



ΧΑΡΟΚΟΠΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
HAROKOPIO UNIVERSITY

# Συστήματα Δορυφορικών Επικοινωνιών:

## ADSB System

Υπολογιστικές και Δικτυακές  
Υποδομές I

Μαρίνος Κουβαράς ap23011

19 Νοεμβρίου 2023

## Περίληψη

Η χρήση εναέριων μέσων ως τρόπος μετακίνησης επιβατών και εμπορευμάτων συνεχώς αυξάνεται. Οι υψηλές ταχύτητες μεταφορών και μετακινήσεων καθιστούν το εναέριο μέσο απαραίτητο για το σύγχρονο τρόπο λειτουργίας της παγκόσμιας οικονομίας. Σε αυτό έρχεται να συντελέσει καθοριστικά και η ανάπτυξη της τεχνολογίας των μη επανδρωμένων αεροσκαφών τα οποία πρόκειται να διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο τα επόμενα χρόνια. Όλα αυτά τα μέσα καλούνται να συνυπάρχουν και να λειτουργούν σε ένα καθορισμένο και πεπερασμένο εναέριο χώρο. Η διαχείριση της εναέριας κυκλοφορίας αποτελεί πρόκληση όχι μόνο για τον συντονισμό των μέσων αλλά και την εξασφάλιση αρχικά της ανθρώπινης ασφάλειας και στη συνέχεια της προστασίας των υλικών. Για τους παγκόσμιους οργανισμούς FAA και ICAO αποτελεί πρόκληση η θέσπιση κανόνων και διαδικασιών που θα ρυθμίζουν με το βέλτιστο τρόπο τη λειτουργία της αεροπλοΐας. Μία νέα μέθοδος που εκμεταλλεύεται τους δορυφόρους ως μέσο επικοινωνίας είναι το σύστημα ADS-B (Automatic Dependent Surveillance Broadcast). Η χρήση του απο όλο και περισσότερους φορείς και οργανισμούς αποτελεί επανάσταση στον τομέα της αεροπλοΐας και έρχεται να δώσει μία λύση σε ένα μείζονος σημασίας πρόβλημα, αυτό της διαχείρισης της εναέριας κυκλοφορίας. Οι πιο διαδεδομένες τεχνολογίες έως αυτή τη στιγμή κάνουν χρήση επίγειων συστημάτων Radar για τον εντοπισμό και την κατεύθυνση των αεροσκαφών. Με τη χρήση της τεχνολογίας ADS-B δίνεται η δυνατότητα σε κάθε ένα αεροσκάφος να εκπέμπει τα στοιχεία του και τις προθέσεις του παρέχοντας έτσι ενισχυμένη επίγνωση της κατάστασης (SA). Η εργασία αυτή θα πραγματευθεί τη χρήση του συστήματος έως και αυτή τη στιγμή, στην ευρύτερη περιοχή της ευρωπαϊκής ηπείρου, περιορισμούς και θέματα ασφαλείας καθώς επίσης και μελλοντικές ενέργειες και στόχους.

## Πίνακας Περιεχομένων

Περίληψη	2
Πίνακας Περιεχομένων	3
Εισαγωγή	4
Ανασκόπηση ADS-B	6
Πλεονεκτήματα, Περιορισμοί, Ασφάλεια	8
Εφαρμογή χρήσης ADS-B: STATE OF THE ART AND BEYOND	10
Συμπεράσματα	11
Αναφορές	12

# Εισαγωγή

Απο την αρχή του 20ου αιώνα η αεροπορική βιομηχανία διαρκώς αναπτύσσεται. Τεράστια κεφάλαια επενδύονται σε εγκαταστάσεις, μέσα και τεχνολογίες με σκοπό να καλύψουν τις τεράστιες ανάγκες που προκύπτουν. Μόνο από την αρχή του 2023 έχουν καταγραφεί στην Ευρώπη 8,5 εκατομμύρια πτήσεις ή 28.500 πτήσεις ανα ημέρα με ποσοστό αύξησης 10% σε σύγκριση με το 2022 [1], ενώ οι προβλέψεις δεν δείχνουν κάποια μείωση για τα επόμενα χρόνια. Ειδικά με την εισαγωγή των UAV<sup>1</sup> στην πολιτική αεροπορία τα ποσοστά και οι αριθμοί πρόκειται να γνωρίσουν τεράστια άνοδο αυξάνοντας και τις προκλήσεις διαχείρισης τους σε τοπικό επίπεδο αλλά και σε παγκόσμιο.

