



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών
Προηγμένες Τεχνολογίες Υπολογιστικών
Συστημάτων**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Έρευνα και επισκόπηση τεχνικών εντοπισμού και παρεμβολών
μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων**

**Αλέξανδρος Κ. Ποιμενίδης
Α.Μ.: 21023**

Εισηγητής: Δρ Στυλιανός Βουτσινάς, Καθηγητής

(Σελίδα σκόπιμα κενή)

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Έρευνα και επισκόπηση τεχνικών εντοπισμού και παρεμβολών μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων

**Αλέξανδρος Κ. Ποιμενίδης
Α.Μ.: 21023**

Εισηγητής:

Δρ Στυλιανός Βουτσινάς, Καθηγητής

Εξεταστική Επιτροπή:

Δρ Στυλιανός Βουτσινάς, Καθηγητής

Δρ Ιωάννης Βογιατζής, Καθηγητής

Δρ Σταύρος Φατούρος, Καθηγητής

Ημερομηνία εξέτασης: 20 Φεβ 23

(Σελίδα σκόπιμα κενή)

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Αλέξανδρος Ποιμενίδης του Κυριάκου, με αριθμό μητρώου 21023 φοιτητής του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών «Προηγμένες Τεχνολογίες Υπολογιστικών Συστημάτων» του Τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής και Υπολογιστών της Σχολής Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, δηλώνω ότι: «Είμαι συγγραφέας αυτής της μεταπτυχιακής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της, είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος. Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου». Επιθυμώ την απαγόρευση πρόσβασης στο πλήρες κείμενο της εργασίας μου μέχρι και έπειτα από αίτηση μου στη Βιβλιοθήκη και έγκριση του επιβλέποντα καθηγητή.

Ο Δηλών



(Σελίδα σκόπιμα κενή)

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή, κ. Στέλιο Βουτσινά για τη σωστή καθοδήγησή του, την αμέριστη συμπαράστασή του και το άρτιο κλίμα συνεργασίας καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής.

Για τις συμβουλές, τη στήριξη και την αγάπη τους, ευχαριστώ μέσα από την καρδιά μου τους φίλους μου Κώστα και Δημήτρη. Τέλος, επειδή όλα τα χρωστάω στον πατέρα μου Κυριάκο και τη μητέρα μου Θεοπούλα, θέλω να τους εκφράσω το μεγαλύτερο «ευχαριστώ».

(Σελίδα σκόπιμα κενή)

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά τη διερεύνηση και την παρουσίαση των τεχνικών εντοπισμού και παρεμβολής των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων μέσα από βιβλιογραφική ανασκόπηση ερευνών. Στην έρευνα παρουσιάστηκαν αναλυτικά οι τεχνικές, οι οποίες χρησιμοποιούνται και έχουν δοκιμαστεί πειραματικά, αλλά και στα πεδία των μαχών, ενώ ταυτόχρονα αναφέρονται τα αίτια για τα οποία η ανάπτυξη νέων και αποτελεσματικών μεθόδων θεωρείται τόσο κρίσιμη στη σύγχρονη εποχή.

Abstract

The following Master Thesis is an investigation and presentation of the detection and interference techniques of unmanned aerial vehicles through a bibliographic review of research. The research presented in detail the techniques, which are used and tested experimentally, as well as on the battlefields, while at the same time the reasons why the development of new and effective methods is considered so critical in the modern era are mentioned.

Περιεχόμενα

1. Εισαγωγή.....	14
1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας	14
1.2 Βασικές έννοιες και ορισμοί	14
1.3 Ιστορική αναδρομή	16
1.4 Κατηγορίες Συστημάτων Μη Επανδρωμένων Εναερίων Οχημάτων	21
1.4.1 Ανοικτή Κατηγορία ΣμηΕΑ (UAS Open Category)	21
1.4.2 Ειδική Κατηγορία (UAS Specific Category)	22
1.4.3 Πιστοποιημένη Κατηγορία (UAS Certified Category)	22
1.5 Λοιπές Κατηγορίες ΜΕΑ	23
1.6 Τα ΜΕΑ στην καθημερινότητα	24
1.7 Οργάνωση Συστήματος UAV	27
1.8 Περιορισμοί Συστημάτων ΜΕΑ	30
2. Εντοπισμός Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών	31
2.1 Επικινδυνότητα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών	31
2.2 Ανίχνευση και εντοπισμός.....	33
2.2.1 Ραντάρ (Radar).....	33
2.2.2 Παθητική ανίχνευση ραδιοσυχνοτήτων	35
2.2.3 Ηλεκτροπτικά/Υπέρυθρα συστήματα ανίχνευσης.....	36
2.2.4 Ενεργά οπτικά συστήματα	37
2.2.5 Ακουστικοί αισθητήρες ανίχνευσης	37
2.2.6 Νευρωνικά δίκτυα	38
2.2.7 Συνδυασμός τεχνολογιών	39
2.3 Σύγχρονα ΜΕΑ και η ανίχνευσή τους.....	40
3. Παρεμβολή Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών	42
3.1 Αντίμετρα απενεργοποίησης	42
3.1.1 Παρεμβολέας Ραδιοσυχνοτήτων (RF Jammer)	42
3.1.2 Παρεμβολή/Παραπλάνηση Συστήματος Δορυφορικής Πλοήγησης (GNSS Jamming / Spoofing).....	44
3.1.3 Δίχτυ.....	46
3.2 Καταστροφικά αντίμετρα	46
3.2.1 Ελαφρά όπλα	46
3.2.2 Πύραυλοι - Βλήματα	47
3.2.3 Υψηλής Ισχύος Μικροκύματα (HPM-High Power Microwave)	48

3.2.4 Laser Υψηλής Ενέργειας (High-Energy Laser).....	48
3.3 Ηλεκτρονικός πόλεμος.....	49
4. Συμπέρασμα.....	53
5. Βιβλιογραφία.....	54

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΣμηΕΑ	Σύστημα μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους
ΜΕΑ	Μη Επανδρωμένα Αεροσκάφη
UAV	Unmanned Aerial Vehicles (Μη Επανδρωμένα Ιπτάμενα Οχήματα)
UAS	Unmanned Aerial System (Μη Επανδρωμένα Ιπτάμενα Συστήματα)
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System (Σύστημα Τηλεκατευθυνόμενου Αεροσκάφους)
RPV	Remotely Piloted Vehicle (Τηλεχειριζόμενα οχήματα)
ΗΠΑ	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
Α/Φ	Αεροσκάφος
UCAV	Unhuman Combat Air Vehicle (Εναέριο μη Επανδρωμένο Αερόχημα Μάχης)
ISR	Intelligence Surveillance Reconnaissance (Αναγνώριση επιτήρηση πληροφοριών)
GCS	Ground Control Station (Σταθμός Ελέγχου Εδάφους)
MTOM	Maximum Take-Off Mass (Μέγιστη μάζα απογείωσης)
VLOS	Visual Line of Sight (Απόσταση οπτικής επαφής)
BVLOS	Beyond Visual of Sight (Πέραν οπτικής επαφής)
IED	Improvised Explosive Device (Αυτοσχέδιοι εκρηκτικοί μηχανισμοί)
PESA	Passive Electronically Scanned Array (Παθητική ηλεκτρονική σαρωμένη συστοιχία)
FMCW	Frequency Modulated Continuous Wave (Συνεχές κύμα διαμόρφωσης συχνότητας)
RF	Radio Frequency (Ραδιοσυχνότητα)
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum (Διασκορπισμένο φάσμα μεταπήδησης συχνότητας)
EO/IR	Electro optical/Infrared (Ηλεκτροοπτικά/Υπέρυθρα συστήματα ανίχνευσης)
LIDAR	Light Detection and Ranging (Ανίχνευση και εντοπισμό φωτός)
DNN	Deep Neural Networks (Βαθύ νευρωνικό δίκτυο)
CNN	Convolutional Neural Network (Συνελικτικό νευρωνικό δίκτυο)
SCF	Spectral Correlation Function (Φασματική συνάρτηση συσχέτισης)
C2	Command and Control (Διοίκηση και Έλεγχος)
AI	Artificial Intelligence (Τεχνητή Νοημοσύνη)
GNSS	Global Navigation Satellite System (Παγκόσμιο Σύστημα Δορυφορικής Πλοήγησης)
HPM	High Power Microwave (Υψηλής Ισχύος Μικροκύματα)
EMP	Electromagnetic Pulse (Ηλεκτρομαγνητικό σήμα)
ΗΠ	Ηλεκτρονικός Πόλεμος

ACRONYMS

UAV	Unmanned Aerial Vehicles
UAS	Unmanned Aerial System
RPAS	Remotely Piloted Aircraft System
RPV	Remotely Piloted Vehicle
UCAV	Unhuman Combat Air Vehicle
ISR	Intelligence Surveillance Reconnaissance
GCS	Ground Control Station
MTOM	Maximum Take-Off Mass
VLOS	Visual Line of Sight
BVLOS	Beyond Visual of Sight
IED	Improvised Explosive Device
PESA	Passive Electronically Scanned Array
FMCW	Frequency Modulated Continuous Wave
EO/IR	Electro optical/Infrared
LIDAR	Light Detection and Ranging
DNN	Deep Neural Networks
CNN	Convolutional Neural Network
SCF	Spectral Correlation Function
C2	Command and Control
AI	Artificial Intelligence
RF	Radio Frequency
LTE	Long Term Evolution
ISM	Industrial Scientific and Medical
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
HPM	High Power Microwave
EMP	Electromagnetic Pulse
ATHENA	Advanced Test High Energy Asset
ALADIN	Accelerated LAser Demonstration INitiative
EW	Electronic Warfare

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος	15
Εικόνα 2: Drone με πολλαπλούς έλικες	15
Εικόνα 3: Hewitt-Sperry Automatic Airplane (1918).....	17
Εικόνα 4: Kettering Bug (1918)	17
Εικόνα 5: Τηλεχειριζόμενο όχημα RPV Teledyne-Ryan AQM-34	18
Εικόνα 6: Η εξέλιξη των RPV της εταιρείας Teledyne-Ryan	19
Εικόνα 7: Σύγχρονο UAV αμερικάνικης τεχνολογίας	20
Εικόνα 8: Ρωσικά ΜΕΑ: (1) Drone «καμικάζι», (2) UAV Orion.....	20
Εικόνα 9: ΜΕΑ κατηγορίας Υβριδικού VTOL.....	24
Εικόνα 10: Εικόνα από drone σε πλημμυρισμένη περιοχή	25
Εικόνα 11: Drone μεταφοράς φαρμακευτικού και υγειονομικού υλικού.....	25
Εικόνα 12: Ψεκαστικό drone σε καλλιεργήσιμη έκταση	26
Εικόνα 13: Λήψη φωτογραφίας από drone κατά την επιχειρησιακή εκπαίδευση του Δ΄Σώματος Στρατού.....	27
Εικόνα 14: (α) Σταθμοί Ελέγχου Εδάφους, (β) Εσωτερικό μέρος του GCS, (γ) Το "εικονικό" πιλοτήριο του GCS, (δ) GCS μικρής κλίμακας UAV	28
Εικόνα 15: Εκτοξευτήρας με UAV Sagem Sperwer	29
Εικόνα 16: Προσγείωση UAV με χρήση αλεξίπτωτου.....	29
Εικόνα 17: Παράνομη εμφάνιση drone σε ομιλία της Γερμανίδας Καγκελάρου	31
Εικόνα 18: Radar προστασίας αέρος Blighter A400 Series Ku-Band Doppler	34
Εικόνα 19: Συστάδα RF Ανιχνευτών UAV	35
Εικόνα 20: ΕΟ/IR συσκευή εντοπισμού ΜΕΑ (α) και η εικόνα από τα οπτικά της συσκευής (β).....	36
Εικόνα 21: Διαδικασία εντοπισμού και ανίχνευσης ΜΕΑ με νευρωνικά δίκτυα.....	39
Εικόνα 22: ΜΕΑ Bayraktar TB2 τούρκικης κατασκευής	40
Εικόνα 23: Ραδιοσυχνότητες (RF) λειτουργίας drone	43
Εικόνα 24: Οι τύποι επικοινωνιών των ΜΕΑ	43
Εικόνα 25: Jammer ραδιοσυχνοτήτων	44
Εικόνα 26: Συσκευή διατήρησης σήματος GNSS	45
Εικόνα 27: (α) Συσκευή εκτόξευσης διχτυού, (β) Εκτόξευση διχτυού από drone	46
Εικόνα 28: Συντρίμμια ιρανικής κατασκευής καμικάζι drone Shahed-136/131	47
Εικόνα 29: Προηγμένοι πύραυλοι Raytheon Peregrine	48
Εικόνα 30: ΑΘΗΝΑ, συσκευή κατάρριψης ΜΕΑ με χρήση laser	49
Εικόνα 31: Ρωσικό σύστημα ηλεκτρονικού πολέμου Krasukha-4	50
Εικόνα 32: Συντρίμμια ΜΕΑ Bayraktar TB2 στα εδάφη της Αρμενίας.....	51
Εικόνα 33: «Πανόπτης»: Το πρώτο anti-drone σύστημα ελληνικής σχεδίασης.....	52

1. Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιείται έρευνα και επισκόπηση των τεχνικών εντοπισμού και παρεμβολών των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων.

Στο 1^ο Κεφάλαιο διατυπώνεται το ευρύ πλαίσιο των μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων, οι τύποι-κατηγορίες, η ιστορική αναδρομή, η οργάνωση, οι περιορισμοί και οι τομείς εφαρμογής αυτών στην καθημερινότητα. Στη συνέχεια, στο 2^ο Κεφάλαιο αναλύονται οι τεχνικές με τις οποίες δύναται να εντοπιστούν τα ΜΕΑ. Τέλος, στο 3^ο Κεφάλαιο αναφέρονται οι μέθοδοι-τεχνολογίες με τις οποίες δύναται ο ανθρώπινος παράγοντας να παρεμβάλει τα εναέρια αυτά οχήματα. Επίσης, γίνεται και μια μικρή αναφορά σε γεγονότα ηλεκτρονικού πολέμου, που διαδραματίστηκαν στη σημερινή μας εποχή.

1.2 Βασικές έννοιες και ορισμοί

Σύμφωνα με τον ορισμό που δίνει η ελληνική νομοθεσία, το Σύστημα μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους ορίζεται ως ακολούθως: «Σύστημα μη Επανδρωμένου Αεροσκάφους - ΣμηΕΑ (UAS - Unmanned Aircraft System) ορίζεται το μη επανδρωμένο αεροσκάφος μαζί με όλο το σχετικό εξοπλισμό που αφορά στην υποστήριξη αυτού (σταθμός ελέγχου, δυνατότητες σύνδεσης δεδομένων και τηλεχειρισμού, εξοπλισμός πλοήγησης κλπ.), ο οποίος είναι απαραίτητος για τη λειτουργία του. Τα ΣμηΕΑ είναι είτε ελεύθερα (free UAS) ή είναι δυνατόν να είναι προσδεδεμένα (tethered UAS) σε σταθερές ή κινητές βάσεις. Στην κατηγορία των ΣμηΕΑ περιλαμβάνονται και τα τηλεχειριζόμενα αεροσκάφη (Remotely - Piloted) και τα τηλεχειριζόμενα Συστήματα Αεροσκαφών (RPAS - Remotely-Piloted Aircraft Systems), καθώς και τα αυτόνομα αεροσκάφη (autonomous aircraft)». [1]

Μη επανδρωμένα εναέρια οχήματα ή μη επανδρωμένα αεροχήματα (ΜΕΑ) (Εικόνα-1) ορίζονται από την παγκόσμια ιστοσελίδα Wikipedia, οποιαδήποτε ιπτάμενα οχήματα που δεν έχουν χειριστή στην άτρακτό τους, αλλά πραγματοποιούν πτήσεις είτε αυτόνομα, είτε μέσω τηλεκατεύθυνσης. Στην αγγλική ορολογία έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι όροι, όπως unmanned aerial vehicle (UAV) ή unmanned aerial system (UAS) ή remotely piloted aircraft system (RPAS) ή drones. Ο όρος UAV αναφέρεται στο εναέριο όχημα χωρίς πιλότο, ο UAS περιγράφει το σύνολο του προσωπικού, υλικών και διαδικασιών που αποτελεί ένα ολοκληρωμένο σύστημα και ο RPAS προσδιορίζει το μη επανδρωμένο αερόχημα, που η πτήση του είναι ελεγχόμενη από χειριστήριο εδάφους ή ειδικού προγράμματος και έχει τη μορφή ενός μικρού αεροπλάνου ή ελικόπτερου με έναν ή περισσότερους κινητήρες και έλικες. Διακρίνονται σε δύο κύριες κατηγορίες: με σταθερές πτέρυγες και με έλικες. [2]



Εικόνα 1: Μη Επανδρωμένο Αεροσκάφος [2]

Drone ορίζεται οποιοδήποτε εναέριο όχημα που λαμβάνει εντολές από απόσταση από έναν πιλότο - χειριστή ή βασίζεται σε λογισμικό για αυτόνομη πτήση (Εικόνα-2). Ο όρος «drone» χρησιμοποιείται επίσης ευρέως διεθνώς. Τα μεγέθη τους κυμαίνονται από αυτά των πολύ μικρών αεροσκαφών (σε μέγεθος παιχνιδιού) έως αυτά των πραγματικών αεροσκαφών. Ελέγχονται από έναν «χειριστή» και όχι από έναν πιλότο, ο οποίος είτε τα χειρίζεται απευθείας ο ίδιος είτε προκαθορίζει την πορεία τους μέσω προγράμματος που εισάγεται στο ΣμηΕΑ πριν απογειωθεί το αεροσκάφος και συνεχίζει να τρέχει όσο είναι στον αέρα. Τα αεροσκάφη αυτά αναφέρονται ως «αυτοκατευθυνόμενα». Από την άλλη πλευρά, υπάρχουν μη επανδρωμένα αεροσκάφη που κάνουν χρήση τεχνικών πλοήγησης και από τις δύο προαναφερθείσες κατηγορίες. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο όρος «drone» προέρχεται από τον ήχο βόμβου που παρήχθη από τα πρώτα δείγματα του είδους (που μιμούνταν τον ήχο των αρσενικών μελισσών), όταν τέθηκαν σε χρήση για πρώτη φορά από τον στρατό των Ηνωμένων Πολιτειών.



