

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ

Των Καθηγητών: Πάνου Αντσακλή - Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχικών Kevin Passino - Τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχικών

Ο Πάνος Αντσακλής πήρε το πτυχίο του από το Τμήμα Μηχανολόγων- Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π. το 1972 και το M.S και Ph. D. στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του Brown University το 1974 και 1977 αντίστοιχα. Σήμερα είναι τακτικός καθηγητής στο University of Notre Dame, Indiana των Η.Π.Α. στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ. Έχει στο ενεργητικό του πολλές επιστημονικές συνεργασίες με Ακαδημαϊκά Ιδρύματα των Η.Π.Α., της Μ.

Βρετανίας και της Ελλάδας και έχει κερδίσει πολλές ακαδημαϊκές διακρίσεις και χρηματοδοτήσεις για έρευνα. Το ερευνητικό του πεδίο αφορά τα ακόλουθα: **Multivariable System and Control Theory, Autonomous Intelligent Control System (Hybrid and Discrete Event Systems), Neural Networks, Adaptive and Learning Control, Reconfigurable Control of Systems.**

Διεύθυνση: Panos J. Anstaklis, Dept. of Electrical

Εισαγωγή στα ευφυή συστήματα ελέγχου

Αυτόνομος σημαίνει ότι έχει την δύναμη να αυτοκυβερνάσει. Αντίστοιχα, τα συστήματα ρύθμισης με **υψηλούς βαθμούς** αυτονομίας θα πρέπει να έχουν την δύναμη και την ικανότητα για αυτοδιοίκηση κατά την εκτέλεση των λειτουργιών ελέγχου. Αποτελούνται από ένα σύνολο μηχανισμών και λογικών εντολών και μπορούν να εκτελέσουν τις απαραίτητες λειτουργίες ελέγχου χωρίς εξωτερική (ανθρώπινη) επέμβαση και για μεγάλες χρονικές περιόδους. Υπάρχουν ακόμη αρκετοί **βαθμοί αυτονομίας**. Ένα πλήρως αυτόνομο σύστημα ελέγχου θα μπορούσε να

έχει την δυνατότητα της αυτοεπισκευής του, αν κάποιο από τα εξαρτήματά του πάθει βλάβη. Ας έχουμε υπ' όψιν μας ότι τα συμβατικά συστήματα ελέγχου χωρίς δυνατότητα προσαρμογής στο υπό έλεγχο σύστημα θεωρούνται ότι έχουν **χαμηλό βαθμό αυτονομίας**, αφού μπορούν να αντιμετωπίσουν ένα περιορισμένο σύνολο μεταβολών και διαταραχών των παραμέτρων κάποιας βιομηχανικής μονάδας. Αντίθετα, τα συμβατικά συστήματα ελέγχου με δυνατότητα προσαρμογής τους στο υπό έλεγχο σύστημα έχουν υψηλότερο βαθμό αυτονομίας. Για να αποκτήσει ένα σύστημα ελέγχου σημαντικά υψηλότερους βαθμούς αυτονομίας, πρέπει να καταστεί ικανό να εκτελεί μια σειρά από λειτουργίες εκτός από τις συμβατικές λειτουργίες ελέγχου. Αυτές ακριβώς οι πρόσθετες λειτουργίες, οι οποίες προστατεύουν το σύστημα από δυσλειτουργίες, παρουσιάζονται σε αυτήν την δημοσίευση.

Αυτές οι λειτουργίες, όταν εκτελούνται από τους ανθρώπους αναφέρονται ως **ευφυής συμπεριφορά**. Έτσι, ένας τρόπος για να επιτευχθεί αυτονομία σε ορισμένες εφαρμογές είναι να εφαρμόσουμε τεχνικές λήψης αποφάσεων υψηλού επιπέδου - δηλαδή ευφυείς μεθόδους - στο αυτόνομο σύστημα ελέγχου. Για τον λόγο αυτό, θα πρέπει να έχουμε πάντα υπ' όψιν μας ότι:

η αυτονομία είναι ο στόχος μας και τα ευφυή συστήματα ελέγχου είναι ένας τρόπος να πιάσουμε τον στόχο μας.

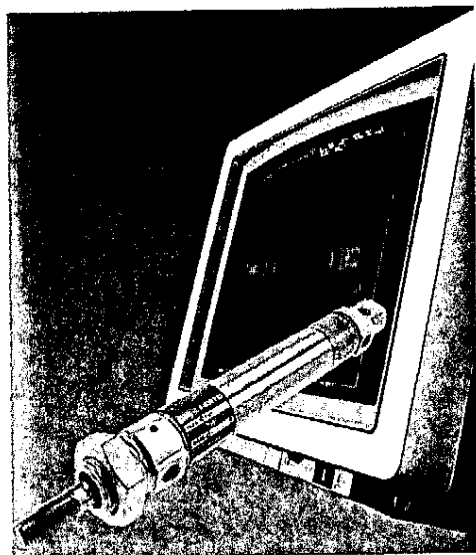
Οι γνωστικές περιοχές της Τεχνητής Νοημοσύνης (ΤΝ) και της Επιχειρησιακής Έρευνας (ΕΕ) μας προσφέρουν αρκετά μέσα για την προσθήκη ικανοτήτων

λήψης αποφάσεων υψηλότερου επιπέδου στα συστήματα ελέγχου.

Λειτουργίες Αυτόνομου Ελέγχου

Τα συστήματα ελέγχου με υψηλή αυτονομία πρέπει να αποδίδουν άριστα κάτω από συνθηκές αστάθειας στην υπό έλεγχο μονάδα και στο περιβάλλον, για μεγάλες χρονικές περιόδους. Πρέπει ακόμη να μπορούν να αντιμετωπίζουν δυσλειτουργίες του συστήματος χωρίς εξωτερική επέμβαση. Αυτά τα συστήματα ελέγχου παρέχουν υψηλούς βαθμούς **προσαρμογής** σε μεταβολές στην μονάδα, στο περιβάλλον και στις παραμέτρους ελέγχου. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση **αριθμητικών** (δηλ. αλγοριθμικών) μεθόδων οι οποίες στηρίζονται στις πιο πρόσφατες θεωρίες του συμβατικού ελέγχου, αναγνώρισης, εκτίμησης και επικοινωνίας, όπως έχουν αυτές αναπτυχθεί για συστήματα χρονικά-συνεχούς κατάστασης, και με την χρήση συμβολικών (δηλ. λογικών) μεθόδων, όπως εκείνες που αναπτύχθηκαν στην επιστήμη των Υπολογιστών (π.χ. θεωρία αυτομάτων-λογάριθμοι, πύλες και γενικά τα αφηρημένα μαθηματικά) και ιδιαίτερα στον τομέα της ΤΝ για χρονικά-διακριτά συστήματα. Εκτός από το έργο της επιβλέψης και τον συντονισμό των αλγορίθμων ελέγχου, το αυτόνομο σύστημα ελέγχου πρέπει επίσης να χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό αντιμετώπισης των δυσλειτουργιών. Για να εξασφαλιστεί η αξιοπιστία του συστήματος, οι δυσλειτουργίες πρέπει να γίνονται αισθητές, να απομονώνονται και να αναγνωρίζονται (και ακόμη, αν είναι δυνατόν, να περιορίζονται).

Η τεχνολογία του αυτοματισμού προχωρεί. Εσείς;



FESTO Ποιότητα ISO 9001

Ο σύμβουλος σας στον αυτοματισμό

ΤΗΛ: 9425.678 - 9425.556

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ

ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ του Πανεπιστημίου Notre Dame της Πολιτείας Indiana των ΗΠΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΩΝ του Πανεπιστημίου της Πολιτείας του Ohio των Ην. Πολιτειών.

Engineering, University of Notre Dame, Notre Dame, IN 46556, U.S.A.

Ο Kevin M. Passino πήρε το πτυχίο του από το Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του Tri-State University, Indiana των Η.Π.Α. και το M.S. και το Ph.D. από το University of Notre Dame Indiana των Η.Π.Α. από το ομώνυμο Τμήμα το 1984 και 1989 αντίστοιχα. Εργάστηκε για μερικά χρόνια σε Αμερικάνικες εταιρίες

και σήμερα είναι Assistant Professor στο Ohio State University, στο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών. Το ερευνητικό του πεδίο αφορά τα ακόλουθα: Discrete Event Systems, Stability Theory, Temporal Logic, Neural Networks, Intelligent and Autonomous Systems.

Διεύθυνση: Kevin M. Passino, Dept. of Electrical Engineering, The Ohio State University, 2015 Neil Ave., Columbus, OH 43210, U.S.A.

Συστήματα με υψηλούς βαθμούς αυτονομίας

Στην συνέχεια θα πρέπει να σχεδιαστεί ένας νέος όρος ελέγχου, αν αυτό είναι απαραίτητο. Το αυτόνομο σύστημα ελέγχου θα πρέπει ακόμη να είναι σε θέση να σχεδιάζει την απαραίτητη ακολουθία ελεγκτικών ενεργειών για την επιτυχή έκβαση οποιουδήποτε πολύπλοκου έργου. Θα πρέπει να μπορεί να βρίσκεται σε επικοινωνία με άλλα συστήματα και με τον ίδιο τον χειριστή, και θα πρέπει να «μαθαίνει» κατά την διάρκεια της λειτουργίας του, έτσι ώστε να βελτιώνει συνέχεια την απόδοσή του. Γι αυτούς ακριβώς τους λόγους, τα προχωρημένα συστήματα σχεδιασμού, εκμάθησης και εξειδίκευσης πρέπει να συνεργάζονται με τα συμβατικά συστήματα ελέγχου για την επίτευξη υψηλών βαθμών αυτονομίας.

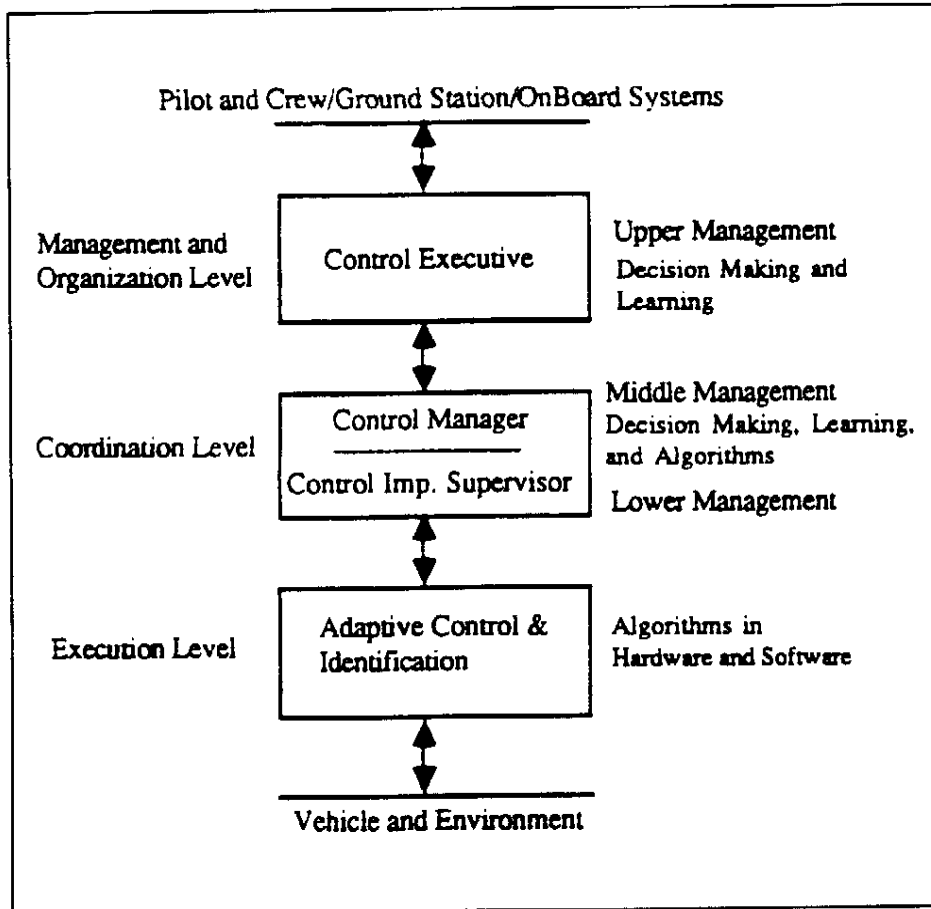
Η μεθοδολογία σχεδιασμού και η εξέλιξη

Τα συμβατικά συστήματα ελέγχου έχουν σχεδιασθεί με βάση μαθηματικά πρότυπα φυσικών συστημάτων. Πρώτα επιλέγεται ένα μαθηματικό πρότυπο, το οποίο περιέχει την υπό εξέταση δυναμική συμπεριφορά, και στην συνέχεια εφαρμόζονται τεχνικές σχεδιασμού ελέγχου, με την βοήθεια εμπορικών πακέτων σχεδιασμού με την βοήθεια Η/Υ (CAD), για τον σχεδιασμό του μαθηματικού προτύπου του κατάλληλου συστήματος ελέγχου. Τέλος, το σύστημα ελέγχου κατασκευάζεται είτε με την μορφή μηχανήματος είτε με την μορφή λογισμικού και είναι έτοιμο να ρυθμίσει το φυσικό σύστημα. Η διαδικασία αυτή μπορεί να χρειαστεί πολλές επαναλήψεις μέχρι την τελειοποίηση του αποτελέσματος. Το μαθηματικό πρότυπο του συστήματος πρέπει να είναι

«αρκετά απλό» ώστε να μπορεί να αναλυθεί από διαθέσιμες τεχνικές μαθηματικής ανάλυσης, και «αρκετά ακριβές» ώστε να περιγράφει τουλάχιστον τις κυριότερες πλευρές της δυναμικής συμπεριφοράς του συστήματος. Το πρώτο ιστορικά μαθηματικό

