



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ**  
**ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων**

**Λιναρδάτος Μάριος Ανδρόνικος**  
**Ελευθεριάδου Αγγελική**

**Εισηγητής: Δρ Ιωάννης Έλληνας, Καθηγητής**

**ΑΙΓΑΛΕΩ**  
**2018**



Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων**

**Λιναρδάτος Μάριος Ανδρόνικος**

**A.M. 39271**

**Ελευθεριάδου Αγγελική**

**A.M. 41041**

**Εισηγητής:**

**Δρ Ιωάννης Έλληνας, Καθηγητής**

**Εξεταστική Επιτροπή:**

\_\_\_\_\_, Καθηγητής  
\_\_\_\_\_, Καθηγητής

**Ημερομηνία εξέτασης:     \_\_/\_\_/2018**





## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ολοκληρώνοντας τον κύκλο σπουδών μας με την παρούσα πτυχιακή εργασία, θα θέλαμε να εκφράσουμε τις ευχαριστίες μας σε συγκεκριμένα άτομα που με τον δικό τους τρόπο μας βοήθησαν και μας στήριξαν.

Πρώτα και κυριότερα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τις οικογένειές μας, και οι δύο ξεχωριστά, που μας στήριξαν και μας παρότρυναν να επιμείνουμε στο τελευταίο και δυσκολότερο κομμάτι, που ήταν αυτό της πτυχιακής μας εργασίας και εν τέλει τα καταφέραμε.

Τον φίλο μας Κωνσταντίνο Ντζούφρα για την πολύτιμη βοήθεια που μας προσέφερε στην εκπλήρωση του προγραμματιστικού μέρους και για τις γνώσεις του πάνω στο αντικείμενο.

Τον καθηγητή μας, Δρ. Ιωάννη Έλληνα, για την άριστη συνεργασία μας και την υπομονή του καθ'όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους εκείνους τους καθηγητές του τμήματος μας που μας προσέφεραν και μας μετέδωσαν τις γνώσεις τους πάνω στον τομέα της πληροφορικής και της μηχανικής υπολογιστών.



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με την ανάπτυξη ενός ασύρματου δικτύου αισθητήρων. Τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούνται από διασκορπισμένους αυτόνομους αισθητήρες που έχουν ως κύριο στόχο την παρακολούθηση φυσικών ή περιβαλλοντικών συνθηκών όπως είναι η θερμοκρασία ή η ατμοσφαιρική ρύπανση καθώς και πολλά άλλα.

Για το δίκτυο αισθητήρων που δημιουργήθηκε σε αυτήν την εργασία χρησιμοποιήθηκαν ηλεκτρονικά εξαρτήματα ραδιοσυχνότητας γνωστά ως RF και πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν τα nRF24L01. Η εφαρμογή που θα προβληθεί στις επόμενες σελίδες ασχολείται με την μέτρηση της θερμοκρασίας δύο χώρων οι οποίες μετά θα προβληθούν στην οθόνη της κατασκευής.

Αρχικά στην εργασία μας γίνεται μία ιστορική αναδρομή καθώς και μία επεξήγηση στους αισθητήρες καθώς επίσης και στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων. Έπειτα παρουσιάζονται πληροφορίες και βασικά στοιχεία τόσο για την πλατφόρμα του Arduino όσο και για τον πομποδέκτη nRF24L01, υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της εργασίας.

**Επιστημονική Περιοχή:** Ασύρματο Δίκτυο

**Λέξεις Κλειδιά:** Θερμόμετρο, Ασύρματο Δίκτυο, Αισθητήρας, Arduino, ATmega328

## ABSTRACT

In the present thesis, it is presented the development of a wireless sensor network. Wireless sensor networks consist of scattered autonomous sensors with the main objective of monitoring natural or environmental conditions such as temperature or air pollution as well as many other objects.

For the sensor network created in this thesis were used radio frequency components known as RF and particularly was used the nRF24L01. The application, which is going to be displayed on the next pages, deals with the temperature measurement of two different rooms and the result of this measurement will be displayed on the construction's screen.

At the beginning of our thesis, there will be a historical review and an explanation about the sensors, as well as, the wireless sensor networks. Then, it will be presented information and key elements for the Arduino platform and the transceiver nRF24L01, materials used to implement of this work.

**Science Field:** Wireless Network

**Key Words:** Thermometer, Wireless Network, Sensor, Arduino, ATmega328

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 .....	13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	13
1.1 Ιστορική Αναδρομή των Αισθητήρων .....	13
1.2 Τι Είναι ο Αισθητήρας.....	13
1.3 Χαρακτηριστικά και Είδη Αισθητήρων .....	15
1.4 Εφαρμογές Αισθητήρων.....	18
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 .....	21
ΔΙΚΤΥΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ .....	21
2.1 Ιστορική Αναδρομή σε Δίκτυα Αισθητήρων .....	21
2.2 Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων .....	23
2.3 Λειτουργία και Χαρακτηριστικά .....	24
2.4 Αρχιτεκτονική .....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 .....	29
ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ .....	29
3.1 Τοπολογίες Δικτύων .....	29
3.2 Τοπολογία Πλήρους ή Μερικού Πλέγματος.....	29
3.3 Δικτύωση Πλέγματος για τον Πομποδέκτη NRF24L01.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 .....	33
Η ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ARDUINO .....	33
4.1 Γενικές Πληροφορίες Περί Arduino.....	33
4.1.1 Τροφοδοσία Arduino Uno .....	34
4.1.2 Μνήμη Arduino Uno .....	35
4.1.3 Ακροδέκτες Arduino Uno.....	36
4.1.4 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Arduino Uno .....	38
4.2 Ο Μικροεπεξεργαστής ATmega328 .....	39
4.3 Περιβάλλον Ανάπτυξης Λογισμικού.....	41
4.3.1 Διαδικασία Uploading.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 .....	43
Ο ΑΣΥΡΜΑΤΟΣ ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗΣ NRF24L01.....	43
5.1 Γενικές Πληροφορίες Περί NRF24L01 .....	43
5.2 Τρόποι Λειτουργίας .....	44
5.2.1 Κατάσταση Αναμονής (Standby).....	44
5.2.2 Κατάσταση Απενεργοποίησης (PowerOff).....	44
5.2.3 Κατάσταση Λήψης (Receiver (RX)).....	44

5.2.4 Κατάσταση Μετάδοσης (Transmitter (TX)).....	45
5.3 Διεπαφές Δεδομένων και Ελέγχου .....	45
5.4 Σύνολο Εντολών SPI.....	46
5.5 Ουρές Δεδομένων .....	47
5.6 Φυσικό Κανάλι.....	48
5.7 Ρυθμός Δεδομένων .....	48
5.8 Συχνότητα Καναλιού.....	49
5.9 Ενισχυτής Ισχύος .....	49
5.10 Πρωτόκολλο Enhanced Shock Burst.....	49
5.11 Μορφότυπο Πλαισίων .....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 .....	53
ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ .....	53
6.2 Πομποδέκτης NRF24L01 .....	53
6.3 Ψηφιακό Θερμόμετρο DS18B20 .....	54
6.4 Οθόνη OLED SSD1306.....	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 .....	59
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α' – ΚΩΔΙΚΑΣ ΟΘΟΝΗΣ .....	59
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 .....	63
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β' – ΚΩΔΙΚΑΣ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΩΝ .....	63
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 .....	67
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ .....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 .....	69
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	69

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

[Εικόνα 1.1: Διάφοροι τύποι αισθητήρων](#)

[Εικόνα 2.1: Αρχιτεκτονική ασύρματου δικτύου αισθητήρων](#)

[Εικόνα 2.2: Τρεις τύποι ενός κόμβου συλλέκτη](#)

[Εικόνα 3.1: Μερικές γνωστές τοπολογίες δικτύων](#)

[Εικόνα 3.2: Τοπολογία πλέγματος πλήρους διασύνδεσης](#)

[Εικόνα 3.3: Τοπολογία πλέγματος μερικής διασύνδεσης](#)

[Εικόνα 4.1: Arduino logo](#)

[Εικόνα 4.2: Ακροδέκτες τροφοδοσίας Arduino Uno](#)

[Εικόνα 4.3: Ψηφιακοί ακροδέκτες Arduino Uno](#)

[Εικόνα 4.4: Αναλογικοί ακροδέκτες Arduino Uno](#)

[Εικόνα 4.5: Χαρακτηριστικά του Arduino Uno](#)

[Εικόνα 4.6: Ο μικροεπεξεργαστής ATmega328](#)

[Εικόνα 4.7: Ο μικροεπεξεργαστής ATmega328 σε SMD τύπο](#)

[Εικόνα 4.8: ATmega328 Block diagram](#)

[Εικόνα 4.9: Περιβάλλον ArduinoIDE](#)

[Εικόνα 5.1: Βασικά στοιχεία nRF24L01](#)

[Εικόνα 6.1: Η πλακέτα Arduino Uno](#)

[Εικόνα 6.2: Ο πομποδέκτης nRF24L01](#)

[Εικόνα 6.3: Το θερμόμετρο DS18B20](#)

[Εικόνα 6.4: Η οθόνη OLED SSD1306](#)

[Εικόνα 6.5: Συνδεσμολογία οθόνης με Arduino](#)

[Εικόνα 6.6: Συνδεσμολογία θερμομέτρων](#)

[Εικόνα 6.7: Μέτρηση θερμοκρασίας 1<sup>ου</sup> δωματίου](#)

[Εικόνα 6.8: Μέτρηση θερμοκρασίας 2<sup>ου</sup> δωματίου](#)

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

[Πίνακας 1.1: Ιδανικές τιμές αισθητήρων](#)

[Πίνακας 5.1: Πίνακας καταστάσεων του nRF24L01](#)

[Πίνακας 5.2: Εντολές του nRF24L01](#)

[Πίνακας 6.1: Χαρακτηριστικά της OLED SSD1306](#)



## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΑΔΑ	Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων
ACK	Acknowledgement
ADC	Analog-to-Digital Converter
ALU	Arithmetic Logic Unit
AREF	Analog Reference
AVR	Aboriginal Voices Radio
CE	Chip Enable
CISC	Complex Instruction Set Computer
CMOS	Complementary Metal Oxide Semiconductor
CRC	Cyclic Redundancy Check
CSN	Chip Select Not
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
EEPROM	Electrically Erasable Programmable Read Only Memory
FIFO	First In First Out
FTDI	Future Technology Devices International
GCC	Gnu C Compiler
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keying
GND	Ground
ICSP	In Circuit Serial Programming
IDE	Integrated Development Environment
IRQ	Interrupt Request
Manet(2004)	Mobile Adhoc Network
MISO	Master In Slave Out
MOSI	Master Out Slave In
MSU	Microcontroller Unit
OLED	Organic Light-Emitting Diode
PAN	Personal Area Network
PRnet	Packet Radio Network
PRX	Primary Receiver
PTX	Primary Transmitter
PWM	Pulse Width Modulation

## Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

PWR_DWN	Power Down
PWR_UP	Power Up
RISC	Reduced Instruction Set Computer
RX	Receive
SCK	Serial Clock
SMD	Surface Mount Device
SOSUS	Sound Surveillance System
SPI	Serial Peripheral Interface
SRAM	Static Random Access Memory
TX	Transmit
USB	Universal Serial Bus
WiFi	Wireless Fidelity
WLAN	Wireless Local Area Network
WSN(s)	Wireless Sensor Network(s)

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι αισθητήρες έχουν τεράστια σημασία για των άνθρωπο. Από την αρχή της εμφάνισης των έμβιων όντων στον πλανήτη έκαναν την εμφάνισή τους σαν όργανα τους καθώς αποτελούσαν κομμάτι του εαυτού τους. Δύο ξεχωριστά χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι το μάτι και το αυτί.

Το μάτι βασίζεται στην ανίχνευση του φάσματος της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας, ενώ το αυτί αντιλαμβάνεται τις μεταβολές της πίεσης, που είναι ο τρόπος με τον οποίο ταξιδεύει ο ήχος μέσω των κυμάτων. [1],[2]

#### 1.1 Ιστορική Αναδρομή των Αισθητήρων

Η εξέλιξη των έμβιων όντων και η ανάπτυξη του ανθρώπινου είδους σαν κυρίαρχο πλάσμα στον πλανήτη σηματοδότησε την ηγετική του μορφή που ξεχώρισε ανάμεσα στα υπόλοιπα όντα. Ο άνθρωπος χρησιμοποίησε περισσότερο από όλα τα άλλα έμβια όντα το μυαλό του και άρχισε να αντιλαμβάνεται ότι τα όργανα μέτρησης είναι αναγκαία για να ανατιμετωπίσει τις προκλήσεις της καθημερινότητας. Συνεπώς η μέτρηση του μήκους, του βάρους ή ακόμα και του όγκου οδηγεί τον άνθρωπο στη δημιουργία και χρησιμοποίηση συστημάτων μέτρησης. Σαν παράδειγμα υπάρχει η λειτουργία του πρώτου θερμόμετρου που εκτιμάται ότι έκανε την εμφάνιση του το 1585, ενώ το πρώτο βαρόμετρο εμφανίστηκε το 1643. Η λειτουργία του θερμομέτρου αξιοποιούσε την ιδιότητα των σωμάτων να μεταβάλλονται με την θερμοκρασία, ενώ αντίστοιχα το βαρόμετρο βασίζεται στην ιδιότητα των ρευστών να μεταβάλλουν την στάθμη τους ανάλογα με την πίεση που τους ασκείται.

#### 1.2 Τι Είναι ο Αισθητήρας

Αισθητήρας ονομάζεται μία συσκευή η οποία ανιχνεύει ένα φυσικό μέγεθος και παράγει από αυτό μία μετρήσιμη έξοδο. Οι πρώτοι αισθητήρες και τα όργανα

## Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

μέτρησης ήταν μηχανικά. Τα πρώτα χρόνια εμφάνισής τους πολλά συστήματα μέτρησης βασίζονταν σε χειροκίνητες, μηχανικές ή άλλες διαδικασίες για την πραγματοποίηση της μέτρησης (π.χ. η μέτρηση των διαστάσεων ενός αντικειμένου με χάρακα ή η μέτρηση του βάρους ενός αντικειμένου με ζυγό ισοροπίας).

Η ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών συστημάτων οδηγεί στη δημιουργία νέων τύπων αισθητήρων που πλέον βασίζονται στην μετατροπή του φυσικού μεγέθους (θερμοκρασία, πίεση) σε ηλεκτρικό σήμα. Η ευκολία που το ηλεκτρικό σήμα μεταφέρεται, ενισχύεται, φιλτράρεται, αποθηκεύεται και απεικονίζεται το κάνει να είναι ο ιδανικός τρόπος για να γίνονται λήψεις φυσικών μεγεθών.

Με την συνεχή μελέτη του ηλεκτρισμού δημιουργήθηκαν νέοι τύποι αισθητήρων που βασίζονται στα ηλεκτρικά κυκλώματα και έχουν σαν έξοδο αναλογικό σήμα. Με την εξέλιξη των ημιαγωγών ήρθε σαν επακόλουθο η δημιουργία αισθητήρων ημιαγωγών και οργάνων ψηφιακών μετρήσεων. Οι αισθητήρες αναπτύσσονταν ταχύτατα λόγω των αναγκών που δημιούργησαν οι θετικές επιστήμες αλλά και η ανάπτυξη της τεχνολογίας. Η εξέλιξή τους έχει φθάσει σε τέτοιο βαθμό, που καλύπτουν μεγάλο φάσμα μετρήσεων φυσικών μεγεθών καθώς επίσης και μεγεθών που δεν υπήρχαν, ενώ βοήθησε και στη βελτίωση των ήδη υπάρχοντων αισθητήρων.

Οι αισθητήρες και το μικροϋπολογιστικό σύστημα αποτελούν μια ενιαία μονάδα εξαιρετικά μικρών διαστάσεων που είναι κόμβος ενός ασύρματου δικτύου, με τη βοήθεια του οποίου, οι μετρήσεις διαβιβάζονται σε μια κεντρική μονάδα που τις επεξεργάζεται για να ληφθούν ορθά συμπεράσματα.



Εικόνα 1.1: Διάφοροι τύποι αισθητήρων

### 1.3 Χαρακτηριστικά και Είδη Αισθητήρων

Για κάθε αισθητήρα ισχύει μια ιδανική ή θεωρητική σχέση εισόδου-εξόδου ή αλλιώς ερέθισμα-απόκριση. Αν κάποιος αισθητήρας ήταν ιδανικά σχεδιασμένος και κατασκευασμένος με ιδανικά υλικά από ιδανικούς εργάτες που δουλεύουν σε ένα ιδανικό περιβάλλον χρησιμοποιώντας ιδανικά εργαλεία τότε η έξοδος ενός τέτοιου αισθητήρα θα αναπαριστούσε την πραγματική τιμή του ερεθίσματος.