Είναι κατανοητό πως η θέσπιση και εφαρμογή κανόνων εναέριας κυκλοφορίας αποτελούν αναπόσπαστο κομμάτι του αεροπορικού δομικού συστήματος. Μηχανισμοί οριζόντιου και κάθετου διαχωρισμού των μέσων καθώς και προγραμματισμός αφίξεων και αναχωρήσεων από σταθμούς εδάφους εξασφαλίζουν την εύρυθμη και απρόσκοπτη λειτουργία ενώ προστατεύουν στο μέγιστο την ανθρώπινη ζωή. Ο ανθρώπινος παράγοντας παίζει καθοριστικό ρόλο καθώς ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας καλούνται να διαχειριστούν αυτόν τον τεράστιο όγκο εργασίας. Η ευθύνη βαραίνει, αν όχι στον ίδιο βαθμό τότε σε μεγάλο ποσοστό, και τους χειριστές των αεροσκαφών που συντελούν και αυτοί με τη σειρά τους στην εξασφάλιση της ποιότητας και της ασφάλειας, τηρώντας πιστά τους κανονισμούς και παρεμβαίνοντας όταν αυτό απαιτείται [2].

Για να κατανοήσουμε την πολυπλοκότητα και την αξία του συστήματος ADS-B στη διαχείριση της εναέριας κυκλοφορίας αξίζει να σημειωθεί πως υπάρχουν δύο ειδών κανονισμοί πτήσης. Τα αρχικά VFR<sup>2</sup> υποδηλώνουν πτήση κατά την οποία ο κυβερνήτης ενός αεροσκάφους είναι υπεύθυνος για τον διαχωρισμό του από άλλα μέσα με τους ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας να παρέχουν συμβουλευτικές οδηγίες. Στον αντίποδα τα αρχικά IFR<sup>3</sup> υποδηλώνουν πτήση κατά την οποία οι ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας αναλαμβάνουν την ευθύνη της κατεύθυνσης αεροσκαφών και διαχωρισμού τους από την υπόλοιπη κυκλοφορία καθώς και από το έδαφος. Οι χειριστές οφείλουν στην τελευταία περίπτωση να ακολουθούν αυτές τις οδηγίες. Να σημειωθεί πως το μεγαλύτερο ποσοστό των πτήσεων πραγματοποιείται με κανόνες IFR. Και στις δύο περιπτώσεις η μέχρι τώρα πιο διαδεδομένη τεχνολογία διαχωρισμού των ιχνών είναι η χρήση τεχνολογίας Radar.

Οι συσκευές Radar χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και αξιοποιώντας το φαινόμενο doppler επιστρέφουν πληροφορίες για τη θέση των αεροσκαφών (σημείο και ύψος). Σε κάθε αεροδρόμιο είναι απαραίτητη η τοποθέτηση Radar με σκοπό την συνεχή παροχή υπηρεσιών και δεδομένων κυκλοφορίας. Οι συσκευές αυτές παρουσιάζουν αρκετά μειονεκτήματα. Ο μεγάλος τους όγκος απαιτεί και μεγάλη έκταση χώρου ενώ το γεγονός πως περιλαμβάνει κινητά μέρη το καθιστούν επιρρεπές σε βλάβες. Επίσης η χρήση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

---

<sup>1</sup> Unmanned Aerial Vehicle

<sup>2</sup> Visual Flight Rules

<sup>3</sup> Instrument Flight Rules

για την παροχή των απαραίτητων πληροφοριών υπόκειται σε πολλούς περιορισμούς που έχουν σχέση με το περιβάλλον και το φαινόμενο doppler. Επίσης ένα σημαντικό πρόβλημα αφορά την αδυναμία κάλυψης της κυκλοφορίας των αεροσκαφών στο έδαφος.

Για την εξάλειψη αυτών των περιορισμών χρησιμοποιήθηκε μια επιπρόσθετη τεχνολογία, αυτή της τοποθέτησης συσκευών IFF<sup>4</sup>. Η συσκευή αυτή αποτελεί έναν πομποδέκτη με τον οποίο εξοπλίζονται σταθμοί και αεροσκάφη και είναι η πολιτική εκδοχή στρατιωτικής τεχνολογίας, η δε λειτουργία του βασίζεται στο σύστημα ερωταπαντήσεων (interrogations). Το σύστημα εμφανίζει αρκετούς περιορισμούς όπως για παράδειγμα σε περιβάλλον υψηλής συγκέντρωσης τέτοιων συσκευών, όπου υπάρχει μεγάλο ποσοστό δυσλειτουργίας παρέχοντας ακόμα και εσφαλμένα στοιχεία ενώ η ακρίβεια στοιχείων θέσης είναι πολύ χαμηλή. Ωστόσο τα στοιχεία ύψους παρουσιάζουν ικανοποιητική ακρίβεια και παρέχονται μέσω της λειτουργίας MODE 3A/C της ίδιας συσκευής. Το μεγάλο μέγεθος και βάρος αυτού του εξοπλισμού το καθιστά απαγορευτικό για χρήση σε αεροσκάφη UAV<sup>5</sup>.

