

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΟΡΥΚΤΩΝ ΠΟΡΩΝ

«Ανάλυση Οπτικών Ερεθισμάτων σε εξομοιωτή πτήσης  
για τη βελτίωση αποστολών χαρτογράφησης μέσω μη  
επανδρωμένων συστημάτων»



Χρήστος Λινάρδος

Η Εργασία αυτή κατατίθεται για την ολοκλήρωση του  
Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών:  
«ΓΕΩΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»

Τριμελής Επιτροπή:

Παναγιώτης Παρτσινέβελος (Επιβλέπων)

Στυλιανός Μερτίκας

Απόστολος Δόλλας

Αφιερώνω την εργασία αυτή στην Σύζυγο μου Δέσποινα και την  
Κόρη μου Μαργαρίτα, για την υπομονή τους κατά τις πολλές  
ώρες απουσίας μου, προκειμένου να ολοκληρωθεί το  
Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών.

Ευχαριστώ τον Άγγελο Αντωνόπουλο, χωρίς την αμέριστη  
συμπαράσταση του οποίου, δεν θα ήταν εφικτή η ολοκλήρωση αυτής της  
εργασίας.

«Αν οι οφθαλμοί είναι ο καθρέφτης της ψυχής,  
τότε οι κινήσεις τους είναι ο καθρέπτης της νόησης»

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΣΥΝΟΨΗ.....</b>	<b>- 10 -</b>
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>- 11 -</b>
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	- 11 -
1.2 ΚΥΡΙΟΣ ΣΚΟΠΟΣ.....	- 13 -
1.3 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΤΟΧΟΙ.....	- 14 -
1.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	- 15 -
1.5 ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	- 15 -
<b>2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ .....</b>	<b>- 17 -</b>
2.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΒΛΕΜΑΤΟΣ.....	- 17 -
2.1.1 Φακοί επαφής με πηνία.....	- 17 -
2.1.2 Ήλεκτρο – οφθαλμογράφημα.....	- 18 -
2.1.3 Ανίχνευση οπτικών αντανακλάσεων .....	- 18 -
2.1.4 Επεξεργασία εικόνας από κάμερα.....	- 19 -
2.2 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΟΦΘΑΛΜΩΝ – ΟΡΑΣΗΣ .....	- 20 -
2.2.1 Γεωμετρία Οφθαλμών.....	- 21 -
2.2.2 Κινήσεις Οφθαλμών (Glaholt M. G., 2014).....	- 23 -
2.2.3 Οπτικό πεδίο.....	- 24 -
2.2.4 Διασταυρωτικός έλεγχος.....	- 24 -
2.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ .....	- 25 -
2.3.1 Δείκτης κατανομής εστίασης (Proportional Dwell Time, PDT) .....	- 25 -
2.3.2 Διάρκεια σταθεροποιήσεων βλέμματος (Fixation Durations) .....	- 25 -
2.3.3 Διάρκεια εστιάσεων (Dwell Durations) .....	- 26 -
2.3.4 Συχνότητα εστιάσεων (Dwell Frequency).....	- 26 -
2.3.5 Μεσοδιάστημα εστιάσεων (Dwell Interval).....	- 27 -
2.3.6 Αλληλουχίες εστιάσεων (Dwell Sequences and patterns) .....	- 28 -
2.3.7 Εντροπία (Entropy), Δείκτης Εγγύτερου Γείτονα (NNI).....	- 28 -

2.3.8	Διάμετρος κόρης ( <i>Pupil Diameter</i> ).....	- 29 -
2.3.9	Σύνοψη.....	- 29 -
<b>3.</b>	<b>ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....</b>	<b>- 31 -</b>
3.1	ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ – ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ .....	- 31 -
3.2	ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ .....	- 32 -
3.3	ΠΡΟΠΛΑΣΜΑ COCKPIT .....	- 35 -
3.4	ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ .....	- 38 -
3.4.1	Γενικά .....	- 38 -
3.4.2	Αρχική προσέγγιση - Δυσχέρειες .....	- 39 -
<b>4.</b>	<b>ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ .....</b>	<b>- 41 -</b>
4.1	ΕΞΟΜΟΙΩΤΗΣ ΠΤΗΣΗΣ.....	- 41 -
4.1.1	Υπολογιστική Διάταξη ( <i>Computers Racks</i> ).....	- 41 -
4.1.2	Ομοίωμα <i>Cockpit F-16 Blk52+</i> .....	- 41 -
4.1.3	Προβολικό σύστημα.....	- 42 -
4.1.4	Σταθμός Εργασίας Εκπαιδευτή ( <i>Instructors Operation Station, IOS</i> ) .....	- 44 -
4.2	HARDWARE.....	- 45 -
4.2.1	Αισθητήρας παρακολούθησης οφθαλμών ( <i>Eye Tracker</i> ).....	- 45 -
4.2.2	Υπολογιστική Διάταξη .....	- 48 -
4.3	SOFTWARE .....	- 49 -
4.3.1	Γλώσσα Προγραμματισμού.....	- 49 -
4.3.2	Βιβλιοθήκη <i>PyGaze</i> . ....	- 50 -
4.3.4	Κύρια Λειτουργία. ....	- 50 -
4.3.5	Δεδομένα Πραγματικού Χρόνου.....	- 51 -
4.3.6	Καταγραφή Δεδομένων .....	- 55 -
4.3.7	Πίνακας Ελέγχου ( <i>Control Panel</i> ).....	- 58 -
4.3.8	Γραφική απεικόνιση – Ποιοτική ανάλυση δεδομένων.....	- 60 -
4.3.9	Ανάλυση δεδομένων μεσοδιαστήματος εστίασης ( <i>Revision Interval</i> ).....	- 63 -
4.3.10	Υπολογισμός δείκτη αντίληψης της κατάστασης ( <i>SA</i> ).....	- 64 -
<b>5.</b>	<b>ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....</b>	<b>- 66 -</b>

5.1	ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΔΟΚΙΜΩΝ .....	- 66 -
5.2	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ .....	- 67 -
5.2.1	Καταγραφή #1.....	- 67 -
5.2.2	Καταγραφή #2.....	- 68 -
5.2.3	Καταγραφή #3.....	- 69 -
5.2.4	Καταγραφή #4.....	- 70 -
5.2.5	Καταγραφή #5.....	- 71 -
5.2.6	Καταγραφή #6.....	- 72 -
5.2.7	Καταγραφή #7.....	- 73 -
5.2.8	Καταγραφή #8.....	- 74 -
<b>6.</b>	<b>ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....</b>	<b>- 76 -</b>
6.1	ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ .....	- 76 -
6.1.1	Αξιοποίηση ανιχνευτών τελευταίας γενιάς .....	- 76 -
6.1.3	Βελτίωση μεθόδου εκτίμησης SA .....	- 76 -
6.1.2	Καταγραφή δεδομένων.....	- 77 -
6.1.5	Ενσωμάτωση στον εξομοιωτή .....	- 79 -
6.1.6	Ενσωμάτωση στα Α/Φ.....	- 80 -
6.1.7	Βελτίωση παρουσίασης αποτελεσμάτων.....	- 80 -
6.2	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ .....	- 80 -
6.2.1	Εισαγωγή σε όλα τα στάδια της αεροπορικής εκπαίδευσης. ....	- 81 -
6.2.2	Εκπαίδευση χειριστών οχημάτων / συστημάτων πάσης φύσεως. ....	- 81 -
6.2.3	Εκπαίδευση αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης ΜΕΑ (UAV). ....	- 82 -
6.2.4	Προσωπικά δεδομένα.....	- 82 -
6.3	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	- 83 -
<b>7.</b>	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>- 85 -</b>

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2-1: Αναγνώριση των βασικών στοιχείων του οφθαλμού.....	20 -
Εικόνα 2-2: Δομή Οφθαλμού.....	21 -
Εικόνα 2-3: Γεωμετρική απεικόνιση κόρης – ίριδας .....	22 -
Εικόνα 3-1: Ανιχνευτής Βλέμματος (Tracker) EYE TRIBE .....	32 -
Πίνακας 3-1: Τεχνικά χαρακτηριστικά Tracker EYE TRIBE .....	33 -
Εικόνα 3-2: Παράθυρο ανίχνευσης εντός του Cockpit του F-16.....	34 -
Εικόνα 3-3: Παράθυρο ανίχνευσης Tracker EYE TRIBE .....	34 -
Εικόνα 3-4: Λειτουργία ελέγχου θέσης ανιχνευτή – οφθαλμών. ....	35 -
Εικόνα 3-5: Θέση ανιχνευτή – Περιοχή λειτουργίας.....	36 -
Εικόνα 3-6: EYE Tribe Calibration Screen .....	38 -
Εικόνα 4-1: Cockpit Εξομοιωτή F-16 Blk52+.....	42 -
Εικόνα 4-2: Προβολικό Σύστημα Εξομοιωτή Α/Φ F-16 Blk52+ .....	43 -
Εικόνα 4-3: Διασύνδεση κονσόλας Εκπαιδευτή με το αισθητήρα στο Cockpit.....	44 -
Εικόνα 4-4: Σχεδιάγραμμα EyeTribe Tracker .....	45 -
Εικόνα 4-5: Καταγραφή προσώπου στο υπέρυθρο φάσμα.....	46 -
Εικόνα 4-6: Παράδειγμα βαθμονόμησης ανιχνευτή.....	47 -
Εικόνα 4-11: Το κυρίως παράθυρο της εφαρμογής Simulator Analyzer .....	52 -
Εικόνα 4-12: Μη ικανοποιητικός διασταυρωτικός έλεγχος οθονών-οργάνων.....	54 -
Εικόνα 4-13: Πίνακας Ελέγχου εφαρμογής Simulator Analyzer .....	58 -
Εικόνα 4-14: Γράφημα “RAW DATA”.....	61 -
Εικόνα 4-15: HeatMap - Κατανεμημένη εστίαση βλέμματος .....	62 -
Εικόνα 4-16: HeatMap - Προσκολλημένη εστίαση βλέμματος στο HUD .....	62 -
Διάγραμμα 4-17: HUD Revision Interval.....	63 -



Διάγραμμα 4-18: Συνολικό LVL 1 SA .....	- 65 -
Εικόνα 5-1: Ανάλυση καταγραφής #1 .....	- 67 -
Εικόνα 5-2: Ανάλυση καταγραφής #2 .....	- 68 -
Εικόνα 5-3: Ανάλυση καταγραφής #3 .....	- 69 -
Εικόνα 5-4: Ανάλυση καταγραφής #4 .....	- 70 -
Εικόνα 5-5: Ανάλυση καταγραφής #5 .....	- 71 -
Εικόνα 5-6: Ανάλυση καταγραφής #6 .....	- 72 -
Εικόνα 5-7: Ανάλυση καταγραφής #7 .....	- 73 -
Εικόνα 5-8: Ανάλυση καταγραφής #8 .....	- 74 -

## ΣΥΝΟΨΗ

Διεθνώς, η εκπαίδευση των πιλότων αεροσκαφών (Α/Φ) περιλαμβάνει τη χρήση εξομοιωτών πτήσης. Η διαδικασία της εκπαίδευσης περιλαμβάνει τη σταδιακή βελτίωση της απόδοσης του χειριστή, ο οποίος αντιδρά στις εκάστοτε προσομοιωμένες προκλήσεις, αξιοποιώντας τα δεδομένα που παρουσιάζονται στις οθόνες και τα όργανα του Α/Φ, καθώς και του εικονικού οπτικού περιβάλλοντος. Τόσο στο αεροσκάφος, όσο και στο προαναφερθέν περιβάλλον του εξομοιωτή πτήσης η κυρίαρχη αίσθηση λήψης ερεθισμάτων που επηρεάζει την περαιτέρω αντίδραση του πιλότου είναι η όραση.

Η διαδικασία παρακολούθησης-τεκμηρίωσης των δεδομένων οπτικής εστίασης (Eye / Gaze Tracking) έχει αποδειχθεί εξαιρετικά χρήσιμη για την κατανόηση των γνωσιακών (Cognitive) διεργασιών των πιλότων κατά τη διάρκεια της πτήσης και αποτελεί το αντικείμενο έρευνας στην παρούσα εργασία. Έτσι, αναπτύχθηκε κατάλληλη, πειραματική διάταξη που επιτρέπει την καταγραφή δεδομένων οπτικής εστίασης του εκπαιδευόμενου πιλότου, σε εξομοιωτή αεροσκάφους υψηλών επιδόσεων F-16. Επίσης, αναπτύχθηκε μια πρωτότυπη, γρήγορη και φιλική προς τον χρήστη διαδικασία βαθμονόμησης (Calibration Procedure) του ανιχνευτή οπτικής εστίασης.

Επιπρόσθετα, αξιοποιώντας την εμπειρία του συντάκτη της παρούσας εργασίας ως Εκπαιδευτή Πτήσεων και Εξομοιωτή στα F-16 Blk52+, αναπτύχθηκε εφαρμογή λογισμικού που καταγράφει, αναλύει και παρουσιάζει με χρηστική μέθοδο, σε πραγματικό χρόνο (Real Time Data Analysis) τα δεδομένα εστίασης βλέμματος, ώστε να αξιοποιούνται από τον Εκπαιδευτή κατά την διάρκεια της αποστολής. Επιπλέον, έγινε η επινόηση δύο νέων δεικτών επεξεργασίας και ερμηνείας των δεδομένων εστιάσεων βλέμματος: του Revision Interval και του SA Estimate, που συμβάλουν στην ανάλυση και παρουσίαση των δεδομένων μετά από την ολοκλήρωση της εικονικής πτήσης (Post Flight Data Analysis).

Τα εργαλεία αυτά βοηθούν στην αποτύπωση της γνωσιακής συμπεριφοράς των Εκπαιδευόμενων χειριστών, στο δυναμικά μεταβαλλόμενο περιβάλλον ενός μαχητικού Α/Φ και χρησιμεύουν ως ένα πολύτιμο βοήθημα για την βελτίωση της εκπαίδευσης, της ασφάλειας και της επιχειρησιακής αποτελεσματικότητας της Αεροπορίας και δυνητικά όλων των πτητικών μέσων που τελούν αποστολές διάσωσης, χαρτογράφησης, συνέργειας, κλ.

# *1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ*

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά τον χειρισμό ενός επανδρωμένου ή μη αεροσκάφους, ο πιλότος αντιλαμβάνεται τις πληροφορίες που αφορούν την πτήση κυρίως από τα όργανα – οθόνες του Α/Φ. Συνολικά και σε συνδυασμό με την γνώση και την εμπειρία του, συνθέτει το περιβάλλον στο οποίο επιχειρεί και λαμβάνει τις απαιτούμενες αποφάσεις κατά την πτήση. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται «δόμηση» της αντίληψης της κατάστασης (construct of Situation Awareness, SA) και είναι κρίσιμη για την ασφάλεια και την επιτυχία της πτήσης – αποστολής.

Η σχετική έρευνα των πενήντα και πλέον ετών (Glaholt M. G., 2014), έχει αποδείξει ισχυρή συσχέτιση μεταξύ των κινήσεων των οφθαλμών και της γνωσιακής (Cognitive) κατάστασης των πιλότων. Οι διάφορες οφθαλμικές κινήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτες ικανότητας – εμπειρίας, φόρτου εργασίας και αντίληψης της κατάστασης (SA).

Τόσο για την «δόμηση» όσο και για την διατήρηση του SA, οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν είναι: η διάταξη – εργονομία και διεπαφή με τα όργανα – οθόνες (Cockpit Display Interface, CDI) και η ικανότητα - τεχνική του πιλότου πρόσληψης των κατάλληλων δεδομένων την κατάλληλη χρονική στιγμή για κάθε φάση της πτήσης (Endsley M. R., 1995). Γίνεται αμέσως αντιληπτό ότι, η κυρίαρχη αίσθηση σε ένα τόσο απαιτητικό περιβάλλον είναι η όραση, τόσο για την πρόσληψη των πληροφοριών που παρέχονται από τα όργανα και τους αισθητήρες, όσο και για την αντίληψη της στάσης και του ίχνους του Α/Φ. Η τεχνική που εφαρμόζεται από τον πιλότο, ονομάζεται διασταυρωτικός έλεγχος των οργάνων και του ίχνους πτήσης και είναι μια βασική διαδικασία, απαραίτητη για τον χειρισμό κάθε Α/Φ.

Στα σύγχρονα Α/Φ, κυριαρχούν οι αυτοματισμοί σε όλους τους τομείς ελέγχου. Από τις επιφάνειες ελέγχου που επιτρέπουν στο Α/Φ να ελίσσεται, τους κινητήρες, την διαχείριση της παροχής καυσίμου, υδραυλικής πίεσης και ηλεκτρικής ενέργειας, μέχρι την ναυτιλία και τις επικοινωνίες. Ειδικά στην πολιτική αεροπορία, η κυριαρχία των αυτοματισμών, αν και έχει βελτιώσει καθοριστικά την ασφάλεια των πτήσεων (Lee, 2006), έχει «μεταλλάξει» τους πιλότους από χειριστές του Α/Φ σε επιβλέποντες των αυτοματισμών που το ελέγχουν. Δυστυχώς όμως, υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι διάφοροι αυτοματισμοί δεν είναι πλήρως κατανοητοί από το πλήρωμα, οδηγώντας σε εφησυχασμό (Complacency) (Parasuraman & Manzey, 2010). Το φαινόμενο αυτό, μπορεί να οδηγήσει σε εσφαλμένη τεχνική ελέγχου εξ' αιτίας της υπερβολικής εξάρτησης από τους αυτοματισμούς και εγκυμονεί κινδύνους για την ασφάλεια των πτήσεων (Peysakhovich & al, 2018).

Στην περίπτωση των μαχητικών Α/Φ, εξ' αιτίας της φύσης των αποστολών, οι πιλότοι χειρίζονται, κατά κύριο λόγο, οι ίδιοι το Α/Φ, χωρίς την βοήθεια αυτομάτου πιλότου. Υπάρχουν παρ' όλα αυτά, διάφοροι αυτοματισμοί για να συνεπικουρούν την πτήση και να απελευθερώνουν το δυναμικό του πιλότου στην πληρέστερη κατανόηση και ταχύτατη προσαρμογή του στις συνθήκες ενός ραγδαία μεταβαλλόμενου επιχειρησιακού περιβάλλοντος. Καθοριστικός παράγοντας για την δόμηση και διατήρηση του SA είναι ο αποτελεσματικός διασταυρωτικός έλεγχος των παραμέτρων πτήσης και των ενδείξεων των αισθητήρων, ο οποίος είναι απαραίτητος για την επιτυχία των αποστολών και συμβάλει καθοριστικά στην ασφάλεια των πτήσεων.

Ως διασταυρωτικός έλεγχος ορίζεται η σειριακή μέθοδος με την οποία ο άνθρωπος μπορεί να κατανοήσει και να ανασυνθέσει ένα δυναμικό περιβάλλον μέσα από, ξένους προς την φυσιολογία του, αισθητήρες. Στην περίπτωση του μαχητικού Α/Φ F-16, οι κύριοι αισθητήρες είναι:

- Αδρανειακό / Πρεσοστατικό σύστημα ύψους, ταχύτητας, στάσης, ίχνους και θέσης
- Radar
- Σύστημα αναγνώρισης φίλιων – εχθρικών Α/Φ (IFF)
- Αισθητήρες Υπερύθρων
- Σύστημα προειδοποίησης εγκλωβισμού (Radar Warning Receiver, RWR).

Η γνωσιακή διαδικασία εκμάθησης του διασταυρωτικού ελέγχου για τα Α/Φ υψηλών επιδόσεων, στηρίζεται σε εκτεταμένη εκπαίδευση σε εξομοιωτές πτήσης (Flight Simulators, F/S). Στις συσκευές αυτές, λαμβάνει χώρα η εξοικείωση του εκπαιδευόμενου με το περιβάλλον του θαλάμου διακυβέρνησης (Cockpit), τις θέσεις των διαφόρων διακοπών, οργάνων, οθονών καθώς επίσης και των πληροφοριών που αυτά παρέχουν.

Στους σύγχρονους εξομοιωτές πτήσης, οι ορθές αλληλουχίες ενεργειών και ελέγχων γίνονται κτήμα των εκπαιδευομένων και δομούνται οι «σωστές» συνήθειες που θα τους ακολουθούν σε όλη την πτητική τους καριέρα. Η παρούσα εργασία στοχεύει στην αναβάθμιση της εκπαίδευσης στους εξομοιωτές πτήσης παρέχοντας ένα χρήσιμο εργαλείο τόσο στους Εκπαιδευτές όσο και στους Εκπαιδευόμενους, ώστε να εντοπίζουν και να διορθώνουν τις αιτίες των πιθανών λαθών ή/και παραλείψεων κατά την εκτέλεση μιας αποστολής.

## 1.2 ΚΥΡΙΟΣ ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η ανάπτυξη ενός συστήματος αποτελούμενου από συσκευή και λογισμικό, κατάλληλα για την συλλογή και ανάλυση των δεδομένων βλέμματος των χειριστών Α/Φ υψηλών επιδόσεων, κατά την διάρκεια των

εκπαιδευτικών πτήσεων τους σε εξομοιωτή πτήσης. Τα συμπεράσματα που θα προκύψουν, θα αξιοποιηθούν τόσο στην βελτίωση της εκπαίδευσης των χειριστών Α/Φ, όσο και στην βελτιστοποίηση της αυτόνομης λειτουργίας μη Επανδρωμένων Εναέριων Οχημάτων (UAVs - drones) σε απαιτητικές αποστολές, είτε μεμονωμένα είτε κατά την συνεργατική πτήση οχημάτων ως σμήνος, σε πλοήγηση υπό δύσκολες καιρικές συνθήκες καθώς και απότομες μεταβολές του περιβάλλοντος που επιχειρούν.

Επιπλέον, η διάταξη αυτή δύναται να αξιοποιηθεί για την βελτιστοποίηση της εκπαίδευσης χειρισμού καθώς και της εργονομίας, πάσης φύσεως απαιτητικών μηχανημάτων που λειτουργούν με περίπλοκες διαδικασίες ελέγχου όπως ειδικά οχήματα, μηχανήματα εξορύξεων - εργοστασίων κλπ.

### 1.3 ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΣΤΟΧΟΙ

Οι επιμέρους στόχοι της εργασίας είναι:

α. Παραμετροποίηση ανιχνευτή οπτικής εστίασης σε τρισδιάστατο περιβάλλον και ανάπτυξη μιας χρηστικής και φιλικής προς τον εκπαιδευόμενο διαδικασία βαθμονόμησης.

β. Βελτιστοποίηση της εκπαίδευσης μέσω κατάλληλης παρουσίασης στον Εκπαιδευτή της ανάλυσης των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (Real Time Data Analysis) αλλά και της σύνοψης αυτών, μετά το πέρας της πτήσης.

γ. Διερεύνηση της σχέσης της αλληλουχίας – συχνότητας οπτικής εστίασης (Gaze Patterns) και της αντίληψης της κατάστασης (Situation Awareness, SA) σε διάφορα σενάρια αποστολών.

δ. Προτάσεις βελτιστοποίησης χωροθέτησης, οπτικής βελτίωσης, ή/και εισαγωγής οργάνων και πληροφοριών πτήσης (Διάταξη Cockpit).

ε. Αξιοποίηση αποτελεσμάτων στην αυτόνομη πλοήγηση συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών.

#### 1.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Δεδομένων των περιορισμών - παραδοχών που αναλύονται στο Κεφ. 3, το σύστημα που αναπτύχθηκε μπορεί να προσαρμοστεί εύκολα στην πλειοψηφία των ήδη υπάρχοντων Εξομοιωτών πάσης φύσεως. Θα αποτελέσει έναν πολύτιμο σύμμαχο κατά την διάρκεια της εκπαίδευσης μέσω εξομοιωτών των πιλότων κάθε εμπειρίας τόσο στην Πολεμική, Πολιτική και Γενική Αεροπορία, όσο και στους υπόλοιπους τομείς που πραγματοποιείται εκπαίδευση μέσω εξομοίωσης όπως είναι ο Έλεγχος Εναέριας Κυκλοφορίας, Οδήγηση ειδικών οχημάτων, Χειρισμός περίπλοκων συστημάτων εξόρυξης κλπ.

Οι δυνατότητες ενός τέτοιου συστήματος όμως θα πολλαπλασιαστούν αν ενσωματωθεί σε σύγχρονα συστήματα εξομοιωτών, αλλά και στα Α/Φ, οχήματα, μηχανήματα αυτά καθ' αυτά, ανάλογα με το περιβάλλον λειτουργίας. Με τον τρόπο αυτό, θα υπάρξει βελτιστοποίηση της ακρίβειας, αλλά και ενσωμάτωση της ανάλυσης των δεδομένων, άμεσα συσχετισμένης με τα οπτικά ερεθίσματα από την λειτουργία του εξομοιωτή - μηχανήματος.

#### 1.5 ΔΟΜΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην συνέχεια της εργασίας, στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, παρατίθεται το θεωρητικό υπόβαθρο που αφορά την φυσιολογία των οφθαλμών και της όρασης, τις υπάρχουσες τεχνολογίες

ανίχνευσης οπτικής εστίασης, καθώς και τις κύριες μεθόδους ανάλυσης των δεδομένων.

Στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναλύεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, οι περιορισμοί λόγω της φύσης του εξομοιωτή αλλά και οι αναγκαίες παραδοχές. Επιπλέον, επεξηγείται η μεθοδολογία επιλογής του εξοπλισμού, το πρόπλασμα του Cockpit που χρησιμοποιήθηκε για τις δοκιμές, καθώς και η πρωτότυπη διαδικασία βαθμονόμησης που αναπτύχθηκε.

Στο 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο περιγράφεται υλοποίηση της πειραματικής διάταξης επί του εξομοιωτή πτήσης του F-16. Παρουσιάζεται το υλικό που χρησιμοποιήθηκε καθώς επίσης και το λογισμικό που αναπτύχθηκε.

Στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρουσιάζονται ομαδοποιημένες οι αναλύσεις των δεδομένων των οκτώ καταγραφών εστιάσεων βλέμματος Εκπαιδευομένων διαφόρων εμπειριών, μαζί με τον αντίστοιχο σχολιασμό.

Τέλος, στο 6<sup>ο</sup> Κεφάλαιο παρατίθενται οι προτάσεις για περαιτέρω έρευνα, με σκοπό την εξέλιξη και ευρεία αξιοποίηση των μεθόδων και των αποτελεσμάτων, καθώς επίσης και τα συμπεράσματα της εργασίας αυτής.



