

CFP-18-Ursa Minor**CanSat Final Paper****Σταύρος Πάνος**1ο ΕΠΑ.Λ. Πρέβεζας, Ελλάς, prevezagreece13@gmail.com**Θεόδωρος Κακιούζης**1ο ΕΠΑ.Λ. Πρέβεζας, Ελλάς, theodoros2001gr@gmail.com**Κωνσταντίνος Παπαδιάς**1ο ΕΠΑ.Λ. Πρέβεζας, Ελλάς, papadiaskonstantinos@gmail.com**Αθανάσιος Κορδατζής**1ο ΕΠΑ.Λ. Πρέβεζας, Ελλάς, thanosk2001@gmail.com**Παναγιώτης Ζήσης**1ο ΕΠΑ.Λ. Πρέβεζας, Ελλάς, zisispanos87@gmail.com**Θωμάς Βασιλειάδης**1ο ΕΠΑ.Λ. Πρέβεζας, Ελλάς, nickproman8@gmail.com**Δημήτριος Βασιλάκος**1ο ΕΠΑ.Λ. Πρέβεζας, Ελλάς, dhmhtrhsvasilakos@gmail.com

Περίληψη: Η ομάδα μας κατασκεύασε ένα όχημα για τον πανελλήνιο διαγωνισμό CanSat το οποίο εκτοξεύθηκε και εκτέλεσε τις δύο αποστολές με αρκετά μεγάλο ποσοστό επιτυχίας. Κατά την πτώση ο δορυφόρος έστειλε και κατέγραψε την ατμοσφαιρική πίεση, την θερμοκρασία αέρα, την υγρασία, τις μεταβολές του μαγνητικού πεδίου, την θέση του οχήματος στον χώρο, τις γεωγραφικές συντεταγμένες και επιπλέον έπρεπε να αποθηκεύσει στην εσωτερική μνήμη sd 1-2 φωτογραφίες από ψηλά. Αυτό δεν έγινε λόγω δυσλειτουργίας του φορητού υπολογιστή. Το σύστημα ανάκτησης λειτούργησε κανονικά και η πτώση ήταν ομαλή χωρίς αστάθεια και στροβιλισμούς. Όταν το Cansat προσεδάφιστηκε, άνοιξε το εξωτερικό περίβλημα (Lander) και από μέσα βγήκε το rover. Οι τροχοί είναι εκτεινόμενοι και όταν αυτοί άνοιξαν, η διάμετρός τους διπλασιάστηκε. Με εντολές τηλεμετρίας το όχημα κινήθηκε και πήρε επιπλέον φωτογραφίες από το έδαφος. Όλες οι φωτογραφίες στάλθηκαν μέσα από το κανάλι τηλεμετρίας. Ο τηλεχειρισμός του οχήματος έγινε από τον σταθμό βάσης με φορητό υπολογιστή ο οποίος έτρεχε ένα πρόγραμμα σε γραφικό περιβάλλον χρήστη Graphic User Interface (GUI). Με τις μετρήσεις τις οποίες πήραμε, υπολογίσαμε το υψόμετρο από την ατμοσφαιρική πίεση, την ταχύτητα ανόδου και πτώσης και φτιάξαμε γραφήματα σε λογιστικό φύλλο, στα οποία φαίνονται οι μεταβολές της θερμοκρασίας, της υγρασίας και του μαγνητικού πεδίου σε σχέση με το υψόμετρο.

I. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι αποστολές CanSat εξομοιώνουν μια πραγματική αποστολή δορυφόρου αλλά σε μέγεθος κουτιού αναψυκτικού.

Ο μικροδορυφόρος ‘εκτοξεύτηκε’ με την βοήθεια drone σε υψόμετρο περίπου 500m και από εκεί αφέθηκε σε ελεύθερη πτώση. Αμέσως άνοιξε το αλεξίπτωτο τύπου cross και ο δορυφόρος μας έπεφτε με ταχύτητα περίπου 8m/sec.

Ως δευτερεύουσα αποστολή, η ομάδα μας επέλεξε να κατασκευάσει ένα όχημα τύπου rover το οποίο είναι εξοπλισμένο με πολλούς αισθητήρες όπως: ατμοσφαιρικής πίεσης, θερμοκρασίας, υγρασίας, μαγνητόμετρο, γυροσκόπια, επιταχυνσιόμετρα και Global Positioning System (GPS). Επιπλέον διαθέτει και μια μικροκάμερα με συμπίεση εικόνας σύμφωνα με το πρότυπο Joint Photographic Experts Group (JPEG) για φωτογράφιση.

Το cansat επικοινωνεί με τον σταθμό βάσης μέσω του συστήματος τηλεμετρίας στις πάρα πολύ υψηλές συχνότητες Ultra High Frequencies (UHF). Αξίζει να σημειωθεί πως πρόκειται για εξελιγμένη τηλεμετρία διότι μπορούμε να στείλουμε πολλές εντολές στον δορυφόρο ώστε να εκτελέσει μια ενέργεια και να βλέπουμε την κατάστασή του σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον οι φωτογραφίες και όλες οι μετρήσεις που είναι αποθηκευμένες στην κάρτα Secure Digital (SD), μπορούν να αποσταλούν στον σταθμό βάσης μέσω του μοναδικού καναλιού τηλεμετρίας στενού εύρους που διαθέτει. Τα δεδομένα στέλνονται με μεταβλητό ρυθμό από ένα δείγμα ανά 3 sec έως 5 δείγματα ανά sec.

Το CanSat έχει τοποθετηθεί μέσα σε ένα εύκαμπτο πλαστικό κέλυφος, το οποίο προστατεύει τον μικροδορυφόρο και επιπλέον συγκρατεί τους εκτεινόμενους τροχούς κλειστούς. Το αλεξίπτωτο είναι δεμένο στο εξωτερικό κέλυφος. Μετά την προσεδάφιση και κατόπιν εντολής από τον σταθμό βάσης, το εξωτερικό κέλυφος ανοίγει και από μέσα αναπτύσσεται το όχημα στο τελικό μέγεθος. Το όχημα μπορεί να κινηθεί σε αρκετά ανώμαλο έδαφος και να στείλει μετρήσεις και φωτογραφίες στον σταθμό εδάφους.

II ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΕΡΓΟΥ

Όπως φαίνεται στο μπλοκ διάγραμμα που ακολουθεί (Fig. 1), το σύστημά μας αποτελείται από τα εξής μέρη:

A) Μικροδορυφόρος Cansat

- Τους αισθητήρες υλοποίησης των δύο αποστολών όπως πίεσης, θερμοκρασίας και υγρασίας.
- Το μαγνητόμετρο 3 αξόνων, το γυροσκόπιο 3 αξόνων και το επιταχυνσιόμετρο 3 αξόνων. Με αυτά μετράμε την ένταση του μαγνητικού πεδίου του πλανήτη και ανιχνεύουμε την θέση του οχήματος στον χώρο.
- Ένα άρθρωμα G.P.S. για τον προσδιορισμό της γεωγραφικής θέσης.
- Την κάμερα JPEG για την φωτογράφιση.
- Αισθητήρες ελέγχου του οχήματος, όπως επίπεδο ενέργειας μπαταρίας και ανίχνευση εμπλοκής τροχών αν συγκρουστεί με κάποιο αντικείμενο.
- Την κάρτα microSD για αποθήκευση των μετρήσεων και των φωτογραφιών
- Τον πομποδέκτη UHF για την επικοινωνία με τον σταθμό εδάφους.
- Τα δύο micro servos για την κίνηση του rover.
- Τον αντιστάτη αποδέσμευσης από το Lander.
- Τον μικροελεγκτή ο οποίος ελέγχει τα πάντα μέσα στο cansat.

