

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ**  
**ΤΜΗΜΑ**  
**ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.**  
**(πρώην ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΚΤΥΩΝ)**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Αυτοματοποιημένος έλεγχος και πιστοποίηση συσκευών  
Bluetooth χαμηλής κατανάλωσης**

**Χαρδαλιάς Γεώργιος**

Εποπτεύων καθηγητής : Παρασκευάς Κίτσος

**Αντίρριο 30/9/2016**



Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή


Αντίρριο, \_\_\_\_\_ Σεπτέμβρης 2016

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ
2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ
3. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

#### ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ

1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ
2. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ ΑΣΥΡΜΑΤΟ ΔΙΚΤΥΟ
3. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ
4. ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ
5. UART
6. SHORT-RANGE WIRELESS – ΑΣΥΡΜΑΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΜΙΚΡΗΣ ΕΜΒΕΛΕΙΑΣ
  - I. ΦΩΝΗ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ
  7. BLUETOOTH
    - I. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ BLUETOOTH
    - II. ΤΟ ΟΝΟΜΑ BLUETOOTH ΚΑΙ Η ΙΣΤΟΡΙΑ
    - III. ΑΝΟΙΚΤΗ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ – SIG
      8. Η ΕΙΔΙΚΗ ΟΜΑΔΑ ΕΝΔΙΑΦΕΡΟΝΤΟΣ BLUETOOTH
        - I. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ S1G
        - II. ΠΡΟΟΔΟΣ SIG

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

#### BLUETOOTH LOW ENERGY

1. NETWORK TOPOLOGY –ΤΟΠΟΛΟΓΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ
2. DATA THROUGHPUT
3. GENERAL ADVERTISING PACKETS
4. PHYSICAL LAYER
5. LINK LAYER (ΣΤΡΩΜΑ ΣΥΖΕΞΗΣ)
6. L2CAP
7. ATTRIBUTE PROTOCOL (ATT) - ATT OPERATION
8. SECURITY MANAGER (SM)
9. GAPP
10. GATT

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ PROFILE TUNING SUITE;
2. ΒΑΣΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ PTS
3. ΠΩΣ ΔΟΥΛΕΥΕΙ?
4. ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
5. DIALOG BASED FRAMEWORK

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>**

1. PYTHON SCRIPT CODE FOR PTS AUTOMATION

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>**

1. ΒΗΜΑΤΑ – ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ TEST SUITE

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>**

1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

## **ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Ευχαριστώ την εταιρία Dialog semiconductor s.a η οποία με βοήθησε και με ώθησε να εντρυφήσω στην τεχνολογία των Bluetooth low energy καθώς επίσης και για την παραχώρηση του πηγαίου κώδικα του SDK monitor που είναι απαραίτητος για την διεξαγωγή των τεστ.

Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω την ομάδα του QA(Quality Assurance) της Dialog Semiconductor Πατρών (κ. Ιωάννη Παπανίκο , κ. Κωσταντίνο Θεοδωρόπουλο & τον κ. Κωσταντίνο Τσέλιο) για την αμέριστη υποστηριξή τους την συνεργασία και την εμπιστοσύνη την οποία μου έδειξαν καθ' όλη την διάρκεια της συνεργασίας μας.

Επίσης, ευχαριστώ τον καθηγητή κ. Παρασκευά Κίτσο για την βοήθεια που μου προσέφερε κατά την επίβλεψη της παρούσας εργασίας και τις πολύτιμες συμβουλές του κατά την διάρκεια αυτής.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αυτή η εργασία έχει ως σκοπό την δημιουργία ενός SCRIPT σε γλώσσα προγραμματισμού python .

Χρησιμοποιώντας το Dialog based framework το οποίο αυτοματοποιεί την διαδικασία ελέγχου και πιστοποίησης των συσκευών BLUETHOOTH LOW ENERGY, σύμφωνα με τα πρότυπα πιστοποίησης που έχουν δοθεί από την SIG.

Ο όρος Bluetooth αναφέρεται σε μια ανοικτή προδιαγραφή για μια τεχνολογία που επιτρέπει τις περιορισμένους φάσματος ασύρματες μεταδόσεις φωνής και στοιχείων οπουδήποτε στον κόσμο. Έτσι μια Bluetooth Low Energy συσκευή μπορεί να επικοινωνεί με τον έξω κόσμο με δύο τρόπους: μέσω εκπομπών ή συνδέσεων αυτό όμως σημαίνει πως κάθε μηχανισμός έχει τα δικά του πλεονεκτήματα και τους δικούς του περιορισμούς. Το προφίλ Bluetooth® Tuning suite (PTS) είναι ένα ισχυρό λογισμικό που βασίζεται σε ένα μαύρο κουτί(black box) – ένα εργαλείο ελέγχου που αυτοματοποιεί τις δοκιμές πρωτόκολλου και το προφίλ της διαλειτουργικότητας, της μείωσης του κόστους και του χρόνου των μελών της Bluetooth SIG για τις διαδικασίες ανάπτυξης προϊόντων, για τις δοκιμές και τα προσόντα τους. Έτσι δημιουργήσαμε κάποια testcases που κάνουν αυτές τις ενέργειες .Κάθε testcase ξεχωρίζει λόγο ενός μοναδικού χαρακτηριστικού στο όνομα της, το οποίο καθορίζει και το χαρακτηριστικό της κλάσης των testcases.

Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από αυτή την πτυχιακή είναι :

- Το automanion script είναι λειτουργικό.
- Κατά την εκτέλεση των τεστ όταν τρέχαμε την κάθε test case αυτοτελή η testcase πέραγε και εμφάνιζε τα σωστά αποτελέσματα. Όταν όμως τρέχαμε τα testcases σε μία λίστα το τεστ αποτύγχανε.

Αυτό όμως συμβαίνει γιατί το Pts της SIG έχει bug σε αυτό το σημείο, και για να διορθωθεί αυτό ενημερώσαμε την SIG και περιμένουμε την δικιά τους παρέμβαση.

## ABSTRACT

This work has been designed to create a SCRIPT in python programming language using the Dialog based framework which automates the verification and certification process of BLUETHOOTH LOW ENERGY devices, according to the certification standards provided by the Bluetooth SIG. In term refers to an open specification for a technology that enables short-range wireless transmission of voice and data anywhere in the world. Thus a Bluetooth Low Energy device can communicate with the outside world in two ways: through emissions or connections but this means that each device has its own advantages and its own constraints. The profile Bluetooth® Tuning suite (PTS) is a powerful software based on a black box control tool that automates the testing protocol and interoperability profiles, reducing the cost and time of the Bluetooth SIG members for product development processes, for tests and qualifications. Thus created some testcases that make these actions .Each testcase stand with a fingerprint in the name, which determines the characteristic of the class of testcases. The results of this thesis are:

- The automanion script is operating.
- While performing the test when we ran each test case is separate testcase passed and showed the correct results. But when we ran the testcases in a list of the test failed. But that's because the Pts of SIG has bug at this point, and to fix this we informed the SIG and wait for their own intervention.





# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>**

# Εισαγωγή

## 1. Σκοπός – αντικείμενο της εργασίας

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η δημιουργία ενός script σε γλώσσα προγραμματισμού python το οποίο αυτοματοποιεί την διαδικασία ελέγχου και πιστοποίησης των συσκευών Bluetooth low energy , σύμφωνα με τα πρότυπα πιστοποίησης έχουν δοθεί από την SIG.

Για να επιτευχθεί αυτό θα χρησιμοποιήσουμε ένα DAI4580 board της εταιρίας DIALOG SEMICONDUCTOR, όπως επίσης και το PTS dongle της SIG

Η DIALOG SEMICONDUCTOR είναι μια καινοτόμος επιχείρηση της οποίας η φιλοσοφία αποσκοπεί στην ανάπτυξη προϊόντων, αυτό της επιτρέπει να παρέχει τις καλύτερες λύσεις για εξοικονόμησης ενέργειας και απόδοση στους πελάτες της , ιδίως για τα smartphones, τροφοδοτικά, στερεάς κατάστασης φωτισμό και τις αναδυόμενες εφαρμογές IoT. Αυτό συμβαίνει αξιοποιώντας ένα προηγμένο σύστημα σε επίπεδο τεχνογνωσίας και ένα μεγάλο χαρτοφυλάκιο πνευματικής ιδιοκτησίας με την προηγμένη καινοτομία .

Για την δημιουργία του script αυτού θα χρησιμοποιήσουμε ορισμένα στοιχεία του automation test που δίνει η SIG Με τη διαφορά ότι εκεί που η SIG δίνει κώδικα για γλώσσα προγραμματισμού C εμείς θα χρησιμοποιήσουμε python.

Η εκπόνηση αυτής της μελέτης έχει ως σκοπό την δημιουργία μιας test suite η οποία θα επιτρέπει στον χρήστη να αυτοματοποιεί την διαδικασία για τον έλεγχο και την πιστοποίηση προϊόντων Bluetooth low energy με την χρήση της python. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα να κερδίζει σε αξιοπιστία, χρόνο , εμψυχο δυναμικό και μείωση του κόστους.

## 2. Διάρθρωση της εργασίας

Η υπόλοιπη εργασία ξεκινάει με μια παρουσίαση του απαραίτητου θεωρητικού υπόβαθρου για τα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας όπως επίσης και κάποιες γενικές γνώσεις για την διασύνδεση του ηλεκτρονικού υπολογιστή μας με το board και το πώς μεταφέρετε η πληροφορία μεταξύ των δύο.

Στο κεφάλαιο 3 περιγράφουμε τις βασικές γνώσεις αλλά και λειτουργίες των πρωτοκόλλου και του Bluetooth low energy stack.

Ακολουθεί στο κεφάλαιο 4 το οποίο εξηγεί την λειτουργία ,την χρησιμότητα και τις απαιτήσεις που έχει το profile turning suite.

Το επόμενο κεφάλαιο, το κεφάλαιο 5 εμπεριέχει τον κώδικα ο οποίος αναπτύχθηκε και χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία της σουίτας του pts μεσο python .

Στο κεφάλαιο 6 περιγράφονται τα βήματα και οι διαδικασίες που διεξάγουμε για να εγκαταστήσουμε και να τρέξουμε την σουίτα.

Στο κεφάλαιο 7, παρατίθενται τα αποτελέσματα και μμελλοντικές προοπτικές.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο**

## Θεωρητικό υπόβαθρο

### 1. Τι είναι ασύρματη επικοινωνία

Ασύρματη επικοινωνία είναι η μεταφορά των πληροφοριών μεταξύ δύο ή περισσότερων σημείων τα οποία δεν συνδέονται με έναν ηλεκτρικό αγωγό.

Η μεγάλη και συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη του ανθρώπου για επικοινωνία και ενημέρωση άμεσα και γρήγορα, οδήγησε στην εξέλιξη της τεχνολογίας με μεγάλα βήματα.

Η ιστορία των ασύρματων δικτύων ξεκινάει από πολύ παλιά και συγκεκριμένα από το 1896 όταν ο Guglielmo Marconi ανακάλυψε τον ασύρματο τηλέγραφο. Τα πρώτα ασύρματα δίκτυα εμφανίστηκαν το 1964 ήταν Data και ήταν τεχνολογίας TCP/IP.

Στην εποχή μας η μετάδοση της πληροφορίας, η ανταλλαγή δεδομένων και η επικοινωνία βασίζεται αποκλειστικά στα δίκτυα (ιντερνέτ, τηλεφωνία). Η κινητή τηλεφωνία και η τεχνολογία του Internet, όταν βγήκαν στην αγορά συνάντησαν την ευρεία αποδοχή του κοινού σαν απάντηση στο πλήθος των υπηρεσιών και των δυνατοτήτων που του προσφέρθηκαν.

Κάθε τεχνολογία από τη πλευρά της υποστήριξε την επικοινωνία, την ενημέρωση, την διασκέδαση σύμφωνα με τις προδιαγραφές και τις δυνατότητές της. Σήμερα τα ασύρματα συστήματα γνωρίζουν μια τεράστια άνθιση και χρησιμοποιούνται σε πάρα πολλές εφαρμογές.

Βασικό ρόλο, σε αυτό παίζουν τα πλεονεκτήματα που έχουν τα ασύρματα δίκτυα σε σχέση με τα ενσύρματα. Η φύση των ασύρματων δικτύων είναι τέτοια που επιτρέπει την πρόσβαση στους δικτυακούς πόρους και την παροχή υπηρεσιών χωρίς καλωδίωση. Η ιδιαιτερότητα αυτή όμως πέρα από τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει, εμφανίζει αδυναμίες και πιο συγκεκριμένα αδυναμίες κυρίως ασφάλειας.

