

Ημερομηνία 10/9/2024

Τίτλος Δ.Ε. Σύστημα τηλεμετρίας και αποστολής δεδομένων μέσω WIFI

Κωδικός Δ.Ε. ...

Όνοματεπώνυμο φοιτητή/τών Γεωργουλάκος Σταύρος

Όνοματεπώνυμο εισηγητή Γιακουμής Άγγελος

Ημερομηνία ανάληψης Δ.Ε. ...

Ημερομηνία περάτωσης Δ.Ε. 10/9/2024

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως διπλωματική εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του φοιτητή Γεωργουλάκου Σταύρου που την εκτόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να αφιερώσω την εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας στην οικογένειά μου, αλλά και στους συμφοιτητές και αιώνιους φίλους μου Γιάννη, Τόλη για την πολύτιμη στήριξη και βοήθειά τους κατά τα δύσκολα χρόνια φοίτησης στο τμήμα.

«Αφιέρωση»

Πρόλογος

Η πτυχιακή εργασία με θέμα την τηλεμετρία με χρήση πρωτοκόλλου wi-fi επιλέχθηκε με σκοπό τόσο την εξοικίωση με τις τεχνολογίες των μικροελεγκτών όσο και με την εξοικίωση με τις τεχνολογίες ασύρματης μετάδοσης που συμμετέχουν ενεργά στην βιομηχανοποίηση του IoT(internet of things). Στο πλαίσιο αυτής της εργασίας υλοποιήθηκε μια proof-of-concept συνδεσμολογία αισθητήρων:

- Θερμοκρασίας/Υγρασίας
- Επιταχυνσιομέτρου
- GPS(global position system)
- Αλτίμετρου

Με την χρήση των αισθητηρίων αυτών υλοποιήθηκε ένα σύστημα ασύρματης μετάδοσης με ESP32-S3 με τελικό σκοπό να θεωρηθεί ένα emulator του συστήματος τηλεμετρίας που χρησιμοποιούν τα drone κατά την λειτουργίας τους.

Περίληψη

Η εργασία που πραγματοποιήθηκε αφορούσε την ανάπτυξη ενός συστήματος για τη συλλογή και μετάδοση δεδομένων από αισθητήρες που περιλάμβαναν υψομετρικούς αισθητήρες, GPS, επιταχυνσιόμετρα και αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας. Για την υλοποίηση του συστήματος χρησιμοποιήθηκαν τα μικροελεγκτές STM32F401RE και ESP32.

Οι υψομετρικοί αισθητήρες χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση του ύψους, ενώ ο αισθητήρας GPS παρείχε πληροφορίες σχετικά με την τρέχουσα θέση του συστήματος. Το επιταχυνσιόμετρο παρείχε πληροφορίες σχετικά με την επιτάχυνση και τους κραδασμούς που αντιλήφθηκε το σύστημα, ενώ οι αισθητήρες θερμοκρασίας και υγρασίας μέτρησαν τις συνθήκες περιβάλλοντος.

Οι δεδομένα που συλλέχθηκαν από αυτούς τους αισθητήρες μεταδόθηκαν ασύρματα μέσω του ESP32 σε έναν αποδέκτη ή σε έναν κεντρικό υπολογιστή για περαιτέρω ανάλυση και απεικόνιση.

Η εφαρμογή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλούς τομείς, όπως η μεταφορά δεδομένων από αισθητήρες σε περιβάλλοντα IoT, την παρακολούθηση της θέσης και των συνθηκών του οχήματος, και την παρακολούθηση του περιβάλλοντος σε εφαρμογές περιβαλλοντικής παρακολούθησης. Η επιτυχής υλοποίηση αυτής της εργασίας ανοίγει πολλές δυνατότητες για την αξιοποίηση των δεδομένων αισθητήρων σε πρακτικές εφαρμογές.

«Telemetry System with Wi-Fi transmission capabilities»

(στην αγγλική γλώσσα)

«Georgoulakos Stavros»

(στην αγγλική γλώσσα)

Abstract

In this bachelor thesis an embedded system with telemetry capabilities is presented. It makes use of a variety of sensors, like temperature, humidity as well as gyroscope, GPS. It collects all their data in an STM32F401RE evaluation board and sends them to a mock server in packet sender via standard UDP protocol with the help of an ESP32 dev board.

This application can be used in various fields, such as data transmission from sensors in IoT environments, vehicle position and condition monitoring, and environmental monitoring in environmental tracking applications. The successful implementation of this work opens up many possibilities for utilizing sensor data in practical applications.

Ευχαριστίες

Σε αυτήν την ενότητα ο φοιτητής/ φοιτήτρια προαιρετικά μπορεί να ευχαριστήσει όσους αισθάνεται ότι συνέβαλαν (επιστημονικά, ηθικά, οικονομικά κτλ) στην ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας.

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	vi
Περίληψη.....	vii
Abstract	viii
Ευχαριστίες	ix
Περιεχόμενα	x
Κατάλογος Σχημάτων	xii
Κατάλογος Πινάκων.....	xiii
Συνομογραφίες.....	xiv
Κεφάλαιο 1ο: Θεωρητική Μελέτη	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Ορισμός της τηλεμετρίας.	1
1.2.1 Σύνηθης δομή τηλεμετρίας.....	1
1.2.2 Σύσταση συστήματος τηλεμετρίας.....	3
1.3 Επίλογος.....	7
Κεφάλαιο 2ο: Ανάλυση Υλικού/Λογισμικού	8
2.1 Ενσωματωμένο σύστημα της ST microelectronics	8
2.2 Ενσωματωμένο σύστημα Nucleo- F401RE	9
2.3 Αισθητήριο θερμοκρασίας/υγρασίας.....	10
2.3.1 Πρωτόκολλο επικοινωνίας 1-Wire.....	11
2.3.2 Επικοινωνία αισθητηρίου -Μικροελεγκτή.	12
2.3.3 Προφίλ κατανάλωσης.....	13
2.4 Γυροσκόπιο και μέτρηση κλίσης.....	13
2.4.1 Αισθητήρας MPU-60X0.....	14
2.4.2 Χαρακτηριστικά MPU-60X0	15
2.4.3 Πρωτόκολλο επικοινωνίας I2C	15
2.4.4 Αναλογικές διατάξεις δειγματοληψίας.....	17
2.5 GPS.....	17
2.5.1 Πρωτόκολλο επικοινωνίας UART	19
2.6 Χρήση Wi-Fi για τηλεμετρία μέσω ESP32.....	22
2.6.1 Επικοινωνία μέσω AT commands.....	23
2.7 Επίλογος.....	24
Κεφάλαιο 3ο: Μεθολογία ανάπτυξης και Αποσφαλμάτωσης κώδικα.	25

3.1	Εισαγωγή.....	25
3.2	Το εργαλείο Termit.....	25
3.2.1	Μετατροπέας Σειριακής-USB	26
3.2.2	Ρόλος USB-SERIAL στην αποσφαλμάτωση του ESP32.....	27
3.2.3	Ρόλος USB-SERIAL στην αποσφαλμάτωση του GY-521.....	29
3.3	Επίλογος.....	32
Κεφάλαιο 4ο: Σχεδίαση Υλικολογισμικού(FIRMWARE).....		33
4.1	Εισαγωγή.....	33
4.2	Αρχικοποιήσεις Driver περιφερειακών μέσω STM32CUBEIDE.	33
4.2.1	Context Switching	38
4.3	Αρχιτεκτονική σχεδιασμού driver για ESP32	39
4.3.1	Σχεδίαση at command driver για το esp32.....	40
4.3.2	Δομή κώδικα σε C για την επικοινωνία με το esp32.....	41
4.4	Αρχιτεκτονική σχεδιασμού driver για αισθητήρια.....	47
4.4.1	Αρχιτεκτονική MPU6050.....	48
4.4.2	Αρχιτεκτονική DHT11	50
4.5	Αλγόριθμος λειτουργίας ενσωματωμένου συστήματος τηλεμετρίας.....	55
4.6	Επίλογος.....	56
Κεφάλαιο 5ο: Δομή υλικού(HARDWARE)		56
Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα ή/και προτάσεις βελτίωσης		58
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		59

Κατάλογος Σχημάτων

Στην Σχημα 1 απεικονίζεται ένα μπλοκ διάγραμμα ενός παρόμοιου συστήματος τηλεμετρίας [1].	2
Σχημα 2 Μπλοκ διάγραμμα μιας δομής συστήματος τηλεμετρίας[1].	2
Σχημα 3 Το περιβάλλον STM32CubeIDE[4].	9
Σχημα 4 Το αναπτυξιακό Nucleo-F401RE	10
Σχημα 5 Το αισθητήριο dht11	11
Σχημα 6 Διασύνδεση μέσω pull-up αντίστασης σε μικροελεγκτή.	12
Σχημα 7 Επικοινωνία μεταξύ MCU-DHT11	13
Σχημα 8 Προφίλ κατανάλωσης του αισθητήρα dht11.	13
Σχημα 9 Αισθητήριο 6-αξόνων βασισμένο στο MPU-6050	14
Σχημα 10 Επικοινωνία master-slave(main-node) με χρήση 2 ακροδεκτών[8].	16
Σχημα 11 Απλό αποστολή μηνύματος μέσω SDA[8].	16
Σχημα 12 Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας ενός ADC[9].	17
Σχημα 13 GPS GY-NEO6MV2 με UFL υποδοχή για προσθήκη κεραίας.	18
Σχημα 14 Αμφίδρομη επικοινωνία UART με 2 αγωγούς	20
Σχημα 15 Δομή start bit.	21
Σχημα 16 Δομή data frame	21
Σχημα 17 Δομή parity bit	21
Σχημα 18 Δομή stop bit.	22
Σχημα 19 ESP32-DevKitC V4 αναπτυξιακό.	22
Σχημα 20 Παράδειγμα εντολής AT command[11]	24
Σχημα 21 Παράδειγμα απάντησης AT command[11].	24
Σχημα 22 Περιβάλλον termite.	25
Σχημα 23 Μετατροπέας USB-SERIAL HW-199.	26
Σχημα 24 Ακολουθία εντολών στο περιβάλλον για έλεγχο ορθής λειτουργίας του ESP32, σε λειτουργία client σε AP.	28
Σχημα 25 Σύνδεση HW-199/ESP32.	29
Σχημα 26 Διασύνδεση gps με περιβάλλον termite.	30
Σχημα 27 Format μηνύματος του gps βάση του προτύπου NMEA[15].	31
Σχημα 28 Σύνδεση gps με usb -serial.	32
Σχημα 29 Αρχικοποίηση περιφερειακού UART για επικοινωνία με ESP32.	34
Σχημα 30 Επιλογή λειτουργίας global interrupt.	35
Σχημα 31 Αρχικοποίηση uart2 μέσω του περιβάλλοντος της st.	35
Σχημα 32 Ρύθμιση uart2 σε interrupt mode.	36
Σχημα 33 Αρχικοποίηση I2C στο περιβάλλον του cubeide.	37
Σχημα 34 Επιλογή event based interrupt μέσω cubeide.	37
Σχημα 35 Ρύθμιση PLL για τον χρονισμό της εφαρμογής.	38
Σχημα 36 Διάγραμμα ροής context switch[16].	39
Σχημα 37 Διάγραμμα ροής driver για esp32	40
Σχημα 38 Διάγραμμα ροής κώδικα αρχικοποίησης γυροσκοπίου	47
Σχημα 39 Διάγραμμα ροής αλγορίθμου δειγματοληψίας DHT11.	51
Σχημα 40 Διάγραμμα ροής της κύριας ροής προγράμματος.	55
Σχημα 41 Μπλοκ διάγραμμα αναπαράστασης της συνδεσμολογίας των Modules της εργασίας.	57

Κατάλογος Πινάκων

No table of figures entries found.

Συντομογραφίες

Δ.Ε.	Διπλωματική Εργασία
ΔΙΠΑΕ	Διεθνές Πανεπιστήμιο Ελλάδος
Π.Ε.	Πτυχιακή Εργασία

Κεφάλαιο 1ο: Θεωρητική Μελέτη

1.1 Εισαγωγή

Η παρούσα εργασία αναφέρεται στην ανάπτυξη και υλοποίηση ενός συστήματος για τη συλλογή, μεταφορά και ανάλυση δεδομένων από αισθητήρες σε ένα πολυποίκιλο φάσμα εφαρμογών. Το σύστημα σχεδιάστηκε με στόχο την παρακολούθηση και την καταγραφή ποικίλων παραμέτρων περιβάλλοντος και κίνησης όπως υψόμετρο, θέση GPS, επιτάχυνση, θερμοκρασία και υγρασία.

Η ανάγκη για τέτοιου είδους συστήματα ανακύπτει σε μια εποχή όπου οι αισθητήρες και οι μικροελεγκτές γίνονται όλο και πιο προσιτοί και δυνατοί, και η συλλογή πληροφοριών από το περιβάλλον γίνεται ουσιαστική για διάφορες εφαρμογές όπως η περιβαλλοντική παρακολούθηση, η ασφάλεια, η πλοήγηση και πολλές άλλες.

Στη διάρκεια της εργασίας, θα αναλύσουμε τον σχεδιασμό και την υλοποίηση του συστήματος, θα διερευνήσουμε τις λειτουργίες των διάφορων αισθητήρων και του μικροελεγκτή, και θα παρουσιάσουμε τα αποτελέσματα από τις δοκιμές και τις αναλύσεις που διενεργήσαμε.

Στόχος της εργασίας είναι να αναπτυχθεί ένα ευέλικτο σύστημα που μπορεί να προσαρμοστεί σε πολλαπλές εφαρμογές και να παρέχει αξιόπιστες μετρήσεις και αναλύσεις δεδομένων για την υποστήριξη αποφάσεων και την ανάπτυξη νέων εφαρμογών στον ευρύτερο χώρο της τεχνολογίας και των αισθητήρων.

1.2 Ορισμός της τηλεμετρίας.

Η τηλεμετρία είναι η διαδικασία απομακρυσμένης μέτρησης, συλλογής, και αποστολής δεδομένων από ένα σημείο σε ένα άλλο, συνήθως μέσω ασύρματων ή ενσύρματων τεχνολογιών επικοινωνίας. Συχνά χρησιμοποιείται για τη μέτρηση παραμέτρων όπως θερμοκρασία, πίεση, υγρασία, κίνηση, και άλλες φυσικές ή χημικές παραμέτρους από απόσταση.

Η τηλεμετρία έχει εφαρμογές σε πολλούς τομείς, συμπεριλαμβανομένων της επιστήμης, της βιομηχανίας, της παρακολούθησης και ελέγχου συστημάτων, της ιατρικής, της ασφάλειας, και της περιβαλλοντικής παρακολούθησης. Επιτρέπει τη συλλογή δεδομένων από απομακρυσμένες τοποθεσίες χωρίς την προσωπική παρουσία του ανθρώπου σε αυτές τις τοποθεσίες, γεγονός που την καθιστά εξαιρετικά χρήσιμη σε περιβάλλοντα όπου η πρόσβαση είναι δύσκολη ή επικίνδυνη.

1.2.1 Σύνθητης δομή τηλεμετρίας

Μια δομή που συνηθίζεται σε συστήματα τηλεμετρίας περιλαμβάνει:

- Συστήματα σύλληψης δεδομένων DAQ(data acquisition)
- Ένα από τα παρακάτω :
 - a) Πολυπλέκτης με διάιρεση συχνότητας.
 - b) Πολυπλέκτης με διάιρεση χρόνου.
 - c) Υβριδικό σύστημα με συνδασμό των δύο.
- Ένα σύστημα πομποδέκτη
- Ένα κανάλι μετάδοσης
- Επεξεργασία δεδομένων

Το πρώτο υποσύστημα γνωστό και ως DAQ που ασχολείται αμιγώς με την σύλληψη δεδομένων συνήθως αποτελείται από αισθητήρια και μορφωμετατροπής(transducers), ικανούς να μετατρέψουν ένα φυσικό σήμα σε ηλεκτρικό μέγεθος. Συνήθως τα σήμα που προκύπτουν τόσο από τα αισθητήρια

Κεφάλαιο 1

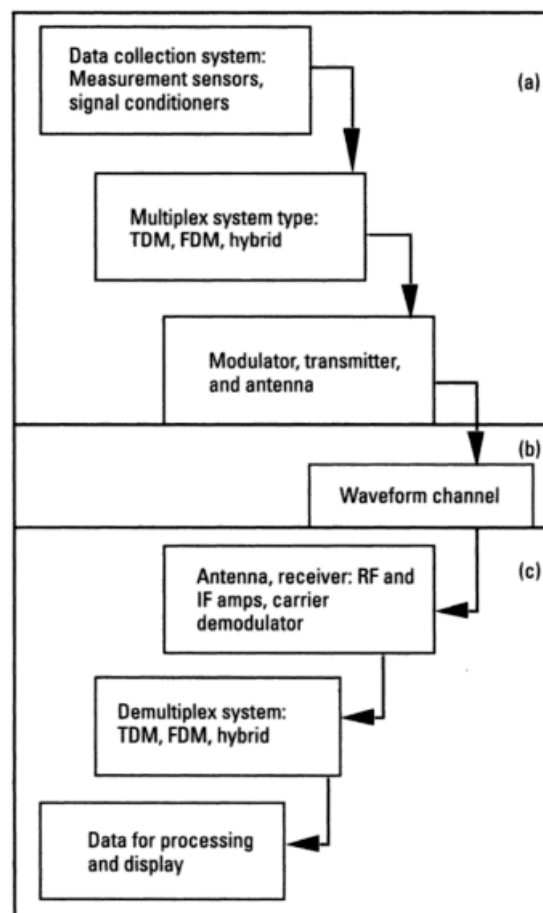
όσο και από τους μορφωμετατροπείς είναι πολύ μικρά και πρέπει να ενισχυθούν πριν σταλούν για επεξεργασία.

Το δεύτερο υποσύστημα είναι υπεύθυνο για την πολυπλεξία των δεδομένων ανάλογα με την επιθυμητή διαίρεση(χρόνου/συχνότητας). Ανάλογα με την διαίρεση η διαδικασία αποκαλείται πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου/συχνότητας(TDM/FDM).

Το τρίτο υποσύστημα είναι ουσιαστικά υπεύθυνο και για την μετάδοση των δεδομένων . Έχοντας σαν είσοδο τα δεδομένα που έχουν χωριστεί είτε χρονικά είτε συχνοτικά , είναι υπεύθυνο με την χρήση μιας κεραίας και μιας μπάντας συχνοτήτων

Το τέταρτο υποσύστημα αντικατοπτρίζει το μέσο διάδοσης επίσης γνωστό και ως κανάλι της επικοινωνίας. Το εκπεμπόμενο σήμα μεταδίδεται μέσω ενός μέσου όπως ο αέρας.

Στο Σχημα 1 απεικονίζεται ένα μπλοκ διάγραμμα ενός παρόμοιου συστήματος τηλεμετρίας [1].



Σχημα 2 Μπλοκ διάγραμμα μιας δομής συστήματος τηλεμετρίας[1].

Στην παρούσα εργασία το σύστημα τηλεμετρίας που υλοποιήθηκε αποτελεί μια απλοϊκή έκδοση ενός πραγματικού συστήματος τηλεμετρίας με σκοπό την σύλληψη δεδομένων από το σύστημα αισθητηρίων . Τα δεδομένα που αποστέλονται από τον ελεγκτή στην συνέχεια απεικονίζονται σε διαγράμματα για την σαφέστατη κατονόηση τους.

1.2.2 Σύσταση συστήματος τηλεμετρίας

Μετά την περιληπτική περιγραφή της υπόστασης ενός κλασικού συστήματος τηλεμετρίας σε αυτό το υποκεφάλαιο περιγράφονται τα ηλεκτρονικά υποσυστήματα που το απαρτίζουν. Συνοπτικά τα ηλεκτρονικά υποσυστήματα είναι τα εξής[2]:

- Σύστημα παροχής ισχύος .
- Μικροελεγκτές
- Πομποδέκτες
- Αισθητήρια/Μορφωμετατροπείς
- GPS

Σύστημα παροχής ισχύος:

Τα περισσότερα τηλεμετρικά συσκευές τροφοδοτούνται από μπαταρίες, οι οποίες μετατρέπουν χημική ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι μπαταρίες που είναι κατάλληλες για εφαρμογές τηλεμετρίας υπάρχουν σε μεγάλη ποικιλία σχημάτων, μεγεθών και χωρητικοτήτων και χρησιμοποιούν διάφορες χημικές και φυσικές διαμορφώσεις για να παράγουν την απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ.

Με γνώμονα τον σχεδιασμό ενός συστήματος τηλεμετρίας, τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά των μπαταριών είναι η τάση, η πυκνότητα ενέργειας και η δυνατότητα παροχής υψηλών ρευμάτων. Ενώ η τάση καθορίζεται σχεδόν αποκλειστικά από τη χημική σύσταση της μπαταρίας, η πυκνότητα ενέργειας και η απόκριση στο ρεύμα φορτίου μπορεί επίσης να επηρεαστούν από το φυσικό σχεδιασμό της μπαταρίας και το εξωτερικό περιβάλλον[2].

Η ισχύς εξόδου των συσκευών τηλεμετρίας και η αντίστοιχη εμβέλεια του σήματος σχετίζονται άμεσα με την τάση της παροχής ισχύος. Η εμβέλεια του σήματος αυξάνεται συνήθως με την τάση της μπαταρίας, αν και η σχέση αυτή δεν είναι αυστηρά γραμμική. Οι μπαταρίες μπορούν να συνδεθούν σε σειρά για να αυξήσουν την τάση του συστήματος και να επεκτείνουν την εμβέλεια του σήματος, αλλά υπάρχουν όρια επειδή αυτή η στρατηγική θα προσθέσει φυσικά βάρος και όγκο στη συσκευή.

Η χωρητικότητα της μπαταρίας καθορίζει τη διάρκεια λειτουργίας μιας συσκευής τηλεμετρίας και προσδιορίζεται/μετρείται σε αμπερώρες (Ah) για μεγαλύτερα κύτταρα(cells) ή σε μιλιαμπερώρες (mAh) για μικρότερα κύτταρα. Για παράδειγμα, μια μπαταρία με χωρητικότητα 300 mAh είναι ικανή να παρέχει ρεύμα φόρτου 1 mA για 300 ώρες, 10 mA για 30 ώρες, κ.λπ. Γενικά, η χωρητικότητα αυξάνεται με το μέγεθος του κυττάρου. Η διαίρεση της χωρητικότητας της μπαταρίας με την απαιτούμενη κατανάλωση της συσκευής τηλεμετρίας παρέχει μια εκτίμηση της αναμενόμενης διάρκειας ζωής της μπαταρίας αλλά και της συσκευής γενικότερα.

Στην παρούσα εργασία η συσκευή τηλεμετρίας λόγω κατασκευής αποκλειστικά για το proof-of-concept έχει παροχή από θύρα **USB** αν και δύναται να δειχθεί τροφοδοσία και από μπαταρία. Για τους ερευνητικούς σκοπούς της εργασίας η βέλτιστη διάταξη περιλαμβάνει .

Μικροελεγκτές:

Το πιο σημαντικό συστατικό στοιχείο της τηλεμετρίας που υποβλήθηκε σε περαιτέρω ανάπτυξη κατά τη δεκαετία του 1990 ήταν ο μικροελεγκτής. Συχνά αναφέρονται ως "μικροεπεξεργαστές", αυτά τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα αρχικά έκαναν πολύ περισσότερα από το να εκτελούν μια προπρογραμματισμένη σειρά εντολών[2].

Οι μικροελεγκτές είναι κρίσιμοι για τα συστήματα τηλεμετρίας λόγω της πολυδιάστατης φύσης τους και των εξαιρετικών χαρακτηριστικών τους. Ορισμένες γενικές πτυχές των μικροελεγκτών συμβάλλουν καταλυτικά στην αποτελεσματικότητα των συστημάτων τηλεμετρίας.

- **Υψηλή Επεξεργαστική Ισχύ:** Οι μικροελεγκτές διαθέτουν ισχυρούς επεξεργαστές που επιτρέπουν την εκτέλεση πολύπλοκων υπολογισμών και αλγορίθμων, κάτι που είναι κρίσιμο στα συστήματα τηλεμετρίας που απαιτούν ανάλυση και επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.
- **Χαμηλή Κατανάλωση Ενέργειας:** Οι περισσότεροι μικροελεγκτές είναι σχεδιασμένοι για χαμηλή κατανάλωση ενέργειας, κάτι που είναι ουσιώδες στα συστήματα τηλεμετρίας που λειτουργούν με μπαταρίες ή ενέργεια από ανανεώσιμες πηγές.
- **Ενσωματωμένα Περιφερειακά:** Οι μικροελεγκτές συχνά διαθέτουν πληθώρα ενσωματωμένων περιφερειακών όπως ADCs, GPIOs, και συνδεσιμότητα για αισθητήρες και επικοινωνία με άλλες συσκευές. Αυτό εξασφαλίζει τη συνδεσιμότητα και τη δυνατότητα ελέγχου για τηλεμετρία.
- **Ευέλικτη Προγραμματισμός:** Οι μικροελεγκτές μπορούν να προγραμματιστούν για να εκτελούν ποικίλες λειτουργίες, ανάλογα με τις ανάγκες του συστήματος τηλεμετρίας. Αυτό επιτρέπει την προσαρμογή τους σε διάφορες εφαρμογές.
- **Αξιοπιστία και Ανθεκτικότητα:** Οι μικροελεγκτές είναι γνωστοί για την αξιοπιστία και την ανθεκτικότητά τους, ιδιότητες που είναι απαραίτητες για τη λειτουργία σε δύσκολες συνθήκες στα συστήματα τηλεμετρίας.