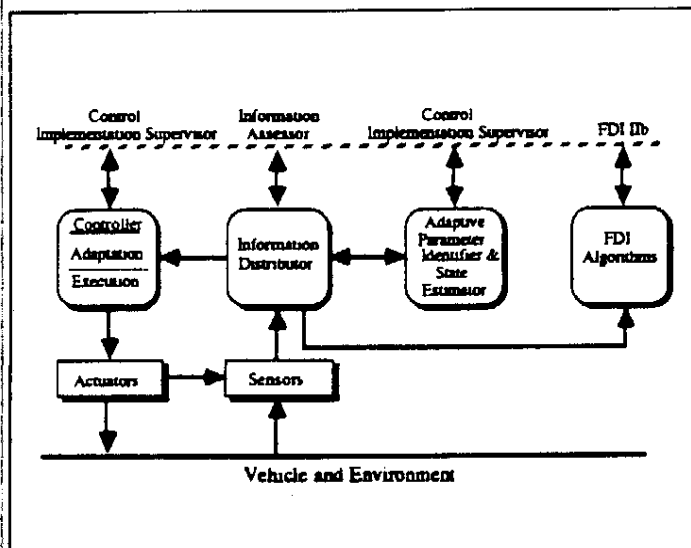
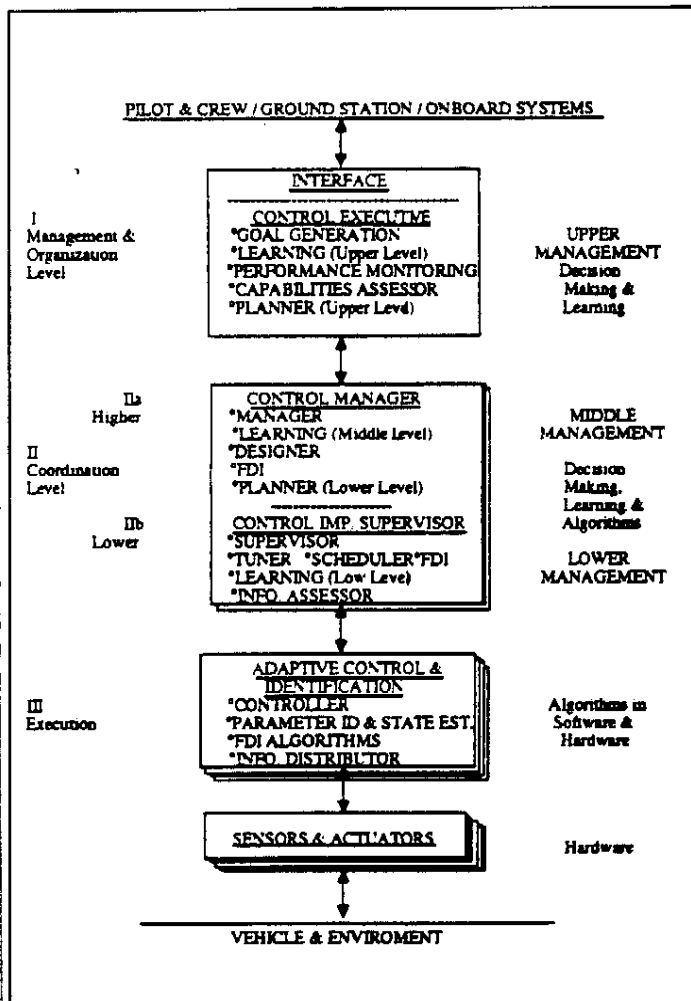
πρότυπο δυναμικής συμπεριφοράς συστήματος έγινε το 1868 από τον J.C. Maxwell πάνω στον μηχανικό ρυθμιστή ταχύτητας οχημάτων με ατμομηχανή (που είχε κατασκευασθεί το 1769 από τον J.Watt). Από τότε η επιστήμη της Αυτόματης Ρύθμισης πέρασε από πολλά στάδια εξέλιξης

και δημιουργήθηκαν πολλές διαφορετικές φιλοσοφίες ρύθμισης. Ο συνδυασμός τους σήμερα μας δίνει την δυνατότητα της ακριβούς ρύθμισης σημαντικά πολύπλοκότερων δυναμικών συστημάτων από τον αρχικό ρυθμιστή του J. Watt. Τρεις ήταν οι κύριες ανάγκες που πυροδό-



ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ

Δομή ευφυούς συστήματος ελέγχου υψ



τησαν την εξέλιξη στην γνωστική περιοχή της Αυτόματης Ρύθμισης:

(α) Η ανάγκη να αντιμετωπιζονται δυναμικά συστήματα με ολοένα αυξανόμενη πολυπλοκότητα,

(β) Η ανάγκη να ικανοποιούνται σχεδιαστικές απαιτήσεις με ολοένα αυξανόμενες δυσκολίες,

(γ) Η ανάγκη για ρύθμιση υπό συνθήκες ολοένα αυξανόμενης αβεβαιότητας (δηλαδή με λιγότερη εκ των προτέρων γνώση για την μονάδα και το περιβάλλον της).

Η μαθηματική περιγραφή ενός πολύπλοκου συστήματος μπορεί να γίνει με μεγάλη ακρίβεια με την βοήθεια πολυπλόκων μαθηματικών μεθόδων, όπως οι μη γραμμικές και οι στοχαστικές μέθοδοι. Αυτό όμως συχνά συνεπάγεται την αδυναμία ανάπτυξης αλγορίθμων ελέγχου. Ευτυχώς για μας είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν τα πιο απλά γραμμικά μαθηματικά πρότυπα που οδηγούν σε απλούς αλγόριθμους αφού οι τεχνικές ανάδρασης που χρησιμοποιούνται σε ένα σύστημα ελέγχου επιτρέπουν την αντιμετώπιση σημαντικών αβεβαιότητων του προτύπου. Τα πρότυπα αυτά εφαρμόζονται γύρω από κάποιο σημείο λειτουργίας του συστήματος όπου μπορεί να εφαρμοσθεί η γραμμικότητα με αρκετά καλή προσέγγιση. Στη συνέχεια με μαθηματικές μεθόδους προέκτασης, είναι δυνατή η ανάπτυξη αλγορίθμων ελέγχου για ολόκληρο το εύρος λειτουργίας. Ειδικά για τα συστήματα ελέγχου με υψηλούς βαθμούς αυτονομίας, απαιτείται η σημαντική διεύρυνση του φάσματος λειτουργίας, η αποτελεσματική αντιμετώπιση σημαντικών αβεβαιοτήτων των μαθηματικών προτύπων πολυπλόκων δυναμικών συστημάτων και η εφαρμογή τεχνικών λήψης αποφάσεων υψηλής ευφυίας, έτσι ώστε να διατηρείται κάποιο συγκεκριμένο επίπεδο ποιότητας λειτουργίας ακόμη και στις περιπτώσεις δραστηκών μεταβολών στις συνθήκες λειτουργίας.

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι στην επιστημη του ελέγχου συστημάτων υπάρχουν σήμερα απαιτήσεις που δεν μπορούν να ικανοποιηθούν με την ήδη υπάρχουσα συμβατική θεωρία. Απαιτούνται μέθοδοι «ερευνητικής» για την επιλογή της σωστής τιμής των παραμέτρων κάποιας εξίσωσης της Ρύθμισης. Απαιτείται ακόμη η ανάπτυξη νέων

εξισώσεων και δυνατοτήτων «μάθησης» από παρελθούσες «εμπειρίες», δυνατοτήτων σχεδιασμού μελλοντικών ενεργειών ελέγχου καθώς επίσης και δυνατοτήτων ανίχνευσης «αστοχίας» στην λειτουργία του συστήματος και αναγνώριση αυτών. Όλες αυτές οι λειτουργίες γίνονται μέχρι τώρα από τον ανθρώπινο παράγοντα. Η αυτονομία όμως είναι επιθυμητή τώρα για την μείωση του χρόνου απόκρισης, για την απαλλαγή του χειριστή από καθηκοντα ρουτίνας και για την προστασία συστημάτων από καταστροφικούς κινδύνους.

Η λειτουργική αρχιτεκτονική δομή ενός «ευφυούς» συστήματος ελέγχου για συστήματα με υψηλούς βαθμούς αυτονομίας

Όλες οι προαναφερθείσες απαιτήσεις που παρουσιάζονται σήμερα στα πολύπλοκα συστήματα, οδηγούν σε μία κλίμακα ιεραρχίας αυξανόμενης ευφυίας που αφορά «ευφυή» συστήματα ελέγχου. Στο χαμηλότερο επίπεδο, στα απλά γραμμικά συστήματα εφαρμόζεται η τεχνική του «ελέγχου μέσω αιτιοκρατικής ανάδρασης», που στηρίζεται στη συμβατική θεωρία της ρύθμισης. Αυξανόμενης της πολυπλοκότητας του συστήματος, απαιτούνται στάδια «εκτίμησης της κατάστασής του». Αν ο θόρυβος του συστήματος είναι σε σημαντικές εντάσεις, στάδια φιλτραρισματος Kalman ή άλλου τύπου είναι επίσης απαραίτητα. Επίπλεον, αν απαιτείται η ολοκλήρωση κάποιου έργου ρύθμισης σε ελάχιστο χρόνο ή με κατανάλωση ελάχιστης ενέργειας, είναι απαραίτητη η χρήση τεχνικών βελτιστοποίησης της ρύθμισης. Στην περίπτωση που υπάρχουν πολλά στοχαστικά χαρακτηριστικά στο σύστημα τα οποία μπορούν να καθοριστούν ποσοτικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η «στοχαστική θεωρία ρύθμισης». Σε περιπτώσεις σημαντικών διακυμάνσεων των παραμέτρων που περιγράφουν το σύστημα, μπορούν να χρησιμοποιούνται τεχνικές προσαρμογής, ή και αυτο-οργάνωσης και εκμάθησης. Στο υψηλότερο σημείο της κλίμακας, ο βαθμός πολυπλοκότητας του συστήματος είναι τόσο μεγάλος που απαιτεί την χρήση τεχνικών «ευφυούς» ελέγχου.

Η επιλογή του κατάλληλου συστήματος ελέγχου γίνεται με δοκιμή και σφάλμα: όταν το τυχαία επιλεγθέν σύστημα ελέγχου αποδειχθεί αναποτελεσμα-

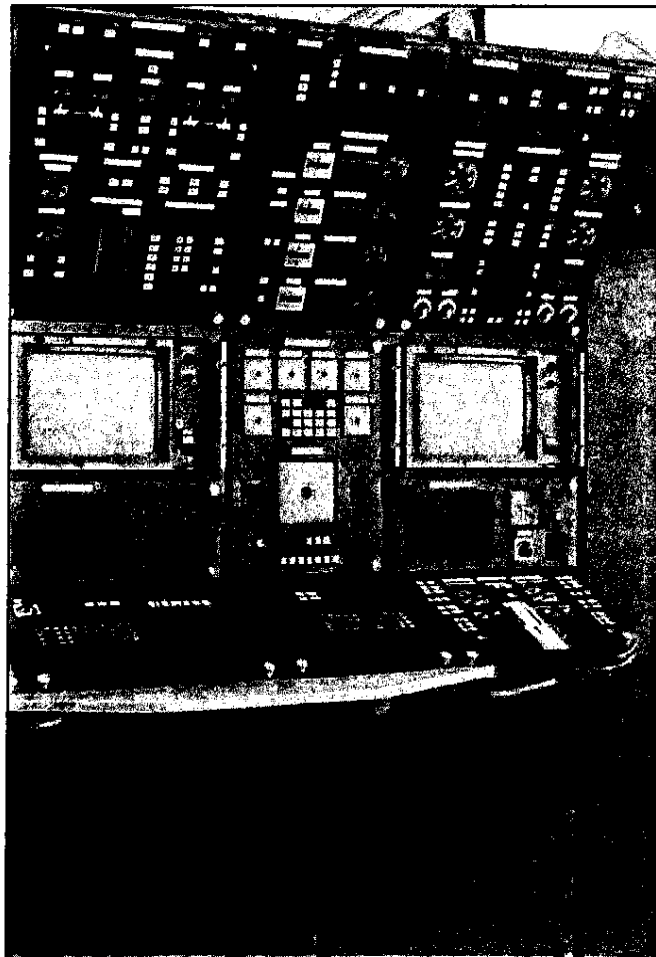
λής αυτονομίας για χρήση στο διάστημα

τικό για το συγκεκριμένο σύστημα, επιλέγεται το αμέσως «ευφύτερο». Για την ακρίβεια, αν τα συστήματα ελέγχου προσαρμοζόμενου τύπου πρέπει να είναι ικανά για λήψη αποφάσεων υψηλότερου επιπέδου από αυτό που είναι ήδη ικανά, τότε οι πρόσθετες λειτουργίες ενσωματώνονται στα συστήματα αυτά με την βοήθεια της θεωρίας ευφυούς ρύθμισης. Αυτά τα ευφυή αυτόνομα συστήματα ελέγχου αποτελούν το επόμενο στάδιο στην κλίμακα της αυξανόμενης ευφυσίας. Αυτά ονομάζονται Βελτιωμένα Προσαρμοζόμενα Συστήματα Ελέγχου, με την έννοια ότι μπορούν να προσαρμόζονται σε σημαντικότερες σφαιρικές μεταβολές στο σύστημα και το περιβάλλον του (σε σχέση με τα συμβατικά προσαρμοζόμενα συστήματα ελέγχου), ενώ ταυτόχρονα ικανοποιούν περισσότερο αυστηρές προδιαγραφές λειτουργίας. Είναι φανερό ότι η ανάγκη για χρήση τεχνικών ευφυούς αυτόνομου ελέγχου πηγάζει από την ανάγκη για υψηλότερο επίπεδο ικανοτήτων αυτόνομης λήψης αποφάσεων για την πραγματοποίηση πολύπλοκων εργασιών.

Μία αρχιτεκτονική δομή ευφυούς συστήματος ελέγχου υψηλής αυτονομίας για εφαρμογή σε μελλοντικά διαστημικά οχήματα.

Παρακάτω παρουσιάζεται η λειτουργική δομή ενός ευφυούς συστήματος ελέγχου που χρησιμοποιείται για την επίτευξη υψηλών βαθμών αυτονομίας σε διαστημικά οχήματα του μέλλοντος. Αυτή η ιεραρχική δομή έχει τρία επίπεδα, το Επίπεδο Εκτέλεσης, το Επίπεδο Συντονισμού και το Επίπεδο Διεύθυνσης/Οργάνωσης.

