



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ

ΔΙΔΡΥΜΑΤΙΚΟ ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ

ΑΚΑΔΗΜΑΪΚΟΥ ΕΤΟΥΣ 2022-23

ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΕΡΕΥΝΑ ΚΑΙ

ΛΗΨΗ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ –

MASTER OF SCIENCE IN OPERATIONAL
RESEARCH AND DECISION MAKING

(ΠΔ 59 /2021/ΦΕΚ 145Α'/17.08.2021)



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΕΥΕΛΠΙΔΩΝ

Τμήμα Στρατιωτικών Επιστημών

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Σύνδεση Απόδοσης και Επιχειρησιακής Αποτελεσματικότητας Στρατιωτικών Συστημάτων

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

Υπό:

ΙΩΑΝΝΟΥ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Α΄

A.M.: 2021018107

Η Μεταπτυχιακή Διατριβή του Παναγιώτη Α΄ Ιωάννου εγκρίνεται:

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Καθηγητής ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ (Επιβλέπων)

Νικόλαος Δάρας



Καθηγητής ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

Στέλιος Τσαφαράκης

Καθηγητής ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

Κων/νος Καραματσούκης



© Copyright υπό Παναγιώτης Α΄ Ιωάννου

Έτος 2022

Για αρχή θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Νικόλαο Δάρα για την καθοδήγηση που απρόσκοπτα μου προσέφερε και το χρόνο που διέθεσε δίνοντάς μου χρήσιμες συμβουλές και οδηγίες για την μέγιστη βελτίωση και ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας. Οφείλω επίσης ένα μεγάλο ευχαριστώ σε όλους ιδιαίτερα όμως στον Γεώργιο Μηνιασή ο οποίος συνέβαλαν τα μέγιστα στην ολοκλήρωση της εργασίας μου και ειδικότερα στην παράθεση σχετικών άρθρων και βιβλιογραφίας. Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στους γονείς μου στους οποίους οφείλω το ταξίδι αυτό καθώς επίσης και τη γυναίκα μου για την κατανόηση καθ' όλη τη διάρκεια. Τέλος, θα ήθελα να πω ένα μεγάλο ευχαριστώ στον εαυτό μου που κατάφερε την ολοκλήρωση αυτού του στόχου ενώ ταυτόχρονα διατελούσα διοικητής, θέση στην οποία κατανάλωνα μεγάλο ποσοστό του χρόνου μου.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	9
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
§1. ΜΕΤΡΑ	11
§2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	12
§3. ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗΣ.....	14
§4. ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (ΜΟΡ)	14
§5. ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ΜΟΕ).....	15
§6. ΜΕΤΡΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ (ΜΟΟ).....	15
§7. ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΕΣ ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ	16
§8. ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ	18
§9. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΑΧΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΚΣΤΡΑΤΕΙΑΣ	20
§10. ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΚΣΤΡΑΤΕΙΑΣ	21
§11. ΜΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ	22
§12. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗΣ ΜΕΡΙΜΝΑΣ.....	23
12.1 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΥΛΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	24
12.2 ΤΑΚΤΙΚΗ ΥΛΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗΣ	25
12.3 ΤΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	26
12.4 ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ ΑΝΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ ΠΥΡΟΜΑΧΙΚΩΝ.....	27
§13. ΔΙΚΤΥΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΜΦΙΒΙΕΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ.....	28
§14. ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ	30
14.1 ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΕΙΣ	32
14.2 ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΩΣ ΓΡΑΦΗΜΑ.....	32

14.3 ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ ΔΙΚΤΥΩΝ.....	35
14.4 ΓΝΩΣΗ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΗ ΦΘΟΡΑ	36
14.5. ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ.....	39
§15. Ο ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΣΤΙΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ-ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	41
15.1 Ανίχνευση και απόκτηση στόχου	42
15.2 Πιθανότητα εξόντωσης.....	44
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	45
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	46

ΑΚΡΩΝΥΜΙΑ

C4ISR	Σύστημα Διοίκησης, ελέγχου, επικοινωνιών, υπολογιστών, πληροφοριών, επιτήρησης και αναγνώρισης
FLEP	Λόγος ανταλλαγής απωλειών δυνάμεων
ΠΑ	Περιοχή αβεβαιότητας
ΜΟΕ	Μέτρα αποτελεσματικότητας
ΜΟΟ	Μέτρα επιχειρησιακού αποτελέσματος
ΜΟΡ	Μέτρα απόδοσης

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην σύγχρονη εποχή, όπου εφαρμόζονται αυστηροί περιορισμοί των αμυντικών προϋπολογισμών και οι περισσότερες κυβερνήσεις τείνουν να μειώνουν την χρηματοδότηση σχετικά με συστήματα τα οποία δεν συνδέονται άμεσα με πολεμικές επιχειρήσεις, είναι δύσκολο να διατυπωθεί ο τρόπος όπου ένα σύστημα το οποίο χαρακτηρίζεται ως μη πολεμικό, μπορεί να φέρει πολεμικά αποτελέσματα. Για αυτό, χρειαζόμαστε ένα αναλυτικό πλαίσιο το οποίο θα υποστηρίξει την διασύνδεση μεταξύ:

- Των μέτρων απόδοσης του συστήματος,
- Του αποτελέσματος της μάχης.
- Και τελικά των επιχειρησιακών αποτελεσμάτων. Στο παρόν κείμενο, αναλύονται και προτείνονται τρόποι επίλυσης του παραπάνω προβληματισμού.

Στα πλαίσια επίλυσης του προαναφερθέντος προβλήματος, περιγράφονται δύο μοντέλα:

- Ένα υπό όρους μοντέλο απόδοσης, κατά το οποίο απαιτούνται κανονικοποιημένες μετρήσεις.
- Ένα λειτουργικό μοντέλο επιδόσεων, κατά το οποίο δεν απαιτούνται οι κανονικοποιημένες μετρήσεις.

Εν συνέχεια παρουσιάζεται ένα επιχειρησιακό παράδειγμα το οποίο αφορά έναν χρονικά απαιτητικό στόχο ο οποίος προσβάλλεται μέσα από ένα υποστηρικτικό υποσύστημα το οποίο αποτελείται από το σύστημα διοίκησης και ελέγχου, το σύστημα επικοινωνιών, υπολογιστών, πληροφοριών, επιτήρησης, παρακολούθησης και αναγνώρισης (σύστημα C4ISR). Γίνεται επίσης μια εισαγωγική αναφορά στο πολυδιάστατο σύνολο συστημάτων που αφορά τη διοικητική μέριμνα.

Επιπλέον, γίνεται ανάλυση του εν λόγω παραδείγματος μέσα από την οπτική γωνία της κριτικής σκέψης καθώς αποτελεί υψίστης σημασίας κατά την χρήση του συνδυαστικού πλαισίου επίλυσης. Η σαφής κατανόηση των φυσικών και ψυχολογικών διασυνδέσεων μεταξύ των συστημάτων υποστήριξης και των πολεμικών επιχειρήσεων καθώς η κριτική σκέψη αποτελεί το κλειδί για την κατανόηση αυτών.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιτυχία μιας συνολικής στρατιωτικής επιχείρησης εξαρτάται από την επιτυχή έκβαση των επιμέρους πολεμικών επιχειρήσεων, όπως η επίτευξη αεροπορικής υπεροχής, η πυραυλική άμυνα ή οι άμεσες χερσαίες επιχειρήσεις. Η αποτελεσματικότητα κάθε πολεμικής επιχείρησης

εξαρτάται από την απόδοση των πολλών συστημάτων που υποστηρίζουν τις στρατιωτικές επιχειρήσεις. Όπως το σύστημα υλικοτεχνικής υποστήριξης. Το ίδιο θα μπορούσε να ειπωθεί και για το δίκτυο C4ISR, την ιατρική κάλυψη, και άλλα υποστηρικτικά συστήματα μάχης. Κατά τη διάρκεια της μάχης ή της εκπαίδευσης, είναι εύκολο να δει κανείς πώς αυτά τα συστήματα συμβάλλουν στην επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα, καθώς και το γεγονός ότι οι αποτελεσματικές πολεμικές επιχειρήσεις συμβάλλουν στην συνολική επιτυχία μιας εκστρατείας. Για παράδειγμα, αναφορικά με το πώς οργανώνετε η αποθήκευση και η μεταφορά πυρομαχικών ώστε η μάχη να μπορεί να προχωρήσει σύμφωνα με το σχέδιο, η επίδραση της υλικοτεχνικής υποστήριξης είναι σαφής και μια επιτυχημένη επιχείρηση σε αυτό τον τομέα συμβάλλει στο να καταστεί η συνολική επιτυχημένη.

Ο σχεδιασμός για την απόκτηση μελλοντικών συστημάτων μάχης, ωστόσο, απαιτεί την αξιολόγηση των θετικών τους στοιχείων, μέσα από τη σκοπιά τεσσάρων πυλώνων:

- Μια επίσημη αναλυτική δομή που επιτρέπει στους αναλυτές να αξιολογούν την απόδοση των συστατικών των συστημάτων, χρησιμοποιώντας **μέτρα απόδοσης** (MOP)
- Μια παρόμοια δομή που επιτρέπει στους αναλυτές να αξιολογούν την αποτελεσματικότητα στην μάχη χρησιμοποιώντας **μέτρα αποτελεσματικότητας** (MOE).
- Μια συνδυαστική δομή που επιτρέπει να συνδεθούν τα μέτρα του αποτελέσματος της μάχης με τα μέτρα του **επιχειρησιακού αποτελέσματος** (MOO) σε επίπεδο εκστρατείας.
- Μια αναλυτική δομή που μπορεί να τους βοηθήσει να αξιολογήσουν τα συστήματα υποστήριξης μάχης στα αποτελέσματα της μάχης, συνδέοντας τα MOP με τα συναφή MOE τους, καθώς και τα MOE με τα σχετιζόμενα MOO.

Οι αναλυτές χρησιμοποιούν μέτρα απόδοσης για να αξιολογήσουν τη λειτουργία των συστημάτων μάχης, συστημάτων υποστήριξης μάχης και υποστήριξης υπηρεσιών μάχης. Για παράδειγμα, ένα κατάλληλο **μέτρο απόδοσης** (MOP) για ένα σύστημα C4ISR είναι το αν ένας προοριζόμενος παραλήπτης λάβει ένα μεταδιδόμενο μήνυμα. Οι αντίστοιχες μετρήσεις για αυτό το μέτρο είναι η πιθανότητα λήψης του σωστού μηνύματος. Η **επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα** μετριέται με βάση τους στόχους που έχουν τεθεί για την αποστολή μάχης. Ένα παραδοσιακό μέτρο σε αυτήν την περίπτωση είναι το πόσο έχει αποδυναμωθεί μια εχθρική δύναμη σε σχέση με μια φιλική δύναμη. Η σχετική μέτρηση είναι ο **λόγος ανταλλαγής απωλειών δυνάμεων** (FLER), που ορίζεται ως

$$\text{FLER} = \frac{\text{Κλάσμα εχθρικών απωλειών}}{\text{Κλάσμα φιλικών απωλειών}}$$

Σε επίπεδο εκστρατείας μπορεί να επιθυμούμε να επιτύχουμε έγκαιρη υπεροχή στον τομέα των εμμέσων πυρών στο πεδίο της μάχης, αυτό κυρίως αφορά δυνάμεις του πυροβολικού

(Πυροβόλα Μάχης, Πυραυλικά συστήματα Ε/Ε κτλ.). Ένα κατάλληλο μέτρο θα μπορούσε να είναι η ικανότητα του εχθρού να πραγματοποιήσει αξιόπιστη αντεπίθεση με χρήση εμμέσων πυρών (counter-battery fire) κατά των φίλων δυνάμεων πυροβολικού. Μετρήσεις για ένα τέτοιο μέτρο θα μπορούσαν να είναι ο αριθμός των επιζώντων εχθρικών πυροβόλων, η εναπομένουσα εφοδιαστική ικανότητα του εχθρού και ο αριθμός των εναπομενόντων ικανών σταθμών διεύθυνσης βολής.

Η πιθανότητα σωστής λήψης μηνύματος για το σύστημα C4ISR συμβάλλει σίγουρα στο FLER, αλλά το πώς ακριβώς είναι προβληματικό. Επιπλέον, το FLER περιλαμβάνει τη φθορά των αποθηκών πυρομαχικών των εχθρικών πυροβόλων, αλλά το πώς ακριβώς είναι επίσης προβληματικό. Σε σχετική βιβλιογραφία αναλύθηκαν μαθηματικές σχέσεις μεταξύ της απόδοσης των συστημάτων C4ISR και των αποτελεσμάτων της μάχης.^{11 24 25 28 30} Οι Perry, Signori και Boon ανέπτυξαν ένα γενικό πλαίσιο για την αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο η ποιότητα των πληροφοριών επηρεάζει την επίγνωση της κατάστασης χρησιμοποιώντας μια συνάρτηση μετασχηματισμού υπό όρους.²⁹ Η έρευνα αυτή βασίστηκε στις εργασίες της ομάδας εργασίας "Μετρήσεις Πληροφοριακής Υπεροχής", υπό του Υπουργείου Άμυνας των ΗΠΑ.

Η παραπάνω ομάδα εργασίας προσπάθησε να καθορίσει ορισμούς, συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, ιδιότητες βασικών εννοιών και τις σχέσεις μεταξύ τους. Χρειαζόμαστε όλα αυτά τα στοιχεία για να μετρήσουμε το βαθμό στον οποίο υλοποιούνται οι έννοιες της πληροφοριακής υπεροχής και τον αντίκτυπό τους στη διεξαγωγή και την αποτελεσματικότητα των στρατιωτικών επιχειρήσεων. Σε αυτήν την διατριβή επεκτείνεται η προσέγγιση της ομάδας εργασίας δημιουργώντας ένα γενικό πλαίσιο για την αξιολόγηση του τρόπου με τον οποίο η απόδοση των στρατιωτικών συστημάτων συμβάλλει στα αποτελέσματα της μάχης, καθώς και του τρόπου με τον οποίο τα αποτελέσματα της μάχης επηρεάζουν την επιτυχία της εκστρατείας.

§1. ΜΕΤΡΑ

Ένα μέτρο είναι μια βάση ή ένα πρότυπο σύγκρισης. Για παράδειγμα, το κόστος, η απόσταση, η ισχύς, είναι μέτρα. Με τους όρους των Keeney και Raiffa, είναι χαρακτηριστικά. Δεν συνηθίζεται να χαρακτηρίζουμε τα μέτρα με ένα μόνο πρότυπο, μπορεί να αποτελούνται από πιο περίπλοκες εκφράσεις για τις οποίες το σχετικό μέτρο είναι ασαφές. Ένα παράδειγμα είναι "Ο βαθμός στον οποίο η φιλική δύναμη είναι σε θέση να ελέγξει το χώρο της μάχης", το εργαλείο που χρησιμοποιείτε για τη σύγκριση εναλλακτικών λύσεων με βάση αυτή τη μέτρηση πρέπει να αξιολογεί τον "βαθμό" (π.χ. % ποσοστό,) και να ορίζει σαφώς τι είναι και τι σημαίνει "έλεγχος του χώρου μάχης". Με άλλα λόγια, το μέτρο πρέπει να είναι "μετρήσιμο". Τα μέτρα γενικά χαρακτηρίζονται ως έγκυρα, αξιόπιστα και παρέχουν κάποιο εύρος. Ποιο συγκεκριμένα, οι ιδιότητες ενός μέτρου περιγράφονται στον ακόλουθο πίνακα.

Μια ιδιότητα είναι...	Όταν
Κατανοητή	Ξέρουμε την ιεραρχία της ιδιότητας στην προκειμένη περίπτωση, Οι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων κατανοούν σαφώς πόσο καλά επιτυγχάνουν τους συναφείς στόχους.
Μετρήσιμη	Μπορούμε λογικά (α) να λάβουμε μια κατανομή πιθανότητας για κάθε εναλλακτική λύση στα πιθανά επίπεδα της ιδιότητας ή, σε ακραίες περιπτώσεις, να αποδώσουμε μια βαθμολογική τιμή και (β) να αξιολογήσουμε την ικανότητα του λήπτη αποφάσεων στις προτιμήσεις για διαφορετικά πιθανά επίπεδα της ιδιότητας.
Ολοκληρωμένη	Καλύπτει όλες τις σημαντικές πτυχές του προβλήματος
Λειτουργική	Έχει ουσιαστική χρήση στην διαδικασία ανάλυσης
Διασπώμενη	Μπορεί χωριστεί σε κομμάτια ώστε να αποποιηθεί.
Μη πλεονασματική	Μπορούμε να αποφύγουμε τη διπλή καταμέτρηση των επιπτώσεων
Λιτή και απλή	Η διάσταση του προβλήματος είναι όσο το δυνατόν μικρότερη

Πίνακας 1: Ιδιοτήτων του μέτρου. Όλοι οι ορισμοί προέρχονται από αυτό.

§2. ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Οι μετρήσεις είναι απαραίτητες για την καταγραφή πληροφοριών σχετικά με το σύστημα μέσω των χαρακτηριστικών που μπορεί να είναι άμεσα ή έμμεσα παρατηρήσιμα (Bullock, 2006). Η μέτρηση είναι μια αφαίρεση επειδή δεν μετράει άμεσα το σύστημα, αλλά απευθύνεται μόνο στα χαρακτηριστικά σχετικά με το σύστημα (Pfanzagl, 1971).

