

## Από τα γνωστά δίκτυα Ethernet στα νέα λειτουργικά και ασύρματα δίκτυα

Άρθρο του **Δημήτρη Φιλίππου**  
*Technical Director, I<sup>2</sup>QS PC.*

*BICSI Country Chair, IEEE Senior Member,  
 CSI Professional Engineer Member,  
 ETHERNET ALLIANCE Consulting Member,  
 ELOT Technical Committee TC93 Member,*

*GENELEC TC209 & TC215 Delegate of Greek National Committee,  
 GENELEC TC215 WG1, WG2 & WG3 Member.*

*e-mail: dfilippou@i2qs.com*



**Ο** βιομηχανικοί όμιλοι προετοιμάζουν το Ethernet για τα λειτουργικά και τα ασύρματα δίκτυα. Το παρόν άρθρο θα ασχοληθεί με όλη την εξέλιξη της τεχνολογίας του Ethernet, από το πρότυπο του Ethernet ενός συνεστραμμένου ζεύγους έως την ασύρματη χρονικά ευαίσθητη δικτύωση.

Καθώς εξελίσσονται τα δίκτυα Ethernet, δύο βιομηχανικοί όμιλοι ανακοίνωσαν πρόσφατα τα σχέδια τους να μεταθέσουν την τεχνολογία Ethernet σε άλλο επίπεδο, αυτή τη φορά επεκτείνοντας την σε λειτουργικές και χρονικά ευαίσθητες ασύρματες εφαρμογές επικοινωνίας.

Στις αρχές του Αυγούστου 2020, το Ethernet Alliance δήλωσε ότι γίνεται προσπάθεια να προωθηθούν γρηγορότερες και απλούστερες επικοινωνίες στα Λειτουργικά (Operational Technology - OT)<sup>1</sup> δίκτυα που υφίστανται συνήθως σε περιβάλλοντα κτιρίων και βιομηχανικού αυτοματισμού. Το Ethernet Alliance διαθέτει ως μέλη ένα πλήθος εταιρειών στο χώρο των τηλε-

πικοινωνιών και της πληροφορικής, συμπεριλαμβανομένης της Broadcom, της Cisco, της Dell, της Juniper, της Intel, καθώς και πολλά ακαδημαϊκά ιδρύματα, αλλά και άλλα μέλη.

Μια πρόσφατη τυποποίηση της IEEE, είναι το πρότυπο IEEE 802.3cg, το οποίο καθορίζει τη χρήση του Ethernet ενός (συνεστραμμένου) ζεύγους (Single-Pair Ethernet - SPE) σε πολλές εφαρμογές, αντί για ένα πλήθος γραμμών μεταφοράς διαύλων επικοινωνίας πεδίου (Fieldbus), συμπεριλαμβανομένου των RS-485 γραμμών μεταφοράς συνεστραμμένου ζεύγους, των RG-6 ομοαξονικών γραμμών, καθώς και των γραμμών μεταφοράς των οργάνων μέτρησης (Instrumentation).

[https://csrc.nist.gov/glossary/term/operational\\_technology](https://csrc.nist.gov/glossary/term/operational_technology)

## Το Ethernet ενός συνεστραμμένου ζεύγους

Τα λειτουργικά (OT) δίκτυα ιστορικά ξεχωρίζουν από τα Ethernet δίκτυα πληροφορικής (IT) και όπως αναφέρει ο Peter Jones, πρόεδρος του Ethernet Alliance και διακεκριμένος μηχανικός της Cisco «τα δίκτυα αυτά, ενώ λειτουργούν αποτελεσματικά σήμερα, χρησιμοποιούν ξεπερασμένα και διαφορετικά δικτυακά πρωτόκολλα. Είναι αργά σε ταχύτητα, συνήθως 31,2kb/s, και απαιτούν πύλες μετάφρασης (translation gateways) για τη μετατροπή των δεδομένων τους στο Ethernet. Το Ethernet μέσω ενός συνεστραμμένου ζεύγους (SPE) έχει σχεδιαστεί ειδικά για να αντιμετωπίσει τις προκλήσεις και τις τοπολογίες των λειτουργικών (OT) δικτύων».