Είδος Παραμέτρου	Επιθυμητή Απόκριση
Απόκριση	Ακριβώς γραμμική, χωρίς θόρυβο
Αναφορά	Σημείο μηδέν
Χρόνος Απόκρισης	Μηδενικός για στιγμιαία απόκριση
Εύρος Συχνοτήτων	Άπειρο για στιγμιαία απόκριση
Χρόνος για να προσεγγίσει το 90% της τελικής τιμής του	Μηδέν για στιγμιαία απόκριση
Ένδειξη πλήρους κλίμακας	Βαθμονομημένη μέγιστη έξοδος
Περιοχή λειτουργίας	Άπειρη
Ευαισθησία	Υψηλή και σταθερή σε ολόκληρη περιοχή λειτουργίας
Διακριτική Ικανότητα	Άπειρη

Πίνακας 1.1: Ιδανικές τιμές αισθητήρων

Η ιδανική αυτή σχέση εισόδου-εξόδου μπορεί να εκφραστεί με ένα πίνακα τιμών, ενός διαγράμματος ή σαν λύση μιας μαθηματικής συνάρτησης. Αυτή η συνάρτηση ονομάζεται συνάρτηση μεταφοράς και παρουσιάζει τη σχέση μεταξύ ερεθίσματος και ηλεκτρικού σήματος που παράγει ο αισθητήρας. Από τη συνάρτηση μεταφοράς καθορίζονται και τα χαρακτηριστικά ενός αισθητήρα τα οποία είναι:

- Βαθμονόμηση (διαδικασία κατά την οποία καθορίζεται η συνάρτηση μεταφοράς ενός αισθητήρα)
- Ακρίβεια (ικανότητα ενός αισθητήρα να δίνει αποτελέσματα ταυτόσημα με το ερέθισμα που δέχεται)

## Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

- Διακριτική Ικανότητα (ελάχιστη μεταβολή μια φυσικής ποσότητας που μπορεί να γίνει αντιληπτή, να ανιχνευθεί και να καταγραφεί στο σήμα εξόδου του αισθητήρα)
- Επαναληψιμότητα (ικανότητα ενός αισθητήρα να παράγει σταθερά το ίδιο σήμα εξόδου σε σταθερό ερέθισμα σε πολλές διαφορετικές μετρήσεις υπό τις ίδιες συνθήκες)
- Ικανότητα Αναπαραγωγής των Αποτελεσμάτων (ικανότητα ενός αισθητήρα να μας δώσει ακριβή αποτελέσματα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, διαφορετικούς χώρους και με διαφορετικό εξοπλισμό)
- Ευαισθησία (παράγωγος της συνάρτησης μεταφοράς ως προς τη μετρήσιμη φυσική ποσότητα για μια ορισμένη τιμή της ποσότητας αυτής)
- Μονοτονικότητα (χαρακτηρίζεται από το αν η καμπύλη της συνάρτησης μεταφοράς είναι μόνιμα φθίνουσα ή αύξουσα καθώς αυξάνεται η μετρούμενη ποσότητα)
- Πλήρης κλίμακα εισόδου (η υψηλότερη δυνατή τιμή εισόδου που μπορεί να εφαρμοστεί στον αισθητήρα χωρίς να προκαλεί μεγάλη ανακρίβεια)
- Πλήρης κλίμακα εξόδου (η διαφορά μεταξύ των τιμών εξόδου ενός αισθητήρα που αντιστοιχούν στη μέγιστη και ελάχιστη ανιχνεύσιμη τιμή της μετρήσιμης φυσικής ποσότητας)
- Υστέρηση (απόκλιση μεταξύ των μετρήσεων του αισθητήρα όταν η μετρήσιμη φυσική ποσότητα προσεγγίζεται από διαφορετικές κατευθύνσεις)
- Σφάλμα μη γραμμικότητας (μια μέγιστη απόκλιση μιας πραγματικής συνάρτησης μεταφοράς από την κατά προσέγγιση ευθεία γραμμή)
- Σφάλμα βαθμονόμησης (ανακρίβεια που επιτρέπεται από τον κατασκευαστή όταν ο αισθητήρας βαθμονομείται στο εργοστάσιο)
- Νεκρή ζώνη (έλλειψη ευαισθησίας του αισθητήρα σε ένα συγκεκριμένο εύρος σημάτων εισόδου)
- Συστημικά σφάλματα (χαρακτηρίζονται από διάφορους παράγοντες όπως η θερμοκρασία ή η ατμοσφαιρική πίεση κ.α.)
- Τυχαία σφάλματα (ή αλλιώς «θόρυβος» που στην ουσία είναι ένα σήμα που δεν μεταφέρει δεδομένα)

Τα είδη των αισθητήρων μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με ποικίλους τρόπους. Ο συνηθέστερος τρόπος που συναντάται στις μέρες μας έχει να κάνει με την κύρια μορφή ενέργειας που μπορεί να μεταφέρει το σήμα τους. Μπορούν ακόμα και να ταξινομηθούν με βάση τον τρόπο μεταφοράς του σήματος ή με βάση την κύρια λειτουργία που επιτελούν.

Σύμφωνα με τη μορφή ενέργειας που μεταφέρει το σήμα τους, οι αισθητήρες χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- **Θερμικοί.** Χρησιμοποιούνται σε ποικίλες εφαρμογές όπως είναι η επεξεργασία τροφίμων, οι ιατρικές συσκευές ή ακόμα και στην αυτοκινητοβιομηχανία. Χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες οι οποίες είναι επαφής ή χωρίς επαφή.
- **Μηχανικοί.** Μετρούν την αλλαγή σε μία μηχανική ιδιότητα ενός αντικειμένου ή του συστήματος. Ο πρώτος μηχανικός αισθητήρας είναι ο μετρητής τάσεως που αποτελεί και τη βάση πολλών διαφορετικών τύπων μηχανικών αισθητήρων. Οι μηχανικοί αισθητήρες χωρίζονται σε κατηγορίες οι οποίες είναι, α)μετατόπισης, β) τοποθεσίας, γ) θέσης, δ) τάσης, ε) κίνησης, στ) πίεσης και ζ) ροής.
- **Ηλεκτρικοί.** Εξετάζουν την αλλαγή σε ηλεκτρικά που βασίζονται σε μία περιβαλλοντική είσοδο. Απλά παραδείγματα ηλεκτρικών αισθητήρων είναι τα βολτόμετρα και τα ωμόμετρα.
- **Μαγνητικοί.** Ανιχνεύουν μεταβολές και διαταραχές στο μαγνητικό πεδίο όπως η ροή, η δύναμη ή η κατεύθυνση. Χωρίζονται σε δύο ομάδες, αυτές που μετρούν το πλήρες μαγνητικό πεδίο και αυτές που μετρούν συνιστώσες διανυσμάτων του μαγνητικού πεδίου.
- **Ακτινοβολίας.** Παράγουν ένα σήμα εξόδου που δείχνει την ένταση του φωτός, μετρώντας την ενέργεια της ακτινοβολίας που υπάρχει σε ένα πολύ στενό εύρος συχνοτήτων. Το εύρος αυτό κυμαίνεται σε συχνότητα από «υπέρυθρο» σε «ορατό» έως «υπεριώδες» φάσμα του φωτός. Οι αισθητήρες ακτινοβολίας είναι παθητικές συσκευές που μετατρέπουν αυτήν την «ενέργεια» του φωτός σε ένα ηλεκτρικό σήμα εξόδου.
- **Χημικοί.** Μετρούν την παρουσία και την ποσότητα ενός συγκεκριμένου χημικού σε ένα περιβάλλον. Μερικοί συμπεριλαμβάνουν ανιχνευτές ροδανίου και μονοξειδίου του άνθρακα. Άλλοι είναι σχεδιασμένοι για την

## Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

ανίχνευση μίας συγκεκριμένης ένωσης ή ενός ιόντος για εξειδικευμένες λειτουργίες δοκιμών. Επίσης περιέχουν δύο βασικές λειτουργικές μονάδες, ένα τμήμα υποδοχής και ένα τμήμα μετατροπής. Επιπροσθέτως μερικοί από αυτούς μπορεί να περιέχουν και ένα διαχωριστικό τμήμα όπως είναι για παράδειγμα μία μεμβράνη.

Ανεξαρτήτως κατηγορίας υπάρχουν και ασύρματοι τύποι αισθητήρων, οι οποίοι είναι τυποποιημένα εργαλεία μέτρησης που είναι εξοπλισμένα με πομπούς για να μετατρέπουν τα σήματα από τα μέσα ελέγχου της διαδικασίας σε μία ραδιοφωνική μετάδοση. Το ραδιοφωνικό αυτό σήμα ερμηνεύεται από έναν δέκτη, ο οποίος με τη σειρά του μετατρέπει το ασύρματο σήμα σε ένα συγκεκριμένο επιθυμητής εξόδου, όπως ένα αναλογικό ρεύμα ή μία νάλυση δεδομένων μέσω του λογισμικού του υπολογιστή.

Τα κύρια οφέλη από τη χρήση ασύρματων αισθητήρων είναι η ασφάλεια, η ευκολία, η μείωση του κόστους, το είδος της μέτρησης, ο χρόνος απόκρισης και ακρίβειας, η εμβέλεια και, τέλος, η συχνότητα.

### 1.4 Εφαρμογές Αισθητήρων

Οι αισθητήρες ταξινομούνται βάση της μορφής του σήματος διέγερσης και σύμφωνα με την ταξινόμηση αυτή πραγματοποιούνται και οι αντίστοιχες εφαρμογές. Αυτές είναι:

- Μηχανική ενέργεια, η οποία χρησιμοποιείται για μέτρηση θέσης, επιτάχυνσης, ροής, δύναμης, ταχύτητας, μάζας και ροπής
- Ηλεκτρική ενέργεια, η οποία χρησιμοποιείται για μέτρηση έντασης, τάσης, πόλωσης αντίστασης, αγωγιμότητας και συχνότητας
- Ακουστική ενέργεια, η οποία χρησιμοποιείται για μέτρηση φάσης, μήκους κύματος, πόλωσης, φάσματος και ταχύτητας κύματος
- Βιολογική ενέργεια, η οποία χρησιμοποιείται για μέτρηση τύπου, κατάστασης και συγκέντρωσης βιόμαζας, σακχάρων και πρωτεϊνών
- Χημική ενέργεια, η οποία χρησιμοποιείται για μέτρηση υγρασίας, pH, συγκέντρωσης και ιδιοτήτων συστατικών και συγκέντρωση αερίων και ατμών



## Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

- Μαγνητική ενέργεια, η οποία χρησιμοποιείται για μέτρηση έντασης μαγνητικού πεδίου, ροής και μαγνητικής διαπερατότητας
- Οπτική ενέργεια, η οποία χρησιμοποιείται για μέτρηση μήκους κύματος, φάσης, πόλωσης, φάσματος και απορρόφησης
- Ακτινοβολία, η οποία χρησιμοποιείται για μέτρηση ενέργειας, μικροκυμάτων και φωτεινότητας
- Θερμική ενέργεια, η οποία χρησιμοποιείται για μέτρηση θερμοκρασίας, θερμότητας, ροής θερμότητας και θερμικής αγωγιμότητας



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΔΙΚΤΥΟ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

#### 2.1 Ιστορική Αναδρομή σε Δίκτυα Αισθητήρων

Όπως έχει ήδη συμβεί και με πλήθος άλλων τεχνολογιών η γέννηση και η εξέλιξη των δικτύων αισθητήρων προήλθε από τις ανάγκες του στρατού. Η πρώτη γνωστή εφαρμογή βασισμένη σε δίκτυο αισθητήρων είναι το SOSUS (Sound Surveillance System / Σύστημα Ηχητικής Παρακολούθησης). Σκοπός της δημιουργίας του δικτύου αυτού ήταν η ανίχνευση και ο εντοπισμός Σοβιετικών υποβρυχίων, κατά τη διάρκεια του ψυχρού πολέμου (αρχές δεκαετίας 1950), με τη χρήση ειδικών ακουστικών αισθητήρων (υδρόφωνα). Το SOSUS βρίσκεται ακόμη σε λειτουργία, για ειρηνικούς σκοπούς πλέον, και χρησιμοποιείται κυρίως για την παρακολούθηση διάφορων φαινομένων όπως για παράδειγμα τις σεισμικές δραστηριότητες ή την καταγραφή της δραστηριότητας των θαλάσσιων οργανισμών.

Οι ρίζες των δικτύων Ad-Hoc (που σημαίνει «γι' αυτόν τον σκοπό») βρίσκονται πίσω στο 1968, την χρονιά που ξεκίνησε το έργο πάνω στο δίκτυο ALOHA, στόχος του οποίου ήταν η διασύνδεση εκπαιδευτικών κτιρίων στην Χαβάη. Η ιδέα ήταν να χρησιμοποιηθούν χαμηλού κόστους ερασιτεχνικά ραδιοφωνικά συστήματα για τη δημιουργία ενός δικτύου υπολογιστών για την διασύνδεση των διασκορπισμένων κτιρίων της πανεπιστημιούπολης. Η αρχική έκδοση του πρωτοκόλλου ALOHA χρησιμοποιούσε δύο ξεχωριστές ραδιοφωνικές συχνότητες και μία τοπολογία αστέρα με έναν κεντρικό σταθμό (hub/star configuration).

Ο κεντρικός σταθμός μετέδιδε πακέτα σε όλους τους άλλους σταθμούς στο κανάλι εξόδου (out bound channel), ενώ οι υπόλοιποι σταθμοί έστελναν δεδομένα στον κεντρικό σταθμό στο κανάλι εισόδου (in bound channel). Παρόλο που στηθήκανε σταθεροί σταθμοί, το πρωτόκολλο ALOHA επέτρεπε τη διαχείριση για διανεμημένη πρόσβαση καναλιών (distributed channel access management) και έτσι εξασφάλισε μία βάση για την μετέπειτα ανάπτυξη των σχημάτων διανεμημένης πρόσβασης καναλιού, που ήταν κατάλληλα για τα δίκτυα Ad-Hoc. Το πρωτόκολλο ALOHA από μόνο του ήταν ένα πρωτόκολλο singlehop, οπότε

δεν υποστήριζε από μόνο του δρομολόγηση πακέτων, αντίθετα κάθε κόμβος έπρεπε να είναι εντός εμβέλειας όλων των υπόλοιπων κόμβων του δικτύου.

Αυτή η αρχική μορφή του πρωτοκόλλου αποκαλείται σήμερα “Pure ALOHA” για να ξεχωρίζει από τις καινούριες μορφές του πρωτοκόλλου, όπως την “Slotted ALOHA”. Το πρώτο είχε ένα μέγιστο throughput (παροχέτευση) της τάξης του 18.4% της συνολικής χωρητικότητας, το οποίο σημαίνει ότι περίπου το 81.6% του διαθέσιμου εύρους ζώνης έμενε ανεκμετάλλευτο εξαιτίας των απωλειών από τις συγκρούσεις πακέτων (packet collisions). Η βελτίωση του λοιπόν οδήγησε στη δημιουργία του δεύτερου, το οποίο με τη σειρά του εισήγαγε την έννοια του timeslot και αύξησε την απόδοση του πρωτοκόλλου στο 36.8%.

Κάθε κόμβος μπορεί να στέλνει πακέτα μόνο στην αρχή ενός timeslot, με αποτέλεσμα να μειώνονται οι συγκρούσεις των πακέτων. Εμπνευσμένο από το δίκτυο ALOHA και την προηγούμενη ανάπτυξη του packetswitching σε σταθερά σε σταθερά δίκτυα, το DARPA ξεκίνησε το 1973 στο PRnet (PacketRadioNetwork), ένα δίκτυο multihop. Ο όρος αυτός (multihop) υποδηλώνει τη συνεργασία των κόμβων για την αναμετάδοση της δικτυακής κίνησης μεταξύ τους, ώστε να φτάνουν σε μακρινούς σταθμούς που διαφορετικά θα ήταν εκτός εμβέλειας. Το PRnet παρείχε μηχανισμούς για τη διαχείριση των εργασιών είτε κεντρικά, είτε διανεμημένα. Διαπιστώθηκε ότι η τεχνική multihop αύξησε την χωρητικότητα του δικτύου, καθώς ο χώρος μπορούσε να ξαναχρησιμοποιηθεί για συνεχόμενες αλλά ξεχωριστές μεταξύ τους multihopsessions.

Παρόλο που πολλά πειραματικά δίκτυα τύπου PacketRadio αναπτύχθηκαν αργότερα, αυτά τα ασύρματα συστήματα δεν έφτασαν ποτέ στην αγορά. Όταν το Ινστιτούτο IEEE ανέπτυξε το πρότυπο IEEE 802.11 το 1997 για ασύρματα τοπικά δίκτυα (WirelessLocalAreaNetwork, WLAN), αντικατέστησε τον όρο PacketRadioNetwork με τον όρο Ad-HocNetwork. Το αμέσως επόμενο δίκτυο αισθητήρων ήταν το SmartDust(1998) της DARPA και αναπτύχθηκε επίσης για στρατιωτική χρήση. Βασίστηκε στην ιδέα, ότι χιλιάδες μικροσκοπικοί αισθητήρες θα μπορούσαν να διασκορπιστούν από ένα μικρό, μη επανδρωμένο αεροπλάνο για να συλλέγουν πληροφορίες από τον εχθρό στο πεδίο της μάχης.

Επιπροσθέτως υπάρχουν και τα δίκτυα που δεν έχουν καθόλου κεντρική διαχείριση, όπως τα MANET(2004) και τα PAN (PersonalAreaNetwork). Σταδιακά, τα WSNs (Wireless Sensor Networks) άρχισαν να χρησιμοποιούνται σε πληθώρα

## Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

εφαρμογών και χάρη στην έρευνα που γίνεται πάνω σε αυτά, αναπτύσσονται και βελτιώνονται με ραγδαίο ρυθμό.