### 2. Τι είναι το ασύρματο δίκτυο

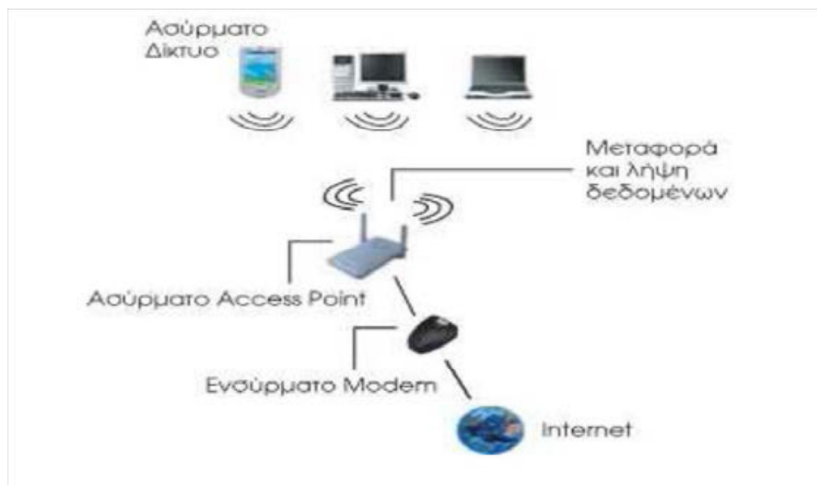
Ως ασύρματο δίκτυο (Wireless Network) χαρακτηρίζεται το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο το οποίο συνήθως είναι τηλεφωνικό ή δίκτυο υπολογιστών όπου με την χρήση ραδιοκυμάτων επιτυγχάνεται η μετάδοση δεδομένων. Μέσω των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων τα δεδομένα μεταφέρονται με συχνότητα η οποία κάθε φορά εξαρτάται από τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων που απαιτεί το δίκτυο για να υποστηρίξει. Τα χαμηλότερα συχνοτήτων ραδιοκύματα γενικά εξασθενούν σχετικά γρήγορα, διότι συγκριτικά μεταφέρουν λίγη ενέργεια, όμως έχουν την ικανότητα να διαπερνούν φυσικά εμπόδια. Αντίθετα τα ραδιοκύματα υψηλών συχνοτήτων αν και έχουν την δυνατότητα να διαδίδονται σε μεγαλύτερες αποστάσεις ανακλώνται εύκολα από φυσικά εμπόδια. Σε αντίθεση με την ενσύρματη επικοινωνία, η ασύρματη επικοινωνία δεν χρησιμοποιεί ως μέσο μετάδοσης της πληροφορίας κάποιο τύπο καλωδίου. Σε παλαιότερες εποχές τα τηλεφωνικά δίκτυα ήταν αναλογικά, όμως σήμερα η ψηφιακή τεχνολογία κυριαρχεί σε όλα τα ασύρματα δίκτυα, επομένως κατά μια έννοια είναι ουσιαστικώς δίκτυα υπολογιστών. Η υλοποίηση του ασύρματου δικτύου βασίζεται σε κάποια πρότυπα που θεσπίζει το Ινστιτούτο Ηλεκτρολόγων Ηλεκτρονικών Μηχανικών (Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE) και για αυτό είναι της μορφής IEEE 802.X (όπου X ένας αριθμός). Τα πρότυπα αυτά διαφέρουν ως προς την διαμόρφωση που χρησιμοποιούν και την ταχύτητα μετάδοσης.

Στα ασύρματα δίκτυα εντάσσονται τα:

- δίκτυα κινητής τηλεφωνίας,
- οι δορυφορικές επικοινωνίες,

- τα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (WWAN),
- τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WMAN),
- τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) καθώς και
- τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN).

Τα τελευταία χρόνια η εξέλιξη των ασύρματων επικοινωνιών δείχνει ότι είναι πολύ δύσκολο να υπάρξει ένα σύστημα που να μπορεί να ικανοποιήσει όλες τις ανάγκες του χρήστη και να προσαρμοστεί στις ιδιαιτερότητες του κάθε περιβάλλοντος. Έτσι για το λόγο αυτό τα ασύρματα δίκτυα τις επόμενες γενιές θα αποτελούνται από την ενοποίηση ενός συνόλου τεχνολογιών που κάθε μια από αυτές θα ειδικεύεται σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον. Η τηλεόραση και το ραδιόφωνο, αν και ως τηλεπικοινωνιακά μέσα είναι εκ φύσεως ασύρματα στις περισσότερες περιπτώσεις, δεν συμπεριλαμβάνονται στα ασύρματα δίκτυα, καθώς η μετάδοση γίνεται προς πάσα κατεύθυνση χωρίς να υπάρχει κάποιο δομημένο δίκτυο.



Σχημα 1: Παράδειγμα ενός ασύρματου (τοπικού) δικτύου.

Ασύρματη δικτύωση χρησιμοποιείται για να καλύψει πολλές ανάγκες. Ίσως η πιο κοινή χρήση είναι να συνδέσετε χρήστες φορητών υπολογιστών που ταξιδεύουν από τόπο σε τόπο. Μια άλλη συνηθισμένη χρήση είναι για τα κινητά δίκτυα που συνδέουν μέσω δορυφόρου. Ένα ασύρματο μέθοδος μετάδοσης είναι μια λογική επιλογή για να δικτυωθούν ένα τμήμα LAN που πρέπει να αλλάζουν συχνά θέσεις. Οι ακόλουθες καταστάσεις δικαιολογούν τη χρήση της ασύρματης τεχνολογίας:

- ✓ Να εκτείνονται σε μια απόσταση πέρα από τις δυνατότητες των τυπικών καλωδίωση,
- ✓ Να παρέχει μια σύνδεση εφεδρική επικοινωνίας στην περίπτωση της κανονικής βλάβης του δικτύου,
- ✓ Για να συνδέσετε φορητές ή προσωρινή σταθμούς εργασίας,
- ✓ Για να ξεπεραστούν καταστάσεις όπου η κανονική καλωδίωση είναι δύσκολη ή οικονομικά ανέφικτο, ή
- ✓ Για τη σύνδεση εξ αποστάσεως χρήστες κινητών ή δίκτυα.

Μερικές από τις συσκευές που χρησιμοποιούνται για την ασύρματη επικοινωνία είναι τα ασύρματα τηλέφωνα, κινητά τηλέφωνα, μονάδες GPS, ασύρματα εξαρτήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών, και δορυφορική τηλεόραση.

### 3. Πλεονεκτήματα ασύρματης επικοινωνίας

Πλεονεκτήματα της ασύρματης επικοινωνίας :

- i. Ανακοίνωση έχει ενισχυθεί για να μεταδώσει την πληροφορία γρήγορα στους καταναλωτές.
- ii. Οι επαγγελματίες που εργάζονται μπορούν να εργαστούν και πρόσβαση στο Internet οπουδήποτε και οποτεδήποτε, χωρίς να μεταφέρουν καλώδια ή σύρματα όπου και αν πηγαίνουν. Αυτό βοηθά επίσης να ολοκληρώσουν την εργασία οπουδήποτε στο χρόνο και βελτιώνει την παραγωγικότητα.
- iii. Οι γιατροί, οι εργαζόμενοι και άλλοι επαγγελματίες που εργάζονται σε απομακρυσμένες περιοχές μπορούν να είναι σε επαφή με τα ιατρικά κέντρα, μέσω ασύρματης επικοινωνίας.
- iv. Επείγουσα κατάσταση μπορεί να ειδοποιηθεί μέσω ασύρματης επικοινωνίας. Στις πληγείσες περιοχές μπορεί να παρασχεθεί βοήθεια και υποστήριξη με τη βοήθεια αυτών των ειδοποιήσεων μέσω ασύρματης επικοινωνίας.
- v. Τα ασύρματα δίκτυα είναι φθηνότερα να εγκατασταθούν και να διατηρηθεί.

### 4. Μειονεκτήματα ασύρματης επικοινωνίας

Η ανάπτυξη του ασύρματου δικτύου μας επέτρεψε να χρησιμοποιήσουμε τις προσωπικές συσκευές οπουδήποτε και οποτεδήποτε. Αυτό βοήθησε την ανθρωπότητα να βελτιωθεί σε όλους τους τομείς της ζωής, αλλά αυτό έχει δημιουργήσει πολλές απειλές.

Παρόλο που υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα με το ασύρματο δίκτυο υπάρχουν και μερικά μειονεκτήματα. Αυτά διαιρούνται σε τρεις κατηγορίες:

1. ταχύτητα,
2. κόστος
3. ασφάλεια.