Εικόνα 2: Drone με πολλαπλούς έλικες [3]

Κύρια χαρακτηριστικά των σύγχρονων drones είναι οι έλικες που φέρουν για τη σταθεροποίηση της πτήσης τους και η κάμερα για τη συλλογή οπτικών δεδομένων. Έχουν αναπτυχθεί διάφορα είδη drone ανάλογα τη χρήση και τις ανάγκες που πρόκειται να καλύψουν. Οι πιο συχνοί τύποι drones που συναντούμε είναι οι εξής:

- Drone με μονό έλικα

Είναι παρόμοιο με ένα ελικόπτερο σε μικρότερο μέγεθος και λειτουργεί με ηλεκτρική ενέργεια (συσσωρευτής) ή φυσικό αέριο. Χρησιμοποιείται συνήθως για πτήσεις μεγάλων αποστάσεων.

- Drone με πολλαπλούς έλικες

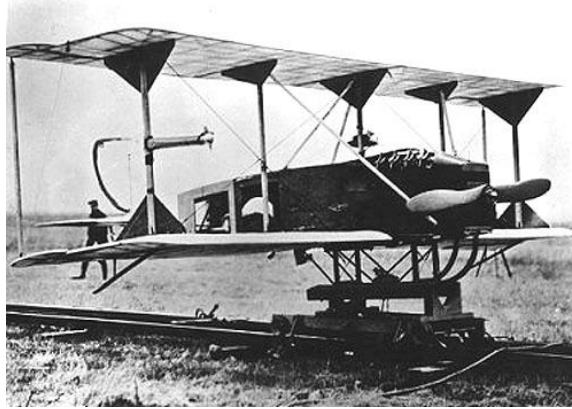
Είναι η πιο συνηθισμένη κατηγορία drone και χαρακτηρίζεται από το μικρό βάρος και μέγεθός του. Έχει περιορισμένη εμβέλεια σε θέματα απόστασης, ύψους και χρονικής διάρκειας πτήσης.

- Drone με σταθερά φτερά πτήσης

Το παραπάνω drone είναι πανομοιότυπο με ένα μικρό αεροπλάνο που έχει σταθερά φτερά πτήσης και έναν ή περισσότερους έλικες. Λειτουργεί με καύσιμο, το οποίο σημαίνει ότι δύναται να βρίσκεται στον αέρα για πολλές ώρες. Λόγω του μεγάλου μεγέθους του, η απογείωση και η προσγείωσή του πραγματοποιείται σε αεροδιάδρομο, όπως τα κοινά αεροπλάνα. [3]

1.3 Ιστορική αναδρομή

Κατά τη διάρκεια μιας μάχης που έλαβε χώρα στις 22 Αυγούστου 1849, οι αυστριακές δυνάμεις επιτέθηκαν στη Βενετία χρησιμοποιώντας μπαλόνια που μετέφεραν εκρηκτικά. Αυτό το γεγονός θεωρείται ότι είναι η αρχή της ιστορίας των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Τα μπαλόνια εκτοξεύτηκαν στον αέρα πάνω από το αυστριακό πλοίο «Vulcano», από τα οποία ορισμένα κατάφεραν να δράσουν στη Βενετία και κάποια να πλήξουν το αυστριακό μέτωπο διότι κινήθηκαν σε λάθος κατεύθυνση από τον άνεμο. Αυτό το σύστημα ήταν υπό ανάπτυξη από τους Αυστριακούς για αρκετούς μήνες σε αυτό το σημείο. Η βιεννέζικη εφημερίδα σε άρθρο που δημοσίευσε η The Presse, ανέφερε ότι: «Η Βενετία θα βομβαρδιστεί από αερόστατα, καθώς οι λιμνοθάλασσες αποτρέπουν την προσέγγιση του πυροβολικού. Πέντε αερόστατα, το καθένα διαμέτρου 7 μέτρων (23 πόδια), κατασκευάστηκαν στο Τρεβίζο. Με ευνοϊκό άνεμο τα αερόστατα εκτοξεύονται και κατευθύνονται προς την Βενετία από όσο πιο κοντά γίνεται και έπειτα, όταν έρχονται σε κάθετη θέση πάνω από την πόλη, θα εκπυρσοκροτηθούν από ηλεκτρομαγνητισμό μέσω ενός μακρού απομονωμένου σύρματος χαλκού με μια μεγάλη γαλβανική μπαταρία, που βρίσκεται τοποθετημένη πάνω σε ένα κτίριο. Η βόμβα πέφτει κάθετα και εκρήγνυται καθώς φτάνει στο έδαφος.»



Εικόνα 3: Hewitt-Sperry Automatic Airplane (1918) [4]

Στη συνέχεια, η εφεύρεση των αεροσκαφών έθεσε τέλος στη χρήση των μη επανδρωμένων αερόστατων για στρατιωτικούς σκοπούς. Κατά τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο και για μικρό χρονικό διάστημα μετά, οι μηχανικοί εργάζονταν σκληρά για την ανάπτυξη των πρώτων μη επανδρωμένων εναέριων οχημάτων. Ένας από αυτούς, ο Archibald Low, με ψευδώνυμο «πατέρας των συστημάτων ραδιοκαθοδήγησης» εισήγαγε την τεχνολογία των drones γνωστή ως «Ruston Proctor Aerial Target». Τον Σεπτέμβριου του 1917, το «Hewitt-Sperry Automatic Airplane», επίσης γνωστό και ως «Ιπτάμενη βόμβα», πέταξε για πρώτη φορά πλησιάζοντας την έννοια του μη επανδρωμένου αεροσκάφους (Εικόνα-3). Τα αεροσκάφη αυτά προοριζόνταν να χρησιμοποιηθούν ως «εναέρια торπίλη», ένα είδος προσομοίωσης κατευθυνόμενων βλημάτων της σύγχρονης εποχής, τα οποία ελέγχονταν με γυροσκόπια. Αργότερα, τον Νοέμβριο του 1917, το «Hewitt-Sperry» εκτέλεσε μια επιχείρηση για λογαριασμό του στρατού των Ηνωμένων Πολιτειών. Ο αμερικάνικος στρατός αναβάθμισε το εν λόγω αεροσκάφος και η προχωρημένη έκδοσή του ονομάστηκε «Kettering Bug» (Εικόνα-4). [4]



Εικόνα 4: Kettering Bug (1918) [4]

Στη συνέχεια παρατηρείται ανάπτυξη της σχετικής τεχνολογίας και τη δεκαετία του '30 εμφανίζεται η πρώτη πτήση του τηλεχειριζόμενου αεροχήματος Queen Bee του αγγλικού πολεμικού ναυτικού. Όμως, η τακτική χρήση των MEA άρχισε κατά τις δεκαετίες '60 και '70 με την ονομασία RPV (Remotely Piloted Vehicle – Τηλεχειριζόμενα οχήματα). Η παραπάνω χρονική περίοδος αποτέλεσε τις αρχικές βάσεις για την μετεξέλιξη και εισαγωγή τους στην καθαρά επιχειρησιακή πτυχή των αποστολών τους. Τα RPV είχαν ως κύριες αποστολές την επιτήρηση, την αναγνώριση εδάφους, τη χρήση ως εναέριους στόχους και την κατάδειξη στόχου. Η πρώτη αποστολή πραγματοποιήθηκε το 1963 σε ρόλο αναγνώρισης. Το 1964 η στρατηγική διοίκηση SAC των ΗΠΑ διαμόρφωσε στο νησί OKINAWA την 100^η Πτέρυγα Στρατηγικής Αναγνώρισης αποκλειστικά με οχήματα RPV. Οι πρώτες αποστολές αναγνωρίσεων πραγματοποιήθηκαν πάνω από εδάφη της Κίνας με τα οχήματα Teledyne-Ryan AQM-34L (Εικόνα-5). Τα παραπάνω οχήματα εξαπολύονταν από ειδικά διασκευασμένα αεροσκάφη (Α/Φ) C-130. Πολλά από τα RPV αποτύγχαναν να διεκπεραιώσουν την αποστολής τους και χανόντουσαν. Αργότερα εξελίχθηκαν σε AQM-34N και AQM-91A με δυνατότητα πτήσης στα 60.000 και 80.000 πόδια αντίστοιχα, προκειμένου να μην βάλονται από το εχθρικό αντιαεροπορικό.

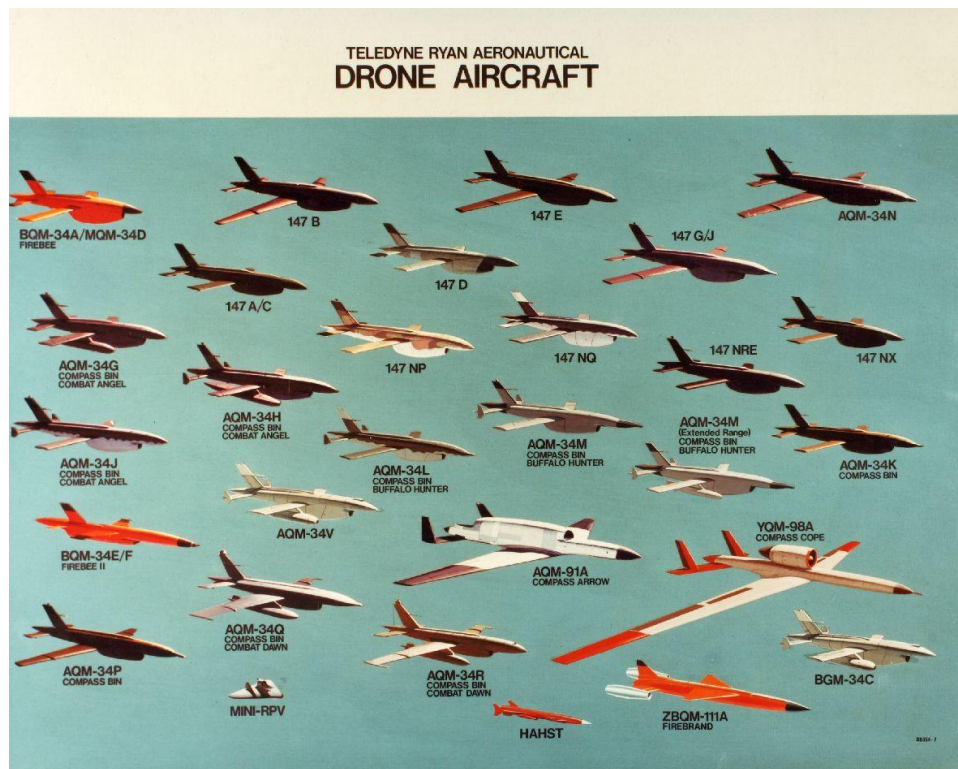


Εικόνα 5: Τηλεχειριζόμενο όχημα RPV Teledyne-Ryan AQM-34 [5]

Εκείνη την εποχή, εκτός από τα RPV είχαν αναπτυχθεί και τα drones, τα οποία ήταν και αυτά μη επανδρωμένα αεροχήματα με τη διαφορά ότι εκτελούσαν αποστολές ως εναέριοι στόχοι και είχαν συγκεκριμένα σενάρια πτήσης.

Κατά τη διάρκεια της αραβο-ισραηλινής σύρραξης τον Οκτώβριο του 1973 και της επέμβασης στο Λίβανο το 1982, οι Ισραηλινοί χρησιμοποίησαν και τους δύο τύπους (RPV και drones). Στην πρώτη περίπτωση επιχείρησαν με RPV τύπου Ryan 1241 της σειράς AQM/BQM και με drones για την ενεργοποίηση της Αιγυπτιακής επίγειας αεράμυνας. Στο Λίβανο έγινε χρήση των παραπάνω μέσων, καθώς και νέων συστημάτων ELINT RPV, όπως τα AQM-34N. Όταν βρίσκονταν στον αέρα, τα εχθρικά ραντάρ αεράμυνας εγκλώβιζαν τους «υποτιθέμενους» στόχους με αποτέλεσμα οι Ισ-

ραηλινοί να καταγράφουν τις συχνότητες εκπομπής τους και να εφαρμόζουν τις αντίστοιχες ρυθμίσεις στους πυραύλους HARM. Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν και RPV τύπου BQM-34 ως επιθετικές πλατφόρμες μεταφοράς οπλικού φορτίου με κατευθυνόμενα βλήματα τύπου HOBOS και MAVERICK. Σε αυτή την περίπτωση εμφανίζεται ένας νέος ορισμός, αυτό των UCAV (Unhuman Combat Air Vehicle – Εναέριο μη Επανδρωμένο Αεροπλάνο Μάχης).



Εικόνα 6: Η εξέλιξη των RPV της εταιρείας Teledyne-Ryan [6]

Τα ΜΕΑ πλέον αποτελούν ένα σημαντικό όπλο για κάθε τακτικό στρατό. Σε κάθε πόλεμο της νεότερης ιστορίας παρατηρείται η εμπλοκή UAV με διάφορες αποστολές ανάληψης, όπως αναγνώριση, κατάδειξη στόχου, ηλεκτρονικού πολέμου, παραπλάνηση αντιαεροπορικών συστημάτων, εκτίμηση καταστροφής στόχων, στοχοποίηση και επαναπροσβολή τους. Πλέον, τα ΜΕΑ ως κύρια αποστολή έχουν αυτή της ISR (Intelligence Surveillance Reconnaissance - Αναγνώριση επιτήρηση πληροφοριών). Επιπρόσθετα, στη σημερινή εποχή τα ΜΕΑ έχουν εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό και παρέχουν πολλά πλεονεκτήματα στον κάθε διοικητή που τα κατέχει. Η αύξηση του βεληνεκούς τους, η ταχυκίνησή και η μεγαλύτερη αυτονομία καθιστούν τα ΜΕΑ ως ένα από τα σύγχρονα οπλικά συστήματα, τα οποία παρέχουν την ευχέρεια να αναλαμβάνουν τις εξής αποστολές:



Εικόνα 7: Σύγχρονο UAV αμερικάνικης τεχνολογίας [7]

- Επιτήρηση - αναγνώριση
- Συλλογή και μετάδοση πληροφοριών
- Επιχειρήσεις παραπλάνησης
- Διεξαγωγή επιχειρήσεων ηλεκτρονικού πολέμου
- Υποστήριξη τακτικών πυρών και πυρών υποστηρίξεως
- Αναμετάδοση επικοινωνιών
- Εκτίμηση καταστροφών
- Πυρηνική, βιολογική και χημική αναγνώριση
- Υποστήριξη επιχειρήσεων έρευνας και διάσωσης
- Ψυχολογικές επιχειρήσεις

Η επιβιωσιμότητα των πληρωμάτων των αεροσκαφών αποτελεί σημαντική πρόκληση κατά τη διεξαγωγή των επιθετικών επιχειρήσεων, διότι η απώλεια ενός χειριστή ή ενός αεροσκάφους συσχετίζεται με μεγάλη οικονομική επιβάρυνση μιας χώρας. Το ζήτημα της απώλειας του έμψυχου δυναμικού οδήγησε στην ανάπτυξη και εμπλοκή των μη επανδρωμένων συστημάτων. Απόδειξη των παραπάνω είναι η αυξημένη χρήση τους στον πόλεμο, που ξέσπασε τον Φεβρουάριο του 2022 μεταξύ Ρωσίας και Ουκρανίας στα εδάφη της τελευταίας. Παρατηρήθηκε η εμπλοκή διάφορων τύπου ΜΕΑ από τις Ρωσικές Ένοπλες Δυνάμεις με σημαντικότερους τα drone «καμικάζι» και το UAV Orion σε ρόλο drone «φονιά» (Εικόνα-8).



