

1. Η Οικογένεια Προτύπων IEEE 1451

Το IEEE 1451 περιγράφει μία ομάδα ανοιχτών και ανεξάρτητων από το δίκτυο διεπαφών, για τη διασύνδεση μορφοτροπέων με όργανα, συστήματα και δίκτυα μέσω αναλογικών, ψηφιακών, ενσύρματων ή ασύρματων διεπαφών.

Ο κυριότερος στόχος του προτύπου είναι ο διαχωρισμός των μορφοτροπέων από το δίκτυο, ώστε η ανάπτυξη δικτύων και διεπαφών να είναι ανεξάρτητες από εταιρίες και κατασκευαστές. Επίσης θα πρέπει να επιτρέπει στους μορφοτροπέες να μπορούν να αντικατασταθούν και να μεταφερθούν με την ελάχιστη δυνατή προσπάθεια, υποστηρίζοντας παράλληλα θερμή εναλλαγή (hot swap). Θα πρέπει να ελαχιστοποιεί την χειροκίνητη παραμετροποίηση η οποία είναι επιρρεπής σε λάθη και σφάλματα. Επίσης θα πρέπει να υποστηρίζει ένα γενικό μοντέλο δεδομένων, ελέγχου, χρονισμού, παραμετροποίησης και βαθμονόμησης για τους μορφοτροπέες. Τέλος θα πρέπει να αναπτυχθούν κάποιες δομές οι οποίες κατά προτίμηση θα είναι αποθηκευμένες μέσα στους μορφοτροπέες και θα περιέχουν πληροφορίες για αυτούς.

Σύμφωνα με το πρότυπο, κάθε ευφυής αισθητήρας αποτελείται από δύο κύριες οντότητες, ένα Άρθρωμα Διεπαφής Μορφοτροπέα (Transducer Interface Module – TIM) και έναν Επεξεργαστή Εφαρμογών με Δυνατότητα Δικτύωσης (Network Capable Application Processor – NCAP). Κάθε TIM μπορεί να αποτελείται από έναν ή περισσότερους μορφοτροπέες (έως 255), μονάδες επεξεργασίας σήματος, μετατροπείς σήματος (από αναλογικό σε ψηφιακό και αντίστροφα) και μία διεπαφή μέσω της οποίας μπορεί να επικοινωνεί με το NCAP. Το NCAP είναι ένα σύστημα (συνήθως περιλαμβάνει κάποιο μικροεπεξεργαστή και ενσωματωμένο λειτουργικό σύστημα) το οποίο διασυνδέει ένα ή περισσότερα TIM, μέσω του δικτύου επικοινωνίας, με το χρήστη ή την εφαρμογή και μπορεί να έχει πολλές και διαφορετικού τύπου διεπαφές με τον έξω κόσμο. Με τη χρήση των Ηλεκτρονικών Φύλλων Δεδομένων Μορφοτροπέα (Transducer Electronic Data Sheet – TEDS) (τα οποία συνήθως βρίσκονται αποθηκευμένα μέσα στο TIM), είναι πολύ εύκολη η λήψη και αποκωδικοποίηση δεδομένων από τους μορφοτροπέες, καθώς περιέχουν πληροφορίες σχετικές με τους διαθέσιμους μορφοτροπέες αλλά και γενικότερα στοιχεία για ολόκληρο το TIM. Είναι ίσως το πιο σημαντικό κομμάτι

του συστήματος, καθώς έκανε τη μεγάλη διαφορά σε σχέση με παρόμοια συστήματα. Επίσης τα TIM έχουν τη δυνατότητα της άμεσης βυσμάτωσης και λειτουργίας (plug and play), κάτι το οποίο σημαίνει ότι μπορούμε να έχουμε άμεση προσπέλαση σε αυτά και τα δεδομένα των αισθητήρων τους, αμέσως μετά της σύνδεσή τους με το NCAP.

1.1 Ιστορική αναδρομή

Εταιρίες που ασχολούνταν με τον σχεδιασμό, κατασκευή και ανάπτυξη αισθητήρων [2] και περιφερειακών συστημάτων για αυτούς, αλλά και διάφοροι κυβερνητικοί φορείς όπως το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων και Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE), Εθνικό Ινστιτούτο Προτύπων και Τεχνολογίας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (U.S. National Institute of Standards and Technology – NIST) και τα Εργαστήρια του Υπουργείου Ενέργειας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (U.S. Department of Energy Laboratories), άρχισαν να συζητάνε την πιθανότητα έναρξης κάποιας οργανωμένης προσπάθειας για την ανάπτυξη ενός κοινού προτύπου για αυτά τα συστήματα. Οι συζητήσεις ξεκίνησαν τον Σεπτέμβριο του 1993 που πραγματοποιήθηκε η σύνοδος TC-9 της IEEE (IEEE Instrumentation and Measurement Society Technical Committee on Sensors). Τα επόμενα δύο χρόνια πραγματοποιήθηκαν πέντε IEEE/NIST workshops και τέσσερις σύνοδοι ομάδων εργασίας της IEEE, οι οποίες έθεσαν τα θεμέλια προς αυτό το μεγάλο στόχο. Επίσης οργανώθηκαν τρεις επιτροπές οι οποίες ήταν υπεύθυνες για τη μελέτη των δικτύων, της επικοινωνίας των μορφοτροπέων με τα υπόλοιπα συστήματα και τις απαιτήσεις της αγοράς. Αποτέλεσμα των παραπάνω, ήταν η σύνταξη δύο σχεδίων προτύπου μέχρι το τέλος του 1995. Το πρώτο ήταν το IEEE 1451.1 στο οποίο περιγραφόταν η βασική δομή των TEDS και το IEEE 1451.2 στο οποίο περιγραφόταν το κοινό μοντέλο αντικειμένων.

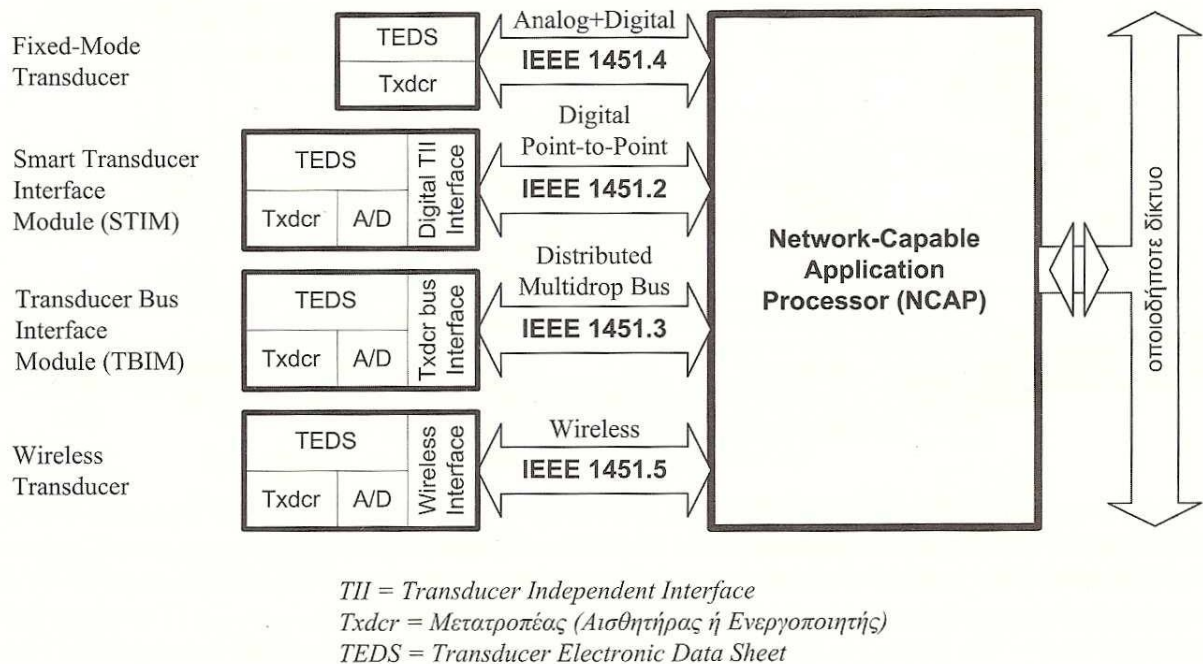
Στις αρχές του 1996, η IEEE ενέκρινε δύο ομάδες εργασίας για να αναπτύξουν πρότυπα για ευφυείς μορφοτροπείς. Η IEEE 1451.1 θα καθόριζε ένα κοινό μοντέλο αντικειμένων για τη δικτυακή επικοινωνία μεταξύ των μορφοτροπέων και των NCAP και η IEEE 1451.2 θα καθόριζε τα TEDS, τα TIM και την Ανεξάρτητη Διεπαφή Μορφοτροπεία (Transducer Independent

Interface – TII) η οποία είναι μία διεπαφή δέκα σημάτων και χρησιμοποιείται για την επικοινωνία NCAP και TIM. Η δουλειά των ομάδων αυτών, ανέδειξε την ανάγκη ανάπτυξης ενός ακόμα προτύπου κατάλληλο για τους χρήστες μικρών αλλά και κατανεμημένων συστοιχιών αισθητήρων.

Το 1997 δημοσιεύθηκε το πρώτο πρότυπο από την ομάδα IEEE 1451.2 με τίτλο “IEEE Std 1451.2-1997 IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Transducer to Microprocessor Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats.” το οποίο το 2004 υπέστη αναθεώρηση. Έπειτα εγκρίθηκαν άλλες δύο ομάδες εργασίας, μία για πολλαπλά συνδεδεμένους αισθητήρες (IEEE 1451.3) και μία για αισθητήρες με αναλογικό και ψηφιακό τρόπο λειτουργίας (IEEE 1451.4). Το 2001 δημιουργήθηκε η IEEE P1451.5 που ασχολήθηκε με ασύρματους αισθητήρες.

1.2 Πρότυπα

Το IEEE 1451 αποτελεί μία οικογένεια προτύπων [9], [29] τα οποία περιγράφουν είτε διαφορετικά επίπεδα του πρωτοκόλλου ή διαφορετικούς τύπους διεπαφών. Στο Σχήμα 1 υπάρχει μία σύνοψη των προτύπων αυτών και έπειτα ακολουθεί μία περιληπτική περιγραφή τους.



Σχήμα 1: Αρχιτεκτονική του IEEE 1451

1.2.1 IEEE 1451.0

Περιγράφει ένα σύνολο από κοινές εντολές και λειτουργίες, με τη χρήση των οποίων μπορεί να υπάρξει πρόσβαση και επικοινωνία με κάθε μορφοτροπέα συμβατό με το πρότυπο, ανεξαρτήτου του τρόπου διασύνδεσής του με το σύστημα. Με αυτό τον τρόπο, χρησιμοποιώντας κάποιο από τα υπάρχοντα ή μελλοντικά 1451.X πρότυπα τα οποία περιγράφουν το φυσικό στρώμα, μπορεί να εξασφαλιστεί η ορθή επικοινωνία με ενσύρματους αλλά και ασύρματους μορφοτροπέες. Επίσης καθορίζει την κοινή μορφή και τα περιεχόμενα των TEDS.