Δομή και Χαρακτηριστικά: Η συνολική δομή ενός αυτόνομου συστήματος ελέγχου φαίνεται στο σχ. 2.1. Στο χαμηλότερο επίπεδο, το Επίπεδο Εκτέλεσης, υπάρχει ένα στάδιο επικοινωνίας του οχήματος με το περιβάλλον του με την βοήθεια αισθητών και ενεργοποιητικών διακοπών. Στο υψηλότερο επίπεδο, το Επίπεδο Διεύθυνσης/Οργάνωσης, υπάρχει ένα στάδιο επικοινωνίας μεταξύ του πιλότου και του πλήρωματος με τον σταθμό εδάφους ή τα συστήματα του ίδιου του οχήματος. Το ενδιαμέσο επίπεδο, το Επίπεδο Συντονισμού, παρέχει την σύνδεση των δύο άλλων επιπέδων. Αυτή είναι και



η δομή που εμφανίζεται σε ανάλογα συστήματα στην αρθρογραφία. Πρέπει να τονισθεί, όμως, ότι είναι δυνατόν το σύστημα να έχει λιγότερα ή περισσότερα από τρία επίπεδα στην δομή του. Το πλήθος των επιπέδων καθορίζεται από μερικά χαρακτηριστικά του συστήματος, όπως ο βαθμός κατά τον οποίο μπορεί ο χειριστής να επέμβει στις λειτουργίες του συστήματος, ο βαθμός αυτονομίας ή το επίπεδο ευφυσίας στα διάφορα υποσυστήματα, η ευελιξία των υποσυστημάτων και τα ιεραρχικά χαρακτηριστικά του συστήματος. Παρ' όλα αυτά, στις περισσότερες περιπτώσεις είναι δυνατή η απεικόνιση της δομής των συστημάτων σε τρία επίπεδα, με την μέθοδο της ομαδοποίησης κάποιων υποσυστημάτων. Όπως φαίνεται και στο σχήμα, το χαμηλότερο Επίπεδο Εκτέλεσης περιλαμβάνει συμβατικούς αλγόριθμους ελέγχου, ενώ το υψηλότερο Επίπεδο Διεύθυνσης/Οργάνωσης περιλαμβάνει μόνο υψη-

λού επιπέδου ευφυείς μεθόδους λήψης αποφάσεων. Το ενδιάμεσο Επίπεδο Συντονισμού εμπεριέχει έναν συνδυασμό συμβατικών και ευφυών μεθόδων λήψης αποφάσεων.

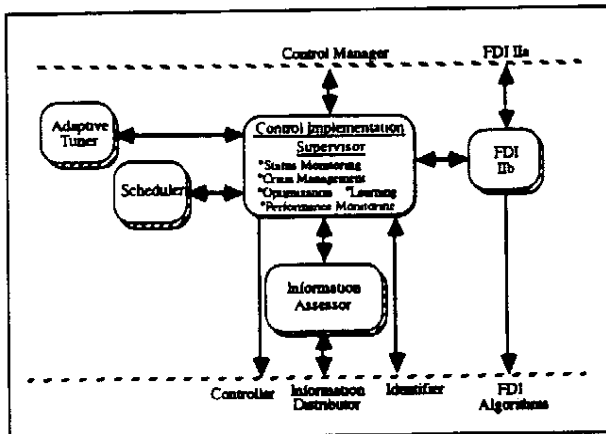
Οι αισθητές και οι ενεργοποιητικοί διακόπτες αποτελούν κατασκευαστικό κομμάτι του συνόλου και συνδέουν το φυσικό σύστημα με το σύστημα ελέγχου. Στο Επίπεδο Εκτέλεσης υπάρχει ένας συνδυασμός κατασκευαστικών κομματιών και λογισμικού. Για τα Επίπεδα Συντονισμού και Διεύθυνσης, χρησιμοποιείται κυρίως λογισμικό. Σε κάθε επίπεδο, υπάρχουν πολλαπλά αντίτυπα των ίδιων λειτουργιών ελέγχου, περισσότερα στα χαμηλότερα και λιγότερα στα υψηλότερα επίπεδα. Για παράδειγμα, είναι πιθανόν να υπάρχει ένα στάδιο διοίκησης ελέγχου που θα διοικεί έναν αριθμό διαφορετικών προσαρμοζόμενων αλγορίθμων ελέγχου για τον έλεγχο των λειτουργιών ευελιξίας του οχήματος με την βοήθεια καταλλήλων

αισθητών και ενεργοποιητικών διακοπών. Κάποιο άλλο στάδιο διοίκησης είναι υπεύθυνο για τον έλεγχο των λειτουργιών κάποιου μηχανικού μπράτσου για επισκευές των δορυφόρων. Το στάδιο γενικής διεύθυνσης διοικεί τα στάδια διεύθυνσης και συντονίζει τις ενέργειές τους.

Αυτό το αυτόνομο σύστημα ελέγχου θα είναι μόνο ένα από τα πολλά αυτόνομα συστήματα πάνω στο όχημα. Θα είναι υπεύθυνο για όλες τις λειτουργίες που έχουν σχέση με τον έλεγχο του φυσικού συστήματος και θα επιτρέπει την συνεχή εν λειτουργία ανάπτυξη του. Η ανάπτυξη αυτή προχωρεί δημιουργώντας συνέχεια υψηλότερα επίπεδα προσαρμογής και το σύστημα αυτό είναι δυνατόν να λειτουργήσει και να ελεγχθεί η λειτουργία του αυτόνομα. Το αυτόνομο αυτό σύστημα ελέγχου εκτελεί πολλές από τις εργασίες που αυτήν την στιγμή εκτελούνται από τον πιλότο και το πλήρωμα ή από τον επίγειο σταθμό ελέγχου. Έτσι, ο πιλότος και το πλήρωμα απαλλάσσονται από υπευθυνότητες ρουτίνας και, της ίδια στιγμής, μερικές από τις λειτουργίες του σταθμού εδάφους μεταφέρονται πάνω στο όχημα. Έτσι, μεγαλώνει ο βαθμός αυτονομίας του οχήματος.

Λειτουργία: Το σχήμα 2.2 παρουσιάζει την συνολική αρχιτεκτονική με μεγαλύτερη λεπτομέρεια. Οι εντολές κατευθύνονται από τα υψηλότερα επίπεδα προς τα χαμηλότερα και τα δεδομένα απόκρισης κινούνται από τα χαμηλότερα προς τα υψηλότερα. Οι τιμές των παραμέτρων των υποσυστημάτων μπορούν να μεταβάλλονται μόνο από συστήματα που βρίσκονται ένα επίπεδο υψηλότερα στην ιεραρχία. Υπάρχει ένα καθεστώς μεταβίβασης και κατανομής υπευθυνότητας από υψηλότερα προς χαμηλότερα επίπεδα. Υπάρχει ακόμη μια κατανομή εξουσίας για λήψη αποφάσεων σε διάφορα επίπεδα. Σε κάθε επίπεδο, γίνεται μια προκαταρκτική επεξεργασία των δεδομένων πριν αυτά προχωρήσουν σε υψηλότερο επίπεδο. Εάν απαιτηθεί, είναι δυνατή η κίνηση δεδομένων από ένα υποσύστημα σε κάποιο υψηλότερο (πχ. για λόγους απεικόνισης των δεδομένων αυτών). Όλα τα υποσυστήματα παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την κατάσταση και την «υγεία» τους στα υψηλότερα επίπεδα. Η ανθρώπινη επέμβαση επιτρέπεται ακόμη και

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ



χου για την κίνηση, πρώτα για 10 μέτρα μπροστά, κίνηση δεξιά κατά 15 μοίρες, κλπ. Αυτοί οι αλγόριθμοι εκτελούνται στο Επίπεδο Εκτέλεσης χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που έρχονται από τους αισθητές. Οι ενέργειες ελέγχου πραγματοποιούνται με την βοήθεια των διακοπών ενεργοποίησης.

Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να συζητηθεί η έννοια της «επιδεξιότητας» του συστήματος ελέγχου. Το Επίπεδο Εκτέλεσης κάποιου «ιδιαίτερα επιδέξιου» συστήματος ελέγχου είναι πολύ ευφυές και μπορεί να φέρει σε πέρας πολύπλοκες υπευθυνότητες ελέγχου. Το στάδιο επιβλε-

ματικά κάθε κίνηση όλων των σημείων, όπως για παράδειγμα «κίνησε τον σύνδεσμο 1 κατά 15 μοίρες», «κίνησε τον σύνδεσμο 5 κατά 3 μοίρες» όταν πρόκειται για ένα λιγότερο «επιδέξιο» σύστημα ελέγχου. Ας σημειωθεί εδώ ότι ένα «πολύ επιδέξιο» μηχανικό μπράτσο θα μπορούσε να εμπεριέχει έναν αριθμό αυτόνομων λειτουργιών. Στην περίπτωση που κάποιο έργο θα απαιτούσε τις συντονισμένες ενέργειες δύο τέτοιων «επιδέξιων» μηχανικών μπράτσων, τότε τα δύο αυτά μηχανικά μπράτσα θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως δύο «επιδέξιοι διακόπτες ενεργοποίησης» και θα απαιτείτο η

Τα ευφυέστατα υποσυστήματα των ευφυών συστημάτων

στο επίπεδο επιβλεψής του τρόπου εφαρμογής των τεχνικών ελέγχου, όμως οι εντολές κατευθύνονται από τα υψηλότερα στάδια της ιεραρχίας προς τα χαμηλότερα.

Παρακάτω παρουσιάζεται ένα παράδειγμα της συνολικής λειτουργίας του αυτόνομου συστήματος ελέγχου. Ας υποθεθεί ότι ο πιλότος πρέπει να επισκευάσει έναν δορυφόρο. Μετά από διάλογο με το στάδιο γενικής διεύθυνσης του συστήματος ελέγχου, η εργασία καθορίζεται τελικά ως «επισκευή του δορυφόρου με την βοήθεια του μηχανικού μπράτσου Α». Το στάδιο γενικής διεύθυνσης αποφασίζει αν η επισκευή είναι δυνατή, υπό τις τρέχουσες δυνατότητες που έχει το σύστημα. Με την βοήθεια των δυνατοτήτων σχεδιασμού που διαθέτει, το στάδιο γενικής διεύθυνσης στέλνει μια σειρά από εντολές, που είναι ικανές για την επιτυχή επισκευή, στο στάδιο διεύθυνσης ελέγχου. Η σειρά των εντολών αυτών θα μπορούσε να είναι: «πήγαινε στον δορυφόρο που βρίσκεται στις συντεταγμένες x,y,z», «άνοιξε την καταπακτή επισκευών», «επισκεύασε». Το στάδιο διεύθυνσης ελέγχου, χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες σχεδιασμού, υποδιαιρεί την πρώτη, για παράδειγμα, εντολή: «πήγαινε στον δορυφόρο που βρίσκεται στις συντεταγμένες x,y,z» σε μικρότερες υποεντολές: «πήγαινε από τωρινή θέση στην θέση x1,y1,z1», «κάνε ελιγμό αποφυγής εμποδίου», «πήγαινε στην θέση x2,y2,z2»,..... «πήγαινε στην θέση επισκευής και περίμενε». Οι επόμενες εντολές υποδιαιρούνται ανάλογα. Οι πληροφορίες αυτές διαβιβάζονται στο στάδιο επιβλεψής του τρόπου εφαρμογής του

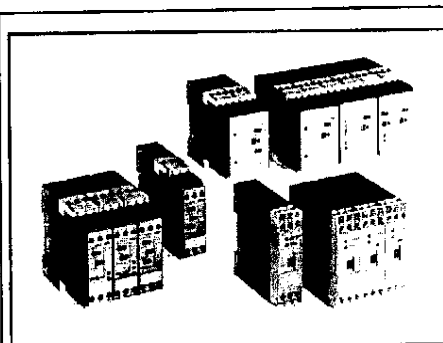
ελέγχου, το οποίο αναγνωρίζει την υπευθυνότητα που του ανατίθεται και χρησιμοποιεί εξισώσεις της ρύθμισης για να πραγματοποιήσει τον στόχο. Η υποεντολή, για παράδειγμα, «πήγαινε στην θέση x1,y1,z1» θα πραγματοποιηθεί με την βοήθεια αποθηκευμένων αλγορίθμων ελέγ-

ξης της πραγματοποίησης των εντολών ελέγχου μπορεί να απευθύνει εντολές προς το σύστημα ελέγχου, όπως για παράδειγμα «κίνησου κατά 15 εκατοστά πλάτος προς τα δεξιά» ή «πίασε τον κύλινδρο», όταν πρόκειται για ένα «επιδέξιο» σύστημα ρύθμισης, ή να υπαγορεύει πραγ-

τοποθέτηση ενός άλλου αυτόνομου συστήματος ελέγχου που θα επιβλέπει και θα συντονίζει τις ενέργειές τους. Κάτι τέτοιο μπορεί να γίνει σταδιακά, προσθέτοντας περισσότερα ευφυή αυτόνομα συστήματα ελέγχου καθώς οι υπευθυνότητες χαμηλότερου επιπέδου, που φέρονται σε πέρας από αυτόνομα συστήματα, είναι αναγκαίο να υφίστανται επιβλεψη.

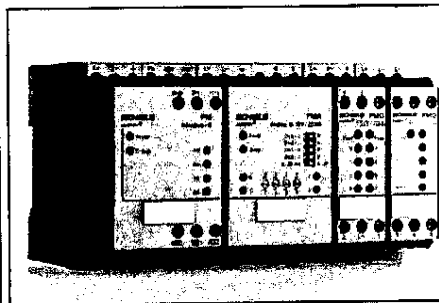
Επίπεδο Εκτέλεσης (III): Η λειτουργική αρχιτεκτονική δομή του Επιπέδου Εκτέλεσης του αυτόνομου συστήματος ελέγχου φαίνεται στο σχήμα 2.3. Η κύρια λειτουργία του είναι ο σχεδιασμός πλάνου ενεργειών ελέγχου χαμηλού επιπέδου (με την βοήθεια αριθμητικών αλγορίθμων) όπως αυτές υπαγορεύονται από υψηλότερα επίπεδα του συστήματος ελέγχου, και εφαρμογή αυτών στο όχημα. Αυτόχρονα, δέχεται πληροφορίες σχετικά με τις αντιδράσεις του οχήματος και του περιβάλλοντός του, τις επεξεργάζεται με σκοπό την ανagnώριση των παραμέτρων, εκτιμά, τις καταστάσεις ή ανιχνεύει δυσλειτουργίες του οχήματος και προωθεί τις πληροφορίες αυτές στα υψηλότερα επίπεδα.