Εικόνα 8: Ρωσικά ΜΕΑ: (1) Drone «καμικάζι», (2) UAV Orion [8], [9]

Το drone «καμικάζι» παράγεται στο Ιράν και είναι γνωστό ως πυρομαχικό που περιφέρεται σε μια περιοχή που χαρακτηρίστηκε ως πιθανός στόχος και επιτίθεται μόνο όταν εντοπιστεί εχθρικό στοιχείο. Το μικρό μέγεθός του συμβάλει στην αδυναμία εντοπισμού του και στην ευκολία της εκτόξευσής του. Ο τίτλος «καμικάζι» αποδεικνύει ότι θεωρείται αναλώσιμο και έχει σχεδιαστεί για να χτυπά πίσω από τις εχθρικές γραμμές και να καταστρέφεται κατά την επίθεση. [8]

Το UAV Orion με τη σειρά του κατασκευάζεται στη Ρωσία και θα λειτουργεί ως «αρπακτικό» απέναντι στις εχθρικές εναέριες απειλές. Οι πύραυλοι που φέρει δύνανται να καταρρίψουν και μη επανδρωμένα αεροσκάφη, όπως το τούρκικης κατασκευής TB2 Bayraktar, που χρησιμοποιούν οι Ουκρανικές Ένοπλες Δυνάμεις. [9]

1.4 Κατηγορίες Συστημάτων Μη Επανδρωμένων Εναερίων Οχημάτων

Σύμφωνα με το Άρθρο 4 του Κανονισμού πτήσεων των ΣμηΕΑ [1] περί κατηγοριοποίησης, λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα κριτήρια:

- η μέγιστη μάζα απογείωσης (MTOM - Maximum Take-Off Mass)
- το είδος της χρήσης
- το ύψος άνωθεν της επιφάνειας της γης ή της θαλάσσης όπου επιτρέπεται να ίπτανται
- οι περιοχές (αποκλειστικές ή μη) όπου ίπτανται
- οι τεχνικές δυνατότητες εκάστου ΣμηΕΑ
- η πολυπλοκότητα του περιβάλλοντος πτητικής λειτουργίας του ΣμηΕΑ

Σύμφωνα με τα παραπάνω κριτήρια καθορίζονται οι ακόλουθες κατηγορίες ΣμηΕΑ:

1. η «ανοικτή» κατηγορία (UAS Open Category)
2. η «ειδική» κατηγορία (UAS Specific Category)
3. η «πιστοποιημένη» κατηγορία (UAS Certified Category)

1.4.1 Ανοικτή Κατηγορία ΣμηΕΑ (UAS Open Category)

Ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος μπορεί να λειτουργήσει στην «ανοικτή» κατηγορία, όταν τηρεί τα εξής κριτήρια:

- είναι ιδιωτικά κατασκευασμένο και το βάρος του δεν είναι μεγαλύτερο από 25 κιλά.
- αγοράστηκε πριν από την 1η Ιανουαρίου 2023 χωρίς ετικέτα αναγνώρισης κλάσης
- ο χειριστής εξασφαλίζει ότι το ΜΕΑ κινείται σε ασφαλή απόσταση από πρόσωπα και δεν ίπταται πάνω από άτομα.

- Θα διατηρηθεί σε λειτουργία «απόσταση οπτικής επαφής» (VLOS - Visual Line of Sight) ή η πτήση πραγματοποιείται σε λειτουργία «ακολουθήσέ με» ή ο απομακρυσμένος χειριστής του πρόκειται να βοηθηθεί από έναν παρατηρητή.
- Πτετά σε ύψος μικρότερο από 120 μέτρα.
- Δεν θα μεταφέρει επικίνδυνα εμπορεύματα και δεν πραγματοποιεί ρίψη οποιουδήποτε υλικού. [10]

Η «ανοικτή» κατηγορία ΣμηΕΑ διακρίνεται σε 3 υποκατηγορίες:

- A0: Μίνι Συστήματα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών με MTOM κατά την απογείωση μικρότερη του ενός κιλού (<1kg).
- A1: Πολύ Μικρά Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών με MTOM κατά την απογείωση ίση ή μεγαλύτερη από ένα κιλό ($\geq 1\text{kg}$) έως τα τέσσερα κιλά (<4kg).
- A2: Μικρά Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών με MTOM κατά την απογείωση ίση ή μεγαλύτερη από τα τέσσερα κιλά ($\geq 4\text{kg}$) και έως τα είκοσι πέντε κιλά (<25kg). [11]

1.4.2 Ειδική Κατηγορία (UAS Specific Category)

Ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος, το οποίο δεν πληροί τις προϋποθέσεις της «ανοιχτής» κατηγορίας, μπορεί να ενταχθεί στην «ειδική» με δυνατότητα μεγαλύτερης ελευθερίας κινήσεων. ΣμηΕΑ ειδικής κατηγορίας απαντώνται στις εξής περιπτώσεις:

- Όταν το αεροσκάφος θα ίπταται σε λειτουργία «πέραν οπτικής επαφής» (BVLOS - Beyond Visual of Sight).
- Όταν χρησιμοποιείται αεροσκάφος με MTOM άνω των 25kg, πετώντας σε υψόμετρο άνω των 120m από το επίπεδο του εδάφους.
- Όταν το αεροσκάφος σκοπεύει να απορρίψει υλικό.
- Όταν στερείται ετικέτας αναγνώρισης κατηγορίας.

Η «ειδική» κατηγορία φιλοξενεί λειτουργίες που ενέχουν μεγαλύτερο βαθμό κινδύνου από εκείνες που καλύπτονται από την «ανοιχτή». Επιπλέον, είναι απαραίτητο να ληφθεί άδεια λειτουργίας από την Εθνική Αρχή Αεροπορίας (NAA) του κράτους στο οποίο ήταν νηολογημένο το μη επανδρωμένο αεροσκάφος πριν οποιαδήποτε πτήση. [12]

1.4.3 Πιστοποιημένη Κατηγορία (UAS Certified Category)

Η «πιστοποιημένη» κατηγορία έχει σχεδιαστεί για να φιλοξενεί τις δραστηριότητες που ενέχουν το υψηλότερο επίπεδο κινδύνου. Αυτή η κατηγορία περιλαμβάνει μελλοντικές πτήσεις με MEA που μεταφέρουν ανθρώπους κατά μήκος μίας διαδρο-

μής, όπως το αεροταξί ή άλλες παρόμοιες υπηρεσίες. Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για την εξασφάλιση της ευημερίας των επιβατών σε αυτές τις πτήσεις είναι συγκρίσιμη με αυτή που χρησιμοποιείται για την επανδρωμένη αεροπορία. [12]

1.5 Λοιπές Κατηγορίες ΜΕΑ

Εκτός από τις παραπάνω κατηγορίες, τα ΜΕΑ διακρίνονται και σε άλλες ομάδες με διεθνή ονομασία, βάσει των χαρακτηριστικών τους.

Λαμβάνοντας υπόψη το βάρος διακρίνονται σε:

- *Nano*, με βάρος μικρότερο από 250 gr.
- *Micro*, με βάρος μεγαλύτερο από 250 gr και μικρότερο από 2 kg.
- *Small*, με βάρος μεγαλύτερο από 2 kg και μικρότερο από 25 kg.
- *Medium*, με βάρος μεγαλύτερο από 25 kg και μικρότερο από 150 kg.
- *Large*, με βάρος μεγαλύτερο από 150 kg.

Με βάση το υψόμετρο και την εμβέλεια πτήσης του UAV χαρακτηρίζονται ως:

- *Hand-held*, με υψόμετρο μικρότερο από 600 m και εμβέλεια μικρότερη από 2 km.
- *Close*, με υψόμετρο μικρότερο από 1,5 km και εμβέλεια μικρότερη από 10 km.
- *NATO*, με υψόμετρο μικρότερο από 3 km και εμβέλεια μικρότερη από 50 km.
- *Tactical*, με υψόμετρο μικρότερο από 5,5 km και εμβέλεια μικρότερη από 160 km.
- *Medium Altitude Long Range*, με υψόμετρο μικρότερο από 9,1 km και εμβέλεια μικρότερη από 200 km.
- *High Altitude Long Range*, με υψόμετρο μεγαλύτερο από 9,1 km και απεριόριστη εμβέλεια.
- *Hypersonic*, με υψόμετρο μικρότερο από 15,2 km και εμβέλεια μεγαλύτερη από 200 km.

Ανάλογα τα πτερύγια και τους έλικες διακρίνονται όπως παρακάτω:

- *Με σταθερά πτερύγια*, το οποίο είναι παρόμοιο με ελικοφόρο αεροπλάνο.
- *Με μονό έλικα*, το οποίο μοιάζει με ελικόπτερο (περιλαμβάνει και έναν μικρό έλικα στην ουρά του).
- *Με πολλαπλούς έλικες*, το οποίο έχει περισσότερους από δύο έλικες.
- *Υβριδικό VTOL*, με σταθερά πτερύγια και έλικες, το οποίο δύναται να αιωρείται και να απογειώνεται/προσγειώνεται κάθετα από το έδαφος (Εικόνα-9).



Εικόνα 9: ΜΕΑ κατηγορίας Υβριδικού VTOL

Τέλος, βασιζόμενα στη χρήση/εφαρμογή τους χωρίζονται σε:

- Προσωπική χρήση, (πχ λήψη οπτικού υλικού)
- Εμπορική χρήση, (πχ μεταφορά αγαθών)
- Κυβερνητική χρήση, (πχ κατάσβεση πυρκαγιάς)
- Στρατιωτική χρήση, (πχ επιτήρηση συνόρων) [13]

1.6 Τα ΜΕΑ στην καθημερινότητα

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη αρχικά αναπτύχθηκαν όπως προαναφέρθηκε για στρατιωτικούς σκοπούς. Χάρη στην ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα που παρέχουν, τα ΜΕΑ με την πάροδο των ετών εξελίχθηκαν και σε άλλους τομείς πέρα από την αμυντική βιομηχανία, κυρίως στην κατηγορία των drones. Πλέον τα drones αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινότητάς μας. Η τεχνολογία τους αξιοποιήθηκε σε διάφορους τομείς, όπως της έρευνας και διάσωσης, της βιντεοσκόπησης, της γεωργίας και των μεταφορών. Επίσης, απλοί χρήστες δύναται να προβούν σε αγορά ενός drone και να το χρησιμοποιούν ως τρόπο ψυχαγωγίας ή χόμπι. [3]

Οι πιο συνηθισμένες εφαρμογές - χρήσεις των drones είναι:

- Έρευνα και διάσωση

Σε θέματα διαχείρισης κρίσεων, εκτάκτων αναγκών και καταστάσεων, η χρήση ενός drone θεωρείται μια λογική και αποτελεσματική επιλογή. Παρέχει πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο για την άμεση εκτίμηση της κατάστασης και την εκπόνηση του τρόπου ενέργειας της επιχείρησης. Επίσης, αποτρέπει την επέμβαση του ανθρώπινου παράγοντα σε συνθήκες υψηλού κινδύνου, όπως γκρεμοί και χαράδρες και χάρη στην τεχνολογία των υπέρυθρων και θερμικών καμερών η σάρωση του εδάφους πραγματοποιείται με γρήγορο και αποτελεσματικό τρόπο (Εικόνα-10). [14]



Εικόνα 10: Εικόνα από drone σε πλημμυρισμένη περιοχή [15]

- Υπηρεσίες μεταφοράς αγαθών

Όλο και πιο συχνή είναι η αξιοποίηση των σύγχρονων drone για τη μεταφορά τροφίμων, πακέτων και προϊόντων. Χαρακτηρίζεται ως μια εναλλακτική μέθοδος παράδοσης αγαθών με γρηγορότερα αποτελέσματα σε σχέση με τη συνηθισμένη διανομή με φορτηγά οχήματα. Υπάρχει ο περιορισμός των αποστάσεων αλλά και του βάρους του προϊόντος που δεν πρέπει να ξεπερνά κάποιο όριο. Οι αποστολές μεταφοράς υπηρεσιών βρίσκονται σε πειραματικό στάδιο αυτή τη χρονική στιγμή, με πολλές από τις γνωστές εταιρείες όπως η Amazon, η Google και η FedEx να πραγματοποιούν δοκιμές με διάφορες εκδόσεις drones. Αξιοσημείωτο παράδειγμα είναι η επίδειξη μεταφοράς φαρμακευτικού και υγειονομικού υλικού μέσω drone για την κάλυψη των αναγκών σε υπηρεσίες υγείας των κατοίκων των μικρών νησιών του Αιγαίου που πραγματοποιήθηκε τον Οκτώβριο του 2022 στις Μικρές Κυκλάδες (Εικόνα-11).[3], [15]



Εικόνα 11: Drone μεταφοράς φαρμακευτικού και υγειονομικού υλικού [16]

- Γεωργία

Με τη χρήση των drones δύναται να εκπονηθούν σημαντικές πληροφορίες από τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Συλλέγονται δεδομένα και τα αποτελέσματα των αναλύσεων επιτρέπουν την καλύτερη διαχείριση των καλλιεργειών και της εκμετάλλευσής τους. Με αυτό τον τρόπο αυξάνονται οι παραγωγικές αποδόσεις χωρίς να χρειάζεται να καταναλωθούν περισσότεροι πόροι. Επιπλέον, με την τεχνολογία των drone υπάρχει η δυνατότητα του ελέγχου των παρασίτων, της παρακολούθησης της υγείας των φυτών, της διαχείρισης των ζώων, της ανάλυσης του εδάφους, καθώς και της χρήσης τους ως ψεκαστικά (Εικόνα-12). Παρακολουθώντας την υγεία των φυτών προλαμβάνουμε δυσμενείς καταστάσεις που θα επιφέρουν μειωμένη απόδοση της καλλιέργειας, όπως για παράδειγμα τα μειωμένα επίπεδα νερού, η έλλειψη λιπασμάτων και ο εντοπισμός επιβλαβών μικροοργανισμών. Η μελέτη μεγάλων καλλιεργημένων εκτάσεων πλέον πραγματοποιείται σε μικρότερο χρόνο και παρέχει πλήρη αναφορά με ακριβή δεδομένα στον γεωργό για την κατάσταση των χωραφιών του. [17]



Εικόνα 12: Ψεκαστικό drone σε καλλιεργήσιμη έκταση [18]

- Πολυμέσα (εικόνα και βίντεο)

Ραγδαία αύξηση της χρήσης των drones παρουσιάζει τα τελευταία χρόνια ο τομέας της φωτογράφισης και βιντεοσκόπησης. Ο αριθμός των κατόχων drone που φέρουν κάμερα πλέον είναι τεράστιος και η χρήση τους δεν προορίζεται μόνο για επαγγελματίες αλλά και για ερασιτέχνες. Ένα τέτοιο drone δίνει τη δυνατότητα για λήψη πανοραμικών εικόνων και αεροφωτογραφιών, καθώς και μαγνητοσκόπηση οποιασδήποτε κίνησης αντικειμένου από τον αέρα. Επιπρόσθετα, αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι στη δημιουργία ταινιών από μεγάλες εταιρείες κινηματογράφου, καθώς παρέχει εντυπωσιακά πλάνα (Εικόνα-13).