Είναι από τα τελευταία πρότυπα που οριστικοποιήθηκαν [5] και ο κύριος σκοπός του είναι να διευκολύνει τη διαλειτουργικότητα μεταξύ των υπάρχων προτύπων του IEEE 1451. Για να το πετύχει αυτό όρισε κάποιες βασικές αρχές:

- Θα πρέπει να υποστηρίζονται οι ήδη υπάρχουσες βασικές οντότητες του IEEE 1451 οι οποίες περιγράφονται και υποστηρίζονται από τα υπόλοιπα πρότυπα

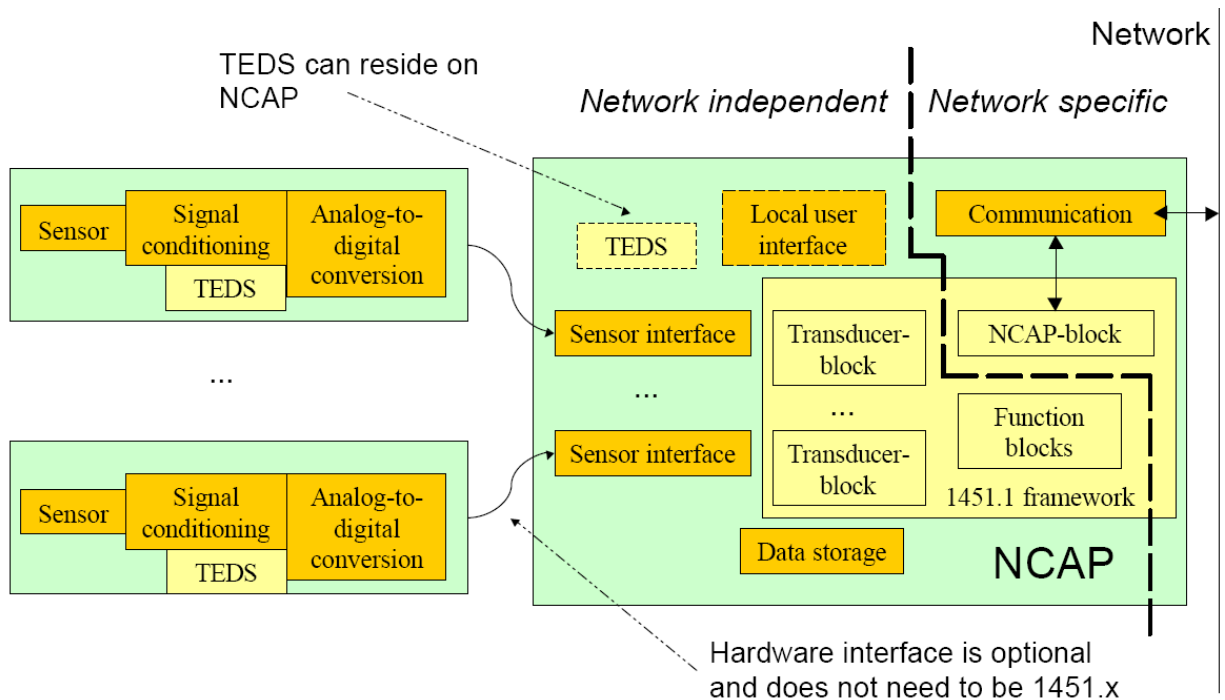
- τα πρότυπα πρέπει να περιγράφουν τις διεπαφές μεταξύ των δομοστοιχείων (modules) και όχι τα ίδια τα δομοστοιχεία. Για να το καταφέρουν αυτό, πρέπει να συμπεριφέρονται στα δομοστοιχεία σαν μαύρα κουτιά που δεν τους ενδιαφέρει η εσωτερική τους δομή και λειτουργία, αλλά ορίζουν με λεπτομέρειες τη λειτουργία τους και τις εξόδους κάτω υπό συγκεκριμένες συνθήκες, εισόδους και μηνύματα
- πρέπει να υπάρχει διαχωρισμός των επιπέδων και των διεπαφών. Κάθε δομοστοιχείο επικοινωνεί αποκλειστικά με το επίπεδο ακριβώς από πάνω του και κάτω του, χωρίς να το ενδιαφέρει η υπόλοιπη αρχιτεκτονική του υπάρχοντος συστήματος
- πρέπει να υποστηρίζεται η θερμή εναλλαγή (hot swapping) των TIM χωρίς να χρειάζεται να βγει από την τροφοδοσία το NCAP στο οποίο είναι συνδεδεμένα ή πρόκειται να συνδεθούν. Προφανώς ύστερα από μία τέτοια διαδικασία το NCAP θα πρέπει να συνεχίζει να λειτουργεί κανονικά, χωρίς προβλήματα ή βλάβες

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα από την ανάπτυξη του συγκεκριμένου προτύπου είναι:

- μείωση στην επικάλυψη μεταξύ των προτύπων οπότε και της συνολικής απαιτούμενης δουλειάς
- αύξηση της συμβατότητας και των κοινών χαρακτηριστικών των επιμέρους προτύπων
- κοινή πρόσβαση μέσω δικτύου για όλες τις συσκευές
- ευκολία προσθήκης νέου προτύπου το οποίο θα υποστηρίζει κάποιο νέο ή μη υποστηριζόμενο μέχρι στιγμής φυσικό μέσο
- τυποποίηση του μηνύματος και όχι του μέσου

1.2.2 IEEE 1451.1

Καθορίζει ένα κοινό μοντέλο αντικειμένων το οποίο περιγράφει τη συμπεριφορά των ευφυών μορφοτροπέων. Επίσης ορίζει τα μοντέλα επικοινωνίας τα οποία χρησιμοποιούνται στο πρότυπο, στα οποία περιλαμβάνονται το πελάτης-εξυπηρετητής (client-server) και δημοσιοποίηση-εγγραφή (publish-subscribe). Με τη χρήση του, εφαρμογές οι οποίες μπορούν να εκτελούνται στο NCAP, μπορούν να επικοινωνούν με κοινό τρόπο με όλους τους συμβατούς μορφοτροπέες, οι οποίοι είναι συνδεδεμένοι με το σύστημα. Επίσης δίνει τη δυνατότητα για κοινό τρόπο επικοινωνίας μεταξύ των NCAP αλλά και μεταξύ των NCAP και των εξωτερικών συστημάτων.



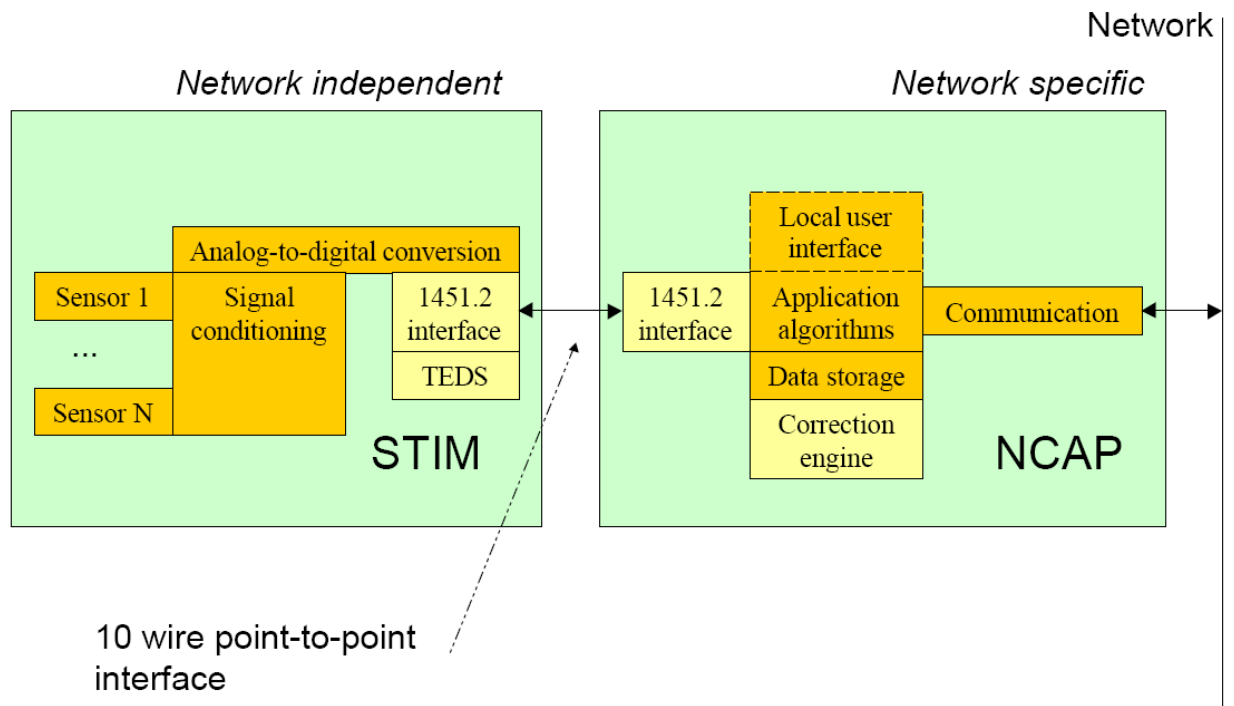
Σχήμα 2: Αρχιτεκτονική του IEEE 1451.1

1.2.3 IEEE 1451.2

Καθορίζει τη διεπαφή μεταξύ ενός TIM και ενός NCAP και τα TEDS για σύνδεση σημείο προς σημείο. Το αρχικό πρότυπο περιέγραφε ένα επίπεδο επικοινωνίας το οποίο βασιζόταν στη χρήση Σειριακής Περιφερειακής Διεπαφής (Serial Peripheral Interface – SPI) στην οποία είχαν προστεθεί κάποιες επιπλέον γραμμές επικοινωνίας για έλεγχο της ροής των δεδομένων και του χρονισμού. Έπειτα από αναθεώρηση, προστέθηκε η υποστήριξη και

για σειριακή θύρα. Εφόσον όλα τα TIM είναι σχεδιασμένα ώστε να υποστηρίζουν τη συγκεκριμένη διεπαφή, το μόνο που χρειάζεται είναι να χρησιμοποιήσουμε τον κατάλληλο τύπο NCAP το οποίο να υποστηρίζει τη δικτυακή υποδομή η οποία μας ενδιαφέρει.

Όπως παρατηρούμε και στο Σχήμα 3, το TII είναι η διεπαφή μεταξύ TIM-NCAP. Η πρόσβαση στο TIM γίνεται ανάλογα με συστήματα που έχουν τις λειτουργίες και τα δεδομένα χαρτογραφημένα στη μνήμη. Δηλαδή κάθε ενέργεια (διάβασμα από αισθητήρα, εντολή σε εκκινητήρα) είναι αντιστοιχημένη σε μία διεύθυνση, την οποία στέλνει το NCAP στο TIM όταν θέλει να πραγματοποιηθεί η συγκεκριμένη ενέργεια.

