

## Open Schools Journal for Open Science

Vol 3, No 6 (2020)



### Δημιουργία ενός συστήματος πτήσης για προσγείωση σε προκαθορισμένες συντεταγμένες

Παρασκευή – Μαρίνα Κανδρέλη, Κωνσταντίνος Λώλος, Νικόλαος Καλαμπόκης, Γεώργιος Οικονόμου, Κωνσταντίνος Πήλιος, Νικόλαος Μαρέτας, Γεώργιος Σκαργιώτης, Δημήτριος Κονετάς

doi: [10.12681/osj.24300](https://doi.org/10.12681/osj.24300)

Copyright © 2020, Παρασκευή – Μαρίνα Κανδρέλη, Κωνσταντίνος Λώλος, Νικόλαος Καλαμπόκης, Γεώργιος Οικονόμου, Κωνσταντίνος Πήλιος, Νικόλαος Μαρέτας, Γεώργιος Σκαργιώτης, Δημήτριος Κονετάς



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/).

### To cite this article:

Κανδρέλη Π. – Μ., Λώλος Κ., Καλαμπόκης Ν., Οικονόμου Γ., Πήλιος Κ., Μαρέτας Ν., Σκαργιώτης Γ., & Κονετάς Δ. (2020). Δημιουργία ενός συστήματος πτήσης για προσγείωση σε προκαθορισμένες συντεταγμένες. *Open Schools Journal for Open Science*, 3(6). <https://doi.org/10.12681/osj.24300>



# Δημιουργία ενός συστήματος πτήσης για προσγείωση σε προκαθορισμένες συντεταγμένες

Κανδρέλη Παρασκευή – Μαρίνα<sup>1</sup>, Λώλος Κωνσταντίνος<sup>2</sup>, Καλαμπόκης Νικόλαος<sup>2</sup>, Οικονόμου Γεώργιος<sup>2</sup>,  
Πήλιος Κωνσταντίνος<sup>2</sup>, Μαρέτας Νικόλαος<sup>3</sup>, Σκαργιώτης Γεώργιος<sup>4</sup>, Κονετάς Δημήτριος<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Γενικό Ενιαίο Λύκειο Ζωσιμαίας Ιωαννίνων, Ιωάννινα, Ελλάδα,

<sup>2</sup> 7<sup>ο</sup> Γενικό Ενιαίο Λύκειο Ιωαννίνων, Ιωάννινα, Ελλάδα,

<sup>3</sup> Βιολόγος, 7<sup>ο</sup> ΓΕΛ Ιωαννίνων, Ιωάννινα, Ελλάδα,

<sup>4</sup> Καθηγητής Πληροφορικής 9<sup>ο</sup> ΓΕΛ Ιωαννίνων, Ιωάννινα, Ελλάδα,

<sup>5</sup> Καθηγητής Πληροφορικής, ΓΕΛ Ελεούσας Ιωαννίνων, Ιωάννινα, Ελλάδα

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο μελέτης της παρακάτω εργασίας αποτελεί η δημιουργία ενός συστήματος πτήσης αυτόνομης προσγείωσης σε προκαθορισμένες συντεταγμένες για τον έγκαιρο εφοδιασμό των επιζώντων μέσω αέρος σε καταστάσεις υψηλού κινδύνου. Έτσι, τέθηκε το ερευνητικό ερώτημα “τι μορφή έχει και πώς λειτουργεί ένα τέτοιο σύστημα πτήσης;”. Στην τρέχουσα εργασία θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα του εγχειρήματος Zephyrus II στο πλαίσιο του διαγωνισμού CanSat in Greece 2018, στη δεύτερη συνεχόμενη συμμετοχή της ομάδας. Αρχικά, μέσα από εκτενή έρευνα και μελέτη αποφασίστηκε η κατασκευή ενός μικροδορυφόρου -εκτυπωμένου με 3D εκτυπωτή- ενωμένου με αλεξιπτώτο παραπέντε που ελέγχεται από σερβομηχανισμό. Ο κεντρικός χειρισμός γίνεται από μικροεπεξεργαστή -γραμμένο σε κώδικα C++- πάνω στον μικροδορυφόρο, που παίρνει δεδομένα από GPS και επιταχυνσιόμετρο-γυροσκόπιο-μαγνητόμετρο (ΕΓΜ).





