ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΕΥΕΛΠΙΔΩΝ
Τμήμα Στρατιωτικών Επιστημών

Ε Λ Λ Η Ν Ι Κ Η Δ Η Μ Ο Κ Ρ Α Τ Ι Α
ΔΙΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ ΕΤΟΥΣ 2017-18

ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗ
ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΑ & ΑΝΑΛΥΣΗ

(ΠΔ 97 /2015/ΦΕΚ 163Α'/20.08.2014)

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΣΥΝΕΡΓΑΤΙΚΕΣ ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΕΣ ΠΥΡΑΥΛΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Διατριβή που υπεβλήθη για την μερική ικανοποίηση των απαιτήσεων για την απόκτηση Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης

Υπό:

ΦΩΤΙΟΥ ΡΙΖΟΥ

Α.Μ.: 2015018037

ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ 2018

Η Μεταπτυχιακή Διατριβή του Ρίζου Φωτίου εγκρίνεται:

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθηγητής Δάρας Νικόλαος (Επιβλέπων),……..

Αναπληρωτής Καθηγητής Καϊμακάμης Γεώργιος,…….

Επίκουρος Καθηγητής Κανέλλος Φώτιος,……..

ΣΕΛΙΔΑ ΣΚΟΠΙΜΑ ΚΕΝΗ

© Copyright υπό Ρίζου Φωτίου

Έτος 2018

FOTIOS RIZOS

Digitally signed by FOTIOS RIZOS
Date: 2018.02.04 14:12:27 +02'00'

I will ignore all ideas for new works and engines of war, the invention of which has reached its limits and for whose improvement I see no further hope.

— Julius Frontinus, chief military engineer to the Emperor Vespasian, circa AD 40–103

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Δάρα Νικόλαο, για την αμέριστη συμπαράσταση και επιστημονική καθοδήγησή του κατά την εκπόνηση της παρούσας διατριβής, και ιδιαίτερα για τον διαφωτιστικό τρόπο σκέψης του που με εισήγαγε στον ενθουσιαστικό χώρο της Εφαρμοσμένης Επιχειρησιακής Έρευνας & Ανάλυσης.

Ευχαριστώ τον Αναπληρωτή Καθηγητή κ. Καϊμακάμη Γεώργιο, για την ενεργή συνεισφορά και πολύπλευρη μέριμνά του καθ' όλη την διάρκεια του προγράμματος.

Ευχαριστίες επίσης θα ήθελα να απευθύνω στον Επίκουρο Καθηγητή κ. Κανέλλο Φώτιο για την συμμετοχή του στην εξεταστική επιτροπή και κυρίως για τις βάσεις που μου παρείχε στον προγραμματισμό της Matlab.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ 5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Τοποθέτηση του Προβλήματος 9

§1. Κατανομή Όπλων ανά Στόχο (Weapons to Target Assignment) 9

§2. Γενική Περιγραφή του Μοντέλου Συνεργατικής Στρατηγικής Πυραυλικών Συστημάτων 13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Μοντέλο Συνεργατικής Στρατηγικής Πυραυλικών Συστημάτων 16

§1. Μεθοδολογία Προσομοίωσης 16

§2. Γεννήτρια Στόχων 19

§3. Μοντέλο Λειτουργίας Πυραύλων 19

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Δυναμικός Υπολογισμός Βαθμού Απειλής 33

§1. Υποσύστημα Δυναμικού Υπολογισμού Βαθμού Απειλής 33

§2. Βαθμός Επικινδυνότητας 42

§3. Ζωτικοί Χώροι 43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Δυναμικός Υπολογισμός Βαθμού Επιβιωσιμότητας 46

§1. Γενικά 46

§2. Υποσύστημα Αποτελεσματικότητας Οπλικών Συστημάτων 48

§3. Υποσύστημα Σχέσης Στόχων με Πυραύλους 50

§4. Υποσύστημα Αναγκαίας Πλευρικής Επιτάχυνσης 54

§5. Υποσύστημα Ελέγχου Δυνατοτήτων 64

§6. Υπολογισμός Βαθμού Επιβιωσιμότητας 71

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Δυναμική Βελτιστοποίηση Αναθέσεων 73

§1. Υποσύστημα Δυναμικής Βελτιστοποίησης Αναθέσεων 73

§2. Πίνακας Βαθμών Επιβιωσιμότητας 74

§3. Πίνακας Απειλής 76

§4. Πίνακας Κόστους 77

§5. Βελτιστοποίηση Αναθέσεων 79

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Κατανεμητής 84

§1. Υποσύστημα Κατανεμητή 84

§2. Εφαρμογή 90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Προσομοιώσεις Σεναρίων 92

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ 107

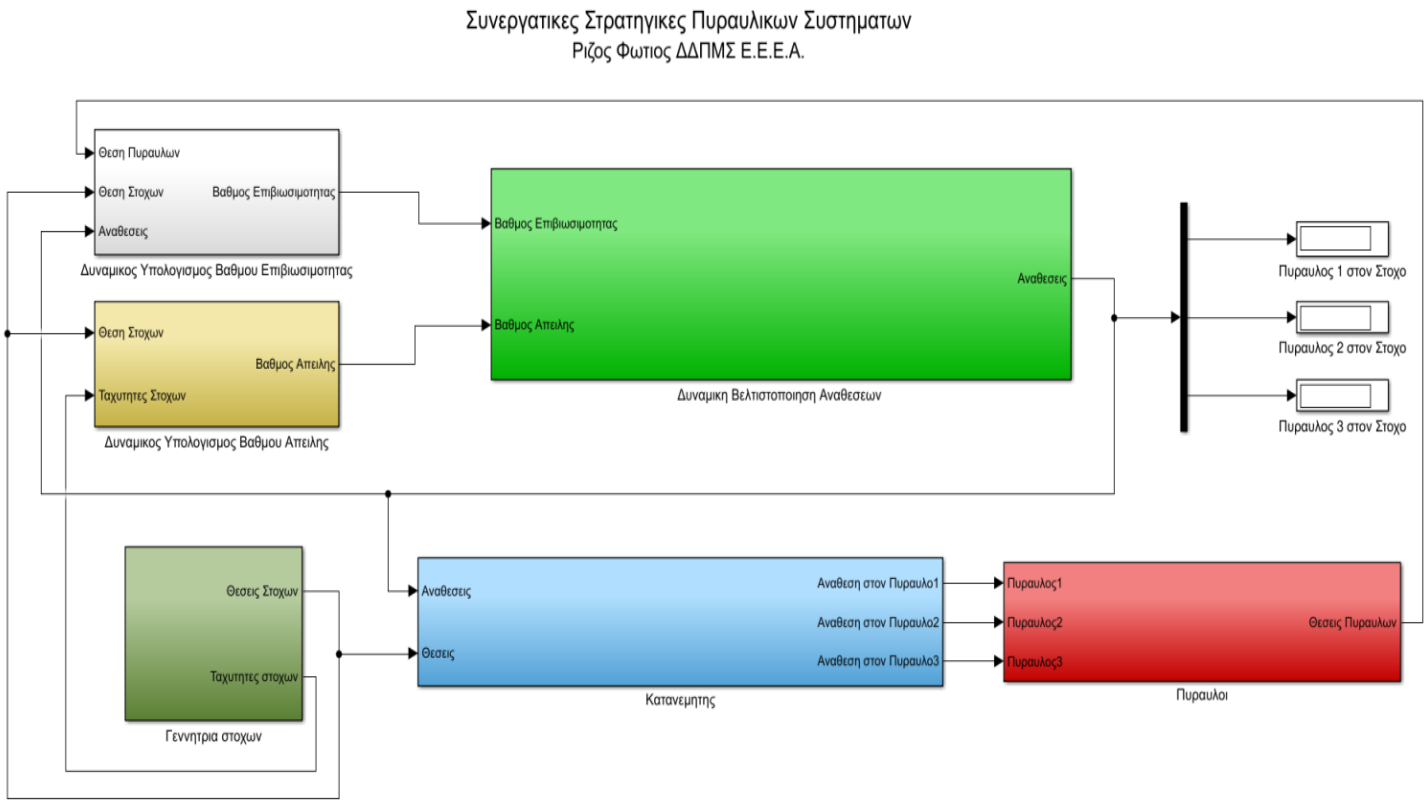
ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η δέσμευση πυραύλων αεράμυνας εναντίων εχθρικών στόχων που απειλούν προστατευόμενες περιοχές (ή ισοδύναμα η ανάθεση εχθρικών στόχων σε πυραύλους αεράμυνας) είναι ένα θέμα που έχει απασχολήσει έντονα ερευνητές σε διεθνές πολιτικό και στρατιωτικό περιβάλλον.

Στην παρούσα Διατριβή παρουσιάζεται ένα λειτουργικό μοντέλο προσομοίωσης για τη ***δυναμική*** εκτίμηση της Αξίας και της Επιβιωσιμότητας κινούμενων εχθρικών στόχων, μέσω του οποίου προτείνεται ***μία μεθοδολογία επίλυσης του δισδιάστατου προβλήματος της συνεργατικής στρατηγικής ανακατανομής πυραύλων*** και, ταυτόχρονα, δίνεται ***μια απάντηση*** στο ***πρόβλημα της δυναμικής δέσμευσης αμυντικών βλημάτων εναντίον επιθετικών κινούμενων στόχων*** (Weapons to Targets Assignment, WTA) ***σε πραγματικό χρόνο***.

Για την επίλυση του προβλήματος σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε ένα λειτουργικό μοντέλο στην πλατφόρμα του Matlab το οποίο, μέσω του Simulink, υπολογίζει δυναμικά τη βέλτιστη κατανομή αμυντικών πυραύλων σε στόχους και αναθέτει αυτούς για εμπλοκή, με συνεχή συνεργατική αναπροσαρμογή σε πραγματικό χρόνο των δεσμεύσεων (αναθέσεων) και λαμβάνοντας υπόψη τη (συνεχώς μεταβαλλόμενη) εκτίμηση για την επιβιωσιμότητα και την αξία των στόχων.

Το γενικό περίγραμμα του μοντέλου είναι όπως παρακάτω:



Εάν V_j είναι η (συνεχώς) μεταβαλλόμενη αξία του j −οστού στόχου, $Q_{i,j}$ είναι ο βαθμός (ή πιθανότητα) Επιβιωσιμότητας του j −οστού στόχου σε υποψήφια αναχαίτιση από τον i −στό πύραυλο και $x_{i,j} = 0,1$ είναι η απόφαση να μη δεσμευθεί ή να δεσμευθεί ο i −οστός πύραυλος για την αναχαίτιση του j −οστού στόχου, τότε, έχοντας ως στόχο την ελαχιστοποίηση της συνολικής αξίας

$$F_{obj} = \sum_{j=1}^{n} V_j \prod_{i=1}^{m} Q_{i,j}^{x_{i,j}},$$

των επιτιθέμενων στόχων που αναμένεται να διασωθούν, οι μεταβλητές της συνάρτησης συσχετίστηκαν με δεδομένα πραγματικού χρόνου που δύνανται να αντληθούν από εφαρμοσμένα συστήματα αεράμυνας, και επιλύθηκε το πρόβλημα για κάθε χρονική στιγμή της εμπλοκής, διαβιβάζοντας στους εν πτήση πυραύλους, εφαρμόσιμα στοιχεία για την αλλαγή της ανάθεσής τους στον βέλτιστο συνδυασμό αναχαιτίσεων.

Το μοντέλο απαρτίζεται από :

- **Το υποσύστημα του Δυναμικού Υπολογισμού Βαθμού Επιβιωσιμότητας** στο οποίο υπολογίζεται, για κάθε χρονική στιγμή, ο βαθμός (ή πιθανότητα) Επιβιωσιμότητας του κάθε στόχου σε υποψήφια αναχαίτιση από τον i –στό πύραυλο, δηλαδή υπολογίζεται το $Q_{i,j}$.
- **Το υποσύστημα του Δυναμικού Υπολογισμού Βαθμού Απειλής** στο οποίο υπολογίζεται, για κάθε χρονική στιγμή, η αξία του κάθε στόχου σε σχέση με τον προστατευόμενο ζωτικό χώρο, δηλαδή υπολογίζεται το V_j.
- **Το υποσύστημα της Δυναμικής Βελτιστοποίησης Αναθέσεων** στο οποίο συσχετίζονται οι ποσότητες $Q_{i,j}$ και V_j, δημιουργείται ο πίνακας κόστους και, για κάθε χρονική στιγμή, επιλύεται το πρόβλημα της ελαχιστοποίησης της αντικειμενικής συνάρτησης F_{obj} με την εξαγωγή βέλτιστων αναθέσεων.
- **Το υποσύστημα του Κατανεμητή** στο οποίο οι παραγόμενες αναθέσεις μετασχηματίζονται σε εντολές ανάθεσης δεδομένων πραγματικού χρόνου και αποστέλλονται στους εμπλεγμένους πυραύλους.

Το εξαιρετικά σύνθετο περιβάλλον της αεράμυνας χαρακτηρίζεται από πιεστικούς χρόνους για αποφάσεις των χειριστών, ραγδαία μεταβαλλόμενες καταστάσεις και μηδενική ανοχή απωλειών. Με αυτόν τον γνώμονα, η ανάπτυξη του μοντέλου έγινε βασιζόμενη σε υπαρκτά προβλήματα που προκύπτουν τόσο στη λειτουργία των Κέντρων Διοίκησης των Πυρών μονάδων αεράμυνας, όσο και στην εφαρμοσμένη λειτουργία των αναθέσεων στόχων σε πυραύλους. Με την εφαρμογή του μοντέλου επιλέγεται και υλοποιείται αυτόματα η βέλτιστη στρατηγική για την ανάθεση πυραυλικών συστημάτων.

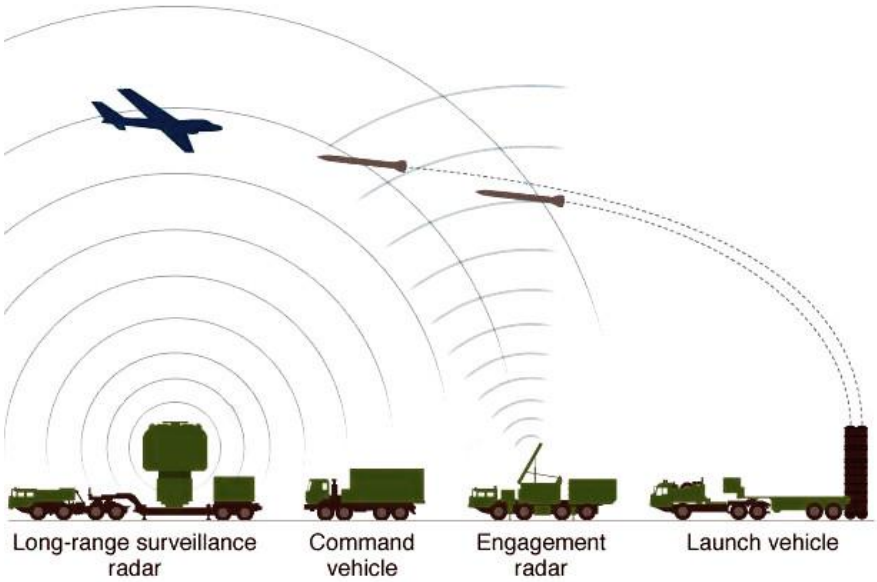
Εισαγωγή

Η έννοια της αεράμυνας ορίζεται από το NATO ως "*όλα τα μέτρα σχεδιασμένα να αδρανοποιήσουν ή μειώσουν την αποτελεσματικότητα εχθρικής εναέριας ενέργειας*" [1].

Η ανάπτυξη συστημάτων για την επιτυχή λειτουργία και επίτευξη του παραπάνω σκοπού σημειώνει μεγάλη πρόοδο τα τελευταία χρόνια με τη ραγδαία ανάπτυξη και της τεχνολογίας.

Η λειτουργία της αεράμυνας έχει να αντιμετωπίσει εχθρικούς στόχους που μπορεί να είναι αεροσκάφη, επανδρωμένα και μη-επανδρωμένα, βαλλιστικούς πυραύλους ή πυραύλους καταστολής αεράμυνας.

Ένα σύστημα αεράμυνας αποτελείται από ραντάρ που ανιχνεύουν τους εχθρικούς στόχους, ραντάρ που καθοδηγούν τους πυραύλους, εκτοξευτές, φορτωτές πυραύλων, τους πυραύλους με όλα τα υποσυστήματα που λειτουργούν εντός αυτών, και το κυριότερο μέρος που είναι τα κέντρα διοίκησης των πυρών, τα οποία συντονίζουν τις λειτουργίες όλων των υπολοίπων μερών.



Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας τα τελευταία χρόνια η ανίχνευση του στόχου και η ικανότητα των πυραύλων έχουν αναβαθμιστεί. Επίσης όμως έχουν αναβαθμιστεί και οι ικανότητες των αεροσκαφών ώστε να αποφεύγουν την αναχαίτιση από πυραύλους αεράμυνας.

Το περιβάλλον της αεράμυνας εμπεριέχει μονάδες πυρός που αποτελούνται από διαφορετικά συστήματα με διαφορετικά όπλα η καθεμία, διαφορετικές δυνατότητες, και σε διαφορετικές πλατφόρμες. Στο σύγχρονο περιβάλλον αεράμυνας συμμετέχουν οπλικές πλατφόρμες από μονάδες εδάφους, από μονάδες αεροσκαφών και από μονάδες πλοίων. Οι μονάδες αυτές μπορεί να είναι στατικές αλλά και κινούμενες.

Τα όπλα που εκτοξεύουν είναι πύραυλοι διαφορετικών δυνατοτήτων, ικανότητας, και τεχνολογίας.

Στο ενοποιημένο αυτό περιβάλλον που συνεργάζονται με σύνθετο τρόπο όλες οι μονάδες πυρός, τα κέντρα διοίκησης των πυρών, παίζουν τον σημαντικότερο ρόλο, καθώς πρέπει να συντονίσουν όλες τις ενέργειες των μονάδων πυρός που συνθέτουν την αντιαεροπορική προστασία ενός ζωτικού χώρου.

Είναι φανερό ότι όσο προηγμένης τεχνολογίας και να είναι τα συστήματα που εκτοξεύουν τα όπλα, αλλά και τα ίδια τα όπλα, ο τρόπος που χρησιμοποιούνται αυτά είναι πιο σημαντικός παράγοντας.

Στα κέντρα διοίκησης του πυρός, οι χειριστές παίρνουν τις αποφάσεις για την ανάθεση του κάθε όπλου σε κάθε στόχο. Πολλές φορές αυτό επαφίεται στο "ένστικτο" του χείριστη, ενώ άλλες φορές γίνεται με κριτήρια στατικά που πηγάζουν από παγιοποιημένες νόρμες και δεν ανταποκρίνονται στο διαρκώς μεταβαλλόμενο περιβάλλον των εναέριων αναχαιτίσεων, όπου οι χρόνοι αντίδρασης είναι εξαιρετικά μικροί και το αποτέλεσμα λάθος απόφασης έχει καταστροφικά αποτελέσματα.

Η λειτουργία της αεράμυνας βασίζεται σε αρχές μηδενικών φίλιων απωλειών, καθώς η καταστροφή ακόμα και μιας φίλιας μονάδας στο σύνολο που συγκροτούν ένα σύστημα αεράμυνας, αναγνωρίζεται ως αποτυχία όλου του συστήματος.

Σε αυτό το σύνθετο περιβάλλον με τους πιεστικούς χρόνους και το ζήτημα των μηδενικών απωλειών, κάθε σενάριο, στο οποίο εχθρικοί στόχοι προσεγγίζουν ζωτικούς χώρους για την προστασία των οποίων διατίθενται φίλιες μονάδες πυρός, εγείρει ευθέως θεμελιώδη ερωτήματα που επαφίενται στον χειριστή να αποφασίσει για την λύση τους. Εξ αυτών τα κεντρικότερα είναι τα εξής.

- Ποιος στόχος απειλεί περισσότερο τον ζωτικό χώρο;
- Ποια μονάδα πυρός είναι καταλληλότερη να τον εμπλέξει;
- Ποιος είναι ο βέλτιστος συνδυασμός μονάδων πυρός και στόχων ώστε να ελαχιστοποιηθεί το σύνολο της εχθρικής απειλής;

Τα ερωτήματα αυτά εκτός του ότι είναι δύσκολο να απαντηθούν, πρέπει να απαντηθούν σε πιεστικό χρόνο, και καθώς η εναέρια τακτική κατάσταση αλλάζει ραγδαία σύντομα, πρέπει να απαντιούνται συνεχώς καθ' όλη τη διάρκεια του τρέχοντα χρόνου της συντονισμένης εμπλοκής.

Με την παρούσα Διατριβή παρουσιάζεται ένα λειτουργικό μοντέλο εφαρμόσιμο σε συστήματα αεράμυνας, που δυναμικά και σε πραγματικό χρόνο απαντάει τα παραπάνω ερωτήματα και αναθέτει δυναμικά τις μονάδες πυρός στους στόχους με βέλτιστο τρόπο, ελαχιστοποιώντας το μέγεθος της εχθρικής απειλής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Τοποθέτηση του Προβλήματος

§1. Κατανομή Όπλων ανά Στόχο (Weapons to Target Assignment)

Το Πρόβλημα της Κατανομής Όπλων ανά Στόχο, γνωστό ως Weapons Target Assignment (WTA) πρόβλημα, ή απλώς Weapon Allocation (WA), είναι ένα βασικό πρόβλημα που προκύπτει στους τομείς της επιχειρησιακής έρευνας που σχετίζονται με τις αμυντικές επιχειρήσεις. Το πρόβλημα συνίσταται στο βέλτιστο συνδυασμό δεσμεύσεων (αναθέσεων) πυραύλων σε εχθρικούς στόχους ώστε η συνολική αξία των στόχων που (αναμένεται ότι) θα επιβιώσει μετά τις εμπλοκές, να καταστεί ελάχιστη ([2-5]).

Στη λειτουργία της αεράμυνας που εξετάζουμε, και υιοθετείται στα περισσότερα συστήματα αεράμυνας που λειτουργούν επί του παρόντος στις στρατιωτικές εγκαταστάσεις, δεσμεύεται (ανατίθεται) ένας πύραυλος ανά ένα στόχο.

Το πρόβλημα είναι σύνθετο, καθώς στο παράδειγμα των τριών όπλων για τρεις στόχους προκύπτουν εννέα συνδυασμοί, ενώ με την πάροδο του χρόνου, την πορεία πτήσης των πυραύλων και την πορεία πτήσης των εχθρικών στόχων, αλλάζει η τακτική κατάσταση, και αυτοί οι συνδυασμοί παύουν να είναι βέλτιστοι.

Η τοποθέτηση του προβλήματος έχει ως εξής. Πρέπει είναι να κατανεμηθούν m πύραυλοι σε n στόχους με βέλτιστο τρόπο ώστε να ελαχιστοποιηθεί η επιβιωσιμότητα των στόχων και της απειλής που θέτουν αυτοί στους ζωτικούς χώρους. Καθώς στα σύγχρονα συστήματα αεράμυνας υπάρχει επάρκεια πυραύλων και, σύμφωνα με συνήθεις επιχειρησιακές τακτικές, κάθε σύστημα αεράμυνας δύναται να εκτοξεύσει περισσότερους του ενός πυραύλους εναντίον κάθε στόχου, θα περιοριστούμε στην περίπτωση κατά την οποία, εναντίον κάθε στόχου πυροδοτείται ακριβώς ένας πύραυλος.

Έστω λοιπόν ότι ένα σύστημα αεράμυνας ότι έχει m όπλα διαθέσιμα και δέχεται απειλή από n εχθρικούς στόχους, με $m \geq n$.

Η απόφαση να ανατεθεί ένας συγκεκριμένος πύραυλος i σε ένα στόχο j χαρακτηρίζεται ως $x_{i,j}$ όπου:

$$x_{i,j} = \begin{cases} 1, \text{αν ο πύραυλος } i \text{ ανατεθεί στο στόχο } j \\ 0, \text{αν ο πύραυλος } i \text{ δεν ανατεθεί στο στόχο } j \end{cases}$$

Η επιβιωσιμότητα του στόχου j σε ενδεχόμενη εμπλοκή με έναν πύραυλο i, εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως τεχνικά κατασκευαστικά στοιχεία, εφαρμοσμένη τεχνολογία, κινητικές συνθήκες αναχαίτισης, ικανότητα διαφυγής στόχου, εμπειρία χειριστών μονάδος πυρός, κ.α. Ο βαθμός επιβιωσιμότητας (:η πιθανότητα επιβίωσης) του στόχου j σε ενδεχόμενη εμπλοκή με έναν πύραυλο i συμβολίζεται με $Q_{i,j}$.

Ο κάθε στόχος j προτάσσει μια απειλή στον ζωτικό χώρο που προστατεύουμε. Αυτός ο βαθμός απειλής εξαρτάται πάλι από παράγοντες που αφορούν την αξία κάθε ζωτικού χώρου, τον βαθμό δυνατότητας του στόχου να τον πλήξει, τεχνικά στοιχεία του στόχου κ.ά. Ο βαθμός απειλής που προσδίδει την αξία ενός στόχου j ορίζεται ως V_j.

Το πρόβλημα μαθηματικοποιείται μοντελοποιούμενο και αποδίδεται ως ένα πρόβλημα ελαχιστοποίησης της αντικειμενικής συνάρτησης που εκφράζει το σύνολο της αξίας των εχθρικών στόχων όταν έχουν αφεθεί όλα τα όπλα σε ανατιθέμενες αναχαιτίσεις:

$$\min\left(F_{obj} = \sum_{j=1}^{n} V_j \prod_{i=1}^{m} Q_{i,j}^{x_{i,j}}\right)$$

με τον περιορισμό

$$\sum_{j=1}^{n} x_{i,j} = 1 \text{ για κάθε } i = 1,2,\ldots,m$$

Η δυναμική λύση του παραπάνω προβλήματος βελτιστοποίησης οδηγεί στον υλοποιούμενο συνδυασμό αναθέσεων πυραύλων σε στόχους, έτσι ώστε το αποτέλεσμα της συνάρτησης να είναι ελάχιστο και οι αναθέσεις να μπορούν να απεικονιστούν συγκεντρωτικά σε έναν πίνακα μεταβλητών:

$$\mathbb{F}_{\mathrm{OBJ}} = \begin{pmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,n} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{m,1} & x_{m,2} & \dots & x_{m,n} \end{pmatrix}$$

όπου όταν μια ανάθεση πυραύλου σε στόχο υλοποιείται η μεταβλητή θα ισούται με 1 ενώ αν δεν υλοποιείται θα ισούται με 0. Έτσι, για παράδειγμα, μία λύση της συνάρτησης για 3 πυραύλους και 3 στόχους θα μπορούσε να είχε την μορφή:

$$\mathbb{F}_{\mathrm{OBJ}} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Το γενικό πρόβλημα είναι σύνθετο καθώς ακόμα και στο παράδειγμα των τριών όπλων για τρεις στόχους, προκύπτουν εννέα συνδυασμοί, ενώ, με την πάροδο του χρόνου και καθώς αλλάζει η τακτική κατάσταση, αυτοί οι συνδυασμοί ενδεχομένως να μην είναι βέλτιστοι.

Εναρμονιζόμενοι στις επιταγές της χρηστικής αξιοποίησης των περισσοτέρων σύγχρονων συστημάτων αεράμυνας, στην παρούσα Εργασία θα αρκεστούμε στην εξέταση του παραπάνω προβλήματος μόνον στην περίπτωση ενός Τετραγωνικού 3×3 Προβλήματος Ανάθεσης (QAP) της μορφής "task allocation problem" ($m = n = 3$), αναζητώντας την εύρεση βέλτιστου δυναμικού συνδυασμού ώστε ανά πάσα στιγμή να ελαχιστοποιείται το κόστος της συνολικής ανάθεσης ([6-8]).

Στην περίπτωση αυτή, ο συναφής πίνακας κόστους που πρέπει να κατασκευασθεί έχει διαστάσεις $mn = 9$ και περιέχει ως στοιχεία του τα γινόμενα $V_j\ Q_{i,j}$. Για την αναγωγή, δημιουργούμε τον πίνακα

$$\text{ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΟΣΤΟΥΣ} = \begin{pmatrix} V_1 Q_{1,1} & V_2 Q_{1,2} & V_3\ Q_{1,3} \\ V_1\ Q_{2,1} & V_2\ Q_{2,2} & V_3\ Q_{2,3} \\ V_1\ Q_{3,1} & V_2\ Q_{3,2} & V_3\ Q_{3,3} \end{pmatrix}$$

όπου σε κάθε γραμμή υλοποιείται ένα από τα τρία γινόμενα, καθώς ισχύει η σχέση ένας προς έναν.

Για την επίλυση του προβλήματος χρησιμοποιείται ο **Hungarian Algorithm**, ή αλλιώς **αλγόριθμος του Munkres**, ο οποίος βρίσκει τη βέλτιστη λύση σε πολυωνυμικό υπολογιστικό χρόνο. Έτσι, εάν, για παράδειγμα, το αποτέλεσμα της επίλυσης του πίνακα κόστους με τον παραπάνω αλγόριθμο είναι της μορφής

$$\text{ΠΙΝΑΚΑΣ ΚΟΣΤΟΥΣ} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix},$$

τότε, αθροίζοντας τις τιμές των $V_j\ Q_{i,j}$ που υλοποιούνται και είναι ίσες με 1, βρίσκουμε και το συνολικό κόστος της αντικειμενικής συνάρτησης. Βρίσκουμε δηλαδή ποιες αναθέσεις θα υλοποιηθούν και ποιος στόχος θα ανατεθεί σε ποιον πύραυλο.

Για το παραπάνω παράδειγμα, το συνολικό κόστος το οποίο είναι και το ελάχιστο, και άρα το σύνολο της αξίας των εχθρικών στόχων όταν έχουν αφεθεί όλα τα όπλα στις υλοποιημένες αναθέσεις θα είναι ελάχιστο και θα ισούται με

$$V_1\ Q_{2,1} + V_2\ Q_{1,2} + V_3\ Q_{3,3}$$

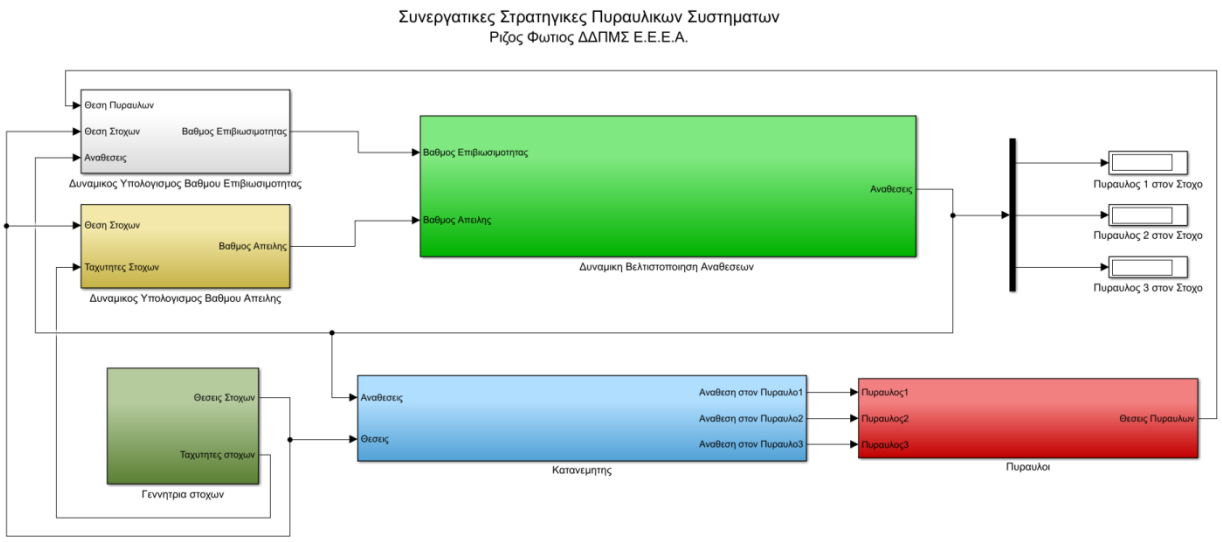
με υλοποιημένες αναθέσεις

Το πρόβλημα με την επίλυση της στατικής ανάθεσης όπλων σε στόχους είναι ότι η εκτίμηση της απειλής, της επιβιωσιμότητας των στόχων καθώς και τον βέλτιστο συνδυασμό, είναι ότι αυτά τα στάδια γίνονται πριν την εκτόξευση των πυραύλων και δεν λαμβάνουν υπόψη το συνεχώς μεταβαλλόμενο πεδίο μάχης.

Με την παρούσα Διατριβή παρουσιάζεται ένα μοντέλο που επιλύει για κάθε χρονική στιγμή το παραπάνω πρόβλημα, ανάγοντας αυτό σε δυναμικό πρόβλημα ανάθεσης.

§2. Γενική Περιγραφή του Μοντέλου Συνεργατικής Στρατηγικής Πυραυλικών Συστημάτων

Το γενικό περίγραμμα του μοντέλου με τα υποσυστήματα που το απαρτίζουν φαίνεται παρακάτω:



Έχοντας ως στόχο την ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης

$$\min\left(F_{obj} = \sum_{j=1}^{n} V_j \prod_{i=1}^{m} Q_{i,j}^{x_{i,j}}\right)$$

με τον περιορισμό

$$\sum_{j=1}^{n} x_{i,j} = 1 \text{ για κάθε } i = 1,2,\ldots,m$$

το μοντέλο απαρτίζεται από τα εξής:

- **Το υποσύστημα του Δυναμικού Υπολογισμού Βαθμού Επιβιωσιμότητας,** στο οποίο υπολογίζεται για κάθε χρονική στιγμή ο βαθμός επιβιωσιμότητας του κάθε στόχου σε υποψήφια αναχαίτιση από κάθε πύραυλο, δηλαδή υπολογίζεται το $Q_{i,j}$.
- **Το υποσύστημα του Δυναμικού Υπολογισμού Βαθμού Απειλής** στο οποίο υπολογίζεται για κάθε χρονική στιγμή η αξία του κάθε στόχου σε σχέση με τον προστατευόμενο ζωτικό χώρο, δηλαδή υπολογίζεται το V_j.

- **Το υποσύστημα της Δυναμικής Βελτιστοποίησης Αναθέσεων**
  στο οποίο συσχετίζονται τα $Q_{i,j}$ και V_j, δημιουργείται η μήτρα κόστους, και για κάθε χρονική στιγμή επιλύεται η συνάρτηση $F_{obj} = \sum_{j=1}^{n} V_j \prod_{i=1}^{m} Q_{i,j}^{x_{i,j}}$ με την εξαγωγή των βέλτιστων αναθέσεων.
- **Το υποσύστημα του Κατανεμητή**
  στο οποίο οι παραγόμενες αναθέσεις μετασχηματίζονται σε εντολές ανάθεσης δεδομένων πραγματικού χρόνου και αποστέλλονται στους εμπλεγμένους πυραύλους.
- **Το υποσύστημα της Γεννήτριας Στόχων**
  το οποίο λειτουργεί μόνο για τις ανάγκες της προσομοίωσης, και παράγει τις θέσεις, τροχιές και ταχύτητες εχθρικών στόχων που απειλούν τον προστατευόμενο ζωτικό χώρο.
- **Το υποσύστημα των Πυραύλων**
  το οποίο λειτουργεί μόνο για τις ανάγκες της προσομοίωσης και προσομοιώνει σε ρεαλιστικό επίπεδο με τεχνικές λειτουργίες, την λειτουργία των πυραύλων που ίπτανται και αναχαιτίζουν τους εχθρικούς στόχους.

Επί πλέον, καθώς το μοντέλο σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε ώστε να είναι εφαρμόσιμο σε πραγματικές συνθήκες, η συγκρότησή του περιλαμβάνει τα εξής τέσσερα υποσυστήματα:

- **το υποσύστημα του Δυναμικού Υπολογισμού Βαθμού Επιβιωσιμότητας,**
- **το υποσύστημα του Δυναμικού Υπολογισμού Βαθμού Απειλής,**
- **το υποσύστημα της Δυναμικής Βελτιστοποίησης Αναθέσεων** και
- **το υποσύστημα του Κατανεμητή,**

ενώ τα υποσυστήματα των πυραύλων και της γεννήτριας στόχων, σε πραγματικές συνθήκες θα υλοποιούνται από πραγματικούς πυραύλους, και ραντάρ που ανιχνεύουν τους στόχους.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ανάπτυξη του μοντέλου έγινε βασιζόμενη σε υπαρκτά προβλήματα που προκύπτουν τόσο στην λειτουργία των Κέντρων Διοίκησης των Πυρών μονάδων αεράμυνας, όσο και στην εφαρμοσμένη λειτουργία των αναθέσεων στόχων σε πυραύλους.

Στην ανάλυση των υποσυστημάτων του μοντέλου παρακάτω, αναλύονται και οι επιλύσεις τέτοιων ζητημάτων.

Επίσης η σχεδίαση στο περιβάλλον του Matlab, δίνει την δυνατότητα εφαρμογής αναρίθμητων σεναρίων και προσομοιώσεων του μοντέλου, ώστε να είναι αντικειμενικότερη η εκτίμηση των χειριστών αεράμυνας για το ορθό χειρισμό καταστάσεων σε σενάρια απειλής.

Τέλος η δυνατότητα παραγωγής του πηγαίου κώδικα παρέχει μια εφαρμόσιμη λύση στην υιοθέτηση του μοντέλου σε συσκευές που μπορούν να ενταχθούν σε σύστημα αεράμυνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Μοντέλο Συνεργατικής Στρατηγικής Πυραυλικών Συστημάτων

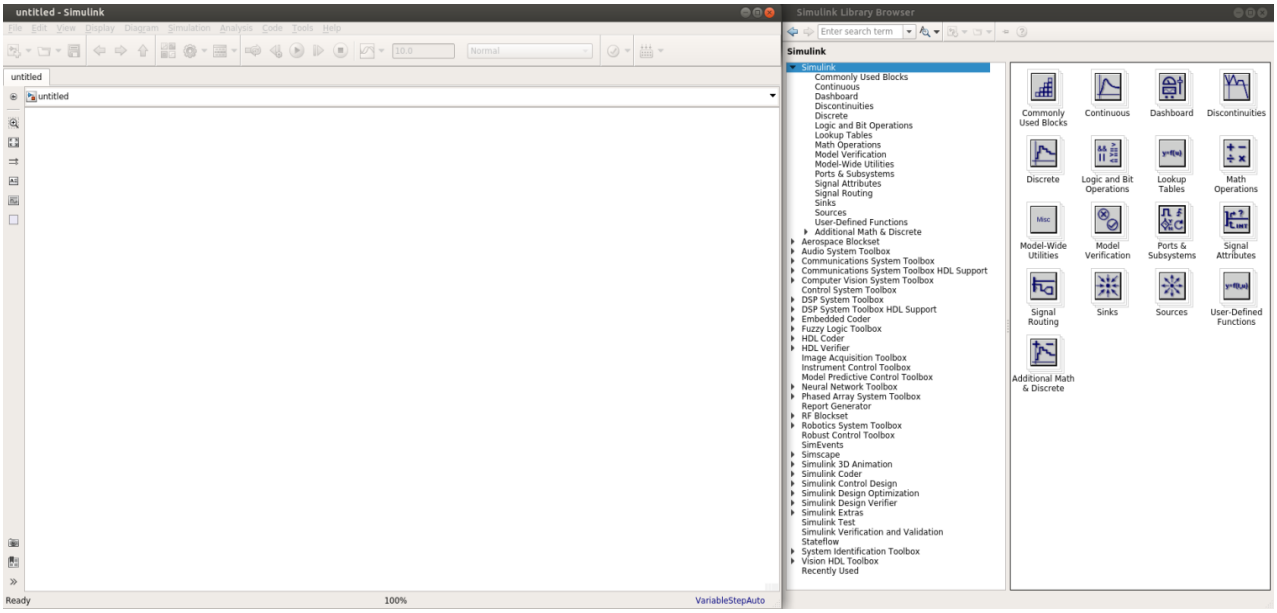
§1. Μεθοδολογία Προσομοίωσης

Για την ανάπτυξη του μοντέλου Συνεργατικής Στρατηγικής Πυραυλικών Συστημάτων χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα του MATLAB της Mathworks.

Η σχεδίαση του μοντέλου υλοποιήθηκε στο περιβάλλον SIMULINK της MATLAB, σε λειτουργικό 64bit Linux. Το περιβάλλον του SIMULINK είναι ένα περιβάλλον προγραμματισμού με γραφικό τρόπο το οποίο προσομοιώνει και αναλύει δυναμικά συστήματα.

Η σχεδίαση και η διεπαφή του μοντέλου με το περιβάλλον γίνεται με την χρήση γραφικών block που εκτελούν τις μαθηματικές λειτουργίες που ορίζει ο χρήστης. Τα block αυτά σχηματίζουν διάταξη με ενώσεις που αντιπροσωπεύουν την μεταφορά δεδομένων από το ένα στο άλλο, και οι μαθηματικές λειτουργίες των block αντλούνται απο την ίδια την πλατφόρμα της MATLAB.

Το κυριότερο πλεονέκτημα της σχεδίασης ενός μοντέλου στο SIMULINK είναι η δυνατότητα παραγωγής και εξαγωγής του πηγαίου κώδικα ενός μοντέλου σε γλώσσα προγραμματισμού C/C++ για την χρήση του σε άλλα συστήματα.



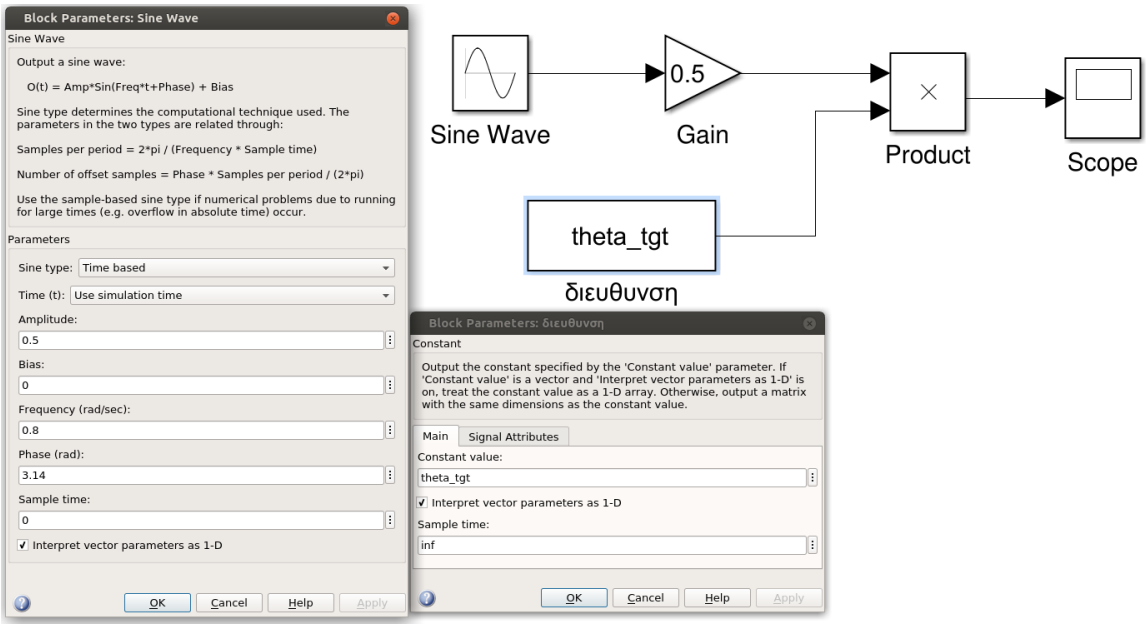
Κάθε block εκτελεί μια μαθηματική λειτουργία και απεικονίζεται με γραφικό τρόπο στο περιβάλλον του SIMULINK.

Τα blocks είτε αντλούν τις αρχικές συνθήκες $(x_0, y_0, \ldots, m)$ από τιμές που ορίζει ο χρήστης στο ίδιο το block, είτε τις αντλούν από την βάση δεδομένων του μοντέλου. Επίσης, τα blocks συνδέονται μεταξύ τους με συνδέσεις που απεικονίζονται γραφικά με γραμμές και μέσω αυτών διαβιβάζονται τα δεδομένα (inputs, outputs).

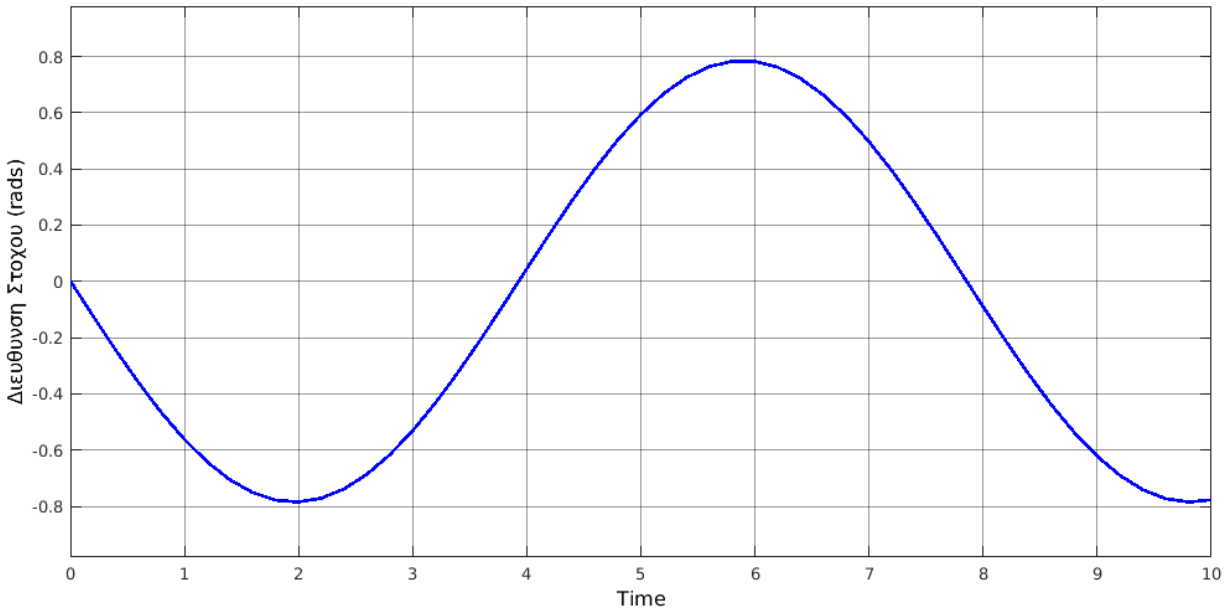
Για την ανάλυση των δεδομένων που εξάγονται χρησιμοποιούνται μεταξύ άλλων και "παράθυρα" και "απεικονίσεις".

Ο αριθμός των blocks μπορεί να συγκροτήσει ένα υποσύστημα, με εισόδους και εξόδους που αντιστοιχούν στις αρχικές εισόδους και τελικές εξόδους των επιμέρους block που το συγκροτούν.

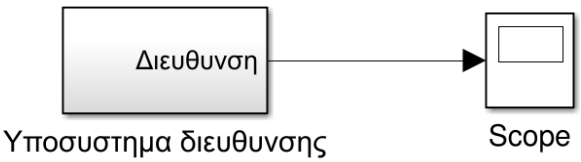
Για παράδειγμα μια γεννήτρια ημιτονοειδούς σήματος που η έξοδος της πολλαπλασιάζεται με την σταθερά 0.5 και ακολούθως πολλαπλασιάζεται με μια μεταβλητή από την βάση δεδομένων (πχ, διεύθυνση στόχου) και το αποτέλεσμα απεικονίζεται σε παράθυρο θα έχει την παρακάτω εμφάνιση στο SIMULINK.