Εικόνα 13: Λήψη φωτογραφίας από drone κατά την επιχειρησιακή εκπαίδευση του Δ' Σώματος Στρατού [19]

- Ασφάλεια

Το drone, χάρη στην εικόνα που παρέχει σε πραγματικό χρόνο και στην κάμερα που φέρει, η οποία δύναται να είναι θερμική ή υπέρυθη, δύναται να χρησιμοποιηθεί για ασφάλιση χώρων και εγκαταστάσεων. Παρέχει την άμεση απόκριση ενός οργανισμού σε περιπτώσεις εκτάκτων αναγκών και παραβίασης της ασφάλειας. Αξιοσημείωτο παράδειγμα χρήσης τέτοιου είδους drone είναι η επιτήρηση ενός δάσους από το Πυροσβεστικό Σώμα κατά τη διάρκεια της αντιπυρικής περιόδου για πιθανό εντοπισμό υποψήφιου «εμπρηστή». [3]

1.7 Οργάνωση Συστήματος UAV

Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη στην απλή τους μορφή, για παράδειγμα drone ερασιτεχνικής χρήσης για λήψη φωτογραφιών-βίντεο, έχουν προδιαγραφές για χειρισμό από 1-2 άτομα. Αντίθετα, ΜΕΑ μεγάλης κλίμακας που χρησιμοποιούνται για κυβερνητικούς - στρατιωτικούς σκοπούς, αποτελούνται από ένα ολόκληρο σύστημα μονάδων. Το σύστημα UAV συνήθως απαρτίζεται από τα εξής συκροτήματα:

- Σταθμός Ελέγχου Εδάφους (GCS - Ground Control Station)

Έχει αναπτυχθεί για τον έλεγχο και την παρακολούθηση της πτήσης του UAV, καθώς και για την λήψη και καταγραφή εικόνων σε πραγματικό χρόνο. Το λογισμικό που φέρει, καθορίζει το είδος του Α/Φ που θα ελέγχει και τις λειτουργίες που θα εφαρμοστούν επί αυτού. Αποτελείται από ένα υπολογιστικό σύστημα, μια συσκευή τηλεμετρίας και κεραίες (δορυφορικές ή μεγάλης εμβέλειας) αποστολής και λήψης δεδομένων. Τα σύγχρονα GCS παρέχουν στον χειριστή ένα «εικονικό» πιλοτήριο με πολλαπλές οθόνες, οι οποίες παρέχουν εικόνα από το UAV, χάρτη και όργανα του Α/Φ,

καθώς και χειριστήρια για την πτήση του. Συνήθως όλα τα παραπάνω είναι τοποθετημένα σε ένα μεταλλικό κλωβό που φέρεται επί οχήματος για να υπάρχει η δυνατότητα μεταφοράς-μετεγκατάστασης. Σε μικρότερης κλίμακας MEA το GCS μπορεί να είναι μεγέθους ενός φορητού υπολογιστή. Με το GCS διαχειρίζονται οι εξής λειτουργίες: σχεδίαση-διαχείριση και ανάλυση αποστολής, χειρισμός του Α/Φ και του φορτίου που φέρει, επικοινωνίες συστήματος και διαχείριση συλλεγόμενων πληροφοριών (Εικόνα-14). [20]



Εικόνα 14: (α) Σταθμοί Ελέγχου Εδάφους, (β) Εσωτερικό μέρος του GCS, (γ) Το "εικονικό" πιλοτήριο του GCS, (δ) GCS μικρής κλίμακας UAV [20]

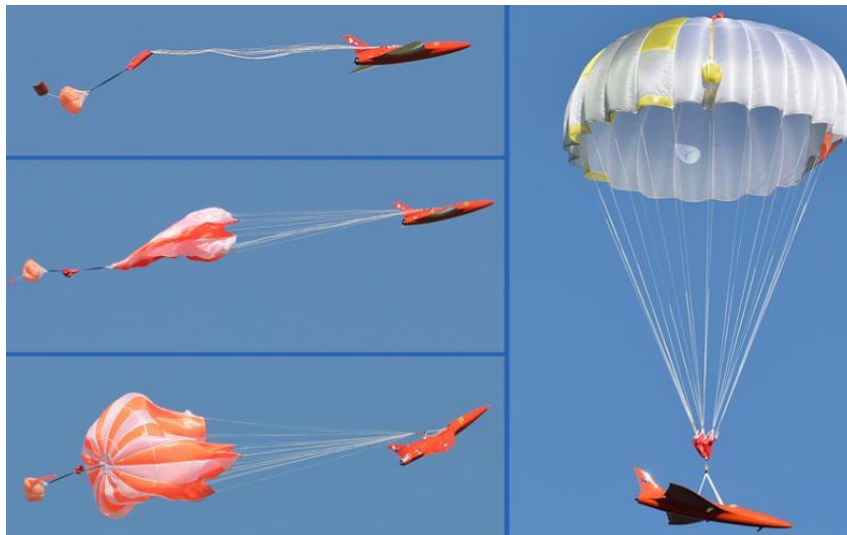
- Συγκρότημα Εκτόξευσης-Περισυλλογής

Παρατηρείται κυρίως σε παλιάς τεχνολογίας MEA τα οποία δεν είχαν τη δυνατότητα αυτόνομης απογείωσης-προσγείωσης σε αεροδιάδρομο. Ο εκτοξευτής (Εικόνα-15) είναι μια ράμπα πνευματικού καταπέλτη που φέρεται από όχημα γενικής χρήσεως. Αποτελείται από την πηγή ηλεκτρικής ισχύος, τη συσκευή ελέγχου και τη ράμπα εκτόξευσης. Προϋπόθεση για την εκτόξευση του Α/Φ είναι να υπάρχει ελεύθερος χώρος από φυσικά-τεχνητά εμπόδια 150 με 250 μέτρα προς την κατεύθυνση εκτόξευσης.



Εικόνα 15: Εκτοξευτήρας με UAV Sagem Sperwer [21]

Με το πέρας της αποστολής το Α/Φ προσγειώνεται σε ελεύθερο από εμπόδια χώρο με τη χρήση αλεξίπτωτου (Εικόνα-16). Το σύστημα μεταφοράς-περισυλλογής αποτελείται συνήθως από ένα όχημα γενικής χρήσεως, το οποίο έχει γερανό και είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να περισυλλέξει το Α/Φ, όταν προσγειωθεί.



Εικόνα 16: Προσγείωση UAV με χρήση αλεξίπτωτου [22]

- Τμήμα Τεχνικής Συντήρησης

Είναι το σύνολο του προσωπικού και του υλικού που χρησιμοποιείται για την συντήρηση του συστήματος ΜΕΑ. Οι ενέργειες που ακολουθούν είναι ο έλεγχος του Α/Φ πριν την εκτόξευση/απογείωση, η επιδιόρθωσή του μετά την περισυλλογή/προσγείωση και η πραγματοποίηση της προληπτικής συντήρησης.

1.8 Περιορισμοί Συστημάτων ΜΕΑ

Η λειτουργία των συστημάτων ΜΕΑ εξαρτάται από δύο βασικούς παράγοντες: τις καιρικές συνθήκες και τα τεχνικά χαρακτηριστικά του κάθε αεροσκάφους.

Τα συστήματα ΜΕΑ δεν είναι συστήματα παντός καιρού. Ακραίες καιρικές συνθήκες, όπως για παράδειγμα θυελλώδεις άνεμοι και παγετός, επιδρούν αρνητικά στην αποτελεσματική χρήση του αεροσκάφους. Παρατηρείται αδυναμία στην εκτόξευση του Α/Φ ή αδυναμία στη συλλογή στοιχείων και χαρακτηριστικών του εδάφους. Επίσης, λόγω κακοκαιρίας η χρήση των ΜΕΑ ως αναμεταδότες επικοινωνιών μπορεί να μην είναι δυνατή.

Κάθε σύστημα ΜΕΑ έχει τις δικές του προδιαγραφές και τεχνικά χαρακτηριστικά. Κωλύματα που συναντώνται σε αυτή την κατηγορία είναι η χρονική διάρκεια πτήσης, το μέγιστο δυνατό υψόμετρο πτήσης και η μέγιστη εμβέλεια χρήσης. Επιπλέον, περιορισμός παρουσιάζεται και κατά τη διάρκεια της απογείωσης - προσγείωσης, όπου χρειάζεται η ύπαρξη του κατάλληλου εδάφους για να πραγματοποιηθεί.

2. Εντοπισμός Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών

2.1 Επικινδυνότητα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών

Τα Συστήματα Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών έχουν χρησιμοποιηθεί για μια μεγάλη ποικιλία εργασιών από διάφορους οργανισμούς στον ιδιωτικό, τον εμπορικό και τον κυβερνητικό τομέα τα τελευταία είκοσι χρόνια. Υπήρξαν εξαιρετικά σημαντικές πρόοδοι στον τομέα των στρατιωτικών ΣμηΕΑ και ως εκ τούτου, τα συστήματα αυτά θεωρούνται πλέον ως ουσιαστικό και αναπόσπαστο στοιχείο των σύγχρονων ενόπλων δυνάμεων και της εμπλοκής τους στις στρατιωτικές επιχειρήσεις. Επιπλέον, μια νέα κατηγορία στρατιωτικών ΣμηΕΑ, γνωστών ως «επιθετικών» (ή «θανατηφόρων») ΣμηΕΑ, συγκεντρώνει μεγάλη προσοχή και αναπτύσσεται με ιλιγγιώδη ταχύτητα. Όλες οι προαναφερθείσες γρήγορες βελτιώσεις στον τομέα των drones αποδίδονται κυρίως στα χαρακτηριστικά υψηλής τεχνολογίας που έχουν εφαρμοστεί και μάλιστα με πολύ φθηνό κόστος.

Ωστόσο, είναι πολύ συχνό φαινόμενο άτομα ή ομάδες να κάνουν κακόβουλη χρήση αυτών των τεχνολογιών με απρόσεκτο τρόπο, με συνέπεια να δημιουργούν κινδύνους για την ασφάλεια και τη ζωή των ανθρώπων εκτός από την ιδιοκτησία και τις κρίσιμες εγκαταστάσεις. Αυτό μπορεί να συμβεί για διάφορους λόγους. Υπάρχουν ενδείξεις ότι τα drones έχουν ήδη εμπλακεί σε «κακόβουλες» εφαρμογές και αναμένεται ότι αυτή η τάση θα συνεχιστεί στο μέλλον. Κατά τη διάρκεια της προεκλογικής εκστρατείας στη Γερμανία το 2013, ακτιβιστές-μέλη του «Πειρατικού Κόμματος» πέταξαν ένα μικρό ΜΕΑ αρκετά κοντά στη Γερμανίδα Καγκελάρια Angela Merkel, προκειμένου να εκφράσουν την αντίθεσή τους στην ανάπτυξη drones παρακολούθησης εντός της Ευρωπαϊκής Ένωσης (Εικόνα-17).



Εικόνα 17: Παράνομη εμφάνιση drone σε ομιλία της Γερμανίδας Καγκελάριας (2013) [23]

Έκτοτε, υπήρξαν ορισμένα περιστατικά κατά τα οποία οι άνθρωποι προσπάθησαν να διαταράξουν την ασφάλεια και την ιδιωτική ζωή άλλων χρησιμοποιώντας drones και σε ορισμένες περιπτώσεις το πέτυχαν, φτάνοντας σε περιοχές που προηγουμένως ήταν δύσκολη ή αδύνατη η πρόσβαση. Υπήρξε ένας μεγάλος αριθμός γεγονότων που έχουν τεκμηριωθεί, αλλά μόνο μερικά από αυτά περιγράφονται εδώ για επεξηγηματικούς σκοπούς:

- Την 27 Ιανουαρίου 2015 ένα κοινό εμπορικού τύπου drone κατάφερε και παραβίασε την ασφάλεια του Λευκού Οίκου και βρέθηκε εντός του κήπου του. Το γεγονός προκάλεσε αρκετές ανησυχίες σχετικά με την πιθανή ευπάθεια της κατοικίας του Προέδρου των Ηνωμένων Πολιτειών, παρά το γεγονός ότι το συγκεκριμένο περιστατικό ήταν ατύχημα και δεν υπήρχε πρόθεση να προκληθεί βλάβη. [24]
- Την 22 Απριλίου 2015 ένας άνδρας, που ήθελε να διαμαρτυρηθεί για τις πυρηνικές πολιτικές της Ιαπωνίας, προσγείωσε ένα drone στην κατοικία του Ιάπωνα πρωθυπουργού, Shinzo Abe, το οποίο μετέφερε ραδιενεργή άμμο από την πυρηνική καταστροφή της Fukushima. [25]
- Την 5 Αυγούστου 2018 πραγματοποιήθηκε απόπειρα δολοφονίας του προέδρου της Βενεζουέλας, Nicolás Maduro, στο Caracas κατά τη διάρκεια στρατιωτικής τελετής. Η απόπειρα πραγματοποιήθηκε με drone, που μετέφερε εκρηκτικά και είχε ως συνέπεια να τραυματιστούν μερικά άτομα όταν τα εκρηκτικά πυροδοτήθηκαν πάνω από το κοινό. [26]

Η κακόβουλη χρήση των ΣμηΕΑ μπορεί να αναλυθεί σε τρεις κύριους τύπους απειλών, καθένας από τους οποίους μπορεί να κατηγοριοποιηθεί ανάλογα με τη φύση των κινδύνων που παρουσιάζουν. Οι κατηγορίες είναι οι εξής:

- Κίνδυνοι για τη φυσική ασφάλεια (άνθρωποι, εγκαταστάσεις, κλπ.)

Δεδομένου ότι η τεχνολογία που προσφέρεται επιτρέπει τον οπλισμό των drones με εκρηκτικά ή βιολογικά και χημικά όπλα, τα καθιστά κατάλληλα για χρήση σε ενέργειες ένοπλων συγκρούσεων. Δεδομένου ότι οι αυτοσχέδιοι εκρηκτικοί μηχανισμοί (IED - Improvised Explosive Device) είχαν χρησιμοποιηθεί προηγουμένως στη διεξαγωγή φυσικών επιθέσεων σε πολιτικούς στόχους, η χρήση τους σε στρατιωτικές επιχειρήσεις δεν είναι πλέον το μόνο πλαίσιο στο οποίο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διάπραξη βίαιων πράξεων, όπως αναφέρθηκε προηγουμένως. Τα drones μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να απειλήσουν πολιτικούς στόχους, αλλά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και για να προκαλέσουν όλεθρο σε βασικές υποδομές και να διακόψουν τη ροή πολιτικών αεροπλάνων, όπως συνέβη πρόσφατα στο διεθνές αεροδρόμιο Gatwick του Λονδίνου (Δεκέμβριος 2018).

- Κίνδυνοι για την ιδιωτική ζωή και την ασφάλεια προσωπικών δεδομένων

Λόγω του γεγονότος ότι η συντριπτική πλειονότητα των ΜΕΑ είναι εξοπλισμένα με κάμερες υψηλής ευκρίνειας, η χρήση των UAV για εμπορικούς σκοπούς έχει δημιουργήσει πρόσθετα ζητήματα σχετικά με το απόρρητο των προσωπικών δεδομένων και των εταιρικών πληροφοριών. Οποιοσδήποτε μπορεί να τραβήξει εικόνες και ταινίες

υψηλής ευκρίνειας, γεγονός το οποίο θέτει σε κίνδυνο την προσωπική ζωή των ανθρώπων και την αρμονική λειτουργία επιχειρήσεων/οργανισμών. Επίσης, η ικανότητά τους να προσφέρουν εξαιρετική εστίαση και ηχογραφήσεις υψηλής ποιότητας ακόμη και όταν βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση από τον στόχο, τα καθιστά «αόρατα» στο θύμα αυξάνοντας την απειλή.

- Απειλές που κάνουν χρήση τρωτών σημείων στο πλαίσιο ηλεκτρονικής επίθεσης ή επίθεσης στον κυβερνοχώρο

Τα drones μπορούν επίσης να εξοπλιστούν με εξειδικευμένους παθητικούς και ενεργητικούς αισθητήρες. Αυτό τους δίνει την ικανότητα να βοηθήσουν στη διαδικασία παραβίασης. Έχουν αναφερθεί περιστατικά με drones που ίπτανται κοντά σε κτίρια και με τη βοήθεια ευαίσθητων αισθητήρων να διαταράσσουν ηλεκτρονικές συσκευές ή να υποκλέπτουν πληροφορίες από ασύρματα δίκτυα ή να συμβάλουν σε κάποιο άλλο είδος κυβερνοεπίθεσης. [27], [28]

2.2 Ανίχνευση και εντοπισμός

Η ανίχνευση ενός μικρού ή μεσαίου UAV υποστηρίζεται ότι αποτελεί μια πολύ δύσκολη διαδικασία, λόγω του γεγονότος ότι οι παραδοσιακές μέθοδοι και τεχνολογίες (όπως το ραντάρ) είναι αναποτελεσματικές. Όταν υπάρχουν πολλές παρεμβολές, εμπόδια που δημιουργούν «νεκρές» περιοχές και αντικείμενα παρόμοιου μεγέθους που βρίσκονται κοντά στο έδαφος, σε κατοικημένες περιοχές ή σε αστικά περιβάλλοντα, καθιστούν εξαιρετικά δύσκολο τον εντοπισμό των drones. Επειδή καμία τεχνική δεν μπορεί να εγγυηθεί από μόνη της ικανοποιητικό ποσοστό ανίχνευσης, η τρέχουσα τάση σχεδόν της κάθε χώρας είναι να συνδυάζει πολλές σημαντικές τεχνολογίες, προκειμένου να αυξηθούν τα συνολικά ποσοστά επιτυχίας. [27]

2.2.1 Ραντάρ (Radar)

Τα Ραντάρ (Radar) είναι ένας εξοπλισμός που εντοπίζει αντικείμενα μέσω της χρήσης ενεργούς ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (Εικόνα-18). Ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει αρνητικά την ανίχνευση των ΣμηΕΑ κατά τη χρήση κοινών ραντάρ είναι το εξαιρετικά μικρό τους μέγεθος, που έχει ως αποτέλεσμα τη μικρή «υπογραφή» τους [(αντανάκλαση (reflection) - αποτύπωση (print)] και την αδυναμία να διακρίνουν τα διάφορα πτηνά από τα drone, ειδικά σε περιβάλλον με πολλά παράσιτα (αντανακλάσεις). Η έρευνα στον τομέα της ανίχνευσης ΜΕΑ οδήγησε στην ανάπτυξη εξειδικευμένων συστημάτων ραντάρ που λειτουργούν στη ζώνη Ku-band ή X-band. Αυτά τα συστήματα έχουν εμβέλεια από 2 έως 4 km για μικρότερα ΜΕΑ, αλλά μπορούν να φτάσουν έως και 6 km για μεγαλύτερα UAV. Αυτές οι δυσκολίες οδήγησαν στην ανάπτυξη αυτών των συστημάτων. Τα εξειδικευμένα ραντάρ ανίχνευσης UAVs εφαρμόζουν ειδικές τεχνολογίες, όπως το Doppler effect, η χαμηλής ισχύος παθητική ηλεκτρονική σαρωμένη συστοιχία (PESA - Passive Electronically Scanned Array) και το

συνεχές κύμα διαμόρφωσης συχνότητας (FMCW - Frequency Modulated Continuous Wave).