Συνοψίζοντας, οι μικροελεγκτές είναι καθοριστικοί για τα συστήματα τηλεμετρίας λόγω της ισχύος, της αποδοτικότητας και της ευελιξίας τους. Αυτά τα χαρακτηριστικά τους εξασφαλίζουν την αξιόπιστη λειτουργία των συστημάτων τηλεμετρίας, ανεξάρτητα από τις απαιτήσεις και το περιβάλλον της εφαρμογής.

Πομποδέκτες:

Οι πομποδέκτες (RF transmitters) αποτελούν σημαντικό στοιχείο στα συστήματα τηλεμετρίας για τα drones. Ας εξετάσουμε μερικά σημεία σχετικά με τους ραδιοσυχνοτικούς πομπούς και ποιοι είναι οι καλύτεροι για τα συστήματα τηλεμετρίας στα drones.

- **Συχνότητα λειτουργίας:** Η επιλογή της συχνότητας λειτουργίας εξαρτάται από τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Για τα drones, συνήθως χρησιμοποιούνται συχνότητες UHF (Ultra High Frequency) ή 2.4GHz, καθώς παρέχουν μεγάλη εμβέλεια και αξιόπιστη επικοινωνία.
- **Ισχύς Εξόδου:** Η ισχύς εξόδου του πομπού είναι κρίσιμη για την εμβέλεια του σήματος. Σε drones, συνήθως χρησιμοποιούνται RF πομποί με μεταβλητή ισχύ που επιτρέπει τη ρύθμιση ανάλογα με το περιβάλλον και τις απαιτήσεις.
- **Κατάλληλο Πρωτόκολλο:** Το πρωτόκολλο επικοινωνίας (όπως το LoRa, το WiFi, το Bluetooth, κλπ.) πρέπει να είναι συμβατό με τον εξοπλισμό του drone και την υποδομή της τηλεμετρίας. Για μεγαλύτερη εμβέλεια, συνήθως επιλέγονται πρωτόκολλα όπως το LoRa.

- **Ασφάλεια Επικοινωνίας:** Στα συστήματα τηλεμετρίας για drones, η ασφάλεια της επικοινωνίας είναι κρίσιμη. Επιλέγοντας πομπούς με υψηλά επίπεδα ασφάλειας, μπορείτε να προστατεύσετε τα δεδομένα και τον έλεγχο του drone από ανεπιθύμητες επεμβάσεις.
- **Συμβατότητα και Αξιοπιστία:** Είναι σημαντικό να επιλέξετε πομπούς που είναι συμβατοί με τον εξοπλισμό του drone και που παρέχουν υψηλή αξιοπιστία επικοινωνίας, ακόμη και σε αντικείμενα που μπορεί να εμποδίζουν το σήμα.

Στον τομέα της τηλεμετρίας για drones, η επιλογή των κατάλληλων ραδιοσυχνοτικών πομπών εξαρτάται από τις ανάγκες του συγκεκριμένου συστήματος. Είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη οι παραπάνω παράμετροι για να εξασφαλιστεί αξιόπιστη και αποτελεσματική τηλεμετρία. Στην παρούσα εργασία επιλέχθηκε ένα σύστημα rf-transceiver, δηλαδή πομποδέκτη, Wi-Fi (2.4GHz).

Το πρωτόκωλο Wi-Fi παρόλο που δεν προσφέρει μεγάλη εμβέλεια χρησιμοποιήθηκε ξεκάθαρα για την ανάγκες δημιουργίας ενός συστήματος proof-of-concept το οποίο θα αναφερθεί και παρακάτω. Κατά συνέπεια, η επιλογή του Wi-Fi για τηλεμετρία σε ένα drone πρέπει να γίνει λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες της εφαρμογής και τις συνθήκες λειτουργίας. Παρ' όλα αυτά κάποια από τα θετικά σημεία είναι τα εξής:

- **Υψηλή Ταχύτητα Δεδομένων:** Το Wi-Fi υποστηρίζει υψηλές ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, που είναι σημαντικές για τηλεμετρία και τη μετάδοση ζωντανής εικόνας από το drone στον χειριστή.
- **Ευκολία Χρήσης:** Το Wi-Fi είναι ευρέως διαδεδομένο και κατανοητό από πολλούς χρήστες, κάτι που καθιστά εύκολο τον χειρισμό του από τον πιλότο του drone.
- **Καλή Εμβέλεια:** Το Wi-Fi μπορεί να παρέχει αξιόπιστη επικοινωνία σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις, ανάλογα με τον εξοπλισμό και το περιβάλλον.
- **Ευελιξία Συχνότητας:** Οι συσκευές Wi-Fi μπορούν να λειτουργούν σε διάφορες συχνότητες, συμπεριλαμβανομένων των 2.4 GHz και 5 GHz, επιτρέποντας την επιλογή της κατάλληλης συχνότητας για το περιβάλλον και τις ανάγκες της τηλεμετρίας.
- **Συμβατότητα με Συσκευές:** Το Wi-Fi είναι συμβατό με πολλές συσκευές, συμπεριλαμβανομένων των smartphones και tablets, που επιτρέπουν την εύκολη σύνδεση και έλεγχο του drone.

Αισθητήρια:

Οι αισθητήρες έχουν κρίσιμο ρόλο στα συστήματα τηλεμετρίας, παρέχοντας τον τρόπο για τη συλλογή δεδομένων από το φυσικό κόσμο και τη μετάδοσή τους σε απομακρυσμένη τοποθεσία για παρακολούθηση, ανάλυση ή έλεγχο. Πρόκειται για την ραχοκοκαλιά όλων των συστημάτων παρακολούθησης/τηλεμετρίας. Γενικά οι συνεισφορές των αισθητήρων σε συστήματα τηλεμετρίας είναι οι εξής:

- **Συλλογή Δεδομένων:** Οι αισθητήρες χρησιμοποιούνται για την καταγραφή ποικίλων φυσικών παραμέτρων, όπως θερμοκρασία, πίεση, υγρασία, κίνηση, φωτεινότητα, ήχος, και άλλα. Μετατρέπουν αυτά τα αναλογικά ή ψηφιακά μετρήματα σε ηλεκτρικά σήματα που μπορούν να επεξεργαστούν και να μεταδοθούν.
- **Πραγματικού Χρόνου Παρακολούθηση:** Τα συστήματα τηλεμετρίας συνήθως απαιτούν δεδομένα σε πραγματικό χρόνο ή πραγματικής πλησιάζουσας χρονικής απόκρισης για την παρακολούθηση και τον έλεγχο.

- **Ασύρματη Μετάδοση:** Οι αισθητήρες μπορούν να συνδεθούν ασύρματα με το κεντρικό σύστημα τηλεμετρίας, επιτρέποντας τη μετάδοση των δεδομένων μέσω ραδιοκυμάτων, δορυφόρους, ή άλλα ασύρματα μέσα επικοινωνίας.
- **Ανάλυση και Αποθήκευση:** Τα δεδομένα από τους αισθητήρες αναλύονται, συχνά με χρήση μικροελεγκτών, και αποθηκεύονται για μελλοντική αναφορά ή ανάλυση.
- **Συνδυασμός με Άλλες Λειτουργίες:** Οι αισθητήρες μπορούν να συνδυαστούν με άλλες λειτουργίες του συστήματος τηλεμετρίας, όπως οι ενσωματωμένοι μικροελεγκτές, για την παροχή νέων δυνατοτήτων και λειτουργιών.

Οι αισθητήρες αποτελούν τη βάση για τη συγκέντρωση πληροφοριών σε τηλεμετρικά συστήματα, προσφέροντας πολύτιμα δεδομένα που επιτρέπουν τον έλεγχο, την παρακολούθηση και τη λήψη αποφάσεων σε ποικίλες εφαρμογές, από την επιστημονική έρευνα έως τη βιομηχανία και την υγεία.

GPS:

Το GPS (Σύστημα Παγκόσμιας Εντοπισμού) αποτελεί ισχυρό εργαλείο στα συστήματα τηλεμετρίας, καθώς παρέχει τη δυνατότητα προσδιορισμού της ακριβούς θέσης και της ταχύτητας αντικειμένων σε πραγματικό χρόνο.

- **Το Δορυφορικό Δίκτυο:** Το GPS αποτελείται από περίπου 30 δορυφόρους που κινούνται σε ορισμένες τροχιές γύρω από τη Γη. Οι τροχιές αυτές επιλέγονται με προσοχή, ώστε να εξασφαλίζεται η κάλυψη όλου του πλανήτη και η ακρίβεια των μετρήσεων.
- **Τρία Δορυφορικά Σήματα:** Κάθε δορυφόρος εκπέμπει τρία σήματα στο διάστημα, τα οποία λαμβάνονται από τον δέκτη στη γη. Τα σήματα αυτά είναι γνωστά ως L1, L2 και L5. Καθένα από αυτά τα σήματα έχει διαφορετικές εφαρμογές και χρήσεις.
- **Χρονικό Συγχρονισμό:** Η κύρια λειτουργία του GPS βασίζεται στον χρονικό συγχρονισμό. Ο δέκτης λαμβάνει τα σήματα από τους δορυφόρους και χρησιμοποιεί τον χρόνο που απαιτείται για να φτάσουν τα σήματα στον δέκτη για να υπολογίσει την ακριβή θέση του.
- **Δέκτες πολλαπλών διεργασιών(multi-function):** Οι σύγχρονοι δέκτες GPS είναι εξαιρετικά ακριβείς και ευαίσθητοι. Μπορούν να λαμβάνουν σήματα ακόμα και σε δύσκολες συνθήκες, όπως σε αστικά περιβάλλοντα ή κάτω από δέντρα.
- **Εφαρμογές στην Επιστήμη:** Το GPS χρησιμοποιείται ευρέως στην επιστημονική έρευνα για την παρακολούθηση της κίνησης των φυσικών φαινομένων, όπως της τεκτονικής διακύμανσης και της κλιματικής αλλαγής.
- **Εφαρμογές στην Βιομηχανία:** Στη βιομηχανία, το GPS χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της τοποθεσίας και της κίνησης οχημάτων και αγαθών στην αλυσίδα εφοδίων.

Το gps χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία για να παρέχει τον στίγμα που θα είχε ένα drone στο χάρτη

1.3 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρθηκαν επι γραμματικά τα βασικά σημεία που συνιστούν ένα σύστημα τηλεμετρίας καθώς και ποιά από αυτά χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία . Αναφέρθηκαν επιγραμματικά οι λειτουργίες του κάθε υποσυστήματος με σκόπο την αναλυτική τους λειτουργία στο επόμενο κεφάλαιο, που θα παρουσιάζονται επί της ουσίας :

- Τα αισθητήρια που χρησιμοποιήθηκαν,
- Τα πρωτόκολλα επικοινωνίας που απαιτούνται για την επικοινωνία με τον μικροελεγκτή ,
- Τα μεγέθη που μετρήθηκαν καθώς και
- Το πρωτόκολλο επικοινωνίας της τηλεμετρίας .

Κεφάλαιο 2ο: Ανάλυση Υλικού/Λογισμικού

2.1 Ενσωματωμένο σύστημα της ST microelectronics

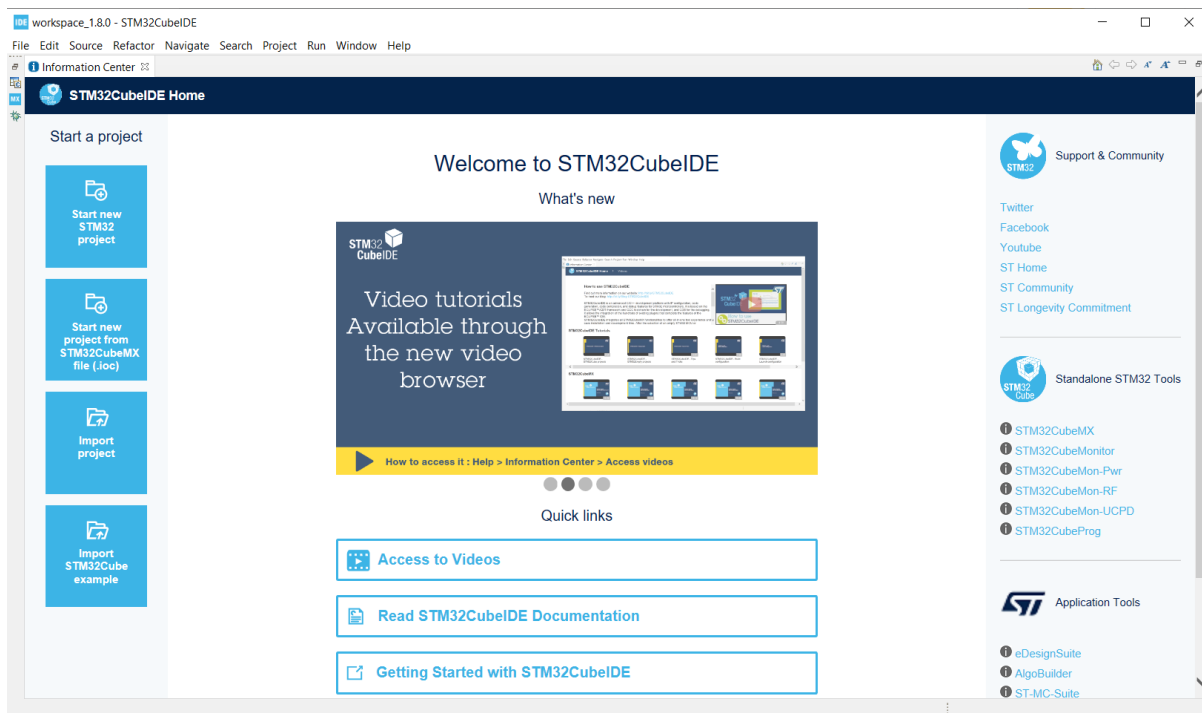
Για την επίτευξη του σκοπού της εργασίας δηλαδή την δειγματοληψία δεδομένων από διάφορα αισθητήρια με σκοπό την δημιουργία ενός συστήματος τηλεμετρίας, χρησιμοποιήθηκε ένα ενσωματωμένο της εταιρείας ST-microelectronics.

Η STMicroelectronics είναι ένας κορυφαίος κατασκευαστής ηλεκτρονικών εξαρτημάτων και ημιαγωγών με εξαιρετική φήμη στον χώρο της τεχνολογίας[3]. Υπάρχουν πολλοί λόγοι για τους οποίους κάποιος μπορεί να προτιμά τα προϊόντα της STMicroelectronics.Συνοπτικά αναφέρουμε μερικούς παρακάτω:

- **Υψηλή Ποιότητα:** Η STMicroelectronics είναι γνωστή για την υψηλή ποιότητα των προϊόντων της. Οι συσκευές και οι ημιαγωγοί της εταιρείας είναι αξιόπιστοι και συχνά χρησιμοποιούνται σε κρίσιμες εφαρμογές.
- **Καινοτομία:** Η STMicroelectronics επενδύει σε έρευνα και ανάπτυξη και κυκλοφορεί συχνά καινοτόμα προϊόντα. Οι πελάτες της εταιρείας έχουν πρόσβαση σε τεχνολογίες και λύσεις που προηγούνται στον χρόνο.
- **Ευρεία Ποικιλία Προϊόντων:** Η STMicroelectronics προσφέρει μια ευρεία γκάμα προϊόντων, συμπεριλαμβανομένων μικροελεγκτών, αισθητήρων, ηλεκτρονικών εξαρτημάτων ενέργειας, και πολλών άλλων. Αυτή η ποικιλία επιτρέπει στους πελάτες να επιλέγουν τα κατάλληλα εξαρτήματα για τις ανάγκες τους.
- **Υποστήριξη και Οικοσύστημα:** Η STMicroelectronics παρέχει ολοκληρωμένη υποστήριξη στους πελάτες της, συμπεριλαμβανομένων εργαλείων ανάπτυξης και τεκμηρίωσης. Επιπλέον, η εταιρεία έχει ένα εκτεταμένο οικοσύστημα προγραμματιστών και κοινότητα που μπορεί να υποστηρίξει τους πελάτες στην ανάπτυξη καινοτόμων εφαρμογών.
- **Αξιοπιστία και Εμπειρία:** Η STMicroelectronics έχει πολυετή εμπειρία στην αγορά της ηλεκτρονικής. Οι πελάτες της εμπιστεύονται την εταιρεία για τη σταθερή απόδοση και την τεχνογνωσία της

Στην παρούσα εργασία η st προτιμήθηκε μιας και το περιβάλλον συγγραφής κώδικα STM32-CUBEIDE ενσωματώνει όλες της απαραίτητες λειτουργίες που πρέπει να φέρει ένα περιβάλλον φιλικό προς το χρήστη/προγραμματιστή.

Το περιβάλλον του CUBEIDE απεικονίζεται παρακάτω:



Σχημα 3 Το περιβάλλον STM32CubeIDE[4].

Πρόκειται για ένα eclipse-based περιβάλλον που έχει κληρονομήσει όλες τις λειτουργίες του, αρκετά φιλικό προς τον μέσο χρήστη, πράγμα που αποτελεί και τον κύριο λόγο χρήσης του στην εργασία.

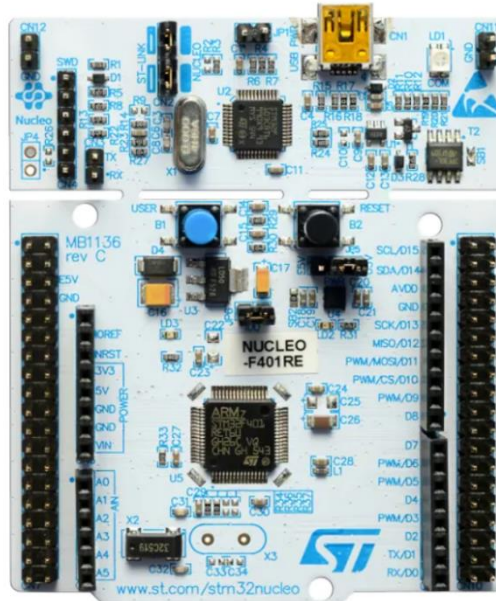
Από της δημιουργία ενός st-based project μέχρι και την δημιουργία κώδικα για drivers των περιφερειακών του εκάστοτε ενσωματωμένου συστήματος που χρησιμοποιήτε το Cube αναλαμβάνει εξ' ολοκλήρου τα ηνία μιας και βασίζει την παραγωγή κώδικα του στην βιβλιοθήκη HAL της st για την οποία θα γίνει λόγος στα επόμενα κεφάλαια. Εντούτις το μόνο που αφήνει στα χέρια του προγραμματιστή είναι η συγγραφή κώδικα υψηλού επιπέδου μιας και όλοι οι οδηγοί(drivers) χαμηλού επιπέδου είναι γραμμένοι από την st.

2.2 Ενσωματωμένο σύστημα Nucleo- F401RE

Το αναπτυξιακό που επιλέξαμε για την συγγραφή του κώδικα που θα είναι η ροχοκοκαλιά του συστήματος τηλεμετρίας είναι το **Nucleo-F401RE** που απεικονίζεται στο σχήμα 3

Βασικά Χαρακτηριστικά:

- **Επεξεργαστής:** ARM Cortex-M4 στα 84 MHz, για υψηλή απόδοση και χαμηλή κατανάλωση ενέργειας.
- **Μνήμη:** 512KB Flash και 96KB RAM, για την αποθήκευση και εκτέλεση προγραμμάτων.
- **Συνδεσιμότητα:** Διαθέτει USB, UART, SPI, I2C, και GPIO που επιτρέπουν την επικοινωνία με ποικίλες συσκευές και αισθητήρες. Ουσιαστικά περιέχει κάθε πρωτόκολλο που θα χρησιμοποιηθεί για τους σκοπούς τις εργασίες.
- **Διεπαφές:** Υποστηρίζει διάφορες διεπαφές όπως Ethernet, Wi-Fi, και Bluetooth για τη σύνδεση με δίκτυα τηλεμετρίας.



Σημα 4 Το αναπτυξιακό Nucleo-F401RE

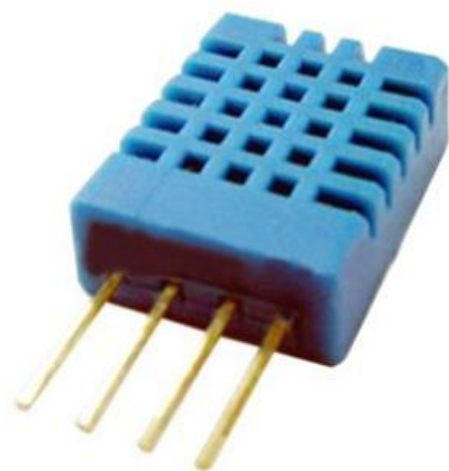
Αποτελεί τον κεντρικό πυρήνα για την ανάπτυξη του συστήματος τηλεμετρίας που πραγματεύεται το θέμα της εργασίας. Τα πλεονεκτήματα του αναπτυξιακού αυτού αναφέρονται επιγραμματικά παρακάτω:

- **Υψηλή Απόδοση:** Ο ενσωματωμένος ARM Cortex-M4 επεξεργαστής παρέχει υψηλή απόδοση, επιτρέποντας τη γρήγορη επεξεργασία δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.
- **Συνδεσιμότητα:** Το Nucleo-401RE διαθέτει πολλές διεπαφές επικοινωνίας, όπως USB, Ethernet, Wi-Fi και Bluetooth, που επιτρέπουν τη σύνδεση με δίκτυα τηλεμετρίας και άλλες συσκευές.
- **Αξιοπιστία:** Η STMicroelectronics είναι γνωστή για την υψηλή ποιότητα των μικροελεγκτών της, εξασφαλίζοντας αξιόπιστη λειτουργία στα συστήματά σας.

2.3 Αισθητήριο θερμοκρασίας/υγρασίας

Μέρος κάθε συστήματος τηλεμετρίας πρέπει να αποτελεί, μια διάταξη ικανή να προσφέρει σε πραγματικό χρόνο, δεδομένα σχετικά με τις περιβαλλοντικές συνθήκες στις οποίες υπόκειται το εκάστοτε σύστημα. Στην πτυχιακή εργασία χρησιμοποιήθηκε ένα αισθητήριο ικανό να προσφέρει ταυτόχρονα τόσο δεδομένα θερμοκρασίας όσο και υγρασίας. Το αισθητήριο αυτό είναι το dht11 της ASAIR.

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας και υγρασίας DHT11 διαθέτει έναν σύνθετο αισθητήρα θερμοκρασίας και υγρασίας με ψηφιακή έξοδο σήματος που έχει βαθμονομηθεί.[5]. Χρησιμοποιώντας την τεχνική απόκτησης ψηφιακού σήματος και την τεχνολογία ανίχνευσης θερμοκρασίας και υγρασίας, εξασφαλίζει υψηλή αξιοπιστία και εξαιρετική μακροπρόθεσμη σταθερότητα. Αυτός ο αισθητήρας περιλαμβάνει έναν αισθητήρα υγρασίας τύπου αντίστασης και έναν αισθητήρα θερμοκρασίας NTC και συνδέεται σε έναν υψηλής απόδοσης 8-bit μικροελεγκτή, προσφέροντας εξαιρετική ποιότητα, γρήγορη απόκριση, ανθεκτικότητα στην παρεμβολή και αποδοτικότητα σε κόστος.



Σχημα 5 Το αισθητήριο dht11

Από την μελέτη του datasheet διαπιστώνουμε κάποια σοβαρά πλεονεκτήματα στην χρήση ενός ψηφιακού αισθητήρα μέτρησης θερμοκρασίας-υγρασίας:

1. **Ακρίβεια:** Ανταποκρινόμενο στις απαιτήσεις της εποχής για υψηλή ακρίβεια σε χαμηλό κόστος το dht11 είναι ικανό να μετρήσει με ακρίβεια 1°C και $\pm 5\% \text{RH}$.
2. **Εύρος:** Το dht11 είναι σε θέση να μετρήσει από 20-90% RH και από 0-50 $^{\circ}\text{C}$ θερμοκρασία.
3. **Επαναληψιμότητα:** Ίσως το πιο σημαντικό κριτήριο για ένα αισθητήριο είναι αυτό της επαναληψιμότητας, δηλαδή η ικανότητα του αισθητηρίου να δειγματοληπτεί επανηλημένα με όσο το δυνατόν μικρότερες αποκλίσεις από μέτρηση σε μέτρηση.
Το dht11 έχει επαναληψιμότητα $\pm 1\% \text{RH}$ και 1°C

Πρόκειται για αρκετά ικανοποιητικά μεγέθη για να εξυπηρετήσουν τους σκοπούς της εργασίας μια και το αισθητήριο θα προσφέρει μια εικόνα των περιβαλλοντικών συνθηκών και όχι αναλυτικές μελέτες και προβλέψεις σε σχέση με τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιεί το dht11 για να επικοινωνήσει με ένα σύστημα μικροελεγκτή είναι το one-wire και περιγράφεται παρακάτω

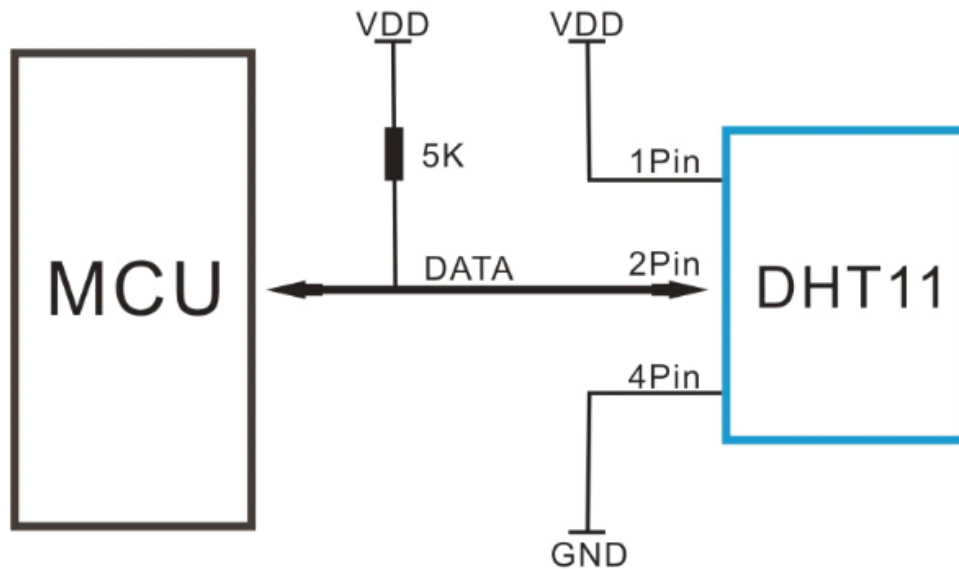
2.3.1 Πρωτόκολλο επικοινωνίας 1-Wire

Το πρωτόκολλο "One-Wire" είναι ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων και την επικοινωνία με συσκευές που συνδέονται με ένα μόνο καλώδιο. Αυτό το πρωτόκολλο είναι εξαιρετικά αποδοτικό και εύκολο στη χρήση, καθιστώντας το ιδανικό για διάφορες εφαρμογές, όπως αισθητήρες, μνήμες και άλλες συσκευές.