ενώ η απεικόνιση των αποτελεσμάτων εμφανίζεται όπως παρακάτω:



Η παραπάνω διάταξη μπορεί να συγκροτήσει ένα υποσύστημα με έξοδο την διεύθυνση του στόχου:

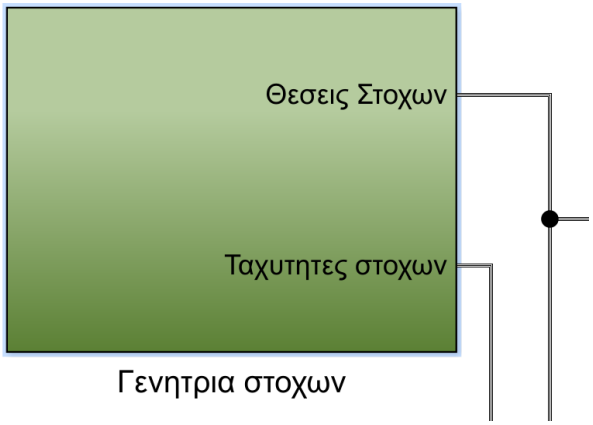


§2. Γεννήτρια Στόχων

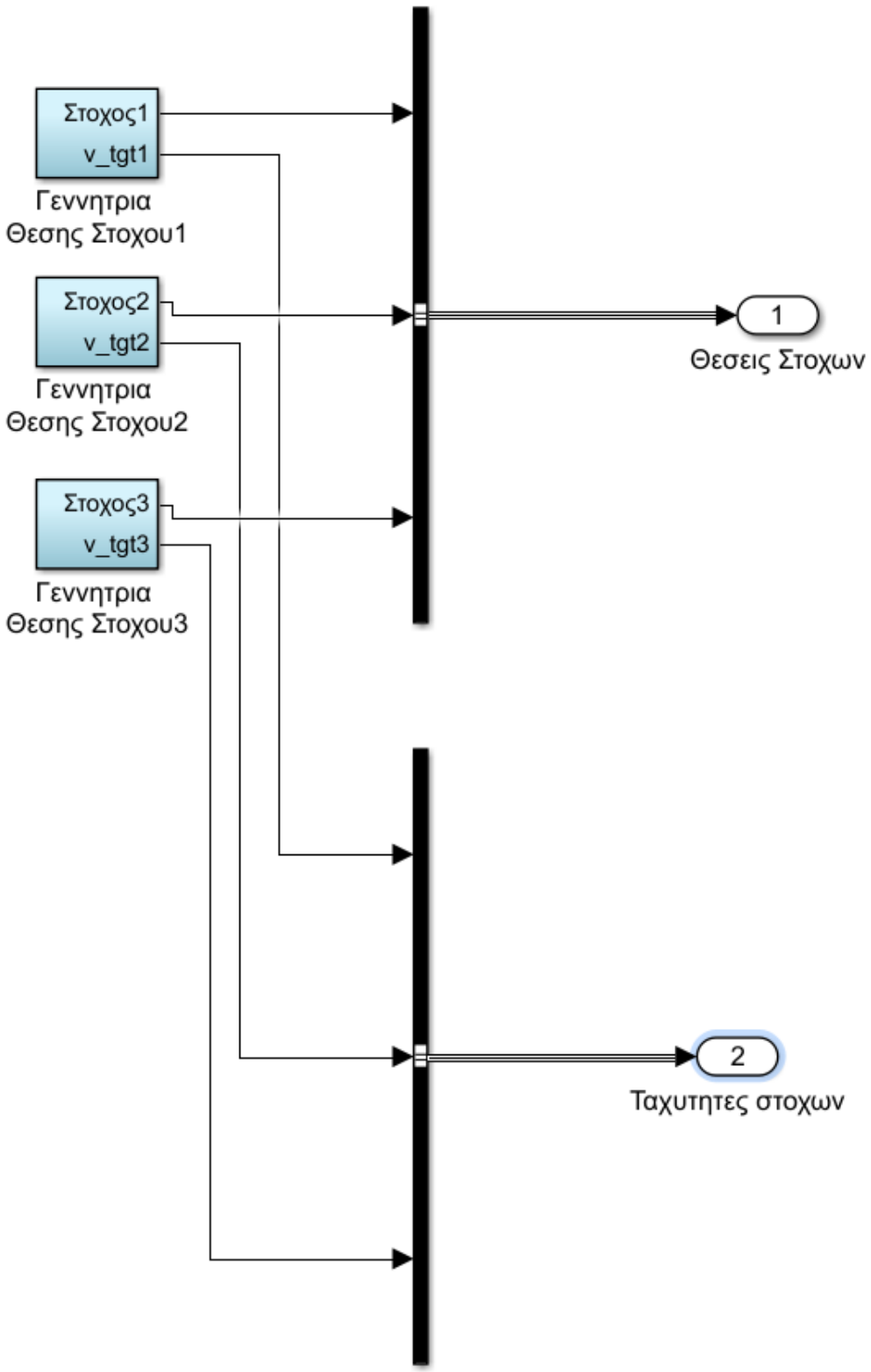
Το μοντέλο Συνεργατικής Στρατηγικής Πυραυλικών Συστημάτων σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε με σκοπό να βελτιστοποιείται δυναμικά η ανάθεση πυραύλων που ίπτανται για να αναχαιτίσουν εχθρικούς στόχους.

Για να είναι δυνατή η προσομοίωση της λειτουργίας του, χρειάζεται να προσομοιωθούν στο περιβάλλον του SIMULINK στόχοι που θα αναπαριστούν τους εχθρικούς στόχους που θα απειλούν ένα ζωτικό χώρο ώστε οι φίλιοι πύραυλοι να κατευθύνονται να τους αναχαιτίσουν.

Με την χρήση των blocks που αναφέραμε παραπάνω, σχεδιάστηκε το υποσύστημα της γεννήτριας στόχων, που για το παράδειγμά μας συγκροτείται από τα υποσυστήματα τριών στόχων.



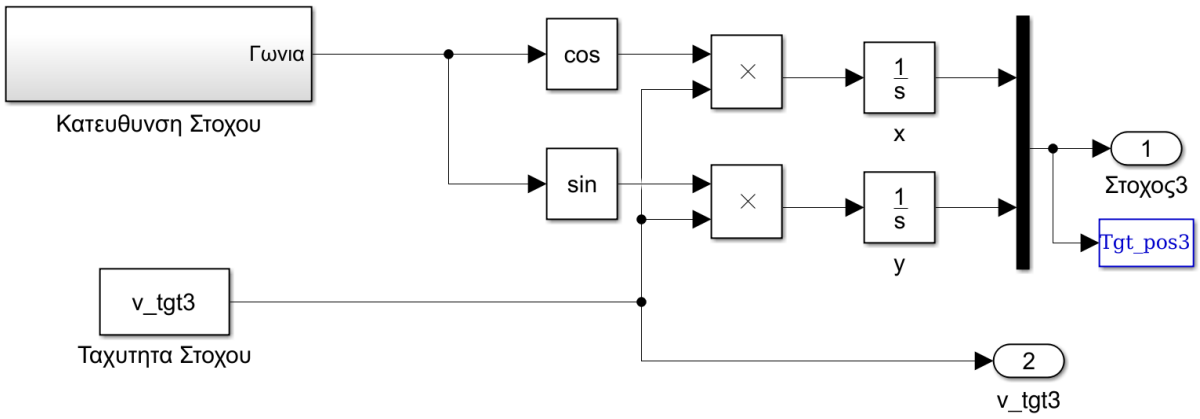
Οι έξοδοι του υποσυστήματος είναι οι Θέσεις Στόχων και οι Ταχύτητες Στόχων. Η συγκρότησή του φαίνεται παρακάτω:


Στοχος1
v_tgt1
Γεννητρια
Θεσης Στοχου1
Στοχος2
v_tgt2
Γεννητρια
Θεσης Στοχου2
Στοχος3
v_tgt3
Γεννητρια
Θεσης Στοχου3
1
Θεσεις Στοχων
2
Ταχυτητες στοχων

Με την χρήση των block "μίκτη" οι συντεταγμένες των τριών στόχων συγκροτούνται σε ένα ενιαίο σήμα που φέρει τις τιμές τους και καταλήγει στην έξοδο 1 "Θέσεις Στόχων"

Με την χρήση των block "μίκτη" οι ταχύτητες των τριών στόχων συγκροτούνται σε ένα ενιαίο σήμα που φέρει τις τιμές τους και καταλήγει στην έξοδο 2 "Ταχύτητες Στόχων".

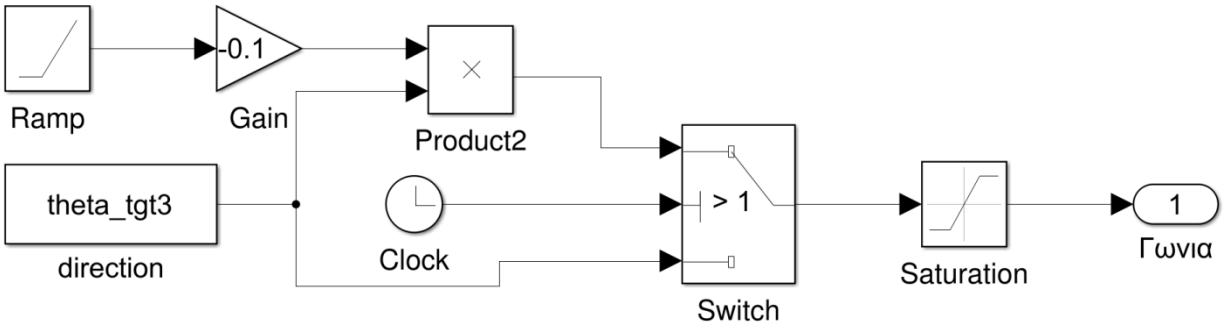
Η κάθε γεννήτρια θέσης στόχου έχει διάταξη όπως παρακάτω.



Σε αυτήν την διάταξη ένα υποσύστημα της κατεύθυνσης του στόχου παρέχει την γωνία σε rads της κατεύθυνσης του στόχου στο καρτεσιανό σύστημα αναφοράς.

Με την χρήση ευκλείδειας γεωμετρίας η ταχύτητα του στόχου (που αντλείται από την βάση δεδομένων) V_{target} διακρίνεται σε V_X και V_Y με το γινόμενο του συνημιτόνου και ημιτόνου της τρέχουσας κατεύθυνσης του στόχου, και ακολούθως με ολοκλήρωση ως προς το χρόνο της προσομοίωσης, εξάγονται οι τρέχουσες συντεταγμένες σε X και Y του στόχου.

Το υποσύστημα της κατεύθυνσης στόχου έχει διάταξη όπως παρακάτω



Η αρχική διεύθυνση του στόχου αντλείται από την βάση δεδομένων.

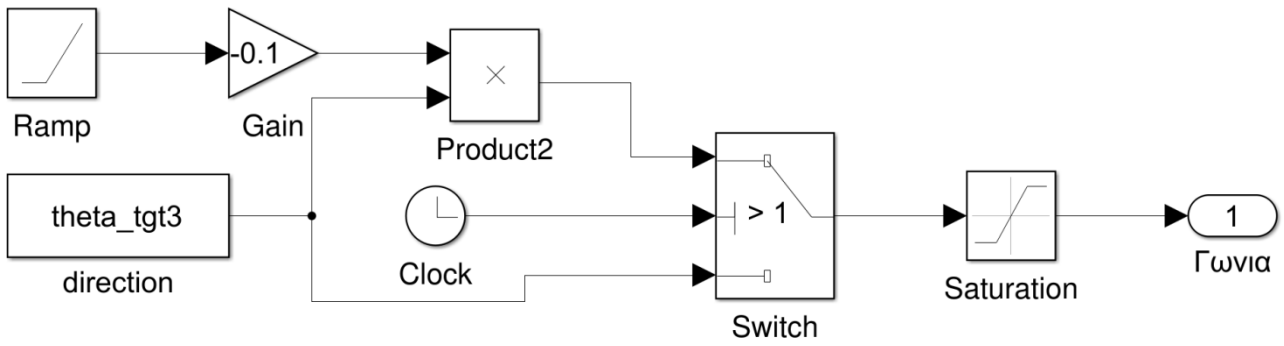
Μια γεννήτρια παράγει συνεχές σήμα σταθερής αύξησης το οποίο πολλαπλασιάζεται με μια σταθερά και ακολούθως πολλαπλασιάζεται με την αρχική διεύθυνση του στόχου

Έτσι επιτυγχάνουμε μια διαρκή μεταβολή (στροφή) της κατεύθυνσης του στόχου.

Ακολουθεί μια διάταξη που συγκρίνει την τιμή του χρόνου προσομοίωσης, που στο συγκεκριμένο παράδειγμα ο διακόπτης διαβιβάζει μέχρι το 1° sec την αρχική τιμή της διεύθυνσης (άρα η κατεύθυνση του στόχου είναι ευθεία) και μετά το 1° sec αρχίζει η μεταβολή της (άρα η κατεύθυνση του στόχου είναι σε στροφή). Ακολουθεί μια διάταξη που θέτει όριο στην μεγίστη τιμή της διεύθυνσης ώστε από μια τιμή και μετά η διεύθυνση να παραμένει σταθερή και άρα η κατεύθυνση του στόχου να ξαναέρθει σε ευθεία τροχιά.

Στο παράδειγμα μας ο προσομοιωμένος στόχος 1 θα πετάξει σε ευθεία κατεύθυνση ενώ ο στόχος 2 και 3 θα ακολουθήσει πορεία ανάλογη με τις παραπάνω διατάξεις.

Το αποτέλεσμα των παραπάνω διατάξεων στο επίπεδο $X - Y$ για προσομοίωση 15.5 sec και αρχικές θέσεις των στόχων στα 10.000m είναι όπως παρακάτω:



Η αρχική διεύθυνση του στόχου αντλείται από την βάση δεδομένων.

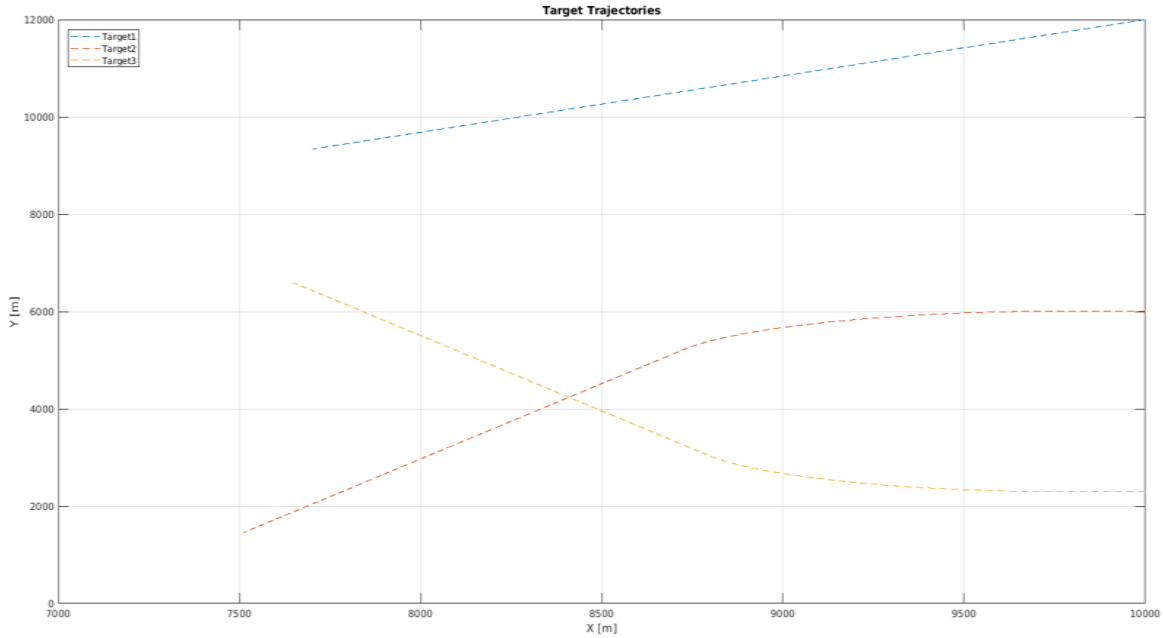
Μια γεννήτρια παράγει συνεχές σήμα σταθερής αύξησης το οποίο πολλαπλασιάζεται με μια σταθερά και ακολούθως πολλαπλασιάζεται με την αρχική διεύθυνση του στόχου

Έτσι επιτυγχάνουμε μια διαρκή μεταβολή (στροφή) της κατεύθυνσης του στόχου.

Ακολουθεί μια διάταξη που συγκρίνει την τιμή του χρόνου προσομοίωσης, που στο συγκεκριμένο παράδειγμα ο διακόπτης διαβιβάζει μέχρι το 1° sec την αρχική τιμή της διεύθυνσης (άρα η κατεύθυνση του στόχου είναι ευθεία) και μετά το 1° sec αρχίζει η μεταβολή της (άρα η κατεύθυνση του στόχου είναι σε στροφή). Ακολουθεί μια διάταξη που θέτει όριο στην μεγίστη τιμή της διεύθυνσης ώστε από μια τιμή και μετά η διεύθυνση να παραμένει σταθερή και άρα η κατεύθυνση του στόχου να ξαναέρθει σε ευθεία τροχιά.

Στο παράδειγμα μας ο προσομοιωμένος στόχος 1 θα πετάξει σε ευθεία κατεύθυνση ενώ ο στόχος 2 και 3 θα ακολουθήσει πορεία ανάλογη με τις παραπάνω διατάξεις.

Το αποτέλεσμα των παραπάνω διατάξεων στο επίπεδο X-Y για προσομοίωση 15.5 sec και αρχικές θέσεις των στόχων στα 10.000m είναι όπως παρακάτω:



§3. Μοντέλο Λειτουργίας Πυραύλων

Το μοντέλο Συνεργατικής Στρατηγικής Πυραυλικών Συστημάτων σχεδιάστηκε και αναπτύχθηκε με σκοπό να βελτιστοποιείται δυναμικά η ανάθεση πυραύλων που ίπτανται για να αναχαιτίσουν εχθρικούς στόχους.

Ένα από τα κρίσιμα ζητήματα που προκύψανε ήταν η ορθή προσομοίωση των πυραύλων.Καθώς το μοντέλο σχεδιάστηκε για εφαρμογή σε πραγματικές συνθήκες, έπρεπε και η προσομοίωση των πυραύλων να προσομοιάζει το δυνατόν τις πραγματικές συνθήκες που επικρατούν στην λειτουργία ενός αντιαεροπορικού πυραύλου.

Η απλή προσομοίωση ενός πυραύλου ως σημείο που κατευθύνεται σε άλλο σημείο ακολουθώντας μια εντολή αλλαγής θέσης στο καρτεσιανό, δεν ανταποκρίνεται στον ρεαλισμό της εφαρμοσμένης λειτουργίας της αεράμυνας, και δεν επιλύει το πλήθος των προβλημάτων που προκύπτουν στην σύνθετη διαδικασία της λειτουργίας μιας αντιαεροπορικής ασπίδας.

Για αυτό τον λόγο και για να είναι δυνατή η εφαρμογή του μοντέλου της Συνεργατικής Στρατηγικής Πυραυλικών Συστημάτων σε πραγματικές συνθήκες, επιλέχθηκε ως προσομοίωση των πυραύλων ένα μοντέλο που προσομοιώνει όλες τις λειτουργίες ενός πυραύλου. Στο μοντέλο λειτουργίας πυραύλων προσομοιώνονται οι ηλεκτρονικές λειτουργίες, οι μηχανικές λειτουργίες, οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και όλες οι συνθήκες που θα επικρατούσαν σε μια ρεαλιστική λειτουργία.

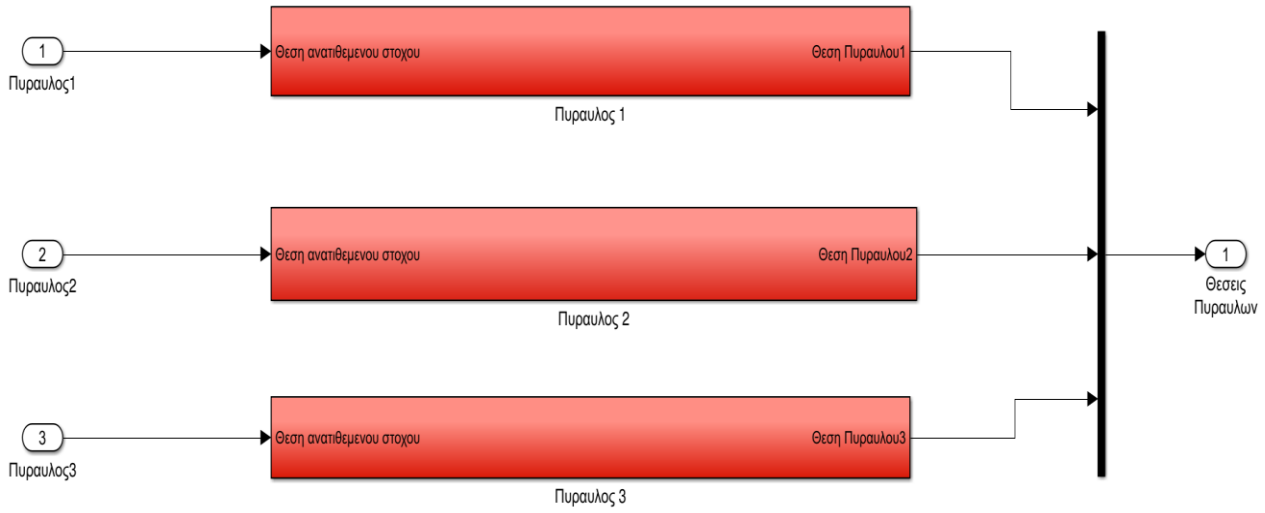
Ως αρχή σύνθεσης του υποσυστήματος των Πυραύλων που φαίνεται παρακάτω:

είναι η χρήση του Aerospace Blockset που βρίσκεται στα εργαλεία του SIMULINK, και συγκεκριμένα το παράδειγμα μοντέλου aero_guidance [9] [10] [11] [12].

Το μοντέλο του aero_guidance σχεδιάστηκε για την προσομοίωση πυραύλου που κινείται μόνο στον επίπεδο X-Z και αναχαιτίζει στόχο που ίπταται σε ευθεία.

Με αρκετές τροποποιήσεις τόσο στην δομή του όσο και στην βάση δεδομένων του matlab, επιτεύχθηκε η μετατροπή του μοντέλου ώστε να προσομοιάζει πύραυλο που κινείται στο επίπεδο X-Y και αναχαιτίζει στόχο που ίπταται με οποιαδήποτε τροχιά, και να είναι δυνατή η μεταβαλλόμενη ανάθεση στόχων σε αυτόν.

Το γενικό περίγραμμα του υποσυστήματος των πυραύλων έχει όπως παρακάτω:



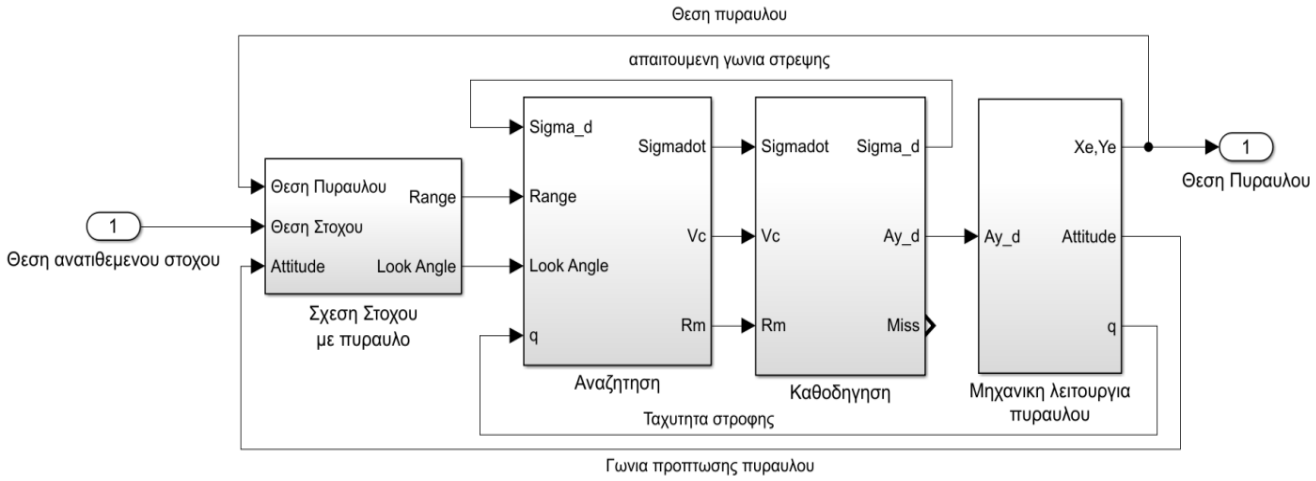
Στη διάταξη διακρίνουμε τρεις πυραύλους, που χρησιμοποιούνται για το παράδειγμα της ανάλυσης του μοντέλου, αλλά η προσθήκη περισσοτέρων είναι απλή και γρήγορη με την χρήση των λειτουργιών του simulink.

Επίσης, στη διάταξη διακρίνουμε την έξοδο από κάθε πύραυλο της θέσης του πυραύλου, αυτό όμως απεικονίζεται μόνο για τους σκοπούς της προσομοίωσης, αφού σε πραγματικές συνθήκες, οι θέσεις των πυραύλων θα αντλούνται από μια εξωτερική πηγή η οποία μπορεί να είναι ένα

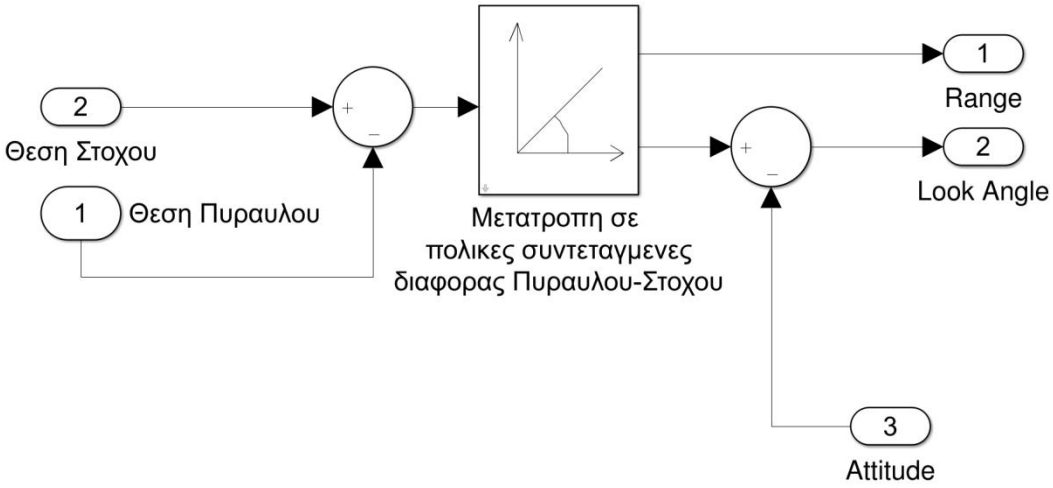
- Τοπικό Ραντάρ επιφανείας
- Ραντάρ ανώτερου κλιμακίου,
- Ραντάρ συνεργατικής μονάδας,

ανάλογα με την τεχνολογία που είναι εφαρμοσμένη σε πυραύλους που λειτουργούν επί του παρόντος σε συστήματα αεράμυνας παγκοσμίως, είναι δυνατή επίσης και η εκπομπή από τον πύραυλο της θέσης του η οποία εξάγεται από αισθητήρες στο εσωτερικό του και εκπέμπονται από πομπό του.

Το εσωτερικό κάθε υποσυστήματος πυραύλου έχει όπως παρακάτω:

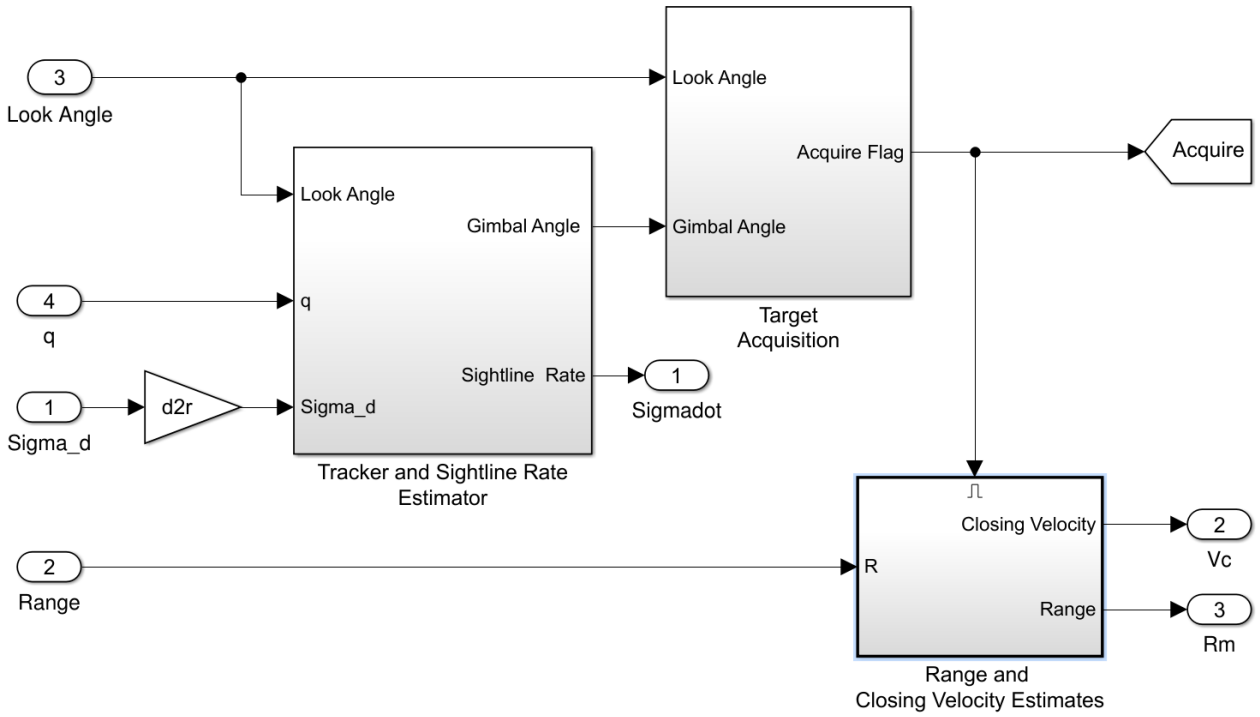


Στο πρώτο υποσύστημα καθορίζεται η σχέση του ανατιθεμένου στόχου με τον πύραυλο και εξάγεται η απόσταση και η γωνία θέασης. Η διάταξή του έχει όπως παρακάτω:

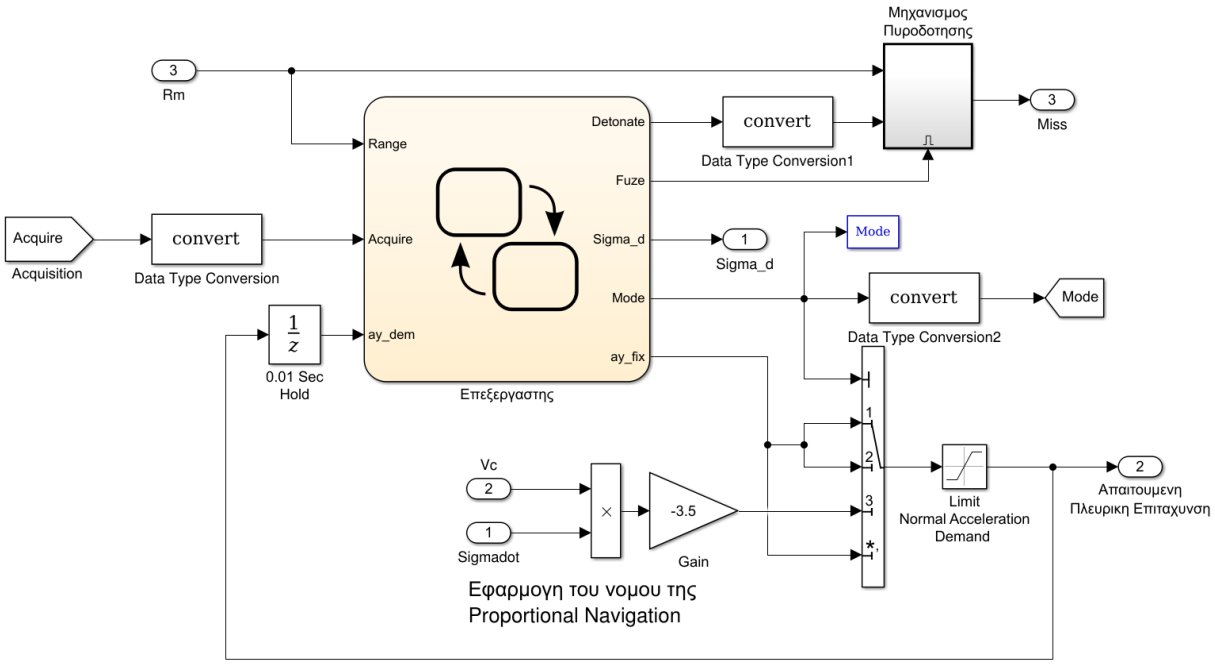


Στο δεύτερο υποσύστημα της αναζήτησης, βρίσκονται οι διατάξεις του μηχανισμού αναζήτησης όπου με την λειτουργία δέκτη σε γυροσκόπιο γίνεται η αναζήτηση των εκπομπών ανάκλασης του στόχου και κλειδώνει η αναζήτηση στον στόχο. Ως έξοδο καθορίζεται η ταχύτητα προσέγγισης και ο ρυθμός μεταβολής της γωνίας πυραύλου – στόχου, ενώ η απόσταση και ταχύτητα προσέγγισης διαβιβάζονται μόνο εφόσον έχει επιτευχθεί το "lock" του πυραύλου στο στόχο από τον δέκτη του συστήματος αναζήτησης, ώστε να εκκινήσει η λειτουργία του autopilot

Η διάταξη του υποσυστήματος αναζήτησης έχει όπως παρακάτω:



Το επόμενο υποσύστημα της καθοδήγησης το οποίο περιέχει και την διάταξη του αυτομάτου πιλότου, του επεξεργαστή του πυραύλου, και τον μηχανισμό πυροδότησης.



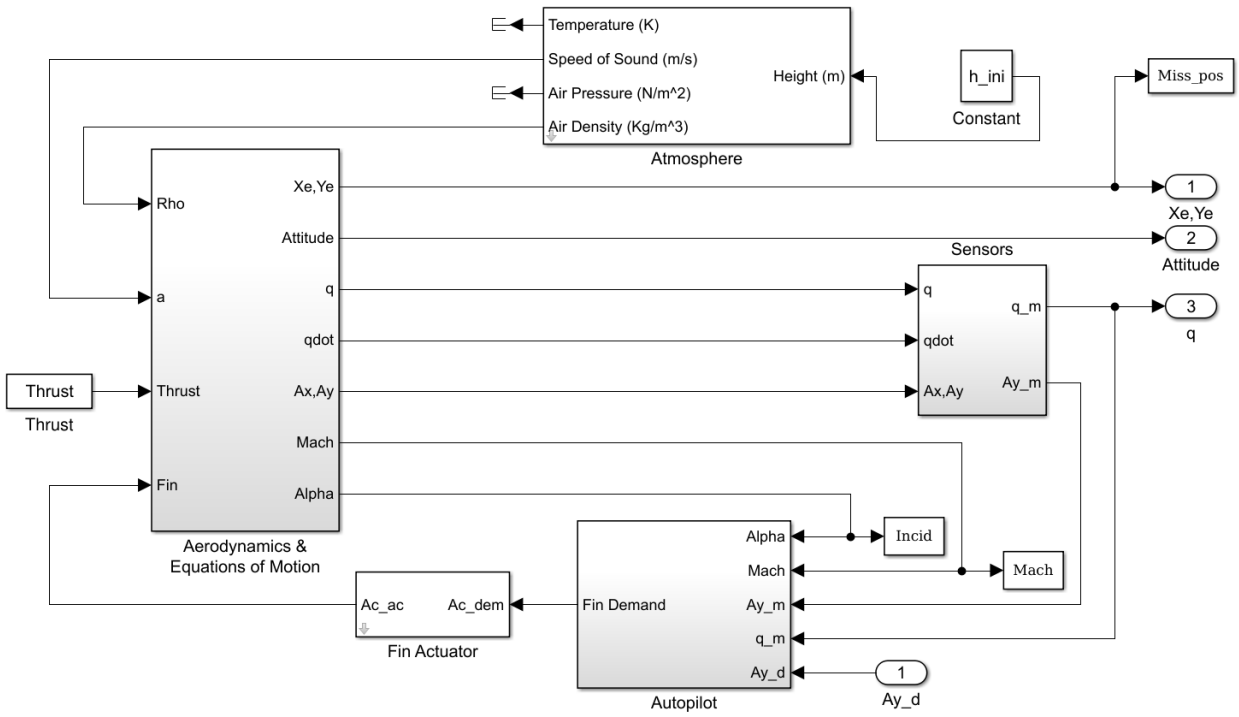
Το υποσύστημα εφόσον έχει επιτευχθεί lock, λαμβάνει τον ρυθμό μεταβολής της γωνίας στόχου – πυραύλου και την ταχύτητα προσέγγισης και με την χρήση της αρχής της Proportional Navigation, εξάγει την απαιτούμενη πλευρική επιτάχυνση που πρέπει να δεχθεί ο πύραυλος για να αναχαιτίσει τον στόχο στο προβλεπόμενο σημείο αναχαίτισης.

Ο επεξεργαστής του αυτόματου πιλότου διαχωρίζει τις καταστάσεις του πυραύλου και εφόσον έχει επιτευχθεί lock πάνω από 0.2 sec, προκαλεί την έναρξη της καθοδήγησης. Εάν δεν επιτευχθεί lock συνεχίζει την αναζήτηση του στόχου, εάν χαθεί το lock και είχε ήδη εκκινήσει η κατεύθυνση με την πλευρική επιτάχυνση, κρατάει την τελευταία τιμή της πλευρικής επιτάχυνσης και συνεχίζει την στροφή. Όταν ο πύραυλος προσεγγίσει τον στόχο στα 1000 ο επεξεργαστής δίνει εντολή να οπλίσει ο μηχανισμός πυροδότησης.

Στον μηχανισμό πυροδότησης εφόσον η απόσταση στόχου-πυραύλου είναι μικρότερη των 1000m , οπλίζει ο μηχανισμός και όταν η $1^{η}$ παράγωγος της απόστασης μηδενίσει, τότε δίνεται το σήμα για πυροδότηση. Το παραπάνω είναι η συνήθης τακτική στα βλήματα αεράμυνας, καθώς η πυροδότηση συμβαίνει όταν ο πύραυλος είναι στην πλησιέστερη απόσταση από τον στόχο, ώστε τα θραύσματα του να τον καταστρέψουν.

Έχοντας εξάγει την αναγκαία πλευρική επιτάχυνση από το υποσύστημα της καθοδήγησης, τροφοδοτείται με αυτήν το υποσύστημα της μηχανικής λειτουργίας του πυραύλου.

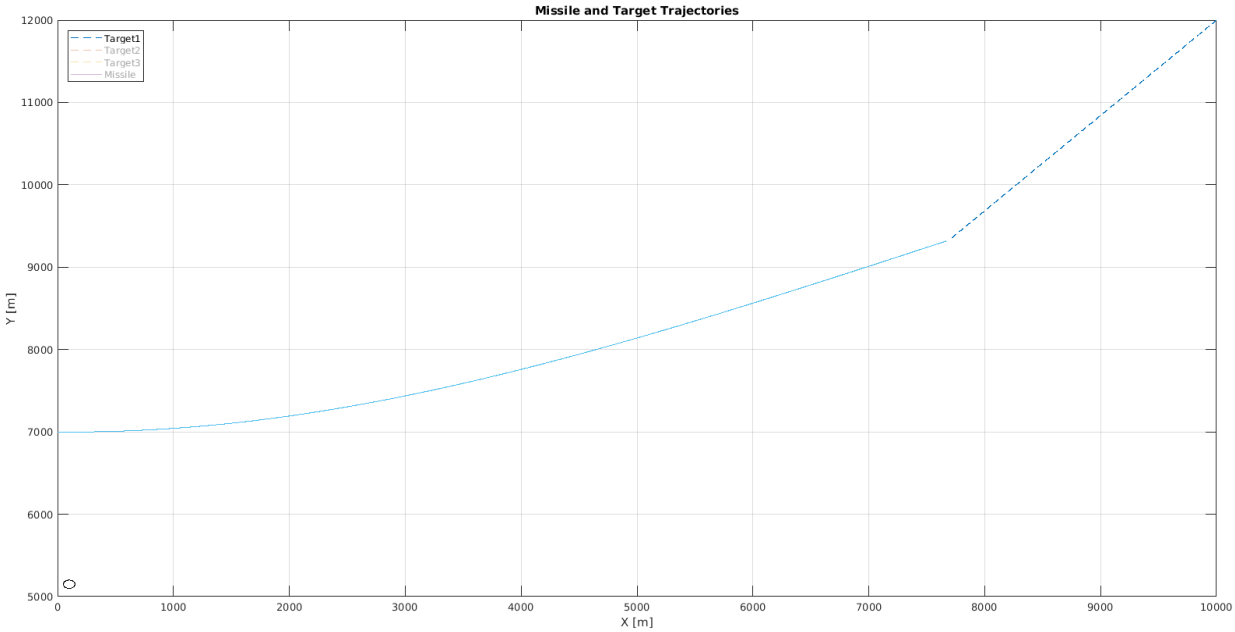
Η διάταξη του υποσυστήματος έχει όπως παρακάτω:



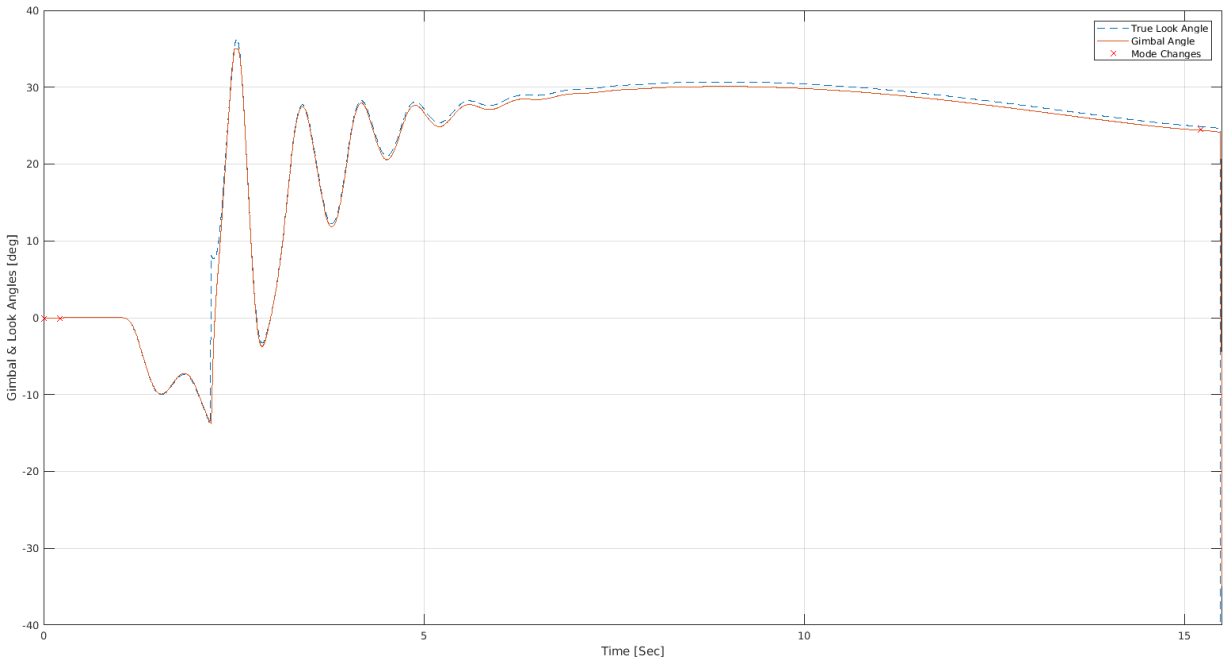
Με δεδομένα την αναγκαία πλευρική επιτάχυνση και την ώθηση από τον κινητήρα του πυραύλου, το υποσύστημα προσομοιώνει την λειτουργία της κίνησης του σώματος του πυραύλου στον αέρα, με τις δυνάμεις που ασκούνται τόσο σε επίπεδο ατμοσφαιρικών συνθηκών αλλά κυρίως στην κίνηση των πτερυγίων του πυραύλου που θα στρέψουν σε τέτοια κλίση ώστε να επιτευχθεί ελεγχόμενα η αλλαγή κατεύθυνσής του.

Όλα τα παραπάνω υποσυστήματα του πυραύλου της προσομοίωσης, λειτουργούν και στις πραγματικές συνθήκες σαν διακριτά μέρη στο σώμα ενός πραγματικού πυραύλου, ενώ σχεδιάστηκαν από την Mathworks βασιζόμενα στα συνήθη υποσυστήματα που λειτουργούν σε πραγματικούς πυραύλους ([9-12]), ενώ για την παρούσα προσομοίωση, μεταβλήθηκαν στοιχεία της βάσης δεδομένων, ώστε το μοντέλο πυραύλου να μην έχει τα ίδια πτητικά στοιχεία με άλλο πύραυλο που υπάρχει επί του παρόντος στην αγορά της αμυντικής βιομηχανίας ή σε στρατιωτικές εγκαταστάσεις αεράμυνας.

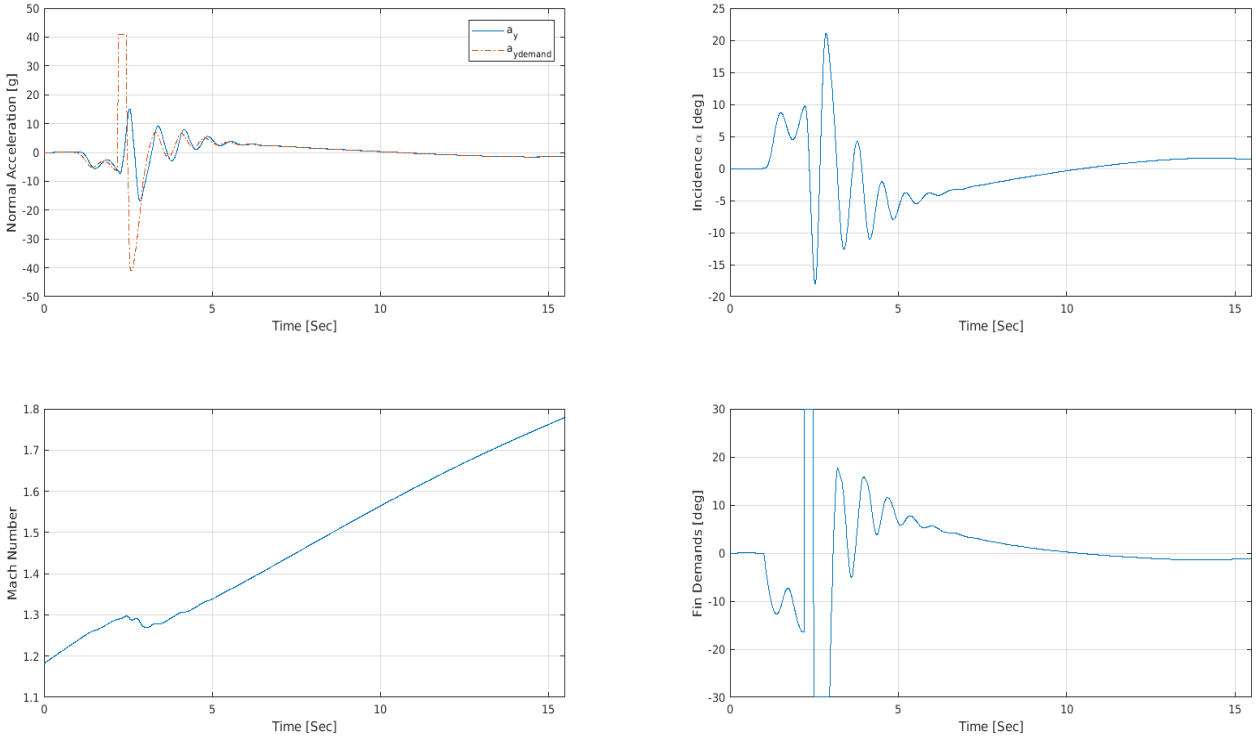
Τα δεδομένα που αντλούμε από την πτήση ενός πυραύλου στο παράδειγμα της προσομοίωσης εμφανίζονται παρακάτω:



Τροχιές Πυραύλου – Στόχου μέχρι το σημείο αναχαίτισης



Λειτουργία αναζήτησης στόχου



Πλευρική Επιτάχυνση – Γωνία Άξονα – Ταχύτητα Πυραύλου – Κλίση πτερυγίων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Δυναμικός Υπολογισμός Βαθμού Απειλής

§1. Υποσύστημα Δυναμικού Υπολογισμού Βαθμού Απειλής

Το υποσύστημα του δυναμικού υπολογισμού απειλής τροφοδοτεί το υποσύστημα της δυναμικής ανάθεσης και τροφοδοτείται από τρία στοιχεία:

- Θέσεις Στόχων
- Ταχύτητες στόχων
- Θέση ζωτικού χώρου.