Εικόνα 18: Radar προστασίας αέρος Blighter A400 Series Ku-Band Doppler [27]

Το ραντάρ έχει τη δυνατότητα να εντοπίζει στόχους σε μεγάλες αποστάσεις, καθώς και να εκτιμά τη θέση, την ταχύτητα και ίσως ακόμη και τον τύπο του UAV χρησιμοποιώντας προσεγγίσεις τεχνητής νοημοσύνης (AI - Artificial Intelligence). Κύριο προνόμιο αυτής της τεχνολογίας είναι η μεγάλη εμβέλεια, αλλά προϋποθέτει απευθείας οπτική επαφή με τον στόχο. Τα ραντάρ είναι το κυρίως μέσο που χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό ΜΕΑ που ίπτανται αυτόνομα και χωρίς χρήση ραδιοσυχνοτήτων.

Το πιο αποτελεσματικό ραντάρ είναι μια εξέλιξη του ραντάρ FMCW, το οποίο χρησιμοποιείται για διάφορους σκοπούς, συμπεριλαμβανομένης της ανίχνευσης πουλιών στα αεροδρόμια. Τα σύγχρονα ραντάρ δύναται να αναγνωρίζουν τους περιστρεφόμενους έλικες των drones, χάρη στην εξειδικευμένη τεχνολογία micro-Doppler και κατάλληλων αλγορίθμων λογισμικού και AI και επομένως, η διάκριση μεταξύ ΜΕΑ και πτηνών ή άλλων μικρών ιπτάμενων αντικειμένων είναι πιο ευδιάκριτη. Το ραντάρ ανίχνευσης θα πρέπει να καλύπτει ολόκληρο το οπτικό πεδίο 360° σε αζιμούθιο με 10°-20° καθ' ύψος.

Το ραντάρ αναγνωρίζει και κατηγοριοποιεί τους στόχους ανάλογα με την απόσταση στην οποία εντοπίζεται. Συγκεκριμένα, σε απόσταση έως και 10 km εντοπίζονται μεγάλοι κινούμενοι επίγειοι στόχοι (όπως οχήματα ή άρματα μάχης), μεταξύ 3 και 5 km μεγάλα ΜΕΑ και έως και 1 km μικρά εμπορικού τύπου drones. Επίσης, μια κάμερα που είναι ενσωματωμένη απευθείας στο ραντάρ επιτρέπει τη γρήγορη επαλήθευση τυχόν ΜΕΑ. [27,] [28]

2.2.2 Παθητική ανίχνευση ραδιοσυχνοτήτων

Οι εκπομπές ραδιοσυχνοτήτων (RF - Radio Frequency) που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο και την κατεύθυνση του drone, καθώς και οι εκπομπές που απαιτούνται για τη μετάδοση των πληροφοριών που λαμβάνει το αεροσκάφος, επιτρέπουν την ανίχνευση του μη επανδρωμένου εναέριου οχήματος, καθώς και του πιλότου του στις περισσότερες περιπτώσεις. Η παραπάνω τεχνολογία εφαρμόζεται όταν η κατεύθυνση και ο έλεγχος του drone πραγματοποιείται μέσω ραδιοκυμάτων και όχι μέσω δικτύου κινητής τηλεφωνίας ή αυτόνομης πτήσης με χρήση συστήματος δορυφορικής πλοήγησης, αδρανειακού συστήματος πλοήγησης και τεχνικών περιορισμένων εκπομπών.

Τις περισσότερες φορές τα τηλεχειριστήρια που συνδέονται με ραδιοζεύξεις, χρησιμοποιούνται για να πιλοτάρουν drones. Αυτές οι συγκεκριμένες εκπομπές μπορούν να ληφθούν από δέκτες ραδιοσυχνοτήτων, οι οποίοι ουσιαστικά χρησιμεύουν ως επιβεβαίωση ύπαρξης ενός drone. Δύναται να προσδιοριστεί το είδος του MEA και η εταιρεία που το δημιούργησε, υπό την προϋπόθεση ότι η επεξεργασία έχει γίνει σωστά και ότι υπάρχει η διαθέσιμη βιβλιοθήκη απειλών. Ταυτόχρονα, είναι εφικτός ο εντοπισμός της κατεύθυνσης ή της θέσης τόσο του MEA όσο και του τηλεχειριστηρίου χρησιμοποιώντας τις κατάλληλες κεραίες.



Εικόνα 19: Συστάδα RF Ανιχνευτών UAV

Οι δέκτες RF είναι σε θέση να υποκλέψουν μεταδόσεις βίντεο ή άλλων δεδομένων που αποστέλλονται από το MEA (Εικόνα-19). Η δυνατότητα εμφάνισης του περιεχομένου του βίντεο εξαρτάται από την ύπαρξη κατάλληλου υλικού για την αποδιαμόρφωση και την αποκωδικοποίηση του μεταδιδόμενου οπτικού υλικού. Η χρήση του δέκτη ραδιοσυχνοτήτων παρέχει το πλεονέκτημα της έγκαιρης ειδοποίησης πτήσης ενός UAV. Οι αισθητήρες ραδιοσυχνοτήτων έχουν τη δυνατότητα να ανιχνεύουν άμεσα τη σύνδεση του τηλεχειριστηρίου με το πτητικό μέσο. Επίσης, παρέχουν συνεχή σάρωση στις ζώνες συχνοτήτων που λειτουργούν τα εμπορικού τύπου drones. Το τηλεχειριστήριο του drone εφαρμόζεται σε εύρος συχνοτήτων 2,4 και 5,8 GHz και ταυτόχρονα σε άλλες ζώνες, όπως τα 433 MHz.

Ανάλογα με τον τύπο του drone, τη ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιείται, την ισχύ μετάδοσης, το ύψος της κεραίας και ορισμένα άλλα κριτήρια, η απόσταση ανίχνευσης μιας τυπικής μονάδας τηλεχειρισμού με ισχύ εξόδου 100 mW είναι περίπου 1,5 χιλιόμετρο. Ορισμένα drones είναι εξοπλισμένα με τεχνολογία Wi-Fi, η οποία επιτρέπει στον χρήστη να το ελέγχει χρησιμοποιώντας μια κινητή συσκευή, όπως smartphone ή tablet. Ωστόσο, αυτό μειώνει την εμβέλεια του τηλεχειριστηρίου.

Μειονέκτημα της παραπάνω μεθόδου, είναι η προϋπόθεση να υπάρχει άμεση οπτική επαφή μεταξύ δέκτη και τηλεχειριστηρίου προκειμένου να εντοπιστούν και να αποκαλυφθούν οι ραδιο-εκπομπές του ΜΕΑ. Αυτό δεν είναι πάντα δυνατό, ιδιαίτερα σε κατοικημένες-αστικές περιοχές. Επιπλέον, η τεχνική καθίσταται μη αποτελεσματική όταν το drone έχει αυτόνομη αποστολή πτήσης και δεν υπάρχει εκπομπή ραδιοκυμάτων. [27], [28]

2.2.3 Ηλεκτροπτικά/Υπέρυθρα συστήματα ανίχνευσης

Τα ηλεκτροπτικά/υπέρυθρα συστήματα ανίχνευσης (EO/IR - Electro optical/Infrared) αποτελούνται στη βασική τους μορφή από μεμονωμένες κάμερες υψηλής ευκρίνειας ή συστοιχίες καμερών (Εικόνα-20). Οι μεμονωμένες κάμερες έχουν σχεδιαστεί για να λειτουργούν σε συγκεκριμένα μήκη κύματος και σε συγκεκριμένες ζώνες συχνοτήτων. Αυτές οι κάμερες προσφέρουν μια ποικιλία πλεονεκτημάτων (ανάλογα με το κόστος, την ανάλυση κλπ.), καθώς και μειονεκτήματα (κάλυψη, φωτισμός κλπ.). Οι κάμερες υπέρυθρων (IR) είναι χρήσιμες για τη μείωση των παρεμβολών, που προέρχονται από το περιβάλλον, αφού έχουν τη δυνατότητα να εντοπίζουν την προέλευση της θερμότητας και να λειτουργούν αποτελεσματικά σε συνθήκες χαμηλού φωτισμού. Παρόλα αυτά, μεγάλος αριθμός ΜΕΑ αποτυπώνει χαμηλό θερμικό ίχνος λόγω των σύγχρονων κινητήρων που φέρουν. Γενικά, οι ηλεκτρο-οπτικοί αισθητήρες και οι αισθητήρες υπέρυθρων έχουν χαμηλό κόστος και η απόδοσή τους προϋποθέτει την ανάπτυξή τους σε συστοιχίες και την εγκατάσταση κατάλληλου λογισμικού για να λειτουργήσουν αυτόνομα. [27]



Εικόνα 20: EO/IR συσκευή εντοπισμού ΜΕΑ (α) και η εικόνα από τα οπτικά της συσκευής (β)

2.2.4 Ενεργά οπτικά συστήματα

Μία ακόμη τεχνική εντοπισμού αποτελούν τα ενεργά οπτικά συστήματα (active optical systems) που χρησιμοποιούν έναν ενεργό οπτικό πομπό, ο οποίος είναι συνήθως ένα laser. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι συσκευές ανίχνευσης και εντοπισμού φωτός (LIDAR - Light Detection and Ranging) και διαχωρισμού στόχων (Range Gate Imaging). Σε σύγκριση με τα EO/IR συστήματα, έχουν υψηλότερο κόστος και μικρότερη ταχύτητα σάρωσης του πεδίου, αλλά παρέχουν ακριβείς τιμές εμβέλειας και βέλτιστη δυνατότητα ανίχνευσης. [27]

2.2.5 Ακουστικοί αισθητήρες ανίχνευσης

Οι ακουστικοί αισθητήρες ανίχνευσης (acoustic sensors) βασίζονται σε ένα δίκτυο μικροφώνων και στο κατάλληλο λογισμικό που διαχειρίζεται μια βιβλιοθήκη γνωστών υπογραφών (αποτυπωμάτων) ήχου UAVs, βάσει των οποίων γίνεται η αναζήτηση. Αυτά τα συστήματα είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένα και έχουν φθινό κόστος σε σύγκριση με άλλες επιλογές. Μειονεκτήματα αποτελούν ο περιορισμός της εμβέλειας ανίχνευσης (περίπου 500 μέτρα), ο οποίος εξαρτάται από τον άνεμο, καθώς και η δυσλειτουργία σε λάθος θορύβους που παρατηρούνται, κυρίως εντός αστικών κέντρων. Επίσης, η άριστη λειτουργία των συστημάτων προϋποθέτει την εγκατάσταση ενημερωμένης και ευρείας βιβλιοθήκης υπογραφών.

Οι ακουστικοί αισθητήρες χρησιμοποιούνται για να καλύψουν τις τυφλές περιοχές των ραντάρ ή των ραδιοσυχνοτήτων λόγω της ικανότητας τους να ανιχνεύουν drones, ακόμη και όταν δεν υπάρχει άμεση οπτική επαφή με αυτά.

Όταν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με άλλους αισθητήρες ανίχνευσης του συστήματος, η ακουστική ανίχνευση μπορεί επίσης να βοηθήσει στη μείωση του συνολικού αριθμού ψευδών συναγεργμών που παράγονται από το σύστημα. Ο ακουστικός αισθητήρας είναι πλεονεκτικός στο ότι δεν εκπέμπει σήματα επειδή είναι ένας παθητικός τύπος αισθητήρα. Τα ηχητικά μοτίβα των drones διακρίνονται εύκολα από αυτά άλλων ιπτάμενων αντικειμένων, καθώς οι ηχητικές τους υπογραφές είναι απολύτως μοναδικές.

Σε αποστάσεις έως και 500 μέτρα, οι συστοιχίες μικροφώνων έχουν τη δυνατότητα να προσδιορίζουν το αζιμούθιο και τη γωνία ανύψωσης των εισερχόμενων πηγών ήχου. Το πιο σημαντικό μειονέκτημα στη χρήση αυτής της μεθόδου είναι η παρουσία θορύβου περιβάλλοντος, που καθιστά τη διαδικασία αναγνώρισης πιο δύσκολη. [27], [28]

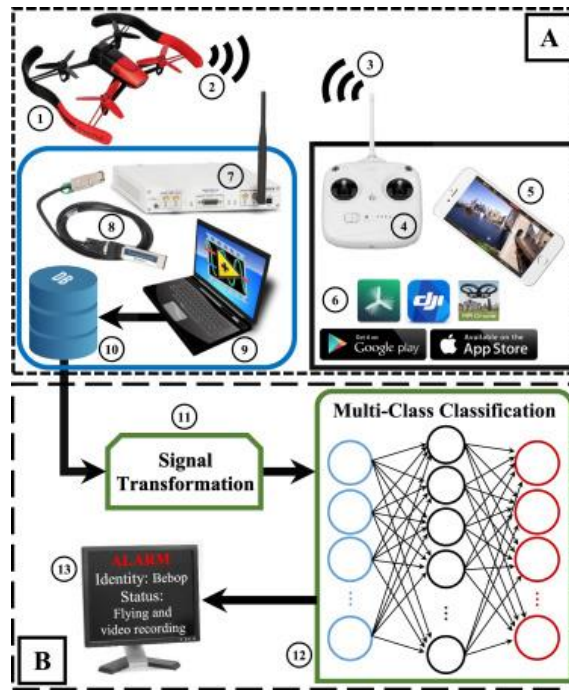
2.2.6 Νευρωνικά δίκτυα

Η σε μεγάλο βαθμό άνοδος των αλγορίθμων που χρησιμοποιούν δεδομένα (data), οδήγησε στην επίτευξη μιας νέας μεθόδου εντοπισμού και αναγνώρισης ΜΕΑ, αυτή της χρήση των νευρωνικών δικτύων. Η μέθοδος αυτή βρίσκεται σε δοκιμαστικό στάδιο, αποτελεί την εξέλιξη των προαναφερθέντων τεχνικών και βασίζεται σε μια αναπτυγμένη βάση δεδομένων ραδιοσυχνοτήτων (RF). [31]

Για την υλοποίησή της γίνεται χρήση των «βαθιών» και «συνελικτικών» νευρωνικών δικτύων». Το «βαθύ» νευρωνικό δίκτυο (DNN - Deep Neural Networks) ορίζεται ένας τύπος μηχανικής μάθησης (machine learning) που προσομοιάζει με τον τρόπο εκμάθησης του ανθρώπινου εγκεφάλου. Εκπαιδεύεται σε κατηγοριοποιημένα δεδομένα με σκοπό να εφαρμόσει αυτές τις κατηγοριοποιήσεις (classifications) σε άλλα data άγνωστα προς αυτό. Χρησιμοποιούνται ευρέως πλέον σε περιπτώσεις όπως αναγνώριση φωνής, ανίχνευση και προσδιορισμός αντικειμένων, εντοπισμό DDoS επιθέσεων και τον απομακρυσμένο έλεγχο δεξαμενών. [32] Το «συνελικτικό» (CNN ή ConvNet - Convolutional Neural Network) αντίστοιχα κατηγοριοποιεί εικόνες. Εφαρμόζει classification που ειδικεύεται στην ανάλυση εικόνων εντοπίζοντας και αναλύοντας ειδικά μοτίβα κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσής του. [33]

Το DNN χρησιμοποιήθηκε για την κατηγοριοποίηση της φασματικής συνάρτησης συσχέτισης (SCF - Spectral Correlation Function) σε drones, ενώ με το CNN για την ανίχνευση ΜΕΑ από οπτικό υλικό και από φασματογράμματα (spectrograms) ήχου.

Ο τρόπος λειτουργίας της τεχνικής εντοπισμού και αναγνώρισης UAV με χρήση νευρωνικών δικτύων και βάσης δεδομένων RF αναλύεται σύμφωνα με την Εικόνα-21. Το σύστημα χωρίζεται σε δύο υποσυστήματα Α (ανάπτυξη βάσης δεδομένων RF) και Β (ανίχνευση και αναγνώριση drone).



Εικόνα 21: Διαδικασία εντοπισμού και ανίχνευσης MEA με νευρωνικά δίκτυα [31]

Το υποσύστημα A αποτελείται από τα εξής μέρη:

- UAV στόχος (1): οι λειτουργίες του ελέγχονται με RF σήματα με τη μονάδα ελέγχου. (2), (3)
- Μονάδα ελέγχου: ενδέχεται να είναι ένα τηλεχειριστήριο (4) ή μία smart συσκευή (5) με τις αντίστοιχες εφαρμογές χρήσης (6)
- Μονάδα ανίχνευσης RF: περιλαμβάνει έναν δέκτη ραδιοσυχνοτήτων (7), ο οποίος θα παρεμποδίζει την ζεύξη μεταξύ στόχου και μονάδας ελέγχου. Ο δέκτης συνδέεται μέσω καλωδίου (8) με ένα υπολογιστικό σύστημα (9) στο οποίο υπάρχει η βάση δεδομένων (10) που ανακτώνται, επεξεργάζονται και αποθηκεύονται οι ζώνες ραδιοσυχνοτήτων που εντοπίζει.