Όπως αναφέρθηκε οι τεχνολογίες αυτές παρουσιάζουν αρκετά μειονεκτήματα κυρίως ως προς την ακρίβεια θέσης. Ένας άλλος παράγοντας είναι ο χρόνος που γίνονται διαθέσιμες οι πληροφορίες αυτές καθώς απευθύνονται σε ένα σύστημα υψηλών ταχυτήτων όπου τα χρονικά περιθώρια λήψης αποφάσεων είναι στενά. Τέλος τα αεροσκάφη εκσυγχρονίζονται και φέρουν συστήματα ναυτιλίας που έχουν πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια θέσης από ότι ένα Radar δημιουργώντας πολλές φορές σύγχυση μεταξύ πιλότων και ελεγκτών. Μία νέα εφαρμογή που προσπαθεί να δώσει λύση στο όλο και πιο απαιτητικό αεροπορικό περιβάλλον είναι το σύστημα ADS-B<sup>6</sup>.

Το σύστημα αυτό αποτελεί ουσιαστικά έναν τρόπο γεωεντοπισμού μέσω δορυφόρου και δικτύου δεδομένων βασιζόμενο σε ραδιοσυχνότητες. Με τον τρόπο αυτό παρέχονται αυτοματοποιημένα και άμεσα αξιόπιστες πληροφορίες θέσεις, ύψους και προθέσεων. Οι οργανισμοί FAA και ICAO έχουν ήδη θεσπίσει κανόνες λειτουργίας του συστήματος ενώ καθορίζουν ρητά τη χρήση του από αεροσκάφη που λειτουργούν σε ελεγχόμενο εναέριο χώρο από το 2020 και έπειτα. Η έξαρση ωστόσο της πανδημίας SARS-CoV-2 ανέβαλε τη χρονολογία αυτή για το 2022. Μέσω των μηχανισμών NextGEN και SESAR [3] έχει συμφωνηθεί η ανάγκη συνεχούς εκπομπής δεδομένων από τα αεροσκάφη με τη χρήση πομποδεκτών ADS-B. Πιο συγκεκριμένα έχει υιοθετηθεί μία κοινή πολιτική για εκσυγχρονισμό του συστήματος ATM<sup>7</sup> που δεν θα βασίζεται σε ακριβά και αναχρονισμένα συστήματα Radar.

Ήδη μεγάλες αεροπορικές εταιρείες υιοθετούν τη χρήση συσκευών ADS-B τοποθετώντας τις στα αεροσκάφη τους. Στα πλαίσια στρατηγικής ανάπτυξης και θέσπισης μελλοντικών στόχων, επιθυμία τους είναι η τοποθέτηση τέτοιων συσκευών σε ολόκληρο το στόλο έτσι ώστε να είναι πλήρως εναρμονισμένες με τη νομοθεσία όταν η συσκευή αυτή θα είναι υποχρεωτική. Μέχρι στιγμής τα δεδομένα από τις ήδη υπάρχουσες συσκευές είναι διαθέσιμες σαν open data [4]. Τα δεδομένα αυτά

---

<sup>4</sup> Identification Friend or Foe

<sup>5</sup> Unmanned Aerial Vehicle

<sup>6</sup> Automatic Dependent Surveillance Broadcast

<sup>7</sup> Air Traffic Management

μεταδίδονται χωρίς κάποια κρυπτασφάλιση και εύκολα μπορεί κανείς να τα ανακτήσει και να τα χρησιμοποιήσει.

## Ανασκόπηση ADS-B

Αναλύοντας την ονομασία ADS-B αντιλαμβάνεται κανείς πως το σύστημα είναι αυτόματο (automatic), δηλαδή δεν χρειάζεται κάποια παρέμβαση από χειριστή ή ελεγκτή. Επίσης είναι εξαρτώμενο (dependant) από τα συστήματα ναυτιλίας του αεροσκάφους (GPS, GNSS, INU). Παρέχει παρακολούθηση (surveillance) οπότε δίνονται πληροφορίες στίγματος για το γεωγραφικό μήκος και πλάτος καθώς και το ύψος πτήσης. Η εκπομπή (broadcast) επιτρέπει την λήψη από κάθε δέκτη που έχει τον κατάλληλο εξοπλισμό χωρίς τη χρήση τεχνικών ερωταπαντήσεων.