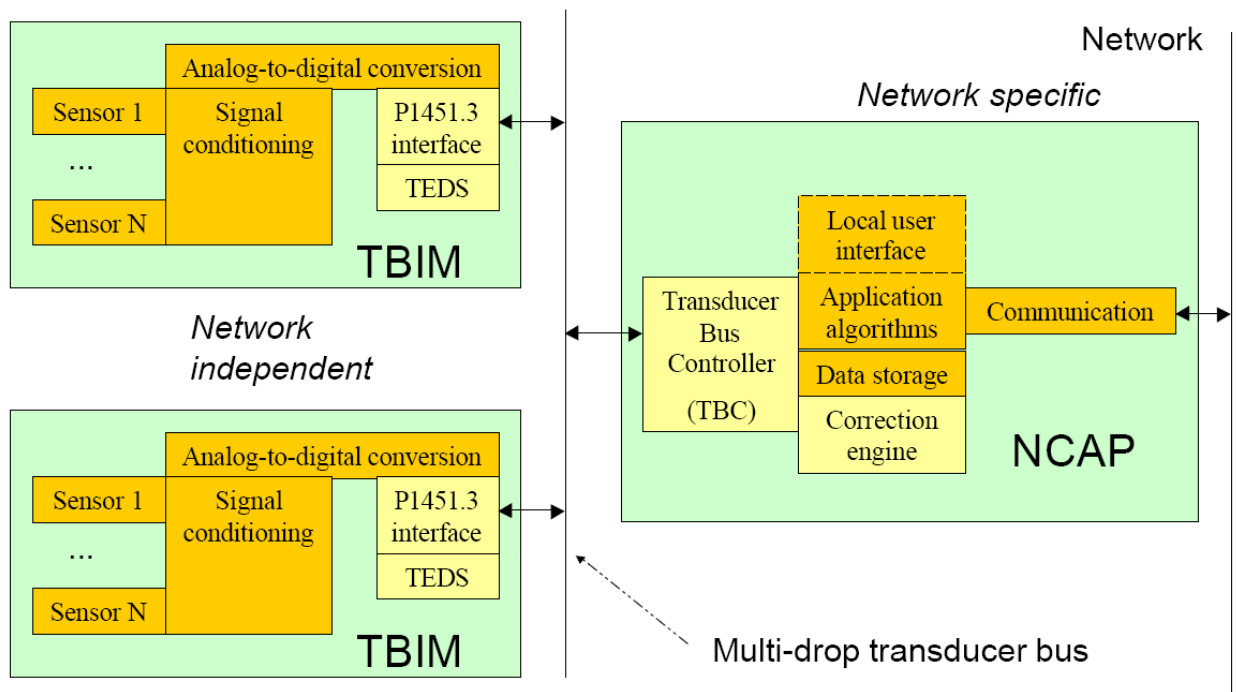


Σχήμα 3: Αρχιτεκτονική του IEEE 1451.2

1.2.4 IEEE 1451.3

Αποτελεί επέκταση του IEEE 1451.2 καθορίζοντας τη διεπαφή μεταξύ ενός NCAP και πολλών TIM και τα TEDS για μορφοτροπίες οι οποίοι επικοινωνούν όλοι μέσω ενός κοινού διαύλου χρησιμοποιώντας μία κατακευματισμένη αρχιτεκτονική.

Το πρότυπο περιγράφει τα Αρθρώματα Διεπαφής Διαύλου Μετατροπέα (Transducer Bus Interface Modules – TBIM), τα οποία συνδέονται μέσω ενός κοινού διαύλου με το NCAP, το οποίο τα συνδέει με το επιθυμητό εξωτερικό δίκτυο. Ο κοινός δίαυλος αποτελείται από μία γραμμή σύνδεσης που χρησιμοποιείται τόσο για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας για την τροφοδοσία των TBIM, όσο και για τη μεταφορά δεδομένων. Ο κοινός δίαυλος ελέγχεται από ένα ελεγκτή διαύλου, ο οποίος εμπεριέχεται μέσα στο NCAP και ονομάζεται Ελεγκτής Διαύλου Μετατροπέα (Transducer Bus Controller - TBC).

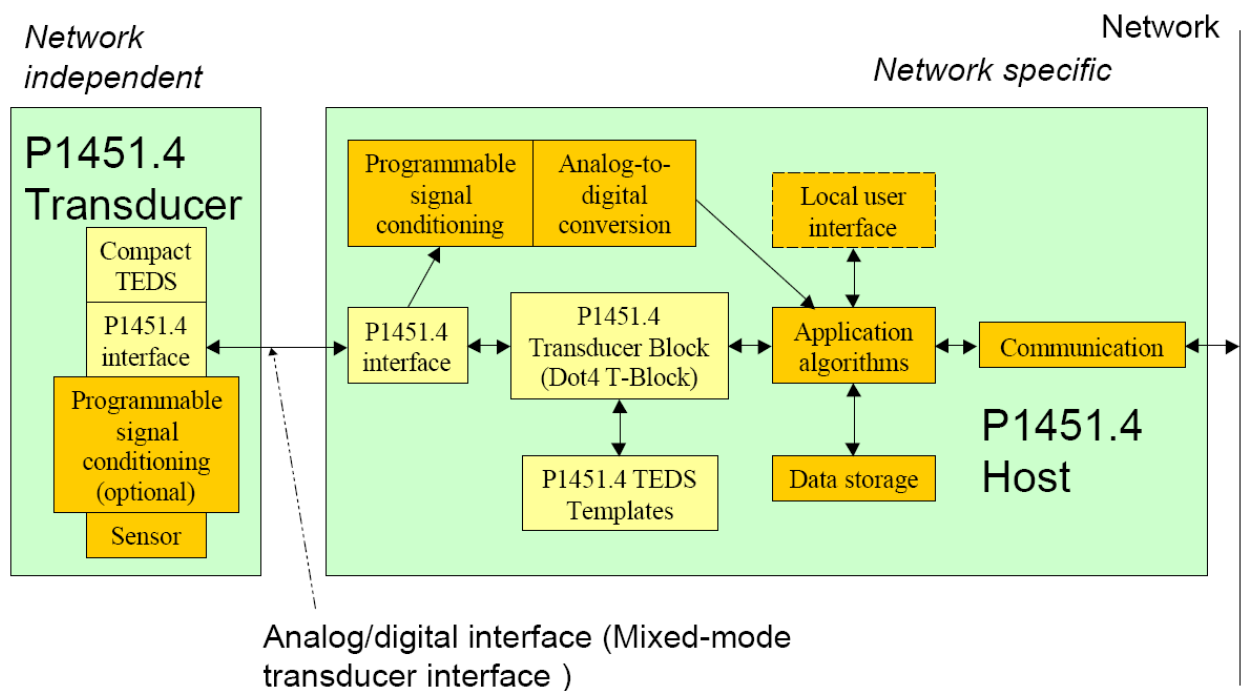


Σχήμα 4: Αρχιτεκτονική του IEEE 1451.3

1.2.5 IEEE 1451.4

Καθορίζει μία διεπαφή για αναλογικούς μορφοτροπέες οι οποίοι έχουν δυνατότητα για αναλογική μεταφορά μετρήσεων αλλά ψηφιακή μεταφορά TEDS. Επειδή και τα αναλογικά αλλά και τα ψηφιακά δεδομένα μεταφέρονται πάνω από την ίδια γραμμή επικοινωνίας, κάθε χρονική στιγμή είναι ενεργός μόνο ένας από τους δύο τρόπους μεταφοράς. Υπάρχει δυνατότητα και για διαχωρισμό των αναλογικών από τα ψηφιακά δεδομένα, προσθέτοντας δύο

ακόμα σήματα για τη ψηφιακή μεταφορά των TEDS. Επίσης περιγράφει κάποια τροποποιημένα TEDS, τα οποία περιλαμβάνουν λιγότερες πληροφορίες, ώστε να μπορούν να αποθηκευτούν στις σχετικά μικρές μνήμες των μικροσκοπικών αισθητήρων. Τα συγκεκριμένα TEDS είναι ικανά να περιγράψουν αρκετά διαφορετικά είδη μορφοτροπέων όπως αισθητήρες επιτάχυνσης, θερμοκρασίας, ρεύματος, μικρόφωνα.



Σχήμα 5: Αρχιτεκτονική του IEEE 1451.4

1.2.6 IEEE 1451.5

Καθορίζει τη διεπαφή ανάμεσα σε ασύρματους μορφοτροπέες και NCAP. Τα ασύρματα πρωτόκολλα που υποστηρίζονται είναι τα 802.11 (WiFi), 802.15.1 (Bluetooth) και 802.15.4 (ZigBee).

1.2.7 IEEE 1451.6

Καθορίζει τη διεπαφή ανάμεσα σε μορφοτροπέες και NCAP οι οποίοι συνδέονται με το υψηλής ταχύτητας Ανοιχτό Δίκτυο Ελεγκτή (Controller Area Network open – CANopen). Ορίζει την αντιστοίχιση των στοιχείων των TEDS

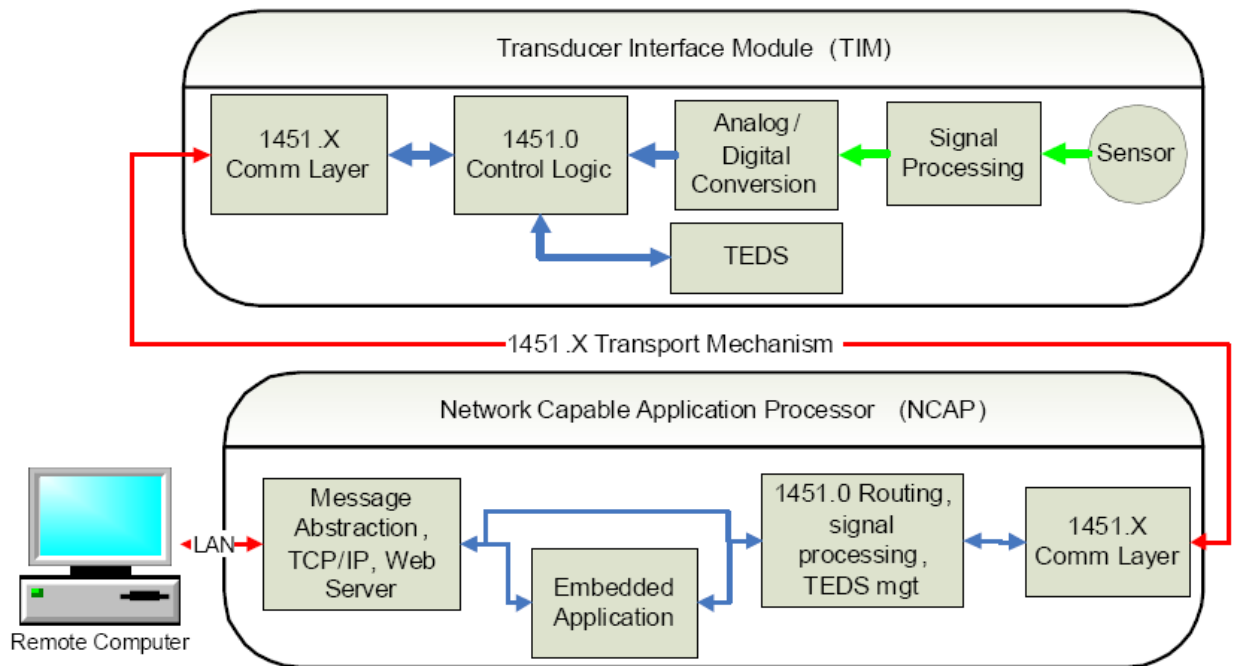
με τις καταχωρήσεις του CANopen αλλά και με τα μηνύματα επικοινωνίας, τις παραμέτρους ρύθμισης και τις διαγνωστικές πληροφορίες. Επίσης υιοθετεί το μοντέλο συσκευών του CANopen για να περιγράψει τα όργανα μέτρησης.

1.2.8 IEEE 1451.7

Περιγράφει τη διεπαφή ανάμεσα σε μορφοτροπείς οι οποίοι επικοινωνούν με το υπόλοιπο σύστημα με Ραδιοσυχνοτική Αναγνώριση (Radio Frequency Identification – RFID). Περιγράφει τις μεθόδους επικοινωνίας, τη μορφή των δεδομένων αλλά και τα TEDS για αυτού του είδους τους μορφοτροπείς.

1.3 Λειτουργία

Η λειτουργία του IEEE 1451 [10], βασίζεται κυρίως πάνω σε δύο οντότητες, το TIM και το NCAP. Στο TIM είναι συνδεδεμένοι οι μορφοτροπείς (αισθητήρες και εκκινητήρες) και επίσης περιέχει τα TEDS τα οποία περιέχουν πληροφορίες για τους μορφοτροπείς και τον τρόπο επικοινωνίας μαζί τους, αλλά και για το ίδιο το TIM. Το NCAP είναι η κεντρική οντότητα το οποίο μπορεί να επικοινωνεί με τα TIM με διάφορα ενσύρματα αλλά και ασύρματα πρωτόκολλα.