B) Σταθμός εδάφους

- Μία κατευθυνόμενη κεραία UHF.
- Τον πομποδέκτη UHF για την επικοινωνία με το cansat.
- Τον μικροελεγκτή ο οποίος προεξεργάζεται τα δεδομένα πριν τα στείλει στον φορητό υπολογιστή.
- Τον φορητό υπολογιστή για τον χειρισμό του cansat και προβολή της κατάστασης.

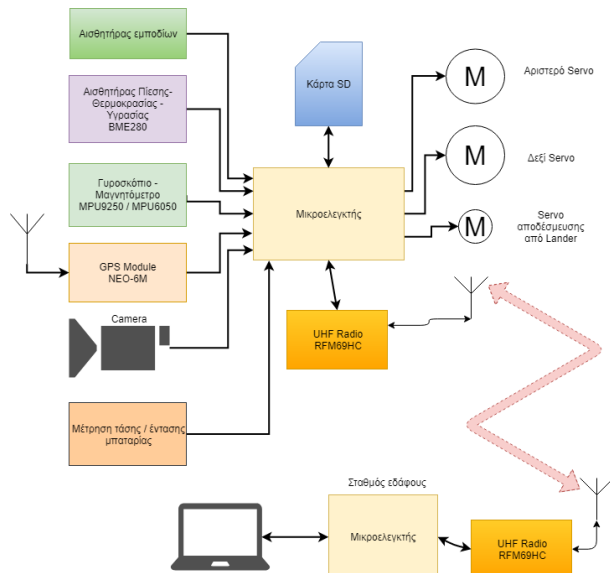


Fig. 1: Το μπλοκ διάγραμμα του συστήματος. Στην τελική έκδοση το τρίτο Servo αποδέσμευσης, έχει αντικατασταθεί με αντιστάτη.

Το εξωτερικό κέλυφος συγκρατείται κλειστό με νήμα νάιλον. Το νήμα τήκεται με την βοήθεια ενός αντιστάτη και το εξωτερικό κέλυφος ανοίγει όταν το cansat προσεδαφιστεί. Η κίνηση στους τροχούς δίνεται από δύο ανεξάρτητους κινητήρες micro servos.

Στο εσωτερικό του κορμού ακολουθήσαμε οριζόντια διαστρωμάτωση με τρεις διάτρητες πλακέτες perfboard. Στην μεσαία υπάρχει ο ελεγκτής του cansat το Ursuino.

Στις άλλες δύο πλακέτες έχουν τοποθετηθεί η κάρτα SD, οι αισθητήρες, τα γυροσκόπια – επταχυνσιόμετρα, το άρθρωμα GPS και ο πομποδέκτης UHF.

Η επικοινωνία είναι ημιαμφίδρομη και πραγματοποιείται στην μάντα UHF Industrial Scientific and Medical (ISM) και συγκεκριμένα στους 434.000 MHz. Όλα τα δεδομένα από και προς τον δορυφόρο γίνονται μέσα απ' αυτό το κανάλι τηλεμετρίας. Ο ρυθμός επικοινωνίας είναι 38400bps. Η κεραία εκπομπής του CanSat είναι η μία ντίζα στο εσωτερικό του οχήματος με μήκος 8,4cm, δηλαδή μικρότερη από $\lambda/4$ (17cm) με πηνίο προσαρμογής (Rubber).

Από την πλευρά του σταθμού βάσης υπάρχει ένα arduino micro με τον πομποδέκτη UHF, το οποίο συνδέεται στον φορητό H/Y μέσω θύρας Universal Serial Bus (USB). Στον σταθμό βάσης

χρησιμοποιήσαμε κατευθυνόμενη κεραία Quagi κέρδους 12dbi. Στον φορητό H/Y εκτελείται πρόγραμμα με γραφικό περιβάλλον χρήστη GUI μέσω του οποίου τηλεχειριζόμαστε το CanSat.

II.1 Υλικά και μηχανολογικός σχεδιασμός

Η μηχανολογική κατασκευή είναι χειροποίητη και τα υλικά μπορούν να βρεθούν εύκολα.

II.1.1 Το σασί του CanSat

Ο κορμός (σασί) του cansat κατασκευάστηκε από Polyvinyl Chloride (P.V.C.), υλικό ανθεκτικό και ελαφρύ. Υπάρχουν δύο οκτάγωνα PVC στα οποία στηρίζονται τα δύο servo motors. Τα δύο οκτάγωνα τα συγκρατούν δύο μεταλλικές ντίζες διαμέτρου 3mm. Παράλληλα με τις ντίζες και κάθετα προς τα επίπεδα των οκταγώνων, τοποθετείται μια ορθογώνια επιφάνεια από P.V.C. Πάνω σ' αυτή στηρίζεται η 1^η πλακέτα από την μια πλευρά και οι δύο μπαταρίες από την άλλη (Fig. 2).

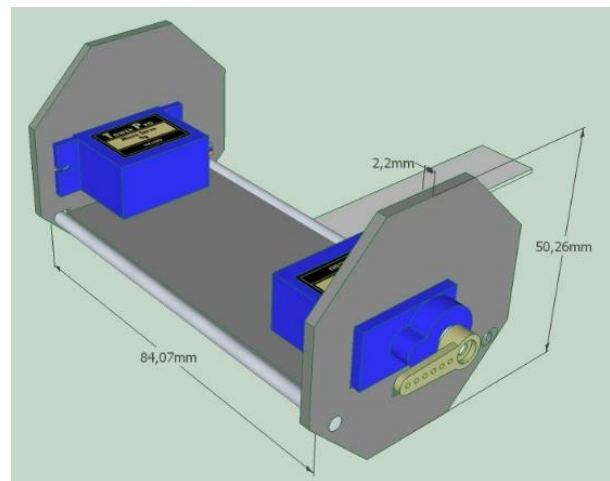


Fig. 2: Ο κορμός του οχήματος (Τρισδιάστατο μοντέλο)

Επίσης απαραίτητη είναι και η ουρά η οποία συντελεί στην σωστή κίνηση του οχήματος, αποφεύγοντας περιστροφή του κορμού γύρω από τον εαυτό του.

Πάνω στην ορθογώνια πλάκα στηρίζεται η μεταλλική ουρά η οποία είναι κατασκευασμένη από έλασμα ώστε να μπορεί να διπλωθεί μέσα στο lander. Η κατώτερη πλακέτα βιδώνεται πάνω στην οριζόντια ορθογώνια πλάκα και οι άλλες δύο συνδέονται με χρήση συνδετήρων (Fig. 3)

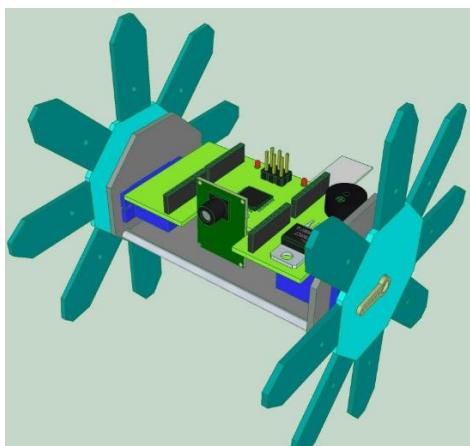


Fig. 3: Η τοποθέτηση των πλακετών μέσα στον κορμό του οχήματος (Τρισδιάστατο μοντέλο)

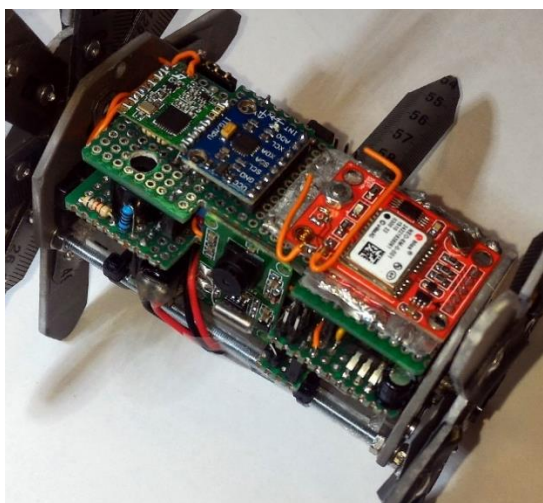


Fig. 4: Η τελική κατασκευή του οχήματος.