«Το πρότυπο IEEE 802.3cg, το οποίο δημοσιεύθηκε τον Φεβρουάριο του 2020, αποτελεί το πρότυπο που χρειάζονταν εξαρχής τα λειτουργικά (OT) δίκτυα. Το Ethernet Alliance έχει σκοπό να βοηθήσει στην εφαρμογή του προτύπου αυτού για την αύξηση της αξίας των λειτουργικών (OT) δικτύων, καθώς και τη βελτίωση των επιχειρηματικών εγχειρημάτων. Ο απώτερος στόχος του είναι ένα ενιαίο δικτυακό πρωτόκολλο σε όλη την έκταση μιας επιχείρησης, το οποίο θα καλύπτει τόσο τις ανάγκες πληροφορικής (IT), όσο και τις λειτουργικές (OT) ανάγκες. Η σύγκλιση αυτών των δύο δικτύων είναι το κλειδί για την επίτευξη των στόχων της Βιομηχανίας 4.0 (Industry 4.0)», ανέφερε ο Peter Jones.

Η ομάδα εργασίας του IEEE 802.3cg έδωσε ιδιαίτερη προσοχή στις ανάγκες των λειτουργικών (OT) δικτύων κατά τη δημιουργία του "cg". Πολλές από τις ιδιοταγείς υλοποιήσεις έχουν κοινά στοιχεία, οι περισσότερες από τις οποίες είναι ηλεκτρικά συμβατές με το RS-485, έχουν δύο κύριες τοπολογίες και μοιράζονται ένα κοινό φυσικό επίπεδο, δηλαδή μια κοινή γραμμή μεταφοράς συνεστραμμένου ζεύγους. Όπως αναφέρει ο Bob Voss, πρόεδρος της SPE επιτροπής του Ethernet Alliance και ανώτερος μηχανικός της Panduit, «το Ethernet ενός συνεστραμμένου ζεύγους (SPE) αξιοποιεί τα κοινά

αυτά στοιχεία για να υιοθετηθεί το Ethernet και όλα τα πλεονεκτήματα του χωρίς να ανακαλυφθεί εκ νέου ο τροχός».

Το Ethernet ενός συνεστραμμένου ζεύγους (SPE) επιτρέπει στους χρήστες να αναπτύξουν τις υποδομές που εξυπηρετούν τα λειτουργικά (OT) δίκτυα τους με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. Το Ethernet ενός συνεστραμμένου ζεύγους έχει σχεδιαστεί για να υποστηρίζει τυποποιημένες τοπολογίες, ακόμα και αν αυτές χρησιμοποιούν ένα παρόμοιο φυσικό επίπεδο. Πολλοί ειδικοί του Ethernet ενός συνεστραμμένου ζεύγους πιστεύουν ότι, με προϋπόθεση την χρήση σωστής γραμμής μεταφοράς, θα είναι δυνατόν να χρησιμοποιούνται τα στοιχεία του φυσικού επιπέδου των υφιστάμενων λειτουργικών (OT) δικτύων.

«Στο παρελθόν, η εφαρμογή του Ethernet στα λειτουργικά (OT) δίκτυα απαιτούσε την προσαρμογή των δικτύων, ώστε να λειτουργήσουν με το κανονικό BASE-T Ethernet δίκτυο. Αυτό ήταν αποτελεσματικό, αλλά δημιουργούσε εμπόδια, τα οποία περιόριζαν την υιοθέτηση του. Το Ethernet ενός συνεστραμμένου ζεύγους πλέον καταρρίπτει τα εμπόδια αυτά», επισήμανε ο Bob Voss.