Έτσι, καθώς το GPS και το ΕΓΜ βρίσκουν την απόλυτη θέση του συστήματος, ο μικροεπεξεργαστής τη συγκρίνει με τις προεπιλεγμένες συντεταγμένες, υπολογίζει την απόσταση σε μέτρα και την απόκλιση σε μοίρες και στέλνει εντολές στον σερβομηχανισμό. Για την υλοποίηση αυτής της ιδέας, διεκπεραιώθηκε μια σειρά πειραμάτων, όπου δοκιμάστηκαν η σταθερότητα, η ευελιξία και η οριζόντια μετατόπιση, προκειμένου να καθοριστούν οι τελικές διαστάσεις του συστήματος πτήσης. Τα αποτελέσματα είναι πολύ θετικά, αν ληφθεί υπ' όψιν ότι παρόμοια επίπεδα επιτυχίας έχουν επιτευχθεί μόνο από πανεπιστήμια αεροναυπηγικής στο εξωτερικό. Συμπερασματικά, το παραπάνω σύστημα πτήσης θα ήταν μια ιδανική λύση για διανομή προμηθειών σε επείγουσες καταστάσεις, χάρη στην δυνατότητά του να προσγειωθεί αυτόνομα και στον απλό σχεδιασμό του που επιτρέπει τη μαζική παραγωγή του.

#### ΛΕΞΕΙΣ-ΚΛΕΙΔΙΑ

αυτόνομη προσγείωση, αλεξίπτωτο παραπέντε, σερβομηχανισμός, μη επανδρωμένα ιπτάμενα οχήματα (UAV)

#### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τις πρόσφατες κλιματικές αλλαγές και την υπερθέρμανση του πλανήτη, οι τυφώνες και υδροσίφωνες που πλήττουν τη Μεσόγειο έχουν αυξηθεί δραματικά, μαζί με άλλες φυσικές καταστροφές όπως σεισμοί, πυρκαγιές, πλημμύρες, επιδημίες και ηφαιστειακές εκρήξεις (Groenemeijer, Vajda, Lehtonen, Kämäräinen, Venalainen, Gregow, et al, 2016). Πρόσφατα παραδείγματα, όπως οι τυφώνες Ίρμα και Φριντερίκε -στις Η.Π.Α. και βόρεια Ευρώπη αντίστοιχα-, έχουν δείξει ότι οι φυσικές καταστροφές μπορούν να έχουν ολέθριες συνέπειες σε περιουσίες, σοδειές και ζώα, καθώς και -το πιο σημαντικό- πολλές ανθρώπινες απώλειες (BBC, 2017 · Harrington, 2017). Σε τέτοιες καταστάσεις, η επιβίωση μετά το συμβάν καθίσταται δύσκολη, καθώς οι προμήθειες είναι λιγοστές και τυχόν τραύματα μπορεί να επιδεινώσουν την ήδη βεβαρημένη κατάσταση. Συνεπώς, η άμεση παράδοση τροφίμων, πόσιμου νερού, φαρμάκων,





σκηνών, εξοπλισμού/ προϊόντων υγιεινής, ραδιοφώνων και άλλων προμηθειών στα θύματα μπορεί να σώσει ζωές (Mooney & Hedrick, 2011 · Whybark, 2007). Η διανομή με τα συνήθη μεταφορικά μέσα δια στεριάς μπορεί να κοστίσει πολύτιμο χρόνο, ενώ πολλές καταστροφές γίνονται και σε σημεία απρόσιτα δια των υδάτινων δρόμων. Συνεπώς, το βέλτιστο μέσο διανομής προμηθειών - εξοπλισμού είναι δια αέρος.