## 2. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

### 2.1 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ ΒΛΕΜΑΤΟΣ

Ιστορικά, η επιθυμία και οι προσπάθειες του ανθρώπου να καταφέρει να μελετήσει τις κινήσεις των οφθαλμών προηγείται κατά περίπου έναν αιώνα της μαζικής χρήσης προσωπικού υπολογιστή. Από τη δεκαετία του 80, χάρη στην ταχεία αύξηση της τεχνολογίας των υπολογιστών, οι ανιχνευτές βλέμματος άρχισαν να χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών κλάδων όπως:

- Αλληλεπίδραση ανθρώπου - υπολογιστή (HCI)
- Νεύρο-επιστήμη
- Ψυχολογία
- Ψυχογλωσσολογία
- Οφθαλμολογία
- Έρευνα μάρκετινγκ
- Αθλητική έρευνα

Οι μέθοδοι που έχουν χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή δεδομένων που αφορούν τόσο τη διεύθυνση της κόρης όσο και την κίνηση του οφθαλμού είναι οι παρακάτω (Canessa & al, 2012):

#### 2.1.1 Φακοί επαφής με πηνία

Μια μέθοδος με αρκετή ακρίβεια, για την εποχή της (1963), ήταν η χρήση πηνίων πολύ μικρού μεγέθους, ενσωματωμένα σε φακούς επαφής. Τα πηνία αυτά μπορούσαν να καταγράψουν αλλαγές στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο τόσο στον οριζόντιο, όσο και στον κατακόρυφο άξονα και παράγαγαν τις αντίστοιχες μετρήσεις.

Αυτή η μεθοδολογία αν και έχει ικανοποιητική ακρίβεια έχει το μειονέκτημα ότι απαιτεί την επαφή με τον χρήστη, δεν παρέχει άνεση και εγκυμονεί κίνδυνο τραυματισμού των οφθαλμών.

#### 2.1.2 Ήλεκτρο – οφθαλμογράφημα.

Στην μέθοδο αυτή γίνεται τοποθέτηση ηλεκτροδίων στο πρόσωπο του ατόμου προς ανάλυση. Η αρχή λειτουργίας είναι παρόμοια με το ηλεκτροκαρδιογράφημα, μετρώντας την διαφορά δυναμικού που ενεργοποιεί τους μύες του ματιού. Τα ηλεκτρόδια είναι τοποθετημένα σε στρατηγικά σημεία γύρω από τους οφθαλμούς. Δυστυχώς και αυτή η μέθοδος απαιτεί την επαφή αισθητήριων οργάνων με το σώμα και έχει περιορισμένη ακρίβεια διότι η ηλεκτρική δραστηριότητα των μυών του προσώπου και του λαιμού εισάγουν σφάλματα στις μετρήσεις. Η κύρια χρήση της έχει περιοριστεί στην ακριβή ανίχνευση της έναρξης και του τέλους των σακκαδικών κινήσεων των οφθαλμών, σε συνδυασμό με κάποια άλλη μέθοδο ανίχνευσης (Glaholt M. G., 2014).

#### 2.1.3 Ανίχνευση οπτικών αντανάκλασεων

Πρόκειται για τις πρώτες προσπάθειες για χρήση μη επεμβατικών μεθόδων, στις οποίες γίνεται χρήση οπτικών χαρακτηριστικών σε συνδυασμό με αισθητήρες ανίχνευσης φωτός. Συνήθως χρησιμοποιείται πηγή υπέρυθρης (IR) ακτινοβολίας στραμμένη προς το πρόσωπο του υποκειμένου. Η αντανάκλαση της από τον οφθαλμό, συλλέγεται από κάποιον αισθητήρα κάμερας ή κάποιο άλλο, ειδικό για τον σκοπό αυτό, οπτικό αισθητήρα. Αρχικά γινόταν χρήση φώτο-αντιστάσεων η οποίες στη συνέχεια αντικαταστάθηκαν από φώτο-τρανσίستρορ. Μια τυπική διάταξη ήταν η ύπαρξη

αρκετών σταθερών αισθητήρων, τοποθετημένων σε στρατηγικά σημεία απέναντι από το πρόσωπο. Η κίνηση των οφθαλμών εκτρέπει περισσότερη ή λιγότερη ανακλώμενη ακτινοβολία από τον κερατοειδή προς τους αισθητήρες. Έτσι, μετά από βαθμονόμηση, μπορεί να αντιστοιχηθεί η διεύθυνση του οφθαλμού σε συντεταγμένες βλέμματος, επάνω σε κάποιο αντικείμενο όπως για παράδειγμα μία οθόνη ηλεκτρονικού υπολογιστή.

#### 2.1.4 Επεξεργασία εικόνας από κάμερα

Πρόκειται για την πιο σύγχρονη μέθοδο η οποία γίνεται τα τελευταία χρόνια δυνατή χάρη στην αύξηση της επίδοσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών και της ακρίβειας των αισθητήρων / καμερών. Σύμφωνα με αυτή τη μεθοδολογία, γίνεται ανάλυση εικόνας που προέρχεται από την ροή Video, όπου κάθε καρέ αναλύεται ξεχωριστά. Είναι η ακριβέστερη μεθοδολογία διότι εκτός από τις αντανάκλασεις ακτινοβολίας από τους οφθαλμούς, αξιολογεί επιπλέον και τα μοναδικά οφθαλμικά χαρακτηριστικά του χρήστη (σχήμα οφθαλμών, κόρη και ίριδα). Με την χρήση μηχανικής όρασης επιτυγχάνεται η ανίχνευση αυτών των χαρακτηριστικών σε κάθε καρέ και με γεωμετρικούς υπολογισμούς, γίνεται η αντιστοίχιση των συντεταγμένων των pixel σε συντεταγμένες βλέμματος, μετά από βαθμονόμηση. Για τους λόγους αυτούς, επιλέχθηκε η μέθοδος της ανίχνευσης βλέμματος μέσω επεξεργασίας εικόνας για την υλοποίηση αυτής της μελέτης.

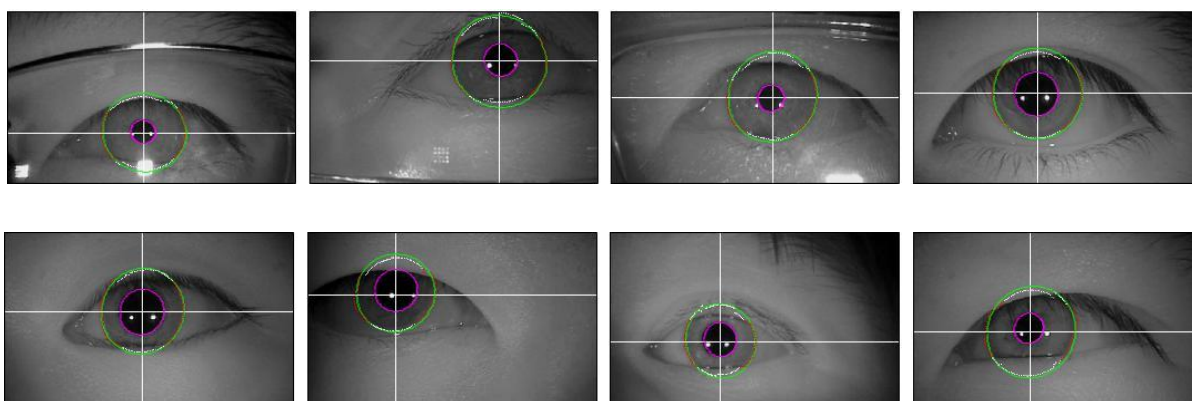
Στην Εικόνα 2-1 βλέπουμε τον τρόπο που ο ανιχνευτής εντοπίζει, σε διάφορα καρέ της τροφοδοσίας Video, τα παρακάτω τρία βασικά χαρακτηριστικά (Canessa & al, 2012):

- Αντανακλάσεις στην επιφάνεια του ματιού από τις πηγές IR φωτός που φαίνονται σαν λευκές τελείες (Glints)

- Ίριδα, το περίγραμμά της σχεδιάζεται με πράσινο κύκλο

- Κόρη, περίγραμμο με μωβ κύκλο

Επιπλέον, με το λευκό σταυρόνημα, φαίνονται οι συντεταγμένες του βλέμματος στην εικόνα της κάμερας, οι οποίες αντιστοιχούνται σε συντεταγμένες επί της επιφάνειας ενδιαφέροντος μετά από κατάλληλη βαθμονόμηση.



*Εικόνα 2-1: Αναγνώριση των βασικών στοιχείων του οφθαλμού*

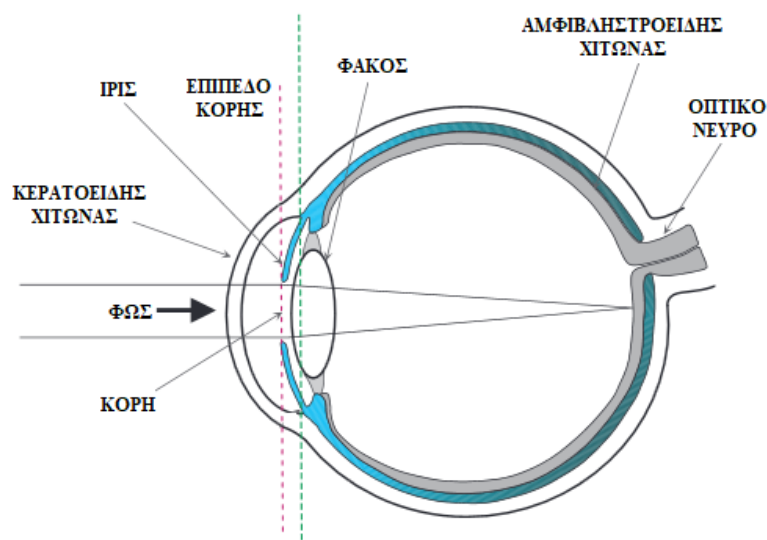
## 2.2 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΟΦΘΑΛΜΩΝ – ΟΡΑΣΗΣ

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η τεχνολογία ανίχνευσης βλέμματος μέσω επεξεργασία εικόνας, είναι απαραίτητη η καλή γνώση της γεωμετρικής δομής του ματιού, καθώς και τα λοιπά ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της ίριδας. Αυτό μας επιτρέπει να καταλάβουμε το πώς ο ανιχνευτής αξιοποιεί την εικόνα της κάμερας για να εξάγει τις συντεταγμένες βλέμματος επί γνωστής επιφάνειας, αλλά και λοιπές μετρήσεις (μέγεθος κόρης, σακκαδικές κινήσεις, χρόνος προσήλωσης κλπ.).

### 2.2.1 Γεωμετρία Οφθαλμών.

Όπως φαίνεται παρακάτω στην Εικόνα 2-2, το ανθρώπινο μάτι δεν είναι ακριβώς μια σφαίρα, αλλά αποτελείται από δύο τμήματα με διαφορετικές καμπυλότητες. Το πίσω μέρος είναι σχεδόν σφαιρικό με ακτίνα που κυμαίνεται από 12 έως 13mm, σύμφωνα με τα ανθρωπομορφικά δεδομένα (Canessa & al, 2012). Στο μετωπικό τμήμα, όπου βρίσκεται η ίριδα, σχηματίζονται δύο θάλαμοι, ο εμπρόσθιος και ο οπίσθιος, που χωρίζονται από την ίριδα και τον φακό. Η ίριδα, η κόρη και ο πρόσθιος θάλαμος καλύπτονται από τον κερατοειδή χιτώνα, που είναι ένας διαφανής φακός σταθερής εστιακής απόστασης. Ο κρυσταλλοειδής φακός έχει μεταβλητή καμπυλότητα ώστε να μπορεί να αλλάζει την εστιακή απόσταση του οφθαλμού προκειμένου μπορεί να προσαρμοστεί στην εικόνα του αντικειμένου ενδιαφέροντος.

Ο πιο σημαντικός ρόλος της ίριδας είναι να λειτουργήσει όπως το διάφραγμα μιας κάμερας, ελέγχοντας την ποσότητα του φωτός που εισέρχεται από την κόρη, στον αμφιβληστροειδή χιτώνα, στο πίσω μέρος του οφθαλμού. Το μέγεθος της κόρης ελέγχεται από τους μυς της ίριδας, και μεταβάλλεται από 3 έως 9mm περίπου, ανάλογα με το φωτισμό του περιβάλλοντος (Canessa & al, 2012).

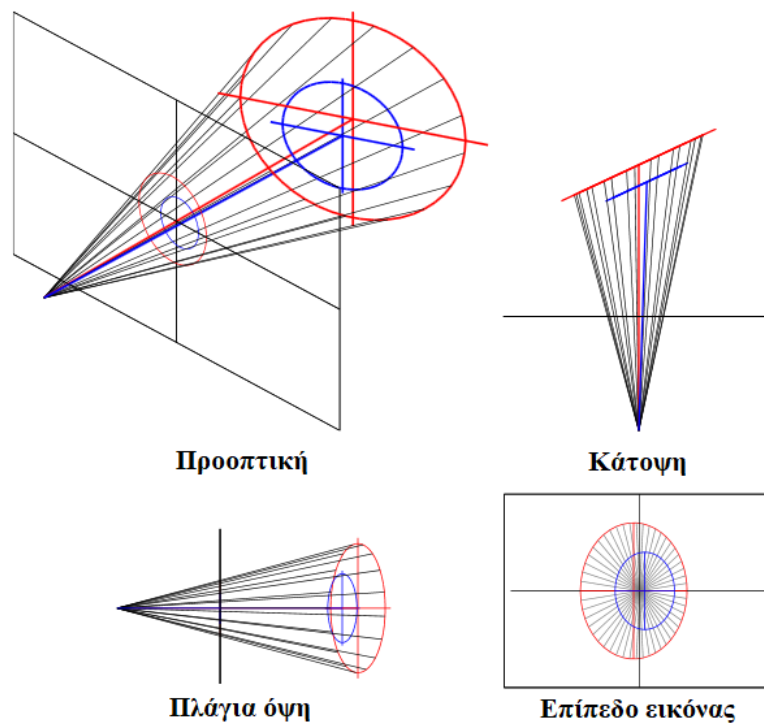


Εικόνα 2-2: Δομή Οφθαλμού

Επιπλέον, εξαιτίας του χρωματισμού της ίριδας και της απουσίας χρώματος στο εσωτερικό του οφθαλμού, η κόρη εμφανίζεται εντελώς μαύρη και οριοθετείται πολύ εύκολα.

Το εσωτερικό όριο της ίριδας, που συμπίπτει με το εξωτερικό όριο της κόρης, προεξέχει από το επίπεδο της στεφάνης της ίριδας κατά απόσταση που εξαρτάται από το μέγεθος της κόρης. Επιπλέον, ακόμη και αν η επιφάνεια της ίριδας δεν είναι επίπεδη, η στεφάνη μπορεί να θεωρηθεί ότι βρίσκεται πάνω σε ένα επίπεδο (Εικ. 2-2, πράσινη γραμμή). Ομοίως, η άκρη της κόρης κείται σε ένα επίπεδο το οποίο είναι λίγο «μακρύτερα» ως προς το κέντρο του οφθαλμού, λόγω της καμπυλότητας της ίριδας (Εικ. 2-2, μωβ γραμμή).

Παρακάτω, στην Εικόνα 2-3, απεικονίζεται η γεωμετρική επεξεργασία της αντιστοίχισης του συνδυασμού κόρης – ίριδας στις συντεταγμένες του βλέμματος (Canessa & al, 2012):



Εικόνα 2-3: Γεωμετρική απεικόνιση κόρης – ίριδας

### 2.2.2 Κινήσεις Οφθαλμών (Glaholt M. G., 2014)

Οι οφθαλμικές κινήσεις είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την γνωσιακή (Cognitive) λειτουργία του εγκεφάλου και διαχωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Σακκαδικές: Είναι πολύ γρήγορες κινήσεις των ματιών που κατευθύνουν το βλέμμα από το ένα σημείο στο επόμενο. Κατά την διάρκεια των κινήσεων αυτών, ο εγκεφαλος δεν επεξεργάζεται τα δεδομένα του οπτικού νεύρου.
- Ομαλής παρακολούθησης: Είναι σχετικά αργή κίνηση των οφθαλμών κατά την διάρκεια της παρακολούθησης ενός κινούμενου αντικειμένου. Η επεξεργασία την εικόνας δεν διακόπτεται, ώστε να δίνονται από τον εγκεφαλο οι απαραίτητες διορθώσεις για την συνέχεια της παρακολούθησης.
- Σύγκλησης - απόκλισης: Είναι ανεξάρτητες για κάθε οφθαλμό κινήσεις, ώστε να είναι εφικτή η εστίαση του βλέμματος σε αντικείμενα ανεξάρτητα με την απόσταση τους (κοντά ή μακριά).
- Σταθεροποίησης: Είναι αντανακλαστικές κινήσεις με σκοπό την αντιστάθμιση των κινήσεων της κεφαλής, ώστε να διατηρείται σταθερό το βλέμμα.

Από τις παραπάνω κινήσεις, οι σακκαδικές έχουν ιδιαίτερη σημασία για την κατανόηση της πρόσληψης των πληροφοριών ενδιαφέροντος από τις οθόνες / όργανα στον θάλαμο διακυβέρνησης (Cockpit) ενός Α/Φ. Αυτό διότι, αμέσως μετά κάθε σακκαδική κίνηση, ακολουθεί σταθεροποίηση του βλέμματος (Fixation) με σκοπό την κατανόηση της εικόνας και των πληροφοριών που περιέχει. Ο χρόνος αυτός ποικίλει μεταξύ ~40ms έως και πλέον των 800ms, αν και συνήθως κυμαίνεται από 200 έως 400ms (Glaholt M. G., 2014).

Μετά από δεκαετίες ερευνών, έχει τεκμηριωθεί η αναλογική σχέση μεταξύ γνωσιακής διεργασίας (Cognitive processing) και διάρκειας των Fixation. Δηλαδή, όσο πιο απαιτητική είναι η γνωσιακή διεργασία που εκτελείται (δύσκολο έργο), τόσο μεγαλύτεροι είναι οι χρόνοι που το βλέμμα ακινητοποιείται για να συλλέξει τις απαιτούμενες πληροφορίες (Glaholt M. G., 2014).

### 2.2.3 Οπτικό πεδίο

Το ανθρώπινο οπτικό πεδίο (Field of View, FOV) δεν είναι ομοιογενές. Αποτελείται από μια μικρή σχετικά περιοχή εύρους λίγων μοιρών στο κέντρο του βλέμματος, την σημειακή όραση, στην οποία είναι δυνατή η κατανόηση τριχρωματικών (RGB) εικόνων υψηλής ανάλυσης και κατ' επέκταση, των οπτικών λεπτομερειών που εμπεριέχονται στην εικόνα. Γύρω της, η περιφερειακή όραση, είναι μονοχρωματική και είναι βελτιστοποιημένη για συνθήκες χαμηλού φωτισμού καθώς και για την αντίληψη της κίνησης. Προηγούμενη έρευνα έχει δείξει ότι το εύρος της σημειακής όρασης σε σχέση με μια εργασία (πχ την ανάγνωση των βασικών οργάνων πτήσης) αυξάνεται όσο αυξάνει η ικανότητα στην εκτέλεση της εργασίας αυτής.

### 2.2.4 Διασταυρωτικός έλεγχος

Στην περίπτωση των Α/Φ και κατά την εξέλιξη της πτήσης, οι πολλαπλές ενδείξεις που εμφανίζονται στις διάφορες οθόνες – όργανα μεταβάλλονται σε πραγματικό χρόνο (παράλληλα). Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν, ότι προκειμένου να επιτευχθεί η γνωσιακή επεξεργασία των ενδείξεων αυτών, το βλέμμα πρέπει να εστιάζει ακριβώς από την μία επιθυμητή ένδειξη στην άλλη (σειριακά), με την βοήθεια των σακκαδικών κινήσεων. Η αλληλουχία αυτών των εστιάσεων ονομάζεται διασταυρωτικός έλεγχος και η ανάλυση του δύναται να μας ανοίξει ένα «παράθυρο»



για την κατανόηση των γνωσιακών διεργασιών ενός πιλότου κατά τις διάφορες φάσεις της πτήσης.

## 2.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΟΦΘΑΛΜΙΚΩΝ ΚΙΝΗΣΕΩΝ

Αναλύοντας τις κινήσεις και την συμπεριφορά των οφθαλμών κατά την εκτέλεση διαφόρων γνωσιακών διεργασιών στο Cockpit, εντοπίζονται τα παρακάτω κύρια μετρήσιμα μεγέθη τα οποία συσχετίζονται με τις διάφορες γνωσιακές λειτουργίες.

### 2.3.1 Δείκτης κατανομής εστίασης (Proportional Dwell Time, PDT)

Μια κοινή μέθοδος ανάλυσης είναι ο διαχωρισμός του Cockpit σε περιοχές ενδιαφέροντος (οθόνες, όργανα, περιοχή έξω από το Cockpit κλπ.) και ο υπολογισμός του αθροίσματος του χρόνου εστίασης για κάθε μία σε σχέση με τον συνολικό χρόνο εστίασης. Ο δείκτης PDT συχνά εκφράζεται ως ποσοστό και δείχνει την κατανομή της προσοχής του πιλότου στις περιοχές αυτές (Glaholt M. G., 2014).

Εξ' αιτίας των διαφορετικών απαιτήσεων σε κάθε φάση της πτήσης δεν έχει παρατηρηθεί κάποια ευρεία συσχέτιση της κατανομής του PDT με τις επιδόσεις στην πτήση αν και, όπως είναι αναμενόμενο, έχουν παρατηρηθεί διαφοροποιήσεις σε σχέση με την εμπειρία των πιλότων. Επιπλέον, η κατανομή του PDT, αξιολογείται μετά από σωρευτική ανάλυση στο τέλος του συνόλου ή επιμέρους τμημάτων της αποστολής και όχι σε πραγματικό χρόνο.

### 2.3.2 Διάρκεια σταθεροποιήσεων βλέμματος (Fixation Durations)

Όπως προαναφέρθηκε στην Παρ. 2.2.2, η διάρκεια των Fixation είναι ανάλογη της δυσκολίας της εκάστοτε γνωσιακής διεργασίας. Είναι λοιπόν επόμενο να έχει παρατηρηθεί ότι, για διεργασίες ίδιας δυσκολίας, οι πιλότοι μεγαλύτερης εμπειρίας έχουν μικρότερο Fixation Duration από πιλότους μικρής εμπειρίας, οι οποίοι

χρειάζονται περισσότερο χρόνο για την επεξεργασία της κάθε πληροφορίας. Παρ' όλα αυτά, δεν έχει παρατηρηθεί ξεκάθαρη σχέση μεταξύ Fixation Duration και φόρτου εργασίας.

### 2.3.3 Διάρκεια εστιάσεων (Dwell Durations)

Οι εστιάσεις (Dwells) σε μία περιοχή ενδιαφέροντος (οθόνη – όργανο), είναι οι διαδοχικές μικρό-σταθεροποιήσεις του βλέμματος (Fixations) σε συναφή – γειτονικά στοιχεία προκειμένου να εξαχθούν οι απαραίτητες πληροφορίες. Η έρευνα επί της διάρκειας των Dwells έχει δείξει ότι, αντίστοιχα με τα Fixations, υπάρχει ξεκάθαρη και αντιστρόφως ανάλογη συσχέτιση με την εμπειρία του πιλότου (Glaholt M. G., 2014). Δηλαδή, οι πιο έμπειροι ιπτάμενοι τείνουν να έχουν εστιάσεις μικρότερης διάρκειας από τους λιγότερο έμπειρους, αντικατοπτρίζοντας την αποτελεσματικότητα της επεξεργασίας των διαφόρων πληροφοριών που εμφανίζονται στις οθόνες – όργανα του Α/Φ.

Αντίθετα όμως με την διάρκεια των Fixations, η διάρκεια των Dwells έχει παρατηρηθεί ότι εμφανίζει ανάλογη σχέση με την δυσκολία του εκάστοτε έργου ή/και τον φόρτο εργασίας (Glaholt M. G., 2014). Αυτό συμβαίνει διότι αυξάνεται το πλήθος των Fixation που αποτελούν ένα Dwell αλλά όχι η διάρκεια των Fixation αυτή καθ' αυτή. Συνεπώς οι μετρήσεις των εστιάσεων στις οθόνες – όργανα, έχουν μεγαλύτερη αξία για την μελέτη αυτή, αντί των μετρήσεων των σταθεροποιήσεων (Fixations) του βλέμματος στις επιμέρους ενδείξεις εντός των οθονών.

### 2.3.4 Συχνότητα εστιάσεων (Dwell Frequency)

Από την έως τώρα έρευνα, έχει παρατηρηθεί ότι και η συχνότητα με την οποία ο πιλότος εστιάζει στις οθόνες – όργανα του Α/Φ (Dwell Frequency) προκειμένου να

ανανεώσει τις πληροφορίες που προσλαμβάνει από αυτές, έχει ανάλογη σχέση με την εμπειρία του. Δηλαδή, οι πιο έμπειροι πιλότοι ανανεώνουν τις πληροφορίες που τους δίνει το Α/Φ πιο συχνά από αυτούς με μικρότερη εμπειρία. Όπως είναι κατανοητό, η διάρκεια των εστιάσεων είναι αντιστρόφως ανάλογη της συχνότητας των εστιάσεων σε δεδομένο χρόνο, συνεπώς η «ολική» συχνότητα από μόνη της, δηλαδή η συχνότητα όλων των εστιάσεων, είναι ένα «παρασυρόμενο» μέγεθος αντιστρόφως ανάλογο της διάρκειας (Glaholt M. G., 2014). Εφ' όσον οι εστιάσεις του βλέμματος επί των ενδείξεων στο Cockpit δεν περιορίζονται σε μία μόνο οθόνη, ο υπολογισμός της συχνότητας θα πρέπει να γίνεται για τις εστιάσεις κάθε οθόνης ξεχωριστά, προκειμένου το μέγεθος αυτό να αποκτήσει επιπρόσθετη αξία για την μελέτη.