Σχήμα 6: Σχηματικό διάγραμμα του IEEE 1451

Όταν το NCAP αρχίζει να λειτουργεί, αρχικά αναζητά TIM τα οποία πιθανόν να είναι συνδεδεμένα πάνω του. Για κάθε ένα από αυτά, μεταφέρει ένα αντίγραφο των TEDS που περιέχουν, σε μία προσωρινή μνήμη η οποία βρίσκεται μέσα στο NCAP. Όταν κάποιος πελάτης ή κάποια εφαρμογή κάνει κάποια αίτηση στο NCAP για διάβασμα της τιμής κάποιου αισθητήρα, το NCAP θα στείλει τις απαραίτητες εντολές στο ανάλογο TIM, το οποίο θα επιστρέψει την τιμή σε ψηφιακή μορφή, οπότε το NCAP με τη βοήθεια των TEDS θα μπορέσει να τη μορφοποιήσει και να την μετατρέψει σε συμβατή μορφή με το διεθνές σύστημα μονάδων SI (Système International). Έπειτα δημιουργεί ένα XML έγγραφο το οποίο περιέχει την τιμή μαζί με κάποια άλλα δεδομένα και το αποστέλλει μέσω δικτύου με τη χρήση του HTTP πρωτοκόλλου.

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, λόγω του κοινού προτύπου, οντότητες από διαφορετικές εταιρίες μπορούν να συνεργαστούν χωρίς πρόβλημα. Επίσης οι αισθητήρες είναι plug and play όπως και τα TIM. Για παράδειγμα αν επιθυμούμε να προσθέσουμε έναν ασύρματο αισθητήρα σε ένα υπάρχον

σύστημα, το μόνο που έχουμε να κάνουμε είναι απλά να τον τοποθετήσουμε εντός εμβέλειας του ασύρματου δικτύου.

1.4 TEDS

Τα TEDS [8], [27] είναι μία μέθοδος αποθήκευσης πληροφοριών οι οποίες είναι απαραίτητες για την αναγνώριση ενός μορφοτροπέα αλλά και για τον τρόπο επικοινωνίας μαζί του (π.χ. ορθή ανάγνωση της τιμής ενός αισθητήρα). Τα TEDS περιέχουν κρίσιμες πληροφορίες οι οποίες είναι απαραίτητες σε ένα όργανο ή σύστημα μέτρησης ώστε να αναγνωρίσει, να επικοινωνήσει και να χρησιμοποιήσει σωστά το σήμα από τον μορφοτροπέα. Οι πληροφορίες αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν παράγοντες βαθμονόμησης (calibration factors), μονάδες μέτρησης, εύρος τιμών και διάφορους χρόνους σχετικούς με τον αισθητήρα (προθέρμανσης, απόκρισης, δειγματοληψίας). Επίσης μπορούν να περιλαμβάνουν στοιχεία όπως το όνομα του κατασκευαστή, την ημερομηνία κατασκευής και κάποιο σειριακό αριθμό. Τα TEDS μπορούν να βρίσκονται αποθηκευμένα είτε σε κάποια ενσωματωμένη μνήμη, συνήθως σε Ηλεκτρικά Σβέσιμη Προγραμματίσιμη Μνήμη Μόνο Ανάγνωσης (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory – EEPROM), μέσα στον transducer ή σε κάποιο ανεξάρτητο αρχείο διαθέσιμο στο διαδίκτυο. Στη δεύτερη περίπτωση ονομάζονται εικονικά TEDS (Virtual TEDS). Τα Virtual TEDS δίνουν τη δυνατότητα ακόμα και σε παραδοσιακούς αισθητήρες οι οποίοι δεν έχουν διαθέσιμη κάποια ενσωματωμένη μνήμη, να εκμεταλλευτούν όλα τα πλεονεκτήματα των TEDS και γενικά του προτύπου.

1.4.1 Πλεονεκτήματα

Τα TEDS είναι από τα πιο σημαντικά κομμάτια του προτύπου, καθώς λόγω αυτών υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα και δυνατότητες, όπως:

- επιτρέπουν αυτοαναγνώριση και αυτοπεριγραφή των μορφοτροπέων
- βοηθάνε στην αυτορύθμιση ενός συστήματος αισθητήρων

- απλοποιούν την εγκατάσταση, την αναβάθμιση και τη συντήρηση ενός συστήματος αισθητήρων καθώς επιτρέπουν την προσθήκη ή αφαίρεση συσκευών χωρίς ιδιαίτερες διαδικασίες
- παρέχουν αυτοτεκμηρίωση των μορφοτροπέων

1.4.2 Δομή

Τα TEDS αποτελούνται από τρία κύρια μέρη:

- οι πρώτες τέσσερις δυφιοσυλλαβές (bytes) απεικονίζουν το συνολικό μέγεθος των TEDS (εκτός του μεγέθους του ίδιου του μέρους του μεγέθους)
- έπειτα υπάρχουν οι ομάδες των δεδομένων (datablocks) οι οποίες έχουν τη μορφή τύπος-μέγεθος τιμής-τιμή (TLV – Type-Length-Value)
- τέλος υπάρχει το άθροισμα ελέγχου το οποίο υπολογίζεται σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο (στην ουσία είναι το συμπλήρωμα ως προς ένα του αθροίσματος όλων των bytes του TEDS εκτός προφανώς των δύο bytes του ίδιου του αθροίσματος $checksum = 0xFFFF - \sum_{i=1}^{TotalOctets-2} TEDSOctet(i)$ ελέγχου):

Field	Description	Type	# octets
—	TEDS length	UInt32	4
1 to N	Data block	Variable	Variable
—	Checksum	UInt16	2

Σχήμα 7: Βασική δομή TEDS

1.4.3 Κατηγορίες

Τα TEDS χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, σε αυτά που είναι υποχρεωτικά να υπάρχουν βάσει του προτύπου και σε αυτά που προαιρετικά μπορούν να περιλαμβάνονται.

Τα υποχρεωτικά είναι τα:

- **MetaTEDS:** αντιστοιχεί ένα σε κάθε TIM. Περιέχει περιγραφή του TIM, τα γενικά χαρακτηριστικά (παράμετροι χρονισμού), τη δομή του και τα κανάλια που περιέχει

Πίνακας 1: Δομή MetaTEDS

Field type	Field name	Description	Data type	# octets
—	—	Length	UInt32	4
0–2	—	Reserved	—	—
3	TEDSID	TEDS Identification Header	UInt8	4
4	UUID	Globally Unique Identifier	UUID	10
5–9	—	Reserved	—	—
Timing-related information				
10	OholdOff	Operational time-out	Float32	4
11	SHoldOff	Slow-access time-out	Float32	4
12	TestTime	Self-Test Time	Float32	4
Number of implemented TransducerChannels				
13	MaxChan	Number of implemented TransducerChannels	UInt16	2
14	CGroup	ControlGroup information sub-block	—	—
Types 20, and 21 define one ControlGroup.				
20	GrpType	ControlGroup type	UInt8	1
21	MemList	ControlGroup member list	array of UInt16	NTc
15	VGroup	VectorGroup information sub-block	—	—
Types 20 and 21 define one VectorGroup.				
20	GrpType	VectorGroup type	UInt8	1
21	MemList	VectorGroup member list	array of UInt16	NTv
16	GeoLoc	Specialized VectorGroup for geographic location	—	—
Types 24, 20, and 21 define one set of geographic location information.				
24	LocEnum	An enumeration defining how location information is provided	UInt8	1
20	GrpType	VectorGroup type	UInt8	1
21	MemList	VectorGroup member list	array of UInt16	NTv
17	Proxies	TransducerChannel proxy definition sub-block	—	—
Types 22, 23, and 21 define one TransducerChannel proxy.				
22	ChanNum	TransducerChannel number of the TransducerChannel proxy	UInt16	1
23	Organiz	TransducerChannel proxy data-set organization	UInt8	1
21	MemList	TransducerChannel proxy member list	array of UInt16	NTp
18–19	—	Reserved	—	—
25–127	—	Reserved	—	—
128–255	—	Open to manufacturers	—	—
—	—	Checksum	UInt16	2

- **Transducer Channel TEDS:** αντιστοιχεί ένα σε κάθε κανάλι. Περιέχει πληροφορίες σχετικές με τον τύπο του μορφοτροπέα (εκκινητήρας ή αισθητήρας) και σχετικές με τα χαρακτηριστικά του καναλιού όπως εύρος τιμών, χρόνοι απόκρισης/προθέρμανσης και δεδομένα βαθμονόμησης

Πίνακας 2: Δομή Transducer Channel TEDS

Field	Field name	Description	Type	# octets
—	—	TEDS length	UInt32	4
0–2	—	Reserved	—	—
3	TEDSID	TEDS Identification	UInt8	4
4-9	—	Reserved	—	—
TransducerChannel related information				
10	CalKey	Calibration key	UInt8	1
11	ChanType	TransducerChannel type key	UInt8	1
12	PhyUnits	Physical Units	UNITS	11
50	UnitType	Physical Units interpretation enumeration	UInt8	1
51	Radians	The exponent for Radians	UInt8	1
52	SterRad	The exponent for Steradians	UInt8	1
53	Meters	The exponent for Meters	UInt8	1
54	Kilogram	The exponent for Kilograms	UInt8	1
55	Seconds	The exponent for Seconds	UInt8	1
56	Amperes	The exponent for Amperes	UInt8	1
57	Kelvins	The exponent for Kelvins	UInt8	1
58	Moles	The exponent for Moles	UInt8	1
59	Candelas	The exponent for Candelas	UInt8	1
60	UnitsExt	TEDS access code for units extension	UInt8	1
13	LowLimit	Design operational lower range limit	Float32	4
14	HiLimit	Design operational upper range limit	Float32	4
15	OError	Worst-case uncertainty	Float32	4
16	SelfTest	Self-test key	UInt8	1
17	MRange	Multi-range capability	UInt8	1
—	—	Data converter-related information	—	—
18	Sample		—	—
40	DatModel	Data model	UInt8	1
41	ModLenth	Data model length	UInt8	1
42	SigBits	Model significant bits	UInt16	2
19	DataSet			
43	Repeats	Maximum data repetitions	UInt16	2
44	SOrigin	Series origin	Float32	4
45	StepSize	Series increment	Float32	4
46	SUnits	Series units	UNITS	11
47	PreTrigg	Maximum pre-trigger samples	UInt16	2
Timing-related information				
20	UpdateT	TransducerChannel update time (t_u)	Float32	4
21	WSetupT	TransducerChannel write setup time (t_{ws})	Float32	4
22	RSetupT	TransducerChannel read setup time (t_{rs})	Float32	4
23	SPeriod	TransducerChannel sampling period (t_{sp})	Float32	4
24	WarmUpT	TransducerChannel warm-up time	Float32	4
25	RDelayT	TransducerChannel read delay time (t_{ch})	Float32	4
26	TestTime	TransducerChannel self-test time requirement	Float32	4
Time of the sample information				
27	TimeSrc	Source for the time of sample	UInt8	1
28	InPropDI	Incoming propagation delay through the data transport logic	Float32	4
29	OutPropD	Outgoing propagation delay through the data transport logic	Float32	4
30	TSError	Trigger-to-sample delay uncertainty	Float32	4
Attributes				
31	Sampling	Sampling attribute	—	—
48	SampMode	Sampling mode capability	UInt8	1
49	SDefault	Default sampling mode	UInt8	1
32	DataXmit	Data transmission attribute	UInt8	1
33	Buffered	Buffered attribute	UInt8	1
34	EndOfSet	End-of-data-set operation attribute	UInt8	1
35	EdgeRpt	Edge-to-report attribute	UInt8	1
36	ActHalt	Actuator-halt attribute	UInt8	1
Sensitivity				
37	Directon	Sensitivity direction	Float32	4
38	DAngles	Direction angles	Two Float32	8
Options				
39	ESOption	Event sensor options	UInt8	1
61–127	—	Reserved	—	—
128–255	—	Open to manufacturers	—	—
—	—	Checksum	UInt16	2