Το βασικό χαρακτηριστικό του πρωτοκόλλου One-Wire είναι ότι όλες οι συσκευές που χρησιμοποιούν αυτό το πρωτόκολλο μοιράζονται τον ίδιο δίαυλο επικοινωνίας. Κάθε συσκευή έχει ένα μοναδικό 64-bit πρωτόκολλο που την αναγνωρίζει, επιτρέποντας τη διάκριση μεταξύ διαφορετικών συσκευών στον ίδιο δίαυλο.

Οι συσκευές που χρησιμοποιούν το πρωτόκολλο One-Wire μπορούν να τροφοδοτούνται με ενέργεια από τον ίδιο τον δίαυλο επικοινωνίας, εξοικονομώντας έτσι την ανάγκη για επιπλέον ενεργοποίηση. Επιπλέον, η επικοινωνία με τις συσκευές One-Wire γίνεται με τη χρήση πρωτοκόλλου σειριακής

επικοινωνίας, πράγμα που την καθιστά απλή στην υλοποίηση και στη χρήση. Στο σχήμα 4 απεικονίζεται ο τρόπος διασύνδεσης του dht11 .



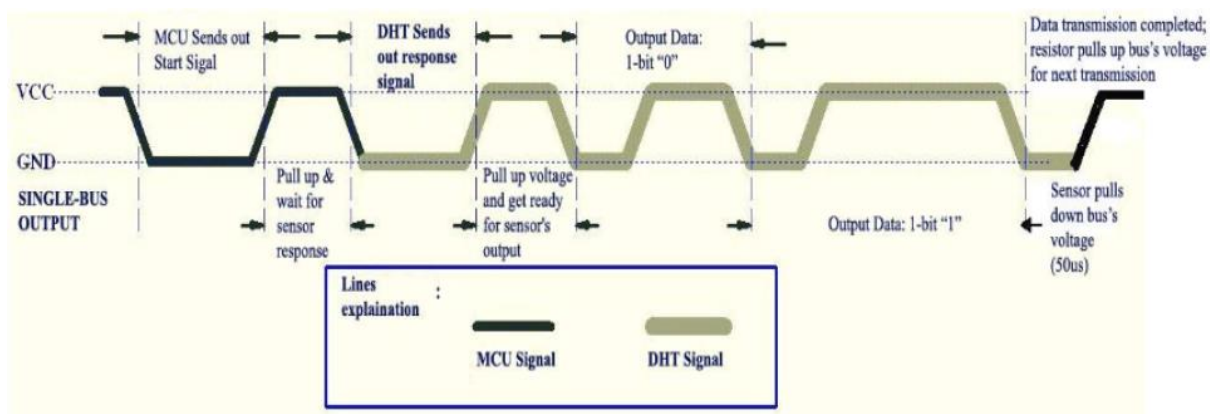
Σχημα 6 Διασύνδεση μέσω pull-up αντίστασης σε μικροελεγκτή.

2.3.2 Επικοινωνία αισθητηρίου -Μικροελεγκτή.

Το πρωτόκολλο 1-wire χρησιμοποιείται για την επικοινωνία και τον συγχρονισμό μεταξύ της υπολογιστικής μονάδας (MCU) και του αισθητήρα DHT11. Ένας κύκλος επικοινωνίας διαρκεί περίπου 4ms. Τα δεδομένα αποτελούνται από δεκαδικό και ακέραιο μέρος. Μια πλήρης διαδικασία μετάδοσης δεδομένων αποτελείται από 40 bit, και ο αισθητήρας στέλνει το ψηφιακό μέρος πρώτα. Η δομή των δεδομένων είναι η εξής: 8 bit ακέραιο μέρος της υγρασίας + 8 bit δεκαδικό μέρος της υγρασίας + 8 bit ακέραιο μέρος της θερμοκρασίας + 8 bit δεκαδικό μέρος της θερμοκρασίας + 8 bit έλεγχος ακεραιότητας. Εάν η μετάδοση δεδομένων είναι σωστή, ο έλεγχος ακεραιότητας πρέπει να είναι τα τελευταία 8 bit της ακολουθίας "8 bit ακέραιο μέρος της υγρασίας + 8 bit δεκαδικό μέρος της υγρασίας + 8 bit ακέραιο μέρος της θερμοκρασίας + 8 bit δεκαδικό μέρος της θερμοκρασίας".

Όταν η MCU στέλνει ένα σήμα έναρξης, το DHT11 αλλάζει από τη λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας σε κανονική λειτουργία, περιμένοντας το MCU να ολοκληρώσει το σήμα έναρξης. Μόλις αυτό ολοκληρωθεί, το DHT11 στέλνει ένα σήμα απάντησης που περιλαμβάνει 40 bit δεδομένα που περιλαμβάνουν πληροφορίες σχετικά με τη σχετική υγρασία και τη θερμοκρασία στο MCU. Οι χρήστες μπορούν να επιλέξουν να συλλέξουν (διαβάσουν) ορισμένα δεδομένα. Χωρίς το σήμα έναρξης από το MCU, το DHT11 δεν θα στείλει το σήμα απάντησης στο MCU. Μόλις τα δεδομένα συλλεγούν, το DHT11 θα επιστρέψει στη λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας μέχρι να λάβει ξανά ένα σήμα έναρξης από το MCU.

Η διαδικασία της επικοινωνίας μεταξύ του dht11 και του MCU απεικονίζεται στο σχήμα 5.



Σχημα 7 Επικοινωνία μεταξύ MCU-DHT11

2.3.3 Προφίλ κατανάλωσης

Μιας και ένα σύστημα τηλεμετρίας όπως τονήσαμε και στην αρχή είναι αρκετά απαιτητικό ως προς τις καταναλώσεις, με την χρήση του dht11 έχουμε στην διάθεση μας ένα σύστημα με ικανοποιητικά χαμηλή κατανάλωση για τον χρόνο που δειγματοληπτεί το αισθητήριο μας.

Το προφίλ ισχύος φαίνεται στο σχήμα 6.

	Conditions	Minimum	Typical	Maximum
Power Supply	DC	3V	5V	5.5V
Current Supply	Measuring	0.5mA		2.5mA
	Average	0.2mA		1mA
	Standby	100uA		150uA
Sampling period	Second	1		

Σχημα 8 Προφίλ κατανάλωσης του αισθητήρα dht11.

Όπως παρατηρούμε κατά την διάρκεια δειγματοληψίας το αισθητήριο καταναλώνει περί τα 0.5mA μέγεθος αρκετά ικανοποιητικό αν σκεφτούμε πως το αισθητήριο μένει ανοιχτο για χρόνο 4mSec και μικρότερο αυτό αμέσως μας δίνει μια εκτίμηση της κατανάλωσης από το αισθητήριο:

$$I_{mA} = 0.5mA * 4mSec = 2mA$$

Το ρεύμα αυτό απευθύνεται σε κάθε κύκλο μέτρησης . Πράγμα που σημαίνει πως αν η εφαρμογή θέλει στην ώρα να μετρά 60 κύκλους ανά ώρα λόγω των μικρών μεταβολών θερμοκρασίας ως προς τον χρόνο:

$$I_{mA} = 60 * 2mA = 120mAh$$

Ανάλογα με τις απαιτήσεις του συστήματος σε κατανάλωση ρεύματος ο χρήστης ή και το ίδιο το σύστημα δύναται να μειώσει το ρεύμα αυτό.

2.4 Γυροσκόπιο και μέτρηση κλίσης

Μεγάλο μέρος της τηλεμετρίας ενός drone αποτελείται από τις μετρήσεις που αφορούν ταχύτητα και κλίση . Μιας και με την χρήση του gps ο χρήστης μπορεί να αποκτήσει μια ακριβή μέτρηση

ταχύτητας του drone , οι πιο κρίσιμες μετρήσεις για τον σκοπό της εργασίας είναι αυτές των μετρήσεων κλίσεις στον τρισδιάστατο χώρο.

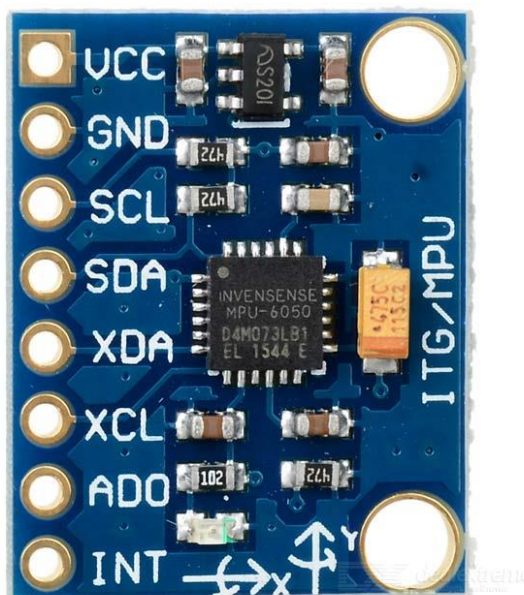
Τα γυροσκόπια είναι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται ευρέως στον κόσμο των drones και τηλεμετρίας. Αυτοί οι αισθητήρες μετρούν την γωνιακή ταχύτητα ή τον ρυθμό περιστροφής ενός αντικειμένου και παρέχουν κρίσιμες πληροφορίες για την πλοήγηση και τον έλεγχο των drones.

Τα γυροσκόπια λειτουργούν βάσει της αρχής της διατήρησης της ορμής, μετρώντας την αλλαγή της γωνιακής ταχύτητας σε σχέση με τον χρόνο. Αυτές οι πληροφορίες είναι απαραίτητες για τον έλεγχο του κλειστού βρόχου του drone, επιτρέποντάς του να διατηρεί την σταθερότητα και την ακρίβεια κατά την πτήση του.

Στον τομέα της τηλεμετρίας, τα γυροσκόπια παρέχουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την περιστροφή του drone. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της γωνιακής θέσης, την αποτίμηση του προσανατολισμού και την ακριβή πλοήγηση του drone. Επίσης, οι γυροσκόποι είναι συχνά απαραίτητοι για την σταθεροποίηση της κάμερας σε ένα drone, εξασφαλίζοντας την καλή ποιότητα των εικόνων και των βίντεο κατά την πτήση.

2.4.1 Αισθητήρας MPU-60X0

Για τον σκοπό της πτυχιακής χρησιμοποιήθηκε ένας αισθητήρας της InvenSense[7] , της οικογένειας MPU-60X0. Το MPU-60X0 είναι το πρώτο ενσωματωμένο 6-αξόνων συσκευή MotionTracking που συνδυάζει ένα γυροσκόπιο 3-αξόνων, ένα επιταχυνσιόμετρο 3-αξόνων και έναν ψηφιακό επεξεργαστή κίνησης (DMP). Με τον αφιερωμένο δίαυλο αισθητήρα I2C. Η συσκευή MotionTracking MPU-60X0, με την ένταξη της 6-άξονων, την ενσωματωμένη λογική MotionFusion™ και το λογισμικό βαθμονόμησης κατά τη λειτουργία, επιτρέπει στους κατασκευαστές να εξαλείψουν την κοστοβόρα και περίπλοκη επιλογή, πιστοποίηση και ενσωμάτωση σε επίπεδο συστήματος αυτόνομων συσκευών, εξασφαλίζοντας βέλτιστη απόδοση κίνησης για τους καταναλωτές.



Σχημα 9 Αισθητήριο 6-αξόνων βασισμένο στο MPU-6050

2.4.2 Χαρακτηριστικά MPU-60X0

Το MPU-60X0 διαθέτει τρεις αναλογικού-ψηφιακού σηματος μετατροπείς (ADCs) 16 bit για την ψηφιοποίηση των εξόδων του γυροσκοπίου και τρεις ADCs 16 bit για την ψηφιοποίηση των εξόδων του επιταχυνσιόμετρου. .

Για την ακριβή παρακολούθηση τόσο γρήγορων όσο και αργών κινήσεων, τα εξαρτήματα διαθέτουν επιλέξιμο εύρος πλήρους κλίμακας γυροσκοπίου από ± 250 , ± 500 , ± 1000 και $\pm 2000^\circ$ ανά δευτερόλεπτο (dps) και επιλέξιμο εύρος πλήρους κλίμακας επιταχυνσιόμετρου από $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ και $\pm 16g$.

Ένας ενσωματωμένος buffer FIFO 1024 Byte συμβάλλει στη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας του συστήματος, επιτρέποντας στον επεξεργαστή του συστήματος να διαβάζει τα δεδομένα αισθητήρα σε πακέτα και στη συνέχεια να εισέρχεται σε λειτουργία χαμηλής κατανάλωσης ενώ το MPU συλλέγει περισσότερα δεδομένα. Με όλα τα απαραίτητα ενσωματωμένα επεξεργαστικά και αισθητήρες που απαιτούνται για να υποστηρίξουν πολλές εφαρμογές βασισμένες σε κίνηση, το MPU-60X0 επιτρέπει με μοναδικό τρόπο εφαρμογές χαμηλής κατανάλωσης MotionInterface σε φορητές συσκευές με μειωμένες απαιτήσεις επεξεργασίας για τον επεξεργαστή του συστήματος. Παρέχοντας μια ενσωματωμένη έξοδο MotionFusion, ο DMP στο MPU-60X0 εκτελεί τις απαιτητικές υπολογιστικές απαιτήσεις MotionProcessing από τον επεξεργαστή του συστήματος, ελαχιστοποιώντας την ανάγκη για συχνό δειγματοληψία (Polling) της έξοδου του αισθητήρα κίνησης.

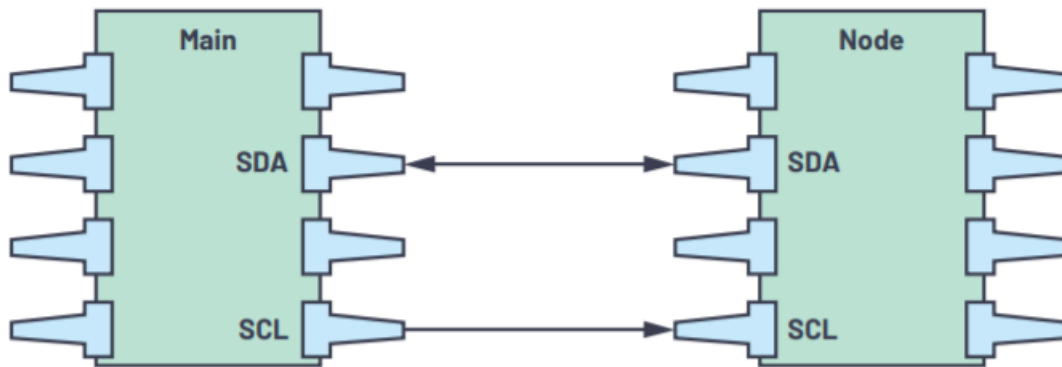
- Συνοπτικά τα οφέλη που προσφέρει αυτό το αισθητήριο παρατίθενται παρακάτω:
- Ψηφιακοί αισθητήρες γωνιακής ταχύτητας (γυροσκόπια) με ψηφιακή έξοδο για τους άξονες X, Y και Z, με επιλέξιμο εύρος πλήρους κλίμακας από ± 250 , ± 500 , ± 1000 και $\pm 2000^\circ$ /δευτερόλεπτο.
- Εξωτερικό σήμα συγχρονισμού που συνδέεται στον ακροδέκτη FSYNC και υποστηρίζει τον συγχρονισμό εικόνας, βίντεο και GPS. Ενσωματωμένοι μετατροπείς ADC 16 bit επιτρέπουν την ταυτόχρονη δειγματοληψία των γυροσκοπίων.
- Βελτιωμένη σταθερότητα θερμοκρασίας παραμόρφωσης και ευαισθησίας, μείωντας την ανάγκη για βαθμονόμηση από τον χρήστη.
- Βελτιωμένη απόδοση θορύβου σε χαμηλές συχνότητες.
- Ψηφιακά προγραμματιζόμενο χαμηλοπερατό φίλτρο.
- Ρεύμα λειτουργίας γυροσκοπίου: 3,6mA. Λειτουργία αναμονής: 5μΑ.
- Εργοστασιακά βαθμονομημένος παράγοντας κλίμακας ευαισθησίας. Αυτοδιάγνωση από τον χρήστη.

Παρατηρούμε ότι και το γυροσκόπιο που επιλέχθηκε έχει μικρές απαιτήσεις σε ρεύμα.καθώς το ρεύμα λειτουργίας ορίζεται στα 3.6mA .

2.4.3 Πρωτόκολλο επικοινωνίας I2C

Το MPU-60X0 επικοινωνεί με έναν επεξεργαστή συστήματος χρησιμοποιώντας είτε μια διασύνδεση SPI (μόνο για το MPU-6000) είτε μια διασύνδεση I2C. Το MPU-60X0 λειτουργεί πάντα ως υποδοχέας (slave) κατά την επικοινωνία με τον επεξεργαστή του συστήματος. Το λιγότερο σημαντικό ψηφίο της διεύθυνσης slave του I2C καθορίζεται από τον ακροδέκτη 9 (AD0).

Πρόκειται για ένα πρωτόκολλο επικοινωνίας με μέγιστη ταχύτητα μετάδοσης τα 3.4Mbps πολύ απλό στην χρήση του καθώς μπορεί να υλοποιήσει έναν δίαυλο επικοινωνίας με 2 ακροδέκτες. Το βασικό πλεονέκτημα του I2C είναι ότι μπορεί να συνδέσει πολλούς master με πολλούς slave για αυτό τον λόγο αποκαλείται και multi-master.

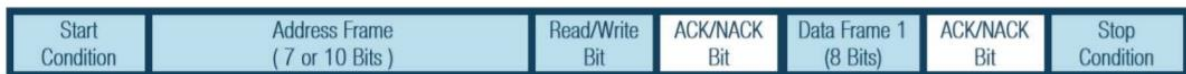


Σχημα 10 Επικοινωνία master-slave(main-node) με χρήση 2 ακροδεκτών[8].

Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 8 οι δυο ακροδέκτες που χρειαζόμαστε για την επικοινωνία είναι:

- **SDA:** γραμμή μετάδοσης και λήψης δεδομένων(serial data) μεταξύ master-slave
- **SCL:** Είναι η γραμμή που μεταφέρει το σήμα ρολογιού. Δημιουργείται πάντοτε από τον master(main).

Ο τρόπος που αποστέλονται τα δεδομένα μέσα της γραμμής SDA απεικονίζεται στην εικόνα 9 καθώς δεν πρόκειται για μια απλή σειριακή μετάδοση.



Σχημα 11 Απλό αποστολή μηνύματος μέσω SDA[8].

- **Start Condition:**

Το όνομα της συνθήκης υποδηλώνει επί της ουσίας και την λειτουργία της. Μια συνθήκη εκκίνησης εμφανίζεται πάντα στην αρχή της μετάδοσης και αρχικοποιείται από την κύρια συσκευή. Πρόκειται για μια απλή μετάβαση της γραμμής SDA από HIGH→LOW όσο η γραμμή SCL είναι High ώστε να σηματοδοτήσει την αρχή μετάδοσης.

- **Address Frame:**

Ο master εν συνεχεία αποστέλει σε μήκος 7 ή 10 bit το address frame το οποίο , κάθε δέκτης το συγκρίνει στην συνέχεια με το δικό του address για να αποφανθεί αν ο master προσπαθεί να επικοινωνήσει μαζί του.

- **Read/Write:**

Καθορίζει αν ο slave είναι σε read ή write mode. Αν το R/W bit είναι λογικό “1” τότε πρόκειται για ανάγνωση ενώ αν είναι λογικό “0” μιλάμε για εγγραφή.

- **ACK/NCK:**

Στο πρωτόκολλο I2C είναι απαραίτητο ο δέκτης να αναγνωρίσει η όχι(ack/nck) κάθε byte που του αποστέλται.

- **Data Frame:**

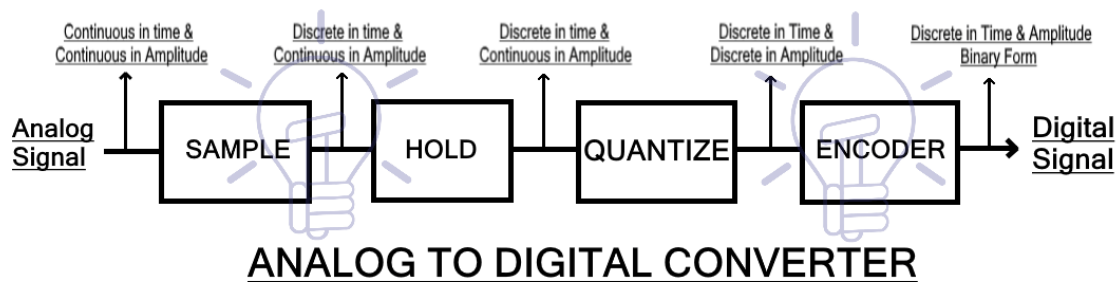
Αποτελεί το μήνυμα που θέλουμε να στείλουμε είναι 8 bit και το πρώτο bit είναι πάντα το MSB. Το data frame ακολουθείται από ένα ack/nck bit και η διαδικασία ολοκληρώνεται με ένα stop bit.

- **Stop Bit:**

Είναι η αντίθετη διαδικασία από αυτήν του start bit. Το sda μεταβαίνει από λογικό 0→1 για να ολοκληρωθεί η διαδικασία αποστολής.

2.4.4 Αναλογικές διατάξεις δειγματοληψίας

Πρόκειται για τις πιο σημαντικές διατάξεις από μεριάς αισθητηρίων καθώς είναι υπεύθυνες για την μετατροπή ενός αναλογικού μεγέθους σε ψηφιακό με σκοπό την ανάγνωση του από κάποια μονάδα επεξεργασίας.



Σχημα 12 Μπλοκ διάγραμμα λειτουργίας ενός ADC[9].

Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 11 υπάρχουν 4 βασικά κυκλώματα που διέπουν την λειτουργία ενός **adc** και εν συνεχεία θα αναλύσουμε τα κυκλώματα αυτά για την βέλτιστη κατανόηση μιας διάταξης που αποτελεί το κύριο πυλώνα της επεξεργασίας σήματος.

- **Sample**(Δειγματοληψία).

Είναι η πρώτη βαθμίδα δηλαδή η βαθμίδα εισόδου ενός adc. Η συγκεκριμένη βαθμίδα σε συνδυασμό με το δικτύωμα συγκράτησης (**hold**) έχουν τον ρόλο της δειγματοληψίας ενός αναλογικού σήματος και συγκρατεί την τιμή μέχρι να έρθει η επόμενη εντολή δειγματοληψίας .

- **Hold**(Συγκράτηση).

Το δικτύωμα συγκράτησης αφορά ουσιαστικά και την βαθμίδα που όπως αναφέραμε αποθηκεύει την δειγματοληπτούμενη τιμή μέχρι να έρθει η επόμενη εντολή δειγματοληψίας.

- **Quantize**(Κβάντιση).

Η διαδικασία της μετατροπής ενός σήματος από συνεχές σε διακριτό ονομάζεται κβάντιση. Την μετατροπή του δειγματοληπτούμενου σήματος που βρίσκεται στην βαθμίδα συγκράτησης αναλαμβάνει το δικτύωμα κβάντισης και το μετατρέπει από αναλογικό σε ψηφιακό.

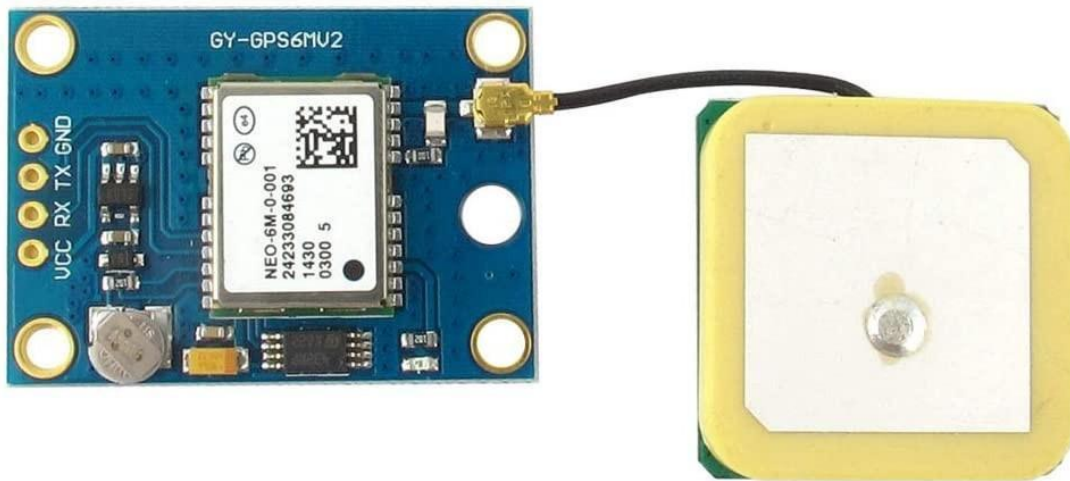
- **Encoder**(Κωδικοποιητής).