Οι εφαρμογές των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι πολυποίκιλες και χρησιμοποιούνται παραδείγματος χάρη στη συλλογή μετεωρολογικών και ωκεανογραφικών δεδομένων, στην παρακολούθηση κινήσεων μεμονωμένων ζώων και κοπαδιών, στις γεωργικές εργασίες υψηλής ακρίβειας, στα συστήματα ασφάλειας ευαίσθητων εγκαταστάσεων, στον έλεγχο τεχνικών κατασκευών για την πρόληψη καταστροφικών αστοχιών, στην ιατρική κ.λ.π.. Μια τέτοια «επανάσταση» δε μπορεί παρά να έχει και πολύ σημαντικές κοινωνικές συνέπειες όπως είναι ο κίνδυνος για κατάσταση «Μεγάλου Αδελφού», αλλά και η δυνατότητα απομακρυσμένης παρακολούθησης ηλικιωμένων και μικρών παιδιών, πιθανή ανεργία, αλλά και ορθολογικότερη αξιοποίηση του ανθρώπινου δυναμικού.

### 2.2 Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων

Ένα ασύρματο δίκτυο αισθητήρων (ΑΔΑ / Wireless Sensor Network – WSN) αποτελείται από διασκορπισμένους αυτόνομους αισθητήρες που έχουν ως κύριο στόχο την παρακολούθηση φυσικών ή περιβαλλοντολογικών συνθηκών όπως είναι η θερμοκρασία ή η ατμοσφαιρική ρύπανση κτλ. Τα νεότερα δίκτυα είναι ικανά να δίνουν αλλά και να δέχονται πληροφορίες γεγονός το οποίο τους επιτρέπει να ελέγχουν την δραστηριότητα των αισθητήρων. [3],[5]

Ένα ΑΔΑ αποτελείται είτε από μερικές, είτε από αρκετές εκατοντάδες, είτε ακόμα και από χιλιάδες κόμβους, όπου ο κάθε κόμβος συνδέεται σε έναν ή μερικές φορές και σε αρκετούς αισθητήρες. Ένας τέτοιος κόμβος, ενός δικτύου αισθητήρων, έχει κάποια χαρακτηριστικά κομμάτια τα οποία είναι: α) ένας ραδιοπομποδέκτης με μια εσωτερική κεραία ή μια σύνδεση με μία εξωτερική κεραία, β) ένας μικροελεγκτής, γ) ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα για τη διασύνδεση με τους αισθητήρες και δ) μια πηγή ενέργειας, συνήθως μπαταρία.

Το μέγεθος και το κόστος ενός κόμβου μπορεί να ποικίλει. Ένας αισθητήριος κόμβος μπορεί να έχει το μέγεθος ενός κουτιού παπουτσιών, ενώ μπορεί να φτάσει και το μέγεθος ενός κόκκου σκόνης, αν και λειτουργικοί κόμβοι τόσο μικρών διαστάσεων δεν έχουν ακόμα δημιουργηθεί. Το κόστος τους ποικίλει ανάλογα την πολυπλοκότητά τους, ξεκινώντας από μερικά και φτάνοντας σε

εκατοντάδες ή ακόμη και χιλιάδες ευρώ. Οι περιορισμοί σε μέγεθος και κόστος έχουν ως αποτέλεσμα αντίστοιχους περιορισμούς σε πόρους όπως μνήμη, ενέργεια ή υπολογιστική ταχύτητα.

Στην επιστήμη των υπολογιστών και των τηλεπικοινωνιών, τα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν ενεργό τομέα έρευνας με πολυάριθμα συνέδρια και εργαστήρια που διοργανώνονται κάθε χρόνο.

### 2.3 Λειτουργία και Χαρακτηριστικά

Η επικοινωνία στα δίκτυα αισθητήρων είναι επικοινωνία εκπομπής (broadcast), δηλαδή κάθε κόμβος εκπέμπει προς όλους τους γειτονικούς του, και το σήμα του λαμβάνεται υπόψη μόνο από όσους «ενδιαφέρονται», με στόχο την αποστολή των δεδομένων στους σταθμούς βάσης, οι οποίοι έχουν απεριόριστο αποθηκευτικό χώρο και ενέργεια. Το μεγάλο πλεονέκτημα που προκύπτει από την εγκατάσταση ενός τέτοιου δικτύου, είναι ότι δεν είναι απαραίτητη η εκ των προτέρων γνώση της τοπολογίας του. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει την ταχεία ανάπτυξη δικτύων αυτού του τύπου σε δύσβατες περιοχές.

Ένα τυπικό δίκτυο αισθητήρων αποτελείται πολλές φορές από χιλιάδες κόμβους, κατανομημένους στο χώρο που θα παρακολουθούν είτε τυχαία, είτε σύμφωνα με κάποια προκαθορισμένη στατιστική κατανομή. Τα κύρια συστατικά από τα οποία αποτελούνται οι κόμβοι είναι ο αισθητήρας (sensing unit), η μονάδα επεξεργασίας (processing unit), ο πομποδέκτης (transceiver) και η μονάδα παροχής ενέργειας (power unit).

Αναλυτικότερα, η κύρια λειτουργία του αισθητήρα είναι να αισθάνεται ή να μετρά φυσικά μεγέθη ή την αναλογική τάση στην έξοδό του, να ψηφιοποιείται από τον αναλογικοψηφιακό μετατροπέα (analog-to-digital converter, ADC) και να μεταφέρεται στη μονάδα επεξεργασίας για επεξεργασία. Η μονάδα επεξεργασίας είναι η καρδιά κι ο εγκέφαλος του κόμβου. Επεξεργάζεται τα δεδομένα που δέχεται από τον αισθητήρα, αποφασίζει πότε και πού θα τα στείλει, δέχεται δεδομένα από άλλους κόμβους και καθοδηγεί τους actuators. Εκτελεί δηλαδή ένα πλήθος προγραμμάτων, από επεξεργασία σήματος και επικοινωνιακά πρωτόκολλα μέχρι προγράμματα εφαρμογών. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τον αισθητήρα υφίστανται μια πρώτη επεξεργασία στον κόμβο, έτσι ώστε το δίκτυο να μπορεί να λειτουργήσει και με χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης.

Στα δίκτυα αισθητήρων η μετάδοση των δεδομένων γίνεται με τη χρήση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (RF). Έτσι σε κάθε κόμβο υπάρχει ένας πομποδέκτης (transceiver) που λειτουργεί συνήθως στην περιοχή 433MHz μέχρι 2.4GHz και μετατρέπει τα ψηφιακά δεδομένα σε ραδιοκύματα και το αντίστροφο. Εξάλλου ο πομποδέκτης πρέπει να υλοποιεί και το πρωτόκολλο ασύρματης δικτύωσης που επιλέχθηκε για το δίκτυο αισθητήρων. Εκτός από τα «κλασικά» πρωτόκολλα IEEE 802.11 (Wi-Fi) και 802.15.1 (Bluetooth), ολοένα και περισσότερο χρησιμοποιείται το 802.15.4 (ZigBee). Αυτό σχεδιάστηκε για ασύρματα δίκτυα μικρής έκτασης, με μικρές απαιτήσεις bitrate, όπως τα δίκτυα αισθητήρων. Για τον περιορισμό της απαιτούμενης ισχύος οι πομποδέκτες αδρανοποιούνται όταν δεν έχουν να στείλουν ή να λάβουν δεδομένα και «ξυπνούν» με κατάλληλο σήμα του μικρό-ελεγκτή ή όταν έρχονται σήματα από κόμβους (wakeur radio).

Η «αχίλλειος πτέρνα» των ασύρματων δικτύων αισθητήρων είναι η αδιάλειπτη παροχή ισχύος, με δεδομένο ότι, σε αρκετές περιπτώσεις οι κόμβοι μπορεί να βρίσκονται σε δυσπρόσιτα για τον άνθρωπο σημεία. Οι κόμβοι είναι σχεδιασμένοι ώστε να μπορούν να λειτουργήσουν και με κοινές αλκαλικές μπαταρίες. Όμως η συχνή αντικατάστασή τους δεν είναι πάντα εφικτή. Η λύση του προβλήματος θα μπορούσε να είναι, (και γίνεται εντατική ερευνητική προσπάθεια σ' αυτήν την κατεύθυνση), η άντληση ενέργειας (energy scavenging) από το περιβάλλον και βέβαια η χρήση ηλεκτρονικών πολύ χαμηλής κατανάλωσης.

Η ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων αισθητήρων (WSNs) ξεκίνησε αρχικά από τον στρατό για εφαρμογές όπως η επιτήρηση του πεδίου μάχης. Όμως υπάρχει μεγάλο εύρος από εφαρμογές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα ασύρματα δίκτυα. Οι κόμβοι αισθητήρων στην ιατρική μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση και την βοήθεια ασθενών. Ακόμη μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εφαρμογές έξυπνων σπιτιών για συναγερμό ή παρακολούθηση συσκευών, σε εφαρμογές στην βιομηχανία για παρακολούθηση μηχανών, για έλεγχο συμφόρησης στο οδικό δίκτυο, όπως επίσης και για παρακολούθηση σε οικιστικές περιοχές.

Η ραγδαία ανάπτυξη των ασύρματων επικοινωνιών και ηλεκτρονικών συσκευών οδήγησε στην ανάπτυξη φθηνότερων και μικρότερων αισθητήρων. Βασικά ένας κόμβος αισθητήρα έχει επεξεργαστική ισχύ, ασύρματες δυνατότητες επικοινωνίας και συσκευές αίσθησης. Όμως για την ελαχιστοποίηση του κόστους έχουν

συνήθως επικοινωνία μικρής εμβέλειας, χαμηλή ενέργεια και χαμηλή επεξεργαστική ισχύ. Από τα παραπάνω, αυτό που περιορίζει τις εφαρμογές περισσότερο είναι η μικρή ποσότητα ενέργειας, αφού είναι ο σημαντικότερος παράγοντας που καθορίζει την διάρκεια ζωής ενός κόμβου αισθητήρα.

Οι κόμβοι έχουν ως στόχο στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων (WSNs) την συλλογή πληροφοριών από το περιβάλλον. Το είδος των πληροφοριών εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής που χρησιμοποιούνται (δισαισθάνονται θερμοκρασία, ήχο, φως, πίεση, δόνηση, κίνηση ή ρύπους). Οι πληροφορίες που συλλέγονται, συνήθως, αποστέλλονται μέσα στο δίκτυο, εναλλακτικά επεξεργάζονται στον κόμβο, και έχουν ως προορισμό κόμβους σταθμούς.

### 2.4 Αρχιτεκτονική

Στα ασύρματα δίκτυα αισθητήρων, η αρχιτεκτονική του δικτύου βασίζεται σε πολύ μεγάλο βαθμό στην εφαρμογή που καλείται να εφαρμόσει το δίκτυο. Ανάλογα με την εφαρμογή που χρησιμοποιείται, το δίκτυο αισθητήρων εμφανίζεται με διαφορετική δομή για να ανταπεξέλθει καλύτερα στις απαιτήσεις διεκπεραίωσης της. Η πυκνότητα τους εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής, ενώ παράλληλα, απαραίτητη είναι η συνεργασία των κόμβων που πραγματοποιείται με πολλαπλά άλματα. [4]

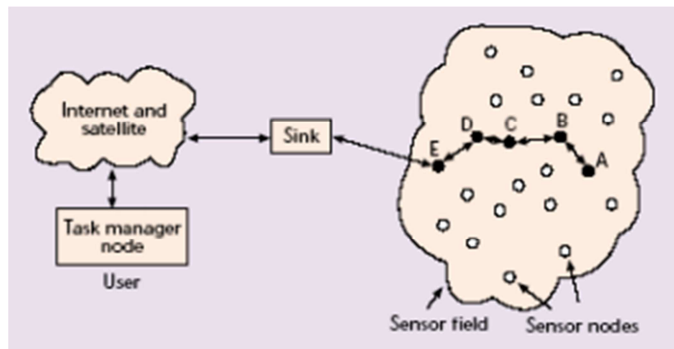
Όλες οι δομές αποτελούνται από δύο είδη κόμβων:

- Πηγή Δεδομένων. Είναι η οντότητα του δικτύου που αντιλαμβάνεται, επεξεργάζεται, επικοινωνεί ασύρματα, ενώ ταυτόχρονα αλληλεπιδρά με το φυσικό περιβάλλον συλλέγοντας μετρήσεις για τις φυσικές παραμέτρους και παράγει με αυτόν τον τρόπο δεδομένα.
- Δρομολογητής Δεδομένων. Είναι η οντότητα του δικτύου που διαβιβάζει τα στοιχεία από έναν κοντινό κόμβο σε έναν άλλο και έως τον σταθμό ελέγχου, όπου και γίνεται τελικώς η επεξεργασία και η ανάλυση των δεδομένων που συλλέχθηκαν από τους διάφορους κόμβους. Ο τελικός προορισμός αναφέρεται συνήθως και ως sink κόμβος, το σημείο δηλαδή όπου πρέπει να παραδοθούν τα δεδομένα. Συνήθως υπάρχουν περισσότερες πηγές απ' ότι κόμβοι sinks, ενώ πρέπει σε αυτό το σημείο



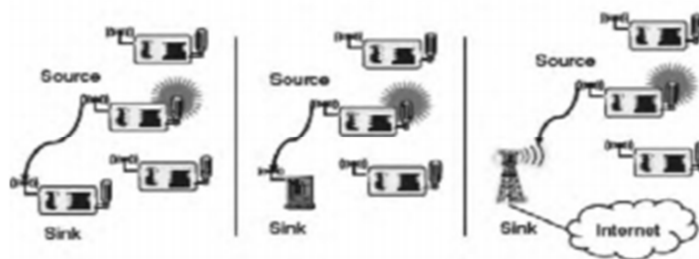
## Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

να τονιστεί ότι οι τελευταίοι δεν ενδιαφέρονται για την ταυτότητα των πηγών-αποστολέων παρά μόνο για τα δεδομένα.



Εικόνα 2.1: Αρχιτεκτονική ασύρματου δικτύου αισθητήρων

Αναφορικά για τον κόμβο sink υπάρχουν τρεις τρόποι εμφάνισης του στο δίκτυο. Μπορεί να ανήκει στο δίκτυο ως ένας ακόμη κόμβος-αισθητήρας ή να είναι μία οντότητα εκτός δικτύου. Για τη δεύτερη περίπτωση μπορεί να είναι μια πραγματική συσκευή που αλληλεπιδρά με το ασύρματο δίκτυο. Μπορεί επίσης να αποτελεί μόνο την πύλη σε ένα άλλο μεγαλύτερο δίκτυο όπως είναι το διαδίκτυο, όπου το πραγματικό αίτημα για πληροφορία έρχεται από κάποιον κόμβο που βρίσκεται μακριά και μόνο με έμμεσο τρόπο συνδέεται σε ένα τέτοιο δίκτυο αισθητήρων.



Εικόνα 2.2: Τρεις τύποι ενός κόμβου συλλέκτη

Συνοψίζοντας, υπάρχουν οι παρακάτω αρχιτεκτονικές δικτύων.

**Δυναμική.** Σταθεροί ή κινητοί κόμβοι με αναγκαία υποστήριξη της κινητικότητας του συλλέκτη δεδομένων και των πυλών του δικτύου.

**Ανάπτυξη κόμβων.** Η τοπολογία αυτή εξαρτάται από την εφαρμογή και επηρεάζει την απόδοση του πρωτοκόλλου δρομολόγησης. Αν οι κόμβοι αναπτύσσονται τυχαία, θα πρέπει να υπάρχει μια υποδομή που να τους επιτρέπει να οργανώνονται με έναν αδόμητο τρόπο και να αυτοοργανώνονται για να

σχηματίσουν τα μονοπάτια που θα δρομολογούν τα δεδομένα. Αν οι κόμβοι έχουν τοποθετηθεί χειροκίνητα σε προκαθορισμένες τοποθεσίες θα μπορούσαν να κατασκευαστούν προσχεδιασμένα μονοπάτια για τον ίδιο σκοπό. Επιπλέον η θέση του συλλέκτη δεδομένων και της πύλης είναι εξίσου σημαντικές για την βελτιστοποίηση των μονοπατιών δρομολόγησης.

**Περιορισμός στην ενέργεια.** Η διαδικασία της δημιουργίας διαδρομών σε ένα δίκτυο επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από τις εκτιμήσεις που αφορούν την ενέργεια. Από τη στιγμή που οι ράδιο-μεταδόσεις σε συνδυασμό με την απόσταση, υποβαθμίζουν την ισχύ μετάδοσης πολύ γρηγορότερα από ότι στον ελεύθερο χώρο, οι σχεδιασμοί που έχουν να κάνουν τόσο με την απόσταση επικοινωνίας όσο και με την κατανάλωση ενέργειας, θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα μελετημένοι. Η διαχείριση θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτική καθώς οι κόμβοι παρουσιάζουν βέλτιστες αποδόσεις όταν βρίσκονται κοντά στο συλλέκτη δεδομένων. Παρόλα αυτά τις περισσότερες φορές είναι απαραίτητη η χρήση πολλαπλών δρομολογήσεων με έμφαση στην μεταπήδηση και όχι η χρήση της κατευθυντήριας δρομολόγησης, γεγονός που αποσκοπεί στην χαμηλότερη κατανάλωση ενέργειας λόγω του ότι οι αισθητήρες βρίσκονται συνήθως τυχαία διασκορπισμένοι στην περιοχή.