Επακόλουθα, το αεροσκάφος διανομής θα πρέπει να χαρακτηρίζεται από ταχύτητα, ακρίβεια, χαμηλό κόστος και δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης για να φτάσει στη μέγιστη αποδοτικότητα. Η επιλογή ενός και μόνου αεροσκάφους διαμοίρασης θα απαιτούσε πολύ χρόνο, συνεπώς η βέλτιστη λύση είναι οι προμήθειες να μοιράζονται ταυτόχρονα από διαφορετικά εναέρια μέσα. Μία πιθανή επιλογή είναι ένα σύστημα airdrop που θα ρίχνει ταυτόχρονα πολλά αλεξιπτωτα με προμήθειες - εξοπλισμό σε διαφορετικά σημεία. Το airdrop - που χρησιμοποιείται ήδη από τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, αλλά και σε αποστολές διάσωσης σήμερα- ταιριάζει σε όλους τους απαραίτητους παράγοντες εκτός από την ακρίβεια, καθώς τα αλεξιπτωτα που χρησιμοποιεί δεν έχουν καθόλου κατευθυντικότητα και εύκολα παρασύρονται από ριπές αέρα. Συνεπώς, ένα σύστημα πτήσης που θα προσγειώνεται σε προκαθορισμένες συντεταγμένες είναι κλειδί για την επίτευξη του ιδανικού συστήματος πτήσης. Ο στόχος αυτής της μελέτης είναι η δημιουργία ενός συστήματος πτήσης για προσγείωση σε προκαθορισμένες συντεταγμένες και για διευκόλυνση της μελέτης, επιλέχθηκαν μικρότερες διαστάσεις πειραματισμού. Έτσι, τίθεται το ερώτημα: τι μορφή, χαρακτηριστικά και τρόπο λειτουργίας θα είχε ένα τέτοιο σύστημα πτήσης;

Το τελικό μοντέλο στο οποίο καταλήξαμε έχει τη μορφή ενός φορτίου ενωμένου με αλεξιπτωτο τύπου πτέρυγας.

## ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΥΛΙΚΑ

Ο στόχος της μελέτης για τη δημιουργία συστήματος πτήσης για προσγείωση σε προκαθορισμένες συντεταγμένες απαιτεί την ικανοποίηση των 4 παραμέτρων· ακρίβεια,





ταχύτητα, χαμηλό κόστος και δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης. Η χρήση ενός airdrop καλύπτει την ταχύτητα, λόγω της παράδοσης πολλών φορτίων ταυτόχρονα, αποτελώντας ένα μοντέλο προς βελτίωση. Το airdrop χωλαίνει στον παράγοντα της ακρίβειας, κάνοντάς το αναξιόπιστο σε κακές καιρικές συνθήκες. Οι προσπάθειες της μελέτης, λοιπόν, επικεντρώνονται στην βελτίωση της ακρίβειας του συστήματος, κάνοντας βέβαια ταυτόχρονα το μοντέλο χαμηλού κόστους και επαναχρησιμοποιούμενο.

Το πρόβλημα της ακρίβειας των απλών αλεξιπτώτων που χρησιμοποιούνται οφείλεται στην απουσία κατευθυντικότητας. Μία αρχική λύση που αναλύθηκε ήταν ένα quadcopter drone, αλλά αργότερα απορρίφθηκε καθώς είναι βαρύ, ογκώδες, εύθραυστο και άκρως ενεργοβόρο. Τελικά, η αλλαγή του απλού αλεξιπτώτου σε αλεξιπτωτο τύπου πτέρυγας (Toglia, Vendittelli, & Lanari, 2010) έδωσε στο μοντέλο κατευθυντικότητα σε συνδυασμό με ανθεκτικότητα, καθιστώντας το σύστημα που επιλέχθηκε. Καθώς το σύστημα αυτό είναι μη επανδρωμένο και αυτόνομο (Watanabe & Ochi, 2007), είναι απαραίτητος ένας μηχανισμός που κατ' εντολήν θα τραβά τα φρένα του αλεξιπτώτου τύπου πτέρυγας για να κατευθύνει το σύστημα και έτσι, χρησιμοποιήθηκαν σερβομηχανισμοί.

