

ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΜΗΧ
672



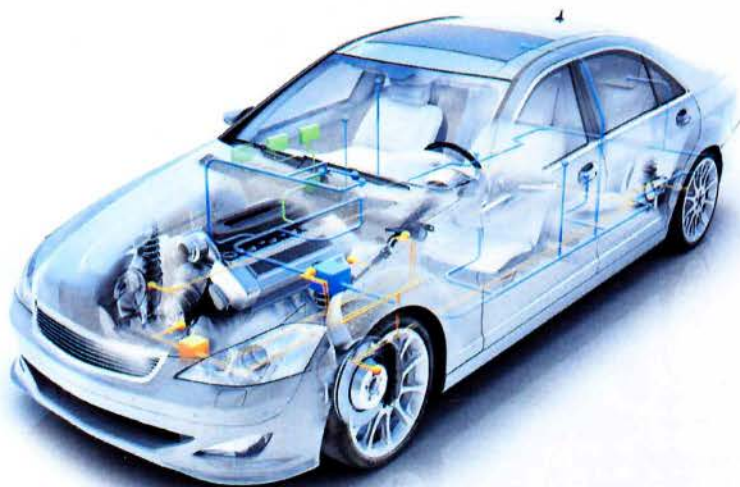
ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

Πτυχιακή Εργασία:

«Δίκτυοι Επικοινωνιών & Δίκτυα Σύγχρονων Οχημάτων»



Αθανάσιος Α. Γούλας - ΑΜ: 32817

Υπό την επίβλεψη,

Δρος Γεωργίου Π. Δημητρόπουλου

Αιγάλεω, Αύγουστος 2012

Αφιερώνεται στους γονείς μου,

Αντώνη & Σοφία

ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όλους όσους συνέβαλαν, με οποιονδήποτε τρόπο, ώστε να φθάσει εις πέρας η παρούσα πτυχιακή εργασία.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή Δρ. Δημητρώπουλο Γεώργιο, για την πολύτιμη καθοδήγηση, συνεργασία και βοήθεια που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας αυτής. Οι γνώσεις, η μεθοδολογία καθώς και οι εμπειρίες μου αποκόμισα μέσα από την διαδρομή της πτυχιακής εργασίας αποτέλεσαν πολύ χρήσιμες και σημαντικές και θα αποτελέσουν χρησιμότητας στην συνέχεια των σπουδών μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την φίλη μου Κατηφελή Αντωνία, της οποίας η υποστήριξη και το ενδιαφέρον κατά την διάρκεια της εκπόνησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν πολύτιμη. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τους γονείς μου για την αμέριστη συμπαράσταση και υπομονή τους κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η αυξανόμενη χρήση ηλεκτρονικών συστημάτων στα οχήματα, έναντι μηχανικών και υδραυλικών μερών έχει να προσφέρει σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως η συνολική μείωση του βάρους και του κόστους του μηχανικού συνόλου παρέχοντας ταυτόχρονα αυξημένη ασφάλεια και άνεση. Τα σύγχρονα οχήματα συνοδεύονται από ένα πλήθος ηλεκτρονικών συστημάτων – υποβοηθημάτων, όπως π.χ. το σύστημα Αντιεμπλοκής των τροχών (Antilock Braking System - ABS), το Σύστημα Κατανομής Πέδησης (Electronic Brake-force Distribution - EBD), το Σύστημα Ηλεκτρονικής ευστάθειας (Electronic Power Steering - ESP) καθώς και το Παραμετρικό Σύστημα Διεύθυνσης (Adaptive Cruise Control - ACC). Τα προαναφερθέντα συστήματα βοηθούν τον οδηγό και τον εφοδιάζουν με καλύτερο έλεγχο του αυτοκινήτου, μεγαλύτερη οδηγική άνεση και αυξημένο επίπεδο ασφαλείας. Επιπλέον, μελλοντικές εφαρμογές όπως αυτή του συστήματος ηλεκτροϋδραυλικής υποβοήθησης (X-by-Wire) στοχεύουν στο να αντικαταστήσουν πλήρως τα υπάρχοντα μηχανικά συστήματα πέδησης και διεύθυνσης. Με τις εξελίξεις των ηλεκτρονικών στην αυτοκινητοβιομηχανία προκύπτει η ανάγκη για αξιόπιστη, αποτελεσματική, γρήγορη και φυσικά χαμηλού κόστους επικοινωνία μεταξύ των διαφόρων εξαρτημάτων. Η παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζει μεταξύ άλλων μια κριτική επισκόπηση της βιβλιογραφίας διαφόρων δικτύων επικοινωνίας. Περιγράφονται τα κύρια μέρη καθώς και οι απαιτήσεις των δικτύων επικοινωνίας που χρησιμοποιούνται σε ένα όχημα ή είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν στο μέλλον σε σύγκριση με τις βασικές αναφορές της βιβλιογραφίας

Λέξεις κλειδιά: δίκτυα οχημάτων, πρωτόκολλα επικοινωνίας, διαυλοι οχημάτων, ηλεκτρονικά οχημάτων

ABSTRACT

The increasing use of electronic systems in automobiles instead of mechanical and hydraulic parts led to advantages by decrease in weight and cost while providing more safety and comfort. There are many electronic systems in modern vehicles like Antilock Braking System (ABS) and Electronic Brake-force Distribution (EBD), Electronic Stability Program (ESP) and Adaptive Cruise Control (ACC). The purpose of all these and many other systems is to assist the driver by providing better control, more comfort and increased safety. Future systems as the forthcoming x-by-wire applications will replace existing braking, steering and driving systems. Current developments in automotive electronics aim for dependable, efficient, high-speed and of course low cost in-vehicle communication. This dissertation critically reviews various in-vehicle communication networks. In-vehicle system domains and their requirements are described focusing in main in-vehicle communication networks that have been used in automobiles or are possible to be used in the near future are presented and compared with key references.

Keywords: bus networks, automotive electronics, automotive protocols

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

| | |
|---|----|
| ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ | 3 |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 4 |
| ABSTRACT | 5 |
| ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ..... | 6 |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ | 8 |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ | 9 |
| ΛΙΣΤΑ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ..... | 10 |
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ | 12 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο - Ιστορική αναδρομή..... | 14 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο – Δίκτυα οχημάτων | 16 |
| 2.1 – Βασικές ιδιότητες δικτύων..... | 17 |
| 2.1.1 – Ευελιξία δικτύων οχημάτων..... | 17 |
| 2.1.2 – Προβλεψιμότητα..... | 18 |
| 2.1.3 – Αξιοπιστία..... | 18 |
| 2.2 – Είδη δικτύων οχημάτων και οι απαιτήσεις τους..... | 20 |
| 2.2.1 – Δίκτυο μετάδοσης ισχύος..... | 22 |
| 2.2.2 - Δίκτυο πλαισίου..... | 22 |
| 2.2.3 – Δίκτυο αμαξώματος..... | 24 |
| 2.2.4 - Δίκτυο τηλεματικών..... | 24 |
| 2.2.5 - Δίκτυο παθητικής ασφάλειας..... | 25 |
| 2.3 – Κατηγοριοποίηση των ενδο-οχηματικών δικτύων..... | 26 |
| 2.4 – Παραδείγματα ενδο-οχηματικών δικτύων | 28 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο – Περιοδικές και μη-περιοδικές επικοινωνίες | 32 |
| 3.1 – Γενικό μοντέλο δικτύου..... | 32 |
| 3.2 - Παραδείγματα περιοδικών και μη-περιοδικών επικοινωνιών | 36 |

| | |
|---|----|
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4° – Πρωτόκολλα επικοινωνίας οχημάτων..... | 40 |
| 4.1 – Ενδο-οχηματικά δίκτυα..... | 41 |
| 4.1.1 – Local Interconnected Network (LIN)..... | 41 |
| 4.1.2 – Controller Area Network (CAN)..... | 42 |
| 4.1.3 – ByteFlight..... | 45 |
| 4.1.4 – Time-Triggered Protocol (TTP/C)..... | 46 |
| 4.1.5 – Time-Triggered Controller Area Network (TTCAN)..... | 46 |
| 4.1.6 – FlexRay..... | 47 |
| 4.1.7 – Media Oriented Systems Transport (MOST)..... | 48 |
| 4.2 – Ενδιάμεσο επίπεδο επικοινωνιών..... | 50 |
| 4.3 – Σύνοψη..... | 51 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° – Σύνοψη και συμπεράσματα..... | 52 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 54 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

| | |
|---|----|
| Πίνακας 1.1 – Περίοδοι ανάπτυξης αυτοματισμών και των δικτύων οχημάτων | 15 |
| Πίνακας 2.1 – BMW Σειρά 7, Δικτυακά χαρακτηριστικά | 30 |
| Πίνακας 2.2 – Απαιτήσεις ενδο-οχηματικού δικτύου BMW Σειρά..... | 30 |
| Πίνακας 3.1 – Σύγκριση παραδειγμάτων ενδο-οχηματικών επικοινωνιών | 39 |
| Πίνακας 4.1 – Σύνοψη χαρακτηριστικών γνωρισμάτων των ενδο-οχηματικών πρωτοκόλλων δικτύων | 49 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

| | |
|---|----|
| Σχήμα 2.1 – Αρχιτεκτονική δικτύου, του οχήματος Volvo XC90 | 21 |
| Σχήμα 2.2 – Πρωτότυπο συστήματος Steer-by-Wire | 23 |
| Σχήμα 2.3 – Σύγκριση των ενδο-οχηματικών πρωτοκόλλων επικοινωνιών βάση του ρυθμού δεδομένων και του κόστους επικοινωνιών | 27 |
| Σχήμα 2.4 – Υποδομή δικτύου οχήματος BMW Σειρά 7 | 29 |
| Σχήμα 2.5 – Υποδομή δικτύου οχήματος VW Passat | 29 |
| Σχήμα 3.1 – Αρχιτεκτονική δικτύου FieldBus | 33 |
| Σχήμα 3.2 – Μοντέλο εφαρμογών που συμπεριλαμβάνει λειτουργίες και μηνύματα | 34 |
| Σχήμα 4.1 – Διαμόρφωση μηνύματος κατά το πρωτόκολλο CAN | 43 |
| Σχήμα 4.2 – Πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου (ECU) | 50 |

ΛΙΣΤΑ ΑΚΡΩΝΥΜΙΩΝ

| | |
|---------|---|
| 4WD | 4 Wheel Drive |
| ABS | Antilock Braking System |
| ACC | Adaptive Cruise Control |
| ACK | Acknowledgment |
| ASC | Automatic Stability Control |
| ASIC | Application Specific Integrated Circuit |
| ASR | Anti-Slip Regulation |
| AUTOSAR | Automotive Open System Architecture |
| CAN | Controller Area Network |
| CC | Cruise Control |
| CD | Compact Disc |
| CPU | Central Processing Unit |
| CRC | Cyclic Redundancy Check |
| CSMA | Carrier Sense Multiple Access |
| CSMA/CA | CSMA/Collision Avoidance |
| CSMA/CD | CSMA/Collision Detection |
| CSMA/CR | CSMA/Collision Resolution |
| D2B | Digital Data Bus |
| DLC | Data Length Code |
| DM | Deadline Monotonic |
| DVD | Digital Versatile Disc |
| EBD | Electronic Brake-force Distribution |
| ECU | Electronic Control Unit |
| EDC | Electronic Damper Control |
| EDF | Earliest Deadline First |
| EEPROM | Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory |
| EMI | Electromagnetic Interference |
| EOF | End of Frame |
| EPS | Electronic Power Steering |
| ESP | Electronic Stability Program |
| FTT-CAN | Flexible Time-Triggered Controller Area Network |
| GPS | Global Positioning System |

| | |
|-------|--|
| I/O | Input/Output |
| ISO | International Standards Organization |
| LIN | Local Interconnect Network |
| MEDL | Message Descriptor List |
| MOST | Media-Oriented System Transport |
| NGU | Never-Give-Up |
| NTU | Network Time Unit |
| OPF | Optimized Frame Packing Algorithm |
| OSI | Open Systems Interconnection |
| RAM | Random Access Memory |
| RM | Rate Monotonic |
| ROM | Read-Only Memory |
| RTR | Remote Transmission Request |
| SA | Simulated Annealing |
| SAE | Society of Automotive Engineers |
| SM | System Matrix |
| SOF | Start of Frame |
| SP | Straightforward Solution |
| TDMA | Time Division Multiple Access |
| TTCAN | Time-Triggered Controller Area Network |
| TTP | Time-Triggered Protocol |
| TTP | Timed Token Protocol |
| VAN | Vehicle Area Network |

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι απαιτήσεις για ασφάλεια, άνεση και απόδοση καθώς και οι εφαρμογές των αυτοκινητιστικών ηλεκτρονικών αυξάνονται συνεχώς. Σαν αποτέλεσμα, έχει αυξηθεί αντιστοίχως ο αριθμός των ηλεκτρονικών μονάδων ελέγχου (ECU – Electronic Control Unit) με ηλεκτρικά σήματα μεγαλύτερης και συνθετότερης συσχέτισης μεταξύ των ώστε να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των δικτύων. Αυτή η κατάσταση οδηγεί σε μια ανάγκη για πιο αξιόπιστα, αποδοτικά και υψηλής ταχύτητας δίκτυα επικοινωνίας.

Η διασύνδεση των κατανεμημένων ελεγκτών απαιτεί ταχύρυθμα και προβλέψιμη παράδοση μηνύματα, σύγχρονα ως προς τα φαινόμενα και η ανταλλαγή αυτών των μηνυμάτων συντελείται μέσω των λεγομένων «πρωτοκόλλων επικοινωνίας» (automotive communication protocols) τα οποία κατηγοριοποιούνται σε α) αναφοράς και β) χρονικού προγραμματισμού. Ο ρόλος των δικτύων είναι να εξασφαλίζουν την σωστή ροή των πληροφοριών, εγκαίρως ώστε να υπάρχει ένα σύστημα ακέραιο και υγιές όσον αφορά την διάδοση και την κατανομή των εντολών.

Τα ηλεκτρονικά συστήματα των οχημάτων, αποτελούνται από μονάδες ελέγχου (ECU), αισθητήρια - σένσορες (sensors) και ενεργοποιητές (actuators) οι οποίοι είναι κατανεμημένοι σε όλη την έκταση του οχήματος. Η χρήση αυτού του είδους των συστημάτων συνεχίζει να αυξάνεται ενώ προστίθενται σε αυτά νέες εφαρμογές και λειτουργίες την στιγμή που ορισμένα μηχανικά και υδραυλικά συστήματα ελέγχου τείνουν να αντικατασταθούν (πχ μηχανικός διανομέας με ρύθμιση προπορείας υποπίεσης και εξαεριωτήρα μέσω της ECU) . Η πλειοψηφία αυτών, αποτελούν συστήματα που ενεργούν και εκτελούν εργασίες σε πραγματικό χρόνο με υψηλότερες απαιτήσεις όσον αφορά τα χρονικά περιθώρια εκτέλεσης και απόκρισης. Συγκεκριμένα, σε ένα σύγχρονο όχημα 3000 ηλεκτρικά σήματα σχεδόν, αποστέλλονται μεταξύ 60 διαφορετικών μονάδων ελέγχου. Η τάση αυτών είναι αυξητική, αυξάνοντας παράλληλα και τις απαιτήσεις που αφορούν την ασφάλεια, την άνεση και το συνολικό κόστος.

Οι ηλεκτρονικές μονάδες ελέγχου (ECU), που εκτελούν χρέη μονάδας λήψης αποφάσεων και επεξεργασίας των ηλεκτρικών σημάτων που λαμβάνουν από τα αισθητήρια, δημιουργούν και σχηματίζουν δικαιώματα διαφορών ειδών όσον αφορά τις ιδιότητές τους, την αρχιτεκτονική τους καθώς και τις εφαρμογές που εκτελούν εξαρτωμένα από τις απαιτήσεις των επικοινωνιών. Μία από τις σημαντικότερες απαιτήσεις είναι αυτή του να

μεταφέρουν και να παραδίδουν τα μηνύματα εντός του δικτύου με ασφάλεια ώστε να εξασφαλίζουν την δια-λειτουργικότητα του όλου συστήματος.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζεται μια κριτική επισκόπηση της βιβλιογραφίας γύρω από τα δίκτυα και τους διαύλους επικοινωνίας των σύγχρονων οχημάτων εξετάζοντας συγκριτικά παλαιότερες αλλά και σύγχρονες έρευνες και μελέτες σχετικά με τα πρωτοκόλλα επικοινωνίας. Επίσης εξετάζονται νέες προσεγγίσεις στο αντικείμενο που σκοπό έχουν την βελτιστοποίηση της απόδοσης καθώς και οι συνεπακόλουθες απαιτήσεις από τα δίκτυα των οχημάτων.

Η εργασία αυτή έχει δομηθεί με τον ακόλουθο τρόπο:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται ιστορική αναδρομή και αναφορά του τι είναι και εξηγείται το πώς προκύπτουν τα χαρακτηριστικά απόδοσης των αυτοκινητιστικών δικτύων βάσει των απαιτήσεων.

Το δεύτερο κεφάλαιο περιγράφονται τα πρωτόκολλα επικοινωνίας εκτέλεσης βάσει γεγονότος και χρονικής εκτέλεσης.

Στο τρίτο κεφάλαιο περιγράφονται και συγκρίνονται τα σημαντικότερα ενσύρματα δίκτυα οχημάτων και γίνεται αναφορά των βασικότερων πρωτοκόλλων επικοινωνίας.

Τέλος στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο της εργασίας παρατίθεται σχετικά συμπεράσματα και παρατηρήσεις όσον αφορά τις επικοινωνίες των αυτοκινητιστικών δικτύων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο - Ιστορική αναδρομή

Τα τελευταία 40 χρόνια, παρατηρείται σημαντική αύξηση στην χρήση ηλεκτρονικών συστημάτων στον χρόνο της αυτοκίνησης, τα οποία σταδιακά τείνουν να αντικαταστήσουν πλήρως τους «μηχανικά» ελεγχόμενους προκατόχους τους. Η διαρκώς αυξανόμενη απόδοση και αξιοπιστία των υλικών καθώς και οι δυνατότητες που παρέχει το λογισμικό επιτρέπουν την εφαρμογή πολύπλοκων λειτουργιών που βελτιώνουν αισθητά τόσο την χρήση των οχημάτων καθεαυτή όσο και την ασφάλειά τους.

Συγκεκριμένα, ο βασικός σκοπός των ηλεκτρονικών συστημάτων ελέγχου είναι να ρυθμίζει το όχημα με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο αξιοποιώντας υποσυστήματα που διαχειρίζονται την λειτουργία του κινητήρα (πχ διανομέας), την διεύθυνση του οχήματος (πχ ηλεκτρικά υποβοηθούμενο σύστημα διεύθυνσης, τετραδιεύθυνση), την πέδηση (πχ σύστημα ABS αντιμεπλοκής των τροχών), καθώς και την λειτουργία διαφόρων άλλων μερών των οχημάτων όπως ο ενεργός φωτισμός πορείας, τα ηλεκτρικά παράθυρα, το σύστημα διασκέδασης, πλοήγησης κλπ.