**Μοντέλα διαβίβασης και μετάδοσης δεδομένων.** Βασισμένη στις εφαρμογές των δικτύων αισθητήρων, η παράδοση των δεδομένων στο συλλέκτη μπορεί να είναι συνεχής με γνώμονα ένα ερώτημα ή ένα γεγονός, ή υβριδική. Στο συνεχές μοντέλο κάθε κόμβος αισθητήρα στέλνει δεδομένα περιοδικά, ενώ, στα μοντέλα με ερώτημα, ο κόμβος αισθητήρα θα ξεκινήσει τη μετάδοση των δεδομένων μόνο όταν συμβεί γεγονός ή παραχθεί κάποιο ερώτημα από τον συλλέκτη δεδομένων.

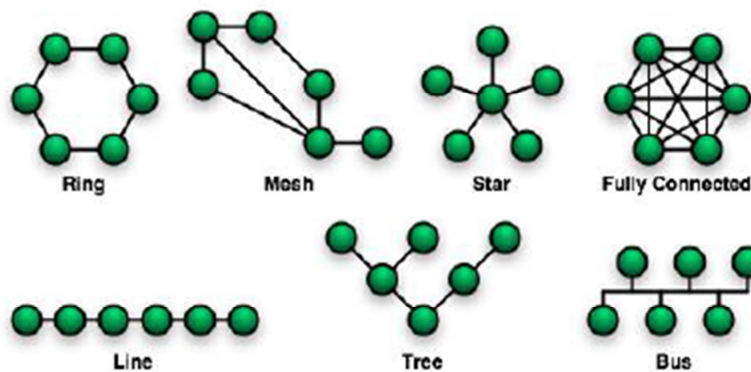
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΔΙΚΤΥΩΝ

#### 3.1 Τοπολογίες Δικτύων

Τοπολογία δικτύου ονομάζεται ο τρόπος που συνδέονται μεταξύ τους οι κόμβοι ενός δικτύου. Οι τοπολογίες είναι είτε φυσικές, είτε λογικές και τα κυριότερα είδη που υπάρχουν είναι τα εξής:

- Γραμμική
- Τύπου διαύλου
- Δακτυλίου
- Άστερα
- Πλέγματος
- Πλήρους πλέγματος
- Τύπου δέντρου [6],[7]



Εικόνα 3.1: Μερικές γνωστές τοπολογίες δικτύων

#### 3.2 Τοπολογία Πλήρους ή Μερικού Πλέγματος

Σε ένα δίκτυο πλήρους πλέγματος για κάθε ζεύγος κόμβων που υπάρχουν στο δίκτυο, υπάρχει και ένα κανάλι που τους συνδέει. Κάθε κόμβος, δηλαδή, έχει άμεση σύνδεση με κάθε άλλο κόμβο. Πιο συγκεκριμένα, εάν υπάρχουν  $x$  κόμβοι στο δίκτυό μας, ο κάθε κόμβος θα έχει  $x-1$  συνδέσεις, ενώ ο αριθμός των

## Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

συνολικών καναλιών θα είναι  $x*(x-1)/2$ . Παρακάτω παραθέτονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα του δικτύου πλήρους διασύνδεσης.

Πλεονεκτήματα:

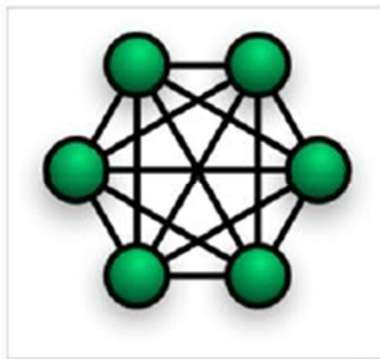
- Τα προβλήματα κυκλοφορίας δεδομένων είναι από ελάχιστα έως μηδαμινά
- Παρέχεται μέγιστη ασφάλεια
- Σε περίπτωση που μία γραμμή αχρηστευτεί, δεν αχρηστεύεται το σύστημα
- Γίνεται εύκολη ανίχνευση και απομόνωση των σφαλμάτων
- Προκειμένου να αποφευχθούν οι αχρηστευμένες γραμμές, υπάρχει δυνατότητα επαναδρομολόγησης

Μειονεκτήματα:

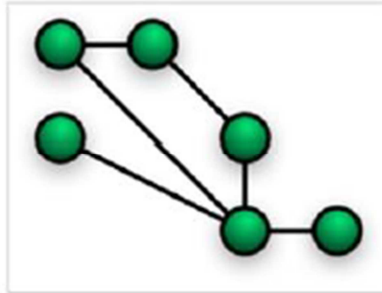
- Το κόστος υλοποίησης είναι υψηλό έως και απαγορευτικό
- Υπάρχουν δυσκολίες κατά την εγκατάσταση του συστήματος λόγω των πολλών καλωδιώσεων και της στενότητας χώρων

Ο συνδυασμός των τοπολογιών πλήρους πλέγματος και αστέρα, δημιουργεί την τοπολογία μερικού πλέγματος η οποία μειώνει τον αριθμό των καναλιών. Πλέον, οι παραπάνω τύποι υπολογισμού καναλιών δε θα μπορούν να ισχύουν καθώς ο κάθε κόμβος δεν είναι υποχρεωτικό να συνδέεται άμεσα με όλους τους υπόλοιπους.

Μία τοπολογία πλέγματος μπορεί να είναι πλήρης ή μερική. Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιείται μία μορφή μερικού πλέγματος τοπολογίας η οποία αναλύεται στο επόμενο υποκεφάλαιο.



Εικόνα 3.2: Τοπολογία πλέγματος πλήρους διασύνδεσης



Εικόνα 3.3: Τοπολογία πλέγματος μερικής διασύνδεσης

### 3.3 Δικτύωση Πλέγματος για τον Πομποδέκτη NRF24L01

Η βιβλιοθήκη RF24Network παρέχει ένα σύστημα κατανομής διευθύνσεων και δρομολόγησης για τους ραδιοπομπούς RF24 και επιτρέπει να κατασκευαστούν μεγάλα δίκτυα ασύρματων αισθητήρων. Το δίκτυο πλέγματος RF24 παρέχει αναβαθμισμένες λειτουργίες, συμπεριλαμβανομένων και της αυτόματης κατανομής διευθύνσεων και της δυναμικής διαμόρφωσης των ασύρματων αισθητήρων.

Ο κόμβος master παρακολουθεί τις IDs των υπολοίπων κόμβων και τις διευθύνσεις που έχουν κατανεμηθεί από το RF24 δίκτυο. Όταν ένας κόμβος κινηθεί ή όταν απλά χάσει τη σύνδεσή του με το δίκτυο, μπορεί να ρυθμιστεί ώστε να επανέλθει αυτόματα στο πλέγμα και να αναδιαμορφωθεί εντός του δικτύου.

Σε κάθε κόμβο έχει εκχωρηθεί ένας μοναδικός αριθμός από το 1 έως το 255, και οτιδήποτε άλλο διαχειρίζεται η βιβλιοθήκη (όπως η διεύθυνση, η δρομολόγηση, κλπ.)

Στη διαμόρφωση πλέγματος, οι απλοί κόμβοι μπορούν να κινούνται μακριά από τον master, χρησιμοποιώντας τους άλλους κόμβους για τη δρομολόγηση σε μακρινές αποστάσεις. Η κατανομή διευθύνσεων και η τοπολογία μπορούν να αναδιαμορφωθούν ενώ οι συνδέσεις έχουν κοπεί και επανεγκατασταθεί μέσα σε διαφορετικές περιοχές του δικτύου. Επιπλέον, οι κατανεμηθείσες διευθύνσεις δεν αποθηκεύονται. Εάν ο κύριος κόμβος για κάποιο λόγο βγει εκτός δικτύου, όλοι οι κόμβοι πρέπει να επανασυνδεθούν στο πλέγμα ή να επαννεκινήσουν προκειμένου να αποφευχθεί η «σύγκρουσή» τους

## Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

Σήμερα, χρησιμοποιείται πολύ η βασική λειτουργία πλέγματος σε συνδυασμό με το Arduino σαν τον master κόμβο, ο οποίος λαμβάνει και στέλνει δεδομένα από και προς τους κόμβους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Η ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ARDUINO

Το Arduino είναι μια υπολογιστική πλατφόρμα βασισμένη σε μια μητρική πλακέτα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους, η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Wiring (που ουσιαστικά πρόκειται για τη C++ με κάποιες μετατροπές). Το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ανεξάρτητων διαδραστικών αντικειμένων αλλά και να συνδεθεί με υπολογιστή. Στην ενότητα αυτή παρουσιάζεται η πλατφόρμα Arduino που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση της εργασίας αυτής καθώς και τα χαρακτηριστικά της. [8],[9]

#### 4.1 Γενικές Πληροφορίες Περί Arduino

Το Arduino είναι μία ανοιχτού λογισμικού πλατφόρμα πρωτότυπων ηλεκτρονικών συσκευών που βασίζονται στην ευελιξία και στην ευκολία χρήσης υλικού και λογισμικού. Το Arduino μπορεί να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον, κάνοντας λήψη σημάτων μέσα από μία ποικιλία αισθητήρων. Τα έργα που βασίζονται σε αυτόν τον μικροελεγκτή μπορούν να είναι αυτόνομα ή μπορούν να επικοινωνούν με το λογισμικό που τρέχει σε έναν υπολογιστή (π.χ. Flash, Processing).



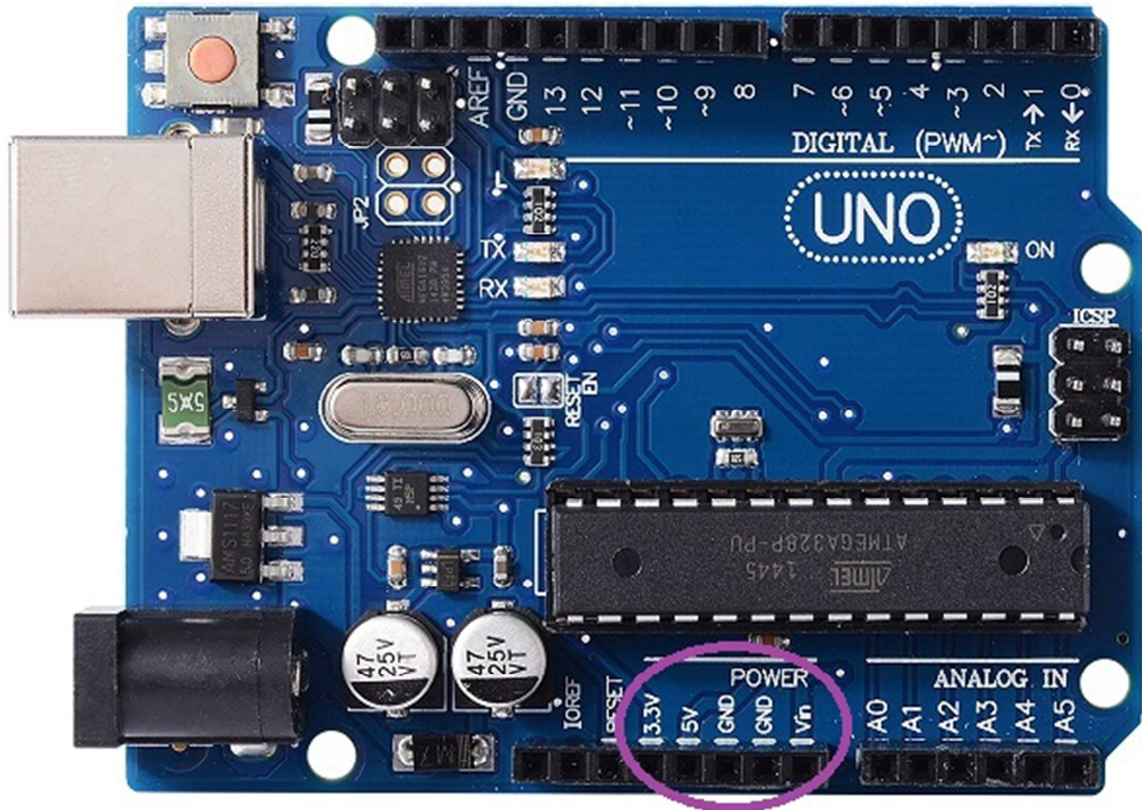
Εικόνα 4.1: Arduino logo

#### 4.1.1 Τροφοδοσία Arduino Uno

Ένα Arduino πρέπει να τροφοδοτηθεί με ρεύμα, είτε από τον υπολογιστή μέσω της σύνδεσης USB, είτε από εξωτερική τροφοδοσία που παρέχεται μέσω μιας υποδοχής φισ των 2.1mm που βρίσκεται στην κάτω αριστερή γωνία. Για την αποφυγή προβλημάτων, η εξωτερική τροφοδοσία θα πρέπει να είναι μεταξύ 7 ως 12V. Οι ακροδέκτες τροφοδοσίας είναι οι ακόλουθοι:

- 3.3V. Η τάση αυτή παράγεται από το ολοκληρωμένο FTDI. Το όριο άντλησης ρεύματος είναι 50mA.
- 5V. Η τάση που χρησιμοποιείται από τα διάφορα μέρη της πλακέτας και τον μικροελεγκτή είναι 5V. Η τάση αυτή, η οποία δίνεται από αυτόν τον ακροδέκτη, είναι είτε η τάση 5V που δίνει η σύνδεση με USB, είτε η ρυθμισμένη τάση που δίνεται μέσω του Vin(βλ.παρακάτω).
- GND. Είσοδοι γείωσης.
- Vin. Η τάση εισόδου της πλακέτας όταν χρησιμοποιεί εξωτερική πηγή ενέργειας. Η τροφοδοσία τάσης γίνεται μέσω αυτού του ακροδέκτη.





Εικόνα 4.2: Ακροδέκτες τροφοδοσίας Arduino Uno

#### 4.1.2 Μνήμη Arduino Uno

Ο μικροεπεξεργαστής ATmega328, έχει τρεις ομάδες μνήμης. Διαθέτει flash memory, στην οποία αποθηκεύονται τα Arduino sketch, SRAM (Static Random Access Memory), στην οποία δημιουργείται το sketch και χρησιμοποιεί τις μεταβλητές όταν τρέχει και EEPROM, η οποία χρησιμοποιείται από τους προγραμματιστές για την αποθήκευση μακροχρόνιων πληροφοριών. Πιο συγκεκριμένα, η μνήμη του ATmega328 αποτελείται από:

- 2KB μνήμης SRAM. Η ωφέλιμη μνήμη που μπορεί να χρησιμοποιήσει ο κώδικας για να αποθηκεύσει μεταβλητές, πίνακες κ.τ.λ. Η μνήμη χάνει τα δεδομένα της όταν η παροχή του ρεύματος στο Arduino σταματήσει ή πατηθεί το κουμπί επανεκκίνησης (reset).
- 1KB μνήμης EEPROM. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εγγραφή ή ανάγνωση δεδομένων από τον κώδικα. Σε αντίθεση με την SRAM δε χάνει τα περιεχόμενά της σε απώλεια τροφοδοσίας ή επανεκκίνησης.

## Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

- 32KB μνήμης Flash. Από τα 32KB τα 2KB χρησιμοποιούνται από το firmware του Arduino που έχει εγκαταστήσει ήδη ο κατασκευαστής του. Το firmware είναι αναγκαίο για την εγκατάσταση κώδικα στον μικροελεγκτή μέσω της θύρας USB, καθώς ο επεξεργαστής χωρίς αυτό μπορεί να προγραμματιστεί μόνο μέσω πρωτοκόλλου SPI. Τα υπόλοιπα 30KB της μνήμης Flash χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση αυτού ακριβώς του κώδικα, αφού πρώτα έχει μεταγλωττιστεί στον υπολογιστή. Η μνήμη Flash δε χάνει τα περιεχόμενά της σε απώλεια τροφοδοσίας ή επανεκκίνησης.

### 4.1.3 Ακροδέκτες Arduino Uno

Κάθε μικροελεγκτής Arduino διαθέτει εισόδους και εξόδους για την αλληλεπίδραση με το περιβάλλον και τα εξαρτήματά του. Κάθε ακροδέκτης (pin) είναι τόσο εισόδου όσο και εξόδου. Το Arduino Uno διαθέτει 20 ακροδέκτες από τους οποίους 14 είναι ψηφιακοί και 6 είναι αναλογικοί.