#### 2.3.5 Μεσοδιάστημα εστιάσεων (Dwell Interval)

Κατά την πρόοδο της εργασίας και σε συνδυασμό με την πρότερη εκπαιδευτική εμπειρία, εντοπίστηκε η χρησιμότητα της μέτρηση του χρόνου που μεσολαβεί από το τέλος μιας εστίασης μέχρι την αρχή μιας νέας. Δηλαδή, το μεσοδιάστημα από την απομάκρυνση του βλέμματος από μία οθόνη μέχρι την επόμενη επίσκεψη του βλέμματος στην ίδια οθόνη.

Το Dwell Interval συνδυάζει τα δύο προηγούμενα μεγέθη (Dwell Durations, Frequency). Επιπρόσθετα, από τον υπολογισμό του μέσου όρου των μεσοδιαστημάτων, προκύπτει ένας μετρήσιμος δείκτης επανεστίασης του βλέμματος σε κάθε οθόνη (Revision Interval) που σχετίζεται άμεσα με την ορθότητα της τεχνικής ανανέωσης (διασταυρωτικού ελέγχου) των πληροφοριών που απαιτούνται για την δόμηση του SA. Ο δείκτης Revision Interval, αναλύεται στην Παρ. 4.3.9 και είναι ένα από τα πρωτότυπα στοιχεία της εργασίας αυτής.

### 2.3.6 Αλληλουχίες εστιάσεων (Dwell Sequences and patterns)

Η μελέτη της σειράς με την οποία ο πιλότος εστιάζει στις οθόνες - όργανα του Α/Φ έχει αξιοποιηθεί εκτενώς στις έρευνες για την βελτίωση διάταξης των ενδείξεων στο Cockpit. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την μοντελοποίηση των αλληλουχιών κατά τις διάφορες φάσεις της πτήσης είναι οι Πίνακες Μετάβασης (Transition Matrices). Οι πίνακες αυτοί περιέχουν την πιθανότητα της μετάβασης από την μία οθόνη σε κάθε άλλη και υπολογίζονται για αλληλουχίες, συνήθως μέχρι τρίτης τάξεως, που ονομάζονται Markov Chains (Οθόνη «0» > Οθόνη «1» > Οθόνη «2» > Οθόνη «3»).

Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει μεγάλη στατιστική δυσκολία εξ' αιτίας των διαφορετικών τεχνικών και της ιδιοσυγκρασίας ιδιαίτερα των έμπειρων πιλότων οι οποίοι, παρ' όλες τις διαφορές τους, είναι εξίσου αποτελεσματικοί (Glaholt M. G., 2014).

### 2.3.7 Εντροπία (Entropy), Δείκτης Εγγύτερου Γείτονα (NNI)

Η εντροπία, ως μέτρο της τυχαιότητας των εστιάσεων, έχει επιδείξει σαφή συσχέτιση με τον πνευματικό φόρτο (Mental Workload) του πιλότου, εξ αιτίας πχ πολλαπλών, ταυτόχρονων εργασιών κατά την πτήση. Αντίστοιχα, ο NNI μας δείχνει την συσσώρευση (Clustering), των εστιάσεων και είναι αντιστρόφως ανάλογος με την εντροπία. Επιπλέον, η εντροπία σε σχέση με την διάρκεια των εστιάσεων (Entropy Rate) εμφανίζεται να αυξάνεται σε σχέση με την εμπειρία, αλλά και να μειώνεται σε σχέση με το Mental Workload (Glaholt M. G., 2014). Αυτό αποδεικνύει για μια ακόμα φορά την σημασία της διάρκειας των εστιάσεων στην εκτίμηση της γνωσιακής κατάστασης του πιλότου.

Κατά την πρόοδο της μελέτης, διαπιστώθηκε η πιθανή χρησιμότητα του υπολογισμού της εντροπίας σε σχέση με το Revision Interval. Η μελέτη του νέου αυτού δείκτη δεν κατέστη δυνατή στο πλαίσιο αυτής της εργασίας και προτείνεται για διερεύνηση στο μέλλον.

### 2.3.8 Διάμετρος κόρης (Pupil Diameter)

Η σχέση μεταξύ την διαμέτρου της κόρης και του φόρτου εργασίας ή/και της εμπειρίας, έχει αντικρουόμενες ενδείξεις στις διάφορες μελέτες που έχουν γίνει. Σημαντικό ρόλο στο μέγεθος της κόρης, πέραν της γνωσιακής διαδικασίας, παίζουν οι μεταβολές του φωτισμού. Συνεπώς το ελεγχόμενο περιβάλλον του εξομοιωτή είναι καταλληλότερο για την περαιτέρω έρευνα στο αντικείμενο.

### 2.3.9 Σύνοψη

Από την υφιστάμενη βιβλιογραφία γίνεται φανερό ότι η πιο ξεκάθαρη σχέση μεταξύ εμπειρίας – απόδοσης και δεικτών οφθαλμικών κινήσεων είναι ότι οι έμπειροι πιλότοι έχουν μικρότερης διάρκειας και συχνότερες εστιάσεις βλέμματος (Dwells), όπως επίσης και ποικίλες - λιγότερο προβλέψιμες αλληλουχίες εστίασης (Glaholt M. G., 2014).

Επιπλέον, σχετικά πρόσφατες έρευνες έχουν αποδείξει την συσχέτιση των εστιάσεων βλέμματος με το SA (Merwe & all, 2012) και για τον λόγο αυτό, ενθαρρύνεται η περαιτέρω έρευνα αξιοποιώντας πολύ-παραγοντικές μεθόδους ανάλυσης δεδομένων, καθώς διαφαίνεται ότι είναι πιο αποτελεσματικές στο συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογών.

Τα συμπεράσματα αυτά συμφωνούν πλήρως με την εμπειρία μου ως πιλότος / εκπαιδευτής στα F-16 και αποτελούν την βάση ανάπτυξης των μεθόδων ανάλυσης των καταγραφών του πειραματικού μέρους της εργασίας. Η κύρια διαφορά έγκειται στο ότι ο προσδιορισμός την εμπειρίας των συμμετεχόντων μέσω των μεθόδων αυτών δεν έχει ιδιαίτερη πρακτική αξία για αυτή την εργασία, διότι η εμπειρία του εκάστοτε Εκπαιδευομένου είναι ήδη γνώστη. Αντ' αυτού και σύμφωνα με τους σκοπούς της εργασίας αυτής, η ανάλυση και παρουσίαση των δεδομένων προσανατολίζεται στο να βοηθήσει τον Εκπαιδευτή (αλλά και τον Εκπαιδευόμενο) να εντοπίσει αξιόπιστα, τα πιθανά σφάλματα στην πρόσληψη των πλέον απαραίτητων πληροφοριών με σκοπό την βελτίωση της δόμησης και την διατήρηση της αντίληψης της κατάστασης (SA).

### 3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

#### 3.1 ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΙ – ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

Προκειμένου η εργασία να υπερβεί την θεωρητική προσέγγιση και να καταστεί δυνατή η πειραματική υλοποίηση της, ζητήθηκε ειδική άδεια από την Πολεμική Αεροπορία (Π.Α.) για την χρήση του εξομοιωτή των Α/Φ F-16 Blk52+ που εδρεύει στην 115 Πτέρυγα Μάχης, στο Ακρωτήρι Χανίων. Η έγκριση της χρήσης του εξομοιωτή συνοδεύεται τους παρακάτω περιορισμούς:

α. Τον σεβασμό του απορρήτου του λογισμικού και των δεδομένων που εμφανίζονται στον εξομοιωτή, καθώς επίσης της φύσης της εκπαίδευσης που διεξάγεται σε αυτόν και των προσωπικών δεδομένων των συμμετεχόντων.

β. Την απρόσκοπτη λειτουργία του εξομοιωτή για τις εκπαιδευτικές ανάγκες της Π.Α.

γ. Την εκτέλεση περιορισμένων και απολύτως αναστρέψιμων εργασιών επί του εξομοιωτή σε επίπεδο υλικού (Hardware) και καμίας επέμβασης σε επίπεδο λογισμικού (Software).

Εξ αιτίας των παραπάνω περιορισμών, απουσιάζουν από την εργασία φωτογραφίες και βίντεο από το εσωτερικό του εξομοιωτή εν λειτουργία. Επίσης, το δείγμα των καταγεγραμμένων πτήσεων είναι περιορισμένο σε ποσότητα και δεν αντιπροσωπεύει τις πραγματικές συνθήκες και σενάρια εκπαίδευσης, καθώς χρησιμοποιήθηκε μόνο ένα βασικό σενάριο για τους σκοπούς της εργασίας, όπως αναλύεται στο 5<sup>ο</sup> Κεφάλαιο.

### 3.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΥ

Οι δύο βασικές κατηγορίες Eye Tracker που είναι κατάλληλοι για τους σκοπούς της εργασίας, είναι οι σταθεροί και οι αυτοφερόμενοι από τον χρήστη (ενσωματωμένοι σε γυαλιά οράσεως). Εξ αιτίας των περιορισμών που αναλύθηκαν δεν είναι δυνατή η χρήση αυτοφερόμενων εκδόσεων στον εξομοιωτή διότι:

α. Τα γυαλιά οράσεως, ακόμα και χωρίς οπτική παραμόρφωση, είναι ξένα προς τους εκπαιδευόμενους και θα παρέμβαιναν στην φυσιολογική λειτουργία του εξομοιωτή.

β. Η τεχνική αυτή περιλαμβάνει την καταγραφή σε βίντεο της πραγματικής απεικόνισης των οργάνων και οθονών του εξομοιωτή και αυτό θα παραβίαζε τους όρους προστασίας του απορρήτου.

Από τις εμπορικά διαθέσιμες σταθερές υλοποιήσεις, απορρίφθηκαν αυτές που απαιτούσαν εγκατάσταση πολλών καμερών ή/και πηγών IR φωτισμού, εξ' αιτίας του κόστους και των εκτεταμένων εργασιών που θα απαιτούνταν για την εγκατάσταση τους στο cockpit του εξομοιωτή. Για τους παραπάνω λόγους, επιλέχθηκε ο ανιχνευτής της εταιρίας Eye Tribe (Εικόνα 3-1).



Εικόνα 3-1: Ανιχνευτής Βλέμματος (Tracker) EYE TRIBE

Η συγκεκριμένη συσκευή, η οποία προορίζεται για χρήση σε οθόνη Η/Υ, έχει περιορισμένες διαστάσεις και εντός της εμπεριέχονται τόσο η κάμερα όσο και οι δύο



πηγές IR. Σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, τοποθετείται ακριβώς κάτω από την οθόνη με τη οποία συνεργάζεται και παρέχει δεδομένα οπτικής εστίασης του χρήστη επί της οθόνης. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ανιχνευτή φαίνονται παρακάτω:

Sampling rate	30 Hz and 60 Hz mode
Accuracy	0.5° (average)
Spatial resolution	0.1° (RMS)
Latency	< 20 ms at 60 Hz
Calibration	5, 9, 12 points
Operating range	45 cm – 75 cm
Tracking area	40 cm × 30 cm at 65 cm distance
Screen sizes	Up to 24 inches
API/SDK	C++, C# and Java included
Data output	Binocular gaze data
Dimensions	(W/H/D) 20 × 1.9 × 1.9 cm
Weight	70 g
Connection	USB 3.0

*Πίνακας 3-1: Τεχνικά χαρακτηριστικά Tracker EYE TRIBE*

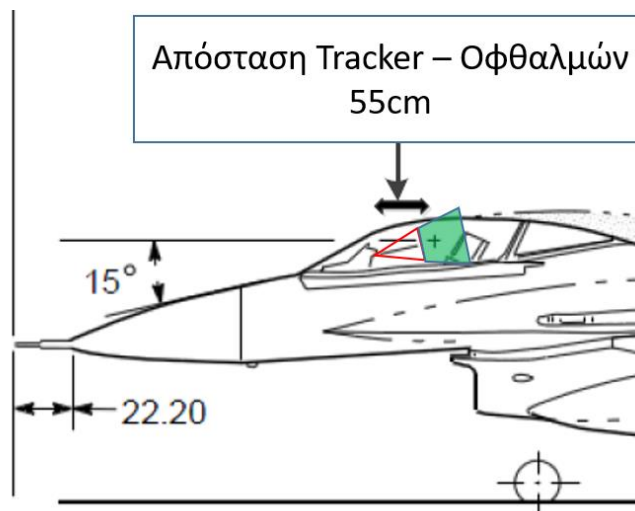
Εξ' αιτίας του περιορισμένου μεγέθους του, κατέστη δυνατό να τοποθετηθεί στο βέλτιστο σημείο, στο κέντρο του εξομοιωτή, χωρίς εκτεταμένες παρεμβάσεις και χωρίς να παρακωλύει την φυσιολογική λειτουργία του εξομοιωτή, ενώ τα χαρακτηριστικά λειτουργίας που διαθέτει είναι κατάλληλα για τις ανάγκες της παρούσας εργασίας (Edwin, 2014), διότι:

α. Παρέχει πολύ καλή ακρίβεια σημείου θέασης (0.5°), ειδικά όταν χρησιμοποιείται σε συνθήκες χαμηλού φυσικού ή τεχνητού φωτισμού, στις συνθήκες δηλαδή που επικρατούν εντός του εξομοιωτή.

β. Η επιτρεπόμενη απόσταση των οφθαλμών από τον ανιχνευτή (45cm-75cm) σε συνδυασμό με την χωροταξία στον εξομοιωτή του F-16, τοποθετεί την θέση της κεφαλής του πιλότου (στα 55cm μέση απόσταση από τον tracker) στην «καρδιά» του παραθύρου ανίχνευσης, όπως φαίνεται στις παρακάτω εικόνες:



Εικόνα 3-3: Παράθυρο ανίχνευσης Tracker EYE TRIBE



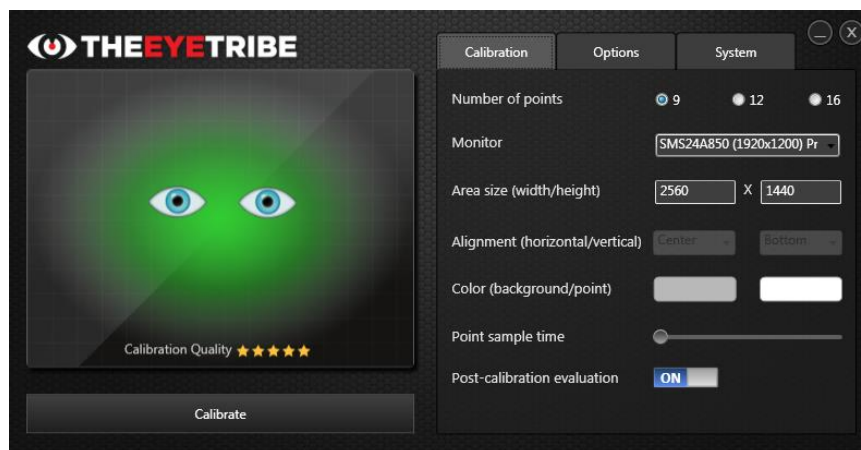
Εικόνα 3-2: Παράθυρο ανίχνευσης εντός του Cockpit του F-16

Τέλος, σημαντική παράμετρος για την επιλογή αυτή, ήταν η δυνατότητα χρήσης του λογισμικού ανοιχτού κώδικα PyGaze (Dalmaijer, 2017) για τον πλήρη έλεγχο του Tracker καθώς και τη σχεδίαση καινούργιων λειτουργιών - πειραμάτων. Αυτό είναι εξαιρετικά σημαντικό, καθώς οι ιδιαίτερες απαιτήσεις της υλοποίησης δεν θα ήταν δυνατό να υποστηριχθούν από το λογισμικό της κατασκευάστριας εταιρίας. Περισσότερες λεπτομέρειες για τον εξοπλισμό αναφέρονται στο Κεφ. 4.

### 3.3 ΠΡΟΠΛΑΣΜΑ COCKPIT

Προκειμένου να είναι εφικτές οι απαραίτητες δοκιμές διασύνδεσης και λειτουργίας των συσκευών καθώς και ανάπτυξης του απαραίτητου λογισμικού, χωρίς να παρακωλύεται το εκπαιδευτικό έργο στον εξομοιωτή πτήσης, κρίθηκε απαραίτητη η δημιουργία ενός προπλάσματος 1:1 δύο διαστάσεων (68x54cm), του μπροστινού τμήματος του cockpit, στο οποίο υπάρχουν οι οθόνες και τα όργανα ενδιαφέροντος και που παρουσιάζουν >95% των οπτικών ερεθισμάτων εντός του Cockpit.

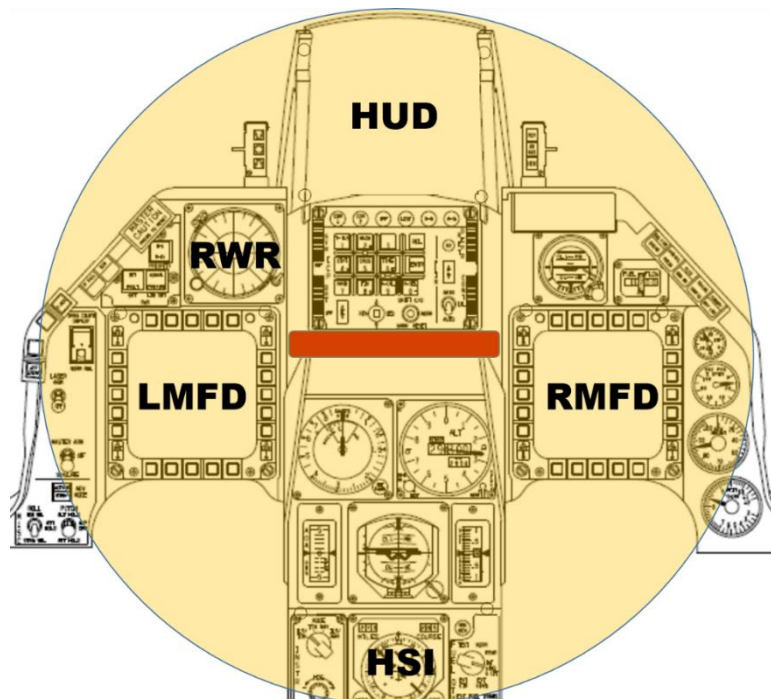
Στο πρόπλασμα αυτό τοποθετήθηκε στην κατάλληλη θέση ο ανιχνευτής ώστε, να διαπιστωθεί στην πράξη η δυνατότητα παρακολούθησης των οφθαλμών του πιλότου όταν κοιτούν τις διάφορες οθόνες τόσο με σταθερή, όσο και με κινούμενη την κεφαλή. Με την βοήθεια της σχετικής λειτουργίας του λογισμικού του ανιχνευτή (Εικόνα 3-4) επιβεβαιώθηκε ότι η υλοποίηση του εγχειρήματος είναι εφικτή, καθώς ο ανιχνευτής είναι σε θέση να εντοπίζει τους οφθαλμούς του πιλότου σε αποκλίσεις της κεφαλής μέχρι και 30° (οριζόντια και κάθετα) από τον νοητό άξονα ανιχνευτή – κεφαλής, εφόσον ο πιλότος διατηρούσε το βλέμμα του στον πίνακα οργάνων.



Εικόνα 3-4: Λειτουργία ελέγχου θέσης ανιχνευτή – οφθαλμών.

Επιπλέον, ακόμα και όταν το βλέμμα απομακρυνόταν από τα όργανα, με την συνεπακόλουθη απώλεια του από τον ανιχνευτή, η επανάκτηση του όταν «επέστρεφε» στην περιοχή ανίχνευσης ήταν άμεση.

Στην Εικόνα 3-5, απεικονίζεται το δισδιάστατο μοντέλο του πίνακα οργάνων, η επιλεγείσα θέση του ανιχνευτή και η επιφάνεια γύρω από αυτόν, στην οποία μπορεί να παρακολουθεί σταθερά το βλέμμα:



*Εικόνα 3-5: Θέση ανιχνευτή – Περιοχή λειτουργίας*

Στην επιφάνεια αυτή εμπεριέχονται όλες οι κύριες οθόνες και όργανα πτήσης του Α/Φ όπως:

- α. Το Head Up Display (HUD), μια ημι-ανακλαστική γυάλινη επιφάνεια στην οποία εμφανίζονται τα περισσότερα στοιχεία πτήσης και σκόπευσης μέσω συμβολολογίας εστιασμένης στο άπειρο.
- β. Οι δύο οθόνες πολλαπλών λειτουργιών (Left/Right Multi-Function Display – L/RMFD) στις οποίες εμφανίζονται τα δεδομένα από τους διάφορους

αισθητήρες του Α/Φ όπως Radar, IFF, Data Link, IR Imaging, καθώς και άλλες βοηθητικές ενδείξεις και λειτουργίες.

γ. Η οθόνη του RWR (Radar Warning Receiver) που εμφανίζει πληροφορίες παθητικής ανίχνευσης εκπομπών RADAR που αποκαλύπτουν ή εγκλωβίζουν το Α/Φ, καθώς και την προτεινόμενη χρήση των διαφόρων αντιμέτρων από το σύστημα αυτοπροστασίας για την αποφυγή ή παραπλάνηση των διαφόρων απειλών.

δ. Τα βασικά αναλογικά όργανα πτήσης στον κεντρικό πίνακα: Ταχύμετρο, Υψόμετρο, Τεχνικός Ορίζοντας, Ενδείκτης Γωνίας Προσβολής (Angle Of Attack - AOA), Ενδείκτης βαθμού ανόδου – καθόδου (Vertical Velocity Indicator - VVI) και ενδείκτης πορειών – ραδιοβοηθημάτων (Horizontal Situation Indicator – HSI).

ε. Ο βοηθητικός Τεχνητός Ορίζοντας, ο οποίος χρησιμεύει σε ενδεχόμενη βλάβη του κυρίως αδρανειακού συστήματος.

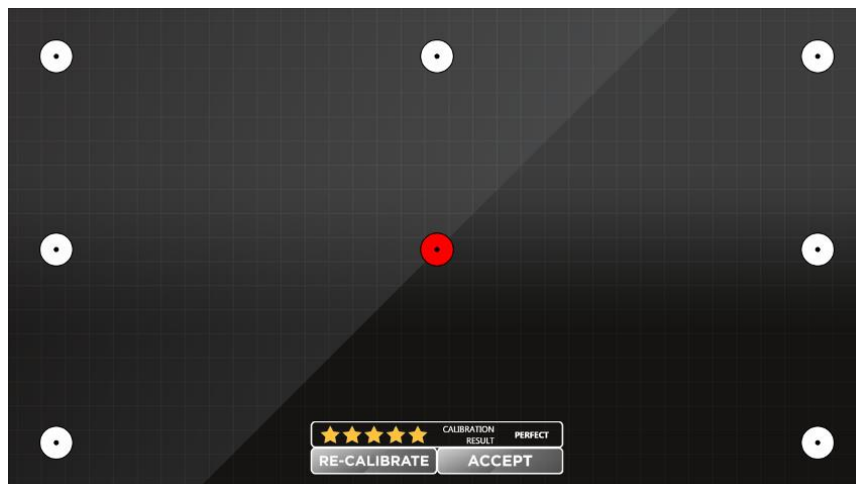
στ. Η οθόνη εισαγωγής δεδομένων (Data Entry Display - DED) που απεικονίζει δεδομένα των υποσυστημάτων ναυτιλίας, επικοινωνιών κ.α., και αποτελεί μαζί με το πληκτρολόγιο την διεπαφή (Interface) με τον κεντρικό υπολογιστή του Α/Φ.

Από την εμπειρία μου ως εκπαιδευτής στα F-16, επέλεξα τα HUD, RWR, Left MFD, Right MFD και HSI ως οθόνες ιδιαίτερου ενδιαφέροντος για την δημιουργία και διατήρηση του Situation Awareness (SA) του πιλότου. Οι οθόνες αυτές θα οριστούν ως ενεργές επιφάνειες και θα εστιαστεί η παρακολούθηση του βλέμματος, ώστε να εξαχθούν χρήσιμα δεδομένα για την παρούσα εργασία.

### 3.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ

#### 3.4.1 Γενικά

Η δυνατότητα παρακολούθησης των οφθαλμών από τον ανιχνευτή, αν και είναι προϋπόθεση για την σωστή λειτουργία του, δεν συνεπάγεται αυτόματα την δυνατότητα για παρακολούθηση του βλέμματος επί των επιφανειών ενδιαφέροντος. Για να συμβεί αυτό, πρέπει ο ανιχνευτής να βαθμονομηθεί για την ακριβή θέση και την γεωμετρία των οφθαλμών του εκάστοτε πιλότου. Η υπάρχουσα, στο λογισμικό του ανιχνευτή (Eye Tribe Developers Guide, 2016), διαδικασία βαθμονόμησης αποδείχθηκε αναποτελεσματική διότι εκμεταλλεύεται την προσήλωση του βλέμματος σε προκαθορισμένα σημεία επί της οθόνης ενδιαφέροντος μέσω μιας αλληλουχίας εμφάνισης κόκκινων κουκίδων (Εικόνα 3-6).



*Εικόνα 3-6: EYE Tribe Calibration Screen*

Με την προσήλωση του βλέμματος στα σημεία αυτά, αναγνωρίζονται οι κόρες καθώς και οι αντανάκλασεις των IR φωτεινών πηγών επί της επιφάνειας των οφθαλμών, συσχετίζονται με τις συντεταγμένες της εκάστοτε κόκκινης κουκίδας επί της οθόνης και τελικά επιτυγχάνεται ο μηδενισμός του σφάλματος παρακολούθησης του ανιχνευτή σε όλο το εύρος της οθόνης. Επιπρόσθετα, για την επιτυχή ολοκλήρωση της διαδικασίας αυτής, ο ανιχνευτής θα έπρεπε να βρίσκεται στο κάτω μέρος της περιοχής ενδιαφέροντος (οθόνης).

### 3.4.2 Αρχική προσέγγιση - Δυσχέρειες

Οι ανωτέρω συνθήκες δεν ισχύουν στην πειραματική διάταξη, διότι η περιοχή ενδιαφέροντος εκτείνεται γύρω και όχι μόνο πάνω από τον ανιχνευτή (Εικόνα 3-5). Επιπλέον, εξ αιτίας των περιορισμών που περιγράφονται στην αρχή του κεφαλαίου, δεν είναι εφικτή η επέμβαση στο λογισμικό του εξομοιωτή για την εμφάνιση αντίστοιχων κουκίδων βαθμονόμησης στις οθόνες του εξομοιωτή.