## **Αλεξιπτωτο τύπου πτέρυγας (παραπέντε)**

Το αλεξιπτωτο τύπου πτέρυγας είναι το κοινό σημείο απλών αλεξιπτώτων και αεροσκαφών χωρίς μηχανική ώθηση: ένα κατευθυνόμενο αλεξιπτωτο. Το αλεξιπτωτο τύπου πτέρυγας αποτελείται από δύο επιφάνειες -άνω και κάτω- που συνδέονται με κάθετα τμήματα που χωρίζουν το αλεξιπτωτο σε "κελιά". Τα κελιά αυτά σταθεροποιούνται όταν φουσκώνουν και γεμίζουν με αέρα. Υπάρχουν επίσης οπές στα κάθετα τμήματα που επιτρέπουν στον αέρα να διαμοιράζεται σε όλα τα κελιά. Τα κελιά είναι το μέσο ελέγχου του σχήματος της πτέρυγας με συνέπεια τη δυνατότητα κατεύθυνσης και προσγείωσης του αλεξιπτώτου (Jalbert, 1968). Για τον έλεγχο των κελιών, το αλεξιπτωτο συνδέεται στο φορτίο με τρεις ζώνες σκοινιών, την μπροστά, μέση και πίσω. Η ζώνη υπεύθυνη για τη στροφή του αλεξιπτώτου είναι η πίσω, τις οποίες οι δύο πλευρές -δεξιά και αριστερή- ονομάζονται φρένα. Το τράβηγμα των δεξιών φρένων στρίβει το

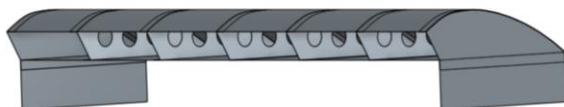




αλεξίπτωτο προς τα δεξιά, το τράβηγμα των αριστερών προς τα αριστερά, ενώ το τράβηγμα και των δύο φρένων “φρενάρι” το αλεξίπτωτο, δηλαδή αυξάνει την ταχύτητα καθόδου του.

Για να φτάσει τη μέγιστη αποδοτικότητα, το αλεξίπτωτο πρέπει να είναι ικανό να φτάσει μεγάλο ρυθμό καθόδου ακόμα και με μικρή γωνία επίθεσης (angle of attack), δηλαδή τη γωνιά ανάμεσα στην εισερχόμενη ριπή του ανέμου και τη διεύθυνση της πτέρυγας.

Όσο για το σχήμα των επιφανειών, αλεξίπτωτα τύπου πτέρυγας σε extreme sports έχουν ελλειπτική κάτοψη, πράγμα που τα κάνει δύσκολα στην κατασκευή. Για ευκολότερο σχέδιο και κατασκευή, το αλεξίπτωτο τύπου πτέρυγας μπορεί να κατασκευαστεί με ορθογώνιες επιφάνειες, πάνω και κάτω, και κάθετα σε αυτές ορθογώνια τμήματα στην άκρη κάθε πλευράς, ως σταθεροποιητές. Τα κάθετα τμήματα διαχωρισμού των κελιών που θα ενώνουν τις επιφάνειες θα έχουν αεροδυναμικό σχήμα “δακρύου” και τρεις οπές το καθένα (Σχήμα 1).



Σχήμα 1: Το αλεξίπτωτο τύπου πτέρυγας

Οι ακριβείς διαστάσεις του αλεξίπτωτου, βέβαια, μπορούν να υπολογιστούν μόνο με πειράματα. Όσο για το υλικό, επιλέχθηκε το skytex-27, το οποίο έχει μεγάλη ανθεκτικότητα και βάρος μόλις 27g ανά  $m^2$ .



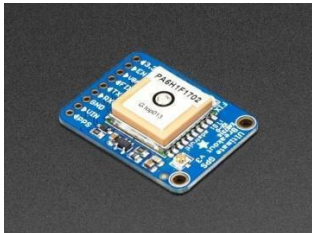


## Ηλεκτρολογικά μέρη

Τα ηλεκτρολογικά μέρη του συστήματος απεικονίζονται στον Πίνακα 1.

Όνομα	Εικόνα	Ρόλος
-------	--------	-------








Σερβομηχανισμοί (2)		Τραβάνε τα φρένα του αλεξιπτώτου ώστε να το κατευθύνουν. Δουλεύουν με τάση λειτουργίας 3,3V.
Μικροελεγκτής (MCU)		Επεξεργάζεται τα δεδομένα των αισθητήρων και στέλνει κατάλληλες εντολές, με τάση λειτουργίας τα 3,3V.
GPS		Δίνει δεδομένα για χρόνο, ημερομηνία, γεωγραφικό μήκος και πλάτος και ύψος, με τάση λειτουργίας 3,3V
Επιταχυνσιόμετρο-Γυροσκόπιο-Μαγνητόμετρο (AGM)		Δίνει δεδομένα για την κατεύθυνση, απόλυτη θέση του συστήματος στο χώρο, ένταση μαγνητικού πεδίου και επιτάχυνση της βαρύτητας, με τάση λειτουργίας 3,3V.
Αισθητήρας BME280		Ο αισθητήρας μετράει πίεση, θερμοκρασία, υγρασία και υψόμετρο. Λειτουργεί στα 3,3V.