Τα υποσυστήματα **Αισθητών** και **Διακοπών Ενεργοποίησης** φαίνονται στο ίδιο σχήμα. Τα μηχανικά αυτά τμήματα, τα οποία ουσιαστικά φέρουν σε πέρας τις λειτουργίες του αυτόνομου συστήματος ελέγχου, βρίσκονται στο χαμηλότερο σημείο της αρχιτεκτονικής. Το πόσο πολύπλοκα είναι τα τμήματα αυτά εξαρτάται από το πόσο «επιδέξιο» είναι το σύστημα ελέγχου. Εδώ περιλαμβάνονται όλοι οι αισθητές, οι οποίοι παρέχουν πληροφορίες από το όχημα και το



SCHIELE

- Βοηθητικό Ρελέ
- Ρελέ ισχύος
- χρονικά ρελέ
- Ηλεκτρονικά ρελέ μετρήσεως επιτηρήσεως
- PLC
- Θερμικά
- Συστήματα Αυτοματισμού



Σ.Π. ΔΗΜΟΥΛΑΣ & ΥΙΟΙ Ο.Ε.

Όργανα - Αυτοματισμοί

Κρήτης 26. 10439 Αθήνα
τηλ. 8833.337 - 8836.968 FAX: 8834.436

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ

περιβάλλον του προς όλα τα τμήματα του συστήματος ελέγχου. Στο Επίπεδο Εκτέλεσης, το σύστημα ελέγχου απαιτεί την ανάδραση των πληροφοριών που είναι σχετικές με μεταβλητές ελέγχου. Επίσης, τα στάδια εκτίμησης της κατάστασης και αναγνώρισης των παραμέτρων χρησιμοποιούν τέτοιες πληροφορίες. Οι αλγόριθμοι Ανίχνευσης και Αναγνώρισης Δυσλειτουργιών έχουν ανάγκη αυτές τις πληροφορίες (μαζί με πληροφορίες από ειδικούς αισθητές δυσλειτουργιών) για την ανίχνευση προβλημάτων στην λειτουργία. Ακόμη, για να υπάρξει η δυνατότητα της «παρακο-

φοριών αυτών περιλαμβάνει τις τρέχουσες τιμές των εξόδων των αισθητών, εκτιμήσεις των τιμών των παραμέτρων του μαθηματικού προτύπου και της κατάστασης, καθώς αυτές παράγονται από το στάδιο αναγνώρισης. Το τμήμα **προσαρμογής** του συστήματος ελέγχου μεταφράζει αλγοριθμικά τις τιμές των μετρωμένων μεταβλητών, των εκτιμώμενων παραμέτρων και των καταστάσεων του υπό έλεγχον συστήματος. Ταυτόχρονα, προσαρμόζει επί τόπου τους συντελεστές των εξισώσεων ελέγχου που «τρέχουν» στο τμήμα εκτέλεσης του συστήματος ελέγχου. Όλες αυτές οι λει-

τιμο»». Αφού οι τιμές των παραμέτρων του προτύπου μπορούν να υπολογίζονται με ακρίβεια και στην συνέχεια να χρησιμοποιούνται στην προσαρμογή της εξίσωσης ελέγχου, θα νόμιζε κανείς ότι πρόκειται για μια «έμμεση» μορφή προσαρμοζόμενου ελέγχου. Παρ' όλα αυτά, πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι απαραίτητα έτσι αφού οι εκτιμήσεις των παραμέτρων του προτύπου από το στάδιο αναγνώρισης μπορούν απλά να μην ληφθούν υπ' όψιν και ο αλγόριθμος προσαρμογής να επεξεργασθεί απ' ευθείας τις πληροφορίες από τους αισθητές για την άμεση εκτίμηση των συντελεστών της

εκείνη την στιγμή.

Μέσα από την προτεινόμενη δομή, είναι δυνατή η εκτέλεση όλων των πιθανών λειτουργιών συμβατικού ελέγχου. Στις περιπτώσεις εξισώσεων ελέγχου μη μεταβλητού τύπου, μπορεί κανείς να φαντάζεται έναν βρόχο που εμπεριέχει τους αισθητές ο οποίος μπορεί να παρέχει πληροφορίες με την μορφή ανάδρασης, δια μέσου του σταδίου κατανομής πληροφοριών, στο σύστημα ελέγχου ενώ οι ενέργειες του ελέγχου θα γίνονται μέσω των διακοπών ενεργοποίησης. Στις περιπτώσεις προσαρμοζόμενου ελέγχου, η δομή αυτή εμπεριέχει ακόμη το στάδιο ανα-

Τμήματων ελέγχου και ο ρόλος των αλγόριθμων

λούθησης της εκτέλεσης» στα στάδια σχεδιασμού σε υψηλότερα επίπεδα, είναι απαραίτητο η δυναμική αντίδραση του συστήματος πρέπει να γίνεται αισθητή και να προωθείται στο στάδιο σχεδιασμού, το οποίο με αυτόν το τρόπο θα μπορεί να αντιλαμβάνεται το κατά πόσον κάποιο σχέδιο δράσης έχει αποτύχει. Το στάδιο επίβλεψης της πραγματοποίησης των ενεργειών ελέγχου χρειάζεται επίσης πληροφορίες από τους αισθητές, έτσι ώστε να μπορεί π.χ. να πετύχει ομαλή μετάβαση από την υπάρχουσα εξίσωση ρύθμισης σε κάποιο νεώτερο. Τέλος, οι πληροφορίες από τους αισθητές χρησιμοποιούνται στην παρακολούθηση, στην εκτίμηση των δυνατοτήτων, στον ακριβή καθορισμό των ζητούμενων τιμών των παραμέτρων, στον χρονικό προγραμματισμό ενεργειών και στην διαδικασία απεικόνισης των δεδομένων στον πιλότο, στο πλήρωμά του, στον σταθμό εδάφους και στα συστήματα που βρίσκονται πάνω στο σκάφος. Οι διακόπτες ενεργοποίησης μεταφράζουν τα σήματα εξόδου του συστήματος ελέγχου σε ενέργειες που έχουν νόημα για το ίδιο το όχημα.

Η κύρια λειτουργία του **σταδίου ελέγχου** του σχήματος 2.3 είναι η εκτέλεση των αλγορίθμων ελέγχου και η αποστολή εντολών στους διακόπτες ενεργοποίησης. Εκτελεί προχωρημένες συμβατικές προσαρμοζόμενες λειτουργίες ελέγχου. Κατά την διάρκεια της λειτουργίας («σε πραγματικό χρόνο»), λαμβάνει όλα τα απαραίτητα δεδομένα από το στάδιο κατανομής πληροφοριών με στόχο την εκτέλεση του τρέχοντος αλγορίθμου ελέγχου. Το πακέτο των πληρο-

τουργίες αναφέρονται ως «συμβατικός προσαρμοζόμενος έλεγχος». Ο αλγόριθμος προσαρμογής μπορεί να εμπεριέχει πληροφορίες σχετικές με το μαθηματικό πρότυπο που χρησιμοποιείται, εφαρμόζοντας έτσι «προσαρμοζόμενο έλεγχο με αναφορά σε μαθηματικό πρό-

τυπο»». Αφού οι τιμές των παραμέτρων του προτύπου μπορούν να υπολογίζονται με ακρίβεια και στην συνέχεια να χρησιμοποιούνται στην προσαρμογή της εξίσωσης ελέγχου, θα νόμιζε κανείς ότι πρόκειται για μια «έμμεση» μορφή προσαρμοζόμενου ελέγχου. Παρ' όλα αυτά, πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι απαραίτητα έτσι αφού οι εκτιμήσεις των παραμέτρων του προτύπου από το στάδιο αναγνώρισης μπορούν απλά να μην ληφθούν υπ' όψιν και ο αλγόριθμος προσαρμογής να επεξεργασθεί απ' ευθείας τις πληροφορίες από τους αισθητές για την άμεση εκτίμηση των συντελεστών της

γνωρίσης των παραμέτρων του μαθηματικού προτύπου. Εκτός όμως από τις προχωρημένες λειτουργίες προσαρμοζόμενου ελέγχου, η προτεινόμενη δομή έχει και τις παρακάτω δυνατότητες: επιτρέπεται η επέμβαση από υψηλότερα επίπεδα της ιεραρχίας. Επίσης, όπως συμβαίνει στα συμβατικά συστήματα ελέγχου, επιτρέπεται η εισαγωγή σημάτων αναφοράς για χρήση ως σημεία ρυθμίσεως και παρακολούθησης. Επιπρόσθετα, μπορεί να δέχεται εντολές: (α) για την μεταβολή των παραμέτρων προσαρμογής (όπως αυτές καθορίζονται από το στάδιο ρύθμισης της κατάλληλης τιμής στο Επίπεδο Συντονισμού), και (β) για την εναλλαγή διαφορετικών εξισώσεων ελέγχου κατά τις προτάσεις του σταδίου χρονικού προγραμματισμού ή ανασχεδιασμού του συστήματος ελέγχου.

Στις περιπτώσεις που τα υψηλότερα επίπεδα της προτεινόμενης αρχιτεκτονικής δομής δεν λαμβάνονται υπ' όψιν, η εξωτερική επέμβαση στο σύστημα ελέγχου μπορεί να εξομοιώνεται με εκείνη κάποιου ανθρώπινου παράγοντα-χειριστή, ο οποίος επιλέγει τις τιμές ορισμένων παραμέτρων ανάλογα με την αποδοχή στην λειτουργία, καθορίζει τις τιμές αναφοράς, εναλλάσσει διαφορετικούς αλγορίθμους ανάλογα με την περίπτωση ή ακόμη και επιλέγει νέες εξισώσεις ελέγχου όταν υπάρχει δυσλειτουργία. Ακόμη, επιτρέπει την επιστροφή πληροφοριών σε υψηλότερα επίπεδα, που αφορούν στην κατάσταση λειτουργίας (π.χ. ποιά εξίσωση ελέγχου «τρέχει» την κάθε χρονική στιγμή, ποιά είναι η «υγεία» του συστήματος, ποιά είναι τα λάθη που υπάρχουν στην πραγ-

SHIMADEN C.O. L.T.D.

ΙΑΠΩΝΙΑΣ

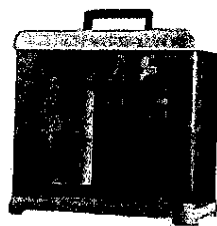
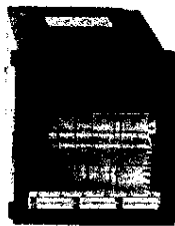


ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ: 48x48mm, 72x72mm, 96x96mm,

48x96mm, 96x48mm

ΠΕΡΙΟΧΗ ΡΥΘΜΙΣΗΣ ΑΠΟ -100 °C ΕΩΣ 1699 °C



ΚΑΤΑΓΡΑΦΙΚΑ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ - ΥΓΡΑΣΙΑΣ

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ: 144x144mm και 288x288mm

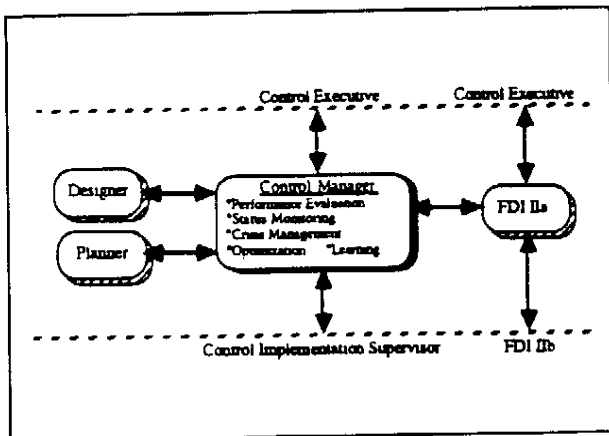
ΕΤΟΙΜΟΠΑΡΑΔΟΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙ ΠΑΡΑΓΕΛΛΙΑ

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΙ ΓΡΗΓΟΡΟΠΟΥΛΟΣ Ε.Π.Ε.

ΧΙΟΥ 44 - 10 439 ΑΘΗΝΑ

ΤΗΛ.: 8837.718-9. 8837.702 FAX: 8824.715

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ



εκτελεί αλγορίθμους αναγνώρισης παραμέτρων και εκτίμησης της κατάστασης του υπό έλεγχο συστήματος, και να στέλνει συνεχώς τις πληροφορίες που προκύπτουν στο σύστημα ελέγχου, στα στάδια αναγνώρισης δυσλειτουργιών και σε άλλα υψηλότερα επίπεδα. Λαμβάνει όλες τις κατάλληλες πληροφορίες των αισθητών από το στάδιο κατανομής πληροφοριών. Οι παράμετροι και οι καταστάσεις, των οποίων οι τιμές εκτιμώνται, εξαρτώνται από το συγκεκριμένο πρότυπο ελέγχου που έχει επιλεγεί. Αφού τα πρότυπα και οι εξισώσεις ελέγχου μπορούν να μεταβάλλονται, το στάδιο αυτό

ελέγχου για την ανίχνευση δυσλειτουργιών τους, καθώς επίσης και εκτιμήσεις τιμών των παραμέτρων του προτύπου και της κατάστασης του υπό έλεγχο συστήματος που προέρχονται από το στάδιο αναγνώρισης. Διαθέτει την ικανότητα εναλλαγής αλγορίθμων και προτύπων του υπό έλεγχο συστήματος.

Επίπεδο Συντονισμού (IIb): Η λειτουργική δομή του Επιπέδου Συντονισμού IIb φαίνεται στο σχήμα 2.4. Το επίπεδο αυτό δέχεται εντολές, για την πραγματοποίηση προκαθορισμένων ειδικών λειτουργιών ελέγχου, από το στάδιο διεύθυνσης ελέγχου που βρίσκεται στο αμέσως παρα-

Δυσλειτουργίες ευφυών: Αυτοεπισημαίνον

ματοποίηση των εντολών ελέγχου, κλπ.). Το σύστημα ελέγχου έχει πρόσβαση σε μια ποικιλία αποθηκευμένων εξισώσεων ελέγχου. Η ακριβής θέση όπου βρίσκονται τα αποθηκευμένα προγράμματα δεν είναι σημαντική στην λειτουργική αυτή δομή. Θα μπορούσαν να βρίσκονται μέσα στο σύστημα ελέγχου, ή στο παραπάνω επίπεδο (επιβλεψής της εφαρμογής των ενεργειών). Αν βέβαια βρίσκονται στο παραπάνω επίπεδο, θα πρέπει να έχει ληφθεί πρόνοια για δυνατότητα μεταφοράς των προγραμμάτων αυτών στο κατώτερο επίπεδο. Επίσης, είναι απαραίτητη η ύπαρξη προγραμμάτων που θα επιτρέπουν την ομαλή μετάβαση από εξίσωση σε εξίσωση. Τέλος, στην περίπτωση που τα στάδια χρονικού προγραμματισμού και ανασχεδιασμού αποστειλούν νέες εξισώσεις ελέγχου για εφαρμογή, θα πρέπει να υπάρχει ειδικό πρόγραμμα που θα εξασφαλίζει την ομαλή μετάβαση από την παλιά εξίσωση στην νέα.