Η ταχύτητα στο ασύρματο δίκτυο εξαρτάται από το πρωτόκολλο που έχει επιλεγεί αλλά συνήθως είναι εξασθετισμένη και πιο ασταθής από ότι στα συμβατικά δίκτυα. Τα καινούρια δίκτυα επιτρέπουν ταχύτητες μέχρι και 100Mbps και τα παλιότερα δίκτυα των 10Mbps θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν παράλληλα.

Για τις περισσότερες εφαρμογές τα δίκτυα των 10Mbps και 54Mbps είναι επαρκή εκτός κι αν χρειάζεται να μεταφέρονται μεγάλα αρχεία μεταξύ των υπολογιστών.

Το κόστος είναι ένας ακόμα λόγος που μπορεί ένα ασύρματο δίκτυο να μην πληροί τις ανάγκες σας. Παρόλο που οι τιμές τα τελευταία χρόνια έχουν πέσει αρκετά και οι συσκευές είναι πιο προσιτές στους καταναλωτές παραμένουν να είναι αρκετά ακριβές. Για παράδειγμα: μία κάρτα δικτύου μπορεί να στοιχίζει και 20 Ευρώ ενώ ένα αντίστοιχο σύστημα μπορεί να στοιχίσει ακόμα και δύο με τρεις φορές περισσότερο.

Η ασφάλεια είναι και αυτή ένα σημαντικό μέρος. Καθώς μη σωστά εγκατεστημένα δίκτυα ή δίκτυα με χαμηλή ασφάλεια μπορούν πολύ εύκολα να παραβιαστούν από άτομα ειδικευμένα στις παραβιάσεις (hackers).

### 5. UART - Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

Το Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) είναι ένα κύκλωμα των υπολογιστών το οποίο διαμεσολαβεί στην σειριακή επικοινωνία υπολογιστών ή υπολογιστών με συσκευές ή και Ενσωματωμένων υπολογιστικών συστημάτων - Embedded Computer

Systems όπως μικροελεγκτές. Η επικοινωνία των UART γίνεται δια μέσου των στάνταρντ θυρών RS-232, RS-422 ή RS-485. Η ταχύτητα επικοινωνίας (ρυθμός μετάδοσης) μπορεί να παραμετροποιηθεί και μετριέται σε baudrate (bits/sec). Σήμερα το κύκλωμα UART είναι ενσωματωμένο ως ολοκληρωμένο κύκλωμα μέσα στον υπολογιστή ή στην περιφερειακή συσκευή. Ένα UART λαμβάνει bytes δεδομένων και τα στέλνει σε σειριακή μορφή ως bits. Στον προορισμό ένα δεύτερο UART συλλέγει τα bits και δημιουργεί τα bytes δεδομένων που αποστάληκαν. Κάθε UART περιέχει ένα καταχωρητή ολίσθησης (shift register) ο οποίος χρησιμοποιείται για την μετατροπή της σειριακής σε παράλληλη μορφή (εγγραφή/διάβασμα των δεδομένων μέσα σε ένα καταχωρητή από λήψη ή για αποστολή - τα δεδομένα που λαμβάνονται/στέλνονται σε ένα UART θα πρέπει να αποθηκευτούν μέσα σε ένα καταχωρητή του συστήματος με παράλληλο τρόπο). Στην επικοινωνία με UART υπάρχουν εξωτερικά κυκλώματα που μετατρέπουν τα επίπεδα των volt (λογικά επίπεδα) του σήματος του καλωδίου σε αυτό που χρησιμοποιεί το UART. Για παράδειγμα ένα τέτοιο κύκλωμα είναι το MAX 3232 ή Maxim ολοκληρωμένο το οποίο προσαρμόζει το σήμα σε επίπεδα -5.5V (λογικό 0) και +5.5V (λογικό 1) από τα αρχικά σήματα του μικροελεγκτή. Τα σήματα των καλωδίων μπορούν να έχουν διαφορετικές μορφές. Η προτυποποίηση των επιπέδων volt στα καλώδια RS-232, RS-422 και RS-485 ορίζεται από τον οργανισμό EIA (Electronic Industries Alliance). Η επικοινωνία μέσω του UART μπορεί να είναι:

- Απλή (simplex): προς μια κατεύθυνση μόνο, χωρίς να υπάρχει πρόβλεψη ο δέκτης να στείλει πίσω κάποιο σήμα.
- Πλήρης αμφίδρομη ταυτόχρονη επικοινωνία (full duplex): και οι δύο συσκευές στέλνουν και δέχονται σήματα την ίδια στιγμή.
- Αμφίδρομη εναλλασσόμενη επικοινωνία (half duplex): κάθε συσκευή παίρνει σειρά στο να αποστείλει ή να λάβει δεδομένα - δε γίνεται αποστολή / λήψη την ίδια στιγμή. Κατά την επικοινωνία με UART μεταδίδονται πλαίσια δεδομένων (data frames), που το καθένα περιέχει ένα χαρακτήρα. Το μέγεθος του πλαισίου χαρακτήρων μπορεί να είναι 10 bits (χωρίς bit ελέγχου parity), όπου υπάρχει ένα start bit και ένα stop bit στην αρχή και το τέλος και είναι διαθέσιμα 8 bits για την κωδικοποίηση του χαρακτήρα που μεταδίδουμε/λαμβάνουμε. Κατά την κατάσταση ετοιμότητας (idle) υπάρχει κατάσταση δεδομένων 1 (high-voltage). Αυτό η τεχνική υπήρχε από την εποχή της τηλεγραφίας όπου η γραμμή κρατιόταν με ρεύμα (high voltage) ώστε ο αποστολέας να μην πάθει βλάβη. Κάθε χαρακτήρας μεταδίδεται αφού πρώτα μεταδοθεί ένα low voltage 0 (start bit). Το start bit λαμβάνεται πρώτο από το δέκτη και καταλαβαίνει ότι ξεκινά/ακολουθεί μετάδοση bits. Στην συνέχεια μεταδίδονται με σταθερό χρονικό ρυθμό τα 8 bits (μπορεί να είναι και 5 ή 6 ή 7 bits ανάλογα με την παραμετροποίηση που ακολουθείται), που κωδικοποιούν τον χαρακτήρα που μεταδίδουμε. Στο τέλος μεταδίδεται το stop bit και η αποστολή του μεμονωμένου χαρακτήρα ολοκληρώνεται.

## **6. SHORT RANGE WIRELESS – Ασύρματα δίκτυα μικρής εμβέλειας**

Υπάρχουν πολλές περιπτώσεις περιορισμένου φάσματος ψηφιακής επικοινωνίας μεταξύ των συσκευών υπολογισμού και επικοινωνιών. Σήμερα ένα μεγάλο μέρος εκείνης της επικοινωνίας πραγματοποιείται πέρα από τα καλώδια. Αυτά τα καλώδια συνδέουν ένα πλήθος συσκευών χρησιμοποιώντας μια ευρεία ποικιλία των συνδετήρων (connectors) με πολλούς συνδυασμούς μορφών, μεγεθών και αριθμού pins αυτός ο μεγάλος αριθμός καλωδίων μπορεί να γίνει αρκετά φορτικός στους χρήστες. Με την τεχνολογία Bluetooth, αυτές οι συσκευές



μπορούν να επικοινωνήσουν χωρίς καλώδια πέρα από μια ενιαία εναέρια - διεπαφή, χρησιμοποιώντας τα ραδιοκύματα για να μεταδώσουν και να λάβουν τα στοιχεία. Η ασύρματη τεχνολογία Bluetooth σχεδιάζεται συγκεκριμένα για τις περιορισμένου φάσματος (ονομαστικά 10 μέτρα) επικοινωνίες. Ένα αποτέλεσμα αυτού του σχεδίου είναι η πολύ μικρή κατανάλωση ισχύος, που καθιστά την τεχνολογία καλά ταιριασμένη για τη χρήση με τις μικρές, φορητές προσωπικές συσκευές που χαρακτηριστικά τροφοδοτούνται από τις μπαταρίες.