Οι θέσεις των στόχων καθώς και οι ταχύτητές τους , είναι στοιχεία που λαμβάνονται από μια εξωτερική πηγή η οποία μπορεί να είναι

- ένα Τοπικό Ραντάρ επιφανείας
- ένα Ραντάρ ανώτερου κλιμακίου,
- ένα Ραντάρ συνεργατικής μονάδας είτε
- Αισθητήρες πυραύλων.

Η θέση του ζωτικού χώρου παρέχεται από την βάση δεδομένων του μοντέλου και ορίζεται από τον χειριστή, θέτοντας σε αυτή τις συντεταγμένες του κέντρου της προστατευόμενης περιοχής (για κυκλική κατανομή ζωτικού χώρου) σε καρτεσιανή μορφή (X, Y), λαμβάνοντας τα στοιχεία αυτά είτε από χάρτη είτε από διάταξη GPS. Η θέση του ζωτικού χώρου που ορίζεται είναι το σημείο αναφοράς βάση του οποίου υπολογίζεται και ο βαθμός απειλής που προτάσσει ο κάθε στόχος για τον ζωτικό χώρο.

Από την τοποθέτηση του προβλήματος και λαμβάνοντας υπόψη τον αντικειμενικό σκοπό της ελαχιστοποίησης της συνάρτησης κόστους ανάθεσης υπολογίζεται η αξία του κάθε στόχου ανάλογα με τον χρόνο που απαιτείται κάθε στιγμή για να φτάσει με ευθεία πτήση από την τρέχουσα θέση, στον ζωτικό χώρο.

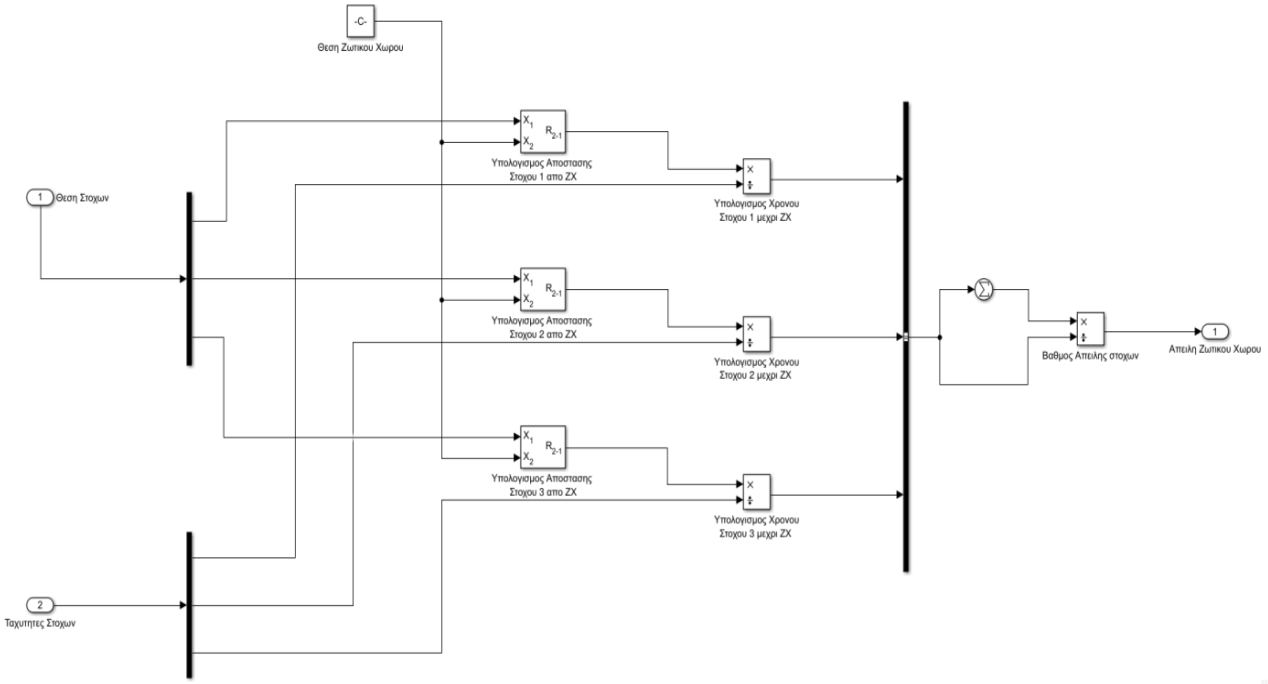
Λαμβάνοντας υπόψη ότι η πτήση του στόχου σε ευθεία γραμμή από την τρέχουσα θέση προς τον ζωτικό χώρο, αντιπροσωπεύει και το χειρότερο δυνατό σενάριο , για την ελαχιστοποίηση της απειλής που θέτει αυτός, πρέπει να εξεταστεί ως πρωτεύουσα παράμετρος που καθορίζει τον βαθμό απειλής, ο χρόνος που θα απαιτούνταν να φτάσει αυτός μέχρι τον ζωτικό χώρο.

Επομένως στην αντικειμενική συνάρτηση

$$F_{obj} = \sum_{j=1}^{n} V_j \prod_{i=1}^{m} Q_{i,j}^{x_{i,j}}$$

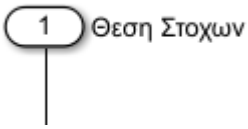
το V_j θα εξαρτάται από τον χρόνο που θα απαιτούνταν σε κάθε στιγμή για να φτάσει ο στόχος εάν έκανε πτήση σε ευθεία γραμμή από την τρέχουσα θέση μέχρι τον ζωτικό χώρο. Δεδομένου ότι σκοπός είναι η ελαχιστοποίηση της αντικειμενικής συνάρτησης αλλά κρατώντας όσο το δυνατόν πιο μακρυά τους στόχους από τον ζωτικό χώρο, τότε όσο μικρότερος υπολογίζεται ο χρόνος απειλής για κάθε στόχο, τόσο μεγαλύτερη είναι και η αξία αυτού του στόχου.

Το γενικό περίγραμμα του υποσυστήματος του δυναμικού υπολογισμού απειλής απεικονίζεται με την προσομοίωση τριών στόχων και έχει όπως παρακάτω:

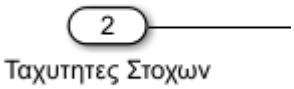


Η περιγραφή των στοιχείων του υποσυστήματος ξεκινά από την είσοδο των παραμέτρων

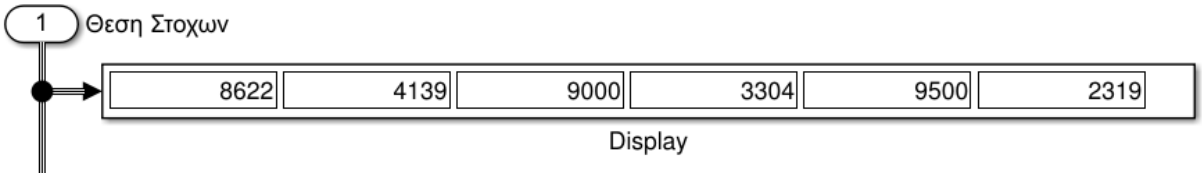
- της τρέχουσας θέσης των στόχων στην είσοδο 1



-της τρέχουσας θέσης των στόχων στην είσοδο 2



Η είσοδος των παραμέτρων υλοποιείται με την μορφή σήματος που εμπεριέχει τις πληροφορίες όπως παρακάτω:

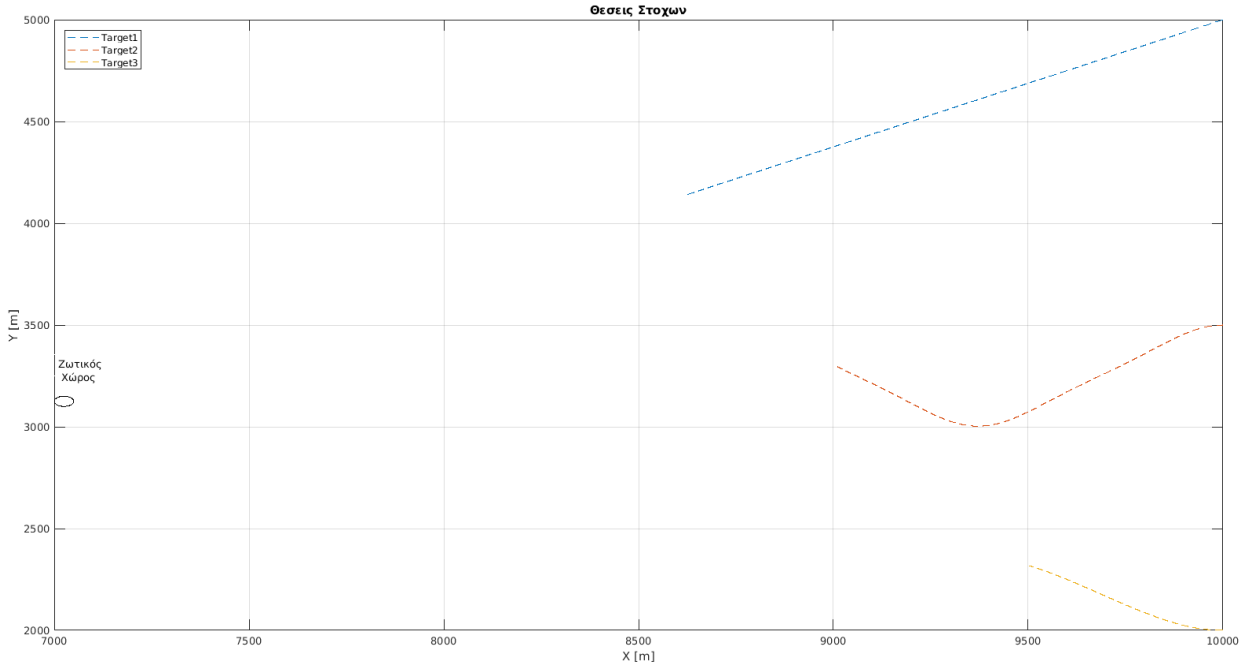


Και τα δυο σήματα σε πραγματικές συνθήκες προέρχονται από εξωτερική πηγή όπως αναφέρθηκε, ενώ για τις ανάγκες της προσομοίωσης του μοντέλου, στο παρών υποσύστημα προέρχονται από το υποσύστημα της «Γεννήτρια Στόχων».

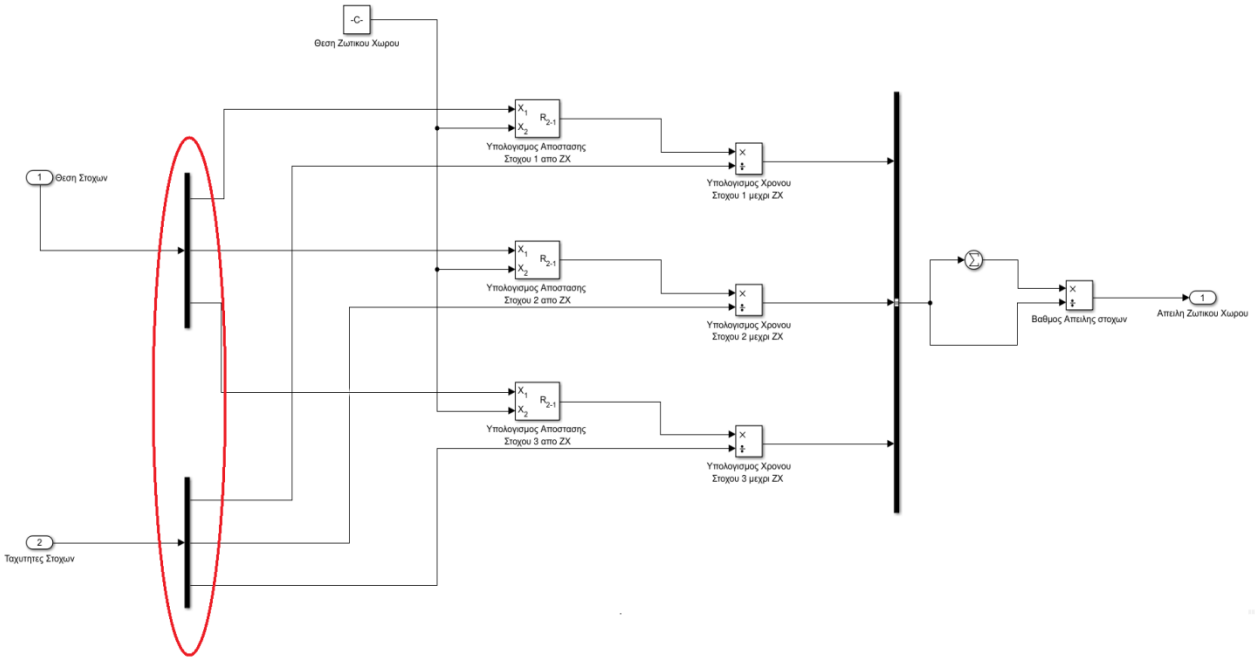
Στο συγκεκριμένο παράδειγμα που προσομοιώνονται τρεις στόχοι, η είσοδο 1 μεταφέρει υπό μορφή πίνακα [1x6] σε σειρά τις θέσεις των στόχων με τις καρτεσιανές συντεταγμένες στο επίπεδο XY του $1^{ου}$ στόχου (X_1=8622, Y_1=4139), στην συνέχεια οι καρτεσιανές συντεταγμένες του $2^{ου}$ στόχου (X_2=9000, Y_2=3304) και ακολουθούν οι συντεταγμένες του $3^{ου}$ στόχου (X_3=9500, Y_3=2319).

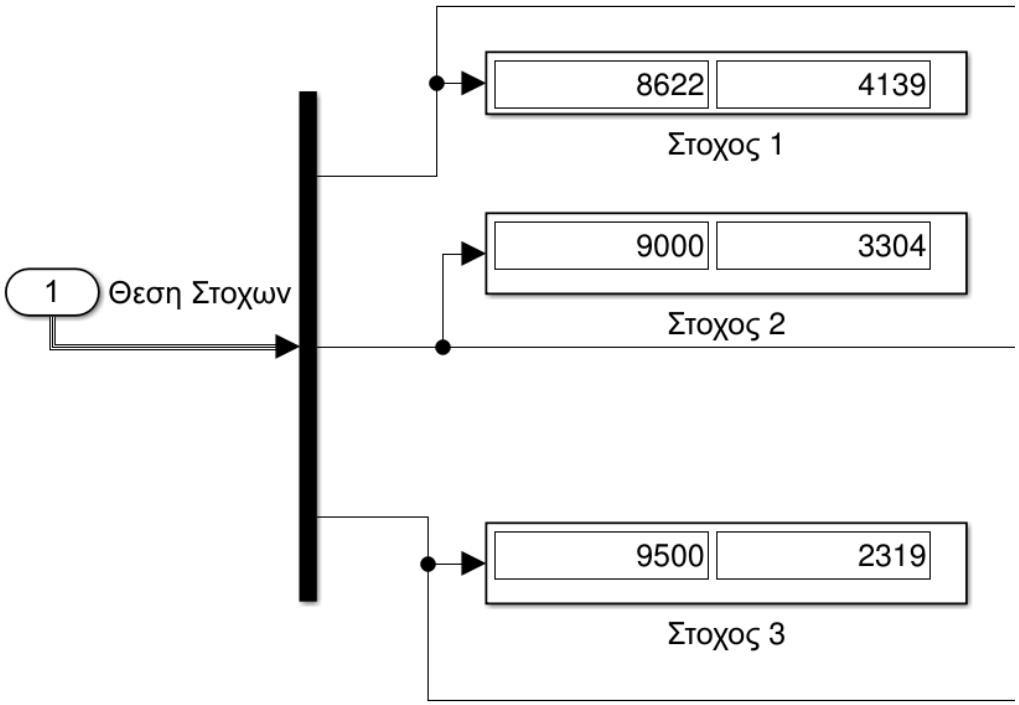
Η είσοδος 2 μεταφέρει υπό μορφή πίνακα $[1 \times 3]$ σε σειρά τις ταχύτητες των στόχων σε m/s με την ταχύτητα του $1^{ου}$ στόχου (U_1=325 m/s) στη συνέχεια η ταχύτητα του $2^{ου}$ στόχου (U_2=200 m/s) και ακολουθεί η ταχύτητα του 3ου στόχου (U_2=200 m/s).

Τα παραπάνω στοιχεία μεταφέρουν τις τρέχουσες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο, και για το συγκεκριμένο παράδειγμα απεικονίζονται τα στοιχεία των στόχων όπως διαμορφωθήκαν στο 5° δευτερόλεπτο της προσομοίωσης.



Ακολούθως τα δυο σήματα εισέρχονται σε διακλαδωτές όπου και διαχωρίζονται στις συνιστώσες τους:





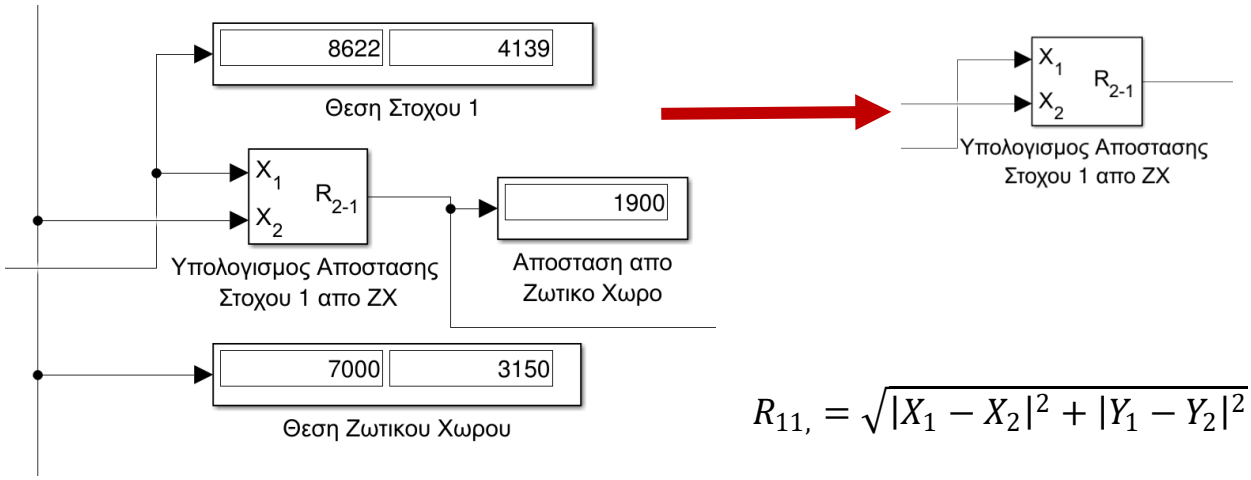
Αφού τα σήματα έχουν διαχωριστεί στις συνιστώσες τους και είναι γνωστό για κάθε στόχο η θέση του, γίνεται υπολογισμός της απόστασης του κάθε στόχου από τον ζωτικό χώρο.

Ο υπολογισμός γίνεται στις παρακάτω διατάξεις όπου

- X_1 είσοδος είναι η θέση του στόχου και
- X_2 είσοδος είναι η θέση του ζωτικού χώρου, η οποία λαμβάνεται από την βάση δεδομένων και ορίζεται από τον χειριστή.

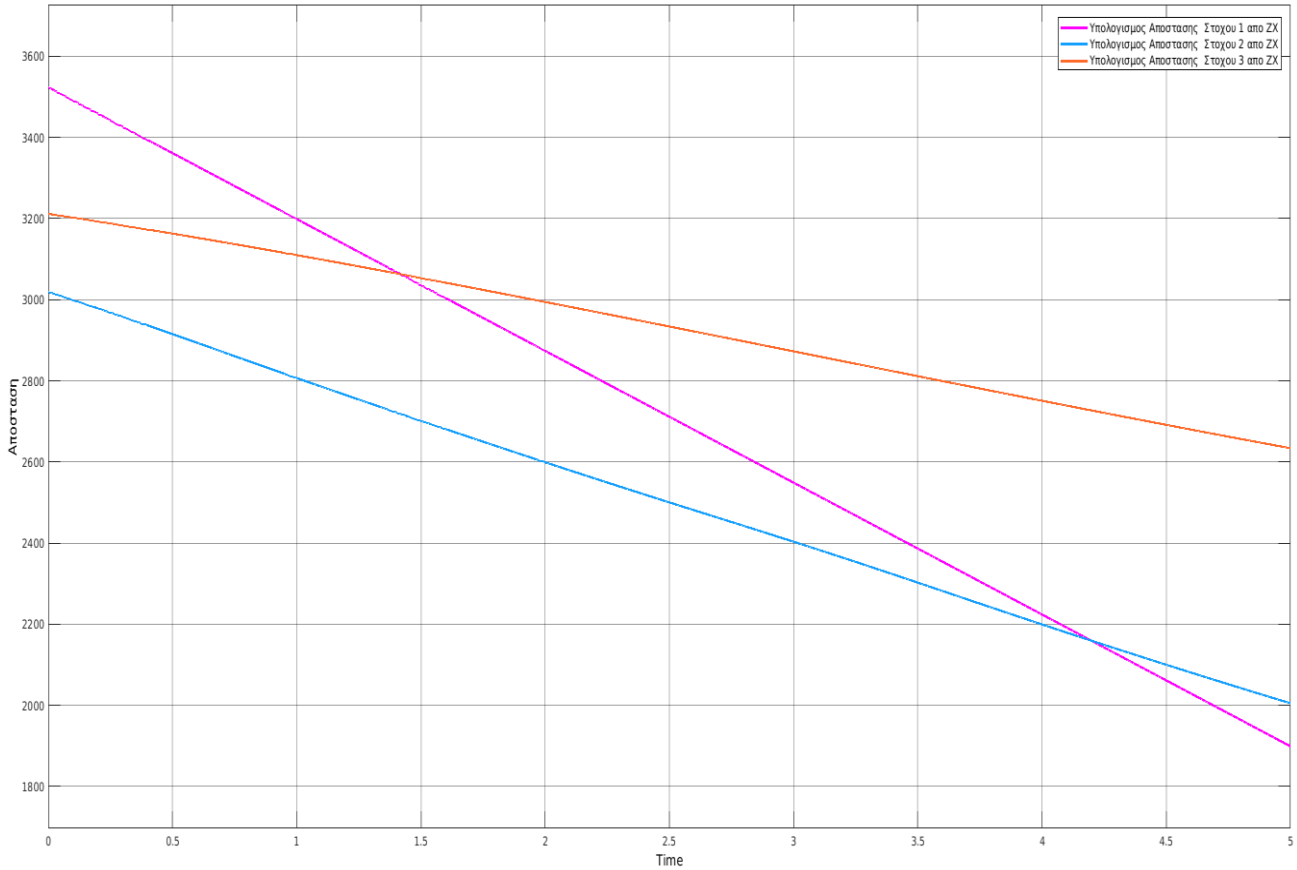
Είναι επίσης δυνατή η εισαγωγή στο υποσύστημα και η θέση κινούμενου ζωτικού χώρου, για την εφαρμογή του μοντέλου και σε προστατευόμενες μονάδες που κινούνται, όπως αυτοκινητοπομπές, αεροσκάφη ή πλοία.

Στο παράδειγμα περιγραφής ο ζωτικός χώρος είναι σταθερός.

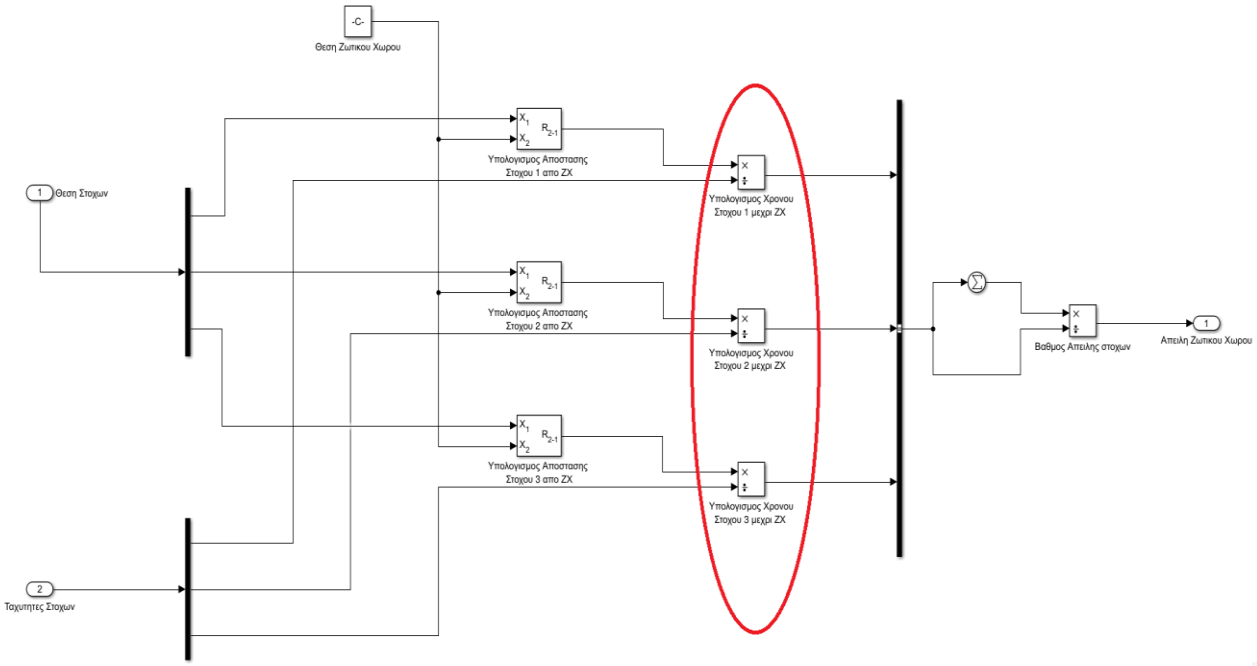


$$R_{11,} = \sqrt{|X_1 - X_2|^2 + |Y_1 - Y_2|^2}$$

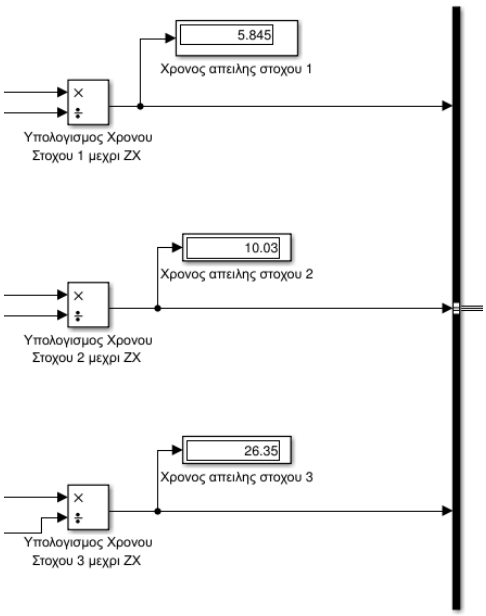
Η μεταβολή της απόστασης των στόχων από τον ζωτικό χώρο σε σχέση με τον χρόνο φαίνεται παρακάτω:

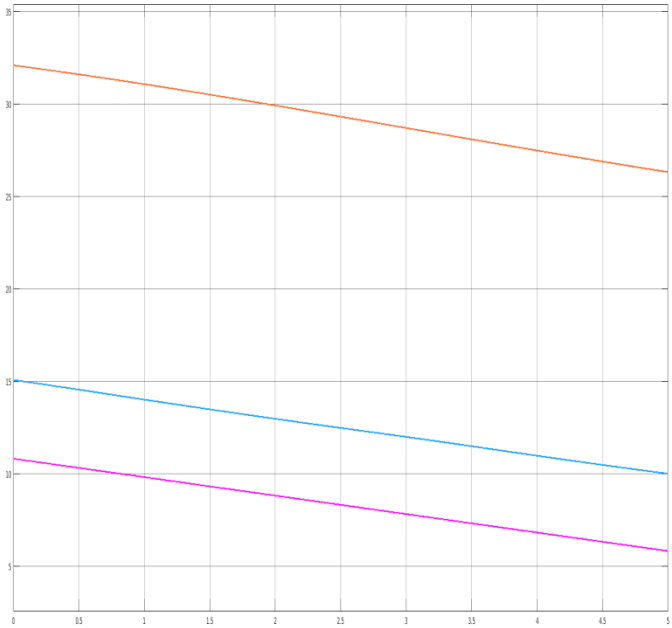


Ακολούθως υπολογίζονται οι χρόνοι που θα απαιτούνταν, να φτάσει κάθε στόχος στον ζωτικό χώρο , κατευθυνόμενος σε ευθεία γραμμή με την τρέχουσα ταχύτητα προς τον ΖΧ.



Για τον υπολογισμό των χρόνων διαιρείται η απόσταση κάθε στόχου με την τρέχουσα ταχύτητα του.

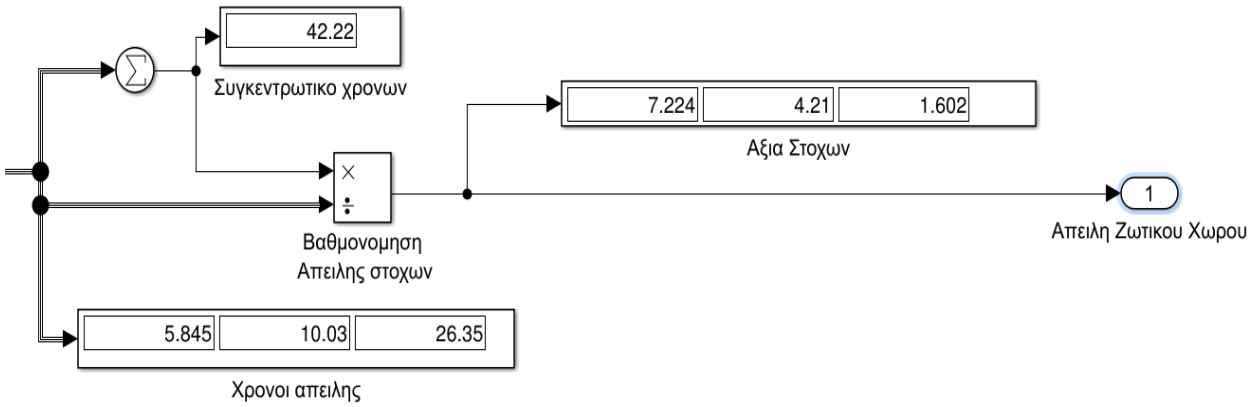




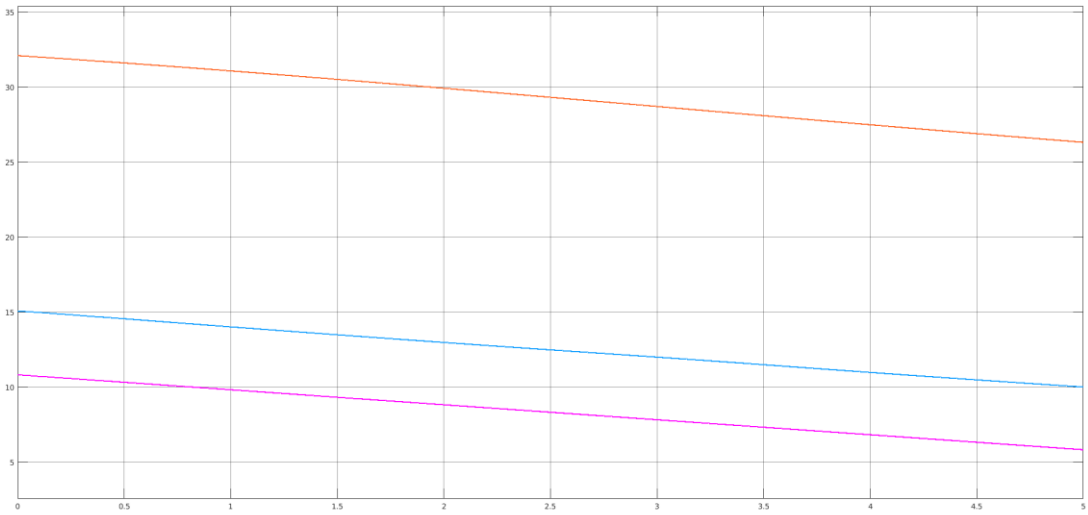
Ακολούθως τα τρία σήματα με τους χρόνους απειλής εισέρχονται σε διακλαδωτή και συγκροτούν ένα σήμα με μορφή πίνακα ([1,3]).

Έχοντας υπόψη την ανάγκη προτεραιοποίησης της απειλής, η αξία ενός στόχου καθορίζεται ως το άθροισμα των χρόνων απειλής και των τριών στόχων, δια τον χρόνο απειλής του υπόψη στόχου.

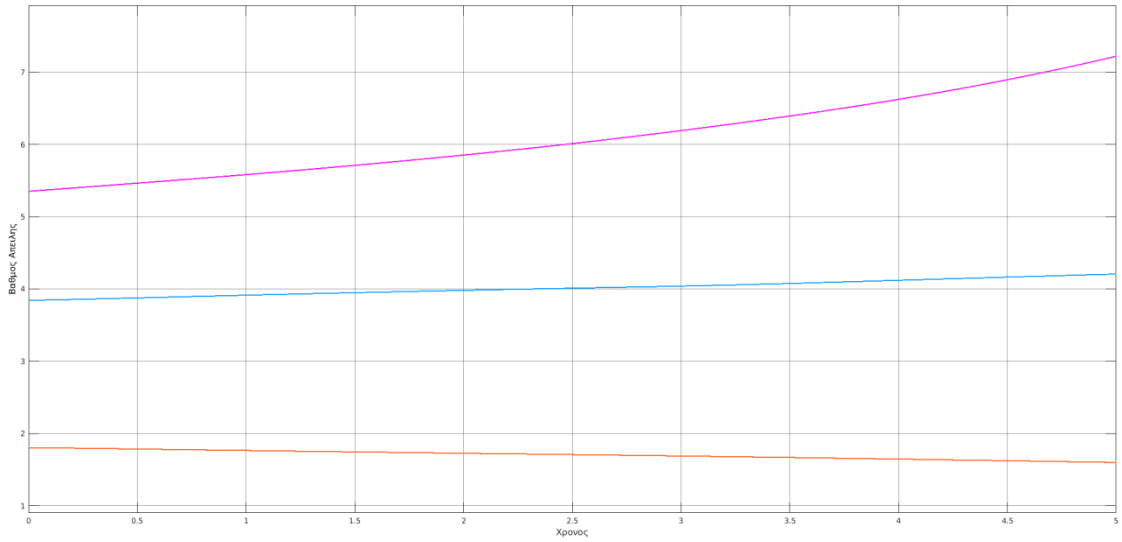
Η βαθμονόμηση αυτή λαμβάνει χώρα στην επόμενη διάταξη



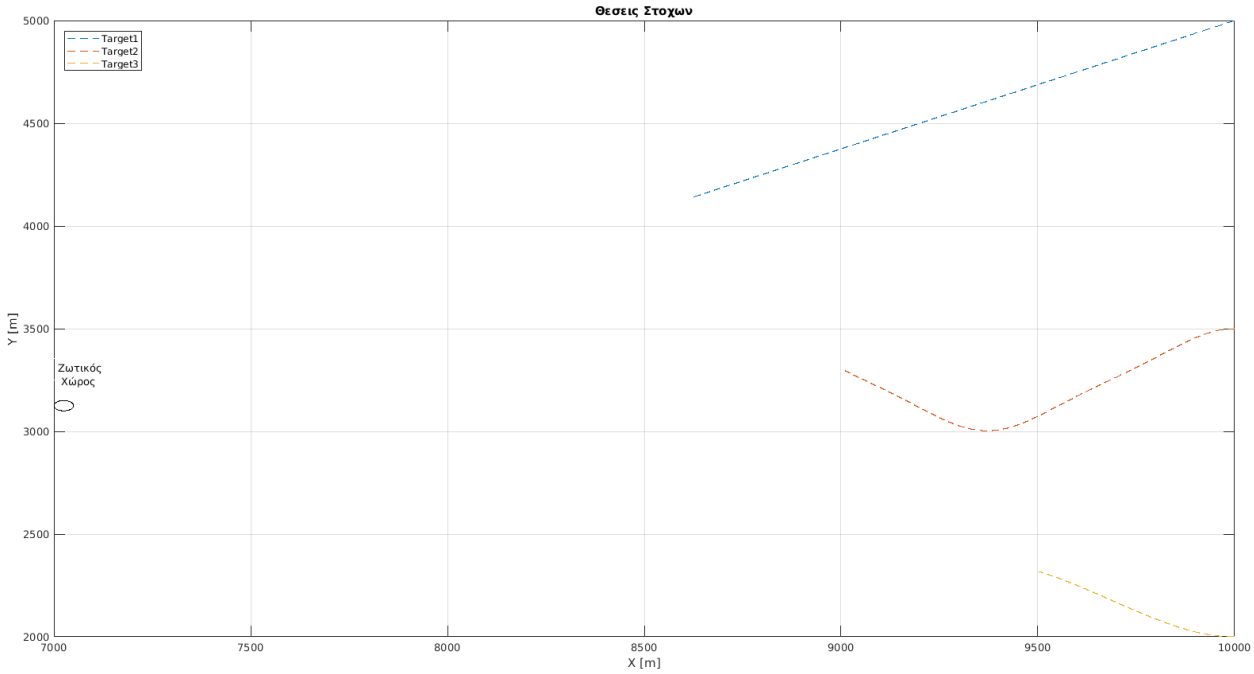
Με τον παραπάνω καθορισμό της αξίας των στόχων επιτυγχάνεται βαθμονόμηση που επιτρέπει με τον χρόνο τον διαχωρισμό των στόχων που δεν απειλούν άμεσα τον ζωτικό χώρο είτε λόγω απόστασης είτε ταχύτητας, και προσαρμόζεται και η προτεραιότητα εμπλοκής τους.



Διάγραμμα χρόνων απειλής



Διάγραμμα αξίας στόχων



Η έξοδος του υποσυστήματος του δυναμικού υπολογισμού απειλής με μορφή πίνακα [1,3] περιέχει σε μια γραμμή τις αξίες των τριών στόχων όπως διαμορφώνονται κάθε στιγμή και τροφοδοτεί το υποσύστημα της δυναμικής ανάθεσης.

§2. Βαθμός Επικινδυνότητας

Επιπλέον τροποποίηση του υποσυστήματος για τον καθορισμό του Vi είναι η προσθήκη του βαθμού επικινδυνότητας του κάθε στόχου σύμφωνα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του ή του οπλισμού που φέρει ,ή ακόμα και αναλόγως των πληροφοριών που διαθέτει ο χειριστής για την αποστολή του στόχου και την αμυντική διάταξη.

Εάν δηλαδή ένας στόχος αποτελείται από αεροσκάφος που φέρει οπλισμό τελευταίας τεχνολογίας, ή είναι ικανό για απότομους ελιγμούς, ή προσέρχεται στην αμυντική διάταξη με χαμηλή ικανότητα εντοπισμού, μπορεί ο χειριστής να αποδώσει και έναν βαθμό επικινδυνότητας στον στόχο

Ο παραπάνω βαθμός ο οποίος πηγάζει από κριτήρια που αποτελούν σημεία απόφασης, εξαρτάται από εξωτερικές του συστήματος πληροφορίες και είναι στατικός.

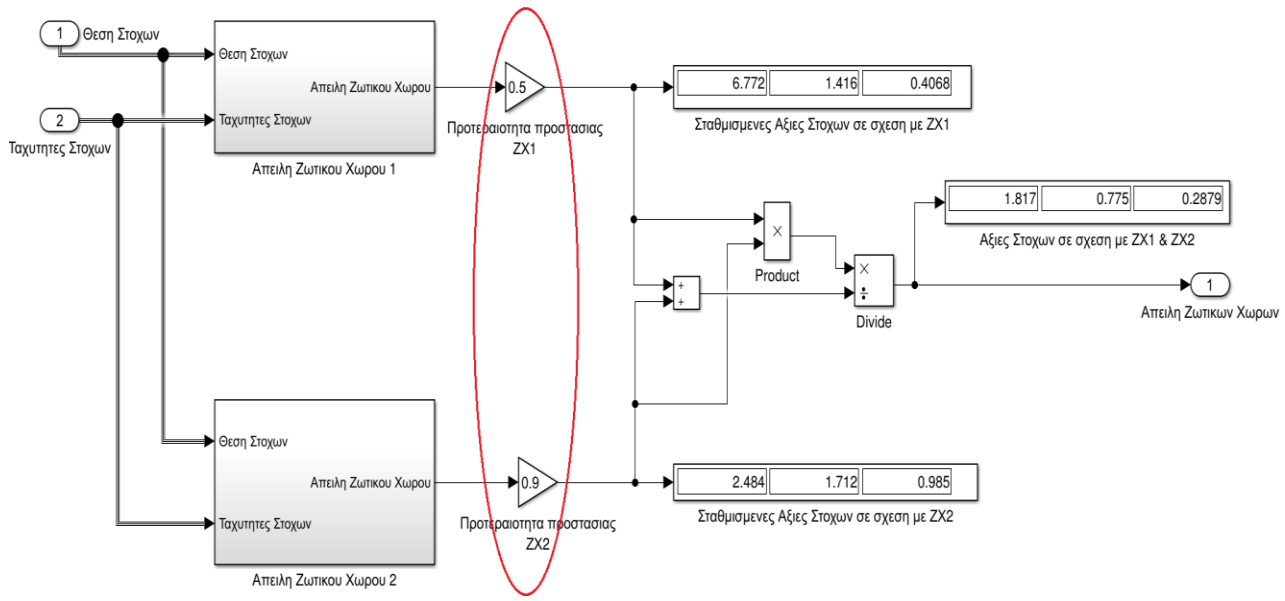
Η απόδοση αυτού του βαθμού επικινδυνότητας υλοποιείται με τον καθορισμό ενός βάρους w για το κάθε κριτήριο για κάθε στόχο

Η απόδοση αυτού του βαθμού επικινδυνότητας υλοποιείται με τον καθορισμό ενός βάρους w για το κάθε κριτήριο για κάθε στόχο.

Επομένως εάν ορίσουμε την αξία ενός στόχου j με κριτήριο μόνο τον χρόνο απειλής, τότε με την προσθήκη του βαθμού επικινδυνότητας η αξία ενός στόχου j θα είναι το γινόμενο της αξίας λόγω χρόνου και της αξίας λόγω επικινδυνότητας.

Για παράδειγμα ένα αεροσκάφος (Στόχος 2) που φέρει όπλα καταστολής αεράμυνας του αποδίδεται βαθμός επικινδυνότητας w_1=0,9 (υψηλό) , επειδή έχει μικρή ικανότητα ελιγμών λόγω κατασκευής του αποδίδεται w_2=0,5 (χαμηλό) , και επειδή υπάρχουν ενδείξεις για αποστολή σε στρατηγικό στόχο, του αποδίδεται w_3=0,9 (υψηλό). Τότε η αξία του στόχου 2 λόγω εκτίμησης απειλής υπολογίζεται σε

Η αξία λόγω βαθμού επικινδυνότητας είναι σταθερή και δύναται να υλοποιηθεί στο μοντέλο με την προσθήκη ενός υποσυστήματος όπως παρακάτω:



§3. Ζωτικοί Χώροι

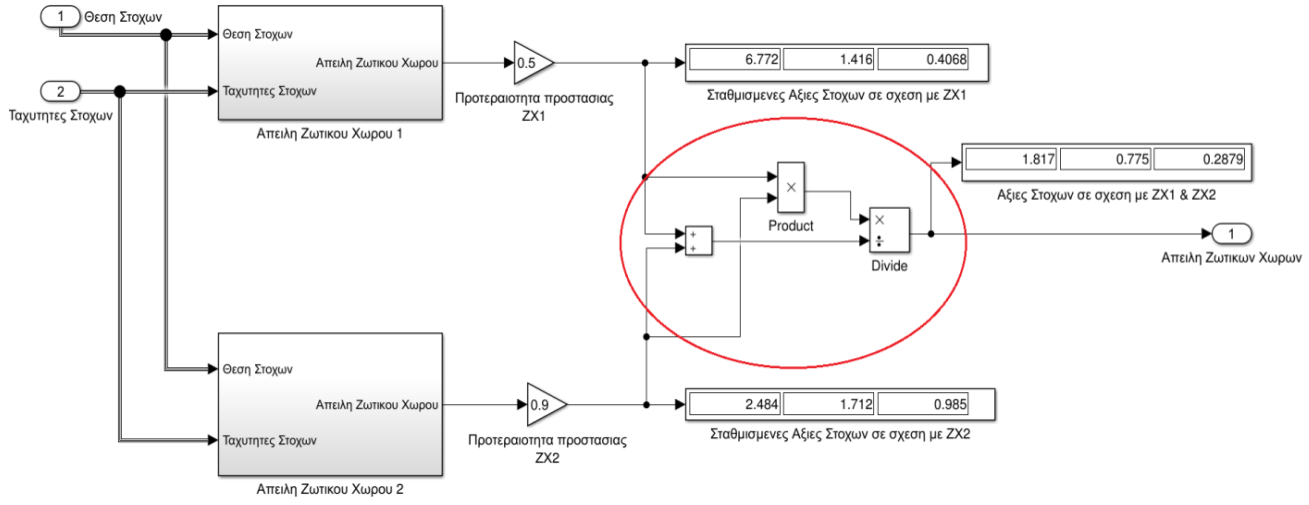
Για τον καθορισμό της συνολικής αξίας του κάθε στόχου σε σχέση και με

$$k$$

Ζωτικούς χώρους, πολλαπλασιάζουμε την αξία των στόχων λόγω χρόνου απειλής και λόγω βαθμού επικινδυνότητας, και ακολούθως διαιρούμε αυτήν την τιμή με το άθροισμά τους.

Με αυτόν τον τρόπο προκαλούμε μεγαλύτερο διαχωρισμό στην προτεραιότητα των στόχων ώστε να δίνεται το μεγαλύτερο βάρος στις αναθέσεις των στόχων που απειλούν πιο άμεσα τους Ζωτικούς Χώρους.