«Ένα από τα προβλήματα με τα τρέχοντα ιδιοταγή λειτουργικά (OT) πρωτόκολλα είναι το διαφαινόμενο χάσμα στις δυνατότητες τους. Όπως επίσης και η εξειδικευμένη γνώση που απαιτείται για τα σημαντικά αυτά δίκτυα από ανθρώπους που είναι σε ηλικία συνταξιοδότησης. Το γεγονός αυτό δημιουργεί έναν τεράστιο κίνδυνο επιχειρησιακής ασυνέχειας, και καθώς οι επιχειρήσεις σχεδιάζουν πιο έξυπνα κτίρια για να δημιουργήσουν πιο ευχάριστους και πιο παραγωγικούς χώρους εργασίας, κρίνεται αναγκαία η μεγαλύτερη λειτουργικότητα (Functionality) στα λειτουργικά (OT) δίκτυα και φυσικά η χρήση του Ethernet ως βασικό πρωτόκολλο», τονίζει ο Bob Voss.

## Χρονικά-ευαίσθητη ασύρματη δικτύωση

Σε ένα ελεύθερο κόσμο, η ανάπτυξη του 5G

και του IEEE 802.11 έχει δημιουργήσει μεγάλο ενδιαφέρον για την επέκταση της τεχνολογίας Ethernet στην ασύρματη χρονικά ευαίσθητη δικτύωση (Time-Sensitive Networking - TSN).

Η ώθηση για συγχώνευση της ασύρματης τεχνολογίας και της Ethernet χρονικά ευαίσθητης δικτύωσης (TSN) προέρχεται από το Avnu Alliance, το οποίο αναφέρει ότι πάνω από το 95% των μελών του είναι προμηθευτές ολοκληρωμένων κυκλωμάτων πυριτίου για το Ethernet, καθώς επίσης κατασκευαστές αυτοκινητοβιομηχανίας και οπτικοακουστικών μέσων, ενώ στις θυγατρικές τους εταιρίες περιλαμβάνονται η Cisco, η Intel, η Bose, η Bosch και η Extreme. Το Avnu Alliance καθορίζει τις απαιτήσεις για την διαλειτουργικότητα των συστημάτων και αποτελεί μια αρχή πιστοποίησης που χορηγεί πιστοποιήσεις σε διαλειτουργικά προϊόντα χρονικά ευαίσθητης δικτύωσης (TSN). Το Avnu Alliance στην ουσία δεν υλοποιεί την πραγματική φυσική δοκιμή των προϊόντων. Η δοκιμή αυτή επιτυγχάνεται από ένα δίκτυο αναγνωρισμένων εργαστηρίων, όπως για παράδειγμα, το Inter-Operability Laboratory του Πανεπιστημίου του New Hampshire, το οποίο αποτελεί ένα αναγνωρισμένο εργαστήριο δοκιμών.

Ο Dave Cavalcanti, πρόεδρος της ασύρματης TSN ομάδας εργασίας του Avnu Alliance και ανώτερος μηχανικός της Intel, δήλωσε ότι «η χρονικά ευαίσθητη δικτύωση (TSN) αποτελεί μια συλλογή προτύπων που αναπτύχθηκε από την IEEE 802.1 Ομάδα Εργασίας TSN και η οποία προσδιόρισε ένα νέο σύνολο μηχανισμών χρονικού συγχρονισμού και εγκαιρότητας (Timeliness) (αιτιοκρατική παράδοση δεδομένων) για δεδομένα ευαίσθητα στο χρόνο σε ένα κοινόχρηστο τοπικό δίκτυο (LAN), στο οποίο υφίστανται και άλλοι τύποι εφαρμογών βέλτιστης προσπάθειας».