- **User's Transducer Name TEDS:** περιέχουν ένα όνομα που δίνει ο χρήστης για το συγκεκριμένο μορφοτροπέα, με το οποίο μπορεί να αναγνωρίζεται από το σύστημα
- **Physical TEDS:** χρησιμοποιούνται για την περιγραφή λεπτομερειών του φυσικού μέσου επικοινωνίας το οποίο διασυνδέει το TIM με το NCAP οι οποίες δεν παρέχονται από το πρότυπο

Τα προαιρετικά είναι τα:

- **Calibration TEDS:** αντιστοιχεί ένα σε κάθε κανάλι. Περιέχει όλα τα δεδομένα που είναι απαραίτητα για τη βαθμονόμηση των μετρήσεων αλλά και πληροφορίες για το κανάλι που την χρειάζεται
- **Frequency Response TEDS:** παρέχουν πληροφορίες σχετικές με τη απόκριση συχνότητας του μορφοτροπέα
- **Transfer Function TEDS:** περιγράφουν έναν τρόπο σύνδεσης μίας σειράς από επιμέρους συναρτήσεις μεταφοράς και την αποτύπωση της απόκρισης συχνότητας του μορφοτροπέα σε αλγοριθμική μορφή
- **Geographic Location TEDS:** περιέχουν γεωγραφικές πληροφορίες θέσης του TIM τις οποίες μπορούν να προσθέσουν οι χρήστες ώστε να αναγνωρίζουν την ακριβή τοποθεσία του
- **Units Extension TEDS:** περιέχουν κείμενο και χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις όπου η μετρήσιμη ποσότητα δεν μπορεί να εκφραστεί εξ' ολοκλήρου σε μονάδες SI
- **Manufacturers Defined TEDS:** μπορούν να οριστούν από τους κατασκευαστές και να έχουν όποια μορφή και περιεχόμενα αυτοί επιθυμούν
- **Extension TEDS:** μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μελλοντικές επεκτάσεις είτε από το ίδιο το πρότυπο ή από κατασκευαστές
- **End-user application-specific TEDS:** μπορούν να περιέχουν πληροφορίες που χρειάζονται κάποιες εφαρμογές, όπως την τοποθεσία

που βρίσκεται το TIM ή πληροφορίες για επικοινωνία με κάποιον τεχνικό υπεύθυνο

- **Meta/Channel/Calibration ID TEDS:** περιέχουν κείμενο και παρέχουν τις ίδιες πληροφορίες με τα αντίστοιχά τους αλλά σε μορφή κατανοητή από τον άνθρωπο (και όχι από μηχανή)
- **Command TEDS:** περιέχουν κείμενο και παρέχουν έναν τρόπο στους κατασκευαστές να ορίζουν πρόσθετες εντολές εκτός αυτών που περιλαμβάνονται στο πρότυπο

1.5 Είδη μορφοτροπέων

Το πρότυπο περιγράφει έξι είδη μορφοτροπέων [42] από τα οποία τα τέσσερα είναι είδη αισθητήρων, ένας εκκινητήρας και ένας ανιχνευτής συμβάντος:

- **αισθητήρας (sensor):** μετράει κάποια φυσική παράμετρο, έπειτα από αίτηση, και επιστρέφει ψηφιακά δεδομένα που αντιπροσωπεύουν την παράμετρο αυτή
- **αισθητήρας με ενδιάμεση μνήμη (buffered sensor):** είναι ότι και ο απλός αισθητήρας αλλά μπορεί και αποθηκεύει την τιμή της τελευταίας μέτρησης στην ενδιάμεση μνήμη που διαθέτει
- **αισθητήρας ακολουθίας δεδομένων (data sequence sensor):** δειγματοληπτεί μία ροή από δεδομένα για όσο χρόνο του οριστεί
- **αισθητήρας ακολουθίας δεδομένων με ενδιάμεση μνήμη (buffered data sequence sensor):** είναι ότι και ο απλός αισθητήρας ακολουθίας δεδομένων αλλά με ενδιάμεση μνήμη
- **εκκινητήρας (actuator):** εκτελεί μία φυσική ή εικονική ενέργεια η οποία σχετίζεται με τα δεδομένα που του αποστέλλονται
- **αισθητήρας ανίχνευσης συμβάντος (event sensor):** παράγει ένα σήμα κάθε φορά που ανιληφθεί κάποιο συγκεκριμένο συμβάν

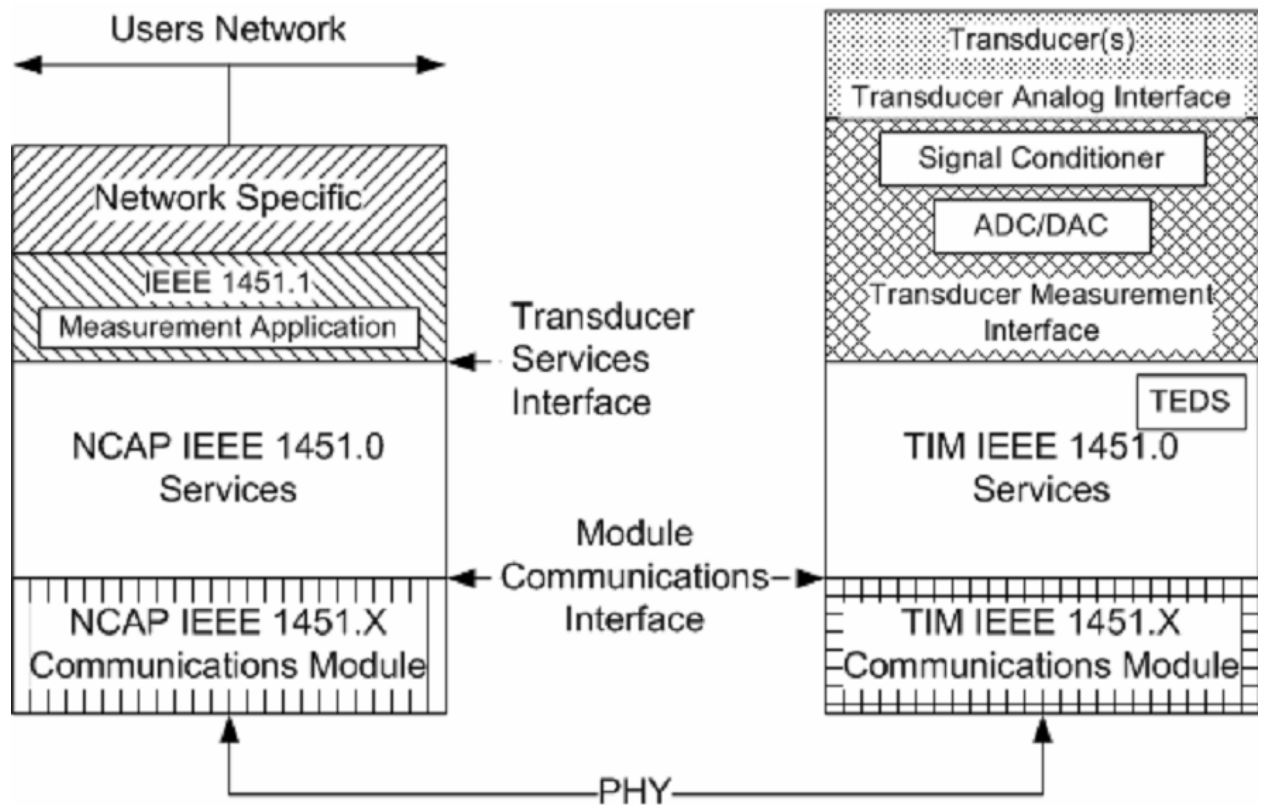
1.6 Αρχιτεκτονική

Όπως έχουμε ήδη αναφέρει, το πρότυπο [24] περιγράφει δύο κύριες οντότητες, τα TIM και τα NCAP. Το TIM ασχολείται κυρίως με την λήψη μετρήσεων (με τη βοήθεια των αισθητήρων που περιέχει) και τη μετατροπή τους σε καθορισμένη ψηφιακή μορφή. Η μορφή των ψηφιακών δεδομένων προσδιορίζεται μέσα στα TEDS, οπότε το NCAP με συνδυασμό τους μπορεί να κατανοήσει την ακριβή μορφή τους. Επίσης κάθε TIM διαθέτει κάποιους εσωτερικούς καταχωρητές οι οποίοι αποθηκεύουν πληροφορίες σχετικές με την κατάστασή του και πιθανά σφάλματα που συμβαίνουν. Το NCAP διαβάζοντάς τους μπορεί να αντιληφθεί την εσωτερική κατάσταση του TIM αλλά και αν κάποια ζητούμενη ενέργεια δεν κατάφερε να εκτελεστεί σωστά.

Γενικά το TIM είτε απαντάει σε ερωτήσεις του NCAP ή το ειδοποιεί σε καταστάσεις ανάγκης. Οι κυριότερες ενέργειες που εκτελεί το TIM είναι οι απαντήσεις σε ερωτήματα ανακάλυψης από το NCAP και σε αιτήματα πρόσβασης σε μορφοτροπίες, η απάντηση ή και εκκίνηση εργασιών διαχείρισης και οι ενέργειες που έχουν σχέση με τη διαχείριση των TEDS.

Το NCAP είναι στην ουσία μία δικτυακή πύλη μεταξύ του δικτύου που ενώνει τα υπόλοιπα στοιχεία του προτύπου (το οποίο καθορίζεται πλήρως από το πρότυπο) και των εξωτερικών δικτύων διασύνδεσης τα οποία μπορεί να είναι είτε ανοιχτά ή κάποιου συγκεκριμένου κατασκευαστή.

Οι κυριότερες ενέργειες που εκτελεί το NCAP είναι η έναρξη ενεργειών ανακάλυψης των διαθέσιμων TIM, η αιτήσεις προς τα TIM για πρόσβαση στους μορφοτροπίες τους, η διαχείριση τους και τέλος η λήψη των TEDS και πιθανόν η προσωρινή αποθήκευσή τους εσωτερικά τους.