Όταν πρωτοεφαρμόστηκαν τα ηλεκτρονικά ελέγχου στα οχήματα, κάθε σύστημα που εκτελούσε μια συγκεκριμένη εργασία, λειτουργούσε ως μια αυτόνομη ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου – ECU – Electronic Control Unit, η οποία αποτελείτο από έναν μικροελεγκτή και μία ομάδα αισθητηρίων και εκκινητών (sensors and actuators). Αυτή η μέθοδος σύντομα αποδείχθη αναποτελεσματική και ανεπαρκής καθώς κρινόταν απαραίτητος ο διαμοιρασμός και η ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ των διαφόρων συστημάτων προκειμένου να υπάρχει έναν αποτελεσματικός και πλήρης έλεγχος του οχήματος. Οι λόγοι που οδήγησαν σε αυτή την αλλαγή γίνονται κατανοητοί με το εξής παράδειγμα: Η ταχύτητα του οχήματος που υπολογίζεται από την μονάδα ελέγχου του κινητήρα πρέπει να συμφωνεί με την ταχύτητα που υπολογίζεται από τα αισθητήρια περιστροφής των τροχών έτσι ώστε η αντίστοιχη ηλεκτρονική μονάδα να είναι σε θέση να πληροφορηθεί και να κινητοποιήσει καταλλήλως τα υποσυστήματα που ελέγχουν την διεύθυνση, ανάρτηση όπως και την μετάδοση της κίνησης.

Σημειώνεται ότι στα σύγχρονα οχήματα, ανταλλάσσονται περίπου 2500 σήματα ανά δευτερόλεπτο μέχρι και 80 διαφορετικών μονάδων ελέγχου. Στις αρχές της δεκαετίας του 90', η ανταλλαγή δεδομένων και πληροφοριών μεταξύ των ηλεκτρονικών μονάδων ελέγχου γινόταν από σημείο σε σημείο μέσω απλής καλωδίωσης. Αυτή η μέθοδος απαιτούσε κανάλια επικοινωνίας της τάξης του v^2 (όπου v : ο αριθμός των ηλεκτρονικών μονάδων ελέγχου) η

οποία μεταφράζεται σε εκτεταμένη χρήση καλωδίωσης που προφανώς οδήγησε σε προβλήματα αυξημένου βάρους του οχήματος, κόστους κατασκευής, χωροταξίας, πολυπλοκότητας και ενδεχομένως αξιοπιστίας. Η πληθώρα αυτών των προβλημάτων οδήγησε στην χρήση δικτυωμάτων όπου οι επικοινωνίες μεταξύ των ηλεκτρονικών μονάδων και ανταλλαγή δεδομένων θα ακολουθούσε μια πεπλεγμένη μορφή και θα μοιραζόταν ένα κοινό μέσο, έναν κοινό αγωγό με την προϋπόθεση προτυποποίησης μέσω πρωτοκόλλων των οποίων ο ρόλος θα ήταν η ιεράρχηση και σωστή δρομολόγηση των δεδομένων μεταξύ των επιμέρους συστημάτων.

Σε μία συνέντευξη τύπου το 1998, η αυτοκινητοβιομηχανία BMW ανακοίνωσε πως αντικαθιστώντας τις συνήθεις καλωδιώσεις με αντίστοιχο τοπικό δίκτυο σε ένα τετράθυρο όχημα, πέτυχε την συνολική μείωση του βάρους του οχήματος κατά 15 κιλά. Στα μέσα της δεκαετίας του 80', η κατασκευάστρια εταιρεία Bosch, κύριος προμηθευτής ηλεκτρονικών των μεγαλύτερων αυτοκινητοβιομηχανιών, ανέπτυξε το πρωτόκολλο CAN – Control Area Network το οποίο εφαρμόστηκε για πρώτη φορά στα οχήματα της αυτοκινητοβιομηχανίας Mercedes-Benz στις αρχές της δεκαετίας του 90'. Σήμερα αποτελεί το πιο γνωστό και πρώτο πρωτόκολλο σε χρήση στα δίκτυα οχημάτων. Μάλιστα εκτιμάται πως πωλούνται πάνω από 400.000.000 εξαρτήματα και κόμβοι για το συγκεκριμένο πρωτόκολλο κάθε χρόνο. Συναφή δίκτυα επικοινωνιών, που εφαρμόζονται και λειτουργούν σε αντίστοιχες αυτοκινητιστικές εφαρμογές, παρατίθενται στην συνέχεια.

| | |
|------|---|
| 1800 | Μηχανικός συγχρονισμός βαλβίδων |
| 1920 | Χειροκίνητη προπορεία |
| 1940 | Διανομέας με πιλότο υποπίεσης για τον έλεγχο της προπορείας |
| 1950 | Πρώτος εγχυτήρας |
| 1970 | Λισθητήρια λάμδα |
| 1980 | Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (ECU – Electronic Control Unit) |
| 1990 | Ανάπτυξη πρωτοκόλλων επικοινωνιών. |
| 2010 | Κατανεμημένος αυτοματισμός με σύζευξη δικτύου ανταλλαγής παρατηρούμενων γεγονότων |
| 2020 | Αναδυόμενη λογική (Emergence Logic & Artificial Intelligence) |

Πίνακας 1.1 – Περίοδοι ανάπτυξης αυτοματισμών οχημάτων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2° – Δίκτυα οχημάτων

Η είσοδος των ηλεκτρονικών συστημάτων σε οχήματα της οποίας προηγήθηκε η ανάπτυξη μικροηλεκτρονικών συστημάτων κατά την δεκαετία του 60', οδήγησε στην γρήγορη ανάπτυξη των αυτοκινητιστικών εφαρμογών. Όχι μόνο τα ίδια τα συστήματα άλλα και το μέγεθος του λογισμικού που ενσωματώθηκε σε αυτά είναι υπαίτια για τα σημαντικά πλεονεκτήματα που πρόεκυψαν στην συνέχεια τα επόμενα χρόνια ταυτοχρόνως με τις απαιτήσεις για μεγαλύτερες επιδόσεις. Εκτός αυτού οι προαναφερθείσες εξελίξεις ήταν συνυφασμένες με την χρήση ολοένα και μικρότερων ηλεκτρονικών συστημάτων σε μέγεθος με λιγότερα μηχανικά μέρη τα οποία είχαν ως αποτέλεσμα την μείωση τόσο του συνολικού βάρους όσο και προέκταση του κόστους όσο σε πλεονεκτήματα στην συνολική απόδοση.

Αυτό το φαινόμενο εξηγείται [3] [4] όπου απεικονίζεται η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών οχημάτων η οποία οδήγησε σε καλύτερες επιδόσεις σε θέματα ελέγχου του κινητήρα και τις ασφαλούς λειτουργίας του και σε μειωμένο κόστος και μειωμένο μέγεθος των υλοποιήσεων του συστήματος.

Όπως ειπώθηκε στον πρόλογο η αυξανόμενη χρήση ηλεκτρονικών συστημάτων και των εφαρμογών τους αντανακλάται στην αυξημένη πολυπλοκότητα των ηλεκτρονικών ενδο-οχηματικών δικτύων. Ταυτοχρόνως οι απαιτήσεις για υψηλότερη απόδοση, αξιοπιστία, χαμηλό κόστος εντείνονται. Έτσι λοιπόν η σχεδίαση τέτοιων συστημάτων γίνεται σημαντικότερη και δυσκολότερη, απαιτώντας νέους μηχανισμούς σχεδίασης τόσο όσο αφορά το υλικό (hardware) όσο και τις διαφορετικές αρχιτεκτονικές του λογισμικού (software) των αυτοκινητιστικών συστημάτων.

Αυτό το κεφάλαιο πραγματεύεται τα χαρακτηριστικά απόδοσης που εφαρμόζονται ευρύτερα και καθορίζουν τις επικοινωνίες πραγματικού χρόνου στα οχήματα. Ακόμη, θα παρατίθενται και εξηγούνται τα κυριότερα είδη αυτοκινητιστικών δικτύων καθώς και οι απαιτήσεις τους.



2.1 – Βασικές ιδιότητες δικτύων

Η αποτελεσματική, αξιόπιστη, και υψηλών ταχυτήτων (ειδικότερα για συστήματα όπου απαιτούνται υψηλοί ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων) επικοινωνία στα δίκτυα οχημάτων είναι σημαντικότερη στο να παρέχεται καλύτερη και έγκαιρη – απόδοση όσον αφορά την αμεσότητα, αξιοποίηση εύρους ζώνης και καθυστέρησης στην επικοινωνία. Για την ικανοποίηση αυτών των διαφορετικών απαιτήσεων εφαρμόζονται διαφορετικά πρωτόκολλα επικοινωνίας (π.χ. CAN - Controller Area Network, LIN – Local Interconnected Network, ByteFlight, MOST – Media Oriented System Transport) όπως επίσης και τα επερχόμενα για μελλοντικές εφαρμογές πρωτόκολλα (πχ TT-CAN – Time Triggered Controller Area Network, TTP – Time Triggered Protocol και το FlexRay). Προκειμένου να μπορούν να συσχετισθούν οι απαιτήσεις των αυτοκινητιστικών συστημάτων με τα χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων. Γενικότερα αυτά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως (α) ευελιξία, (β) προβλεψιμότητα, (γ) εξάρτηση (δ) συνθεσιμότητα (ε) επεκτασιμότητα (στ) εύρος δικτύου.

2.1.1 – Ευελιξία δικτύων οχημάτων

Αυτοί οι όροι είναι τόσο γενικοί που θα πρέπει να ορισθούν ακριβέστεροι προκειμένου να μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα πλαίσια της ερμηνείας των επιδόσεων των ενδο-οχηματικών δικτύων επικοινωνίας. Η ευελιξία ορίζεται ως «η ικανότητα του να μπορείς να λάβεις αποφάσεις κατά την εκτέλεση εργασιών». Στην προέκταση αυτού, η ευελιξία εξηγείται βασιζόμενη σε διάφορα σημαντικά γνωρίσματα όπως (1) ευελιξία σχεδίασης (2) διαμόρφωση (3) ευελιξία της επαναδιαμόρφωσης (4) ευελιξία κίνησης εντός του δικτύου (5) ευελιξία κατά την ενσωμάτωση (6) ευελιξία κατά την δοκιμαστική λειτουργία (7) ευελιξία κατά την εφαρμογή (8) ευελιξία έγκαιρης εκτέλεσης.[6][7]

Μεταξύ αυτών των γνωρισμάτων, η ευελιξία κυκλοφορίας εντός του δικτύου μπορεί να εξηγηθεί ως η ικανότητα της αρχιτεκτονικής των επικοινωνιών να προσαρμόζονται στις αλλαγές της κίνησης που διαδραματίζεται εντός του δικτύου. Παρόμοια με την ευελιξία κίνησης δικτύου, ευελιξία έγκαιρης εκτέλεσης ορίζεται ως η ικανότητα προσαρμογής στις αλλαγές των συνθηκών που επικρατούν εντός του δικτύου (φόρτος, διαμόρφωση, σποραδική κίνηση, διακοπές στην μετάδοση πληροφοριών) όσον αφορά την έγκαιρη εκτέλεση των

εντολών, τον χρόνο απόκρισης¹, και την κατανομή του εύρους του δικτύου. Εκτός αυτού η χρήση του εύρους δικτύου συσχετίζει το ποσοστό χρήσης του δικτύου με τις μεταδόσεις των μηνυμάτων. Σε αυτό το πλαίσιο όλα αυτά θεωρούνται ως μέτρα που χαρακτηρίζουν την ευελιξία ως χαρακτηριστικό επίδοσης. Η έγκαιρη λειτουργία όμως αποτελεί την σημαντικότερη απαίτηση των ενδο-οχηματικών δικτύων η οποία πρέπει πάντοτε να ικανοποιείται.

2.1.2 – Προβλεψιμότητα

Η προβλεψιμότητα αποτελεί ένα ακόμα χαρακτηριστικό επίδοσης το οποίο μπορεί να οριστεί ως η ικανότητα πρόβλεψης της χρονικής συμπεριφοράς των επικοινωνιών που λαμβάνουν χώρα εντός ενός δικτύου. Η προβλεψιμότητα μπορεί εκφραστεί σε όρους απόκρισης, ή τους ακριβείς χρόνους κατά τους οποίους θα αποσταλούν και θα παραληφθούν τα μεταδιδόμενα μηνύματα. Υπάρχει μια αντίφαση βέβαια μεταξύ ευελιξίας και προβλεψιμότητας. Η εκτέλεση επικοινωνιών σε πραγματικό χρόνο βασιζόμενη σε ένα αμετάβλητο χρονοδιάγραμμα καθιστά το σύστημα επικοινωνιών προβλεψιμότητα. Ωστόσο μειώνεται η ευελιξία του συστήματος διότι γίνεται στατικό μη επιτρέποντας την αυτό-προσαρμογή σε τυχαίες απρόβλεπτες κινήσεις μέσα στο δίκτυο.

2.1.3 – Αξιοπιστία

Η αξιοπιστία ως η ικανότητα του να παρέχονται υπηρεσίες με επιβεβαιωμένα και επιτυχημένα αποτελέσματα και εκφράζεται ως ένα από τα τέσσερα βασικά χαρακτηριστικά (λειτουργικότητα, απόδοση, κόστος, αξιοπιστία) ενός υπολογιστικού συστήματος. Επεκτείνοντας, η αξιοπιστία μπορεί να αποδοθεί ως ένα δέντρο με τρεις βασικούς κλάδους με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά [6][8]:

- A) **Ιδιότητες** (διαθεσιμότητα, ασφάλεια, εγκυρότητα, συντηρησιμότητα).
- B) **Μέσα** (πρόληψη σφαλμάτων, ανοχή σφαλμάτων, απομάκρυνση/διαγραφή σφαλμάτων καθώς και πρόβλεψη σφαλμάτων).
- Γ) **Κίνδυνοι** (σφάλματα, λανθασμένες μεταδόσεις, διακοπές ενεργειών και εργασιών).

¹ Χρόνος απόκρισης (Communication delay): Ο απαιτούμενος χρόνος μεταξύ της λήψης και της μετάδοσης ενός μηνύματος και ολοκληρωμένη μετάδοση η επιτυχής ανάγνωσή του μηνύματος από έναν τουλάχιστον κόμβο λήψης.

Τα χαρακτηριστικά της αξιοπιστίας μπορούν να αποδοθούν ως ακολούθως:

- **Διαθεσιμότητα:** Η ετοιμότητα του συστήματος.
- **Σταθερότητα:** Η δυνατότητα για συνεχή εκτέλεση εργασιών.
- **Ασφάλεια:** Η ικανότητα να αποφεύγονται σφάλματα κατά την εκτέλεση εργασιών.
- **Εμπιστευτικότητα:** Η ικανότητα στο να αποτρέπει κάθε μη εξουσιοδοτημένη πρόσβαση στις διάφορες πληροφορίες του συστήματος.
- **Ακεραιότητα:** Να διατηρείται συνοχή μεταξύ των διαφόρων μερών του συστήματος κατά την εκτέλεση αλλαγών στο ίδιο το σύστημα.
- **Συντηρισιμότητα:** Η ικανότητα του συστήματος να μπορεί να επιδέχεται επισκευές, αναβαθμίσεις ή μετατροπές

Στο πλαίσιο αυτής της έκθεσης, η αξιοπιστία αντιμετωπίζεται ως αποτέλεσμα στη ολικής συνοχής-συμβατότητας και απροβλημάτιστης λειτουργίας του συστήματος. Τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά, όπως η ακεραιότητα και η συντηρισιμότητα δεν εξετάζονται σε αυτή την εργασία, εξετάζεται αντιθέτως η εμπιστευτικότητα μονάχα στο κομμάτι των ασύρματων επικοινωνιών [8]

Συνθεσιμότητα, ορίζεται ως η ικανότητα που διαθέτει ένα σύστημα να αλληλο-ενσωματώνει υποσύστημα παράλληλα με την επικύρωση των ιδιοτήτων τους. Σε αυτό το πλαίσιο η ιδιότητα τα συνδεσιμότητας θεωρείται και εξετάζεται ως προσωρινή συνθεσιμότητα και εξαρτάται από το αν μια ενδεχόμενη ενσωμάτωση δυο επιμέρους συστημάτων οδηγήσει σε διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών, των ιδιοτήτων και της ολικής απόδοσης του αρχικού συστήματος. Συγκεκριμένα, χαμηλότερος βαθμός αξιοπιστίας μεταξύ μιας εναλλαγής κατάστασης συστήματος όπως περιγράφηκε προηγουμένως μεταφράζεται υψηλού βαθμού προσωρινή συνθεσιμότητα.

Το χαρακτηριστικό της επεκτασιμότητας (αναφέρετε στην ικανότητα της εύκολης επέκτασης του δικτύου αλλά από την οπτική γωνία των ίδιων των επικοινωνιών. Σχετικά με αυτό η προέκταση του δικτύου χρησιμοποιείται για να συσχετίσει την προσθήκη νέων κόμβων και την είσοδο ολόενα και νεότερων και περισσότερων μηνυμάτων στο δίκτυο.

Τέλος, το εύρος δικτύου (data rate) είναι η διαθέσιμη ταχύτητα με την οποία μπορεί να λειτουργήσει το μέσο μετάδοσης. Το εύρος δικτύου διαφέρει αναλόγως το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται εκείνη την στιγμή και αποτελεί

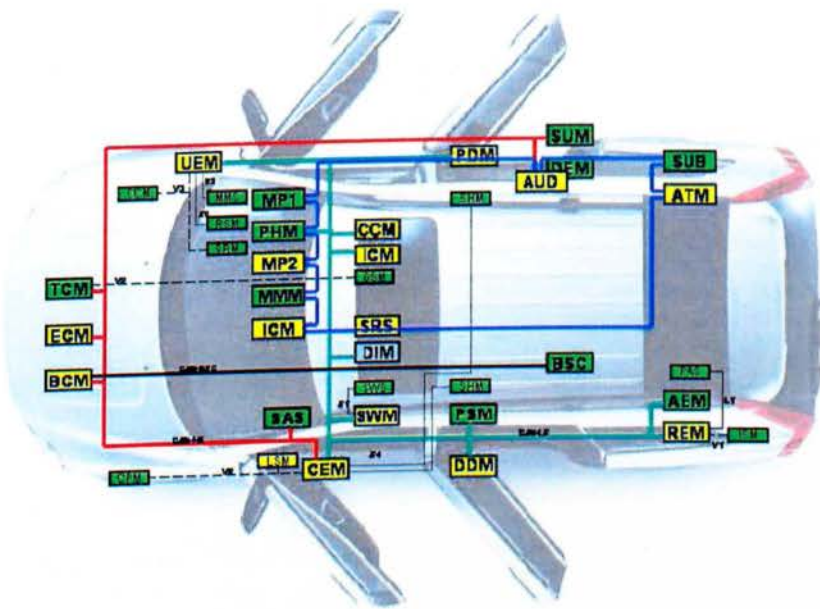
σημαντικότερο κριτήριο επιλογής ποιού ενδο-οχηματικού δικτύου θα χρησιμοποιηθεί σε κάποια συγκεκριμένη εφαρμογή.

2.2 – Είδη δικτύων οχημάτων και οι απαιτήσεις τους.