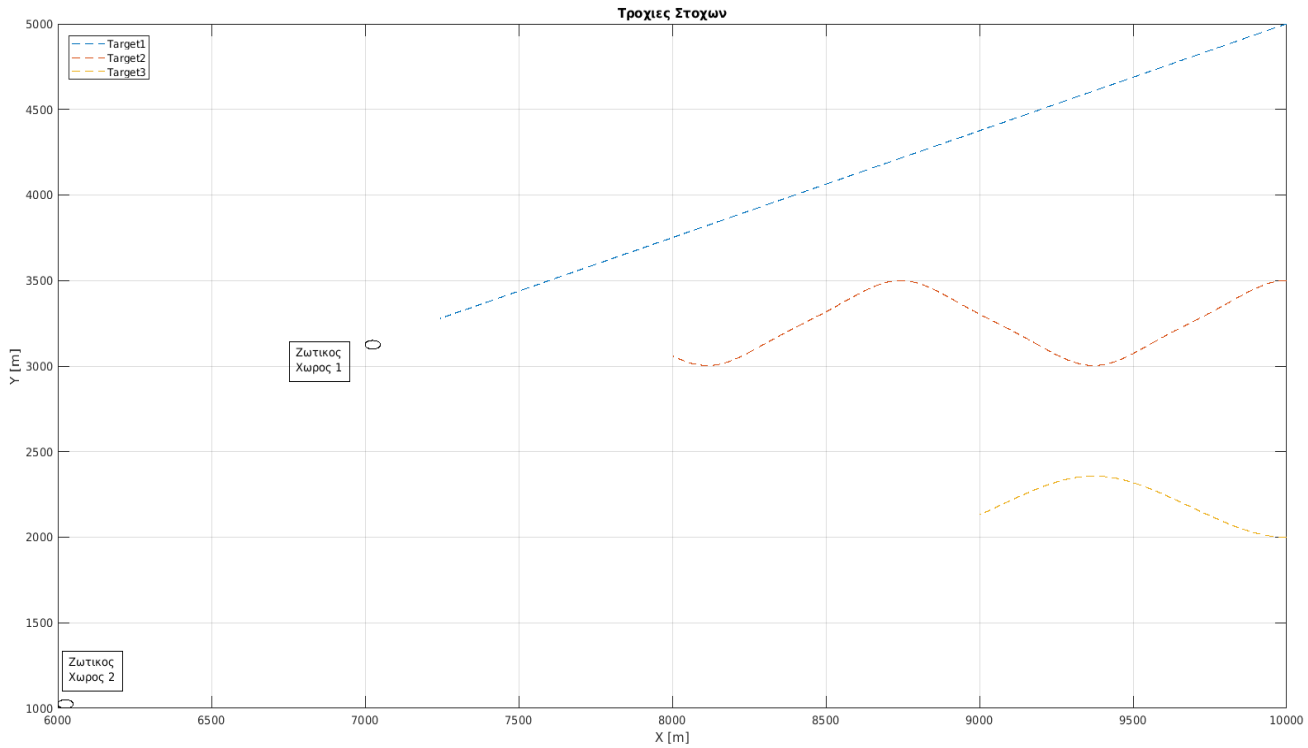
Η εφαρμογή της σχέσης στο μοντέλο φαίνεται στο αμέσως παρακάτω σχήμα:

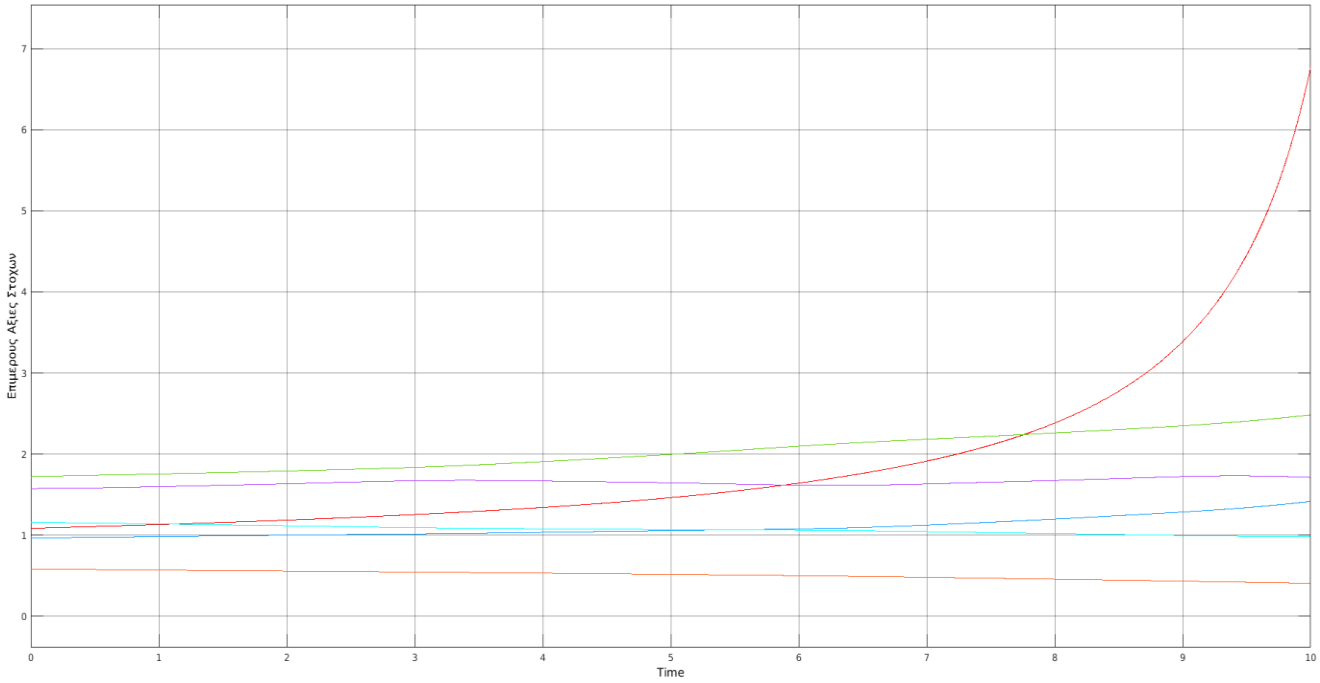


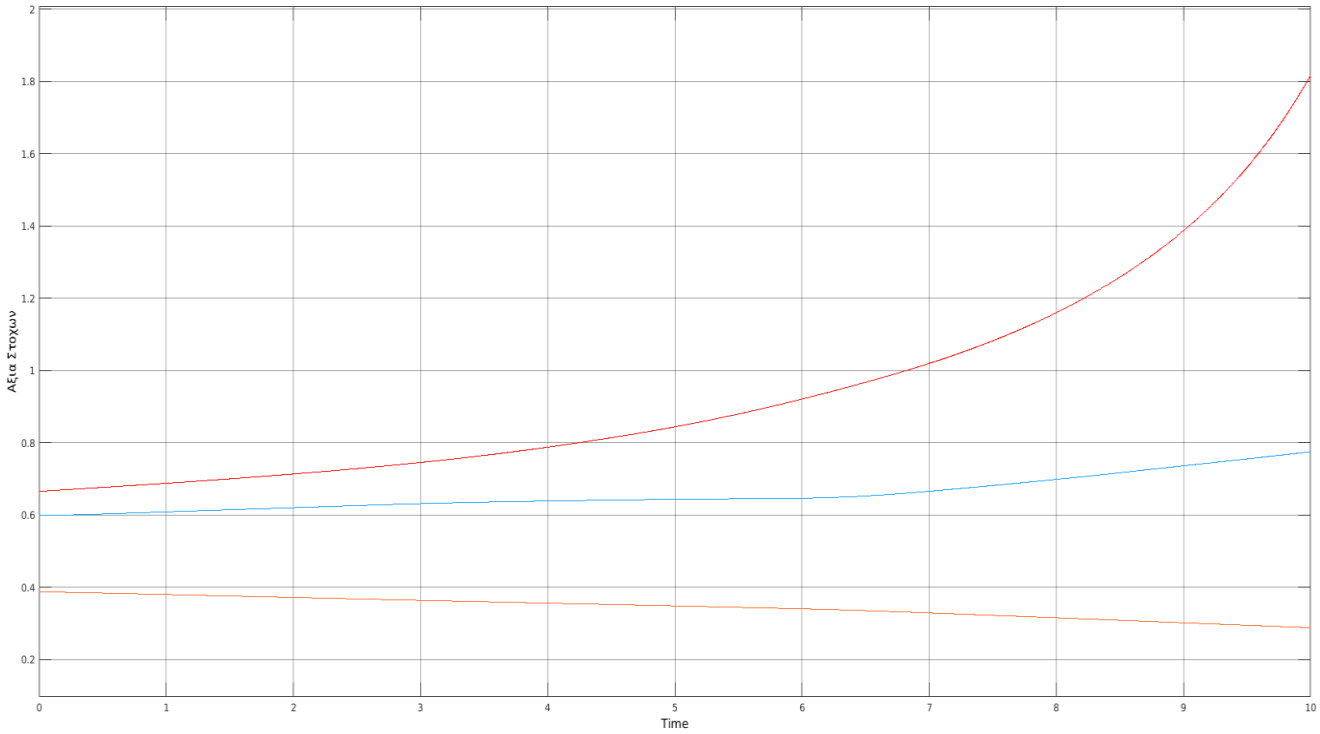
Με τις αξίες των στόχων να διαμορφώνονται στις

$$V_1=1.817,\ V_2=0.775,\ V_3=0.2879$$

στο 10° sec για το παρακάτω σενάριο απειλής:




Επιμέρους Αξιες Στοχων
Time


Αξια Στοχων
Time

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Δυναμικός Υπολογισμός Βαθμού Επιβιωσιμότητας

§1. Γενικά

Το υποσύστημα του δυναμικού υπολογισμού βαθμού επιβιωσιμότητας τροφοδοτεί το υποσύστημα της δυναμικής ανάθεσης και τροφοδοτείται από τρία στοιχεία

- Θέσεις Πυραύλων
- Θέση Στόχων
- Αναθέσεις

Οι θέσεις των στόχων καθώς και οι θέσεις των πυραύλων , είναι στοιχεία που λαμβάνονται από μια εξωτερική πηγή η οποία όπως αναφέρθηκε μπορεί να είναι :

Τοπικό Ραντάρ επιφανείας- Ραντάρ ανώτερου κλιμακίου,- Ραντάρ συνεργατικής μονάδας,

ενώ οι αναθέσεις λαμβάνονται από το ίδιο το μοντέλο με ανατροφοδότηση από το υποσύστημα της δυναμικής βελτιστοποίησης αναθέσεων

Το πλεονέκτημα της χρήσης των παραπάνω εισόδων, είναι ότι κατά την πτήση του πυραύλου αυτός δεν απαιτείται να εκπέμπει καμίας μορφής σήματα, και επομένως δεν χρειάζεται καμία τροποποίηση στα τεχνικά μέρη του πυραύλου για να είναι διαθέσιμα τα δεδομένα του υποσυστήματος και για να υπολογίζεται η βαθμός επιβιωσιμότητας ενός στόχου σε σχέση με τον πύραυλο.

Σκοπός του υποσυστήματος του δυναμικού υπολογισμού βαθμού επιβιωσιμότητας είναι να υπολογίζει κάθε χρονική στιγμή, τον βαθμό επιβίωσης του κάθε πυραύλου για κάθε στόχο.

Από την τοποθέτηση του προβλήματος και λαμβάνοντας υπόψη τον αντικειμενικό σκοπό της ελαχιστοποίησης της συνάρτησης κόστους ανάθεσης ο βαθμός επιβίωσης ενός στόχου εκφράζεται από το πρόβλημα ελαχιστοποίησης

$$\min\left(F_{obj} = \sum_{j=1}^{n} V_j \prod_{i=1}^{m} Q_{i,j}^{x_{i,j}}\right)$$

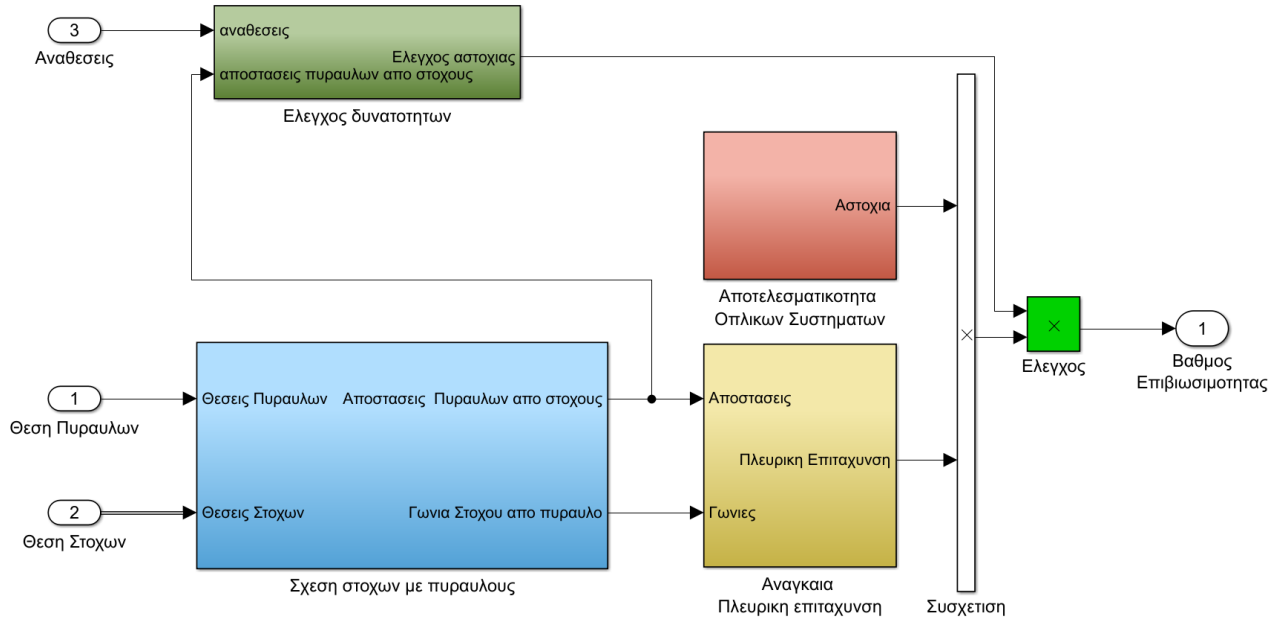
με τον περιορισμό

$$\sum_{j=1}^{n} x_{i,j} = 1 \text{ για κάθε } i = 1,2,\ldots,m$$

Στο παρόν μοντέλο οι ποσότητες $Q_{i,j}$ υπολογίζονται δυναμικά για κάθε χρονική στιγμή λαμβάνοντας υπόψη τρεις παράγοντες:

- Τα τεχνικά χαρακτηριστικά κάθε πυραύλου
- Την απόσταση κάθε πυραύλου από κάθε στόχο
- Τον βαθμό αναγκαίας πλευρικής επιτάχυνσης κάθε πυραύλου για κάθε στόχο

Το γενικό περίγραμμα του υποσυστήματος του δυναμικού υπολογισμού βαθμού επιβιωσιμότητας απεικονίζεται όπως παρακάτω:

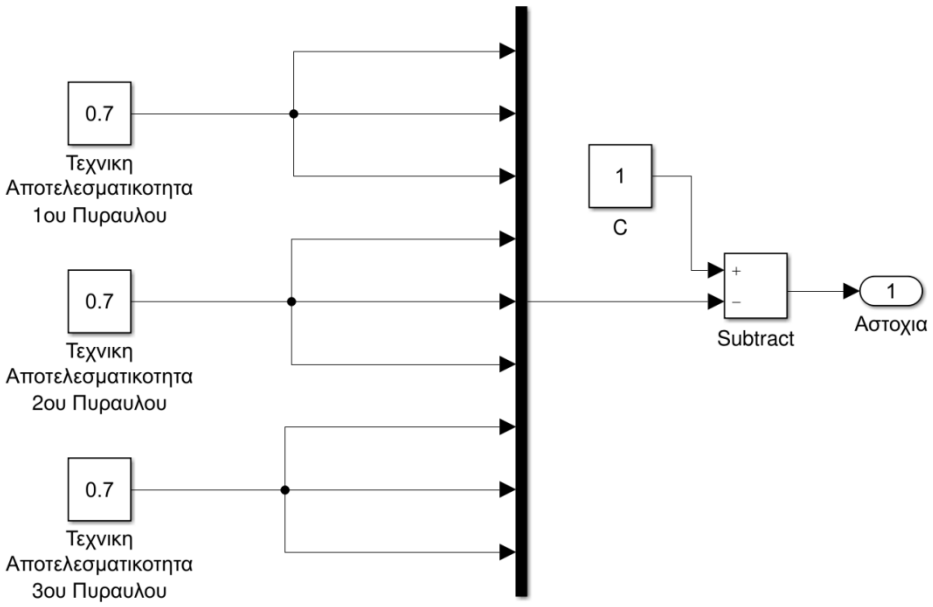


Στο παραπάνω διάγραμμα διακρίνουμε τα παρακάτω τέσσερα υποσυστήματα:

- Αποτελεσματικότητα οπλικών συστημάτων
- Σχέση στόχων με πυραύλους
- Αναγκαία πλευρική επιτάχυνση
- Έλεγχος δυνατοτήτων.

§2. Υποσύστημα Αποτελεσματικότητας Οπλικών Συστημάτων

Το υποσύστημα της αποτελεσματικότητας οπλικών συστημάτων έχει όπως παρακάτω::



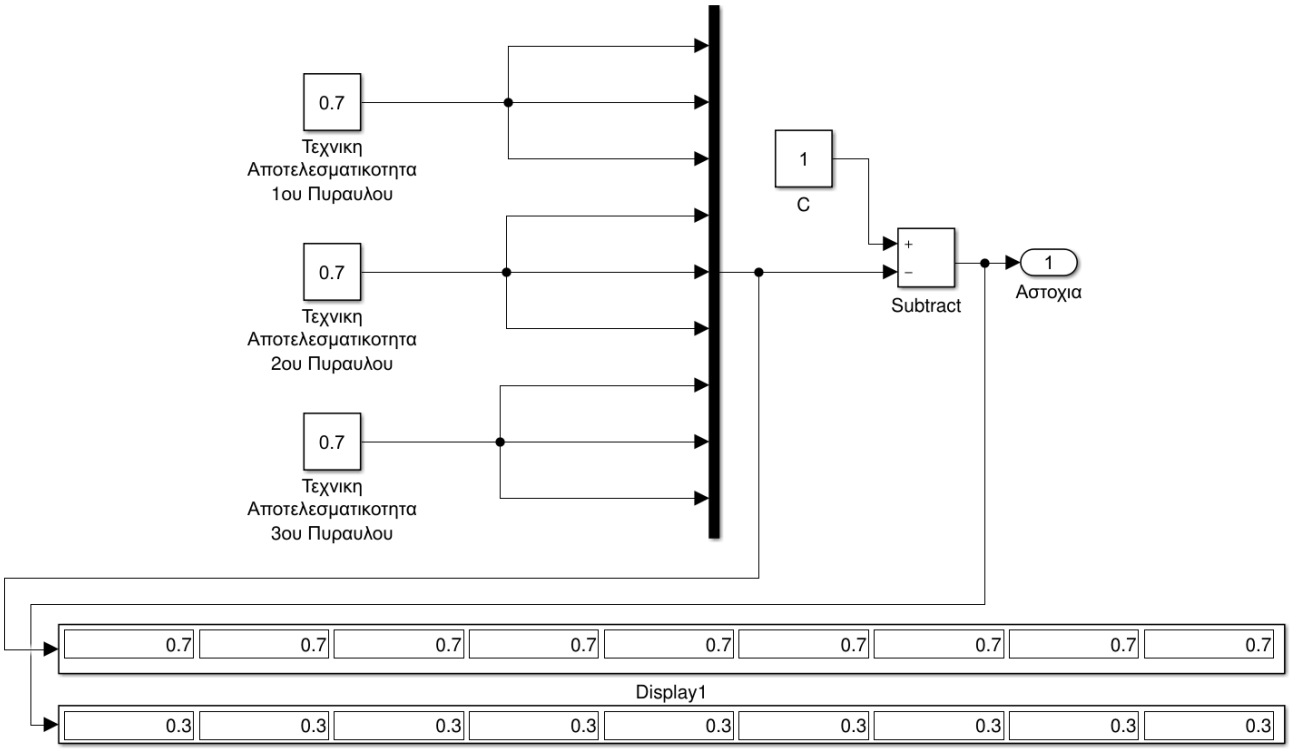
Δεδομένου ότι ο κάθε πύραυλος που εκτοξεύεται από μια μονάδα πυρός, έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, όπως ταχύτητα, ικανότητα ελιγμών, τεχνολογία αισθητήρων κλπ, αποδίδεται σε αυτόν ένας βαθμός τεχνικής αποτελεσματικότητας.

Αυτός ο βαθμός:

- -είτε χαρακτηρίζεται από το ποσοστό ευστοχίας που δίνει η εταιρία κατασκευής του ίδιου του πυραύλου (πχ 85% πιθανότητα ευστοχίας).

- -είτε αποδίδεται από τους χειριστές του συστήματος σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία ευστοχίας, και κριτήρια παλαιότητας, κριτήρια ικανότητας χείριστων.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, ορίζουμε το ποσοστό ευστοχίας στο 70% για όλες τις μονάδες πυρός. Επομένως αποδίδουμε την σταθερά 0.7 και στους τρεις πυραύλους του παραδείγματος. Εάν ο βαθμός ευστοχίας είναι 0.7, ο βαθμός αστοχίας είναι $1 - 0.7 = 0.3$. Δηλαδή για ποσοστό ευστοχίας 70% , το ποσοστό αστοχίας είναι 30%. Αυτό το ποσοστό αστοχίας που καθορίζεται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πυραύλου ή από κριτήρια που αποδίδονται από τους χειριστές, ορίζει τον βαθμό αστοχίας για ένα πύραυλο στο 0.3 για το συγκεκριμένο παράδειγμα. Αυτό υλοποιείται με την είσοδο των ποσοστών ευστοχίας στον διακλαδωτή (δομημένος για τρεις στόχους) που κατόπιν αφαιρεί αυτό το ποσοστό από την μονάδα και εξάγει τον βαθμό αστοχίας σε σειρά για κάθε ένα πύραυλο σε κάθε ένα στόχο (τρεις πύραυλοι, τρεις στόχοι, εννέα βαθμοί).

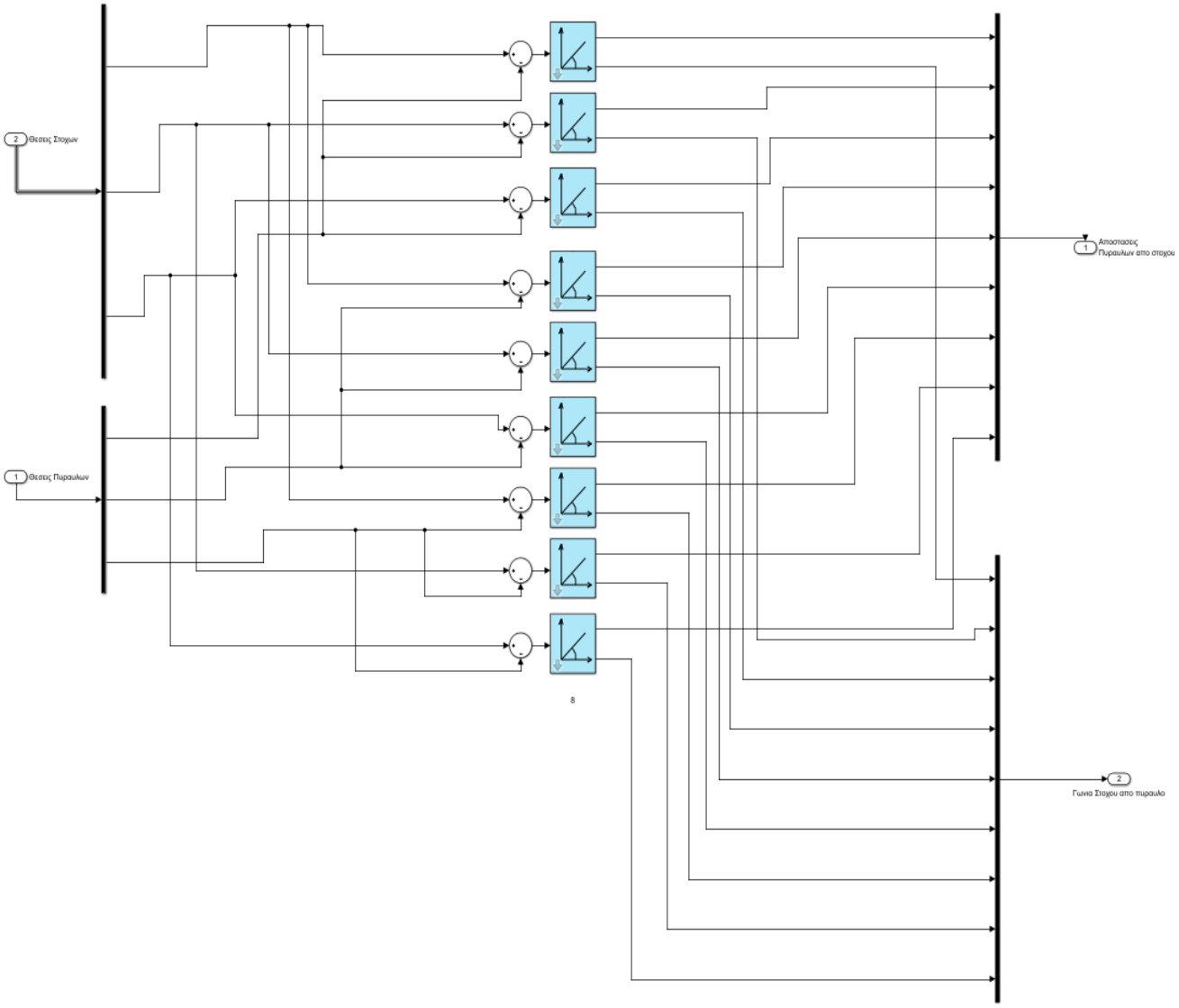


§3. Υποσύστημα Σχέσης Στόχων με Πυραύλους

Το υποσύστημα αυτό τροφοδοτείται από

- Θέσεις Πυραύλων
- Θέση Στόχων.

Το διάγραμμα του υποσυστήματος Σχέσης στόχων με πυραύλους έχει όπως παρακάτω:



Με την παραπάνω διάταξη και είσοδο δεδομένων τις θέσεις των πυραύλων και τις θέσεις των στόχων, υπολογίζεται

- -για κάθε πύραυλο η απόστασή του από κάθε στόχο σε κάθε χρονική στιγμή και
- η γωνία σε σχέση με τον άξονα X του κάθε στόχου από κάθε πύραυλο σε κάθε χρονική στιγμή.

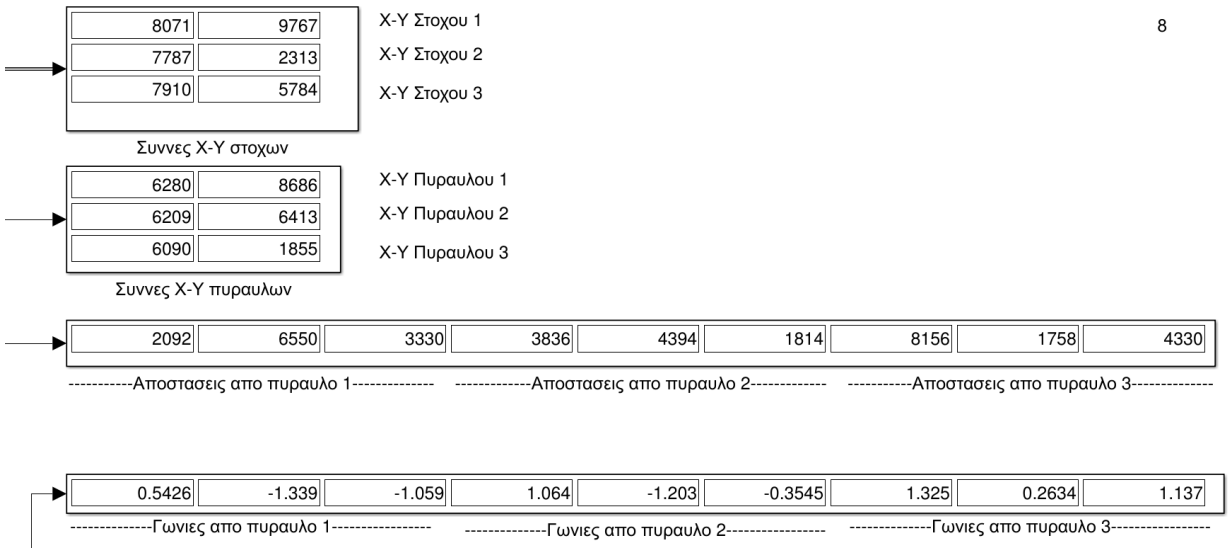
με χρήση γεωμετρίας και τις σχέσεις

r = sqrt(x^2 + y^2),

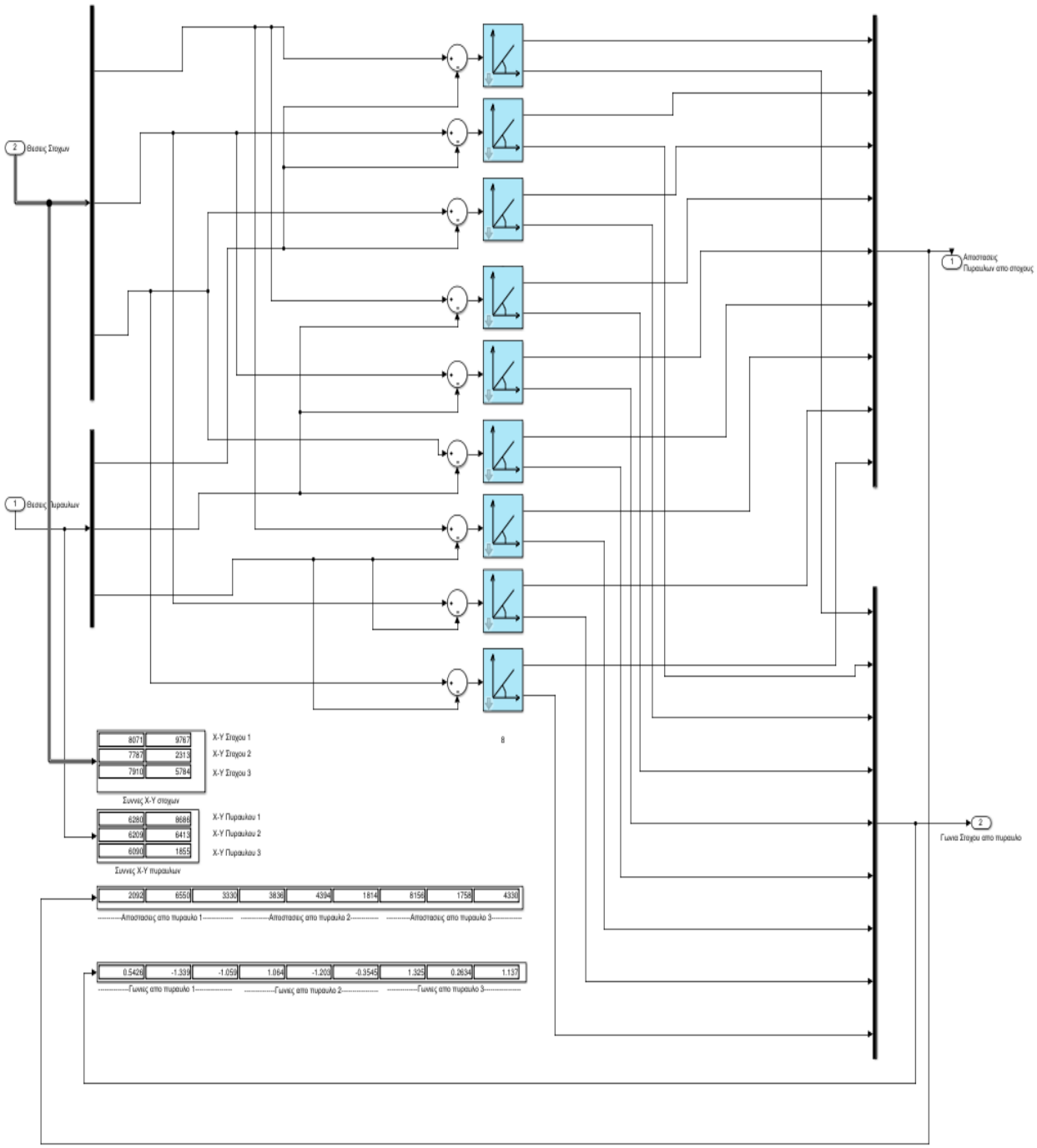
theta = arctan(y/x)/

Καθώς οι θέσεις πυραύλων και στόχων είναι μεταβλητές στον χρόνο, έτσι και οι μεταξύ τους αποστάσεις και γωνίες είναι επίσης μεταβλητές.

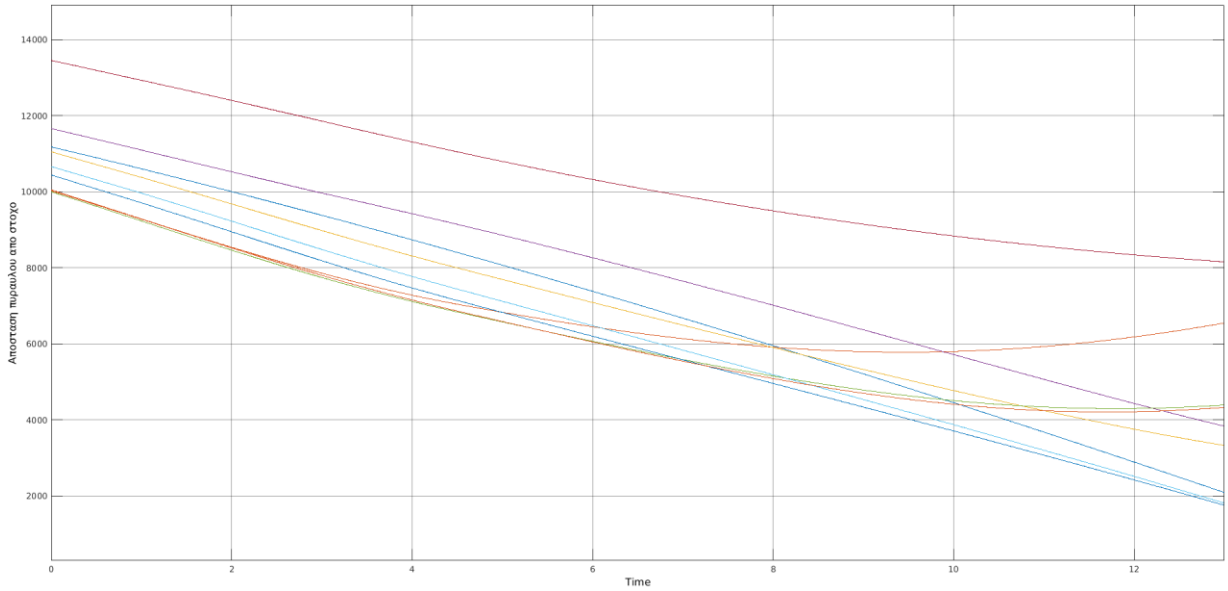
Στο παράδειγμά μας, με τρεις στόχους και τρεις πυραύλους, και με δεδομένα και αποτελέσματα όπως παρακάτω:

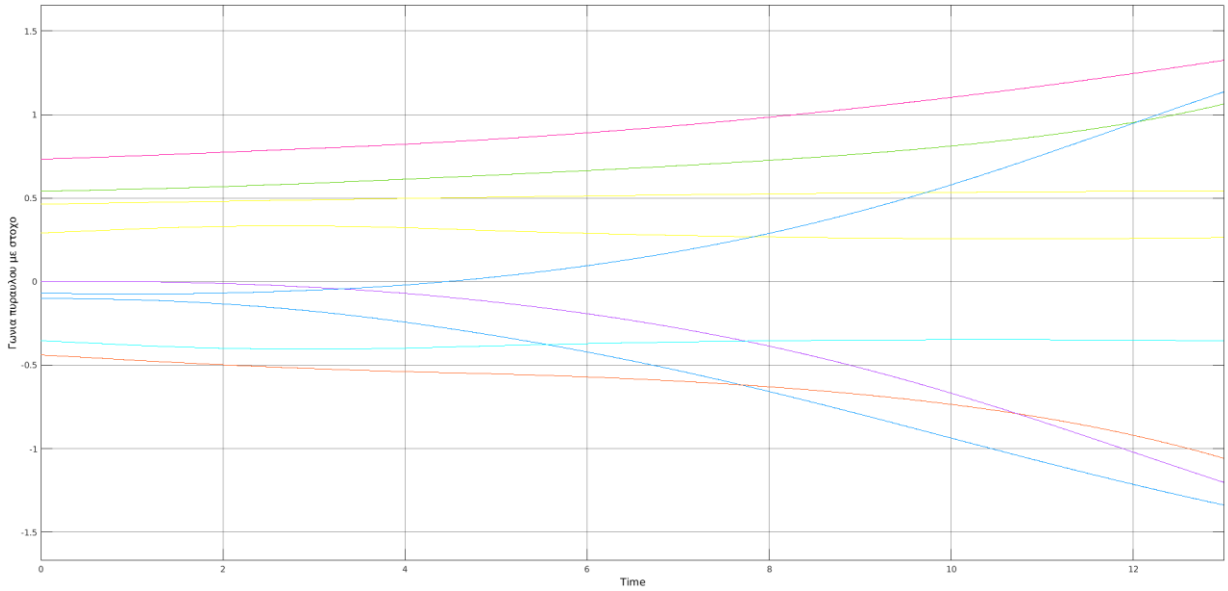


τα αποτελέσματα στο 13ο δευτερόλεπτο της προσομοίωσης έχουν ως εξής:


2 Θεσεις Στοχων
1 Θεσεις Πυραυλων
1 Αποστασεις Πυραυλων απο στοχους
2 Γωνια Στοχου απο πυραυλο
8071 9767 X-Y Στοχου 1
7787 2313 X-Y Στοχου 2
7910 5784 X-Y Στοχου 3
Συννεις X-Y στοχων
6280 8686 X-Y Πυραυλου 1
6209 6413 X-Y Πυραυλου 2
6090 1855 X-Y Πυραυλου 3
Συννεις X-Y πυραυλων
2092 6550 3336 3836 4394 1814 8156 1758 4330
Αποστασεις απο πυραυλο 1
Αποστασεις απο πυραυλο 2
Αποστασεις απο πυραυλο 3
0.5426 -1.339 -1.059 1.064 -1.203 -0.3545 1.325 0.2634 1.137
Γωνιες απο πυραυλο 1
Γωνιες απο πυραυλο 2
Γωνιες απο πυραυλο 3

Η μεταβολή των αποστάσεων και των γωνιών του κάθε πυραύλου σε σχέση με κάθε στόχο φαίνονται στις επόμενες δύο γραφικές παραστάσεις:





Το υποσύστημα της Σχέσης στόχων με πυραύλους τροφοδοτεί το υποσύστημα του βαθμού αναγκαίας πλευρικής επιτάχυνσης με τα παραπάνω δεδομένα.

§4. Υποσύστημα Βαθμού Αναγκαίας Πλευρικής Επιτάχυνσης

Το υποσύστημα του Βαθμού Αναγκαίας πλευρικής επιτάχυνσης λαμβάνει τα παραπάνω δεδομένα και υπολογίζει για κάθε χρονική στιγμή, την αναγκαία πλευρική επιτάχυνση που χρειάζεται να δεχθεί ένας πύραυλος, για να αναχαιτίσει με πτήση σε ευθεία γραμμή ένα στόχο στο προβλεπόμενο σημείο αναχαίτισης και βαθμονομεί αυτόν με τον χρόνο προσέγγισης

Δηλαδή για την αναγκαία πλευρική επιτάχυνση μόνο αρχικά, το υποσύστημα προβλέπει ότι δεδομένης της θέσης και της ταχύτητας ενός στόχου, εάν αυτός συνεχίσει να πετάει με αυτά τα δεδομένα, τότε υπολογίζεται η αναγκαία επιτάχυνση που πρέπει να δεχθεί ένας πύραυλος, για να στρίψει και να κατευθυνθεί στο σημείο αναχαίτισης που θα συναντήσει τον στόχο

Και αυτή η πρόβλεψη, γίνεται για κάθε πύραυλο σε σχέση με κάθε στόχο, κάθε χρονική στιγμή.

Το μέγεθος της αναγκαίας πλευρικής επιτάχυνσης, έχει μεγάλη σημασία, γιατί ουσιαστικά εκφράζει και το βαθμό ικανότητας του πυραύλου αφού εάν σε έναν πύραυλο απαιτείται μικρή πλευρική επιτάχυνση για να αλλάξει κατεύθυνση, τότε θα εκτελέσει μικρή αλλαγή κατεύθυνσης (στροφή) και επομένως θα εκτελέσει μικρότερη τροχιά, και δεδομένου ότι η ώθηση του κινητήρα είναι σταθερή, σε συνδυασμό με την βαθμονόμηση της πλευρικής επιτάχυνσης με τον χρόνο αναχαίτισης, θα φθάσει στο σημείο αναχαίτισης και σε μικρότερο χρόνο, άρα θα αναχαιτίσει το στόχο συντομότερα, εξαλείφοντας την απειλή που είναι και ο αντικειμενικός σκοπός, συντομότερα.

Η εξάλειψη της απειλής το συντομότερο δυνατόν είναι καθοριστικός παράγοντας στην έννοια της αεράμυνας, αφού

Εάν είναι αεροσκάφος που προσεγγίζει τον ζωτικό χώρο,

- έχει την δυνατότητα να αφέσει όπλα κατά του ζωτικού χώρου, τα οποία εάν καταστρέψουν το ζωτικό χώρο, καταργείται αυτόματα και κάθε συνέχεια της προσπάθειας για προστασία του.
- έχει την δυνατότητα να αφέσει όπλα κατά των μονάδων πυρός της αεράμυνας, καθιστώντας αυτές ανενεργές, αφήνοντας τον ζωτικό χώρο απροστάτευτο, με αποτέλεσμα να καταστραφεί επόμενος.
- έχει την δυνατότητα να εκτελέσει ελιγμούς ή να χρησιμοποιήσει συστήματα αυτοπροστασίας που σκοπό έχουν να αποπροσανατολίσουν την κατεύθυνση της προσπάθειας αναχαίτισης.

Εάν είναι βαλλιστικός πύραυλος που προσεγγίζει τον ζωτικό χώρο

- λόγω του μικρού rcs του εχθρικού πυραύλου, είναι πιθανόν να απολεσθεί η ικανότητα των φιλίων ραντάρ να τον διακρίνουν, και επομένως να διέλθει της αντιαεροπορικής ασπίδας χωρίς να είναι ανιχνεύσιμος και να καταστρέψει τον ζωτικό χώρο. Επομένως όσο είναι ανιχνεύσιμος, πρέπει να αναχαιτιστεί το συντομότερο δυνατόν.

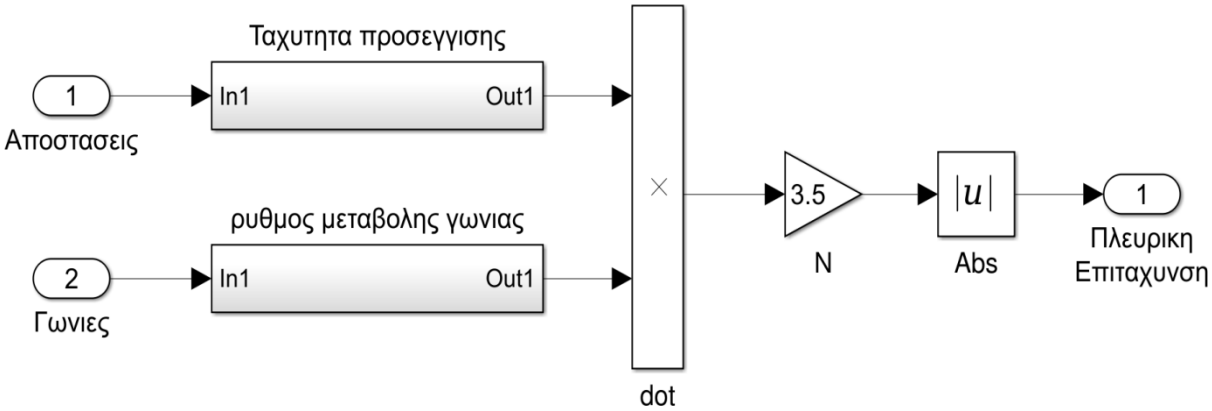
Για τους παραπάνω λόγους, και για να ελαχιστοποιηθεί η ικανότητα του εχθρικού στόχου να πλήξει τον ζωτικό χώρο, πρέπει ο κάθε στόχος να αναχαιτίζεται το συντομότερο δυνατό.

Επομένως, στόχοι για τους οποίους η αλλαγή κατεύθυνσης του ανατιθεμένου πυραύλου χρειάζεται μικρότερη πλευρική επιτάχυνση, σε συνδυασμό με τον χρόνο αναχαίτισης, αναχαιτίζονται με μικρότερο ελιγμό, διατηρώντας την κινητική ενέργεια του πυραύλου (αφού δαπανάται μικρότερη ενέργεια για την αλλαγή κατεύθυνσης, αναχαιτίζονται συντομότερα, και άρα έχουν μικρότερο βαθμό επιβιωσιμότητας.

Ο υπολογισμός της αναγκαίας πλευρικής επιτάχυνσης στο υποσύστημα, γίνεται με την χρήση της σχέσης που χαρακτηρίζει την Proportional Navigation, όπου η αναγκαία πλευρική επιτάχυνση στο υποσύστημα, εκφράζει την n_c:

$$n_c = \dot{N}\, V_c\, \dot{\sigma}.$$

Η διάταξη του υποσυστήματος της ταχύτητας προσέγγισης πυραύλου σε στόχο έχει όπως παρακάτω:



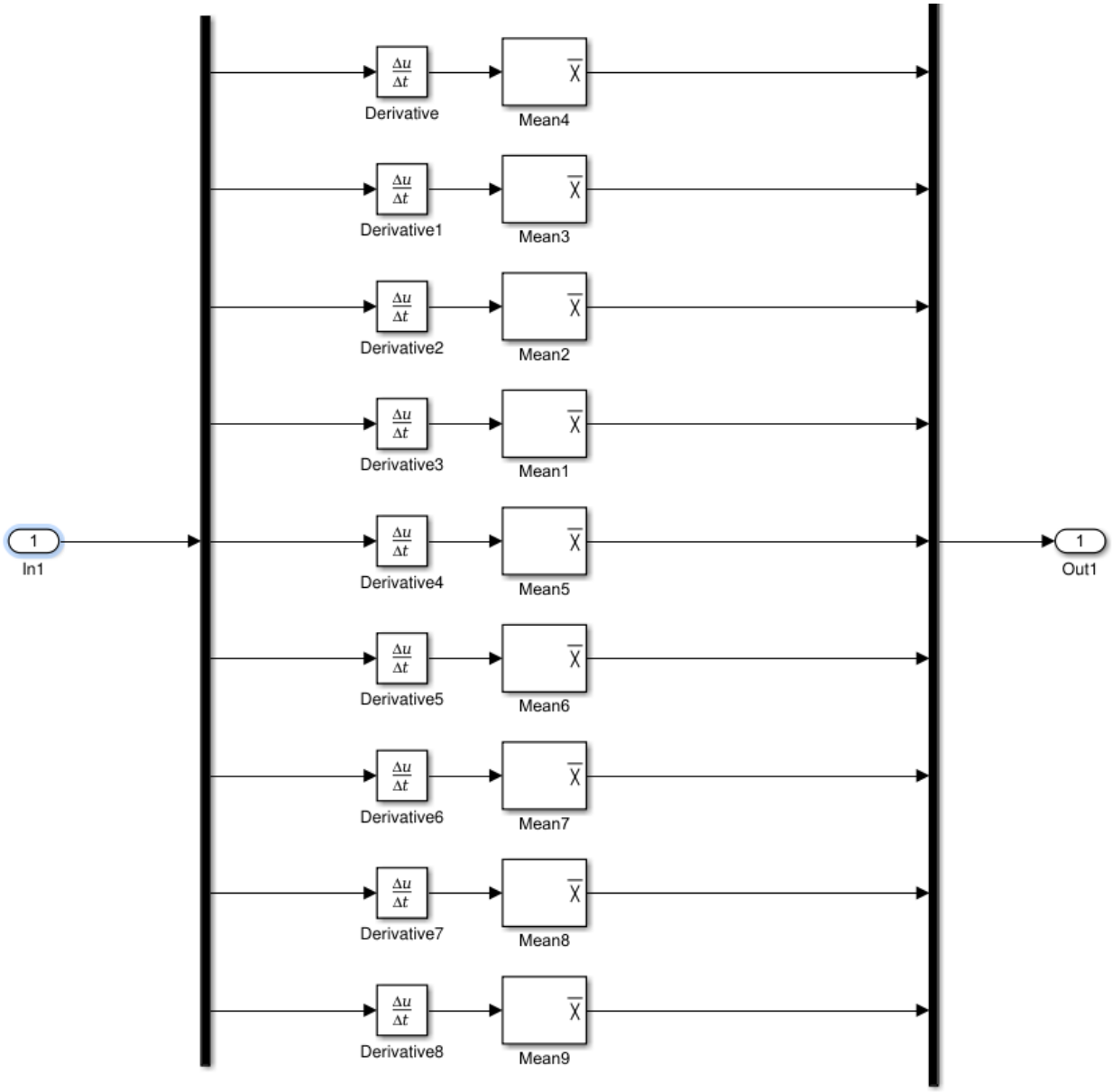
Από τη σχέση

$$n_c = \dot{N}\, V_c\, \dot{\sigma},$$

το V_c (:ταχύτητα προσέγγισης πυραύλου σε στόχο) υπολογίζεται λαμβάνοντας την πρώτη παράγωγο της απόστασης του κάθε πυραύλου από κάθε στόχο, αφού

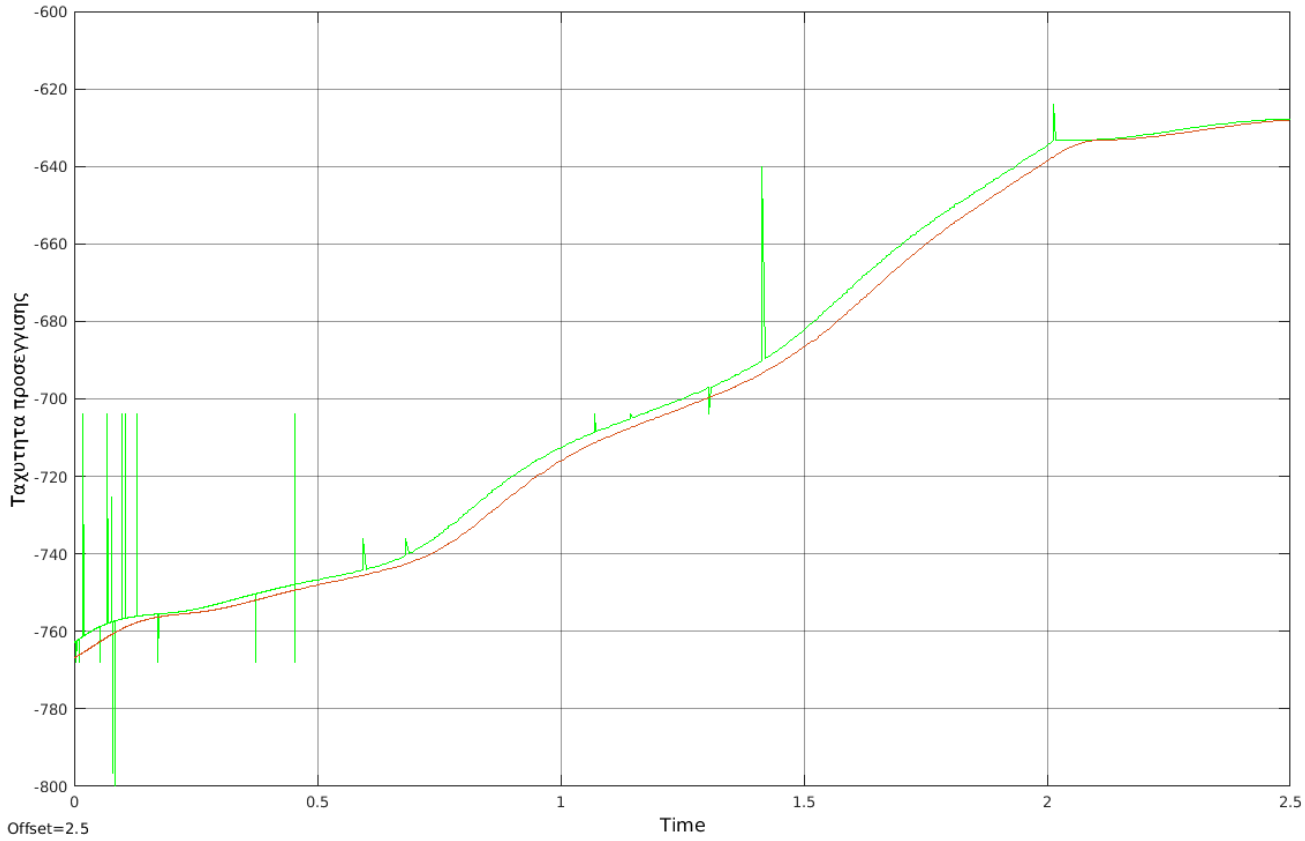
$$V_c = \frac{dR}{dt}$$

με την χρήση του υποσυστήματος της ταχύτητας προσέγγισης.



