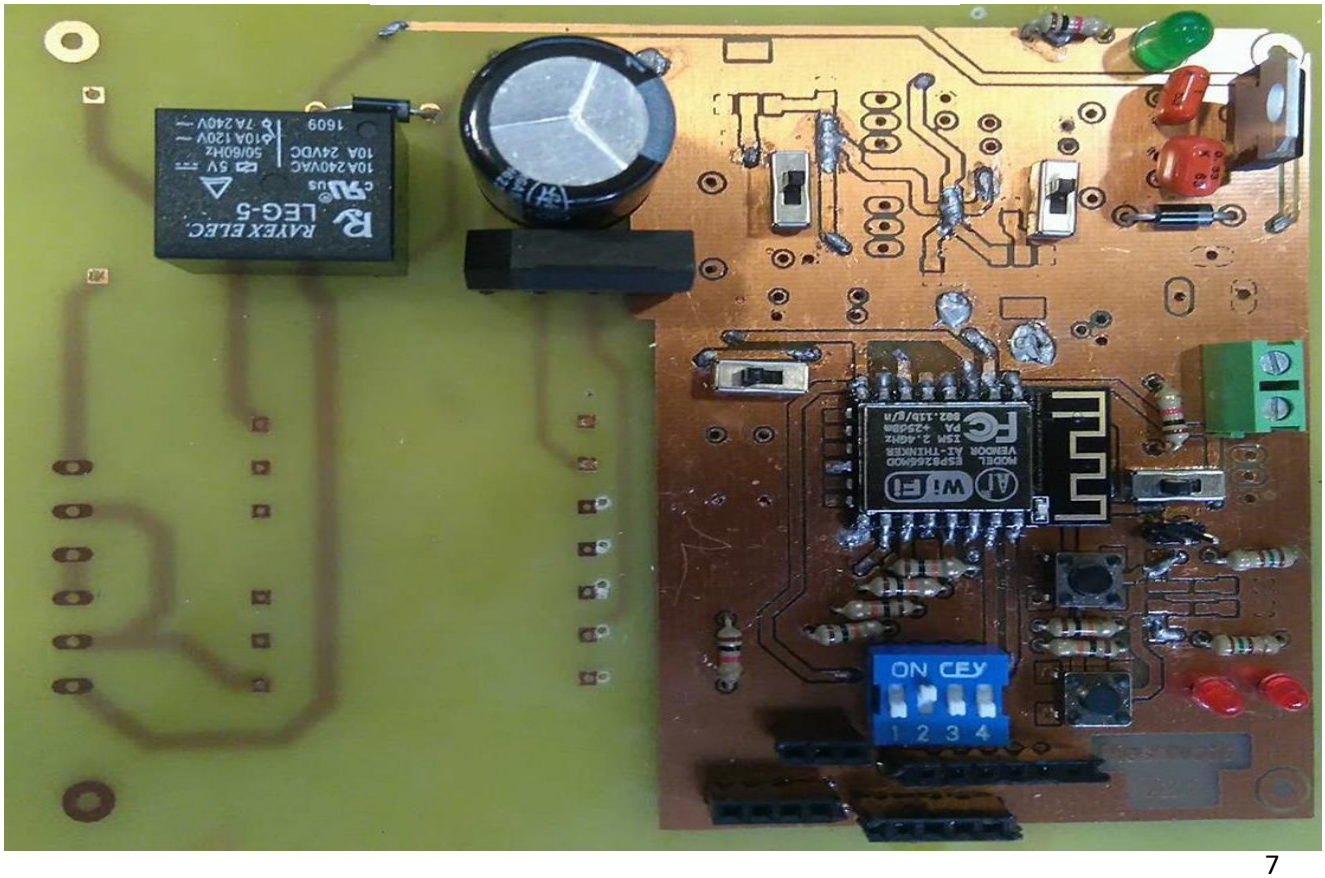
Σχηματικό κυκλώματος



Διάτρητη πλακέτα



PCB Σχηματικό (Πάνω) και εκτυπωμένη (Κάτω)



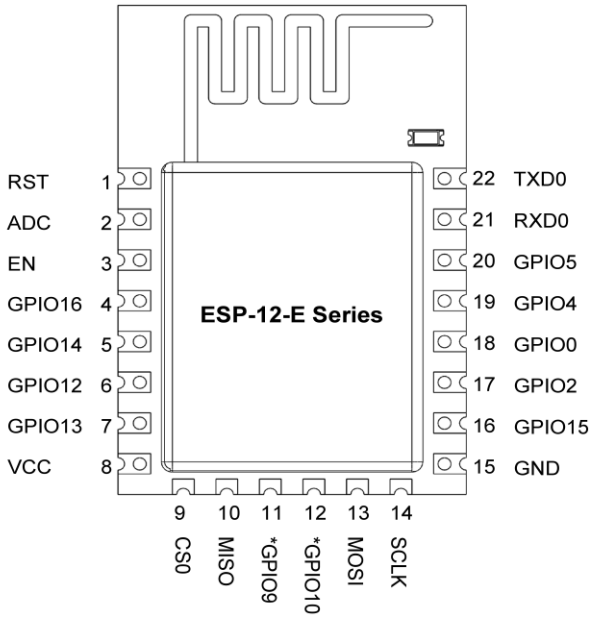
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1 – Κατανάλωση esp8266

Parameter	Typical	Unit
Tx 802.11b, CCK 11Mbps, P_{OUT}=+17dBm	170	mA
Tx 802.11g, OFDM 54Mbps, P_{OUT} =+15dBm	140	mA
Tx 802.11n, MCS7, P_{OUT} =+13dBm	120	mA
Rx 802.11b, 1024 bytes packet length , -80dBm	50	mA
Rx 802.11g, 1024 bytes packet length, -70dBm	56	mA
Rx 802.11n, 1024 bytes packet length, -65dBm	56	mA
Modem-Sleep	15	mA
Light-Sleep	0.5	mA
Power save mode DTIM 1	1.2	mA
Power save mode DTIM 3	0.9	mA
Deep-Sleep	10	uA
Power OFF	0.5	uA

Esp8266-12E pinout

Pin Configuration and Functions



* Can only be used on ESP12-D.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- https://github.com/gstamatakis/MeshNetwork.git Όλα τα αρχεία που χρησιμοποιήθηκαν για αυτή την εργασία (κώδικας, αναφορές, σχηματικά). Περιέχει επίσης στα Releases τα παραδοτέα για όλα τα Milestones αλλά και το τελικό προϊόν.
- https://github.com/blackhack/ArduLibraries/tree/master/SimpleList Χρησιμοποιήθηκε για την γρήγορη μεταφορά δεδομένων από κόμβο σε κόμβο.
- https://github.com/bblanchon/ArduinoJson Βιβλιοθήκη για δημιουργία και επεξεργασία JSON αρχείων σε Arduino.
- https://github.com/gstamatakis/easyMesh.git Βιβλιοθήκη για δίκτυα πλέγματος σε Arduino.
- http://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/ Documentation για το esp8266.
- http://bbs.espressif.com/viewtopic.php?t=133 esp8266 power consumption
- https://github.com/piettetech/PietteTech_DHT.git DHT11 alternative library