Η κυριότερη λειτουργία του σταδίου **κατανομής πληροφοριών** είναι να κατανέμει πληροφορίες σχετικές με τους αισθητές, τις παραμέτρους και την κατάσταση του υπό έλεγχο συστήματος στα σημεία που είναι αυτές απαραίτητες. Επειδή ακριβώς τα πρότυπα ελέγχου, και κατά συνέπεια οι αλγόριθμοι ελέγχου, αναγνώρισης, εκτίμησης και αναγνώρισης δυσλειτουργιών, μεταβάλλονται, είναι απαραίτητο να εξασφαλίζεται η λήψη των σωστών κάθε φορά πληροφοριών από τα υποσυστήματα του Επιπέδου Εκτέλεσης. Οι πληροφορίες σχετικά με τα τρέχοντα πρότυπα ελέγχου και τους τρέχοντες αλγορίθμους παρέχονται από τα υψηλότερα

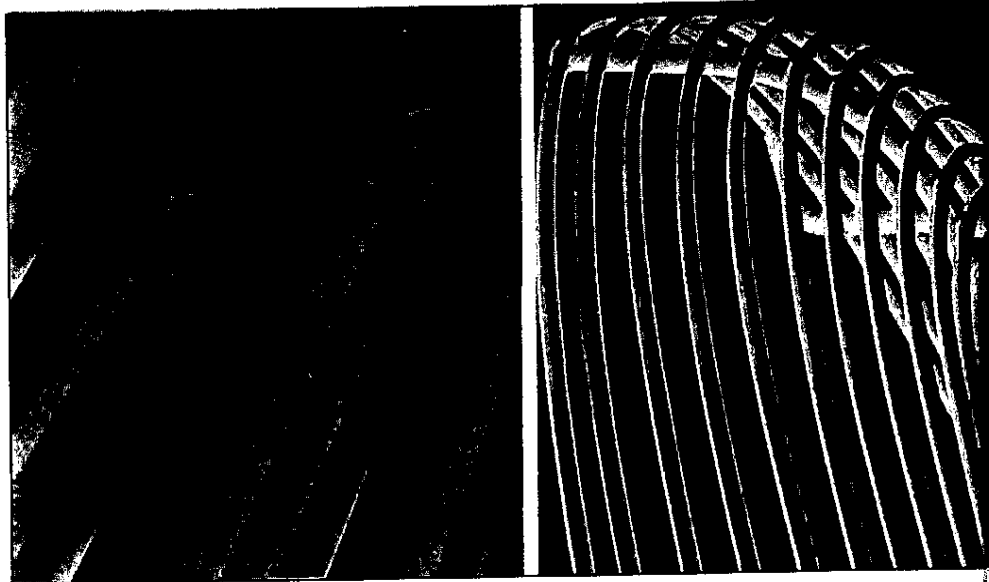
επίπεδα. Χρησιμοποιώντας αποθηκευμένες πληροφορίες, το στάδιο κατανομής πληροφοριών παρέχει τις σωστές πληροφορίες από τους αισθητές στο σύστημα ελέγχου για ανάδραση, στο στάδιο αναγνώρισης για την αναγνώριση των παραμέτρων του προτύπου και εκτίμηση της κατάστασης του υπό έλεγχο

θα πρέπει να είναι ικανό να εναλλάσσει πρότυπα και αλγορίθμους. Οι σχετικές πληροφορίες δίδονται από υψηλότερα επίπεδα.

Η κυριότερη λειτουργία του σταδίου **Αλγορίθμων Αναγνώρισης Δυσλειτουργιών** είναι να εκτελεί τους αλγορίθμους ανίχνευσης δυσλειτουργιών που

πάνω επίπεδο. Παρέχει την κατάλληλη σειρά αλγορίθμων ελέγχου και αναγνώρισης στο Επίπεδο Εκτέλεσης που βρίσκεται αμέσως παρακάτω. Έχει περιορισμένη ικανότητα να αντιμετωπίζει εκτεταμένες αβεβαιότητες.

Η κύρια λειτουργία του σταδίου **Επιβλεψής των ενεργειών Εφαρμογής Ελέγχου** είναι να



συστήματος και στο στάδιο αναγνώρισης δυσλειτουργιών για ανίχνευση και απομόνωση προβλημάτων. Επίσης προωθεί τις πληροφορίες αυτές (πιθανώς μετά από κάποια προ-επεξεργασία) σε ανώτερα επίπεδα.

Η κυριότερη λειτουργία του σταδίου **Προσαρμοζόμενης Αναγνώρισης Παραμέτρων και Εκτίμησης της Κατάστασης του υπό έλεγχο συστήματος** είναι να

διαπιστώνονται στο Επίπεδο Εκτέλεσης ενός αυτόνομου συστήματος ελέγχου. Λαμβάνει όλες τις κατάλληλες πληροφορίες των αισθητών δια μέσου του σταδίου κατανομής των πληροφοριών. Αυτές οι πληροφορίες περιλαμβάνουν αυτές που προέρχονται από αισθητές που έχουν επί τούτου τοποθετηθεί στο επίπεδο των διακοπών ενεργοποίησης του συστήματος

πραγματοποιεί την σειρά των ενεργειών ελέγχου που υπαγορεύονται από το στάδιο διεύθυνσης ελέγχου. Το στάδιο αυτό είναι ικανό να πραγματοποιεί προκαθορισμένες ενέργειες ελέγχου και να αντιμετωπίζει προκαθορισμένες και περιορισμένης έκτασης προβληματικές καταστάσεις. Δέχεται από το στάδιο διεύθυνσης ελέγχου την σειρά των εντολών που πρέπει

ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ

να πραγματοποιηθούν και διαθέτει πρόσβαση σε πολλά πρότυπα συστημάτων καθώς και αλγορίθμους ελέγχου, αναγνώρισης και εκτίμησης τιμών. Επιλέγει κατάλληλα σημεία αναφοράς για το σύστημα ελέγχου και θελιτοποιεί τις δευτερεύουσες σειρές ενεργειών που απαιτούνται για την πραγματοποίηση των υπογορευμένων από τα παραπάνω επίπεδα ενεργειών, με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Το στάδιο Επίβλεψης χρησιμοποιεί το στάδιο χρονικού προγραμματισμού για να αποφασίσει ποιά πρότυπα και αλγορίθμους θα χρησιμοποιήσει στο σύστημα ελέγχου και στο σύστημα ανα-

καταστάσεων. Σε αυτές τις δυνατότητες περιλαμβάνονται ορισμένες μέθοδοι διατήρησης του επιπέδου της απόδοσης ή διατήρησης ορισμένου βαθμού ασφάλειας λειτουργιών, στις περιπτώσεις που η απόδοση μειώνεται αργά. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που ανιχνευθεί μια δυσλειτουργία σε έναν αισθητή ή έναν διακόπτη ενεργοποίησης, το στάδιο αυτό έχει την ικανότητα να επιλέξει εναλλακτικές μεθόδους ελέγχου που θα χρησιμοποιούν άλλους αισθητές ή διακόπτες ενεργοποίησης, με σκοπό την διατήρηση του επιπέδου της απόδοσης λειτουργίας. Αν η απόδοση δεν μπορεί να

αι και αποκαθίστανται

γνώρισης. Χρησιμοποιεί ακόμη το στάδιο επιλογής κατάλληλης τιμής για να αποφασίσει το πώς θα προσαρμόσει τις παραμέτρους μέσα στους τρέχοντες αλγορίθμους, και στέλνει τις πληροφορίες αυτές στο Επίπεδο Εκτέλεσης. Παρακολουθεί την κατάσταση του συστήματος στα επίπεδα IIb και III, δηλ. ποιά

κρηθεί σταθερή, θα αρχίσει να μειώνεται αργά ενώ θα έχει εξασφαλισθεί η ασφάλεια (δηλ. η ευστάθεια). Ακόμη, θα λάβει τα απαραίτητα μέτρα για την διατήρηση της ευστάθειας, μετά την ανιχνευση, την αναγνώριση και την απομόνωση κάποιας δυσλειτουργίας. Διαθέτει δε δυνατότητες «εκμάθησης» για την βελτίωση της εφαρμογής των προκαθορισμένων μορφών ελέγχου. Έτσι, είναι ικανό να βελτιώνει την ταχύτητα και την ακρίβεια επιλογής κατάλληλης τιμής με βάση την «εμπειρία», να βελτιώνει την διοίκηση σε προβληματικές καταστάσεις και τον χρονικό προγραμματισμό των αλγορίθμων και να μαθαίνει τον τρόπο αποδοτικής βελτιστοποίησης των συνολικών λειτουργιών, όπως θα έκανε ένας καλός ανθρώπινος επιβλέπων παράγων. Μαθαίνει ακόμη τις τελείως νέες μεθόδους ελέγχου που στέλνονται από υψηλότερα επίπεδα. Ενημερώνει το στάδιο διευθύνσεως ελέγχου για την υγεία των επιπέδων IIb και III, τις καταστάσεις τους (και την πρόοδο στην εκτέλεση των εργασιών τους) και ειδοποιεί το στάδιο διευθύνσεως για οποιαδήποτε δυσλειτουργία ή άλλη (ανεξήγητη, στο στάδιο αυτό) υποβάθμιση της απόδοσης λειτουργίας.

Η κύρια λειτουργία του σταδίου Χρονικού Προγραμματισμού είναι να αποφασίσει, καθ' όσον διαρκεί η εκτέλεση κάποιας λειτουργίας ελέγχου, το κατά πόσον ικανοποιούνται ορισμένες συνθήκες οι οποίες απαιτούν την αλλαγή των εξισώσεων ελέγχου (ή μαθηματικού προτύπου του συστήματος) και των αλγορίθμων αναγνώρισης εκτίμησης τιμής και αναγνώρισης δυσλειτουργιών. Λαμβάνει πλη-

πρότυπα και αλγορίθμοι χρησιμοποιούνται αυτήν την στιγμή, και την «υγεία» του συστήματος. Ακόμη, παρακολουθεί την απόδοση των δύο παραπάνω επιπέδων χρησιμοποιώντας πληροφορίες που προέρχονται από τα στάδια αποτίμησης πληροφοριών και αναγνώρισης δυσλειτουργιών του σταδίου IIb. Εμπειριάζει δυνατότητες αντιμετώπισης ορισμένων προβληματικών



straub

The Pipe Joint

Τα προτερήματα των συνδέσμων STRAUB.

Είναι σχεδιασμένοι για να κάνουν σύνδεση σε κάθε είδος σωλήνα. Προϊόν συμπαγές, έτοιμο για χρήση που μπορεί να συνδέσει ένα σωλήνα σε ένα λεπτό. Εγγυάται την ασφαλή λειτουργία του δικτύου.



Πρωτοποριακός σύνδεσμος, για πολύπλευρη χρήση, σε γραμμές νερού, πετρελαίου, αερίου ή χημικών προϊόντων. Είναι άριστος σύνδεσμος για καλυμμένα ή ακάλυπτα δίκτυα, σε νέες εγκαταστάσεις, ή για επισκευή παλαιών και συντήρηση.



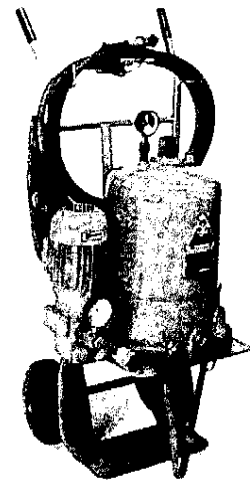
Ιντερναυτική ε.π.ε.

Ολυμπίας 5 και Βουλγαρή 94, 185 34 Πειραιάς
Τηλ. 41.26.997 - 41.28.393 - 41.10.366
TLX: 211141 INAF GR, FAX: 41.27.566



CJC FINE FILTERS CJC FILTER SEPARATORS

Τα φίλτρα CJC είναι σχεδιασμένα για ευρεία εφαρμογή στη βιομηχανία και είναι κατάλληλα για καθαρισμό υδραυλικών λαδιών, λαδιών λιπάνσεως και πετρελαίου των κινητήρων Diesel, μηχανημάτων πλαστικών, στροβίλων κ.λπ.



Συμβουλευθείτε μας πριν αποφασίσετε για την αγορά του φίλτρου σας.

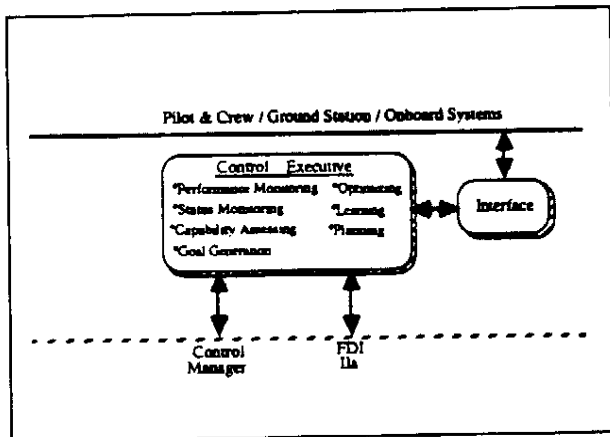
Αποκλειστικοί Αντιπρόσωποι Ελλάδος:

Ιντερναυτική ε.π.ε.