Προκειμένου να γίνει εφικτή η βαθμονόμηση στην πειραματική διάταξη, ήταν επιτακτική η προσαρμογή του ελεύθερου λογισμικού PyGaze στα δεδομένα του πειράματος. Μετρήθηκαν οι διαστάσεις του προπλάσματος σε cm και οι διαστάσεις της εικόνας του πίνακα οργάνων σε εικονοστοιχεία (Pixel) και επιλέχθηκε η χρήση μιας «εικονικής» οθόνης με ανάλυση 120% μεγαλύτερη από τις πραγματικές διαστάσεις, με σκοπό την βελτίωση της ακρίβειας των συντεταγμένων. Επί του νέου συστήματος συντεταγμένων, επιλέχθηκαν εννέα χαρακτηριστικά σημεία για την ολοκλήρωση της βαθμονόμησης στο πρόπλασμα του Cockpit. Τα σημεία επιλέχθηκαν ώστε να είναι, όχι μόνο ευδιάκριτα αλλά και όσο το δυνατόν ομοιόμορφα διεσπαρμένα στο σύνολο της επιφάνειας ενδιαφέροντος.

Το λογισμικό PyGaze τροποποιήθηκε με βάση τα στοιχεία αυτά, ώστε να δημιουργηθεί διαδικασία βαθμονόμησης με τα νέα σημεία βαθμονόμησης για το συγκεκριμένο πείραμα .

Στο επόμενο βήμα, εκτελέστηκαν οι πρώτες δοκιμές βαθμονόμησης κατά τις οποίες ο «Εκπαιδευόμενος» πιλότος θα έπρεπε να εστιάζει το βλέμμα του στα προκαθορισμένα σημεία, σύμφωνα με την καθοδήγηση του «Εκπαιδευτή» / χειριστή του προγράμματος από τον παρακείμενο H/Y.

Η προσέγγιση αυτή, αποδείχθηκε εντελώς αναποτελεσματική εξ' αιτίας της απαίτησης για εκτεταμένη επικοινωνία μεταξύ Εκπαιδευτή / Εκπαιδευόμενου («Εστίασε στον ενδείκτη ΑΟΑ, στον βοηθητικό Τ.Ο., στον ...») αλλά κυρίως λόγω του πολύ χαμηλού ποσοστού επιτυχημένων βαθμονομήσεων (10%) και πολύ χαμηλής ακρίβειας ( $>5^\circ$ ). Τα δεδομένα αυτά καθιστούσαν απαγορευτική την συνέχιση του πειράματος, μέχρι την οριστική επίλυση των προβλημάτων βαθμονόμησης.



## **4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ**

### **4.1 ΕΞΟΜΟΙΩΤΗΣ ΠΤΗΣΗΣ**

Προκειμένου η εργασία να υπερβεί το στάδιο της θεωρητικής προσέγγισης και να υλοποιηθεί πειραματικά, χρησιμοποιήθηκε ο εξομοιωτής πτήσης του Α/Φ F-16 Blk52+ που εδρεύει στις εγκαταστάσεις της 115 Πτέρυγας Μάχης στο Ακρωτήρι Χανίων, όπως προαναφέρθηκε. Ο εξομοιωτής αυτός είναι κατασκευασμένος από την εταιρία L3 (L3 Aviator/Operator Training, 2019) και αποτελείται από τα παρακάτω κύρια μέρη:

#### **4.1.1 Υπολογιστική Διάταξη (Computers Racks)**

Αποτελείται από 5 κατακόρυφες στήλες των 15 Η/Υ η κάθε μία, που παρέχουν την απαραίτητη υπολογιστική ισχύ για την λειτουργία του εξομοιωτή. Επεξεργάζονται το πτητικό μοντέλο του Α/Φ, την απεικόνιση του εξωτερικού περιβάλλοντος, την «συμπεριφορά» των αισθητήρων και πολλές άλλες παραμέτρους προκειμένου η εξομοίωση να είναι το δυνατόν ρεαλιστική.

#### **4.1.2 Ομοίωμα Cockpit F-16 Blk52+**

Σε αυτό εισέρχεται ο Εκπαιδευόμενος προκειμένου να εκτελέσει την εξομοιούμενη άσκηση – αποστολή. Πρόκειται για ακριβές αντίγραφο 1÷1 του πραγματικού, όπως φαίνεται στη παρακάτω Εικόνα 4-1. Η λειτουργία - συμπεριφορά των διακοπών, οργάνων και οθονών ελέγχεται από αποκλειστικούς για τον σκοπό



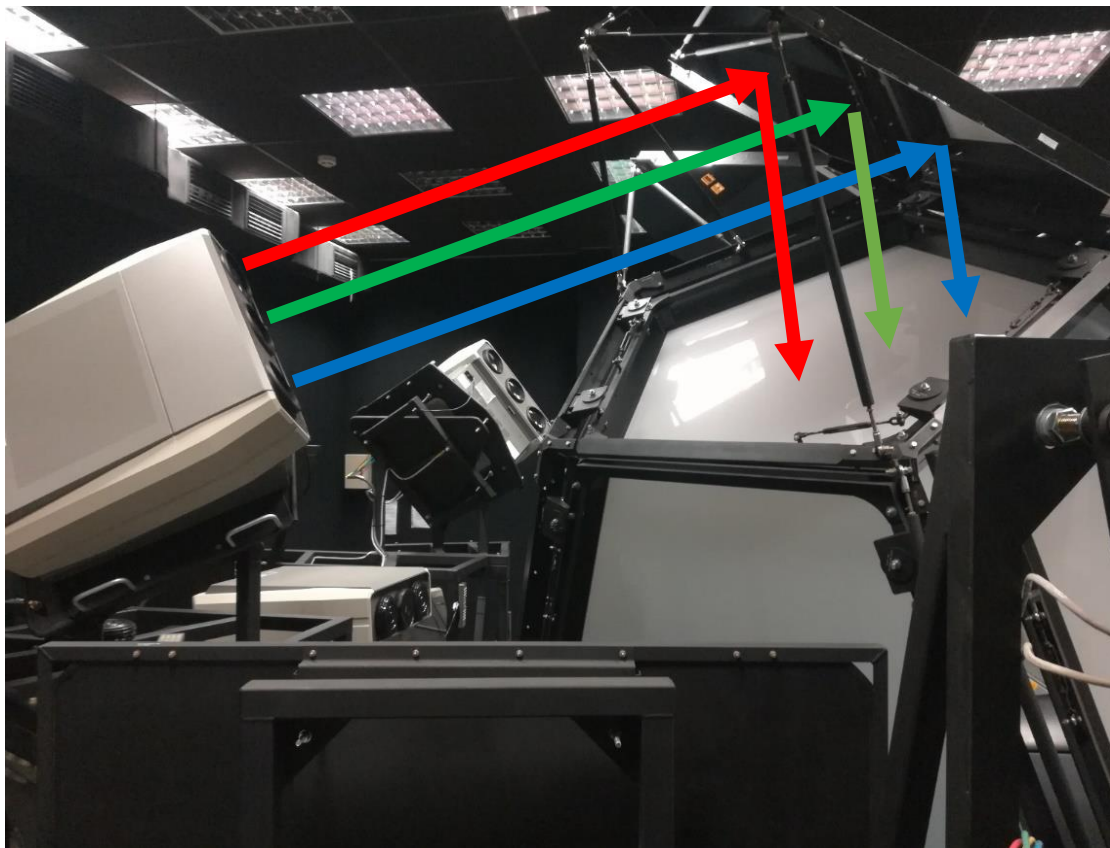
*Εικόνα 4-1: Cockpit Εξομοιωτή F-16 Blk52+*

αυτό Η/Υ, προσφέροντας την μέγιστη δυνατή πιστότητα σε σχέση με το πραγματικό Α/Φ. Η κυριότερη διαφορά σε σχέση με το πραγματικό Cockpit είναι η οθόνη Head Up Display (HUD), οι ενδείξεις της οποίας αντί να προβάλλονται στο ειδικό ημι-ανακλαστικό γυαλί που υπάρχει στο Α/Φ, προβάλλονται στην οθόνη που βρίσκεται μπροστά από το Cockpit του εξομοιωτή. Η προβολή των συμβόλων του HUD, γίνεται από ξεχωριστό προβολικό μηχάνημα, ειδικό για τον σκοπό αυτό. Στο Cockpit υπάρχουν μόνο τα δύο στυλίδια που οριοθετούν το HUD και αξιοποιήθηκαν στην διαδικασία βαθμονόμησης (Παρ. 4.2.2).

#### 4.1.3 Προβολικό σύστημα

Αποτελείται από εννέα (9) οθόνες οπίσθιας προβολής με σχήμα κανονικού πεντάγωνου. Οι οθόνες αυτές εδράζονται σε ένα φέρον πλαίσιο, έτσι ώστε τα όρια των οθονών να εφάπτονται και να σχηματίζουν έναν πολυεπίπεδο θόλο γύρω από την μέση

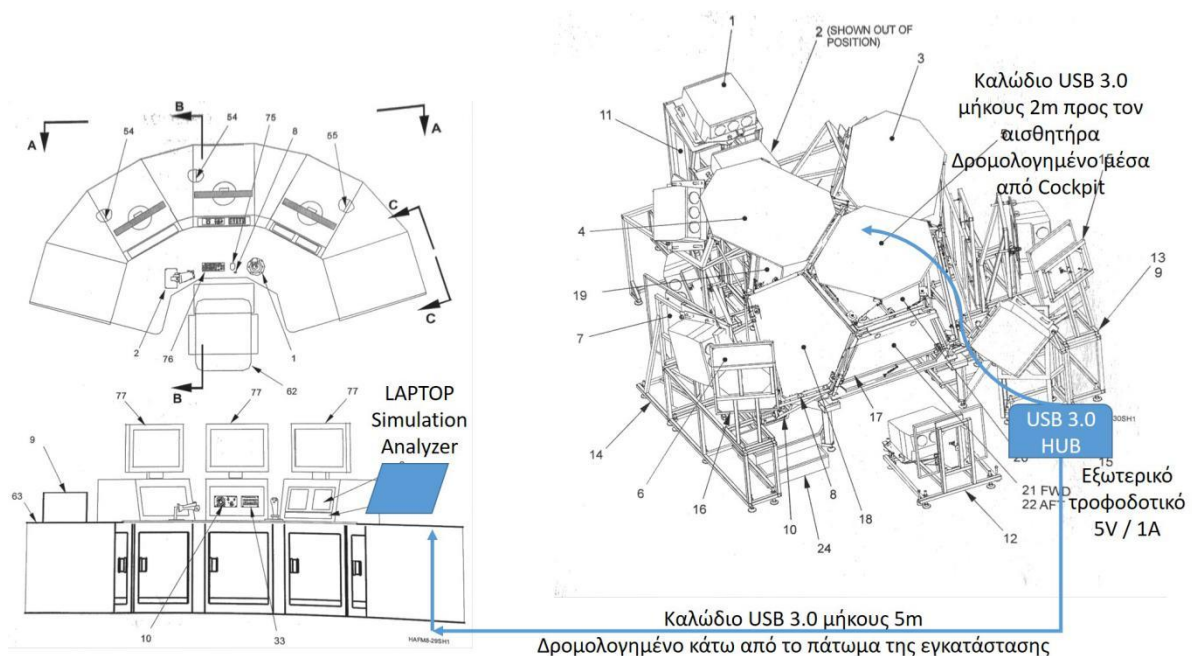
θέση κεφαλής του Εκπαιδευόμενου με κάλυψη 360° οριζοντίως και -30° έως +90° καθέτως. Στο πλαίσιο αυτό, πίσω από κάθε οθόνη, εδράζεται από ένα προβολικό μηχανήμα τριών καθοδικών σωλήνων (CRT), έναν για το κάθε βασικό χρώμα (RGB). Επιπλέον, ανάμεσα στα προβολικά και τις οθόνες τους, υπάρχουν τοποθετημένοι καθρέπτες που ευθυγραμμίζουν τις δέσμες προβολής από τους καθοδικούς σωλήνες προς στις οθόνες. Η χρήση των καθρεπτών είναι αναγκαία προκειμένου να επιτυγχάνεται η απαιτούμενη ελάχιστη εστιακή απόσταση των προβολικών, χωρίς να απαιτείται εκτεταμένος χώρος για την εγκατάσταση του εξομοιωτή. Μέρος του προβολικού συστήματος, καθώς επίσης και η διαδρομή των τριών χρωματικών συνιστωσών προβολής, απεικονίζεται στην Εικόνα 4-2:



*Εικόνα 4-2: Προβολικό Σύστημα Εξομοιωτή Α/Φ F-16 Blk52+*

#### 4.1.4 Σταθμός Εργασίας Εκπαιδευτή (Instructors Operation Station, IOS)

Αποτελείται από οθόνες Η/Υ, πληκτρολόγιο και ποντίκι για τον έλεγχο του σεναρίου και των λοιπών παραμέτρων της αποστολής. Διαθέτει επίσης πλήρη αναπαραγωγή (repeaters) των κύριων οθονών και οργάνων καθώς και ενδοεπικοινωνία με το Cockpit, προκειμένου ο Εκπαιδευτής να αντιλαμβάνεται το δυνατόν πληρέστερα τις ενέργειες του Εκπαιδευομένου καθώς και τα αποτελέσματα τους. Η εγκατάσταση του φορητού Η/Υ στον οποίο θα απεικονίζονται τα δεδομένα ανίχνευσης βλέμματος, επιλέχθηκε να γίνει δίπλα από τα repeaters (HUD, LMFD, RMFD) στο δεξί μέρος του της κονσόλας. Σε αυτή την θέση ο Εκπαιδευτής μπορεί ευκολά να συγκρίνει τις ενέργειες του Εκπαιδευομένου από τα Repeaters με τα δεδομένα εστίασης βλέμματος, όπως παρουσιάζονται από την εφαρμογή Simulation Analyzer, για να εξάγει σωστά συμπεράσματα. Η καλωδίωση συνολικού μήκους 7m που απαιτήθηκε προκειμένου να συνδεθεί ο Η/Υ με τον αισθητήρα, δρομολογήθηκε κάτω από το ψευδοπάτωμα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-3:



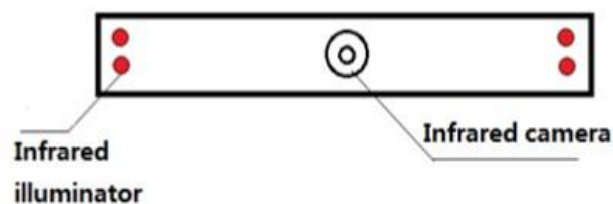
Εικόνα 4-3: Διασύνδεση κονσόλας Εκπαιδευτή με το αισθητήρα στο Cockpit

## 4.2 HARDWARE

Το υλοποιημένο σύστημα της παρούσας εργασίας σχεδιάστηκε για προσαρμογή σε οποιονδήποτε εξομοιωτή, χωρίς να απαιτείται εκτεταμένη ήλεκτρο - μηχανική τροποποίηση και είναι δομημένο από τέσσερα κύρια στοιχεία:

### 4.2.1 Αισθητήρας παρακολούθησης οφθαλμών (Eye Tracker)

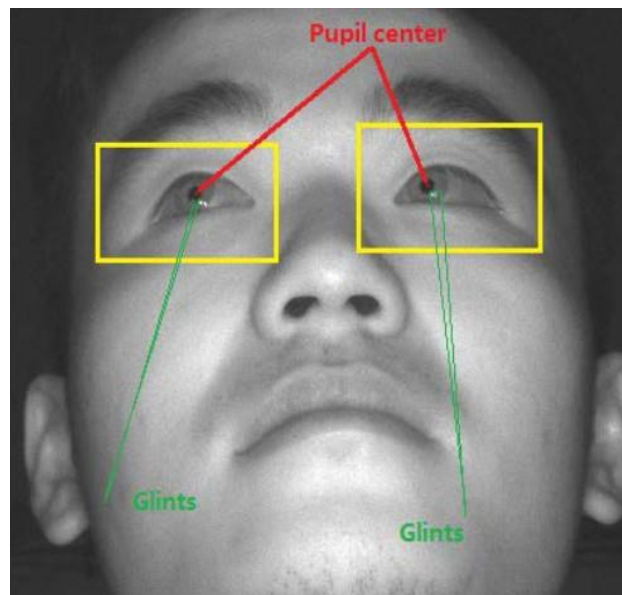
Ο αισθητήρας EyeTribe, είναι μία ολοκληρωμένη συσκευή η οποία ενσωματώνει σε μία λεπτή οριζόντια μπάρα την υπέρυθρη κάμερα για την καταγραφή του προσώπου και των οφθαλμών καθώς επίσης και τέσσερεις (4) πηγές υπέρυθρου φωτός (IR LED) των 820nm, όπως φαίνεται στην εικόνα 4-4:



Εικόνα 4-4: Σχεδιάγραμμα EyeTribe Tracker

Η επιλογή του IR φάσματος σε σχέση με το οπτικό, βοηθά στην ευκολότερη ανίχνευση της κόρης των οφθαλμών καθώς δεν αντανακλά καθόλου την IR ακτινοβολία, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται στην κάμερα ως ένας μαύρος δίσκος υψηλής αντίθεσης, ενώ ταυτόχρονα δεν επηρεάζει το οπτικά αντιληπτό περιβάλλον του χρήστη. Με την παραπάνω διάταξη επιτυγχάνεται ο ελάχιστος απαιτούμενος γωνιακός

διαχωρισμός μεταξύ της κόρης και των αντανακλάσεων των IR illuminators (Glints) επί της επιφάνειας του ματιού (κερατοειδής χιτώνας) όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-5:

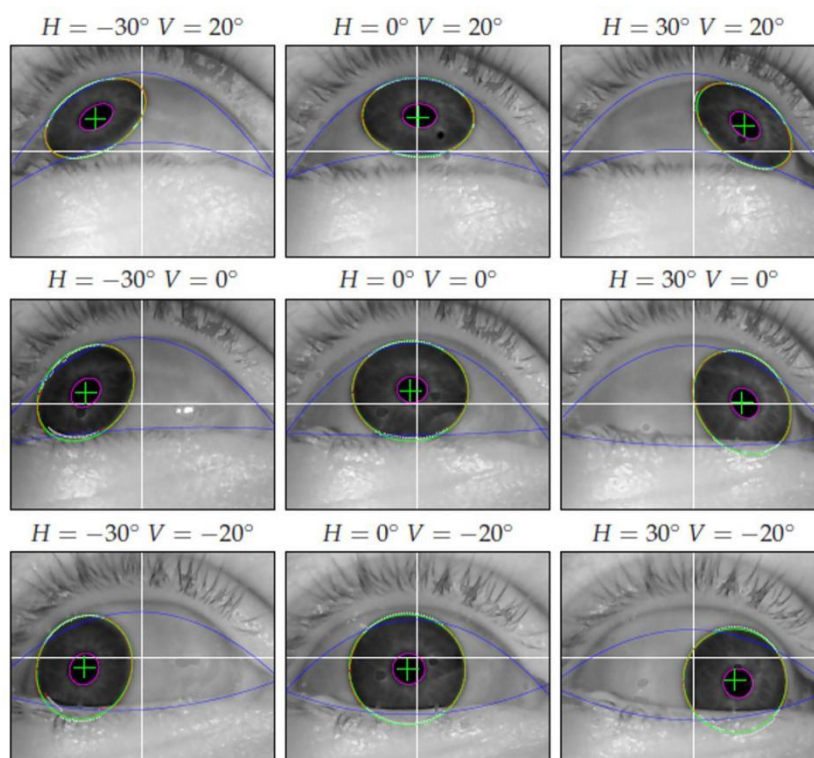


*Εικόνα 4-5: Καταγραφή προσώπου στο υπέρυθρο φάσμα.*

Με αυτόν τον τρόπο, μπορεί να υπολογιστεί η καμπυλότητα της επιφάνειας του κερατοειδούς, καθώς και το επίπεδο και το κέντρο του δίσκου της κόρης του ματιού στον τρισδιάστατο χώρο (Παρ. 2.2). Αξιοποιώντας τα δεδομένα αυτά, σε συνδυασμό με την διαδικασία βαθμονόμησης ο Tracker μπορεί και παρέχει ως έξοδο ένα τρισδιάστατο διάνυσμα για κάθε οφθαλμό, το οποίο έχει ως αφετηρία το κέντρο της κόρης του εκάστοτε οφθαλμού και πέρας, το σημείο πάνω στην νοητή επιφάνεια του cockpit, στην οποία εστιάζει το βλέμμα του ο εκπαιδευόμενος (Εικόνα 4-6). Στην συνέχεια, τα δεδομένα αυτά προωθούνται για επεξεργασία στον H/Y, όπου μεταφράζονται σε συντεταγμένες επί την εικόνας παρατήρησης και λαμβάνει χώρα η επιπλέον επεξεργασία.



Είναι σημαντικό να αναφερθεί πως δεν απαιτείται Η/Υ υψηλών επιδόσεων για την επεξεργασία των δεδομένων, διότι το πιο απαιτητικό υπολογιστικά μέρος της διαδικασίας, πραγματοποιείται από το ενσωματωμένο hardware του ανιχνευτή.



Εικόνα 4-6: Παράδειγμα βαθμονόμησης ανιχνευτή

Ο ανιχνευτής, έχει την δυνατότητα να εξάγει επιπρόσθετα δεδομένα τα οποία αφορούν ειδικά γνωρίσματα των οφθαλμών του χρήστη, όπως είναι για παράδειγμα το μέγεθος της κόρης κάθε οφθαλμού και το κλείσιμο των βλεφάρων. Η αξιοποίηση αυτών των δεδομένων για τον προσδιορισμό για παράδειγμα, της κόπωσης, του άγχους (stress) ή του πιθανού κορεσμού ενεργειών (Task Saturation) του εκπαιδευόμενου, θα είναι αντικείμενο μελλοντικής έρευνας.

#### 4.2.2 Υπολογιστική Διάταξη

Ο Η/Υ φέρει την εφαρμογή Simulation Analyzer (Κεφ. 4.3), η οποία αναπτύχθηκε για τους σκοπούς της παρούσας εργασίας και μέσω αυτής επιτυγχάνεται η ενοποίηση των υπολοίπων εξαρτημάτων του συστήματος, καθώς και η συλλογή, επεξεργασία και απεικόνιση των δεδομένων που παράγουν.

Για την ομαλή λειτουργία του συστήματος απαιτείται σύζευξη του Η/Υ και του ανιχνευτή μέσω διαύλου USB-3.0 λόγω της υψηλής ροής δεδομένων καθώς και τις αυξημένες ανάγκες τροφοδοσίας. Εξαιτίας όμως της απόστασης μεταξύ Cockpit (Ανιχνευτής) και της κονσόλας του Εκπαιδευτή (Η/Υ), επιπλέον του καλωδίου του αισθητήρα μήκους 2m, επιλέχθηκε η χρήση καλωδίου προέκτασης USB 3.0 μήκους 5m με USB 3.0 HUB και ξεχωριστή τροφοδοσία DC 5V/1A.

Για την ολοκλήρωση της εργασίας χρησιμοποιήθηκε φορητός Η/Υ. Για την μόνιμη εγκατάσταση του συστήματος όμως, συστήνεται σταθερός Η/Υ με δύο οθόνες.

Οι ελάχιστες απαιτήσεις του Η/Υ είναι:

- Windows 7/8/10
- Python 2.7
- 400MB Αποθηκευτικού Χώρου
- 4GB RAM
- USB 3.0



### 4.3 SOFTWARE

Στον Η/Υ εκτελείται η εφαρμογή Simulation Analyzer η οποία είναι υπεύθυνη για την καταγραφή δεδομένων από την μονάδα οφθαλμικής παρακολούθησης καθώς και την ανάλυση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων με εύκολο και χρηστικό τρόπο.

Η εφαρμογή Simulation Analyzer εμβαθύνει στην συλλογή δεδομένων από τον Eye Tracker σε πραγματικό χρόνο, την καταγραφή αυτών, την οπτικοποίηση των περιοχών στις οποίες εστιάζουν οι οφθαλμοί του εκπαιδευόμενου, καθώς και την μετέπειτα ανάλυση της συνολικής πτήσης.

#### 4.3.1 Γλώσσα Προγραμματισμού.

Η γλώσσα προγραμματισμού που επιλέχθηκε για την υλοποίηση της συγκεκριμένης εφαρμογής είναι η Python της έκδοσης 2.7 (Python - about, 2017). Η επιλογή της συγκεκριμένης γλώσσας προγραμματισμού έγινε κυρίως για λόγους συμβατότητας τόσο με τις περιφερειακές συσκευές του συστήματος, όσο και για την ευκολία προσάρτησης βιβλιοθηκών ανοικτού κώδικα, υλοποιημένες από την εκτεταμένη κοινότητα προγραμματιστών που την έχουν υιοθετήσει. Έτσι, καθίσταται ευκολότερη η παράθεση και η συζήτηση επί προβλημάτων με την κοινότητα που συντηρεί τα εργαλεία τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για την υλοποίηση της εφαρμογής.

Επιπλέον, αν και ελεύθερο λογισμικό, η γλώσσα προγραμματισμού Python δεν υστερεί σε απόδοση, καθώς η εφαρμογή είναι ικανή να καταγράψει σε κάθε δευτερόλεπτο, 60 δείγματα ανά οφθαλμό και να τα επεξεργαστεί σε πραγματικό χρόνο.

#### 4.3.2 Βιβλιοθήκη PyGaze.

Η βιβλιοθήκη PyGaze είναι ένα αρκετά ισχυρό εργαλείο, ιδιαίτερα διαδεδομένο για την επεξεργασία δεδομένων από πλήθος συσκευών οφθαλμικής παρακολούθησης. Η συγκεκριμένη βιβλιοθήκη είναι ανοικτού κώδικα και έχει χρησιμοποιηθεί για διάφορες ερευνητικές εφαρμογές κυρίως στον τον κλάδο της ψυχολογίας, της διαφήμισης και της γνωσιακής επιστήμης (Dalmaijer, 2017).

Στην παρούσα εργασία, η PyGaze, αποτελεί τον πυρήνα της κύριας εφαρμογής Simulation Analyzer, καθώς μέσω αυτής πραγματοποιείται η επικοινωνία της εφαρμογής με τον ανιχνευτή EyeTribe. Η PyGaze αποτελεί μία βιβλιοθήκη ανοικτού κώδικα και μπορεί να αξιοποιηθεί για την επικοινωνία και με διαφορετικές συσκευές οφθαλμικής παρακολούθησης. Εξαιτίας της δυνατότητας αυτής, η εφαρμογή μπορεί πολύ ευκολά να προσαρμοστεί στις ιδιαιτερότητες διαφορετικών υλοποιήσεων όπου ενδέχεται να απαιτούνται διαφορετικοί ανιχνευτές βλέμματος.