## **Φωνή και στοιχεία**

Οι παραδοσιακές γραμμές μεταξύ του υπολογισμού και των περιβαλλοντικών επικοινωνιών γίνονται συνεχώς λιγότερο ευδιάκριτες. Η φωνή τώρα συνήθως διαβιβάζεται και αποθηκεύεται σε ψηφιακές μορφές. Οι συσκευές φωνής όπως τα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούνται επίσης για τις εφαρμογές στοιχείων όπως η πρόσβαση πληροφοριών ή το ξεφύλλισμα. Μέσω της αναγνώρισης φωνής, οι υπολογιστές μπορούν να ελεγχθούν από τη φωνή, και μέσω της σύνθεσης φωνής, οι υπολογιστές μπορούν να παραγάγουν την ακουστική παραγωγή εκτός από την οπτική παραγωγή. Μερικές ασύρματες τεχνολογίες επικοινωνιών έχουν ως σκοπό να φέρουν μόνο τη φωνή, ενώ άλλοι χειρίζονται μόνο την κυκλοφορία στοιχείων. Η ασύρματη επικοινωνία Bluetooth λαμβάνει μέτρα και για τη φωνή και για τα στοιχεία, και έτσι είναι μια ιδανική τεχνολογία για την ενοποίηση αυτών των κόσμων με τη διευκόλυνση σε όλων των ειδών των συσκευών για επικοινωνία με χρήση καθενός ή και των δύο τύπων περιεχομένου.

Η βιομηχανία τηλεπικοινωνιών είναι ιδιαίτερα ρυθμισμένη σε πολλά μέρη του κόσμου. Τα τηλεφωνικά συστήματα, παραδείγματος χάριν, πρέπει να συμμορφωθούν με πολλούς κυβερνητικούς περιορισμούς, και τα πρότυπα τηλεφωνίας ποικίλλουν από χώρα σε χώρα. Πολλές μορφές ασύρματων επικοινωνιών είναι επίσης ρυθμισμένες. Η χρήση φάσματος ραδιοσυχνότητας απαιτεί συχνά μια άδεια με τις ακριβείς υποχρεώσεις ισχύος μετάδοσης. Ωστόσο, μερικές μερίδες του διαθέσιμου φάσματος ραδιοσυχνότητας μπορεί να χρησιμοποιηθούν χωρίς άδεια, και οι ασύρματες επικοινωνίες Bluetooth λειτουργούν μέσα σε ένα επιλεγμένο φάσμα συχνότητας που είναι δωρεάν σε όλο τον κόσμο (με ορισμένους περιορισμούς). Κατά συνέπεια οι συσκευές που χρησιμοποιούν την ασύρματη επικοινωνία Bluetooth μπορούν να χρησιμοποιούνται χωρίς τροποποιήσεις και ανεξάρτητα από το που βρίσκεται ο χρήστης. Η περιορισμένου φάσματος ασύρματη τεχνολογία Bluetooth είναι ιδανικά ταιριασμένη για την αντικατάσταση των πολλών καλωδίων που συνδέονται με τις κυρίαρχες σημερινές συσκευές. Η προδιαγραφή Bluetooth [( BtSIG99), εφεξής καλούμενο ως προδιαγραφή] ρητά καθορίζει μέσα για να αντικατασταθούν τα τμηματικά καλώδια με τις ασύρματες μεταφορές, όπως αυτά χρησιμοποιούνται από τα μόντεμ, τις ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές και τους προσωπικούς ψηφιακούς βοηθούς. Η τεχνολογία θα μπορούσε επίσης να χρησιμοποιηθεί για να αντικαταστήσει άλλα καλώδια, όπως εκείνα που συνδέθηκαν με τις περιφερειακές μονάδες υπολογιστών (συμπεριλαμβανομένων των εκτυπωτών, των σαρωτών, των πληκτρολογίων, των ποντικών και άλλων). Επιπλέον, η ασύρματη συνδετικότητα μεταξύ ενός μεγάλου αριθμού σταθερών και κινητών συσκευών μπορεί να επιτρέψει πολλά άλλα νέα και συναρπαστικά σενάρια χρήσης πέρα από την απλή αντικατάσταση καλωδίων.

Εάν η ασύρματη τεχνολογία Bluetooth πετύχει στην αγορά, στην έκταση που προβλέπεται από πολλούς αναλυτές θα έχει τη δυνατότητα να αλλάξει τις ζωές των ανθρώπων και τον τρόπο που οι άνθρωποι σκέφτονται και αλληλεπιδρούν με τις συσκευές υπολογισμού και επικοινωνίας. Η κατανόηση αυτής της νέας τεχνολογίας μπορεί να ωφελήσει όχι μόνο τους επαγγελματίες βιομηχανίας αλλά και τους καταναλωτές που μπορούν να χρησιμοποιήσουν και να λάβουν τα οφέλη της.

## 7. BLUETOOTH

Οι πιο κοινές τεχνολογίες ασύρματης χρησιμοποιήσετε το ραδιόφωνο. Με ραδιοκύματα αποστάσεις μπορεί να είναι μικρή, όπως λίγα μέτρα για την τηλεόραση ή όσο χιλιάδες ή και εκατομμύρια χιλιόμετρα για ραδιοεπικοινωνίες στο βαθύ διάστημα. Περιλαμβάνει διάφορα είδη των σταθερών, κινητών και φορητών εφαρμογών, συμπεριλαμβανομένης της αμφίδρομης ραδιόφωνα, κινητά τηλέφωνα, προσωπικών ψηφιακών βοηθών (PDA), και ασύρματη δικτύωση. Άλλα παραδείγματα των εφαρμογών του ραδιοφώνου ασύρματης τεχνολογίας περιλαμβάνουν μονάδες GPS, άνοιγμα πόρτας γκαράζ, ασύρματα ποντίκια υπολογιστών, πληκτρολόγια και τα ακουστικά, ακουστικά, ραδιοφωνικοί δέκτες, δορυφορική τηλεόραση, τηλεοπτική μετάδοση και ασύρματα τηλέφωνα.

Κάπως λιγότερο κοινές μέθοδοι για την επίτευξη ασύρματων επικοινωνιών περιλαμβάνουν τη χρήση άλλων ηλεκτρομαγνητικών ασύρματες τεχνολογίες, όπως το φως, μαγνητικά ή ηλεκτρικά πεδία ή με τη χρήση του ήχου.