II.I.II Οι τροχοί του οχήματος

Το όχημά μας έχει δύο εκτεινόμενους ακτινωτούς τροχούς διαμέτρου 58mm όταν είναι συμπτυγμένοι. Οι τροχοί ανοίγουν με την βοήθεια ελασμάτων και φτάνουν την διάμετρο των 125mm. Την ιδέα την πήραμε από rover του αμερικάνικου διαγωνισμού (ref. 1).

Οι εκτεινόμενοι τροχοί είναι και αυτοί κατασκευασμένοι από P.V.C. Και εδώ κατασκευάσαμε δύο οκτάγωνα, όπου στην κάθε πλευρά ενώνεται μια ακτίνα από P.V.C. Για σύνδεσμο χρησιμοποιήσαμε έλασμα ώστε να μπορεί να συμπτυχθεί και να μπορεί να επανέλθει μετά το άνοιγμα του lander (Fig. 5, 6)

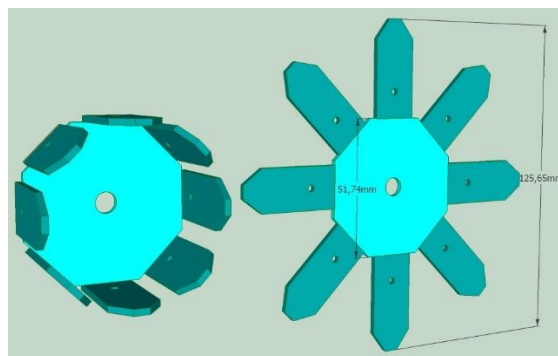


Fig. 5: Ο τροχός αναδιπλωμένος και εκτεταμένος (Τρισδιάστατο μοντέλο)

Η σύνδεση των ελασμάτων και των τμημάτων P.V.C. γίνεται με ήλους (πριτσίνια) από την εσωτερική πλευρά και με ελαστικό από την εξωτερική πλευρά.



Fig. 6: Η τελική κατασκευή του τροχού. Φαίνονται τα ελάσματα τα οποία τα πήραμε από μέτρο και η σύνδεση με τα πριτσίνια.

II.I.III Το εξωτερικό κέλυφος

Όπως αναφέραμε και πριν το όχημα τοποθετείται μέσα στο εξωτερικό κέλυφος. Αυτό είναι κατασκευασμένο από φύλλο πλαστικού πάχους 0,4 mm. Αφού μαζευτούν οι ρόδες και η ουρά, περικλύεται το όχημα με το πλαστικό φύλλο με συγκεκριμένο τρόπο. Υπάρχουν οπές εμπρός για την κάμερα και πίσω για την πρόσβαση στον κεντρικό διακόπτη και την κάρτα SD (Fig. 7, 8, 9). Όταν διπλωθεί, συγκρατείται με νήμα νάιλον το οποίο εφάπτεται με συγκεκριμένο τρόπο στον αντιστάτη τήξης. Πάνω στο εξωτερικό κέλυφος είναι δεμένο το αλεξίπτωτο σε δύο σημεία ώστε το cansat να πέφτει οριζόντια με την κάμερα στραμμένη πλαγίως και κάτω.

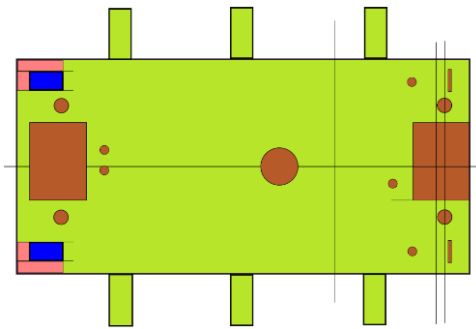


Fig. 7: Το πατρόν κατασκευής του lander. Φαίνονται οι οπές με το καφέ χρώμα.

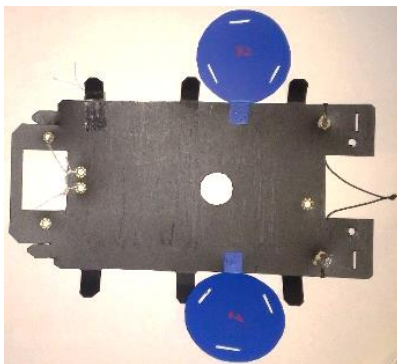


Fig. 8: Το lander ανοιχτό πριν την εισαγωγή του οχήματος.



Fig. 9: Το lander έτοιμο για την εισαγωγή του οχήματος.

II. II Ηλεκτρονικά εξαρτήματα και ηλεκτρολογικό σχέδιο στο CanSat

Στο διάγραμμα που ακολουθεί Fig. 10 φαίνονται όλα τα εξαρτήματα του cansat οι μεταξύ τους διασυνδέσεις. Υπάρχουν εξαρτήματα τα οποία λειτουργούν με 5V και κάποια άλλα με 3,3V όπως παρουσιάζονται στον Table 1.

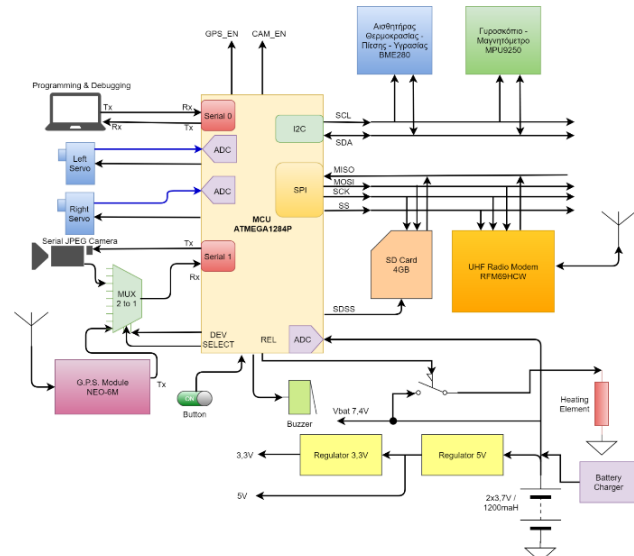


Fig. 10: Το μπλοκ διάγραμμα διασύνδεσης των εξαρτημάτων μέσα στο cansat.