Εικόνα 4.3: Ψηφιακοί ακροδέκτες Arduino Uno





Εικόνα 4.4: Αναλογικοί ακροδέκτες Arduino Uno

- Ακροδέκτες 0 και 1. Λειτουργούν ως RX και TX της σειριακής θύρας όταν το πρόγραμμα ενεργοποιεί τη σειριακή θύρα. Έτσι όταν το πρόγραμμα στέλνει δεδομένα στη σειριακή θύρα, αυτά προωθούνται και στη θύρα USB μέσω του ελεγκτή Serial-Over-USB αλλά και στον ακροδέκτη 0 για να τα διαβάσει ενδεχομένως μία άλλη συσκευή. Αυτό σημαίνει ότι αν στο πρόγραμμα ενεργοποιήσει το σειριακό interface τότε χάνει δύο ψηφιακές εισόδους/εξόδους η πλατφόρμα.
- Ακροδέκτες 2 και 3. Λειτουργούν και ως εξωτερικά interrupts (interrupt 0 και 1 αντίστοιχα). Ρυθμίζονται μέσα από το πρόγραμμα ώστε να λειτουργούν αποκλειστικά ως ψηφιακές εισόδοι στις οποίες όταν συμβαίνουν συγκεκριμένες αλλαγές, τότε, η κανονική ροή του προγράμματος σταματάει άμεσα και εκτελείται μία συγκεκριμένη συνάρτηση. Τα εξωτερικά interrupts είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε εφαρμογές που απαιτούν συγχρονισμό μεγάλης ακρίβειας.

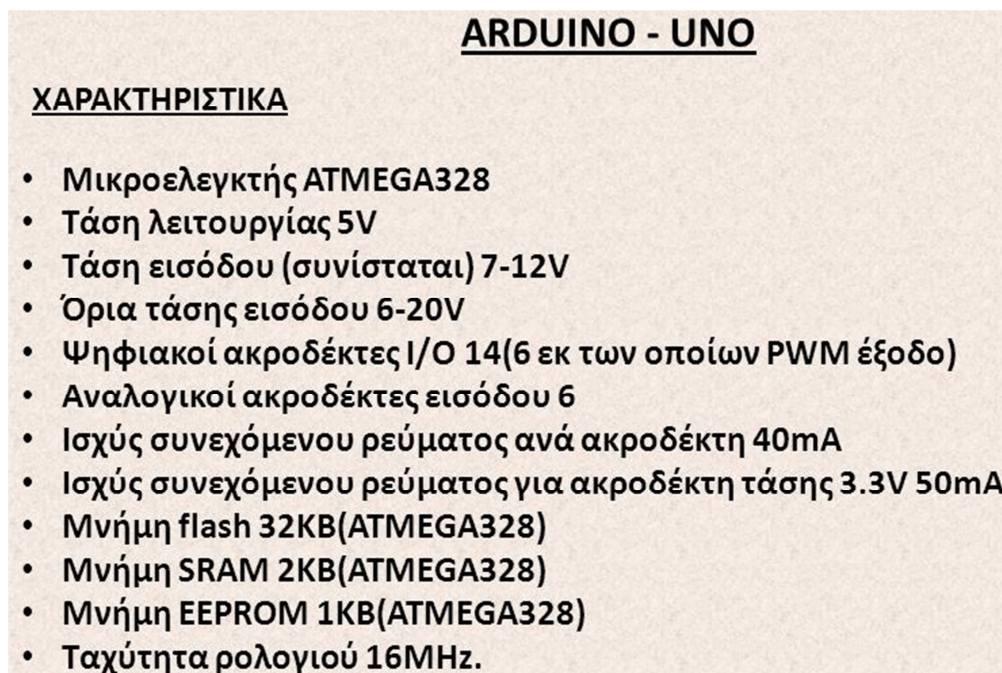
- Ακροδέκτες 3, 5, 6, 9, 10 και 11. Μπορούν να λειτουργήσουν και ως ψευδοαναλογικές έξοδοι με το σύστημα PWM (Pulse Width Modulation).

Στην άλλη πλευρά του Arduino, με τη σήμανση ANALOG IN υπάρχει μια ακόμη σειρά από 6 pin, αριθμημένα από το 0 ως το 5. Η τάση αναφοράς μπορεί να ρυθμιστεί με μια εντολή στο 1.1V (μεταξύ 2 και 5V) τροφοδοτώντας εξωτερικά με αυτή την τάση το pin με τη σήμανση AREF που βρίσκεται στην απέναντι πλευρά της πλακέτας. Έτσι, αν τροφοδοτηθεί ο ακροδέκτης AREF με 3.3V και στη συνέχεια διαβάσει κάποιον ακροδέκτη αναλογικής εισόδου στο οποίο εφαρμόζεται τάση 1.65V, το Arduino θα επιστρέψει την τιμή 512.

#### 4.1.4 Τεχνικά Χαρακτηριστικά Arduino Uno

Μία πλακέτα Arduino Uno αποτελείται από ένα μικροελεγκτή Atmel AVR (ATmega328 ή ATmega168 στις νεότερες εκδόσεις και ATmega8 στις παλαιότερες) και συμπληρωματικά εξαρτήματα για την διευκόλυνση του χρήστη στον προγραμματισμό και την ενσωμάτωσή του σε άλλα κυκλώματα. Όλες οι πλακέτες περιλαμβάνουν ένα γραμμικό ρυθμιστή τάσης 5V καθώς και έναν κρυσταλλικό ταλαντωτή 16MHz. Ο μικροελεγκτής είναι από κατασκευής προγραμματισμένος με ένα bootloader, έτσι ώστε να μην χρειάζεται εξωτερικός προγραμματιστής.

Στην παρακάτω εικόνα παρατηρούμε αναλυτικά τα χαρακτηριστικά του.

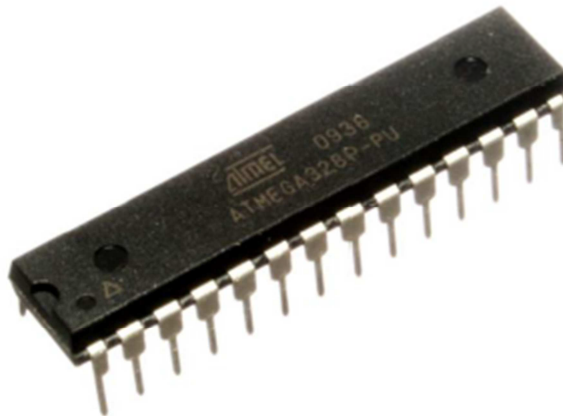


Εικόνα 4.5: Χαρακτηριστικά του Arduino Uno

## 4.2 Ο Μικροεπεξεργαστής ATmega328

Ο ATmega328 είναι ένας μικροελεγκτής CMOS χαμηλής ισχύος, 8-bit, ο οποίος βασίζεται στην AVR αρχιτεκτονική, μία πιο ενισχυμένη αρχιτεκτονική RISC. Εκτελώντας πανίσχυρες εντολές σε μόνο ένα κύκλο ρολογιού, ο ATmega328 επιτυγχάνει τη διακίνησή τους, φτάνοντας το 1 MIPS ανά MHz, γεγονός που επιτρέπει στο σχεδιαστή του συστήματος να βελτιστοποιήσει την κατανάλωση ενέργειας σε σχέση με την ταχύτητα επεξεργασίας.

Ο πυρήνας AVR συνδυάζει ένα πλούσιο σε εντολών με 32 καταχωρητές γενικής χρήσης. Όλοι οι καταχωρητές είναι άμεσα συνδεδεμένοι στην Αριθμητική Λογική Μονάδα (Arithmetic Logic Unit – ALU), επιτρέποντας σε δύο ανεξάρτητους καταχωρητές να είναι προσβάσιμοι σε μία εντολή που εκτελείται σε έναν κύκλο ρολογιού. Η αρχιτεκτονική που προκύπτει είναι πιο αποδοτική στον κώδικα καθώς επιτυγχάνει τη μεταφορά εντολών έως και δέκα φορές γρηγορότερα από τους CISC μικροελεγκτές.



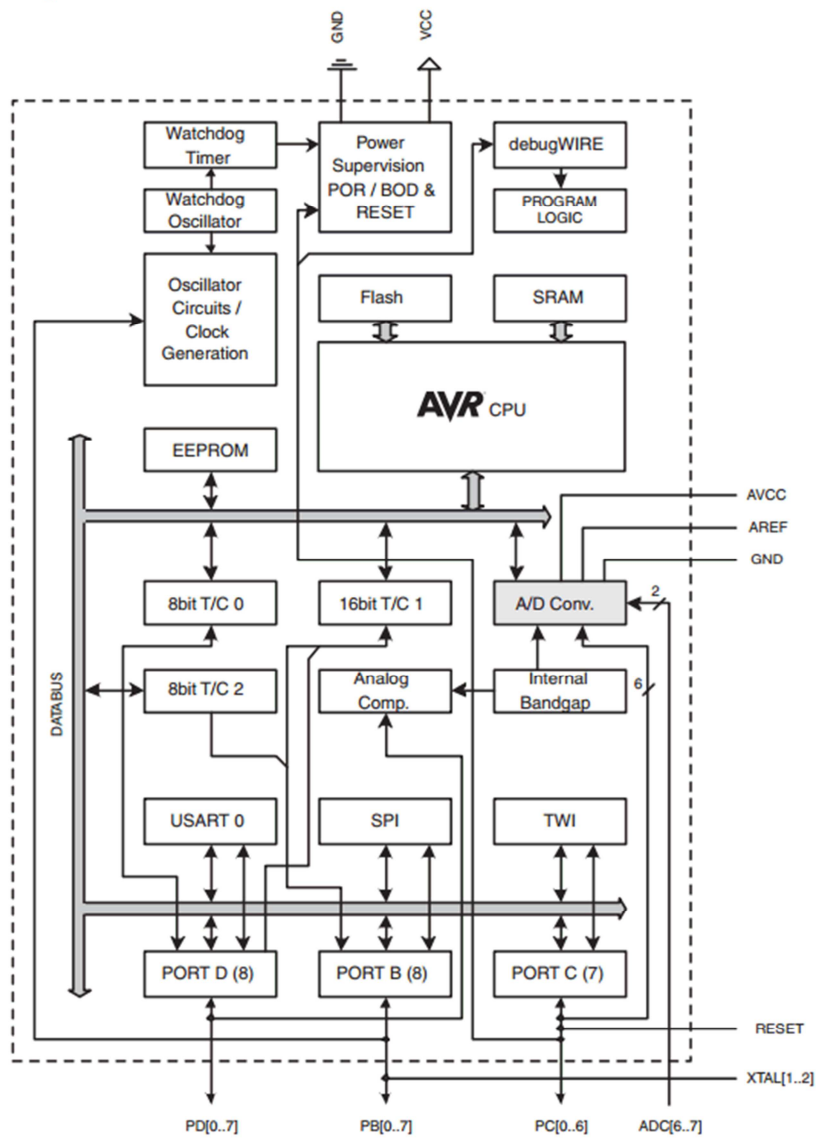
Εικόνα 4.6: Ο μικροεπεξεργαστής ATmega328

## Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων



Εικόνα 4.7: Ο μικροεπεξεργαστής ATmega328 σε SMD τύπο

### Block Diagram

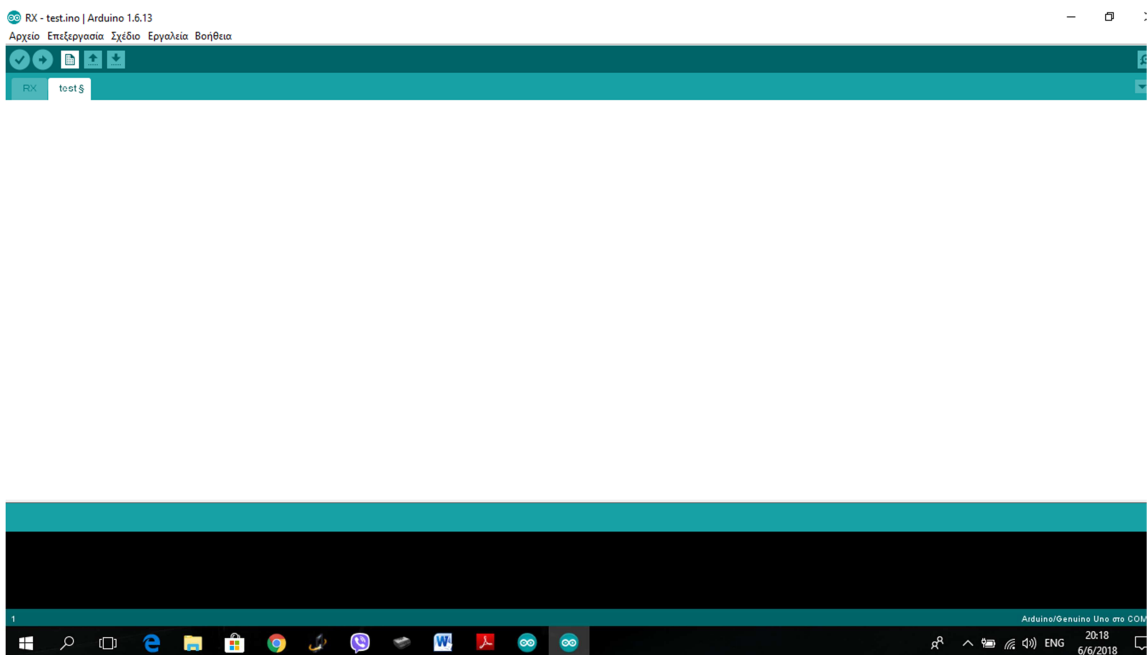


Εικόνα 4.8: ATmega 328 Block diagram

### 4.3 Περιβάλλον Ανάπτυξης Λογισμικού

Βασικό στοιχείο της πλατφόρμας του Arduino είναι το Arduino IDE, το οποίο περιέχει το απαραίτητο λογισμικό ώστε να μπορεί ένας υπολογιστής να επικοινωνήσει ή και να ανεβάσει ένα sketch στο σύστημα. Το Arduino IDE είναι μία εφαρμογή με γραφικό περιβάλλον που προσφέρει δυνατότητες επεξεργασίας κώδικα (code editor), μετάφρασης κώδικα (compiler), μεταφορά κώδικα στο Arduino (code uploader) όπως και δυνατότητες διαχείρισης βιβλιοθηκών και αρχείων κώδικα. Είναι γραμμένο σε JAVA, με αποτέλεσμα να μπορεί να «τρέξει» σε Windows, Linux, MAC, ακόμα και σε Android συσκευές.

Υπάρχουν δύο τρόποι εγγραφής κώδικα στο Arduino IDE. Τη γλώσσα του Arduino, μία γλώσσα βασισμένη σε Processing, που υποστηρίζει όλες τις βιβλιοθήκες που έχουν διαμορφωθεί από την κοινότητα του Arduino δίνοντας τη δυνατότητα ακόμα και σε έναν άπειρο χρήστη να ελέγξει περίπλοκες συσκευές και λειτουργίες. Σε C χαμηλού επιπέδου, δίνοντας τη δυνατότητα γρηγορότερης εκτέλεσης του προγράμματος (εκτέλεση σε λιγότερους κύκλους μηχανής), αλλά και απευθείας χειρισμού των καταχωρητών του επεξεργαστή, ακόμα και σε λειτουργίες που δεν υποστηρίζει το Arduino IDE (όπως η input capture).



Εικόνα 4.9: Περιβάλλον ArduinoIDE

### 4.3.1 Διαδικασία Uploading

Η διαδικασία του ανεβάσματος ενός sketch στο board, χρησιμοποιώντας το Arduino IDE, περιέχει τα ακόλουθα βήματα:

Ο κώδικας μετατρέπεται σε C χαμηλού επιπέδου και μετά μεταγλωττίζεται μέσω του avr-gcc (ενός ελεύθερου και ανοιχτού λογισμικού compiler, βασισμένου στον GnuCCompiler – gcc , ειδικά σχεδιασμένο για AVR μικροελεγκτές). Ο παραγόμενος δυαδικός κώδικας αποθηκεύεται στην μνήμη του επεξεργαστή από όπου και να εκτελείται μέσω της USB σύνδεσης. Η σύνδεση αυτή γίνεται μέσω του avrdude, ένα πρόγραμμα που υλοποιεί το πρωτόκολλο επικοινωνίας για την μεταφορά και αποθήκευση του κώδικα στην μνήμη του Arduino.