### I. Τι είναι το Bluetooth

Ο όρος Bluetooth αναφέρεται σε μια ανοικτή προδιαγραφή για μια τεχνολογία που επιτρέπει τις περιορισμένους φάσματος ασύρματες μεταδόσεις φωνής και στοιχείων οπουδήποτε στον κόσμο. Αυτή η απλή περιγραφή της τεχνολογίας Bluetooth περιλαμβάνει διάφορα σημεία που είναι βασικά στην κατανόησή του.

Το **Bluetooth** είναι ένα βιομηχανικό πρότυπο για *ασύρματα προσωπικά δίκτυα υπολογιστών* (Wireless Personal Area Networks, WPAN). Πρόκειται για μια ασύρματη τηλεπικοινωνιακή τεχνολογία μικρών αποστάσεων, η οποία μπορεί να μεταδώσει σήματα μέσω μικροκυμάτων σε ψηφιακές συσκευές. Επομένως το Bluetooth είναι ένα πρωτόκολλο το οποίο παρέχει προτυποποιημένη, ασύρματη επικοινωνία ανάμεσα σε PDA, κινητά τηλέφωνα, φορητοί υπολογιστές, προσωπικοί υπολογιστές, εκτυπωτές, καθώς και ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές ή ψηφιακές κάμερες, μέσω μιας ασφαλούς, φθηνής και παγκοσμίως διαθέσιμης χωρίς ειδική άδεια ραδιοσυχνότητας μικρής εμβέλειας. Από τεχνικής άποψης το Bluetooth είναι ένα πρωτόκολλο ασύρματης δικτύωσης σε φυσικό επίπεδο, υποεπίπεδο MAC και, προαιρετικά, υποεπίπεδο LLC.

### II. Το όνομα Bluetooth και η ιστορία

Το Bluetooth είναι ξεχωριστό στη βιομηχανία υψηλής τεχνολογίας από διάφορες απόψεις, αλλά ειδικότερα το όνομά του συγκεντρώνει πολλή προσοχή. Οι περισσότερες νέες πρωτοβουλίες βιομηχανίας είναι γνωστές από ένα όνομα που περιγράφει τη σχετική τεχνολογία τους ή την εφαρμογή τους και συχνά γίνονται γρήγορα γνωστοί από ένα ακρωνύμιο περιγράφοντας το πλήρες όνομα. Γιατί η τεχνολογία δεν ονομάστηκε, παραδείγματος χάριν, ασύρματη εκπομπή και λήψη, ή SRWR, ή κάποιο άλλο περιγραφικό όνομα; Η απάντηση βρίσκεται στην κληρονομιά των αρχικών εφευρετών. Υπάρχουν

πολυάριθμες ιστορίες και απολογισμοί του ονόματος Bluetooth και πώς εκείνο το όνομα ήρθε να επιλεχθεί. Η γενικά αποδεκτά ιστορία και τα γεγονότα αναφέρονται εδώ.

Ο Harald Blatand ήταν βασιλιάς της Δανίας περίπου από το 940 έως 985 Μ.Χ.. Κατά τη διάρκεια της βασιλείας του ο βασιλιάς Harald διέταξε να ενωθεί η Δανία και η Νορβηγία και να παρουσιαστεί ο χριστιανισμός στη Σκανδιναβία. Προφανώς ο Blatand μεταφράστηκε, τουλάχιστον αόριστα, σε "BlueTooth." Η προέλευση αυτού του ονόματος είναι αβέβαιη, αν και ήταν σχετικά κοινό κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου για τους βασιλιάδες να υπάρχει ένα ιδιαίτερο όνομα. Μερικές ιστορίες λένε ότι το όνομα αποδίδεται στη σκοτεινή χροιά Harald's. Μερικοί απολογισμοί ακόμη δείχνουν ότι ο βασιλιάς Harald ήταν γνωστός για τα δόντια ενός γσλαζωπού χρώματος ως αποτέλεσμα της όρεξής του για τα βατόμουρα, αν και αυτό είναι πιθανώς λαογραφία. Για μια τεχνολογία με την προέλευσή της στη Σκανδιναβία, φάνηκε σωστό στους ιδρυτές SIG να ονομαστεί η οργάνωση που προορίστηκε να ενοποιήσει τις πολυεθνικές επιχειρήσεις μετά από έναν Σκανδιναβικό βασιλιά που ένωσε τις χώρες. Κατά συνέπεια γεννήθηκε το όνομα Bluetooth, το οποίο ήταν αρχικά ένα ανεπίσημο κωδικό όνομα για την εργασία αυτή αλλά σήμερα έχει γίνει το εμπορικό σήμα (όνομα) της τεχνολογίας και της SIG.

Η ασύρματη επικοινωνία Bluetooth έχει προκαλέσει το τεράστιο ενδιαφέρον από τότε που αναγγέλθηκε ο σχηματισμός της SIG. Τα άρθρα σε πολλές κύριες δημοσιεύσεις του τύπου υπολογιστών και σε κάμπους των επικρατούντων μέσων, έχουν εμφανιστεί συχνά. Πολλοί αναλυτές όπως η ομάδα Cahners In-Stat και η ομάδα Gartner DataQuest περιλαμβάνουν τώρα τις ασύρματες επικοινωνίες Bluetooth στις μελέτες και τις προβλέψεις τους. Μεταξύ του Νοεμβρίου του 1998 και του Ιουνίου του 2000 τουλάχιστον εννέα σημαντικές διασκέψεις υπεύθυνων για την ανάπτυξη Bluetooth έγιναν στις πόλεις Ατλάντα, Τόκιο, Λονδίνο, Αμστερνταμ, Γενεύη, Λος Αντζελες και Μόντε Κάρλο. Η διάσκεψη SIG τον Δεκέμβριο του 2000 στο Λος Αντζελες προσέλκυσε πάνω από 3.000 συμμετέχοντες, συμπεριλαμβανομένων των υπεύθυνων για την ανάπτυξη, των αναλυτών, των πελατών και άλλων από διαφορετικές τοποθεσίες και βιομηχανίες.

### **III. Ανοικτή προδιαγραφή- SIG**

Η ειδική ομάδα ενδιαφέροντος Special Interest Group (SIG) Bluetooth έχει παραγάγει μια προδιαγραφή για την ασύρματη επικοινωνία Bluetooth που είναι δημόσια διαθέσιμη και με ελεύθερα δικαιώματα. Για να ενθαρρύνει τη διάδοση της τεχνολογίας, μια αληθινά ανοικτή προδιαγραφή είναι ένας θεμελιώδης στόχος των SIG από το σχηματισμό της.