«Τα πρότυπα της χρονικά ευαίσθητης δικτύωσης (TSN) καθορίζουν νέες λειτουργίες στα IEEE 802 τοπικά δίκτυα (LAN), όπως η μορφοποίηση κίνησης (traffic shaping), η υπερτέρηση πλαισίου (frame pre-emption), ο χρονοπρογραμματισμός κίνησης (traffic scheduling), η πολιτική εισόδου (ingress policing) και ο αρραγής πλεονασμός (seamless redundancy). Όταν όλα τα τμήματα ενός δικτύου λειτουργούν με τον ίδιο χρόνο αναφοράς, η κίνηση μπορεί να συντονιστεί με βάση ένα χρονικά ενημερωμένο χρονοδιάγραμμα, μια μέθοδο δηλαδή που επιτρέπει καλύτερο έλεγχο της καθυστέρησης

απόκρισης (Latency) για την χρονικά κρίσιμη κίνηση. Τα νέα αυτά χαρακτηριστικά παρέχουν ένα εντελώς νέο επίπεδο ελέγχου για τη διαχείριση της κίνησης μέσω του Ethernet», δήλωσε ο Dave Cavalcanti.

Σύμφωνα με τον Cavalcanti, τα πρότυπα IEEE 802.1 TSN έχουν σημειώσει μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία τρία έως πέντε χρόνια, ιδιαίτερα στη βιομηχανία.

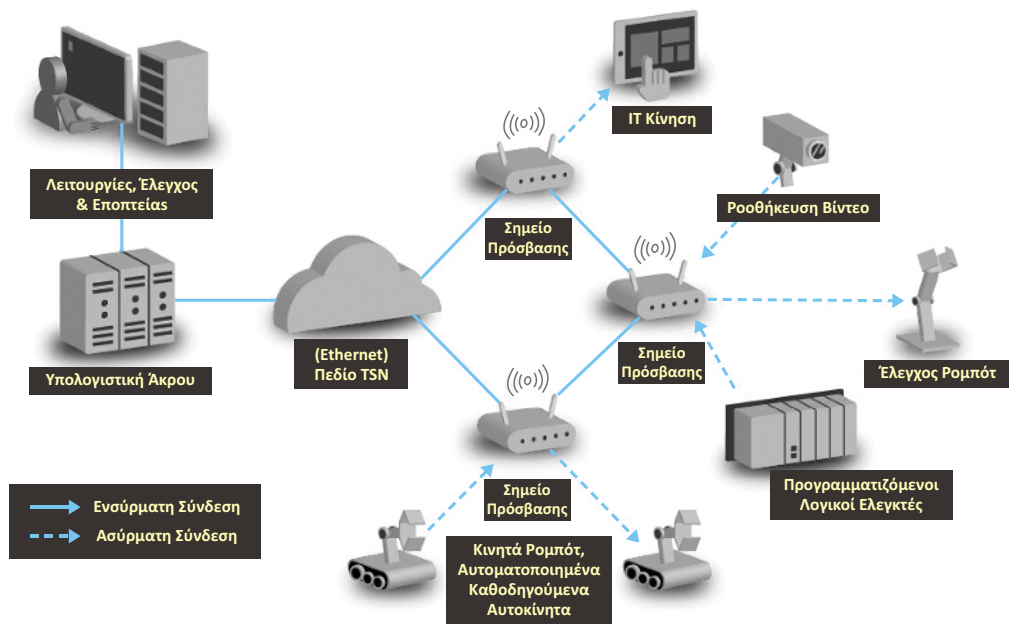
Οι ασύρματες επικοινωνίες που χρησιμοποιούν την χρονικά ευαίσθητη δικτύωση (TSN), όχι μόνο επιτρέπουν την κινητικότητα (mobility), αλλά είναι ευέλικτες και μειώνουν το κόστος της καλωδίωσης. «Οι δυνατότητες της ασύρματης TSN, για παράδειγμα, επιτρέπουν στους κατασκευαστές να αναδιαμορφώσουν εύκολα τα βιομηχανικά συστήματα αυτοματισμού και ελέγχου, καθώς και να βελτιστοποιήσουν τη δρομολόγηση και τη χρήση κινητών ρομπότ και αυτοματοποιημένων καθοδηγούμενων οχημάτων (Automated Guided Vehicles AGV) [Σχήμα 1]», δήλωσε ο Cavalcanti. Τα βιομηχανικά συστήματα αυτοματισμού και τα κινητά ρομπότ αποτελούν σημαντικές περιπτώσεις εφαρμογών, όπου η ασύρματη δικτύωση είναι θεμελιώδης για την κινητικότητα, την ευελιξία και την