Το υποσύστημα B περιλαμβάνει τα εξής στοιχεία:

- Μετασχηματισμός σήματος (11): μετατρέπει τα σήματα RF της database σε μορφή κατάλληλη για να εντοπιστούν οι επιθυμητές πληροφορίες του στόχου.
- Κατηγοριοποίηση πολλαπλών κλάσεων: ταξινομεί τα μετασχηματισμένα σήματα με τη χρήση των DNN (12) και εμφανίζει το αποτέλεσμα (13). [31]

2.2.7 Συνδυασμός τεχνολογιών

Με τον εντοπισμό ενός MEA ακολουθεί η ταυτοποίηση του. Αυτή περιλαμβάνει αφενός τη διαφοροποίησή του από άλλους δείκτες που προσφέρονται από τα συστήματα ανίχνευσης (όπως πτηνά, αεροπλάνα, κλπ.) και αφετέρου, την αυτοματοποίηση

της διαδικασίας αναγνώρισης (τύπος, χαρακτηριστικά πτήσης, κλπ.). Σημαντικά και απαραίτητα στοιχεία για τον ανιχνευτή είναι ο τύπος και τα χαρακτηριστικά του UAV, προκειμένου να επιλεγεί ο ορθός τρόπος αντίδρασης επί της απειλής. Η αποτελεσματική αναγνώριση και παρακολούθηση του στόχου επιτυγχάνεται με συνδυασμό των παραπάνω μεθόδων ανίχνευσης. Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας έχει μεγαλύτερη πιθανότητα ανίχνευσης του στόχου σε ένα δεδομένο περιβάλλον, ενώ ένας άλλος αισθητήρας είναι καταλληλότερος για την αναγνώριση και την ταυτοποίηση του. Συνήθως, το σύνολο των παραπάνω συστημάτων παρέχει εντοπισμό ενός στόχου και ο πλήρης προσδιορισμός του διαφέρει σημαντικά ανάλογα με το περιβάλλον. [27]

2.3 Σύγχρονα ΜΕΑ και η ανίχνευσή τους

Το τελευταίο χρονικό διάστημα γίνεται ευρεία χρήση στρατιωτικών ΜΕΑ από χώρες που εμπλέκονται σε στρατιωτικές συρράξεις και αποτελούν πλέον βασικά «εργαλεία» της δύναμής τους. Σημαντικό επίτευγμα ήταν η κατασκευή από την τούρκικη εταιρεία Baykar του UAV Bayraktar TB2 (Εικόνα-22). Η εμπλοκή του στα πεδία μάχης της Συρίας, του βόρειου Ιράκ, της Λιβύης, του Ναγκόρνο-Καραμπάχ και της ρωσο-ουκρανικής κρίσης οδήγησε σε σημαντική αύξηση των πωλήσεών του στις διεθνείς αγορές. Το παραπάνω οπλικό σύστημα συναντάται προς το παρόν στις Ένοπλες Δυνάμεις δώδεκα κρατών. [34]



Εικόνα 22: ΜΕΑ Bayraktar TB2 τούρκικης κατασκευής [34]

Αξιοσημείωτο και επικίνδυνο οπλικό σύστημα αποτελούν και τα drones καμικάζι (ή killer drones). Αυτά τα drones είναι δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να εντοπιστούν χρησιμοποιώντας τα συμβατικά ραντάρ αναζήτησης που χρησιμοποιούνται αυτήν τη στιγμή, λόγω του μικρού μεγέθους και κατά συνέπεια της μικρής ανακλαστικής επιφάνειας και του χαμηλού ύψους πτήσης. Ένα καμικάζι drone φέρει οπτική κάμερα, σύστημα GPS και δύναται να μεταφέρει εκρηκτικό φορτίο.

Επομένως, είναι λογικό να απαιτείται μια ολοκληρωμένη και ενδεδειγμένη ανίχνευση και αντίδραση στον κίνδυνο που θέτουν τα σύγχρονα ΜΕΑ, η οποία περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

- Επεκτασιμότητα και μεταβαλλόμενες διαμορφώσεις συστήματος

Επειδή υπάρχει τόσο μεγάλη πληθώρα καταστάσεων που θα μπορούσαν να προκύψουν, είναι απαραίτητο τα συστήματα να περιέχουν μεγάλη ποικιλία αισθητήρων και προστατευτικών μέτρων. Επιπλέον, κάθε ένα από αυτά θα πρέπει να είναι σε θέση να κλιμακώνεται ανεξάρτητα, προκειμένου να ικανοποιεί συγκεκριμένες απαιτήσεις των χειριστών.

- Αυτόματη και αξιόπιστη ανίχνευση και κατηγοριοποίηση πληροφοριών αισθητήρων

Τα συστήματα ανίχνευσης πρέπει να είναι σε θέση να εντοπίζουν και να ταξινομούν αυτομάτως τα drones, προκειμένου να εκμηδενιστεί η ανθρώπινη παρέμβαση στη διαδικασία της ταυτοποίησης και ο αριθμός των ψευδών συναγερμών που δημιουργούνται. Έτσι, τα συστήματα επιτυγχάνουν να διαφοροποιούν αξιόπιστα τα drones από τα άλλα ιπτάμενα αντικείμενα.

- Σύστημα διοίκησης και ελέγχου

Είναι απαραίτητο τα συστήματα να είναι εξοπλισμένα με σύστημα διοίκησης και ελέγχου (C2 - Command and Control) προκειμένου να υπάρχει πλήρης κατανόηση της κατάστασης. Αυτός ο τύπος συστήματος παρέχει μια πλήρη επιχειρησιακή εικόνα, συνδυάζει όλα τα δεδομένα από αισθητήρες, οπτικοποιεί όλα τα στοιχεία σε έναν ψηφιακό χάρτη και παρέχει ένα μέσο διανομής αυτών των πληροφοριών σε όλες τις εμπλεκόμενες δυνάμεις με ασφαλή τρόπο και σε πραγματικό χρόνο.

- Αποτελεσματικά αντίμετρα

Προκειμένου τα συστήματα να είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν αποτελεσματικά τις απειλές, πρέπει να παρέχουν ένα ευρύ φάσμα αντιμέτρων, που όλα επικεντρώνονται στην εξουδετέρωση του κινδύνου. Τα αντίμετρα των ΜΕΑ προϋποθέτουν τα εξής κριτήρια: Εντοπισμός-Αποκάλυψη και Καταστολή. [28]

3. Παρεμβολή Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών

Σε περιπτώσεις όπου οι απειλές δεν χρησιμοποιούν ιδιαίτερα εξελιγμένες μεθόδους, οι παραδοσιακές στρατηγικές παθητικής άμυνας όπως φράγματα, δίχτυα, φυσική περίφραξη και παραλλαγμένες (camouflage) εγκαταστάσεις μπορούν να αποδειχθούν πολύ αποτελεσματικές και μάλιστα με χαμηλό οικονομικό κόστος σε σχέση με τις ενεργητικές στρατηγικές αντιμετώπισης. Η ενεργητική άμυνα κατά της σκόπιμης χρήσης των ΜΕΑ έχει τη δυνατότητα να επιτευχθεί με μια ποικιλία αντιμέτρων, τα οποία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: στα «αντίμετρα απενεργοποίησης» (ή μη-καταστροφικά) και στα «καταστροφικά αντίμετρα». Στις αντίστοιχες βιβλιογραφίες του θέματος χρησιμοποιούνται επίσης και οι όροι «Soft Kill», «Hard Kill», «Kinetic Kill» και «Laser Kill». [28]

3.1 Αντίμετρα απενεργοποίησης

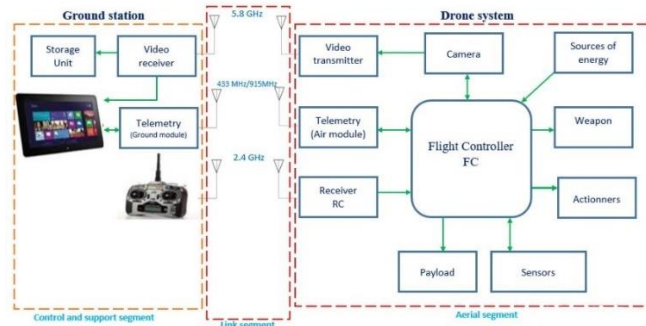
Τα αντίμετρα απενεργοποίησης (ή μη-καταστροφικά αντίμετρα) αποσκοπούν στο εχθρικό UAV με:

- την **αποτροπή** του να προσεγγίσει τον στόχο μπλοκάροντας ή/και παραπλανώντας το δορυφορικό του σύστημα εντοπισμού θέσης.
- την **απαγόρευση** της εκτέλεσης της αποστολής του, όπως δυσχέρεια στη συλλογή ή/και μετάδοση εικόνας.
- τη **διακοπή** ελέγχου του από τον ιδιοκτήτη του.
- την **ανάκτηση** του ελέγχου του υπέρ του αμυνόμενου. [28]

3.1.1 Παρεμβολέας Ραδιοσυχνοτήτων (RF Jammer)

Ο RF Jammer είναι μια συσκευή που μπορεί να είναι σταθερή, κινητή ή φορητή και στέλνει μια σημαντική ποσότητα ραδιοσυχνοτήτων (RF) σε ένα μη επανδρωμένο όχημα. Με αυτόν τον τρόπο, κρύβει τα σήματα που αποστέλλονται από τον επίγειο σταθμό. Αυτή η τεχνολογία ισχύει μόνο για μικρού μεγέθους εμπορικού τύπου ΜΕΑ (mini UAV). Δεν δύναται να εφαρμοστεί σε μεγαλύτερα στρατιωτικά UAV, τα οποία συνήθως χρησιμοποιούν δορυφορικά συστήματα εντοπισμού θέσης σε συνδυασμό με συστήματα αδρανειακής πλοήγησης. [27]

Ο επίγειος έλεγχος του drone, καθώς και η μετάδοση εικόνας-βίντεο και οι ζεύξεις τηλεμετρίας του πραγματοποιούνται από διαφορετικά κανάλια ραδιοσυχνοτήτων, όπως Wi-Fi, LTE (Long Term Evolution) και ISM (Industrial Scientific and Medical) ζώνες, Bluetooth και δίκτυο 4G (Εικόνα-23). Η συντριπτική πλειονότητα των τηλεχειριστηρίων περιλαμβάνει διαμόρφωση διασκορπισμένου φάσματος μεταπήδησης συχνότητας (FHSS - Frequency Hopping Spread Spectrum). [35]



Εικόνα 23: Ραδιοσυχνότητες (RF) λειτουργίας drone [35]

Γενικά, τα UAV επικοινωνούν με τέσσερις τύποι επικοινωνιών (Εικόνα-24):

- *Drone με drone*: Η παραπάνω επικοινωνία είναι υπό πειραματικό στάδιο και εφαρμόζει την επιστήμη της μηχανικής μάθησης (machine learning)
- *Drone με επίγειο σταθμό*: Αποτελεί τον πιο συχνό τρόπο ελέγχου ενός MEA και βασίζεται σε ασύρματες επικοινωνίες, όπως το Bluetooth, το Wi-Fi 802.11, συμπεριλαμβανομένων των 2,4 GHz και 5 GHz.
- *Drone με δίκτυο*: Επιτρέπει την επιλογή του δικτύου με βάση το απαιτούμενο επίπεδο ασφάλειας.
- *Drone με δορυφόρο*: Η καθοδήγηση γίνεται με την αποστολή συντεταγμένων σε πραγματικό χρόνο με χρήση του GPS. [36]



Εικόνα 24: Οι τύποι επικοινωνιών των MEA [36]

Ένας παρεμβολέας τηλεχειριστηρίου έχει την ικανότητα να αποτρέπει τη λειτουργία ενός MEA. Με την αποτροπή, ο στόχος μεταβαίνει από την «κανονική» λειτουργία πτήσης στην «ασφαλή» και αυτόματα είτε προσγειώνεται στο έδαφος, είτε επιστρέφει στον χειριστή του. Έτσι δημιουργείται μια ζώνη απαγόρευσης πτήσεων drones. Ο τηλεχειρισμός τους τις περισσότερες φορές πραγματοποιείται με τεχνικές αναπηδούσης συχνότητας και όχι σταθερής. Οι σύγχρονοι Jammer ακολουθούν τις παραπάνω συχνότητες και μόλις υπάρξει ταυτοποίηση, πραγματοποιείται η ζεύξη και

εφαρμόζουν τα αντίμετρα. Επίσης συμβάλουν στη μείωση της πιθανότητας πρόκλησης παρεμβολών σε άλλα drone ή εκπομπές στην ίδια ζώνη συχνοτήτων (Εικόνα-25).

Τα drones που ελέγχονται από Wi-Fi απαιτούν διαφορετική στρατηγική. Αφού παραληφθούν από τον αισθητήρα ραδιοσυχνοτήτων, αποκαλύπτονται οι παράμετροι του δικτύου τους. Εξαιτίας αυτού, τα συστήματα μπορούν να στείλουν μια εντολή που διακόπτει τη σύνδεσή τους με τη μονάδα τηλεχειρισμού. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μπαίνουν στην ασφαλή λειτουργία, η οποία εμποδίζει το drone να συνεχίσει την πορεία του.

Η αποτελεσματικότητα των παρεμβολών εξαρτάται από μια μεγάλη ποικιλία παραγόντων, συμπεριλαμβανομένης της απόστασης μεταξύ των κεραιών και του ύψους τους, του προσανατολισμού των κεραιών, των συνθηκών οπτικής επαφής, της παρουσίας άλλων ισχυρών σημάτων στην περιοχή και των περιβαλλοντικών επιπτώσεων, όπως η ανάκλαση και η διάθλαση. [27], [28]



Εικόνα 25: Jammer ραδιοσυχνοτήτων [37]

Μέτρα ηλεκτρονικών παρεμβολών εφάρμοσαν την 2 Νοεμβρίου 2022 οι σέρβικες Ένοπλες Δυνάμεις κατά ΜΕΑ, το οποίο εισήλθε σε απαγορευμένη ζώνη πτήσεων πλησίον στρατιωτικών εγκαταστάσεων στην πόλη Raska (σύνορα Σερβίας-Κοσόβου) και εντοπίστηκε να καταγράφει την περιοχή. [38]

3.1.2 Παρεμβολή/Παραπλάνηση Συστήματος Δορυφορικής Πλοήγησης (GNSS Jamming / Spoofing)

Η τεχνική της παρεμβολής στο Παγκόσμιο Σύστημα Δορυφορικής Πλοήγησης (GNSS - Global Navigation Satellite System) εφαρμόζεται από συσκευές εναντίον UAVs. Συγκεκριμένα, εκπέμπουν ένα διαφορετικό και ισχυρότερο σήμα στο στόχο, το οποίο παρεμβαίνει και αντικαθιστά τη ζεύξη μεταξύ drone και δορυφόρων, η οποία υπάρχει για τον προσδιορισμό της θέσης του. Έτσι, ο χειριστής του ΜΕΑ ελέγχει με λανθασμένο τρόπο το αεροσκάφος και τροποποιείται χωρίς τη συγκατάθεση του η πορεία πτήσης ή το σημείο προσγείωσης. Με την μέθοδο αυτή παρατηρείται δυναμική

μεταβολή των συντεταγμένων του δορυφορικού εντοπισμού θέσης του drone, απώλεια ελέγχου και αδυναμία εκτέλεσης της αποστολής του. Το κόστος αυτών των συσκευών είναι χαμηλό και δεν επιφέρει καταστροφικές συνέπειες στο υλικό, παρόλα αυτά η εμβέλεια δράσης είναι μικρή και ενδέχεται να επηρεάσει και τις υπόλοιπες συσκευές που βρίσκονται εντός του πεδίου του και κάνουν χρήση του GNSS.

Η λειτουργία των MEA στηρίζεται στη τεχνολογία της συνεχούς και απεριόριστης πρόσβασής του στα δορυφορικά σήματα GPS (Global Positioning System), προκειμένου να διατηρήσουν την ικανότητά τους να πετούν συνεχώς. Τα σήματα παρεμβολής εκπέμπονται προς τον στόχο μέσω κατευθυντικών κεραιών στις συχνότητες GPS, GLONASS ή Galileo. Πλήρη εξάρτηση στη χρήση του συστήματος GPS παρουσιάζουν τα MEA που λειτουργούν αυτόνομα. Αξίζει να τονιστεί ότι σε περίπτωση απώλειας του σήματος και της θέσης του UAV υπάρχει μεγάλο ενδεχόμενο κινδύνου ή και καταστροφής του υλικού. Ο στόχος οδηγείται εκτός πορείας είτε με σκοπό τη συντριβή του, είτε την μεταφορά του σε «ασφαλή ζώνη» και εν συνεχεία στην κλοπή του.