#### **8. Η ειδική ομάδα ενδιαφέροντος bluetooth**

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η ασύρματη επικοινωνία Bluetooth είναι ενσωματωμένη ως τεχνολογική προδιαγραφή. Αυτή η προδιαγραφή είναι ένα αποτέλεσμα της συνεργασίας πολλών επιχειρήσεων μέσα σε μια οργάνωση αποκαλούμενη «Ειδική Ομάδα Ενδιαφέροντος Bluetooth», ή SIG. Δεν υπήρχε κάποια επιχείρηση Bluetooth. Μέχρι το 2001 δεν υπήρχε κάποια εταιρεία Bluetooth, η οποία να υφίσταται νομικά. Αρχικά, η SIG διοικούνταν από τις νομικές συμφωνίες μεταξύ των συμβαλλόμενων μερών μελών αλλά δεν ήταν το ίδιο όπως μια επιχειρησιακή οντότητα. Τον Φεβρουάριο του 2001, η SIG ενσωματώθηκε και είναι τώρα επίσημα γνωστή ως ειδική ομάδα ενδιαφέροντος Bluetooth, Inc. Η SIG δεν πρέπει να αναλυθεί ως επίσημο σώμα προτύπων. Είναι μια οργάνωση που αναλαμβάνει να καθορίσει και να προωθήσει την τεχνολογία. Στην πραγματοποίηση αυτού του έργου, η SIG εξαρτάται

από τις συνεισφορές και τη συμμετοχή των επιχειρήσεων, μελών του. Σαφώς ένας σημαντικός στόχος των SIG ήταν να αναπτυχθεί η προδιαγραφή, αλλά άλλες δραστηριότητες SIG περιλαμβάνουν την κοινή εργασία με άλλες κοινοπραξίες και πρότυπα και τους ρυθμιστικούς οργανισμούς, τα εκπαιδευτικά και προωθητικά γεγονότα όπως διασκέψεις ανάπτυξης και τον προσδιορισμό μιας διαδικασίας δοκιμής και πιστοποίησης.

## **I. Τεχνολογία και προέλευση SIG**

Η ασύρματη τεχνολογία Bluetooth πρωτοχρησιμοποιήθηκε από τους μηχανικούς στο σουηδικό κατασκευαστή τηλεπικοινωνιών Telefonaktiebolaget LM Ericsson, που αντιλήφθηκαν τη δυνατότητα περιορισμένου φάσματος ασύρματων επικοινωνιών. Το 1994 Ericsson είχε αρχίσει ένα πρόγραμμα για να μελετηθεί η δυνατότητα πραγματοποίησης μιας χαμηλής ισχύος, χαμηλού κόστους ράδιο-διεπαφής για να αποβάλει τα καλώδια μεταξύ των κινητών τηλεφώνων και των εξαρτημάτων τους. Στις σημερινές βιομηχανίες υπολογισμού και επικοινωνιών, οι ιδιοκτήτες νέων τεχνολογιών, πετυχαίνουν σπάνια. Οι πελάτες προτιμούν σαφώς να αγοράσουν και να επεκτείνουν τις τεχνολογίες βασισμένες στα πρότυπα βιομηχανίας. Με τη δημιουργία ενός πεδίου δραστηριότητας ίσων ευκαιριών, τα πρότυπα δίνουν στους πελάτες μεγαλύτερη ελευθερία να επιλέξουν μεταξύ των ανταγωνιστικών πλατφορμών και λύσεων, για να προστατεύσουν τις επενδύσεις τους. Σε αυτό το περιβάλλον βιομηχανίας, οι εφευρέτες της Ericsson κατάλαβαν ότι η τεχνολογία ήταν πιθανότερο να γίνει αποδεκτή ευρέως, και θα μπορούσαν έτσι να είναι ισχυρότεροι, εάν είχε υιοθετηθεί από μια ομάδα βιομηχανίας που θα μπορούσε να παραγάγει μια ανοικτή, κοινή προδιαγραφή. Στις αρχές του 1998, οι κύριες επιχειρήσεις στις βιομηχανίες υπολογισμού και τηλεπικοινωνιών διαμόρφωσαν το Bluetooth SIG για να εστιάσουν να αναπτύξουν ακριβώς μια τέτοια ανοικτή προδιαγραφή. Οι ιδρυτικές επιχειρήσεις των SIG είναι η Ericsson, η εταιρία της Intel, οι διεθνείς μηχανές γραφείου (IBM), η εταιρία της Nokia και η εταιρία Toshiba. Αυτές οι εταιρίες διαμόρφωσαν την αρχική βασική ομάδα (γνωστή ως επιχειρήσεις υποστηρικτών) της SIG. Η SIG αναγγέλθηκε δημόσια το Μάιο του 1998 με έναν χάρτη για να παραγάγουν μια ανοικτή προδιαγραφή για το υλικό και το λογισμικό που θα προωθούσαν για όλα τα είδη συσκευών. Αν και τα ανοικτά πρότυπα μπορούν να είναι αρκετά συμφέροντα, ένα πιθανό μειονέκτημα των οργανισμών προτύπων, των κοινοπραξιών, των ειδικών ομάδων ενδιαφέροντος και των παρόμοιων οργανώσεων είναι ότι τείνουν να γίνουν ανεπαρκείς σε σύγκριση με τις προσπάθειες μιας ενιαίας-επιχείρησης. Μέσα σε μια ενιαία επιχείρηση υπάρχει συχνά ένας πρωταρχικός στόχος για τη νέα τεχνολογία. Σε μια προσπάθεια πολυ-επιχείρησης, κάθε συμμετέχων μπορεί να έχει διαφορετικό, ίσως ακόμη και ανταγωνιστικό στόχο. Ακόμη και με τους σύγχρονους τρόπους ανταλλαγής πληροφοριών, όπως το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, οι αλληλεπιδράσεις ομάδας είναι ακόμα πιθανό να είναι πιο αποδοτικές μέσα σε μια ενιαία οργάνωση σε όλη την ομάδα που αποτελείται από πολλές οργανώσεις (ειδικά όταν εκείνες οι οργανώσεις είναι γεωγραφικά διαφορετικές, όπως συμβαίνει για τα μέλη των SIG - τηλεφωνικών κλήσεων, παραδείγματος χάριν, πρέπει να λάβουν υπόψη το γεγονός ότι οι συγκεκριμένοι άνθρωποι κατοικούν σε ζώνες με την ίδια τοπική ώρα, με ελάχιστη ή καμία επικάλυψη των τυπικών ωρών εργασίας ή ακόμα και ξυπνήματος. Για να υπερνικήσουν μερικά από αυτά τα πιθανά μειονεκτήματα, τα SIG σκόπιμα δημιουργήθηκαν με έναν μικρό αριθμό επιχειρήσεων στη γρήγορη ανάπτυξη της προδιαγραφής που ήταν πρόθυμες να χρησιμοποιήσουν τους απαραίτητους πόρους για να το ολοκληρώσουν.