#### 4.3.4 Κύρια Λειτουργία.

Η εφαρμογή Simulation Analyzer αναπτύχθηκε έτσι ώστε να εξυπηρετεί δύο κύριους σκοπούς, όπως παρακάτω:

α. Δεδομένα Πραγματικού Χρόνου (Real Time Data Presentation): Επεξεργάζεται και παρουσιάζει σε πραγματικό χρόνο τα δεδομένα εστίασης βλέμματος, ώστε να παρέχει στον Εκπαιδευτή ένα βοήθημα για να εντοπίσει έγκαιρα και σωστά τις πιθανές αιτίες της ενδεχόμενης εκτός ορίων απόδοσης του Εκπαιδευόμενου, αλλά και της τεχνικής διασταυρωτικού ελέγχου του. Η απεικόνιση αυτή, συνεπικουρεί τον Εκπαιδευτή ώστε να δώσει τις κατάλληλες συμβουλές στον

Εκπαιδευόμενο αλλά και να επιλέξει τις κατάλληλες κατά περίπτωση συνθήκες της αποστολής που θα εξασκήσουν τον Εκπαιδευόμενο, ώστε να πετύχει την επιθυμητή απόδοση.

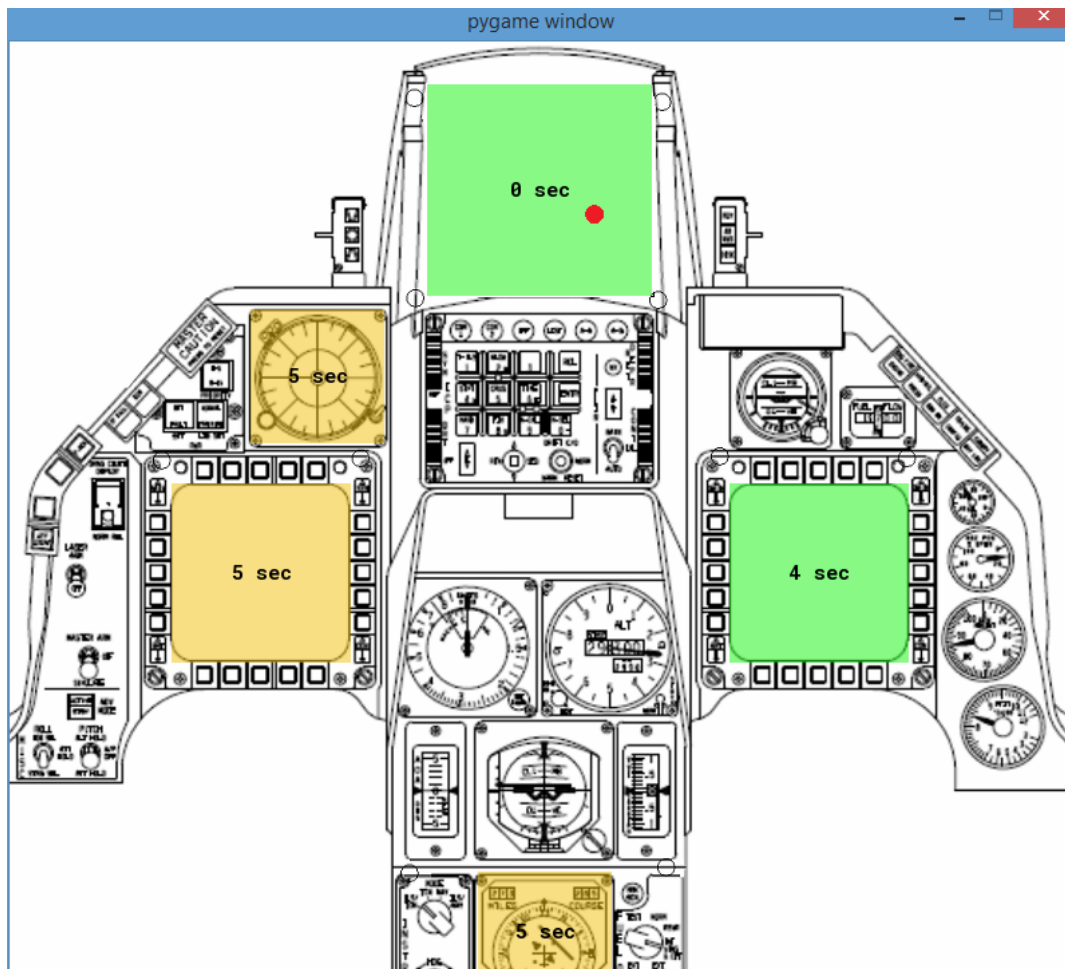
β. Ανάλυση Μετά Πτήσης (Post Flight Data Analysis): Καταγράφει και αναλύει, επιλεγμένα από τον εκπαιδευτή τμήματα, καθώς και το σύνολο της εικονικής πτήσης μετά από την ολοκλήρωση της. Σκοπός είναι να παρέχει σε Εκπαιδευτές και Εκπαιδευόμενους ένα επιπλέον, αντικειμενικό εργαλείο για την απενημέρωση (Debriefing) της αποστολής, ώστε να συμβάλει στην αποτύπωση της γνωσιακής συμπεριφοράς των εκπαιδευόμενων χειριστών καθώς και στην κατανόηση των πιθανών σφαλμάτων.

#### 4.3.5 Δεδομένα Πραγματικού Χρόνου

Για την επίτευξη του πρώτου σκοπού, στο κύριο παράθυρο της εφαρμογής, απεικονίζεται με μία κόκκινη κουκίδα το τρέχον σημείο που εστιάζει το βλέμμα του ο Εκπαιδευόμενος, ώστε να δύναται ο Εκπαιδευτής να εντοπίζει που εστιάζει την προσοχή του ο εκπαιδευόμενος σε κάθε φάση της πτήσης. Όπως όμως γίνεται ευκολά αντιληπτό, για την εξαγωγή χρηστικών συμπερασμάτων μόνο από αυτό, θα απαιτούσε από τον Εκπαιδευτή την πλήρη προσήλωση του στην ερμηνεία μιας «νευρικά» κινούμενης κουκίδας, με αποτέλεσμα την δυσχέρεια του έργου του και τελικά την απαξίωση της μεθόδου.

Προκειμένου να εισάγουμε ένα πρώτο επίπεδο επεξεργασίας των δεδομένων και χρηστικής απεικόνισης των αποτελεσμάτων, έχουν σχεδιαστεί πέντε (5) ενεργές επιφάνειες γραφικών που επικαλύπτουν το σχεδιάγραμμα του πιλοτηρίου. Οι επιφάνειες αυτές αντιστοιχούν σε κάθε μία από τις πέντε (5) επιλεγμένες οθόνες ενδιαφέροντος στο Cockpit: HUD, LMFD, RMFD, RWR και HSI (Παρ. 3.3).

Οι επιφάνειες ενδιαφέροντος έχουν σχεδιαστεί ώστε να αλλάζουν χρώμα, ανάλογα με τον χρόνο που το βλέμμα του εκπαιδευομένου έχει να εστιάσει σε κάθε μία



Εικόνα 4-7: Το κυρίως παράθυρο της εφαρμογής Simulator Analyzer

από αυτές. Τα χρώματα που παίρνουν είναι πράσινο, πορτοκαλί και κόκκινο αντικατοπτρίζοντας το αν ο Εκπαιδευόμενος ανανεώνει τις πληροφορίες που απεικονίζονται στις οθόνες ενδιαφέροντος του Cockpit με ικανοποιητικό, οριακό ή μη ικανοποιητικό ρυθμό. Επιπλέον, στο κέντρο κάθε επιφάνειας / οθόνης, απεικονίζεται ο χρόνος που έχει περάσει (Dwell Interval, sec), από την τελευταία «επίσκεψη» του βλέμματος σε αυτή. Οι πληροφορίες αυτές ανανεώνονται με ρυθμό 60Hz, καθώς αυτός είναι και ο επιλεγμένος – μέγιστος ρυθμός που μπορεί να δώσει δεδομένα ο ανιχνευτής βλέμματος, ενώ η διαφάνεια των ενεργών επιφανειών έχει οριστεί στο 50%, ώστε να μην καλύπτουν πλήρως το σχεδιάγραμμα του Cockpit (Εικόνα 4-11):

Για τον διαχωρισμό των τριών κατηγοριών – χρωμάτων, ορίζονται δύο χρόνοι, ο  $t_1$  και  $t_2$  (όπου  $t_2 > t_1$ ), οι οποίοι επιλέγονται από τον Εκπαιδευτή, ανάλογα με το είδος της αποστολής που εκτελεί ο Εκπαιδευόμενος. Μόλις το Dwell Interval (DI) υπερβεί κάποιον από αυτούς χρόνους, τότε γίνεται αλλαγή του χρώματος της επιφάνειας αυτής, στο χρώμα της επόμενης κατηγορίας, ως εξής:

- Ικανοποιητικός ρυθμός (Πράσινο)  $DI \leq t_1$

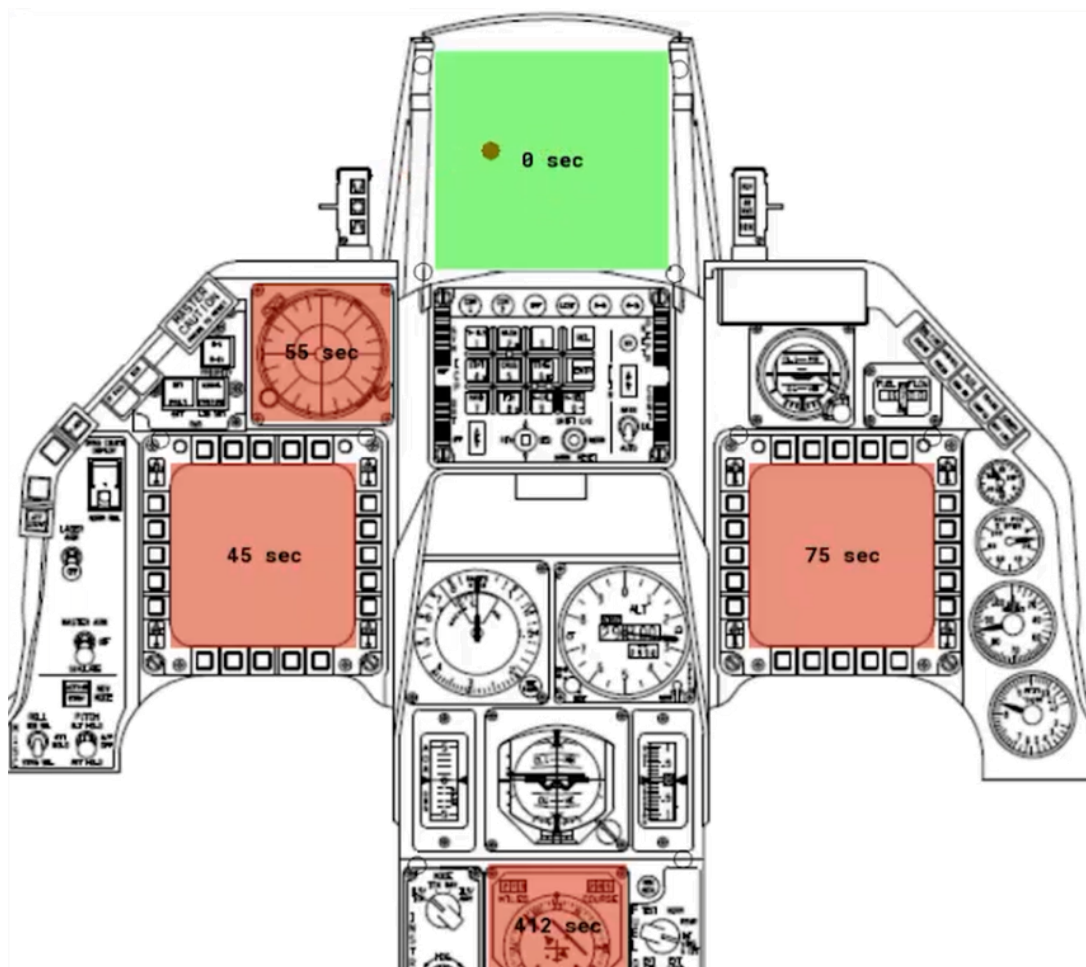
- Οριακός ρυθμός (Πορτοκαλί)  $DI > t_1$

- Μη ικανοποιητικός ρυθμός (Κόκκινο)  $DI > t_2$

Αναλυτικότερα, μόλις ο Εκπαιδευόμενος εστιάσει το βλέμμα του σε κάποια επιφάνεια, ο χρόνος απουσίας εστίασης για την συγκεκριμένη επιφάνεια μηδενίζεται και η επιφάνεια γίνεται πράσινη. Μόλις ο χρόνος απουσίας εστίασης ξεπεράσει το χρόνο  $t_1$ , η αντίστοιχη επιφάνεια αποκτά πορτοκαλί χρωματισμό. Σε περίπτωση που ξεπεραστεί και ο χρόνος  $t_2$ , η επιφάνεια γίνεται κόκκινη. Η παραπάνω λειτουργία εκτελείται για κάθε επιφάνεια ξεχωριστά.

Σκοπός της λειτουργίας αυτής είναι η αποτύπωση στην οθόνη του Εκπαιδευτή, του ρυθμού με τον οποίο ο Εκπαιδευόμενος ανανεώνει τις πληροφορίες από τις οθόνες ενδιαφέροντος, χρησιμοποιώντας έναν κατανοητό χρωματικό κώδικα.

Έτσι, όταν στο κύριο παράθυρο της εφαρμογής, υπερισχύει το πράσινο ή/και το πορτοκαλί χρώμα (Εικόνα 4-8) είναι μια ποιοτική ένδειξη ότι ο Εκπαιδευόμενος εκτελεί ικανοποιητικό διασταυρωτικό έλεγχο. Αντίθετα, στην περίπτωση που στην εικόνα υπερισχύει το κόκκινο χρώμα είναι μια ένδειξη ότι ο Εκπαιδευόμενος δεν εκτελεί ικανοποιητικό διασταυρωτικό έλεγχο. Όπως διακρίνεται στο παρακάτω παράδειγμα (Εικόνα: 4-12), στο οποίο φαίνεται καθαρά ότι ο Εκπαιδευόμενος έχει επικεντρώσει την προσοχή του στο HUD, αγνοώντας τις υπόλοιπες οθόνες.



*Εικόνα 4-8: Μη ικανοποιητικός διασταυρωτικός έλεγχος οθονών-οργάνων.*

Με τον συνδυασμό των τριών αυτών ενδείξεων επί του σχεδιαγράμματος του Cockpit: Απεικόνιση βλέμματος Εκπαιδευομένου σε πραγματικό χρόνο, Χρωματικός κώδικας ενεργών επιφανειών και Χρόνος απουσίας εστίασης βλέμματος (DI) από κάθε

οθόνη ενδιαφέροντος, ο Εκπαιδευτής διευκολύνεται σημαντικά ώστε να εντοπίζει έγκαιρα, τις πιθανές αιτίες για την χαμηλή απόδοση του Εκπαιδευομένου. Επίσης μπορεί να τον συμβουλέψει με ακρίβεια για την σωστή τεχνική που θα πρέπει να ακολουθήσει. Με βάση τα ανωτέρω συμπεράσματα, ο Εκπαιδευτής έχει την δυνατότητα να τροποποιήσει το σενάριο της αποστολής ώστε ο Εκπαιδευόμενος να εκπαιδευτεί στους τομείς που απαιτείται με αντικειμενικό σκοπό την εξάλειψη των σφάλματων και την βελτίωση της απόδοσης του. Επιπλέον, καταδεικνύοντας με διπλό «κλικ» από το ποντίκι του H/Y κάποια από τις ενεργές επιφάνειες, τα LED που γειτνιάζουν με την αντίστοιχη οθόνη στο Cockpit ανάβουν με δύο σύντομες ερυθρές αναλαμπές, ώστε να τραβήξουν την προσοχή του Εκπαιδευομένου στην οθόνη αυτή, χωρίς να απαιτείται συνεχώς η καθοδήγηση του Εκπαιδευτή, μέσω της ενδοεπικοινωνίας.

Ιδιαίτερα σημαντικό είναι ότι αυτή η δυνατότητα παρέχεται σε πραγματικό χρόνο κατά την διάρκεια της πτήσης στον εξομοιωτή, έτσι οι παρεμβάσεις – οδηγίες του Εκπαιδευτή αποκτούν πολλαπλάσια βαρύτητα σε σχέση με τις διαπιστώσεις – παρατηρήσεις προς τον Εκπαιδευόμενο μετά το πέρας της αποστολής (Debriefing). Επιπλέον, από την έως τώρα έρευνα στην διεθνή βιβλιογραφία, η δυνατότητα εμφάνισης δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, όπως αναλύθηκε παραπάνω, παρουσιάζεται για πρώτη φορά.

#### 4.3.6 Καταγραφή Δεδομένων

Επιπλέον των εργαλείων πραγματικού χρόνου, αναπτύχθηκε και η δυνατότητα για ανάλυση των δεδομένων εστίασης βλέμματος για επιλεγμένα τμήματα ή/και το σύνολο της αποστολής, μετά το πέρας αυτής. Προκειμένου να είναι εφικτή αυτή η

ανάλυση, η εφαρμογή Simulator Analyzer καταγράφει και αποθηκεύει σε δομημένο σύστημα φακέλων, τα παρακάτω δύο είδη δεδομένων:

α) Δεδομένα εστίασης βλέμματος.

Πρόκειται για την καταγραφή κάθε εστίασης των οφθαλμών του Εκπαιδευομένου που ανιχνεύτηκε επιτυχώς από τον Eye Tracker και την αποθήκευση τους σε ένα αρχείο τύπου «Tab Separated Values» με το όνομα gaze\_data.tsv. Στο αρχείο αυτό καταγράφονται με χρονική σειρά και την μέγιστη δυνατή λεπτομέρεια για κάθε μάτι, όλες οι εστιάσεις βλέμματος που εντοπίζει ο ανιχνευτής σε απόλυτες αλλά και μέσες τιμές (raw / avg). Επιπλέον ορισμένων δεδομένων αρχικοποίησης (Initiation Report) στα οποία καταγράφονται η ανάλυση της οθόνης, η συχνότητα δειγματοληψίας, η ακρίβεια βαθμονόμησης κ.α. καταγράφονται επίσης, τα χωρικά και χρονικά δεδομένα των μετρήσεων (X, Y, fixation time), αλλά και το μέγεθος της κόρης των οφθαλμών του Εκπαιδευομένου, που αποτυπώνονται στα παρακάτω πεδία καταγραφής:

- timestamp, time, fix, state (Χρόνος, διάρκεια και ποιότητα μέτρησης)
- rawx, rawy, avgx, avgy, psize (Μ.Ο. συντεταγμένων και μεγέθους κόρης)
- Lrawx, Lrawy, Lavgx, Lavgy, Lpsize, Lpupilx, Lpupily (Αριστερός οφθαλμός)
- Rrawx, Rrawy, Ravgx, Ravgy, Rpsize, Rpupilx, Rpupily (Δεξίς οφθαλμός)

Τα δεδομένα αυτά αξιοποιούνται για την δημιουργία των γραφημάτων “RAW DATA” και “HEATMAP”, που θα αναλυθούν στην Παρ. 4.3.8.

β) Δεδομένα χρόνου απουσίας εστίασης βλέμματος (Revision Interval) .

Επιπλέον των εξαγόμενων από τον ανιχνευτή δεδομένων, η εφαρμογή καταγράφει τους χρόνους Revision Interval (RI) για κάθε ενεργή επιφάνεια, σε



ξεχωριστά αρχεία τύπου Tab Separated Values με τα ονόματα HUD.txt, LMFD.txt, RMFD.txt, RWR.txt και HSI.txt. Στα αρχεία αυτά, καταγράφονται επίσης τα δεδομένα αρχικοποίησης (Initialization Header) που αφορούν τον Εκπαιδευόμενο, τον Εκπαιδευτή, την εκτελούμενη αποστολή, την ημερομηνία και την ώρα έναρξης της καταγραφής. Στην συνέχεια, σε κάθε γραμμή καταγράφονται με χρονική σειρά ο τρέχον χρόνος αποστολής σε δευτερόλεπτα από την έναρξη (Time) στον οποίο το βλέμμα του Εκπαιδευομένου εστίασε στην οθόνη ενδιαφέροντος. Δηλαδή, όταν η ενεργή επιφάνεια έγινε πράσινη, καθώς επίσης και ο χρόνος που μεσολάβησε (Interval) από την προηγούμενη εστίαση στην οθόνη αυτή. Παρακάτω φαίνεται ένα παράδειγμα της δομής του αρχείου HUD.txt:

Serial No:	60385
Mission:	SIM-1
Date:	22/03/2017
Time:	12:58:13
Time	Interval
290.8	3.8
292.6	1.3
293.8	0.1
295.1	1.1
296.8	0.3
301.2	4.0
302.1	0.3

Τα δεδομένα αυτά αξιοποιούνται για την δημιουργία των διαγραμμάτων χρόνου απουσίας εστίασης βλέμματος, του κινητού μέσου όρου του ρυθμού ανανέωσης της πληροφορίας (Revision Interval) και της εκτίμησης του SA, όπως θα αναλυθούν στις Παρ. 4.3.9 και 4.3.10.

#### 4.3.7 Πίνακας Ελέγχου (Control Panel)

Προκειμένου να είναι δυνατή η πλήρης παραμετροποίηση και προσαρμογή των μεταβλητών της εφαρμογής στις διαφορετικές απαιτήσεις κάθε αποστολής, δημιουργήθηκε ο απαραίτητος Πίνακας Ελέγχου, όπως φαίνεται στην Εικόνα που ακολουθεί:

	HUD	LMFD	RMFD	RWR	HSI
LL_NAV	t1 5	t1 5	t1 5	t1 5	t1 5
	t2 7	t2 7	t2 7	t2 7	t2 7
A/A	t1 5	t1 5	t1 5	t1 5	t1 5
	t2 7	t2 7	t2 7	t2 7	t2 7
MIX	t1 5	t1 5	t1 5	t1 5	t1 5
	t2 7	t2 7	t2 7	t2 7	t2 7
IFR	t1 5	t1 5	t1 5	t1 5	t1 5
	t2 7	t2 7	t2 7	t2 7	t2 7

Serial No:

Student Name:

Instructor Name:

SIM:

Clear

Record

Εικόνα 4-9: Πίνακας Ελέγχου εφαρμογής Simulator Analyzer

Για τον σχεδιασμό του πίνακα ελέγχου, αξιοποιήθηκε η βιβλιοθήκη γραφικών wxPython (wxPython GUI Library, 2017). Πρόκειται για βιβλιοθήκη ανοικτού κώδικα, ιδιαίτερα ευέλικτη και με μεγάλη κοινότητα μηχανικών που την υποστηρίζει. Από την συγκεκριμένη βιβλιοθήκη έχουν χρησιμοποιηθεί το ίδιο το παράθυρο, ο πίνακας των τιμών t1 και t2, τα κουμπιά και τα πεδία εισαγωγής κειμένου.

Η εισαγωγή των στοιχείων, ξεκινά από την φόρμα αρχικοποίησης όπου, από επάνω προς τα κάτω, συμπληρώνονται ο Αριθμός Στρατολογικού Μητρώου

Αξιοματικού (ΑΣΜΑ) του εκπαιδευόμενου (Serial Number), το όνομα του Εκπαιδευόμενου, το όνομα του Εκπαιδευτή και ο κωδικός αριθμός αποστολής (SIM). Με το πάτημα του κουμπιού “Set”, δημιουργείται ή ενημερώνεται η δομή των φακέλων αρχειοθέτησης κατά ΑΣΜΑ/Ημερομηνία/Αποστολή (πχ 60385/22\_03\_2017/SIM-1), καθώς και των αρχείων καταγραφής, προσθέτοντας αυτόματα την ημερομηνία και ώρα του συστήματος. Ο καθαρισμός των πεδίων προκειμένου να γίνει νέα εισαγωγή πραγματοποιείται με το κουμπί “Clear”.

Στην συνέχεια επιλέγουμε τους χρόνους αλλαγής χρωμάτων t1 (Οριακός - Πορτοκαλί) και t2 (Μη ικανοποιητικός - Κόκκινο), ανάλογα με το είδος της αποστολής που εκτελεί ο Εκπαιδευόμενος, επιλέγοντας μέσω των κουμπιών στην αριστερή πλευρά, προ-τοποθετημένες τιμές για τους παρακάτω βασικούς τύπους αποστολών:

- Χαμηλή Ναυτιλία (LL\_NAV)
- Εναέρια Μάχη (A/A)
- Μεικτή Αποστολή (MIX)
- Ενόργανη Πτήση (IFR)

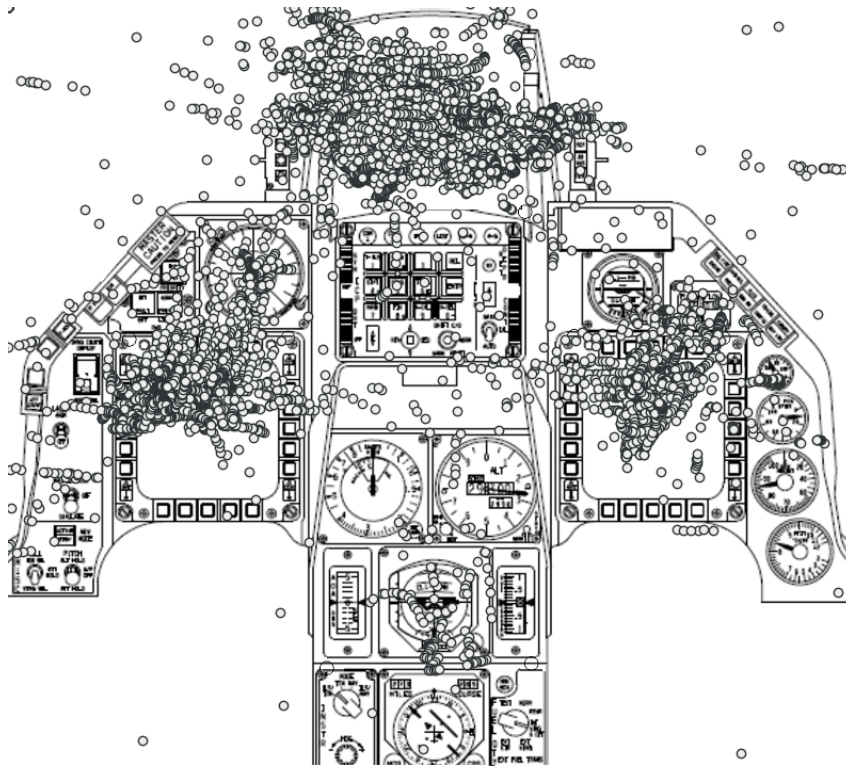
Στην περίπτωση που απαιτείται αλλαγή των χρόνων αυτών, μπορεί να γίνει καθ’ όλη την διάρκεια της αποστολής είτε στο σύνολο των τιμών επιλέγοντας διαφορετικό τύπο αποστολής, είτε με τροποποίηση μεμονωμένων πεδίων στην ήδη επιλεγμένη σειρά τιμών. Ως αρχικές τιμές αναφοράς επιλέχθηκαν οι t1=5sec και t2=7sec για όλους τους προεπιλεγμένους τύπους αποστολών. Με αυτές τις τιμές έγιναν οι δοκιμές για τους σκοπούς αυτής της εργασίας. Οι τιμές αυτές αναμένεται να τροποποιηθούν ως απόρροια εκτεταμένης ανάλυσης μεγαλύτερου και αντιπροσωπευτικότερου δείγματος αποστολών και πιλότων.