επαναδιαρθρωσιμότητα των εργασιών και των διαδρομών τους.

Ο Cavalcanti προσθέτει ότι «Τα συστήματα ηλεκτρικού δικτύου είναι μια άλλη ενδιαφέρουσα περίπτωση εφαρμογής της ασύρματης χρονικά ευαίσθητης δικτύωσης (TSN), καθόσον τα συστήματα αυτά έχουν ένα πλήθος περιοχών κάλυψης που μπορεί να διαθέτουν τοπικά (π.χ. υποσταθμούς) έως και ευρείας περιοχής (διανομής και μετάδοσης) χαρακτηριστικά. Τα βιομηχανικά συστήματα ελέγχου θα μπορούσαν επίσης να επωφεληθούν από την ασύρματη συνδεσιμότητα, αλλά αυτό απαιτεί ένα υψηλότερο επίπεδο αιτιοκρατίας και αξιοπιστίας, το οποίο βασίζεται αποκλειστικά στον προγραμματισμό των ασύρματων χρονικά ελεγχόμενων συνδέσεων (IEEE 802.1Qbv)».

Υπάρχουν όμως και ορισμένα προβλήματα που περιορίζουν την εφαρμογή της ασύρματης χρονικά ευαίσθητης δικτύωσης (TSN).

Οι παρεμβολές είναι συνήθως το νούμερο ένα πρόβλημα όταν πρόκειται για την ασύρματη TSN. «Η ευαισθησία σε κακόβουλες παρεμβολές συχνά ανάγεται σε ανησυχία», αναφέρει ο Cavalcanti. Παρά το γεγονός ότι ο βαθμός της απειλής θα πρέπει να ληφθεί υπόψη σε κάθε



Σχήμα 1.

συγκεκριμένη ασύρματη υλοποίηση και εφαρμογή, είναι σημαντικό να δημιουργηθούν εργαλεία για τον μετριασμό των πιθανών επιπτώσεων των παρεμβολών (κακόβουλων ή μη) στο πεδίο της ασύρματης χρονικά ευαίσθητης δικτύωσης (TSN). Επειδή η ασύρματη TSN βασίζεται στα πρότυπα του Ethernet και των ασύρματων δικτύων (IEEE 802.11/Wi-Fi και 5G), τα ασύρματα χρονικά ευαίσθητα δίκτυα μπορούν να επωφεληθούν από τις βέλτιστες πρακτικές και τα πρότυπα ασφαλείας που έχουν αναπτυχθεί για τα συστήματα Ethernet, 802.11 και 3GPP.

«Επίσης, μπορεί να προστεθεί ένα επιπλέον επίπεδο ασφάλειας στη χρονικά ευαίσθητη δικτύωση (TSN) με ακριβείς μηχανισμούς χρονισμού που διευκολύνουν την έγκαιρη ανίχνευση μιας παραβίασης στο δίκτυο, όπως ορίζεται στο πρότυπο IEEE 802.1Qci. Στο πρότυπο αυτό προσδιορίζονται οι ροές που είναι ευαίσθητες στο χρόνο και χρησιμοποιούνται πληροφορίες χρονισμού και χρονοδιαγράμματος για την αποδοχή ή την απόρριψη των πακέτων. Το σωστό πακέτο θα πρέπει να φτάσει στο σωστό παράθυρο και στη σωστή θύρα για να γίνει αποδεκτό. Η ικανότητα αυτή θα πρέπει επίσης να

επεκταθεί και στα ασύρματα δίκτυα», τονίζει ο Cavalcanti.