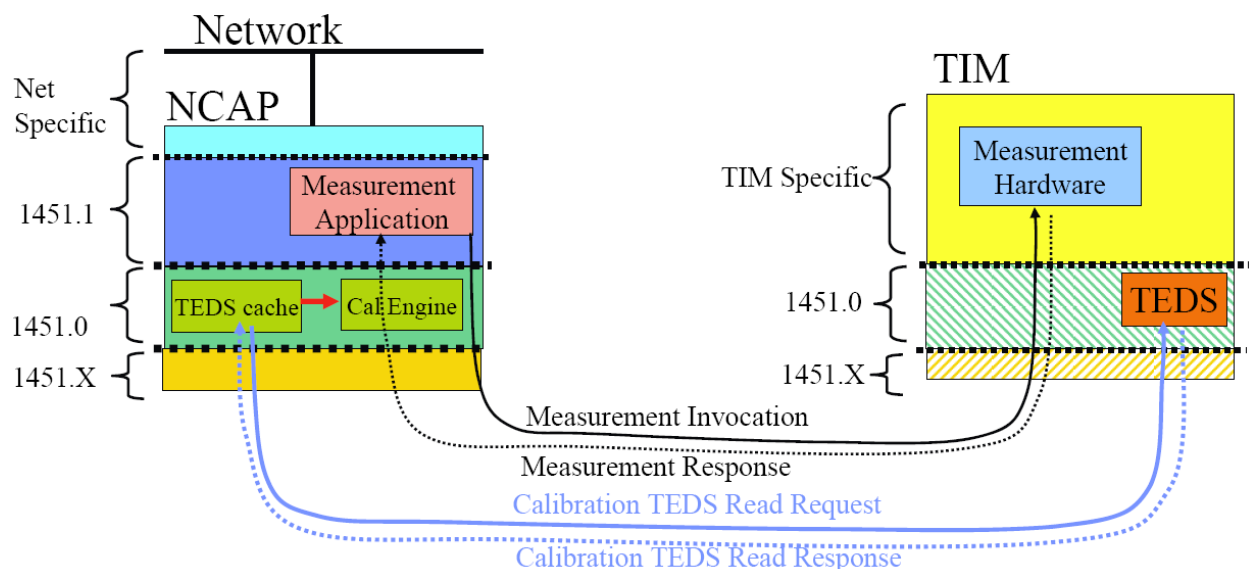
Σχήμα 8: Δομή IEEE 1451 ευφυούς αισθητήρα

Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 8, ανάμεσα στο επίπεδο του IEEE 1451.0 και οποιουδήποτε IEEE 1451.X επιπέδου, βρίσκεται η Διεπαφή Επικοινωνίας Αρθρωμάτων (Module Communications Interface). Αυτή η διεπαφή είναι κοινή μεταξύ TIM και NCAP. Οι κυριότεροι στόχοι της είναι οι παρακάτω:

- Να διευκολύνει την προσθήκη νέου φυσικού επιπέδου επικοινωνίας μεταξύ του TIM και του NCAP
- Να παρέχει ένα επίπεδο αφαίρεσης στην επικοινωνία TIM και NCAP
- Να ορίσει μία Διεπαφή Προγραμματισμού Εφαρμογής (Application Programming Interface – API) ανεξάρτητο από γλώσσα προγραμματισμού και συσκευές
- Να ορίσει μία προκαθορισμένη μορφή επικοινωνίας, την οποία εφόσον ακολουθήσουν οι κατασκευαστές θα εγγυάται τη απρόσκοπτη λειτουργία και επικοινωνία μεταξύ TIM και NCAP

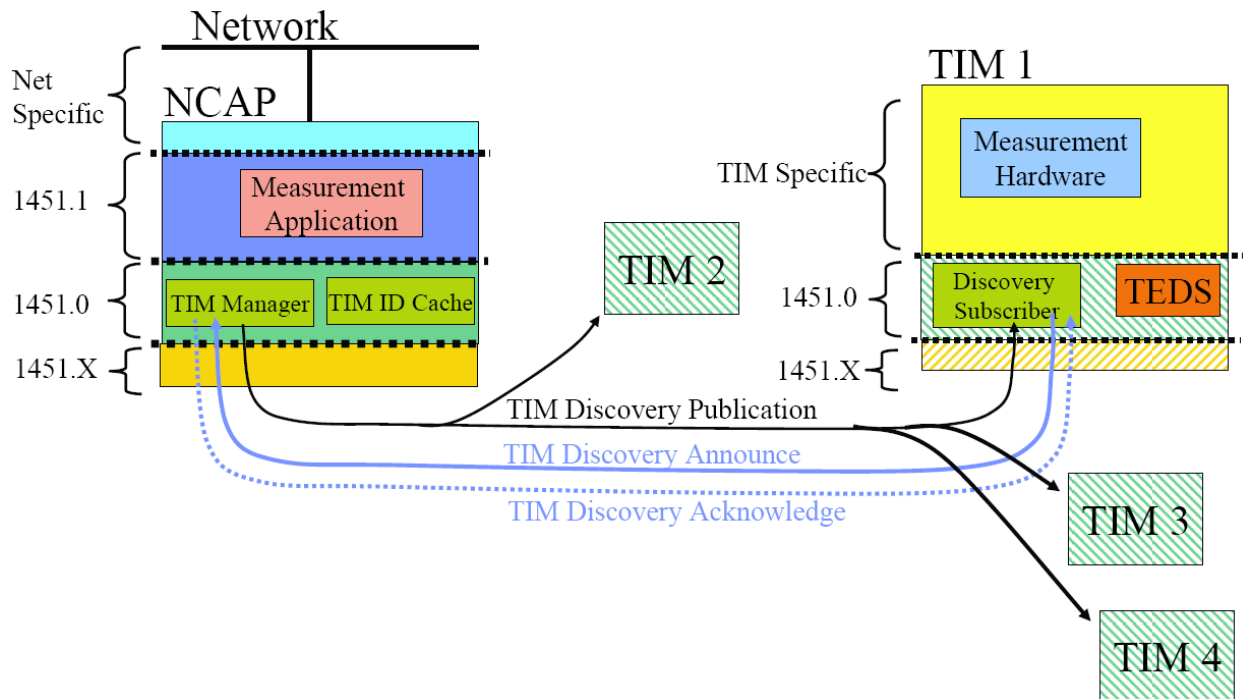
Οι τρόποι επικοινωνίας [11] που υποστηρίζονται από τη συγκεκριμένη διεπαφή είναι:

- Πελάτη-Εξυπηρετητή:** κατά την οποία υποστηρίζεται μονόδρομη αλλά και αμφίδρομη ροή πληροφοριών με σύγχρονο ή ασύγχρονο τρόπο. Στο Σχήμα 9 παρατηρούμε τον τρόπο με τον οποίο μπορεί να πραγματοποιηθεί μία μέτρηση από το NCAP. Αρχικά το NCAP στέλνει στο TIM μία αίτηση διαβάσματος των TEDS βαθμονόμησης. Εφόσον το TIM τα στείλει, αποθηκεύονται στην προσωρινή μνήμη η οποία βρίσκεται μέσα στο NCAP. Έπειτα το NCAP στέλνει στο TIM μία αίτηση μέτρησης. Το TIM επιστρέφει σε ψηφιακή μορφή την τιμή της μέτρησης στο NCAP, το οποίο με τη χρήση των TEDS βαθμονόμησης, την επεξεργάζεται και στέλνει μέσω δικτύου το αποτέλεσμα.



Σχήμα 9: NCAP-TIM (Πελάτης-Εξυπηρετητής)

- Δημοσιοποίηση-Εγγραφή:** κατά την οποία μπορεί να υπάρξει επικοινωνία είτε ένα προς ένα ή ένα προς πολλά. Υπάρχει μονής κατεύθυνσης ροή πληροφορίας οπότε δεν υπάρχει γνωστοποίηση ως προς την επιτυχή παραλαβή κάποιας πληροφορίας. Όπως παρατηρούμε στο Σχήμα 10, αρχικά το NCAP προσπαθεί να ανακαλύψει όλα τα TIM τα οποία είναι συνδεδεμένα πάνω του. Κάθε διαθέσιμο TIM απαντάει στο αίτημα ανακάλυψης του NCAP και έπειτα το NCAP στέλνει μία επιβεβαίωση σε κάθε ένα από αυτά.



Σχήμα 10: NCAP-TIM (Δημοσιοποίηση-Εγγραφή)

- **Πλήρως συμμετρική επικοινωνία:** κατά την οποία κάθε NCAP και κάθε TIM μπορεί να είναι πελάτης, εξυπηρετητής, εκδότης και συνδρομητής ταυτόχρονα.

1.7 Τρόποι πρόσβασης

Ένα από τα σημαντικότερα κομμάτια τα οποία ενδιαφέρουν το χρήστη (αν όχι το μοναδικό) είναι οι τρόποι πρόσβασης στην υποδομή [43], οι οποίοι είναι οι παρακάτω:

- **IEEE 1451.1 πρότυπο:** περιγράφει μία ιεραρχία κλάσεων με τη χρήση των οποίων μπορούμε να προσπελάσουμε διαφόρων τύπων δεδομένα του συστήματος [44]
- **HTTP διεπαφή:** περιγράφεται στο IEEE 1451.0 [27] και αποτελείται από τέσσερις βασικές κατηγορίες διεπαφών:
 - **ανακάλυψης (discovery):** παρέχει πληροφορίες σχετικές με τα διαθέσιμα TIM και τα κανάλια μορφοτροπέων που περιέχουν

- **πρόσβασης μορφοτροπέα (transducer access):** παρέχει πρόσβαση στους εκκινητήρες και τους αισθητήρες
- **διαχειριστή μορφοτροπέα (transducer manager):** παρέχει μεγαλύτερο έλεγχο πάνω στο TIM, όπως η αποστολή μη προκαθορισμένων εντολών
- **διαχειριστή TEDS:** παρέχει πρόσβαση στα TEDS, υποστηρίζει διάβασμα, γράψιμο αλλά και διαχείρισης της κρυφής μνήμης

Επίσης ορίζεται άλλη μία διεπαφή η οποία ονομάζεται αναστροφή εφαρμογής (App Callback) και χρησιμοποιείται από εφαρμογές που χρειάζονται προηγμένα χαρακτηριστικά ειδοποίησης και ασύγχρονης επικοινωνίας με το σύστημα.

Στο πρότυπο περιγράφονται πλήρως οι συγκεκριμένες διεπαφές και επίσης παρέχονται οι δομές των αποκρίσεων οι οποίες είναι κωδικοποιημένες σε XML γλώσσα.

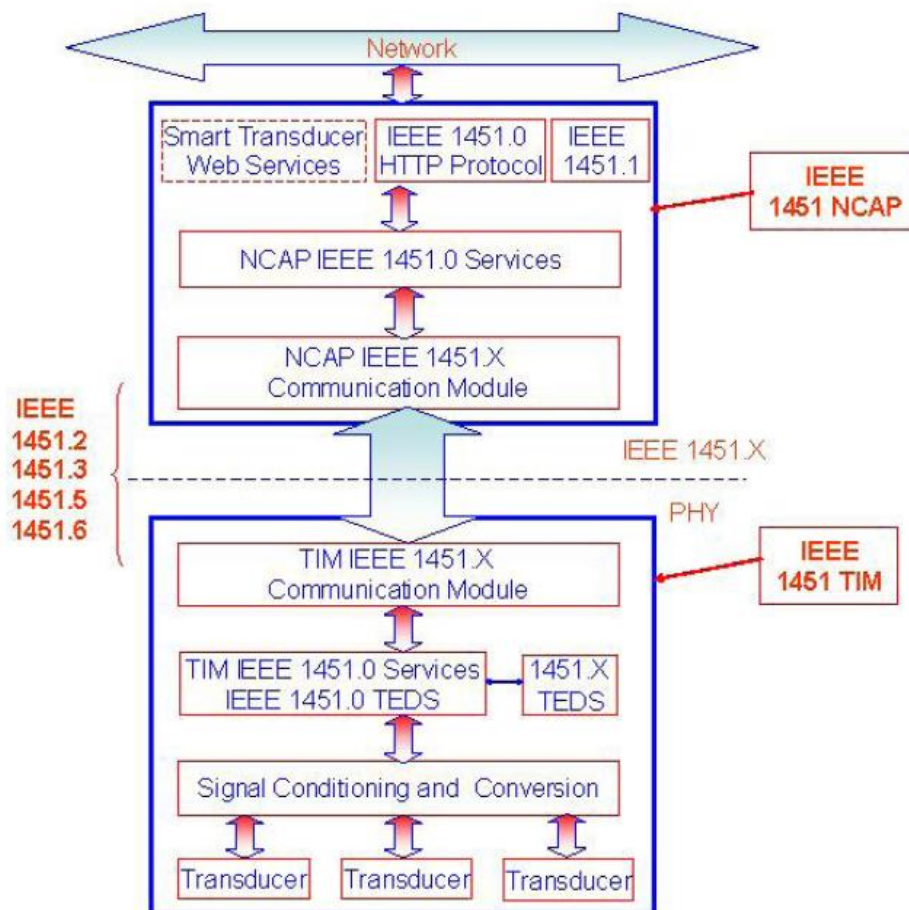
Πίνακας 3: IEEE 1451 HTTP API

API type	Name	Path
Discovery API	TIMDiscovery	1451/Discovery/TIMDiscovery
	TransducerDiscovery	1451/Discovery/TransducerDiscovery
Transducer Access API	ReadData	1451/TransducerAccess/ReadData
	StartReadData	1451/TransducerAccess/StartReadData
	MeasurementUpdate	1451/TransducerAccess/MeasurementUpdate
	WriteData	1451/TransducerAccess/WriteData
	StartWriteData	1451/TransducerAccess/StartWriteData
TEDS Manager API	ReadTeds	1451/TEDSManager/ReadTeds
	ReadRawTeds	1451/TEDSManager/ReadRawTeds
	WriteTeds	1451/TEDSManager/WriteTeds
	WriteRawTeds	1451/TEDSManager/WriteRawTeds
	UpdateTedsCache	1451/TEDSManager/UpdateTedsCache
Transducer Manager API	SendCommand	1451/TransducerManager/SendCommand
	StartCommand	1451/TransducerManager/StartCommand
	CommandComplete	1451/TransducerManager/CommandComplete
	Trigger	1451/TransducerManager/Trigger
	StartTrigger	1451/TransducerManager/StartTrigger