Ολυμπίας 5 και Βούλγαρη 94, 185 34 Πειραιάς
Τηλ: 41.26.997 - 41.28.393 - 41.10.366
TLX: 211141 INAF GR, FAX: 41.27.566



ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ



ραμέτρων του προτύπου και της κατάστασης του συστήματος. Μετά από εντολή του σταδίου επίβλεψης, στέλνει στο στάδιο αυτό επεξεργασμένες πληροφορίες όπως, π.χ., σφάλματα στις εκτιμήσεις τιμών των παραμέτρων και της κατάστασης του συστήματος. Για να το πετύχει αυτό, χρησιμοποιεί τα δεδομένα των αισθητών που του παρέχονται μέσω του σταδίου κατανομής και μαθηματικά πρότυπα που του παρέχονται μέσω του σταδίου επίβλεψης. Το πακέτο αυτών των επεξεργασμένων πληροφοριών είναι διαθέσιμο στα στάδια επιλογής κατάλληλης τιμής των μεταβλητών, χρονικού προγρα-

Στάδιο Συντονισμού IIa: Η λειτουργική δομή του σταδίου αυτού φαίνεται στο σχήμα 2.5. Το στάδιο αυτό λαμβάνει εντολές από το επίπεδο διεύθυνσης το οποίο καθορίζει το πλαίσιο λειτουργίας του με την βοήθεια των σταδίων σχεδιασμού και προγραμματισμού και βασιζόμενο σε πληροφορίες από το στάδιο αναγνώρισης δυσλειτουργιών IIa και το στάδιο επίβλεψης εφαρμογής ενεργειών ελέγχου. Δημιουργεί μια σειρά ενεργειών ελέγχου, σε μορφή κατανοητή από το στάδιο επίβλεψης εφαρμογής ενεργειών ελέγχου, και τις προωθεί σε αυτό. Το στάδιο συντονισμού IIa

Βασικές αρχές σχεδιασμού αυτονομίας

ροφορίες από το στάδιο επίβλεψης της εφαρμογής των ενεργειών ελέγχου για το ποιά λειτουργία θα πρέπει να εκτελεστεί καθώς και πληροφορίες σχετικά με τα μαθηματικά πρότυπα του συστήματος και την περιοχή για την οποία αυτά ισχύουν, τις σχετικές με αυτά εξισώσεις ελέγχου, και τους υπόλοιπους αλγορίθμους. Η αλλαγή των αλγορίθμων και των εξισώσεων ελέγχου αποφασίζεται με βάση τις παραπάνω πληροφορίες. Τα κριτήρια στα οποία στηρίζεται η απόφαση αλλαγής είναι προκαθορισμένα, πιθανόν διαμορφωμένα υπό την μορφή πίνακα δεδομένων, και στηρίζονται και αυτά σε πληροφορίες που προέρχονται από αισθητές του περιβάλλοντος. Αυτές οι πληροφορίες προέρχονται από τα ανώτερα επίπεδα διαμέσου του σταδίου επίβλεψης. Σαν παραδείγματα αναφέρονται οι χρονικοί προγραμματιστές της διαδικασίας πρόσδεσης. Λόγου χάριν, ανάλογα με την ταχύτητα προσέγγισης και το υψόμετρο, είναι δυνατόν να επιλέγεται η κατάλληλη κάθε στιγμή εξίσωση ελέγχου. Το στάδιο αυτό δεν είναι σχεδιασμένο να αντιμετωπίζει προβληματικές καταστάσεις.

Η κύρια λειτουργία του σταδίου **Προσαρμοζόμενης Επιλογής κατάλληλης τιμής των Παραμέτρων** είναι να αποφασίζει, καθ' όσον διαρκεί η εκτέλεση κάποιων αλγορίθμων, το κατά πόσον ικανοποιούνται ορισμένες συνθήκες οι οποίες απαιτούν την ρύθμιση, την επιλογή δηλ. της κατάλληλης κατά την χρονική εκείνη στιγμή τιμής, κάποιων παραμέτρων στις εξισώσεις προσαρμογής. Λαμβάνει πληροφορίες από το στάδιο επίβλεψης της εφαρμογής των ενεργειών αναγνώρισης, καθώς και πληρο-

φορίες από το στάδιο αποτίμησης πληροφοριών (διαμέσου του σταδίου επίβλεψης) που είναι απαραίτητες για να εκτιμηθεί αν οι συνθήκες είναι κατάλληλες. Στην συνέχεια, και βάσει προκαθορισμένων κριτηρίων, επιλέγει τις νέες τιμές των παραμέτρων στις εξισώσεις προσαρμογής. Τα κριτήρια αυτά βασίζονται σε εκτεταμένα στοιχεία για τις εξόδους, τις καταστάσεις και τα σφάλματα των παραμέτρων και η επιλογή των νέων τιμών των παραμέτρων προσαρμογής θα βασίζεται σε αλγορίθμους ή κανόνες «ευρετικής» που χρησιμοποιούν μετρήσεις της χρησιμοποίησης λειτουργίας και πραγματικά δεδομένα που αναφέρονται στο παρελθόν ή το παρόν εισόδων και εξόδων.

Η κύρια λειτουργία του σταδίου **Αποτίμησης Πληροφοριών** είναι η επεξεργασία και κατανομή πληροφοριών (που αφορά στους αισθητές, στην κατάσταση του συστήματος και στις παραμέτρους του) προς τα στάδια κατανομής πληροφοριών (του επιπέδου εκτέλεσης) και επίβλεψης της εφαρμογής των ενεργειών ελέγχου. Λαμβάνει πληροφορίες από το στάδιο επίβλεψης σχετικά με το πρότυπο του συστήματος που χρησιμοποιείται εκείνη την χρονική στιγμή, και σχετικά με τους αλγορίθμους ελέγχου, εκτίμησης τιμής και αναγνώρισης και τους αλγορίθμους αναγνώρισης δυσλειτουργιών και δίνει εντολή στο στάδιο κατανομής πληροφοριών να προωθήσει τις απαραίτητες πληροφορίες των αισθητών προς τα συστήματα ελέγχου, αναγνώρισης και αναγνώρισης δυσλειτουργιών. Από το στάδιο αναγνώρισης λαμβάνει πληροφορίες σχετικές με τις εκτιμήσεις τιμών των πα-

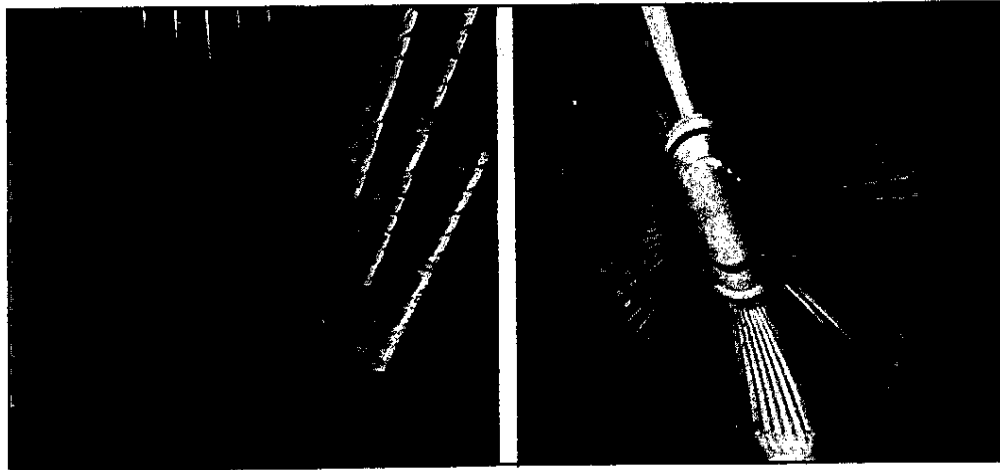
ματισμού και επίβλεψης εφαρμογής των ενεργειών ελέγχου, ώστε να είναι δυνατή η παρακολούθηση της απόδοσης λειτουργίας.

Τέλος, η κύρια λειτουργία του **υποσυστήματος Αναγνώρισης Δυσλειτουργιών IIb** είναι η επίβλεψη των αλγορίθμων αναγνώρισης δυσλειτουργιών του επιπέδου εκτέλεσης και η ανίχνευση και αναγνώριση, με την βοήθεια αλγορίθμων και μεθόδων «ευρετικής», δυσλειτουργιών που συνέβησαν στο επίπεδο εκτέλεσης. Προωθεί τις πληροφορίες (που αφορούν τα πρότυπα που χρησιμοποιούνται την συγκεκριμένη χρονική στιγμή) από το στάδιο επίβλεψης προς το στάδιο αλγορίθμων αναγνώρισης δυσλειτουργιών. Στέλνει για εκτέλεση συγκεκριμένους αλγορίθμους αναγνώρισης δυσλειτουργιών στο αμέσως χαμηλότερο επίπεδο και λαμβάνει τα αποτελέσματα αυτών των αλγορίθμων, τα συγκρίνει με πρόσθετες πληροφορίες από στάδιο επίβλεψης και προχωρεί στην απομόνωση και αναγνώριση κάποιας δυσλειτουργίας την στιγμή που αυτή γίνεται αισθητή. Στην συνέχεια, ενημερώνει το στάδιο αναγνώρισης δυσλειτουργιών IIa σχετικά με την φύση της δυσλειτουργίας καθώς και το στάδιο επίβλεψης, έτσι ώστε να είναι δυνατή η εφαρμογή προκαθορισμένων μέτρων αντιμετώπισης προβληματικών καταστάσεων, αν αυτό είναι αναγκαίο και εφικτό. Αν η κατάσταση δεν είναι δυνατόν να αντιμετωπιστεί στο επίπεδο αυτό, οι πληροφορίες που την αφορούν προωθούνται στο στάδιο αναγνώρισης δυσλειτουργιών IIa και στο στάδιο σχεδιασμού, διαμέσου του σταδίου διεύθυνσης ελέγχου.

έχει την ικανότητα να αντιμετωπίζει καταστάσεις σημαντικής αβεβαιότητας.

Η κύρια λειτουργία του σταδίου **Διεύθυνσης Ελέγχου**, που εμφανίζεται στο παραπάνω σχήμα, είναι η πραγματοποίηση εντολών ελέγχου που δίδονται από το στάδιο γενικής διεύθυνσης ελέγχου. Είναι ικανό να πραγματοποιήσει προκαθορισμένες ενέργειες ελέγχου, χρησιμοποιώντας τα κτώτερα επίπεδα, αλλά μπορεί επίσης να αντιμετωπίζει δυσλειτουργίες σε έναν μεγάλο βαθμό. Είναι κατάλληλα εξοπλισμένο ώστε να φέρει σε πέρας επιτυχώς τις ενέργειες ελέγχου κάτω από μια μεγάλη ποικιλία απρόβλεπτων συνθηκών οχήματος και περιβάλλοντος. Μπορεί ακόμη να διαταχθεί να είναι έτοιμο για μελλοντικές απαιτήσεις, με την δημιουργία νέων εξισώσεων ελέγχου και μεθόδων αντιμετώπισης προβλέπτων καταστάσεων με την βοήθεια του σταδίου σχεδιασμού. Δεδομένου κάποιου συγκεκριμένου καθήκοντος, το στάδιο αυτό αναλύει το έργο σε επί μέρους ενέργειες ελέγχου με την βοήθεια του σταδίου προγραμματισμού και τις προωθεί στο στάδιο επίβλεψης εφαρμογής ενεργειών ελέγχου. Λαμβάνει επεξεργασμένες πληροφορίες των αισθητών από το στάδιο επίβλεψης σχετικά με το ό.π. συμβαίνει την τρέχουσα χρονική στιγμή, καθώς και πληροφορίες από το παραπάνω επίπεδο σχετικές με τους επιδιωκόμενους στόχους έτσι ώστε να μπορεί να προγραμματίσει τις ενέργειές του. Ακόμη, προωθεί στο στάδιο επίβλεψης του νέους αλγορίθμους και τα σχετικά αντιμετώπισης απρόβλεπτων καταστάσεων. Λαμβάνει πληροφορίες σχετικές με την κατάσταση

και την υγεία (από το στάδιο επίβλεψης) και προωθεί τις πληροφορίες σχετικές με την δική του κατάσταση και υγεία προς το επίπεδο γενικής διεύθυνσης. Εκτελεί **διαδικασίες εκτίμησης και παρακολούθησης της απόδοσης λειτουργίας** στα επίπεδα II και III. Για παράδειγμα, μπορεί να εκτιμήσει την απόδοση λειτουργίας μιας σειράς ενεργειών έτσι ώστε να γίνουν οι απαραίτητες μεταβολές στην επόμενη σειρά ενεργειών. Περιλαμβάνει ακόμη την **δυνατότητα διεύθυνσης υπό προβληματικές καταστάσεις**, για να μπορεί να αντιμετωπίζει τις λειτουργίες. Η δυνατότητα αυτή είναι παρόμοια



ΙΩΝ ΕΥΦΥΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ...

με εκείνη στο στάδιο επίβλεψης της εφαρμογής ενεργειών ελέγχου, μόνο που η συγκεκριμένη μπορεί να αντιμετωπίζει απρόβλεπτες καταστάσεις υψηλότερης δυσκολίας. Διαθέτει ακόμη **δυνατότητες μάθησης** για την βελτίωση της απόδοσής του. Τέλος, μπορεί να **βελτιστοποιεί** την λειτουργία των συστημάτων κάτω από αυτό, χρησιμοποιώντας τις σχεδιασμένες ενέργειες, και είναι σε θέση να προτείνει νέες στρατηγικές επιλογής αλγορίθμων στο στάδιο επίβλεψης εφαρμογής ενεργειών ελέγχου.

Η κύρια λειτουργία του σταδίου **Σχεδιασμού** είναι η ανάπτυξη μεθοδολογιών που θα επιτρέπουν την αντιμετώπιση πρωτοπαρουσιαζόμενων καταστάσεων για τις οποίες δεν έχει γίνει κανείς σχεδιασμός. Σε αυτές τις καταστάσεις περιλαμβάνονται δυσλειτουργίες που ανιχνεύθηκαν από το αρμόδιο τμήμα του συστήματος ελέγχου, και για τις οποίες είναι απαραίτητος ο σχεδιασμός νέων εξισώσεων ελέγχου υπό συνθήκες ανοικτής σύνδεσης (on line) και με την βοήθεια του σταδίου διεύθυνσης ελέγχου, το οποίο παρέχει τα μαθηματικά πρότυπα και τις προδιαγραφές. Ακόμη περιλαμβάνεται η αντιμετώπιση νέων καθηκόντων ελέγχου που προτείνει το στάδιο διεύθυνσης ή το υψηλότερο επίπεδο. Όταν δεν απαιτείται η ανάπτυξη νέων μεθόδων υπό συνθήκες πραγματικού χρόνου, το στάδιο διεύθυνσης κατευθύνει την ανάπτυξη νέων μεθόδων που θα αποθηκευθούν για να αντιμετωπίσουν νέα καθηκόντα ελέγχου στο μέλλον. Οι αλγόριθμοι αυτοί μπορούν να προωθούνται στο στάδιο επίβλεψης εφαρμογής ενεργειών ελέγχου

(μετά από εντολή του σταδίου διεύθυνσης ελέγχου) και με τον τρόπο αυτό το σύστημα εμπλουτίζεται και βελτιώνεται, γίνεται «πιο έμπειρο» και είναι σε θέση να αντιμετωπίζει περισσότερες απρόβλεπτες καταστάσεις και καθήκοντα. Το στάδιο σχεδιασμού εφαρμόζει μεθόδους λήψης αποφάσεων υπό συνθήκες αβεβαιότητας στην επιλογή των αλγορίθμων σχεδιασμού. Έτσι, στην περίπτωση κατά την οποία το στάδιο σχεδιασμού πρέπει να αντιμετωπίσει σε πολύ μικρό χρονικό περιθώριο κάποια σοβαρή δυσλειτουργία, έχει την ευχέρεια να προτείνει αρχικά μια μέθοδο που θα προστατέψει την ακεραιότητα του συστήματος χωρίς απαραίτητα να συμφωνεί με όλες τις προδιαγραφές απόδοσης λειτουργίας. Στο μεταξύ, θα μπορεί να ασχολείται με την εύρεση της ολοκληρωμένης λύσης του προβλήματος.