Όπως είναι γνωστό για την ανάγνωση ενός σήματος από ένα σύστημα μικροελεγκτή απαιτείται η αναπαράστασή υπό την μορφή του δυαδικού συστήματος. Έτσι η τελική βαθμίδα ενός κυκλώματος adc είναι ουσιαστικά υπεύθυνη για αυτήν την μετατροπή του ψηφιακού σήματος σε δυαδική μορφή.

2.5 GPS

Προκειμένου να μπορέσουμε να έχουμε σε πραγματικό χρόνο μετρήσεις σχετικές με την τοποθεσία του συστήματός μας επιλέχθηκε μια ολοκληρωμένη λύση gps . Το module με όνομα GY-NEO6MV2 είναι μια ολοκληρωμένη λύση παροχής υπηρεσιών gps με ενσωματωμένο socket για χρήση κεραίας.

Ο πυρήνας του GY-NEO6MV2 είναι το NEO-6M της u-blox. Το GY-NEO6MV2 απεικονίζεται στο σχήμα 12.



Σχήμα 13 GPS GY-NEO6MV2 με UFL υποδοχή για προσθήκη κεραίας.

Τα πιο σημαντικά χαρακτηριστικά του αναφέρονται παρακάτω [10]:

- Βασισμένο στον GPS module u-Blox NEO-6M με ενσωματωμένη εφεδρική μπαταρία και ενσωματωμένη EEPROM.
- Συνοδεύεται από εξωτερική κεραμική κεραία U.FL για καλύτερη λήψη σήματος.
- Συμβατό με διάφορες πλακέτες ελέγχου πτήσης που έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν με ένα GPS module, όπως οι APM2.0 και APM2.5, για να αναφέρουμε μερικές.
- Αυτό το module διαθέτει ενσωματωμένο ρυθμιστή τάσης και ορισμένες φορές αναφέρεται ως GY-GPS6MV2.
- Πλοήγηση με ευαισθησία κάτω από -162 dBm και -148 dBm κατά την κρύα εκκίνηση
- EEPROM για αποθήκευση ρυθμίσεων διαμόρφωσης
- Ταχύτερη απόκτηση με τη λειτουργία AssistNow Autonomous
- Δυνατότητα διαχείρισης ισχύος που μπορεί να προσαρμοστεί
- Υβριδική μονάδα GPS/SBAS (WAAS, EGNOS, MSAS)
- Αυτόνομος δέκτης GPS
- Τεχνολογία αντι-παρεμβολών
- Συμβατό με τη λύση GPS της u-Blox για Android
- A-GPS: υπηρεσίες AssistNow Online και AssistNow Offline σύμφωνα με το OMA SUPL
- Λιγότερο από 1 δευτερόλεπτο χρόνος για την πρώτη εντοπισμό σε ζεστή εκκίνηση και βοηθημένη εκκίνηση

- Χρόνος-προς-πρώτη-εντοπισμό: Για κρύα εκκίνηση 32 δευτερόλεπτα, για ζεστή εκκίνηση 23 δευτερόλεπτα, για ζεστή εκκίνηση <1 δευτερόλεπτο
- Διεπαφή UART στις ακροδέκτες εξόδου (Μπορεί να χρησιμοποιηθεί SPI, I2C και USB με τη συγκόλληση των ακροδεκτών στον πυρήνα του επεξεργαστή)

Μερικά από τα πιο σημαντικά από αυτά χαρακτηριστικά περιγράφονται παρακάτω πιο αναλυτικά :

AssistNow Autonomous:

Το AssistNow Autonomous παρέχει λειτουργικότητα παρόμοια με το Assisted-GPS χωρίς την ανάγκη για υπολογιστή ή εξωτερική σύνδεση σε δίκτυο. Βασίζεται στα δεδομένα γνωστά και ως ephemeris που προηγουμένως μεταδόθηκαν από τους δορυφόρους GPS, τα οποία λήφθηκαν και αποθηκεύτηκαν από τον δέκτη GPS. Το AssistNow Autonomous δημιουργεί αυτόματα ακριβή δεδομένα τροχιάς δορυφόρων ("δεδομένα AssistNow Autonomous") που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μελλοντικές θέσεις GPS. Τα δεδομένα AssistNow Autonomous είναι αξιόπιστα για έως και 3 ημέρες μετά την αρχική λήψη.

Τα πλεονεκτήματα του AssistNow Autonomous της u-blox είναι:

- Γρηγορότερος εντοπισμός θέσης
- Δεν απαιτεί σύνδεση σε δίκτυο
- Συμπληρωματικό με τις υπηρεσίες AssistNow Online και Offline
- Δεν απαιτείται ενσωμάτωση, οι υπολογισμοί γίνονται στο παρασκήνιο

Ephemeris:

Οι δορυφόροι GPS μεταδίδουν πληροφορίες σχετικά με την τρέχουσα και την προβλεπόμενη τους θέση, τον χρονικό συγχρονισμό και την "κατάστασή" τους μέσω του ονομαζόμενου "δεδομένα εφημερίδας" (ephemeris data). Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιούνται από τους δέκτες GPS για να εκτιμήσουν τη θέση τους σχετικά με τους δορυφόρους και, συνεπώς, τη θέση του χρήστη στη γη. Τα δεδομένα εφημερίδας μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να προβλέψουν τις μελλοντικές συνθήκες των δορυφόρων (για ένα συγκεκριμένο μέρος και χρόνο), παρέχοντας ένα εργαλείο για τον προγραμματισμό πότε (ή πότε όχι) να προγραμματίσετε τη συλλογή δεδομένων GPS.

Μέχρι πρόσφατα, τα δεδομένα εφημερίδας έπρεπε να ληφθούν και να χρησιμοποιηθούν με ειδικό λογισμικό υπολογιστή (όπως το Trimble Planning ή το Quick Plan). Αλλά τώρα τα δεδομένα εφημερίδας μπορούν να ανακτηθούν σε απευθείας σύνδεση . Τα δεδομένα εφημερίδας θεωρούνται αξιόπιστα για έως και 30 ημέρες (μέγιστο). Εάν προσπαθείτε να προβλέψετε τις συνθήκες GPS για περισσότερες από 30 ημέρες στο μέλλον, συνιστάται να επαναλάβετε τις προβλέψεις σας μία ή δύο εβδομάδες πριν τη συλλογή για να επαληθεύσετε τα αποτελέσματα (οι συνθήκες των δορυφόρων αλλάζουν διαρκώς)[11].

2.5.1 Πρωτόκολλο επικοινωνίας UART

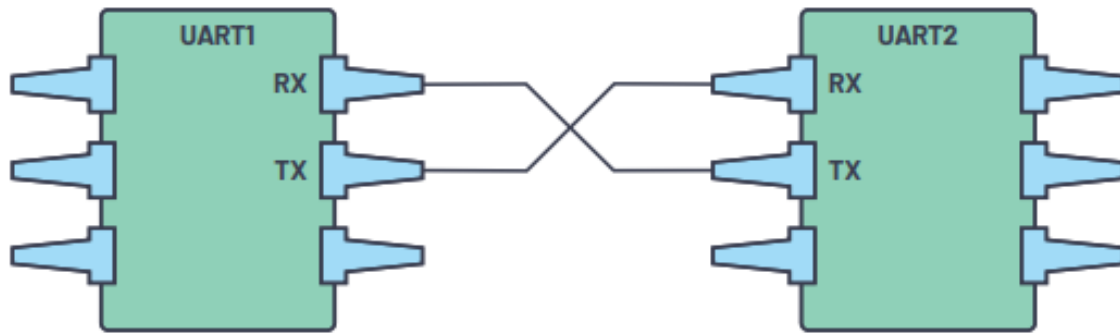
Προκειμένου να επιτευχθεί η επικοινωνία μεταξύ του GPS-MCU, είναι απαραίτητη η χρήση ενός σειριακού πρωτοκόλλου διαφορετικού από όσα αναφέρθηκαν. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας αυτό είναι το UART(Univerasal Asynchronous Receiver Trasmitter), ένα πρωτόκολλο από τα παλαιότερα και τα πιο απλοϊκά.

UART είναι ένα από τα πιο χρησιμοποιημένα πρωτόκολλα επικοινωνίας μεταξύ συσκευών. Όταν είναι σωστά διαμορφωμένο, το UART μπορεί να λειτουργήσει με πολλά διαφορετικά είδη σειριακών πρωτοκόλλων που περιλαμβάνουν τη μετάδοση και λήψη σειριακών δεδομένων. Στη σειριακή

επικοινωνία, τα δεδομένα μεταφέρονται bit-προς-bit χρησιμοποιώντας μια μόνο γραμμή ή καλώδιο. Στη αμφίδρομη επικοινωνία, χρησιμοποιούμε δύο καλώδια για επιτυχή σειριακή μεταφορά δεδομένων. Ανάλογα με την εφαρμογή και τις απαιτήσεις του συστήματος, η σειριακή επικοινωνία απαιτεί λιγότερα κυκλώματα και καλώδια, μειώνοντας έτσι το κόστος της υλοποίησης.

Στο σχήμα 13 παρατηρούμε μια απλή αμφίδρομη διασύνδεση master-slave στην περίπτωση της UART επικοινωνίας.

Interface

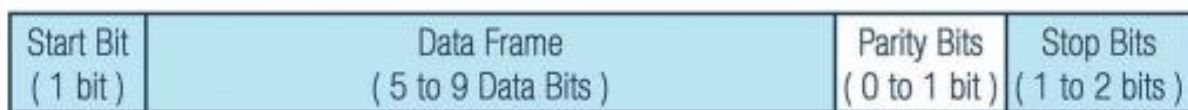


Σχημα 14 Αμφίδρομη επικοινωνία UART με 2 αγωγούς

Με βάση τον ορισμό, το UART είναι ένα υλικό (hardware) πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιεί ασύγχρονη σειριακή επικοινωνία με ρυθμιζόμενη ταχύτητα. Η ασύγχρονη σημαίνει ότι δεν υπάρχει ρολόι για να συγχρονίσει την εξόδο από τη συσκευή που μεταδίδει προς τη λήψη στο άλλο άκρο.

Μετάδοση Δεδομένων:

Στην UART, η μορφή της μετάδοσης είναι σε μορφή πακέτου. Το κομμάτι που συνδέει τον πομπό και τον δέκτη περιλαμβάνει τη δημιουργία σειριακών πακέτων και ελέγχει αυτές τις φυσικές γραμμές υλικού. Ένα πακέτο αποτελείται από ένα bit εκκίνησης (start bit), ένα πλαίσιο δεδομένων (data frame), ένα bit ελξης (parity bit) και bits διακοπής (stop bits).



Bit Εκκίνησης (Start Bit):

Η γραμμή μετάδοσης δεδομένων της UART κρατιέται συνήθως σε υψηλό δυναμικό όταν δεν μεταδίδονται δεδομένα. Για να ξεκινήσει η μεταφορά δεδομένων, ο πομπός της UART τραβά τη γραμμή μετάδοσης από το υψηλό στο χαμηλό δυναμικό για ένα κύκλο ρολογιού. Όταν η λαμβάνουσα UART ανιχνεύει τη μετάβαση από υψηλή σε χαμηλή τάση, αρχίζει να διαβάζει τα bits στο πλαίσιο δεδομένων στη συχνότητα του ρυθμού μετάδοσης.



Σχημα 15 Δομή start bit

Data Frame:

Το πλαίσιο δεδομένων περιέχει τα πραγματικά δεδομένα που μεταφέρονται. Μπορεί να αποτελείται από πέντε (5) έως οκτώ (8) bits, αν χρησιμοποιείται ένα parity bit. Εάν δεν χρησιμοποιείται parity bit, το πλαίσιο δεδομένων μπορεί να είναι εννιά bits. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα δεδομένα αποστέλλονται με το λιγότερο σημαντικό bit πρώτα.



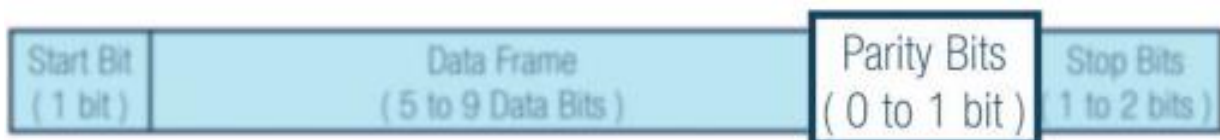
Σχημα 16 Δομή data frame

Parity Bit:

Το parity bit περιγράφει την άρτια ή περιττή φύση ενός αριθμού. Το bit αυτό είναι ένας τρόπος για το λαμβάνον UART να ελέγξει αν κάποια δεδομένα έχουν αλλάξει κατά τη διάρκεια της μετάδοσης. Τα bits μπορεί να αλλάξουν λόγω ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, ανεπίκλητων ρυθμών μετάδοσης (baud rate), ή μεταφορών δεδομένων σε μεγάλη απόσταση.

Όταν το λαμβάνον UART διαβάζει το πλαίσιο δεδομένων, μετρά τον αριθμό των bits με τιμή 1 και ελέγχει αν το συνολικό αριθμό είναι άρτιος ή περιττός. Εάν το parity bit είναι 0, τα bits 1 ή ψηφία υψηλής λογικής τιμής στο πλαίσιο δεδομένων πρέπει να είναι συνολικά άρτιας αριθμητικής τιμής. Αν το parity bit είναι 1, τα bits 1 ή ψηφία υψηλής λογικής τιμής στο πλαίσιο δεδομένων πρέπει να είναι συνολικά περιττής αριθμητικής τιμής.

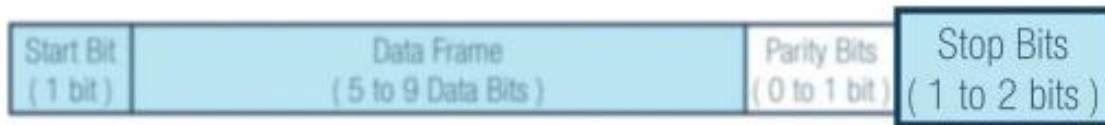
Όταν το parity bit ταιριάζει με τα δεδομένα, το UART γνωρίζει ότι η μετάδοση δεν περιλαμβάνει σφάλματα. Εάν όμως το parity bit είναι 0 και το συνολικό αριθμό είναι περιττός, ή το parity bit είναι 1 και ο συνολικός αριθμός είναι άρτιος, το UART γνωρίζει ότι τα bits στο πλαίσιο δεδομένων έχουν αλλάξει.



Σχημα 17 Δομή parity bit

Bits Διακοπήσ (Stop Bits)

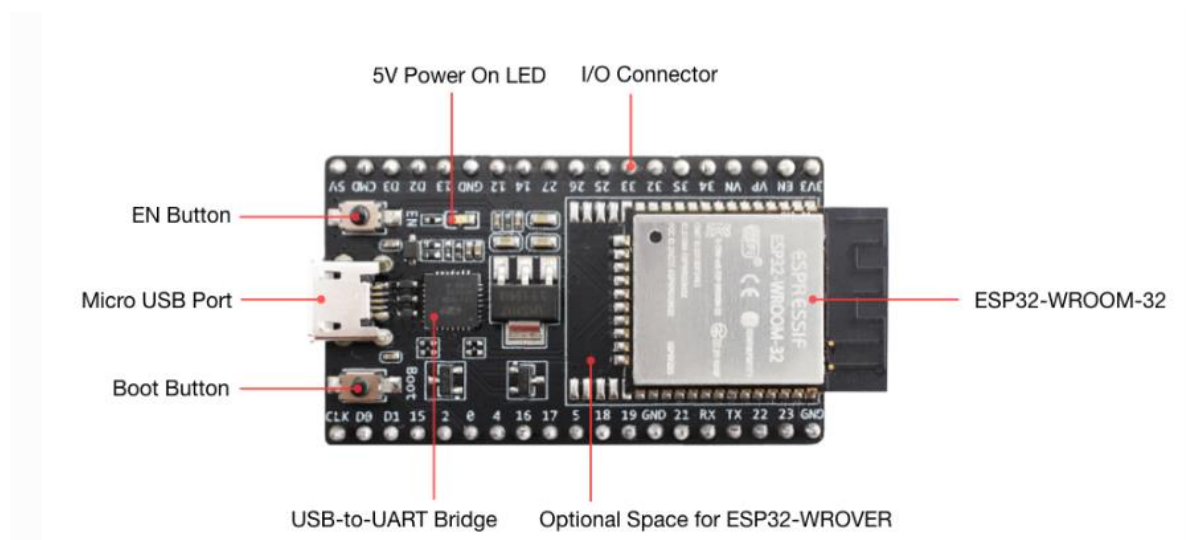
Για να σηματοδοτήσει το τέλος του πακέτου δεδομένων, το UART οδηγεί τη γραμμή μετάδοσης δεδομένων από χαμηλή τάση σε υψηλή.



Σχημα 18 Δομή stop bit.

2.6 Χρήση Wi-Fi για τηλεμετρία μέσω ESP32

Για την ασύραμη μεταφορά δεδομένων επιλέχθηκε υλικό της εταιρίας espressif. Πρόκειται για το ESP32-WROOM-32D. Με πυρήνα το ESP32-WROOM-32D χρησιμοποιήθηκε ένα dev-kit για να κάνει πιο εύκολη την ανάπτυξη κώδικα χωρίς να χαθεί χρόνο στην σχεδίαση τυπωμένης πλακέτας (PCB). Το dev-kit που φέρει στο πυρήνα του το ESP32-WROOM-32D



Σχημα 19 ESP32-DevKitC V4 αναπτυξιακό.

Στον πυρήνα του ESP32-WROOM-32D βρίσκεται το chip ESP32-D0WD που ανήκει στη σειρά των chips ESP32[12]. Το ενσωματωμένο chip σχεδιάστηκε να είναι κλιμακούμενο και προσαρμόσιμο. Διαθέτει δύο πυρήνες CPU που μπορούν να ελεγχθούν ανεξάρτητα, και η συχνότητα ρολογιού της CPU είναι ρυθμίσιμη από 80 MHz έως 240 MHz.

Το chip διαθέτει επίσης ένα χαμηλής κατανάλωσης ενεργειακό συνεπεξεργαστή που μπορεί να χρησιμοποιηθεί αντί της CPU για εξοικονόμηση ενέργειας κατά την εκτέλεση εργασιών που δεν απαιτούν πολλή υπολογιστική ισχύ, όπως η παρακολούθηση των περιφερειακών. Το ESP32 ενσωματώνει ένα πλούσιο σύνολο από περιφερειακές συσκευές, από αισθητήρες αφής, διεπαφή κάρτας SD, Ethernet, υψηλής ταχύτητας SPI, UART, I2S και I2C.

Το ESP32-D0WD περιλαμβάνει ένα διπύρηνο Xtensa® 32-bit LX6 MCU. Η εσωτερική μνήμη περιλαμβάνει:

- 448 KB ROM για εκκίνηση και βασικές λειτουργίες.
- 520 KB on-chip SRAM για δεδομένα και οδηγίες.
- 8 KB SRAM στο RTC, που ονομάζεται RTC FAST Memory και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αποθήκευση δεδομένων. Προσπελαύνεται από την κύρια CPU κατά τη διάρκεια της εκκίνησης από τη λειτουργία Deep-sleep.
- 8 KB SRAM στο RTC, που ονομάζεται RTC SLOW Memory και μπορεί να προσπελαστεί από τον συνεπεξεργαστή κατά τη διάρκεια της λειτουργίας Deep-sleep.
- 1 Kbit eFuse: 256 bits χρησιμοποιούνται για το σύστημα (διεύθυνση MAC και ρυθμίσεις του chip) και τα υπόλοιπα 768 bits είναι διαθέσιμα για εφαρμογές πελατών, συμπεριλαμβανομένης της κρυπτογράφησης flash και του αναγνωριστικού του chip.

2.6.1 Επικοινωνία μέσω AT commands

Για την επικοινωνία της MCU με το Wi-Fi module χρησιμοποιείται ένα πρωτόκολλο σειριακής επικοινωνίας με εντολές που αποκαλούνται AT commands.

Οι εντολές AT, συντομογραφία για τη φράση Attention Commands, είναι ένα σύνολο εντολών που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και τη διαμόρφωση modems, τηλεφώνων και άλλων συσκευών επικοινωνίας. Ο όρος "AT" σημαίνει Attention και λειτουργεί ως πρόθεμα που εκκινεί κάθε εντολή.

Αυτές οι εντολές χρησιμοποιούνται κυρίως με modems και κινητές μονάδες και αποστέλλονται ως κείμενο από μια συσκευή ελέγχου (όπως ένας υπολογιστής ή ένας μικροελεγκτής) προς την μονάδα επικοινωνίας. Η μονάδα ερμηνεύει αυτές τις εντολές και ανταποκρίνεται ανάλογα.

Εδώ είναι μερικά βασικά σημεία για τις εντολές AT:

1. Βασική Σύνταξη:

Οι εντολές AT ακολουθούν μια συγκεκριμένη σύνταξη. Συνήθως ξεκινούν με το πρόθεμα "AT", ακολουθούμενο από μια συγκεκριμένη εντολή και, προαιρετικά, κάποιες παράμετρος.

Παράδειγμα: AT+CGSN

2. Λειτουργικότητα:

Οι εντολές AT μπορούν να εκτελέσουν διάφορες λειτουργίες, όπως να καλέσουν έναν αριθμό τηλεφώνου, να στείλουν SMS μηνύματα, να διαμορφώσουν ρυθμίσεις δικτύου, να ελέγξουν την ισχύ σήματος και πολλά άλλα. Οι διαθέσιμες εντολές εξαρτώνται από τις δυνατότητες της συσκευής.

3. Επικοινωνία:

Οι εντολές AT μεταδίδονται μέσω μιας σειριακής διασύνδεσης επικοινωνίας, όπως η UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter). Η συσκευή που λαμβάνει την εντολή την επεξεργάζεται και ανταποκρίνεται με το αποτέλεσμα της λειτουργίας.

4. Απαντήσεις:

Οι απαντήσεις των AT commands είτε μεταδίδονται σύγχρονα μέσω της σειριακής θύρας είτε ασύγχρονα δεδομένου ότι ορισμένες εντολές όπως, AT+CWJAP, υποβάλλουν το modem σε διαδικασία σύνδεσης ή αναζήτησης operator, κάτι που σημαίνει ότι χρειάζεται χρόνος πρώτου επιστρέφει κάποια απάντηση για σύνδεση ή εύρεση operator.

Κεφάλαιο 2

Παράδειγμα:

```
AT+CWJAP="espressif","1234567890"
```

Σχημα 20 Παράδειγμα εντολής AT command[11]

Απάντηση:

```
WIFI CONNECTED  
WIFI GOT IP  
  
OK
```

Σχημα 21 Παράδειγμα απάντησης AT command[11]

2.7 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο έγινε μια αναλυτική παρουσίαση του υλικού(**hardware**) που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του πειραματικού σκέλους της εργασίας καθώς και τα κρίσιμα πρωτόκολλα επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται στο πειραματικό σκέλος για την επικοινωνία με τα modules που είναι υπεύθυνα για την στίγμα στο χάρτη(**GPS**) την μέτρηση κλίσης (**MPU6050**) καθώς και την ασύρματη συνδεσημότητα (**ESP32**). Στο επόμενο κεφάλαιο αναλύεται η μεθοδολογία ανάπτυξης κώδικα καθώς και περιβάλλοντα που βοηθούν στην γρήγορη αποσφαλμάτωση τόσο υλικού όσο και λογισμικού.