Εξάρτημα	Μέγιστη ένταση	Τάση λειτουργίας
ATMEGA 1284P	30 mA	5V
G.P.S.	70 mA	5V
Camera	75 mA	5V
Servos	2x210 mA	5V
BME280	1 mA	3,3V
MPU9250	5 mA	3,3V
SD Card	100 mA	3,3V
Radio Modem	135 mA	3,3V
Θερμαντικό στοιχείο	450 mA	7,4V

Table 1: Τάσεις και εντάσεις των εξαρτημάτων του cansat.

II. II. I Μπαταρίες – κεντρικός διακόπτης

Χρησιμοποιήσαμε δύο μπαταρίες Li-Po των 1200mAh η κάθε μία. Η ενεργειακή χωρητικότητα αυτή, είναι αρκετή ώστε να παρέχει αυτονομία έως 4 ώρες. Οι μπαταρίες είναι συνδεδεμένες σε σειρά ώστε η τάση τροφοδοσίας του cansat να είναι 7,4V. Η παροχή ενέργειας των μπαταριών διακόπτεται από ένα διακόπτη τύπου dip*. Επειδή ο διακόπτης dip είναι διπλός, το άλλο τμήμα το χρησιμοποιούμε ώστε να αλλάζει την συνδεσμολογία των μπαταριών κατά την φόρτιση. Με την μεταγωγή του οι μπαταρίες συνδέονται

* Ο διακόπτης αυτός παρουσίασε πρόβλημα κατά την εκτόξευση. Δεν έκανε καλή επαφή και διακόπηκε η παροχή ρεύματος του cansat 162 μέτρα πριν τη προσεδαφίση.

παράλληλα. Επίσης δίπλα στον διακόπτη dip, υπάρχει ο συνδετήρας φόρτισης των μπαταριών.

II.Π.Π Σταθεροποιητές τάσης

Επειδή όπως φαίνεται στον Table 1, κάποια εξαρτήματα λειτουργούν με 5V και κάποια άλλα με 3,3V, στην πλακέτα του μικροελεγκτή, βάλαμε δύο σταθεροποιητές. Αρχικά η τάση υποβιβάζεται στα 5V με ένα 7805 και στη συνέχεια σταθεροποιείται στα 3,3V με ένα LD33CV.

II.Π.ΙΙΙ Μικροελεγκτής

Πρόκειται για μια χειροποίητη πλακέτα arduino με τον μικροελεγκτή Microcontroller Unit (M.C.U.) ATMEGA 1280P της ATMEL (ref. 2). Κάναμε αυτή την επιλογή διότι το arduino micro δεν χωρούσε όλο τον κώδικα στην Flash Rom και το Mega ήταν πολύ μεγάλο για τις διαστάσεις του CanSat. Με την χρήση αυτού του μικροελεγκτή, ο κώδικας στην τελική του μορφή καταλαμβάνει το 41% της Flash Rom και το 22% της RAM.

Επειδή τα λογικά επίπεδα λειτουργίας του μικροελεγκτή είναι 0-5V, όπου υπάρχει διασύνδεση με συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούν επίπεδα 0-3,3V, χρησιμοποιήσαμε level shifters.

II.Π.ΙV Κάρτα μνήμης micro SD

Η μνήμη Secure Digital (SD) συνδέεται με την MCU μέσω του διαύλου Serial Peripheral Interface (SPI). Εδώ αποθηκεύονται σε ένα αρχείο, όλες οι μετρήσεις από τους αισθητήρες και τα δεδομένα θέσης του G.P.S. Επίσης αποθηκεύονται ξεχωριστά αρχεία με τις φωτογραφίες (640x480) και τις μικρογραφίες (160x120).

II.Π.V Κάμερα JPEG

Είναι μια έγχρωμη σειριακή κάμερα βασισμένη στο chip VC706. Επικοινωνεί με την MCU μέσω του 2^{ου} Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter (USART) το οποίο το μοιράζεται με το GPS μέσω ενός πολυπλέκτη λογικής Diode Resistor Logic (DRL) από 2 σε 1, κατασκευασμένο από διακριτά εξαρτήματα. Η MCU μπορεί να αλλάξει διάφορες παραμέτρους της κάμερας όπως ανάλυση, λόγο συμπίεσης, ταχύτητα επικοινωνίας κλπ. Η ρυθμός επικοινωνίας ορίζεται στα 115200bps και η μεταφορά μιας φωτογραφίας 640x480 (~55Kbytes) στην SD διαρκεί περίπου 8-9sec,

όταν παράλληλα γίνονται και οι άλλες εργασίες όπως διάβασμα, υπολογισμός, αποθήκευση και μετάδοση μετρήσεων. Η MCU μπορεί να απενεργοποιήσει την κάμερα μέσω ενός transistor PNP ώστε να μην καταναλώνει ρεύμα.

II.Π.VI Άρθρωμα G.P.S.

Πρόκειται για το άρθρωμα NEO 6MV το οποίο επικοινωνεί με την MCU μέσω του 2^{ου} USART. Για οικονομία χώρου αφαιρέσαμε την ενεργή κεραμική κεραία τύπου patch και στη θέση της βάλαμε σύρμα $\lambda/4$ για την συχνότητα των 1575 MHz. Η απλή αυτή κεραία έδωσε 30-40dB S/N ratio με αποτέλεσμα να έχουμε γρήγορο και σταθερό εντοπισμό θέσης. Η MCU μπορεί να απενεργοποιήσει το GPS όταν τα επίπεδα ενέργειας πέσουν σε χαμηλά επίπεδα.

II.Π.VII Αισθητήρας BME 280

Είναι πολλαπλός αισθητήρας ατμοσφαιρικής πίεσης, θερμοκρασίας και υγρασίας. Συνδέεται με την MCU μέσω του διαύλου Inter-Intergraded Circuit (IIC ή I2C).

II.Π.VΙΙΙ Γυροσκόπια - Μαγνητόμετρο

Είναι ένα τριπλό σύστημα 9 βαθμών ελευθερίας. Αποτελείται από γυροσκόπιο 3 αξόνων, επιταχυνσιόμετρο έως 16G 3 αξόνων και από μαγνητόμετρο 3 αξόνων. Συνδέεται με την MCU μέσω του διαύλου I2C. Χρησιμοποιήσαμε το μαγνητόμετρο για την πυξίδα του προγράμματος GUI και την μέτρηση της συνισταμένης έντασης του μαγνητικού πεδίου του πλανήτη. Τα γυροσκόπια και επιταχυνσιόμετρα τα χρησιμοποιήσαμε για τον προσδιορισμό της θέσης του οχήματος στον χώρο και την παρουσίαση στον εικονικό ορίζοντα του προγράμματος GUI.

II.Π.IX Το radio modem

Χρησιμοποιήσαμε το άρθρωμα RFM69HCW στην μάντα UHF ISM 434Mhz. Επικοινωνεί με την MCU μέσω του διαύλου SPI. Χρησιμοποιήσαμε διαμόρφωση Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK) με ρυθμό μετάδοσης 38.400 bps. Το Packet Error Rate

(P.E.R) ήταν αποδεκτό σε επίπεδο έντασης σήματος έως -87dbm*. Η μετάδοση μιας

φωτογραφίας 640x480 διαρκεί περίπου 50sec με σήμα καλύτερο από -80dbm. Δηλαδή η πραγματική ταχύτητα μεταφοράς είναι περίπου 9-10 Kbps. Όταν γίνεται εκπομπή της εικόνας παγώνει η μετάδοση των μετρήσεων.