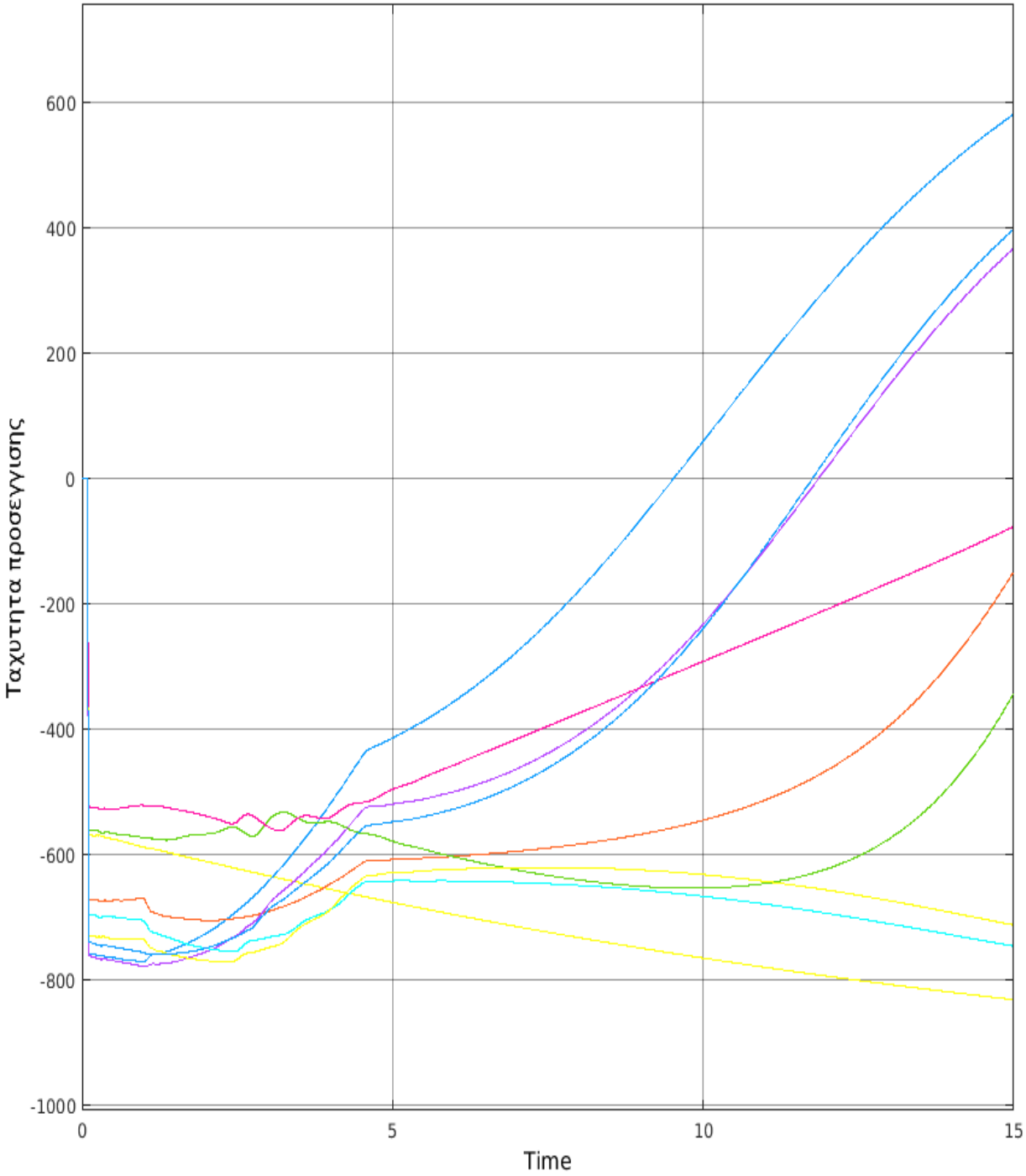
Με την παραπάνω διάταξη, καθώς οι αποστάσεις πυραύλων με στόχους είναι μεταβλητές στο χρόνο, υπολογίζεται για κάθε έναν πύραυλο σε κάθε έναν στόχο (τρεις πύραυλοι, τρεις στόχοι, εννέα V_c), η πρώτη παράγωγος της απόστασης, και ακολούθως για την εξάλειψη ακραίων τιμών που εμφανίζονται στους απότομους ελιγμούς των στόχων, εφαρμόζεται στο παράδειγμα προσομοίωσης μέσος όρος ανά 10 τιμές.

Σε πραγματικές συνθήκες αυτή η τιμή εξαρτάται από τον θόρυβο του ραντάρ που ανιχνεύει τις θέσεις πυραύλων στόχων και παρέχει τα δεδομένα, καθώς και από την διαμόρφωση του σήματος που συνδέεται στο υποσύστημα.

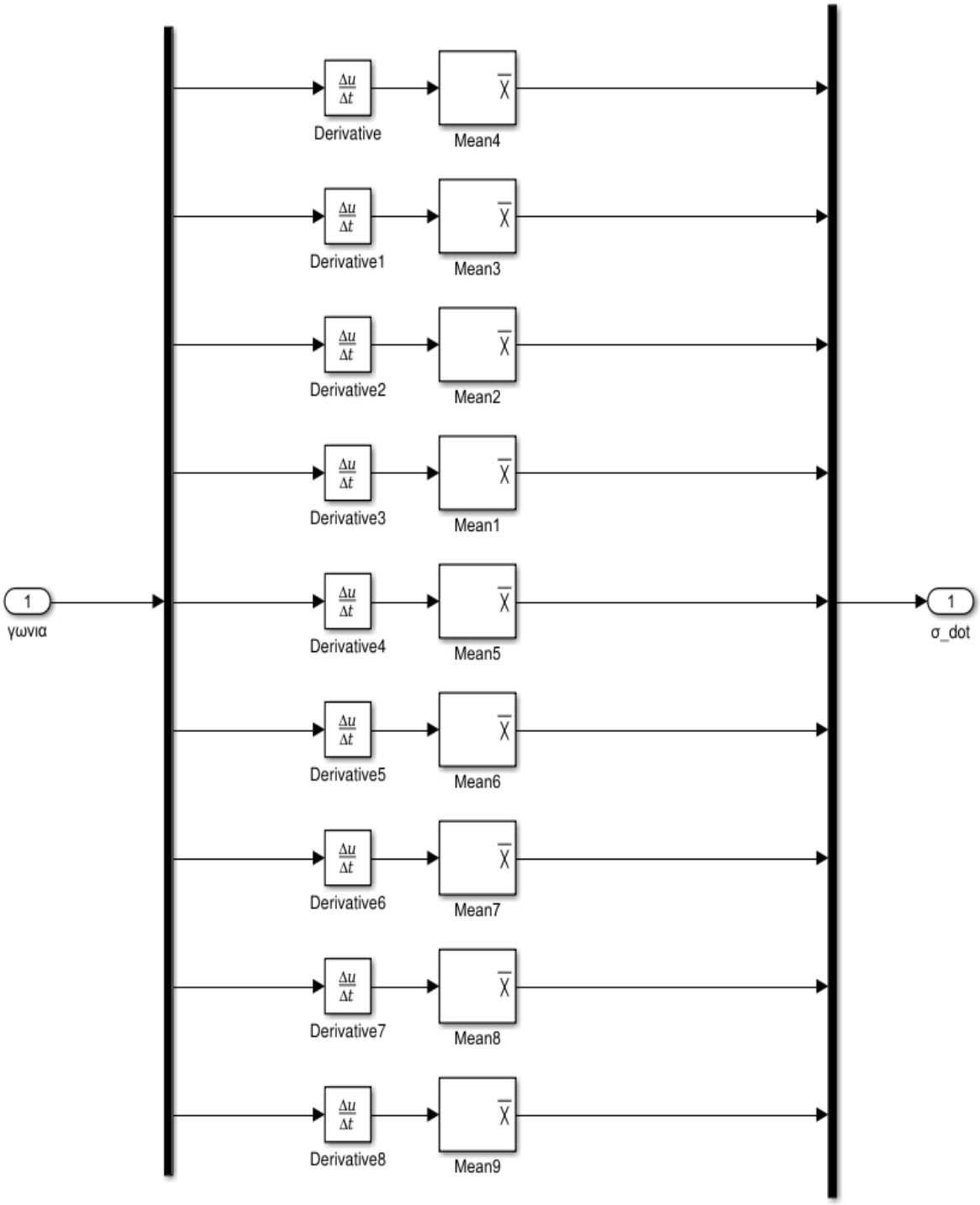


Στο παραπάνω γράφημα, φαίνεται ο υπολογισμός της ταχύτητας προσέγγισης καθώς και η εξάλειψη ακραίων τιμών.

Παρακάτω φαίνεται το V_c για κάθε πύραυλο σε κάθε στόχο.

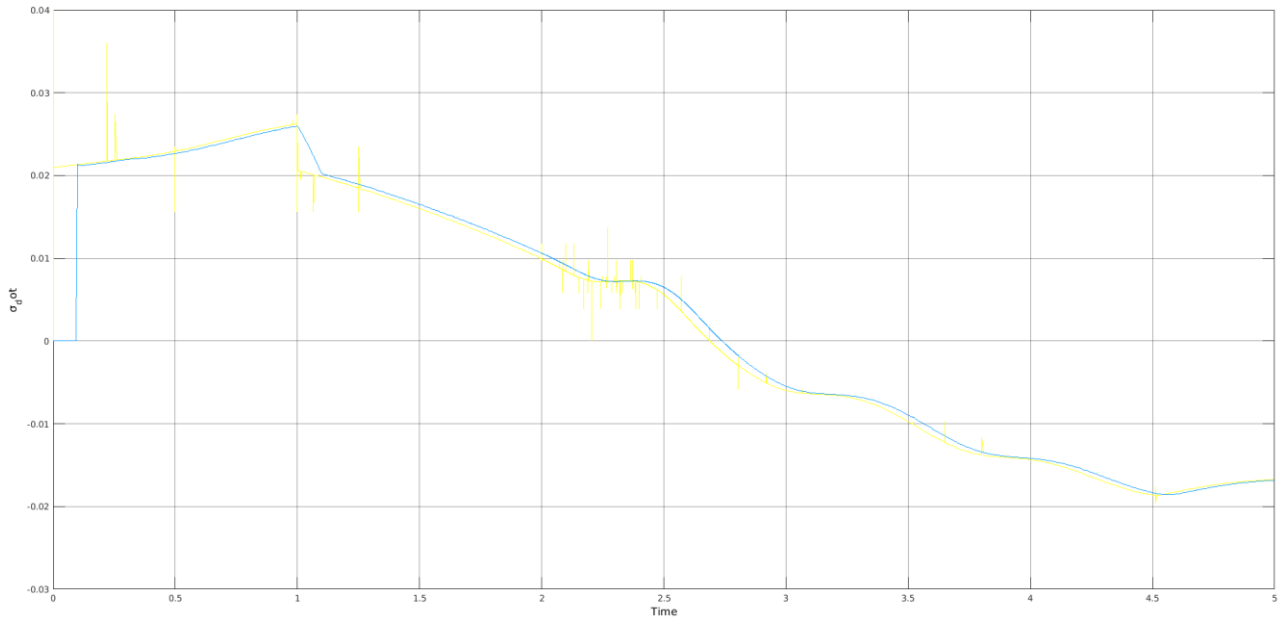

600
400
200
0
-200
-400
-600
-800
-1000
Ταχυτητα προσεγγισης
0
5
10
15
Time

Για τον ρυθμό μεταβολής της γωνιάς ακολουθείται παρόμοια διάταξη

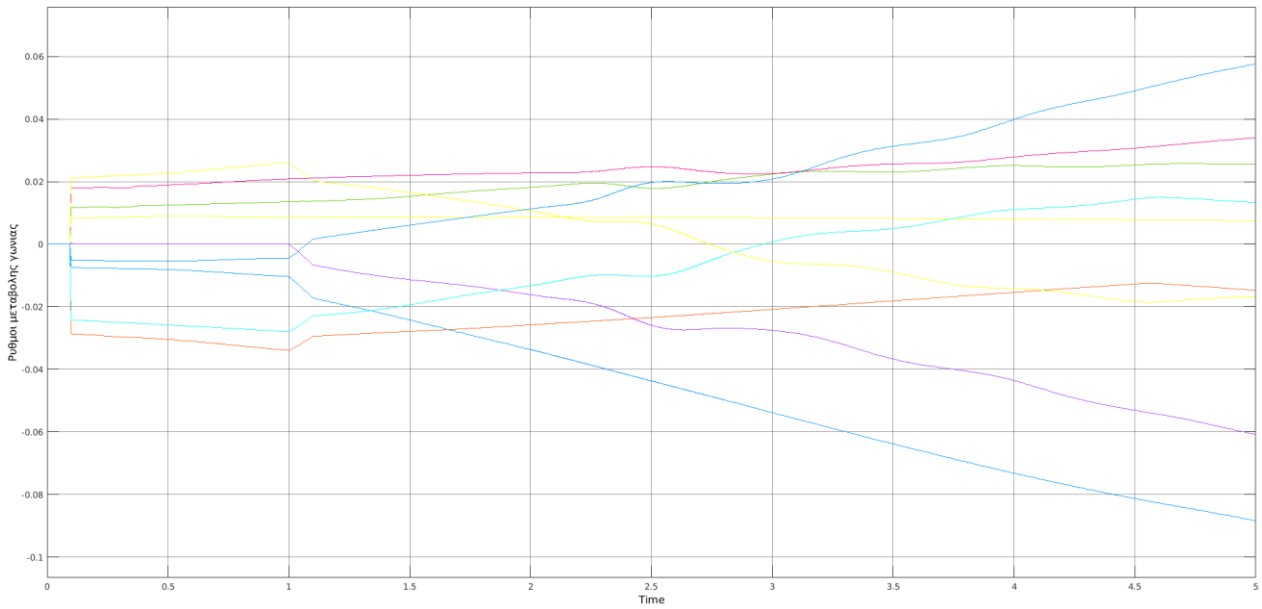


Από τη σχέση $n_c = \dot{N}\, V_c\, \dot{\sigma}$, υπολογίζεται το $\dot{\sigma}$ (:ρυθμός μεταβολής γωνίας), λαμβάνοντας την πρώτη παράγωγο της γωνίας του κάθε πυραύλου από κάθε στόχο, αφού $\dot{\sigma} = \frac{d\sigma}{dt}$, με τη χρήση του υποσυστήματος του ρυθμού μεταβολής γωνίας.

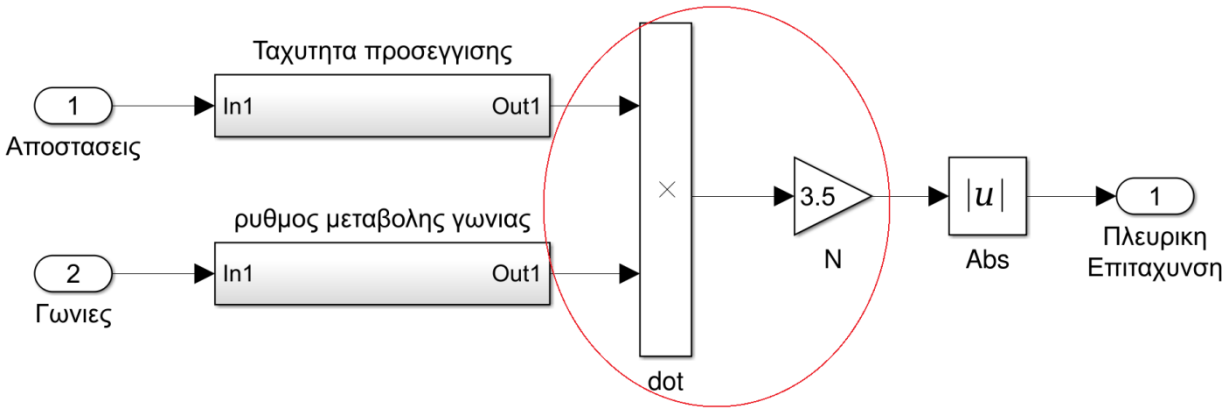
Στο παρακάτω διάγραμμα, φαίνεται ο ρυθμός μεταβολής γωνίας του 2ου στόχου από τον 3ο πύραυλο.



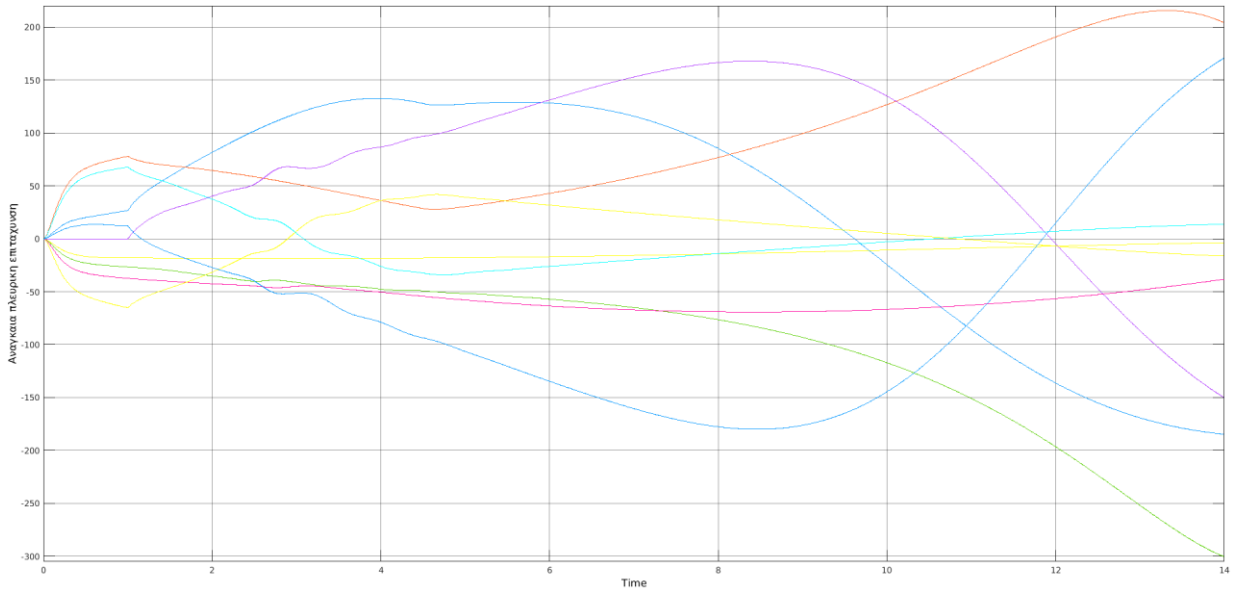
Στο παρακάτω φαίνονται οι ρυθμοί μεταβολής γωνίας για όλους τους στόχους σε σχέση με όλους τους πυραύλους.



Αφού έχει προσδιοριστεί το V_c και το $\dot{\sigma}$, οι δυο αυτές μεταβλητές, ακολουθεί το γινόμενο τους και στη συνέχεια το γινόμενο με την σταθερά $\dot{N}$ η οποία έχει οριστεί στο 3.5 .



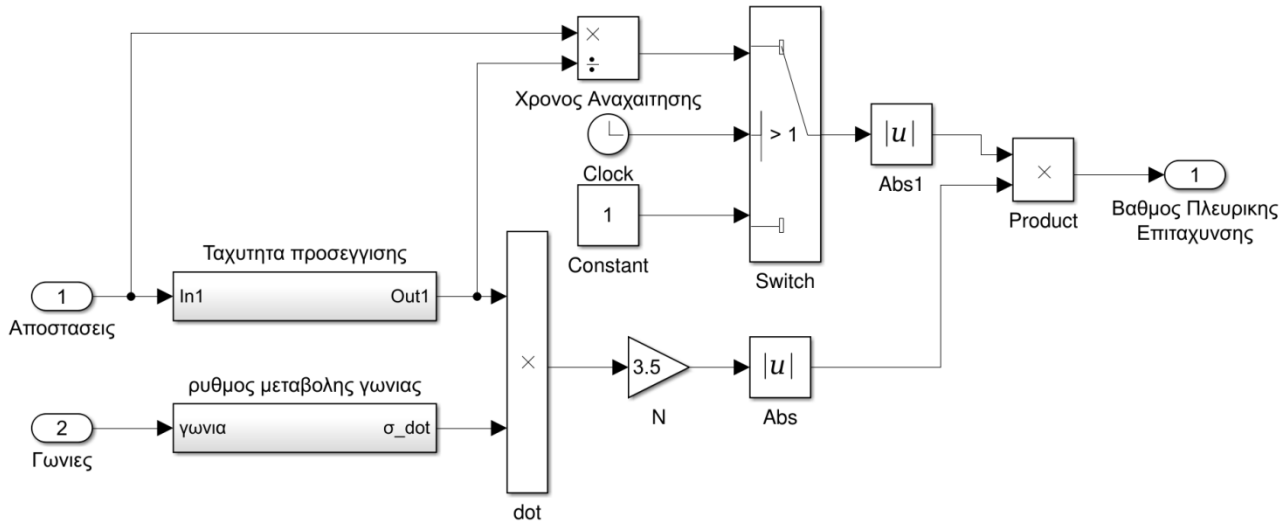
Το τελικό αποτέλεσμα της αναγκαίας πλευρικής επιτάχυνσης φαίνεται παρακάτω:



Επειδή το πρόσημο στο μέγεθος της πλευρικής επιτάχυνσης εκφράζει την κατεύθυνση προς την οποία χρειάζεται να δεχθεί ο πύραυλος την επιτάχυνση (θετικό και αρνητικό για δεξιά και αριστερά) ακολουθεί η μετατροπή του σήματος σε απόλυτες τιμές των εννέα n_c .

Ακολούθως πολλαπλασιάζεται ο χρόνος μέχρι την αναχαίτιση με την πλευρική επιτάχυνση για να μας δώσει τον βαθμό αναγκαίας πλευρικής επιτάχυνσης. Ο οποίος είναι η πλευρική επιτάχυνση επί τον χρόνο μέχρι αναχαίτισης.

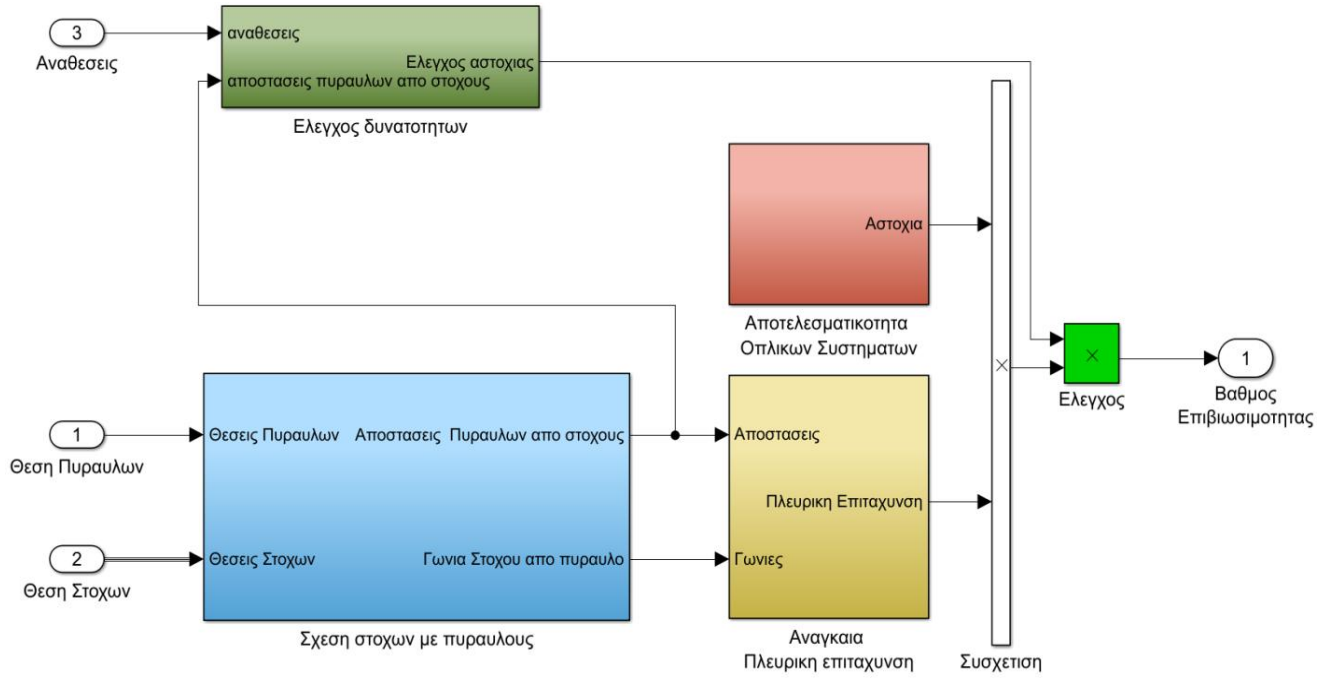
Ο χρόνος μέχρι την αναχαίτιση βρίσκεται διαιρώντας την τρέχουσα απόσταση πυραύλου-στόχου με την ταχύτητα προσέγγισης.



Πρακτικά κατά την συσχέτιση του χρόνου αναχαίτισης με την αναγκαία πλευρική επιτάχυνση, η V_c εξαλείφεται, για να είναι εμφανής όμως η φυσική σημασία του κάθε παράγοντα (χρόνος και αναγκαία πλευρική επιτάχυνση) στην ικανότητα του πυραύλου να αναχαιτίζει στόχο, είναι και αποτυπωμένη στην διάταξη.

Επιπλέον η εμφάνιση της στην διάταξη εξυπηρετεί μελλοντικές τροποποιήσεις στην αρχή κατεύθυνσης καθώς το παραπάνω μέγεθος αφορά την εκτίμηση του εκάστοτε συστήματος κατεύθυνσης πυραύλου τον οποίο εξυπηρετεί το μοντέλο, δηλαδή εξυπηρετεί την τροποποίηση με άλλες μορφές κατεύθυνσης που χρησιμοποιούν ως μεταβλητή της V_c.

Έχοντας περιγράψει την λειτουργία των υποσυστημάτων της Αποτελεσματικότητας Οπλικών Συστημάτων και της Αναγκαίας Πλευρικής επιτάχυνσης.



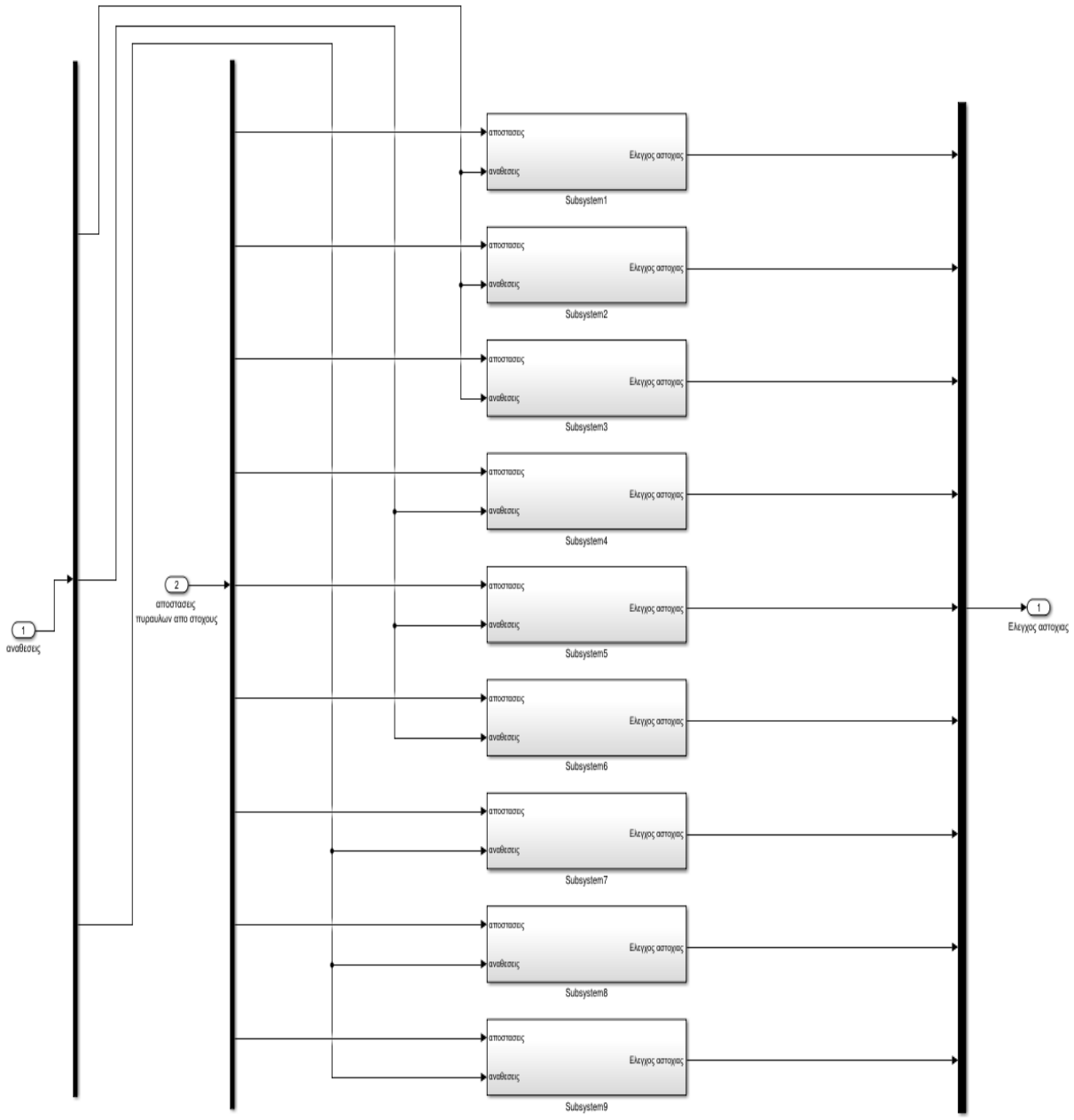
ακολουθεί η συσχέτιση των δυο παραγόντων (αστοχία και βαθμός πλευρικής επιτάχυνσης) με την υλοποίηση του γινομένου τους.

Είναι φανερό από την ανάλυση των προηγουμένων υποσυστημάτων ότι όσο μικρότερη τιμή του γινομένου, τόσο μικρότερος και ο βαθμός επιβιωσιμότητας του στόχου.

§5. Υποσύστημα Ελέγχου Δυνατοτήτων

Το υποσύστημα του ελέγχου δυνατοτήτων που φαίνεται παρακάτω είναι ο τρίτος παράγοντας που επηρεάζει το βαθμό επιβιωσιμότητας ενός στόχου.

Η διάταξη του υποσυστήματος ελέγχου δυνατοτήτων φαίνεται παρακάτω:



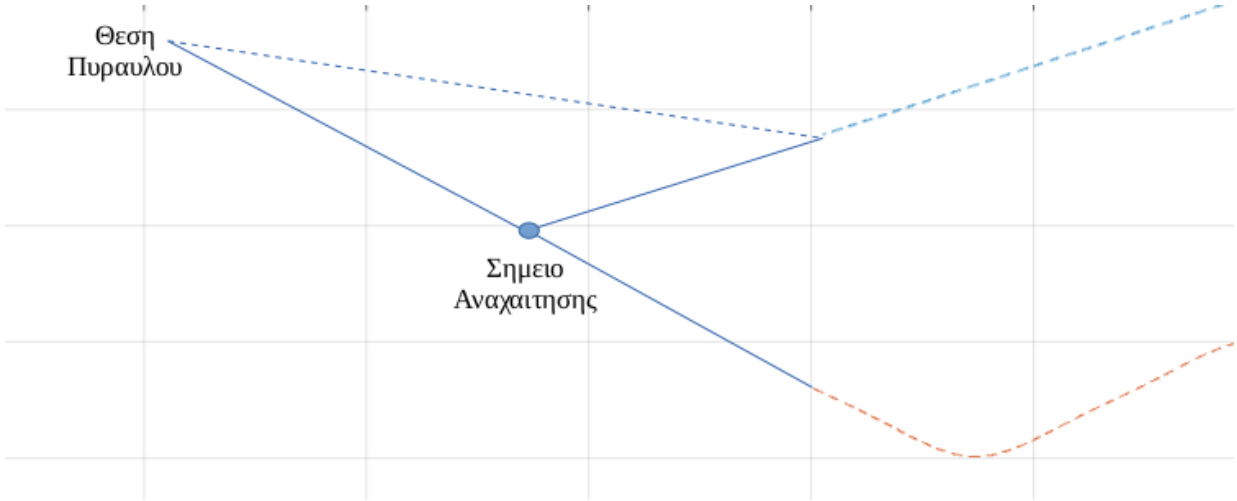
Όπως φαίνεται το υποσύστημα ελέγχου δυνατοτήτων τροφοδοτείται από τις υπολογισμένες τρέχουσες αποστάσεις πυραύλων από στόχους που υπολογίζονται στο υποσύστημα της σχέσης στόχων με πυραύλους, και με τις τρέχουσες αναθέσεις.

Με την χρήση διακλαδωτών τα δυο σήματα διακλαδώνονται και κατανέμονται ώστε ο κάθε πύραυλος να δέχεται τον αριθμό της ανάθεσης που του έχει δοθεί εκείνη την χρονική στιγμή.

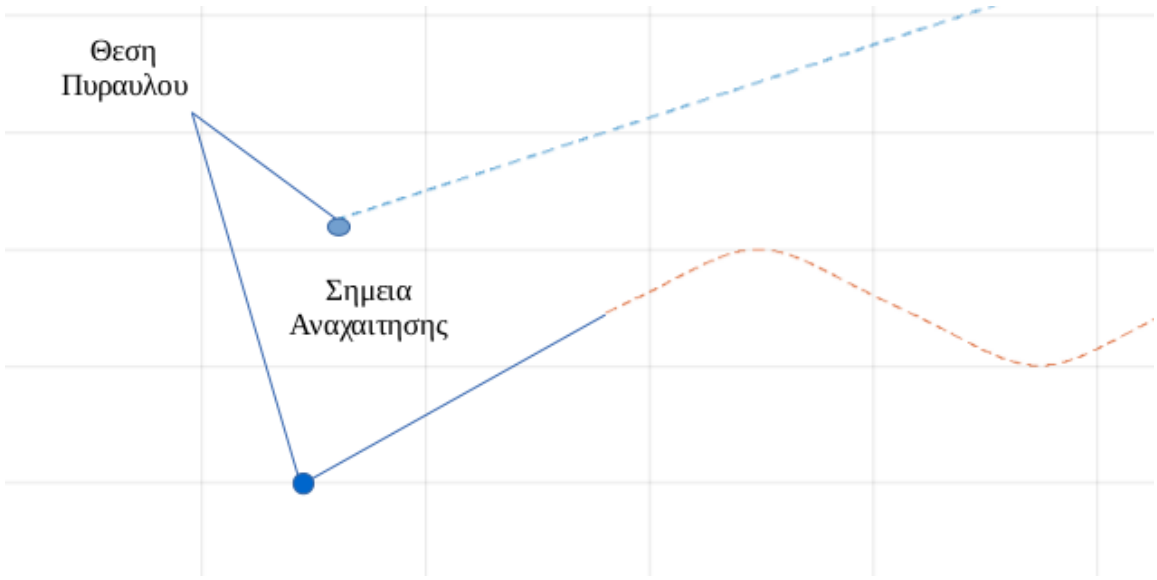
Επειδή όπως έχει αναφερθεί ο βαθμός επιβιωσιμότητας ενός στόχου εξαρτάται από τα τεχνικά χαρακτηριστικά του πυραύλου που τον αναχαιτίζει αλλά και από τον βαθμό πλευρικής επιτάχυνσης που απαιτείται να δεχθεί ο πύραυλος για να τον αναχαιτίσει στο προβλεπόμενο σημείο αναχαίτισης, πρέπει να ληφθεί υπόψη και ότι όσο μεγαλύτερη είναι η απόσταση ενός στόχου από έναν πύραυλο, τόσο μεγαλύτερο χώρο διατίθεται σε αυτόν για ελιγμούς και ενδεχόμενη διαφυγή.

Επομένως όσο μεγαλύτερη η απόσταση τόσο μεγαλύτερος ο βαθμός επιβιωσιμότητας και αντίστροφα, δηλαδή όσο μικρότερη η απόσταση πυραύλου-στόχου τόσο μικρότερος και ο βαθμός επιβιωσιμότητας του στόχου.

Επίσης ένας πύραυλος για δυο στόχους που έχουν διασταυρούμενες τροχιές και προβλέπεται να συναντηθούν στο ίδιο σημείο αναχαίτισης, θα χρειαστεί την ίδια πλευρική επιτάχυνση και τον ίδιο χρόνο αναχαίτισης για να αναχαιτίσει και τους δυο, χωρίς διάκριση για προτεραιοποίηση στην εμπλοκή ενός από τους δύο.



Αλλά επειδή η κατεύθυνση του στόχου δύναται να είναι μεταβλητή, αφού ο στόχος ελίσσεται, το κριτήριο για να επιλεγεί ο καταλληλότερος από τους δυο είναι η απόσταση, αφού όσο μικρότερη η απόσταση, τόσο μικρότερη και η δυνατότητα ελιγμών του στόχου και μικρότερος ο βαθμός επιβιωσιμότητας



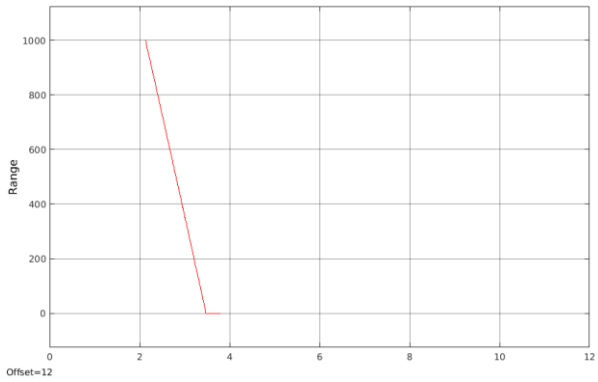
Ένα άλλο σημαντικό κριτήριο που πρέπει να ληφθεί υπόψη είναι η λειτουργία του μηχανισμού πυροδότησης του ίδιου του βλήματος.

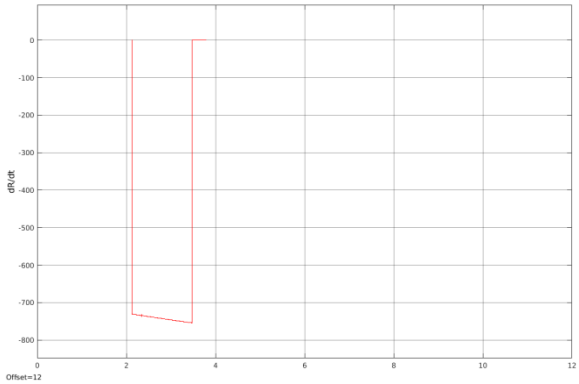
Όταν ένας πύραυλος προσεγγίζει έναν στόχο, ο μηχανισμός πυροδότησης οπλίζει σε συγκεκριμένη απόσταση και στην κεφαλή του πυραύλου ένας αισθητήρας μετράει τις επιστροφές ανάκλασης για να εντοπίσει το σημείο που οι επιστροφές μηδενίζονται ή μεταβάλλεται αρνητικά ο ρυθμός τους.

Ο παραπάνω μηχανισμός λειτουργεί με τέτοιο τρόπο διότι ο πύραυλος δεν συγκρούεται με τον στόχο, πρώτα για να αποφευχθεί η πιθανότητα διάλυσης των διατάξεων πυροδότησης, και για να πυροδοτηθεί η εκρηκτική ύλη με τέτοιο τρόπο ώστε τα θραύσματα καλύψουν μεγαλύτερη περιοχή, και επιπλέον σε στόχο που κατάφερε να αποφύγει οριακά τον πύραυλο, τα θραύσματα του να έχουν πιθανότητα καταστροφής του στόχου.

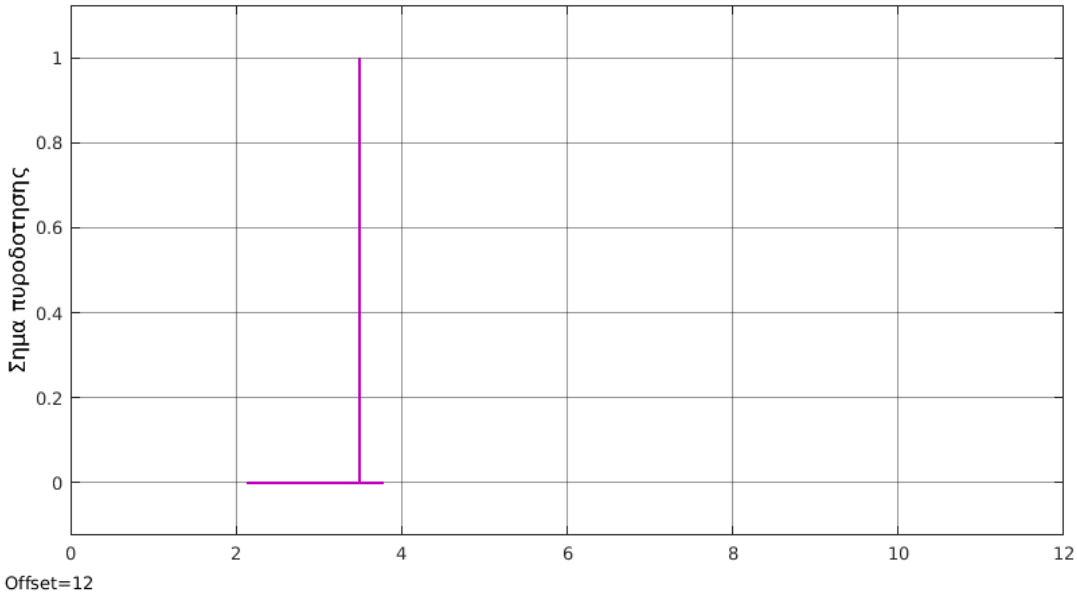
Η όπλιση του πυραύλου στο παράδειγμά μας γίνεται στα 1000 μέτρα από την τελική προσέγγιση.

Μια αναπαράσταση δεδομένων απόστασης (αριστερά) σε οπλισμένο μηχανισμό πυροδότησης για πύραυλο που προσεγγίζει στόχο και της πρώτης παραγώγου της απόστασης (δεξιά) έχει όπως παρακάτω:





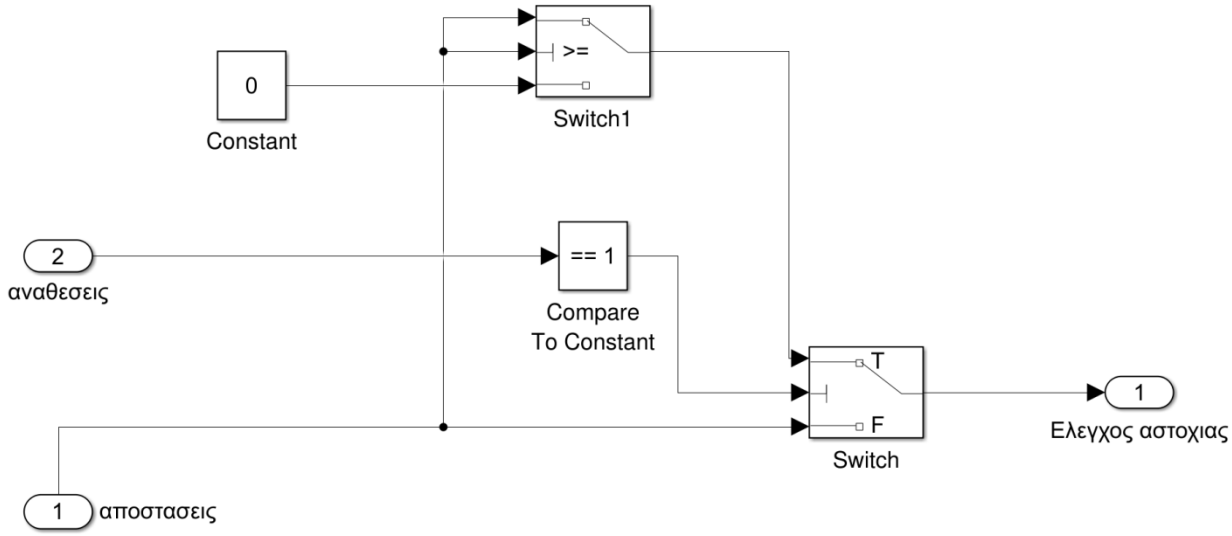
Όταν η πρώτη παράγωγος της απόστασης (ή οι επιστροφές ανάκλασης) μηδενίσει δίνεται και το σήμα πυροδότησης



Σε περίπτωση που σε πύραυλο που του έχει ανατεθεί στόχος και κατά την προσέγγισή του στο στόχο σε απόσταση μικρότερη της απόστασης πυροδότησης (1000m για το παράδειγμα μας) εάν ένας άλλος στόχος κριθεί καταλληλότερος για εμπλοκή, και επομένως ανατεθεί στον πύραυλο, τότε οι αισθητήρες του πυραύλου θα διαβάσουν την απόσταση με τον νέο στόχο ως αύξηση της απόστασης και άρα στιγμιαία μηδένιση της πρώτης παραγώγου, και θα δοθεί το σήμα πυροδότησης.