Μπαταρίες (3)		Τα ηλεκτρονικά τροφοδοτούνται από 3 επαναφορτιζόμενες μπαταρίες λιθίου σε παράλληλη σύνδεση.
Μετατροπέας τάσης		Λόγω της διαφορετικής τάσης σερβομηχανισμών και υπόλοιπων ηλεκτρονικών, ένας μετατροπέας τάσης είναι απαραίτητος
Breakout board κάρτας microSD		Τα δεδομένα αποθηκεύονται στην κάρτα microSD.

Πίνακας 1: Τα ηλεκτρολογικά μέρη του συστήματος

### Κώδικας - Ο αλγόριθμος πτήσης

Ο κώδικας είναι γραμμένος σε γλώσσα C++ και έχει ως εξής: Όταν τα ηλεκτρονικά του συστήματος ενεργοποιηθούν, όλοι οι αισθητήρες αρχικοποιούνται και οι πληροφορίες του GPS διαβάζονται. Έπειτα, κάθε δευτερόλεπτο, το MCU (μικροελεγκτής) αποθηκεύει όλες τις πληροφορίες από τους αισθητήρες στην κάρτα SD. Κάθε μισό δευτερόλεπτο, το MCU ελέγχει την πτήση ως εξής: η απόκλιση σε γωνία και απόσταση από τον στόχο υπολογίζεται με δεδομένα από το GPS. Αν η γωνία απόκλισης είναι  $\pm 20^\circ$ , το σύστημα είναι στη σωστή κατεύθυνση και, για να διατηρηθεί η σωστή κατεύθυνση, οι σερβομηχανισμοί τραβούν εναλλάξ δεξιά και αριστερά  $20^\circ$ . Αν η απόκλιση είναι μεταξύ  $20^\circ$  και  $180^\circ$  δεξιά, τραβιέται αναλογικά μεταξύ  $50^\circ$  και  $110^\circ$  το δεξί φρένο και για αντίστοιχη απόκλιση αριστερά τραβιέται ανάλογα το αριστερό φρένο. Το



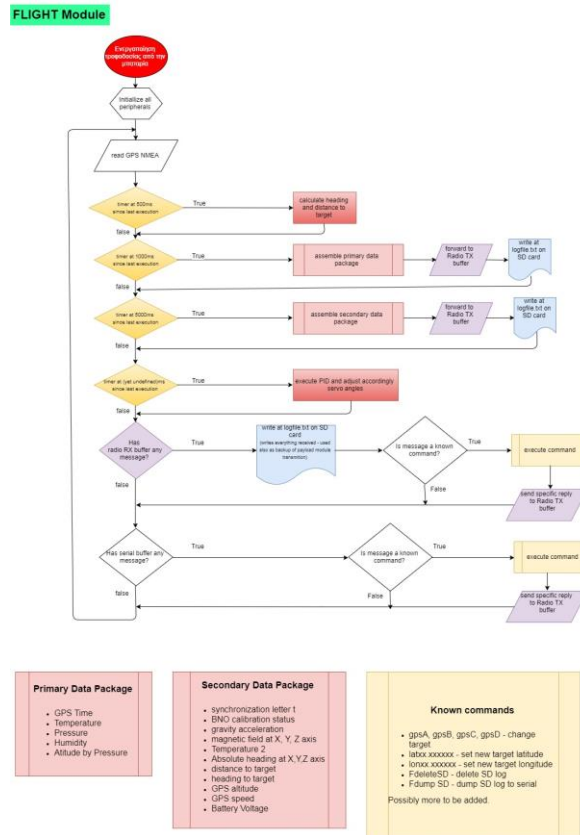




function

dataGPS()

συγκρίνει τις συντεταγμένες του συστήματος με τις προκαθορισμένες συντεταγμένες του στόχου και υπολογίζει την απόκλιση σε γωνίες και απόσταση. Το `decimalDegrees()` μετατρέπει τις συντεταγμένες του GPS από NMEA σε μοίρες με δεκαδικά. Το `calc_dist()` υπολογίζει την απόσταση από τον στόχο και το `calc_bearing()` υπολογίζει την σωστή κατεύθυνση. (Σχήμα 2)