Τα ενδο-οχηματικά δικτυακά συστήματα μπορούν να διαχωριστούν σε πέντε βασικές κατηγορίες σύμφωνα με τις αντίστοιχες ιδιότητές τους όπως, αρχιτεκτονική, υπηρεσίες και περιορισμοί. Οι πέντε βασικές κατηγορίες είναι οι εξής [1][10]:

α) Μετάδοσης Ισχύος β) Πλαισίου γ) Αμαξώματος δ) Τηλεματικών και της πλέον αναδυόμενης κατηγορίας της ε) Παθητικής Ασφάλειας.

Στο Σχήμα 2.1 [10] αναπαρίσταται η δικτυακή αρχιτεκτονική του οχήματος VOLVO XC90 όπου απεικονίζονται τέσσερα βασικά δίκτυα όπου οι κόμβοι της μετάδοσης ισχύος και του πλαισίου είναι διασυνδεδεμένοι μέσω του πρωτοκόλλου CAN, οι κόμβοι του αμαξώματος μέσω του πρωτοκόλλου LIN και οι κόμβοι των συστημάτων που αφορούν την ψυχαγωγία μέσω του MOST.



| Block | Powertrain and chassis | Block | Infotainment (cont') |
|--------------|---------------------------|--------------|--------------------------------|
| TCM | Transmission control M | ICM | Infotainment control M |
| ECM | Engine control M | Block | Body electronics |
| BCM | Brake control M | DDM | Driver door M |
| BSC | Body sensor cluster | REM | Rear electronic M |
| SAS | Steering angle sensor | PDM | Passenger door M |
| SUM | Suspension M | CCM | Climate control M |
| DEM | Differential electronic M | ICM | Infotainment control M |
| Block | Infotainment | UEM | Upper electronic M |
| AUD | Audio M | DIM | Driver information M |
| MP1 | Media player 1 | AEM | Auxiliary electronic M |
| MP2 | Media player 2 | SRS | Supplementary restraint system |
| PHM | Phone module | PSM | Passenger seat M |
| MMM | Multimedia M | SWM | Steering wheel M |
| SUB | Subwoofer | CEM | Central electronic M |
| ATM | Antenna tuner M | | |

Σχήμα 2.1 – Αρχιτεκτονική δικτύου του οχήματος VOLVO XC90

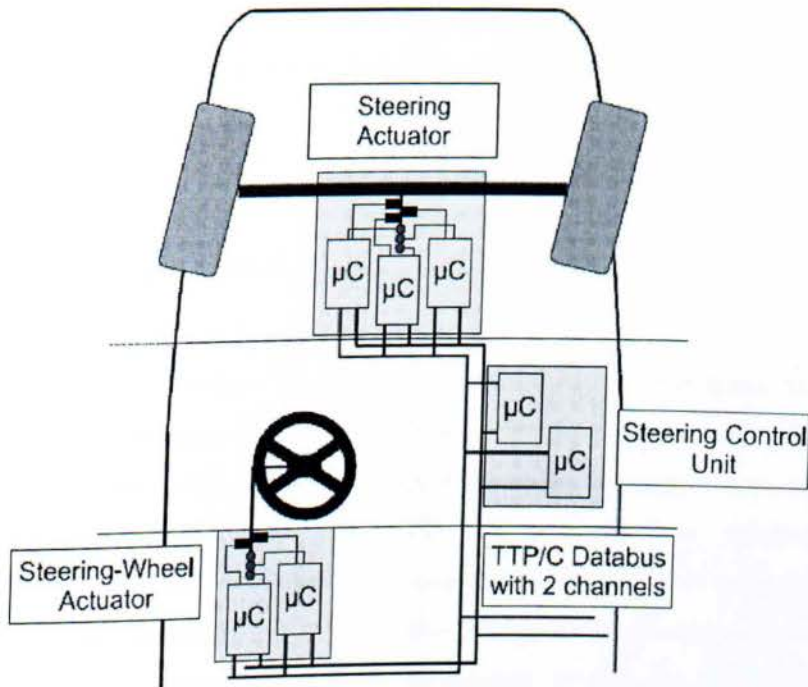
2.2.1 – Δίκτυο μετάδοσης ισχύος

Ο τομέας της μετάδοσης ισχύος κυρίως περιλαμβάνει τις εξής διεργασίες: α) παραγωγή κινητηρίου δύναμης μέσω του κινητήρα (σύστημα ελέγχου κινητήρα) και την β) την μετάδοσή της μέσω του κιβωτίου ταχυτήτων στον κινητήριο άξονα και τους τροχούς (σύστημα ελέγχου του συστήματος μετάδοσης). Ο συγκεκριμένος τομέας διαθέτει πλήθος πολύπλοκων μηχανισμών ελέγχου οι οποίοι έχουν μεγάλες απαιτήσεις όσον αφορά την υπολογιστική και επεξεργαστική ισχύ. Τα υποσυστήματα που λειτουργούν σε πραγματικό χρόνο και απαρτίζουν αυτό το βασικό σύστημα έχουν διαρκείς συναλλαγές πληροφοριών μεταξύ των συστημάτων αμαξώματος και πλαισίου με αυστηρότατες απαιτήσεις όσον αφορά τους χρόνους εκτέλεσης. Έτσι λοιπόν τα συστήματα μετάδοσης ισχύος απαιτούν ένα μεγάλο εύρος ζώνης του δικτύου, υψηλό βαθμό αξιοπιστίας και προβλεψιμότητας στο κομμάτι των επικοινωνιών. Εφόσον οι συνθήκες που επικρατούν στο συγκεκριμένο σύστημα είναι σταθερές και ασφαλώς καθορισμένες, ένας χαμηλός βαθμός ευελιξίας συστήματος είναι αρκετός ώστε να μπορεί να διαχειριστεί εύκολα το σύστημα τις μεταβολές στην κίνηση σημάτων και τον φόρτο του ίδιου του δικτύου.

2.2.2 - Δίκτυο πλαισίου

Το δικτυακό σύστημα του πλαισίου ενός οχήματος περιλαμβάνει εφαρμογές που έχουν να κάνουν με την ενεργητική ασφάλεια, τις δυναμικές της οδήγησης και την υποβοήθησή της και περιλαμβάνονται υποσυστήματα όπως το ABS (Anti-Lock Braking System), ESP (Electronic Stability Program), ASC (Automatic Stability Control), ACC (Adaptive Cruise Control), ASR (Anti-Slip Regulation), EPS (Electronic Power Steering, 4WD (4 – Four Wheel Drive), EDC (Electronic Damper Control) και την ενεργητική ανάρτηση. Παρομοίως με το δίκτυο της μετάδοσης ισχύος, το δίκτυο του πλαισίου έχει συστήματα ελέγχου κλειστού βρόχου και προηγμένα συστήματα πραγματικού χρόνου με εξίσου αυστηρές απαιτήσεις όσον αφορά τους χρόνους εκτέλεσης. Οι εφαρμογές X-By-Wire κάλλιστα μπορούν να αποτελέσουν μέρος αυτού του δικτύου λόγω τόσο των απαιτήσεων όσο και των εφαρμογών και ενεργειών που παρέχουν. Ο γενικότερος όρος **X-By-Wire** (X-Ηλεκτρικά-υποβοηθούμενος) ορίζεται ως η εφαρμογή ηλεκτρονικών υποσυστημάτων που αντικαθιστούν τα μηχανικά και τα υδραυλικά εξαρτήματα ενός συστήματος [1][12].

Οι αυτοκινητιστικοί όροι όπως: πέδηση, διεύθυνση, αλλαγή σχέσης μετάδοσης, οδήγηση και επιτάχυνση αντικαθίστανται από την μεταβλητή X του όρου X-By-Wire. Στο Σχήμα 2.2 αποτυπώνεται ένα παράδειγμα μιας πρωτότυπης εφαρμογής του συστήματος **Steer-By-Wire** (ηλεκτρικά υποβοηθούμενης διεύθυνσης) όπου δεν περιλαμβάνει κανένα μηχανικό εξάρτημα. Αποτελείται εξολοκλήρου από ηλεκτρονικές μονάδες ελέγχου του συστήματος διεύθυνσης όπως και αισθητήρια που τροφοδοτούν το σύστημα με στοιχεία όπως κλίσεις, τιμές ροπής, παρέχοντας ανάδραση τόσο στο ίδιο το σύστημα όσο και στον οδηγό. Τα συγκεκριμένα εξαρτήματα είναι διασυνδεδεμένα μεταξύ τους εντός του δικτύου του πλαισίου μέσω του διαύλου TTP/C [13][14].



Σχήμα 2.2 – Πρωτότυπο συστήματος Steer-By-Wire²

Ομοίως με τα υπόλοιπα συστήματα του πλαισίου, αυτές οι εφαρμογές είναι κρίσιμες όσον αφορά το θέμα της ασφάλειας. Συνοψίζοντας, το δικτυακό σύστημα που αφορά το πλαίσιο ενός οχήματος, συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρικά υποβοηθούμενων εφαρμογών (X-By-Wire) απαιτεί υψηλότατο βαθμό αξιοπιστίας, υψηλό εύρος ζώνης δικτύου και ευελιξία σε κάποιο βαθμό.

² Steer-By-Wire: Σύστημα ηλεκτρικά υποβοηθούμενης διεύθυνσης

2.2.3 – Δίκτυο αμαξώματος

Το δικτυακό σύστημα που αφορά το αμάξιμα ενός οχήματος και διαθέτει μεγαλύτερο αριθμό ηλεκτρονικών μονάδων ελέγχου (ECU) περιλαμβάνει εφαρμογές που έχουν να κάνουν με την οδηγική άνεση του ίδιου του αμαξώματος. Τα υποσυστήματα κλιματισμού, φωτισμού, ηλεκτρικών παραθύρων, κλειδώματος, καθρεπτών, οργάνων, θηρών, καθισμάτων και υποβοήθησης στάθμευσης απαρτίζουν το δικτυακό σύστημα του αμαξώματος. Οι αντίστοιχες εφαρμογές δεν αποτελούν κρίσιμες όσον αφορά την ασφάλεια και δεν απαιτούν μεγάλο εύρος της ζώνης δικτύου όπου η σποραδική μετάδοση πληροφοριών εξαρτάται κυρίως από την διάδραση του συστήματος με τον χειριστή/οδηγό. Η υλοποίηση των επικοινωνιών σε αυτή την περίπτωση πραγματοποιείται από δίκτυα χαμηλού κόστους

2.2.4 - Δίκτυο τηλεματικών

Το δικτυακό σύστημα τηλεματικών αποτελείται από υποσυστήματα πολυμέσων, ψυχαγωγίας και ασύρματων δικτύων. Οι υπηρεσίες γεωγραφικού εντοπισμού (GPS) και πλοήγησης που είναι ενσωματωμένες στο όχημα καθώς και τα συστήματα αναπαραγωγής οπτικών και ψηφιακών μεσών (CD/DVD Players) αποτελούν εφαρμογές του υποσυστήματος πολυμέσων και ψυχαγωγίας. Ακόμα υπηρεσίες που έχουν να κάνουν με την χρήση συσκευών hands-free κινητών τηλεφώνων, συνδέσεων με ηλεκτρονικό υπολογιστή (π.χ. Laptop) και εξωτερικών μονάδων γεωγραφικού εντοπισμού (GPS), αποτελούν εφαρμογές του υποσυστήματος ασύρματων επικοινωνιών.

Πέραν αυτού, οι τεχνολογία ασύρματων επικοινωνιών στα οχήματα παρουσιάζει επιπλέον εφαρμογές και υπηρεσίες όπως πλοήγηση, πληροφόρηση της κυκλοφοριακής κατάστασης, προηγμένη υποβοήθηση του χειριστή/οδηγού, διαχείριση στόλου οχημάτων, συστήματα ασφαλείας, διαγνωστικός έλεγχος και διαχείριση συντήρησης, αναγνώρισης φωνής και ασύρματη σύνδεση στο διαδίκτυο. Είναι αναμενόμενο για αυτό τον συγκεκριμένο τύπο δικτύου να υπάρχει μεγάλη ροή δεδομένων μεταξύ των συστημάτων τόσο μεταξύ των συστημάτων που το απαρτίζουν όσο με τον υπόλοιπο κόσμο εκτός του οχήματος. Αντίθετα με τα υπόλοιπα ενδο-οχηματικά δικτυακά συστήματα που προαναφέρθηκαν και εκτελούν εργασίες σε πραγματικό χρόνο, η ασφάλεια, η ποιότητα των υπηρεσιών (QoS) καθώς και ο

υψηλός βαθμός συνθεσιμότητας και επεκτασιμότητας είναι σημαντικότεροι παράγοντες για τον συγκεκριμένο τύπο δικτύων.

Ακόμη λόγω της ανάγκης για την μετάδοση και μεταφορά πολύ μεγάλων και ποικίλων δεδομένων, το μεγάλο εύρος ζώνης δικτύου και η ευελιξία αποτελούν κρίσιμα χαρακτηριστικά επίδοσης.

2.2.5 - Δίκτυο παθητικής ασφάλειας

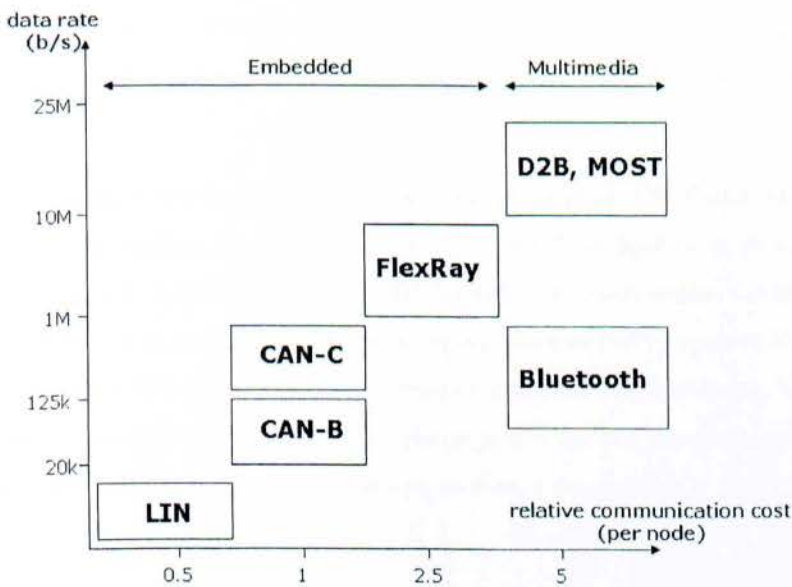
Τέλος, το δικτυακό σύστημα παθητικής ασφάλειας, περιλαμβάνει εφαρμογές που ελέγχουν υποσυστήματα όπως π.χ. τους αισθητήρες σύγκρουσης και ανατροπής του οχήματος, τους αερόσακους και τους προεντατήρες των καθισμάτων. Την στιγμή που ο συγκεκριμένος τύπος δικτύων έχει να κάνει και διαχειρίζεται θέματα που αφορούν την ασφάλεια των επιβατών, υπάρχουν απαιτήσεις για υψηλή αξιοπιστία και προβλεψιμότητα όπως επίσης και μεγάλος ρυθμός μεταφοράς δεδομένων.

2.3 – Κατηγοριοποίηση των ενδο-οχηματικών δικτύων.

Όπως προκύπτει από τις προηγούμενες αναφορές και λόγω των ποικίλων ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών, τα ενδο-οχηματικά δίκτυα έχουν διαφορετικές απαιτήσεις όσον αφορά τις επικοινωνίες. Το 1994 το αμερικανικό σωματείο (κοινωνία) μηχανικών οχημάτων (SAE – Society of Automotive Engineers) δημοσίευσε μια κατηγοριοποίηση αυτού του είδους των δικτύων. Σύμφωνα με αυτή, τα δίκτυα διαχωρίζονται βάσει του εύρους ζώνης (bandwidth) και των εφαρμογών τους [1][18][19]. Οπότε έχουμε:

- Class A:** Δίκτυα χαμηλών ταχυτήτων και κόστους με ρυθμό δεδομένων κάτω των 10 kb/sec, αφορούν κυρίως το δικτυακό σύστημα του αμαξώματος. Τα πρωτόκολλα LIN (Local Interconnected Network) και TTP/A (Time Triggered Lightweight Protocol) αποτελούν χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτής της τάξης δικτύων.
- Class B:** Δίκτυα με ρυθμό δεδομένων μεταξύ 10 και 125 kb/sec. Χρησιμοποιούνται κυρίως για ανταλλαγή πληροφοριών (πχ ταχύτητα οχήματος, πίνακας οργάνων) και σε μερικά άλλα συστήματα που απαιτούν μεγαλύτερες ταχύτητες. Τα πρωτόκολλα J1850 και CAN-B (Low Speed Controller Area Network) είναι παραδείγματα της τάξης B [21].
- Class C:** Δίκτυα με ρυθμό δεδομένων μεταξύ 124 kb/sec και 1 Mb/sec. Χρησιμοποιούνται σε μεγάλο εύρος δραστηριοτήτων, ειδικότερα στις εφαρμογές των συστημάτων μετάδοσης ισχύος και του παισιού (εξαιρουμένων των ηλεκτρικά υποβοηθούμενων συστημάτων X-By-Wire). Παράδειγμα πρωτοκόλλου της τρίτης τάξης το CAN-C (High Speed CAN).
- Class D:** Δίκτυα με ρυθμό δεδομένων μεγαλύτερου του 1 Mb/sec. Σχετίζονται με τα δικτυακά συστήματα των τόσο των τηλεματικών εφαρμογών (πολυμέσα, ψυχαγωγία, ασύρματες επικοινωνίες) όσο και των ηλεκτρικά υποβοηθούμενων συστημάτων (X-By-Wire). Παραδείγματα της τέταρτης τάξης αποτελούν τα MOST (Media-Oriented System Transport), D2B (Digital Data Bus), Bluetooth, TTP/C (Time Triggered Heavyweight Protocol), FlexRay και το ByteFlight [26][27][25][29][30].

Στο Σχήμα 2.3 στην συνέχεια αποτυπώνεται μια σύγκριση μεταξύ των προαναφερθέντων δικτύων επικοινωνιών που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα οχήματα ανάλογα με την εύρος ζώνης του δικτύου που καταλαμβάνουν. Τοποθετούνται στο διάγραμμα βάσει των επιτρεπομένων ρυθμών δεδομένων συναρτήσει του κόστους επικοινωνιών ανά ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (ECU). Γενικότερα, οι καλωδιώσεις των μικροελεγκτών, οι εφαρμογές των υλικών του δικτύου καθώς και τα γενικά στοιχεία που καθορίζουν την κατανάλωση των πόρων καθορίζουν την αξία του κόστους σε ένα δίκτυο [20][23].