Με άλλα λόγια, η μέτρηση μπορεί να θεωρηθεί ως μια διαδικασία που αποδίδει σύμβολα σε χαρακτηριστικά που αντανακλούν την υποκείμενη φύση του συστήματος (Bullock, 2006). Ωστόσο, η επιλογή των χαρακτηριστικών είναι ζωτικής σημασίας, καθώς η εγκυρότητα της μέτρησης του συστήματος επηρεάζεται από τον αριθμό των χαρακτηριστικών που χρησιμοποιούνται στη μέτρηση.

Μπορεί να υπάρχουν αριετοί διαφορετικοί τρόποι μέτρησης, αλλά όποια μέτρηση και αν χρησιμοποιείται είναι απλώς ένα ακατέργαστο σύμβολο που προκύπτει από την παρατήρηση.

Ο Kreyzig ορίζει έναν **χώρο μέτρησης** ως ένα ζεύγος μεταβλητών (X, d) όπου X είναι ένα σύνολο και d είναι μια μέτρηση στο X (ή μια συνάρτηση απόστασης στο X) έτσι ώστε για όλα $x, y, z \in X$ να έχουμε τέσσερις αρχές:

- Το d είναι πραγματικό, πεπερασμένο και όχι αρνητικό
- $d(x, y) = 0$ αν και μόνο αν $x = y$
- $d(x, y) = d(y, x)$ (συμμετρία)
- $d(x, y) \leq d(x, z) + d(z, y)$ (τριγωνική ανισότητα, Kreyzig, E. 1978.)¹⁹

Αν και η στρατιωτική ανάλυση σπάνια χρησιμοποιεί αυτόν τον επίσημο ορισμό, οι μετρήσεις που χρησιμοποιούν οι αναλυτές συνήθως βασίζονται σε μαθηματικούς τύπους για την αξιολόγηση των διαφορών μεταξύ των εναλλακτικών λύσεων. Οι τύποι πρέπει να είναι σαφείς και να εφαρμόζονται αντικειμενικά στις ανταγωνιστικές εναλλακτικές λύσεις, ώστε να μπορούμε να ποσοτικοποιήσουμε τις διαφορές μεταξύ τους. Οι μετρήσεις είναι στην πραγματικότητα διαφορές και ορίζονται σε έναν "χώρο" ή τομέα.

Πολλοί συγχέουν τις μετρήσεις με τις μονάδες που χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση των δύο ποσοτήτων που συγκρίνουμε. Το πιο συνηθισμένο παράδειγμα είναι η συνάρτηση απόστασης. Αν τα x_1 και x_2 είναι σημεία στην γραμμή πραγματικών αριθμών - μετρημένα σε πόδια, ίντσες κ.ο.κ., η απόσταση μεταξύ τους, $|x_1 - x_2|$ είναι μια μέτρηση που ορίζεται στους πραγματικούς αριθμούς. Ένα πιο πρακτικό παράδειγμα είναι η διαφορά στο κόστος σε ευρώ των δύο ανταγωνιστικών εναλλακτικών λύσεων. Εδώ, x_1 και x_2 είναι το κόστος δύο εναλλακτικών λύσεων, και $|x_1 - x_2|$ είναι η διαφορά στο κόστος τους. Άλλα παραδείγματα μετρήσεων για την ισχύ και τη λαμπρότητα είναι τα βατ και η καντέλα.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, όπως αυτές που αναπτύσσονται σε αυτήν την διατριβή, ο υπολογισμός της διαφοράς μεταξύ δύο εναλλακτικών λύσεων απαιτεί πρώτα να επινοήσουμε έναν μαθηματικό τύπο για να εκτιμήσουμε τη μοναδιαία τιμή για κάθε εναλλακτική λύση. Ως παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι πρόκειται να συγκρίνουμε δύο έννοιες ως προς το κλάσμα του συνολικού ελεγχόμενου χώρου μάχης. Θα χρειαστούμε έναν μαθηματικό τύπο (την αναλογία του ελεγχόμενου χώρου μάχης-όγκου προς τον συνολικό χώρο μάχης) για να προσδιορίσουμε το κλάσμα (μονάδα σύγκριση) και για τις δύο εναλλακτικές λύσεις. Η διαφορά μεταξύ τους είναι απλά $|x_1 - x_2|$ όπως ήταν με την απόσταση.

§3. ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΑΞΙΟΛΟΓΙΣΗΣ

Για την σύνδεση των MOE με τα MOP και τα MOO σε μαθηματικό επίπεδο πρέπει πρώτα να κατανοήσουμε τις σχέσεις μεταξύ τους. Η κατανόηση συνήθως προκύπτει μέσω κάποιας μορφής κριτικής σκέψης, ανεξάρτητα από το είδος της ανάλυσης. Ο Dauer επινόησε τον όρο, κριτική σκέψη.¹²

Τη θεωρεί ως διαδικασία και την ορίζει ως "τη τέχνη της αξιολόγησης των ισχυρισμών αλήθειας σύμφωνα με ορισμένες γενικές αρχές ή κανόνες".

Η κατανόηση των σχέσεων μεταξύ των MOP, των MOE και των MOO είναι ουσιαστικά η διάκριση αυτών των "κανόνων της αλήθειας". Το καθήκον μας είναι να προσδιορίσουμε μια διαδικασία κριτικής σκέψης που θα οδηγήσει σε μια τυπική αναλυτική δομή - μια δομή που συνδέει τα MOO σε επίπεδο εκστρατείας με τα MOE στο επίπεδο της μάχης και τα MOE μάχης με τα MOP των συστατικών στοιχείων του συστήματος. Αυτή η "αναζήτηση της αλήθειας" εξαρτάται από τρεις βασικές αρχές:

- Σωστός ορισμός του προβλήματος (*Ackoff* 1978)¹
- Διαμόρφωση των θεμελιωδών ερωτημάτων (*Ackoff* 1978, *Arnold, J. D.* 1978)^{1,3}
- Καθορισμός αποτελεσματικών στόχων (*Keeney, R. L., και H. Raiffa.* 1976.)¹⁶

§4. ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΔΟΣΗΣ (MOP)

Τα μέτρα απόδοσης (MOP) είναι τα μέτρα που χαρακτηρίζουν την λειτουργικότητα ενός συστήματος.

Τα MOP μετρούν χαρακτηριστικά που θεωρούνται σημαντικά για να εξασφαλιστεί ότι το σύστημα έχει την ικανότητα να επιτύχει τους επιχειρησιακούς στόχους. Τα MOP χρησιμοποιούνται για να εκτιμηθεί κατά πόσον το σύστημα ανταποκρίνεται στο σχεδιασμό ή τις απαιτήσεις επιδόσεων που είναι απαραίτητες για την ικανοποίηση των μέτρων αποτελεσματικότητας (MOE), για αυτόν το λόγο τα MOP θα πρέπει να προκύπτουν ή να παρέχουν πληροφορίες για τις MOE ή άλλες ανάγκες των χρηστών.

§5. ΜΕΤΡΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ (ΜΟΕ)

Τα μέτρα αποτελεσματικότητας (ΜΟΕ) αξιολογούν τις αλλαγές στη ανταπόκριση, την ικανότητα ή το επιχειρησιακό περιβάλλον του συστήματος που συνδέονται με τη μέτρηση της επίτευξης μιας τελικής κατάστασης, της επίτευξης ενός στόχου ή της δημιουργίας ενός αποτελέσματος. Δεν μετρούν την απόδοση του έργου. Όταν αξιολογούμε ένα σχεδιάγραμμα δράσης ή μια αξιολόγηση μάχης πρέπει να την αξιολογούμε με βάση τον αντίκτυπο ή την ΜΟΕ που θα έχει.

Αυτά τα ΜΟΕ εκτός των άλλων, θα πρέπει να χρησιμοποιούν μετρήσεις αξιολόγησης που είναι σχετικές, μετρήσιμες, ανταποκρινόμενες και εφοδιασμένες με πόρους, ώστε να μην υπάρχει ψευδής εντύπωση επίτευξης των επιχειρησιακών στόχων.

Ένας στόχος είναι ένα επιθυμητό αποτέλεσμα, επομένως η γνώση των στόχων μας είναι σημαντική για να δομήσουμε τα μέτρα αποτελεσματικότητας. Οι Keeney και Raiffa αναφέρουν ότι ένας "στόχος υποδεικνύει γενικά την "κατεύθυνση" προς την οποία θα πρέπει να προσπαθήσουμε να κάνουμε κάτι καλύτερο". Οι συγγραφείς προτείνουν επίσης ότι πρέπει να δομούμε τους στόχους έτσι ώστε:

- Να περιλαμβάνουν χαρακτηριστικά που μετρούν πόσο καλά έχουν επιτευχθεί οι στόχοι.
- Να εξασφαλίζουν ότι τα χαρακτηριστικά αυτά είναι περιεκτικά, μετρήσιμα, πλήρη, Λειτουργικά αποσυνθέσιμα και η πλεονασματικά (βλέπε πίνακα 1 για τους ορισμούς)
- Να σχηματίζουν μια ιεραρχία - από το χαμηλότερο προς το υψηλότερο, με χαρακτηριστικά που επιλέγονται.

§6. ΜΕΤΡΑ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟΥ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΟΣ (ΜΟΟ)

Τα μέτρα επιχειρησιακού αποτελέσματος (ΜΟΟ) είναι παρόμοια με τα ΜΟΕ, με την διαφορά ότι τα ΜΟΟ επικεντρώνονται στους ευρύτερους στόχους μιας εκστρατείας, δηλαδή τα ΜΟΟ χρησιμοποιούνται για να εξεταστεί πόσο καλά ένα σύστημα επιτυγχάνει τις επιχειρησιακές απαιτήσεις υψηλού επιπέδου.

Είναι λοιπόν προφανές ότι οι αναλυτές πρέπει να διαμορφώσουν σωστά τις απαιτήσεις και τα προβλήματα έτσι ώστε να υπάρχουν οι συναφείς λύσεις.

Οι αναλυτές, μπαίνουν στον πειρασμό να επιλύσουν "ενδιαφέροντα" προβλήματα, ακόμη και αν αυτά δεν είναι επί της ουσίας. Ο Ackoff προτείνει ότι ο αναλυτής πρέπει να είναι αρκετά πειθαρχημένος ώστε να επιδιώκει "να κάνει κάτι θετικό να και να φέρει μια επιθυμητή κατάσταση", όχι την επιθυμητή κατάσταση του αναλυτή, αλλά του πελάτη. Στη στρατιωτική ανάλυση, οι τυπικές δομές συνήθως ορίζουν το πρόβλημα. Παραδείγματα είναι το mission needs statement για μια ανάλυση εναλλακτικών λύσεων και μια έννοια των επιχειρήσεων για την ανάλυση της αποτελεσματικότητας μιας αποστολής ή μιας δύναμης.

Ο Ackoff επίσης προειδοποιεί ότι παρόλο που "είναι προφανές ότι αυτό που θέλουμε, οι σκοποί μας, επηρεάζουν την επιλογή των μέσων, αυτό που δεν είναι τόσο προφανές είναι το γεγονός ότι τα διαθέσιμα μέσα επηρεάζουν την επιλογή των σκοπών μας". Πρέπει να ρωτήσουμε τις σωστές θεμελιώδεις ερωτήσεις για να λύσουμε το σωστό πρόβλημα.

Ο Arnold προβάλλει ένα παρόμοιο επιχειρημα. Κατ' αρχάς δηλώνει: "Η ανάγκη για μια απόφαση προϋποθέτει την ύπαρξη προβλήματος" Για να προσεγγίσουμε το πρόβλημα, προτείνει ότι πρέπει να εξετάσουμε τρία ερωτήματα:

- Γιατί [είναι αναγκαία αυτή η απόφαση?];
- Ποιο **είναι/δεν είναι** το πρόβλημα;
- Τι συμβαίνει/**πρέπει** να συμβαίνει/**θα μπορούσε** να συμβαίνει;

Ο Arnold ισχυρίζεται ότι το να ρωτάμε "Για ποιόν λόγο οποιαδήποτε απόφαση είναι αναγκαία τότε παράγει συχνά έναν κατάλογο πιθανών συνεπειών και συνθηκών, ορισμένες από τις οποίες είναι δυσάρεστες ή ανεπιθύμητες."

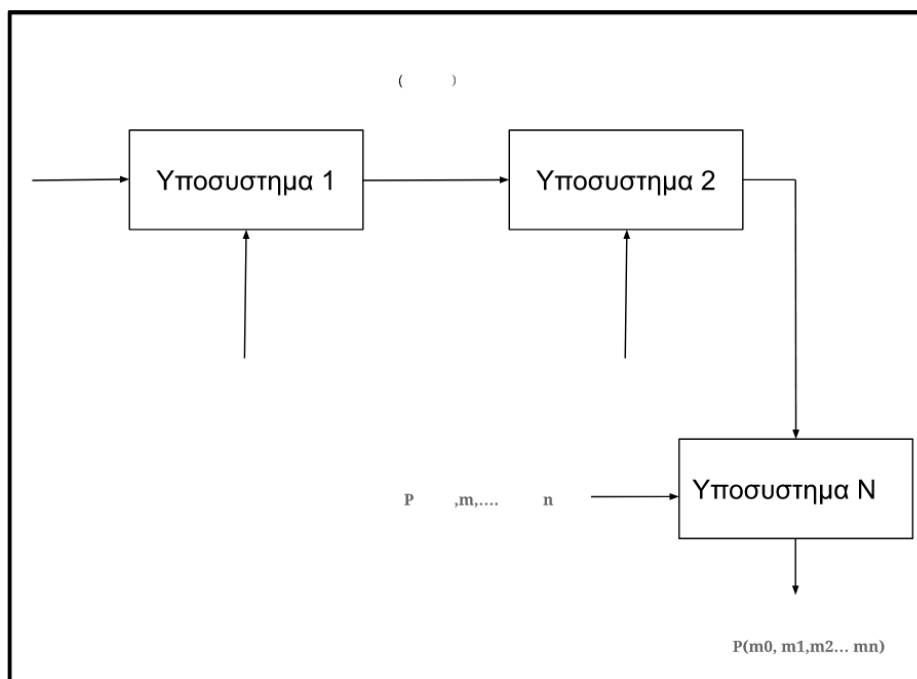
- Το να ρωτάμε τί είναι απαραίτητο για να ξεκαθαρίσουμε τα ζητήματα, Το να ρωτάμε **τι είναι** και τι **δεν είναι** πρόβλημα.
- Τέλος, θέτοντας την τρίτη ερώτηση αναγκάζομαστε να αντιμετωπίσουμε τις διαφορές μεταξύ πραγματικότητας, προσδοκίας και επιθυμίας.

§7. ΕΝΣΩΜΑΤΩΜΕΝΕΣ ΕΠΙΔΟΣΕΙΣ

Τα συστήματα μάχης είναι μια συλλογή συναφών υποσυστημάτων, στα οποία η απόδοση του καθενός από αυτά εξαρτάται κατά κάποιο τρόπο από την απόδοση άλλων υποσυστημάτων. Για παράδειγμα, ένα σύστημα επιχειρησιακής υλικοτεχνικής υποστήριξης αποτελείται από υποσυστήματα για την διανομή πληροφοριών, αποθήκευσης υλικών και μεταφορών, για κάθε ένα από αυτά περιγράφουμε τη λειτουργία τους ως μια αρχιτεκτονική και χαρακτηρίζουμε την απόδοσή του από την απόδοση κάθε αρχιτεκτονικού στοιχείου που ενεργεί ως ενιαία μονάδα. Για παράδειγμα, το υποσύστημα αισθητήρων αποτελείται από διάφορους ολοκληρωμένους αισθητήρες που παράγουν αναφορές τις οποίες επεξεργάζεται από το υποσύστημα σύντηξης.

Γενικά, μπορούμε να περιγράψουμε την απόδοση ενός συστήματος στο τέλος του k -οστού υποσυστήματος ως κοινή απόδοση του k -οστού υποσυστήματος και του $(k - 1)$ οστού υποσυστήματος. Εάν διατηρήσουμε όλες τις μετρήσεις επιδόσεων μεταξύ 0 και 1, τότε η υπό συνθήκη επίδοση στο τέλος του k -οστού υποσυστήματος είναι $P(m_k) = P(m_{k-1})P(m_k | m_{k-1})$. Σε αυτόν τον τύπο, η m_k είναι η κατάσταση του υποσυστήματος k -οστού και η $P(m_k)$ είναι η απόδοσή του. Η $P(m_k, m_{k-1})$ είναι η απόδοση του συστήματος στην έξοδο και $P(m_k | m_{k-1})$ είναι η συνάρτηση μεταφοράς απόδοσης που περιγράφει την απόδοση του υποσυστήματος k υπό την προϋπόθεση της απόδοσης όλων των προηγούμενων υποσυστημάτων.