Ο ATmega328P παρέχεται preburned με ένα bootloader που μας επιτρέπει να φορτώσουμε το νέο κώδικα χωρίς την χρήση εξωτερικού προγραμματιστή υλικού (programmer). Επικοινωνεί χρησιμοποιώντας το πρωτόκολλο STK 500. Μπορεί επίσης να παρακάμψει τον bootloader και το πρόγραμμα του μικροελεγκτή μέσω της ICSP (In-Circuit Serial Programming).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

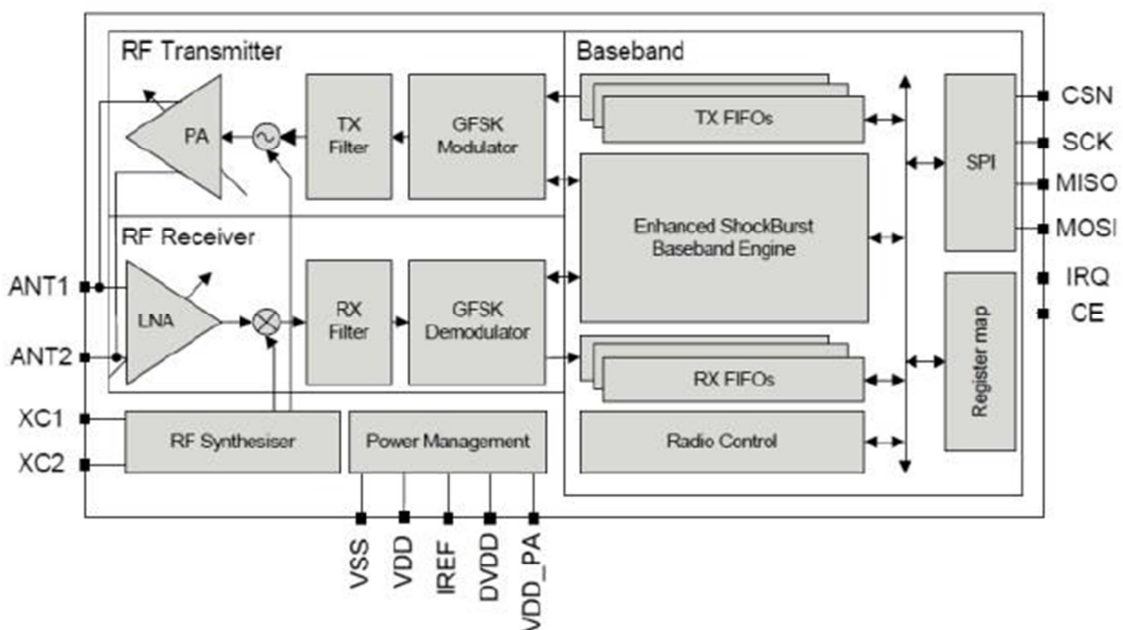
### Ο ΑΣΥΡΜΑΤΟΣ ΠΟΜΠΟΔΕΚΤΗΣ NRF24L01

Το ολοκληρωμένο nRF24L01 είναι ένας πομποδέκτης που λειτουργεί στο εύρος συχνοτήτων 2.400 – 2.4835GHz και διαθέτει ενσωματωμένο πρωτόκολλο βασικής ζώνης, σχεδιασμένο για ασύρματες επικοινωνίες χαμηλής ισχύος.[10,11,12,13,14]

#### 5.1 Γενικές Πληροφορίες Περί NRF24L01

Ο nRF24L01 μπορεί να προγραμματιστεί από ένα μικροεπεξεργαστή μέσω περιφερειακού σειριακής επικοινωνίας (SPI). Το πρωτόκολλο βασικής ζώνης Enhanced Shock Burst βασίζεται σε επικοινωνία με πακέτα και υποστηρίζει προηγμένους τρόπους λειτουργίας. Εσωτερικές ουρές FIFO επιτρέπουν την ομαλή μεταφορά δεδομένων μεταξύ του πομποδέκτη και του μικροϋπολογιστικού συστήματος.

Η διαμόρφωση που χρησιμοποιεί ο nRF24L01 είναι GFSK, ενώ δίνεται η δυνατότητα στο χρήστη να αλλάξει παραμέτρους όπως κανάλι συχνότητας, ισχύ εξόδου ή ρυθμό μετάδοσης. Ο ρυθμός μετάδοσης είναι παραμετροποιήσιμος μέχρι 2Mbps και συνδυάζεται με δύο τρόπους λειτουργίας χαμηλής κατανάλωσης.



Εικόνα 5.1: Βασικά στοιχεία nRF24L01

## 5.2 Τρόποι Λειτουργίας

Ο nRF24L01 διαθέτει τέσσερις τρόπους λειτουργίας, standby, powerdown, receiver και transmitter.

### 5.2.1 Κατάσταση Αναμονής (Standby)

Θέτοντας το PWR\_UP bit του CONFIG καταχωρητή σε υψηλή στάθμη η συσκευή μεταβαίνει σε κατάσταση standby-I, όπου διατηρείται η χαμηλή κατανάλωση και ο χρόνος εκκίνησης είναι μικρός. Σε αυτή την κατάσταση επιστρέφει από τη λειτουργία TX ή RX όταν το σήμα CE είναι σε χαμηλή στάθμη. Στην κατάσταση standby-II η κατανάλωση είναι αυξημένη, ενώ βρίσκεται σε αυτή όταν η συσκευή λειτουργεί ως πομπός και το σήμα CE είναι σε υψηλή στάθμη. Έτσι, αν η ουρά εκπομπής είναι άδεια και μεταφερθεί ένα πακέτο, θα ξεκινήσει αμέσως η εκπομπή του.

### 5.2.2 Κατάσταση Απενεργοποίησης (PowerOff)

Σε αυτή την κατάσταση ο πομποδέκτης είναι απενεργοποιημένος με ελάχιστη κατανάλωση ενώ οι τιμές των καταχωρητών διατηρούνται. Ο χρόνος ενεργοποίησης είναι 150μs χρησιμοποιώντας εξωτερικό ταλαντωτή. Η μετάβαση σε αυτή την κατάσταση γίνεται θέτοντας το PWR\_UP bit του CONFIG καταχωρητή σε χαμηλή στάθμη.

### 5.2.3 Κατάσταση Λήψης (Receiver (RX))

Στον τρόπο λειτουργίας RX, ο nRF24L01 λειτουργεί ως δέκτης όταν το PWR\_UP και το PRIM\_RX bit του CONFIG καταχωρητή καθώς και το CE είναι σε υψηλή στάθμη. Σε αυτή την κατάσταση αποδιαμορφώνει τα σήματα από το κανάλι, ενώ το πρωτόκολλο βασικής ζώνης συνεχώς αναζητά έγκυρο πακέτο (αντίστοιχη διεύθυνση και έγκυρο CRC). Αν βρεθεί έγκυρο, τα δεδομένα τοποθετούνται σε μια κενή θέση στην ουρά 47 λήψης. Αν δεν βρεθεί, το πακέτο απορρίπτεται. Επιπλέον, είναι δυνατή η ανίχνευση φέροντος, όπου αν υπάρχει σήμα για τουλάχιστον 128μs, τότε το CD bit τίθεται σε υψηλή στάθμη.

### 5.2.4 Κατάσταση Μετάδοσης (Transmitter (TX))

Στο τρόπο λειτουργίας TX, ο nRF24L01 λειτουργεί ως πομπός όταν το PWR\_UP είναι σε υψηλή στάθμη και το PRIM\_RX bit σε χαμηλή, ενώ υπάρχουν δεδομένα στην ουρά εκπομπής και εφαρμοστεί παλμός στο CE διάρκειας 10μs. Μετά το τέλος της εκπομπής επιστρέφει σε standby-I, αν CE=0. Στην περίπτωση που CE=1, αν υπάρχουν δεδομένα για αποστολή, θα παραμείνει σε κατάσταση TX, αλλιώς θα επιστρέψει σε κατάσταση standby-II.

Mode	PWR_UP register	PRIM_RX register	CE	FIFO state
RX mode	1	1	1	-
TX mode	1	0	1	Data in TX FIFO. Will empty all levels in TX FIFO <sup>a</sup> .
TX mode	1	0	minimum 10μs high pulse	Data in TX FIFO. Will empty one level in TX FIFO <sup>b</sup> .
Standby-II	1	0	1	TX FIFO empty
Standby-I	1	-	0	No ongoing packet transmission
Power Down	0	-	-	-

Πίνακας 5.1: Πίνακας καταστάσεων του nRF24L01

### 5.3 Διεπαφές Δεδομένων και Ελέγχου

Η συμπεριφορά του nRF24L01 προγραμματίζεται μέσω της διεπαφής SPI παρέχοντας έτσι πρόσβαση σε όλους τους 29 καταχωρητές που ρυθμίζουν και ελέγχουν τη λειτουργία του. Ο μέγιστος ρυθμός δεδομένων που υποστηρίζει η διεπαφή SPI του πομποδέκτη είναι 8Mbps με τη μεταφορά δεδομένων και σημάτων ελέγχου μεταξύ του πομποδέκτη και της MCU να γίνεται μέσω έξι σημάτων εκ των οποίων τέσσερα αφορούν την διεπαφή SPI (CSN, SCK, MOSI, MISO), το σήμα CE για επιλογή μεταξύ RX και TX λειτουργίας και το σήμα διακοπής IRQ που ελέγχεται από τρεις πηγές διακοπών. Η ρύθμιση και η εξαγωγή των τιμών των παραμέτρων που καθορίζουν τη λειτουργία του πομποδέκτη γίνεται μέσω εντολών. Το σύνολο εντολών αποτελείται από λέξεις μήκους οκτώ bit και κάθε νέα εντολή ξεκινά με μία μετάβαση από υψηλή σε χαμηλή στάθμη στην ακίδα CSN. Παράλληλα με τη μεταφορά της εντολής μέσω του σήματος στην ακίδα MOSI, ο πομποδέκτης απαντά με τα περιεχόμενα του STATUS καταχωρητή

## Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

στην ακίδα MISO. Η μετάδοση των εντολών γίνεται από το περισσότερο σημαντικό bit προς το λιγότερο σημαντικό, ενώ τα δεδομένα μεταδίδονται από το λιγότερο σημαντικό byte προς το πιο σημαντικό και κάθε byte με πρώτο το σημαντικότερο bit. Το σήμα διακοπής μεταβαίνει από υψηλή σε χαμηλή στάθμη (active low) όταν μία από τρεις διακοπές TX\_DS (αποστολή δεδομένων), RX\_DR (λήψη δεδομένων) ή MAX\_RT (μέγιστος αριθμός επανεκπομπών) ενεργοποιηθεί από τη μηχανή κατάστασης στον STATUS καταχωρητή. Αντίθετα, απενεργοποιείται γράφοντας «1» στο αντίστοιχο bit του 48 καταχωρητή STATUS. Η ενεργοποίηση των διακοπών ελέγχεται από μία μάσκα στον καταχωρητή CONFIG, ενώ θέτοντας «1» η αντίστοιχη διακοπή απενεργοποιείται.

### 5.4 Σύνολο Εντολών SPI

Το σύνολο εντολών του nRF24L01 αποτελείται από δώδεκα εντολές, οι οποίες χρησιμοποιούνται τόσο για την ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας όσο και για τη μεταφορά δεδομένων από και προς τον πομποδέκτη. Παρακάτω ακολουθεί μια συνοπτική παρουσίαση των εντολών:

Όνομα Εντολής	Κωδική λέξη	Πλήθος δεδομένων	Λειτουργία
R_REGISTER	000A AAAA	1 έως 5 bytes	Ανάγνωση περιεχομένων του καταχωρητή στη διεύθυνση AAAA.
W_REGISTER	001A AAAA	1 έως 5 bytes	Εγγραφή στον καταχωρητή με διεύθυνση AAAA.
R_RX_PAYLOAD	0110 0001	1 έως 32 bytes	Ανάγνωση περιεχομένων φορτίου εισερχόμενου πακέτου από ουρά λήψης. Μετά την ανάγνωση το φορτίο διαγράφεται από την ουρά λήψης.
W_TX_PAYLOAD	1010 0000	1 έως 32 bytes	Εγγραφή περιεχομένων φορτίου εξερχόμενου πακέτου στην ουρά αποστολής.
FLUSH_TX	1110 0001	0	Άδειασμα ουράς αποστολής.
FLUSH_RX	1110 0010	0	Άδειασμα ουράς λήψης. Δεν πρέπει να εκτελείται όταν μεταδίδεται πακέτο επιβεβαίωσης.
REUSE_TX_PL	1110 0011	0	Συνεχόμενη εκπομπή του πιο πρόσφατου πακέτου όσο το σήμα CE είναι σε υψηλή στάθμη. Η λειτουργία απενεργοποιείται με την εντολή W_TX_PAYLOAD ή FLUSH_TX.
ACTIVATE	0101 0000	1	Ακολουθούμενη από δεδομένο τιμής 0x73 ενεργοποιεί τις εξής λειτουργίες: <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ R_RX_PL_WID</li> <li>▪ W_ACK_PAYLOAD</li> <li>▪ W_TX_PAYLOAD_NOACK</li> </ul> Νέα αποστολή της ίδιας εντολής με τα ίδια δεδομένα απενεργοποιεί τις παραπάνω λειτουργίες.
R_RX_PL_WID	0110 0000	0	Εξαγωγή μήκους φορτίου του εισερχόμενου πακέτου στην κορυφή της ουράς λήψης.
W_ACK_PAYLOAD	1010 1PPP	1 έως 32 bytes	Εγγραφή φορτίου που θα μεταδοθεί μαζί με την επόμενη επιβεβαίωση στο κανάλι (pipe) PPP.
W_TX_PAYLOAD_NOACK	1011 0000	1 έως 32 bytes	Αποστολή αυτού του πακέτου χωρίς λειτουργία αυτόματης επιβεβαίωσης.
NOP	1111 1111	0	Καμία λειτουργία. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάγνωση του STATUS καταχωρητή.

Πίνακας 5.2: Εντολές του nRF24L01

## 5.5 Ουρές Δεδομένων

Οι ουρές δεδομένων είναι τύπου FIFO (First In – First Out) και χρησιμοποιούνται από τον nRF24L01 για την αποθήκευση των φορτίων που πρέπει να αποσταλούν (Tx FIFO) ή έχουν ληφθεί (Rx FIFO). Τόσο η ροή της λήψης όσο και η ροή της αποστολής αποτελείται από μία ουρά τριών θέσεων για την αποθήκευση φορτίων

μέγιστου μήκους 32 bytes. Κάθε ουρά έχει ένα ξεχωριστό ελεγκτή, ενώ είναι προσβάσιμη μέσω της διεπαφής SPI χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες εντολές. Όταν η συσκευή λειτουργεί ως δέκτης, η ουρά αποστολής μπορεί να αποθηκεύσει φορτία για ACK πακέτα προς τρεις διαφορετικές συσκευές που λειτουργούν ως πομπόι. Όμως, η ουρά αποστολής μπορεί να μπλοκάρει αν όλα τα πακέτα έχουν προορισμό συσκευή με την οποία η σύνδεση έχει χαθεί. Σε αυτή την περίπτωση, η μονάδα επεξεργασίας (MCU) μπορεί να αδειάσει την ουρά αποστολής με την εντολή FLUSH\_TX. Εγγραφή στην ουρά αποστολής μπορεί να γίνει με μία από τις εντολές W\_TX\_PAYLOAD ή W\_TX\_PAYLOAD\_NO\_ACK στην λειτουργία ως πομπός και την εντολή W\_ACK\_PAYLOAD στην λειτουργία ως δέκτης. Αντίστοιχα, η ανάγνωση της ουράς λήψης γίνεται με την εντολή R\_RX\_PAYLOAD. Επίσης, το φορτίο της ουράς αποστολής σε έναν πομπό δεν αφαιρείται αν έχει επιτευχθεί ο μέγιστος αριθμός επαναλήψεων μετάδοσης (δηλαδή συμβεί διακοπή MAX\_RT).

Η κατάσταση των δύο ουρών δεδομένων είναι προσβάσιμη μέσω του καταχωρητή κατάστασης FIFO\_STATUS. Χρησιμοποιώντας την εντολή R\_REGISTER μπορούν να εξαχθούν τα περιεχόμενα του καταχωρητή ελέγχοντας έτσι αν οι ουρές δεδομένων περιέχουν φορτία ή όχι.

### 5.6 Φυσικό Κανάλι

Ο πομποδέκτης nRF24L01 επιτρέπει τη ρύθμιση παραμέτρων του φυσικού καναλιού, όπως το ρυθμό δεδομένων, τη συχνότητα του καναλιού ή την ισχύ εκπομπής.

### 5.7 Ρυθμός Δεδομένων

Ο ρυθμός δεδομένων στον αέρα (air data rate) είναι ο ρυθμός του διαμορφωμένου σήματος κατά τη μετάδοση και τη λήψη. Μπορεί να είναι είτε στα 1Mbps ή 2Mbps, με 3db μεγαλύτερη ευαισθησία όταν χρησιμοποιείται ρυθμός 1Mbps. Χρησιμοποιώντας υψηλό ρυθμό δεδομένων, μειώνονται οι συγκρούσεις πάνω από το ασύρματο κανάλι καθώς και η κατανάλωση ισχύος. Ο ρυθμός δεδομένων επιλέγεται από το RF\_DR bit του RF\_SETUP καταχωρητή. Για να

επικοινωνήσουν μεταξύ τους ένας πομπός και ένας δέκτης θα πρέπει να προγραμματιστούν με τον ίδιο ρυθμό δεδομένων.

### 5.8 Συχνότητα Καναλιού

Η ραδιοσυχνότητα του καναλιού καθορίζει το κέντρο του καναλιού που χρησιμοποιεί ο nRF24L01. Το εύρος του καναλιού είναι 1MHz για ρυθμό δεδομένων 1Mbps και 2MHz για ρυθμό 2Mbps. Ο πομποδέκτης μπορεί να λειτουργήσει σε συχνότητες από 2.4GHz μέχρι 2.525GHz, ενώ η ακρίβεια της επιλογής του καναλιού είναι 1MHz. Στην περίπτωση που ο ρυθμός δεδομένων είναι 2Mbps, το κανάλι δεσμεύει μεγαλύτερο εύρος ζώνης από την ακρίβεια της ρύθμισης: για να μην υπάρχουν επικαλυπτόμενα κανάλια, ενώ η απόσταση μεταξύ τους θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από 2MHz. Η ρύθμιση της συχνότητας του χρησιμοποιούμενου καναλιού γίνεται από τον RF\_CH καταχωρητή σύμφωνα με τη σχέση:  $F0 = 2400 + RF\_CH [MHz]$ . Για να υπάρξει επικοινωνία μεταξύ πομπού και δέκτη θα πρέπει να έχουν την ίδια συχνότητα καναλιού.