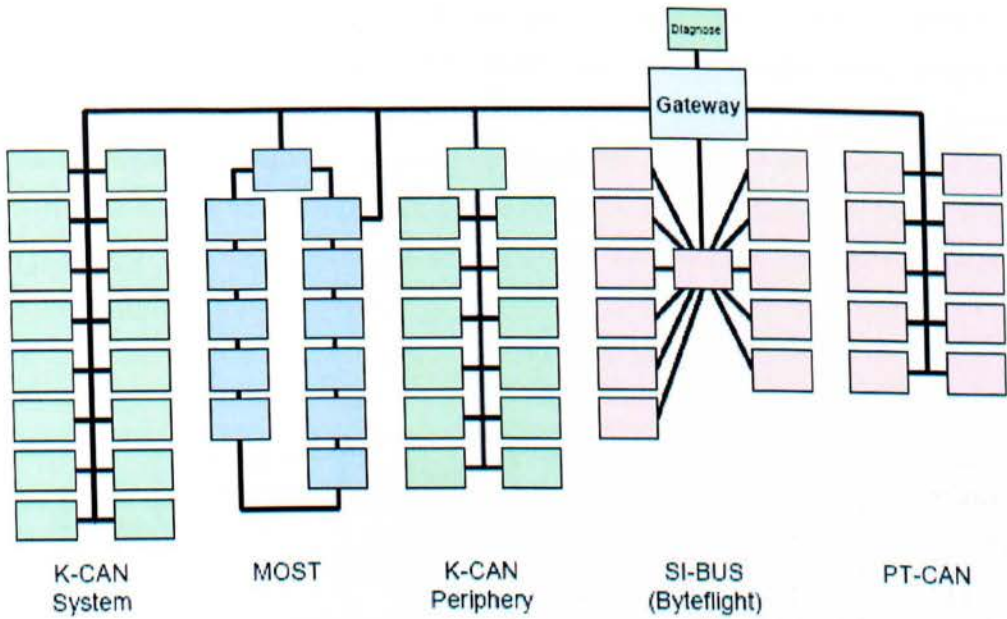


Σχήμα 2.3 – Σύγκριση των ενδο-οχηματικών πρωτοκόλλων επικοινωνιών βάσει του κόστους και του ρυθμού μεταγωγής δεδομένων.

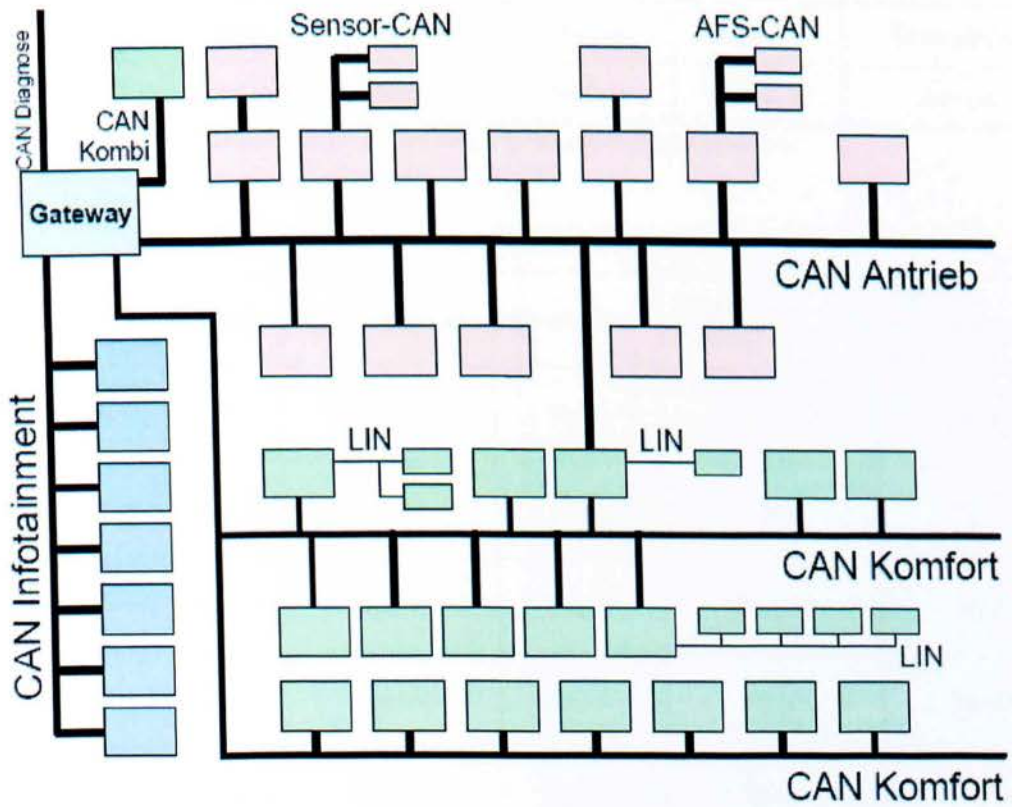
2.4 – Παραδείγματα ενδο-οχηματικών δικτύων

Αποδίδονται στη συνέχεια ενδο-οχηματικά δίκτυα συγκεκριμένων τομέων ενός οχήματος βάσει διαφορών στην αρχιτεκτονική και στα πρωτόκολλα (π.χ. Volvo XC90, BMW σειρά 7, VW Passat). Στα σχήματα: Σχήμα 2.4 και Σχήμα 2.5, απεικονίζονται οι δικτυακές υποδομές των οχημάτων BMW σειρά 7 και VW Passat. Όπως φαίνεται από το Σχήμα 2.4, διαφορετικοί τύποι δικτύων CAN (διαφορετικών ταχυτήτων δεδομένων), K-CAN, F-CAN, PT-CAN και LoCAN εφαρμόζονται καταχρηστικά σε τομείς που αφορούν το πλαίσιο του οχήματος, την μετάδοση ισχύος και το αμάξωμα καθώς και τον τομέα της άνεσης. Ωστόσο σε εφαρμογές πολυμέσων, διασκέδασης και παθητικής ασφάλειας τα δίκτυα MOST και ByteFlight (SI-BUS) είναι προτιμότερα. Η διασύνδεση μεταξύ των διαφορετικών δικτυωμάτων πραγματοποιείται με την χρήση μιας πύλης (gateway) όπως ονομάζεται [10][15][16].

Παρόμοια διασύνδεση δικτύων εφαρμόζεται στο όχημα VW Passat όπου όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2.5, μόνο τα δίκτυα CAN και LIN βρίσκονται σε εφαρμογή (αφορά CAN διαφορετικών ταχυτήτων δεδομένων). Το πρωτόκολλο CAN-Antrieb χρησιμοποιείται για τα συστήματα μετάδοσης ισχύος, πλαισίου ενώ το πρωτόκολλο CAN-Komfort και CAN-Infotainment για τα αντίστοιχα ονομαστικά τους συστήματα. Επίσης να αναφερθεί πως ταυτοχρόνως με το το CAN, γίνεται χρήση και του πρωτοκόλλου LIN για τις εφαρμογές του αμαξώματος και των συστημάτων άνεσης των επιβατών.



Σχήμα 2.4 – Υποδομή δικτύου οχήματος BMW Σειρά 7 [10][15]



Σχήμα 2.5 – Υποδομή δικτύου οχήματος VW Passat [10][16]

Συμπληρωματικά αναφέρονται λεπτομέρειες της τεχνολογίας δικτύου του οχήματος BMW-Σειρά 7, ξεχωριστά για κάθε τομέα και ανά κατηγορίες όπως: μέγεθος προγράμματος (κώδικας), αριθμός ηλεκτρονικών μονάδων ελέγχου (ECUs), εύρος ζώνης δικτύου, αριθμός μηνυμάτων, περίοδος χρήσης (cycle time), απαιτήσεις ασφαλείας και τοπολογία δικτύου. Όλα αυτά τα δεδομένα αποτυπώνονται στον **Πίνακα 2.1**. Επίσης στον **Πίνακα 2.2** αναγράφονται περιληπτικά οι απαιτήσεις του συγκεκριμένου ενδο-οχηματικού δικτύου [10].

| | Μετάδοση Ισχύος | Πλαίσιο | Αμάξωμα | Τηλεματική | Παθητική Ασφάλεια |
|----------------------|-----------------|--------------|-------------|-------------|-------------------|
| Μέγεθος προγράμματος | 2 MB | 4.5 MB | 2.5 MB | 100 MB | 1.5 MB |
| Αριθμός ECUs | 3-6 | 6-10 | 14-30 | 4-12 | 11-12 |
| Εύρος ζώνης δικτύου | 500 KB/sec | 500 KB/sec | 100 KB/sec | 22 MB/sec | 10 MB/sec |
| Αριθμός μηνυμάτων | 36 | 180 | 300 | 660 | 20 |
| Περίοδος λειτουργίας | 10msec-10sec | 10msec-10sec | 50msec-2sec | 20msec-5sec | 10msec |
| Απαιτήσεις ασφαλείας | Υψηλές | Υψηλές | Χαμηλές | Χαμηλές | Πολύ υψηλές |
| Τοπολογία δικτύου | Διαύλου | Διαύλου | Διαύλου | Δακτυλίου | Λοστέρα |

Πίνακας 2.1 – BMW Σειρά 7, Δικτυακά χαρακτηριστικά

| | Ευελιξία | Προβλεψιμότητα | Αξιοπιστία | Εύρος ζώνης δικτύου | Ασφάλεια δεδομένων από τρίτους |
|-----------------|----------|----------------|------------|---------------------|--------------------------------|
| Μετάδοση ισχύος | Χαμηλή | Υψηλή | Υψηλή | Υψηλή | N/A |
| Πλαίσιο | Μερική | Υψηλή | Υψηλή | Υψηλή | N/A |
| Αμάξωμα/Άνεση | Μερική | Μερική | Μερική | Χαμηλή | N/A |
| Τηλεματική | Υψηλή | Μερική | Χαμηλή | Υψηλή | Υψηλή |
| Παθ. Ασφάλεια. | Χαμηλή | Χαμηλή | Υψηλή | Υψηλή | N/A |

Πίνακας 2.2 – Απαιτήσεις ενδο-οχηματικού δικτύου BMW Σειρά 7

Στον Πίνακα 2.2, ο δικτυακός τομέας του πλαισίου του οχήματος περιλαμβάνει επίσης τα υποσυστήματα ενεργητικής ασφάλειας και τα ηλεκτρικά υποβοηθούμενα (X-By-Wire). Η συνθεσιμότητα και η επεκτασιμότητα αποτελούν κοινές απαιτήσεις των δικτύων, ωστόσο δεν αναφέρονται σε αυτόν τον πίνακα. Ακόμα αποτελούν κοινότυπες απαιτήσεις για αυτό τον τύπο δικτύων και συγκεκριμένα είναι πολύ σημαντικές στον τομέα των τηλεματικών εφαρμογών. Επίσης η ασφάλεια δεδομένων από τρίτους (Confidentiality) αποτελεί απαιτούμενο χαρακτηριστικό ασφαλείας για τις ασύρματες επικοινωνίες μεταξύ ή εντός των οχημάτων.

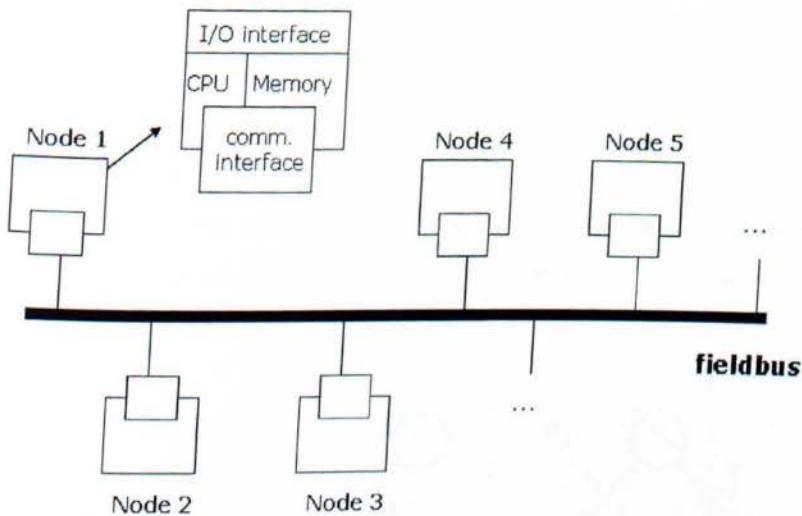
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο – Περιοδικές και μη-περιοδικές επικοινωνίες

Τα πρωτόκολλα διαύλων επικοινωνίας και δικτύων μπορούν να διαχωριστούν ή να ταξινομηθούν υπό τις εξής δύο μεγάλες κατηγορίες των α) Περιοδικών Επικοινωνιών και β) Μη-περιοδικών Επικοινωνιών. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα δοθεί πρώτα μια σύντομη περιγραφή του γενικού μοντέλου των ενδο-οχηματικών δικτύων. Έπειτα θα συζητηθούν παραδείγματα των επικείμενων περιοδικών και μη επικοινωνιών, συγκρινόμενα και βασιζόμενα σε ορισμένα χαρακτηριστικά απόδοσης. Τέλος, θα παρουσιαστεί η υβριδική προσέγγιση που αφορά τον συνδυασμό των δύο κατηγοριών επικοινωνιών [2][5][31][32][33][34].

3.1 – Γενικό μοντέλο δικτύου

Αρκετές τοπολογίες δικτύων (π.χ. αστεροειδείς, σειριακές, πεπλεγμένες, διαύλου, δακτυλίου ακόμη και τοπολογίες πυλών) μπορούν να υιοθετηθούν ώστε να παρέχουν επικοινωνία μεταξύ διασυνδεδεμένων κόμβων. Αυτή την στιγμή, λόγω της απλότητας, την ευελιξίας (εύκολη επέκταση και εξέλιξη του συστήματος) και φυσικά λόγω του χαμηλού κόστους (εγκατάστασης και ολικού βάρους λόγω λιγότερης καλωδίωσης) φαίνεται πως η σειριακή τοπολογία αποτελεί την αρτιότερη λύση. Στο Σχήμα 3.1 απεικονίζεται η αρχιτεκτονική δικτύου πεδίου fieldbus³, η οποία αποτελεί παράδειγμα ενός κατανεμημένου συστήματος ελέγχου αποτελούμενο από έναν δίαυλο και κόμβους οι οποίοι αποτελούνται από α) κεντρική μονάδα ελέγχου (ECU) β) μονάδα μνήμης (RAM, ROM, EEPROM) γ) διεπαφή εισόδου/εξόδου και δ) την διεπαφή επικοινωνιών. Η διεπαφή επικοινωνιών αποτελείται από μια μονάδα ελέγχου επικοινωνιών και έναν πομποδέκτη. Ακόμη μπορούν να προστεθούν κόμβοι για να επιτευχθούν συγκεκριμένες εφαρμογές (πχ ASIC για την επιτάχυνση των λειτουργιών) [35].

³ FieldBus είναι το όνομα μιας οικογένειας των βιομηχανικών πρωτοκόλλων δικτύου υπολογιστών που χρησιμοποιείται για κατανεμημένο έλεγχο σε πραγματικό χρόνο. Τυποποιημένες με το πρότυπο IEC 61158.

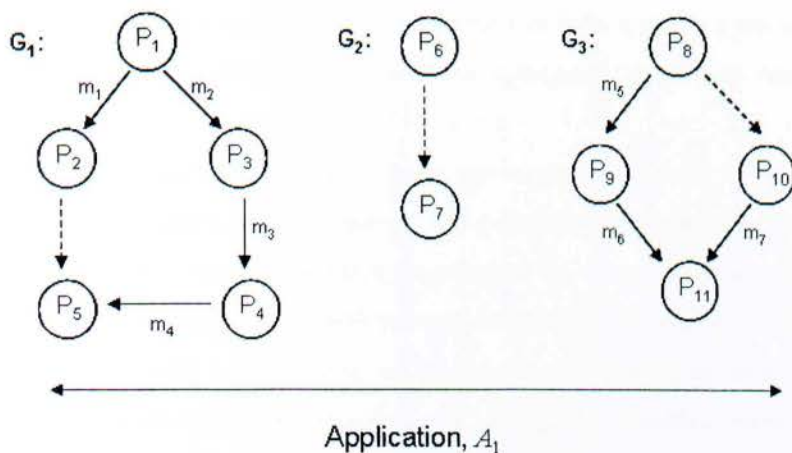


Σχήμα 3.1 - Αρχιτεκτονική δικτύου FieldBus

Το άνωθεν παράδειγμα διαμοιρασμένης αρχιτεκτονικής διαύλων δικτύου, αποτελεί ένα μοντέλο ενός ενδο-οχηματικού συστήματος ελέγχου. Αυτά τα είδη δικτύου είναι σχεδιασμένα και αξιοποιούνται σε μια συγκεκριμένη ομάδα εφαρμογών, παραδείγματα των οποίων αναφέρονται στο Κεφάλαιο 2.2. Σε αυτούς τους τομείς του οχήματος, είναι να δυνατόν να υπάρχουν περισσότερα από ένα δίκτυα τα οποία δεν είναι απαραίτητο να είναι ομογενή (π.χ. να αποτελούνται από κοινή μονάδα ελέγχου ή μονάδα μνήμης) και να μερίζονται τις ίδιες εφαρμογές, τον ίδιο λειτουργικό προγραμματισμό καθώς και τα ίδια πρωτόκολλα. Και μερικά από αυτά τα δίκτυα ίσως χρειάζονται να συνεργάζονται ώστε να μπορούν να εκτελέσουν μια εφαρμογή ικανοποιώντας ακόμη συνθήκες που απαιτούν διαλειτουργικότητα και αδιάρρηκτη επικοινωνία.

Οι εφαρμογές εμπεριέχουν ένα σύνολο λογισμικών που εκτελούνται σε πραγματικό χρόνο (συστατικά στοιχεία του λογισμικού της κύριας εφαρμογής) καθένα από αυτά αποτελείται από ένα σετ επιμέρους λειτουργιών. Λειτουργία αποκαλείται μια διαδικασία οδηγιών-εντολών που ξεκινά αφού «πυροδοτηθεί» ή αποκτήσει τις απαιτούμενες για αυτήν εισόδους. Οι λειτουργίες αυτές υπόκεινται σε αυστηρούς χρονικούς περιορισμούς λόγω της φύσης τους να εκτελούνται σε ένα περιβάλλον πραγματικού χρόνου και ενσωματώνονται στις μονάδες ηλεκτρονικού ελέγχου (ECUs). Προγραμματίζονται χρονικά και εκτελούνται επί των κόμβων βάσει του χρονικού προγραμματισμού και των μηχανισμών διαχείρισης πόρων που γίνονται στο σύστημα λόγω έλλειψης επεξεργαστικής ισχύος και μνήμης. Επιμέρους εφαρμογές που εκτελούνται από διαφορετικές οργανωτικές διαδικασίες (γραφήματα

διαδικασιών [36]) αποτελούν την κύρια εφαρμογή. Στο Σχήμα 3.2 απεικονίζεται η επεξήγηση του προαναφερθέντος μοντέλου και αποδίδονται τρία (3) σχηματικά λειτουργιών που περιλαμβάνουν μια εφαρμογή η οποία με την σειρά της συμπεριλαμβάνει της δικές της ενέργειες και μηνύματα. Στο σχετικό σχήμα, τα βέλη σχετίζουν την ανταλλαγή μηνυμάτων μεταξύ των λειτουργιών που αντιστοιχίζονται σε διαφορετικούς κόμβους. Τα διακεκομμένα βέλη αναπαριστούν την επικοινωνία λειτουργιών στον ίδιο κόμβο. Οι όροι P_i και m_i αποδίδουν τις λειτουργίες και τα μηνύματα αντιστοίχως.