Για να αποφευχθεί αυτό το ενδεχόμενο, στο υποσύστημα του ελέγχου δυνατοτήτων, υπάρχει διάταξη που για τον ανατιθέμενο μόνο στόχο κάθε πυραύλου, εάν η απόσταση του είναι μικρότερη των 1000μ και άρα είναι οπλισμένος ο μηχανισμός πυροδότησης, τότε του αποδίδεται βαθμός 0 στην απόσταση καθιστώντας τον βαθμό επιβιωσιμότητας του στόχου 0 και άρα καθιστώντας τον συγκεκριμένο πύραυλο για τον ανατιθέμενο στόχο υπεράνω όλων, ως καταλληλότερο για εμπλοκή, αποκλείοντας άλλη ανάθεση σε αυτόν.

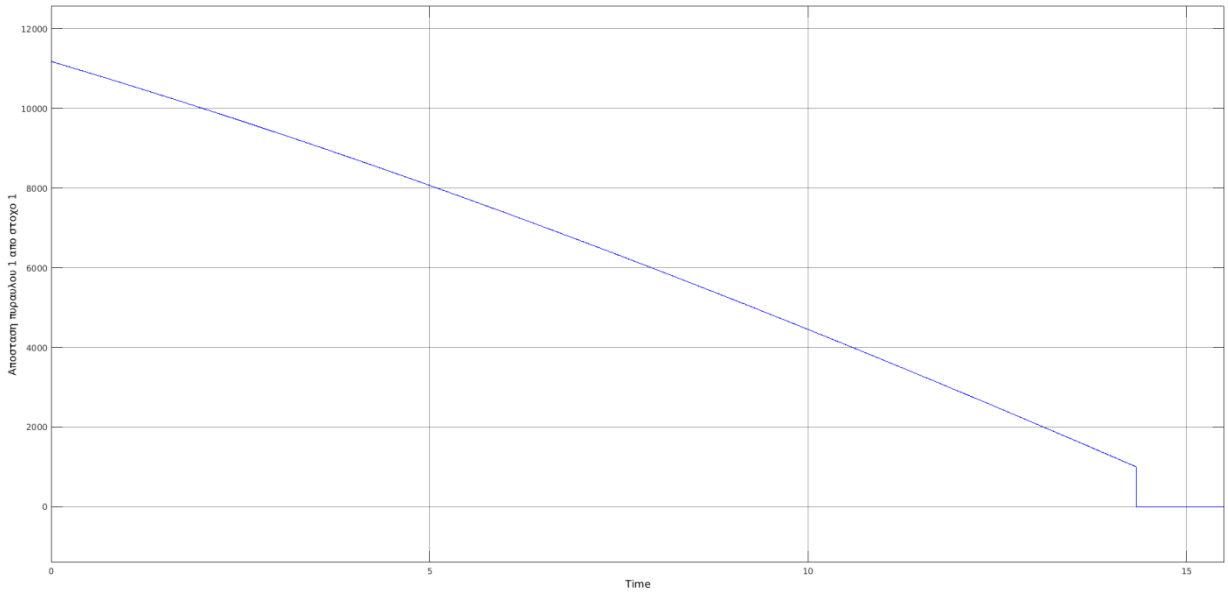
Η διάταξη στο υποσύστημα που επιτρέπει αυτόν τον έλεγχο φαίνεται παρακάτω:

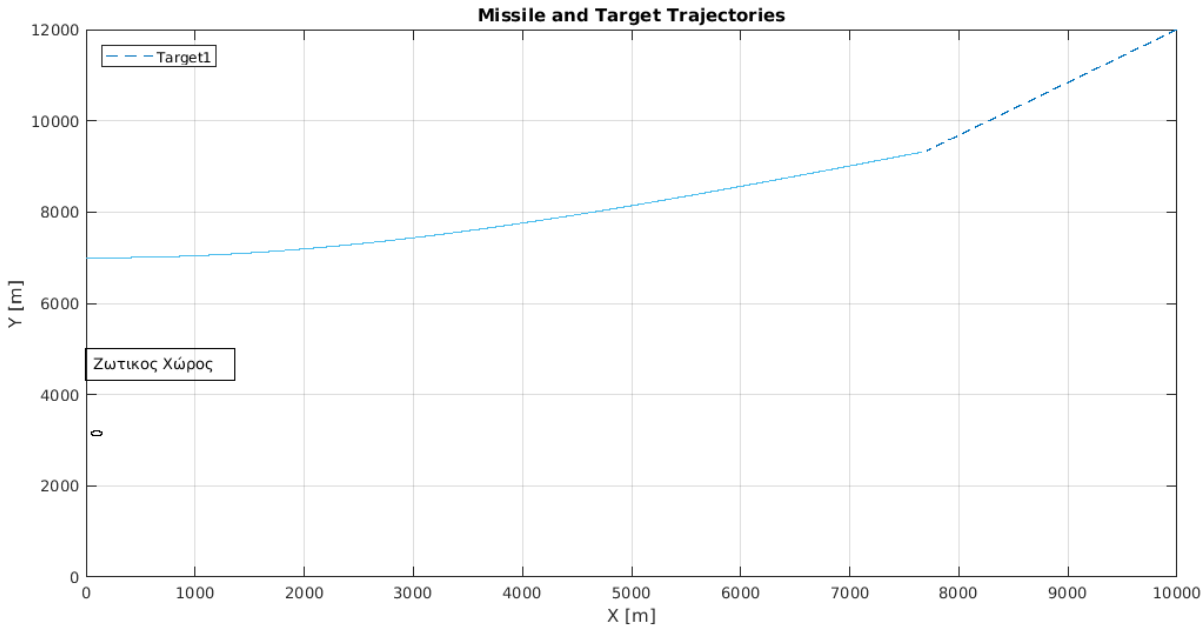


Στην παραπάνω διάταξη (πύραυλος 1 για στόχο 1, subsystem1) διαβιβάζεται η πραγματική απόσταση μεταξύ πυραύλου 1 με στόχο 1 κάθε στιγμή (το οποίο και είναι κριτήριο του βαθμού επιβιωσιμότητας όπως αναφέρθηκε παραπάνω) εφόσον ο αριθμός 1 (στόχος 1) είναι ο ανατιθέμενος στόχος, και όταν η απόσταση γίνει μικρότερη του 1000, διαβιβάζεται ο βαθμός 0.

Η παραπάνω διάταξη αφορά πύραυλο 1 για στόχο 1, για τον πύραυλο 1 στόχο 2 η ανάθεση συγκρίνεται με τον αριθμό 2, και στον διακλαδωτή φαίνεται αμέσως από κάτω ως subsystem2.

Το αποτέλεσμα λειτουργίας της φαίνεται παρακάτω και αφορά την πτήση του πυραύλου 1 στο σημείο αναχαίτισης του στόχου 1:

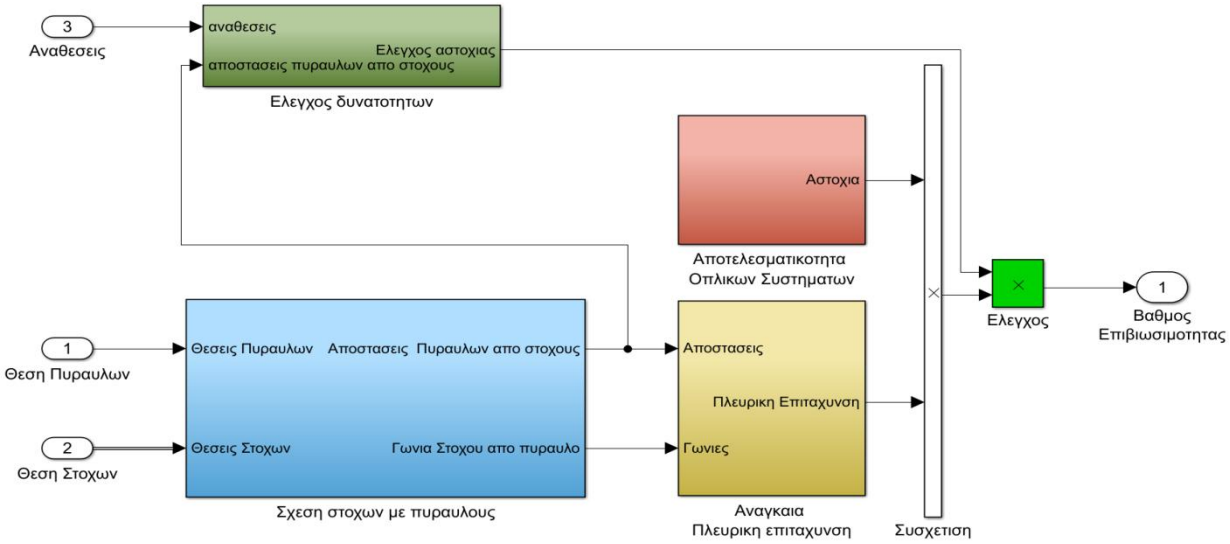




Επομένως το υποσύστημα του ελέγχου δυνατοτήτων διαβιβάζει κάθε στιγμή την πραγματική απόσταση μεταξύ πυραύλων – στόχων εκτός από τους ανατιθεμένους στόχους των οποίων όταν η απόσταση είναι μικρότερη της απόστασης όπλισης του μηχανισμού πυροδότησης, διαβιβάζει σταθμισμένη απόσταση 0 για τους ανατιθεμένους κάθε πυραύλου.

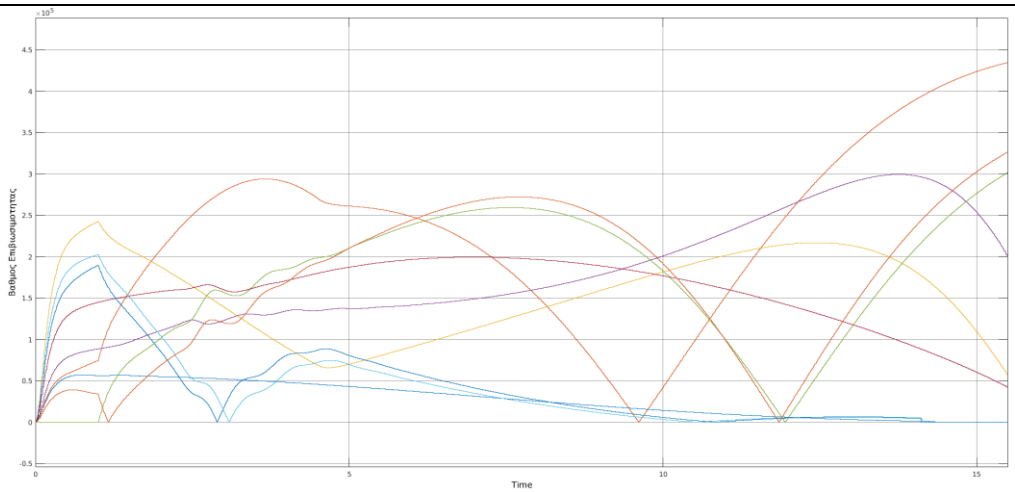
§6. Υπολογισμός Βαθμού Επιβιωσιμότητας

Στη διάταξη του δυναμικού υπολογισμού βαθμού επιβιωσιμότητας

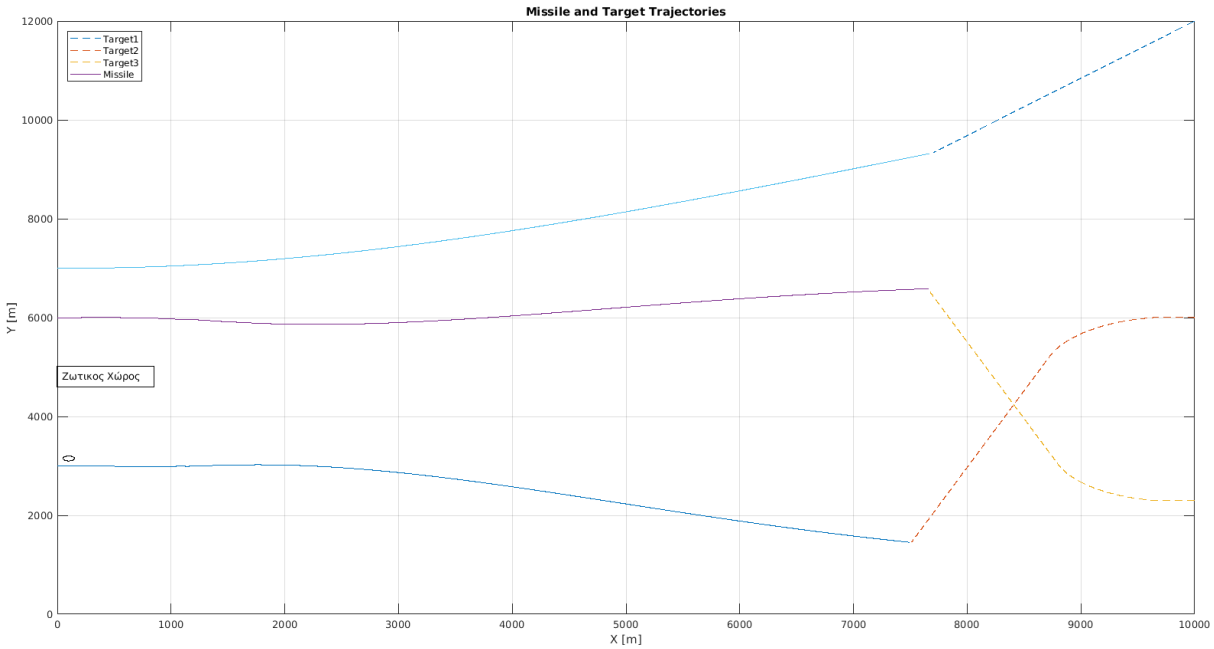


το αποτέλεσμα του Ελέγχου δυνατοτήτων συσχετίζεται με το γινόμενο της Αποτελεσματικότητας Οπλικών Συστημάτων και του βαθμού Αναγκαίας Πλευρικής επιτάχυνσης και προκύπτει ο τελικός βαθμός επιβιωσιμότητας κάθε στόχου σε σχέση με κάθε πύραυλο.

Στο παράδειγμα για τρεις στόχους και τρεις πυραύλους το σήμα που φέρει δυναμικά για κάθε χρονική στιγμή τους βαθμούς επιβιωσιμότητας, έχει όπως παρακάτω:



Οι παραπάνω κυματομορφές εκφράζουν τους βαθμούς επιβιωσιμότητας για την παρακάτω εμπλοκή:



Στην κυματομορφή των βαθμών επιβιωσιμότητας, παρατηρούμε την απότομη μεταβολή στο 1° sec όπου ο 2 και 3 στόχος έκαναν απότομο ελιγμό,

- παρατηρούμε την διακύμανση μετά το 2.2 sec όπου δόθηκε νέα ανάθεση και στον 2 και 3 πύραυλο και άλλαξαν κατεύθυνση, τότε με μεταβολές στην κλίση των πτερυγίων του πυραύλου μεταβάλλεται η κατεύθυνση του και σε περίπου 1 sec λόγω της μεγάλης ταχύτητας και των δυνάμεων που ασκούνται πλευρικά στο σόμα του πυραύλου σταθεροποιείται.
- παρατηρούμε στο 14° sec που οι βαθμοί επιβιωσιμότητας για τις τρεις ανατιθέμενες εμπλοκές γίνεται 0.

Το σήμα των βαθμών επιβιωσιμότητας τροφοδοτεί το υποσύστημα της δυναμικής βελτιστοποίησης αναθέσεων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Δυναμική Βελτιστοποίηση Αναθέσεων

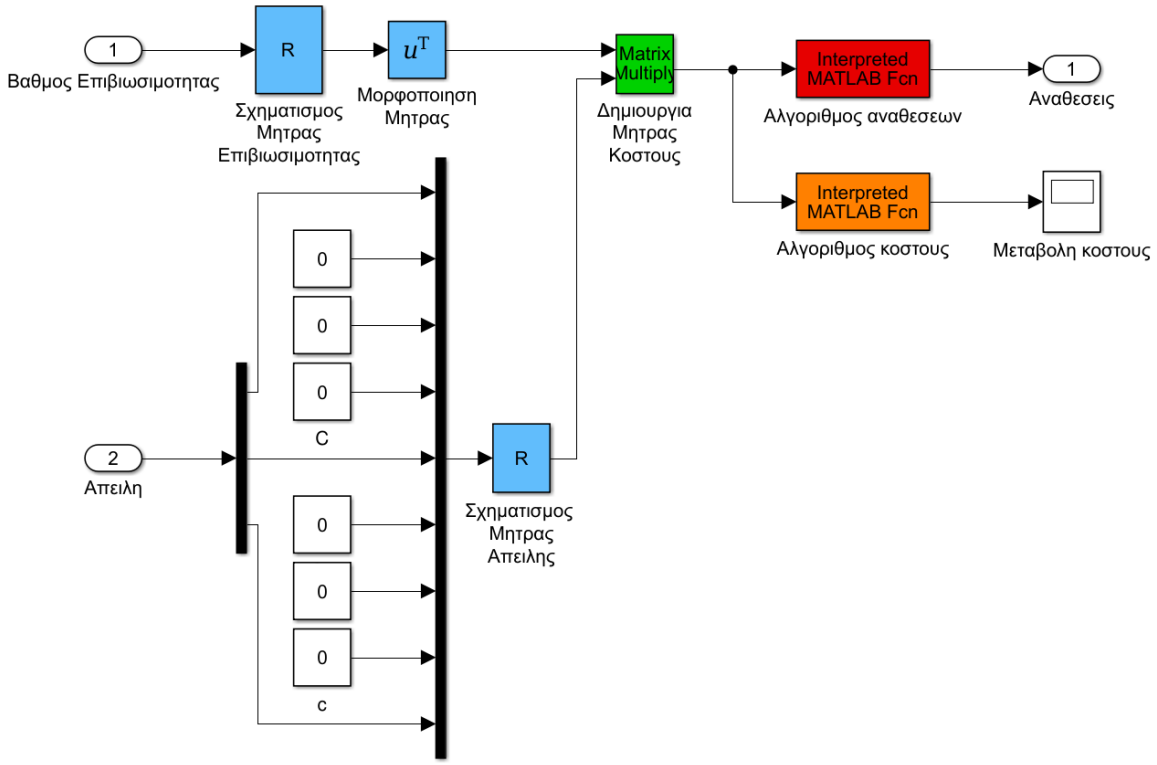
§1. Υποσύστημα Δυναμικής Βελτιστοποίησης Αναθέσεων

Το υποσύστημα της Δυναμικής Βελτιστοποίησης Αναθέσεων υπολογίζει τον βέλτιστο συνδυασμό αναθέσεων και τροφοδοτείται από δυο σήματα:

- Βαθμός Επιβιωσιμότητας και
- Βαθμός Απειλής.

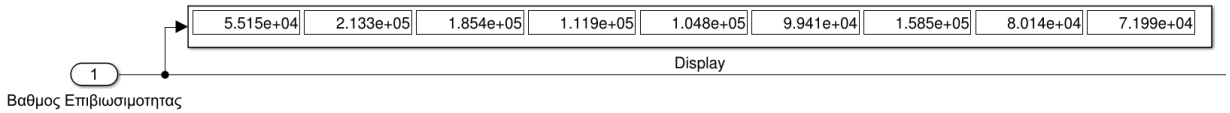
Ο Βαθμός Επιβιωσιμότητας λαμβάνεται από το υποσύστημα του Δυναμικού Υπολογισμού Βαθμού Επιβιωσιμότητας, ενώ ο Βαθμός Απειλής λαμβάνεται από το υποσύστημα του Δυναμικού Υπολογισμού Βαθμού Απειλής.

Η διάταξη του υποσυστήματος της Δυναμικής Βελτιστοποίησης Αναθέσεων απεικονίζεται όπως παρακάτω:

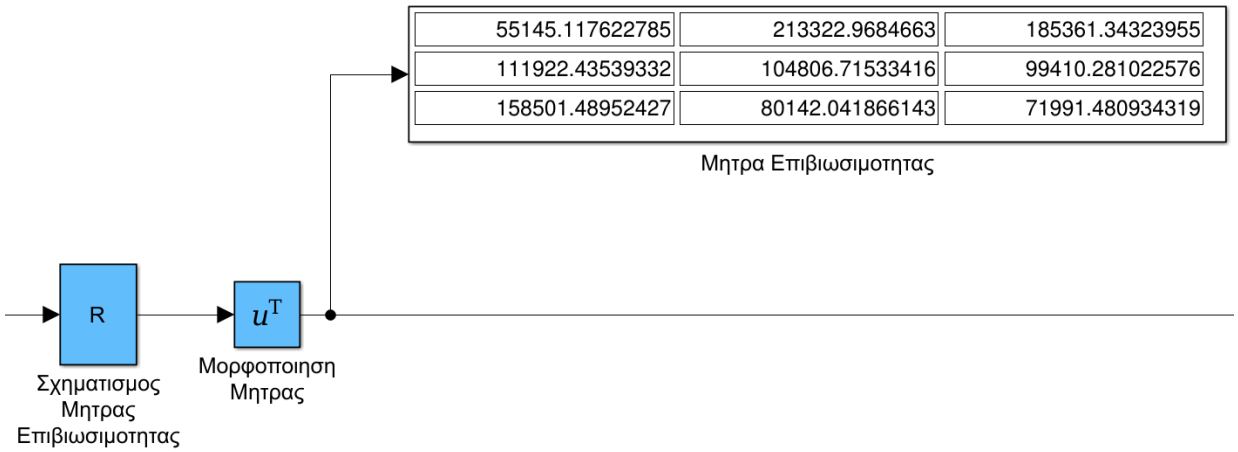


§2. Πίνακας Βαθμών Επιβιωσιμότητας

Ο βαθμός επιβιωσιμότητας των στόχων όταν εισέρχεται στο σύστημα έχει την μορφή του σήματος που είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, και αποτελείται από εννέα τιμές, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα:



Αυτό το σήμα, στην επόμενη διάταξη, σχηματίζεται σε 3×3 −πίνακα και μορφοποιείται σε σειρές και στήλες για να αποτελέσει τον πίνακα (των βαθμών) επιβιωσιμότητας:



όπου κάθε γραμμή είναι ένας πύραυλος και κάθε στήλη ένας στόχος

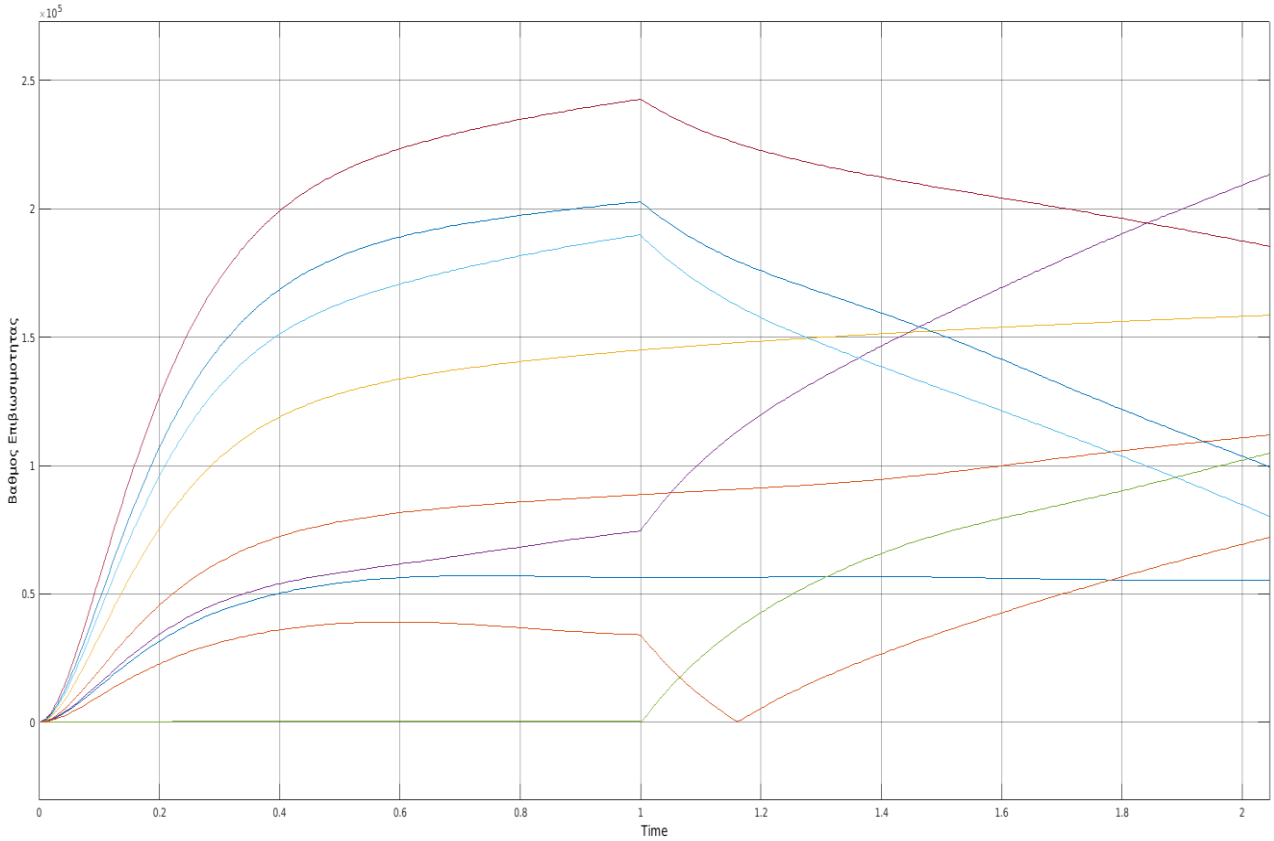
	Στοχος 1	Στοχος 2	Στοχος 3
Πυραυλος 1	55145.117622785	213322.9684663	185361.34323955
Πυραυλος 2	111922.43539332	104806.71533416	99410.281022576
Πυραυλος 3	158501.48952427	80142.041866143	71991.480934319

Μητρα Επιβιωσιμοτητας

Έτσι, για παράδειγμα ο βαθμός επιβιωσιμότητας του στόχου 3 σε εμπλοκή με τον πύραυλο 2 είναι 99.410,281022576.

Οι τιμές του πίνακα επιβιωσιμότητας είναι διαρκώς μεταβαλλόμενες αφού τόσο οι πύραυλοι όσο και οι στόχοι ίπτανται και ελίσσονται μεταβάλλοντας τις μεταξύ τους σχέσεις και επομένως μεταβάλλονται διαρκώς και οι βαθμοί επιβιωσιμότητας.

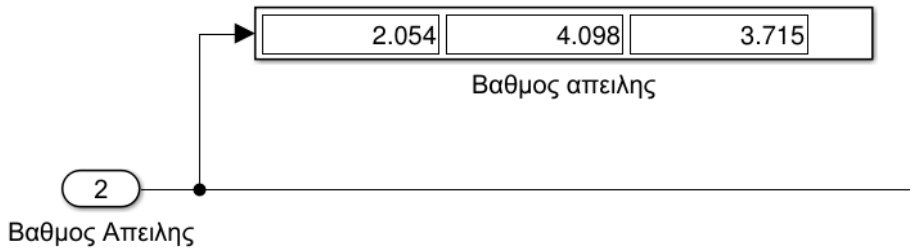
Στον παραπάνω πίνακα, σε σενάριο τριών πυραύλων εναντίων τριών στόχων, φαίνονται οι τιμές όπως διαμορφώθηκαν στο 2.046 sec της ακόλουθης προσομοίωσης:



Χωρίς ακόμα την εξέταση του βαθμού απειλής, στόχος της δυναμικής βελτιστοποίησης αναθέσεων είναι να βρεθεί ο συνδυασμός πυραύλων – στόχων που ελαχιστοποιεί το άθροισμα των βαθμών επιβιωσιμότητας.

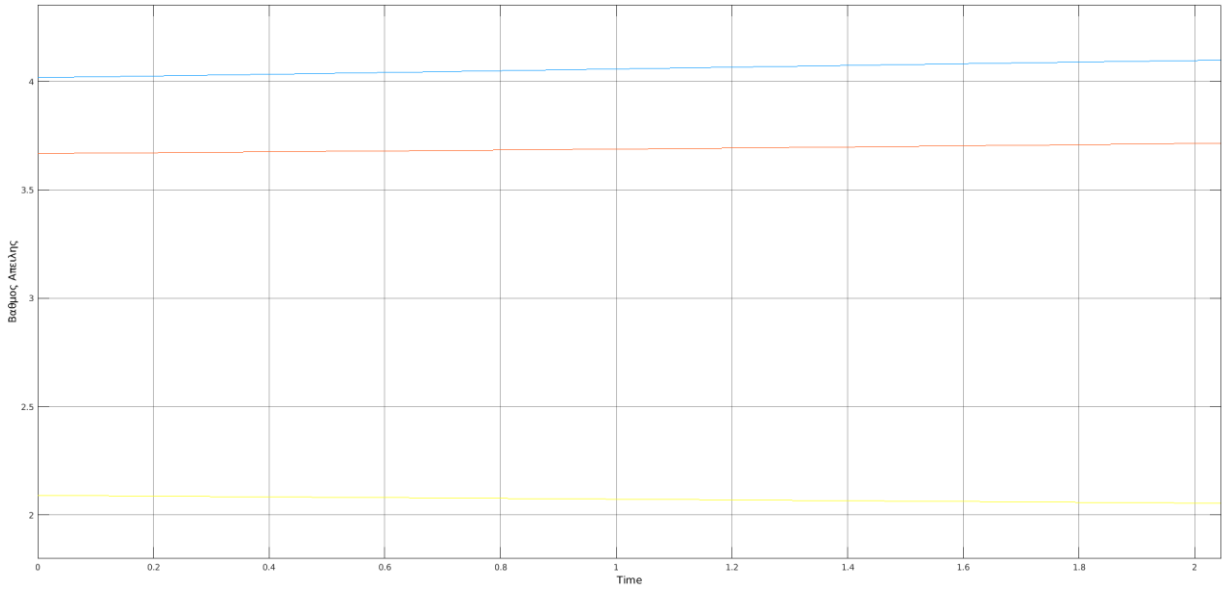
§3. Πίνακας Απειλής

Ο βαθμός απειλής όταν εισέρχεται στο σύστημα έχει την μορφή σήματος που είδαμε σε προηγούμενο κεφάλαιο, και αποτελείται από τρεις τιμές.

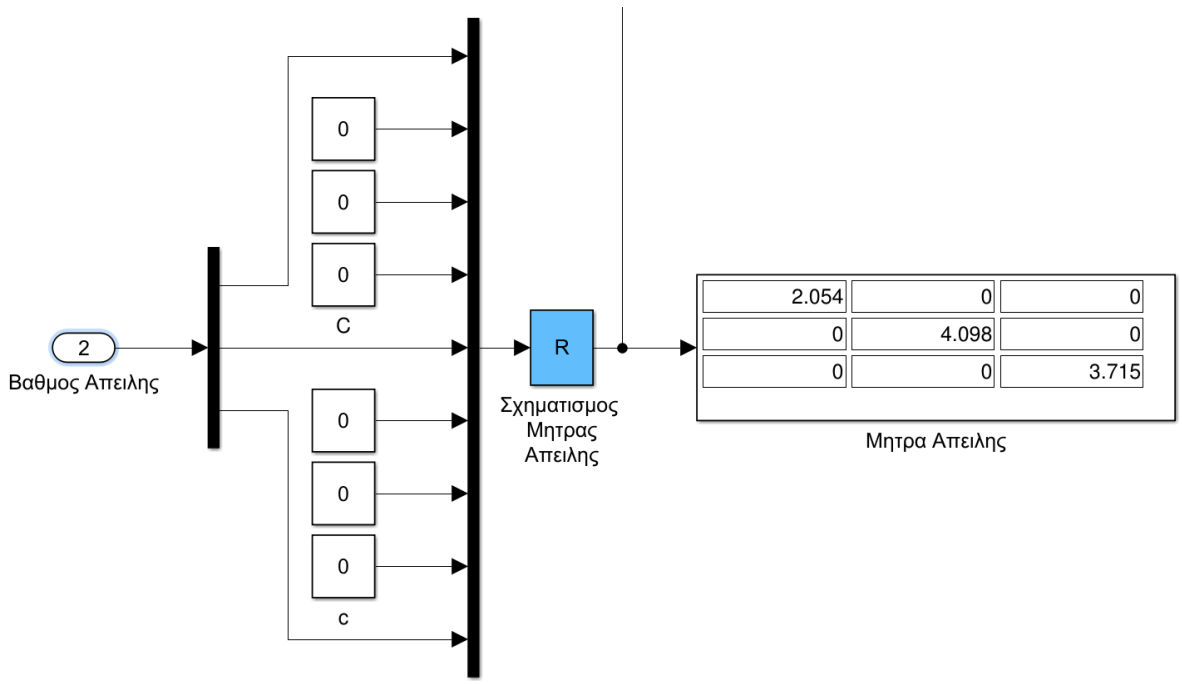


Οι τιμές είναι μεταβαλλόμενες στον χρόνο ανάλογα με την πορεία και τους ελιγμούς του κάθε στόχου.

Στο 2.046 sec της προσομοίωσης διαμορφώνονται όπως παρακάτω:

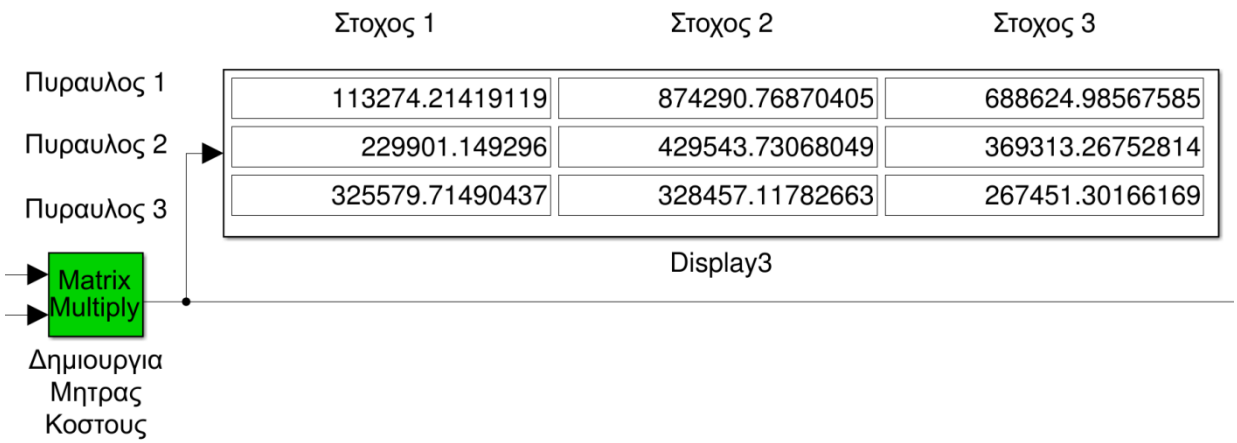


Αυτό το σήμα στην επόμενη διάταξη διακλαδώνεται, σχηματίζεται σε $3 \times 3 -$ πίνακα και μορφοποιείται σε σειρές και στήλες για να αποτελέσει τον πίνακα (των βαθμών) απειλής όπου διαγώνια τοποθετούνται οι τιμές του βαθμού απειλής κάθε στόχου.



§4. Πίνακας Κόστους

Έχοντας σχηματίσει τους πίνακες (των βαθμών) Επιβιωσιμότητας και Απειλής, στην επόμενη διάταξη με το γινόμενο των δυο συσχετίζονται οι δύο πίνακες για να σχηματίσουν τον τελικό πίνακα κόστους του προβλήματος:

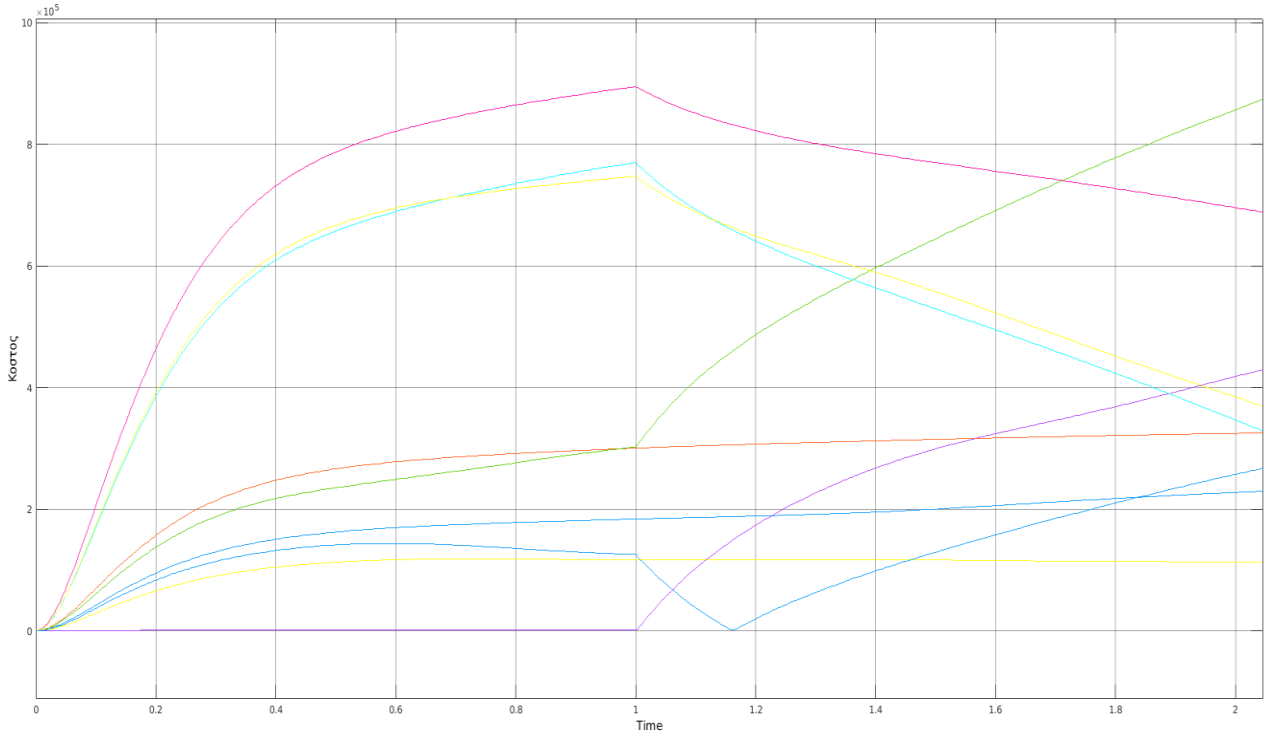


Σε αυτόν τον πίνακα έχουν συσχετισθεί όλα τα δεδομένα των προηγούμενων υποσυστημάτων βαθμού επιβιωσιμότητας και βαθμού απειλής, έχει δηλαδή σχηματιστεί το δεξί σκέλος της αντικειμενικής συνάρτησης:

$$F_{obj} = \sum_{j=1}^{n} V_j \prod_{i=1}^{m} Q_{i,j}^{x_{i,j}}$$

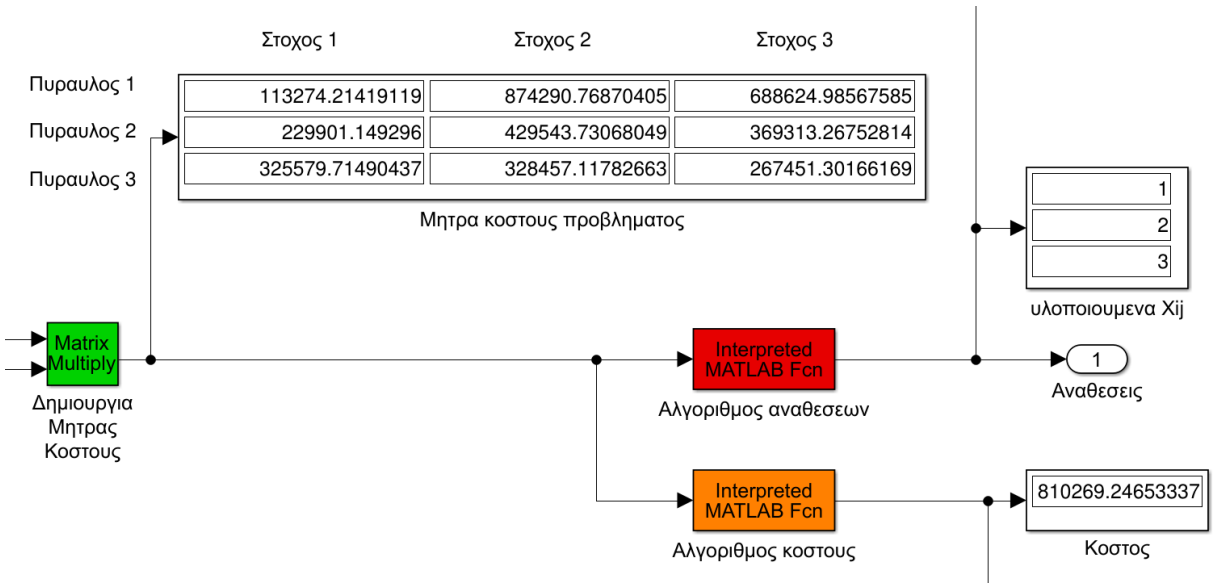
και ο αντικειμενικός σκοπός του προβλήματος είναι να βρεθεί ο βέλτιστος συνδυασμός αναθέσεων πυραύλων σε στόχους $x_{i,j} = 1$ ωστε να ελαχιστοποιηθεί το συνολικό κόστος της ως άνω αντικειμενικής συνάρτησης.

Καθώς τα στοιχεία εισαγωγής είναι μεταβλητά, έτσι μεταβλητά στο χρόνο ανάλογα την τακτική κατάσταση, είναι και τα στοιχεία κόστους.



§5. Βελτιστοποίηση Αναθέσεων

Ανάγοντας το παραπάνω πρόβλημα σε πρόβλημα ανάθεσης (task allocation problem) στην επόμενη διάταξη χρησιμοποιείται ο ευρετικός αλγόριθμος του munkres γνωστός και ως hungarian algorithm, και βρίσκεται ο βέλτιστος συνδυασμός αναθέσεων ώστε το άθροισμα των υλοποιημένων αναθέσεων να είναι ελάχιστο. Στο 2.046sec βρίσκουμε:



Στο παραπάνω παράδειγμα ο αλγόριθμος αναθέσεων έχει βελτιστοποιήσει τις αναθέσεις ως εξής:

Ο Πύραυλος 1 ανατίθεται στον Στόχο 1 με κόστος 113.274,21

Ο Πύραυλος 2 ανατίθεται στον Στόχο 2 με κόστος 429.543,73

Ο Πύραυλος 3 ανατίθεται στον Στόχο 3 με κόστος 267.451,30

Το συνολικό άθροισμα των τριών αναθέσεων είναι

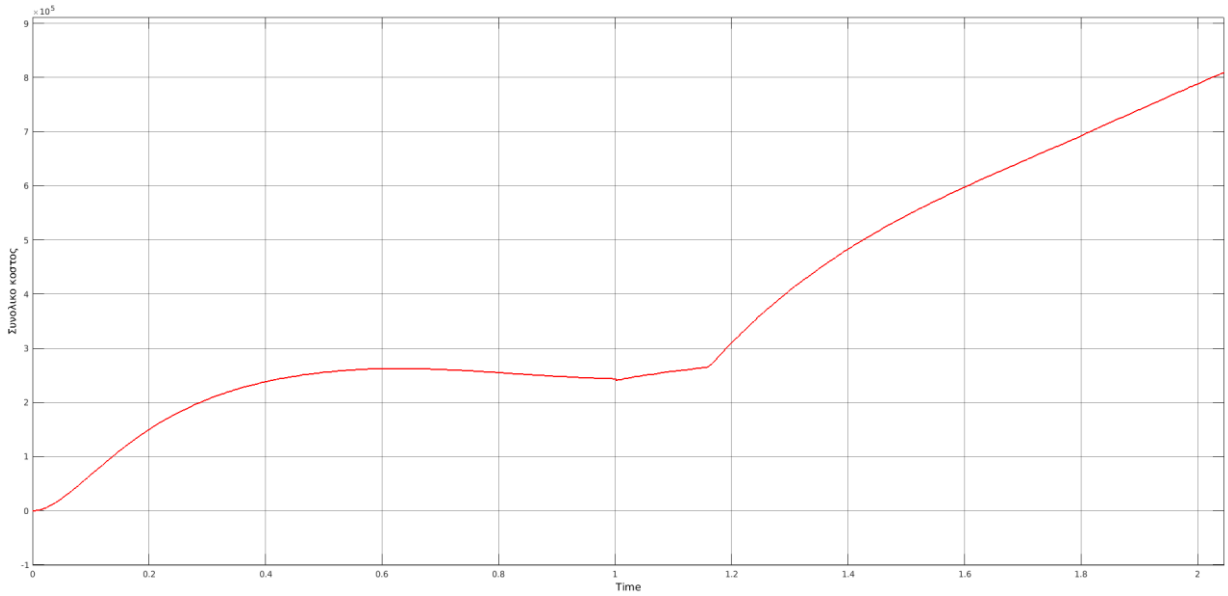
$$113.274,21 + 429.543,73 + 267.451,30 = 810.269,24$$

το οποίο και φαίνεται στην έξοδο του υποσυστήματος κόστους

Είναι φανερό ότι κανένας άλλος συνδυασμός αναθέσεων δεν θα επέφερε χαμηλότερο κόστος.

Άρα, έχοντας ελαχιστοποιήσει το κόστος της αντικειμενικής συνάρτησης, αναθέτοντας τον βέλτιστο συνδυασμό αναθέσεων, το υποσύστημα έχει ελαχιστοποιήσει τον βαθμό επιβιωσιμότητας του συνόλου των στόχων λαμβάνοντας υπόψη και το μέγεθος που προτάσσει ο καθένας στον ζωτικό χώρο. Αυτός είναι και ο αντικειμενικός σκοπός ενός συστήματος αεράμυνας.

Η διαμόρφωση της συνάρτησης κόστους μέχρι εκείνη την στιγμή είναι:



Από την συνάρτηση κόστους διακρίνουμε

- μέχρι το 1ο sec ότι αυξάνεται με την είσοδο των στόχων στην περιοχή,
- μετά το 0.6 sec ελαφρά μειώνεται καθώς οι στόχοι μεν προσεγγίζουν τον ζωτικό χώρο αλλά οι πύραυλοι κατευθυνόμενοι σε αυτούς μειώνεται ο βαθμός επιβιωσιμότητάς τους,
- στο 1ο sec, ο 2ος και 3ος στόχος αλλάζουν απότομα πορεία με αποτέλεσμα να είναι αναγκαία και η αλλαγή κατεύθυνσης του 2ου και 3ου πυραύλου που είναι ανατιθέμενοι σε αυτούς και διαρκώς αυξάνεται καθώς δεν έχει ολοκληρωθεί η αλλαγή πορείας των πυραύλων, αλλά οι στόχοι συνεχίζουν να προσεγγίζουν τον ζωτικό χώρο.

Στο 2,048 sec της προσομοίωσης (0.002 sec μετά), ο πίνακας κόστους διαμορφώνεται όπως παρακάτω

	Στοχος 1	Στοχος 2	Στοχος 3
Πυραυλος 1	113267.64737361	875038.24920059	688296.70871488
Πυραυλος 2	229998.98120615	430023.75403974	368630.67865421
Πυραυλος 3	325609.06869449	327641.77954672	267880.03014926

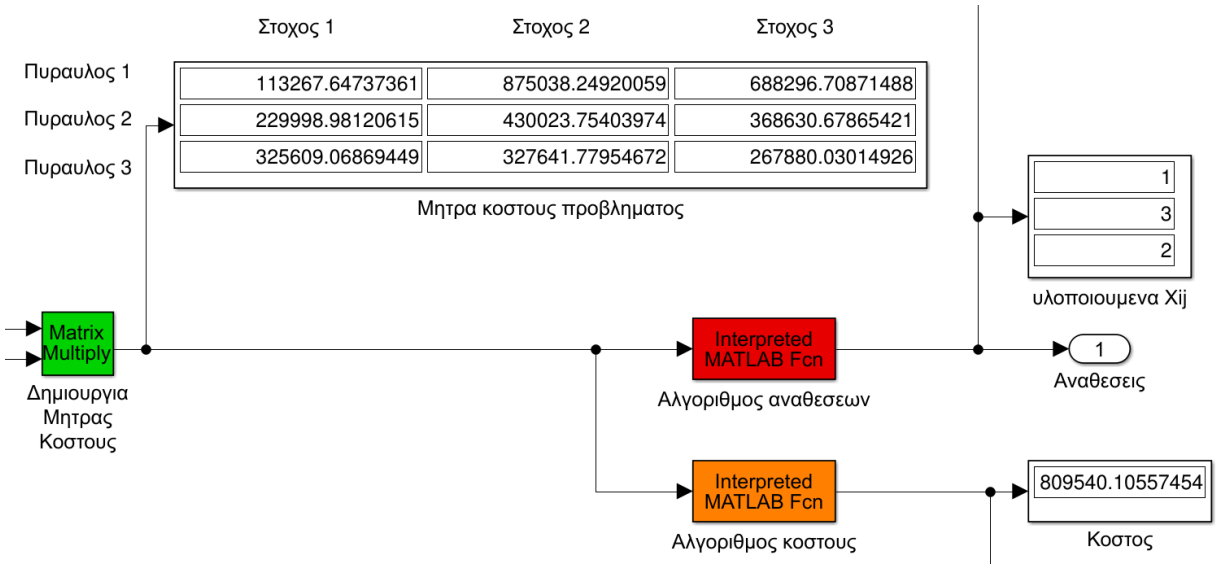
Μητρα κοστους προβληματος

Στον παραπάνω πίνακα, ο προηγούμενος συνδυασμός αναθέσεων (1-1, 2-2, 3-3) επέφερε κόστος 810.269,24.