Στο κάτω μέρος του Πίνακα Ελέγχου, υπάρχουν τα κουμπιά ελέγχου καταγραφής και ανάλυσης δεδομένων, με τα οποία ο Εκπαιδευτής έχει τη δυνατότητα να επιλέξει (από τα αριστερά προς τα δεξιά), καταγραφή, διακοπή καταγραφής, ανάλυση δεδομένων και έξοδο από την εφαρμογή.

#### 4.3.8 Γραφική απεικόνιση – Ποιοτική ανάλυση δεδομένων.

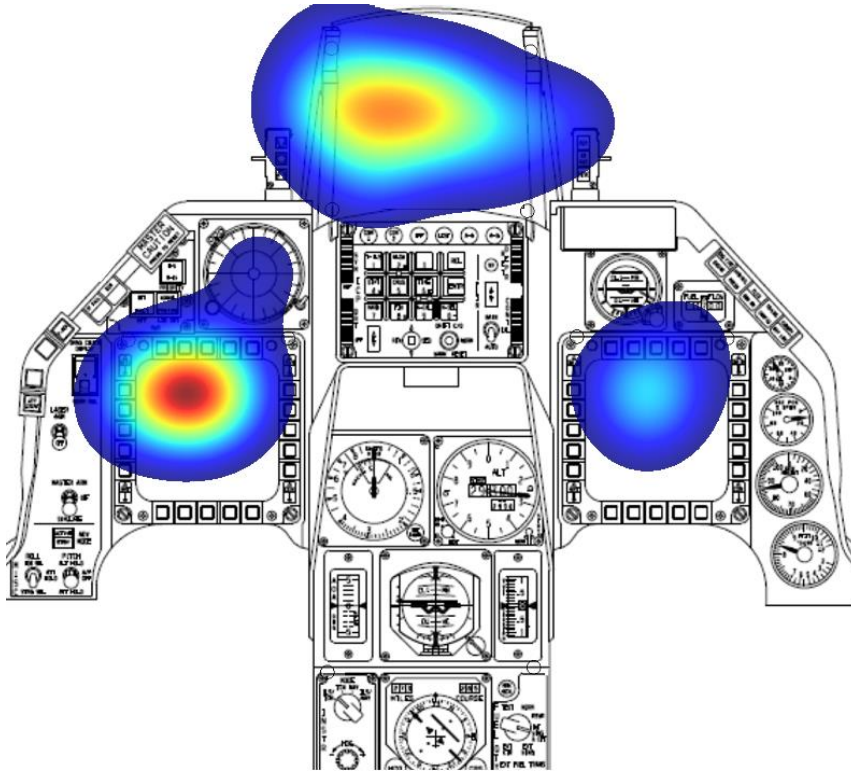
Το πιο απλό γράφημα που δημιουργείται από την εφαρμογή είναι η σωρευτική απεικόνιση χωρίς επιπλέον επεξεργασία (Raw Data), όλων των σημείων εστίασης βλέμματος (Fixations) επί της περιοχής ενδιαφέροντος στο Cockpit. Τα σημεία εστίασης σχεδιάζονται ως μικροί κύκλοι οι οποίοι επικάθονται στο σχεδιάγραμμα του Cockpit και σχηματίζουν «νέφη» στις περιοχές όπου εστίασε περισσότερο το βλέμμα του ο Εκπαιδευόμενος, αλλά και κενά στα σημεία που δεν εστίασε καθόλου.

Όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-14, για μια καταγραφή διάρκειας ~ 6 min, γίνεται αντιληπτή, η πληθώρα των μετρήσεων του ανιχνευτή, οι περιοχές στις οποίες συγκεντρώνονται οι εστιάσεις του βλέμματος (HUD, LMFD, RMFD, RWR) αλλά και οι περιοχές οι οποίες έχουν αγνοηθεί από τον Εκπαιδευόμενο (HSI, Όργανα Κινητήρα κλπ.).

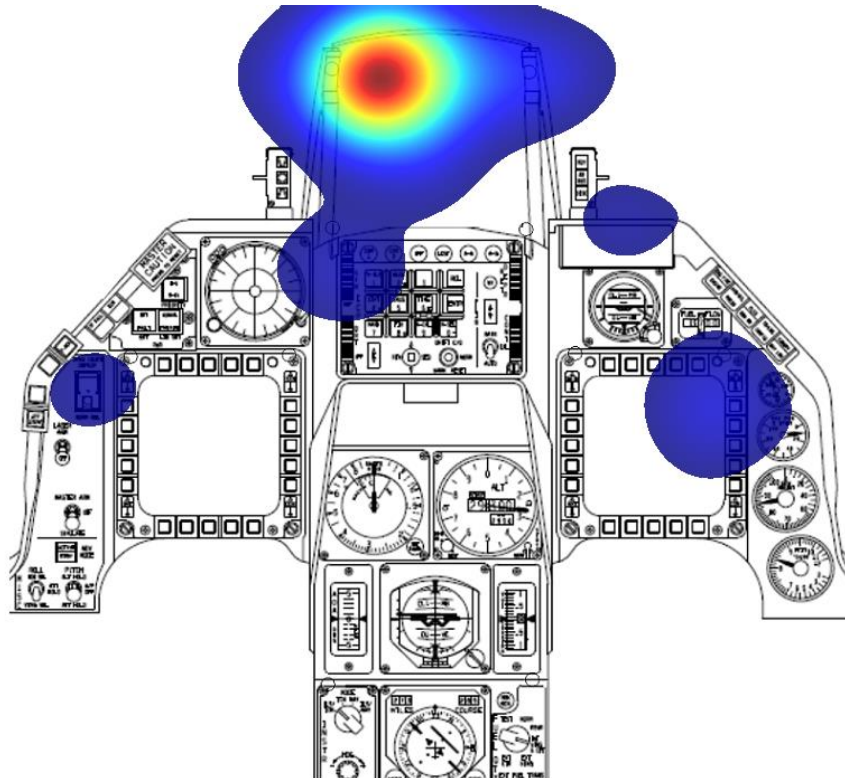


Εικόνα 4-10: Γράφημα “RAW DATA”

Η κύρια γραφική μέθοδος όμως, είναι το «θερμοκρασιακό διάγραμμα» εστιάσεων (Fixation HeatMap) στο οποίο απεικονίζεται για κάθε περιοχή στο Cockpit, η διάρκεια των εστιάσεων του βλέμματος (Fixation Duration) σε σχέση με την συνολικά καταγεγραμμένη διάρκεια εστιάσεων. Μια εναλλακτική δηλαδή απεικόνιση με μορφή γραφικών, του δείκτη PDT (Παρ. 2.3.1). Η απεικόνιση γίνεται με την χρήση βαθμιαίου χρωματικού / «θερμοκρασιακού» κώδικα, ξεκινώντας από το Μπλε (Ψυχρό) για μικρή σχετική διάρκεια, έως το Κόκκινο (Θερμό) για μεγάλη. Αναλύοντας με αυτή την μέθοδο την προηγούμενη καταγραφή, μπορούμε εύκολα να διακρίνουμε το κατά πόσο ο Εκπαιδευόμενος είχε κατανεμημένη την προσοχή του στις οθόνες του Cockpit, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-15, ή αν έχει εσφαλμένα εστιάσει κυρίως στο HUD, που είναι και το σύνηθες για πιλότους μικρής εμπειρίας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4-16:



Εικόνα 4-11: HeatMap - Κατανεμημένη εστίαση βλέμματος

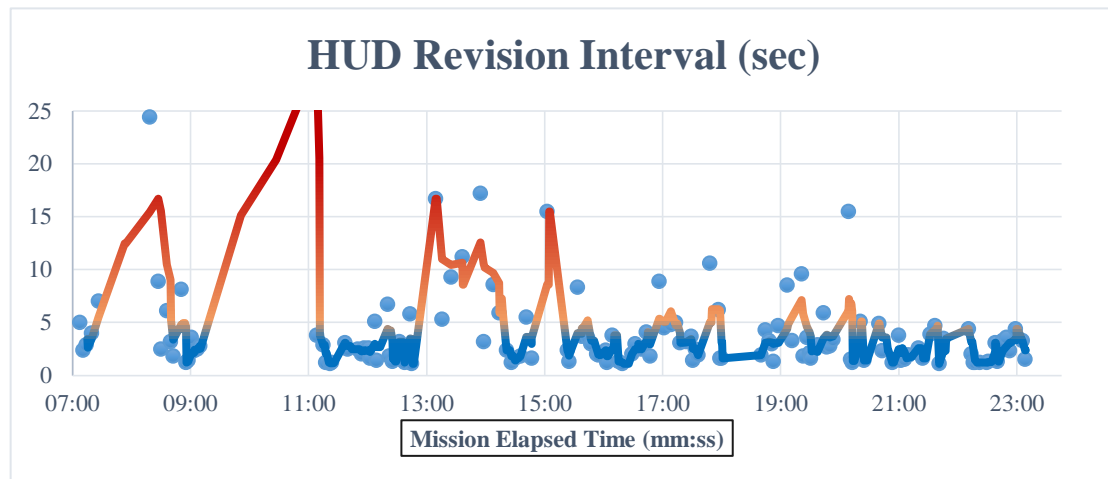


Εικόνα 4-12: HeatMap - Προσκολλημένη εστίαση βλέμματος στο HUD

#### 4.3.9 Ανάλυση δεδομένων μεσοδιαστήματος εστίασης (Revision Interval).

Τα καταγεγραμμένα δεδομένα μεσοδιαστήματος εστίασης βλέμματος για κάθε οθόνη, μπορούν ευκολά να απεικονισθούν σε ένα διάγραμμα σε σχέση με τον χρόνο αποστολής. Επιπλέον των απόλυτων τιμών του Interval, στο διάγραμμα αυτό υπολογίζεται και εμφανίζεται ο κινητός M.O. των 5 τελευταίων τιμών ως μια συνεχόμενη γραμμή (Revision Interval) που απεικονίζει την τάση του Εκπαιδευομένου για ικανοποιητικό ή μη διασταυρωτικό έλεγχο και χρωματίζεται ώστε να αντιστοιχεί στο χρώμα της οθόνης στην εκάστοτε χρονική στιγμή.

Για τον ορθότερο υπολογισμό των διαγραμμάτων δεν εμφανίζονται καταγραφές με Interval < 1sec, διότι ο χρόνος αυτός θεωρείται ο ελάχιστος για μια επιτυχή εστίαση και πρόσληψη των απαραίτητων πληροφοριών από κάθε οθόνη. Επίσης, με αυτό το φίλτρο απαλείφονται οι καταγραφές κατά τις οποίες το βλέμμα εμφανιζόταν να μεταπηδά (Jitter) εντός και εκτός της ενεργής επιφάνειας, όταν ο Εκπαιδευόμενος εστίαζε το βλέμμα του στα εξωτερικά όρια της οθόνης, εγγύτερα από τα όρια της ακρίβειας του ανιχνευτή. Για κάθε οθόνη, υπολογίζεται και ένα διαφορετικό διάγραμμα. Στο Διάγραμμα 4-1, παρατηρούμε την απεικόνιση της βελτίωσης του διασταυρωτικού ελέγχου του HUD κατά την διάρκεια μιας αποστολής.



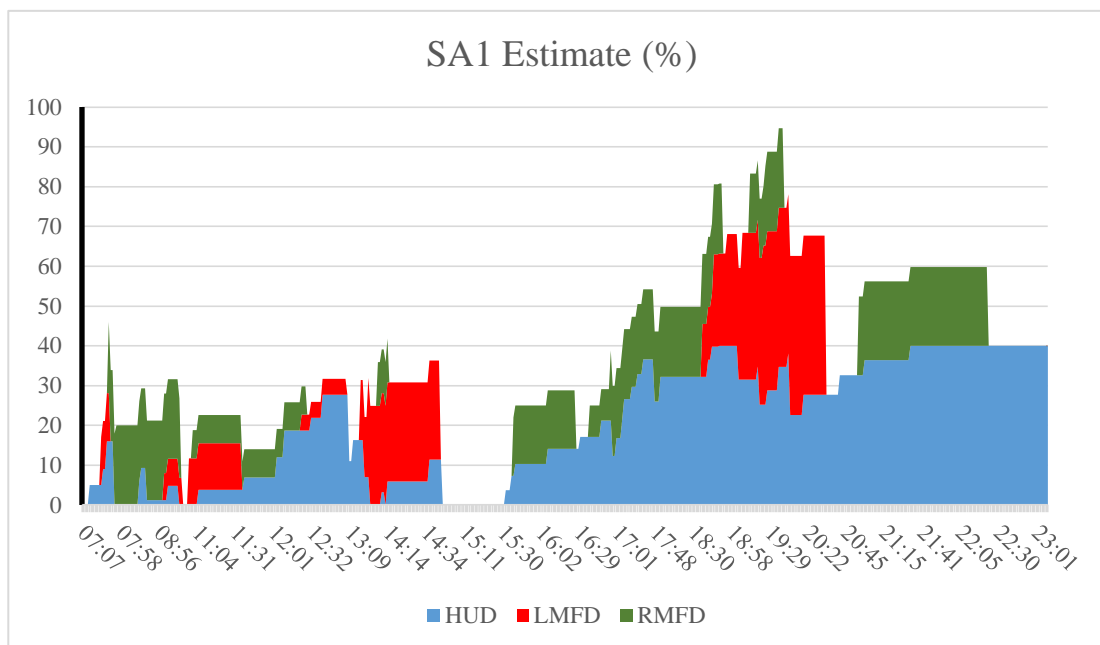
Διάγραμμα 4-17: HUD Revision Interval

#### 4.3.10 Υπολογισμός δείκτη αντίληψης της κατάστασης (SA).

Όπως αναλύθηκε στο Κεφ. 2, παρόλο που η προηγούμενη έρευνα έχει συσχετίσει τις οφθαλμικές κινήσεις των πιλότων τόσο με την εμπειρία, όσο και με τον φόρτο εργασίας / κόπωση, εντούτοις δεν υπάρχει κάποια σαφής συσχέτιση με την αντίληψη της κατάστασης (SA) κατά την διάρκεια της πτήσης. Προκειμένου να γίνει εφικτή μια ποσοτική εκτίμηση του SA, είναι απαραίτητο να το ορίσουμε με μετρήσιμο τρόπο. Σύμφωνα με ένα διαδεδομένο ορισμό, το SA δομείται σε τρία επίπεδα ως εξής: «Η ικανότητα αντίληψης (LVL 1 SA) των στοιχείων του αμέσου περιβάλλοντος σε χώρο και χρόνο, η ερμηνεία τους (LVL 2 SA) και η πρόβλεψη – προβολή τους στο άμεσο μέλλον (LVL 3 SA)» (Endsley M. R., 1988). Η ικανότητα αντίληψης των στοιχείων προϋποθέτει την εστίαση του βλέμματος στα στοιχεία αυτά καθ' αυτά, συνεπώς μπορεί να μετρηθεί.



Ο συνδυασμός των παραπάνω μας δείχνει το υπολογιζόμενο συνολικό LVL 1 SA του Εκπαιδευομένου κατά την διάρκεια της αποστολής, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 4-18:



Διάγραμμα 4-18: Συνολικό LVL 1 SA

Η παραπάνω μέθοδος υπολογισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογίσει το LVL 1 SA τόσο μετά το πέρας της πτήσης, όσο και κατά την διάρκεια της, ως ένα επιπλέον μετρήσιμο βοήθημα πραγματικού χρόνου για τον Εκπαιδευτή, πέραν αυτών που αναλύθηκαν στην Παρ. 4.3.5.

Επιπλέον, η ακρίβεια του αποτελέσματος δύναται να βελτιωθεί μετά από την εκτεταμένη συλλογή δεδομένων εστίασης και την παραγοντική ανάλυση τους, με σκοπό την βελτίωση των σταθερών τιμών που χρησιμοποιούνται στους υπολογισμούς.

## 5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 5.1 ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΑ ΣΕΝΑΡΙΑ ΔΟΚΙΜΩΝ

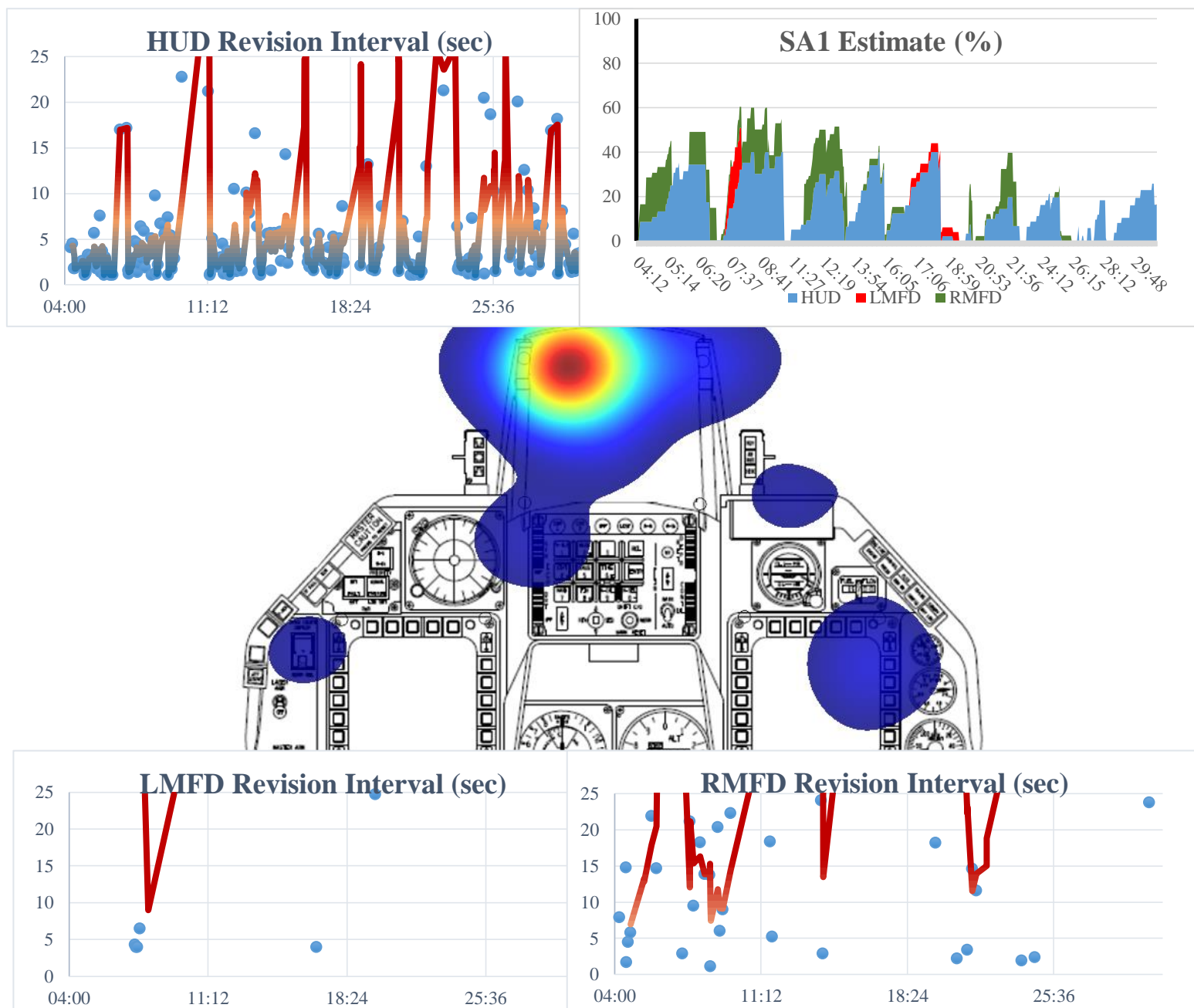
Για τον σκοπό της εργασίας επιτεύχθηκε η καταγραφή και ανάλυση οκτώ (8) εξομοιώσεων αποστολών Τυπικών Αναχαιτήσεων 1vs1 (INT), από τις οποίες στις πρώτες τέσσερις (4) συμμετείχαν Εκπαιδευόμενοι μικρής εμπειρίας, ενώ στις επόμενες τέσσερις (4) συμμετείχαν Εκπαιδευόμενοι μεγαλύτερης εμπειρίας. Οι καταγραφές έγιναν το διάστημα από 23/01/2017 έως 24/03/2017.

Εξ αιτίας των περιορισμών που αναλύθηκαν στην Παρ. 3-1, στην παρούσα εργασία δεν αναφέρονται τα ονόματα των Εκπαιδευομένων – Εκπαιδευτών, οι οποίοι συμμετείχαν οικειοθελώς στις δοκιμές. Για τον λόγο αυτό επίσης, οι καταγραφές αριθμούνται και παρουσιάζονται από #1 έως #8, από την χειρότερη προς την καλύτερη επίδοση, χωρίς λοιπά στοιχεία.

Για την πληρέστερη κατανόηση και σύγκριση των καταγραφών, θα παρουσιαστούν ομαδοποιημένα τα εργαλεία ανάλυσης των δεδομένων που περιεγράφηκαν στις Παρ 4.3.8 έως 4.3.10, συνοδευόμενα από τις εξαγόμενες παρατηρήσεις – συμπεράσματα και τον κατάλληλο εμπειρικό σχολιασμό. Η δημιουργία των διαγραμμάτων πραγματοποιήθηκαν με τη χρήση του προγράμματος Excel 2013.

## 5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΤΑΓΡΑΦΩΝ

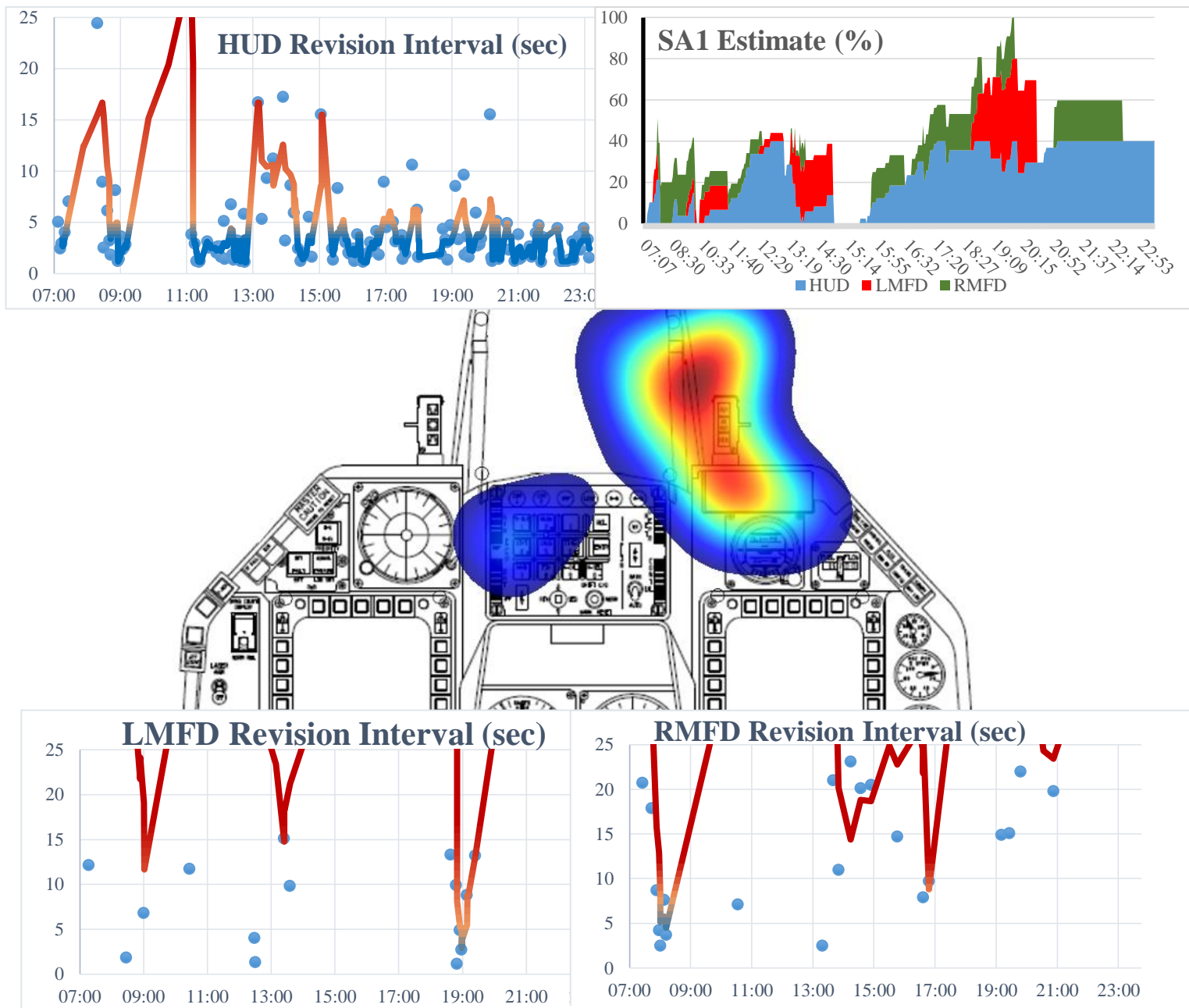
### 5.2.1 Καταγραφή #1



Εικόνα 5-1: Ανάλυση καταγραφής #1

Στην πρώτη καταγραφή, διάρκειας ~25 min, παρατηρούμε ότι ο εκπαιδευόμενος, δεδομένης της μικρής του εμπειρίας, δυσκολεύεται να εντάξει στον διασταυρωτικό του έλεγχο και τις τρεις κύριες οθόνες. Αντίθετα, εμφανίζει μεγάλη προσήλωση στο HUD, με συνεπακόλουθο το μικρό εκτιμώμενο SA1. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές στον χρόνο ~11:00 όπου, προσπαθώντας να ελέγξει το RMFD, καθυστερεί πολύ (>20'') να εστιάσει και πάλι στο HUD.