Τα δορυφορικά σήματα GPS είναι επιρρεπή σε παρεμβολές τόσο από ακούσιο θόρυβο, όσο και από σκόπιμες παρεμβολές πομπών λόγω της σχετικά χαμηλής ισχύος σήματος των -130 dBm (decibel-milliwatts) που εκπέμπουν. Επιπλέον, όσα από αυτά είναι προσβάσιμα σε πολίτες, δεν έχουν κανένα είδος περιορισμού κρυπτογράφησης ή ελέγχου ταυτότητας και ως άμεση συνέπεια αυτού, είναι απλό να υποκλαπούν και τροποποιηθούν. Οι εγγενείς ευπάθειες των σημάτων GPS μπορούν να χρησιμοποιηθούν από κακόβουλους παράγοντες που έχουν γνώση και εμπειρία στο αντικείμενο αυτό και να πραγματοποιήσουν εξαιρετικά εξελιγμένες ενέργειες παραπλάνησης εναντίον των UAV.

Οι συσκευές που παρεμβάλουν τα δορυφορικά σήματα είναι πλέον διαθέσιμες στο εμπόριο και μάλιστα με χαμηλό κόστος. Το παραπάνω δημιουργεί την ανάγκη εξασφάλισης της ασφάλειας πτήσης των MEA και την εύρεση μεθόδων αντιμετώπισης τέτοιων απειλών από τις κατασκευαστικές εταιρείες.

Η χρήση τέτοιων συσκευών οδήγησε τους επιστήμονες στην δημιουργία μηχανισμού (Εικόνα-26), που εξασφαλίζει στο UAV τη συνεχή αυτόνομη πλοήγηση και τη λειτουργία του σε κατάσταση εμπλοκής. Με αυτό τον τρόπο ο στόχος δεν είναι ευάλωτος και προστατεύεται από ασύρματες επιθέσεις. [39]



Εικόνα 26: Συσκευή διατήρησης σήματος GNSS [39]

3.1.3 Δίκτυ

Ένα κοινό και συνηθισμένο δίκτυ μπορεί να αποτελέσει μεγάλο εμπόδιο στην πτήση/λειτουργία ενός drone. Υπάρχουν συσκευές εκτόξευσης δικτυού οι οποίες αποσκοπούν στην παρεμπόδιση της λειτουργίας των ελίκων του ΜΕΑ και εν συνεχεία στην πτώση του. Υπάρχουν διάφορα είδη τέτοιων συσκευών ανάλογα με τις ανάγκες και την περίπτωση που αντιμετωπίζει ο αμυνόμενος. Η εκτόξευση του δικτυού δύναται να πραγματοποιηθεί είτε επίγεια με χρήση ειδικής συσκευής (μεγέθους φορητού αντιαρματικού οπλικού συστήματος) (Εικόνα-27α), είτε εναέρια με χρήση drone (Εικόνα-27β). [27]



Εικόνα 27: (α) Συσκευή εκτόξευσης δικτυού, (β) Εκτόξευση δικτυού από drone [27]

3.2 Καταστροφικά αντίμετρα

3.2.1 Ελαφρά όπλα

Τα ελαφρά όπλα, όπως για παράδειγμα το τυφέκιο και η караμπίνα αποτελούν ένα αποτελεσματικό μέτρο αντιμετώπισης της επίθεσης από ένα ΜΕΑ, με βασική προϋπόθεση την ακριβή στόχευση του σκοπευτή. Η χρήση τέτοιων όπλων έχει άριστη εφαρμογή στις περιπτώσεις στρατιωτικών ΣμηΕΑ που συλλέγουν πληροφορίες εδάφους, έχουν καθορισμένο δρομολόγιο και κινούνται σε χαμηλό ύψος. [27]

Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι η κατάρριψη ενός ρωσικού drone Shade-136 από Ουκρανό αστυνομικό την 18 Οκτωβρίου 2022 με ατομικό τυφέκιο AK-47 στα πλαίσια της ρωσο-ουκρανικής κρίσης. Η δυσκολία της εξουδετέρωσης του στόχου αποδεικνύεται από τη δήλωση του αμυνόμενου ότι κατανάλωσε περίπου 30 φυσίγγια για να το καταστρέψει. Επίσης, παρατηρούμε ότι τα ελαφρά όπλα είναι αναξιόπιστα από την έκκληση των ουκρανικών αρχών προς τους ένοπλους Ουκρανούς πολίτες να μην εμπλέκονται σε επιχειρήσεις με drone, τονίζοντας ότι αυτές αποτελούν αποστολή του Στρατού και συγκεκριμένα της αεράμυνας. [40]

3.2.2 Πύραυλοι - Βλήματα

Τα παραπάνω πυρομαχικά έχουν τη δυνατότητα να προσβάλουν ΣμηΕΑ και να καταρρίψουν. Διακρίνονται σε βλήματα εδάφους-αέρος και αέρος-αέρος και το κόστος τους είναι υπερβολικά υψηλό και ως εκ τούτου η χρήση τους είναι περιορισμένη. Στη σύγχρονη εποχή, οι Ένοπλες Δυνάμεις κάθε χώρας αξιοποιούν τα οπλικά τους συστήματα για την καταστροφή UAV. Ορισμένα γεγονότα, όπως παρακάτω:

Την 20 Ιουνίου 2019, η αεράμυνα του Ιράν κατέρριψε το MEA RQ-4A Global Hawk BAMS-D των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής πάνω από τα στενά του Hormuz με πύραυλο εδάφους-αέρος. [41]

Την 14 Δεκεμβρίου 2022, ιρανικής κατασκευής καμικάζι drones Shahed-136/131 εκτοξεύτηκαν από ρωσικό έδαφος για προσβολή της πόλης του Κιέβου. Τα δεκατρία UAV εξουδετερώθηκαν από την ουκρανική αεράμυνα χωρίς να προκαλέσουν ιδιαίτερες ζημιές. Αξιοσημείωτο στο παραπάνω γεγονός και στοιχείο ψυχολογικών επιχειρήσεων είναι ότι στα συντρίμια ενός drone -στο πτερύγιό του- υπήρχε χειρόγραφο μήνυμα «3А Рязань (Για τη Ριαζάν)», δηλαδή τη ρωσική αεροπορική βάση που επλήγη πριν 20 ημέρες από ουκρανικά ΣμηΕΑ (Εικόνα-28). [42]



Εικόνα 28: Συντρίμια ιρανικής κατασκευής καμικάζι drone Shahed-136/131 [42]

Την 26 Δεκεμβρίου 2022, αντίστοιχη επίθεση επιχείρησαν οι ουκρανικές δυνάμεις με MEA, το οποίο καταστράφηκε από τη ρωσική αεράμυνα πλησίον της στρατιωτικής αεροπορικής βάσης Engels στην περιφέρεια Saraton της Ρωσίας. Η επιχείρηση είχε και παράπλευρες απώλειες (τρεις Ρώσοι στρατιώτες νεκροί από την έκρηξη), οι οποίες παρατηρούνται συνήθως μετά από χρήση τέτοιων αντίμετρων. [43]

Η αμυντική βιομηχανία παγκοσμίως επικεντρώνεται πέρα από την κατασκευή σύγχρονων ΣμηΕΑ και στην ανάπτυξη πυρομαχικών που θα επιφέρουν προστασία από τέτοιες απειλές. Το υψηλό κόστος προμήθειας αποτελεί αρνητικό στοιχείο αυτών των αντίμετρων, όπως και η αδυναμία εξάλειψης των παράπλευρων απωλειών από μία τέτοια επίθεση. Για παράδειγμα, ένας σύγχρονος πύραυλος μεσαίου βεληνεκούς

αέρος-αέρος είναι ο Raytheon Peregrine (Εικόνα-29). Έχει μικρό μέγεθος, είναι ταχύς και παρέχει μεγάλη εμβέλεια και αποτελεσματικότητα. [44]



Εικόνα 29: Προηγμένοι πύραυλοι Raytheon Peregrine επί μαχητικού αεροσκάφους [44]

3.2.3 Υψηλής Ισχύος Μικροκύματα (HPM-High Power Microwave)

Οι συσκευές μικροκυμάτων υψηλής ισχύος (HPM) είναι ικανές να παράγουν ηλεκτρομαγνητικό σήμα (EMP - Electromagnetic Pulse) με πολύ υψηλό επίπεδο ισχύος, το οποίο δύναται να προκαλέσει φθορά στη λειτουργία ηλεκτρονικών συσκευών. Το EMP παρεμβάλλει στις ραδιοζεύξεις και επιφέρει βλάβες στα ηλεκτρονικά κυκλώματα των UAVs (άμεση επίδραση στους ημι-αγωγούς των ηλεκτρονικών) από την ανωμαλία στη διαφορά της τάσης και του δυναμικού. Απαραίτητο είναι για μια συσκευή μικροκυμάτων υψηλής ισχύος να περιλαμβάνει μια κεραία, η οποία θα κατευθύνει το ηλεκτρομαγνητικό σήμα σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση-πορεία, ελαχιστοποιώντας έτσι τον κίνδυνο βλάβης στα ηλεκτρονικά που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση.

Η παραπάνω μέθοδος είναι αποτελεσματικά εφαρμόσιμη σε ΣμηΕΑ αυτόνομα και ραδιοελεγχόμενα. Επιπλέον, έχει την ικανότητα εξάλειψης της απειλής από σμήνος mini drone ταυτόχρονα. Παρόλα αυτά, το κόστος των συσκευών αυτών είναι αρκετά υψηλό. Επίσης, βασικό μειονέκτημα της τεχνολογίας αυτής είναι ότι σε περίπτωση εφαρμογής επί του ΜΕΑ, θα υπάρξει μεγάλη πιθανότητα καταστροφής του με ανεξέλεγκτη και βίαιη πτώση, λόγω του ότι εκείνη τη χρονική στιγμή θα βρίσκεται σε σημαντικό υψόμετρο, καθώς και ενδεχόμενη απώλεια γειτονικών συσκευών. [28]

3.2.4 Laser Υψηλής Ενέργειας (High-Energy Laser)

Μία τροποποίηση-εξέλιξη της τεχνολογίας των ΗΡΗ είναι η χρήση laser υψηλής ενέργειας και της δημιουργίας *οπτικών συσκευών υψηλής ισχύος* (High-Energy Laser). Βρίσκεται σε πειραματικό στάδιο και η ανάπτυξή της είναι ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Με το laser προκαλούνται φθορές στο UAV και στα ηλεκτρονικά κυκλώματά του

και άμεσα εξουδετερώνεται. Υπάρχει η δυνατότητα χρήσης από το έδαφος αλλά και από τον αέρα επί αεροσκάφους (airborne). Μπορεί επίσης να καταρρίψει ταυτόχρονα πολλά drone σε απόσταση 1-2 km. Το κόστος και σε αυτή την περίπτωση είναι υψηλό, όπως και η πρόκληση παράπλευρων ζημιών. Το laser είναι συγκεντρωμένες δέσμες φωτός, οι οποίες μεταδίδουν μεγάλες ποσότητες ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στον στόχο τους και προκαλούν ταχεία θέρμανση στην επιφάνειά του και κατά συνέπεια την έκρηξη-ανάφλεξή του.

Ένα τέτοιο σύστημα είναι το αμερικάνικης κατασκευής ATHENA (Advanced Test High Energy Asset) (Εικόνα-30). Αφορά οπλικό σύστημα laser το οποίο χρησιμοποιεί η Πολεμική Αεροπορία των ΗΠΑ για να αντιμετωπίσει τα εχθρικά UAV. Χρησιμοποιώντας τον τύπο laser ALADIN (Accelerated LAsEr Demonstration INitiative) 30kW επιτυγχάνει την υλική καταστροφή μέρους του MEA και εν συνεχεία την κατάρτιση του. [36]



Εικόνα 30: ATHENA, συσκευή κατάρτισης MEA με χρήση laser [36]

3.3 Ηλεκτρονικός πόλεμος

Η χρήση ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ως μέθοδος για την παρεμβολή και εξουδετέρωση ΣμηΕΑ καθιστά δυνατή την εμπλοκή ενός κράτους σε ένα διαφορετικό είδος πολέμου, τον ηλεκτρονικό. Σύμφωνα με τον ορισμό, ηλεκτρονικός πόλεμος (ΗΠ) (EW - Electronic Warfare) ορίζεται οποιαδήποτε πολεμική ενέργεια, που σχετίζεται με τη χρήση ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ή κατευθυνόμενη ενέργεια για τον έλεγχο του φάσματος με την επίθεση σε κάποιον εχθρό ή την παρεμπόδιση των εχθρικών επιθέσεων μέσω φάσματος. Αντικειμενικός σκοπός είναι η προστασία του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από τον αντίπαλο. Δύναται να διεξαχθεί από τον αέρα, τη θάλασσα, το έδαφος και το διάστημα μέσω επανδρωμένων ή μη συστημάτων και στοχεύει προσωπικό, επικοινωνίες και ηλεκτρονικά συστήματα. [45]

Η ραγδαία ανάπτυξη και εξέλιξη των UCAV αποτελεί σοβαρή και σημαντική απειλή για μια χώρα. Τα UCAV έχουν μεγάλη υπεροχή στο θέατρο των επιχειρήσεων,

την οποία ο αμυνόμενος πρέπει να εξασφαλίσει ότι θα την αποτρέψει και θα την εξαλείψει. Η τεχνολογία των UCAV μελλοντικά εκτιμάται ότι θα παρέχει την ίδια απόδοση και αποτελεσματικότητα με ένα επανδρωμένο μαχητικό αεροσκάφος. Η απουσία πιλότου στο αεροσκάφος επιτρέπει την ανάθεση αποστολών υψηλότερου κινδύνου και ταυτόχρονα η μεγαλύτερη εμβέλεια και αυτονομία επιτρέπουν την εμμονή επί του στόχου, καθώς και την ασφάλεια του χειριστή. Επίσης, το πλεονέκτημα τους αυξάνεται και με την παραγωγή και την προσθήκη επί αυτών σύγχρονων και ευφυών πυρομαχικών (πυραύλων). [46]

Επομένως, αποδεικνύεται ότι στις σύγχρονες στρατιωτικές κρίσεις η χρήση οπλικών συστημάτων ηλεκτρομαγνητικού φάσματος αποτελεί μονόδρομο για την αντιμετώπιση των παραπάνω απειλών. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο πόλεμος του Nagorno - Karabakh μεταξύ των δυνάμεων της Αρμενίας και του Αζερμπαϊτζάν, στον οποίο τονίζεται η σημαντικότητα των ΜΕΑ στο σύγχρονο πεδίο της μάχης. Τα ΜΕΑ, τουρκικής και ισραηλινής κατασκευής, ήταν οι κύριοι πρωταγωνιστές στις επιθέσεις του Αζερμπαϊτζάν. Παρείχαν οπτικό υλικό (εικόνες και βίντεο υψηλής ευκρίνειας) από την κατάσταση του εχθρικού πεδίου, στοχοποίηση και πρόκληση καταστροφών.

Οι Ένοπλες Δυνάμεις της Αρμενίας με την ενίσχυση του ρωσικού στρατού κατάφερε και απέτρεψε σημαντικό μέρος της παραπάνω απειλής. Συγκεκριμένα, η 102^η Ρωσική Στρατιωτική Βάση, η οποία βρίσκεται στην πόλη Gyumri της Αρμενίας, παρείχε το σύγχρονο σύστημα ηλεκτρονικού πολέμου Krasukha-4 της εταιρείας KRET (Εικόνα-31).



Εικόνα 31: Ρωσικό σύστημα ηλεκτρονικού πολέμου Krasukha-4 [47]

Το σύστημα αυτό σχεδιάστηκε για την καταστροφή κατασκοπευτικών δορυφόρων χαμηλής τροχιάς και επίγειων ή αερομεταφερόμενων ραντάρ σε αποστάσεις από 150 έως 300 km και έχει δυνατότητες ευρυζωνικής παρεμβολής. Εκπέμπει ισχυρούς ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς (HPM) και δύναται να προκαλέσει φθορά σε εχθρικά συστήματα τηλεπικοινωνιών και ΗΠ. Όμως, η χρήση των HPM αποδείχτηκε ότι είναι

αποτελεσματική για μικρές σχετικά αποστάσεις (1-2 km το μέγιστο). Επίσης, δεν φέρει σύστημα εκπομπής laser υψηλής ισχύος, αλλά εκτιμάται από αναλυτές ότι θα περιλαμβάνεται στην επόμενη έκδοσή του. Η επιτυχία του Krasukha-4 ήταν, σύμφωνα με ρωσικά δημοσιεύματα, αυτή της 19 Οκτωβρίου 2020 με την κατάρριψη 9 τούρκικων ΣμηΕΑ, τύπου Bayraktar TB2 στον εναέριο χώρο της Αρμενίας (Εικόνα-32).