II.II.X Κινητήρες micro servo

Η κίνηση στους τροχούς δίνεται από δύο micro servos τύπου MG90S με μεταλλικά γρανάζια και δυνατότητα περιστροφής 360 μοιρών. Η ταχύτητα περιστροφής και η ροπή είναι ικανοποιητική. Τα servos τροφοδοτούνται με 5V και η MCU μπορεί να αυξομειώσει τον αριθμό των στροφών. Για την ανίχνευση εμποδίων μετράμε την ένταση του ρεύματος για κάθε ένα μέσω δύο αναλογικών εισόδων της MCU. Αν ξεπεράσει κάποιο επίπεδο τότε κάνει ελιγμό αποφυγής του εμποδίου.

II.II.XI Θερμαντικό στοιχείο

Για την τήξη του νάιλον νήματος, χρησιμοποιούμε έναν κοινό αντιστάτη ωμικής αντίστασης 15Ω και ισχύος 1/4W. Αυτός συνδέεται κατευθείαν στις μπαταρίες δηλ. σε τάση 7,4V. Με εντολή από την MCU γίνεται αγωγή ενός transistor NPN για 20-40sec μέχρι να κοπεί το νήμα.

II.III Σταθμός εδάφους

Στο διάγραμμα που ακολουθεί Fig. 11 φαίνονται όλα τα εξαρτήματα του σταθμού εδάφους και οι μεταξύ τους διασυνδέσεις. Εδώ είναι υπέρ αρκετό ένα Arduino micro το οποίο συνδέεται με το radio modem RFM69HCW μέσω του διαύλου SPI.

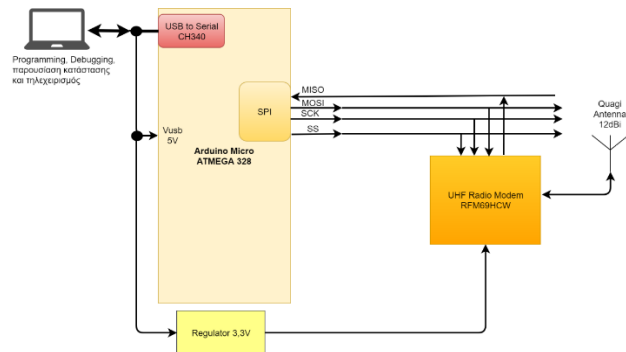


Fig. 11: Το μπλοκ διάγραμμα διασύνδεσης των εξαρτημάτων του σταθμού εδάφους.

Το arduino micro τροφοδοτείται με 5V από την θύρα USB του φορητού υπολογιστή. Επίσης υπάρχει ένας σταθεροποιητής LD33CV για να τροφοδοτήσει με 3,3V το radio modem.

II.III.I Η κατευθυνόμενη κεραία

Για να ενισχυθεί το χαμηλό σήμα UHF του CanSat, χρησιμοποιούμε μια κεραία Quagi 8 στοιχείων. Η κεραία αυτή έχει ανακλαστήρα και στοιχείο τροφοδοσίας τύπου Quad και οι κατευθυντήρες είναι τύπου yagi. Παρουσιάζει κέρδος περίπου 12dbi και μετά από τροποποιήσεις καταφέραμε λόγο στασίμων κυμάτων SWR 1:1,1 – 1:1,2 για εύρος συχνοτήτων 5MHz.

Κατά την εκτόξευση όταν η κεραία σημάδευε προς το cansat το επίπεδο σήματος δεν έπεσε κάτω από -75dbm. Κατά την προσεδάφιση το σήμα κατέβηκε μέχρι -80dbm αλλά το cansat έπεσε πολύ κοντά στον σταθμό εδάφους και δεν υπήρχαν εμπόδια μεταξύ τους.

II.IV Το σύστημα ανάκτησης

Επιλέξαμε αλεξίπτωτο τύπου cross λόγω της ευκολίας κατασκευής. Με ένα λογιστικό φύλλο υπολογίσαμε τις διαστάσεις των τμημάτων χρησιμοποιώντας τον τύπο (ref. 3):

$$A = \frac{2mg}{\rho Cd V^2}$$

Όπου :

m = μάζα σε Kg

g = επιτάχυνση της βαρύτητας 9,81 m/sec²

ρ = πυκνότητα αέρα 1,22 Kg/m³

Cd = Συντελεστής αντίστασης 0,8

V=ταχύτητα πτώσης

* Αν και είχαμε προμηθευτεί αρθρώματα με πρωτόκολλο LORA δεν τα βάλαμε λόγω πίεσης χρόνου. Επειδή το LORA είναι πιο σύγχρονο και διαθέτει F.E.C. θα μπορούσαμε να έχουμε αξιόπιστη επικοινωνία με στάθμη σήματος -110 έως -120 dbm.



Fig. 12: Το αλεξίπτωτο τύπου 'cross'.

Για την κατασκευή χρησιμοποιήσαμε ύφασμα ripstop νάilon το οποίο είναι ανθεκτικό, αδιάβροχο και ελαφρύ Fig. 12. Κατά την πτώση του canasta άνοιξε επιτυχώς και δεν παρουσιάστηκαν αστάθειες και στροβιλισμοί. Η ακριβής ταχύτητα πτώσης ήταν 7,68 m/sec.

III ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΟ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

Το firmware του CanSat αλλά και του σταθμού εδάφους είναι γραμμένο στη γλώσσα wiring του Arduino. Για την ανάπτυξη χρησιμοποιήσαμε το IDE του Arduino.

III.I CanSat

Κατασκευαστικά το λογισμικό του cansat είναι δομημένο και αρθρωτό ώστε να είναι εύκολη η διόρθωση και η περαιτέρω ανάπτυξη. Είναι χωρισμένο σε πολλά μικρά αρχεία με επέκταση .h (header files) όπου στο καθένα υπάρχει το κομμάτι κώδικα που αφορά το κάθε εξάρτημα. Έγιναν μερικές τροποποιήσεις στην βιβλιοθήκη rfm69.h ώστε να λειτουργεί καλύτερα σύμφωνα με τις δικές μας απαιτήσεις.

Λειτουργικά με απλά βήματα γίνονται τα εξής:

- Στο ξεκίνημα **μια φορά** με την setup() προετοιμάζει όλα τα εξαρτήματα και ελέγχει αν όλα είναι εντάξει Power On Self Test (P.O.S.T.). Αν κάτι δεν λειτουργήσει μας ειδοποιεί με ηχητικό μήνυμα και αλλαγή του τρόπου που αναβοσβήνει το πράσινο L.E.D.
- Ελέγχει **συνέχεια** με polling, αν από τον σταθμό εδάφους υπάρχει εντολή η οποία πρέπει να αποκωδικοποιηθεί και να εκτελεστεί.

- Αν είναι απαίτηση για επιβεβαίωση πακέτου από τον σταθμό εδάφους τότε απαντάει ανάλογα.
- Με χρονιστή (interrupt), κάθε ν δευτερόλεπτα και ανεξάρτητα αν εκτελεί άλλη εργασία, ελέγχει όλους του αισθητήρες, κάνει τους υπολογισμούς και τις μετατροπές και μεταδίδει ένα πακέτο προς τον σταθμό εδάφους. Αν ο σταθμός εδάφους δεν απαντήσει ότι έλαβε το πακέτο, ξαναπροσπαθεί 6 φορές.