### 5.9 Ενισχυτής Ισχύος

Η ρύθμιση του ενισχυτή ισχύος (power amplifier -PA) καθορίζει την ισχύ εξόδου του nRF24L01. Όταν βρίσκεται σε λειτουργία εκπομπής, η ισχύς μπορεί να ρυθμιστεί μεταξύ τεσσάρων επιλογών. Η ρύθμιση της ισχύος γίνεται από τα αντίστοιχα RF\_PWR bits του RF\_SETUP καταχωρητή.

### 5.10 Πρωτόκολλο Enhanced Shock Burst

Το Enhanced Shock Burst είναι πρωτόκολλο επιπέδου ζεύξης που βασίζεται σε πακέτα. Προσφέρει αυτόματο σχηματισμό πακέτων και χρονισμούς καθώς και αυτόματη μετάδοση πακέτων επιβεβαίωσης (acknowledgement packets) και αναμεταδόσεις πακέτων (re-transmissions). Τα κύρια χαρακτηριστικά του είναι το δυναμικό μήκος ωφέλιμου φορτίου (payload) 1-32 bytes, η αυτόματη διαχείριση των συναλλαγών των πακέτων και η λειτουργία ως multiceiver σε τοπολογία αστέρα 1:6.

Μία συναλλαγή πακέτων είναι μία ανταλλαγή πακέτων μεταξύ δύο πομποδεκτών, όπου ο ένας λειτουργεί ως κύριος δέκτης (Primary Receiver – PRX) και ο άλλος ως κύριος πομπός (Primary Transmitter – PTX). Η συναλλαγή ξεκινά πάντα με τη μετάδοση πακέτου από τον PTX και ολοκληρώνεται όταν ο PTX λάβει πακέτο επιβεβαίωσης (ACK packet) από τον PRX. Αφού ο PTX στείλει πακέτο στον PRX, ο PTX τίθεται σε λειτουργία δέκτη (receive mode) και περιμένει για πακέτο επιβεβαίωσης. Αν το πακέτο ληφθεί από τον PRX, το πρωτόκολλο μεταδίδει ένα πακέτο επιβεβαίωσης στον PTX και επιστρέφει σε λειτουργία λήψης. Αν ο PTX δεν λάβει το ACK πακέτο μέσα σε ένα χρονικό όριο, αυτόματα αναμεταδίδει τα δεδομένα στον PRX και περιμένει για ACK πακέτο. Η συσκευή που λειτουργεί ως PRX μπορεί μαζί με το ACK πακέτο να στέλνει και δεδομένα δημιουργώντας έτσι μια δικατευθυντήρια ζεύξη δεδομένων. Επιπλέον, μπορεί να καθοριστούν από τον χρήστη παράμετροι όπως μέγιστος αριθμός αναμεταδόσεων και καθυστέρηση μεταξύ των αναμεταδόσεων.

### 5.11 Μορφότυπο Πλαισίων

Κάθε πακέτο του πρωτοκόλλου περιλαμβάνει ένα προοίμιο, ένα πεδίο διεύθυνσης, ένα πεδίο ελέγχου, το ωφέλιμο φορτίο και το πεδίο κυκλικού ελέγχου πλεονασμού (CRC).

Το προοίμιο είναι μια ακολουθία ενός byte που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση της στάθμης των 0 και 1. Αν η διεύθυνση ξεκινάει με 0, ως προοίμιο τοποθετείται το 01010101, αλλιώς το 10101010. Η διεύθυνση του δέκτη μπορεί να έχει μήκος από 3 έως 5 bytes και προγραμματίζεται από τον SETUP\_AW καταχωρητή. Το πεδίο ελέγχου αποτελείται από 6 bits που δείχνουν τον αριθμό των bytes στο ωφέλιμο φορτίο (000000 για 0 byte και 100000 για 32 bytes), 2 bits που αντιστοιχούν στην ταυτότητα του πακέτου (packet identification – PID) που 53 χρησιμοποιούνται για να αναγνωρίζει ο δέκτης αν το πακέτο είναι καινούριο ή έχει αναμεταδοθεί και μία σημαία ενός bit που όταν είναι 1 δηλώνει ότι το πακέτο δεν θα επιβεβαιωθεί (NO\_ACK flag). Το περιεχόμενο του ωφέλιμου φορτίου καθορίζεται από το χρήστη και το μήκος του μπορεί να είναι από 0 μέχρι 32 bytes. Το πεδίο CRC αποτελείται από 1 ή 2 bytes και υπολογίζεται από τα πεδία διεύθυνσης, ελέγχου και ωφέλιμου φορτίου. Για 1 byte χρησιμοποιείται το πολυώνυμο  $X^8 + X^2 + X + 1$  με αρχική τιμή 0xFF, ενώ για 2 bytes το  $X^{16} + X^{12} +$



Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

X 5 + 1 με αρχική τιμή 0xFFFF. Κανένα πακέτο δεν γίνεται δεκτό αν ο έλεγχος αποτύχει.

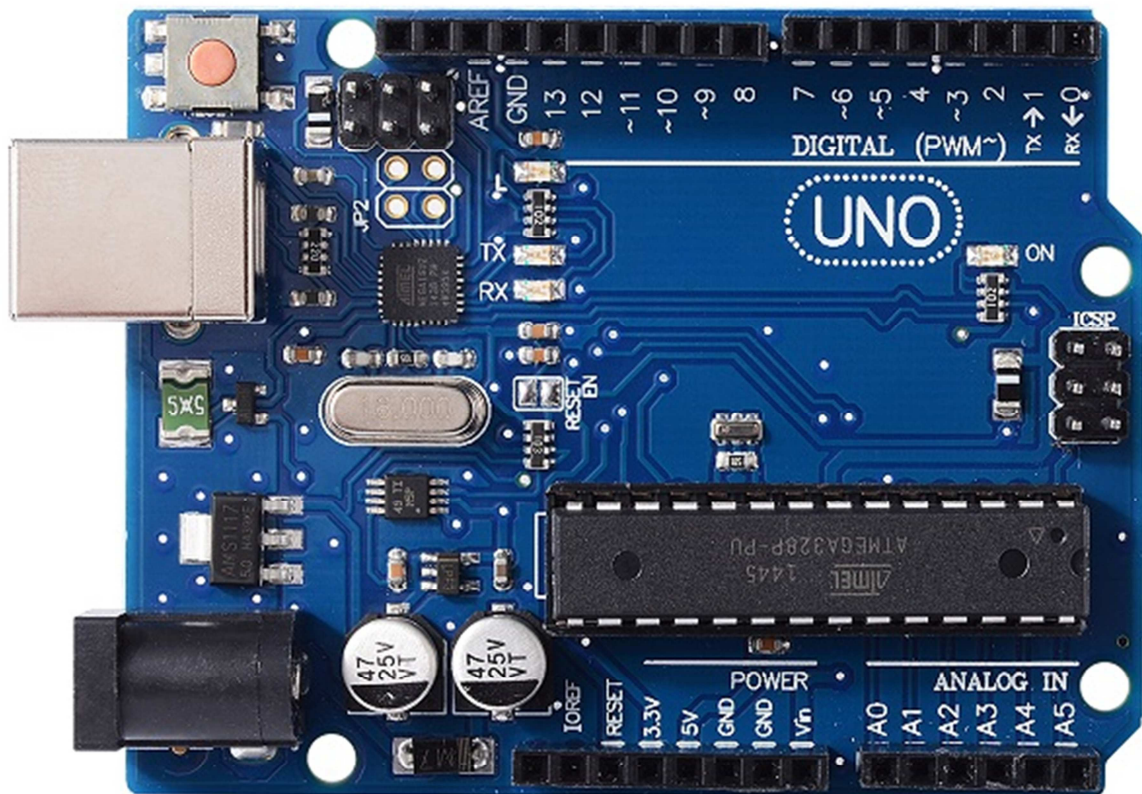


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στα ακόλουθα υποκεφάλαια παρουσιάζονται τα εξαρτήματα που δομούν το πρακτικό μέρος της παρούσας εργασίας.

#### 6.1 Arduino Uno

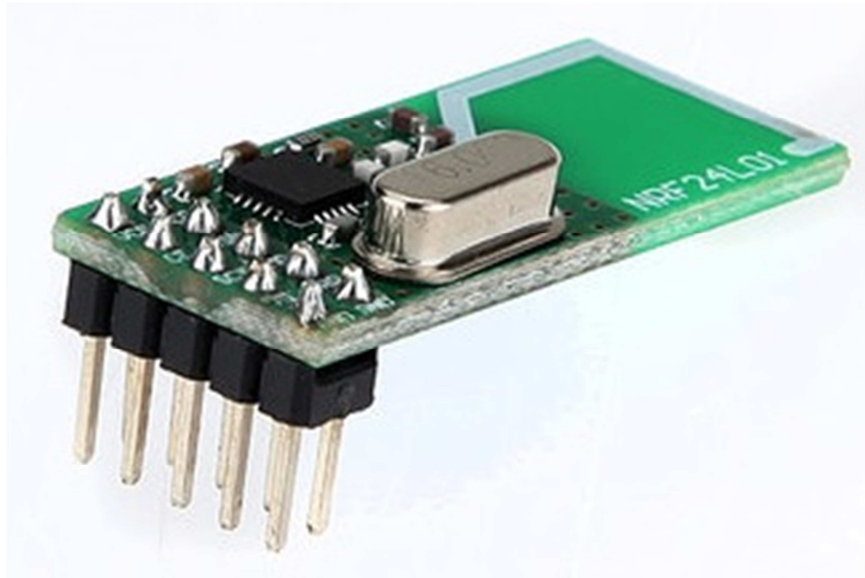


Εικόνα 6.1: Η πλακέτα Arduino Uno

Πρόκειται για την υπολογιστική πλατφόρμα στην οποία αναφερθήκαμε στο κεφάλαιο 3, η οποία αποτελείται από τον μικροελεγκτή ATmega328.

#### 6.2 Πομποδέκτης NRF24L01

Πρόκειται για το ολοκληρωμένο που αναφέραμε στο κεφάλαιο 4.



Εικόνα 6.2: Ο πομποδέκτης nRF24L01

### 6.3 Ψηφιακό Θερμόμετρο DS18B20

Το ψηφιακό θερμόμετρο DS18B20 επικοινωνεί μέσω ενός διαύλου, που εξ' ορισμού, απαιτεί μόνο μία γραμμή δεδομένων (και γείωση) για την επικοινωνία του με τον κεντρικό μικροεπεξεργαστή. Διαθέτει εύρος θερμοκρασίας λειτουργίας από  $-55^{\circ}\text{C}$  έως  $+125^{\circ}\text{C}$  ( $-67^{\circ}\text{F}$  έως  $+257^{\circ}\text{F}$ ) και είναι ακριβής, με απόκλιση,  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  στην περιοχή από  $-10^{\circ}\text{C}$  έως  $+ 85^{\circ}\text{C}$  ( $14^{\circ}\text{F}$  έως  $185^{\circ}\text{F}$ ). Επιπλέον, το DS18B20 μπορεί να παράγει ενέργεια απευθείας από τη γραμμή δεδομένων ("παράσιτο"), εξαλείφοντας την ανάγκη για εξωτερική τροφοδοσία. Εφαρμογές που μπορούν να επωφεληθούν από το DS18B20 είναι οι περιβαλλοντικοί έλεγχοι HVAC (θέρμανσης, εξαερισμού και κλιματισμού), συστήματα παρακολούθησης θερμοκρασίας μέσα σε κτίρια, εξοπλισμό ή μηχανήματα κ.α.

Τα χαρακτηριστικά του είναι τα ακόλουθα:

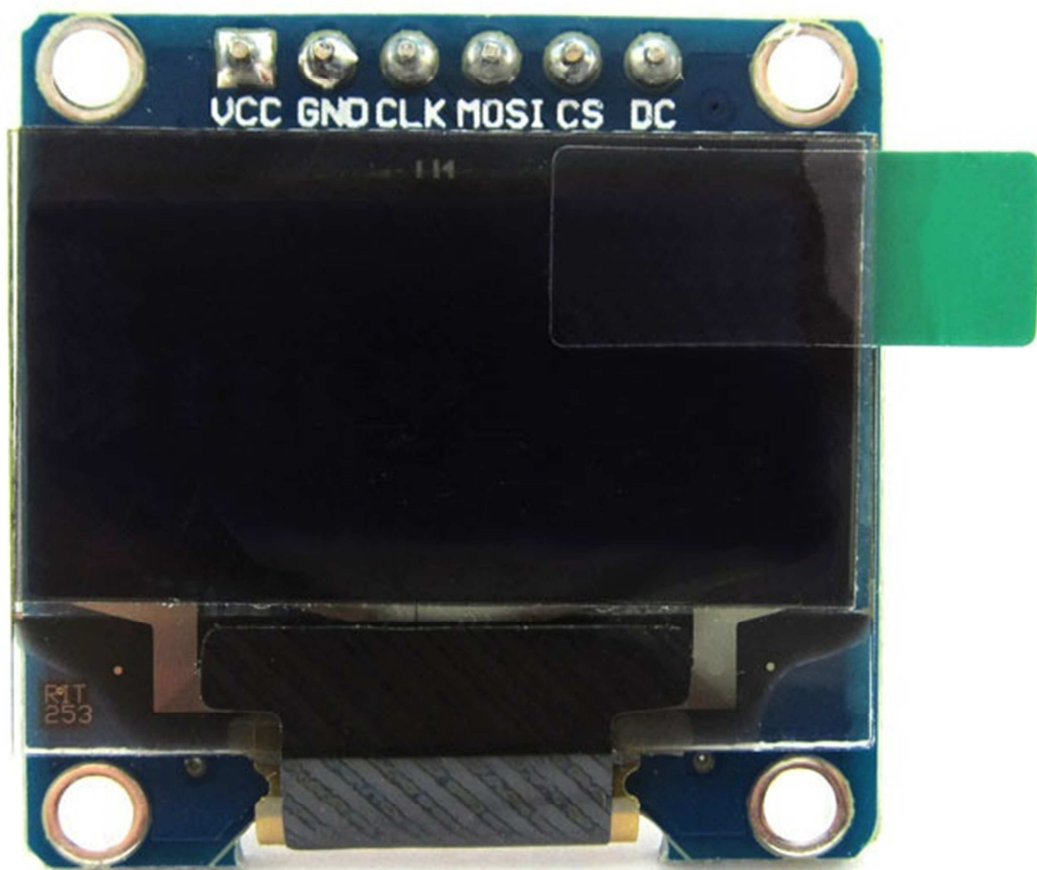
- Εύρος παροχής ρεύματος: 3 έως 5.5V
- Μέτρηση θερμοκρασίας: από  $-55^{\circ}\text{C}$  έως  $+125^{\circ}\text{C}$  ( $-67^{\circ}\text{F}$  έως  $+257^{\circ}\text{F}$ )
- Ακρίβεια μέτρησης θερμοκρασίας  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ : από  $-10^{\circ}\text{C}$  έως  $+85^{\circ}\text{C}$  ( $14^{\circ}\text{F}$  έως  $185^{\circ}\text{F}$ )



Εικόνα 6.3: Το θερμόμετρο DS18B20

#### 6.4 Οθόνη OLED SSD1306

Η οθόνη OLED SSD1306 είναι μία πάρα πολύ μικρή συσκευή (που πλησιάζει σε μέγεθος τη μία ίντσα) και χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο I<sup>2</sup>C για την «συνομιλία» της με τον μικροελεγκτή. Για την οδήγηση της εν λόγω συσκευής χρησιμοποιήθηκαν οι βιβλιοθήκες της εταιρίας Adafruit. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε η βιβλιοθήκη Adafruit\_GFX και η βιβλιοθήκη Adafruit\_SSD1306. Η πρώτη χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία των γραφικών ενώ η δεύτερη για την οδήγηση της συσκευής. Ακόμη για να γίνει χρήση του πρωτοκόλλου I<sup>2</sup>C χρησιμοποιήθηκε και η βιβλιοθήκη Wire.h, η οποία βρίσκεται στο περιβάλλον του προγράμματος Arduino IDE. Ο τρόπος της συνδεσμολογίας της είναι αρκετά απλός. Οι 2 ακίδες της αφορούν την τάση τροφοδοσίας και την γείωσή της, ενώ οι υπόλοιπες είναι συνδεδεμένες με τις ακίδες 3,4,5 και 6 του Arduino Uno. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της αναφερόμενης οθόνης φαίνονται και στον πίνακα που ακολουθεί.