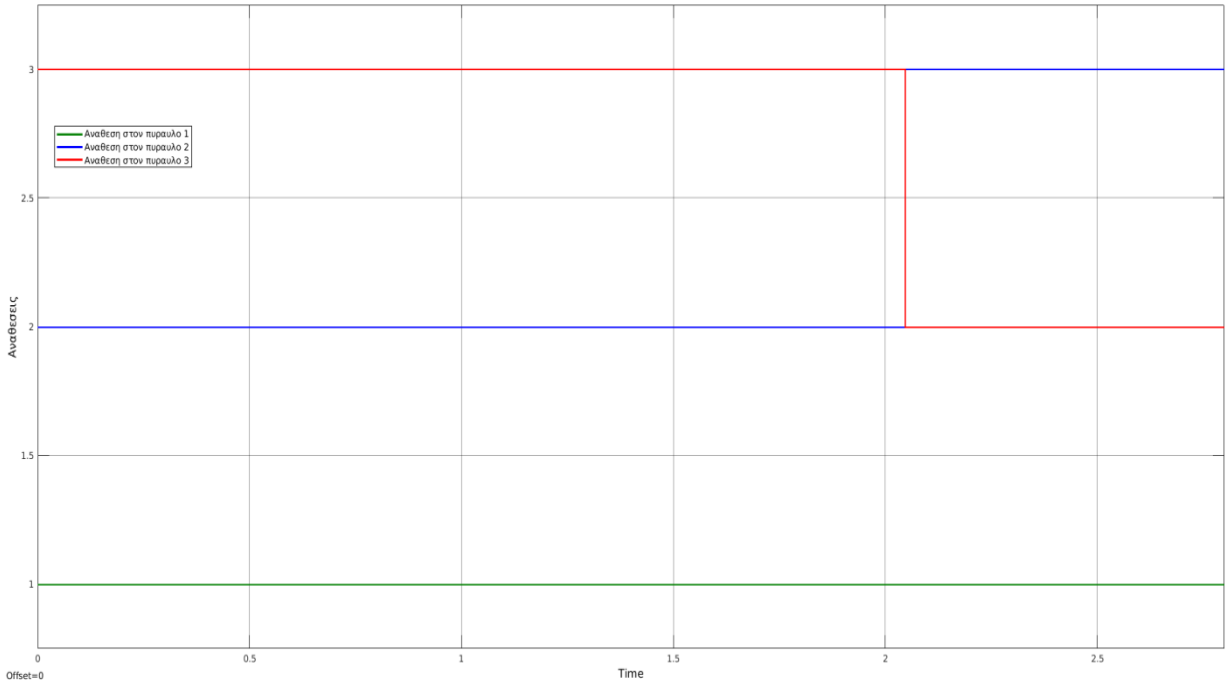
Στην παρούσα χρονική περίοδο, ο παραπάνω συνδυασμός θα επέφερε κόστος

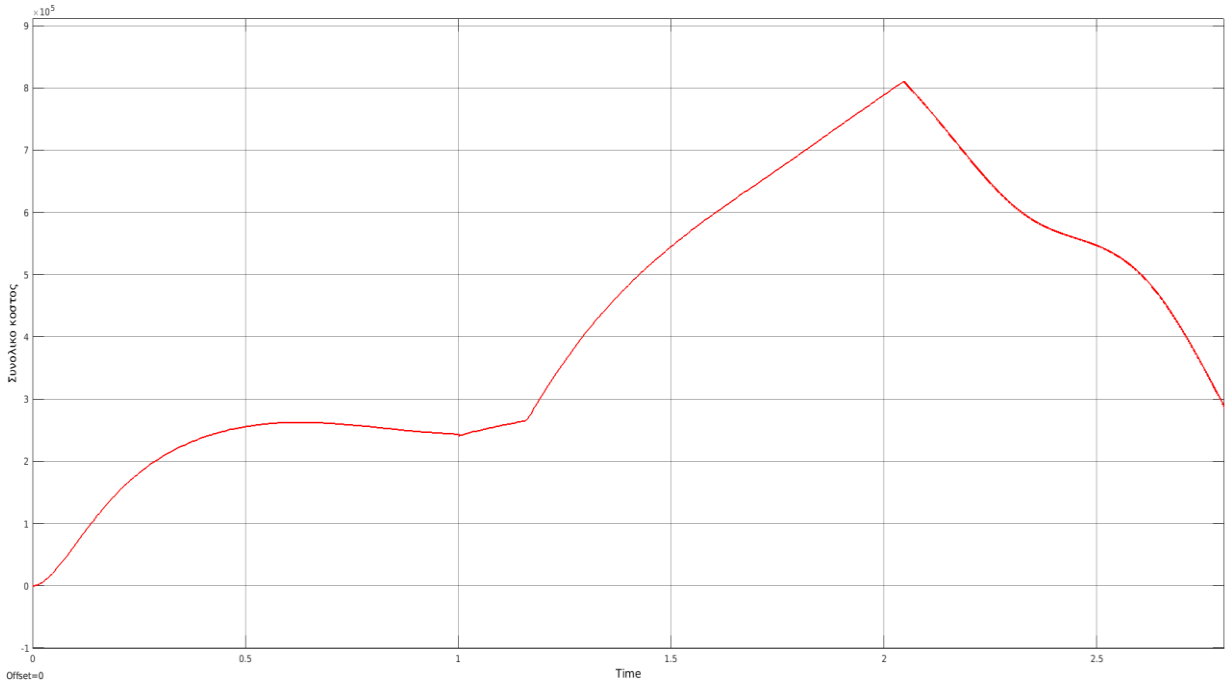
$$113267,65 + 430023,75 + 267880,03 = 811171,43$$

Ο αλγόριθμος αναθέσεων όμως, βελτιστοποιώντας τον συνδυασμό αναθέσεων, άλλαξε τις αναθέσεις μεταξύ των πυραύλων 2 και 3 αναθέτοντας στον πύραυλο 2 τον στόχο 3 και στον πύραυλο 3 τον στόχο 2, υλοποιώντας τις αναθέσεις 1-1, 2-3, 3-2, μειώνοντας το κόστος της συνάρτησης σε 809540.10:



Η αλλαγή των αναθέσεων καθώς και η μεταβολή της συνάρτησης κόστους φαίνεται παρακάτω:

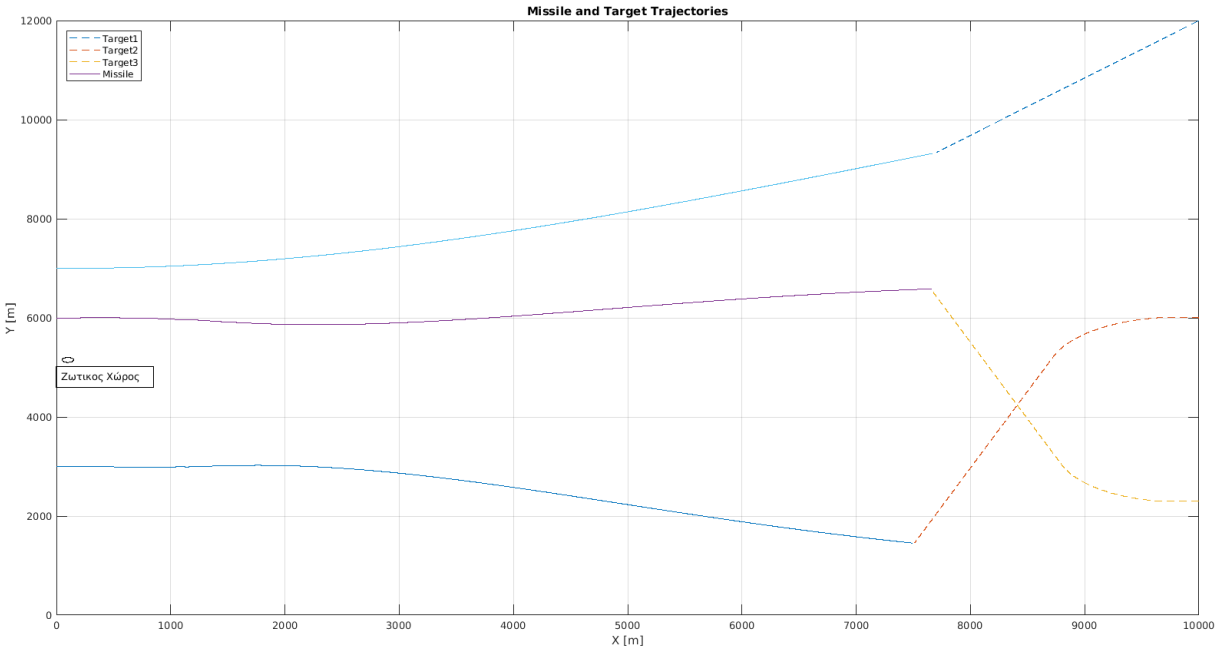




Με την νέα ανάθεση οι πύραυλοι 2 και 3 ανακατευθύνονται έτσι ώστε

- ο πύραυλος 1 να παραμένει σε ανάθεση στον στόχο 1
- ο πύραυλος 2 αντί να κατευθύνεται στον στόχο 2 που ήταν αρχικά, να στρίβει και να κατευθύνεται στον στόχο 3 ο οποίος έκανε τέτοια αλλαγή κατεύθυνσης που θα είναι αποτελεσματικότερο να τον αναχαιτίσει.
- ο πύραυλος 3, αντί του αρχικού στόχου 3, να αλλάζει κατεύθυνση προς τον νέο ανατιθέμενο στόχο 2 ο οποίος βρίσκεται σε τροχιά που τον αναχαιτίζει αποτελεσματικότερα.

Το αποτέλεσμα στο πέρας της προσομοίωσης είναι όπως παρακάτω:



Στο 2.048 sec, όταν ο στόχος 2 και 3 βρισκόντουσαν σε βεληνεκές 9278 και οι πύραυλοι σε βεληνεκές 922, ανιχνεύθηκε από το μοντέλο η δυνατότητα μείωσης του κόστους, έγινε η αλλαγή αναθέσεων και ακολούθως άλλαξε και η πορεία των πυραύλων.

Οι αριθμοί αναθέσεων κατόπιν διαβιβάζονται στο υποσύστημα του δυναμικού κατανεμητή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Κατανεμητής

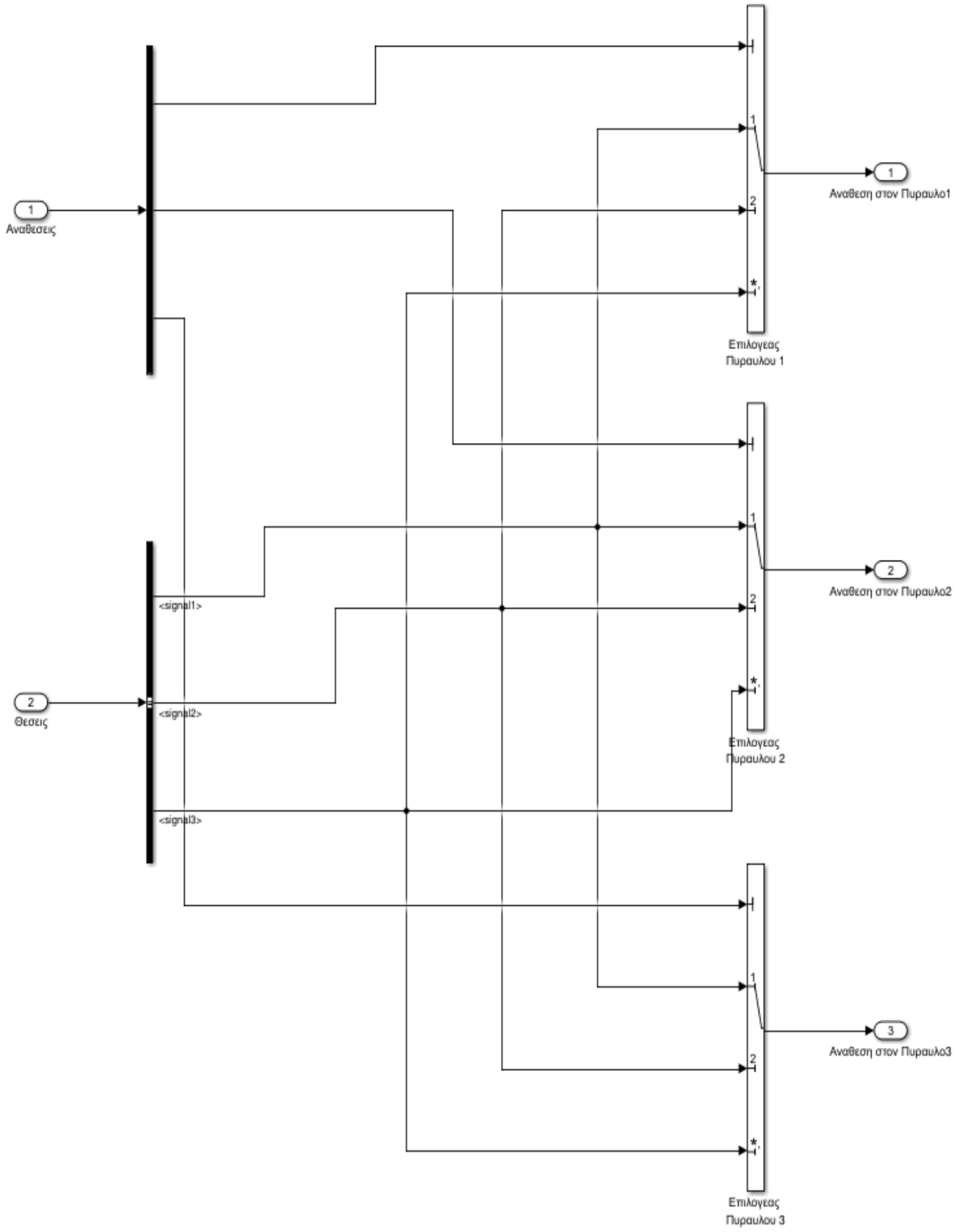
§1. Υποσύστημα Κατανεμητή

Το υποσύστημα του κατανεμητή τροφοδοτεί το υποσύστημα των πυραύλων και τροφοδοτείται από δυο στοιχεία:

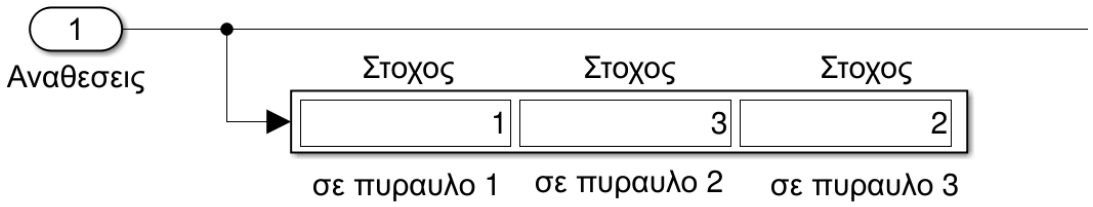
- τις θέσεις Στόχων και
- τις αναθέσεις.

Οι θέσεις των στόχων όπως αναφέρθηκε , είναι στοιχεία που λαμβάνονται από μια συνεργαζόμενη εξωτερική πηγή (ραντάρ) και οι αναθέσεις παρέχονται από το υποσύστημα της δυναμικής βελτιστοποίησης αναθέσεων.

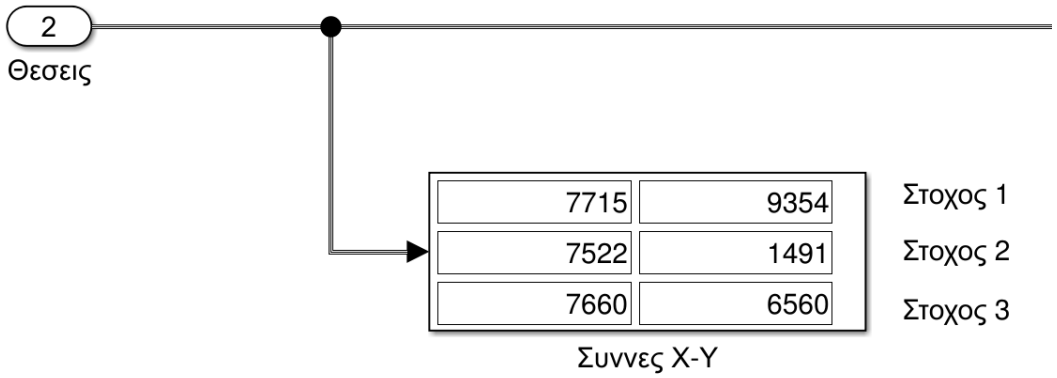
Το γενικό περίγραμμα του υποσυστήματος του κατανεμητή απεικονίζεται με την κατανομή τριών στόχων σε τρεις πυραύλους και έχει όπως στη διάταξη της επόμενης σελίδας:


1
Αναθεσεις
2
Θεσεις
<signal1>
<signal2>
<signal3>
Επιλογεας Πυραυλου 1
Επιλογεας Πυραυλου 2
Επιλογεας Πυραυλου 3
1
Αναθεση στον Πυραυλο1
2
Αναθεση στον Πυραυλο2
3
Αναθεση στον Πυραυλο3

Το σήμα των αναθέσεων που τροφοδοτεί τον κατανεμητή αποτελείται από τρία στοιχεία στη σειρά, τα οποία φέρουν τον αριθμό της ανάθεσης για κάθε ένα στόχο

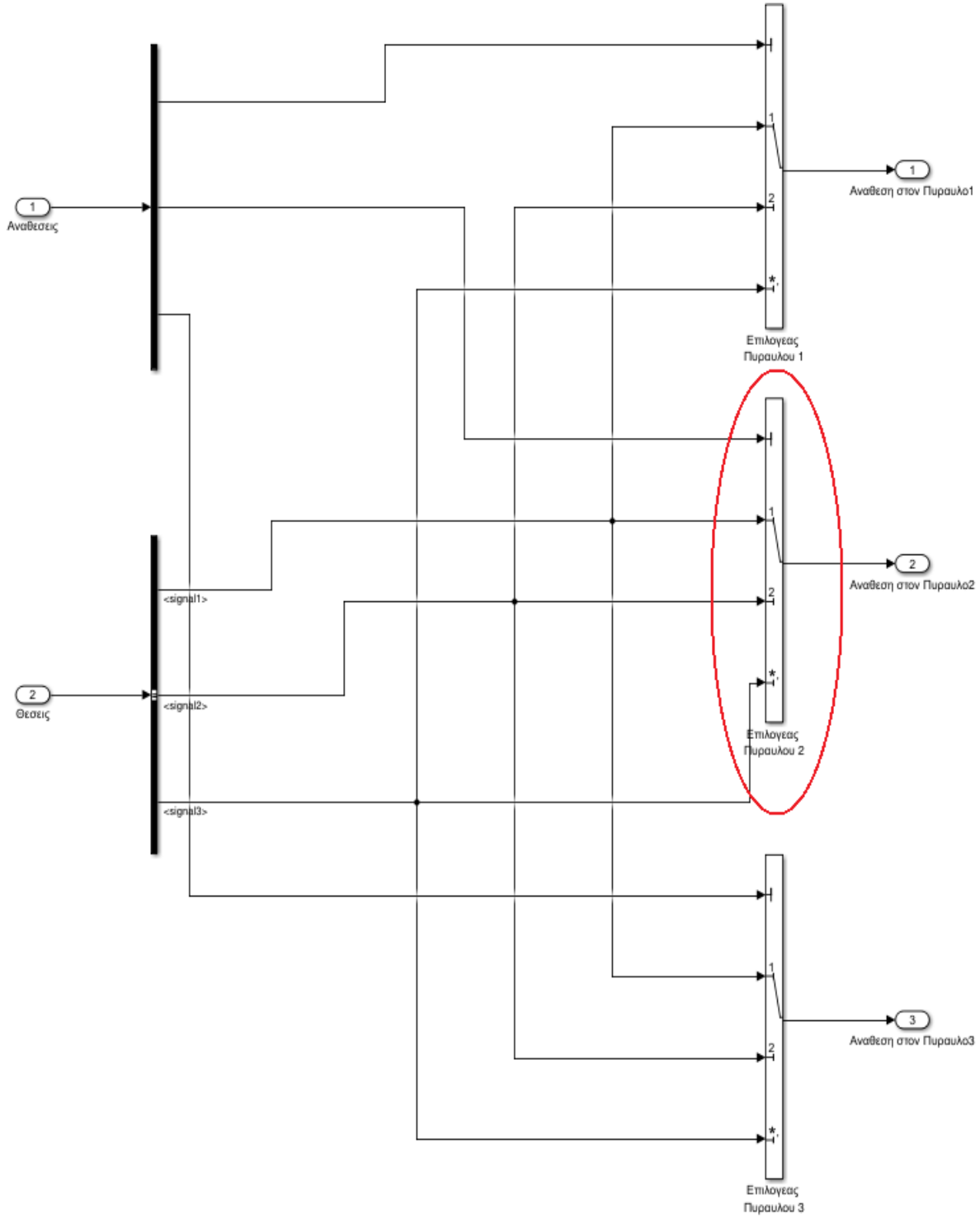


Το σήμα των θέσεων των στόχων τροφοδοτεί τον κατανεμητή αποτελείται από έξι στοιχεία στη σειρά τα οποία φέρουν διαδοχικά τις συντεταγμένες X-Y των τριών στόχων.



Τα παραπάνω σήματα εισέρχονται στους αντίστοιχους διακλαδωτές και διαχωρίζονται ανά πύραυλο και ανά στόχο.

Κατόπιν τροφοδοτούν τον επιλογέα του κάθε πυραύλου.


1
Αναθεσεις
2
Θεσεις
<signal1>
<signal2>
<signal3>
Επιλογεας Πυραυλου 1
Επιλογεας Πυραυλου 2
Επιλογεας Πυραυλου 3
1
Αναθεση στον Πυραυλο1
2
Αναθεση στον Πυραυλο2
3
Αναθεση στον Πυραυλο3

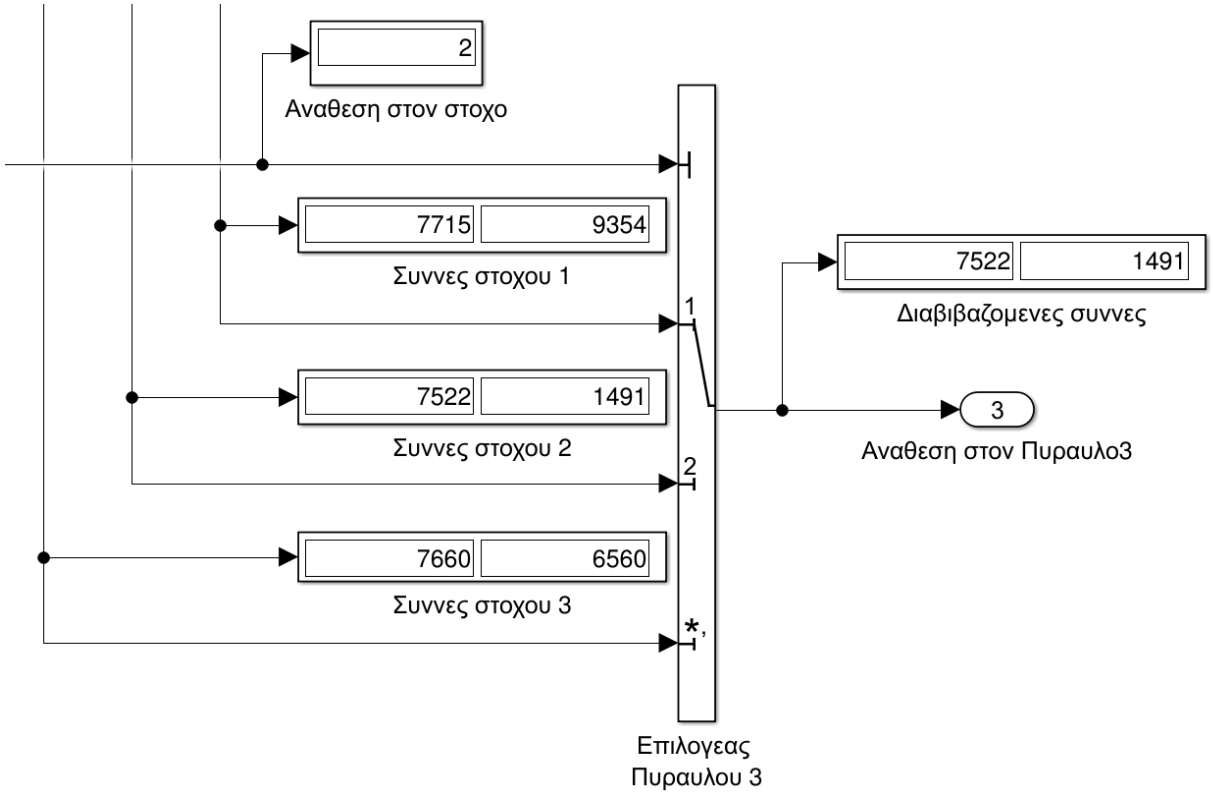
Κάθε επιλογέας έχει μια θύρα και τρεις εισόδους (από πάνω προς τα κάτω). Στην πάνω θύρα η οποία είναι και η θύρα ελέγχου, τροφοδοτείται ο αριθμός της ανάθεσης:

- στην πρώτη είσοδο τροφοδοτούνται οι τρέχουσες συντεταγμένες του 1ου στόχου,
- στην δεύτερη είσοδο τροφοδοτούνται οι τρέχουσες συντεταγμένες του 2ου στόχου,
- στην τρίτη είσοδο τροφοδοτούνται οι τρέχουσες συντεταγμένες του 3ου στόχου.

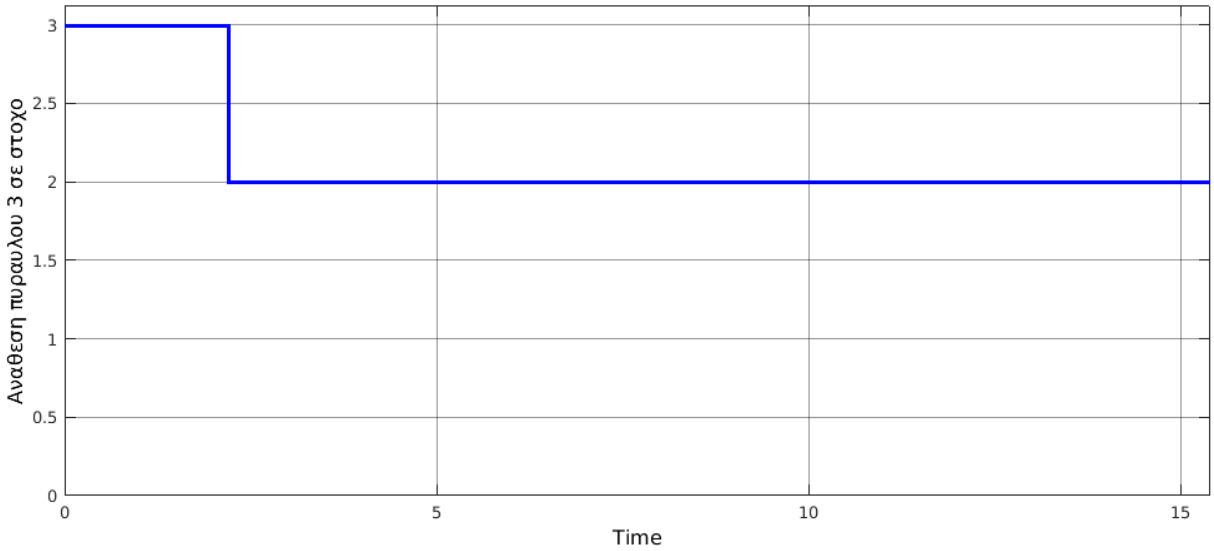
Ο επιλογέας λειτουργεί συγκρίνοντας το σήμα της θύρας ελέγχου, με τον αριθμό της εισόδου. Εάν η τιμή που εισέρχεται στην θύρα ελέγχου είναι ίδια με τον αριθμό κάποιας εισόδου, ανοίγει η αντίστοιχη είσοδο και διαβιβάζονται μόνο τα δεδομένα αυτής.

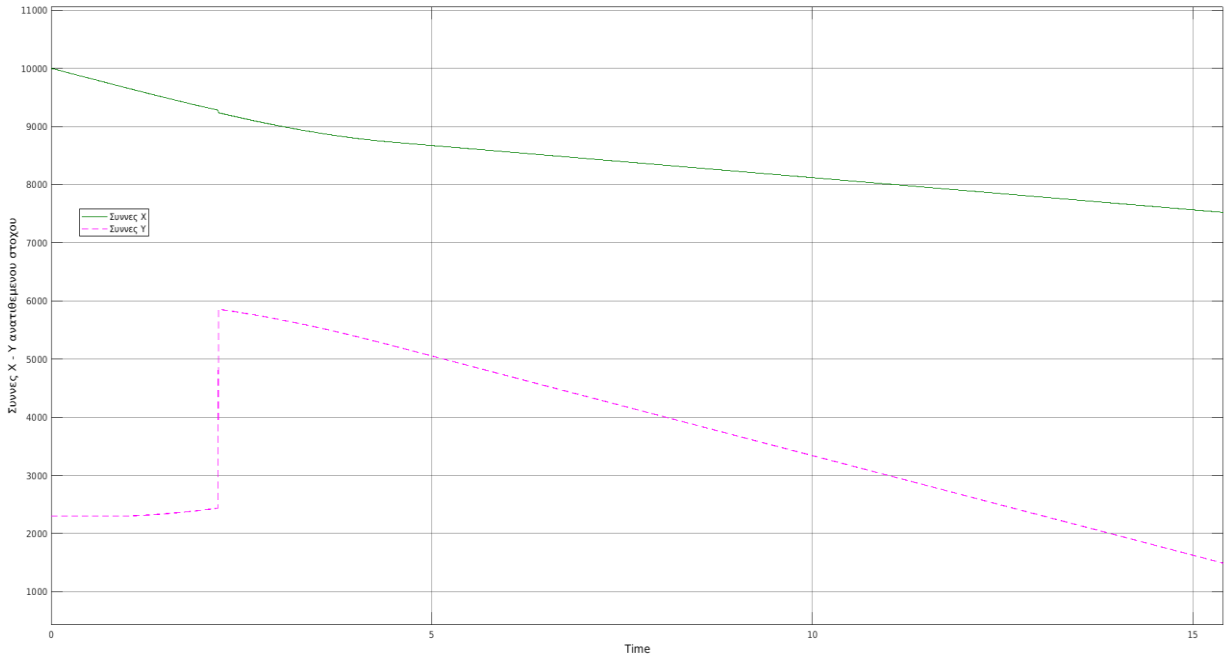
Εάν, για παράδειγμα, η τιμή που εισέρχεται στην θύρα εισόδου του επιλογέα πυραύλου 3 είναι “3” τότε θα ανοίξει η τρίτη είσοδο (απεικονίζεται με *), και θα διαβιβαστούν στον πύραυλο 3 τα δεδομένα της τρίτης εισόδου που είναι και οι τρέχουσες συντεταγμένες του τρίτου στόχου. Όταν αλλάξει η ανάθεση του πυραύλου 3 και η τιμή της θύρας ελέγχου γίνει “2”, τότε θα ανοίξει η δεύτερη είσοδο και θα διαβιβαστούν στον πύραυλο 3 οι τρέχουσες συντεταγμένες του στόχου 2

Η παραπάνω λειτουργία φαίνεται στο παρακάτω διάγραμμα που βρίσκεται στην αμέσως επόμενη σελίδα:



Παρακάτω, διακρίνουμε στο 2 sec όπου, όταν αλλάξει ο αριθμός της ανάθεσης, αλλάζουν και οι διαβιβαζόμενες συντεταγμένες





§2. Εφαρμογή

Οι διαβιβαζόμενες συντεταγμένες θα εκπεμπούν από το σημείο λειτουργίας του κατανεμητή προς τον πύραυλο που ίπταται, και ακολούθως ο μηχανισμός αναζήτησης στην κεφαλή του πυραύλου θα αναζητήσει τον στόχο που έχει αυτά τα κριτήρια.

Η λειτουργία αυτή του υποσυστήματος της δυναμικής κατανομής αποκτά ιδιαίτερη σημασία λόγω της υπάρχουσας δομής των συστημάτων αεράμυνας και των τεχνικών λειτουργιών των πυραύλων που χρησιμοποιούνται σήμερα.

Για την κατεύθυνση ενός πυραύλου (ή ενός αεροσκάφους αναχαίτισης), μπορεί να χρησιμοποιείται συσκευή GPS η οποία όταν λειτουργεί εντός του συστήματος διεύθυνσης, παρέχει στον πύραυλο την τρέχουσα θέση του.

Έτσι όταν διαβιβαστούν σε αυτόν τα στοιχεία της ανάθεσης σε μορφή συντεταγμένων στόχου, το σύστημα αναζήτησης του πυραύλου θα χρησιμοποιήσει αυτές τις συντεταγμένες για να αναζητήσει τον στόχο στις ανατιθέμενες συντεταγμένες, και θα επιτευχθεί το “lock” του στόχου.

Επισημαίνεται ότι για την ανάθεση δεν χρειάζεται συνεχής διαβίβαση ή συνεχής επαφή ασύρματου σήματος, αλλά μόνο την στιγμή της ανάθεσης.

Εάν ο πύραυλος δεν διαθέτει συσκευή GPS, αλλά μέσω αισθητήρων και διατάξεων μέτρησης, κατευθύνεται στον ανατιθέμενο στόχο, ακολουθώντας τις επιστροφές του σήματος του ραντάρ που ανακλάται στην επιφάνεια του στόχου.

Με την λειτουργία του δυναμικού κατανεμητή, θα διαβιβάζονται στον πύραυλο που ίπταται, μέσω ραδιοσήματος η γωνία του ανατιθεμένου στόχου σε σχέση με τον πύραυλο, ώστε ο μηχανισμός αναζήτησης του πυραύλου να γνωρίζει σε ποια γωνία σε σχέση με τον άξονα του σώματος του , να αναζητήσει τον στόχο, και να εκκινήσει η λειτουργία της καθοδήγησής του.

Ο υπολογισμός της γωνίας του ανατιθεμένου στόχου σε σχέση με τον άξονα του πυραύλου είναι δεδομένα που δύνανται να υπολογίζονται και να παρέχονται από το υποσύστημα του δυναμικού υπολογισμού βαθμού επιβιωσιμότητας.

Υπάρχουν συστήματα αναζήτησης πυραύλων που ακολουθούν τις επιστρεφόμενες ανακλάσεις συγκεκριμένου ραντάρ χωρίς την λειτουργία autopilot (πύραυλοι beam-rider), σε αυτήν την περίπτωση, αντί των συντεταγμένων του στόχου ή της γωνίας αυτού, δύνανται μέσω του δυναμικού κατανεμητή αναθέσεων να διαβιβάζεται στον κάθε πύραυλο, η συχνότητα εκπομπής του συγκεκριμένου ραντάρ που καταυγάζει τον στόχο με ακτίνα.

Έτσι ο πύραυλος θα αναζητεί τις επιστροφές μόνο αυτού του ραντάρ καταυγαστήρα που τον καθοδηγεί.

Έχοντας υπόψη τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι για την λειτουργία του δυναμικού κατανεμητή αναθέσεων και επακολούθως για την εφαρμογή του μοντέλου συνεργατικής καθοδήγησης, δεν απαιτείται κάποια τεχνική τροποποίηση στην κατασκευή των πυραύλων, και εφαρμόζεται με μικρές προσθήκες στο λειτουργικό ενός συστήματος διεύθυνσης πυρός μιας μονάδας αεράμυνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Προσομοιώσεις Σεναρίων

Ακολουθούν προσομοιώσεις από σενάρια εχθρικής απειλής και συμπεριφοράς του Μοντέλου Συνεργατικής Στρατηγικής Πυραυλικών Συστημάτων.

Η περίπτωση Ενός Στόχου – Ενός Πυραύλου δεν αφορά το μοντέλο καθώς η ανάθεση είναι από την αρχή η ίδια και παραμένει ίδια μέχρι το τέλος της αναχαίτισης

Στην περίπτωση Δυο πυραύλων εναντίων τριών στόχων, γίνεται εμφανής η χρησιμότητα του μοντέλου.

Σενάριο:

Τρεις στόχοι εισέρχονται στο βεληνεκές ανίχνευσης των ραντάρ μιας αμυντικής διάταξης που χρησιμοποιεί δυο μονάδες πυρός και δύναται να ελέγχει μόνο δύο πυραύλους.

<u>Δύο Πύραυλοι – Τρεις Στόχοι</u>

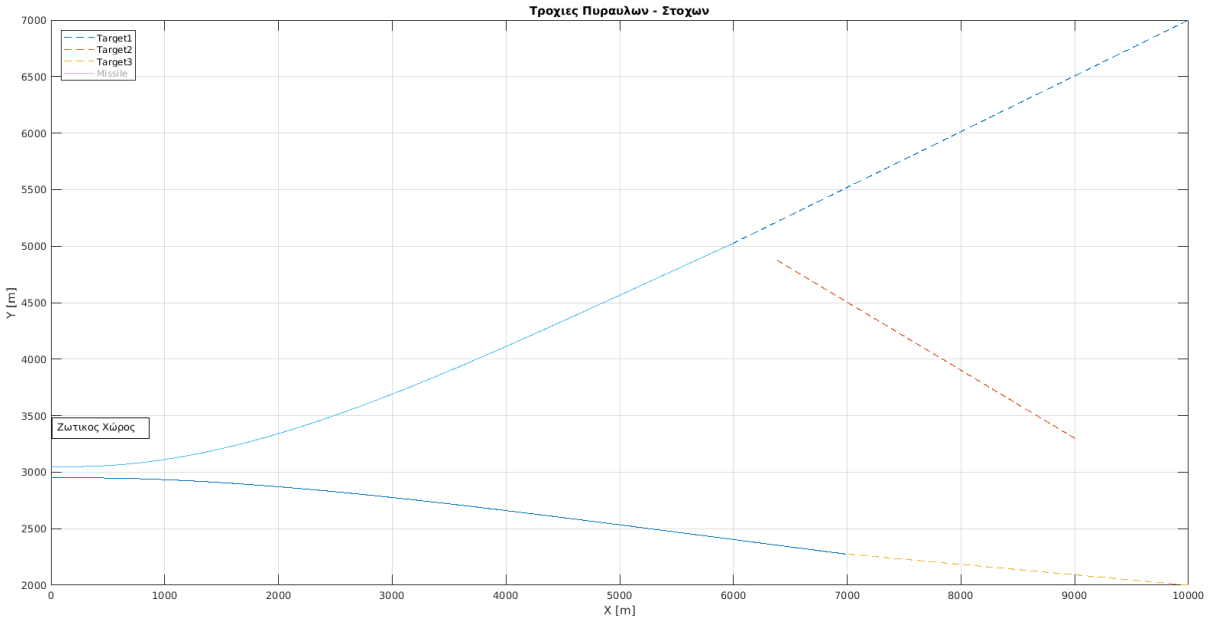
Αρχικά Δεδομένα

	Αρχική Θέση (m)	Ταχύτητα (m/s)	Αρχική διεύθυνση (rads)
Στόχος 1	10000 7000	580	3.6
Στόχος 2	9000 3300	400	2.6
Στόχος 3	10000 2000	400	3.05
	Αρχική Θέση (m)	Αρχική Ταχύτητα (m/s)	Ώθηση (N)
Πύραυλος 1	0 3050	700	10000
Πύραυλος 2	0 2950	800	10000

Στο παρακάτω σενάριο ο Στόχος 1 εισέρχεται με μεγαλύτερη ταχύτητα από τους άλλους δυο αλλά βρίσκεται σε μεγαλύτερο βεληνεκές.

Ο στόχος 2 και στόχος 3 έχουν την ίδια ταχύτητα, ο στόχος 2 βρίσκεται σε μικρότερο βεληνεκές και έχουν διαφορετική διεύθυνση.

Η λειτουργία του μοντέλου για την επιλογή των αναθέσεων καθώς και οι τροχιές βλημάτων – Στόχων φαίνονται παρακάτω:



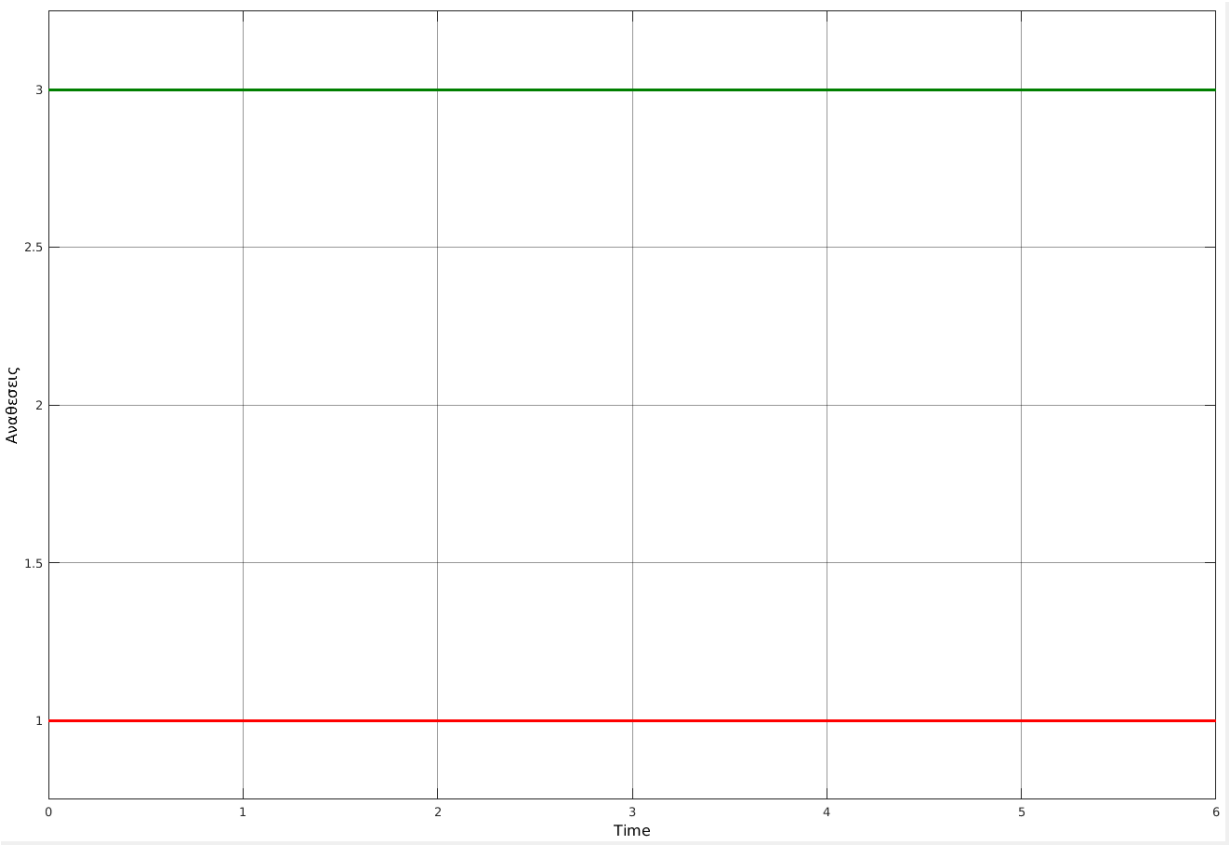
Σε φυσιολογικές συνθήκες, και χωρίς την χρήση του μοντέλου, την στιγμή που θα ανιχνεύονταν οι τρεις στόχοι, ο χειριστής θα όριζε ανάθεση στον πύραυλο 1 τον στόχο 2 καθώς θεωρείται ο πιο απειλητικός γιατί βρίσκεται πιο κοντά στον ζωτικό χώρο.

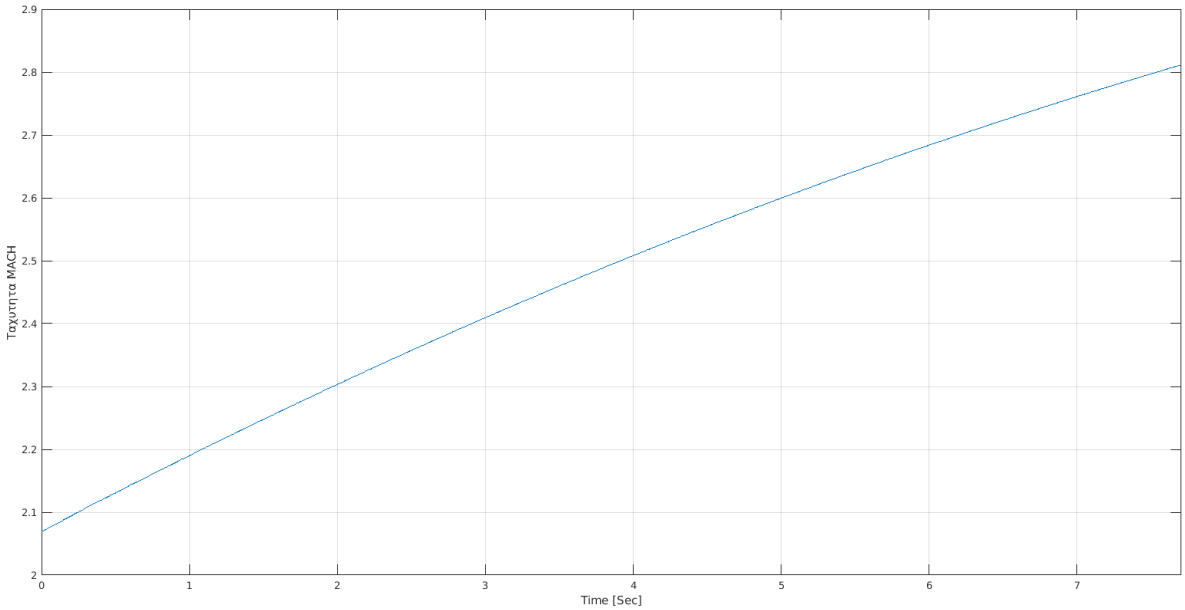
Και ακολούθως θα όριζε ανάθεση στον πύραυλο 2 τον στόχο 3 που είναι ο αμέσως πιο μακρύτερος από τον ζωτικό χώρο.

Με την χρήση του μοντέλου όμως, παρατηρούμε ότι για την ελαχιστοποίηση της απειλής, το μοντέλο αποφασίζει να εμπλέξει πρωτίστως τον στόχο 1 καθώς από το πρώτο δευτερόλεπτο της εμπλοκής υπολογίζει ότι λόγω ταχύτητας είναι πιο απειλητικός και λόγω διεύθυνσης είναι καταλληλότερος για εμπλοκή.

Στον δεύτερο πύραυλο ανατίθεται ο στόχος 3 καθώς πάλι μπορεί να είναι μακρύτερος αλλά λόγω διεύθυνσης μειώνεται ο βαθμός επιβιωσιμότητάς του.

Επισημαίνεται ότι οι πύραυλοι εκτοξεύονται από σημείο εγγύς του ζωτικού χώρου.