«Τέλος, δεν μπορεί (ή θα έπρεπε) κάθε ασύρματη τεχνολογία να υποστηρίξει σήμερα τις λειτουργίες της TSN. Λαμβάνοντας υπόψη τις τρέχουσες και τις επερχόμενες ασύρματες δυνατότητες τόσο στο Wi-Fi, όσο και στο 5G, για παράδειγμα, οι περιπτώσεις που απαιτούν κινητότητα υψηλής ταχύτητας σε ευρείες περιοχές δεν θεωρούνται ακόμη ως εφαρμόσιμες για την απόδοση της ασύρματης χρονικά ευαίσθητης δικτύωσης (TSN)», αναφέρει ο Cavalcanti.

Η χρονικά ευαίσθητη δικτύωση (TSN) εντάσσεται στο επίπεδο δικτύωσης (Networking Layer), που αξιοποιεί τις βασικές τεχνολογίες επικοινωνίας δεδομένων (όπως το Ethernet, το 802.11/Wi-Fi και το 5G). Ως εκ τούτου η TSN μπορεί να θεωρηθεί ως ένα επίπεδο διασύνδεσης που λειτουργεί σε όλες και ενδεχομένως ενσωματώνει ετερογενείς, τεχνολογίες συνδεσιμότητας. Ο ρόλος της TSN είναι να διασφαλίσει την παροχή δεδομένων από άκρο σε άκρο με αιτιοκρατία, δήλωσε ο Cavalcanti. Κάθε μία από τις μεμονωμένες τεχνολογίες συνδεσιμότητας μπορεί να διαθέτει τα δικά της χαρακτηριστικά για να επιτύχει τους στόχους της TSN,

αλλά η TSN έχει ένα ευρύτερο πεδίο από οποιαδήποτε άλλη τεχνολογία συνδεσιμότητας. Πέρα από την δυναμική και την πρόοδο της ασύρματης χρονικά ευαίσθητης δικτύωσης, απαιτείται περισσότερη δουλειά για να έρθουν οι δυνατότητες της στην αγορά, όπως για παράδειγμα, οι διεπαφές της ασύρματης TSN, οι παράμετροι και οι διαδικασίες δοκιμής που θα πρέπει ακόμη να αναπτυχθούν, ανέφερε ο Cavalcanti. Για το λόγο αυτό υπάρχει στο Avnu Alliance η ομάδα εργασίας της ασύρματης χρονικά ευαίσθητης δικτύωσης (Wireless TSN - WTSN). Ο ρόλος της ομάδας εργασίας WTSN τόνισε είναι σημαντικός και πρέπει να ξεκινήσει τις πρώτες συζητήσεις και να προχωρήσει στην ευθυγράμμιση θεμάτων, όπως οι σταθερές διεπαφές της TSN για ενσύρματες και

ασύρματες τεχνολογίες, οι δοκιμές διαλειτουργικότητας και οι διαδικασίες πιστοποίησης.

#### ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- i. IEEE 802.3cg, «IEEE Standard for Ethernet - Amendment 5: Physical Layer Specifications and Management Parameters for 10 Mb/s Operation and Associated Power Delivery over a Single Balanced Pair of Conductors», 2019.
- ii. IEEE 802.11, «IEEE Standard for Information technology-- Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks--Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications», 2016.
- iii. IEEE 802.1,
- iv. IEEE 802.1Qbv, «IEEE Standard for Local and metropolitan area networks -- Bridges and Bridged Networks - Amendment 25: Enhancements for Scheduled Traffic», 2015.
- v. IEEE 802.1Qci, «IEEE Standard for Local and metropolitan area networks--Bridges and Bridged Networks--Amendment 28: Per-Stream Filtering and Policing», 2017.
- vi. IDG News Service, "Industry groups prep Ethernet for operational, wireless networks", TechCentral, August 14, 2020.
- vii. Avnu Alliance, "Wireless TSN - Definitions, Use Cases & Standards Roadmap. Version #1.0", March 4, 2020.