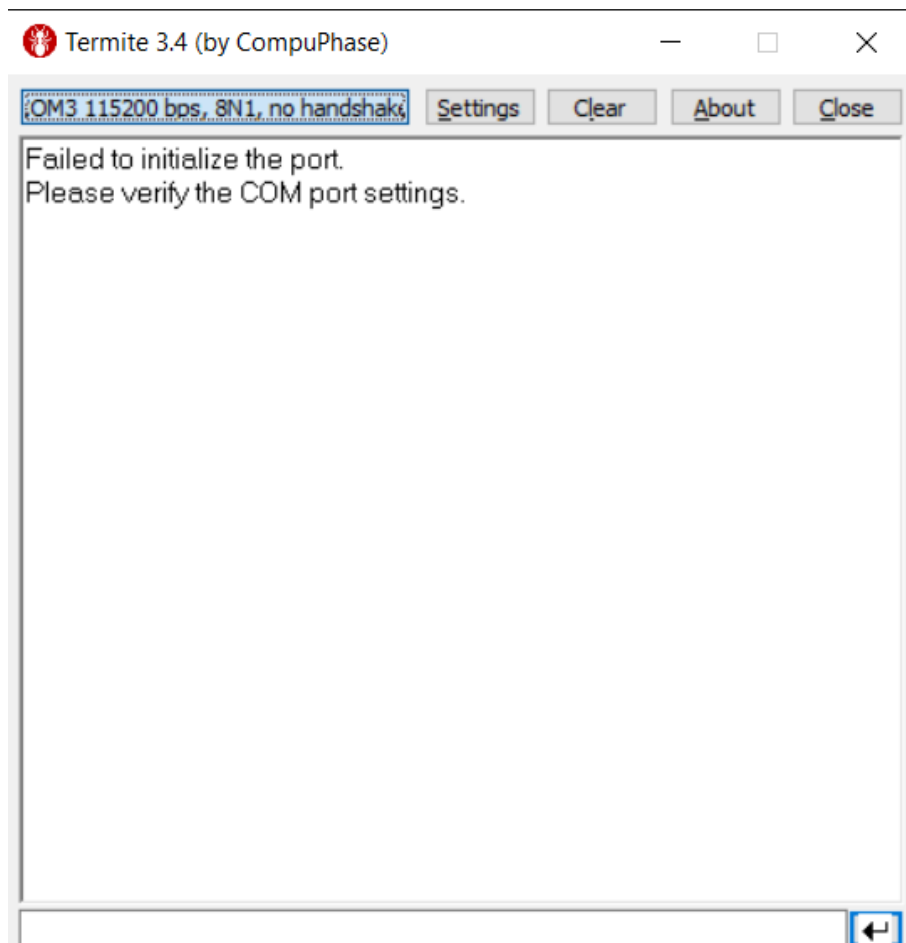
Κεφάλαιο 3ο: Μεθολογία ανάπτυξης και Αποσφαλμάτωσης κώδικα.

3.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται τα εργαλεία που εξυπηρετούν στην γρήγορη και αποδοτική ανάπτυξη κώδικα με την βοήθεια εργαλείων λογισμικού ικανών για αποσφαλμάτωση τόσο υλικού όσο και λογισμικού. Μέσω αυτών των εργαλείων υπήρξε η δυνατότητα να κριθεί a priori η δομή που θα έχει ο κώδικας που χρησιμοποιήτε στο πειραματικό κομμάτι καθώς και ο βέλτιστος τρόπος που αυτός υλοποιείται.

3.2 Το εργαλείο Termite.

Η εφαρμογή "Termite" είναι ένα πρόγραμμα τερματικού σειριακής σύνδεσης RS232 που τρέχει σε λειτουργικό σύστημα Windows[13]. Χρησιμοποιείται για την αποστολή και λήψη δεδομένων μέσω σειριακών διεπαφών RS232, επιτρέποντας την προβολή των εισερχόμενων δεδομένων σε ένα παράθυρο υποδοχής και την αποστολή δεδομένων μέσω μιας γραμμής επεξεργασίας.



Σημα 22 Περιβάλλον termite.

Κύρια Χαρακτηριστικά:

- Εύχρηστο Περιβάλλον Εργασίας:

Η διεπαφή του Termite θυμίζει αυτή των προγραμμάτων άμεσης επικοινωνίας (messenger), κάνοντας τη χρήση του απλή και φιλική για τον χρήστη.

- **Ιστορικό Εντολών:**

Διατηρεί ιστορικό πρόσφατων εντολών που έχουν σταλεί, επιτρέποντας την εύκολη ανάκτηση και επαναυποβολή επαναλαμβανόμενων εντολών.

- **Προσαρμογή και Αποθήκευση Ρυθμίσεων:**

Οι ρυθμίσεις της εφαρμογής αποθηκεύονται σε ένα αρχείο INI, επιτρέποντας την εύκολη προσαρμογή και τη χρήση προρυθμισμένων ρυθμίσεων χωρίς να απαιτείται επανεγκατάσταση.

- **Υποστήριξη Plug-in:**

Δυνατότητα προσθήκης plug-in για επέκταση των λειτουργιών της εφαρμογής, όπως η αποθήκευση δεδομένων σε αρχεία ή η εμφάνιση εναλλακτικών προβολών δεδομένων.

Λειτουργία από Μέσα Μόνο-Ανάγνωσης:

Μπορεί να λειτουργήσει χωρίς εγκατάσταση, απευθείας από CD-ROM ή άλλα μέσα μόνο-ανάγνωσης, κάτι που το καθιστά ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιπτώσεις όπου δεν είναι δυνατή η εγκατάσταση λογισμικού στον υπολογιστή..

- **Αυτόματη Εύρεση Θύρας COM:**

Περιλαμβάνει λειτουργία αυτόματης αναζήτησης θύρας COM, διευκολύνοντας την επιλογή της σωστής θύρας για τη σύνδεση των συσκευών.

Το Termite είναι ιδανικό για προγραμματιστές λογισμικού και μηχανικούς που εργάζονται με σειριακές συσκευές και χρειάζονται ένα αξιόπιστο εργαλείο για την παρακολούθηση και τον έλεγχο σειριακών επικοινωνιών. Το λογισμικό είναι δωρεάν για προσωπική και εμπορική χρήση, καθιστώντας το προσιτό και πρακτικό για μια ποικιλία εφαρμογών.

Για την χρήση του termite χρειάστηκε να συνδεθεί με το υπολογιστή με γέφυρα USB-TO-SERIAL δηλαδή μια ηλεκτρονική διάταξη ικανή να μετατρέψει τα σήματα που μεταδίδονται μέσω σειριακής θύρας στην πλακέτη, σε usb format και να τα μεταδώσει στη θύρα usb του υπολογιστή.

3.2.1 Μετατροπέας Σειριακής-USB

Το module μετατροπέας σειριακή-USB που επιλέχθηκε για την υλοποίηση της αποσφαλμάτωσης του υλικού/λογισμικού στην εργασία μας είναι το HW-199.



Σημια 23 Μετατροπέας USB-SERIAL HW-199

Πρόκειται για ένα module που στην “καρδιά” του βρίσκεται το ολοκληρωμένο κύκλωμα μετατροπέα usb-serial, CP2102 της silicon labs[14].Κύρια χαρακτηριστικά το ολοκληρωμένου αυτού αποτελούν τα παρακάτω:

- **Ενσωματωμένος USB Transceiver:**

Περιλαμβάνει έναν πλήρως ενσωματωμένο USB transceiver που υποστηρίζει USB 2.0 πλήρους ταχύτητας (Full-Speed), εξασφαλίζοντας τη συμβατότητα με όλες τις σύγχρονες θύρες USB.

- **UART Interface:**

Υποστηρίζει ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων (Baud rates) από 300 bps έως 1 Mbps.

Διαθέτει ρυθμίσεις για 5, 6, 7, ή 8 data bits, 1 ή 2 stop bits, και odd, even, mark, space, ή no parity.

- **Διαχείριση Ροής:**

Υποστηρίζει πλήρη υλική διαχείριση ροής (RTS/CTS) και λογισμική διαχείριση ροής (XON/XOFF), επιτρέποντας την αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων ακόμα και σε υψηλές ταχύτητες.

- **Διασύνδεση:**

Παρέχει θύρες GPIO που μπορούν να προγραμματιστούν για ειδικές λειτουργίες.

Διαθέτει ενσωματωμένο 3.3V voltage regulator που μπορεί να παρέχει μέχρι 100 mA σε εξωτερικές συσκευές.

- **Εξωτερική Τροφοδοσία και Κατανάλωση Ρεύματος:**

Λειτουργεί σε τάση 3.0V έως 3.6V.

Χαμηλή κατανάλωση ρεύματος: περίπου 19 mA σε λειτουργία και 125 μ A σε λειτουργία αναμονής (suspend).

- **Υποστήριξη Λειτουργικών Συστημάτων:**

Οι οδηγοί για τον CP2102 είναι διαθέσιμοι για Windows, macOS, και Linux, διευκολύνοντας την ανάπτυξη και τη διαλειτουργικότητα με διαφορετικά λειτουργικά συστήματα.

Το module hw-199(CP2102) για την ορθή λειτουργία καθώς και την αναγνώριση του από την θύρα του υπολογιστή, κρίνει απαραίτητη την εγκατάσταση υλικολογισμικού(firmware), που παίζει τον ρόλο του driver[15]. Οι drivers του ολοκληρωμένου προσφέρονται και αυτοί από την silicon labs χωρίς χρέωση.

3.2.2 Ρόλος USB-SERIAL στην αποσφαλμάτωση του ESP32.

Στην παρούσα εργασία το module hw-199 έπαιξε καταλητικό ρόλο στην γρήγορη ανάπτυξη αλλά και αποσφαλμάτωση του υλικού(**hardware**) τόσο του modem που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία για συνδεσημότητα μέσω wi-fi πρωτοκόλλου όσο και για το υλικό του GPS καθότι και τα δυο modules(ESP32,GPS), επικοινωνούν μέσω πρωτοκόλλου UART, σε ένα συγκεκριμένο baud rate. Με αυτόν τον τρόπο έγινε και αποφυγή σπατάλης χρόνου από αστοχίες υλικών ή καμμένα υλικά πριν την ανάπτυξη του κώδικα.

Στο σχήμα 23 παρουσιάζεται μια ακολουθία εντολών που χρησιμοποιήθηκε για την εξακρίβωση της σωστής λειτουργίας του ESP32 καθώς και την δυνατότητα του να δεχθεί εντολές AT.

```

Termit 3.4 (by CompuPhase)
COM3 115200 bps, 8N1, no handshake
AT+BLESCAN=0
OK
AT+BLEINIT=0
OK
AT+BLEINIT?
+BLEINIT:0
OK
AT+CWMODE?
+CWMODE:2
OK
AT+CWMODE=1
OK
AT+CWJAP="COSMOTE-273026","3xgk78ngu8nne79r"
WIFI CONNECTED
WIFI GOT IP
OK
AT+CIPSTA?
+CIPSTA:ip:"192.168.1.11"
+CIPSTA:gateway:"192.168.1.1"
+CIPSTA:netmask:"255.255.255.0"
OK

```

Σχημα 24 Ακολουθία εντολών στο περιβάλλον για έλεγχο ορθής λειτουργίας του ESP32, σε λειτουργία client σε AP.

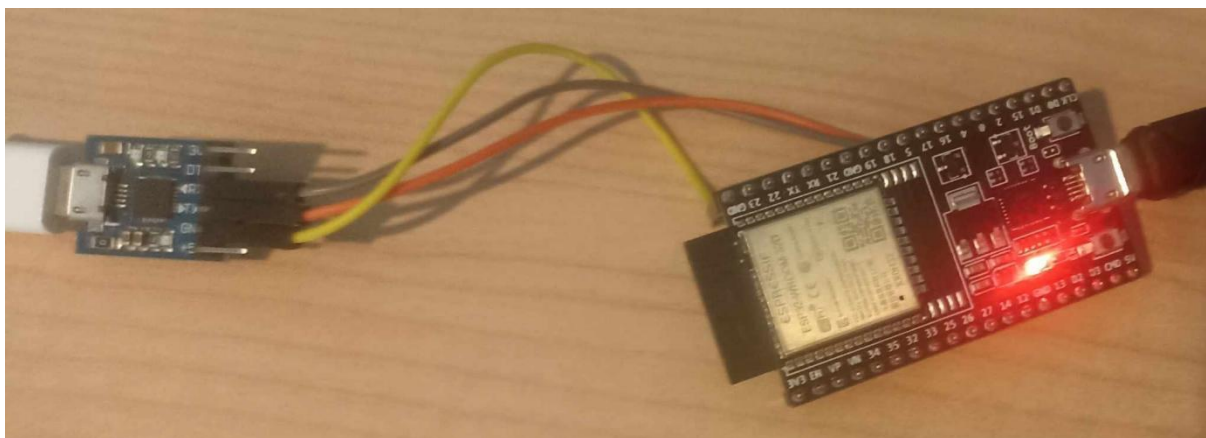
Όπως παρατηρούμε μέσω του usb-serial το περιβάλλον επικοινωνεί με την θύρα **COM3** με baud rate **115200**. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η επικοινωνία με την σειριακή θύρα του esp32. Το δεύτερο βήμα είναι να δοκιμαστούν οι εντολές που καθιστά δυνατή την σύνδεση σε ένα access point(AP).

Η ακολουθία των εντολών AT που απαιτείται παρουσιάζεται και στο σχήμα 23.

1. **AT+BLEINIT=0** : Λόγω του γεγονότος ότι το esp32-wroom που έχει επιλεγθεί σαν μέσω ασύρματης διεπαφής, είναι ένα IC τύπου **SoC(System on Chip)**, δηλαδή στον πυρήνα του διαθέτει τόσο υλικό για wi-fi συνδεσημότητα όσο και για bluetooth αλλά και bluetooth low power κρίνεται θεμιτό από το κατασκευαστή να απενεργοποιούνται οι αντίστοιχοι πυρήνες όταν λόγου χάρη χρησιμοποιείται ο πυρήνας του wi-fi.

2. **AT+CWINIT=1** : Ενεργοποιεί τον πυρήνα του ESP32 που είναι υπεύθυνος για την λειτουργία wi-fi.
3. **AT+CWMODE?** : Όλες οι εντολές που συντάσσονται με ? στο τέλος αποτελούν ερωτήσεις για την κατάσταση του ESP32. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα η απάντηση **+CWMODE:2**. Η περίπτωση αυτή υποδεικνύει ότι το ESP λειτουργεί σαν softAP. Για τον σκοπό της εργασίας μας το ESP χρησιμοποιείται σαν station mode.
4. **AT+CWMODE=1**: Ρύθμιση του ESP σε λειτουργία station mode. Σε αυτή την περίπτωση η απάντηση που απεικονίζεται και στο περιβάλλον termite είναι **OK \r\n +CMMODE:1**. Η πρώτη απάντηση που περιμένουμε είναι είτε ένα OK είτε ένα ERROR. Τόσο η μια όσο και η άλλη απάντηση δεν σημαίνουν ότι το ESP εκτέλεσε την εντολή αλλά ότι η σύνταξη της εντολής που στάλθηκε είναι σωστή. Για να είναι το λογισμικό σε θέση να αναγνωρίσει αν το esp εκτέλεσε την εντολή είναι απαραίτητο να “ρωτήσει” το esp με την ίδια εντολή χρησιμοποιώντας το ?.
5. **AT+CWJAP="SSID","PASSWORD"**: Πρόκειται για την εντολή που μας συνδέει σε ένα **AP**. Η απάντηση που περιμένουμε πρώτα στην σειριακή είναι ένα ok ή error. Στην συνέχεια ασύγχρονα περιμένουμε απάντηση σχετική με την κατάσταση της σύνδεσης. Στο termite οι απαντήσεις που λάβαμε είναι wifi connected, καθώς wifi got IP.

Με αυτόν τον τρόπο παρατηρούμε ότι είναι εύκολο στην συνέχεια να αναπτύξουμε ένα driver ικανό να συνδέεται σε ένα AP και να αποστέλει τα κρίσιμα πακέτα ενός συστήματος τηλεμετρίας. Στην παρούσα εργασία οι αποστολή των payload έγινε με την χρήση του πρωτοκόλλου **TCP/IP**.



Σχημα 25 Σύνδεση HW-199/ESP32

Στο σχήμα 24 απεικονίζεται η σύνδεση μεταξύ **usb-serial** και ESP32. Παρατηρούμε ότι το μόνο που χρειάζονται είναι τρεις αγωγοί. Δυο αγωγοί για το σήματα tx/rx(transmit/receive), καθώς και ένα για κοινή γείωση, ο οποίος αριθμός αγωγών είναι ο ελάχιστος για την σωστή λειτουργία της σειριακής σε ασύγχρονη λειτουργία, δηλαδή λειτουργία χωρίς χρονισμό(**clock**).

3.2.3 Ρόλος USB-SERIAL στην αποσφαλμάτωση του GY-521.

Όπως αναφέραμε και στο κεφάλαιο 2 για την διασφάλιση του γεωγραφικού στίγματος χρησιμοποιούμε το module GY-521 με πυρήνα το IC της Ublox neo-6m. Στην περίπτωση του gps η ο τρόπος αποσφαλμάτωσης του υλικού διαφέρει καθότι το GPS στέλνει περιοδικά από μόνο του πακέτα μέσω της σειριακής θύρας.

\$GPGLL,4717.11364,N,00833.91565,E,092321.00,A,A*60					
Field No.	Name	Unit	Format	Example	Description
0	xxGLL	-	string	\$GPGLL	GLL Message ID (xx = current Talker ID, see NMEA Talker IDs table)
1	lat	-	ddmm. mmmm	4717.11364	Latitude (degrees and minutes), see format description
2	NS	-	character	N	North/South indicator
3	lon	-	dddmm. mmmm	00833.91565	Longitude (degrees and minutes), see format description
4	EW	-	character	E	East/West indicator
5	time	-	hhmmss.ss	092321.00	UTC time. See section UTC representation in the integration manual for details.
6	status	-	character	A	Data validity status, see position fix flags description
7	posMode	-	character	A	Positioning mode, see position fix flags description (only available in NMEA 2.3 and later)
8	cs	-	hexadecimal	*60	Checksum
9	<CR><LF>	-	character	-	Carriage return and line feed

Σχημα 27 Format μηνύματος του gps βάση του προτύπου NMEA[15]

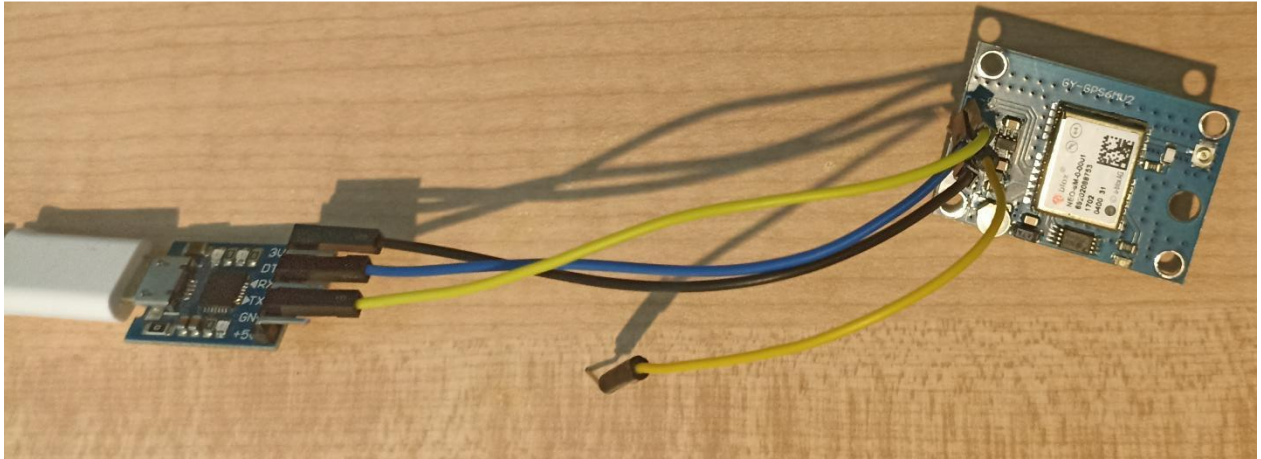
- **Πεδίο 0:** Στο πρώτο πεδίο του πακέτου παρατηρούμε ότι δίνεται το ID του μηνύματος δηλαδή ένα ξεχωριστό string ανάλογα με το τι περιγράφει το μήνυμα. Στην περίπτωση του \$GPGLL το ID σημαίνει latitude & longitude, δηλαδή γεωγραφικό ύψος και μήκος.
- **Πεδίο 1:** Στο δεύτερο πεδίο του πακέτου παρατηρούμε το γεωγραφικό μήκος του gps το οποίο δίνεται σε μοίρες και λεπτά.
- **Πεδίο 2:** Στο τρίτο πεδίο δίνεται οι κατεύθυνση είτε βόρεια είτε νότια.
- **Πεδίο 3:** Αντίστοιχα με το δεύτερο εδώ δίνεται η γεωγραφική συντεταγμένη του μήκους σε μοίρες και λεπτά.
- **Πεδίο 4:** Παρομοίως με το τρίτο πεδίο χαρακτήρας σχετικώς με την κατεύθυνση δυτικά/ανατολικά.
- **Πεδίο 5:** Χρόνος με αναπαράσταση UTC.
- **Πεδίο 6:** Χαρακτήρας προσδιορισμού κατάστασης των δεδομένων
- **Πεδίο 7:** Χαρακτήρας προσδιορισμού λειτουργίας θέσης.
- **Πεδίο 8:** Checksum είναι ουσιαστικά μια δεκαεξαδική μεταβλητή ικανή για έλεγχο του πακέτου
- **Πεδίο 9:** Operators για το αλλαγή γραμμής στήλης στο πακέτο.

Με το ίδιο τρόπο που δοκιμάστηκε το esp32, έγινα και οι δοκιμές του module του gps για να είμαστε σε θέση τόσο να γνωρίζουμε την ορθή λειτουργία του υλικού που χρησιμοποιούμε, όσο και να μελετηθεί και να σχεδιαστεί ο αλγόριθμος της πτυχιακής που περιγραφεί στα επόμενα κεφάλαια με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο.

Κεφάλαιο 2

Αντίστοιχη διαδικασία δεν μπορούσε να ακολουθηθεί για την αισθητήριο θερμοκρασία υγρασίας καθώς η επικοινωνία είναι μέσω πρωτοκόλλου ενός αγωγού (1-WIRE), όπως αναφέραμε στο δεύτερο κεφάλαιο.

Στο σχήμα 27 παρατηρούμε και την σύνδεση του gps με το usb-serial για την επικοινωνία με το περιβάλλον termite.



Σχήμα 28 Σύνδεση gps με usb -serial.

Στην περίπτωση του gps χρησιμοποιούμε μόνο 3 αγωγούς καθώς διαβάζουμε μόνο δεδομένα από το gps οπότε δεν χρειαζόμαστε επιπρόσθετο αγωγό για εκπομπή.

3.3 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκε ένας test-driven τρόπος αποσφαλμάτωσης υλικού και αποδοτικής μεθόδου μελέτης για σωστή υλοποίηση λογισμικού ικανού να φέρει εις πέρας το σκοπό για τον οποίο σχεδιάστηκε.

Κεφάλαιο 4ο: Σχεδίαση Υλικολογισμικού(FIRMWARE)

4.1 Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται η σχεδίαση του firmware για την δειγματοληψία και την αποστολή των κρίσιμων δεδομένων ενός συστήματος τηλεμετρίας proof-of-concept για ενσωμάτωση σε εφαρμογές drone. Αναλύονται διεξοδικά όλες οι αρχικοποιήσεις του συστήματος μικροελεγκτή stm32, οι επιμέρους μέθοδοι δειγματοληψίας, οι driver επικοινωνίας του modem και το gps καθώς και η αρχιτεκτονική του συστήματος που για το σκοπό της πτυχιακής σχεδιάστηκε με βάση την event driven μεθοδολογία.

4.2 Αρχικοποιήσεις Driver περιφερειακών μέσω STM32CUBEIDE.

Το πρώτο βήμα για την σχεδίαση του firmware που θα καθορίσει την λειτουργία της εφαρμογής τηλεμετρίας είναι αυτό της αρχικοποίησης των drivers που είναι απαραίτητοι για να επικοινωνήσουν τα περιφερειακά του μικροελεγκτή με τα αντίστοιχα modules. Για τον σκοπό της εργασίας τα περιφερειακά που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής:

1. Δυο περιφερειακά σειριακής επικοινωνίας σε mode UART για την επικοινωνία με ESP32 καθώς και επικοινωνία με GPS module.
2. Δυο adc κανάλια για την δειγματοληψία της εσωτερικής θερμοκρασίας του επεξεργαστή.
3. Δυο GPIO για την δειγματοληψία υγρασίας/θερμοκρασίας από το αισθητήριο DHT11.
4. Ένα περιφερειακό I2C σε fast mode για την δειγματοληψία δεδομένων από το γυροσκόπιο/επιταχυνσιόμετρο MPU6050
5. Χρονισμός με το εσωτερικό ρολόι clock του stm32f401RE στα 84MHz.

Τα παραπάνω ήταν τα ελάχιστα απαραίτητα για την εκκίνηση της αρχικοποιήσεις. Παρακάτω θα αναλυθούν με εικόνες και περιγραφές οι λειτουργίες του κάθε περιφερειακού αλλά και ο λόγος που επιλέξαμε τα συγκεκριμένα mode λειτουργιών για το αντίστοιχο περιφερειακό.