Η συνάρτηση μεταφοράς επιδόσεων υπολογίζεται από τις μετρήσεις για τα στοιχεία που αποτελούν την αρχιτεκτονική του υποσυστήματος. Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει τον τρόπο εφαρμογής αυτής της διαδικασίας για ένα σύστημα που αποτελείται από n υποσυστήματα.



Σχήμα 1: Μετρώντας την αποδοτικότητα των συστημάτων.

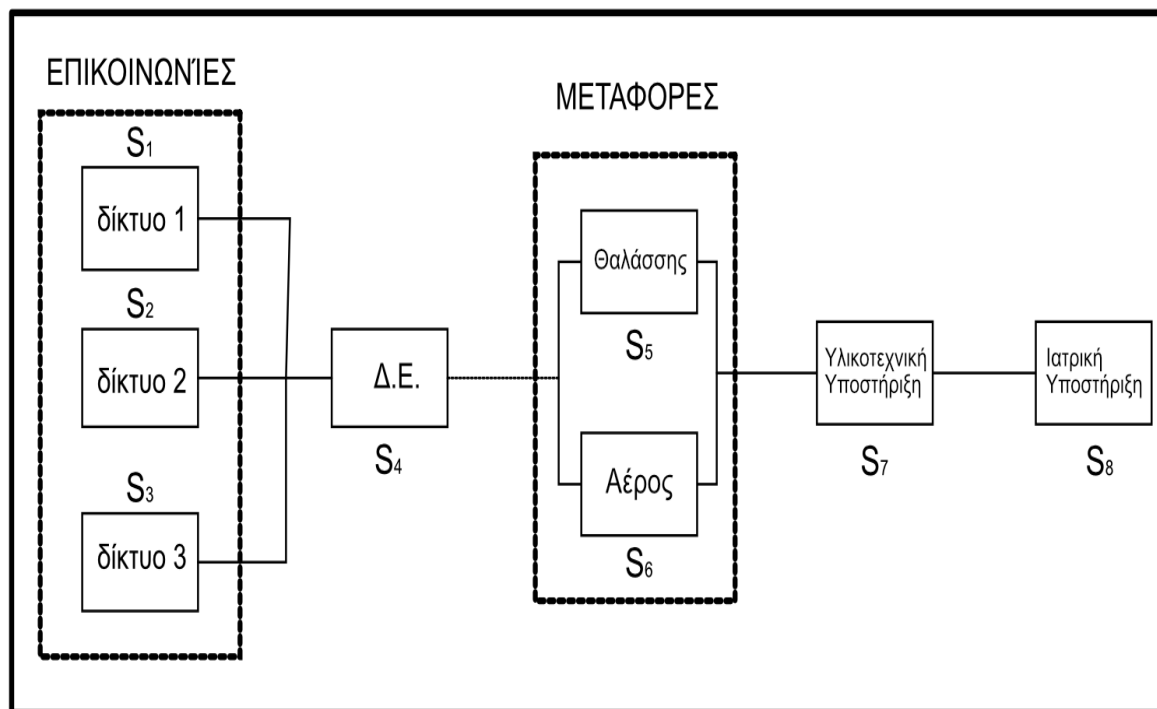
Τυπικά, υποθέτουμε ότι η απόδοση του υποσυστήματος “0-οστού” είναι 1.0. Έτσι μπορούμε να αναπαραστήσουμε τη συνολική απόδοση του συστήματος με την αλυσιδωτή συνθήκη των επιμέρους υποσυστημάτων του, όπου $P(m_0, m_1, \dots, m_n)$ είναι η MOP του συστήματος:

$$P(m_0, m_1, \dots, m_n) = P(m_0)P(m_2 | m_0, m_1) \dots P(m_n | m_0, m_1, \dots, m_{n-1})$$

Η έντονη επίκληση στη θεωρία πιθανοτήτων μέσω όρων όπως "κοινές" και "υπό όρους" επιδόσεις δεν είναι τυχαία. Αν και δεν είναι αυστηρά μια πιθανότητα, η απόδοση του συστήματος που κατασκευάζεται με αυτόν τον τρόπο μοιράζεται πολλά από τα χαρακτηριστικά μιας τυχαίας μεταβλητής. Σε περιπτώσεις για τις οποίες δεν μπορούμε να διατηρήσουμε την απόδοση μεταξύ 0 και 1, το μοντέλο μπορεί να εξακολουθεί να ισχύει, αλλά το μοντέλο αξιοπιστίας που χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση της απόδοσης της αρχιτεκτονικής δεν ισχύει. Το παράδειγμα στην παρακάτω ενότητα απεικονίζει αυτή τη διαδικασία.

§8. ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ

Οι επιδόσεις διαφόρων συστημάτων που υποστηρίζουν μια επιχείρηση, όπως μετρούνται από τις αντίστοιχες ΜΟΡ τους, συνδυάζονται για να επηρεάσουν την αποτελεσματικότητα της επιχείρησης, όπως μετριέται από την ΜΟΕ. Εάν κανονικοποιήσουμε τις επιδόσεις του συστήματος, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα μοντέλο αξιοπιστίας για να παράγουμε μια συνδυασμένη μέτρηση απόδοσης του συστήματος. Για παράδειγμα, ας υποθέσουμε ότι οκτώ συστήματα υποστηρίζουν μια επιχείρηση της οποίας η επιτυχία μπορούμε να μετρήσουμε με όρους σχετικής φθοράς (ο λόγος ανταλλαγής απωλειών δυνάμεων ή FLER που συζητήθηκε προηγουμένως). Παρουσιάζουμε τα συστήματα ως S_1, S_2, \dots, S_8 , με εκτιμήσεις επιδόσεων P_1, P_2, \dots, P_8 , που υπολογίζονται το καθένα όπως παραπάνω ($P(m_0, \dots, m_8)$). Περαιτέρω υποθέτουμε ότι τα οκτώ συστήματα αλληλοεπιδρούν όπως απεικονίζεται παρακάτω.



Σχήμα 2.

Τα κυριότερα συστήματα είναι οι επικοινωνίες, η διοίκηση και ο έλεγχος (Δ.Ε.), οι μεταφορές, η διοικητική μέριμνα, και το ιατρικό σύστημα. Μπορούμε να σκεφτούμε τα ανταλλακτικά δίκτυα επικοινωνίας και τους κόμβους μεταφοράς ως υποσυστήματα. Σε αυτή τη διαμόρφωση, κανένα από τα άλλα συστήματα δεν μπορεί να λειτουργήσει χωρίς τις επικοινωνίες. Τα συστήματα μεταφοράς, υλικοτεχνικής και ιατρικής δεν μπορούν να λειτουργήσουν χωρίς ένα λειτουργικό σύστημα διοίκησης και ελέγχου. Στην πραγματικότητα, θα μπορούσαμε να υποστηρίξουμε ότι όλα τα συστήματα εξαρτώνται από τη διοίκηση και τον έλεγχο, γεγονός που θα τοποθετούσε το Δ.Ε. στην αρχή της διαδικασίας. Στο πλαίσιο του συστήματος μεταφορών, η θαλάσσια και η εναέρια μεταφορά αποτελούν ανταλλακτικά υποσυστήματα.

Σε αυτή την περίπτωση, μπορούμε να ερμηνεύσουμε την απόδοση κάθε συστήματος, $P_n \in [0,1]$, ως την πιθανότητα ότι σύστημα θα αποδώσει επαρκώς. Έτσι, η πιθανότητα ότι το σύστημα επικοινωνιών θα λειτουργήσει επαρκώς είναι το συμπλήρωμα της πιθανότητας να αποτύχουν όλα τα δίκτυα του συστήματος επικοινωνιών, ή αλλιώς:

$$1 - [1 - p_1][1 - p_2][1 - p_3]$$

Εφαρμόζοντας την ίδια ανάλυση σε όλα τα συστήματα, καταλήγουμε σε ένα συνολικό σύστημα μέτρο απόδοσης (MOP),

$$P(M) = [1 - \prod_{i=1}^3 (1 - P_i)]P_4[1 - (1 - P_5)(1 - P_6)]P_7P_8$$

Όπου M είναι η αθροιστική κατάσταση των υποστηρικτικών συστημάτων.

Το επόμενο βήμα είναι να εξεταστούν οι επιδράσεις είτε της συνολικής απόδοσης του συστήματος είτε της επίδοσης των επιμέρους συστημάτων στην επιχειρησιακή αποτελεσματικότητα - ο λόγος ανταλλαγής απωλειών δυνάμεων (FLER) στην προκειμένη περίπτωση. Ενωσιολογικά, η σχέση είναι απλή. Πρώτον, εξετάζουμε τις επιπτώσεις ενός μεμονωμένου συστήματος, i , με μέτρηση απόδοσης: $P_i(m_{i,0}, m_{i,1}, \dots, m_{i,n})$.

Περαιτέρω ορίζουμε την κατάσταση των πολεμικών επιχειρήσεων, O , σε αυτή την περίπτωση ως τη σχετική ισχύ των αντιμαχόμενων πλευρών. Το συνολικό μέτρο της αποτελεσματικότητας μάχης του j -οστού MOE υπό την προϋπόθεση της απόδοσης ενός μόνο υποστηρικτικού συστήματος, i , είναι τότε $P_{e,j}(M_i, O_j) = P_{e,j}(m_{i,0}, m_{i,1}, L, m_{i,n}, O_j) = P(O_j | m_{i,0}, m_{i,1}, L, m_{i,n}) P_i(m_{i,0}, m_{i,1}, L, m_{i,n})$

Αν και είναι εύκολο να περιγράψουμε αυτή την έννοια, το να δείξουμε πώς λειτουργεί σε ένα παράδειγμα είναι πιο δύσκολο. Πρώτον, πρέπει να εξετάσουμε τη φύση της συνάρτησης μεταφοράς, $P(O_j | m_{j,0}, m_{j,1}, L, m_{j,n})$. Για να το κάνουμε αυτό, πρέπει να κατανοήσουμε πώς η απόδοση του συστήματος υποστήριξης επηρεάζει τη μάχη αποτέλεσμα (το FLER), γεγονός που απαιτεί σημαντική κριτική σκέψη. Θα Αναλάβω αυτή την πρόκληση αργότερα. απεικονίζοντας την επίδραση του συστήματος C4ISR στο αποτέλεσμα της μάχης.

§9. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΜΑΧΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΚΣΤΡΑΤΕΙΑΣ

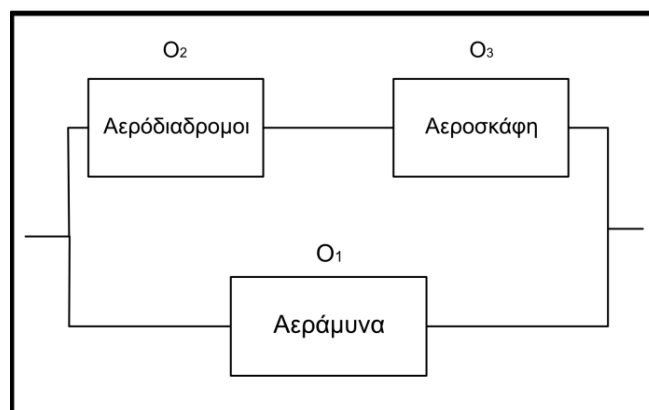
Το επόμενο βήμα της διαδικασίας είναι παρόμοιο με το προηγούμενο: ο προσδιορισμός του τρόπου με τον οποίο τα αποτελέσματα μάχης, μετρούμενα σε σχέση με διάφορα MOE, επηρεάζουν ένα ή περισσότερα αποτελέσματα εκστρατείας. Με άλλα λόγια, πρέπει να συνδέσουμε τα MOEs με τα MOOs. Συγκεντρώνοντας στο επόμενο επίπεδο, έχουμε τώρα διάφορα MOEs: $P_{e,1}(M_1, O_1), P_{e,2}(M_2, O_2), \dots, P_{e,k}(M_k, O_k)$ - που συμβάλλουν σε ένα ενιαίο μέτρο του λειτουργικού αποτελέσματος. Ο διανυσματικός συμβολισμός για τα μέτρα απόδοσης αντικατοπτρίζει το γεγονός ότι όχι όλα τα MOE επηρεάζονται από το ίδιο σύνολο συστημάτων υποστήριξης. Έτσι, $M_j \subseteq M$, όπου M είναι το σύνολο όλων των πιθανών συστημάτων υποστήριξης.

Γενικά, έχουμε τον ακόλουθο τύπο για ένα μόνο MOO, T , που επηρεάζεται από k MOEs:

$P_o(O, T) = P(T | O_1, O_2, \dots, O_k)P(O_1, O_2, \dots, O_k)$. Όπως και με την αξιολόγηση των ΜΟΕ, η κατανόηση της φύσης του προϊόντος μεταφοράς, $P(T | O_1, O_2, \dots, O_k)$, μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα.

Ένα παράδειγμα θα καταδείξει τη διαδικασία, ας υποθέσουμε ότι το μέτρο του επιχειρησιακού αποτελέσματος ως τον βαθμό στον οποίο οι φίλιες δυνάμεις έχουν επιτύχει αεροπορική υπεροχή, προηγουμένως προτείνουμε ότι αυτό το αποτέλεσμα θα μπορούσε να είναι συνάρτηση των επιπέδων φθοράς για τρία σημαντικά εχθρικά συστήματα: αεροσκάφη, διάδρομοι προσγείωσης/απογείωσης και συστήματα αεράμυνας. Είναι ξεκάθαρο ότι τα αεροσκάφη χρειάζονται αεροδιαδρόμους ώστε να μπορούν να εξαπολύσουν επιθέσεις εναντίον φίλιων δυνάμεων, και χωρίς αεροσκάφη, οι διάδρομοι προσγείωσης δεν αποτελούν απειλή. Αλλά τα συστήματα αεράμυνας αποτελούν απειλή, ανεξαρτήτως της κατάστασης των διαδρόμων και των εχθρικών αεροσκαφών. Κατά συνέπεια, όταν μετράμε την αποτελεσματικότητα σύμφωνα με το κλάσμα των εχθρικών μέσων που επιβιώνουν, προκύπτει το διάγραμμα αξιοπιστίας της εικ. 3. Σε αυτή την περίπτωση οι ΜΟΕ συνδυάζονται ως

$$P(O_1, O_2, O_3) = P_{e,1}(M_1, O_1) + P_{e,2}(M_2, O_2)P_{e,3}(M_3, O_3)$$



Εικόνα 3: Μετρώντας επιχειρησιακά αποτελέσματα.

§10. ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΚΣΤΡΑΤΕΙΑΣ

Προχωρώντας στο επόμενο επίπεδο της ιεραρχίας των μέτρων, προτείνουμε μια ανάλογη διαδικασία. Σε μια τυπική εκστρατεία, αναμένουμε να βιώσουμε αρκετές επιχειρήσεις, η

καθεμία με τα δικά της μέτρα αποτελεσματικότητας. Συνεπώς, το συνολικό μέτρο της αποτελεσματικότητας της εκστρατείας (ΜΟΟ) αντανακλά τις συνδυασμένες βαθμολογίες αποτελεσματικότητας. Όπως και με τα μέτρα απόδοσης, εάν τα ΜΟΕ έχουν κοινωνικοποιηθεί, η χρήση ενός υπό όρους μοντέλο μπορεί να είναι κατάλληλη. Ας υποθέσουμε ότι μια δεδομένη εκστρατεία έχει k επιχειρήσεις, O_1, O_2, \dots, O_k , και η επιτυχία καθεμιάς μετρείται με βάση ένα ενιαίο ΜΟΕ που εξαρτάται από την απόδοση των συστημάτων υποστήριξης. Στην περίπτωση αυτή, έχουμε μέτρα αποτελεσματικότητας $P_e(M_1, O_1) + P_e(M_2, O_2), \dots, P_e(M_k, O_k)$. Τώρα μπορούμε να εφησυχαστούμε με την υπόθεση ότι ένα μόνο ΜΟΕ περιγράφει την αποτελεσματικότητα μιας επιχείρησης. Εάν υπάρχουν περισσότερα από ένα ΜΟΕ, η ανάλυση εξελίσσεται όπως τα ΜΟΕ του υποσυστήματος που περιγράφονται στο σχ. 2.

§11. ΜΗ ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Στην παραπάνω κατασκευή υπέθεσα επίσης ότι το μέτρο της αποτελεσματικότητας της μάχης και τα μέτρα του επιχειρησιακού αποτελέσματος εμπίπτουν στο διάστημα $(0, 1)$. Αυτό σημαίνει ότι μπορούμε να χρησιμοποιήσω μόνο κανονικοποιημένες μετρήσεις στην κατασκευή της συνάρτησης μεταφοράς, αλλά αυτό δεν είναι τόσο κακό όσο φαίνεται. Οι κανονικοποιημένες μετρήσεις, όπως τα κλάσματα των φιλικών και εχθρικών απωλειών, είναι πολύ χρήσιμες. Αλλά ο λόγος τους, μια άλλη χρήσιμη μέτρηση, δεν είναι κανονικοποιημένη. Αν εξαιρέσουμε την αδιάφορη περίπτωση στην οποία και οι δύο πλευρές δεν υφίστανται απώλειες, το πεδίο εφαρμογής του λόγου είναι $(0, \infty)$. Για να κοινωνικοποιήσουμε, θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε $F = 1 - e^{-\alpha(FLER)}$

όπου F είναι η κανονικοποιημένη FLER. Επειδή ένας μεγάλος λόγος ευνοεί την μια πλευρά, χρησιμοποιούμε το συμπλήρωμα του εκθετικού. Ο συντελεστής α καθορίζει το ρυθμό με τον οποίο αυξάνεται η F με την αύξηση του FLER. Αλλά αν η κανονικοποίηση είναι ανέφικτη, υπάρχουν άλλες μέθοδοι, όπως θα δείξω παρακάτω για τα μέτρα απόδοσης.