Το σύστημα ADS-B περιλαμβάνει δύο (2) υποσυστήματα με λειτουργία in-λήψη και out-εκπομπή. Με βάση τον σχεδιασμό οι σταθμοί ελέγχου και τα αεροσκάφη θα χρησιμοποιούν και τα δύο. Η επικοινωνία πραγματοποιείται μέσω δορυφόρων ενώ συχνότητες RF δημιουργούν ξεχωριστά δίκτυα επικοινωνίας. Τα δίκτυα αυτά μεταφέρουν δεδομένα που δύναται να παρέχουν απεικόνιση και συσχετισμό στοιχείων στις τρεις διαστάσεις. Η διασύνδεση δεδομένων (data link) που δύναται να παρέχει το σύστημα προσφέρει πληροφορίες πραγματικού χρόνου (real time) όπως είναι αυτές των NOTAMs<sup>8</sup>, του σημαντικού καιρού, της κυκλοφορίας κ.α. Τα δεδομένα των αεροσκαφών πρώτα συλλέγονται από τα συστήματα ναυτιλίας του αεροσκάφους και στη συνέχεια μεταδίδονται. Μερικές από τις πληροφορίες που εκπέμπονται είναι το αναγνωριστικό του μέσου (ID), το δρομολόγιο, η παρούσα θέση, η αξιοπιστία του σήματος κ.α.

Δύο από τα προτεινόμενα πρωτόκολλα διασύνδεσης που εξετάζονται είναι αυτό του UAT<sup>9</sup> στη συχνότητα των 978MHz η οποία δεσμεύτηκε για αυτό τον σκοπό καθώς και το πρωτόκολλο 1090ES<sup>10</sup> στη συχνότητα 1090MHz [5]. Η χρήση του πρωτοκόλλου UAT απαιτεί την τοποθέτηση ειδικού εξοπλισμού, αυτός είναι ο λόγος που χρησιμοποιείται κυρίως σε εναέριο χώρο που ελέγχεται από τον αμερικανικό οργανισμό της FAA<sup>11</sup> και τον ευρωπαϊκό οργανισμό του Eurocontrol. Η χρήση του πρωτοκόλλου 1090ES εκμεταλλεύεται την δυνατότητα διάδοσης δεδομένων μέσω του Mode S. Εδώ να σημειωθεί πως το Mode S αποτελεί λειτουργία της συσκευής IFF που αναφέρθηκε παραπάνω και καθώς όλα τα αεροσκάφη που πραγματοποιούν πτήσεις εντός ελεγχόμενου εναέριου χώρου έχουν την υποχρέωση να την φέρουν, πλέον με την αναφορά στο ADS-B θα εννοείται η χρήση του πρωτοκόλλου 1090ES. Τα δεδομένα μεταδίδονται ανα δευτερόλεπτο αυτόματα σε σύγκριση με τα δεδομένα ενός radar στα οποία η απόκριση κυμαίνεται από τέσσερα δευτερόλεπτα σε περιοχές προσέγγισης αεροσκαφών έως δώδεκα δευτερόλεπτα για αεροσκάφη εν πτήση. Όπως είναι λογικό, κύρια έμφαση έχει δοθεί στην τυποποίηση και καθορισμό των σημάτων ADS-B out καθώς αυτά είναι που θα αποσταλούν στους σταθμούς εδάφους

---

<sup>8</sup> Notice To Airmen

<sup>9</sup> Universal Access Transceiver

<sup>10</sup> 1090MHz Extended Squitter

<sup>11</sup> Federal Aviation Administration

και στη συσκευή ADS-B in [6]. Τα σήματα μεταδίδονται ελεύθερα χωρίς κάποιο σημαντικό επίπεδο κρυπτασφάλισης, με μόνο έλεγχο τα τελευταία 24 bit να εξασφαλίζουν πως αυτό είναι ακέραιο.

Οι πομποί εδάφους αποτελούν πυρήνα του συστήματος και εξασφαλίζουν τη διασύνδεση μεταξύ αεροσκαφών, δορυφόρων και επίγειων σταθμών ελέγχου. Αναφέρονται επιγραμματικά οι τρόποι διασύνδεσης του συστήματος μέσω δορυφόρων:

- Direct Downlink
- Inter Satellite Link
- SatCom

Τα δεδομένα λαμβάνονται και προωθούνται στους σταθμούς ελέγχου, οι κατάλληλοι αλγόριθμοι παραμετροποιούν τα δεδομένα και τα εμφανίζουν μέσω εφαρμογών διεπαφής ενώ παράλληλα διανέμονται και στα πιλοτήρια των αεροσκαφών.

Απαραίτητη προϋπόθεση για απεικόνιση των δεδομένων στο πιλοτήριο είναι το αεροσκάφος να έχει τα κατάλληλα όργανα. Τα δεδομένα που αποστέλλονται στο πιλοτήριο χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

- Πληροφορίες Εναέριας κυκλοφορίας - Traffic-Information Service Broadcast(TIS-B).
- Πληροφορίες Στοιχείων Ναυτιλίας / Πτήσης - Flight Information Service - Broadcast (FIS-B).