Η κύρια λειτουργία του σταδίου **Προγραμματισμού** είναι ο προγραμματισμός της σειράς των ενεργειών ελέγχου, οι οποίες θα δοθούν στο στάδιο επίβλεψης εφαρμογής των ενεργειών ελέγχου IIb για την πραγματοποίηση κάποιου έργου ελέγχου υψηλότερου επιπέδου. Αν, για παράδειγμα, το στάδιο γενικής διεύθυνσης ελέγχου, δώσει εντολή στο ρομπότ να κινηθεί προς μία ορισμένη θέση το στάδιο προγραμματισμού (βασιζόμενο στις τρέχουσες και μελλοντικές θέσεις του ρομπότ) θα κατασκευάσει μια σειρά από ενέργειες που θα πρέπει να εκτελεστούν για την πραγματοποίηση του έργου. Είναι πιθανόν στην αρχή να προτείνει ένα χονδρικό σχέδιο κίνησης, το οποίο θα τελειοποιείται καθώς θα προχωρεί

η εκτέλεσή του. Για παράδειγμα: «κινήσου προς τα δεξιά κατά 15 μοίρες», «ανάφερε αν συναντήσεις εμπόδιο», κλπ.

Τέλος, η κύρια λειτουργία του **Συστήματος Αναγνώρισης Δυσλειτουργιών IIa** είναι η ανίχνευση και αναγνώριση δυσλειτουργιών που λαμβάνουν χώρα στα επίπεδα IIb και III, όπως επίσης και η επίβλεψη του αντίστοιχου συστήματος IIb. Λαμβάνει πληροφορίες από το Επίπεδο Εκτέλεσης (III) δια μέσου του αντίστοιχου συστήματος IIb και πρόσθετες πληροφορίες από το στάδιο διεύθυνσης ελέγχου. Ενημερώνει το στάδιο διεύθυνσης για το σημείο όπου λαμβάνει χώρα η δυσλειτουργία καθώς και για την σοβαρότητά της, έτσι ώστε να είναι δυνατή η λήψη μέτρων (πιθανών με την αρωγή του σταδίου σχεδιασμού). Ενημερώνει άμεσα το στάδιο γενικής διεύθυνσης σχετικά με την κατάσταση των δυσλειτουργιών που ανιχνεύθηκαν σε οποιοδήποτε επίπεδο, αφού αυτό είναι απαραίτητο για την αποτίμηση των δυνατοτήτων του συστήματος. Χρησιμοποιεί τεχνικές λήψης αποφάσεων υψηλού επιπέδου.

Επίπεδο Διεύθυνσης/Οργάνωσης (I): Η λογική δομή του επιπέδου αυτού φαίνεται στο σχήμα 2.6.

Αποτελεί το μέσον επικοινωνίας του συστήματος ελέγχου με τον πιλότο, τα μέλη του πληρώματος, τον σταθμό εδάφους και τα άλλα συστήματα του σκάφους και εκτελεί τις υψηλότερου βαθμού λειτουργίες ελέγχου. Επιβλέπει και καθοδηγεί όλες τις δραστηριότητες και στο Επίπεδο Συντονισμού και στο Επίπεδο Εκτέλεσης. Πρόκειται για το πλέον «ευφές» από τα τρία επί-

πεδα.

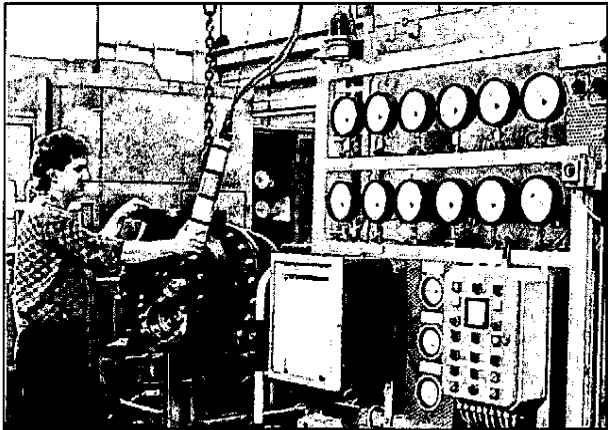
Η κύρια λειτουργία του σταδίου **Γενικής Διεύθυνσης Ελέγχου** είναι η πραγματοποίηση καθηκόντων ελέγχου υψηλού επιπέδου που έχουν ανατεθεί από τον πιλότο, το πλήρωμα, τον σταθμό εδάφους ή από άλλα συστήματα πάνω στο σκάφος.

Τέτοια καθήκοντα θα μπορούσαν να είναι: «αλλαγή τροχιάς σε νέα», «φέρε τον δορυφόρο σε κατάλληλη θέση (άνοιξε πόρτα, στρίψε, κλπ, και μετά φέρε)», «επισκέυασε τον δορυφόρο με την βοήθεια του ρομπότ A (στείλε το ρομπότ στον δορυφόρο, άνοιξε καταπακτή, επισκέυασε)» «επανάφερε τον δορυφόρο στην αρχική του θέση/κατάσταση», κλπ.

Μπορεί να εκτελεί **σχεδιασμού υψηλού επιπέδου**.

Είναι ικανό να αναλύει, **με βελτιστο τρόπο**, τις εντολές (κάποιες εξελιγμένες γλώσσας επικοινωνίας) σε απλούστερες εντολές (που θα είναι κατανοητές από το στάδιο διεύθυνσης ελέγχου IIa). Ακόμη, μπορεί να **αποτιμά τις εκάστοτε δυνατότητες** του συστήματος ελέγχου.

Είναι σε θέση να εκτελεί καθήκοντα **παρακολούθησης της απόδοσης λειτουργίας** υψηλού επιπέδου, με την βοήθεια των πληροφοριών σχετικών με **δυσλειτουργίες** (που λαμβάνει από τα στάδια αναγνώρισης δυσλειτουργιών) και σχετικών με την **κατάσταση** και την **υγεία** του συστήματος (που λαμβάνει από το στάδιο διοίκησης ελέγχου). Εκτιμά την τρέχουσα κατάσταση και μπορεί να προβλέπει όσα μπορούν λογικά να πραγματοποιηθούν μέσα σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Για παράδειγμα: «διαδικασίες πρόσδεσης σε εξέλιξη, εκτιμώμενος χρόνος ολοκλήρωσης 30 δεύτερα».



Μερικές αρχές σχεδιασμού αυτόνομων συστημάτων ελέγχου.

Υπάρχουν ορισμένες λειτουργίες, χαρακτηριστικά και τρόποι συμπεριφοράς που τα αυτόνομα συστήματα πρέπει να παρουσιάζουν. Αυτά περιγράφονται εν συντομία παρακάτω. Μερικά από τα σημαντικά χαρακτηριστικά των αυτόνομων συστημάτων ελέγχου είναι τα παρακάτω: απαλλάσσουν τους ανθρώπους από χρονοβόρα διαδικαστικά καθήκοντα αυξάνοντας έτσι την απόδοση, βελτιώνουν την αξιοπιστία αφού μπορούν να παρακολουθούν την υγεία του συστήματος, βελτιώνουν την

κά των αυτόνομων συστημάτων ελέγχου. Στον ανθρώπινο παράγοντα θα έχει δοθεί η υπευθυνότητα της τελικής επιβλεψής και το δικαίωμα να μην λαμβάνουν υπ' όψιν τους ορισμένες αυτόνομες λειτουργίες.

Οι αυτόνομες δραστηριότητες θα πρέπει να είναι «διαφανείς», στον μέγιστο δυνατό βαθμό, στον χειριστή.

Τέλος, θα πρέπει να υπάρχουν ορισμένες δυνατότητες που θα λαμβάνονται υπ' όψιν στον σχεδιασμό ενός αυτόνομου συστήματος. Αυτές θα πρέπει να προλαμβάνουν τις δυσλειτουργίες που θα έθεταν σε κίνδυνο την ευστάθεια ή τους στόχους όλου

Διφυή τα «ευφυή» συστήματα: 'Η χρονική

Πρωθαι αυτές τις πληροφορίες στο τμήμα θέσης στόχων, το οποίο μπορεί να θέτει εφικτούς και ρεαλιστικούς στόχους (μετά από «διάλογο» είτε απ' ευθείας με άλλα συστήματα του σκάφους είτε μέσω του σταδίου σύνδεσης με τον πιλότο, το πλήρωμα ή/και τον σταθμό εδάφους) που θα πραγματοποιηθούν από το αυτόνομο σύστημα ελέγχου.

Για παράδειγμα, μετά την εξέταση της τρέχουσας κατάστασης, «η πρόσδεση μπορεί να πραγματοποιηθεί σε 30 δευτέρα, αλλά όχι σε 20 δευτέρα όπως ζητήθηκε».

Οι στόχοι αυτοί, στην συνέχεια, χρησιμοποιούνται από την μονάδα σχεδιασμού που βρίσκεται μέσα στο στάδιο γενικής διεύθυνσης για τον σχεδιασμό των απαραίτητων βημάτων που θα οδηγήσουν στην πραγματοποίησή τους. Το στάδιο γενικής διεύθυνσης διαθέτει επίσης σημαντικές δυνατότητες μάθησης. Χρησιμοποιεί «εμπειρίες» του παρελθόντος για την αύξηση του βαθμού απόδοσης του και την βελτίωση της δυνατότητάς του για αποτίμηση ικανοτήτων. Ενημερώνεται από το στάδιο διεύθυνσης ελέγχου σχετικά με νέες δυνατότητες που αναπτύχθηκαν από νέες μεθόδους ελέγχου. Μπορεί και προτείνει μελλοντικά καθήκοντα ελέγχου. Εφαρμόζει αποκλειστικά διαδικασίες λήψης αποφάσεων. Αναλυεί τις αναφορές που έρχονται από τα κατώτερα επίπεδα και μεταφράζει τις εντολές εκτέλεσης που έρχονται από ανώτερα.

Μπορεί να ζητά, δια μέσου του σταδίου σύνδεσης, πρόσθετες πληροφορίες από τον πιλότο, το πλήρωμα, τον σταθμό εδάφους και/ή άλλα συστήματα του σκάφους (που θα μπορούσαν να φα-

νούν χρήσιμα στο σύστημα ελέγχου). Εδώ περιλαμβάνονται πληροφορίες πλοήγησης, μελλοντικές εφαρμογές του αυτόνομου συστήματος ελέγχου, κλπ. Η διαδικασία μάθησης είναι πολύ σημαντική για την ανάπτυξη ενός πραγματικά αυτόνομου συστήματος. Στο Επίπεδο Διεύθυνσης/Οργάνωσης πραγματοποιούνται διαδικασίες μάθησης υψηλού επιπέδου.

Σε κάθε επίπεδο μάθησης, αρχής γενομένης από το Επίπεδο Συντονισμού IIb, για παράδειγμα, οι πληροφορίες υφίστανται μια γενίκευση με επαγωγικό τρόπο.

Είναι πιθανό το σύστημα ελέγχου, να χρειάζεται να «μάθει» το μαθηματικό πρότυπο του υπό έλεγχο συστήματος, την στρατηγική λύσης προβλημάτων, τους στόχους που πρέπει να επιτευχθούν και το ζητούμενο επίπεδο απόδοσης λειτουργίας.

Η κύρια λειτουργία του σταδίου Συνδέσεως με το περιβάλλον είναι να παρέχει το μέσον επικοινωνίας του αυτόνομου συστήματος με τον Πιλότο/Πλήρωμα /Σταθμό Εδάφους/Άλλα Συστήματα του Σκάφους.

Πρόκειται για ένα ευφυές μέσο επικοινωνίας διότι επιτρέπει φιλικό στον χρήστη διάλογο.

Αποτελεί έναν μεταφραστή γλώσσας επικοινωνίας, ο οποίος μεταφράζει την γλώσσα άλλων συστημάτων ή του πιλότου/πληρώματος/σταθμού εδάφους στην γλώσσα που «καταλαβαίνει» το σύστημα ελέγχου. Αν του ζητηθεί, είναι σε θέση να παρουσιάζει οπτικά δεδομένα από τα υποσυστήματα ελέγχου. Τέλος, προωθεί την κατάσταση ελέγχου στο πλήρωμα, καθώς και την επιθυμητή συμπεριφορά και τους στόχους στο στάδιο γενικής διεύθυνσης ελέγχου.

λειτουργία, προστατεύουν το σύστημα από δυσλειτουργίες που προκλήθηκαν από εσωτερικά αίτια, και παρουσιάζουν συνέπεια κατά την πραγματοποίηση πολυπλόκων καθηκόντων.

Υπάρχουν κάποιες αρχές αυτονομίας που θα πρέπει να ακολουθούνται και στόχοι που θα πρέπει να επιτυγχάνονται κατά την ανάπτυξη ενός αυτόνομου συστήματος. Η αυτονομία θα πρέπει να μειώνει τις απαιτήσεις φόρτου εργασίας του χειριστή, για την εκτέλεση των λειτουργιών ρουτίνας. Ακόμη, θα πρέπει να βελτιώνει την λειτουργική δυνατότητα του συστήματος. Αφού το αυτόνομο σύστημα ελέγχου θα εκτελεί τα απλούστερα καθήκοντα ρουτίνας, οι άνθρωποι θα μπορούν να αφιερώνονται σε περισσότερο πολύπλοκα καθήκοντα.