Αν θέλουμε τις σωρευτικές επιδράσεις όλων των υποστηρικτικών συστημάτων στο μέτρο έκβασης μάχης j , το προσαρμοσμένο ΜΟΕ γίνεται $P_{e,j}(M_i, O_j) = P(O_j | M_j) P(M_j)$, όπου $P(M_j)$ είναι η συνδυασμένο μέτρο των επιδόσεων των συστημάτων που επηρεάζουν την ΜΟΕ j . Μπορούμε να διατυπώσουμε μια παρόμοια σχέση για το ΜΟΟ: $P_0(O, T) = P(T|O)P(O)$. Αν και περιγράφεται για ένα μόνο ΜΟΟ που εξαρτάται από το πλήρες σύνολο

των MOEs, η έκφραση γενικεύεται εύκολα για να ληφθεί υπόψη για πολλαπλά MOOs που επηρεάζονται από υποσύνολα του πλήρους συνόλου των MOE.

Όσο πειστικές και αν είναι αυτές οι δομές, δεν ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις. Μπορεί να μην είμαστε σε θέση να περιγράψουμε την απόδοση ενός συστήματος υποστήριξης με μια κανονικοποιημένη μέτρηση ή να μπορούμε να αναπτύξουμε μια κανονικοποιημένη μέτρηση για τα αποτελέσματα της μάχης. Επιπλέον, ο πολλαπλασιαστής στη συνάρτηση μεταφοράς υπό όρους μπορεί να μην είναι κατάλληλος. Δηλαδή, η σχέση μπορεί να είναι σιωπηρή, όπως θα περιγράψει στην ενότητα 'ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ'. Σε αυτές τις περιπτώσεις, χρειαζόμαστε ένα μοντέλο χωρίς κανέναν από τους δύο περιορισμούς, όπως

$$P_{e,j}(m_{j,0}, m_{j,1}, L, m_{i,n}, O_j) = f(O_j, P_i(m_{i,0}, m_{i,1}, \dots, m_{i,n})) \quad \text{ή} \quad P_{e,j}(M_j, O_j) = f(O_j, P(M_j)) P(M_j)$$

Εμείς μπορούμε να εξάγουμε μια παρόμοια κατασκευή για το MOO. Αν και απλούστερα στην κατασκευή, τα μοντέλα αυτά είναι δυσκολότερα να παραδειγματιστούν, όπως φαίνεται στις επόμενες ενότητες.

§12. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΟΙΚΗΤΙΚΗΣ ΜΕΡΙΜΝΑΣ

Η στρατιωτική διοικητική μέριμνα είναι μια πολυδιάστατη και πολύπλοκη οντότητα που αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα και ουσιαστικότερα στοιχεία του πολέμου. Ωστόσο, παρόμοια με άλλους σύνθετους όρους, όπως τα οικονομικά, στρατηγική, η πολιτική κ.α., ο όρος διοικητική μέριμνα είναι δύσκολο να οριστεί, να εξηγηθεί με λίγες απλές λέξεις. Στην πιο γενική (και όχι πολύ χρήσιμη) γλώσσα, μπορούμε να πούμε ότι η διοικητική μεριμνά μπορεί να θεωρηθεί ως ένα πολύπλοκο μείγμα φυσικών οντοτήτων, διαδικασιών και κανόνων -δηλαδή, ως ένα σύστημα υλικοτεχνικής υποστήριξης- που διέπεται από αφηρημένες κυρίως έννοιες και αρχές. Αυτό το σύνθετο μείγμα ωστόσο, αποτελεί κρίσιμο συστατικό σε κάθε προσπάθεια διεξαγωγής πολέμου. Κατά τη διάρκεια της ιστορίας έχει αποδειχθεί ο αντίκτυπο εφοδιαστικής στο πεδίο της μάχης.

Σε ένα στρατιωτικό πλαίσιο, ο σκοπός της διοικητικής μέριμνας είναι σαφής:

- A) Η υποστήριξη της διεξαγωγής μιας πολεμικής επιχείρησης.
- B) Η συντήρηση των στρατευμάτων που συμμετέχουν σε αυτήν.

Ειδικότερα, ο σκοπός των εφοδιαστικών συστημάτων είναι να διευκολύνουν τη μετακίνηση και την αμυντική ικανότητα των φίλιων δυνάμεων, συμμετέχουν επίσης στην περίθαλψη και την απομάκρυνση θυμάτων και τραυματιών, καθώς και στην μετακίνηση και τοποθέτηση προσωπικού και ο εφοδιασμός τους με τρόφιμα και άλλες προσωπικές ανάγκες.

Για να επιτευχθεί όλα αυτά, οι αναλυτές και οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων πρέπει να θέτουν στόχους και δραστηριότητες που αναφέρονται στη διαχείριση των πόρων του πεδίου της μάχης -την καταγραφή της κατανάλωσης υλικών, τον υπολογισμό των ποσοστών πληρότητας εφοδιασμού, την εκτίμηση χρόνου μεταφορών, κ.λπ. Αυτή η ποσοτική ερμηνεία αντιπροσωπεύει την "μαθηματική" πτυχή αυτού του συστήματος, δείχνετε δηλαδή ότι γίνετε να εφαρμοστούν σε αυτό τα μετρά αξιολόγησης (MOE.MOP,MOO)

Η διοικητική μέριμνα μπορεί να διαχωριστεί σε δυο κύρια μέρη.

- Στρατηγική Υλικοτεχνικής υποστήριξης
- Επιχειρησιακή Υλικοτεχνική υποστήριξη

Θα αναλύσω αυτά τα δυο παρακάτω.

12.1 ΣΤΡΑΤΗΓΙΚΗ ΥΛΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ

Η στρατηγική υλικοτεχνική υποστήριξη ασχολείται με τη δημιουργία και τη διατήρηση της εθνικής στρατιωτικής ή στρατιωτικής υποδομής. Αυτή η υποδομή περιλαμβάνει την τεχνολογία, τη βιομηχανία, τα αποθέματα, την αποθήκευση και τις μεταφορές.

Από πολλές απόψεις, τα ζητήματα και αποφάσεις που εξετάζονται σε στρατηγικό επίπεδο της διοικητικής μέριμνας έχουν μακροχρόνια και διαρκή αντίκτυπο. Οι αποφάσεις αυτές, όπως οι επενδύσεις σε έρευνα και ανάπτυξη, οι πολιτικές προμηθειών και αναπλήρωσης και τα θέματα αποφάσεων που σχετίζονται με υποδομές (εργοστάσια παραγωγής, νοσοκομεία κ.α.), έχουν σημαντικές και μακροπρόθεσμες οικονομικές επιπτώσεις.

Ειδικότερα, οι οικονομικοί περιορισμοί επηρεάζουν την εφοδιαστική δυνατότητες, και αμφότερα τα οικονομικά και η εφοδιαστική ικανότητα- καθορίζει τις επιχειρησιακές ικανότητες.

Σε αυτό το επίπεδο διαμορφώνονται οι εναλλακτικές κατανομές του προϋπολογισμού μεταξύ των διαφόρων τύπων υποδομών καθώς και υποστηρικτικών συστημάτων πολέμου.

Επιχειρησιακές και οικονομικές εκτιμήσεις καθορίζουν το σύνολο των εναλλακτικών λύσεων, είναι λοιπόν εμφανές ότι οι αρμόδιοι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων χρειάζονται τα μέτρα αξιολογήσεις συστημάτων ώστε να 'ζυγίσουν' αυτές τις εναλλακτικές επιλογές/λύσεις.

Έτσι, ένας σημαντικός παράγοντας στην σχεδιασμό της στρατηγικής εφοδιαστικής είναι η **αποδοτικότητα**, δηλαδή- η αναλογία μεταξύ των εισροών που επενδύονται σε δυνατότητες εφοδιαστικής και των εκτιμώμενων αποτελεσμάτων στο πεδίο της μάχης, είναι λοιπόν προφανές ότι ο λόγος μεταξύ των εισροών και των αποτελεσμάτων της μάχης αποτελεί μια πολύ χρήσιμη και καίρια μέτρηση στη στρατηγική υλικοτεχνική υποστήριξη.

12.2 ΤΑΚΤΙΚΗ ΥΛΙΚΟΤΕΧΝΙΚΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ

Στο άλλο άκρο του φάσματος της διοικητικής μέριμνας βρίσκεται η τακτική εφοδιαστική που αφορά κυρίως διεργασίες κατά την διάρκεια της μάχης. η τακτική διοικητική μέριμνα περιλαμβάνει βασικές και πρακτικές δραστηριότητες που διευκολύνουν την "παραγωγή" στρατιωτικών κερδών. Η τακτική διοικητική μέριμνα υποστηρίζει τα στρατεύματα, τα εφοδιάζει με πρώτες ύλες (πυρομαχικά και καύσιμα) και συντηρεί τον εξοπλισμό τους. Οι δραστηριότητες αυτές είναι τεχνικές και κανονιστικές, σωστά ιεραρχημένες, και εύκολα μετρήσιμες με απλά και άμεσα μέτρα, είναι δηλαδή γόνιμο έδαφος για την θέση αποτελεσματικών στόχων (Keeney, R. L., και H. Raiffa. 1976.)¹⁶ Οι δραστηριότητες αυτές είναι οι εξής:

- Η αναπλήρωση των πυρομαχικών.
- Ανεφοδιασμός με καύσιμα.
- Επισκευή εξοπλισμού.
- Προμήθεια τροφίμων και άλλων προσωπικών αναγκών.
- Παροχή άμεσης ιατρικής βοήθειας και ενκένωσης.
- Περίθαλψη αιχμαλώτων πολέμου και άμαχου πληθυσμού.

Η υποστήριξη μιας τέτοιας οντότητας αποτελεί ένα πολύπλοκο και δύσκολο έργο λόγω των, εχθρικές ενεργειών και άλλων παραγόντων που εισαγάγουν αβεβαιότητα και αστάθεια.

Σε αντίθεση με το επίπεδο της στρατηγικής, ο σχεδιασμός συστημάτων τακτικής υλικοτεχνικής υποστήριξης επικεντρώνετε στην **αποτελεσματικότητα** στο πεδίο της μάχης, χρησιμοποιεί δηλαδή μετρήσεις όπως την **FLER**.

Για παράδειγμα, ένας φιλικός διοικητής θέλει προσπαθήσει να πετύχει την κατάληψη μιας οχηρής εχθρικής θέσης με όσο τον δυνατόν λιγότερες φιλικές απώλειες, στην προσπάθεια αυτήν μπορεί να ζητήσει και να λάβει βοηθητικά πυρά από μία πυροβολαρχία, δεν θα τον νοιάζει το κόστος η ή επιβάρυνση στην εφοδιαστική αλυσίδα που θα περιφερθεί με την κατανάλωση των βλημάτων του πυροβολικού, η απόδοση, το αν δηλαδή 'άξιζε' αυτή η σπάταλη αφορά την σχεδίαση στο επίπεδο της στρατηγικής υποστήριξης.

Για λειτουργήσει η διοικητική μέριμνα πρέπει να γεφυρωθούν τα μέρη της στρατηγικής και τακτικής υλικοτεχνικής υποστήριξης, και αυτό γίνεται με χρήση καταλλήλων συνδετικών δομών που μπορούν να διαχειριστούν της διάφορες μετρήσεις αποδοτικότητας στο επίπεδο στρατηγικής και επιχειρησιακής αποτελεσματικότητας στο επίπεδο τακτικής ώστε να γίνεται γίνετε σωστή κατανομή πόρων στις στρατιωτικές μονάδες.

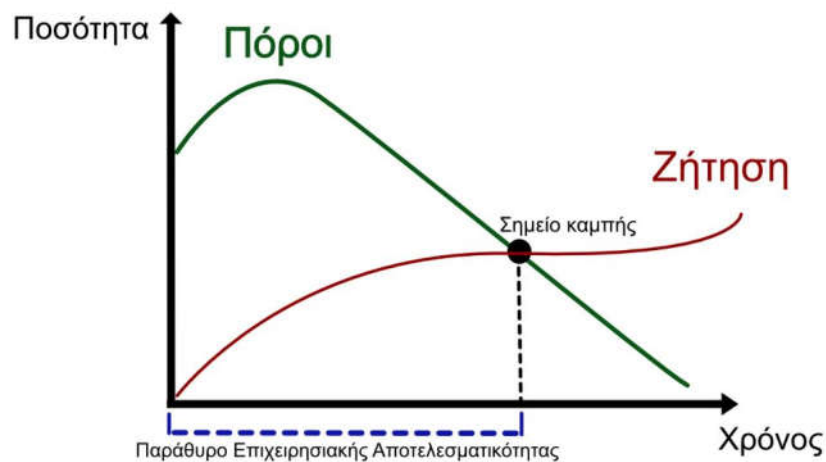
12.3 ΤΟ ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΤΗΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Ο όρος αυτός, που ονομάζεται επίσης μερικές φορές επιχειρησιακή εμβέλεια, ορίζει ένα όριο της εκστρατείας που είναι επιχειρησιακά εφικτό από άποψη διοικητικής μέριμνας και υλικοτεχνικής υποστήριξης.

Ο όρος αυτός αφορά τα γεωγραφικό και χρονικό πλαίσιο στο οποίο η εκστρατεία είναι υλικοτεχνικά και ως εκ τούτου επιχειρησιακά, εφικτή. Για παράδειγμα, η διαθεσιμότητα των καυσίμων επηρεάζει την απόσταση που μπορεί να διανύσει μια στρατιωτική μονάδα ενώ η ποσότητα των πυρομαχικών καθορίζει το χρονικό διάστημα κατά τη διάρκεια του οποίου οι δυνάμεις μπορούν να παράγουν αποτελεσματικά πυρά.

Παρακάτω παραθέτετε ένα απλό παράδειγμα που περιγράφει αυτόν τον όρο.

12.4 ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗΣ ΑΝΕΦΟΔΙΑΣΜΟΥ ΠΥΡΟΜΑΧΙΚΩΝ



Σχήμα 3: Διαθέσιμοι πόροι και ζήτηση .

Το σχέδιο πυρός μιας ταξιαρχίας πυροβολικού προσδιορίζεται ως προς την αναμενόμενη ημερήσια δαπάνη πυρομαχικών. Δηλαδή, $d(t)$ - η αναμενόμενη ζήτηση πυρομαχικών την ημέρα t σχηματίζει την καμπύλη ζήτησης του γραφήματος στο σχ. 3.