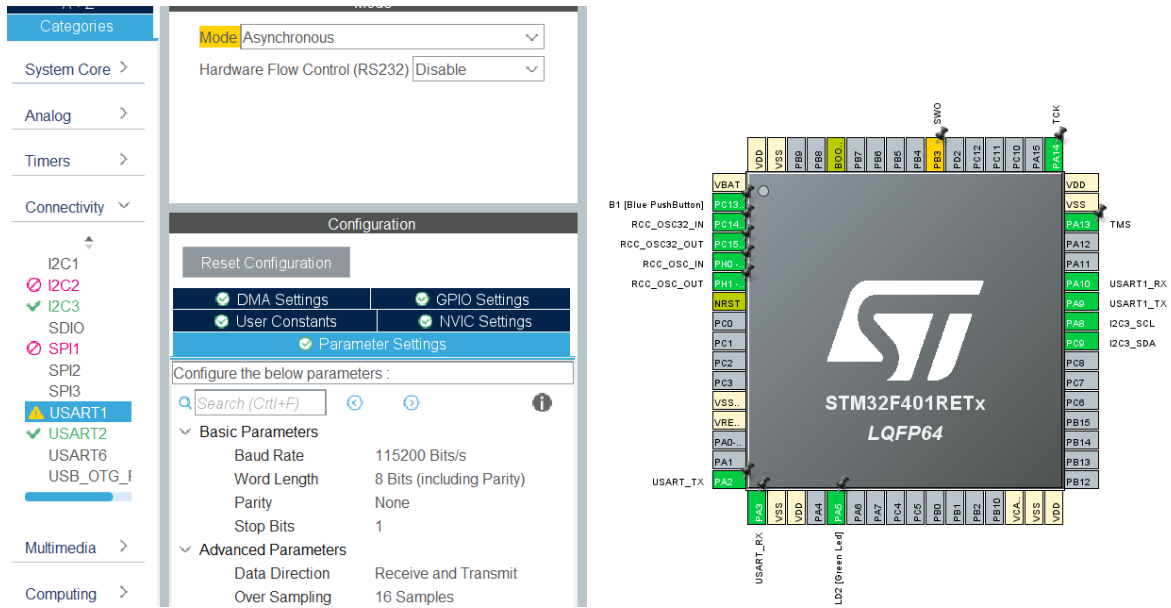
UART1 IT MODE:

Για τις αρχικοποιήσεις των περιφερειακών σειριακής επικοινωνίας χρησιμοποιήθηκαν δυο θύρες, οι USART1 & USART2 ικάνες τόσο για σύγχρονη όσο και ασύγχρονη επικοινωνία. Στην δική μας υλοποίηση και οι δύο θύρες χρησιμοποιούν UART mode. Στο σχήμα 4.1 παρατηρούμε την αρχικοποίηση της θύρας UART1 μέσω του περιβάλλοντος CUBEIDE της st. Παρατηρούμε ότι οι αρχικοποιήσεις της UART έχουν ως εξής:

- BAUD RATE = 115200: Ο ρυθμός των συμβόλων ορίζεται στα 115200 που στην δίκια υλοποίηση ουσιαστικά πρόκειται για 115200bps
- Word length = 8 bits: Μήκος της λέξης ίσο με 8 bit
- Stop bit = 1: 1 Bit για το τέλος αποστολής του πακέτου
- Καθόλου parity bit.

Ο λόγος που το baud rate βρίσκεται στην συγκεκριμένη ταχύτητα έχει πλήρη συσχέτιση με το γεγονός ότι το esp32 στέλνει, αλλά και λαμβάνει πακέτα σε αυτή την ταχύτητα, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν μπορεί να αλλάξει τόσο σε πομπό όσο και σε δέκτη!

Κεφάλαιο 3



Σχίμα 29 Αρχικοποίηση περιφερειακού UART για επικοινωνία με ESP32.

Όπως παρατηρούμε από το σχήμα 28 το περιφερειακό έχει αρχικοποιηθεί τόσο για να στέλνει όσο και για να δέχεται πακέτα, εξ' ου και το data direction βρίσκεται σε λειτουργία receive/transmit.

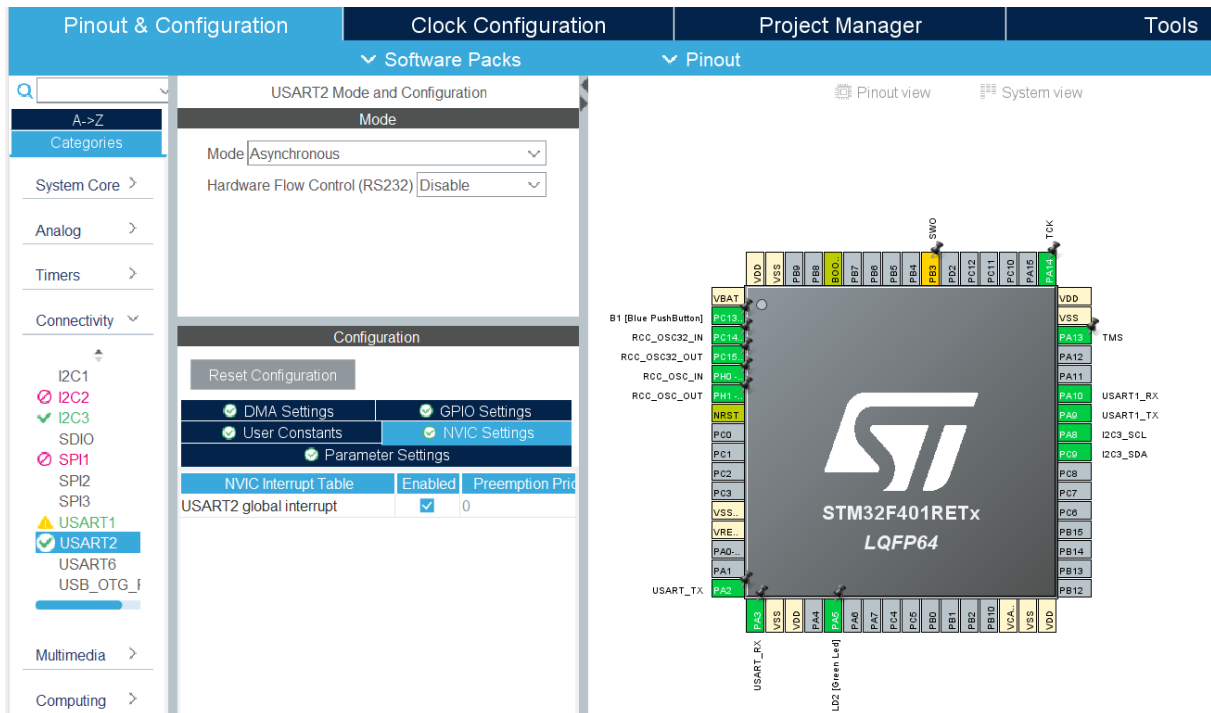
Λόγω του γεγονότος ότι σχεδιάσαμε ένα μοντέλο λογισμικού που ανταποκρίνεται βέλτιστα στο τρόπο αποστολής/λήψης πακέτων, το UART επιλέχθηκε να λειτουργήσει σε interrupt mode, δηλαδή υπό το πρίσμα του context switching. Με αυτό τον τρόπο αποφεύγουμε την συνέχι παρακολούθηση της σειριακής (**polling**) και καταφέραμε να αλλάζουμε την ροή της εκτέλεσης του κώδικα μόνο όταν έρθει κάποιο πακέτο στην σειριακή.

Στο σχήμα 29 απεικονίζεται το πως γίνεται η διαμόρφωση της λειτουργίας Interrupt μέσα από το cube. Όπως παρατηρούμε το μόνο που χρειάζεται για την λειτουργία Interrupt είναι η επιλογή να λειτουργήσει η usart1 σε global interrupt.

Κεφάλαιο 3

- BAUD RATE = 9600: Ο ρυθμός των συμβόλων ορίζεται στα 9600 που στην δίκια υλοποίηση ουσιαστικά πρόκειται για 9600bps
- Word length = 8 bits: Μήκος της λέξης ίσο με 8 bit
- Stop bit = 1: 1 Bit για το τέλος αποστολής του πακέτου
- Καθόλου parity bit

Στο σχήμα 31 απεικονίζεται η ρύθμιση της uart2 σε λειτουργία Interrupt παρόμοια με την uart1.

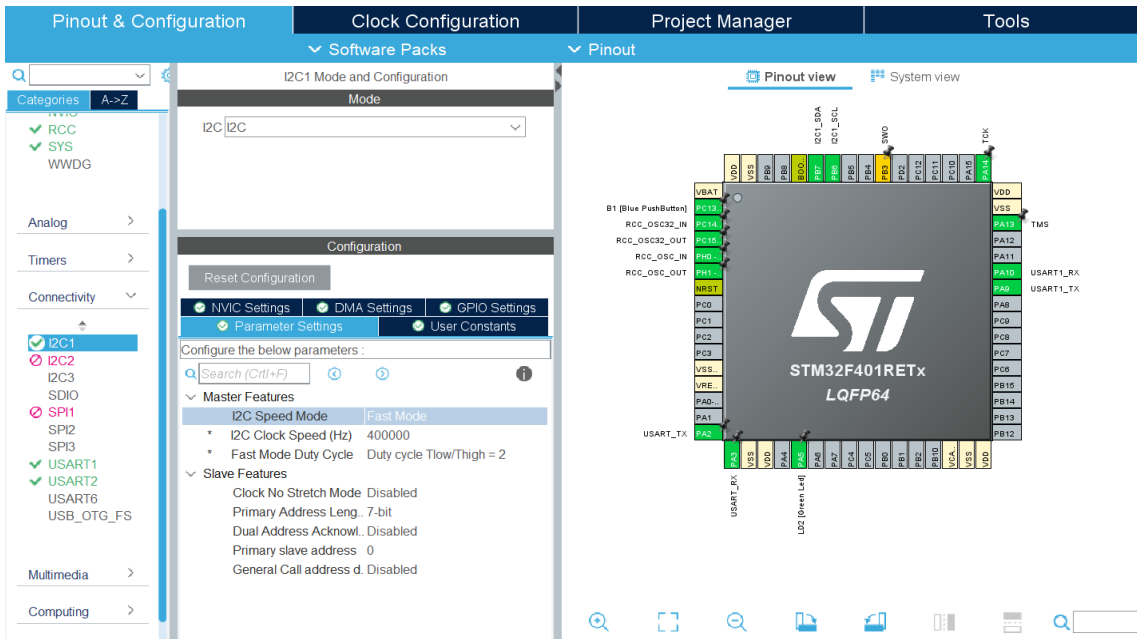


Σχημα 32 Ρύθμιση uart2 σε interrupt mode.

I2C FAST IT MODE:

Η επικοινωνία με το module mpu6050 απαιτεί όπως είδαμε και στο δεύτερο κεφάλαιο την διασύνδεση μέσω πρωτοκόλλου I2C. Στην παρούσα εργασία το i2c ρυθμίστηκε σε λειτουργία fast mode δηλαδή επικοινωνία στα 400KHz. Ο λόγος είναι ότι στην συγκεκριμένη συχνότητα επικοινωνεί το MPU6050.

Στο σχήμα 32 απεικονίζεται η αρχικοποίηση του driver του I2C για την επικοινωνία.

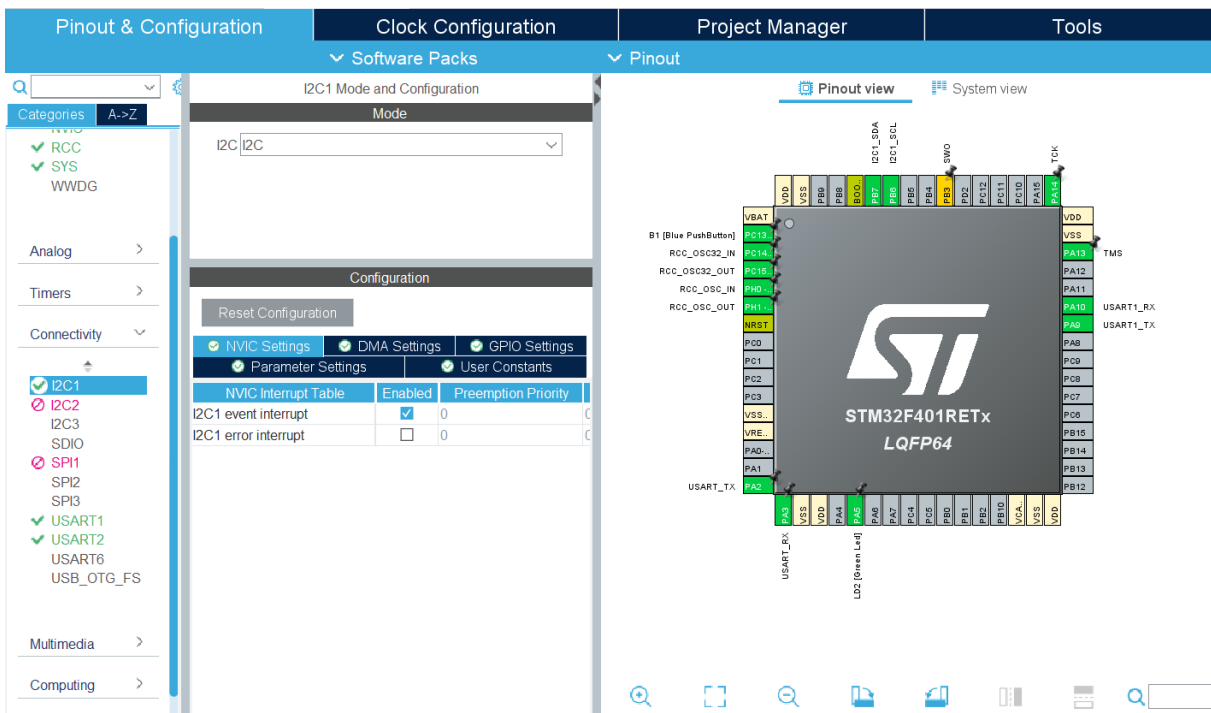


Σχημα 33 Αρχικοποίηση I2C στο περιβάλλον του cubeide.

Όπως παρατηρούμε η ρύθμιση του I2C είναι η εξής:

- Speed = Fast Mode
- Clock Speed = 400KHz
- Duty Cycle = $\frac{T_{low}}{T_{high}}$

Αντίστοιχα με την UART έτσι και στην αρχικοποίηση του I2C πρέπει να τεθεί σε Interrupt mode. Στο σχήμα 34 απεικονίζεται η ρύθμιση στο cubeide.



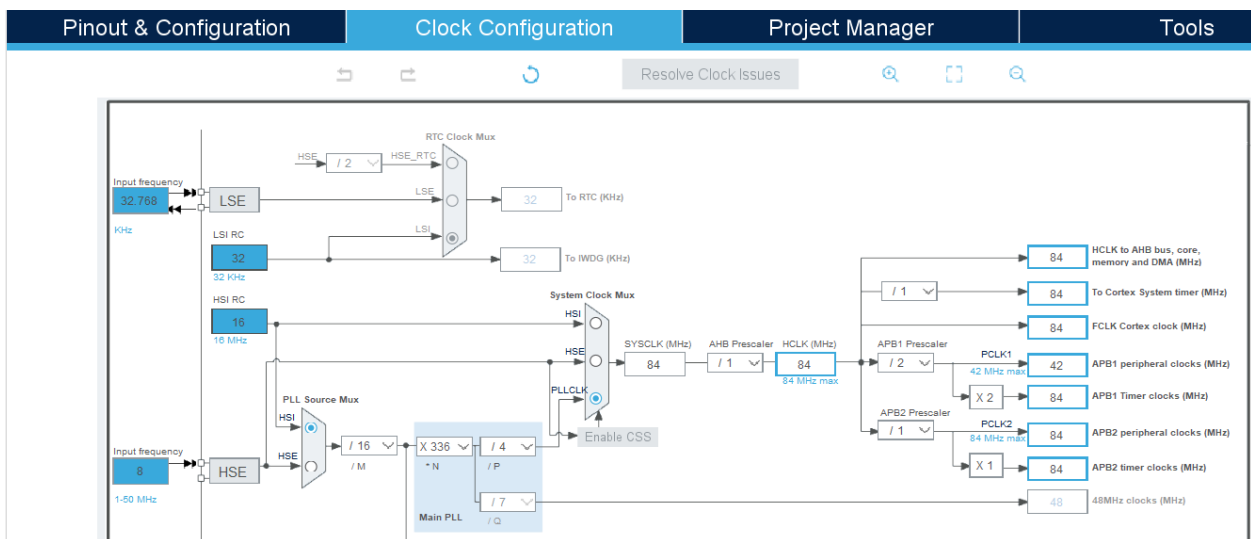
Σχημα 34 Επιλογή event based interrupt μέσω cubeide

Χρονισμός (Clock):

Για τον χρονισμό της εφαρμογής χρησιμοποιήθηκε το εσωτερικό ρολόι του επεξεργαστή. Για τον σκοπό της εργασίας, δηλαδή τον απλό σχεδιασμό ενός proof-of-concept αλγορίθμο τηλεμετρίας δεν κρίθηκε απαραίτητο να μελετηθεί ποιά είναι η βέλτιστη ταχύτητα για μικρότερη κατανάλωση. Η διαμόρφωση του ρολογιού έλαβε τις μέγιστες τιμές της.

Στο σχήμα 35 απεικονίζεται η ρυθμίσεις των χρονισμών του επεξεργαστή και των περιφερειακών του. Όπως παρατηρούμε το high speed clock της cpu είναι χρονισμένο στα 84MHz. Παρομοίως και τα περιφερειακά που αρχικοποιήσαμε.

Το μόνο που απομένει σε αυτήν την διαδικασία είναι η παραγωγή του κώδικα για την οποία είναι αμιγώς υπεύθυνο το cubeide να τον παράγει. Πρωτού ασχοληθούμε με την δομή του κώδικα και αρχίσουμε να αναλύουμε της μεθόδους που είναι υπεύθυνες για την δειγματοληψία εκπομπή, λήψη, κ.α, θα περιγράψουμε την μέθοδο του context switching καθώς πάνω σε αυτή βασίστηκε η event based αρχιτεκτονική της παρούσας εργασίας.



Σχίμα 35 Ρύθμιση PLL για τον χρονισμό της εφαρμογής

4.2.1 Context Switching.

Το context switch είναι μια διαδικασία που περιλαμβάνει την αλλαγή της CPU από μια διεργασία ή σε μια άλλη. Σε αυτό το φαινόμενο, η εκτέλεση της διεργασίας που βρίσκεται σε κατάσταση εκτέλεσης αναστέλλεται από τον πυρήνα και μια άλλη διεργασία που βρίσκεται σε κατάσταση ετοιμότητας εκτελείται από την CPU[16].

Αποτελεί ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των πολυδιεργασιικών λειτουργικών συστημάτων. Οι διεργασίες εναλλάσσονται τόσο γρήγορα ώστε δίνεται η εντύπωση στον χρήστη ότι όλες οι διεργασίες εκτελούνται ταυτόχρονα.

Ωστόσο, η διαδικασία context switch περιλαμβάνει μια σειρά από βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν. Δεν δύναται να αλλάξει απευθείας μια διεργασία από την κατάσταση εκτέλεσης στην κατάσταση ετοιμότητας. Πρέπει να αποθηκεύετε το περιβάλλον αυτής της διεργασίας. Εάν δεν αποθηκεύετε το περιβάλλον οποιασδήποτε διεργασίας P, τότε μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, όταν η διεργασία P έρθει ξανά στην CPU για εκτέλεση, η διεργασία θα αρχίσει να εκτελείται από την

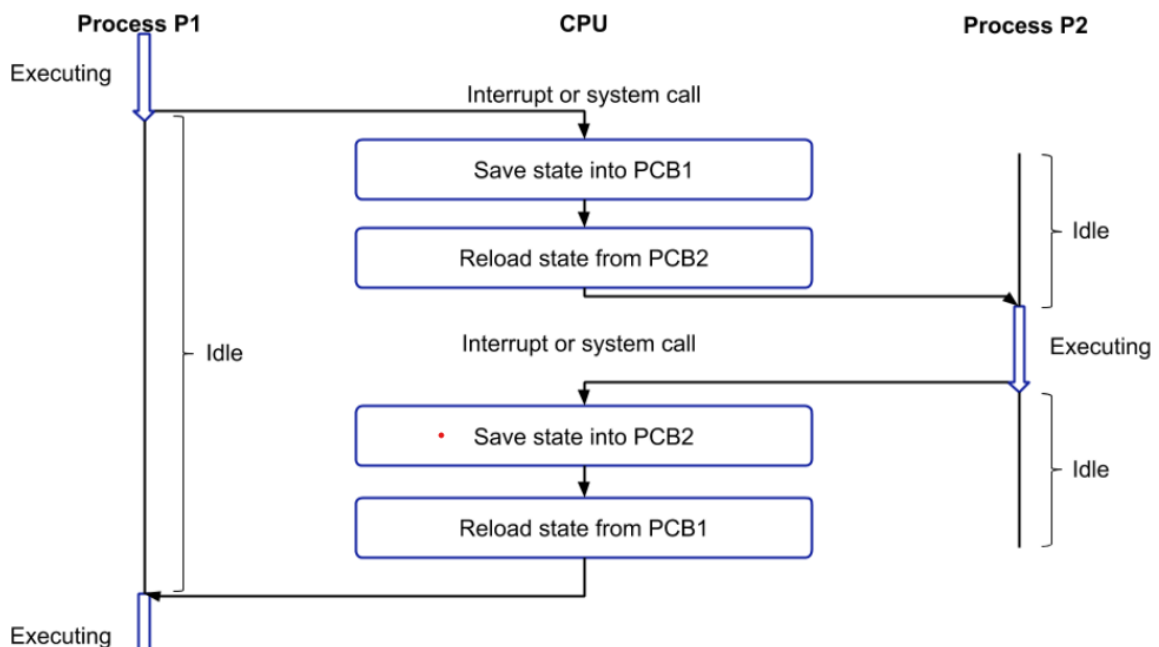
αρχή. Αλλά στην πραγματικότητα, θα πρέπει να συνεχίσει από το σημείο που άφησε την CPU στην προηγούμενη εκτέλεσή της. Έτσι, το περιβάλλον της διεργασίας πρέπει να αποθηκευτεί πριν τοποθετηθεί οποιαδήποτε άλλη διεργασία σε κατάσταση εκτέλεσης.

Ένα περιβάλλον είναι τα περιεχόμενα των καταχωρητών της CPU και του μετρητή προγράμματος σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Η εναλλαγή περιβάλλοντος μπορεί να συμβεί για τους εξής λόγους:

Όταν μια διεργασία υψηλής προτεραιότητας έρχεται σε κατάσταση ετοιμότητας. Σε αυτή την περίπτωση, η εκτέλεση της τρέχουσας διεργασίας πρέπει να σταματήσει και στη διεργασία υψηλότερης προτεραιότητας πρέπει να δοθεί η CPU για εκτέλεση.

Όταν προκύπτει μια διακοπή (interrupt), η διεργασία που βρίσκεται σε κατάσταση εκτέλεσης πρέπει να σταματήσει και η CPU πρέπει να χειριστεί τη διακοπή πριν κάνει οτιδήποτε άλλο.

Όταν απαιτείται μετάβαση μεταξύ λειτουργίας χρήστη (user mode) και λειτουργίας πυρήνα (kernel mode), τότε πρέπει να εκτελεστεί η εναλλαγή περιβάλλοντος. Στο σχήμα 36 φαίνεται ένα διάγραμμα ροής σε περίπτωση που χρησιμοποιήτε context switch.



Σχημα 36 Διάγραμμα ροής context switch[16].

4.3 Αρχιτεκτονική σχεδιασμού driver για ESP32

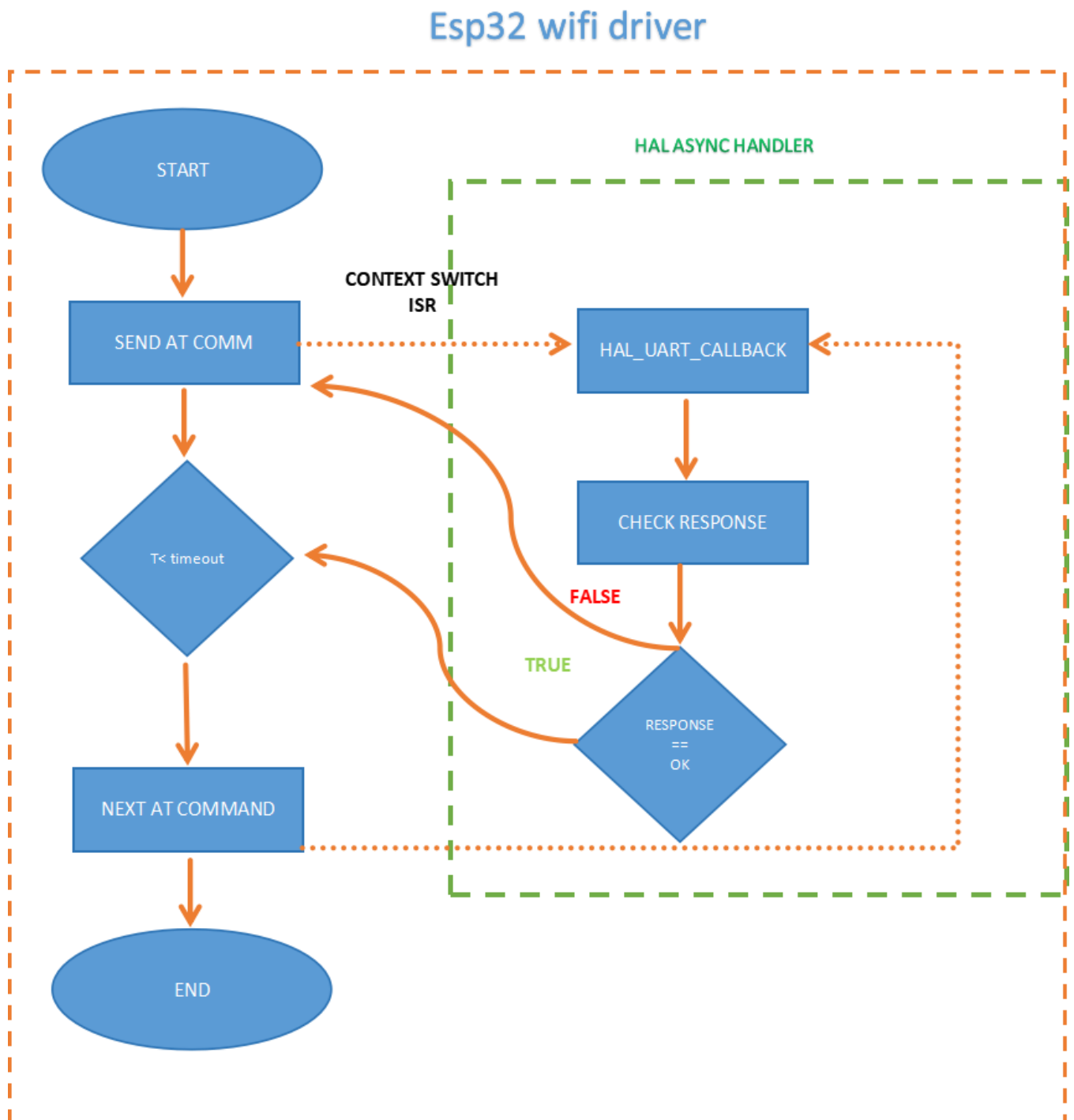
Σε αυτήν την ενότητα γίνεται αναφορά στην αρχιτεκτονική σχεδίασης του κώδικα για το esp32 ώστε να είναι ικανό να στέλνει σε μια IP:PORT ένα πακέτο δεδομένων με

- Θερμοκρασία ,
- X,Y,Z συντεταγμένες,
- Επιτάχυνση,
- GPS στίγμα.