III.II Σταθμός εδάφους

Εδώ τα πράγματα είναι πολύ πιο απλά. Ο κώδικας είναι κατά πολύ μικρότερος και εκτελεί τα ακόλουθα βήματα:

- Ελέγχει αν έχει φτάσει κάποιο πακέτο από τον δορυφόρο. Αν ναι, ελέγχει αν πρόκειται για πακέτο μετρήσεων η φωτογραφίας, οπότε και το προωθεί στο πρόγραμμα GUI μέσω της σειριακής θύρας.
- Αν είναι αίτηση για επιβεβαίωση πακέτου απαντάει προς τον δορυφόρο.
- Ελέγχει στο buffer της σειριακής θύρας αν έχει σταλεί εντολή από το πρόγραμμα GUI. Αν ναι τότε στέλνει την εντολή προς τον δορυφόρο. Περιμένει για επιβεβαίωση και προσπαθεί 6 φορές.

III.III Πρωτόκολλο επικοινωνίας

Αν και η βιβλιοθήκη του RFM69 μπορεί να διαχειριστεί και δυαδικά δεδομένα, εμείς στέλνουμε μόνο δεδομένα χαρακτήρων American Standard Code for Information Interchange (ASCII) μέσα από το κανάλι τηλεμετρίας. Επειδή είναι ευκολότερη η διαχείρισή τους ως string.

Τα πακέτα τα οποία στέλνει ο δορυφόρος προς τον σταθμό εδάφους έχουν συνολικό μήκος έως 60 bytes και ακολουθούν την παρακάτω δομή:

A/A πακέτου	Τύπος	Φορτίο δεδομένων
-------------	-------	------------------

Οι τιμές χωρίζονται πάντα με τον χαρακτήρα ';'.

Ο A/A είναι ο αύξων αριθμός και μπορεί να φτάσει μέχρι το 65535 και μετά ξεκινάει από την αρχή.

Οι τύποι είναι οι εξής:

III.III.I Τύπος 'S:'

Ο τύπος S: είναι για τιμές μετρήσεων από αισθητήρες με συχνότητα ένα πακέτο κάθε ένα δευτερόλεπτο* π.χ.:

56;S:;Θ;Π;Υ;T.M.;Roll;Pitch;Yaw;E.M.Π

Όπου:

56 = A/A

S: = τύπος

Θ = θερμοκρασία

Π = Ατμοσφαιρική πίεση

Υ = Υγρασία αέρα

T.M. = Τάση μπαταρίας

Roll = Περιστροφή οχήματος ως προς άξονα X

Pitch = Περιστροφή ως προς άξονα Y

Yaw = Περιστροφή ως προς άξονα Z

E.M.Π. = Ένταση μαγνητικού πεδίου σε μΤ.

III.III.II Τύπος 'G:'

Ο τύπος G: είναι για τα δεδομένα από το GPS. Τα πακέτα αυτά μπορούν να μεταδίδονται πιο αργά π.χ. ένα κάθε τέσσερα δευτερόλεπτα.

Η δομή ενός πακέτου G: είναι όπως το παράδειγμα:

57;G:;Ω;Η;Γ.Π.;N/S;Γ.Μ.;E/W;V/A

Όπου:

57 = A/A

G: = τύπος

Ω = Ώρα

H = Ημερομηνία

Γ.Π. = Γεωγραφικό πλάτος

N/S = North ή South

Γ.Μ. = Γεωγραφικό μήκος

E/W = East ή West

V/A = 'A' για έγκυρα δεδομένα θέσης

III.III.III Τύπος 'Re:'

Ο τύπος Re: είναι πακέτα απαντήσεων από το CanSat στον σταθμό εδάφους. Όταν σταλεί μια εντολή προς το CanSat, αυτό απαντάει με ένα πακέτο Re: ακολουθούμενο από την εξέλιξη της εντολής, ώστε να παρουσιαστεί στο πρόγραμμα GUI.

* Η συχνότητα μπορεί να μεταβληθεί με εντολή από το πρόγραμμα GUI. Κατά την εκτόξευση μπορεί να γίνει 4 πακέτα / sec για πιο πυκνά δείγματα στις γραφικές παραστάσεις.

III.III.IV Τύπος πακέτου φωτογραφίας '\$'

Ο τύπος '\$' είναι πακέτα με δεδομένα φωτογραφίας και έχει τη μορφή:

1258;\$;Δ

Όπου:

1258 = A/A

\$ = τύπος

Δ = Δεδομένα εικόνας σε χαρακτήρες ASCII με μέγιστο μήκος τους 52 χαρακτήρες.

Οι εικόνες αποθηκεύονται αρχικά στην μνήμη micro SD ενώ ο μικροελεγκτής εκτελεί παράλληλα όλες τις απαραίτητες λειτουργίες όπως η μετάδοση των μετρήσεων και η αποκωδικοποίηση εντολών. Όταν ζητηθεί η αποστολή εικόνας από τον σταθμό βάσης, το πρόγραμμα διαβάζει το δυαδικό αρχείο εικόνας και το κατακερματίζει σε τμήματα των 39 bytes. Κάθε τμήμα το κωδικοποιεί σε κώδικα Base64, όπου κάθε τρία bytes μπαίνει και ένα επιπλέον (ref. 4). Έτσι ενώ αρχικά είχαμε 39 / 3 = 13 τριάδες, μετά την κωδικοποίηση θα γίνουν 13 τετράδες δηλαδή 13 * 4 = 52 χαρακτήρες. Με την κωδικοποίηση Base64 παράγονται χαρακτήρες ASCII.

Ο σταθμός εδάφους προωθεί τα πακέτα εικόνας στο πρόγραμμα GUI το οποίο κάνει την αντίστροφη διαδικασία και αποθηκεύει στον σκληρό δίσκο την δυαδική εικόνα JPEG. Όταν τελειώσει η αποθήκευση εμφανίζει την εικόνα στην οθόνη.

III.IV Πρόγραμμα σε γραφικό περιβάλλον

Το πρόγραμμα σε γραφικό περιβάλλον χρήστη GUI, εκτελείται στον φορητό υπολογιστή του σταθμού εδάφους. Είναι γραμμένο σε γλώσσα Processing και είναι αρθρωτό και δομημένο ώστε να είναι εύκολη η διόρθωση και η περαιτέρω ανάπτυξη. Τα πακέτα 'S', 'G', 'Re' και '\$' στέλνονται από το arduino micro του σταθμού εδάφους, στον H/Y μέσω της θύρας USB. Το πρόγραμμα τα ξεχωρίζει τα αποκωδικοποιεί και εμφανίζει τα αποτελέσματα.

Παράλληλα ο χρήστης, πατώντας κουμπιά στην οθόνη του H/Y μπορεί να στείλει εντολές προς το CanSat όπως εντολές πλοήγησης του οχήματος, αποδέσμευσης από το lander ή αλλαγής μερικών παραμέτρων του δορυφόρου Fig. 13.



Fig. 13: Στιγμιότυπο του προγράμματος GUI την ημέρα της εκτόξευσης. Φαίνονται πάνω αριστερά οι μετρήσεις των αισθητήρων, κάτω αριστερά ο εικονικός ορίζοντας και η πυξίδα, πάνω δεξιά η φωτογραφία και η γεωγραφική θέση στον χάρτη και κάτω δεξιά τα χειριστήρια ελέγχου και πλοήγησης.

IV ΕΠΙΣΤΗΜΟΝΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

IV.I Κύρια αποστολή

Κατά την κύρια αποστολή πήραμε όλα τα δεδομένα που έπρεπε. Ακολουθούν τα πιο σημαντικά γραφήματα.

IV.I.I Ατμοσφαιρική πίεση και υψόμετρο

Το cansat στέλνει μετρήσεις ατμοσφαιρικής πίεσης και ο υπολογισμός του υψομέτρου γίνεται σε πραγματικό χρόνο από το πρόγραμμα GUI και υπολογίζεται από το λογιστικό φύλλο.