Έστω ότι $D(t)$ συμβολίζει τη συνολική συσσωρευμένη ζήτηση την ημέρα t τότε έχουμε:

$$D(t) = \sum_{s=1}^t d(s)$$

$D(t)$ είναι το άθροισμα του αναμενόμενου αριθμού βλημάτων θα εκτοξευτούν από την αρχή της επιχείρησης μέχρι την ημέρα t . Συμβολίζουμε με X το αρχικό απόθεμα πυρομαχικών που φέρει η ταξιαρχία στην αρχή της επιχείρησης και έστω $Y(t)$ η σωρευτική ποσότητα των πυρομαχικών που έχουν προωθηθεί στην ταξιαρχία μέχρι την ημέρα t

Η ποσότητα των πυρομαχικών που είναι διαθέσιμη στην ταξιαρχία την ημέρα t περιγράφεται ως:

$$Z(t) = X + Y(t) - D(t - 1).$$

Οι τιμές $Z(t)$ σχηματίζουν την καμπύλη πόρων στο σχ. 4.3. Ας υποθέσουμε τώρα ότι μετά από μια ανάλυση συνάγεται το συμπέρασμα ότι η $Z(t)$ γίνεται μικρότερη από $d(t)$ για πρώτη φορά όταν $t = 3$. Αυτό σημαίνει ότι την τρίτη ημέρα η ζήτηση για πυρομαχικά, σύμφωνα με το σχέδιο πυρών, υπερβαίνει για την πρώτη φορά την αναμενόμενη διαθέσιμη προσφορά. Προκύπτει ότι οι δύο καμπύλες - η καμπύλη ζήτησης και η καμπύλη διαθέσιμων πόρων -

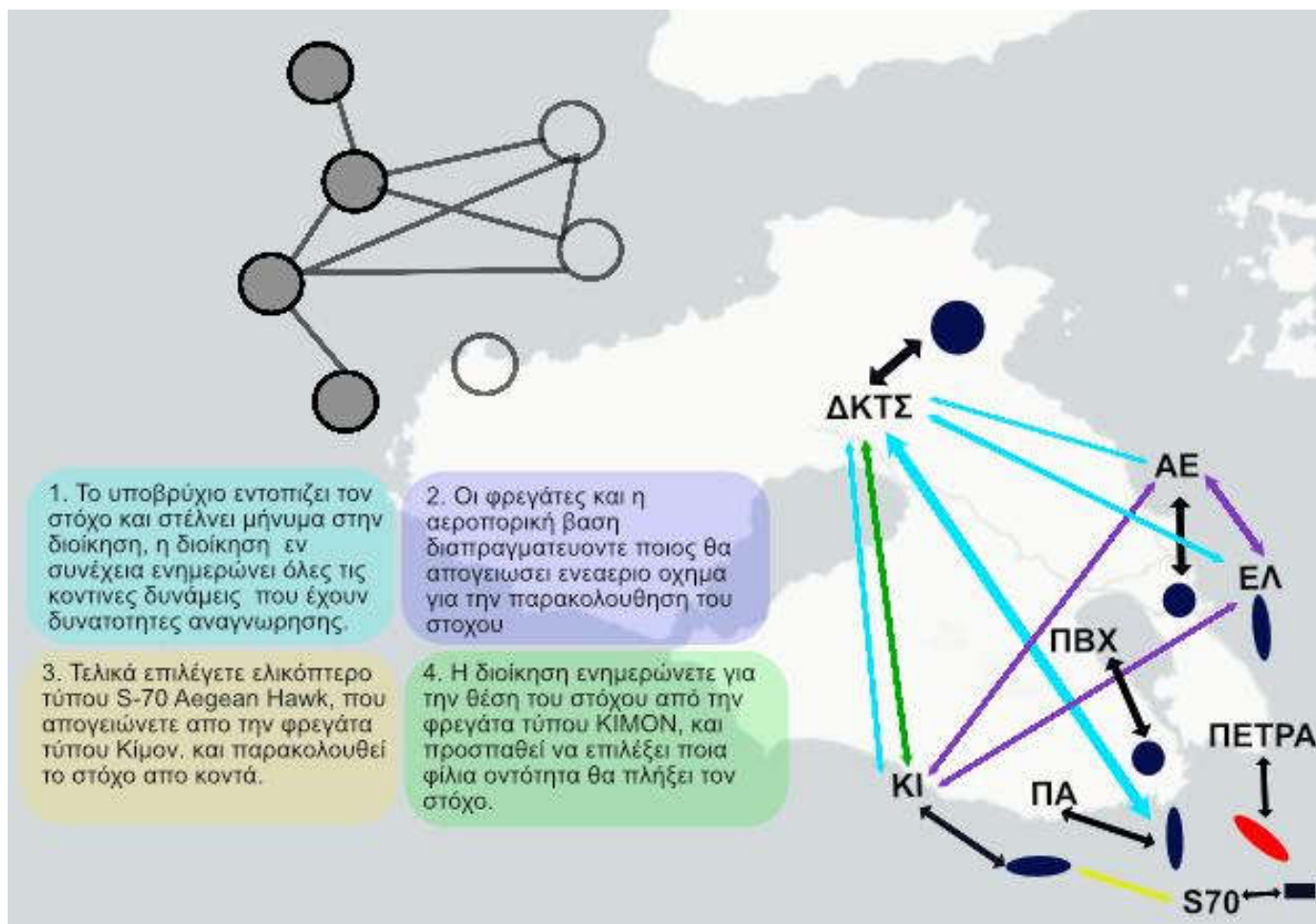
τέμνονται την τρίτη ημέρα, η οποία σηματοδοτεί το **σημείο καμπής** στα εμπλεκόμενα συστήματα υλικοτεχνικής υποστήριξης. Κατά συνέπεια, το παράθυρο της επιχειρησιακής αποτελεσματικότητας εκτείνεται μόνο σε δύο ημέρες.

Ο σχεδιασμός των συστημάτων της διοικητικής μέριμνας έχει ως στόχο την αναβολή η και αποφυγή αυτού του σημείου καμπής, και την επιμήκυνση του παραθύρου επιχειρησιακής αποτελεσματικότητας.

Ένα μέτρο απόδοσης που θα ταίριαζε σε αυτήν την περίπτωση είναι η ικανότητα του συστήματος υποστήριξης να μην φτάσει σε σημείο καμπής μέχρι μια κάποια χρονική στιγμή, ενώ μια μέτρηση που απορρέει από αυτό θα ήταν η πιθανότητα να μην έλθει σε σημείο καμπής σε ένα χρονικό διάστημα $[T, T + dt]$, ο όμως χρόνος δεν είναι μια κρατικοποιημένη μέτρηση και όπως έχω αναφέρει θα πρέπει να γίνει χρήση ένα λειτουργικού μοντέλου επιδόσεων το οποίο θα παρουσιάσω αργότερα.

§13. ΔΙΚΤΥΟΚΕΝΤΡΙΚΕΣ ΑΜΦΙΒΙΕΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ

1^η Ας εφαρμόσουμε το πλαίσιο μας σε ένα πρόβλημα αμφίβιας εμπλοκής. το σχ. 4 απεικονίζει μια ακολουθία γεγονότων που χρησιμοποιούνται για την επίθεση σε έναν κρίσιμο χρονικά στόχο. Ο στόχος της φίλιας διοίκησης είναι να εμποδίσει το εχθρικό πλοίο απόβασης **ΖΕΥΣ** του διαγράμματος από το να φτάσει στην νότια ακτογραμμή του φιλικού νησιού. Το υποβρύχιο τύπου Παπανικολής έχει καθήκοντα πληροφοριοδότης, εντοπισμού και αναγνώρισης στα ανοικτά των φίλιων ακτών. Ο στόχος είναι να επιτεθεί και καταστραφεί το εχθρικό πλοίο πριν αυτός καταφέρει να αποβιβάσει χερσαίες εχθρικές δυνάμεις και έτσι να αποφευχθεί να κινδυνεύσουν τα φιλικά στρατεύματα ξηράς.



Σχήμα 4.

Επίθεση σε κρίσιμο χρονικά στόχο. ΠΑ= Υποβρύχιο πλοίο τύπου <<ΠΑΠΑΝΙΚΟΛΗΣ>> ΔΚΤΣ= διοίκηση- S70 = Ελικόπτερο τύπου S-70 Aegean Hawk- ΕΛ= φρεγάτα τύπου <<ΕΛΛΗ>>-ΚΙ= φρεγάτα τύπου <<ΚΙΜΟΝ>>- ΠΒΧ= πυροβολαρχία ακτογραμμής- ΑΕ = Αεροπορική βάση- ΖΕΥΣ= Εχθρικό αποβατικό πλοίο.

Στο διάγραμμα, το δίκτυο στα αριστερά απεικονίζει τη συνδεσιμότητα στα δεξιά. Οι σκιασμένοι κόμβοι είναι οντότητες που συμμετέχουν στην επιχείρηση- η σημασία τους θα φανεί αργότερα. Οι υπόλοιποι παρέχουν υποστήριξη. Αυτή η απλουστευμένη απεικόνιση περιλαμβάνει τρία πλοία: ένα υποβρύχιο και δύο φρεγάτες.

Οι δύο φρεγάτες καθώς και το αεροδρόμιο μπορούν να εκτοξεύσουν πολλά και διάφορα επανδρωμένο και μη εναέρια οχήματα επιτήρησης και αναγνώρισης, όμως για λόγους απλότητας στον παρόν σχεδιασμό υποθέτουμε ότι μόνο μία πλατφόρμα θα εκτοξεύεται μόνο

ένα εναέριο όχημα. Επίσης υποθέτουμε ότι μόνο το υποβρύχιο τύπου Παπανικολής παρέχει τη θέση του **ΖΕΥΣ**. Υποθέτουμε επίσης ότι μόνο μία από τις οπλικές πλατφόρμες θα επιλεγεί για την εμπλοκή του στόχου **ΖΕΥΣ**. Ο στόχος μας είναι να αποφασίσουμε ποια μπορεί να καταστρέψει το εχθρικό αποβατικό πλοίο πριν αυτό αποβιβάσει τις εχθρικές δυνάμεις.

Θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν διάφορα σχήματα "ψηφοφορίας", αλλά για αυτή την απεικόνιση υποθέτουμε ότι όλοι οι πλατφόρμες ερωτώνται κατά τη στιγμή της εκτέλεσης. Έτσι, στο διάγραμμα, το δίκτυο είναι ο μηχανισμός με τον οποίο θα επιλεγεί η πυροβολαρχία (ΠΒΧ) για την εξουδετέρωση του στόχου. Χρησιμοποιήθηκε λοιπόν ένα σύστημα υποστήριξης: το δίκτυο πληροφοριών, στο οποίο αναφερθήκαμε στην προηγούμενη ενότητα.

§14. ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

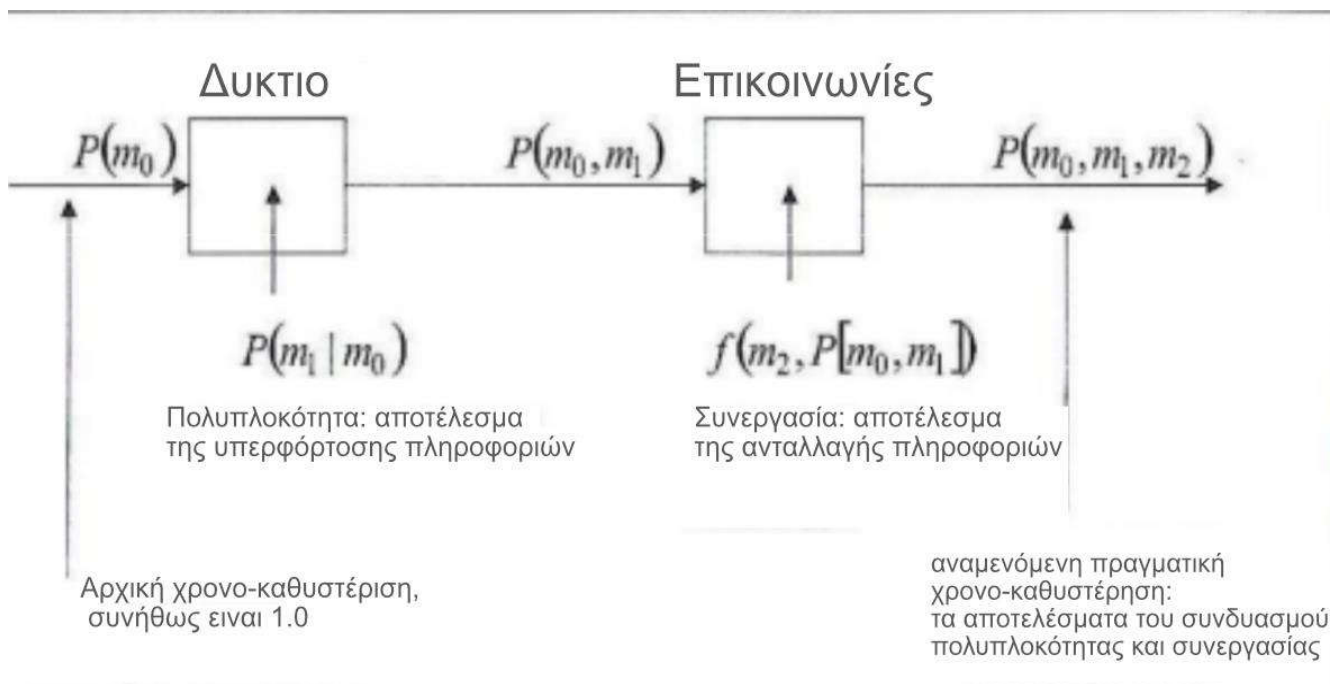
Τα δίκτυα πληροφοριών είναι ένα κλασσικό παράδειγμα υποστηρικτικού συστήματος, κάθε δίκτυο πληροφοριών αποτελείται από δύο υποσυστήματα. Το πρώτο είναι το ίδιο το δίκτυο. Μετράμε την απόδοση ως προς την περίσσεια πληροφοριών που ενθαρρύνει μέσω της πολυπλοκότητας του. Το δεύτερο είναι το δίκτυο επικοινωνιών και η απόδοσή του - μετριέται με βάση την ποιότητα των της συνεργασίας που παρέχει. Το μέτρο της αποτελεσματικότητας στην μάχη είναι η πιθανότητα ο στόχος εντοπιστεί πριν να εκτελέσει απόβαση. Για λόγους απλούστευσης και εξαιτίας της ακρίβειας ενός συστήματος πολλαπλών εκτοξευτών πυραύλων του πυροβολικού, υποθέτουμε ότι ένας ανιχνευμένος στόχος είναι ένας καταστρεφόμενος στόχος. Ευτυχώς, αυτή η τελευταία μέτρηση είναι μια πιθανότητα, έτσι παραμένει μεταξύ 0 και 1. Αλλά η σχέση μεταξύ των μέτρων απόδοσης και των MOE είναι σιωπηρή- επομένως, το υπό συνθήκη μοντέλο δεν ισχύει, όπως θα δείξω.

Επειδή το πρόβλημα αυτό αφορά έναν χρονικά κρίσιμο στόχο, η χρόνο-καθυστερήση είναι το κατάλληλο μέτρο απόδοσης του συστήματος. Το χρονικό διάστημα που διατίθεται για τον εντοπισμό και την εμπλοκή του στόχου πριν αυτός αποβιβάσει επηρεάζει άμεσα την αποτελεσματικότητα της μάχης. Δυστυχώς, ο χρόνος δεν είναι μια κανονικοποιημένη μέτρηση, επομένως χρειαζόμαστε μεθόδους εκτός από τη θεωρία αξιοπιστίας για να αξιολογήσουμε την απόδοση της αρχιτεκτονικής.

Ένας τρόπος για να ικανοποιήσουμε αυτή την απαίτηση είναι να κανονικοποιήσουμε τον χρόνο δημιουργώντας μια εκθετική συνάρτηση, $t = e^{-at}$. Υποθέτοντας ότι ο αρνητικός χρόνος δεν επιτρέπεται, $0 \leq t \leq 1$. Ο συντελεστής, a , καθορίζει τον ρυθμό με τον οποίο η απόδοση επιδεινώνεται με την αύξηση του χρόνου.

Στο σχ. 5 παρουσιάζονται τα στοιχεία του τυπικού συστήματος πληροφοριών με την απόδοσή τους μετρήσεις. Σημειώστε ότι χρησιμοποιούμε ένα μικτό μοντέλο: η πρώτη μετάβαση είναι

υπό όρους και η δεύτερη είναι έμμεση.



Σχήμα 5: Πληροφοριακό σύστημα για ένα πρόβλημα που έχει ένα χρονικά κρίσιμο στόχο.

Για να εκτιμήσουμε την πληθώρα πληροφοριών, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη συνάρτηση πολυπλοκότητας που θα αναπτυχθεί στην ενότητα 'Πολυπλοκότητα Δικτύων'. Βασίζεται στον νόμο του Πάρκινσον ότι "η εργασία επεκτείνεται για να γεμίσει τον διαθέσιμο χρόνο". " (Η πραγματικό απόσπασμα είναι: "Τα δεδομένα επεκτείνονται για να γεμίσουν τον διαθέσιμο χώρο αποθήκευσης"). Αγοράζοντας περισσότερη μνήμη ενθαρρύνει τη χρήση τεχνικών με μεγαλύτερη ένταση μνήμης. Μπορούμε να χαλαρώσουμε την υπόθεση ότι η πολυπλοκότητα είναι "κακή" και η συνεργασία είναι καλή". Η εμπειρία μας λέει ότι και τα δύο μέτρα μπορούν να έχουν θετικές και αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση, με βάση της φράσης "παν μέτρον άριστον" βρίσκουμε ότι πολύ από το καλό πράγμα μπορεί να μας βλάψει, και αντιστρόφως: λίγο από ένα κακό πράγμα μπορεί και να μας κάνει καλό. Σε αυτή την περίπτωση, οι επικοινωνίες μεταξύ των κόμβων θα αυξηθούν για να γεμίσουν τη διαθέσιμη χωρητικότητα. Έτσι, όσο περισσότερες είναι οι συνδέσεις σε ένα δίκτυο, τόσο χειρότερη είναι η απόδοσή του. Αυτή η δήλωση προϋποθέτει, βέβαια, ότι έχουμε επιβάλει ελάχιστα ή καθόλου πειθαρχία στο δίκτυο δηλαδή μια υπεραπλούστευση.

Ένας άλλος, ενδεχομένως ανταγωνιστικός, "νόμος" υποστηρίζει το αντίθετο. Metcalf - όπως αναφέρεται στο *Alberts, Gartska, and Stein*² - ισχυρίζεται ότι η αποδοτικότητα ενός δικτύου αυξάνεται με το τετράγωνο του αριθμού των κόμβων στο δίκτυο. Η ιδέα αυτή αναφέρεται ως νόμος του Metcalf για το n-τετράγωνο, ο οποίος εξαρτάται από το γεγονός ότι ο συνολικός

αριθμός των πιθανών συνδέσεων σε έναν κατευθυνόμενο κόμβο είναι $n(n-1) = n^2 - n$. Για μεγάλα n , ο πρώτος όρος κυριαρχεί. Αλλά αυτός ο υποθέτει ότι όλοι οι κόμβοι είναι συνδεδεμένοι και όλες οι συνδέσεις ωφελούν την απόδοση του δικτύου. Η αλήθεια είναι κάπου μεταξύ των δύο νόμων, αλλά θα εφαρμόσουμε τον νόμο του Parkinson σε αυτό το παράδειγμα.