Τα στοιχεία TIS-B περιλαμβάνουν πληροφορίες για την κυκλοφορία που προπορεύεται ή ακολουθεί ένα αεροσκάφος και ενημερώνει για τον εγκάρσιο και κάθετο διαχωρισμό τους.

Οι πληροφορίες FIS-B περιλαμβάνουν στοιχεία που αφορούν τον εναέριο χώρο, τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν, την κατάσταση εναλλακτικών αεροδρομίων κ.α. [7].

Για το σκοπό χρήσης του συστήματος, δίκτυο τύπου WAM<sup>12</sup> αναπτύσσεται προκειμένου να εξασφαλίσει την αξιόπιστη μεταφορά δεδομένων. Τα δίκτυα WAM προσφέρονται να καλύψουν αποστάσεις πολύ μεγαλύτερες από αυτές ενός Radar ενώ δίνουν τη δυνατότητα διασύνδεσης πολλών σταθμών εδάφους. Σε δυσπρόσιτα σημεία και περιοχές, επικουρικά γίνεται και η χρήση δορυφόρων για εξασφάλιση δυνατότητας LOS<sup>13</sup>. Αξίζει να σημειωθεί πως ακόμα και σταθμοί πλοίων που επικοινωνούν μέσω δορυφόρων θα μπορούσαν να συμμετέχουν στην ανάπτυξη αυτού του δικτύου.

Κύριοι τρόποι λειτουργίας τους συστήματος που θα μπορούσαν να αναφερθούν είναι οι εξής:

- Λειτουργία αεροδρομίων:
  - Εξυπηρέτηση αεροσκαφών.
  - Διαχείριση τροχοδρόμησης.
  - Διαχείριση αναχωρήσεων.

---

<sup>12</sup> Wide Area Multilateration

<sup>13</sup> Line of Site

- Διαχείριση αφίξεων.
- Αεροπλοΐα:
  - Ευρεία κάλυψη ιχνών σε απομακρυσμένες περιοχές.
  - Έγκαιρη προειδοποίηση αποφυγής διασταύρωσης ιχνών και αναβάθμιση του συστήματος TCAS<sup>14</sup> για τα πολιτικά αεροσκάφη και του συστήματος SAA<sup>15</sup> για UAV.

## Πλεονεκτήματα, Περιορισμοί, Ασφάλεια

Τρία βασικά προβλήματα που απασχολούν τις δομές οι οποίες εξαρτώνται από δεδομένα είναι η διαθεσιμότητα (availability), η αξιοπιστία (reliability) και η συνεχής παροχή τους (continuity).

Με το όρο διαθεσιμότητα περιγράφεται η δυνατότητα το σύστημα να παρέχει τα δεδομένα τη στιγμή που απαιτούνται. Σύμφωνα με τις καθορισμένες προδιαγραφές το σύστημα ADS-B θα αυξήσει την διαθεσιμότητα από το 99,95% στο 99,99%.

Αξιόπιστο θεωρείται ένα σύστημα που μπορεί να παρέχει δεδομένα σε ένα καθορισμένο γεωγραφικά χώρο για καθορισμένο χρονικό διάστημα χωρίς τη μείωση ποιότητας των δεδομένων ή αδυναμία παροχής. Η αξιοπιστία του συστήματος ADS-B είναι τέτοια που η πιθανότητα να μην διαδοθεί σήμα από κάποιο μέσο είναι μικρότερο της τάξης του  $1e - 04$  ανα *ATSU*<sup>16</sup>.

Η συνέχεια αποστολής μηνυμάτων απαιτεί τη μη διακοπή παροχής δεδομένων από τη στιγμή που αυτή θα ξεκινήσει. Το σύστημα ADS-B μπορεί να επιτύχει ποσοστό σφάλματος μικρότερο από  $2 \times 10^{-4}$  ανα ώρα λειτουργίας.

Με τη χρήση του ADS-B έχουμε πρόσβαση σε δεδομένα πραγματικού χρόνου (real-time) που αφορούν τον καιρό. Με μεγαλύτερο πλήθος δεδομένων η λήψη απόφασης γίνεται ευκολότερη ενώ αποφεύγεται η παραβίαση των ορίων των ελεγχόμενων χώρων.

Η παροχή δεδομένων πραγματικού χρόνου κυκλοφορίας σε κυβερνήτες και ελεγκτές δίνει τη δυνατότητα αποφυγής καταστάσεων εναέριας σύγκρουσης. Επίσης οι ελεγκτές μπορούν να έχουν σε πραγματικό χρόνο δεδομένα που αφορούν την κίνηση των αεροσκαφών στο έδαφος στοιχείο που με τη χρήση radar είναι αδύνατο.