Εικόνα 32: Συντρίμια MEA Bayraktar TB2 στα εδάφη της Αρμενίας [47]

Η παραπάνω πληροφορία χαρακτηρίστηκε αναξιόπιστη από την αντίθετη πλευρά, κάνοντας λόγο ότι το τούρκικο MEA δεν μπορεί να καταρριφθεί εύκολα. Από την έναρξη της ρωσο-ουκρανικής κρίσης τον Φεβρουάριο του 2022, οι ουκρανικές Ένοπλες Δυνάμεις ενσωμάτωσαν τα Bayraktar TB2 στο πεδίο της μάχης και προκάλεσαν αρκετές ζημιές στα ρωσικά στρατιωτικά τμήματα. Το Bayraktar TB2, σύμφωνα με τον κατασκευαστή του έχει την ικανότητα πλήρως αυτόματης πλοήγησης και παρακολούθησης διαδρομής. Είναι ανεξάρτητο από GPS και η πορεία του στηρίζεται στην τεχνολογία συγχώνευσης δεδομένων πολλαπλών αισθητήρων, καθώς και στις εικόνες που λαμβάνει από την υψηλής ευκρίνειας κάμερα. Τέλος, χρησιμοποιεί κρυπτογραφημένα κανάλια επικοινωνίας σε τρεις διαφορετικές ζώνες. Γενικά, το παραπάνω ΣμηΕΑ δεν πρέπει να χαρακτηριστεί αμελητέα δύναμη και κάθε αμυνόμενος οφείλει να εντοπίσει αντίμετρα προστασίας από τέτοιες απειλές. [47], [48]

Η ραγδαία εξέλιξη των mini-UAV και η επικίνδυνη χρήση τους προκαλεί ανησυχίες και εντός της ελληνικής επικράτειας. Με αφορμή αυτό, το Ινστιτούτο Τεχνολογιών Πληροφορικής του Εθνικού Κέντρου Έρευνας και Τεχνολογικής Ανάπτυξης (ΕΚΕΤΑ/ΙΠΤΗΛ) σε συνεργασία με την εταιρεία κατασκευής MEA, SAS Technology επιχειρούν την ανάπτυξη ενός anti-drone για την ανίχνευση και παρεμβολή των UAV. Ο «Πανόπτης», (το ψευδώνυμο που δόθηκε από την επιστημονική ομάδα), χρησιμοποιεί μεθοδολογίες βαθιάς μάθησης (Deep Learning) και έχει ενσωματωμένους αισθητήρες που αποσκοπούν στην αποτελεσματική ανίχνευση, ταυτοποίηση, εντοπισμό και καταστροφή του εχθρικού στόχου (Εικόνα-33).

Η φάση της εύρεσης στόχου υλοποιείται με τα εξής:

- Μηχανισμό τεχνητής νοημοσύνης για τον εντοπισμό, αναγνώριση και στοχοποίηση επιθετικών ΜΕΑ, καθώς και για την επιλογή τρόπου ενεργείας (εμπλοκή ή απεμπλοκή).
- Προηγμένη πλατφόρμα επιτήρησης για έλεγχο της περιοχής σε πραγματικό χρόνο (real-time).
- Σύστημα αντιμετώπισης της ενδεχόμενης απειλής.

Ενώ η σχεδίαση της παρεμβολής επιτυγχάνεται με:

- απόκτηση ελέγχου χειρισμού (προσγείωση, ακινητοποίηση και ανακατεύθυνση).
- αδρανοποίηση με ηλεκτρονικά αντίμετρα με χρήση παρεμβολών.

Το ελληνικό anti-drone βρίσκεται σε δοκιμαστικό επίπεδο και αναμένεται η ολοκλήρωσή του εντός του έτους. [49]



Εικόνα 33: «Πανόπτης»: Το πρώτο anti-drone σύστημα ελληνικής σχεδίασης [50]

4. Συμπέρασμα

Η ραγδαία ανάπτυξη των ΜΕΑ και ο εκσυγχρονισμός τους με τα τελευταία επιτεύγματα της τεχνολογίας καθιστά αναγκαία τη συνεχόμενη μελέτη και εξεύρεση μεθόδων ανίχνευσης και παρεμβολών αυτών. Τα UAV έχουν ενσωματωθεί στην καθημερινότητα μας σε διάφορα επίπεδα: από ένα drone λήψης βίντεο ενός χομππίστα μέχρι ένα στρατιωτικό ΣμηΕΑ μίας χώρας. Δυστυχώς, τα προφανή οφέλη της αυτονομίας, της ευελιξίας, της ευκολίας χρήσης και του χαμηλού κόστους των υπηρεσιών τους συνοδεύονται από αύξηση των προκλήσεων όσον αφορά την ασφάλεια, την προστασία και το απόρρητο.

Καμία μέθοδος δεν δύναται να θεωρηθεί αποτελεσματική έναντι αυτών των πτητικών αντικειμένων. Συνδυασμός αυτών και ανάλυση των διάφορων παραγόντων αποτελούν μονόδρομος για τον εντοπισμό και εξουδετέρωση της απειλής. Το παραπάνω έχει υιοθετηθεί από κάθε κράτος και γι' αυτό το λόγο επιδιώκουν την ενσωμάτωση πολλών τεχνολογιών προκειμένου να αυξηθούν τα ποσοστά επιτυχίας. Οι κατασταλτικές δυνάμεις θα πρέπει να αναλύουν κάθε φορά τα δεδομένα και την τακτική κατάσταση και στη συνέχεια να προβαίνουν στην εκπόνηση πιθανού τρόπου ενεργείας. Για παράδειγμα, η εμφάνιση ενός mini-UAV σε αστικό κέντρο, δύναται να αντιμετωπιστεί ακόμα και με έναν εκτοξευτή δίχτυ χωρίς να προκληθούν ζημιές και απώλειες. Ένα ΜΕΑ που παραβιάζει τον εναέριο χώρο (FIR) μίας χώρας απαιτεί εντοπισμό και παρακολούθηση με radar και εν συνεχεία ετοιμότητα για ενέργειες κατάρριψης.

Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, γίνεται κατανοητό ότι πλέον απαιτείται εκτενής και συνεχής έρευνα στο τομέα των Μη Επανδρωμένων Εναέριων Οχημάτων και η επιδίωξη κάθε οργανισμού/κράτους θα πρέπει να είναι η αποτελεσματική αντιμετώπιση των συνεπειών της κακόβουλης χρήσης τους.

5. Βιβλιογραφία

- [1] Κανονισμός-γενικό πλαίσιο πτήσεων ΣμηΕΑ, ΦΕΚ Τεύχος Β' 3152/30.09.2016)
- [2] Μη επανδρωμένο αερόχημα, Wikipedia, https://el.wikipedia.org/wiki/Μη_επανδρωμένο_αερόχημα
- [3] Sam Daley, Drone Technology: What Is a Drone?, 2022, <https://builtin.com/drones>
- [4] Nikola Budanovic, The Early Days Of Drones – Unmanned Aircraft From World War One And World War Two, War History Online, Άρθρο, 2017, <https://www.warhistoryonline.com/military-vehicle-news/short-history-drones-part-1.html?firefox=1>
- [5] Pima Air & Space Museum, Teledyne Ryan AQM-34L FIREBEE, Πηγή εικόνας, 2021, <https://pimaair.org/museum-aircraft/teledyne-ryan-aqm-34l-firebee/>
- [6] The Ryan Firebees are a series of target drones developed by the Ryan Aeronautical Company starting in 1951, Πηγή εικόνας, 2020, <https://svppbellum.blogspot.com/2020/12/i-ryan-firebee-sono-una-serie-di-droni.html>
- [7] UAV Technology USA, Πηγή εικόνας, 2022, <https://www.smgconferences.com/defence/northamerica/conference/UAV-Tech-USA>
- [8] Τι είναι τα drone καμικάζι και γιατί τα χρησιμοποιεί η Ρωσία για να χτυπήσει την Ουκρανία, Άρθρο, 2022, <https://www.iefimerida.gr/kosmos/ti-einai-kamikazi-drone-giati-hrisimopoiei-rosia>
- [9] Orion: Το ρωσικό «αρπακτικό» καταρρίπτει τουρκικά drones στέλνοντας «μήνυμα» στην Ουκρανία, Άρθρο, 2021, <https://www.onalert.gr/eksoplismoi/orion-to-rosiko-arpaktiko-katarriptei-toyrkika-drones-stelnontas-minyma-stin-oykrania-vid/440129/>
- [10] Εκτελεστικός κανονισμός (ΕΕ) 2019/947 της Επιτροπής, της 24ης Μαΐου 2019, για τους κανόνες και τις διαδικασίες που διέπουν τη λειτουργία μη επανδρωμένων αεροσκαφών
- [11] Δημήτριος Βούκατας, Η συμβολή των συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών στην πρόληψη και διαχείριση καταστροφών και κρίσεων, Διπλωματική εργασία, Τμήμα Γεωλογίας & Γεωπεριβάλλοντος, ΕΚΠΑ, 2021
- [12] European Union Aviation Safety Agency (EASA), Provisions applicable to both 'open' and 'specific' category, 2020, <https://www.easa.europa.eu/en/faq/116446>
- [13] Vinay Chamola, Pavan Kotesh, Aayush Agarwal, Naren, Navneet Gupta, Mohsen Guizani, A Comprehensive Review of Unmanned Aerial Vehicle Attacks and Neutralization Techniques, Ad Hoc Networks, Volume 111, 2021, ISSN 1570-8705, <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2020.102324>.
- [14] Zenadrone, The Various Uses of Emergency Drones for Disaster Management, Άρθρο, 2021, <https://www.zenadrone.com/uses-of-emergency-drones-for-disaster-management>
- [15] Pauleth Ip, How Drones Aid in Natural Disaster Response, Άρθρο, 2022, <https://www.adorama.com/alc/drones-natural-disaster-response/>

- [16] ΣΚΑΪ, Με drone η μεταφορά φαρμάκων στις Μικρές Κυκλάδες, Πηγή εικόνας, 2022, <https://www.skai.gr/news/health/metafora-farmakon-meso-drone-stis-mikres-kyklades>
- [17] David Daly, Drones in Agriculture, Άρθρο, 2021, <https://consortiq.com/uas-resources/using-drones-in-agriculture-industry>
- [18] How Drone Technology Can Be Leveraged in Agriculture, Πηγή εικόνας, 2017, <https://medium.com/remote-sensing-in-agriculture/how-drone-technology-can-be-leveraged-in-agriculture-54b687c6dc45>
- [19] Γενικό Επιτελείο Στρατού, Επιχειρησιακή Εκπαίδευση του Δ΄ Σωματος Στρατού, 2022, Πηγή εικόνας, <http://army.gr/el/ekdiloseis/epiheirisiaki-ekpaideysi-d-somatos-stratoy-1>
- [20] UAV ground control station, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/UAV_ground_control_station
- [21] UAV: SAGEM Sperwer, Πηγή εικόνας, 2016, <https://defensegr.wordpress.com/2016/03/31/uav-sagem-sperwer/>
- [22] UAV Parachute Recovery Systems Market Size, Πηγή εικόνας, 2019, <https://www.openpr.com/news/1820820/uav-parachute-recovery-systems-market-size-share-development>
- [23] Sean Gallagher, German chancellor's drone "attack" shows the threat of weaponized UAVs, Πηγή εικόνας, 2013, <https://arstechnica.com/information-technology/2013/09/german-chancellors-drone-attack-shows-the-threat-of-weaponized-uavs/>
- [24] The New York Times, White House Drone Crash Described as a U.S. Worker's Drunken Lark, Άρθρο, 2015, <https://www.nytimes.com/2015/01/28/us/white-house-drone.html>
- [25] The Guardian, Drone 'containing radiation' lands on roof of Japanese PM's office, Άρθρο, 2015, <https://www.theguardian.com/world/2015/apr/22/drone-with-radiation-sign-lands-on-roof-of-japanese-prime-ministers-office>
- [26] BBC News, Venezuela President Maduro survives 'drone assassination attempt', Άρθρο, 2018, <https://www.bbc.com/news/world-latin-america-45073385>
- [27] Παναγιώτης Αποσπόρης, Απειλές και αντιμετώπιση των Συστημάτων μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών, Άρθρο, 2021, <https://www.amynanet.gr/apeiles-kai-antimetopisi-ton-systimatou-mi-epandromenon-aeroskafon>
- [28] Τεχνολογίες και τεχνικές εντοπισμού και αντιμετώπισης Μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών, Άρθρο, 2022, <https://www.olympia.gr/1473836/amyna/technologies-kai-technikes-entopismoy-kai-antimetopisis-mi-epandromenon-aeroskafon/>
- [29] Dedrone RF Sensors are the cornerstone of complete airspace security, Πηγή εικόνας, <https://gapwireless.com/tech/dedrone-rf-sensors/>
- [30] Optical drone detection system, Πηγή εικόνας, <https://www.aero-expo.online/prod/skylock-avnon-group/product-187317-63156.html>
- [31] Mohammad F. Al-Sa'd, Abdulla Al-Ali, Amr Mohamed, Tamer Khatlab, Aiman Erbad, RF-based drone detection and identification using deep learning ap-

- proaches: An initiative towards a large open source drone database, Future Generation Computer Systems, Volume 100, 2019, Pages 86-97, ISSN 0167-739X, <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.05.007>.
- [32] Jonathan Johnson, What is a deep neural network?, Άρθρο, 2020, <https://www.bmc.com/blogs/deep-neural-network/>
- [33] Convolutional neural network, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Convolutional_neural_network
- [34] Jomana Karadsheh, Isil Sariyuce, Turkish drones have become a symbol of the Ukrainian resistance, Άρθρο, 2022, <https://edition.cnn.com/2022/04/11/middleeast/mideast-summary-04-11-2022-intl/index.html>
- [35] Feten Slimeni, Tijeni Dalleji, RF-based mini-Drone Detection, Identification & Jamming in No Fly Zones using Software Defined Radio, Volume 1, 2022, https://assets.researchsquare.com/files/rs-1781329/v1_covered.pdf?c=1667209746
- [36] Jean-Paul Yaacoub, Hassan Noura, Ola Salman, Ali Chehab, Security analysis of drones systems: Attacks, limitations, and recommendations, Internet of Things, Volume 11, 2020, ISSN 2542-6605, <https://doi.org/10.1016/j.iot.2020.100218>
- [37] Tactical Drone Jammer Gun, Πηγή εικόνας, <https://www.thisiswhyimbroke.com/tactical-drone-jammer-gun/>
- [38] 38 Talha Ozturk, Serbia shoots down drone on border with Kosovo, Άρθρο, 2022, <https://www.aa.com.tr/en/europe/serbia-shoots-down-drone-on-border-with-kosovo/2728147>
- [39] Orolia, Jamming and Spoofing Protection for UAVs Using GNSS Signals, Άρθρο, 2022, <https://www.orolia.com/jamming-and-spoofing-protection-for-uavs-using-gnss-signals/>
- [40] Briar Stewart, Kyiv police praised for shooting down drone, but officials say leave air defence to military, Άρθρο, 2022, <https://www.cbc.ca/news/world/ukraine-police-drone-military-1.6620092>
- [41] 2019 Iranian shoot-down of American drone, Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/2019_Iranian_shoot-down_of_American_drone
- [42] Russian Revenge For Air Base Attacks: Blasts Ukraine With 'New Batch' Of Kamikaze UAVs With A Message!, Άρθρο, 2022, <https://eurasianimes.com/russian-revenge-for-air-base-attacks-blasts-ukraine-with/>
- [43] Josh Pennington, Olga Voitovych, Jessie Yeung, Three Russian servicemen killed after drone shot down at air base inside Russia, Άρθρο, 2022, <https://edition.cnn.com/2022/12/26/europe/russia-engels-airbase-ukrainian-drone-shot-intl-hnk/index.html>
- [44] Raytheon unveils Peregrine advanced air-to-air missile, Άρθρο, 2020, <https://www.aljundi.ae/en/new-weapons/raytheon-unveils-peregrine-advanced-air-to-air-missile/>
- [45] Ηλεκτρονικός πόλεμος, Wikipedia, https://el.wikipedia.org/wiki/Ηλεκτρονικός_πόλεμος

- [46] Javier Jordan, The future of unmanned combat aerial vehicles: An analysis using the Three Horizons framework, Volume 134, 2021, ISSN 0016-3287, <https://doi.org/10.1016/j.futures.2021.102848>
- [47] Κωνσταντίνος Χ. Ζηκίδης, Bayraktar TB2: Καταρρίφθηκε ή όχι από ρωσικό υπερόπλο, Άρθρο, 2020, <https://armyvoice.gr/2020/11/bayraktar-tb2-katarrifthike-i-rosiko/>
- [48] Krasukha (electronic warfare system), Wikipedia, [https://en.wikipedia.org/wiki/Krasukha_\(electronic_warfare_system\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Krasukha_(electronic_warfare_system))
- [49] Πανόπτης: Το Πρώτο Anti-Drone Σύστημα Ελληνικής Σχεδίασης εξελίσσεται, Δελτίο τύπου ηλεκτρονικής εφημερίδας «Ναυτεμπορική», 2021, <https://www.naftemporiki.gr/deltia-typou/1264667/panoptis-to-proto-anti-drone-systima-ellinikis-schediasis-exelissetai/>