Σχήμα 2: Το διάγραμμα ροής του κώδικα

## Σχεδιασμός

Για την επίτευξη της επαναχρησιμοποίησης, το όλο φορτίο χωρίστηκε σε δύο μέρη, ένα που θα περιέχει τα ηλεκτρονικά απαραίτητα για την πτήση, το module της πτήσης και ένα που θα μεταφέρει τις προμήθειες, το module των προμηθειών. Έτσι, το module της πτήσης μαζί με το αλεξίπτωτο τύπου πτέρυγας θα εκτελούν διανομές ξανά και ξανά, ενώ το module των

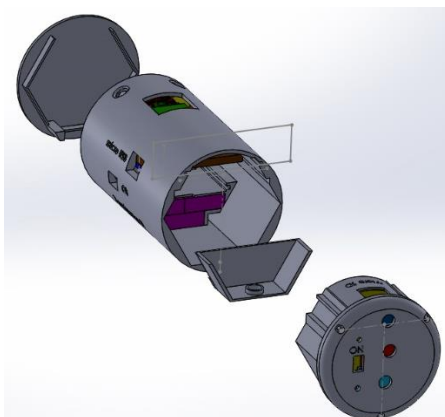




παραμένει στα θύματα. Τα δύο μέρη πρέπει να ενώνονται σφιχτά για ασφάλεια, αλλά ταυτόχρονα να διαχωρίζονται εύκολα.

Έτσι, το module της πτήσης είναι κυλινδρικό με μία εξαγωνική τρύπα όπου το module των προμηθειών προσδένει. Μέσα στο module της πτήσης υπάρχουν ράγες που κρατούν την πλακέτα των ηλεκτρονικών ασφαλή και κοντά στην περιφέρεια του φορτίου για να παίρνει καλό σήμα. Υπάρχει, επίσης, ένα βάθρο για να τοποθετούνται οι σερβομηχανισμοί.

Το φορτίο σχεδιάστηκε με εφαρμογές Computer-Aided Design (CAD) όπως Solidworks και Onshape, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3. Έπειτα εκτυπώθηκε από 3D εκτυπωτή με υλικό PLA (polylactic acid).



Σχήμα 3: Το σχεδιαστικό μοντέλο του φορτίου

## Πειράματα

Τα χαρακτηριστικά του αλεξιπτώτου (διαστάσεις, angle of attack, μήκος σκοινιών κλπ) καθορίστηκαν κυρίως από τη μέθοδο δοκιμής και λάθους. Για αυτό το λόγο έγιναν διάφορες δοκιμές από διαφορετικά ύψη υπό διαφορετικές συνθήκες: από τον 4<sup>ο</sup> όροφο κτιρίου, με μπαλόνια ηλίου από τα 120m και με drone από τα 400m.

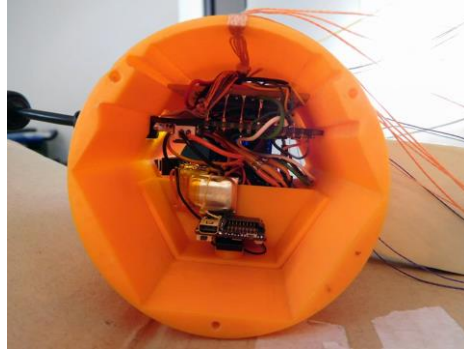
Οι σερβομηχανισμοί δοκιμάστηκαν στο έδαφος με διαφορετικές γωνίες απόκλισης ώστε να δοκιμαστεί και ο κώδικας πτήσης.