Μεγάλο πλεονέκτημα της χρήσης του συστήματος είναι και αυτό του διαμοιρασμού και ελάφρυνσης του φόρτου εργασίας. Με τον τρόπο αυτό εκτελείται καλύτερη εποπτεία και βελτιστοποίηση εκμετάλλευσης πόρων και μέσων.

Τέλος τα δεδομένα που εκπέμπονται από τα αεροσκάφη προέρχονται από τα όργανα ναυτιλίας που διαθέτουν κάνοντας έτσι την εγκατάσταση τους ADS-B μέρος του συνόλου συστημάτων λειτουργίας. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται πως κάθε αεροσκάφος που λειτουργεί σε ελεγχόμενο χώρο φέρει τις κατάλληλες συσκευές ναυτιλίας.

<sup>14</sup> Traffic Collision Avoidance System

<sup>15</sup> Sense And Avoid

<sup>16</sup> Air Traffic Service Units



Ωστόσο ένα σημαντικό θέμα που απασχολεί την ανάπτυξη του συστήματος είναι αυτό της ασφάλειας. Η χρήση συχνοτήτων RF το κάνει επιρρεπές σε επιθέσεις με αποτέλεσμα να μπορούν να δημιουργηθούν επισφαλείς καταστάσεις. Όταν η δημιουργία και ανάπτυξη του συστήματος ήταν ακόμα σε επίπεδο μελέτης η χρήση συχνοτήτων RF δεν φαινόταν απαγορευτική ενώ βοηθούσε και στην συμμετοχή των δορυφόρων. Με την εκρηκτική ανάπτυξη της τεχνολογίας, σήμερα μπορεί κανείς εύκολα και με μικρό σχετικά κόστος να έχει πρόσβαση σε λογισμικό και υλικό που να του επιτρέψει να παραποιήσει στοιχεία και δεδομένα. Μπορεί κανείς να ανακτήσει δεδομένα μέσω ενός απλού δέκτη που πωλείται στο εμπόριο καθώς τα δεδομένα εκπέμπονται χωρίς κρυπτασφαλισμό και αυθεντικοποίηση. Ωστόσο εξίσου εύκολα μπορεί κάποιος αφού λάβει αυτά τα δεδομένα να τα παραποιήσει και να τα αποστείλει σε έναν δέκτη [8].

Μερικές από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής :

- **Ground Station Flooding:** Η χρήση παρεμβολών και σημάτων μεγαλύτερης ισχύς από τα προσλαμβανόμενα θα μπορούσε να οδηγήσει σε απώλεια δεδομένων ή ακόμα και στην διακοπή λήψης αυτών, υποχρεώνοντας τους ελεγκτές να μεταπίψουν σε δευτερεύοντα συστήματα λήψης σημάτων με ό,τι αυτό συνεπάγεται.
- **Ghost Aircraft Injection:** Μια πιθανή προσβολή του συστήματος θα μπορούσε να περιλαμβάνει τη δημιουργία δεδομένων ψεύτικων ιχνών αεροσκάφους χωρίς αυτή να μπορεί να γίνει αντιληπτή. Εάν σε αυτό το σενάριο προστεθεί η πιθανότητα να δημιουργηθούν εκατοντάδες ή και χιλιάδες ψευδή ίχνη είναι εύκολο να φανταστεί κανείς πως μπορεί να επέλθει κορεσμός του συστήματος με σημαντικές συνέπειες.
- **Aircraft Disappearance:** Αντίθετα με την τεχνική προσβολής που αναφέρθηκε παραπάνω, μπορεί να υπάρξει η πιθανότητα διαγραφής ίχνους ενός ή περισσότερων αεροσκαφών. Η χρήση αυτής της τεχνικής θα οδηγήσει σε σύγχυση αντίληψης της πραγματικής κατάστασης.
- **Virtual Trajectory Modification:** Μία άλλη μέθοδος προσβολής του συστήματος θα μπορούσε να είναι αυτό της παραποίησης των δεδομένων ενός υπάρχοντος ίχνους, δημιουργώντας έτσι ένα παραπλανητικό περιβάλλον διαχείρισης κυκλοφορίας. Μία εκδοχή της προσβολής αυτής θα ήταν και η ψευδής εκπομπή πως ένα αεροσκάφος βρίσκεται σε κίνδυνο ή βρίσκεται υπό κατάληψη κινητοποιώντας έτσι ασκόπως τα αντίστοιχα συστήματα.
- **GPS Jamming:** Τα δεδομένα που εκπέμπονται προέρχονται από τις συσκευές ναυτιλίας του αεροσκάφους που κάνουν χρήση GPS. Σε περιβάλλον παρεμβολών του συστήματος GPS τα εκπεμπόμενα μηνύματα θα περιέχουν σφάλματα.