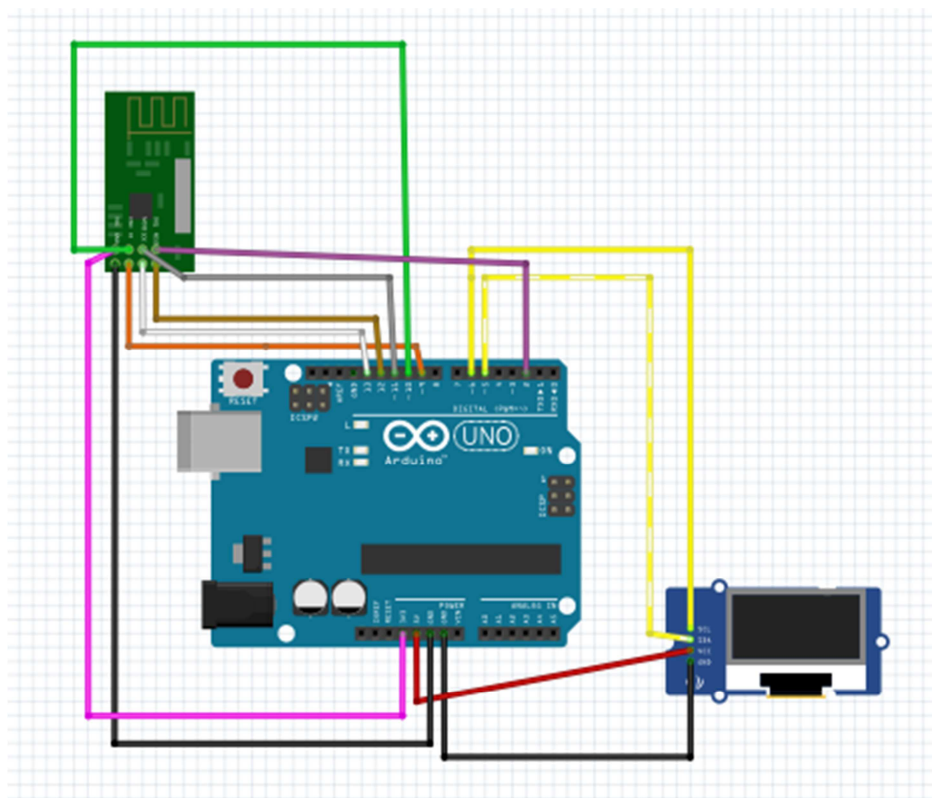
Εικόνα 6.4: Η οθόνη OLED SSD1306

Οδηγός οθόνης	SSD1306
Ανάλυση	128 X 64
Τάση τροφοδοσίας	3.3V – 6V
Διαστάσεις	2.7 x 2.8cm
Μέγεθος	0.96"

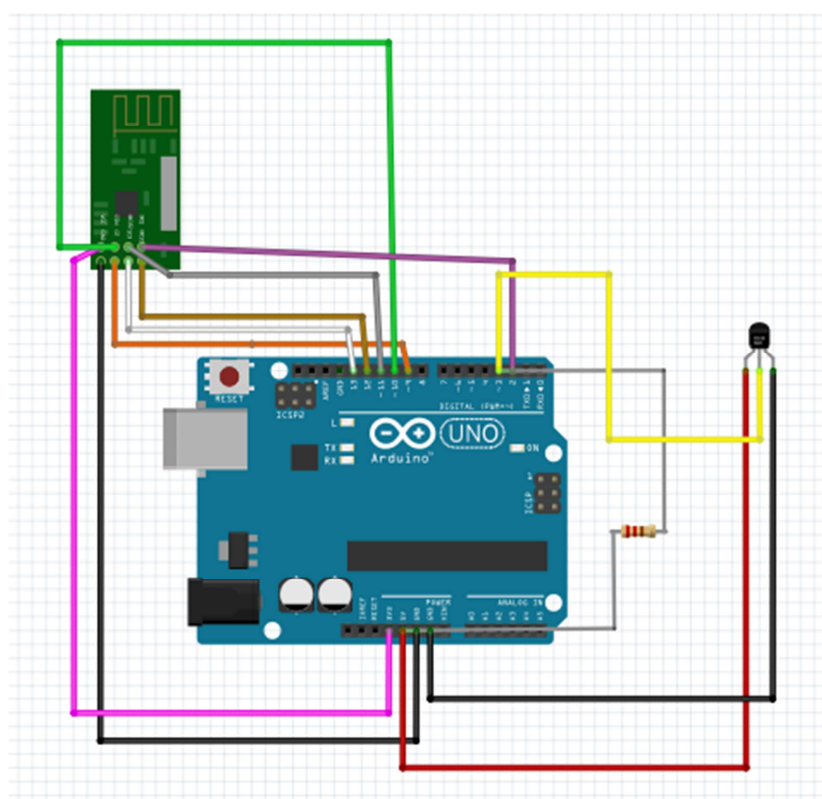
Πίνακας 6.1: Χαρακτηριστικά της OLED SSD1306



## Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

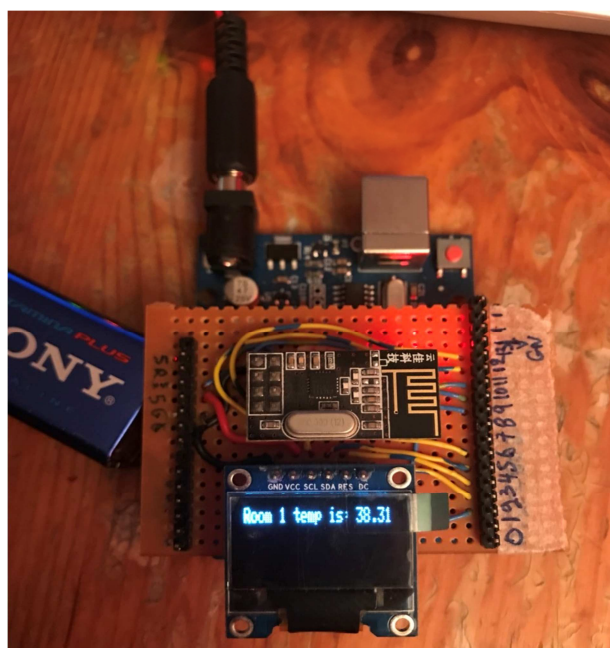


Εικόνα 6.5: Συνδεσμολογία οθόνης με Arduino

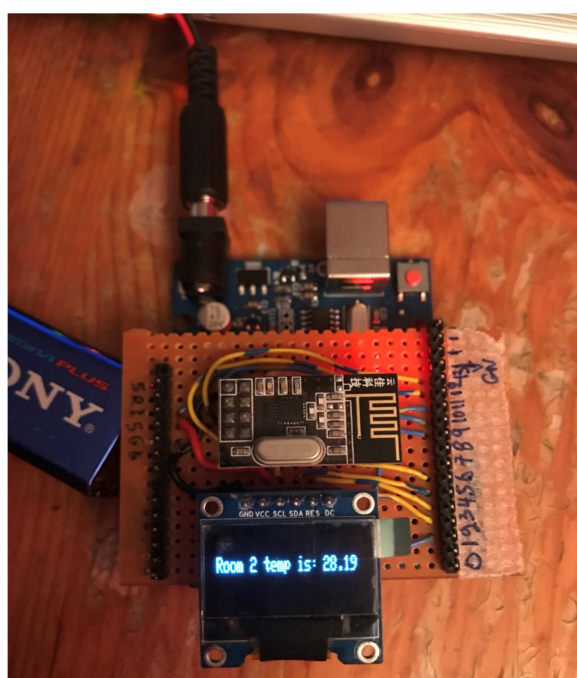


Εικόνα 6.6: Συνδεσμολογία θερμομέτρων

## Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων



Εικόνα 6.7: Μέτρηση θερμοκρασίας 1<sup>ου</sup> δωματίου



Εικόνα 6.8: Μέτρηση θερμοκρασίας 2<sup>ου</sup> δωματίου



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α' – ΚΩΔΙΚΑΣ ΟΘΟΝΗΣ

```
**** Rx ****

// Συμπεριλαμβάνουμε όλες τις απαραίτητες βιβλιοθήκες
// που προσδιορίζουν τις σταθερές των ακίδων

#include <ch>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>

#include <SPI.h>
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

// Εάν χρησιμοποιείται το λογισμικό SPI (η προεπιλεγμένη περίπτωση):
#define OLED_MOSI 5
#define OLED_CLK 6
#define OLED_DC 3
#define OLED_CS 12
#define OLED_RESET 4
Adafruit_SSD1306 display(OLED_MOSI, OLED_CLK, OLED_DC,
OLED_RESET, OLED_CS);

#if (SSD1306_LCDHEIGHT != 32)
#error("Height incorrect, please fix Adafruit_SSD1306.h!");
#endif

float temp1;
float temp2;

RF24 radio(9, 10);

const byte rxAddr[3] = {00001,00002,00003}; // η ίδια διεύθυνση όπως στο Tx 1
και στο Tx2
```

## Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

```
void setup()
{
  while (!Serial);
  Serial.begin(9600);

  radio.begin();

  radio.openReadingPipe(1, rxAddr[1]); // ανοίγουμε δύο Reading pipes
  radio.openReadingPipe(2, rxAddr[2]);

  radio.startListening();

  Serial.println(rxAddr[1]);
  Serial.println(rxAddr[2]);

  display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC);
  display.clearDisplay();
  display.setTextSize(1);
  display.setTextColor(WHITE);
}

void loop()
{
  byte pipe = 0;
  if (radio.available(&pipe)) // εάν υπάρχει το απαραίτητο πακέτο προς λήψη
  ΤΟΤΕ ΕΚΤΕΛΕΣΕ
  {
    display.clearDisplay();
    if (pipe == 1) // είναι πολύ σημαντικό να ξεχωρίζουμε τις τιμές των pipes –
    καθότι ισχύει πως δεν έχει ο καθένας και πάντα κάποιο πακέτο
    {
      display.setCursor(0,0);
      display.clearDisplay();
      display.println("Room 1 temp is:");
      radio.read(&temp1, sizeof(temp1));
      display.setCursor(95,0);
      display.println(temp1);
      display.display();
    }
    else if (pipe == 2)
    {
      display.setCursor(0,10);
      display.clearDisplay();
      display.println("Room 2 temp is:");
      radio.read(&temp2, sizeof(temp2));
      display.setCursor(95,10);
```

## Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

```
    display.println(temp2);  
    display.display();  
}  
  
delay(1000);  
  
Serial.println("temp1 is");  
Serial.println(temp1);  
Serial.println("temp2 is");  
Serial.println(temp2);  
}  
}
```



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β' – ΚΩΔΙΚΑΣ ΘΕΡΜΟΜΕΤΡΩΝ

```
*** Τχ 1 ***
```

```
// Συμπεριλαμβάνουμε όλες τις απαραίτητες βιβλιοθήκες για  
// τον δέκτη θερμοκρασίας
```

```
#include <SPI.h>  
#include <nRF24L01.h>  
#include <RF24.h>  
#include <DallasTemperature.h>  
#include <OneWire.h>
```

```
#define ONE_WIRE_BUS 3
```

```
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);  
DallasTemperature sensors(&oneWire);
```

```
float Celcius=0;  
float Fahrenheit=0;
```

```
RF24 radio(9,10); // Τα pins είναι συνδεδεμένα σε αυτά τα ψηφιακά pins.
```

```
const byte rxAddr[3] = {00001,00002,00003} ; // για περαιτέρω πληροφορίες  
επισκεφθείτε τους συνδέσμους στη Βιβλιογραφία
```

```
void setup()
```

```
{  
  sensors.begin();  
  Serial.begin(9600);  
  radio.begin();  
  //radio.setRetries(15, 15);  
  radio.openWritingPipe(rxAddr[2]); // γράφουμε στο pipe  
  radio.stopListening(); // Παύουμε να δεχόμαστε για να επιβεβαιώσουμε  
  ότι αυτό δεν είναι δέκτης  
  Serial.println(rxAddr[2]); // εκτυπώνουμε την τιμή στην σειριακή οθόνη  
}
```

## Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

```
void loop()
{
  sensors.requestTemperatures(); // αιτούμαστε τις αντίστοιχες τιμές της
  θερμοκρασίας
  Celcius=sensors.getTempCByIndex(0); // είναι στη θέση του πρώτου δείκτη

  float temp1= Celcius;
  Serial.println("temp1 = ");
  Serial.println(temp1);
  radio.write(&temp1, sizeof(temp1)); // και γράφουμε αυτή την τιμή
}
```

\*\*\* Τχ 2 \*\*\*

// Το ίδιο με το αρχείο tx1 μόνο που εδώ η δεύτερη διεύθυνση είναι πλέον ορισμένη

```
#include <SPI.h>
#include <nRF24L01.h>
#include <RF24.h>
#include <DallasTemperature.h>
#include <OneWire.h>
#define ONE_WIRE_BUS 3

OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

DallasTemperature sensors(&oneWire);

float Celcius=0;
float Fahrenheit=0;

RF24 radio(9,10);

const byte rxAddr[3] = {00001,00002,00003} ;

void setup()
{
  sensors.begin();
  Serial.begin(9600);
  radio.begin();
  //radio.setRetries(15, 15);
  radio.openWritingPipe(rxAddr[1]);
  radio.stopListening();
```

## Ασύρματο δίκτυο αισθητήρων

```
Serial.println(rxAddr[1]);  
}  
  
void loop()  
{  
  sensors.requestTemperatures();  
  Celcius=sensors.getTempCByIndex(0);  
  
  float temp2= Celcius;  
  Serial.println("temp2 = ");  
  Serial.println(temp2);  
  radio.write(&temp2, sizeof(temp2));  
}
```





## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Ολοκληρώνοντας την παρούσα πτυχιακή εργασία, έγιναν κατανοητές οι δυσκολίες της μελέτης και της υλοποίησης μιας κατασκευής. Ακόμη, έγιναν κατανοητά και τα πλεονεκτήματά της. Τα υλικά και τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της είναι χαμηλού κόστους, γεγονός που είναι δελεαστικό για να πραγματοποιηθεί και κάτι παραπάνω κάποια άλλη στιγμή. Επίσης στο διαδίκτυο βρίσκονται αμέτρητες πληροφορίες περί κατασκευών και προγραμματισμού Arduino το οποίο σημαίνει πως η εξέλιξη της εν λόγω εργασίας είναι μεγάλη. Βέβαια αρκετές φορές είναι λίγο δύσκολη η υλοποίηση των εκάστοτε project.

Μία λογική συνέχεια της εργασίας – κατασκευής που παρουσιάστηκε θα ήταν η δημιουργία μίας βάσης δεδομένων όπου θα συλλέγονταν οι τιμές των θερμοκρασιών ανά κάποιες ώρες της ημέρας και θα έβγαινε ο μέσος όρος θερμοκρασίας της ημέρας. Θα μπορούσαμε επίσης, με τη χρήση κάποιων ακόμα αισθητήρων, ανάλογα με το μέσο όρο της θερμοκρασίας, να ανοίξουμε το κλιματιστικό ή το καλοριφέρ αντίστοιχα, έτσι ώστε να κρατήσουμε σταθερή τη θερμοκρασία του χώρου. Κατ' επέκταση και με τη χρήση κι άλλων υλικών, θα μπορούσαμε να δημιουργήσουμε το δικό μας έξυπνο σπίτι βάση των αναγκών μας.

Αναλύοντας λοιπόν τον παραπάνω όρο («έξυπνο σπίτι») έχουμε τη δυνατότητα να επεκτείνουμε το ασύρματο δίκτυο αισθητήρων με τη χρήση κι άλλων εξαρτημάτων. Μερικά από αυτά είναι αισθητήρες κίνησης, φωτός κ.α. Με τους αισθητήρες κίνησης θα μπορούσαμε να επιτύχουμε την ειδοποίηση μας αν κάποιος βρισκόταν στο χώρο μας. Με τους αισθητήρες φωτός θα πετυχαίναμε το αυτόματο άναμμα των φωτιστικών του χώρου στον οποίο βρισκόμαστε (ανίχνευση από τον αισθητήρα κίνησης) όταν ο φωτισμός είναι χαμηλός.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Μικροαισθητήρες, Αρχές και Εφαρμογές, (Microsensors Principles and Applications), Julian W. Gardner, Εκδόσεις Τζιόλα 2000
- [2] Τεχνολογία Αισθητήρων και Μικροσυστημάτων, Ι.Ν. Αβαριτσιώτης, Εκδόσεις ΕΜΠ 2011
- [3] Wikipedia, Ασύρματο Δίκτυο Αισθητήρων
- [4] Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks, Holger Karl – Andreas Willing, Εκδόσεις John Wiley & Sons 2005
- [5] IEEE 802.15.4: A Federating Communication Protocol for Time-Sensitive Wireless Sensor Networks, Mario Alves – Anis Koubaa – Eduardo Tovar, 2006
- [6] Wikipedia, Τοπολογία Δικτύων
- [7] Τεχνολογίες Διαδικτύου, Χ. Δουληγέρης – Ε. Κοπανάκη, Εκδόσεις Νηρηίδες 2004
- [8] Wikipedia, Arduino
- [9] <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>
- [10] [www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Plus Preliminary Product Specification v1.0.pdf](http://www.sparkfun.com/datasheets/Components/SMD/nRF24L01Plus Preliminary Product Specification v1.0.pdf)
- [11] <http://tmrh20.github.io/RF24Mesh/>
- [12] [https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/nRF24L01\\_prelim\\_product\\_spec\\_1.2.pdf](https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/nRF24L01_prelim_product_spec_1.2.pdf)
- [13] <https://playground.arduino.cc/InterfacingWithHardware/Nrf24L01>
- [14] <https://arduino-info.wikispaces.com/Nrf24L01-2.4GHz-HowTo#lib>