Τα ηλεκτρονικά αρχικά κολλήθηκαν σε pins, συνδέθηκαν σε breadboard και ελέγχθηκαν οι μετρήσεις τους. Έπειτα, το GPS και το BME280 διήνυσαν διαδρομή σε βουνό και κατόπιν τα





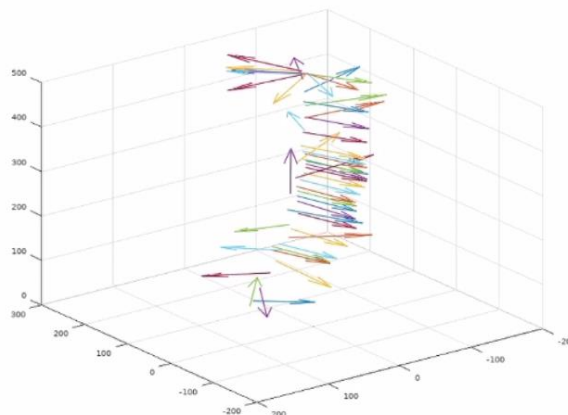
δεδομένα αναπαραστάθηκαν με το λογισμικό Google Earth. Τέλος, μία πλακέτα κόπηκε στις ακριβείς διαστάσεις των ηλεκτρονικών και αυτά κολλήθηκαν πάνω της. (Σχήμα 4)



Σχήμα 4: Τα ηλεκτρονικά του module της πτήσης

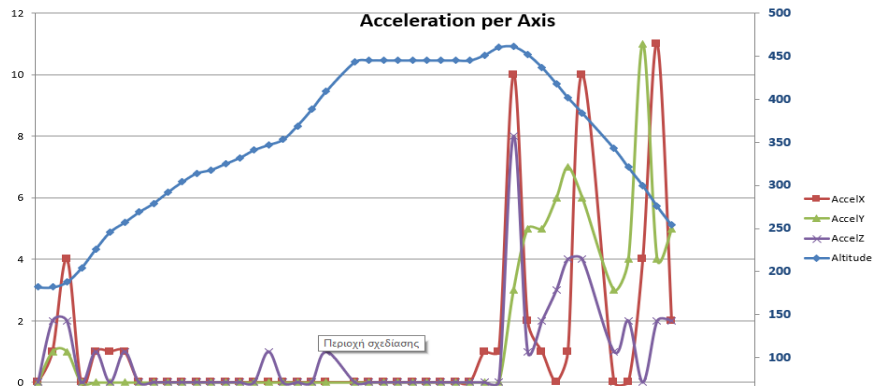
## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η απόσταση από τον στόχο στις δοκιμές κυμαινόταν από 60 μέχρι 150m, ενώ η κάθετη ταχύτητα του συστήματος -μετά από υπολογισμούς από δεδομένα των αισθητήρων- υπολογίστηκε στα 4-5m/s και η οριζόντια στα 2-5m/s. Το κόστος -με προϊόντα λιανικής- ανήλθε περίπου στα 200€ και η επανειλημμένη χρήση του συστήματος, σε συνδυασμό με τη διαμερισματοποίησή του, αποδεικνύει τη δυνατότητα επαναχρησιμοποίησής του. Επιπλέον, το συνολικό βάρος του μέρους της πτήσης ανέρχεται στα 200g. Από τα δεδομένα των αισθητήρων μπορούν να παραχθούν γραφήματα με σημαντικές πληροφορίες, όπως τα Σχήματα 5 και 6.



Σχήμα 5: Η διαδρομή του συστήματος διανυσματικά στον χώρο





Σχήμα 6: Η επιτάχυνση ανά άξονα μαζί με το υψόμετρο

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα και στις 4 παραμέτρους κρίνονται ιδιαίτερα ικανοποιητικά. Η απόσταση από τον στόχο ικανοποίησε αρκετά την παράμετρο της ακρίβειας και το μέγεθος των ταχυτήτων, μαζί με την παράλληλη διανομή πολλών φορτίων, ικανοποίησαν την παράμετρο της ταχύτητας, χωρίς αυτή να φτάνει σε επικίνδυνα επίπεδα. Το κόστος αξιολογείται προσιτό και, λόγω του απλού σχεδίου του, το σύστημα μπορεί εύκολα να παραχθεί μαζικά, ρίχνοντας δυνητικά κι άλλο το κόστος. Επιπλέον, το χαμηλό βάρος απελευθερώνει χώρο και βάρος για τις προμήθειες.

Τέλος, το σύστημα απέδειξε και την ασφάλειά του, καθώς ακόμα και με δύσκολη απελευθέρωση ή ακόμα και με πρόβλημα στους σερβοκινητήρες, το αλεξίπτωτο ανοίγει και παραδίδει τις προμήθειες με ασφάλεια, ενώ ο κώδικας σιγουρεύει ότι το σύστημα δεν παγιδεύεται σε ριπές ανέμου.