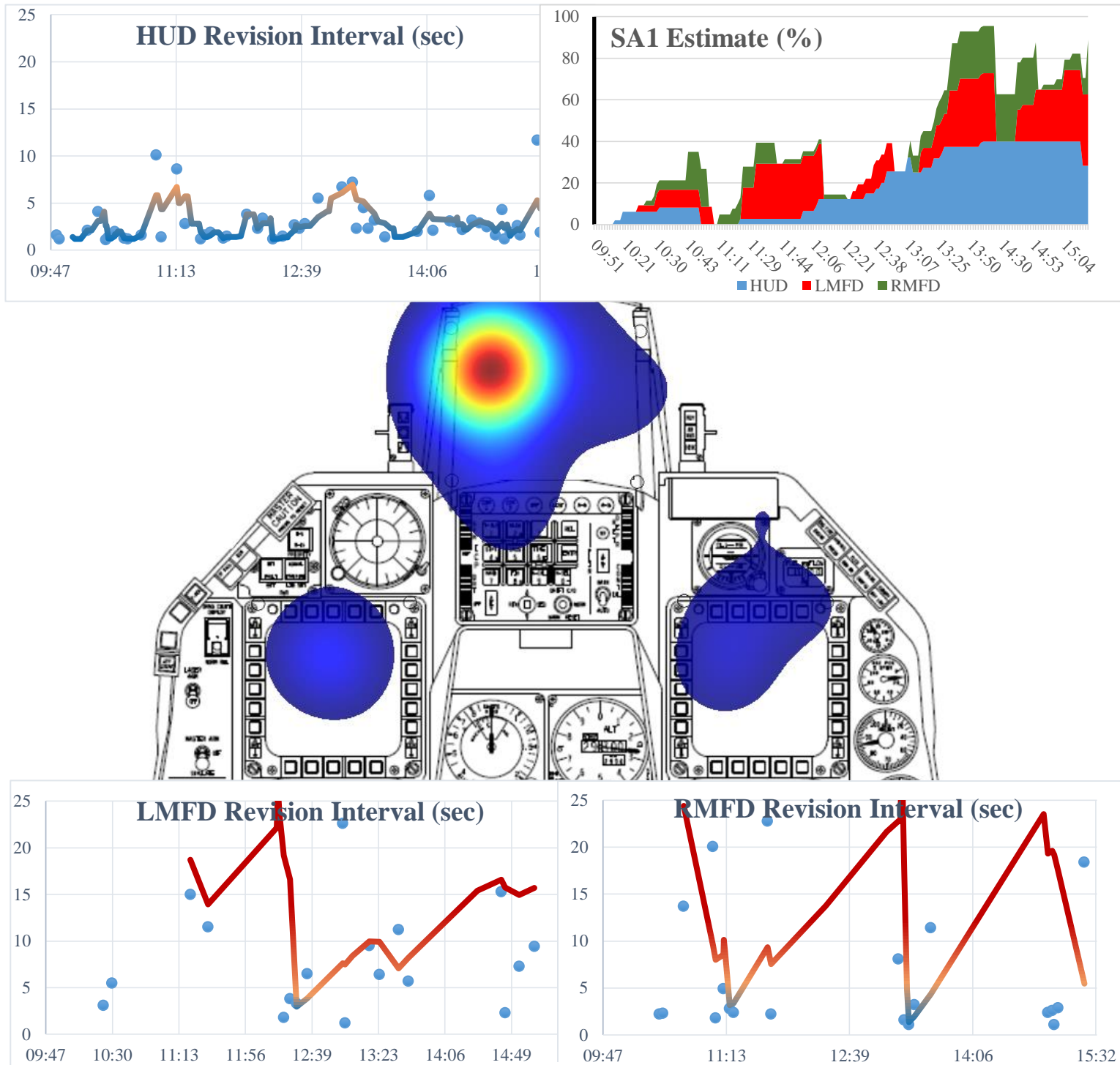
### 5.2.2 Καταγραφή #2



Εικόνα 5-2: Ανάλυση καταγραφής #2

Εδώ έχουν καταγραφεί δύο επαναλήψεις του σεναρίου (INT 1vs1), είναι εμφανής η μικρή απόδοση του Εκπαιδευομένου κατά την πρώτη προσπάθεια με όλες οι οθόνες να «κοκκινίζουν», συμπαρασύροντας το εκτιμώμενο SA1 < 40%. Μετά την παροχή κατάλληλων οδηγιών από τον Εκπαιδευτή (~15:00) γίνεται αντιληπτή η βελτίωση, ιδίως όσον αφορά το HUD. Επίσης, παρατηρούμε στο Fixation Heatmap την εστίαση του βλέμματος στο πληκτρολόγιο του Α/Φ και στην οθόνη εισαγωγής δεδομένων (DED), αυτό υποδεικνύει την μη εξοικείωση του Εκπαιδευομένου με την λειτουργία αυτή, καθοδηγώντας τον Εκπαιδευτή στο να συστήσει την επιπλέον εξάσκηση του Εκπαιδευομένου στην χρήση του πληκτρολογίου του Α/Φ.

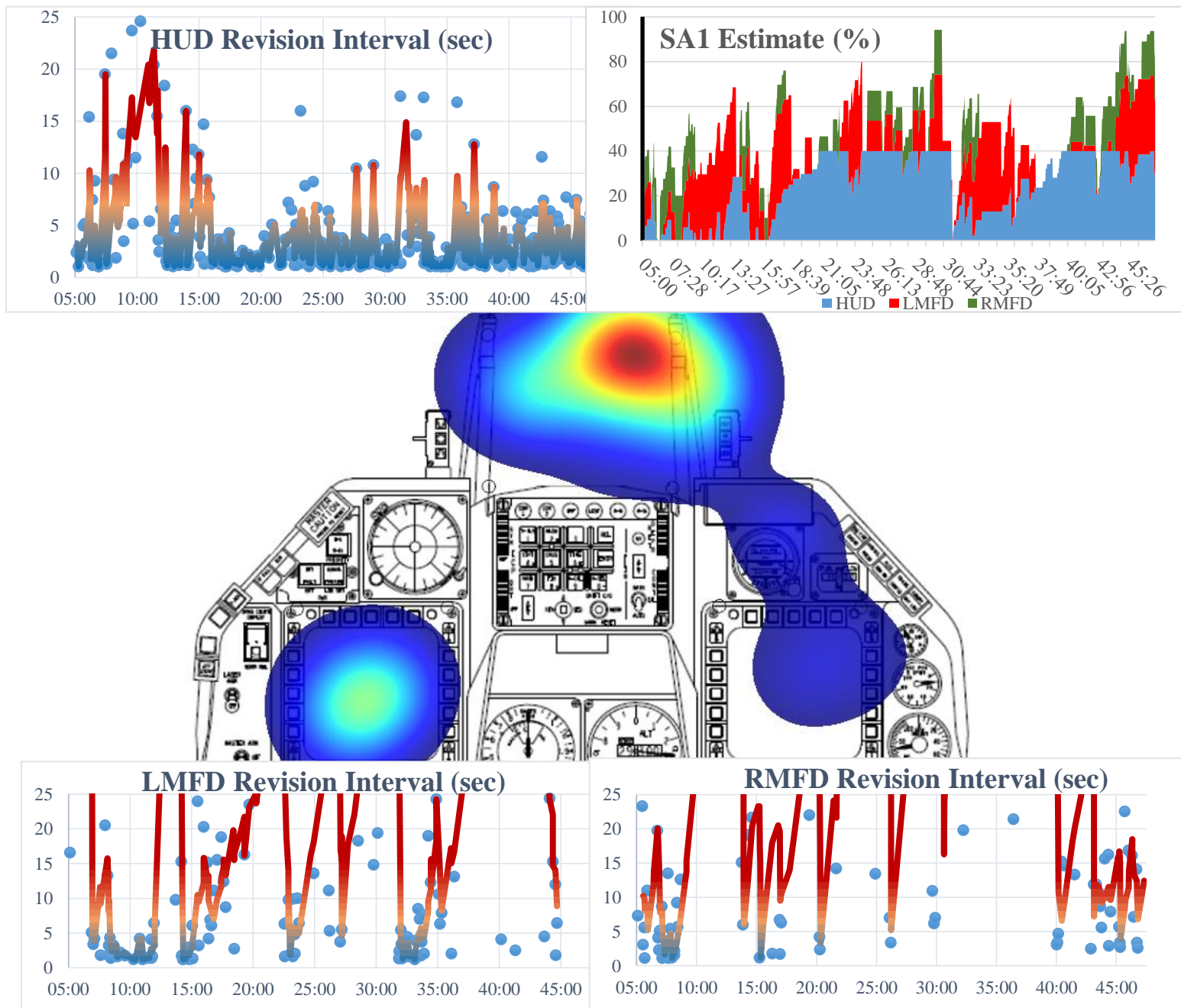
### 5.2.3 Καταγραφή #3



Εικόνα 5-5: Ανάλυση καταγραφής #3

Στην 3<sup>η</sup> καταγραφή παρατηρούμε την χαμηλή απόδοση στην αρχή και την αισθητή βελτίωση στην συνέχεια. Είναι εμφανές ότι μετά από τον χρόνο 13:00, ο Εκπαιδευόμενος ανανεώνει πιο συστηματικά τις πληροφορίες και από τις τρεις οθόνες ενδιαφέροντος, επιτυγχάνοντας εκτιμώμενο SA από 60% έως και 90%. Η κατανομή των εστιάσεων αποτυπώθηκε και στο Heatmap.

#### 5.2.4 Καταγραφή #4



Εικόνα 5-8: Ανάλυση καταγραφής #4

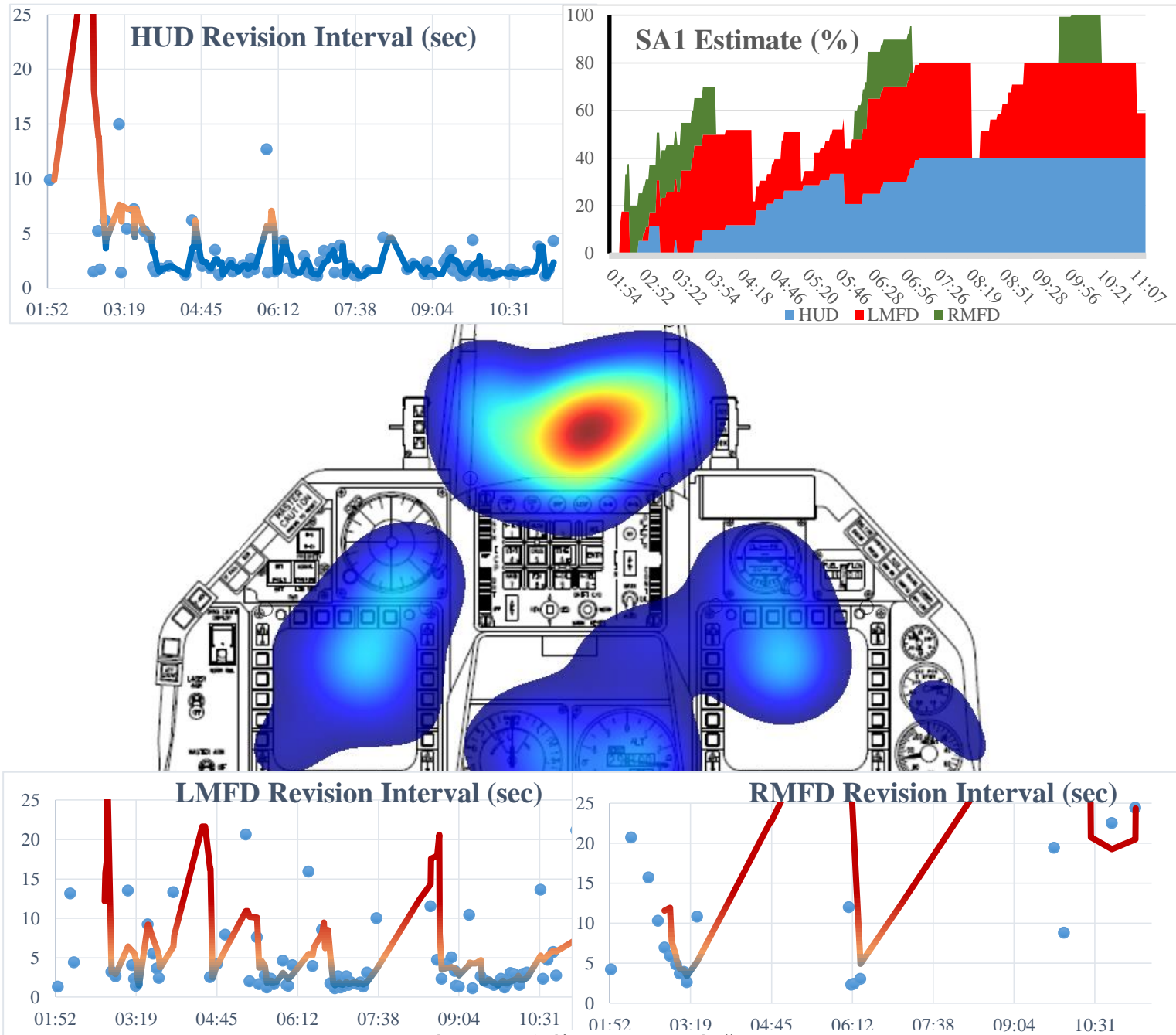
Εικόνα 5-9: Ανάλυση καταγραφής #5 Εικόνα 5-10: Ανάλυση καταγραφής #4

Αυτή είναι μια καταγραφή ολόκληρης της πτήσης διάρκειας ~ 40'. Παρατηρούμε μεγάλη πυκνότητα δεδομένων με σχετικά καλό διασταυρωτικό έλεγχο των οθονών. Παρ' όλα αυτά υπάρχουν αρκετές στιγμές που η προσήλωση σε μία και μόνο οθόνη είναι εμφανής, εις βάρος του εκτιμώμενου SA1. Η προσπάθεια για εξαγωγή συμπερασμάτων μόνο από το Heatmap, χωρίς τα διαγράμματα, θα ήταν



παραπλανητική διότι η συσσώρευση των δεδομένων δημιουργεί την ψευδαίσθηση μιας καλής κατανομής των εστιάσεων βλέμματος, στις οθόνες ενδιαφέροντος.

### 5.2.5 Καταγραφή #5

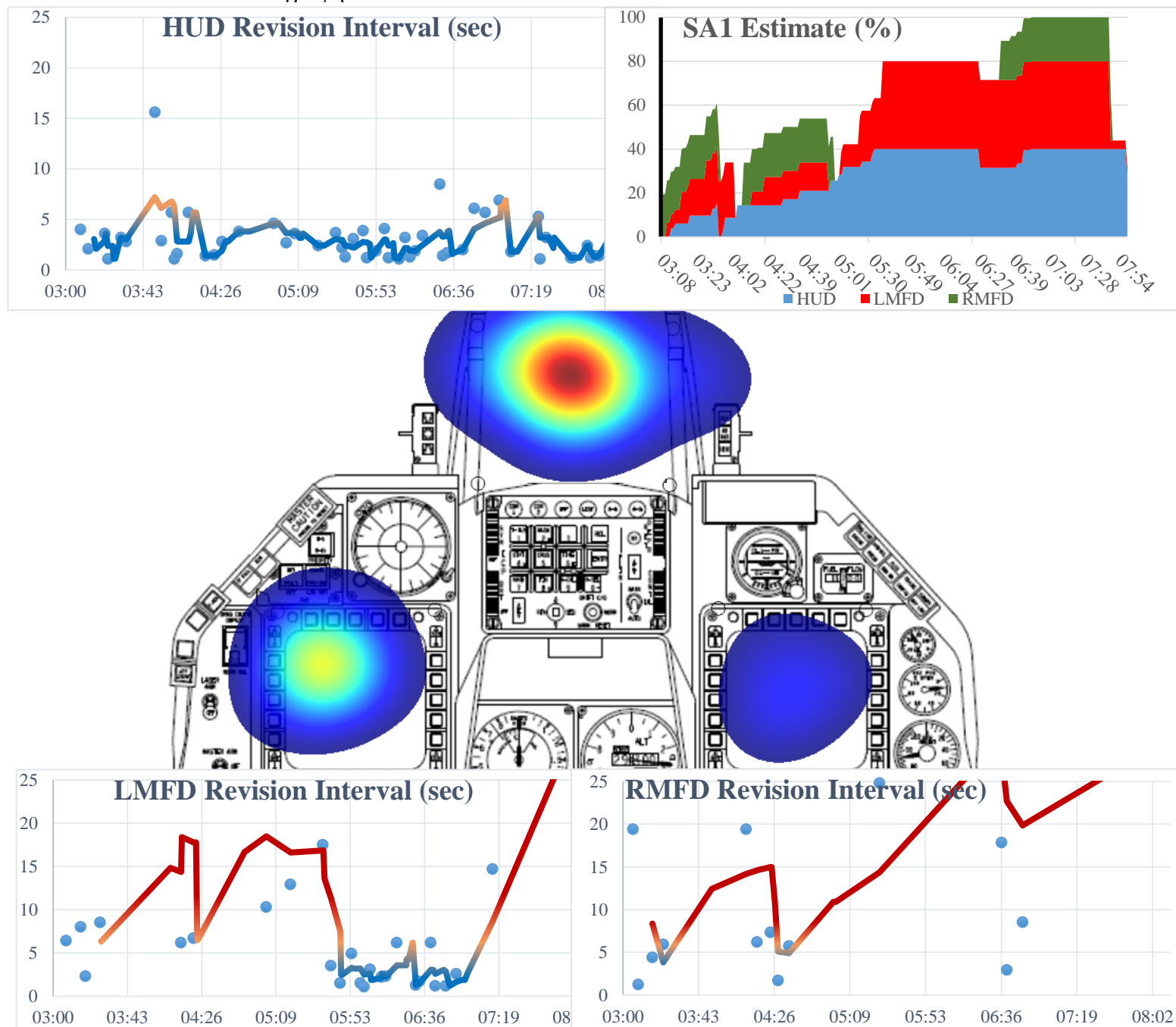


Εικόνα 5-11: Ανάλυση καταγραφής #5

Στην 5<sup>η</sup> καταγραφή είναι εμφανής ο σωστότερος διασταυρωτικός έλεγχος που αντικατοπτρίζει την μεγαλύτερη εμπειρία του Εκπαιδευομένου. Η ανανέωση των πληροφοριών, ιδιαίτερα από τα HUD και LMFD, είναι συστηματική. Το συμπέρασμα αυτό είναι εμφανές και στον υπολογισμό του SA1. Στην αρχή του συγκεκριμένου σεναρίου, ο Εκπαιδευόμενος αντιμετώπισε μια βλάβη του HUD. Αυτό αποτυπώθηκε

στο διάγραμμα του HUD στο οποίο δεν εστίαζε σχεδόν καθόλου μέχρι ~ 3', αλλά και στο Heatmap που φαίνεται η κατανομή της εστίασης του βλέμματος στα βοηθητικά όργανα ώστε να αντλήσει τις πληροφορίες που δεν μπορεί από το μη λειτουργικό HUD.

### 5.2.6 Καταγραφή #6



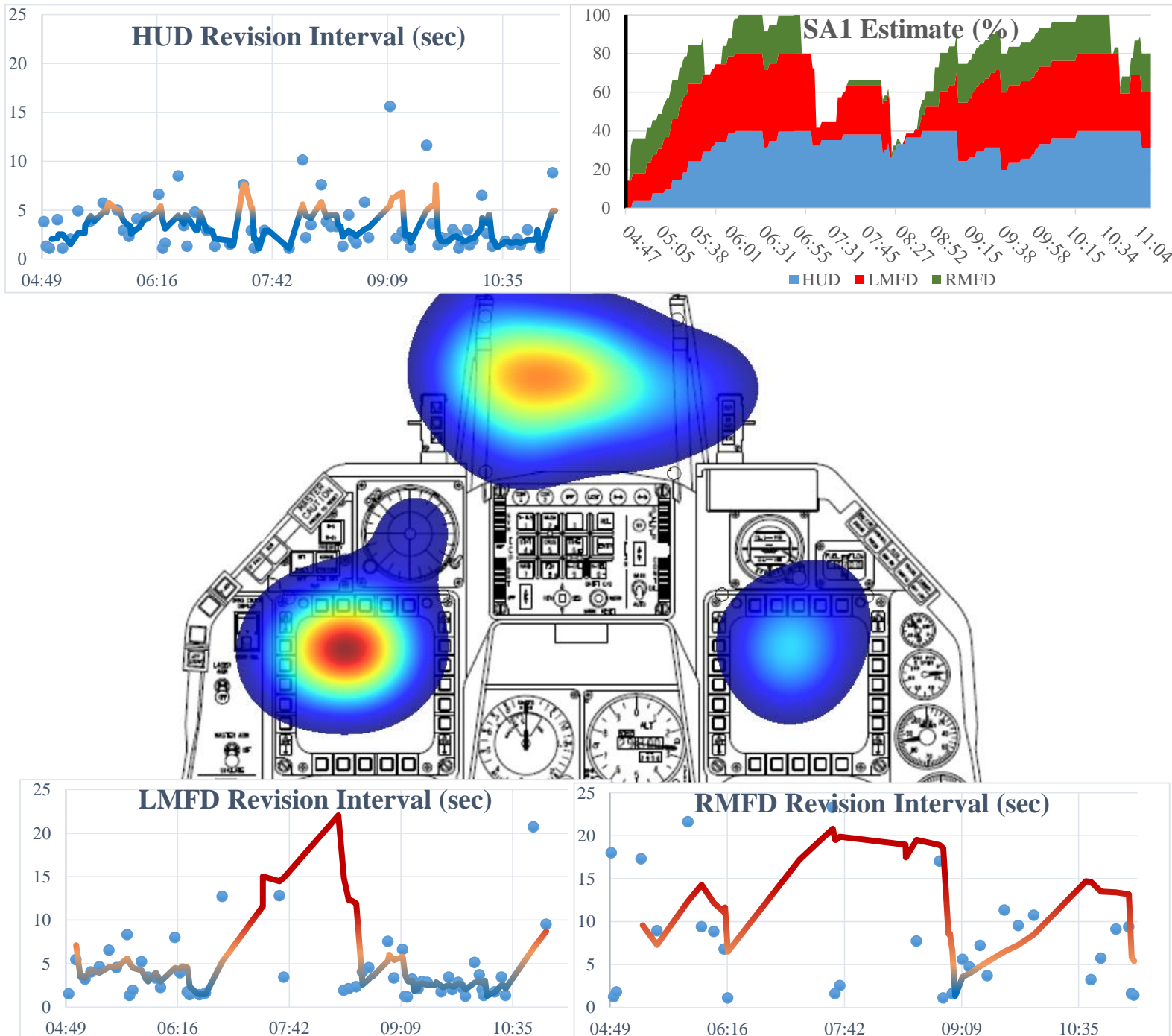
Εικόνα 5-14: Ανάλυση καταγραφής #6

Εδώ εμφανίζεται ξεκάθαρα η μεγαλύτερη εμπειρία του Εκπαιδευομένου, με πολύ σωστό διασταυρωτικό έλεγχο ιδιαίτερα από την μέση του σεναρίου και μετά. Παρατηρούμε ότι αν και το SA1 εκτιμάται σε υψηλά επίπεδα, τα Revision Interval των LMFD και RMFD παρουσιάζονται γενικά στην «κόκκινη» περιοχή. Αυτό οφείλεται



στις αντίστοιχες αρχικές τιμές των  $t_1=5''$  και  $t_2=7''$ , κατά την διάρκεια των καταγραφών, σε αντίθεση με το max RI που ορίστηκε στα 20'' κατά την ανάλυση των δεδομένων. Καθίσταται λοιπόν σαφές, η σημασία της ανάλυσης ενός εκτεταμένου δείγματος καταγραφών για τον ακριβέστερο προσδιορισμό των χρόνων αυτών.