Σχήμα 3.2 – Μοντέλο εφαρμογών που συμπεριλαμβάνει λειτουργίες και μηνύματα.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, από την στιγμή που τα μέρη του λογισμικού, ή των λειτουργιών μιας εφαρμογής μπορούν να είναι διαθέσιμα σε ένα ή περισσότερα δίκτυα, ενώ η δικτυακή υποδομή είναι απαραίτητη για να παρέχει την διάδραση μεταξύ των διαφόρων κόμβων όχι μόνο εντός του ίδιου δικτύου αλλά και μεταξύ διαφορετικών δικτύων. Οι κόμβοι δημιουργούν σε πραγματικό χρόνο αρκετά σήματα, περιοδικά και απεριοδικά, σήματα που αφορούν έλεγχο, κατάσταση, διάδραση και σήματα-προειδοποιήσεις βασισζόμενα σε εκτελέσεις λειτουργιών, είσοδοι/έξοδοι αισθητηρίων, και μεταδίδονται σε όλη την έκταση του δικτύου όπου μπορεί να είναι απαραίτητα για την εκτέλεση εργασιών ικανοποιώντας ταυτόχρονα τις όποιες απαιτήσεις χρόνων εκτέλεσης. Στα σύγχρονα οχήματα, παρόμοια συστήματα παράγουν πολλαπλάσια σήματα και είναι γενικότερα ομαδοποιημένα σε πλαίσια μηνυμάτων προκειμένου να μπορούν να εκμεταλλευτούν όσο τον δυνατόν καλύτερα το εύρος δικτύου. Μετά την ομαδοποίηση, τα σήματα παραμένουν σε κατάσταση ουράς στον ελεγκτή επικοινωνιών ώστε να χαρακτηριστούν έτοιμα προς

μετάδοση. Μεταδίδονται μέσω του πομποδέκτη που ορίζει ο μηχανισμός χρονικού προγραμματισμού του ενδο-οχηματικού δικτύου.

Όπως φαίνεται από την ανωτέρω αναφορά, υπάρχει σημαντική συσχέτιση όσον αφορά τον χρονικό προγραμματισμό των επικοινωνιών και των αντίστοιχών λειτουργιών πράγμα πολύ σημαντικό για την σωστή λειτουργία του δικτύου. Την στιγμή που αυτό το είδος των συστημάτων είναι ιδιαίτερος πολύπλοκο, οι τεχνικές ανάλυσης και βελτιστοποίησης είναι απαραίτητες. Οι εργασίες πρέπει να είναι προγραμματισμένες βάσει των κόμβων και οι επικοινωνίες σύμφωνα με το δίκτυο έτσι ώστε η ανάλυση των εφαρμογών του συστήματος να συμπεριλαμβάνει την ικανότητα προγραμματισμού τόσο των εργασιών όσο και των σημάτων.

Ακολούθως παρουσιάζονται οι ολιστικές προσεγγίσεις όσον αφορά την ικανότητα χρονικού προγραμματισμού ενός συστήματος. Οι συγγραφείς επεκτείνουν την υπάρχουσα στατική προτεραιότητα προτίμησης προγραμματισμού για διανεμημένα συστήματα που εκτελούν εργασίες σε πραγματικό χρόνο εφαρμόζοντας το πρωτόκολλο επικοινωνίας TDMA. Η πολυδικτυακή αρχιτεκτονική και ένα μοντέλο εφαρμογής αποδίδονται ως ένα ετερογενές σύστημα που εμπεριέχει περιοδικές και μη-περιοδικές ομάδες επικοινωνιών που είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους μέσω μιας πύλης. Επιπροσθέτως, το πρόβλημα της πολυομαδικής βελτιστοποίησης ορίζεται υπό τους εξής δύο τομείς (α) Διαχωρισμός (ανάθεση μιας λειτουργίας στην περιοδική ή μη-περιοδική ομάδα λειτουργιών και χαρακτηρισμό των εργασιών στους αντίστοιχους κόμβους και (β) ομαδοποίηση [36][37].

3.2 - Παραδείγματα περιοδικών και μη-περιοδικών επικοινωνιών

Οι μηχανισμοί προγραμματισμού επικοινωνιών μπορούν να βασιστούν σε διάφορα παραδείγματα όπως για παράδειγμα αυτό των περιοδικών και μη περιοδικών επικοινωνιών. Αυτά τα παραδείγματα καθορίζουν την βασική συμπεριφορά των πρωτοκόλλων επικοινωνιών. Στις μη περιοδικές επικοινωνίες, τα μηνύματα μεταδίδονται βάσει συγκεκριμένων γεγονότων και οι μεταδόσεις των μηνυμάτων εκτελούνται το συντομότερο δυνατό.

Τα περισσότερα πρωτόκολλα μη περιοδικών επικοινωνιών είναι βασισμένα στην CSMA/CR (Carrier sense multiple access/collision resolution) μέθοδο πρόσβασης μέσων. Η μετάδοση των σημάτων πραγματοποιείται μέσω της διατησίας ή οποία με την σειρά της βασίζεται στην προτεραιότητα που φέρει το κάθε σήμα ώστε να αποφεύγονται συγκρούσεις. Λόγω αυτής της ιδιότητας, αυτό το είδος δικτύων αποκαλείται «διάυλος προτεραιότητας» (priority bus).

Η ευελιξία και η επεκτασιμότητα και η δυνατότητα άμεσης απόκρισης σε ασύγχρονα γεγονότα αποτελούν σημαντικά πλεονεκτήματα της μη περιοδικής προσέγγισης επικοινωνιών. Η γρήγορη απόκριση και η μετάδοση μηνυμάτων βάσει γεγονότων αποδίδουν σε αυτό το παράδειγμα ένα μεγάλο βαθμό ευελιξίας και απόδοσης επί του εύρους ζώνης [1].

Επιπλέον, λόγω των μηχανισμών προγραμματισμού των επικοινωνιών (CSMA/CR) αυτά τα είδη δικτύων είναι πολύ εύκολο να επεκταθούν. Επίσης δεν είναι απαραίτητος ο επανασχεδιασμός του χρονικού προγραμματισμού σε περίπτωση αλλαγών στο σύστημα. Οι κυριότεροι εκπρόσωποι αυτού του παραδείγματος είναι τα πρωτόκολλα VAN, CAN και J1850. Τα πρωτόκολλα VAN και J1850 τα οποία εφαρμόζονται στο τομέα δικτύων που αφορούν το αμάξιμα, έχουν αντικατασταθεί στα σύγχρονα οχήματα από το πρωτόκολλο CAN που αποτελεί το σημερινό πρότυπο για τις ενδο-οχηματικές επικοινωνίες.

Στην προσέγγιση των περιοδικών επικοινωνιών, η επικοινωνία μεταξύ κόμβων πραγματοποιείται με την πάροδο του χρόνου. Με άλλα λόγια, η μετάδοση των σημάτων εκτελείται σε προκαθορισμένες χρονικές στιγμές η οποίες βασίζονται στην υποδιαίρεση πολλαπλής πρόσβασης (TDMA – Time division multiple access) του συστήματος κατανομής εύρους ζώνης. Την στιγμή που τα διαστήματα για την μετάδοση των σημάτων είναι προκαθορισμένα και ντετερμινιστικά, τυχόν ελλείποντα μηνύματα ή ακόμα και

λανθασμένες εισοδοι από έναν κόμβο είναι εύκολο να εντοπιστούν εντός του δικτύου και να αφαιρεθούν.

Η συγκεκριμένη λειτουργία χαρακτηρίζει το συγκεκριμένο παράδειγμα επικοινωνιών με έναν υψηλό βαθμό προβλεψιμότητας και αξιοπιστίας. Επίσης της στιγμή που η λειτουργία τους συστήματος εκτελείται κάτω από ένα στατικό και αμετάβλητο χρονοδιάγραμμα δεν προκύπτει απαίτηση για μηχανισμούς διαιτησίας και επόπτευσης του διαύλου (όπως εν αντιθέσει στο CAN) με αποτέλεσμα υψηλοτάτους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων. Δυστυχώς αυτή η ιδιότητα καθιστά δύσκολη κάθε μεταβολή εντός του δικτύου διότι για να προστεθούν ή να αφαιρεθούν κόμβοι και μηνύματα αντιστοίχως θα πρέπει να ενημερωθεί καταλλήλως το προκαθορισμένο χρονοδιάγραμμα εκτέλεσης εργασιών. Ακόμη για αυτό το είδος δικτύων είναι απαραίτητος ο συγχρονισμός με πολύ μεγάλη ακρίβεια του ρολογιού συστήματος.

Ο μεγάλος βαθμός προβλεψιμότητας, αποτέλεσμα του προκαθορισμένου και στατικού χρονοδιαγράμματος εργασιών καθιστά ευκολότερη την εφαρμογή μηχανισμών με ανοχή σε σφάλματα στα δίκτυα περιοδικών επικοινωνιών, λειτουργία που οδηγεί σε έναν υψηλό βαθμό αξιοπιστίας. Έτσι λοιπόν, η εφαρμογή ενός πρωτοκόλλου περιοδικών επικοινωνιών προτείνεται ως πιθανή λύση ειδικότερα για τα συστήματα που εκτελούν εργασίες σε πραγματικό χρόνο (πχ εφαρμογές ενεργητικής ασφάλειας, ηλεκτρικά υποβοηθούμενες εφαρμογές X-By-Wire). Για παράδειγμα, το πρωτόκολλο TTP/C εφαρμόζει το σχέδιο TDMA όπου τα δικαιώματα πρόσβασης κάθε κόμβου στον δίαυλο είναι διαδοχικά και προκαθορισμένα.

Συνοψίζοντας την σύγκριση μεταξύ των παραδειγμάτων περιοδικών και μη περιοδικών επικοινωνιών, η εξάρτηση της επικοινωνίας σε ένα προκαθορισμένο και αμετάβλητο χρονοδιάγραμμα ενός δικτύου περιοδικών επικοινωνιών καθιστά το περιοδικό δίκτυο περισσότερο προβλέψιμο έναντι ενός μη περιοδικού. Όσον αφορά την συνθεσιμότητα, η μεταβολή στη διαμόρφωση του συστήματος ενός μη περιοδικού δικτύου θα οδηγήσει σε αλλαγή των χρονικών ιδιοτήτων των σημάτων. Ωστόσο, σε ένα δίκτυο περιοδικών επικοινωνιών, το περιεχόμενο των μηνυμάτων είναι καθορισμένο και αποθηκευμένο στους ελεγκτές επικοινωνιών των κόμβων κατά την διάρκεια της σύνθεσης τους. Αυτό καθιστά της χρονικές ιδιότητες των επικοινωνιών ανεξάρτητες του λογισμικού των εφαρμογών. Ακόμη, μια μεταβολή στην διαμόρφωση του συστήματος δεν επηρεάζει τις χρονικές ιδιότητες τόσο όσο επηρεάζονται σε ένα μη περιοδικό δίκτυο χαρακτηρίζοντας το δίκτυο με μεγάλη συνθεσιμότητα. Συν τοις άλλοις τα χρονοδιαγράμματα επικοινωνιών

Στον ακόλουθο **Πίνακα 3.1** συνοψίζονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των περιοδικών και μη περιοδικών συστημάτων επικοινωνιών.

| | Ευελξία | Προβλεφημότητα | Αξιοπιστία | Συνθεσιμότητα | Ελεκτασιμότητα |
|---------------------|---------|----------------|------------|---------------|----------------|
| Περιοδικά | Υψηλή | Χαμηλή | Μέτρια | Χαμηλή | Υψηλή |
| Μη Περιοδικά | Χαμηλή | Υψηλή | Υψηλή | Υψηλή | Χαμηλή |
| Υβριδικά | Μέτρια | Υψηλή | Υψηλή | Υψηλή | Μέτρια |

Πίνακας 3.1 – Σύγκριση παραδειγμάτων ενδο-οχηματικών επικοινωνιών.

Θα πρέπει να σημειωθεί ωστόσο, πως η αξιολόγηση των ανωτέρω πίνακα αποδίδεται μόνο ως μια γενική ιδέα όσον αφορά τα γενικά χαρακτηριστικά των περιοδικών, μη περιοδικών και υβριδικών επικοινωνιών. Ωστόσο, με επιπλέον μηχανισμούς οι οποίοι προκύπτουν κατά την φάση της σχεδίασης, ένα ενδο-οχηματικό πρωτόκολλο επικοινωνίας μπορεί να παρουσιάσει ικανοποιητικά αποτελέσματα σε έναν τομέα όπου δεν είναι αναμενόμενο σύμφωνα πάντα με τα κριτήρια για τα οποία έχει σχεδιαστεί. Για παράδειγμα, μηχανισμοί για επιπρόσθετη ανίχνευση σφαλμάτων και επαναφορά μπορούν να κάνουν το πρωτόκολλο CAN αξιόπιστο ως ένα μεγάλο βαθμό. Έχοντας υπόψη την ευελξία του συστήματος, η απόδοση όσον αφορά την χρήση του εύρους ζώνης και οι χρόνοι απόκρισης εξαρτώνται από τον φόρτο του δικτύου. Για χαμηλές και μέτριες συνθήκες φόρτου τα μη περιοδικά συμπεριφέρονται και αποδίδουν καλύτερα ενώ για συνθήκες υψηλού φόρτου δικτύου οι διαφορές στην απόδοση μεταξύ περιοδικών και μη-περιοδικών δικτύων μειώνεται. Λόγω και κάτω από υψηλό φόρτο, τα μηνύματα χαμηλής προτεραιότητας υποφέρουν από μεγάλους χρόνους αναμονής για να μεταδοθούν στα μη περιοδικά δίκτυα ενώ στα περιοδικά, μεταδίδονται κατά την διάρκεια του δεσμευμένου χρονικού πλαισίου «παραθύρου» σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα εργασιών που καθορίζει την λειτουργία του δικτύου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο – Πρωτόκολλα επικοινωνίας οχημάτων

Τα ηλεκτρονικά δίκτυα των σύγχρονων οχημάτων, σχεδιάζονται έχοντας υπόψη ένα ιδιαίτερο και «δύσκολο» δικτυακό περιβάλλον, κυρίως λόγω του θορύβου και των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών (EMI – Electro Magnetic Interference). Τα ενδο-οχηματικά πρωτόκολλα επικοινωνιών εφαρμόζονται για να παρέχουν πάντοτε διαθέσιμες και αξιόπιστες επικοινωνίες κάτω από δύσκολες συνθήκες και διαταραχές. Γενικότερα, τα πρωτόκολλα ορίζουν τόσο το φυσικό όσο και το πληροφοριακό μέσο δεδομένων κατά το πρότυπο ISO/OSI (Open Systems Interconnection) και αναπτύσσονται σύμφωνα με τους κάτωθι εναλλακτικούς μηχανισμούς πρόσβασης μέσου:

- CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection), πχ Ethernet
- CSMA/CR (Carrier Sense Multiple Access / Collision Resolution), πχ CAN
- CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance),
- TDMA (Time Division Multiple Access), πχ TTP/C
- FTDMA (Flexible Time Division Multiple Access), πχ ByteFlight, FlexRay
- Κατανεμημένες λύσεις βάσει ενδείξεων, πχ TTP (Time Token Protocol),
- Επικεντρωμένες λύσεις βάσει των κύριων κόμβων, πχ LIN και TTP/A

Είναι πιθανό ένα ενδο-οχηματικό πρωτόκολλο να μπορεί να χρησιμοποιεί περισσότερους από έναν από αυτούς τους εναλλακτικούς μηχανισμούς. Για παράδειγμα το FTT-CAN πρωτόκολλο χρησιμοποιεί επικεντρωμένες λύσεις αναθέτοντας σε έναν κόμβο να προγραμματίσει τα περιοδικά μηνύματα και ταυτοχρόνως να δεσμεύσει εύρος ζώνης για τα μη περιοδικά μηνύματα, το οποίο ερμηνεύεται ως ταυτόχρονη χρήση του μηχανισμού FTDMA. Επίσης, κατά την διάρκεια ανάμεσα στα δεσμευμένα διαστήματα μετάδοσης, αποστέλλονται τα πακέτα μη περιοδικών μηνυμάτων βάσει της διαιτησίας που είδη τηρείται από τους μηχανισμούς CSMA/CR το πρωτοκόλλου CAN.

Σύμφωνα με το δικτυακό μοντέλο που περιγράφεται στην αρχή του 3^{ου} κεφαλαίου, ένα ενδο-οχηματικό δίκτυο που εκτελεί εργασίες σε πραγματικό χρόνο ορίζεται από τα εξής τρία επίπεδα του προτύπου ISO/OSI: (α) Το επίπεδο του φυσικού μέσου (β) το επίπεδο των πληροφοριών και (γ) το επίπεδο των εφαρμογών. Είναι πιθανό να υπάρχει ακόμα ένα επίπεδο μεταξύ του επιπέδου των πληροφοριών και των εφαρμογών (2^ο και 3^ο) το οποίο ονομάζεται ενδιάμεσο επίπεδο επικοινωνιών (Middleware Layer) του οποίου ο σκοπός είναι να διευκολύνει την ένταξη και ενσωμάτωση διαφορετικών εξαρτημάτων [1]. Οι εφαρμογές αυτού του επιπέδου εξηγούνται στην συνέχεια.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, συνοψίζονται τα κυριότερα ενσώματα ενδο-οχηματικά πρωτόκολλα επικοινωνίας, σύμφωνα με τα διάφορα χαρακτηριστικά τους όπως: οι τοπολογίες διαύλων, το εύρος ζώνης, ο χρονικός προγραμματισμός των επικοινωνιών και οι μηχανισμοί ανοχής σφαλμάτων κλπ. Τέλος, συνοψίζεται επίσης το ενδιάμεσο επίπεδο επικοινωνιών που αναφέρθηκε ανωτέρω.

4.1 – Ενδο-οχηματικά δίκτυα

Σε αυτό το κεφάλαιο όπως αναφέρθηκε περιγράφονται τα κυριότερα ενσύρματα ενδο-οχηματικά δίκτυα επικοινωνιών. Ακόμα, αναφέρεται εν συντομία το κυριότερο και πιο σύνθητες σε χρήση πρωτόκολλο πληροφοριών και διασκέδασης των οχημάτων. Και τέλος όλα τα περιγραφόμενα ενδο-οχηματικά δίκτυα παρατίθενται σε πίνακα σύμφωνα με τα γενικά δικτυακά χαρακτηριστικά τους και τις προαναφερθείσες ιδιότητες πχ χρονικός προγραμματισμός, χρήση εύρους δικτύου, συγχρονισμός λειτουργιών κλπ.