4.3.1 Σχεδίαση at command driver για το esp32.

Το ζητούμενο της εργασία αυτής αποτέλεσε η ανάγκη δημιουργίας ενός απλού πρωτοκόλλου τηλεμετρίας, δηλαδή η real time αποστολή δεδομένων. Με την χρήση του esp32 και ενός απλού UDP LISTENER που υλοποιήθηκε μέσω της εφαρμογής packet sender, αποδείχθηκε ουσιαστικά και λειτουργικότητα του συστήματος.

Στο σχήμα απεικονίζεται το απλοποιημένο διάγραμμα ροής του αλγόριθμου δημιουργίας του driver(οδηγού) για το esp32 καθώς και η σκέψη πίσω από την σχεδίαση του.



Σχημα 37 Διάγραμμα ροής driver για esp32

Στο σχήμα 37 παρουσιάζεται το απλοποιημένο διάγραμμα για την εκτέλεση του κώδικα που είναι υπεύθυνος για την αποστολή δεδομένων μέσω esp32. Τα βήματα αναλύονται ως εξής:

- Αποστολή AT command μέσω σειριακής θύρας.
- Έλεγχος απάντησης μέσω της hal_uart_rx_callback συνάρτησης.
- Αν είναι σωστή η απάντηση συνέχεια στην επόμενη εντολή, αλλιώς επαναποστολή μέχρι να τελειώσει το timeout περιθώριο.
- Κλείσιμο του esp32.

Στην επόμενη ενότητα θα αναλυθεί περαιτέρω ο αλγόριθμος χρησιμοποιώντας παραδείγματα από τον κώδικα που δημιουργήθηκε.

4.3.2 Δομή κώδικα σε C για την επικοινωνία με το esp32

Για την σχεδίαση του driver κρίθηκε απαραίτητο να σχεδιαστεί μια δομή της οποίας του χρησιμοποιήσουμε ένα πίνακα για να στείλουμε όλα τα απαραίτητα at commands. Ο παρακάτω πίνακας εμπεριέχει όλα τα member της δομής αυτής.

Function Pointer *pfv	Uin8 MsgBfr[50]	Uin8 Response[100]	Uin8 Response size	Enum Response Endianess	Function pointer *RespClbk	Uin32 Timeout
HAL_UART_Transmit_IT()	AT+CWINIT=1\r\n	OK	4	STARTS WITH	NULL	1000
HAL_UART_Transmit_IT()	AT+CWMODE=1\r\n	OK	4	STARTS WITH	NULL	1000
HAL_UART_Transmit_IT()	AT+CWJAP="COSMOTE-273026", \ "3xgk78ngu8nne79r" \r\n	OK	4	STARTS WITH	vWiFiHandleClbk	1000
HAL_UART_Transmit_IT()	AT+CIPSTA?	OK	4	ENDS WITH	NULL	1000
HAL_UART_Transmit_IT()	AT+CIPMUX=0	OK	4	STARTS WITH	NULL	1000
HAL_UART_Transmit_IT()	AT+CIPSTART="UDP", \ "192.168.3.102", 8080, 1112,2	OK	4	END WITH	vUDPHandleClbk	1000

HAL_UART_ Transmit_IT()	AT+CIPSEND=1	OK	4	STARTS WITH	vUDPSend	1000
----------------------------	--------------	----	---	----------------	----------	------

Όπως παρατηρούμε στον πίνακα 4.1 η δομή περιέχει τα εξής και αναλύονται:

1. *pfn (HAL_StatusTypeDef (pfn)(UART_HandleTypeDef,uint8_t,uint16_t)):

Είναι ένας δείκτης σε συνάρτηση που λαμβάνει ως παραμέτρους έναν δείκτη τύπου UART_HandleTypeDef, έναν δείκτη σε buffer δεδομένων τύπου uint8_t και ένα uint16_t για το μήκος των δεδομένων.

Συνήθως, αυτή η συνάρτηση χρησιμοποιείται για τη μετάδοση δεδομένων μέσω UART, όπως η συνάρτηση HAL_UART_Transmit_IT.

2. u08Msg (uint8_t u08Msg[MAX_MSG_STR_LEN]):

Είναι ένας πίνακας χαρακτήρων (bytes) που αποθηκεύει το μήνυμα που θα σταλεί στη συσκευή Wi-Fi. Η μέγιστη επιτρεπτή τιμή για το μήκος του μηνύματος ορίζεται από την σταθερά MAX_MSG_STR_LEN.

3. u08Response (uint8_t u08Response[MAX_RESP_STR_LEN]):

Είναι ένας πίνακας χαρακτήρων (bytes) που αποθηκεύει την αναμενόμενη απάντηση από τη συσκευή Wi-Fi. Η μέγιστη επιτρεπτή τιμή για το μήκος της απάντησης ορίζεται από την σταθερά MAX_RESP_STR_LEN.

4. u08RespSize (uint8_t u08RespSize):

Αναπαριστά το μέγεθος της αναμενόμενης απάντησης. Για παράδειγμα, πόσα bytes περιμένουμε να λάβουμε ως απάντηση από τη συσκευή Wi-Fi.

5. endianess (string_endian_t endianess):

Αναπαριστά τον τύπο της εντολής (π.χ., STARTS_WITH ή ENDS_WITH). Αυτό το πεδίο χρησιμοποιείται για να καθορίσουμε πώς θα αναγνωρίζεται η αναμενόμενη απάντηση (αν ξεκινά ή τελειώνει με την συγκεκριμένη συμβολοσειρά).

6. pfnRespClbk (void (*pfnRespClbk)()):

Είναι ένας δείκτης σε συνάρτηση που θα καλείται όταν ληφθεί η αναμενόμενη απάντηση. Αυτή η συνάρτηση χρησιμοποιείται ως callback για να εκτελέσει κάποια ενέργεια μόλις ληφθεί η απάντηση από τη συσκευή Wi-Fi.

7. timeout (uint32_t timeout):

Αναπαριστά το χρονικό όριο σε χιλιοστά του δευτερολέπτου (ms) για την ολοκλήρωση της επικοινωνίας με τη συσκευή Wi-Fi. Αν η συσκευή δεν απαντήσει εντός αυτού του χρονικού ορίου, η επικοινωνία θεωρείται αποτυχημένη.

Αναλυτικά ο κώδικας της δομής απεικονίζεται παρακάτω.

```
typedef struct
{
```

```

HAL_StatusTypeDef (*pfv)(UART_HandleTypeDef*,uint8_t*,uint16_t);

uint8_t  u08Msg[MAX_MSG_STR_LEN];
uint8_t  u08Response[MAX_RESP_STR_LEN];
uint8_t  u08RespSize;
string_endian_t  endianness;

void (*pfvRespClbk)();

uint32_t timeout;
}wifi_config_t;

```

Στην συνέχεια παρουσιάζεται ο πίνακας της δομής τον οποίον χρησιμοποιούμε για να στέλνουμε at commands και να λαμβάνουμε απαντήσεις.

```

const wifi_config_t wifi_descriptor[WIFI_STATES] = {
    {HAL_UART_Transmit_IT, "AT+CWINIT=1\r\n", "OK\r\n", 4
STARTS_WITH, NULL, 1000},
    {HAL_UART_Transmit_IT, "AT+CWMODE=1\r\n", "OK\r\n", 4
STARTS_WITH, NULL, 1000},
    {HAL_UART_Transmit_IT, "AT+CWJAP=\"COSMOTE-273026\", \"password\"\r\n", "OK\r\n", 4
STARTS_WITH, vWiFiHandleClbk, 10000},
    {HAL_UART_Transmit_IT, "AT+CIPSTA?\r\n", "OK\r\n", 4
ENDS_WITH , NULL, 1000},
    {HAL_UART_Transmit_IT, "AT+CIPMUX=0\r\n", "OK\r\n", 4
STARTS_WITH, NULL, 1000},
    {HAL_UART_Transmit_IT, "AT+CIPSTART=\"UDP\", \"192.168.3.102\", 8080, 1112, 2\r\n", "OK\r\n", 4
ENDS_WITH, vUDPHandleClbk, 1000},
    {HAL_UART_Transmit_IT, "AT+CIPSEND=1\r\n", "OK\r\n", 4
STARTS_WITH, vUDPSend, 1000},
    {HAL_UART_Transmit_IT, "AT+CIPCLOSE\r\n", "OK\r\n", 4
ENDS_WITH, NULL, 1000}
};

```

Όπως παρατηρούμε ο κώδικας είναι όμοιος με τον πίνακα 4.1. Η λειτουργία του έχει ως εξής:

- {HAL_UART_Transmit_IT, "AT+CWINIT=1\r\n", "OK\r\n", 4, STARTS_WITH, NULL, 1000}:
 1. Χρησιμοποιεί τη συνάρτηση HAL_UART_Transmit_IT για να στείλει την εντολή "AT+CWINIT=1\r\n".
 2. Αναμένει την απάντηση "OK\r\n" μεγέθους 4 bytes.
 3. Χρησιμοποιεί το STARTS_WITH για να αναγνωρίσει την απάντηση.
 4. Δεν υπάρχει συνάρτηση επανάκλησης (callback).
 5. Το χρονικό όριο για αυτήν την ενέργεια είναι 1000 ms (1 δευτερόλεπτο).
- {HAL_UART_Transmit_IT, "AT+CWMODE=1\r\n", "OK\r\n", 4, STARTS_WITH, NULL, 1000}:

1. Παρόμοιο με το παραπάνω, αλλά η εντολή είναι "AT+CWMODE=1\r\n".
 - {HAL_UART_Transmit_IT, "AT+CWJAP="COSMOTE-273026","3xgk78ngu8nne79r"\r\n", "OK\r\n", 4, STARTS_WITH, vWIFIHandleClbk, 10000}:
1. Εδώ, η εντολή είναι για να συνδεθεί στο δίκτυο Wi-Fi με SSID COSMOTE-273026 και κωδικό 3xgk78ngu8nne79r.
2. Έχει συνάρτηση επανάκλησης vWIFIHandleClbk που θα κληθεί αν η απάντηση είναι επιτυχής.
3. Το χρονικό όριο είναι μεγαλύτερο (10000 ms ή 10 δευτερόλεπτα) επειδή η σύνδεση στο Wi-Fi μπορεί να διαρκέσει περισσότερο χρόνο.
- {HAL_UART_Transmit_IT, "AT+CIPSTA?\r\n", "OK\r\n", 4, ENDS_WITH, NULL, 1000}:
1. Η εντολή εδώ είναι για να ζητήσει τη διεύθυνση IP της συσκευής.
2. Η απάντηση αναμένεται να τελειώνει με "OK\r\n".
- {HAL_UART_Transmit_IT, "AT+CIPMUX=0\r\n", "OK\r\n", 4, STARTS_WITH, NULL, 1000}:
1. Η εντολή είναι για να θέσει το multiple connections mode σε 0 (single connection).
- {HAL_UART_Transmit_IT, "AT+CIPSTART="UDP", "192.168.3.102", 8080, 1112, 2\r\n", "OK\r\n", 4, ENDS_WITH, vUDPHandleClbk, 1000}:
1. Η εντολή είναι για να ξεκινήσει μια σύνδεση UDP προς τη διεύθυνση 192.168.3.102 στη θύρα 8080.
2. Έχει συνάρτηση επανάκλησης vUDPHandleClbk.
- {HAL_UART_Transmit_IT, "AT+CIPSEND=1\r\n", "OK\r\n", 4, STARTS_WITH, vUDPSend, 1000}:
1. Η εντολή είναι για να στείλει δεδομένα μέσω της σύνδεσης UDP.
2. Έχει συνάρτηση επανάκλησης vUDPSend.
- {HAL_UART_Transmit_IT, "AT+CIPCLOSE\r\n", "OK\r\n", 4, ENDS_WITH, NULL, 1000}:

Η εντολή είναι για να κλείσει την τρέχουσα σύνδεση.

Αυτός ο κώδικας δίνει μια σαφή εικόνα, του πώς κάθε εντολή Wi-Fi διαμορφώνεται και εκτελείται με συγκεκριμένες προσδοκίες για την απάντηση και το χρονικό όριο, καθώς και πώς ενσωματώνονται οι συναρτήσεις επανάκλησης για να διαχειριστούν τα αποτελέσματα της επικοινωνίας.

Για να γίνει η αποστολή των πακέτων στην κύρια ροή προγράμματος, χρησιμοποιείται μια συνάρτηση με αναφορά στον πίνακα της δομής αυτής και τρέχει τα αντίστοιχα callback με την χρήση δεικτών(**pointer**).

```
uint8_t u08HandleModem()
{
    const wifi_config_t* pHModem;
    uint32_t ms =0;
    static smState =0;
    for(uint8_t i=0;i<WIFI_STATES;i++)
```

```

{
    if(resendComand == 0){
        pHModem = wifi_descriptor[i];
        pHModem->pfv(&huart2,pHModem->u08Msg,sizeof(pHModem->u08Msg));

        ms = HAL_GetTick();
        while((HAL_GetTick() - ms) < pHModem->timeout)
        {
            ;
        }

        if(proceedState == 1)
            state++;
        else
            resendComand;
    }
    else
    {
        i--;
        pHModem = wifi_descriptor;
        pHModem[i]->pfv(&huart2,pHModem->u08Msg,sizeof(pHModem->u08Msg));
    }
}
}
}

```

Τα βήματα της συνάρτησης είναι τα ακόλουθα

1. Αναφορά στην δομή των at commands μέσω ενός pointer
2. Μεσα σε μια for με το μήκος της δομής ακολουθιακή αποστολή των at commands
3. Έλεγχος για timeout και ενημέρω για συνέχεια ή επαναποστολή.
4. Σε περίπτωση resend επαναποστολή at command.

Με τον τρόπο καθίσταται ικανή η εφαρμογή να στείλει τα πακέτα. Για τον έλεγχο τους ωστόσο χρησιμοποιείται μια δευτερεύουσα συνάρτηση με την οποία όταν έρχεται το Interrupt από την θύρα uart ελέγχουμε την απάντηση μέσω δυο απλών υποσυναρτήσεων.

```

void vCheckResp(uint8_t *u08Resp,uint8_t *pValidResp,string_endian_t endian)
{
    switch (endian)
    {
        case STARTS_WITH :
            u08BfrStartsWith(u08Resp,pValidResp,sizeof(u08Resp));
            break;
    }
}

```

```
case CONTAINS :
    u08BfrContains(u08Resp,pValidResp,sizeof(u08Resp));
    break;

case ENDS_WITH :
    u08EndsStartsWith(u08Resp,pValidResp,sizeof(u08Resp));
    break;

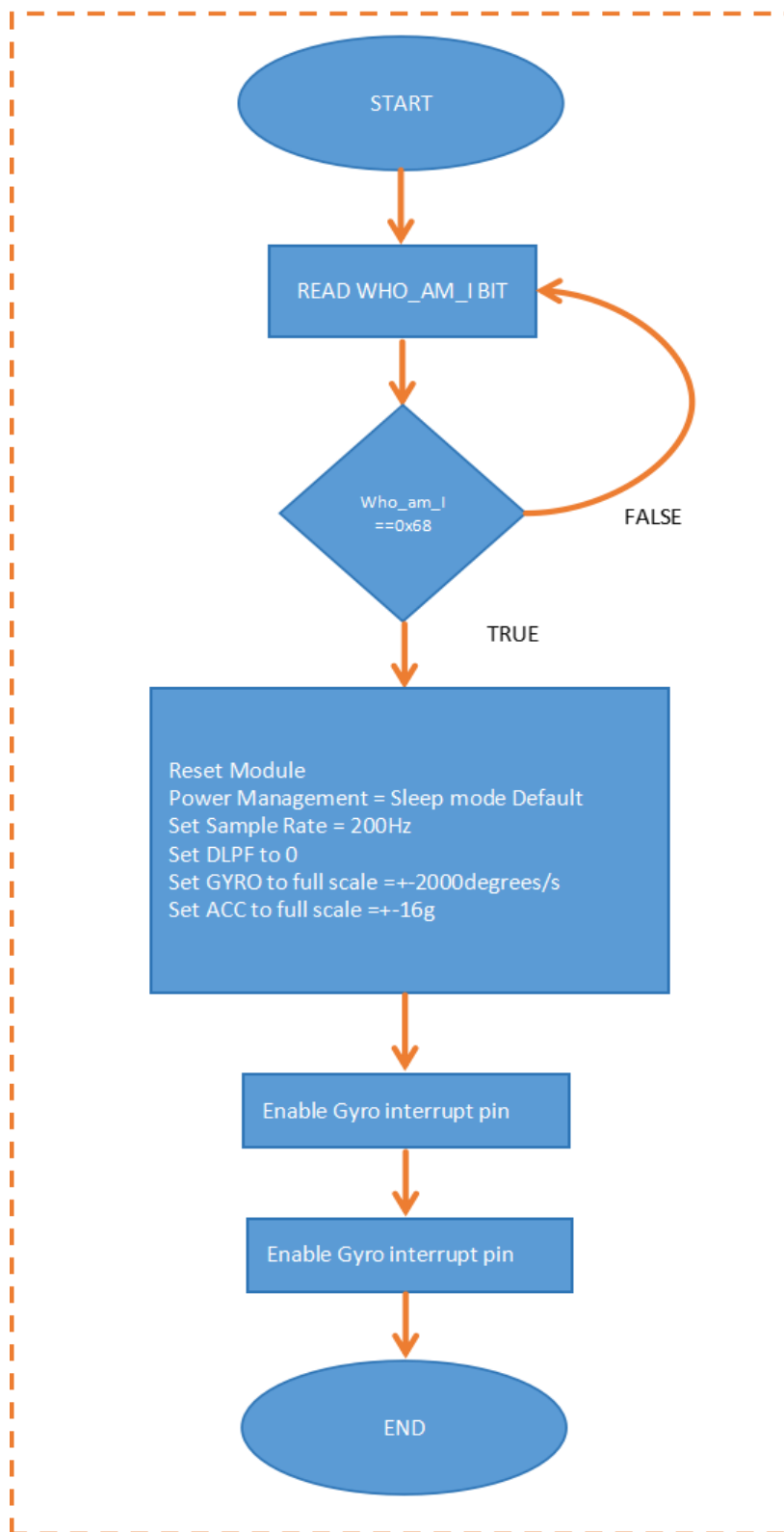
default:
    break;
}
}
```

Όπως παρατηρούμε η συνάρτηση χρησιμοποιεί ένα state machine σε περίπτωση που θέλουμε να ξεκινάει με την απαιτούμενη απάντηση ή να τελειώνει με την απαιτούμενη απάντηση.

Οι επιμέρους συνάρτησεις ελέγχουν ακριβώς αυτό μέσω των συναρτήσεων **streqy,strcmp**.

4.4 Αρχιτεκτονική σχεδιασμού driver για αισθητήρια

MPU6050 Initialization



Σχημα 38 Διάγραμμα ροής κώδικα αρχικοποίησης γυροσκοπίου

Στην συγκεκριμένη ενότητα παρουσιάζονται αναλυτικά διαγράμματα ροής και επιμέρους μέρη κώδικα που αποτέλεσαν την ραχοκοκαλιά της πειραματικής υλοποίησης της τηλεμετρίας της εργασίας.

4.4.1 Αρχιτεκτονική MPU6050

Στο σχήμα 38 παρουσιάζεται το διάγραμμα ροής του κώδικα που ρυθμίζει το mpu6050.

Όπως παρατηρούμε στο σχήμα 38 όπου απεικονίζεται το διάγραμμα ροής της αρχικοποίησης του αισθητηρίου, υπάρχουν αρκετές κρίσιμες ρουτίνες που πρέπει να χρησιμοποιηθούν για την χρήση του αισθητηρίου.

Η συνάρτηση MPU6050_Initialization είναι υπεύθυνη για την αρχικοποίηση του αισθητήρα MPU6050, ο οποίος είναι ένας αισθητήρας επιτάχυνσης και γυροσκοπίου. Ο κώδικας περιλαμβάνει μια σειρά από ενέργειες που εκτελούνται για να διασφαλιστεί ότι ο αισθητήρας είναι σωστά ρυθμισμένος και έτοιμος για χρήση. Η ανάλυση του κώδικα γίνεται παρακάτω, περιγράφοντας τις κύριες λειτουργίες και τα βήματα:

1. Καθυστέρηση εκκίνησης:

```
HAL_Delay(50);  
uint8_t who_am_i = 0;  
printf("Checking MPU6050...\n");
```

Καθυστερεί την εκκίνηση του συστήματος κατά 50 ms για να διασφαλίσει ότι ο αισθητήρας είναι έτοιμος.

2. Έλεγχος αναγνώρισης (WHO_AM_I)

```
if(who_am_i == 0x68)  
{  
    printf("MPU6050 who_am_i = 0x%02x...OK\n", who_am_i);  
}  
else  
{  
    printf("ERROR!\n");  
    printf("MPU6050 who_am_i : 0x%02x should be 0x68\n", who_am_i);  
    while(1)  
    {  
        printf("who am i error. Can not recognize mpu6050\n");  
        HAL_Delay(100);  
    }  
}
```

Ελέγχει τον αισθητήρα για να δει αν η αναγνώριση WHO_AM_I επιστρέφει την τιμή 0x68. Αν ναι, συνεχίζει την αρχικοποίηση, αλλιώς εμφανίζει μήνυμα λάθους και σταματά την εκτέλεση με ένα άπειρο βρόχο.

3. Επαναφορά του αισθητήρα:

```
MPU6050_Writebyte(MPU_REG_PWR_MGMT_1, 0x1<<7);
```

```
HAL_Delay(100);
```

Επαναφέρει τον αισθητήρα γράφοντας την τιμή 0x80 στο καταχωρητή διαχείρισης ενέργειας και περιμένει 100 ms.

4. Ρύθμιση διαχείρισης ενέργειας:

```
MPU6050_Writebyte(MPU_REG_PWR_MGMT_1, 0x00);  
HAL_Delay(50);
```

Ξυπνά τον αισθητήρα από τη λειτουργία ύπνου γράφοντας 0x00 στο ίδιο καταχωρητή.

5. Διαχωριστής ρυθμού δειγματοληψίας:

```
MPU6050_Writebyte(MPU_REG_SMPRT_DIV, 39); // Sample Rate = 200Hz  
HAL_Delay(50);
```

Θέτει το διαιρέτη ρυθμού δειγματοληψίας για να επιτύχει ρυθμό δειγματοληψίας 200Hz..

6. Ρύθμιση FSYNC και DLPF:

```
MPU6050_Writebyte(MPU_REG_CONFIG, 0x00);  
HAL_Delay(50);
```

Θέτει τη ρύθμιση DLPF σε 0.

7. Ρύθμιση πλήρους κλίμακας γυροσκοπίου:

```
uint8_t FS_SCALE_GYRO = 0x0;  
MPU6050_Writebyte(MPU_REG_GYRO_CONFIG, FS_SCALE_GYRO<<3);  
HAL_Delay(50);
```

Θέτει το γυροσκόπιο σε πλήρη κλίμακα ± 2000 μοίρες/δευτερόλεπτο.

8. Ρύθμιση πλήρους κλίμακας επιταχυνσιομέτρου:

```
uint8_t FS_SCALE_ACC = 0x0;  
MPU6050_Writebyte(MPU_REG_ACCEL_CONFIG, FS_SCALE_ACC<<3);  
HAL_Delay(50);
```

9. Λήψη ευαισθησίας LSB:

```
MPU6050_Get_LSB_Sensitivity(FS_SCALE_GYRO, FS_SCALE_ACC);  
printf("LSB_Sensitivity_GYRO: %f, LSB_Sensitivity_ACC: %f\n", LSB_Sensitivity_GYRO,  
LSB_Sensitivity_ACC);
```

Καλεί την συνάρτηση που είναι υπεύθυνη για να υπολογίσει την ευαισθησία LSB για το γυροσκόπιο και το επιταχυνσιόμετρο και εκτυπώνει τις τιμές.

10. Ρύθμιση interrupt::

```
uint8_t INT_LEVEL = 0x0; //0 - active high, 1 - active low  
uint8_t LATCH_INT_EN = 0x0; //0 - INT 50us pulse, 1 - interrupt clear required  
uint8_t INT_RD_CLEAR = 0x1; //0 - INT flag cleared by reading INT_STATUS, 1 - INT flag cleared by  
any read operation
```

```
MPU6050_Writebyte(MPU_REG_INT_PIN_CFG, (INT_LEVEL<<7)|(LATCH_INT_EN<<5)|(INT_RD_CLEAR<<4)); //  
HAL_Delay(50);
```

Ρυθμίζει τα IO που είναι υπεύθυνα για την ρουτίνα διακοπής του αισθητήρα σύμφωνα με τις παραμέτρους.

11. Ενεργοποίηση διακοπών:

```
uint8_t DATA_RDY_EN = 0x1; // 1 - enable, 0 - disable  
MPU6050_Writebyte(MPU_REG_INT_ENABLE, DATA_RDY_EN);  
HAL_Delay(50);
```

Ενεργοποιεί την διακοπή της ροής του προγράμματος, και τέλος

12. Ολοκλήρωση αρχικοποίησης:

Εκτυπώνει μήνυμα ότι η αρχικοποίηση έχει ολοκληρωθεί επιτυχώς.