- **υπηρεσίες ιστού:** σε αντίθεση με τους δύο προηγούμενους τρόπους, ο συγκεκριμένος δεν αναφέρεται πουθενά στο πρότυπο. Η κυριότερη και επικρατέστερη υλοποίηση ονομάζεται Υπηρεσίες Ιστού Ευφυών Μορφοτροπέων (Smart Transducer Web Services – STWS) [45], [46], [47] και έχει αναπτυχθεί από το NIST. Βασίζεται πάνω σε υπηρεσιοστρεφή

αρχιτεκτονική σύμφωνα με την οποία με τη χρήση της Γλώσσας Περιγραφής Υπηρεσιών Ιστού (Web Services Description Language – WSDL) περιγράφονται τα μηνύματα, οι παράμετροι, η λειτουργία και τα αποτελέσματα κάθε υπηρεσίας ιστού. Με τη χρήση αυτών των υπηρεσιών μπορούμε να έχουμε προκαθορισμένο τρόπο πρόσβασης, ανεξάρτητο από το λειτουργικό σύστημα ή την γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιούμε.

Ένας ενδιαφέρον συνδυασμός είναι αυτός του IEEE 1451 με το OGC-SWE [48]. Καθώς το πρώτο περιγράφει κυρίως τον τρόπο λήψης δεδομένων από τους αισθητήρες και την αποστολή τους στο επίπεδο δικτύου ενώ το δεύτερο παίρνει τα δεδομένα που προέρχονται από τους αισθητήρες και τα μεταφέρει στις εφαρμογές μέσω του παγκόσμιου ιστού.



Σχήμα 11: Τρόποι πρόσβασης στο IEEE 1451

1.8 Ενδιαφέροντα στοιχεία

1.8.1 Μονάδες μέτρησης

Οι μετρήσεις από τους αισθητήρες εκφράζονται σε μονάδες μέτρησης που ανήκουν στο SI. Χρησιμοποιώντας τις βασικές μονάδες, μπορούμε να εκφράσουμε όποια άλλη χρειάζεται, καθώς θα ισούται με κάποιον τύπο ο οποίος θα αποτελείται αποκλειστικά από βασικές μονάδες. Αυτό που χρειάζεται είναι να γνωρίζουμε τον τύπο αυτό. Σύμφωνα με το πρότυπο, θα πρέπει να ορίσουμε τους εκθέτες κάθε βασικής μονάδας εφόσον τους διπλασιάσουμε και τους προσθέσουμε 128, σύμφωνα με τον Πίνακα 4.

Πίνακας 4: Αναπαράσταση μονάδων μέτρησης

Field	Description	Data type	Number of octets
1	Physical Units interpretation—see Table 3	UInt8	1
2	(2 * <exponent of radians>) + 128	UInt8	1
3	(2 * <exponent of steradians>) + 128	UInt8	1
4	(2 * <exponent of meters>) + 128	UInt8	1
5	(2 * <exponent of kilograms>) + 128	UInt8	1
6	(2 * <exponent of seconds>) + 128	UInt8	1
7	(2 * <exponent of amperes>) + 128	UInt8	1
8	(2 * <exponent of kelvins>) + 128	UInt8	1
9	(2 * <exponent of moles>) + 128	UInt8	1
10	(2 * <exponent of candelas>) + 128	UInt8	1

Για παράδειγμα για να απεικονίσουμε τάση θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε $\text{Volts}=\text{m}^2\text{kg}/(\text{sec}^3\text{A})$, οπότε θα έχουμε:

Πίνακας 5: Παράδειγμα απεικόνισης μονάδων (Volts)

	rad	sr	m	kg	sec	A	K	mol	cd
Εκθέτης	0	0	2	1	-3	-1	0	0	0
Πεδίο	128	128	132	130	122	126	128	128	128

1.8.2 Εντολές/Απαντήσεις

Το πρότυπο περιγράφει δύο τύπους μηνυμάτων τα οποία ανταλλάσσονται μεταξύ του NCAP και του TIM, τις εντολές και τις απαντήσεις. Οι εντολές περιλαμβάνουν το κανάλι μορφοτροπία στο οποίο απευθύνεται (αν είναι ίσο

με μηδέν σημαίνει ότι απευθύνεται σε όλο το TIM), την κλάση, την λειτουργία της και το μήκος των επιπλέον bytes που είναι πιθανόν να περιέχει. Η κλάση αντιπροσωπεύει τον προορισμό της εντολής (κανάλι μορφοτροπέα ή TIM) αλλά και την κατάστασή του (λειτουργία, αναμονή).

Η απάντηση περιέχει ένα πεδίο το οποίο δείχνει αν η εντολή της οποίας είναι απάντηση εκτελέστηκε επιτυχώς ή όχι και το μήκος των επιπλέον bytes που είναι πιθανόν να περιέχει.

Πίνακας 6: Δομή εντολής IEEE 1451

Byte Number	Description
1	Destination Transducer Channel Number (Most significant byte)
2	Destination Transducer Channel Number (Least significant byte)
3	Command Class
4	Command Function
5	Length (Most significant byte)
6	Length (Least significant byte)
7-N	Command dependent bytes

Πίνακας 7: Δομή απάντησης IEEE 1451

Byte Number	Description
1	Success/Fail Flag
2	Length (Most significant byte)
3	Length (Least significant byte)
4-N	Reply dependent bytes

1.9 Πλεονεκτήματα

Τα κυριότερα πλεονεκτήματα του IEEE 1451 είναι τα παρακάτω:

- είναι ανοιχτό πρότυπο το οποίο κάθε κατασκευαστής μπορεί να ακολουθήσει, κάτι το οποίο μειώνει το κόστος
- βοηθάει την ανάπτυξη διεπαφών ανεξάρτητων από το δίκτυο και τον κατασκευαστή

- περιγράφει και υποστηρίζει ένα γενικό και ολοκληρωμένο μοντέλο για δεδομένα, έλεγχο, χρονισμό, βαθμονόμηση, διαμόρφωση και ρύθμιση μορφοτροπέων
- υποστηρίζει ένα μεγάλο εύρος αισθητήρων και εκκινήτηρων, οι οποίοι μπορούν να προσπελαστούν με κοινό τρόπο
- καθορίζει διεπαφές μεταξύ αισθητήρων/εκκινήτηρων και οργάνων/ μικροεπεξεργαστών/δικτύων σε φυσικό αλλά και σε λειτουργικό επίπεδο
- υποστηρίζει άμεση βυσμάτωση και λειτουργία των επιμέρους οντοτήτων του συστήματος
- καθορίζει αναλογικές/ψηφιακές και ενσύρματες/ασύρματες διεπαφές για τη διασύνδεση μορφοτροπέων
- περιγράφει αυτοπεριγραφόμενους αισθητήρες με τη βοήθεια των TEDS
- επιτρέπει στους αισθητήρες να εγκατασταθούν/αναβαθμιστούν/αντικατασταθούν/ μεταφερθούν με την ελάχιστη δυνατή προσπάθεια και αλλαγές στο υπάρχον σύστημα
- εξαλείφει τη χειροκίνητη ρύθμιση και εισαγωγή δεδομένων και παραμέτρων στο σύστημα, κάτι το οποίο είναι χρονοβόρο, πολλές φορές δύστροπο και επιρρεπές σε λάθη
- είναι ευέλικτο και εύκολα επεκτάσιμο με νέες λειτουργίες και δυνατότητες
- οι τιμές των μετρήσεων από τους αισθητήρες επιστρέφονται σε μονάδες στο σύστημα μέτρησης SI

1.10 Μειονεκτήματα

Τα κυριότερα μειονεκτήματα του IEEE 1451 είναι τα παρακάτω:

- είναι αρκετά πολύπλοκο, αλλά ένα τόσο ευρύ και περιεκτικό πρότυπο δεν θα μπορούσε να μην είναι. Η πολυπλοκότητα δεν έγκειται μόνο στο ίδιο το πρότυπο αλλά και στις επιμέρους οντότητες που περιγράφει

- για κάθε μορφοτροπέα θα πρέπει να παράγονται και τα ανάλογα TEDS, κάτι το οποίο δημιουργεί την ανάγκη για ανάπτυξη κωδικοποιητών για την εύκολη δημιουργία τους
- υπάρχουν ελάχιστα συστήματα συμβατά με το πρότυπο τα οποία να λειτουργούν αυτή τη στιγμή, οπότε δεν είναι ακόμα σίγουρο ότι ο γενικός σχεδιασμός του είναι σωστός και χωρίς προβλήματα
- δεν έχει υιοθετηθεί ακόμα από μεγάλο αριθμό κατασκευαστών
- η διεπαφή μεταξύ TIM και NCAP που περιγράφεται στο IEEE 1451.2 (TII) χρησιμοποιείται συγκεκριμένα στο συγκεκριμένο πρότυπο ενώ θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί κάποια ήδη υπάρχουσα (π.χ. RS232) η οποία δεν υπολείπεται σε κάτι [34]

1.11 Εφαρμογές

Παρόλο που η ανάπτυξη των οντοτήτων του πρωτοκόλλου σε υλικό είναι μία δύσκολη υπόθεση, έχουν γίνει κάποιες προσπάθειες για ανάπτυξη TIM [32] [36] και NCAP [33] αλλά και ολοκληρωμένες λύσεις [35] με τη χρήση υπαρχόντων δικτύων (όπως είναι το CAN). Επίσης έχουν γίνει προσπάθειες για την ανάπτυξη κωδικοποιητών για TEDS [37] [38] των οποίων η δημιουργία είναι μεγάλος φόρτος, αφού χρειάζονται για κάθε μορφοτροπέα συμβατό με το πρότυπο.

Παρόλα τα μειονεκτήματά του, είναι το επικρατέστερο πρότυπο του είδους του και για αυτό το λόγο έχει ήδη χρησιμοποιηθεί ως βάση σε διάφορες εφαρμογές.

Το Κέντρο Διαστήματος Κένεντυ της Εθνικής Υπηρεσίας Αεροναυτικής και Διαστήματος (National Aeronautics and Space Administration – NASA) των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής έχει αναπτύξει μία χαμηλών απαιτήσεων έκδοση του προτύπου [28] για μετρήσεις πίεσης και πολύ χαμηλών θερμοκρασιών.

Επίσης έχει αναπτυχθεί ένα σύστημα παρακολούθησης της περιβαλλοντικής ρύπανσης του αέρα [31] το οποίο παίρνει μετρήσεις συγκεντρώσεων

επικίνδυνων αερίων, όπως τα CO, NO₂, SO₂ και O₃. Το σύστημα έχει δυνατότητα να απεικονίζει αυτές τις μετρήσεις γραφικά αλλά και να ειδοποιεί σε περίπτωση που κάποια από αυτές ξεπεράσει τα όρια ασφαλείας.