4.1.1 – Local Interconnected Network (LIN)

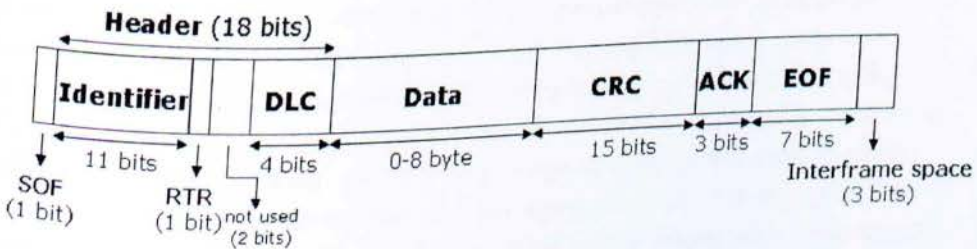
Το LIN (Local Interconnected Network) είναι ένας χαμηλού κόστους και χαμηλής ταχύτητας (20 kB/sec) σειριακός δίαυλος ενδο-οχηματικών δικτύων επικοινωνιών που χρησιμοποιείται συνήθως σε εφαρμογές του αμαξώματος και της άνεσης των επιβατών. Το LIN είναι μη περιοδικό δίκτυο όπου χρησιμοποιεί μηχανισμούς τύπου master/slave, όπου ο κύριος (master) κόμβος διαχειρίζεται της μεταδόσεις των μηνυμάτων βάσει του χρονοδιαγράμματος εργασιών εκπέμποντας ένα «πρόθεμα» (εκτελεί χρέη αναγνωριστικού - identifier) στον δίαυλο και έπειτα ο βοηθητικός (slave) κόμβος μαζί με το πρόθεμα αποστέλλει το μήνυμα. Το πακέτο δεδομένων του LIN αποτελείται από 8 bytes δεδομένων και η δέσμευση του εύρους ζώνης εξαρτάται τον μηχανισμό εκλογής του κυρίου κόμβου. Επίσης το LIN διαθέτει λειτουργία εξοικονόμησης εύρους ζώνης (ο δευτερεύον slave κόμβος δεν ενεργεί εάν δεν έχει προηγηθεί αίτημα από τον κύριο master κόμβο, οπότε ο επόμενος διαθέσιμος κύριος κόμβος αναλαμβάνει σειρά) και ενέργειας (λειτουργία Sleep Mode για τους κόμβους).

Σήμερα, το πρωτόκολλο LIN χρησιμοποιείται ευρύτατα σε εφαρμογές που έχουν να κάνουν με το αμάξι των οχημάτων λόγω της απλότητας του και φυσικά λόγω του χαμηλού κόστους. Ωστόσο σε ορισμένα δίκτυα οχημάτων όπου απαιτούνται ταχύτεροι ρυθμοί μετάδοσης δεδομένων, προτιμάται το πρωτόκολλο CAN-B (με ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων στα 125 kB/sec).

4.1.2 – Controller Area Network (CAN)

Το CAN (Controller Area Network) είναι ένας σειριακός διαύλος μετάδοσης που αναπτύχθηκε από την κατασκευάστρια εταιρεία Robert Bosch GmbH στα μέσα της δεκαετίας του 1980. Μεταγενέστερα, και συγκεκριμένα το 1994 χαρακτηρίστηκε ως διεθνές πρότυπο από τον φορέα ISO [1] και μέχρι σήμερα αποτελεί την de facto επιλογή όσον αφορά τις επικοινωνίες των ενδο-οχηματικών δικτύων. Το CAN αποτελεί το πιο ευρύτατα διαδεδομένο πρωτόκολλο επικοινωνιών και πλεονεκτεί λόγω των ευέλικτων και αξιόπιστων επικοινωνιών που παρέχει με οριοθετημένες καθυστερήσεις συναρτήσει της απλότητας και του χαμηλού του κόστους. Προσφέρει διαφορετικές τιμές ταχυτήτων έως και 1 MB/sec επιτρέποντας την χρήση έως και 40 μέτρων φυσικού αγωγού διαύλου χωρίς κανένα πρόβλημα. Όπως αποδίδεται στο Σχήμα 4.1 ένα στάνταρ CAN 2.0A πακέτο δεδομένων αποτελείται από 7 τμήματα:

- (α) την αρχή του πακέτου (SOF – Start Of Frame) που αναπαρίσταται από 1 bit
- (β) το πρόθεμα του μηνύματος ~ 18 bit
- (γ) τα δεδομένα του μηνύματος ~ 0 – 8 byte,
- (δ) ένα τμήμα κυκλικού ελέγχου πλεονασμού (CRC - Cyclic Redundancy Check) ~ 15 bits,
- (ε) τμήμα επιβεβαίωσης θυρίδας (ACK – Acknowledgement Slot) ~ 3 bits,
- (στ) τμήμα τέλους πακέτου ~ 7 bits και
- (ζ) ένα διάστημα αποτελούμενο από 3 bits.



Σχήμα 4.1 – Διαμόρφωση μηνύματος κατά το πρωτόκολλο CAN

Ακόμα, το πρόθεμα του μηνύματος μπορεί να χωριστεί σε τρία επιμέρους τμήματα τα οποία είναι: αναγνωριστικό πεδίο των 11 bit (29 bit για το CAN2.0B), αίτημα απομακρυσμένης μεταφοράς (RTR - Remote Transmission Request) του ενός bit και ο κώδικας μήκους των δεδομένων των 4 bit. Το πακέτο του CAN μπορεί να περιέχει μέχρι 8 Byte δεδομένων. Το το τμήμα που φέρει το αναγνωριστικό του πακέτου δεδομένων ορίζει την προτεραιότητα των μηνυμάτων κατά την διάρκεια της ιεράρχησης όσον αφορά την πρόσβαση στον δίαυλο. Αυτή η διαιτησία ή ιεράρχηση όπως ονομάζεται είναι βασιζόμενη στον μηχανισμό CSMA/CR που έχει συζητηθεί ωρύτερα και ρόλος του είναι να φροντίζει να αποφεύγονται «συγκρούσεις» μεταξύ των δεδομένων κατά την διάρκεια της μετάδοσης. Προκύπτει λοιπόν πως αυτό το τμήμα, που αποτελεί μέρος του προθέματος του μηνύματος κατέχει και περιγράφει την προτεραιότητα της πληροφορίας που φέρει το ίδιο το μήνυμα.

Ο κάθε κόμβος του CAN επιτηρεί τον δίαυλο μόλις ανιχνεύσει ότι ο δίαυλος αδρανεύει, τότε εκκινεί την μετάδοση εκπέμποντας αρχικά το αναγνωριστικό πρόθεμα του μηνύματος. Ωστόσο είναι πιθανό και οι υπόλοιποι κόμβοι του δικτύου να ξεκινήσουν την μετάδοση κάποιου σήματος αλλά μόνο ένας κόμβος στο τέλος θα τα καταφέρει να μεταδώσει επιτυχώς το μήνυμά του. Ο επιτυχών κόμβος που τα ολοκληρώσει την μετάδοση του μηνύματος χωρίς κάποια παρεμπόδιση, αποφασίζεται από τον μηχανισμό διαιτησίας του πρωτοκόλλου και διαρκεί όσο το μήκος του αναγνωριστικού προθέματος του μηνύματος. Από την στιγμή που ο δίαυλος είναι στην λειτουργία AND (ή OR αναλόγως την περίπτωση), το «0» είναι το κύριο bit στον δίαυλο, έτσι ώστε να δοθεί προτεραιότητα στην μετάδοση του μηνύματος που θα φέρει την μικρότερη τιμή στο αναγνωριστικό του πρόθεμα, όπου τα υπόλοιπα μηνύματα θα πρέπει να περιμένουν. Όταν ένας κόμβος επιτηρεί τον δίαυλο, και ανιχνεύσει ένα σήμα ίδιας πολικότητας (0 ή 1) όμοιο δηλαδή με αυτό που έχει ειδη μεταδώσει, τότε συνεχίζει την μετάδοση του, διαφορετικά την σταματά άμεσα και αναμένει για το επόμενο αδρανές και διαθέσιμο χρονικό διάστημα ώστε να μπορεί να συνεχίσει. Ο κόμβος που επιτηρεί τα bits του διαύλου είναι ο ίδιος που «εκδίδει» τα αναγνωριστικά προθέματα των σημάτων αποστέλλει σταδιακά αιτήματα στον μηχανισμό που εκτελεί την διαιτησία στον δίαυλο. Από την στιγμή που κάποιο σήμα αποκτήσει προτεραιότητα, απαγορεύει την μετάδοση των υπολοίπων.

Από την στιγμή που η ιεράρχηση των σημάτων στον δίαυλο βασίζεται στην προτεραιότητα που φέρει το κάθε σήμα, ο προγραμματισμός και η οργάνωση της ιεράρχησης κατέχει σημαντικότατο ρόλο όσον αφορά την απόδοση των επικοινωνιών. Έτσι λοιπόν υπάρχουν κανόνες που καθορίζουν την προτεραιότητα σε κάθε μήνυμα εντός του CAN. Αυτοί οι κανόνες διαχωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: (α) τους στατικούς ή μη μεταβλητούς (fixed or static) και (β) τους δυναμικούς ή μεταβλητούς (dynamic) αλγόριθμους. Στον προγραμματισμό των στατικών προτεραιοτήτων, τα αναγνωριστικά των μηνυμάτων καθορίζονται σύμφωνα με περιόδους (RMP - Rate Monotonic) ή προθεσμίες (Deadline Monotonic). Ο καθορισμός της προτεραιότητας πραγματοποιείται «offline» (δηλαδή πριν την εκκίνηση του συστήματος) και τα αναγνωριστικά των μηνυμάτων δεν αλλάζουν κατά τις φάσεις της ιεράρχησης. Οι [49][50][51] πραγματεύονται αυτές ακριβώς τις περιπτώσεις στατικού προγραμματισμού στον δίαυλο CAN και αναλύουν τις δυσκολότερες περιπτώσεις όπου εμπλέκονται χρόνοι απόκρισης προκειμένου να αξιολογηθεί η ικανότητα προγραμματισμού. Ακολούθως αναφέρεται η προαναφερθείσα ικανότητα

προγραμματισμού συμπεριλαμβάνοντας σενάρια όπου εμπλέκονται μοντέλα που με σφάλματα και λάθη κατά την μετάδοση υπό συνθήκες υψηλού φόρτου [52].

Αποδεικνύεται πως οι δυναμικοί αλγόριθμοι προγραμματισμού, συμπεριφέρονται καλύτερα, επιτυγχάνοντας ένα μεγαλύτερο ποσοστό προγραμματισμένων μηνυμάτων, ειδικότερα υπό συνθήκες υψηλού φόρτου δικτύου. Ο αλγόριθμος EDF Earliest Deadline First) αποτελεί τον κύριο αντιπρόσωπο των κανόνων δυναμικού προγραμματισμού. Λόγω της ισχυρού υπολογιστικού προβαδίσματος και του περιορισμένου αριθμού αναγνωριστικών bit, εφαρμόζονται προσεγγιστικοί αλγόριθμοι EDF στοχεύοντας στην μεγάλη ικανότητα προγραμματισμού. Οι στατικοί αλγόριθμοι έχουν το πλεονέκτημα του χαμηλού επεξεργαστικού προβαδίσματος απαιτώντας χαμηλή επεξεργαστική ισχύ των κόμβων λόγω της απλότητάς τους. Ωστόσο οι δυναμικοί αλγόριθμοι αποδίδουν πολύ καλύτερα δίνοντας την δυνατότητα του προγραμματισμού σε μια μεγάλη ομάδα δυνατοτήτων κάτω από οποιαδήποτε συνθήκες φόρτου στον διαύλο [53][54][55][56].

Επιπλέον ο CAN διαθέτει ένα απλούστατο μηχανισμό εντοπισμού και ανάκτησης σφαλμάτων όπου κατά την λειτουργία του ο κόμβος αποδέκτης του μηνύματος ελέγχει την ακεραιότητα του σήματος μέσω του τμήματος CRC (Cyclic Redundancy Check) που περιέχει. Την στιγμή που εντοπιστεί κάποιο σφάλμα, οι κόμβοι του δικτύου ειδοποιούνται μέσω ειδικού μηνύματος – σήμανσης «Error Flag». Ο χρόνος για την ανάκτηση κάποιου σφάλματος και είναι συνήθως μεταξύ 17 και 31 bit⁴. Επίσης ο CAN διαθέτει έναν μηχανισμό απομάκρυνσης σφαλμάτων όπου θέτει εκτός λειτουργίας τον κόμβο που έχει υπερβεί έναν επιτρεπόμενο αριθμό σφαλμάτων και τον επαναφέρει σε λειτουργία με την αντίστοιχη επαναφορά του συστήματος.

Ως αποτέλεσμα λοιπόν τα δίκτυα CAN παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα λόγω της μη περιοδικής συμπεριφοράς τους, πυροδοτούμενης από γεγονότα όπως η ευελιξία στην απόδοση της χρήσης του εύρους ζώνης και στους χρόνους απόκρισης. Σε σχέση πάντα με την ικανότητα επεκτασιμότητας του συστήματος. Ωστόσο οι μηχανισμοί εντοπισμού και περιορισμού σφαλμάτων παρουσιάζουν μια εξαρτησιμότητα ως ένα βαθμό την στιγμή που το πρωτόκολλο δεν διαθέτει επιπρόσθετους μηχανισμούς επιτήρησης του δικτύου όπως οι φύλακες διαύλων «Bus Guardians». Ο συγκεκριμένος μηχανισμός εκτελεί χρέη φύλακα του διαύλου και αποτρέπει τον διαύλο στο να αποστείλει στο υπόλοιπο σύστημα του οχήματος εσφαλμένες πληροφορίες έτσι ώστε να επηρεάσει άλλα κύρια συστήματα.

Το πρωτόκολλο CAN έχει όμως μερικά ελαττώματα όσον αφορά τους μηχανισμούς εντοπισμού και τον περιορισμό των σφαλμάτων. Η αυτόματη αναμετάδοση των μηνυμάτων ακολουθούμενη από της ενδείξεις σφαλμάτων «error flags» οδηγεί σε αυξημένη κίνηση με αποτέλεσμα την προβληματική και δύσκολη λόγω καθυστερήσεων λειτουργία του διαύλου. Ακόμη ο συγκεκριμένος τύπος διαύλου παρουσιάζει το φαινόμενο «Babbling Idiot» [1][25] όπου σε περίπτωση σφάλματος αποστέλλει συνεχώς ψευδή μηνύματα υψηλής προτεραιότητας μπλοκάροντας την λειτουργία του διαύλου.

Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο κόμβος πρέπει να εκτελεί μια αυτοδιάγνωση η οποία δεν υπόσχεται πως θα οδηγήσει σε πλήρη εντοπισμό σφαλμάτων και ιδιαίτερος λογικών λαθών.

⁴ bit(Bit Times): Ο χρόνος που απαιτείται για την μετάδοση ενός 1 bit.

Έτσι λοιπόν είναι απαραίτητοι επιπρόσθετοι μηχανισμοί εντοπισμοί και περιορισμού σφαλμάτων προκειμένου ο διαύλος CAN να είναι περισσότερο αξιόπιστος. Πράγμα απαραίτητο στις εφαρμογές που απαιτούν αυξημένη επίπεδα ασφάλειας και έχουν να κάνουν με τις ζωές των επιβατών.

4.1.3 – ByteFlight

Το πρωτόκολλο ByteFlight αναπτύχθηκε από την κατασκευάστρια εταιρεία BMW. Λειτουργώντας στην ταχύτητα των 10 MB/sec, χρησιμοποιείται κυρίως σε δικτυακές εφαρμογές όπου απαιτούν υψηλά κριτήρια ασφαλείας (πχ παθητικής ασφάλειας) τόσο στην αυτοκινητοβιομηχανία όσο και στην αεροπορική βιομηχανία. Το πρωτόκολλο ByteFlight είναι βασισμένο στον μηχανισμό FDMA (Flexible Time Division Multiple Access), και τυπικά χρησιμοποιεί την αστεροειδή τοπολογία δικτύου. Ομοίως με τα περιοδικά δίκτυα, το ByteFlight δεσμεύει συγκεκριμένους χρόνους λειτουργίας για τους κόμβους του την στιγμή που δεν χρησιμοποιεί στατικό ή προκαθορισμένο χρονοδιάγραμμα επικοινωνιών. Αντιθέτως κάθε κόμβος στο δίκτυο διαθέτει μια αριθμητική θυρίδα ξεκινώντας από το μηδέν «0» από τον παλμό συγχρονισμού ο οποίος εκπέμπεται από τον κύριο κόμβο συγχρονισμού (SYNC node).

Ομοίως με το πρωτόκολλο CAN, κάθε μήνυμα που ανταλλάσσετε όντος του δικτύου κατέχει ένα μοναδικό αναγνωριστικό μεγέθους 8 bit έτσι ώστε να αποφεύγονται συγκρούσεις εντός του διαύλου. Οι κόμβοι αυξάνουν την αριθμητική τους θυρίδα κατά 1 όταν ανιχνεύσουν τον αντίστοιχο αριθμό σε μια μικροθυρίδα που σχηματίζεται στο σύστημα και τότε ο κόμβος που έχει τον ίδιο αριθμό ξεκινά την αποστολή του μηνύματός του. Αν η αποστολή του μηνύματος δεν γίνει εντός του προκαθορισμένου χρονικού διαστήματος, μικροθυρίδα αυξάνει πάλι κατά 1 και ο διαδοχικός κόμβος λαμβάνει προτεραιότητα για να εκπέμψει το μήνυμά του. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται μέχρις ότου ο παλμός του κόμβου συγχρονισμού επαναφέρει της θυρίδες στο μηδέν «0».

Παρέχοντας ένα μικρό αμετάβλητο διάστημα μεταξύ των μηνυμάτων που μεταδίδονται καθιστά το πρωτόκολλο ως ιδιαιτέρως αξιόπιστο εν συγκρίσει με τις υπόλοιπες μη περιοδικές προσεγγίσεις. Το φαινόμενο «Babbling Idiot» μπορεί να αντιμετωπιστεί εφαρμόζοντας μια αστεροειδή ζεύξη [10]. Την στιγμή που οι επικοινωνίες εντός του ByteFlight δεν εκτελούνται βάσει χρονοδιαγράμματος, μπορούν να το χαρακτηρίσουν ως περισσότερο επεκτάσιμο σε σχέση με τα περιοδικά δίκτυα. Συνεπώς η μόνη απαίτηση από την οπτική γωνία των επικοινωνιών, για την επέκταση ενός δικτύου ByteFlight είναι μόνο η ανανέωση των αναγνωριστικών που φέρει το κάθε μήνυμα.

4.1.4 – Time-Triggered Protocol (TTP/C)

Το πρωτόκολλο TTP/C είναι βασισμένο στον μηχανισμό TDMA (Time Division Multiple Access) προσφέροντας στον δίαυλο ταχύτητα λειτουργίας έως 25 MB/sec. Οι επικοινωνίες εκτελούνται βάσει στατικού και προκαθορισμένου χρονοδιαγράμματος εκτέλεσης εργασιών το οποίο αποτελείται από επαναλαμβανόμενους TDMA κύκλους. Στο TTP/C, οι κύκλοι TDMA είναι διαμορφωμένοι σε χρονοθυρίδες, όχι απαραίτητως ίδιας διάρκειας. Η δέσμευση εύρους ζώνης πραγματοποιείται ορίζοντας τις χρονοθυρίδες στους αντίστοιχους κόμβους και η πρόσβαση στον κόμβο επιτυγχάνεται αυστηρά και μόνο βάσει αυτής. Το χρονοδιάγραμμα εργασιών είναι αποθηκευμένο στους μικροελεγκτές επικοινωνιών του κάθε κόμβου ως περιγραφή μηνύματος (MEDL – Message Descriptor List). Ο συγχρονισμός επιτυγχάνεται έτσι ώστε τα μηνύματα να μεταδίδονται αρμονικά και σε πακέτα των 240 Bytes.