### 5.2.7 Καταγραφή #7

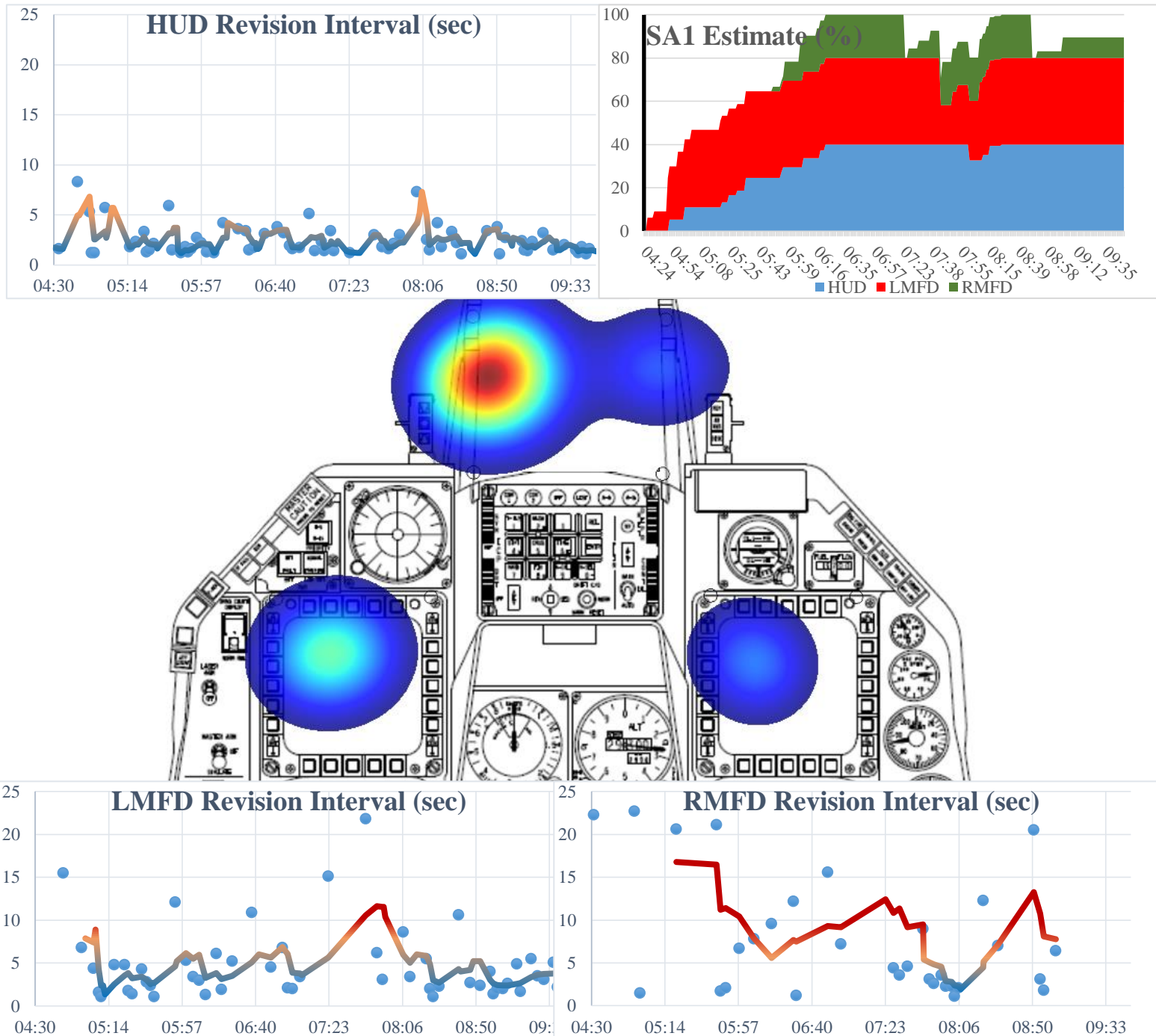


Εικόνα 5-17: Ανάλυση καταγραφής #7

Στην 7<sup>η</sup> καταγραφή γίνεται ακόμα πιο εμφανής η εμπειρία και η απόδοση του Εκπαιδευομένου. Από το Heatmap παρατηρούμε επίσης την ένταξη της οθόνης RWR

στον διασταυρωτικό έλεγχο του Εκπαιδευομένου, παρόλο που στην παρούσα ανάλυση δεν λαμβάνονται υπόψη τα δεδομένα από την οθόνη αυτή. Μετά από την ολοκλήρωση των δοκιμαστικών αναλύσεων, θα καταστεί σαφές αν θα πρέπει να συνυπολογίζονται και επιπλέον οθόνες ή όχι.

### 5.2.8 Καταγραφή #8



Εικόνα 5-20: Ανάλυση καταγραφής #8

Στην τελευταία καταγραφή, εμφανίζεται ένα σχεδόν άριστο μοτίβο διασταυρωτικού ελέγχου των οθονών που συνοδεύεται από αντίστοιχη εκτίμηση του

SA1. Συγκινώντας την παραπάνω εικόνα με αυτήν της πρώτης καταγραφής γίνονται αμέσως εμφανή τα περιθώρια βελτίωσης. Γίνεται επίσης κατανοητή η συνδρομή της εργασίας στον σωστότερο και γρηγορότερο εντοπισμό των λαθών των Εκπαιδευομένων με συνεπακόλουθο την πιο εστιασμένη και αποτελεσματική εκπαιδευτική διαδικασία στον εξομοιωτή πτήσης.

## 6. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 6.1 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Αξιοποιώντας τα έως τώρα δεδομένα, μπορούμε να κατευθύνουμε την μελλοντική έρευνα σε στοχευμένες βελτιώσεις της ακρίβειας και της παρουσίας των αποτελεσμάτων στους παρακάτω τομείς.

#### 6.1.1 Αξιοποίηση ανιχνευτών τελευταίας γενιάς.

Με την συνεχή πρόοδο της τεχνολογίας, υπάρχουν διαθέσιμοι μικρότεροι και ικανότεροι ανιχνευτές οι οποίοι μπορούν να εγκατασταθούν σε περισσότερα του ενός σημεία του εξομοιωτή και να αποδίδουν ικανοποιητικά στις διάφορες συνθήκες εξωτερικού φωτισμού και αντανάκλασεων. Η ενσωμάτωση τους σε ένα ενιαίο σύστημα, αξιοποιώντας την ίδια μέθοδο βαθμονόμησης, θα επέκτεινε την περιοχή και την συνολική ακρίβεια της ανίχνευσης. Επιπλέον, η αξιοποίηση της δυνατότητας για αυτόματη αναγνώριση προσώπου (Face Recognition) του Εκπαιδευομένου θα βελτίωνε την βαθμονόμηση και την διαχείριση του αρχείου των καταγραφών, με σκοπό την εύκολη σύγκριση των ιστορικών στοιχείων επίδοσης του.

#### 6.1.3 Βελτίωση μεθόδου εκτίμησης SA.

Η χρησιμοποίηση μεθόδων αντικειμενικής μέτρησης του SA είναι απαραίτητη για την σωστή αντιστοίχιση και συσχέτιση των διαφόρων μετρήσεων και της εκτίμησης του SA, με την πραγματική γνωσιακή κατάσταση του Εκπαιδευομένου. Οι μετρήσεις αυτές θα οδηγήσουν, μετά από παραγοντική ανάλυση, στην βελτιστοποίηση των διαφόρων πινάκων και σταθερών που χρησιμοποιούνται στην μέθοδο εκτίμησης του SA και κατά συνέπεια θα βελτιωθεί η ακρίβεια της μεθόδου.

Αυτό γίνεται με την εκπόνηση κατάλληλων ερωτηματολογίων που αντικατοπτρίζουν τις συνισταμένες του SA για μια δέσμη αντιπροσωπευτικών σεναρίων. Στην συνέχεια, εντοπίζονται τα βέλτιστα σημεία των σεναρίων στα οποία γίνονται παύσεις της εξομοίωσης για τον έλεγχο του SA. Οι παύσεις αυτές επιλέγονται συνήθως πριν και μετά από μια σημαντική διαφοροποίηση των συνθηκών της εξομοίωσης ή/και στις περιόδους της αποστολής όπου το εκτιμώμενο SA είναι χαμηλό ή υψηλό. Στις σύντομες αυτές παύσεις, ο Εκπαιδευόμενος απαντά προφορικά και άμεσα τις ερωτήσεις. Από την ορθότητα των απαντήσεων εξάγεται το πραγματικό ποσοστό του SA. Μία από τις χρησιμοποιούμενες σχετικές μεθόδους είναι η Crew Awareness Rating Scale (CARS) (Merwe & all, 2012).

#### 6.1.2 Καταγραφή δεδομένων.

Με σκοπό την βελτιστοποίηση της ανάλυσης, η καταγραφή των δεδομένων θα πρέπει να συνδυάζει, σε ένα αρχείο για όλες τις επιφάνειες ενδιαφέροντος, κατ' ελάχιστον τα παρακάτω στοιχεία:

- Χρόνος Αποστολής (Elapsed Time)
- Εκτιμώμενο SA
- Διαπιστωμένο SA
- Μεσοδιάστημα Εστιάσεων για κάθε οθόνη (Dwell Interval)
- Αναλογικός Χρόνος Εστίασης (Proportional Dwell Time)
- Αλληλουχία Εστιάσεων (Dwell Sequence)
- Εντροπία Εστιάσεων (Dwell Entropy)
- Διάμετρος Κόρης Οφθαλμών (Pupil Diameter)

#### 6.1.4 Συνολική ανάλυση

Το επόμενο βήμα μετά την βελτίωση της ακρίβειας και της καταγραφής των διαθέσιμων δεδομένων - δεικτών, θα πρέπει να είναι η ανάλυση τους ως ένα ενιαίο σύνολο και όχι μεμονωμένα, όπως συμβαίνει με την πλειοψηφία των έως τώρα προσεγγίσεων. Σε αυτό μας οδηγεί η συνειδητοποίηση ότι όλες οι μετρήσεις και οι επιμέρους δείκτες είναι διαφορετικές παράμετροι / συνισταμένες των γνωσιακών διεργασιών του πιλότου και κατ' επέκταση του SA.

Η θεώρηση αυτή γίνεται πιο κατανοητή αν παρομοιάσουμε τα διαθέσιμα δεδομένα, με τις πολυφασματικές εικόνες τηλεπισκόπησης. Όπως δηλαδή, οι καταγραφόμενες εντάσεις της ανακλώμενης ακτινοβολίας στις διάφορες συχνότητες αποτελούν συνιστώσες της εικόνας που εξαρτώνται από τις επιμέρους ιδιότητες του ίδιου προς έρευνα αντικειμένου (πχ. βλάστηση), έτσι και οι επιμέρους μετρήσεις εστιάσεων βλέμματος και οι σχετικοί δείκτες αποτελούν συνιστώσες του SA. Με την κατάλληλη διάταξη των πινάκων των δεδομένων είναι δυνατή η αξιοποίηση επιπλέον αναλυτικών μεθόδων βελτιστοποιημένων για την ανάδειξη αυτών των σχέσεων.

Μια προτεινόμενη μέθοδος είναι η ανάλυση των κυρίων συνιστωσών (Principal Components Analysis). Οι νέες συνιστώσες που θα προκύψουν από την επεξεργασία των δεδομένων, δύναται να περιγράψουν καλύτερα τις γνωσιακές διεργασίες και να οδηγήσουν στην επινόηση νέων και περισσότερο αξιόπιστων δεικτών.

Ιδιαίτερα υποσχόμενη επίσης, είναι η αξιοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης (AI), μέσω της οποίας θα μπορέσουμε να αξιοποιήσουμε τα δεδομένα αυτά όχι μόνο για την βελτίωση της εκπαίδευσης, αλλά και για την αποτελεσματικότερη αλληλεπίδραση ανθρώπου – μηχανής, ώστε η μηχανή να προσαρμόζει την διεπαφή με τον χρήστη σε σχέση με την γνωσιακή του κατάσταση. Δηλαδή, να προβλέπει το ποιες

πληροφορίες απαιτούνται από τον χρήστη για την βελτίωση και διατήρηση του SA και να τις προβάλλει σε αυτόν με τον καταλληλότερο τρόπο.

#### 6.1.5 Ενσωμάτωση στον εξομοιωτή

Προκειμένου να μεγιστοποιήσουμε τα οφέλη για την εκπαιδευτική διαδικασία, θα πρέπει η λειτουργία της ανίχνευσης και ανάλυσης δεδομένων βλέμματος να ενσωματωθεί στην επόμενη γενιά εξομοιωτών. Η ενσωμάτωση θα επεκτείνει το εύρος και θα βελτιώσει την ακρίβεια ανίχνευσης του βλέμματος. Επίσης, θα βελτιωθεί η ανάλυση των δεδομένων με την αυτόματη προσαρμογή στις διάφορες παραμέτρους της πτήσης (πχ. ύψος - ταχύτητα πτήσης), καθώς και στις αλλαγές των παραμέτρων του σεναρίου της αποστολής (νέες απειλές, βλάβες κλπ.).

Μια εξαιρετικά ενδιαφέρουσα λειτουργία που μπορεί να ενσωματωθεί στους εξομοιωτές, είναι η χρήση των δεδομένων ανάλυσης βλέμματος την αυτόματη ή ημιαυτόματη υπόδειξη στον Εκπαιδευόμενο των, σχετικών με την εξέλιξη του εκπαιδευτικού σεναρίου, οθονών και των ενδείξεων που έχει παραλείψει από τον διασταυρωτικό του έλεγχο.

Τέλος, με την ενσωμάτωση στην εγγενή λειτουργία των εξομοιωτών, θα επιτευχθεί η καταγραφή των αποτελεσμάτων των δεδομένων ανίχνευσης βλέμματος σε συνδυασμό με τις κρίσιμες παραμέτρους της εξομοίωσης, ώστε να παρέχεται ένα ολοκληρωμένο εργαλείο απενημέρωσης.

#### 6.1.6 Ενσωμάτωση στα Α/Φ

Μετά την πλήρη αξιοποίηση και την εξαγωγή αξιόπιστων και συστηματικών συμπερασμάτων από το εκπαιδευτικό περιβάλλον των εξομοιωτών, η ενσωμάτωση συστημάτων ανίχνευσης βλέμματος του πιλότου στα ίδια τα Α/Φ είναι μια φυσική εξέλιξη. Με τον τρόπο αυτό, όπως προαναφέρθηκε, η τεχνολογίες ΑΙ δύναται να διαδραματίσουν το ρόλο ενός ακόμα μέλος του πληρώματος το οποίο θα τροφοδοτείται από την ανάλυση της γνωσιακής κατάστασης του/των πιλότων και θα διαχειρίζεται τις οπτικές και ακουστικές ενδείξεις στο Cockpit, με σκοπό την βελτίωση του συνολικού SA, της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητας των πτήσεων.

#### 6.1.7 Βελτίωση παρουσίασης αποτελεσμάτων

Από την απεικόνιση των δεδομένων των καταγραφών στο Κεφ. 5, παρατηρούμε ότι υπάρχει ο κίνδυνος παρουσίασης αποτελεσμάτων που είναι υπερφορτωμένα από τα διαφόρων ειδών δεδομένα, ιδιαίτερα αν αναλογιστούμε η πλήρης ανάλυση θα περιλαμβάνει τουλάχιστον δυο ακόμα οθόνες. Για τον λόγο αυτό, η βελτίωση των μεθόδων ανάλυσης των δεδομένων θα πρέπει επιπλέον να οδηγήσει στην αποσυμφόρηση (Declutter) της απεικόνισης τους, ώστε να είναι σαφή και κατανοητά από τους χρήστες. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την ομαδοποίηση των αποτελεσμάτων σε νέους, πιο αξιόπιστους δείκτες που θα προκύψουν από την συνολική ανάλυση που προανέφερα, αλλά και από την χρήση τρισδιάστατων απεικονίσεων και διαγραμμάτων.

### 6.2 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

Σκοπός της μετέπειτα ανάπτυξης του συστήματος, πρέπει να είναι η δυνατότητα εύκολης και πλήρως παραμετροποίησης, προσαρμογής σε διαφορετικά περιβάλλοντα εκπαίδευσης και εργασίας. Η σπονδυλωτή διάταξη της μεθόδου (Αισθητήρας, LED, Η/Y) καθιστά εύκολη την προσαρμογή του Hardware στις,



διαφορετικές κατά περίπτωση, απαιτήσεις κάθε υλοποίησης, συνεπώς η κύρια προσπάθεια βαραίνει την ανάπτυξη των επόμενων εκδόσεων του λογισμικού. Εφ' όσον αυτό υλοποιηθεί, τότε το πεδίο εφαρμογής είναι εξαιρετικά εκτενές. Είναι βέβαια προφανές ότι η προστιθέμενη αξία από την εφαρμογή της μεθόδου αυξάνεται ανάλογα με την πολυπλοκότητα του συστήματος στο οποίο εφαρμόζεται. Ακολουθούν ορισμένες ενδεικτικές προτάσεις αξιοποίησης.

#### 6.2.1 Εισαγωγή σε όλα τα στάδια της αεροπορικής εκπαίδευσης.

Σαν φυσική εξέλιξη, προτείνεται η αξιοποίηση της μεθόδου σε όλα τα στάδια εκπαίδευσης και στο σύνολο των εξομοιωτών ιπταμένων μέσων (Α/Φ, Ε/Π, MEA/UAV) της Γενικής, Πολιτικής και Πολεμικής Αεροπορίας. Αντίστοιχα προτείνεται επίσης, η αξιοποίηση κατά την εκπαίδευση στους εξομοιωτές των ελεγκτών εναέριας κυκλοφορίας και συστημάτων αεράμυνας.

#### 6.2.2 Εκπαίδευση χειριστών οχημάτων / συστημάτων πάσης φύσεως.

Επεκτείνοντας τις εφαρμογές πέραν του αεροπορικού χώρου, η μέθοδος δύναται να αξιοποιηθεί στους εξομοιωτές (αλλά και στα ίδια τα μέσα) συστημάτων που παρουσιάζουν αυξημένη πολυπλοκότητα χειρισμού όπως:

- Πλοία και έλεγχος κυκλοφορίας τους
- Τρένα και έλεγχος κυκλοφορίας τους
- Ειδικά Οχήματα
- Πίνακες Ελέγχου Συστημάτων Εξόρυξης
- Πίνακες Ελέγχου Βιομηχανίας
- Πίνακες Ελέγχου Διανομής Ενέργειας κλπ.

### 6.2.3 Εκπαίδευση αλγορίθμων τεχνητής νοημοσύνης MEA (UAV).

Η προσαρμογή των δεδομένων εστίασης βλέμματος ώστε να μπορούν να αξιοποιηθούν από τεχνολογίες AI και Machine Learning, θα διευκολύνει την αυτόνομη ή ημιαυτόνομη εκτέλεση αποστολών αυξημένης δυσκολίας από τα UAV. Παραδείγματα τέτοιων αποστολών είναι η αυτόνομη επιθεώρηση και εντοπισμός επισφαλών σημείων σε περίπλοκες δομές όπως εξέδρες εξόρυξης υδρογονανθράκων, αγωγοί καυσίμων, δίκτυα παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, δίκτυα σιδηροδρόμων κ.α. Για να επιτευχθεί αυτό, πολλά UAV θα πρέπει να μπορούν να δρουν συνεργατικά ως σμήνος, να μπορούν να αντιμετωπίζουν απρόοπτα (βλάβες, καιρικές συνθήκες κλπ.) και να μπορούν να αντιλαμβάνονται την πρόοδο της εργασίας καθώς και τα επόμενα βήματα με σκοπό την επιτυχή ολοκλήρωση της αποστολής τους.

Θα πρέπει δηλαδή, να είναι σε θέση να δομούν και να διατηρούν το ελάχιστο απαιτούμενο SA προσαρμοσμένο στην κάθε εργασία. Η αποτύπωση των ανθρώπινων γνωσιακών διεργασιών δόμησης και διατήρησης του SA, μέσω της επεξεργασίας των δεδομένων εστίασης βλέμματος, δύναται να συμβάλει στην «εκπαίδευση» των τεχνολογιών AI, ώστε να επιτύχει τους παραπάνω σκοπούς.

### 6.2.4 Προσωπικά δεδομένα.

Η μακροχρόνια μελέτη των εστιάσεων βλέμματος του ανθρώπου, έχει αποδείξει την συσχέτιση τους με την γνωσιακή και ψυχολογική κατάσταση του εκάστοτε υποκείμενου. Μέχρι σήμερα, οι μελέτες αυτές διεξάγονται σε εθελοντική βάση μέσω της αξιοποίησης εξειδικευμένων καταγραφικών διατάξεων λόγω των τεχνικών δυσκολιών, κυρίως σε σχέση με την βαθμονόμηση και την ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Με την πρόοδο της τεχνολογίας όμως, είναι πολύ πιθανόν στο άμεσο μέλλον, να εξάγονται αυτόματα, ακριβή δεδομένα εστιάσεων βλέμματος, από πλήθος

καθημερινών συσκευών όπως κινητά τηλέφωνα, Η/Υ, γυαλιά οράσεως, κάμερες επιτήρησης κλπ.

Αυτό θα είχε σοβαρές επιπτώσεις στην ιδιοτικότητα και εγείρει μεγάλες ανησυχίες ως προς την κατάχρηση αυτών των δεδομένων από αυτούς που τα συλλέγουν. Για τον λόγο αυτό έχουν ξεκινήσει ήδη μελέτες για τις μεθόδους προστασίας των δεδομένων εστίασης βλέμματος, τα οποία χαρακτηρίζονται πλέον ως ευαίσθητα και προσωπικά (Liebling & Preibusch, 2014). Συνεπώς, η αξιοποίηση των εστιάσεων βλέμματος για οποιαδήποτε εφαρμογή στο μέλλον, θα πρέπει να λαμβάνει μέτρα για την αποτροπή καταχρήσεων των δεδομένων αυτών.

### 6.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την ανάλυση και ομαδοποίηση των δεδομένων για κάθε καταγραφή συμπεραίνουμε την χρησιμότητα της μεθόδου που αναπτύχθηκε, στον εντοπισμό των σωστών πρακτικών που οδηγούν σε αυξημένο SA και κατ' επέκταση στην ασφαλή και αποτελεσματική εκτέλεση των αποστολών.

Επιπλέον, η απεικόνιση πραγματικού χρόνου αλλά και τα συμπεράσματα από την ανάλυση των δεδομένων εστίασης βλέμματος, είναι πολύ χρήσιμα εργαλεία τόσο για τους Εκπαιδευτές, όσο και για τους Εκπαιδευόμενους. Η αξιοποίηση της μεθόδου που προτείνεται σε αυτή την εργασία, θα διευκολύνει τους Εκπαιδευτές στο έργο τους ως προς τον εντοπισμού των αιτίων ενδεχόμενης χαμηλής απόδοσης των Εκπαιδευομένων και στην σωστή καθοδήγησή τους, ώστε να επιτύχουν γρηγορότερα και με ασφάλεια τους στόχους του εκάστοτε εκπαιδευτικού προγράμματος.

Προκειμένου η χρήση των εργαλείων αυτών, να μην βρεθεί αντιμέτωπη με περιορισμούς προσωπικών δεδομένων, αλλά και για να τύχει καθολικής αποδοχής και αξιοποίησης, η χρήση της θα πρέπει να είναι αποκλειστικά συμβουλευτική και να προσανατολίζεται στην εξατομικευμένη παροχή οδηγιών με σκοπό την βελτίωση της απόδοσης των Εκπαιδευομένων και μόνο. Η μέθοδος αυτή δεν πρέπει, σε καμία περίπτωση, να χρησιμοποιηθεί με σκοπό την κριτική, βαθμολογία ή αξιολόγηση των Εκπαιδευομένων. Η μέθοδος αξιολόγησης δεν πρέπει να αλλάξει, αλλά πρέπει να συνεχίζει να βασίζεται αποκλειστικά στην συνολική επίδοση των Εκπαιδευομένων, η οποία βαθμολογείται με μετρήσιμους επιμέρους δείκτες επίδοσης επί του Α/Φ και της αποστολής.

Η αξιοποίηση της μεθόδου συλλογής, ανάλυσης και παρουσίασης δεδομένων εστίασης βλέμματος που αναπτύχθηκε στην παρούσα εργασία, θα έχει θετική επίδραση στην ποιότητα της εκπαίδευσης, την ασφάλεια των πτήσεων και στην επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα σε όλα τα επίπεδα. Επιπλέον, η συνέχιση της έρευνας, η βελτίωση των αποτελεσμάτων και η καθολική εφαρμογή της, θα οδηγήσει τους οργανισμούς που θα υιοθετήσουν την προσέγγιση αυτή στην κορυφή των εκπαιδευτικών εξελίξεων.

## 7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Edwin, S. D. (2014). *Is the low-cost EyeTribe eye tracker any good for research?*

Oxford, United Kingdom: Peerj Preprints.

*BlinkStick Pro Smart Pixels*. (2019, 7 15). Ανάκτηση από BlinkStick:

<https://www.blinkstick.com/products/blinkstick-pro-smart-pixels>

Canessa, A., & al. (2012). The Perspective Geometry of the Eye: Toward Image-Based

Eye-Tracking. Στο D. F. (Ed.), *Human-Centric Machine Vision*. InTech.

Dalmaiher, E. (2017). *PyGaze Manuscript*. Ανάκτηση από PyGaze:

[http://www.pygaze.org/resources/downloads/Dalmaiher\\_Mathot\\_Stigchel\\_2013\\_PyGaze\\_manuscript.pdf](http://www.pygaze.org/resources/downloads/Dalmaiher_Mathot_Stigchel_2013_PyGaze_manuscript.pdf)

Endsley, M. R. (1995). Toward a theory of situation awareness in dynamic systems.

*Humman Factors*, 32-64.

Endsley, M. R. (1988). Design and evaluation for situation awareness enhancement.

*Proceedings of the Human Factors Society*, 97–101.

*Eye Tribe Developers Guide*. (2016). Ανάκτηση από The EyeTribe:

<http://theeyetribe.com/dev.theeyetribe.com/dev.theeyetribe.com/start/index.html>

Glaholt, M. G. (2014). *Eye tracking in the cockpit: a review of the relationships*

*between eye movements and the aviator's cognitive state*. Toronto: Defence Research and Development Canada.

- Glaholt, M. G. (2014). *Eye Tracking in the cockpit: a review of the relationships between eye movements and the aviator's cognitive state*. Toronto, Canada: DRDC - Toronto Research Center.
- L3 Aviator/Operator Training. (2019, 7 15). Ανάκτηση από L3HARRIS LINK TRAINING & SIMULAION: <https://www.l3t.com/link/aviator-operator-training/f-16>
- Lee, J. D. (2006). Human factors and ergonomics in automation design. *Handbook of Human Factors and Ergonomics, 3rd edition*, 1570–1596.
- Liebling, D. J., & Preibusch, S. (2014). Privacy Considerations for a Pervasive Eye Tracking World. SEATTLE: Microsoft Research.
- Merwe, K. v., & all, e. (2012). Eye Movements as an Indicator of Situation Awareness in a Flight Simulator Experiment. *The International Journal of Aviation Psychology*, 78-95.
- Parasuraman, R., & Manzey, D. H. (2010). Complacency and bias in human use of automation: An attentional integration. *Humman Factors*, 52, 381–410.
- Peysakhovich, V., & al. (2018). The Neuroergonomics of Aircraft Cockpits. *Département Conception et Conduite des véhicules Aéronautiques et Spatiaux (DCAS)*.
- Python - about. (2017). Ανάκτηση από Python: <https://www.python.org/about/>
- wxPython GUI Library. (2017). Ανάκτηση από wxPython: <https://wxpython.org/>