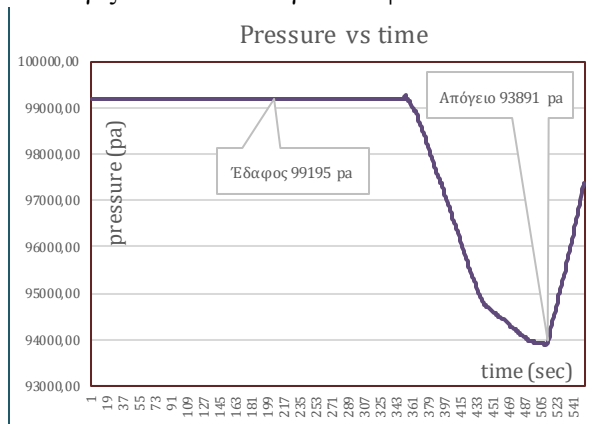


Fig. 14: Μεταβολή της ατμοσφαιρικής πίεσης σε σχέση με τον χρόνο.

Αρχικά υπολογίσαμε το υψόμετρο από την ατμοσφαιρική πίεση με τον τύπο (ref. 5) :

$$alt = -45846,2 \left[\left(\frac{press}{pressOffs} \right)^{0,190263} - 1 \right]$$

Όπου press είναι η τρέχουσα τιμή της πίεσης σε pascal και pressOffs είναι η τιμή της πίεσης στην επιφάνεια της θάλασσας. Επειδή εμείς θέσαμε το pressOffs λίγο πριν την εκτόξευση, το υψόμετρο το οποίο υπολογίσαμε είναι σχετικό από το έδαφος και όχι από το επίπεδο της θάλασσας.

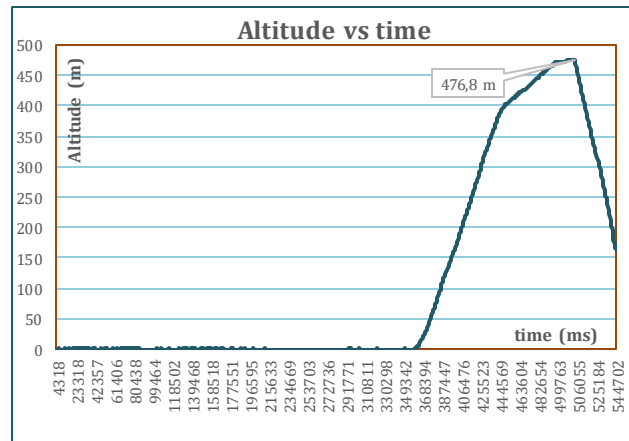


Fig. 15: Μεταβολή του σχετικού ύψους σε σχέση με τον χρόνο.

Όταν το cansat ενεργοποιείται παίρνει την πρώτη τιμή ως αρχική pressOffs. Δυστυχώς λόγω της αστοχίας του κεντρικού διακόπτη, το cansat σταμάτησε να λειτουργεί στα 162 μέτρα πριν τη προσεδάφιση και για τον λόγο αυτό δεν έχουμε δεδομένα.

IV.I.II Θερμοκρασία αέρα

Όπως φαίνεται στο γράφημα του Fig. 16, η θερμοκρασία μέσα στο cansat, αυξάνεται ελαφρώς όσο το cansat είναι σε λειτουργία και βρίσκεται στο έδαφος. Όσο το cansat ανεβαίνει, η θερμοκρασία μειώνεται και στο απόγειο πέφτει στους 27,5° C. Όταν το cansat πέφτει η θερμοκρασία έχει μια τάση ανόδου.

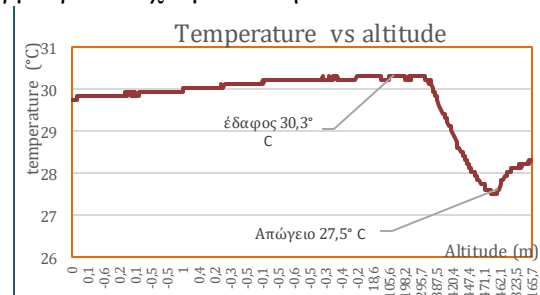


Fig. 16: Μεταβολή θερμοκρασίας σε σχέση με το υψόμετρο.

IV.I.III Δεδομένα θέσης

Τα δεδομένα θέσης μεταδίδονται συνεχώς από το cansat με συχνότητα ένα δείγμα ανά τρία sec. Το πρόγραμμα GUI έκανε μετατροπή από την πρόταση NMEA σε δεκαδικές μοίρες ώστε να παρουσιάζεται τι στίγμα στους χάρτες Google.



Fig. 17: Προβολή της γεωγραφικής θέσης σε πραγματικό χρόνο από το πρόγραμμα GUI.

IV.II Δευτερεύουσα αποστολή

Επίσης και κατά την δευτερεύουσα αποστολή πήραμε όλα τα δεδομένα που είχαμε θέσει ως στόχο. Ακολουθούν τα πιο σημαντικά γραφήματα:

IV.II.I Υγρασία αέρα

Στο παρακάτω γράφημα φαίνεται η μεταβολή της υγρασίας σε σχέση με το υψόμετρο. Ο τριπλός αισθητήρας BME280 στέλνει τιμές υγρασίας αέρα.

Όπως φαίνεται στο γράφημα, η υγρασία της ατμόσφαιρας μειώνεται όσο αυξάνεται το ύψος. Όταν το cansat πέφτει τότε η υγρασία παρουσιάζει αυξητική τάση.

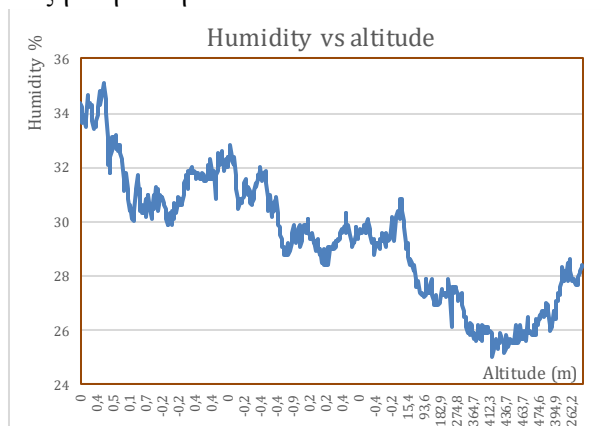


Fig. 18: Μεταβολή της υγρασίας σε σχέση με το υψόμετρο.

IV.II.II Ένταση μαγνητικού πεδίου

Όπως πριν αναφέραμε, το cansat διαθέτει ένα μαγνητόμετρο τριών αξόνων. Υπολογίζουμε την συνισταμένη ένταση του μαγνητικού πεδίου του πλανήτη με τον τύπο:

$$E = \sqrt{\epsilon_x^2 + \epsilon_y^2 + \epsilon_z^2}$$

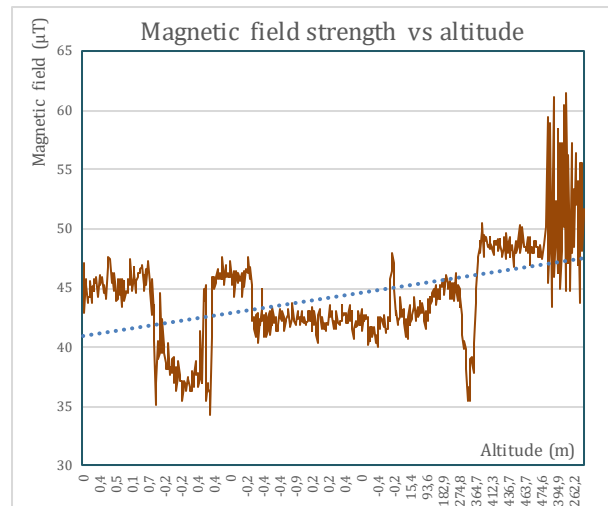


Fig. 19: Μεταβολή της έντασης του μαγνητικού πεδίου σε σχέση με το υψόμετρο.