Το γεγονός ότι το πρωτόκολλο βασίζεται σε χρονοδιάγραμμα εκτέλεσης εργασιών το χαρακτηρίζει ως λιγότερο ευέλικτο και επεκτάσιμο. Ωστόσο, η περιοδική του λειτουργία του επιτρέπει να είναι προβλέψιμο και συνθέσιμο όσον αφορά τους χρόνους λειτουργίας του. Συναρτήσει των επαναλαμβανόμενων κόμβων επικοινωνιών, οι μηχανισμοί εντοπισμού και περιορισμού σφαλμάτων καθιστούν το TTP/C πολύ αξιόπιστο και ανεκτικό στα σφάλματα. Οι μηχανισμοί που διαθέτει (πχ φύλακες διαύλων, αλγόριθμοι περιορισμού σφαλμάτων) αποτελούν την σωστή στρατηγική για ένα αξιόπιστο δίκτυο. Βέβαια όλες αυτές οι ιδιότητες καθιστούν το πρωτόκολλο TTP/C πολύπλοκο και το οδηγούν σε φιλότερα κόστη.

4.1.5 – Time-Triggered Controller Area Network (TTCAN)

Το πρωτόκολλο επικοινωνιών TTCAN αναπτύχθηκε ως η περιοδική έκδοση του πρωτοκόλλου CAN από την κατασκευάστρια εταιρεία Robert Bosch GmbH. Το TTCAN εφαρμόζεται ως ένα επιπρόσθετο επίπεδο στους φυσικούς συνδέσμους δεδομένων του CAN και χρησιμοποιεί τα ίδια χαρακτηριστικά μηνυμάτων. Αποτελεί πρωτόκολλο βασισμένο στον μηχανισμό TDMA (Time Division Multiple Access) με προκαθορισμένες θυρίδες για την εκτέλεση εργασιών. Η εκτέλεση των επικοινωνιών είναι βασισμένες σε ένα προϋπολογισμένο και μη μεταβλητό χρονοδιάγραμμα που αποκαλείται TTCAN System Matrix (SM) όπου επαναλαμβάνεται περιοδικά κατά την διάρκεια λειτουργίας του συστήματος. Το SM είναι δομημένο ως ένας πίνακας και αποτελείται από στήλες και σειρές όπου με την σειρά τους σχηματίζουν θυρίδες (Time Windows). Οι σειρές ονομάζονται βασικοί κύκλοι (Basic Cycles) και εκτελούνται διαδοχικά. Την στιγμή λοιπόν που οι επικοινωνίες βασίζονται σε αυτό τον πίνακα συστήματος (SM) όπου η δόμησή του επέχει σημαντικό ρόλο στην απόδοση σε πραγματικό χρόνο του συστήματος. Έχουν ακολουθήσει πολυάριθμες μελέτες όσον αφορά τον σχεδιασμό του SM για την καλύτερη απόδοση του

ικανοποιώντας παράλληλα τους περιορισμούς του πρωτοκόλλου. Αποτελεί μια αξιόπιστη λύση την στιγμή που λειτουργεί βάσει ενός αμετάβλητου χρονοδιαγράμματος εκτέλεση εργασιών. Επιπλέον, η αναμετάδοση εσφαλμένων μηνυμάτων δεν είναι δυνατόν να συμβαίνει καθώς οι κόμβοι δεν έχουν την δυνατότητα να λειτουργήσουν εκτός των συγκεκριμένων χρονικών διαστημάτων που τους έχουν προηγουμένως ανατεθεί από το SM. Ανεξαρτήτως με την αναμετάδοση σφαλμάτων, το TTCAN χρησιμοποιεί τους ίδιους μηχανισμούς ανοχής σφαλμάτων με το πρωτόκολλο CAN [57][58][59][60][61][62][63].

4.1.6 – FlexRay

Το πρωτόκολλο FlexRay αναπτύχθηκε από μια κοινοπραξία των μεγαλύτερων αυτοκινητοβιομηχανιών με στόχο την δημιουργία ενός υψηλών ταχυτήτων και τόσο αξιόπιστου όσο και ευέλικτου πρωτοκόλλου επικοινωνιών. Τα πρώτα χαρακτηριστικά δημοσιεύτηκαν το 2004 και είναι βασισμένα στους μηχανισμούς TDMA (Time Division Multiple Access) και FDTMA (Flexible Time Division Multiple Access) όπου υιοθετούν τόσο το σχήμα των περιοδικών όσο και των μη περιοδικών επικοινωνιών. Το FlexRay μπορεί να επιτύχει ταχύτητες λειτουργίας της τάξης των 10MB/sec εφαρμόζοντας τοπολογία διαύλου, αστεροειδή και πολλαπλή αστεροειδή. Τα μεταδιδόμενα μηνύματα αποτελούνται από πακέτα των 254 Bytes με ένα πρόθεμα των 5 Bytes. Ομοίως με το πρωτόκολλο TTP, οι επικοινωνίες στο FlexRay εκτελούνται βάσει προκαθορισμένου και στατικού χρονοδιαγράμματος εργασιών που αποκαλείται βασικός κύκλος «Elementary Cycle» επαναλαμβάνεται κυκλικά κατά την λειτουργία του συστήματος.

Εκτός από το TTP, ο βασικός κύκλος αποτελείται από δύο βασικά σκέλη: (α) το στατικό σκέλος (περιοδική κίνηση δεδομένων, μηχανισμός TDMA) και (β) το δυναμικό σκέλος (μη περιοδική κίνηση, μηχανισμός FDTMA). Το στατικό σκέλος αποτελείται από θυρίδες ίδιου μεγέθους οι οποίες ανατίθενται στους κόμβους. Στο δυναμικό σκέλος που ακολουθεί στο στατικό, χρησιμοποιεί μικροθυρίδες η οποίες με την σειρά τους ανατίθενται στους κόμβους αναλόγως το αναγνωριστικό των μηνυμάτων τους.

Ομοίως με το πρωτόκολλο ByteFlight, ο πρόσβαση στον δίαυλο γίνεται με βάσει τα αναγνωριστικά που φέρει το κάθε μήνυμα και τους αριθμητές της κάθε δυναμικής θυρίδας. Οι μικροθυρίδες που δεν χρησιμοποιούνται τίθενται σε αχρηστία. Ομοίως με το πρωτόκολλο TTCAN, κάθε κόμβος διαθέτει μεμονωμένες πληροφορίες χρονισμού (βασικός κύκλος, αριθμός θυρίδας) του πότε να εκκινήσει την εκπομπή ή λήψη των μηνυμάτων και πότε να αναμένει την μετάδοση αυτών.

Το πρωτόκολλο FlexRay έχει την δυνατότητα να υποστηρίζει παράλληλα κανάλια λειτουργίας (διασφαλίζοντας επάρκεια και μεγαλύτερη χρήση του εύρους ζώνης δικτύου) και εφαρμόζει μηχανισμούς όπως: CRC, Bus Guardians και συγχρονισμού ρολογιού όπου το χαρακτηρίζουν αξιόπιστο και ικανό να εκτελέσει εφαρμογές όπου απαιτούν υψηλά κριτήρια ασφάλειας. Ακόμη, το ότι είναι βασικό σε στατικό χρονοδιάγραμμα εργασιών το καθιστά προβλέψιμο. Παρόλα αυτά όμως η ύπαρξη μη περιοδικής κίνησης δεδομένων του δίνει ένα σχετικό βαθμό ευελιξίας. Τέλος το πρωτόκολλο FlexRay αποτελεί μια πολύ ισχυρή

υποψήφια λύση για της εφαρμογές που σχετίζονται με την ασφάλεια των επιβατών και αναμένεται πως στο μέλλον θα αποτελέσει την de facto επιλογή των κατασκευαστών για της ηλεκτρικά υποβοηθούμενες εφαρμογές X-By-Wire.

4.1.7 – Media Oriented Systems Transport (MOST)

Το πρωτόκολλο MOST (Media Oriented Systems Transport) σχεδιάστηκε για να παρέχει επικοινωνίες στα συστήματα πολυμέσων και διασκέδασης των οχημάτων κατά την μετάδοση ήχου, εικόνες, δεδομένων και πληροφοριών ελέγχου. Το MOST ξεκίνησε να αναπτύσσεται το 1998 από μια κοινοπραξία μεταξύ: αυτοκινητοβιομηχανιών, αρχιτεκτόνων συστημάτων και κατασκευαστών βασικών εξαρτημάτων και αυτή την στιγμή αποτελεί την de facto επιλογή για της συγκεκριμένες και προαναφερθείσες εφαρμογές.

Το πρωτόκολλο προσφέρει μια αποδοτική υποδομή επικοινωνιών ώστε να καθίσταται δυνατή η διασύνδεση συσκευών πολυμέσων και ψυχαγωγίας όπως για παράδειγμα: συσκευές γεωγραφικού εντοπισμού (GPS), οθόνες πολυμέσων, ραδιόφωνο, ενεργά ηχεία κ.α. με ταχύτητες που αγγίζουν τα 25Mbps/sec. Το MOST είναι ένα δίκτυο συγχρονισμένης λειτουργίας και επιτυγχάνει την μεταφορά δεδομένων από σημείο σε σημείο (point-to-point) υποστηρίζοντας τόσο συγχρονισμένη όσο και ασύγχρονη μεταφορά δεδομένων.

Επιπρόσθετα χρησιμοποιεί έναν μηχανισμό τύπου Master/Slave έτσι ώστε να συγχρονίζει τους κόμβους μεταξύ τους ώστε να επιτυγχάνεται η σύνδεση για την αποστολή και λήψη δεδομένων. Το φυσικό μέσο μετάδοσης δεδομένων για το MOST είναι οι πλαστικές οπτικές ίνες (POF – Plastic Optical Fibers) οι οποίες είναι κατά πολύ ανώτερες των κλασσικών χάλκινων αγωγών και παρέχουν ασύγκριτα μεγαλύτερη πιστότητα κατά τα πρότυπα της EMI (Electric & Musical Industries) και υψηλότερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων [23].

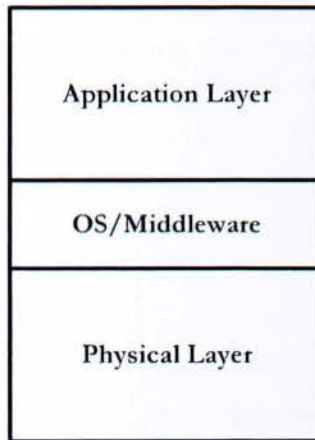
Συνοψίζοντας, σε αυτό το κεφάλαιο αναπτύχθηκαν συντόμως διάφορα ενδο-οχηματικά δίκτυα που εκτελούν εργασίες σε πραγματικό χρόνο όπου τα περισσότερα από αυτά αναπτύχθηκαν με βάση τις ενσύρματες επικοινωνίες που ενσωματώνονται σε ένα όχημα, εκτός βέβαια της περίπτωσης του MOST όπου σχεδιάστηκε για εφαρμογές πολυμέσων κ.λπ. Ακολουθεί ο **Πίνακας 4.1** όπου περιλαμβάνει χαρακτηριστικά των πρωτοκόλλων που συζητήθηκαν στο τρέχον κεφάλαιο.

| | Γενικά | Class | Network Bandwidth | Τοπολογία | Προγραμματισμός λειτουργιών | Ανοχή σφαλμάτων και επιπλέον λειτουργίες | Μέσο Συγχρονισμού | Δίκτυα που εφαρμόζονται |
|-------------------|---|--------------------|--|--|---|--|---|---|
| LIN | - Χαμηλής ταχύτητας - Χαμηλού κόστους - Περιοδικής λειτουργίας | Class A | 20 kB/sec | - Διαύλου | - master/slave - Κατάλογος πιθανοτήτων σύμφωνα με το βασικό χρονοδιάγραμμα. | - ανάλυση σύγκρουσης από τον βασικό κόμβο - Υψηλές εξοικονόμησης ενέργειας και εύρους ζώνης δικτύου | Συγχρονισμός των κόμβων μέσω του πεδίου SYNC του μηνύματος που αποστέλλεται από το LIN. | - Λμαζώματος / Άνεσης |
| CAN | - Χαμηλού κόστους, απλή - Αναστραμμένο ζεύγους - Μη περιοδικής λειτουργίας - de facto πρότυπο - Ευρώτατο σε χρήση | Class B Class C | Έως και 1 MB/sec | - Διαύλου - Αστέρα | - CSMA/CR - Ιεράρχηση σύμφωνα με τα bit των αναγνωριστικών προθεμάτων. | - CRC - Αυτόματη απορριπτική αναμετάδοση - Καταμετρητής σφαλμάτων και λειτουργία απενεργοποίησης διαύλου. | Μέσω των αναγνωριστικών bit του μηνύματος. | - Λμαζώματος / Άνεσης - Μετάδοσης ισχύος - Πλαίσιο |
| ByteFlight | - Υβριδικό παράδειγμα - Χρήση οπτικών ινών | Class D | 10 MB/sec | - Αστέρα | - FTDMA βάσει των αναγνωριστικών - master/slave (συγχρονισμός) | - Ζεύξη αστέρα (για την αποφυγή του φαινομένου «Habbling Idiots» - CRC | Μέσω του παλμού συγχρονισμού που εκπέμπει ο κύριος κόμβος του δικτύου. | - Παθητικές ασφάλειες - Ασφάλειες επιβατών |
| TTP/C | - Αναστραμμένο ζεύγους οπτικών ινών - Περιοδικής λειτουργίας | Class D | Μέχρι 25 MB/sec (εξαρτάται από την τεχνολογία του δικτύου) | - Διαύλου - Αστέρα | - TDMA - Προκαθορισμένο και αμετάβλητο χρονοδιάγραμμα εκτέλεσης εργασιών. (MEET) | - Αναπαραγωγή κόμβων/καναλιών - Ζεύξη αστέρα (τοπολογία αστέρα) - Φύλακας διαύλου (Bus Guardian) - Αλγόριθμοι περιμετρημένου σφαλμάτων - Λειτουργία αλλαγής τρόπου διαχείρισης λειτουργιών | Μέσω του ρολογιού συστήματος | - X-By-Wire - Πλαίσιο (ενεργητικής ασφάλειας) |
| TTCAN | - Χαμηλού κόστους, απλή - Αναστραμμένο ζεύγους - Υβριδικό παράδειγμα - Επίπεδο υβριδικής λειτουργίας του CAN | Class C | Έως και 1 MB/sec | - Διαύλου - Αστέρα | - TDMA σε ειδικές θυρίδες - CSMA/CR στις παραχρυσόμενες θυρίδες - Προκαθορισμένο και αμετάβλητο χρονοδιάγραμμα εκτέλεσης εργασιών. - master/slave (συγχρονισμός) | - CRC - Εναλλαγή λειτουργίας (CAN ή TTCAN) από τον κύριο κόμβο. | Μέσω μηνυμάτων που αποστέλλει ο κύριος κόμβος του δικτύου | - Μετάδοσης ισχύος - Πλαίσιο - X-By-Wire - Ασφάλειας επιβατών |
| FlexRay | - Υβριδικό παράδειγμα - Αναστραμμένο ζεύγους - Μελλοντικό de facto πρότυπο - Χρήση τόσο σε περιοδικές & μη περιοδικές επικοινωνίες | Class D | 10 MB/sec | - Διαύλου - Αστέρα - Πολύ-Αστέρα | - TDMA (στο στατικό τμήμα) - FTDMA (στο δυναμικό τμήμα) - Προκαθορισμένο και στατικό χρονοδιάγραμμα εργασιών (του βασικού κύκλου) - master/slave (συγχρονισμός) | - Βαθμιδωτή αξιοπιστία - CRC - Φύλακας διαύλου (για μη περιοδική λειτουργία) - Επιτήρηση δικτύου. | Μέσω του ρολογιού συστήματος | - Μετάδοσης ισχύος - Πλαίσιο (ενεργητικής ασφάλειας) - Ασφάλειας επιβατών |
| MOST | - Οικονομικά αποδοτικό - Απλοτικό στην ροή δεδομένων - Υβριδικό παράδειγμα - De facto πρότυπο σε εφαρμογές πολυμέσων. | Class D | 25 MB/sec | - Δακτυλίου - Αστέρα | - master/slave - Συγχρονισμένη λειτουργία - Μεταφορά δεδομένων (ήχηρα & εικόνας) point-to-point | - Υποστηρίζει άμεσης λειτουργίας plug and play - Υποστηρίζει πολλαπλών κύριων κόμβων. | Μέσω μηνυμάτων που αποστέλλει ο κύριος κόμβος του δικτύου | - Πολυμέσων - Ψυχαγωγίας |

Πίνακας 4.1 – Σύνοψη χαρακτηριστικών γνωρισμάτων των ενδο-οχηματικών πρωτοκόλλων δικτύων

4.2 – Ενδιάμεσο επίπεδο επικοινωνιών

Η ανάπτυξη νέων εφαρμογών στα αυτοκινητιστικά δίκτυα έχει οδηγήσει στην ανάγκη μιας αρμονικής συνεργασίας μεταξύ των διαφόρων λειτουργιών. Αυτό με την συνέχειά του απαιτεί μια στενότερη συνεργασία μεταξύ των διαφορετικών δικτύων και ακόμη πιο σφικτή συνεργασία μεταξύ των λειτουργιών. Το ενδιάμεσο επίπεδο επικοινωνιών λοιπόν (MW – Middleware Layer) χρησιμοποιείται για να διευκολύνει την διασύνδεση των διαφόρων μερών του λογισμικού. Στο ακόλουθο **Σχήμα 4.1**, αναπαρίσταται η πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική διαφορετικών που εφαρμόζει μια ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (ECU) και αποτελείται από: (α) το επίπεδο της εφαρμογής (Application Layer) (β) το ενδιάμεσο επίπεδο και το λειτουργικό σύστημα (OS/MW) και (γ) το φυσικό επίπεδο.



Σχήμα 4.2 – Πολυεπίπεδη αρχιτεκτονική ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου (ECU)

Στην συνέχεια συνοψίζονται οι λειτουργίες του ενδιάμεσου επιπέδου επικοινωνιών (MW):

- Παρέχει τις ίδιες υπηρεσίες επικοινωνιών για τους κόμβους και τα δίκτυα ανεξαρτήτως του πρωτοκόλλου επικοινωνιών που είναι σε χρήση και της τοποθεσίας των κόμβων.
- Παρέχει συνήθεις υπηρεσίες λειτουργικού συστήματος παρέχοντας ένα «εύκολο» περιβάλλον προγραμματισμού, αποκρύπτοντας την όποια ετερογένεια του συστήματος και τις αρχιτεκτονικές του δικτύου.
- Αυξάνει την ποιότητα των επικοινωνιών και μειώνει το απαιτούμενο χρόνο για τον σχηματισμό και την δημιουργία των σημάτων, παρέχοντας ένα υψηλό επίπεδο πιστοποιημένων υπηρεσιών, όπως: διαχείριση πλεοναζόντων δεδομένων και απομακρυσμένη διαχείριση των κόμβων και της λειτουργίας του συστήματος.
- Παρέχει λειτουργίες ομαδοποίησης δεδομένων.
- Βελτιώνει την ποιότητα των υπηρεσιών που παρέχουν τα πρωτόκολλα επικοινωνιών με την χρήση επιπλέον μηχανισμών όπως για παράδειγμα: μηχανισμοί φίλτραρίσματος σφαλμάτων.