Μπορούμε να μετρήσουμε τη συνεργασία από την άποψη του πόσο συμβάλλουν διάφορες συνεργασίες στην συλλογική, κοινή επίγνωση της κατάστασης -με βάση την ποιότητα των κοινών πληροφοριών. Αυτό το τελευταίο μέτρο χρησιμοποιεί μια μετρική γνώσης που προέρχεται από την έννοια της εντροπίας των πληροφοριών, την οποία εγώ συζητώ περαιτέρω στην ενότητα “γνώση και πληροφοριακή φθορά”.

Στη συνέχεια, ας εξετάσουμε τις καθυστερήσεις στην επιχείρηση και στη συνέχεια να περιγράψουμε την δικτυοκεντρική αρχιτεκτονική με γενικούς όρους, χρησιμοποιώντας τη θεωρία γραφημάτων για την υποστήριξη της ανάλυσης.

14.1 ΚΑΘΥΣΤΕΡΗΣΕΙΣ

Οι αβεβαιότητες σε αυτό το πρόβλημα επικεντρώνονται στο χρόνο που απαιτείται για να πλήξουν τα πυρομαχικά το στόχο. Οι ενδιάμεσοι χρόνοι που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή, την επεξεργασία και τη διανομή πληροφοριών, οι οποίοι είναι επίσης αβέβαιοι, συμβάλλουν σε αυτόν τον χρόνο. Επειδή είναι αβέβαιοι, τους θεωρούμε τυχαίες μεταβλητές με εκθετικές συναρτήσεις πυκνότητας πιθανότητας. Θεωρούμε το χρόνο, t , που απαιτείται για την ολοκλήρωση μιας εκ των εργασιών, όπου t είναι μια τυχαία μεταβλητή με συνάρτηση πυκνότητας: $f(t;l) = le^{-lt}$ for $t \geq 0$

Ο αναμενόμενος (μέσος) χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση της εργασίας είναι $1/l$ λεπτά, οπότε ο αναμενόμενος καθυστέρηση στο δίκτυο είναι απλώς το άθροισμα των καθυστερήσεων κατά μήκος της κρίσιμης διαδρομής μέσω του δικτύου, ή

$$L = \sum_{i=1}^k \frac{d_i}{l_i}$$

Όπου $d_i = \{ \text{είναι } 1 \text{ αν ο κομβος } i \text{ βρισκεται στην κρίσιμη διαδρομή, αλλιώς είναι } 0 \}$,

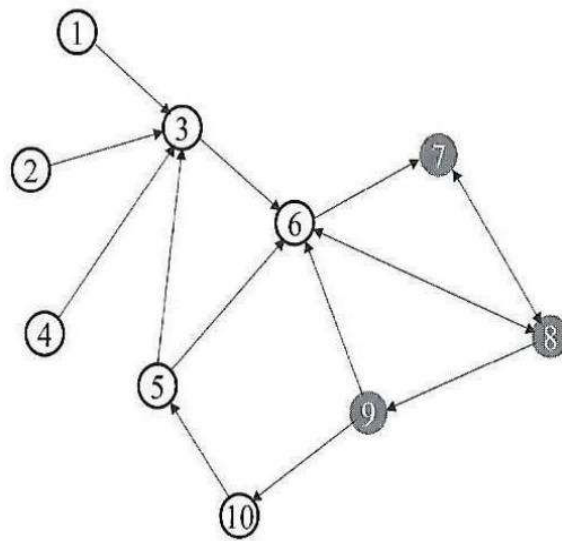
$\sum_{i=1}^k d_i = r$, το k είναι ο συνολικός αριθμός των κόμβων, και $r, r \leq k$ είναι ο αριθμός των κόμβων κατά μήκος της κρίσιμης διαδρομής.

14.2 ΤΟ ΔΙΚΤΥΟ ΩΣ ΓΡΑΦΗΜΑ

Ξεκινάμε περιγράφοντας το δίκτυο διοίκησης, ελέγχου και επικοινωνιών που υποστηρίζει την επιχείρηση ως μια αφαίρεση ενός κατευθυνόμενου γράφου. Ένας κόμβος, $G(x, E)$, αποτελείται από ένα σύνολο κόμβων, $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, και μια συλλογή ακμών, $E = \{e_1, e_2, \dots, e_n\}$, που συνδέουν όλους ή μερικούς από τους κόμβους. Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα νοητό δίκτυο που αποτελείται από n κόμβους, με m ακμές, με την πλασίωση της συζήτησης με όρους ενός συστήματος διοίκησης και ελέγχου, αναφερόμαστε στις ακμές ως συνδέσεις και στο γράφημα ως δίκτυο. Με τον όρο σύνδεση, εννοούμε ότι οι "συνδεδεμένοι" κόμβοι μπορούν να επικοινωνούν μεταξύ τους άμεσα, αλλά όχι απαραίτητα μέσω φυσικής σύνδεσης.

Οι συνδέσεις μπορεί να έχουν ένα στοιχείο που υποδεικνύει την κατεύθυνση προς την οποία μπορούν να ρέουν οι πληροφορίες μεταξύ των κόμβων. Εάν η ροή των επικοινωνιών είναι μονόδρομη, πρόκειται για κατευθυνόμενες συνδέσεις, Στο σχ. 6 η επικοινωνία μεταξύ των κόμβων 6 και 8 είναι αμφίδρομη, αλλά η ροή των πληροφοριών μεταξύ των κόμβων 8 και 9 είναι κατευθυνόμενη. Αυτό σημαίνει ότι ο κόμβος 8 μπορεί να διαβιβάζει πληροφορίες στον κόμβο 9, αλλά δεν μπορεί να λάβει πληροφορίες απευθείας από τον κόμβο 9. Εάν τουλάχιστον μία σύνδεση στο δίκτυο $G(X, E)$ είναι κατευθυνόμενη, το δίκτυο είναι κατευθυνόμενο. Εάν καμία σύνδεση δεν είναι κατευθυντική, το δίκτυο είναι μη κατευθυνόμενο. Κάθε φορά που ένα δίκτυο είναι κατευθυνόμενο, αναφερόμαστε στον κόμβο εκπομπής ως αρχικό κόμβο και τον κόμβο λήψης ως τερματικό κόμβο.

Ωστόσο, από τους n κόμβους του δικτύου, μόνο οι k συμμετέχουν στην τρέχουσα λειτουργία. Οι σκιασμένοι κόμβοι αντιπροσωπεύουν αυτούς που συμμετέχουν στην τρέχουσα λειτουργία (όπως στο σχ. 4). Αυτή η δομή είναι τυπική των επιχειρησιακών δικτύων. Δεν συνδέονται όλα τα δυνητικά επιχειρησιακά στοιχεία και δεν είναι όλα εμπλεκόμενα στην τρέχουσα επιχείρηση. Για παράδειγμα, το σχ. 6 απεικονίζει ένα δίκτυο με δέκα κόμβους, αλλά μόνο τρεις συμμετέχουν στην τρέχουσα επιχείρηση.



Σχήμα 6: Νοητό επιχειρησιακό δίκτυο.

Ορισμένες ενδιαφέρουσες σχέσεις προκύπτουν από αυτή την τοπολογία. Πρώτον, παρατηρούμε τον μέγιστο αριθμό συνδέσεων σε ένα μη κατευθυνόμενο δίκτυο με n κόμβους είναι

$$\binom{n}{2} = \frac{n(n-1)}{2},$$

Όπου $m < [(n(n-1))/2]$. Σε ένα κατευθυνόμενο δίκτυο με n κόμβους, ο μέγιστος αριθμός συνδέσεων είναι $n(n-1)$, άρα $m < n(n-1)$. Αν όλοι οι κόμβοι σε ένα γράφημα είναι συνδεδεμένοι, το γράφημα είναι πλήρες. Σε ένα κατευθυνόμενο δίκτυο, όπως αυτό του σχ. 6, έχουμε 90 πιθανές συνδέσεις.

Περαιτέρω, είναι σημαντικό να αναλύσουμε το ρόλο των συνδεδεμένων υποδομών οι οποίες είναι έμμεσα συνδεδεμένες με την επιχείρηση, για παράδειγμα οι κόμβοι 6 και 8 συνδέονται στον κόμβο 7, αν ο κόμβος είναι ο διοικητής και διαχειριστής της επιχείρησης τότε οι κόμβοι 6 και 8 μάλλον είναι πληροφοριοδότες διαθέσιμοι στον διοικητή. Παραδείγματα είναι ενσωματωμένα μακρυσμένα κέντρα ζεύξης και διεθνή κέντρα πληροφοριών. Αυτές οι συνδέσεις επιτρέπουν στους συμμετέχοντες να συνεργάζονται για μια απόφαση. Η συνεργασία σε αυτό τη περίπτωση βελτιώνει την ποιότητα (ακρίβεια, επικαιρότητα και πληρότητα) της κοινής επίγνωσης και ως εκ τούτου αποτελεί χαρακτηριστικό της διοίκησης, του ελέγχου και των επικοινωνιών.

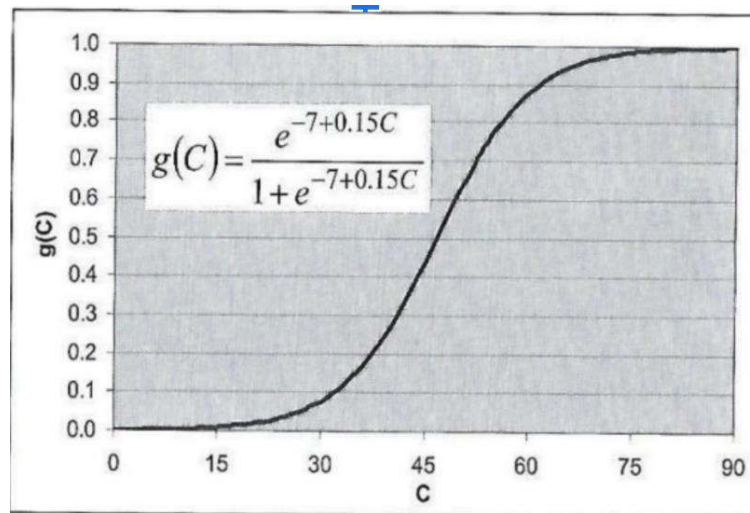
14.3 ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ ΔΙΚΤΥΩΝ

Σε ένα καλὰ συνδεδεμένο δίκτυο υπάρχουν πολλές πληροφορίες που κατευθύνονται στους κόμβους λήψης αποφάσεων. Η "υπερφόρτωση πληροφοριών" μπορεί να βλάψει τις επιχειρήσεις. Αντί να επιταχύνει την ολοκλήρωση των εργασιών, μπορεί να επιβραδύνει τη λήψη αποφάσεων, καθώς το προσωπικό και οι διοικητές κοσινίζουν τις πληροφορίες για να βρουν αυτό που χρειάζονται. Θεωρώ ότι αυτό είναι μια αρνητική επίδραση της πολυπλοκότητας και υποστηρίζω ότι κάθε σύστημα διοίκησης και ελέγχου την παρουσιάζει σε κάποιο βαθμό, ανεξάρτητα από τα συστήματα φιλτραρίσματος του δικτύου. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, αγνώστος προς το παρόν τις ευεργετικές επιδράσεις της πολυπλοκότητας που απορρέουν από τον νόμο του Metcalf. Εμείς μπορούμε να σκεφτούμε αυτές τις αρνητικές επιδράσεις ως συνάρτηση του συνολικού αριθμού των συνδέσεων με τους κόμβους της επιχείρησης ή του συνολικού βαθμού-εισόδου της επιχείρησης.

Παρόλο που εστιάζω εδώ στις αρνητικές επιδράσεις της πολυπλοκότητας ή στην πιθανή κατάχρηση του δικτύου, η πολυπλοκότητα μπορεί να ωφελήσει τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων. Στην ακόλουθη απλή ανάλυση, θα μπορούμε να αναπαραστήσουμε τα οφέλη από την πολυπλοκότητα σε όρους συνεργασίας που είναι πιθανό να βοηθήσει. Εάν αφήσουμε το C να αντιπροσωπεύει τον συνολικό αριθμό των συνδέσεων στο δίκτυο,

$C = \sum_{i=1}^k d_i n_i$. Για μικρές τιμές του C , η επίδραση της πολυπλοκότητας είναι αμελητέα και για κάποιο εύρος αυξάνεται ραγδαία. Το φαινόμενο εξισορροπείται σε αυτό που μπορούμε να αναφέρουμε ως το σημείο υπερφόρτωσης πληροφοριών - όταν οι πληροφορίες που φτάνουν από πολλαπλές συνδέσεις είναι τόσο μεγάλες που πρακτικά προκαλούν το κλείσιμο των λειτουργιών. Παρόλο που η ακριβής λειτουργική σχέση δεν είναι γνωστή, μια σχέση λογιστικής ή 'καμπύλης S ' μεταξύ του C και του παράγοντα πολυπλοκότητας παρουσιάζει την κατάλληλη συμπεριφορά. Εάν αφήσουμε το $g(C)$ να αντιπροσωπεύει τον παράγοντα πολυπλοκότητας, έχουμε $g(C) = \frac{e^{a+bC}}{1+e^{a+bC}}$

Οι παράμετροι a και b καθορίζουν τόσο την περιοχή της ελάχιστης επίπτωσης όσο και το μέγεθος του περιοχής ταχέως αυξανόμενης επίπτωσης. Η καμπύλη αυτή αναφέρεται μερικές φορές ως απόκριση εφοδιαστικής αλυσίδας ή καμπύλη ανάπτυξης²¹. Το σχ. 7 απεικονίζει μια τυπική συνάρτηση πολυπλοκότητας για την από 0 έως 90 πιθανές συνδέσεις για το δίκτυο του σχ. 6. Υποθέτοντας ότι η λογιστική καμπύλη είναι το κατάλληλο μοντέλο για τον παράγοντα πολυπλοκότητας, πρέπει ακόμη να επιλέξουμε τους συντελεστές. Προφανώς, αυτοί εξαρτώνται από την εκάστοτε εφαρμογή, οπότε είναι καλύτερο να τους εξάγουμε από τον πειραματισμό. Στην αυτήν την περίπτωση, είναι νοητοί.



Σχήμα 7: Τυπική συνάρτηση πολυπλοκότητας για το δίκτυο του σχήματος.

Συνεπώς, η επίδραση της πολυπλοκότητας μετριέται μέσω της συνάρτησης μεταφοράς που παρουσιάζεται στο σχ. 5. Σημειώστε ότι θέτουμε $P(m_0) = 1$, οπότε η προκύπτουσα κοινή έκφραση είναι

$$P(m_0, m_1) = P(m_0)P(m_1|m_0)$$

$$= 1 \cdot \frac{1}{1-g(C)}$$

$$= \frac{1}{1-g(C)}$$

Όταν ο αριθμός των συνδέσεων είναι χαμηλός, η πολυπλοκότητα δεν επηρεάζει πολύ την καθυστέρηση, αλλά αυξάνεται απότομα μεταξύ 30 και 60 συνδέσεων, ενώ εξισορροπείται σχεδόν σε παράλυση στις 90 συνδέσεις.

14.4 ΓΝΩΣΗ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΗ ΦΘΟΡΑ

Η χρονική αβεβαιότητα αντανακλά την έλλειψη γνώσης. Η γνώση του ακριβούς χρόνου που χρειάζεται κάθε αβεβαιότητα των εργασιών μας βοηθάει να τις σχεδιάσουμε και να τις εκτελέσουμε, ενώ η έλλειψη γνώσης μπορεί να οδηγήσει σε κακό σχεδιασμό και αποτυχία της αποστολής. Έτσι, είναι σημαντικό να αξιολογηθεί ποσοτικά η γνώση ενός λήπτη αποφάσεων

κατά την διάρκεια λήψης μιας απόφασης. Για να το κάνουμε αυτό, στρεφόμαστε στον τομέα της θεωρίας της πληροφορίας και στην έννοια της εντροπίας σχηματισμού ή της μέσης πληροφορίας σε μια κατανομή πιθανοτήτων.

Η εντροπία πληροφορίας (ή *εντροπία Shannon από τον Claude Shannon*³¹) μετρά τη μέση ποσότητα πληροφορίας σε μια κατανομή πιθανοτήτων. Ορίζεται ως

$$H[f(t)] = H(t) = - \int_{r=0}^{\infty} \ln[f(t)]f(t)dt.$$

Η εφαρμογή αυτής της έκφρασης στην εκθετική κατανομή μας δίνει

$$H(t) = \int_{t=0}^{\infty} \ln[\lambda e^{-\lambda t}] \lambda e^{-\lambda t} dt = 1 + \ln\left(\frac{1}{\lambda}\right) = \ln\left(\frac{e}{\lambda}\right)$$

Σημειώστε ότι, όπως θα περιμέναμε, η εντροπία μεταβάλλεται με τη διακύμανση της κατανομής. Καθώς $(1/\lambda^2)$ αυξάνεται (το λ μειώνεται), αυξάνεται επίσης η $H(t) = \ln(e/\lambda)$.

Σημειώστε επίσης ότι η εντροπία είναι απεριόριστη για αυτή την κατανομή, όπως είναι για όλες τις συνεχείς κατανομές.