IV.II.III Φωτογραφίες

Με επιτυχία το cansat κατάφερε να αποθηκεύσει και να μεταδώσει έγχρωμες φωτογραφίες μέσα από το κανάλι τηλεμετρίας. Κατόπιν εντολής από το πρόγραμμα GUI το cansat εμφάνισε στιγμιότυπο χαμηλής ανάλυσης ώστε ο χειριστής να καταλάβει τι υπάρχει μπροστά από το όχημα. Αν αυτός το ζητήσει μπορεί να αποθηκεύσει την εικόνα με υψηλότερη ευκρίνεια (640x480) στον σκληρό δίσκο του υπολογιστή.



Fig. 20: Στιγμιότυπο φωτογραφίας χαμηλής ανάλυσης από τον τόπο της εκτόξευσης.

V ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ

Συνολικά και από τις δύο αποστολές τα δεδομένα τα οποία πήραμε, ήταν σύμφωνα με τον αρχικό σχεδιασμό και έδωσαν λογικά επιστημονικά συμπεράσματα.

V.I Δεδομένα κύριας αποστολής

Σύμφωνα με το γράφημα Fig. 15 βλέπουμε ότι ο δορυφόρος μας έφτασε στο απόγειο 2,4 λεπτά μετά την απογείωση. Η ταχύτητα ανόδου είναι σταθερή έως τα 400m και την υπολογίσαμε στα 5,3 m/sec. Ταχύτητα πτώσης είναι 7,63 m/sec. Για τον υπολογισμό χρησιμοποιήσαμε τον τύπο:

$$v = \frac{S}{t}$$

Από το γράφημα Fig. 16 μπορούμε να συμπεράνουμε ότι όσο το cansat είναι ακίνητο και σε λειτουργία, η θερμοκρασία ανεβαίνει λόγω της θερμότητας των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων. Κατά την εκτόξευση επαληθεύεται ότι σε μεγάλο υψόμετρο έχουμε πτώση της θερμοκρασίας.

Τα δεδομένα GPS ήταν πολύ ακριβή με απόκλιση 1-3 μέτρα. Το cansat μας δεν έστειλε δεδομένα ύψους από το GPS γιατί θεωρήσαμε ότι δεν είναι τόσο ακριβή.

V.II Δεδομένα δευτερεύουσας αποστολής

Σύμφωνα με το γράφημα Fig. 18, παρατηρούμε πτώση της σχετικής υγρασίας όσο αυξάνεται το υψόμετρο. Η ημέρα της εκτόξευσης ήταν μια ζεστή και ξηρή μέρα. Ενδεχομένως αν υπήρχε νέφωση και ο δορυφόρος έμπαινε μέσα σε κάποιο σύννεφο, τότε θα παρατηρούσαμε αύξηση της σχετικής υγρασίας.

Τα γυροσκόπια και τα επιταχυνσιόμετρα τα χρησιμοποιήσαμε για την πλοήγηση του οχήματος. Αν και είχαμε δεδομένα δεν τα επεξεργαστήκαμε για την εξαγωγή κάποιου επιστημονικού συμπεράσματος.

Το μαγνητόμετρο κυρίως το χρησιμοποιήσαμε ως πυξίδα για την πλοήγηση του οχήματος. Σύμφωνα με το γράφημα Fig. 19 παρατηρούμε ότι η μέση τιμή της έντασης του μαγνητικού πεδίου είναι 45 μΤ, τιμή φυσιολογική αν υπολογίσουμε ότι πολύ κοντά στον αισθητήρα υπάρχουν αρκετά μεταλλικά εξαρτήματα. Επίσης παρατηρούμε μεγάλες διακυμάνσεις κατά την πτώση του cansat λόγω των στροβιλισμών του αλεξίπτωτου.

Οι φωτογραφίες αποθηκεύτηκαν στην κάρτα SD και μεταδόθηκαν από το cansat προς τον σταθμό εδάφους.

VI ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αν και την ημέρα της εκτόξευσης είχαμε δύο αποτυχίες, συνολικά το όλο project ήταν **επιτυχές** γιατί λειτούργησαν βάσει του αρχικού σχεδιασμού τα εξής:

1. Σύστημα τηλεμετρίας.
2. Όλοι οι αισθητήρες έδωσαν αξιόπιστα δεδομένα από τα οδηγηθήκαμε σε επιστημονικά συμπεράσματα.
3. Το σύστημα GPS έδωσε αξιόπιστο και σταθερό στίγμα.
4. Στην μνήμη SD αποθηκεύτηκαν δεδομένα και φωτογραφίες.
5. Το αλεξίπτωτο.
6. Η αποδέσμευση από το Lander και η επέκταση των τροχών.
7. Έγινε πλοήγηση και πήραμε φωτογραφίες από το έδαφος.

Οι αστοχίες ήταν οι εξής:

1. Την τελευταία στιγμή αποφασίσαμε να αλλάξουμε τον φορητό υπολογιστή του σταθμού εδάφους, με αποτέλεσμα το πρόγραμμα antivirus να κολλάει την εκτέλεση του προγράμματος GUI ενώ ο δορυφόρος ήταν στον αέρα. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα να μη μπορούσαμε να πάρουμε όλα τα δεδομένα τηλεμετρίας στον φορητό υπολογιστή και να μην προλάβουμε να δώσουμε εντολή φωτογράφισης από τον αέρα.

2. Λόγω του ελαττωματικού κεντρικού διακόπτη το cansat σταμάτησε να λειτουργεί πριν προσεδαφιστεί. Έτσι χάσαμε κάποιο μέρος των δεδομένων και η υπόλοιπη αποστολή συνεχίστηκε μετά από δική μας παρέμβαση.

Τα δεδομένα τα οποία επεξεργαστήκαμε τελικά είναι αυτά που αποθηκεύτηκαν στην κάρτα SD.

Πιστεύουμε ότι αν είχαμε κάνει περισσότερες δοκιμές με ρίψεις από κάποιο υψόμετρο θα είχαμε αποφύγει αυτές τις αστοχίες.

Βέβαια το κέρδος μας απ' αυτό το project ήταν πολύ μεγάλο διότι μάθαμε πολλά πράγματα σε ξεχωριστά γνωστικά αντικείμενα, είχαμε την εμπειρία της κατασκευής και του προγραμματισμού ενός τόσο μεγάλου έργου και φυσικά της ομαδικής συνεργασίας.

Τέλος είχαμε την εμπειρία του διαγωνισμού η οποία είναι μοναδική.

VII ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. <http://www.ucl.ac.uk/~jev9637/research/ARLISS.html>
2. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/doc8059.pdf>
3. <http://www.rocketmime.com/rockets/descent.html>
4. <https://en.wikipedia.org/wiki/Base64>
5. <https://ccollins.wordpress.com/2016/03/07/arduino-altimeter/>