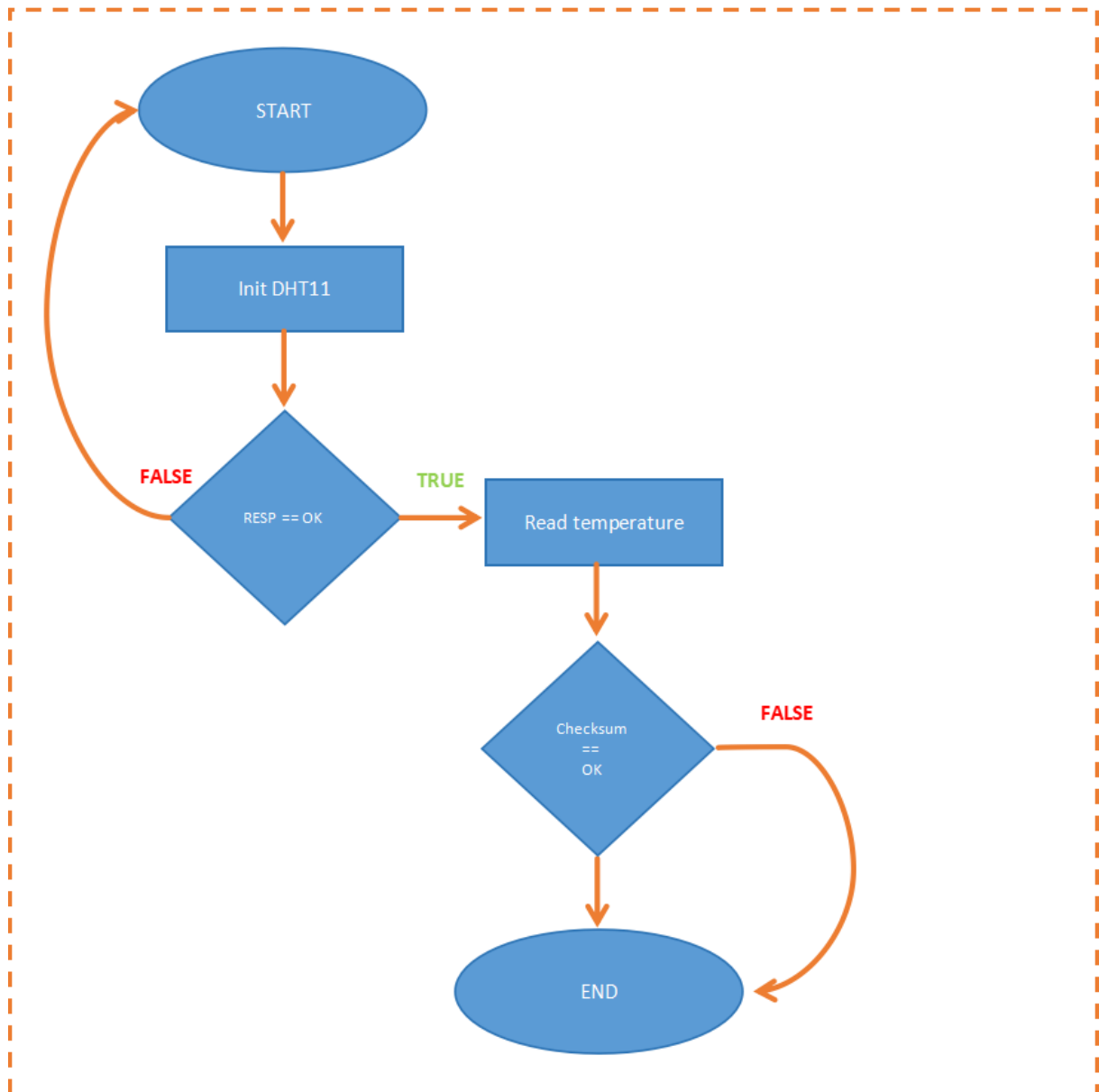
Ο κώδικας αυτός καλύπτει πλήρως τη διαδικασία αρχικοποίησης του αισθητήρα MPU6050, εξασφαλίζοντας ότι ο αισθητήρας είναι έτοιμος να λειτουργήσει σωστά και να συλλέγει δεδομένα με τις σωστές παραμέτρους και ρυθμίσεις.

Με την παραπάνω αρχικοποίηση μπορούμε να καλούμε της συναρτήσης που είναι υπεύθυνες για δειγματοληψία και να παρατηρήσουμε τα δεδομένα.

4.4.2 Αρχιτεκτονική DHT11

Στο σχήμα 39 παρουσιάζεται διάγραμμα ροής της αρχιτεκτονικής του αλγορίθμου δειγματοληψίας του DHT11[4], και στην συνέχεια αναλύονται η επιμέρους ρουτίνες που απαρτίζουν τον αλγόριθμο.

DHT11 Handle



Σχημα 39 Διάγραμμα ροής αλγορίθμου δειγματοληψίας DHT11.

Όπως παρατηρούμε από το σχήμα 39, τα βήματα που ακολουθούνται για την σωστή δειγματοληψία της θερμοκρασίας του αισθητηρίου 1-WIRE, είναι τα εξής

1. **Αρχικοποίηση αισθητηρίου:** Το πρώτο βήμα για τον αλγόριθμο είναι να αρχικοποιήσει το αισθητήριο, δηλαδή να δηλώσει ποιά I/O θα χρησιμοποιηθούν για την ανάγνωση.

```

void DHT_Start (void)
{
    DWT_Delay_Init();
    Set_Pin_Output (DHT_PORT, DHT_PIN); // set the pin as output
    SET_PIN(DHT_PORT, DHT_PIN, 0); // pull the pin low
}
    
```

```
delay (18000); // wait for 18ms
```

```
SET_PIN(DHT_PORT, DHT_PIN, 1); // pull the pin high
delay (20); // wait for 30us
Set_Pin_Input(DHT_PORT, DHT_PIN); // set as input
}
```

Η συνάρτηση για την αρχικοποίηση περιλαμβάνει, όπως βλέπουμε, τον ορισμό των I/O σε εισόδους ή εξόδους στην ενεργοποίηση τους και στην συνέχεια εκτέλεση μιας καθυστέρησης για την λήψη των πακέτων από την θύρα 1-wire.

2. **Έλεγχος απάντησης:** Σε αυτό το στάδιο γίνεται ο απαραίτητος έλεγχος των παλμών που λαμβάνονται στην θύρα, για επαλήθευση της επικοινωνίας και έναρξη ανάγνωσης των byte που σχετίζονται με την επιθυμητή πληροφορία.

```
uint8_t DHT_Check_Response (void)
{
    uint8_t Response = 0;
    delay (40);
    if (!(HAL_GPIO_ReadPin (DHT_PORT, DHT_PIN)))
    {
        delay (80);
        if ((HAL_GPIO_ReadPin (DHT_PORT, DHT_PIN))) Response = 1;
        else Response = -1;
    }
    while ((HAL_GPIO_ReadPin (DHT_PORT, DHT_PIN))); // wait for the pin to go low

    return Response;
}
```

Αυτή η συνάρτηση ελέγχει αν ο αισθητήρας έχει απαντήσει. Περιμένει **40us** και αν το IO είναι **low**, περιμένει άλλα **80us**. Αν το IO είναι **high**, επιστρέφει 1, αλλιώς -1.

3. **Ανάγνωση Δεδομένων Θύρας 1-WIRE:** Σε αυτό το βήμα πραγματοποιείται και η ανάγνωση της θερμοκρασίας.

```
uint8_t DHT_Read (void)
{
    uint8_t i,j;
    for (j=0;j<8;j++)
    {
        while (IS_PIN_LOW(DHT_PORT,DHT_PIN)); // wait for the pin to go high
        delay (40); // wait for 40 us
        if (IS_PIN_LOW(DHT_PORT,DHT_PIN)) // if the pin is low
        {
```

```

        i&= ~(1<<(7-j)); // write 0
    }
    else i|= (1<<(7-j)); // if the pin is high, write 1
    while ((IS_PIN_HIGH(DHT_PORT, DHT_PIN))); // wait for the pin to go low
}
return i;
}

```

Αυτή η συνάρτηση διαβάζει ένα byte από τον αισθητήρα. Για κάθε bit, περιμένει να πάει το IO σε κατάσταση **HIGH**, καθυστερεί **40us** και ελέγχει αν είναι χαμηλή (γράφει 0) ή υψηλή (γράφει 1).

4. Συνάρτηση εκτέλεσης αρχικοποίησης, ελέγχου και ανάγνωσης: Για την εκτέλεση όλων των παραπάνω βημάτων απαιτείται μια συνάρτηση τέτοια , που να εκτελεί όλα τα βήματα και να ελέγχει το αποτέλεσμα.

```

void DHTInitReaad (DHT_DATA_T *pDHT)
{
    DHT_Start ();
    Presence = DHT_Check_Response ();
    Rh_byte1 = DHT_Read ();
    Rh_byte2 = DHT_Read ();
    Temp_byte1 = DHT_Read ();
    Temp_byte2 = DHT_Read ();
    SUM      = DHT_Read();

    if (SUM == (Rh_byte1+Rh_byte2+Temp_byte1+Temp_byte2))
    {
        pDHT->Temperature = Temp_byte1;
        pDHT->Humidity = Rh_byte1;
    }
}

```

Λόγω του γεγονότος ότι το DHT11 στέλνει 40BYTE δεδομένων τα οποία έχουμε προαναφέρει την λειτουργία τους, ένας εξτρά έλεγχος που κάνουμε είναι να ελέγξουμε το checksum. Με αυτόν τον τρόπο ξέρουμε ότι πήραμε σωστά το πακέτο. Η δομή της συνάρτησης αυτής αποτελεί ουσιαστικά και τις λειτουργίες που αναφέραμε.

5. Επιστροφή θερμοκρασίας στην κυρίως ροή προγράμματος.

Η τελευταία λειτουργία του κώδικα είναι η επιστροφή της θερμοκρασίας στην κυρίως ροή προγράμματος.

```

DHT_DATA_T vDHTGetData(DHT_DATA_T *pDHT)
{
    DHTInitReaad(&DHT11_Data);
    HAL_DeLay(3000);
}

```

Κεφάλαιο 3

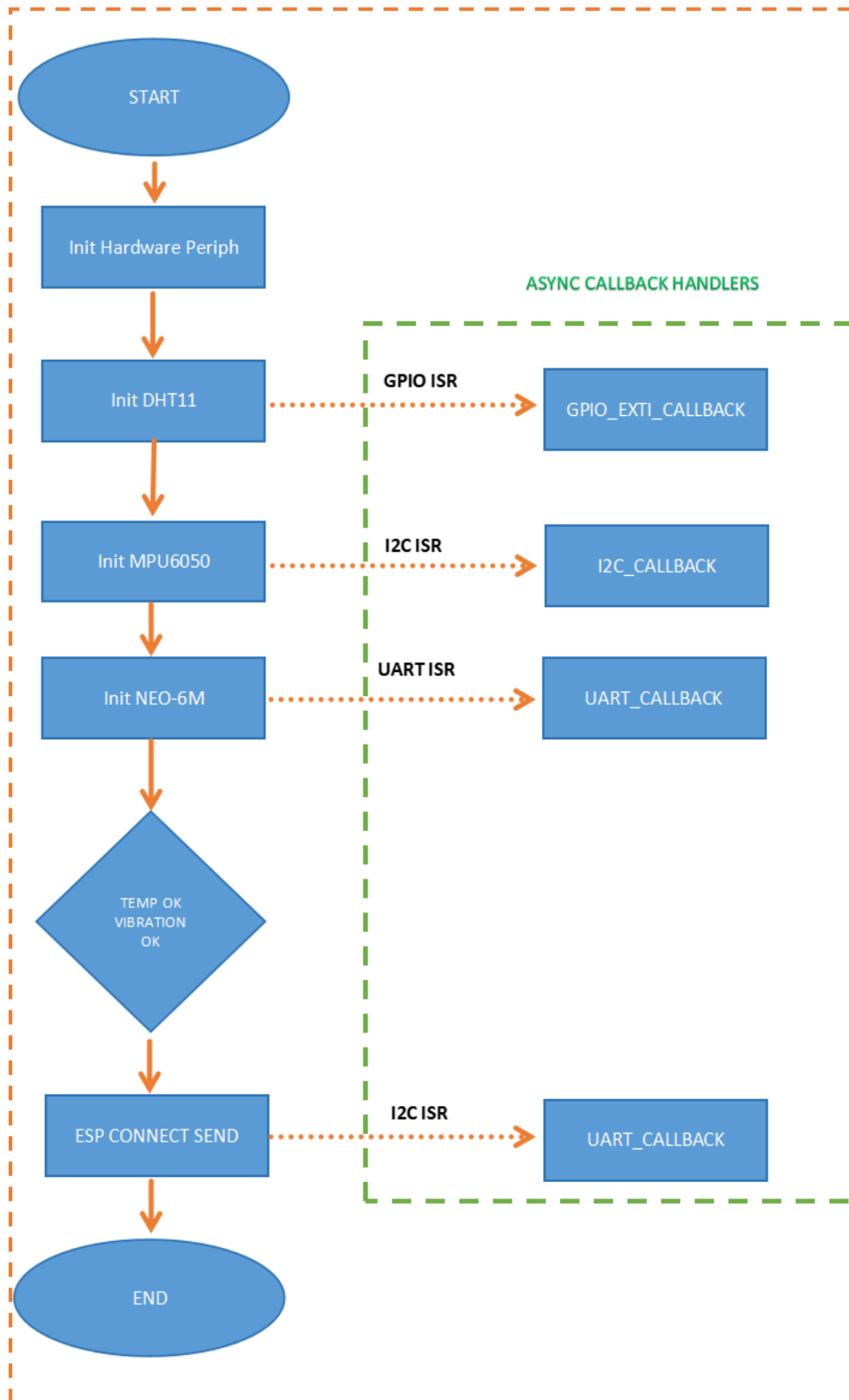
```
return DHT_DATA_T.Temperature;
```

```
}
```

Με αυτήν την συνάρτηση που απεικονίζεται παρατηρούμε ότι επιστρέφεται το member της δομή δεδομένων του `dht` που σχετίζεται με την θερμοκρασία και ουσιαστικά εδώ τελειώνει και η διαδικασία δειγματοληψίας του κώδικα.

4.5 Αλγόριθμος λειτουργίας ενσωματωμένου συστήματος τηλεμετρίας

APPLICATION STRUCTURE



Σχημα 40 Διάγραμμα ροής της κύριας ροής προγράμματος.

Όπως παρατηρούμε από το σχήμα 40 τα βήματα του αλγορίθμου της κύρια ροής κώδικα είναι αρκετά απλή.

- Αρχικοποίηση των περιφερειακών του μικροελεγκτή με την χρήση της βιβλιοθήκης HAL
- Αρχικοποίηση και δειγματοληψία του αισθητηρίου dht11 για λήψη θερμοκρασίας.
- Αρχικοποίηση και δειγματοληψία του αισθητηρίου MPU6050 και λήψη δεδομένων επιτάχυνσης κλίσης.
- Αρχικοποίηση του GPS και λήψη στίγματος γεωγραφικών δεδομένων .
- Αποστολή δεδομένων μέσω αρχικοποίησης του esp32 modem σε λειτουργία UDP

Όλες οι ρουτίνες εξυπηρέτησης λειτουργιών του ενσωματωμένου συστήματος,πλην αυτής της λήψης θερμοκρασίας, είναι ασύγχρονες,. Η κύρια ροή προγράμματος που να ρώταει περιοδικά αν υπάρχει θερμοκρασία, δονήσεις, σήμα wi-fi(polling) αλλά η ενημέρωση των καταστάσεων γίνεται μέσω ρουτινών εξυπηρέτησης διακοπών(ISR-Interrupt Service Routine), οι οποίες είναι σαφώς ορισμένες μέσα στην HAL και η μόνη προσθήκη που χρειάστηκε ήταν η διαχείριση των δεδομένων που έρχονται από αυτές τις ρουτίνες

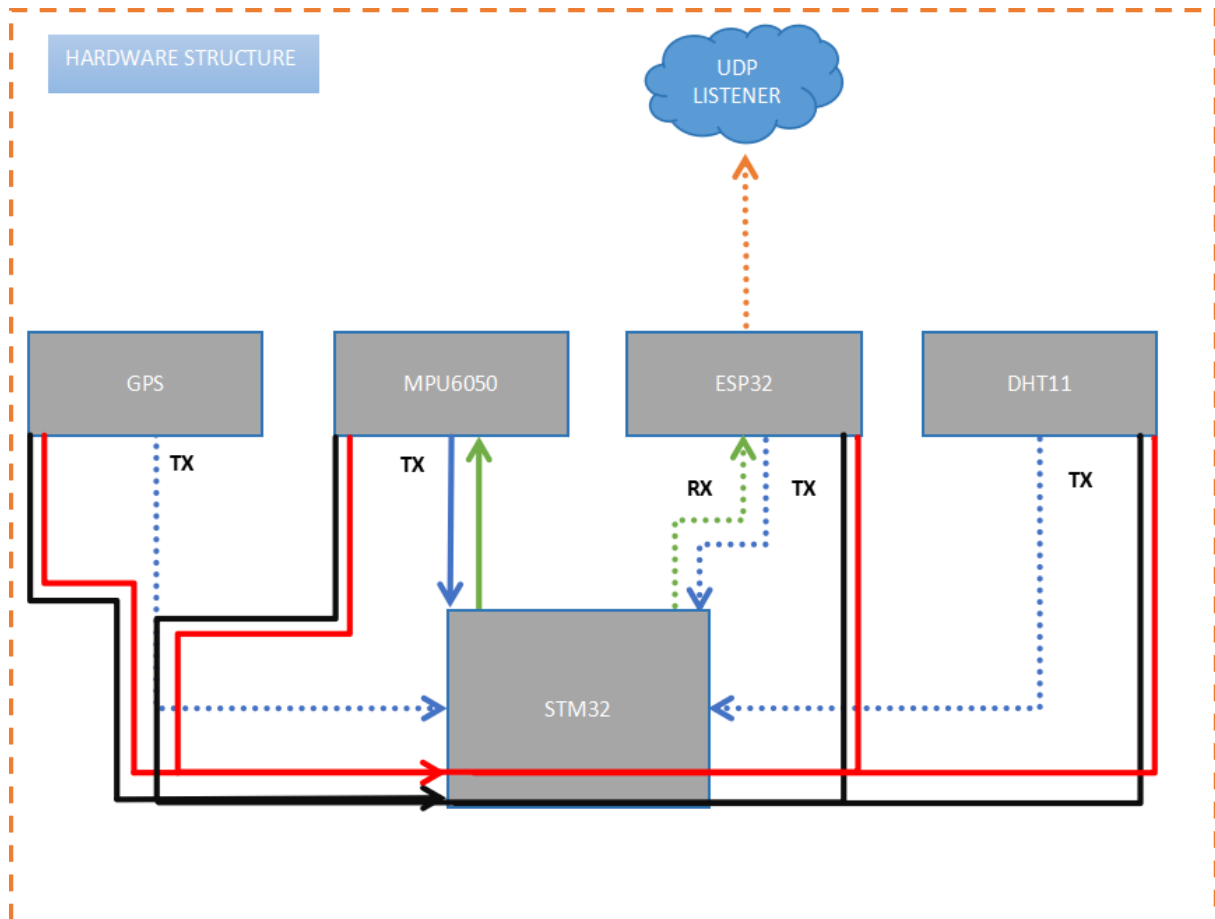
4.6 Επίλογος

Σε αυτό το κεφάλαιο μελετήθηκε και αναλύθηκε τόσα περιληπτικά όσο και διεξοδικά μέσα από διαγράμματα ροής αλλά και κώδικα η πλήρης λειτουργία της εφαρμογής που κρίθηκε ικανή να υλοποιήσει ένα σύστημα τηλεμετρίας, δηλαδή έναν σύστημα απόστολής δεδομένων σε πραγματικό χρόνο

Κεφάλαιο 5ο: Δομή υλικού(HARDWARE)

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζεται ένα γενικευμένο μπλοκ διάγραμμα της διάταξης του hardware που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του συστήματος τηλεμετρίας. Στην παρούσα εργασία δεν κρίθηκε απαραίτητο να γίνει κάποια μελέτη σχετικά με το ποία είναι η βέλτιστη επιλογή αισθητηρίων καθώς επίσης δεν κρίθηκε απαραίτητο να γίνει μελέτη και κατασκευή κάποια τυπωμένη πλακέτας(PCB) για την εκπλήρωση του στόχου της εργασίας.

Όπως έχει προαναφερθεί ο στόχος της εργασίας ήταν η υλοποίηση κώδικα για την κατασκευή ενός συστήματος τηλεμετρίας για την αποστολή δεδομένων σε πραγματικό χρόνο. Στο σχήμα 41 παρουσιάζεται το μπλοκ διάγραμμα του υλικού που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία.



Σχημα 41 Μπλοκ διάγραμμα αναπαράστασης της συνδεσμολογίας των Modules της εργασίας

Κεφάλαιο 6ο: Συμπεράσματα ή/και προτάσεις βελτίωσης

Το αποτέλεσμα της εργασίας δικαιώνει το σκόπο μελέτης της και εφαρμογής υλικολογισμικού για την δημιουργία ενός απλοποιημένου Proof-of-concept συστήματος.

Παρ' όλα αυτά κάποιες προτάσεις για βελτίωση συνοψίζονται παρακάτω:

- Εισαγωγή watchdog για παρακολούθηση την ροής του κώδικα και reset σε περίπτωση κωλήματος
- Για την απλοποίηση του project δεν χρησιμοποιήθηκε κάποιο ποιο ασφαλές πρωτόκολλο TCP/IP. Θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σε πιθανή επέκταση
- Λόγω απλότητας δεν υπήρχε σχεδίαση για χαμηλή κατανάλωση αλλά και δεν μετρήθηκε . Σε πιθανή επέκταση θα μπορούσε να γίνει σχεδίαση για sleep mode.
- **DMA:** Ο χειρισμός όλων των σειριακών, για να αποσυμφορηθεί η κύρια μονάδα επεξεργασίας θα μπορούσε να γίνει μέσω της χρήσης του direct memory access, μιας λειτουργίας που δίνει της δυνατότητα να ενημερώνεται ο επεξεργαστής χωρίς polling της μνήμης.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Rodgers, A.R., 2001. Recent telemetry technology. In *Radio tracking and animal populations* (pp. 79-121). Academic Press.
- [2] Instruments, T., 2010. Keystone architecture universal asynchronous receiver/transmitter (uart) user guide. Texas Instruments User Guide.
- [3] u-blox, NEO-6 u-blox 6 GPS Modules Data Sheet. [Online]. Available: [<https://www.u-blox.com/en>].
- [4] Espressif Systems, Getting Started with ESP32 DevKitC. [Online]. Available: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/hw-reference/esp32/get-started-devkitc.html#get-started-esp32-devkitc-board-front>. 5/9/2024
- [5] Aosong, DHT11 Digital Humidity & Temperature Sensor, 2021. [Online]. Available: <https://www.aosong.com/en/ProductShow.asp?id=162>. [Accessed: Date].
- [6] Silicon Labs, USB-to-UART Bridge VCP Drivers. [Online]. Available: <https://www.silabs.com/developers/usb-to-uart-bridge-vcp-drivers>. 5/9/2024
- [7] InvenSense, MPU-6050 datasheet, 2015. [Online]. Available: https://www.invensense.com/wp-content/uploads/2015/02/MPU-6050_Datasheet.pdf. [Accessed: Date].
- [8] Texas Instruments, "Application Note: A Basic Guide to I2C," SLVA704, Oct. 2015. Accessed: Sep. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.ti.com>
- [9] M. Ahmed, "Analog to Digital Converter (ADC) – Block Diagram, Factors & Applications," Electrical Technology, Feb. 2019. Accessed: Sep. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.electricaltechnology.org/2019/02/analog-to-digital-converter-adc.html>
- [10] "GPS GY-NEO6MV2 Module Datasheet," u-blox AG. Accessed: Sep. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.u-blox.com>
- [11] Espressif Systems, "ESP32 AT Command Set – Wi-Fi AT Commands," Accessed: Sep. 14, 2024. [Online]. Available: https://docs.espressif.com/projects/esp-at/en/latest/esp32/AT_Command_Set/Wi-Fi_AT_Commands.html
- [12] Espressif Systems, ESP32-S2 Series Datasheet. [Online]. Available: <https://www.espressif.com/>. 5/9/2024. [1] Center for Environmental and Oceanographic Research, GPS Ephemeris Data. [Online]. Available: <https://cenv.wvu.edu/sal/gps-ephemeris-data>. 5/9/2024.
- [13] CompuPhase, "Termite: a simple RS232 terminal," Accessed: Sep. 14, 2024. [Online]. Available: https://www.compuphase.com/software_termite.htm
- [14] Silicon Labs, "CP2102 USB to UART Bridge VCP Drivers," Accessed: Sep. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.silabs.com/interface/usb-bridges/classic/device.cp2102>
- [15] u-blox AG, "u-blox 8 / u-blox M8 Receiver Description Including Protocol Specification," GPS.G8-SW-12001, R15, 2017. Accessed: Sep. 14, 2024. [Online]. Available: <https://www.u-blox.com>
- [16] AfterAcademy, "What is Context Switching in Operating System?" Accessed: Sep. 14, 2024. [Online]. Available: <https://afteracademy.com/blog/what-is-context-switching-in-operating-system/>