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη συνάρτηση της εντροπίας για να αναπτύξουμε ένα μέτρο γνώσης αξιολογώντας πρώτα την "βεβαιότητα" στη συνάρτηση πυκνότητας, η οποία απαιτεί να αποδώσουμε ένα κατά προσέγγιση ανώτερο όριο στην $H(t)$. Αυτό ισοδυναμεί με την ανάθεση ενός μέγιστου αναμενόμενου χρόνου για την ολοκλήρωση μιας δεδομένης εργασίας, κάτι που δεν είναι πολύ δύσκολο στις περισσότερες περιπτώσεις. Εάν αφήσουμε το $(1/\lambda)_{\max} = \lambda_{\min}$ να αντιπροσωπεύει τον μέγιστο αναμενόμενο χρόνο, θα μπορούμε να γράψουμε ένα μέτρο βεβαιότητας ή γνώσης ως εξής

$$k(t) = \ln\left(\frac{e}{\lambda_{\min}}\right) - \ln\left(\frac{e}{\lambda}\right) = \ln\left(\frac{\lambda}{\lambda_{\min}}\right)$$

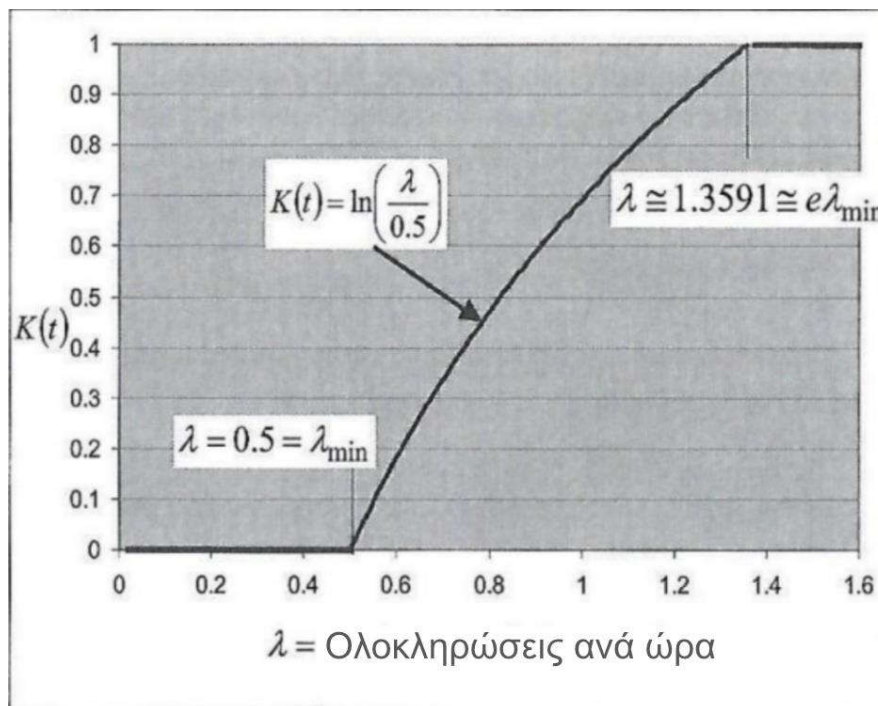
Επειδή ο όρος $k(t)$ είναι παράγωγος της εντροπίας πληροφορίας, επεκτείνουμε τη σύμβαση της χρήσης t ως λειτουργικό όρισμα.

Σημειώστε ότι αυτή η ποσότητα δεν έχει διάσταση, οπότε μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε άμεσα για να επηρεάσουμε τα μέτρα αποτελεσματικότητας της μάχης. Θέλουμε όμως το μέτρο της γνώσης κανονικοποιημένο. Για να γίνει αυτό, σημειώστε ότι όταν

$\lambda = \lambda_{\min}$, $k(t) = \ln(1) = 0$ και όταν $\lambda/\lambda_{\min} = e$, $k(t) = \ln(e) = 1$. Αυτές οι σχέσεις υποδηλώνουν τον ακόλουθο ορισμό:

$$K(t) = \begin{cases} 0 & \text{αν } \lambda < \lambda_{\min} \\ \ln(\lambda / \lambda_{\min}) & \text{αν } \lambda_{\min} \leq \lambda < e\lambda_{\min} \\ 1 & \text{αν } \lambda \geq e\lambda_{\min} \end{cases}$$

Ένα πρόβλημα με αυτόν τον τύπο είναι η συνθήκη για την "τέλεια" γνώση, η οποία εμφανίζεται όταν $K(t) = 1$ ή όταν ο αναμενόμενος χρόνος για την ολοκλήρωση μιας εργασίας, $1/\lambda$, είναι περίπου το ένα τρίτο του μέγιστου αναμενόμενου χρόνου για την ολοκλήρωσή της. Σε ορισμένες περιπτώσεις, μπορεί να θέλουμε να θέσουμε πιο αυστηρές προϋποθέσεις για την "τέλεια" γνώση θέτοντας την κατανομή πιθανότητας σε όρους $M > e$. Αν και η κατανομή δεν θα έχει ακριβώς τη μορφή της εκθετικής με βάση το e , θα έχει μια παρόμοια μορφή και η συνθήκη για την "τέλεια" γνώση θα είναι πιο αυστηρή. Το σχ. 8 απεικονίζει τη συνάρτηση γνώσης για $\lambda_{\min} = 0.5$ ολοκληρώσεις ανά ώρα ή μέγιστο χρόνο δύο ώρες για την ολοκλήρωση μιας εργασίας.



Σχήμα 8: Συνάρτηση γνώσης.

14.5. ΣΥΝΕΡΓΑΣΙΑ

Η συνεργασία συμβάλλει στο έργο του εντοπισμού και της εμπλοκής των εχθρικού αποβατικού πλοίου. Αλλά πρώτα, πρέπει να ορίσω τον βαθμό-εισόδου ενός κόμβου από τη θεωρία γραφημάτων:

Βαθμός-εισόδου: σε έναν κατευθυνόμενο γράφημα είναι ο αριθμός των ακμών που έχουν τον x_i , ως τελικό κόμβο^{10,15}

Το γράφημα του δικτύου στην εικόνα 5 είναι ένα κατευθυνόμενο γράφημα. Σημειώστε ότι ο κόμβος 6 στο σχ. 6, για παράδειγμα έχει βαθμό-εισόδου 4.

Η δυνατότητα συνεργασίας εξαρτάται από τον αριθμό των κόμβων που συμμετέχουν στις επιχειρήσεις και τους άλλους κόμβους με τους οποίους συνδέονται, ή τον βαθμό-εισόδου του κόμβου. Η ποιότητα της συνεργασίας, όπως αντιπροσωπεύεται από τη συλλογική γνώση της ομάδας, έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση της εργασίας και λήψης απόφασης, να διατάζει την εκτέλεσή της και να αναλάβει την απαιτούμενη δράση. Αυτό είναι ένα σημαντικό σημείο, διότι μπορεί να προκαλέσει σύγχυση, με το να μειώνουμε "αποτελεσματικά" τον απαιτούμενο χρόνο, εμείς αναγνωρίζουμε ότι η ποιοτική συνεργασία μπορεί να μην επηρεάζει τον "πραγματικό" χρόνο για την ολοκλήρωση της εργασίας, αλλά παρέχει την ευκαιρία να χρησιμοποιηθεί ο διαθέσιμος χρόνος με μεγαλύτερη σύνεση. Έτσι, καθιστά τη βελτίωση της ποιότητας του τελικού αποτελέσματος της επιχείρησης πιο πιθανή, Ένα πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι τι μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε για να εκφράσουμε την ποιότητα της συνεργασίας μεταφράζοντάς την σε πρόσθετο χρόνο για την εκτέλεση μιας εργασίας ή αποστολής. να διατάζει την εκτέλεσή της και να αναλάβει την απαιτούμενη δράση. Αυτό είναι ένα σημαντικό σημείο, διότι μπορεί να προκαλέσει σύγχυση εδώ και αλλού σε αυτό την διατριβή. Με το να μειώνουμε "αποτελεσματικά" τον απαιτούμενο χρόνο, εμείς αναγνωρίζουμε ότι η ποιοτική συνεργασία μπορεί να μην επηρεάζει τον "πραγματικό" χρόνο για την ολοκλήρωση της εργασίας, αλλά παρέχει την ευκαιρία να χρησιμοποιηθεί ο διαθέσιμος χρόνος με μεγαλύτερη σύνεση. Έτσι, καθιστά τη βελτίωση της ποιότητας του τελικού αποτελέσματος της επιχείρησης πιο πιθανή, Ένα πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε για να εκφράσουμε την ποιότητα της συνεργασίας με όρους που έχουν νόημα για τους χειριστές με μεταφράζοντάς την σε πρόσθετο χρόνο για την εκτέλεση μιας εργασίας ή αποστολής.

Για μια κατευθυνόμενη σύνδεση, η συνάρτηση γνώσης, $k_j(t)$, θα είναι κοντά στο 1 εάν η ποιότητα των αλληλεπιδράσεων μεταξύ του τελικού κόμβου της ομάδας, i , και οποιουδήποτε άλλου συνδεδεμένου αρχικού κόμβου, j , είναι "καλή". Αυτή η τιμή της συνάρτησης γνώσης αντιπροσωπεύει το γεγονός ότι ο κόμβος j μπορεί να παρέχει ποιοτικές πληροφορίες στον

κόμβο εκτέλεσης. Εάν το $k_j(t)$ είναι μεγάλο, το $1 - k_j(t) \leq 1$ θα είναι μικρό. Όταν πολλαπλασιαστεί με τον πραγματικό μέσο χρόνο ολοκλήρωσης της εργασίας, $1/l_i$, θα προκύψει μια αποτελεσματική καθυστέρηση μικρότερη από την πραγματική καθυστέρηση $1/l_i$.

Εάν αφήσουμε d_i να είναι ο βαθμός-εισόδου του κόμβου της ομάδας, i , μπορούμε να εκφράσουμε τη συμβολή της ποιοτικής συνεργασίας στη λειτουργία του κόμβου i ως το γινόμενο

$$c_i(t) = \prod_{j=1}^{d_i} (1 - K_j(t))^{w_j}$$

Όπου

$w_j = 0.5$ αν ο κόμβος j δεν είναι συνδεδεμένος άμεσα στην επιχείρηση.

Και

$w_j = 1.0$ αν ο κόμβος j είναι συνδεδεμένος άμεσα στην επιχείρηση.

Ο εκθέτης, w_j , αντιπροσωπεύει τη σχετική σημασία της συνεργασίας μεταξύ δύο κόμβων. Σε αυτή την περίπτωση, χωρίς πειραματικά δεδομένα, χρησιμοποιούμε μόνο δύο επίπεδα: σημαντικό (0.5) και πολύ σημαντικό (1.0). Ίσως μια πλουσιότερη κατανομή να αντανακλούσε με μεγαλύτερη ακρίβεια τις αποχρώσεις στην αποτελεσματικότητα της συνεργασίας και του τρόπου με τον οποίο επηρεάζει την καθυστέρηση, αλλά αυτό μένει για περαιτέρω ανάλυση μέσω πειράματος.

Επιστρέφοντας τώρα στο γενικό πλαίσιο που παρουσιάζεται στο σχ. 4, έχουμε την ακόλουθη κοινή αξιολόγηση των επιδόσεων:

Εξίσωση 1: $P(m_0, m_1, m_2) = P((m_0, m_1)f(m_0|m_1)) = \frac{1}{1-g(c)} \sum_{i=1}^k \prod_{j=1}^{d_i} [(1 - K_j(t))^{w_j}]^{\frac{d_i}{l_i}}$

Το **αποτέλεσμα** της συνεργασίας είναι η μείωση του συνολικού αναμενόμενου χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση της αποστολής, και η "καλή" συνεργασία τον μειώνει περαιτέρω. Εάν μία από τις τιμές της μέτρησης ποιότητας για έναν κόμβο που συνεργάζεται με έναν εμπλεκόμενο κόμβο είναι 1.0, ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρώσει ο εμπλεκόμενος κόμβος τη δική του αποστολή του είναι 0. Λόγω του τρόπου υπολογισμού της μέτρησης ποιότητας, ωστόσο, αυτό το αποτέλεσμα δεν μπορεί να συμβεί.

§15. Ο ΑΝΤΙΚΤΥΠΟΣ ΣΤΙΣ ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΕΙΣ-ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΟΤΗΤΑΣ

Η απόδοση του δικτύου-κεντρικού συστήματος διοίκησης και ελέγχου ορίζεται στην εξίσωση 1. Για λόγους ευκολίας, αφήνουμε το $E(L)$ να αντιπροσωπεύει την πραγματική καθυστέρηση ή

$$E(L) = P(m_0, m_1, m_2) = \frac{1}{1-g(c)} \sum_{i=1}^k \prod_{j=1}^{d_i} [(1 - K_j(t))^{w_j}]^{\frac{d_i}{l_i}}$$

Το επόμενο βήμα είναι ο υπολογισμός του συνολικού μέτρου αποτελεσματικότητας, σημειώνοντας ότι υποθέσαμε ότι ένα κανονικοποιημένο μέτρο δεν ήταν δυνατό:

$$P(m_0, m_1, m_2, 0) = f(0, P(m_0, m_1, m_2))$$

Σε αυτή τη μορφή, το C είναι η πιθανότητα εντοπισμού του στόχου ΖΕΥΣ. Για ευκολία, ορίζουμε την ποσότητα αυτή ως $P_d(T)$, όπου T είναι ο πραγματικός διαθέσιμος χρόνος αναζήτησης. Εάν αφήσουμε το S να αντιπροσωπεύει το χρονικό διάστημα που το εχθρικό πλοίο χρειάζεται για να αγκυροβολήσει στην φίλια ακτογραμμή, έχουμε $T = S - E(L)$ οπότε $T = f[E(L)]$. Σημειώστε η περίπτωση όπου $T \leq 0$ δεν είναι πολύ ενδιαφέρουσα, οπότε υποθέτουμε $T > 0$.

Για την περίπτωση του απειλητικού πλοίου αποβίβασης που βρίσκεται στα ανοικτά της ακτογραμμής, η πιθανότητα εντοπισμού του είναι η πιθανότητα ότι το ελικόπτερο μπορεί να το ανιχνεύσει, και η πυροβολαρχία να πλήξει με πυρομαχικά το πλοίο πριν αυτό αποβιβαστεί. Αν και μας απασχολούν η ανίχνευση και η απόκτηση, για ευκολία στην έκθεση, θα αναφέρομαι και στα δύο απλά ως "ανίχνευση". Αυτή η ανίχνευση εξαρτάται από την ποιότητα (ακρίβεια, επικαιρότητα και συχνότητα) του εντοπισμού και της εκτίμησης της ταχύτητας του εχθρικού όπλου, και τα χαρακτηριστικά του όπλου επίθεσης.

Για ενδεικτικούς λόγους, υποθέτουμε ότι η πυροβολαρχία θα επιτεθεί με χρήση συστήματος εκτόξευσης πολλαπλών πυραύλων, οι πύραυλοι αφού εκτοξευτούν ελέγχονται από το φιλικό ελικόπτερο, οι πύραυλοι επίσης έχουν ηλεκτροπνικίου συστήματος μέσω του που μπορεί να εντοπίσει το απειλητικό πλοίο στην επιφάνεια, στην συνέχεια.

Δεν αναμένουμε ότι το ελικόπτερο να ανιχνεύσει άμεσα το αποβατικό πλοίο, Αντ' αυτού, ο πιλότος θα χρησιμοποιήσει την οθόνη του πιλοτηρίου για να ανιχνεύσει το στόχο και στη συνέχεια να κλειδώσει τον πύραυλο πάνω του. Για λόγους απλότητας, ας θεωρήσουμε ότι το

ελικόπτερο αναζητά στο "τόξο της αβεβαιότητας" του στόχου, με τα συστήματα ανίχνευσης του ελικοπτήρου να χρησιμοποιείται ως απομακρυσμένος αισθητήρας. Ας υποθέσουμε επίσης ότι ο εμπλεκόμενος πύραυλος θα εξουδετερώσει το πλοίο γρήγορα μετά την απόκτησή του. Με άλλα λόγια, Αγνοούμε το χρόνο πτήσης στην περιοχή απόκτησης και την αξιοπιστία του όπλου.

15.1 Ανίχνευση και απόκτηση στόχου

Εάν ορίσουμε $q(T) = 1 - P_d(T)$ τότε $q(T)$ είναι η πιθανότητα να μην υπάρξουν ανιχνεύσεις κατά τη ίδια χρονική στιγμή. Για μη-ανίχνευση τη χρονική στιγμή $T + dT$, πρέπει να μην έχουμε καμία ανίχνευση μέχρι τη χρονική στιγμή T και καμία ανίχνευση στο χρονικό διάστημα $[T, T + dT]$. Η στιγμιαία πιθανότητα ανίχνευσης ή μη-ανίχνευσης εξαρτάται από το πλάτος της σάρωσης αναζήτησης και την ταχύτητα αναζήτησης, όπως απεικονίζεται στο σχ. 8. Δεν μεταβάλλεται με το χρόνο. Η αποτυχία ανίχνευσης μέχρι τη χρονική στιγμή T είναι ανεξάρτητη από την αποτυχία ανίχνευσης μέχρι τη χρονική στιγμή $T + dT$.