Άλλος ένας τομέας εφαρμογής είναι αυτός της υγείας [40] [41] όπου έχουν αναπτυχθεί εφαρμογές για την παρακολούθηση διαφόρων στοιχείων των ασθενών, καθώς και μεταφορά και αποθήκευσή τους. Επίσης κάποια από αυτά επιτρέπουν την έγκαιρη ειδοποίηση του νοσηλευτικού προσωπικού σε περιπτώσεις ανάγκης.

Άλλη μία εφαρμογή του προτύπου είναι στα δίκτυα των αυτοκινήτων [39] όπου υπάρχει η ανάγκη για πολλές μετρήσεις οι οποίες συμβάλλουν στην ασφάλεια των επιβατών.

Για να έχει μεγαλύτερη διάδοση και αποδοχή, είναι ανάγκη να υπάρξουν εργαλεία τα οποία θα βοηθήσουν την ανάπτυξη και τον έλεγχο ορθής λειτουργίας των επιμέρους οντοτήτων που θα επιλέξει ο καθένας να υλοποιήσει. Προς αυτή την κατεύθυνση έχουν αναπτυχθεί εικονικά όργανα [30] τα οποία μας βοηθάνε σε δοκιμές σωστής λειτουργίας αλλά και απόδοσης τόσο των TIM όσο και των NCAP.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] F. Randy, "Understanding Smart Sensors", 2nd edition, Artech House, 2000
- [2] J. Mark and P. Hufnagel, The IEEE 1451.4 Standard for Smart Transducers, IEEE 1451.4 Standard Working Group, 2004
- [3] J.L. Hill, System Architecture for Wireless Sensor Networks, master's thesis, Dept. Computer Science, University of California, Berkeley, 2003
- [4] J. Wiczer, Smart Interfaces for Sensors, Sensor Synergy, Proceeding Sensor Expo 2001, Chicago, Jun. 2001
- [5] R.N. Johnson, Proposed IEEE Standard P1451.0, Telemonitor, Inc., Columbia, Maryland, Jun. 2003
- [6] Lee, K., "IEEE 1451: A Standard in Support of Smart Transducer Networking", IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Baltimore, MD USA, May 1-4, 2000
- [7] V. Tsetsos, N. Silvestros and S. Hadjiefthymiades, Collaborative Sensing over Smart Sensors, 2nd Student Workshop on Wireless Sensor Networks at Athens, Greece, Oct. 2009
- [8] An Overview of IEEE 1451.4 Transducer Electronic Data Sheets (TEDS), National Instruments
- [9] NIST IEEE-P1451 Draft Standard Home Page; <http://ieee1451.nist.gov/> [Προσπελάστηκε 31/8/2010]
- [10] Darold Wobschall, IEEE 1451 -- A UNIVERSAL TRANSDUCER PROTOCOL STANDARD
- [11] Jeff Burch, Proposed IEEE 1451.0 to P1451.5 Interface, Agilent Technologies

- [12] A. Mainwaring, J. Polastre, R. Szewczyk, D. Culler and J. Anderson, Wireless sensor networks for habitat monitoring, ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications (WSNA'02), Atlanta, Sep. 2002
- [13] L. Schwiebert, S.K.S. Gupta and J. Weinmann, Research challenges in wireless networks of biomedical sensors, Wayne State University, Arizona State University, USA 2001
- [14] M. Bahrepour, N. Meratnia and P. Havinga, Automatic Fire Detection: a survey from wireless sensor network perspective, Pervasive Systems Group, University of Twente
- [15] L. Yu, N. Wang and X. Meng, Real-time Forest Fire Detection with Wireless Sensor Networks, 2005
- [16] ALERT Systems Organization HomePage; <http://www.alertsystems.org/> [Προσπελάστηκε 3/9/2010]
- [17] The ZebraNet Wildlife Tracker; <http://www.princeton.edu/~mrm/zebranet.html> [Προσπελάστηκε 3/9/2010]
- [18] P. Sikka, P. Corke and L. Overs, Wireless sensor devices for animal tracking and control, CSIRO ICT Centre, 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks (LCN'04), Australia, 2004
- [19] N. Shaylor, D.N. Simon and W.R. Bush, A Java Virtual Machine Architecture for Very Small Devices, Sun Microsystems Research Laboratories, Mountain View, USA
- [20] J. Iqbal and F. Moughal, Wireless Sensor Network Setup, master's thesis, Dept. Computer Systems Engineering, Halmstad University, Jun. 2010
- [21] K. Aberer, M. Hauswirth and A. Salehi, Zero-programming Sensor Network Deployment, Ecole Polytechnique Federale de Lausanne (EPFL), Lausanne, Switzerland, Digital Enterprise Research Institute (DERI), National University of Ireland, Galway
- [22] OGC (Open Geospatial Consortium) Website; <http://www.opengeospatial.org/> [Προσπελάστηκε 10/9/2010]
- [23] H. Jin and W. Jiang, "Handbook of Research on Developments and Trends in Wireless Sensor Networks: From Principle to Practice", Hershey, New York
- [24] J. Wiczer, A Unifying Standard for Interfacing Transducers to Networks – IEEE-1451.0, Sensor Synergy, Inc., Presented at ISA Expo 2005: Automation + Control
- [25] Java and USB | Java.net; <http://today.java.net/article/2006/07/05/java-and-usb> [Προσπελάστηκε 17/9/2010]
- [26] jUSB - Java USB API for Windows; <http://www.steelbrothers.ch/jusb/> [Προσπελάστηκε 17/9/2010]
- [27] IEEE Std 1451.0, IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators—Common Functions, Communication Protocols, and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats, Sep. 2007
- [28] R.L. Oostdyk, C.T. Mata and J.M. Perotti, A Kennedy Space Center Implementation of IEEE 1451 Networked Smart Sensors and Lessons Learned, Kennedy Space Center, NASA
- [29] K. Lee, A Synopsis of the IEEE P1451- Standards for Smart Transducer Communication, National Institute of Standards and Technology
- [30] H.M.G. Ramos and O. Postolache, A Virtual Instrument to Test Smart Transducer Interface Modules (STIMs), IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 53, no. 4, Aug. 2004, pp. 1232-1239
- [31] N. Kularatna, An Environmental Air Pollution Monitoring System Based on the IEEE 1451 Standard for Low Cost Requirements, IEEE Sensors Journal, vol. 8, no. 4, Apr. 2008, pp. 415-422
- [32] T. Cummins, An IEEE 1451 Standard Transducer Interface Chip with 12-b ADC, Two 12-b DAC's, 10-kB Flash EEPROM, and 8-b Microcontroller, IEEE Journal of Solid-State Circuits, vol. 33, no. 12, Dec. 1998
- [33] D. Wobschall and Esensors Inc., An Implementation of IEEE 1451 NCAP for Internet Access of Serial Port-Based Sensors, Simd02 - Sensors for Industry Conference, Houston, Texas, USA, 19-21 Nov. 2002
- [34] V. Kochan, K. Lee, R. Kochan and A. Sachenko, Approach to Improvement the Network Capable Application Processor Compatible with IEEE 1451 Standard, IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, Lviv, Ukraine, 8-10 Sep. 2003
- [35] L. Camara, O. Ruiz and J. Samitier, Complete IEEE-1451 Node, STIM and NCAP, Implemented for a CAN Network, Department of Electronics, University of Barcelona

- [36] L. Camara, O. Ruiz, A. Herms, J. Samitier and J. Bosch, Automatic generation of intelligent instruments for IEEE 1451, Department of Electronics, University of Barcelona
- [37] W. Liu, Design of TEDS Writer, Reader and Testing System for Transducer Interface Modules based on the IEEE 1451 Standard, Ph.D. thesis, Department of Electrical Engineering, State University of New York, Buffalo, 2006
- [38] D. Wobschall, W. Liu and W.S. Poh, An IEEE 1451 TEDS Compiler and Serial Network Compliance Tester, Esensors Inc. and University at Buffalo, Sensor Standards Harmonization -- Sensors Expo Chicago, Jun. 2006
- [39] K.C. Lee, M.H. Kim, S. Lee and H.H. Lee, IEEE 1451 based Smart Module for In-Vehicle Networking Systems of Intelligent Vehicles
- [40] K. Wooshik, L. Suyoung, A. Jinsoo, N. Jiyoung and K. Namhyun, Integration of IEEE 1451 and HL7 Exchanging Information for Patients' Sensor Data, Korea, 2009
- [41] K. Jaehwan, H. Jeongil and K. Wooshick, A Study on the Implementation of IEEE1451 for e-Health, Korea, IFMBE Proceedings Vol. 14/6
- [42] IEEE Std 1451.2, IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators-Transducer to Microprocessor Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats, Sep. 1997
- [43] E.Y. Song and K.B. Lee, Sensor Network based on IEEE 1451.0 and IEEE p1451.2-RS232, National Institute of Standards and Technology, I2MTC 2008 - IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Victoria, Vancouver Island, Canada, May 12-15, 2008
- [44] IEEE 1451.1-1999, IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators—Network Capable Application Processor (NCAP) Information Model, Jun. 1999
- [45] E.Y. Song and K.B. Lee, STWS: A Unified Web Service for IEEE 1451 Smart Transducers, IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 57, no. 8, Aug. 2008, pp. 1749-1756
- [46] E. Song and K. Lee, Smart Transducer Web Services Based on the IEEE 1451.0 Standard, Instrumentation and Measurement Technology Conference - IMTC 2007 Warsaw, Poland, May 1-3, 2007
- [47] E. Song and K. Lee, An Implementation of Smart Transducer Web Services for IEEE 1451-based Sensor Systems, SAS 2007 - IEEE Sensors and Applications Symposium San Diego, California, USA, Feb. 6-8, 2007
- [48] E. Song and K. Lee, Integration of IEEE 1451 Smart Transducers and OGC-SWE Using STWS, SAS 2009 – IEEE Sensors Applications Symposium New Orleans, LA, USA, Feb. 17-19, 2009
- [49] Sun SPOT Manager; <http://www.sunspotworld.com/SPOTManager/> [Προσπέλαστηκε 29/9/2010]
- [50] How to install The Java Communications API in a Windows Environment; <http://circuitnegma.wordpress.com/2007/02/07/how-to-install-the-java-communications-api-in-a-windows-environment/> [Προσπέλαστηκε 29/9/2010]
- [51] Java USB API for Windows - User Installation; <http://www.steelbrothers.ch/jusb/api/usb/windows/related-docs/chp7-enduserinstallation.pdf> [Προσπέλαστηκε 29/9/2010]
- [52] Apache Tomcat; <http://tomcat.apache.org/> [Προσπέλαστηκε 29/9/2010]
- [53] Sensor Web Enablement; http://geostandards.geonovum.nl/index.php/5_Sensor_Web_Enablement [Προσπέλαστηκε 29/9/2010]
- [54] S. Jirka, A. Bröring and C. Stasch, Discovery Mechanisms for the Sensor Web, Westfälische Wilhelms-Universität, Institute for Geoinformatics, Münster, Germany, Sensors 2009, Apr. 16
- [55] P. Hu, R. Robinson and J. Indulska, Sensor Standards: Overview and Experiences, University of Queensland, Australia
- [56] M. Botts, G. Percivall, C. Reed and J. Davidson, OGC Sensor Web Enablement: Overview and High Level Architecture. 2008
- [57] TinyOS Home Page; <http://www.tinyos.net/> [Προσπέλαστηκε 3/10/2010]
- [58] The Contiki Operating System; <http://www.sics.se/contiki/> [Προσπέλαστηκε 3/10/2010]
- [59] SunSPOTWorld; <http://www.sunspotworld.com/> [Προσπέλαστηκε 3/10/2010]