Για την αποφυγή όλων αυτών παρατίθενται μερικές προτάσεις προστασίας.

- Η προστασία των φυσικών εγκαταστάσεων σύμφωνα με τα πρότυπα ESA/REG/004. Πιο συγκεκριμένα μέσω περιορισμού πρόσβασης σε μη εξουσιοδοτημένο προσωπικό, με εγκατάσταση κλειστού κυκλώματος

παρακολούθησης και σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης παραβίασης εισόδου.

- Η χρήση δικτύου VPN καθώς η επικοινωνία στα δίκτυα WAM γίνεται μέσω του Multiprotocol Label Switching όπου δεδομένα μεταφέρονται σε ένα υπολογιστικό νέφος. Έτσι μπορεί να εξασφαλιστεί μεταφορά όλων των δεδομένων αποκλείοντας κακόβουλες ενέργειες.
- Η χρησιμοποίηση τεχνικών κρυπτογράφησης μπορεί σε μεγάλο βαθμό να περιορίσει αυτούς τους κινδύνους. Η χρήση του Internet Protocol SECurity (IPSEC) στις διάφορες διασυνδέσεις μπορεί να μειώσει στο ελάχιστο τους κινδύνους που προαναφέρθηκαν.

## Εφαρμογή χρήσης ADS-B: STATE OF THE ART AND BEYOND

Με το σύστημα ADS-B να αποτελεί τον κορμό διαχείρισης της εναέριας κυκλοφορίας το επίπεδο ασφάλειας και διαλειτουργικότητας πρόκειται να αυξηθεί ραγδαία. Παρόλη την αυξανόμενη ζήτηση των αεροπορικών μεταφορών και την ένταξη όλο και μεγαλύτερου αριθμού μέσων θα υπάρχει η δυνατότητα ελαχιστοποίησης της απόστασης διαχωρισμού και τη μείωση του κόστους λειτουργίας. Η επαύξηση αντίληψης της κατάστασης μέσω των δεδομένων και του προγραμματισμού θα συντελέσει καθοριστικά και σε προβλήματα παγκόσμιας ανησυχίας όπως είναι αυτή της κλιματικής κρίσης. Ήδη εταιρείες επενδύουν στην χρήση εφαρμογών που διαχειρίζονται δεδομένα από συσκευές ADS-B.

Στα πλαίσια διάδοσης της τεχνολογίας και παροχής υπηρεσιών δημιουργούνται νέες δομές. Πολλές χώρες υιοθετούν την ανάπτυξη δικτύων WAM<sup>17</sup> για κάλυψη του απαραίτητου εύρους. Μέσω αυτών των δικτύων δίνεται η δυνατότητα ανταλλαγής δεδομένων που αφορούν στοιχεία του αεροσκάφους ενώ αυτό είναι ακόμα στο έδαφος. Με τον τρόπο αυτό εφαρμογές διαχείρισης αεροσκαφών γίνονται όλο και πιο απαραίτητες από τους ελεγκτές εναέριας κυκλοφορίας.

Η χρήση όμως αυτής της τεχνολογίας δεν αφορά μόνο τους ελεγκτές αλλά και τους κυβερνήτες των αεροσκαφών. Οι πληροφορίες που μεταβιβάζονται στο πιλοτήριο βοηθούν στη λήψη απόφασης και στην ασφάλεια των πτήσεων. Μερικά παραδείγματα αφορούν την απεικόνιση κυκλοφορίας σε πραγματικό χρόνο και την αποστολή στοιχείων σημαντικού καιρού του προορισμού.

Στα πλαίσια πρόληψης ατυχημάτων οι μελέτες έχουν επικεντρωθεί στη διεπαφή που έχουν οι άνθρωποι με συστήματα αυτοματοποίησης. Συνήθως αυτά παρουσιάζουν μία πολυπλοκότητα που δυσχεραίνει την χρήση τους κυρίως για το λόγο πως προέρχονται από διαφορετικούς παρόχους. Η χρήση του συστήματος ADS-B με τα κοινά πρωτόκολλα και την ρύθμιση των κανόνων λειτουργίας θα συνεισφέρει τα μέγιστα στην ρύθμιση της ομοιογένειας ενώ αδυναμίες του συστήματος διαχείρισης εύκολα θα αναγνωρίζονται και θα διορθώνονται.