Υπάρχουν ακόμη ορισμένα αρχιτεκτονικά χαρακτηριστικά αυτονομίας που θα πρέπει να επιδιώκεται να υπάρχουν στην διαδικασία σχεδιασμού. Η αυτόνομη αρχιτεκτονική ελέγχου θα πρέπει να είναι επιδεκτική στην ικανοποίηση μελλοντικών αναγκών και στην εξέλιξη της σύμφωνα με την τελευταία λέξη της επιστήμης. Επίσης, θα πρέπει να είναι ιεραρχημένη λειτουργικά: τα χαμηλότερου επιπέδου υποσυστήματα ενεργούν μόνο αφού πάρουν σαφείς εντολές από τα υψηλότερα κλιμάκια. Παρ' όλα αυτά, το σύστημα θα πρέπει να περιλαμβάνει υποσυστήματα χαμηλότερου επιπέδου, τα οποία θα παρακολουθούν τις δυσλειτουργίες, θα ανασυντάσσονται ανάλογα και θα δρουν αυτόνομα σε κάποιο βαθμό για να βελτιώνουν την ευστάθεια του συστήματος. Υπάρχουν ακόμη και ορισμένα λειτουργικά χαρακτηριστι-

του συστήματος. Θα πρέπει να βελτιώνουν την ευστάθεια και να αποφεύγουν τις λανθασμένες προειδοποιητικές κινήσεις και μη αναγκαίες ανασυντάξεις των μηχανημάτων. Αυτό σημαίνει πως το σύστημα ελέγχου θα πρέπει να διαθέτει δυνατότητες αυτοδοκιμών.

Οι δυνατότητες αυτές θα πρέπει να αντέχουν σφάλματα μεταβατικών καταστάσεων, δεν θα προκαλούν μείωση της αξιοπιστίας ή της διάρκειας της εν λειτουργία ζωής των λειτουργικών συστατικών τους, θα πρέπει να περιλαμβάνουν ρυθμιζόμενα επίπεδα ευαισθησίας των λειτουργιών ανίχνευσης σφαλμάτων, θα πρέπει να αποφεύγουν αναντίστρεπτες μεταβολές καταστάσεων και θα πρέπει να παρέχουν προστασία κατά λανθασμένων ή άκρων εξωτερικών εντολών.

Τα χαρακτηριστικά των ιεραρχικά ευφυών συστημάτων ελέγχου υψηλού βαθμού αυτονομίας

Στα συστήματα αυτά υπάρχει μια σταδιακή μεταβίβαση αρμοδιοτήτων από τα υψηλά στα χαμηλότερα επίπεδα. Κατά συνέπεια, το πλήθος των μεμονωμένων καθηκόντων αυξάνεται τα κατωτέρω κινουμάστε προς τα κατωτέρω στην σκάλα της ιεραρχίας.

Τα υψηλότερα επίπεδα ασχολούνται με τις πιο αργές διαδικασίες της συμπεριφοράς του συστήματος και με γενικότερο τρόπο.

Στα χαμηλότερα επίπεδα, από την άλλη πλευρά, οι αποφάσεις ελέγχου παίρνονται με βάση λιγότερες πληροφορίες και ασχολούνται με πιο βραχυπρόθεσμους χρονικούς ορίζοντες σε σχέση με τα υψηλότερα επίπεδα. Επειδή υπάρχει η ανάγκη για λή-

ψη αποφάσεων υψηλού επιπέδου στα υψηλότερα κλιμάκια, υπάρχει η τάση αύξησης της «ευφυίας» καθώς ανεβαίνουμε στην ιεραρχία. Αυτό φαίνεται ακόμη στο ότι στα υψηλά κλιμάκια χρησιμοποιούνται λιγότερο συμβατικές αλγοριθμικές μέθοδοι και περισσότερο συμβολικές μέθοδοι λήψης αποφάσεων. Αυτό αναφέρεται στην αρθρογραφία με τον όρο «η αρχή της αυξανόμενης ευφυίας που συνοδεύει την μείωση της ακριβείας». Η μείωση της ακριβείας φαίνεται στην μείωση της πυκνότητας στον άξονα του χρόνου, στην μείωση στο εύρος περιοχής λειτουργίας και στην μείωση του

φεί αυτό με μαθηματικά πρότυπα συμβατικού τύπου (όπως διαφορικές εξισώσεις ή εξισώσεις διαφορών). Ακόμη και όταν είναι δυνατή η ακριβής περιγραφή κάποιου συστήματος με μη-γραμμικές διαφορικές εξισώσεις υψηλής πολυπλοκότητας, πολλές φορές ούτε αυτή η λύση είναι δόκιμη εάν καθιστά την περαιτέρω ανάλυση υπερβολικά δύσκολη ή υπολογιστικά πολύπλοκη. Εάν, δηλαδή, οι προδιαγραφές απόδοσης της διαδικασίας ελέγχου δεν είναι πολύ αυστηρές, είναι δυνατόν να ακολουθηθεί μια πιο αφηρημένη, υψηλότερου επιπέδου, μορφή μαθηματικού προτύπου που θα καθιστά την περαιτέρω

ματος για την μελέτη θεμάτων αυτονομίας, σε σχέση με την συμβατική θεωρία αυτόματης ρύθμισης. Οι τεχνικές προτυποποίησης για ευφυή αυτόνομα συστήματα ελέγχου θα πρέπει να μπορούν να υποστηρίξουν αυτήν την μακροσκοπική θεώρηση του δυναμικού συστήματος, δηλ. είναι αναγκαίο να παρέχουν και αριθμητικές και συμβολικές πληροφορίες και να συγκεντρώνουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για ανάλυση και σχεδιασμό. Πλήρως υβριδικά μαθηματικά πρότυπα, που περιγράφουν μεγάλα τμήματα ή ακόμη και ολόκληρο το αυτόνομο σύστημα, μπορούν να χρησιμοποιη-

Εκτέλεσης και Συντονισμού, και στην έρευνα πάνω στην προτυποποίηση, την ανάλυση και τον σχεδιασμό συστημάτων λήψης αποφάσεων υψηλού επιπέδου, που βρίσκονται στα επίπεδα Διεύθυνσης/ Οργάνωσης και Συντονισμού. Παρακάτω αναφέρονται περιληπτικά μερικά από τα κυριότερα συμπεράσματα από την αρθρογραφία

- Τα συστήματα σχεδιασμού Τεχνητής Νοημοσύνης είναι στην πραγματικότητα συστήματα ελέγχου όπου οι μεταβλητές εισόδου και εξόδου είναι λογικά σύμβολα αντί για αριθμούς και οι τεχνικές εφαρμογής τους είναι στην ουσία γενικευμένα αυτόμα-

Διακριτού τύπου ή συστήματα υβριδικά

ρυθμού λήψης αποφάσεων (ενεργειών ελέγχου). Η ενσωμάτωση όλων αυτών των χαρακτηριστικών οδηγεί στην μετάβαση της αίσθησης των συστημάτων από την «αμύδη» μορφή (πολλά διακριτά τμήματα) στην «αφηρημένη» μορφή (ένα γενικευμένο σύνολο). Παρ' όλο που υπάρχουν χαρακτηριστικά που διαχωρίζουν τα ευφυή από τα μη-ευφυή συστήματα, καθώς τα ευφυή συστήματα αναπτύσσονται αυτή η διαφορά γίνεται ολοένα και πιο ανεπαίσθητη. Ο λόγος είναι απλός: οι μέθοδοι της Τεχνητής Νοημοσύνης, που εφαρμόζονται στα ευφυή συστήματα, μας βοηθούν να κατανοούμε τα πολύπλοκα προβλήματα έτσι ώστε να μπορούμε να οργανώσουμε και να συνθέσουμε νέους τρόπους προσέγγισης στην επίλυση προβλημάτων (εκτός από το γεγονός ότι και οι ίδιες αποτελούν τεχνικές επίλυσης προβλημάτων). Καθώς, όμως, προχωρεί η ανάπτυξη της λύσης του προβλήματος, τις τεχνικές Τεχνητής Νοημοσύνης αντικαθιστούν σταδιακά οι συμβατικές αλγοριθμικές-αριθμητικές μέθοδοι, οι οποίες εφαρμόζονται ευκολότερα στην πράξη. Αυτός είναι και ο λόγος που το συγκεκριμένο άρθρο επικέντρωσε την προσοχή του στην επίτευξη αυτονομίας, και όχι ευφυίας, στα συστήματα ελέγχου.

Ποσοτικά μαθηματικά πρότυπα για ευφυή αυτόνομα συστήματα: συστήματα χρονικά διακριτού τύπου και υβριδικά συστήματα.

Στα συστήματα ελέγχου υψηλής αυτονομίας, συνήθως το υπό έλεγχο σύστημα είναι τόσο πολύπλοκο που είναι είτε ανέφικτο είτε ανάρμοστο να περιγρα-

ρω ανάλυση πολύ απλούστερη. Το πρότυπο αυτό θα αγνοεί σκόπιμα μερικά από τα χαρακτηριστικά του συστήματος, ιδιαίτερα εκείνα που δεν χρειάζεται να ληφθούν υπ' όψιν για την ικανοποίηση των προδιαγραφών λειτουργίας. Για παράδειγμα, ένας απλός ρυθμιστής της θερμοκρασίας για το εσωτερικό ενός σπιτιού θα μπορούσε να αγνοεί σχεδόν ολόκληρη την δυναμική συμπεριφορά του σπιτιού και να περιλαμβάνει μόνο ένα μαθηματικό πρότυπο για το κατώφλι της θερμοκρασίας που θα ανέβει και θα σβήνει το κεντρικό σύστημα θέρμανσης/κλιματισμού. Τεχνικές, όπως τα μαθηματικά πρότυπα λογικών συστημάτων χρονικά διακριτού τύπου (τύπου Ramadge-Wonham ή δίκτυα Petri, αλυσίδες Markov. κλπ) είναι χρήσιμες στην μελέτη των ιδιοτήτων των αυτόνομων συστημάτων και το ποιά τεχνική θα εφαρμοσθεί εξαρτάται από την φύση αυτών ακριβώς των ιδιοτήτων. Οι ποσοτικές, συστηματικές τεχνικές για προτυποποίηση, ανάλυση και σχεδιασμό συστημάτων ελέγχου είναι κεντρικής και τεράστιας πρακτικής σημασίας στην συμβατική θεωρία αυτόματης ρύθμισης. Δεν υπάρχουν παρόμοιες τεχνικές, όμως, για τα ευφυή συστήματα ελέγχου.

Αυτό οφείλεται αφ' ενός μεν στην πρωτότυπη φύση τους, κυρίως όμως οφείλεται στην (σημ) των υπό θεώρηση δυναμικών συστημάτων, τα οποία συμπεριλαμβάνουν και χρονικά συνεχή συστήματα και χρονικά διακριτά συστήματα. Τα συστήματα θεωρούνται υβριδικά διότι απαιτείται μια πιο σφαιρική μακροσκοπική θεώρηση ενός δυναμικού συστή-

ματος για επιτυχία αλλά πολλές φορές είναι πιο αποτελεσματική η χρήση του καλύτερου διαθέσιμου προτύπου για καθένα από τα συστατικά τμήματα της αρχιτεκτονικής και σύνδεσή τους διαμέσου κάποιας συνδετικής δομής. Για παράδειγμα, πολλές φορές αποδείχθηκε αποτελεσματικός ο συνδυασμός του λογικού προτύπου χρονικά διακριτών συστημάτων για τα υψηλότερα επίπεδα και διαφορετικές εξισώσεις για τα χαμηλότερα. Ένα πρακτικό μολύβι πολύ σημαντικό πρόβλημα είναι η προσομοίωση των υβριδικών συστημάτων. Συνήθως, η αριθμητική-αλγοριθμική επεξεργασία γίνεται με γλώσσες προγραμματισμού όπως η FORTRAN, η συμβολική επεξεργασία γίνεται με LISP ή PROLOG και τα λογικά πρότυπα χρονικά διακριτών συστημάτων με SLAM.

Τα προβλήματα που συνήθως συναντώνται αφορούν στο ότι είναι συχνά αδύνατο να «τρέξει» κανείς δύο ή περισσότερες από τις παραπάνω τεχνικές στον ίδιο ηλεκτρονικό υπολογιστή και η επικοινωνία διαφορετικών Η/Υ που ο καθένας τρέχει ένα διαφορετικό πρότυπο είναι συχνά δύσκολη. Η πρόσφατη αρθρογραφία είναι γεμάτη με εργασίες πάνω στον τομέα αυτό και τα αποτελέσματα είναι ενθαρρυντικά.

Αποτελέσματα και κατευθύνσεις

Μπορεί κανείς να οργανώσει χονδρικά την έρευνα στην επιστημονική περιοχή των αυτόνομων ευφυών συστημάτων ελέγχου σε δύο μεγάλες περιοχές: στην έρευνα πάνω στον συμβατικό θεωρητικό αυτόματο έλεγχο, που ασχολείται με λειτουργίες ελέγχου στα Επίπεδα

τη ρύθμιση ανοικτού και κλειστού βρόχου, εκτίμηση κατάστασης, αναγνώριση συστημάτων και προσαρμοζόμενη αυτόματη ρύθμιση.

- Αρκετές λειτουργίες αυτόνομου ελέγχου πραγματοποιήθηκαν με τον συνδυασμό συμβατικών τεχνικών ελέγχου και Τεχνητής Νοημοσύνης.

- Τα Νευρωνικά Δίκτυα προσφέρουν μεθοδολογίες που εκτελούν λειτουργίες μάθησης σε ευφυή αυτόνομα συστήματα ελέγχου. Είναι χρήσιμα σε όλα τα επίπεδα της ιεραρχίας (π.χ. στα χαμηλά με την μορφή της προσέγγισης συναρτήσεων και της εν παραλλήλω εφαρμογής - στα υψηλά με την μορφή της κατάταξης των σχηματισμών σε κατηγορίες και της αποθήκευσης πληροφοριών σε συνδυαστική μνήμη).

- Πολλές προσπάθειες διέυρυνσης της περιοχής λειτουργίας, και η κατ' αυτόν τον τρόπο αντιμετώπιση σημαντικών δυσλειτουργιών του συστήματος και μεταβολών του περιβάλλοντος, έχουν στεφθεί με επιτυχία.

- Μέσα από το άρθρο αυτό, προτείνεται σαφώς η μέθοδος του συνδυασμού γνωστών τεχνικών προτυποποίησης αντί για την δημιουργία νέας θεωρίας για τα υβριδικά συστήματα. Το πρόβλημα της επεξεργασίας στην πληροφοριών που δίνει η αριθμητική τεχνική που εφαρμόζεται στα χαμηλά επίπεδα, ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τα υψηλότερα επίπεδα που χρησιμοποιούν λογικές τεχνικές, αντιμετωπίζεται στην τρέχουσα αρθρογραφία. Πρέπει να σημειωθεί ότι η πρόταση αυτή είναι αντίθετη με την πρακτική που ακολουθήθηκε από τις επιστημονικές και τεχνικές κοινότητες.