Μία μελλοντική βελτίωση εάν χρησιμοποιηθούν μεγαλύτερες διαστάσεις θα ήταν η προσθήκη ενός κινητήρα για να βοηθάει το σύστημα να αντιστέκεται ενάντια στους δυνατούς ανέμους, όπως οι Zaitsev και Formal'skii παρουσίασαν το 2008. Λόγω, όμως, του μικρού μεγέθους και βάρους του συγκεκριμένου μοντέλου, ένας τέτοιος κινητήρας θα έκανε μόνο κακό, ανατρέποντας το σύστημα συνεχώς.





Μία πιθανή μελλοντική μελέτη είναι ένα πιο ηλεκτρονικά μινιμαλιστικό μοντέλο του συστήματος, όπου το σύστημα θα είναι SINS (Strapdown Inertial Navigation Systems) (Zhang, Ghogho, & Yuan, 2012). Για αυτή τη μελέτη, θα πρέπει να αφαιρεθούν το GPS και το BME280 και να μελετηθεί ένας αλγόριθμος πτήσης που θα υπολογίζει τις τρέχουσες και μέλλουσες θέσεις του συστήματος χρησιμοποιώντας δεδομένα όπως ταχύτητα και επιτάχυνση.

Γενικότερα, το παραπάνω σύστημα θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί εκτός από καταστάσεις φυσικών καταστροφών και σε άλλες επείγουσες περιπτώσεις, όπως ιατρικά επείγοντα (π.χ. υπογλυκαιμίες και αλλεργικές αντιδράσεις) ή ακόμη και σε αποστολές διάσωσης σε απομακρυσμένες και δύσβατες περιοχές. (Σχήμα 7)



Σχήμα 7: Το σύστημα στο έδαφος μετά από πτήση

Ολοκληρώνοντας, το παραπάνω σύστημα πτήσης είναι ένας άρτιος σχεδιαστικά και κατασκευαστικά διανομέας προμηθειών σε επιζώντες φυσικών καταστροφών, καθώς ανταποκρίνεται και στις 4 παραμέτρους που περιγράφηκαν στην αρχή της μελέτης.





## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] BBC. (2017). *Hurricane Irma: Florida assesses damage as storm weakens*. Προσπελάστηκε 11 Νοεμβρίου, 2018, από <http://www.bbc.com/news/business-41231323>
- [2] Groenemeijer, P., Vajda, A., Lehtonen, I., Kämäräinen, M., Venalainen, A., Gregow, H. et al (2016). Present and future probability of meteorological and hydrological hazards in Europe. *RAIN – Risk Analysis of Infrastructure Networks in Response to Extreme Weather*. uuid:906c812d-bb49-408a-aeed-f1a900ad8725
- [3] Harrington, R. (2017). Florida and the Caribbean dig out of Hurricane Irma's devastation and begin a slow and costly recovery. Προσπελάστηκε 11 Νοεμβρίου 2018, από <http://www.businessinsider.com/florida-hurricane-irma-recovery-damage-2017-9>
- [4] Jalbert, D. C. (1968). *U.S. Patent No. USRE26427E*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [5] Mooney, R., & Hedrick, D. C. (2011). *U.S. Patent No. US8365907B1*. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office.
- [6] Toglia, C., Vendittelli, M., & Lanari, L. (2010). Path following for an autonomous paraglider. *49th IEEE Conference on Decision and Control (CDC)*. doi:10.1109/cdc.2010.5717849
- [7] Watanabe, M., & Ochi, Y. (2007). Modeling and motion analysis for a powered paraglider (PPG). *SICE Annual Conference 2007*. doi:10.1109/sice.2007.4421506
- [8] Whybark, D. C. (2007). Issues in managing disaster relief inventories. *International Journal of Production Economics*, 108(1-2), 228-235. doi:10.1016/j.ijpe.2006.12.012
- [9] Zaitsev, P. V., & Formal'Skii, A. M. (2008). Autonomous longitudinal motion of a paraglider. Mathematical simulation, synthesis of control. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 47(5), 786-794. doi: 10.1134/s106423070805012
- [9] Zhang, W., Ghogho, M., & Yuan, B. (2012). Strapdown navigation system computation. *Modelling and Simulation in Engineering, 2012*, 309-334. doi:10.1155/2012/264537