Αναθεσεις
Time
3
2.5
2
1.5
1
0
1
2
3
4
5
6


Ταχυτητα MACH
Time [Sec]
2.9
2.8
2.7
2.6
2.5
2.4
2.3
2.2
2.1
2
0
1
2
3
4
5
6
7

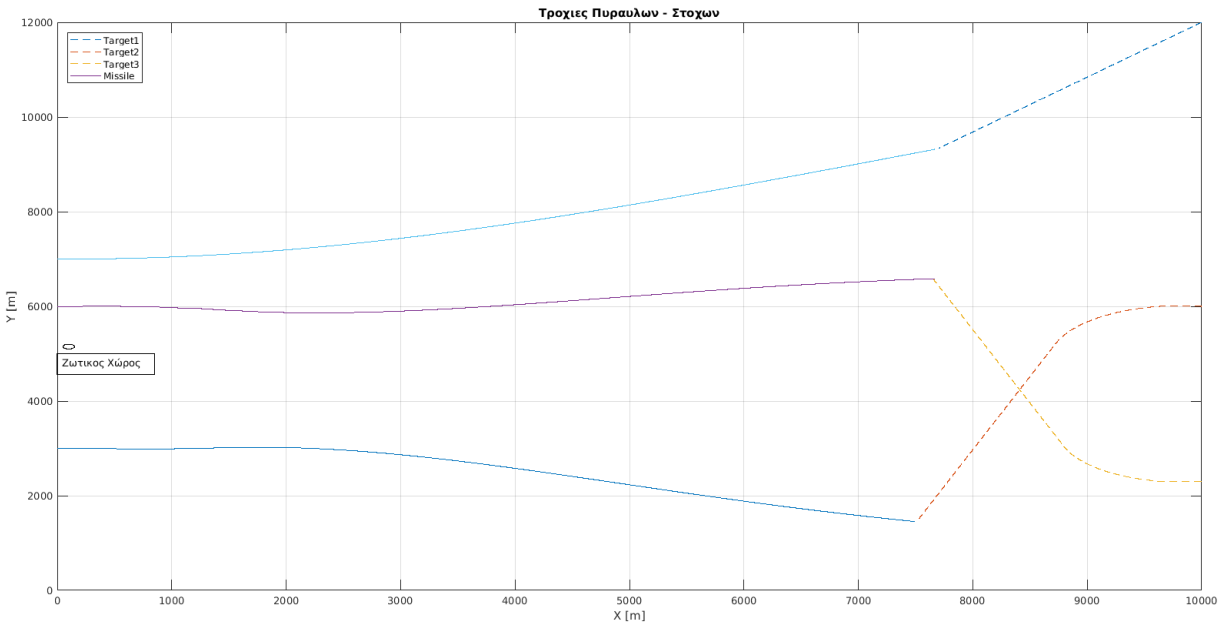
Τρεις Στόχοι – Τρεις Πύραυλοι

Στο παρακάτω σενάριο τρεις στόχοι εισέρχονται στην αμυντική διάταξη, και μέχρι το πρώτο δευτερόλεπτο κινούνται σε ευθεία, μετά κάνουν απότομο ελιγμό για να αποπροσανατολίσουν την αμυντική προσπάθεια, ώστε είτε να διαφύγουν, είτε να κερδίσουν χρόνο μέχρι να καταφέρουν να στοχοποιήσουν φίλιες μονάδες και να αφέσουν πυραύλους που σκοπό έχουν να πλήξουν τις μονάδες αεράμυνας.

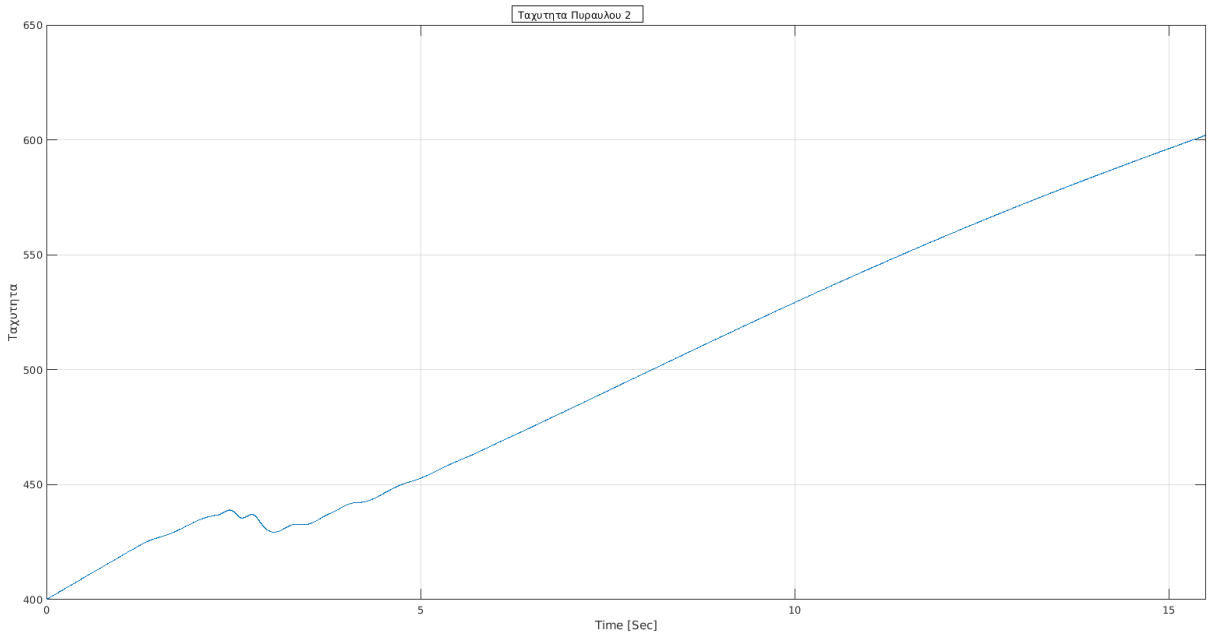
Αρχικά Δεδομένα

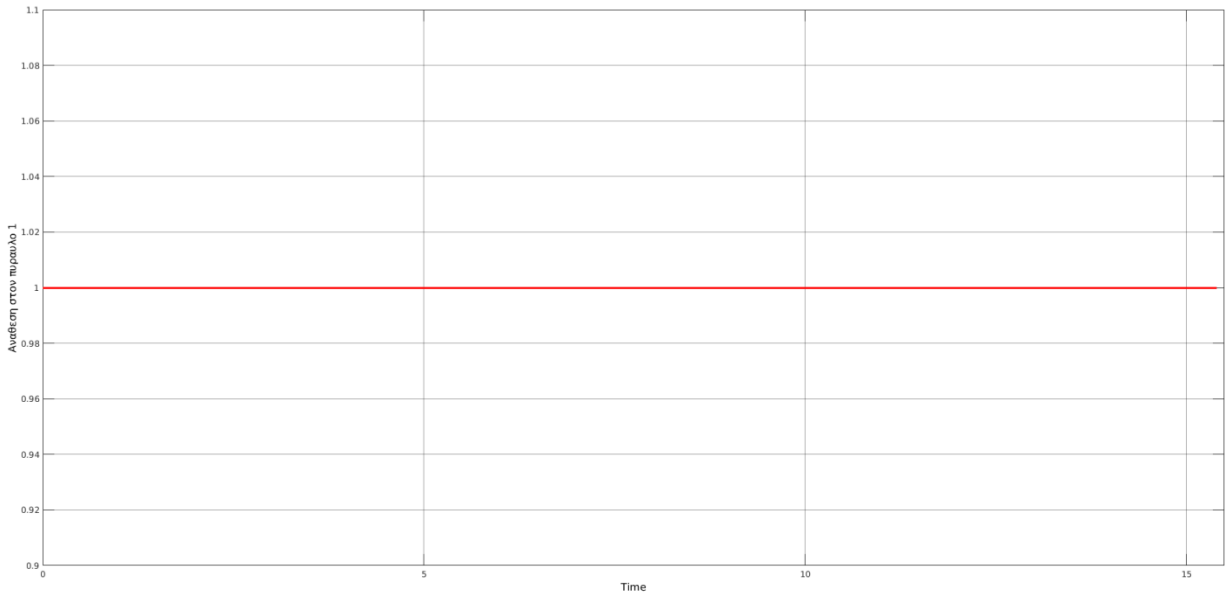
	Αρχική Θέση (m)	Ταχύτητα (m/s)	Αρχική διεύθυνση (rads)
Στόχος 1	10000 12000	227	4
Στόχος 2	10000 6000	360	3.14
Στόχος 3	10000 2300	340	3.14
	Αρχική Θέση (m)	Αρχική Ταχύτητα (m/s)	Ώθηση (N)
Πύραυλος 1	0 7000	400	5000
Πύραυλος 2	0 6000	400	5000
Πύραυλος 3	0 3000	400	5000

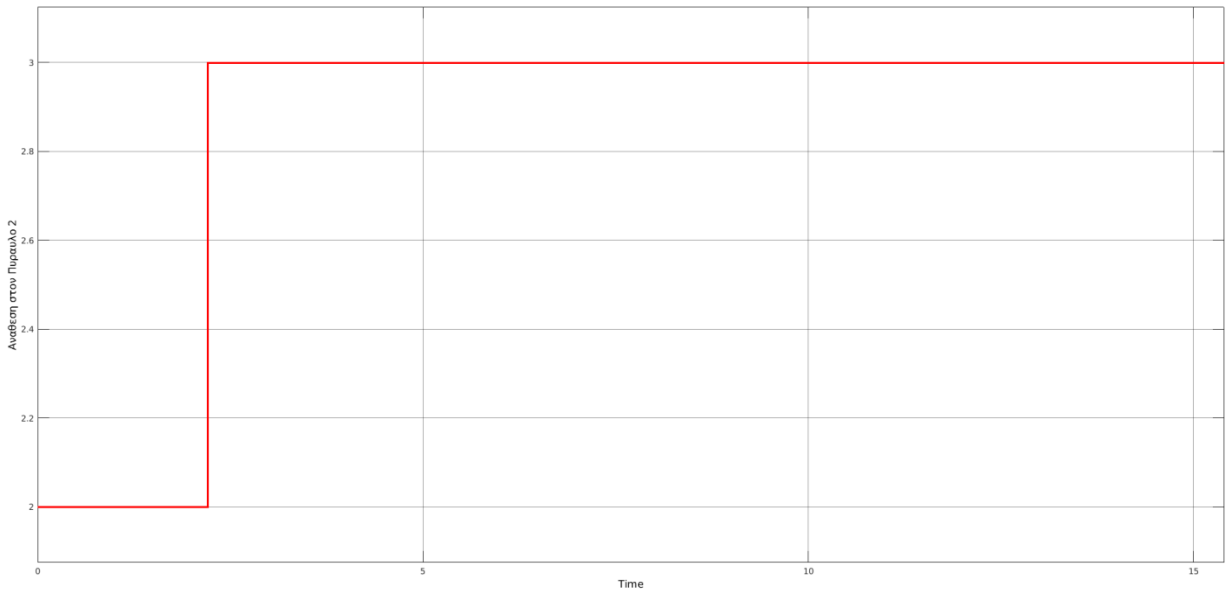
Η συμπεριφορά του μοντέλου με τις τροχιές πυραύλων – στόχων φαίνεται παρακάτω:

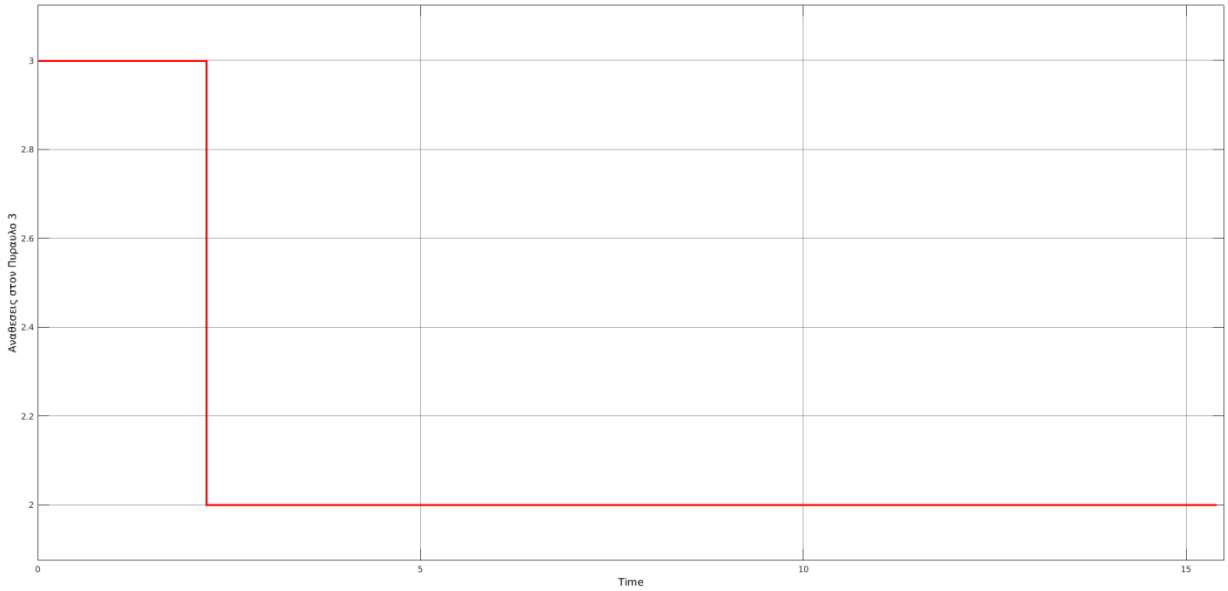


Όπως διακρίνουμε ολοκληρώνεται η αναχαίτιση και των τριών στόχων στο 15.5sec της προσομοίωσης σε βεληνεκές 7500.

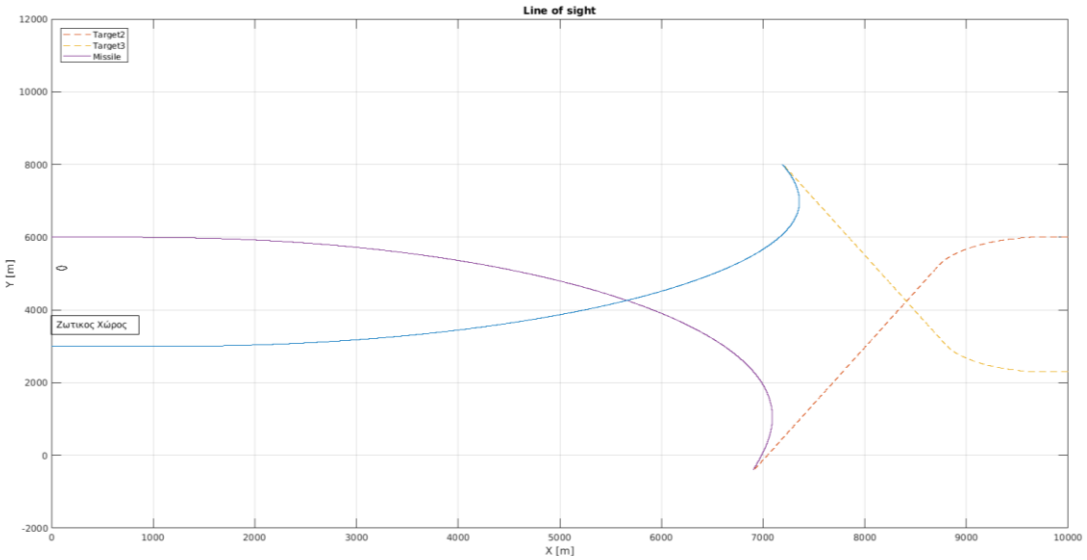





Ανάθεση στον Πυραυλο 2
3
2.8
2.6
2.4
2.2
2
0
5
10
15
Time


Αναθέσεις στον Πυραυλο 3
3
2.8
2.6
2.4
2.2
2
0
5
10
15
Time

Αξίζει να σημειωθεί ότι εάν δεν χρησιμοποιούνταν το μοντέλο συνεργατικής, και η μονάδα πυρός χρησιμοποιούσε την κοινή μέθοδο κατεύθυνσης του Line Of Sight, ή Beam Rider, η αναχαίτιση και των τριών στόχων θα ολοκληρωνόταν στο 21sec της προσομοίωσης, σε βεληνεκές 6900.



Με την χρήση του μοντέλου και για το συγκεκριμένο μόνο παράδειγμα θα είχαμε μείωση του χρόνου απειλής κατά 26%.

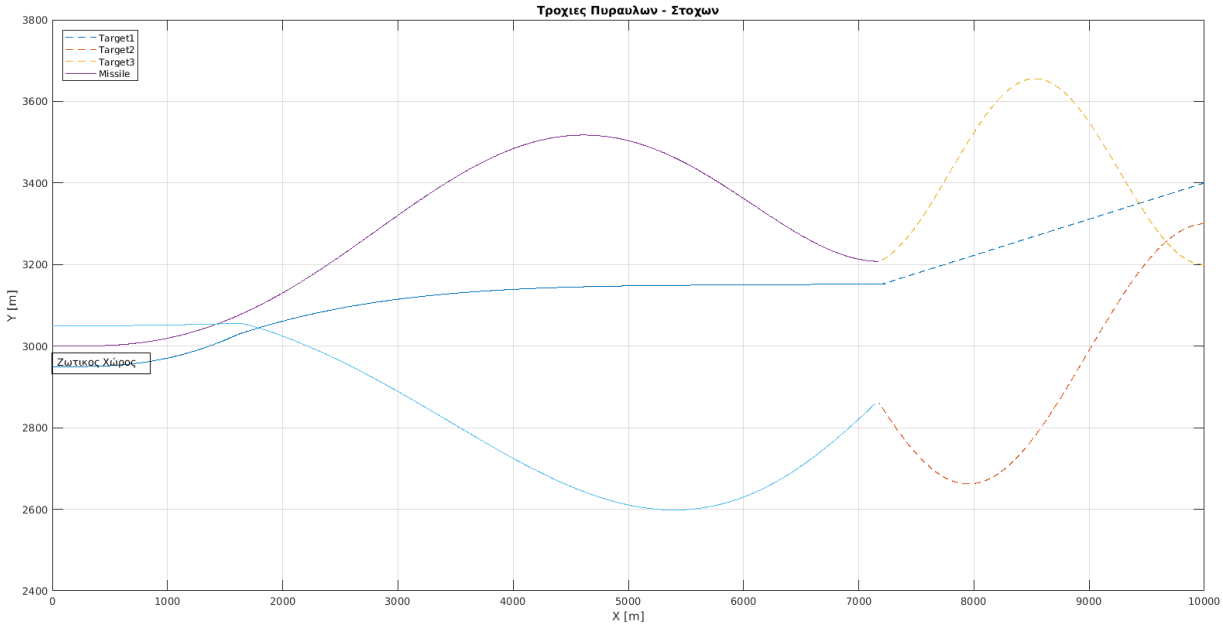
Τρεις Στόχοι – Τρεις Πύραυλοι

Στο παρακάτω σενάριο εξετάζεται η συμπεριφορά του μοντέλου σε αντιμετώπιση στόχων που εκτελούν ***απότομους και συνεχείς ελιγμούς***.

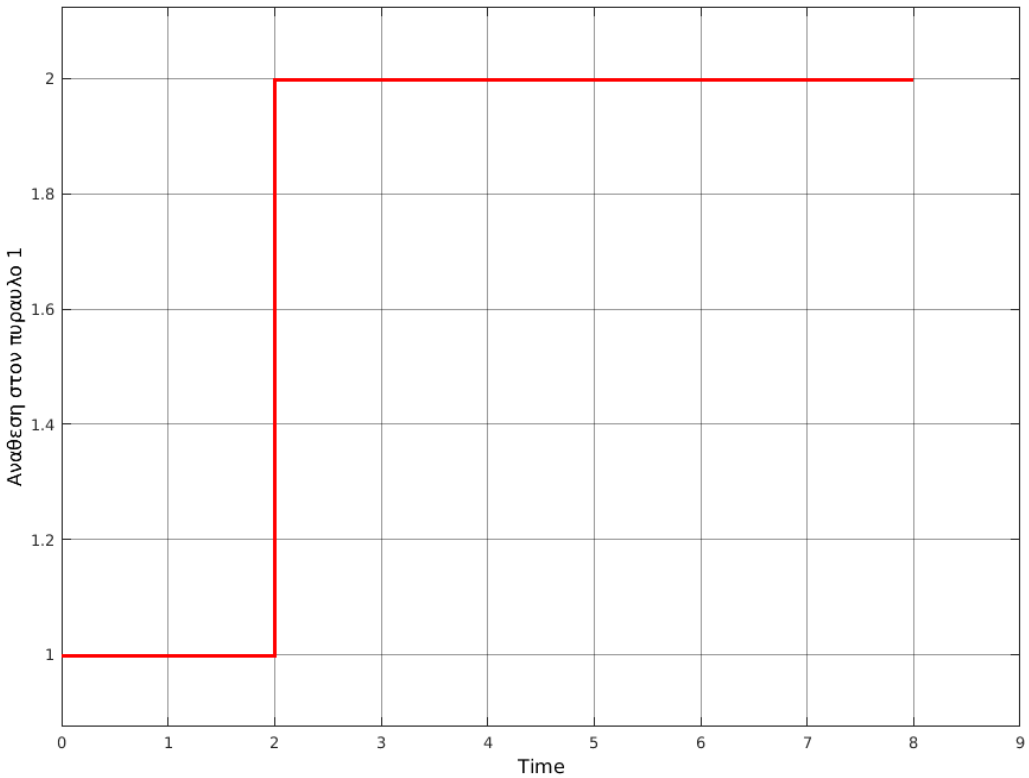
Αρχικά Δεδομένα

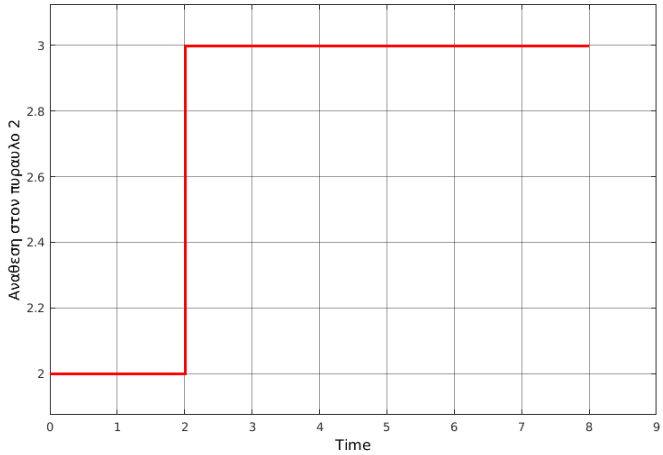
	Αρχική Θέση (m)	Ταχύτητα (m/s)	Αρχική διεύθυνση (rads)
Στόχος 1	10000 3400	328	3.23
Στόχος 2	10000 3300	328	3.15
Στόχος 3	10000 3200	328	3.1
	Αρχική Θέση (m)	Αρχική Ταχύτητα (m/s)	Ώθηση (N)
Πύραυλος 1	0 3050	700	10000
Πύραυλος 2	0 3000	700	10000
Πύραυλος 3	0 2950	700	10000

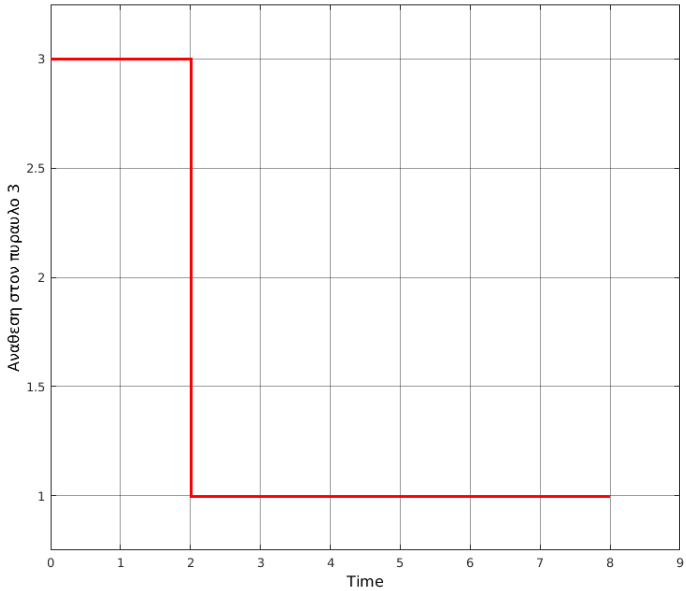
Η συμπεριφορά του μοντέλου με τις τροχιές πυραύλων – στόχων φαίνεται παρακάτω.

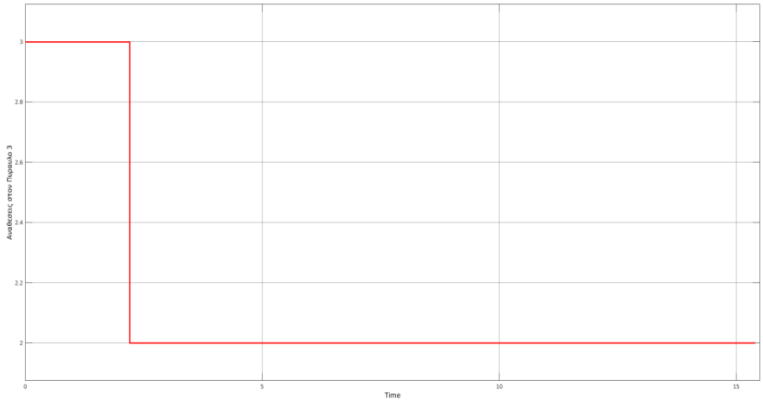


Η αναχαίτιση ολοκληρώνεται στο 8.6 sec σε βεληνεκές 7100.









Η χρησιμότητα του μοντέλου διαφαίνεται ακόμα περισσότερο σε αντιμετώπιση απειλής εχθρικών στόχων που κινούνται πλευρικά με υψηλές ταχύτητες όμοιες με τις ταχύτητες των φιλίων πυραύλων.

Τρεις Στόχοι – Τρεις Πύραυλοι

Στο παρακάτω σενάριο τρεις εχθρικοί στόχοι θα εισέλθουν στην αμυντική περιοχή, με το στόχο 1 και 3 ως υπερηχητικά αεροσκάφη με 2,64 Mach να κινούνται πλευρικά και ο στόχος 2 με χαμηλή ταχύτητα προς τον ζωτικό χώρο.

Αρχικά Δεδομένα: ***Υψηλές Ταχύτητες***

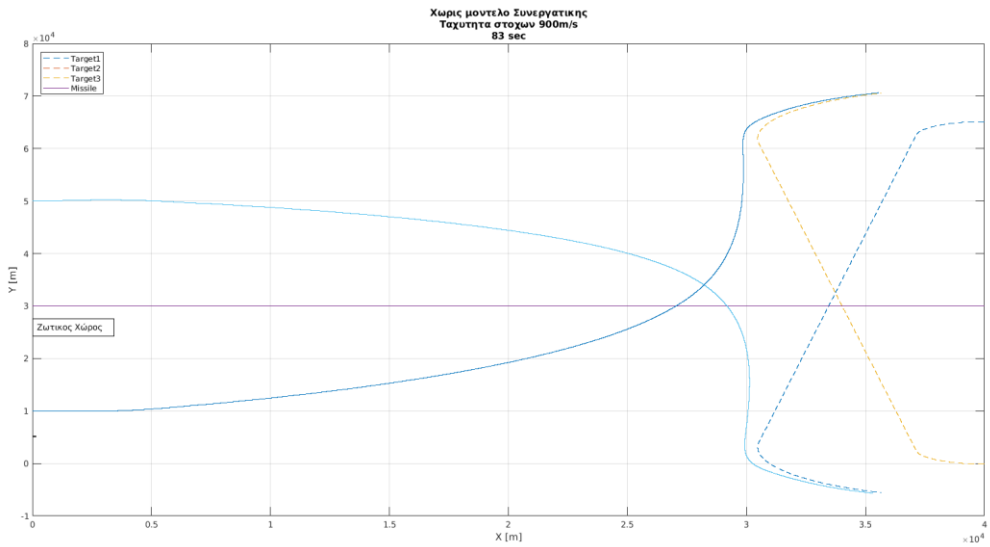
	Αρχική Θέση (m)	Ταχύτητα (m/s)	Αρχική διεύθυνση (rads)
Στόχος 1	40000 65000	900	3.14
Στόχος 2	40000 30000	150	3.14
Στόχος 3	40000 0	900	3.14
	Αρχική Θέση (m)	Αρχική Ταχύτητα (m/s)	Ώθηση (N)
Πύραυλος 1	0 50000	700	8000
Πύραυλος 2	0 30000	300	8000
Πύραυλος 3	0 10000	700	8000

Αρχικά θα δούμε την προσομοίωση της εμπλοκής χωρίς την χρήση του μοντέλου συνεργατικής στρατηγικής, για πυραύλους που χρησιμοποιούν αυτόματο πιλότο που λειτουργεί με την αρχή της Proportional Navigation.

Η χρήση της κατεύθυνσης μέσω line of sight ή beam rider δεν εξετάζεται καθώς παρουσιάζουν μικρότερη αποτελεσματικότητα από την πρώτη.

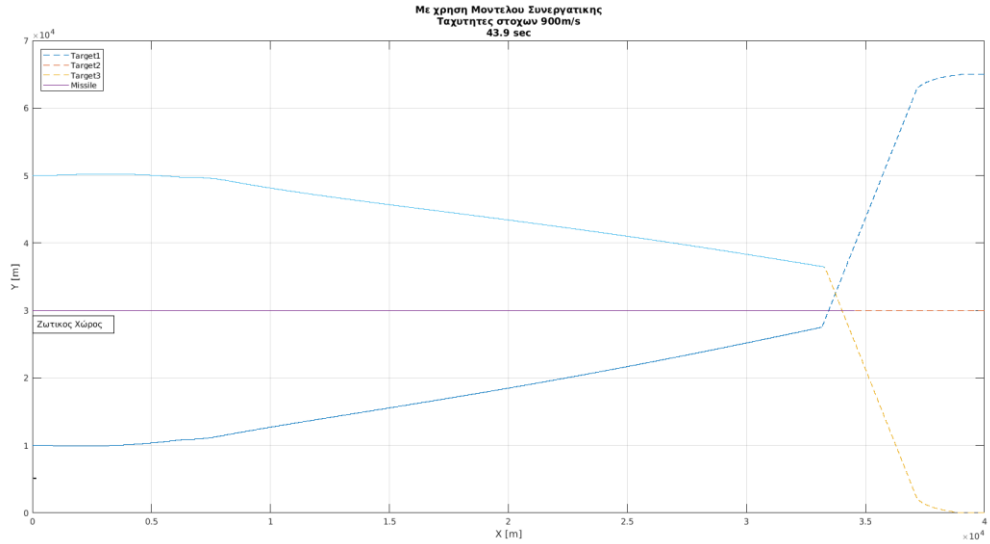
Στο σενάριο ένας ζωτικός χώρος προστατεύεται από τρεις μονάδες πυρός, με απόσταση 20.000 μεταξύ τους, ενώ η εμβέλεια εμπλοκής των πυραύλων είναι 40.000.

Χωρίς την χρήση του μοντέλου συνεργατικής στρατηγικής, τα αποτελέσματα για τους δυο υπερηχητικούς στόχους είναι όπως παρακάτω:



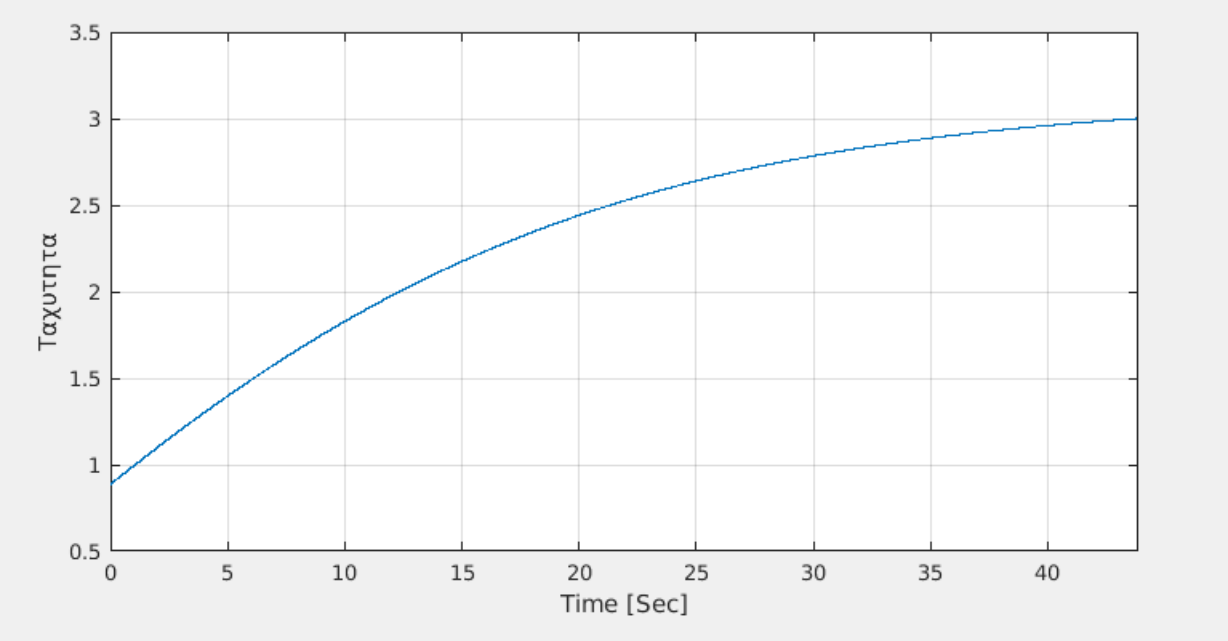
Όπως φαίνεται οι αναχαιτίσεις ολοκληρωθήκαν στο 83 sec , έχοντας οι εχθρικοί στόχοι στην διάθεση τους 83 sec για να αφήσουν πυραύλους εναντίων του ζωτικού χώρου, ή να χρησιμοποιήσουν κατά το τελευταίο στάδιο (70-83 sec) μέτρα αυτοπροστασίας ώστε να αποπροσανατολίσουν τους αισθητήρες του πυραύλου και να διαφύγουν.

Με χρήση του μοντέλου Συνεργατικής Στρατηγικής, η εμπλοκή με τους στόχους υψηλής ταχύτητας διαμορφώνεται όπως παρακάτω:



Με την ολοκλήρωση των αναχαιτίσεων στο 43.9 sec και ελάχιστο βεληνεκές 33100. Δηλαδή με την χρήση του μοντέλου, στο συγκεκριμένο παράδειγμα, παρουσιάστηκε μείωση του χρόνου απειλής κατά 47%.

Με την ολοκλήρωση των αναχαιτίσεων στο 43.9 sec και ελάχιστο βεληνεκές 33100. Δηλαδή με την χρήση του μοντέλου, στο συγκεκριμένο παράδειγμα, παρουσιάστηκε μείωση του χρόνου απειλής κατά 47%.



<u>Τρεις Στόχοι – Τρεις Πύραυλοι</u>

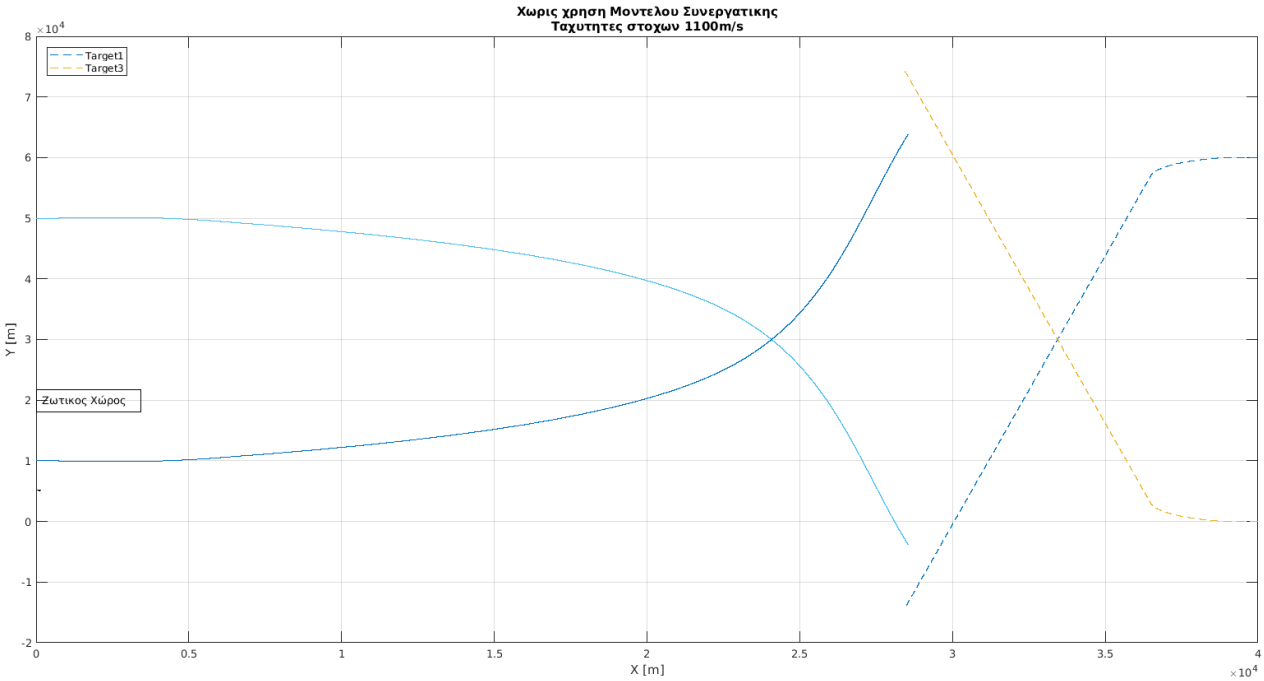
Αρχικά Δεδομένα: ***<u>Υπερυψηλές Ταχύτητες (πάνω από 3 Mach)</u>***

	Αρχική Θέση (m)	Ταχύτητα (m/s)	Αρχική διεύθυνση (rads)
Στόχος 1	40000 65000	900	3.14
Στόχος 2	40000 30000	150	3.14

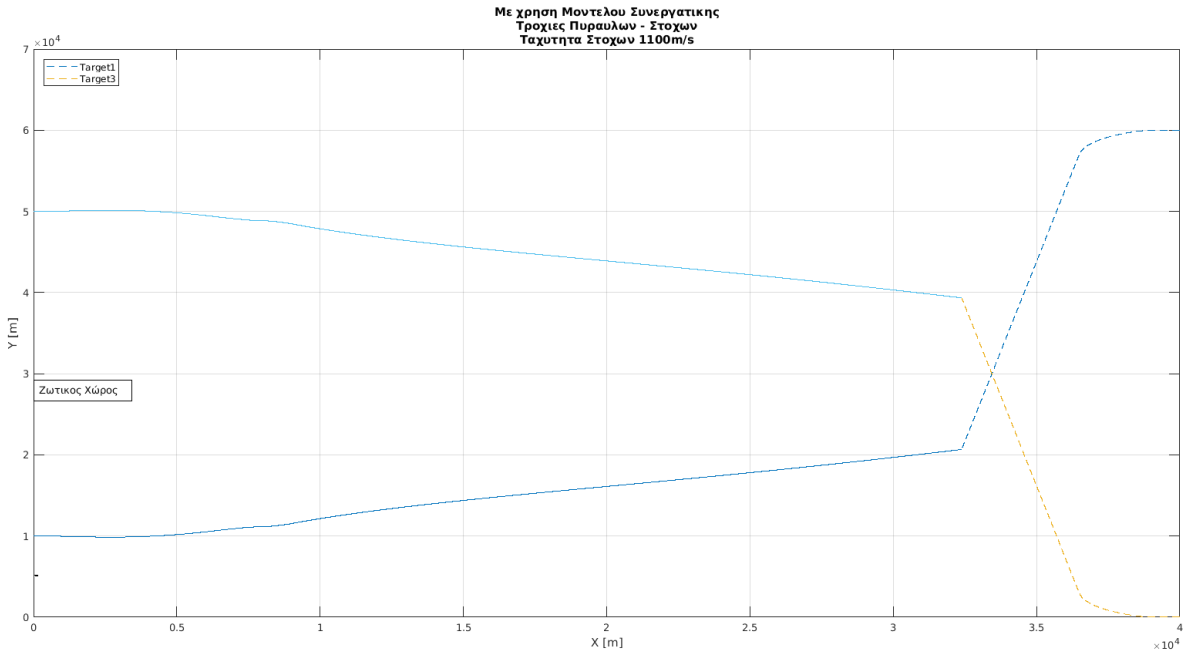
Στόχος 3	40000 0	900	3.14
	Αρχική Θέση (m)	Αρχική Ταχύτητα (m/s)	Ώθηση (N)
Πύραυλος 1	0 50000	700	8000
Πύραυλος 2	0 30000	300	8000
Πύραυλος 3	0 10000	700	8000

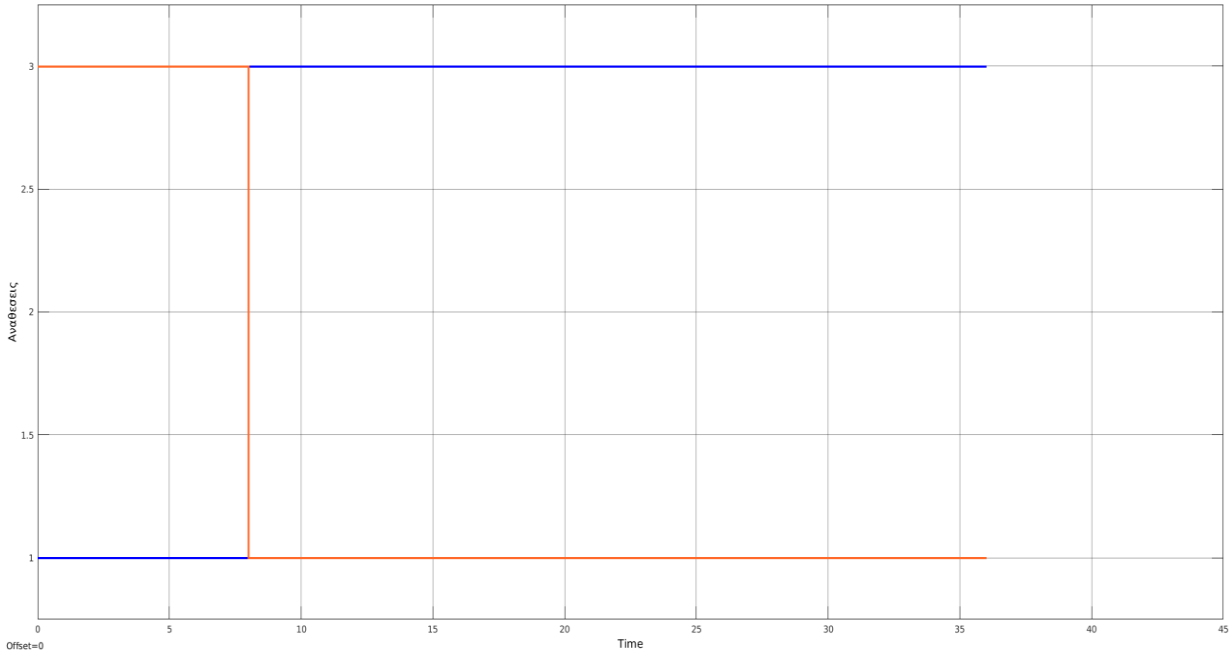
Στο ίδιο σενάριο όπως προηγουμένως, οι στόχοι θα εισέλθουν στην αμυντική διάταξη με ταχύτητες πάνω από 3 Mach, και συγκεκριμένα με 1100 m/s.

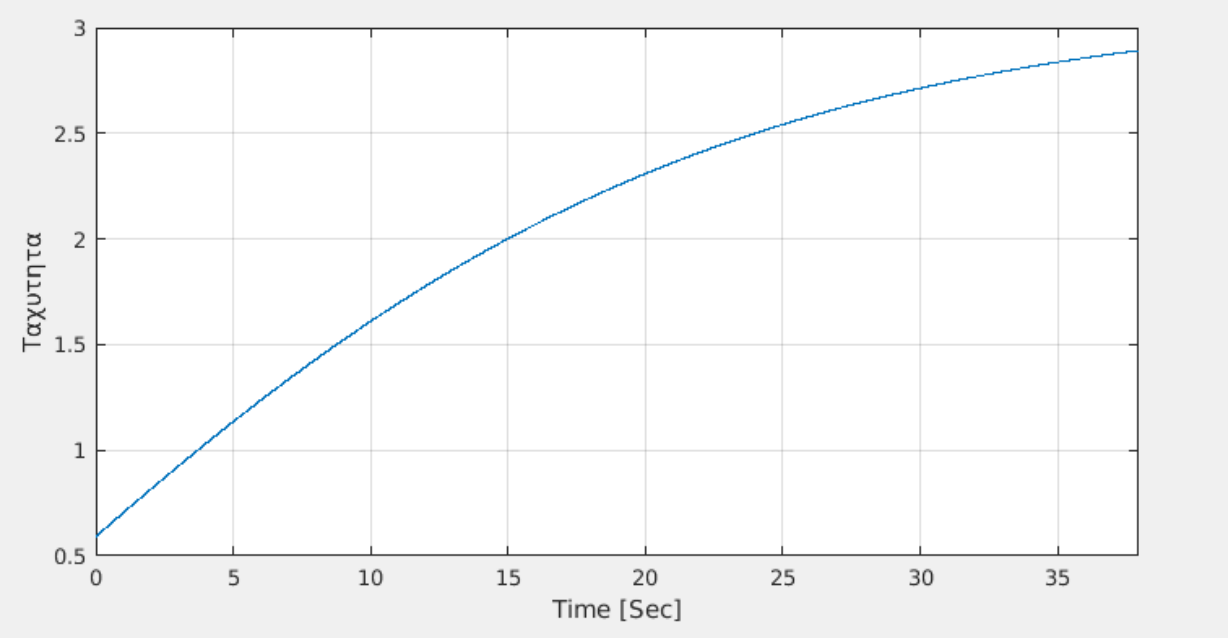
Χωρίς χρήση του μοντέλου οι στόχοι διαφεύγουν από τους φίλιους πυραύλους



Με χρήση του μοντέλου γίνεται μεταβολή των αναθέσεων και επιτυγχάνεται η αναχαίτιση των εχθρικών στόχων στο 38 sec.


Με χρηση Μοντελου Συνεργατικης
Τροχιες Πυραυλων - Στοχων
Ταχυτητα Στοχων 1100m/s
Target1
Target3
Ζωτικος Χώρος
Y [m]
X [m]
×10^4


Αναθεσεις
Time
Offset=0



Από τα παραπάνω φαίνεται η αποτελεσματική λειτουργία του μοντέλου τόσο σε στόχους που ίπτανται ευθεία, όσο και σε ελισσόμενους, με εμφανή την διάφορα από την εφαρμογή του, σε αντιμετώπιση στόχων που κινούνται με μεγάλη ταχύτητα.

Βιβλιογραφία

[1]. AAP-6 NATO Glossary of Terms. 2009.

[2]. S. P. Lloyd and H. S. Witsenhausen: "Weapon allocation is np-complete", In Proceeding IEEE Summer Simulation Conference, page 1054 âĂŞ 1058, Reno (USA), 1986.

[3]. P. A. Hosein and M. Athans "Preferential defense strategies. part i: The static case"., Technical report, MIT Laboratory for Information and Decision Systems with partial support, Cambridge (USA), 1990.

[4]. S. Bisht: "Hybrid genetic-simulated annealing algorithm for optimal weapon allocation inmultilayer defence scenario", Defence Sci. J., 54(3):395 – 405, 2004.

[5]. A. Malhotra and R. K. Jain: "Genetic algorithm for optimal weapon allocation in multilayer defence scenario", Defence Sci. J., 51(3):285 – 293, 2001.

[6]. H. Kuhn: "The Hungarian Method for the assignment problem", Naval Research Logistic Quarterly. 1955

[7]. J. Mukres: "Algorithms for the Assignment and Transportation Problems", Journal of the Society of Industrial and Applied Mathematics. 1957

[8]. S. Sahni and T. Gonzalez: "P-Complete Approximation Problems", Journal of the ACM, 23 (3) (July 1976).

[9]. S. Bennani, D. M. C. Willemsen and C. W. Scherer: "Robust LPV control with bounded parameter rates", AIAA-97-3641, August 1997.

[10]. C.P. Mracek and J. R. Cloutier: "Full Envelope Missile Longitudinal Autopilot Design Using the State-Dependent Riccati Equation Method", AIAA-97-3767, August 1997.

[11]. J.S. Shamma and J. R. Cloutier: "Gain-Scheduled Missile Autopilot Design Using Linear Parameter Varying Transformations", Journal of Guidance, Control and Dynamics, 16(2), March-April 1993.

[12]. Lin, Ching-Fang: "Modern Navigation, Guidance, and Control Processing", Volume 2, ISBN 0-13-596230-7, Prentice Hall, 1991.