Ας υποθέσουμε ότι το s συμβολίζει το πλάτος σάρωσης σε ναυτικά μίλια, το n συμβολίζει την ταχύτητα του πυραύλου σε κόμβους, και το A αντιπροσωπεύει την περιοχή αβεβαιότητας (ΠΑ) σε τετραγωνικά ναυτικά μίλια. Τότε η πιθανότητα ανίχνευσης στο χρονικό διάστημα, $[T, T + dT]$, είναι $sndT/A$, και η πιθανότητα μη-ανίχνευσης είναι $1 - sndT/A$. Για λόγους ευκολίας, ορίζουμε $g \frac{sn}{A}$, οπότε η πιθανότητα να μην γίνει καμία ανίχνευση μέχρι τη χρονική στιγμή, $[T + dT]$ είναι $q(T + dT) = q(T)(1 - gdT) = q(T) - q(T)gdT$. Η αναδιάταξή μας δίνει

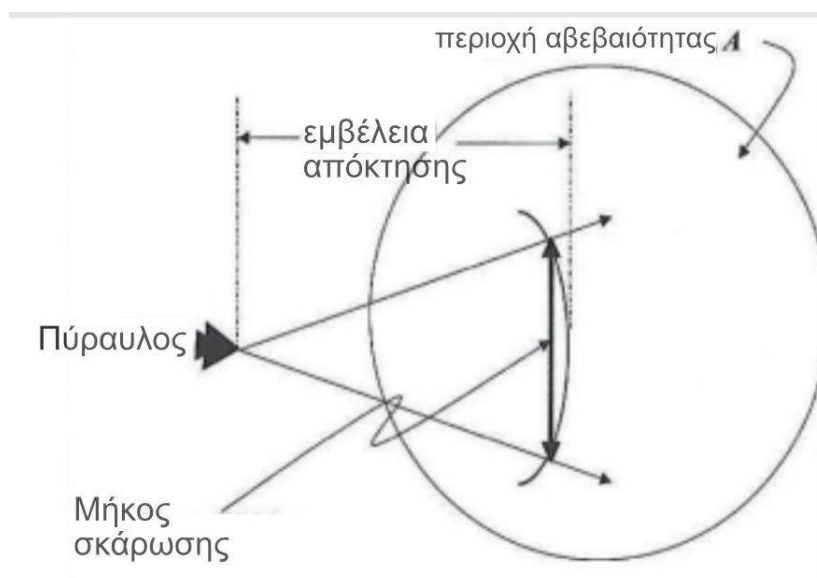
$$\frac{q(T + dT) - q(T)}{dT} = -q(T)g$$

Υπολογίζουμε το όριο του παραπάνω με $dT \rightarrow 0$, και παίρνουμε $\frac{dq(T)}{dT} = -gq(T)$. Η λύση αυτής της διαφορικής εξίσωσης είναι $q(T) = a + e^{-gT}$ για μια τυχαία σταθερά a . Επειδή είναι βέβαιο ότι κανένας χρόνος που αφιερώνεται σε αναζήτηση δεν θα οδηγήσει σε καμία ανίχνευση, έχουμε την οριακή συνθήκη $q(0) = 1$ Επομένως, $a = 0$,

$$q(T) = e^{-gT}, \text{ , και η πιθανότητα ανίχνευσης είναι } P_d(T) = 1 - e^{-gT} \quad 17$$

Όπως απεικονίζεται στην εικ. 9, η περιοχή αβεβαιότητας (ΠΑ) είναι μια κυκλική περιοχή, αλλά η πραγματική του σχήματος εξαρτάται από το τι γνωρίζει η φίλια δύναμη για την αποστολή του εχθρικού πλοίου- εκ των προτέρων γνώση. Εάν είναι γνωστό ότι το ΖΕΥΣ βρίσκεται καθ' οδόν για να αντικαταστήσει το καταστραμμένο πλοίο, ο φιλικός διοικητής γνωρίζει ότι δεν πρέπει να αναζητήσει την πλήρη σάρωση 360°, επειδή είναι απίθανο το πλοίο να αλλάξει κατεύθυνση ή παρειακλίνει από την πορεία του. Υποθέτουμε επίσης ότι το μέγεθος της ΠΑ θα αυξάνεται με το του τετραγώνου του χρόνου που παρήλθε από την τελευταία ενημέρωση θέσης ΖΕΥΣ. Αυτή η υπόθεση είναι συνεπής με ένα κυκλικό ΠΑ- ή ένα ΠΑ με "κομμάτι πίτας" (που αντανάκλα την εκ των προτέρων γνώση των ορίων της πορείας)- ή μια ελλειπτική ΠΑ με σταθερή

εικεντρότητα (που αντανακλά τις αβεβαιότητες στην ταχύτητα και την πορεία). Το αποτέλεσμα της γνώσης σε αυτή την περίπτωση είναι η μείωση του μεγέθους της ΠΑ περιορίζοντας την αναζήτηση σε ένα κλάσμα του κύκλου που συμπίπτει με την κατεύθυνση του πλοίου.



Εικόνα 9: Επιχείρηση αναζήτησης και καταστροφής στόχου.

Το μέγεθος του ΠΑ εξαρτάται από τον χρόνο που έχει παρέλθει, t_u από την τελευταία ενημέρωση και από την ταχύτητα του αποβατικού πλοίου, με άλλα λόγια,

$A = \pi \left(\frac{r}{k}\right)^2 = \pi \left(\frac{wt_u}{k}\right)^2$ όπου $0 < 1/\sqrt{k} \leq 1$ είναι το κλάσμα του κύκλου που πρέπει να ερευνηθεί με βάση την προηγούμενη γνώση της διαδρομής του πλοίου. Για λόγους απλότητας, αγνοούμε την πιθανότητα να αυξηθεί το ΠΑ κατά τη διάρκεια της έρευνας.

Ομοίως, αγνοούμε τη δυνατότητα ενημέρωσης των δεδομένων-στόχων κατά τη διάρκεια της αναζήτησης. Τώρα, η αθροιστική συνάρτηση πιθανότητας ανίχνευσης γίνεται $P_d(T) = 1 -$

$$e^{-\frac{svk^2}{\pi(wt_u)^2}T}$$

Αν και ο φίλιος διοικητής δεν μπορεί να ελέγξει την ταχύτητα του στόχου, t_u , ο βελτιωμένος εξοπλισμός και οι διαδικασίες μπορούν να επηρεάσουν σε μεγάλο βαθμό τα n , s και T - και η καλή πληροφόρηση μπορεί να επηρεάσει το \sqrt{k} .

15.2 Πιθανότητα εξόντωσης

Η πιθανότητα, $P_t(T)$, είναι η πιθανότητα ο στόχος να εντοπιστεί μέχρι τη χρονική στιγμή T . Είναι η αθροιστική κατανομή πιθανότητας για τη συνάρτηση πυκνότητας

$$f_d(T) = g e^{-gT}.$$

Η συνάρτηση αυτή έχει μέση τιμή $\frac{1}{g} = \frac{\pi(wt_u)^2}{sn}$. Ο οποίος είναι ο αναμενόμενος χρόνος που απαιτείται για τον εντοπισμό του στόχου.

Όπως και με τους χρόνους που απαιτούνται για τη συλλογή, την επεξεργασία και τη διανομή των πληροφοριών, μπορούμε να προσδιορίσουμε έναν μέγιστο αναμενόμενο χρόνο. Έτσι, αξιολογούμε τη γνώση που βρίσκεται στην πυκνότητα του χρόνου ανίχνευσης $f_d(T)$, ως

$$K(T) = \begin{cases} 0 & \text{if } \gamma < \gamma_{\min} \\ \ln(\gamma / \gamma_{\min}) & \text{if } \gamma_{\min} \leq \gamma < e\gamma_{\min} \\ 1 & \text{if } \gamma \geq e\gamma_{\min} \end{cases}$$

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτή την έκφραση για να αντικατοπτρίσουμε την ποιότητα της εκτίμησης της θέσης του στόχου επηρεάζοντας την πιθανότητα ανίχνευσης. Σε γενικές γραμμές, εάν το $K(T)$ είναι μεγάλο - που σημαίνει ότι η αβεβαιότητα σχετικά με τον αναπομένοντα χρόνο αναζήτησης είναι μικρή, θα περιμέναμε μια αναζήτηση πιο αποτελεσματικά προσαρμοσμένη στο διαθέσιμο χρόνο. Η μικρότερη αβεβαιότητα μειώνει επίσης αποτελεσματικά την περιοχή αναζήτησης. Εάν το ποσό της μείωσης είναι $1 - K(T)$, η περιοχή εκλεκτικής αναζήτησης, E_A , γίνεται

$$E_A = [1 - K(T)] \left(\frac{wt_u}{k} \right)^2.$$

Εφαρμόζοντας αυτή την έκφραση (ο την εξίσωση της πιθανότητας ανίχνευσης μας δίνει την προσαρμοσμένη πιθανότητα ανίχνευσης

$$p_d(T) = 1 - e^{-\frac{svk^2}{[1-K(T)]\pi(wt_u)^2}T} \quad \text{Εξ. (2)}$$

Ας υποθέσουμε ότι p_d είναι η ενισχυμένη από τη γνώση πιθανότητα θανάτου. Τότε, στην περίπτωση αυτή για p που η ανίχνευση ισοδυναμεί με θανάτωση, με πιθανότητα 1.0, έχουμε $p_{K|T} = p_d(T)$.

Η εξίσωση 2 είναι επομένως το τελικό προϊόν που συνδέει την απόδοση του δικτύου-κεντρικού συστήματος διοίκησης και ελέγχου με την αποτελεσματικότητα της μάχης. Έτσι, έχουμε

$$P_e(m_0, m_1, m_w, O) = p_d(T).$$

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Οι μετρήσεις αποτελούν ουσιαστικό μέρος της ανάλυσης σε επιχειρησιακά θέματα άμυνας. Οι αναλυτές πρέπει να πείσουν τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων ότι τα νέα συστήματα μάχης και υποστήριξης μάχης, καθώς και οι νέες επιχειρησιακές έννοιες, θα βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα στο πεδίο της μάχης. Αυτό απαιτεί καλά δομημένη ανάλυση βασισμένη σε υγιή μέτρα απόδοσης και αποτελεσματικότητας. Τα μέτρα πρέπει να έχουν τα χαρακτηριστικά που απαριθμούνται στον πίνακα 1, και οι μετρήσεις που απορρέουν από αυτά πρέπει να είναι επιχειρησιακά συναφείς.

Η σύνδεση των μέτρων απόδοσης με τα μέτρα αποτελεσματικότητας και τα μέτρα αποτελεσματικότητας με τα μέτρα αποτελέσματος, είναι απαραίτητη για να πειστούν οι υπεύθυνοι λήψης αποφάσεων για τη σημασία των καινοτόμων συστημάτων για την υποστήριξη μάχης και την υποστήριξη υπηρεσιών μάχης. Αν και οι περισσότεροι άνθρωποι πιστεύουν ότι αυτή η ιδέα είναι αληθινή, οι αποδείξεις τους είναι συνήθως ανεπίσημες. Χρειάζονται μέτρα του συστήματος απόδοσης που επηρεάζουν άμεσα τα μέτρα αποτελεσματικότητας της μάχης, καθώς και μέτρα αποτελεσματικότητας που επηρεάζουν τα μέτρα επιχειρησιακού αποτελέσματος.

Σε αυτή την εργασία, προτάθηκε ένα χρήσιμο πλαίσιο για το έργο αυτό και παρουσιάστηκε η εφαρμογή του σε ένα συγκεκριμένο επιχειρησιακό πρόβλημα. Όμως οι προτάσεις που διατυπώθηκαν είναι όλες θεωρητικές. Πολύ περισσότερη δουλειά πρέπει να γίνει για να προωθηθούν αυτές οι έννοιες και να προωθηθούν άλλες προσεγγίσεις.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ackoff, R. L. 1978. *The Art of Problem Solving*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
2. Alberts, D.S., J. J. Garstka, and F. P. Stein. 2000. *Network Centric Warfare: Developing and Leveraging Information Superiority*, second ed. Washington, DC: The DoD C4ISR Cooperative Research Program.
3. Arnold, J. D. 1978. *The Art of Decision Making: Seven Steps to Achieving More Effective Results*. New York, NY: AMACOM Executive Books.
4. Askins, S. W. 2000. *The Black Box Conundrum of Network Centric Warfare*. Thesis. Newport, RI: Naval War College.
5. Ayyub, B., and R. McCuen. 1997. *Probability, Statistics and Reliability for Engineers*, second ed. New York, NY: Chapman & Hall/CRC Press.
6. Blahut, R. E. 1988. *Principles and Practice of Information Theory*. Boston, MA: AddisonWesley.
7. Blake, I. F. 1987. *An Introduction to Applied Probability*. Melbourne, FL: Krieger.
8. Bowerman, B., and R. O'Connell. 1990. *Linear Statistical Models: An Applied Approach*, second ed. Boston, MA: PWS-Kent Publishing Co.
9. Builder, C. H., S. Bankes, and R. Nordin. 1999. *Command Concepts: A Theory Derived from the Practice of Command and Control*, MR-75-OSD. Santa Monica, CA: RAND Corporation.
10. Christofides, N. 1975. *Graph Theory: An Algorithmic Approach*. London: Academic Press.
11. Darilek, R., W. Perry, J. Gordon, B. Nichiporuk, and J. Bracken. 2000. *Measures of Effectiveness for the Information-Age Army*, MR-1155-1. Santa Monica, CA: RAND Corporation.
12. Dauer, Francis W. 1989. *Critical Thinking: An Introduction to Reasoning*. New York, NY: Barnes & Noble.
13. Dhillon, B. S. 1988. *Mechanical Reliability: Theory, Models and Applications*. Washington, DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics.
14. Friedel, M.F 1969, *On the Structure of Shared Awareness*. *Behavioral Science*, Vol. 14, No. 1: 28-39.
15. Jackson, B.W., and D. Thoro. 1990. *Applied Combinatorics with Problem Solving*. Boston, MA: Addison-Wesley.
16. Keeney, R. L., and H. Raiffa. 1976. *Decisions with Multiple Objectives: Preferences and Tradeoffs*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
17. Koopman, B. 1980. *Search and Screening: General Principles with Historical Applications*. New York, NY: Pergamon Press.
18. Kraut, R. E., M. Miller, and J. Siegel. 1996. *Collaboration in Performance of Physical Tasks: Effects on Outcomes and Communication*. Proceedings of the ACM 1996 Conference on Computer Supported Cooperative Work. Boston, MA., November 16-

- 20, 1996, pp. 57- 66.
19. Kreyzig, E. 1978. Introductory Functional Analysis, Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
20. Lucas, T. February 2001. Course Notes for OA 4655 Joint Combat Modeling. Naval Postgraduate School.
21. Neter, J., and W. Wasserman. 1974. Applied Linear Statistical Models. Chicago, IL: R.D. Irwin.
22. Parkinson, C. 1957. Parkinson's Law and other Studies in Administration, Boston, MA: Houghton Mifflin.
23. Pecht, M., ed. 1995. Product Reliability, Maintainability and Supportability Handbook. New York, NY: Chapman & Hall/CRC Press.
24. Perry, W. 2000. Knowledge and Combat Outcomes. Military Operations Research Journal, Vol. 4, No 1.
25. Perry, W., and J. Moffat. 1994. The Value of Information on the Outcome of Maritime Operations: The Use of Experts in Analysis. Proceedings of 11th International Symposium on Operational Research, Shrivenham, Wiltshire, UK, 5-9 September.
26. 1995/1997. Developing Models of Decision Making. Proceedings of 12th International Symposium on Operational Research, Shrivenham, Wiltshire, UK, 5-8 September, and Journal of the Operational Research Society, Vol. 48, No. 5: 457-470.
27. 1997. Measuring Consensus in Decision Making: an Application to Maritime Command and Control. Journal of the Operational Research Society (UK), Vol. 48, No. 4: 383-390.
28. 1997. Measuring the Effect of Knowledge in Military Campaigns. Journal of the Operational Research Society. Vol. 48, No. 10: 965-972.
29. Perry, W., D. Signori, and J. Boon. 2001. Exploring Information Superiority: A Methodology for Measuring the Quality of Information and its Impact on Shared Awareness. DRR 2389-OSD. Santa Monica, CA: RAND Corporation.
30. Perry, W., R. Button, J. Bracken, T. Sullivan, and J. Mitchell. 2001. Measures of Effectiveness for the Information-Age Navy: The Effects of Network-Centric Operations on Combat Outcomes. MR 1449. Santa Monica, CA: RAND Corporation.
31. Shannon, C. 1948. A Mathematical Theory of Communication. Bell System Technical Journal, Vol. 27: 379-423 and 623-556.
32. Stark, H., and J. W. Woods. 1986. Probability, Random Processes and Estimation Theory for Engineers. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall.
33. Wagner, H. 1969. Principles of Operations Research. Upper Saddle River, NJ: PrenticeHall.
34. Waltz, E., and J. Llinas. 1990. Multisensor Data Fusion. Boston, MA: Artech House.