Οι κυριότεροι εκπρόσωποι των ενδιάμεσων επιπέδων επικοινωνιών αποτελούν τα OSEK/VDX, Volcano και το OSEK/VDX FTCom [66][67][68]. Επιπλέον, η παγκόσμια εταιρική κοινοπραξία αυτοκινητοβιομηχανιών AUTOSAR (AUTOMotive Open System Architecture) - που προσπάθειά της είναι η ανάπτυξη ενός προτύπου αρχιτεκτονικής ενδο-οχηματικών επικοινωνιών - προτείνει επίσης ένα επίπεδο επικοινωνιών παρέχοντας προδιαγραφές των βασικών στοιχείων του λογισμικού και του λειτουργικού συστήματος.

Το ενδιάμεσο επίπεδο, αναπτύχθηκε προκειμένου να υποστηρίζει συγκεκριμένα ενδο-οχηματικά πρωτόκολλα επικοινωνιών. Για παράδειγμα το Volcano MW, σχεδιάστηκε για να υποστηρίζει το πρωτόκολλο CAN, αλλά αργότερα υπέστη βελτιώσεις έτσι ώστε να μπορεί να υποστηρίζει τα πρωτόκολλα FlexRay και MOST. Ομοίως το OSEK/VDX FTCom αποτελεί μια εξέλιξη του OSEK/VDX έτσι ώστε να μπορεί να υποστηρίζει τα πρωτόκολλα FlexRay και TTP/C, ενώ η πρόταση της AUTOSAR υποστηρίζει τα FlexRay, LIN και CAN.

4.3 – Σύνοψη

Συνοψίζοντας, αρκετά ενδο-οχηματικά πρωτόκολλα επικοινωνιών εξετάστηκαν στο τρέχων κεφάλαιο και πραγματοποιήθηκε σύγκριση σύμφωνα με υπαρκτούς και ιδιαίτερος γνωστούς προβληματισμούς του συγκεκριμένου πεδίου. Συζητήθηκαν τα διάφορα πρωτόκολλα επικοινωνίας και συγκρίθηκαν λεπτομερώς σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά τους. Τέλος, έγινε μια σύντομη αναφορά του ενδιάμεσου επιπέδου επικοινωνιών [9][70][71][72].

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° – Σύνοψη και συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία, έγινε μια κριτική επισκόπηση της βιβλιογραφίας, συγκεντρώθηκε βιβλιογραφία στο το γνωστικό αντικείμενο των ενδο-οχηματικών δικτύων επικοινωνιών.

Αρχικά παρουσιάστηκαν τα βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα επιδόσεων των συγχρόνων δικτύων που εκτελούν εργασίες σε πραγματικό χρόνο, με σκοπό την σύγκριση των διαφόρων παραδειγμάτων επικοινωνιών και των αντίστοιχων πρωτοκόλλων που τελούν σε χρήση.

Εξηγήθηκαν τα βασικότερα δικτυώματα που υπάρχουν σε ένα όχημα, συναρτήσει καθορισμένων χαρακτηριστικών απόδοσης και επίσης δώθηκε μια κατηγοριοποίηση των δικτύων σύμφωνα με τις λειτουργίες που καλούνται να εκτελέσουν και κάτω από συγκεκριμένες τιμές μεταφοράς δεδομένων.

Στην συνέχεια παρατέθηκε ένα κοινό μοντέλο αρχιτεκτονικής ενδο-οχηματικού δικτύου μαζί με την δομή των στοιχείων που το αποτελούν. Ακόμη παρουσιάστηκαν και μελετήθηκαν τα δύο γνωστότερα παραδείγματα επικοινωνιών: των περιοδικών και μη περιοδικών επικοινωνιών.

Τέλος περιγράφηκε και συγκρίθηκε βάσει των βασικών τους ιδιοτήτων και των μηχανισμών τους, τα κυριότερα ενδο-οχηματικά πρωτόκολλα επικοινωνιών, ιδιαίτερως αυτών που εφαρμόζονται στα δίκτυα που έχουν να κάνουν με την μετάδοση ισχύος, το πλαίσιο και το αμάξωμα ενός σύγχρονου οχήματος.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι πως ο μεγάλος αριθμός των ενδο-οχηματικών ηλεκτρονικών συστημάτων και των συσχετιζόμενων εφαρμογών τους οδηγούν σε δίκτυα από αυξημένης πολυπλοκότητας. Από την φύση του περιβάλλοντος μέσα σε ένα σύγχρονο όχημα, όλα αυτά τα ηλεκτρονικά συστήματα αποτελούνται από ετερογενή δίκτυα που εκτελούν εργασίες σε πραγματικό χρόνο μεταξύ των κόμβων τους μέσω διαφορετικών πρωτοκόλλων επικοινωνιών. Αυτή η ετερογένεια μπορεί να υπάρξει ακόμη και μεταξύ των κόμβων του ίδιου δικτύου (μονάδα ελέγχου, μονάδα μνήμης κ.λπ.).

Όλα αυτά συμβαίνουν, την ίδια στιγμή που οι απαιτήσεις για υψηλή απόδοση, αξιοπιστία, χαμηλό κόστος και άμεση διάθεση στο εμπόριο εντείνονται. Ωστόσο, ο σχεδιασμός αυτού του είδους των συστημάτων αποτελεί όσο και σημαντικότερο στάδιο και οι προκύπτουσες δυσκολίες οδηγούν στην ανάγκη για εμβάθυνση όσον αφορά την ανάπτυξη μηχανισμών σχεδίασης που έχουν να κάνουν με την αρχιτεκτονική των υλικών και του λογισμικού.

Η διερεύνηση των απαιτήσεων που παρουσιάζει κάθε δίκτυο οδηγεί στην επιλογή του κατάλληλου πρωτοκόλλου επικοινωνιών. Επιπροσθέτως η λεπτομερής ανάλυση του χρονοδιαγράμματος εργασιών του κάθε συστήματος αποτελεί κρίσιμο στάδιο για την εφαρμογή όλων αυτών των συστημάτων που διαθέτουν αυστηρές προδιαγραφές όσον αφορά τους χρόνους λειτουργίας τους.

Η ετερογένεια των συστημάτων σε ένα όχημα προκύπτει από τα διαφορετικά χαρακτηριστικά και τις απαιτήσεις που έχει το κάθε υποσύστημα που το απαρτίζει και για αυτό τον λόγο η παροχή λύσεων όσον αφορά τις επικοινωνίες είναι μια αρκετά πολύπλοκη περίπτωση.

Για αυτό τον λόγο λοιπόν, η εξασφάλιση της ακεραιότητας και της διαλειτουργικότητας μεταξύ των ενδο-οχηματικών δικτύων είναι σημαντική και απαραίτητη προϋπόθεση ώστε να έχουμε αξιόπιστες και υψηλής απόδοσης επικοινωνίες πραγματικού χρόνου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] N. Navet, Y. Song, F. Simonot-Lion, and C. Wilwert. Trends in automotive communication systems. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 93, No. 6, pp. 1204-1224, June 2005.
- [2] A. Albert. Comparison of event-triggered and time-triggered concepts with regard to distributed control systems. *Embedded World*, 17, pp. 235-252, Nürnberg, February 2004.
- [3] J. Leohold. Communication requirements for automotive systems. Keynote Presentation. *WFCS 2004, 5th IEEE Workshop on Factory Communication Systems*. September 22-24, 2004.
- [4] G. Leen and D. Haffernan. Expanding automotive electronic systems. *In-Vehicle Networks, IEEE*, pp. 88-93, January 2002.
- [5] L. Almeida, P. Pedreiras, J. Alberto and G. Fonseca. The FTT-CAN protocol: why and how. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 49, No. 6, pp. 1189-1201, December 2002.
- [6] I. Broster. Flexibility in dependable real-time communication. PhD Thesis, Department of Computer Science, University of York, August 2003.
- [7] N. Navet and F. Simonot-Lion. Automotive embedded systems handbook. Industrial Information Technology Series. CRC Press, 2009.
- [8] A. Avizienis, J.C. Laprie and B. Randell. Fundamental concepts of dependability. LAAS Report no. 01-145.
- [9] H. Kopetz. A comparison of CAN and TTP. *Annual Reviews in Control*, No. 24, pp. 177-188, 2000.
- [10] T. Nolte. Share-driven scheduling of embedded networks. PhD Thesis. *Malardalen University Press Dissertations*, No. 26. Department of Computer Science and Electronics, Malardalen University, Sweden, May 2006.
- [11] N.R. Trevett. X-by-wire, new technologies for 42V bus automobile of the future. Thesis, South Carolina Honors College, April 2002.
- [12] F. Simonot-Lion. In car embedded electronic architectures: How to ensure their safety. *5th IFAC International Conference Fieldbus Systems and Their Applications (F'eT 2003)*, pp. 1-8, 2003.
- [13] E. Dilger, T. Führer, and B. Müller. Distributed fault tolerant and safety critical applications in vehicles – A time-triggered approach. *SAFECOMP'98*, pp. 267-283, 1998.
- [14] E. Dilger, T. Führer, B. Müller and S. Poledna: The x-by-wire concept: Timetriggered

- Information exchange and fail silence support by new system services, SAE Technical Paper Series, 980555, February 1998.
- [15] H.-G. Frischkorn. Automotive architecture requirements. In *Proceedings of the Summer School "Architectural Paradigms for Dependable Embedded Systems"*, pp. 45-74, Vienna, Austria, September 2005.
- [16] J. Leohold. Automotive system architecture. In *Proceedings of the Summer School "Architectural Paradigms for Dependable Embedded Systems"*, pp. 545-591, Vienna, Austria, September 2005.
- [17] R. Boys. Safe-by-wire: The leading edge in airbag control. *SAE International*, 2004-01-0205, 2004.
- [18] Class C application requirement considerations. Society for Automotive Engineers, Tech. Rep. J2056/1, 1993.
- [19] Intel Corp.. Introduction to in-vehicle. [Online]. Available: <http://support.intel.com/design/auto/autolxbk.htm>, January 2009.
- [20] LIN specification package, revision 2.0. [Online]. Available: <http://www.linsubbus.org>, July 2008.
- [21] Class B data communication network interface. Society for Automotive Engineers J1850 Standard, 1996.
- [22] CAN in automation. [Online]. Available: <http://www.can-cia.org>, June 2008.
- [23] MOST specification rev. 3.0. [Online]. Available: <http://www.mostnet.de>, November, 2008.
- [24] D2B/SMARTwireX technology overview. [Online]. Available: <http://www.candc.co.uk>, December 2008.
- [25] G. Cena, A. Valenzano and S. Vitturi. Advances in automotive digital communications. *Computer Standards & Interfaces*, No. 27, pp. 665-678, January 2005.
- [26] Time-triggered protocol TTP/C, high level specification document, protocol version 1.1. [Online]. Available: <http://www.tttech.com>, June 2008.
- [27] FlexRay communication system, protocol specification, version 2.0. [Online]. Available: <http://www.flexray.com>, June 2008.
- [28] R. Makowitz and C. Temple. FlexRay – A communication network for automotive control systems. *IEEE*, pp. 207-212, 2006.
- [29] J. Berwanger, M. Peller and R. Griessbach. (1999) A new high-performance data bus system for safety-related applications. [Online]. Available: <http://www.byteflight.com/specification>, June 2008.

- [30] J. Berwanger, M. Peller and R. Griessbach. *byteflight*-A new protocol for safety critical applications. *FISITA World Automotive Congress*, Seoul, pp. 1-7, June 2000.
- [31] H. Kopetz. Should responsive systems be event-triggered or time-triggered? Research Report Nr. 16/93, November 1993.
- [32] H. Kopetz. A comparison of CAN and TTP. *Annual Reviews in Control*, No. 24, pp. 177-188, 2000.
- [33] T. Meyerowitz, C. Pinello and A. Sangiovanni-Vincentelli. A tool for describing and evaluating hierarchical real-time bus scheduling policies. *DAC 2003*, pp. 312-317, June 2003.
- [34] L. Almeida. Real-time networks for distributed embedded systems: A focus on operational flexibility. *IFAC Summer School, Control, Computing and Communication*, Prague, 2005.
- [35] P. Welander. (2008) Fieldbus: Growing globally. [Online]. Available: <http://www.controleng.com/article/CA6539014.html>, 22 July 2008.
- [36] P. Pop, P. Eles, and Z. Peng. Analysis and optimization of heterogeneous realtime embedded systems. *IEE Proc. -Comput. Digit. Tech.*, Vol. 152, No. 2, p.p. 130-147, March 2005.
- [37] K. Tindell and J. Clark. Holistic schedulability analysis for distributed hard realtime systems. *Microprocessing and Microprogramming*, Vol. 40, pp. 117-134, 1994.
- [38] Road Vehicles-Low speed serial data communication-Part 3: Vehicle area network (VAN). ISO 11 519-3, 1994.
- [39] M. Farsi, K. Ratcliff and M. Barbosa. An overview of controller area network. *Networking Systems, Computing & Control Engineering Journal*, pp. 113-120, June 1999.
- [40] N. Navet. Controller area network. *IEEE Potentials*, pp. 12-14, 1998.
- [41] G. Leen and D. Heffernan. TTCAN: A new time-triggered controller area network. *Microprocessors and Microsystems*, Vol. 26, pp. 77-94, 2002.
- [42] A. Albert, R. Strasser and A. Trachtler. Migration from CAN to TTCAN for a distributed control system. *9th International CAN Conference (ICC 2003)*, pp. 5-16, 2003.
- [43] T. Fuhrer, B. Muller, W. Dieterle, F. Hartwich, R. Hugel, M. Walther and R. Bosch GmbH. Time triggered communication on CAN (Time Triggered CANTTCAN). *Proceedings of 7th International CAN Conference*, pp. 92-98, 2000.

- [44] B. Muller, T. Fuhrer, F. Hartwich, R. Hugel, H. Weiler and R. Bosch GmbH. Fault tolerant TTCAN networks. *Proceedings of the 8th International CAN Conference (ICC)*, pp. 2-9, 2002.
- [45] F. Hartwich, B. Muller, T. Fuhrer, R. Hugel and R. Bosch GmbH. CAN network with time triggered communication. *Proceedings of the 7th International CAN Conference*, pp. 1-7, 2000.
- [46] L. Almeida, J.A. Fonseca and P. Fonseca. Flexible time-triggered communication on a controller area network. *WiP session of RTSS'98*, Madrid, pp. 1-4, December 1998.
- [47] P. Pedreiras and L. Almeida. Combining event-triggered and time-triggered Traffic in FITT-CAN: Analysis of the asynchronous messaging system. *WTCSS-2000*, pp. 67-75, September 2000.
- [48] U. Keskin. In-vehicle communication. TU/e SAN Group RTS Regular Meeting Presentation. December 2008.
- [49] K.W. Tindell, H. Hansson and A.J. Wellings. Analysing real-time communications: Controller area network (CAN). *Proceedings of Real-Time Systems Symposium*, pp. 259-263, December 1994.
- [50] K. Tindell, A. Burns. Guaranteeing message latencies on controller area network (CAN). *Proceedings of the 1st International CAN Conference*, pp. 2-11, September 1994.
- [51] K. Tindell, A. Burns and A.J. Wellings. Calculating controller area network (CAN) message response times. *Control Engineering Practice*, Vol. 3, pp. 1163-1169, August 1995.
- [52] R.I. Davis, A. Burns, R.J. Bril and J.J. Lukkien. Controller area network (CAN) schedulability analysis: Refuted, revisited and revised. *Real-Time Syst (2007)*, Vol. 35, pp. 239-272, 2007.
- [53] K.M. Zuberi and K.G. Shin. Scheduling messages on controller area network for real-time CIM applications. *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 13, No. 2, pp. 310-314, April 1997.
- [54] K.M. Zuberi and K.G. Shin. Design and implementation of efficient message scheduling for controller area network. *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 49, No. 2, pp. 182-188, February 2000.
- [55] A. Meschi, M. Di Natale and M. Spuri. Earliest deadline message scheduling with limited priority inversion. *Proceedings of the 4th WPDRTS*, pp. 87-94, 1996.
- [56] M. Di Natale. Scheduling the CAN bus with earliest deadline techniques. *Proceedings of the 21st IEEE Real-time Systems Symposium*, pp. 259-268, November 2000.

- [57] J. Fonseca, F. Coutinho and J. Barreiros. Scheduling for a TTCAN network with a stochastic optimization algorithm. *International CAN in Automation Conference*, pp. 10-16, 2002.
- [58] F. Coutinho, J. Barreiros and J. Fonseca. Scheduling for a TTCAN network with a stochastic optimization algorithm. *4th IFAC FET2001*, pp. 2-7, November 2001.
- [59] A. Albert and R. Hugel. Heuristic scheduling concepts for TTCAN networks. *International CAN in Automation Conference (ICC)*, pp. 01/07-01/09, 2005.
- [60] R. Johansson. Time and event triggered communication scheduling for automotive applications. Chalmers Lindholmen University College, Goteborg, Sweden, Tech. Rep. Technical Report 17, 2004.
- [61] M. Naughton and D. Heffernan. SMART-Plan: A new message scheduler for real-time control networks. *ISSC 2005*, pp. 302-307, September 2005.
- [62] K. Schmidt and E.G. Schmidt. Systematic message schedule construction for time-triggered CAN. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 56, No. 2, pp. 3431-3441, November 2007.
- [63] U. Keskin. Time-triggered controller area network (TT-CAN) communication scheduling: A systematic approach. MSc. Thesis. The Graduate School of Natural and Applied Sciences, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, August 2008.
- [64] T. Pop, P. Pop, P. Eles, Z. Peng and A. Andrei. Timing analysis of the FlexRay communication protocol. *Proceedings of the 18th EuroMicro Conference on Real-Time Systems (ECRTS'06)*, pp. 203-216, July 2006.
- [65] T. Pop, P. Pop, P. Eles and Z. Peng. Bus access optimization for FlexRay-based distributed embedded systems. *2007 EDAA*, pp. 51-56, 2007.
- [66] OSEK/VDX Communication, Version 3.0.3. OSEK Consortium. [Online]. Available: <http://osek-vdx.org>, December 2008.
- [67] L. Casparsson, A. Rajnak, K. Tindell and P. Malmberg. Volcano — A revolution in on-board communications. Volvo, Tech. Rep. 98-12-10, 1999.
- [68] OSEK/VDX Fault-Tolerant Communication, Version 1.0. OSEK Consortium. [Online]. Available: <http://osek-vdx.org>, December 2008.
- [69] AUTOSAR AUTomotive Open System Architecture. [Online]. Available: <http://www.autosar.org/>.
- [70] F. Ataide, M.M. Santos and F. Vasques. A comparison of the communication impact in CAN and TTP/C networks when supporting steer-by-wire systems. *2004 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, pp. 1078-1083, 2004.

- [71] H. Kopetz. A comparison of TTP/C and FlexRay. TU Wien Research Report 10/2001. May 2001.
- [72] A. Albert and W. Gerth. Evaluation and comparison of the real-time performance of CAN and TTCAN. *9th International CAN Conference (ICC 2003)*, pp. 05/01-05/08, 2003.