#### Λίγα λόγια για τον αρθρογράφο

Ο κ. **Δημήτρης Φιλίππου** είναι Τεχνικός Διευθυντής στην Εταιρεία Integrated Intelligent Quality Systems (I2QS). Σε διεθνές επίπεδο αποτελεί μέλος του Communication Society του INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE) από το 1995 και Senior Member του IEEE από το 2020. Είναι Country Chair του BICSI στην Ελλάδα και μέλος του από το 2001. Επιπλέον, αποτελεί μέλος ως Professional Engineer στο CONSTRUCTION SPECIFICATIONS INSTITUTE (CSI) από το 2018, καθώς επίσης είναι μέλος ως Consultant στο ETHERNET ALLIANCE (EA) από το 2019.

Εργάζεται στον χώρο της πληροφορικής και των τηλεπικοινωνιών από το 1995, ξεκινώντας ως μηχανικός έρευνας, σχεδίασης και ανάπτυξης τηλεπικοινωνιακών συστημάτων (Hardware Design). Στην συνέχεια ασχολήθηκε με την σχεδίαση και ανάπτυξη τηλεπικοινωνιακών δικτύων, ενώ ταυτόχρονα επικεντρώθηκε στην μελέτη και ανάπτυξη τηλεπικοινωνιακών καλωδιακών υποδομών, παρακολουθώντας ενεργά όλα αυτά τα χρόνια την ανάπτυξη και εξέλιξη των Ευρωπαϊκών και Διεθνών προτύπων.

Σε εθνικό επίπεδο, συμμετέχει ενεργά στην εθνική Τεχνική Επιτροπή TE93 του ΕΛΟΤ από το 2007, εκπροσωπώντας την παράλληλα στην ευρωπαϊκή Τεχνική Επιτροπή TC215 της CENELEC. Σε ευρωπαϊκό επίπεδο, συμμετέχει ως μέλος στο Working Group 1 (WG1) και στο Working Group 2 (WG2) της TC215 της CENELEC από το 2007. Τα Working Groups αυτά είναι αρμόδια για την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης σειράς προτύπων για την σχεδίαση και την εγκατάσταση των τηλεπικοινωνιακών καλωδιακών υποδομών σε μια σειρά εγκαταστάσεων, συμπεριλαμβανοντας μεταξύ άλλων, γραφεία, βιομηχανίες, σπίτια και κέντρα δεδομένων. Επιπλέον, συμμετέχει στις εργασίες του Working Group 3 (WG3) της CLC TC215 για την σειρά προτύπων EN 50600 από το 2007, εξετάζοντας την εφαρμογή της ενεργειακής απόδοσης στις εγκαταστάσεις και τις υποδομές ενός κέντρου δεδομένων. Σε διεθνές επίπεδο, συμμετέχει ενεργά στα Subcommittee Power over Ethernet (PoE), High Speed Networking (HSN) και Single Pair Ethernet (SPE) του EA. Έχει γράψει ένα πλήθος άρθρων σχετικά με τα διεθνή, ευρωπαϊκά και εθνικά πρότυπα που χρησιμοποιούνται στην σχεδίαση και ανάπτυξη συστημάτων γένιας καλωδίου και είναι ομιλητής σε αντίστοιχο πλήθος διαλέξεων και σεμιναρίων, ενημερώνοντας την ελληνική αγορά για τις εξελίξεις και την πρόοδο των προτύπων των τηλεπικοινωνιακών καλωδιακών υποδομών.

Εάν επιθυμείτε το COMMUNICATION SOLUTIONS να δημοσιεύσει περισσότερα άρθρα για **Ethernet** επικοινωνήστε μαζί μας στο: **info@comsol.gr**