---

<sup>17</sup> Wide Area Multilateration

Πέρα από τα πλαίσια της αεροπλοΐας όπως είναι ευρέως διαδεδομένη δεν θα πρέπει παραλείπεται η ανάπτυξη των μη επανδρωμένων αεροσκαφών. Έως τώρα η είσοδος μη επανδρωμένων αεροσκαφών σε ελεγχόμενους χώρους απαγορεύεται. Ένα από τα τεχνικά χαρακτηριστικά που έχουν τεθεί ως προϋπόθεση πολιτικής χρήσης τέτοιων αεροσκαφών είναι η δυνατότητα τους να ανταποκρίνονται όπως ένα επανδρωμένο αεροσκάφος. Απαραίτητο στοιχείο για την επίτευξη αυτού του στόχου είναι η χρήση ενός συστήματος ADS-B. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας οι συσκευές ADS-B έχουν μειώσει κατά πολύ τις διαστάσεις τους ενώ έχουν αυξηθεί οι επιδόσεις τους γεγονός που τις κάνει ελκυστικές για χρήση σε συστήματα UAV. Αναφορικά μερικά από τα πλεονεκτήματα των βελτιώσεων της συσκευής ADS-B είναι το μειωμένο κόστος, η μειωμένη κατανάλωση ενέργειας και η αυξημένη αξιοπιστία με το χαμηλό ποσοστό βλαβών.

## Συμπεράσματα

Απο την περιγραφή του συστήματος όπως αναφέρθηκε συμπεραίνεται πως το ADS-B αποτελεί μια καινοτομία στον κόσμο των αεροπορικών μεταφορών. Όχι μόνο υπόσχεται να αντικαταστήσει την παρωχημένη τεχνολογία των Radar αλλά πρόκειται να αναβαθμίσει και τις παρεχόμενες υπηρεσίες εν γένη. Με τα δεδομένα ήδη να υπάρχουν οι εφαρμογές που αναπτύσσονται παρέχουν πληθώρα πληροφοριών χωρίς κάποιο επιπλέον κόστος, ενώ γίνεται εξοικονόμηση πόρων και βελτιστοποίηση χρήσης των μέσων. Μέσα στον ίδιο εναέριο χώρο μπορούν να εξυπηρετούνται περισσότερα αεροσκάφη και με μεγαλύτερη ασφάλεια ενώ η περιοχή κάλυψης των ιχνών δύναται να επεκταθεί σε μέρη δυσπρόσιτα. Σίγουρα ως προς το θέμα της ασφάλειας τα βήματα που πρέπει να γίνουν είναι ακόμα σημαντικά αλλά μέσα από έρευνες και θεσμοθέτηση πρωτοκόλλων μπορεί να γίνει η κατάλληλη θωράκιση του συστήματος από επιθέσεις. Ήδη έχουν ξεκινήσει οι συζητήσεις ανάπτυξης μιας νέας εκδοχής του συστήματος που ονομάζεται ADS-C όπου το γράμμα C αναφέρεται στην αγγλική λέξη contract. Μέσω αυτού θα οι χρήστες θα έχουν πολύ πιο αυστηρά πρωτόκολλα επικοινωνίας και αυθεντικοποίησης. Ακόμα όμως και στην υπάρχουσα κατάσταση δεν μπορεί να μην αναγνωρίσει κανείς τη σημασία εφαρμογής ενός τέτοιου συστήματος.

## Αναφορές

- [1] "Daily Traffic Variation - States." *Eurocontrol*, <https://www.eurocontrol.int/Economics/DailyTrafficVariation-States.html>. Accessed 1 November 2023.
- [2] "Strohmeier, Martin, et al. "Realities and challenges of nextgen air traffic management: the case of ADS-B." *IEEE Communications Magazine* 52.5 (2014): 111-118."
- [3] "Kožović, Dejan V., et al. "Air traffic modernization and control: ADS-B system implementation update 2022: A review." *FME Transactions* 51.1 (2023): 117-130."
- [4] "Schäfer, Matthias, et al. "Bringing up OpenSky: A large-scale ADS-B sensor network for research." *IPSN-14 Proceedings of the 13th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks*. IEEE, 2014."
- [5] Rekkas, Christos. "Status of WAM, ADS-B out and ATSAW deployment in Europe." *2014 Tyrrhenian International Workshop on Digital Communications-Enhanced Surveillance of Aircraft and Vehicles (TIWDC/ESAV)*. IEEE, 2014.
- [6] EUROCONTROL-SPEC-0147 ISBN Number: 978-2-87497-022-1 Edition Number: 1.3
- [7] Kožović, Dejan V., et al. "Air traffic modernization and control: ADS-B system implementation update 2022: A review." *FME Transactions* 51.1 (2023): 117-130.
- [8] Strohmeier, Martin, Vincent Lenders, and Ivan Martinovic. "Security of ADS- B: State of the Art and Beyond." DCS, 2013.