## II. Πρόοδος SIG

Δεδομένου ότι η προδιαγραφή εξελίχθηκε και η συνειδητοποίηση της τεχνολογίας και των SIG αυξήθηκε, πολλές άλλες επιχειρήσεις συμμετείχαν στη SIG. Οι συμμετέχοντες έχουν δικαίωμα σε προνομιακή άδεια για να παραγάγουν τα προϊόντα ασύρματης επικοινωνίας Bluetooth που σχετίζονται με την προδιαγραφή. Σήμερα υπάρχουν περισσότερα από 2.400 μέλη των SIG, αντιπροσωπεύοντας τον ακαδημαϊκό κόσμο και τις βιομηχανίες όπως τα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης, αυτοκίνητα, τηλεπικοινωνίες και πολλούς άλλους. Ο αρχικός στόχος των SIG ήταν να αναπτυχθεί, όσο το δυνατόν γρηγορότερα, μια ανοικτή προδιαγραφή που ήταν αρκετά πλήρης για να επιτρέψει τις εφαρμογές. Οργανώνοντας προσεκτικά τη SIG και χρησιμοποιώντας τις συχνές προσωπικές συνεδριάσεις που συμπληρώθηκαν από ακόμη και τις συχνότερες κλήσεις διασκέψεων και τις ανταλλαγές ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, τα SIG παρήγαγαν μια λεπτομερή προδιαγραφή (μαζί, τον τόμο 1 προδιαγραφής πυρήνων και τον τόμο 2 σχεδιαγράμματα πάνω από 1.500 σελίδες) περίπου στο ενάμιση χρόνο (η έκδοση 1.0 της προδιαγραφής, συμπεριλαμβανομένων των σχεδιαγραμμάτων, δημοσιεύθηκε τον Ιούλιο του 1999). Αρχικά, η SIG οργανώθηκε σε διάφορες ομάδες εργασίας, κάθε ένας με μια εστίαση σε ένα συγκεκριμένο μέρος της τεχνολογίας ή σε κάποια ενισχυτική υπηρεσία. Αυτές οι ομάδες εργασίας περιλάμβαναν:

- ✓ ομάδα εργασίας εναέριων διασυνδέσεων, η οποία εστίασε στα στρώματα βασικής μπάντας (base band) και βασικών ζωνών
- ✓ ομάδα εργασίας λογισμικού, η οποία ανέπτυξε την προδιαγραφή για τη λίστα πρωτοκόλλου
- ✓ ομάδα εργασίας διαλειτουργικότητας, η οποία εστίασε στα σχεδιαγράμματα
- ✓ ομάδα εργασίας συμμόρφωσης, που καθόρισε τη δοκιμή, τη συμμόρφωση και τη διαδικασία πιστοποίησης
- ✓ νομική ομάδα εργασίας, η οποία διαχειρίστηκε τα Νομικά Θέματα των SIG όπως οι συμφωνίες ιδιότητας μέλους και πνευματικής ιδιοκτησίας και
- ✓ εμπορική ομάδα εργασίας, η οποία προώθησε την τεχνολογία και βοήθησε να παραγάγει τις απαιτήσεις μάρκετινγκ που η προδιαγραφή επρόκειτο να εξετάσει.

Μερικές από τις μεγαλύτερες ομάδες εργασίας, όπως η ομάδα εργασίας λογισμικού, διαιρέθηκαν περαιτέρω σε στρατιωτική δύναμη που εστιάζει σε ένα ιδιαίτερο στρώμα της λίστας πρωτοκόλλου Bluetooth. Ο συντονισμός όλων αυτών των ομάδων εργασίας και η κυβέρνηση των γενικών SIG ήταν μια διαχειριστική επιτροπή προγράμματος που αποτελείται από τους ψηφίζοντες αντιπροσώπους από κάθε μια από τις διαφημιζόμενες επιχειρήσεις. Κατά τη διάρκεια ενάμιση έτους που τα SIG ανέπτυσαν την προδιαγραφή έκδοσης 1.0, οι ομάδες εργασίας και η στρατιωτική δύναμη διεύθυναν την επιχείρησή τους και μαζί και χωριστά. Οι πλήρεις συνεδριάσεις της ομάδας εργασίας (και μερικές φορές πλήρης SIG) πραγματοποιούνταν κάθε λίγες εβδομάδες και συχνά φιλοξενούνταν από τις επιχειρήσεις υποστηρικτών στις θέσεις όπου εργάστηκαν πολλά μέλη από το προσωπικό τους. Περιλάμβαναν τη Ericsson's Lund, τη Sweden facility, την Intel's Chandler, το εργαστήριο λογισμικού της Αριζόνα, στο ερευνητικό πάρκο της IBM, βόρεια Καρολίνα και Hawthorne, Νέα Υόρκη και της Nokia στο Tampere στη Φινλανδία. Οι περισσότερες ομάδες εργασίας και η στρατιωτική δύναμη επίσης κράτησαν τις εβδομαδιαίες κλήσεις διασκέψεων. Επιπλέον, οι κατάλογοι διανομής ηλεκτρονικού ταχυδρομείου χρησιμοποιήθηκαν γενναϊόδωρα και ήταν στην πραγματικότητα μια αρχική μέθοδος για την επιχειρησιακή ομάδα εργασίας. Λόγω της

γεωγραφικής ποικιλομορφίας των σχετιζόμενων ανθρώπων, ήταν δύσκολο να βρεθούν αμοιβαία κατάλληλοι χρόνοι για τις συχνές συνομιλίες, κατά συνέπεια το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο έγινε γρήγορα ένας κατάλληλος και ευρέως χρησιμοποιημένος τρόπος επικοινωνίας (από πολλές απόψεις επέτρεψε την ανάπτυξη προδιαγραφών εικοσιτέσσερις ώρες το εικοσιτετράωρο). Πράγματι, η επίσημη επικύρωση των τελικών εκδόσεων της προδιαγραφής, των σχεδιαγραμμάτων και των τυπογραφικών λαθών διευθύνθηκε χρησιμοποιώντας τους ανακλαστές ηλεκτρονικού ταχυδρομείου. Τον Δεκέμβριο του 1999, τέσσερις νέες επιχειρήσεις υποστηρικτών (3Com Corporation, Lucent Technologies Inc., η εταιρία της Microsoft και η Motorola, μερικές από τις οποίες είχαν τις συνεισφορές στην αρχική προδιαγραφή ως θετές επιχειρήσεις) συμπεριλήφθηκαν στη SIG. Εκείνη την περίοδο που η SIG αναδιοργανωνόταν, προσθέτοντας ένα επίπεδο ιδιότητας μέλους αποκαλούμενο «συνδυαζόμενο μέλος», καθώς επίσης και τυποποιώντας τη δομή της SIG και της διαδικασίας ανάπτυξης προδιαγραφών. Σήμερα η SIG έχει διάφορες ομάδες εργασίας, κάθε μια με το χάρτη της, μαζί με ένα συμβούλιο επιθεώρησης αρχιτεκτονικής Bluetooth (BARB) που επιτηρεί την ανάπτυξη προδιαγραφών και την υποστήριξη της διαδικασίας. Η ομάδα παραμένει πολύ ενεργός σήμερα στη διατήρηση της υπάρχουσας τεκμηρίωσης και στη δημιουργία των αυξήσεων στην προδιαγραφή, μαζί με τα νέα σχεδιαγράμματα. Μπορεί εύκολα να γίνει αντιληπτό ότι κατέβαλε μια τεράστια προσπάθεια να αναπτυχθούν πάνω από 1.500 σελίδες των σύνθετων και αναλυτικών πληροφοριών ακριβώς κατά τη διάρκεια ενός χρόνου. Για πολλούς στη SIG αυτό έγινε η πλήρης απασχόληση και εργασία τους ή τουλάχιστον μια αρχική ευθύνη. Τα ζητήματα, και τεχνικά και μη τεχνικά, προέκυψαν αναπόφευκτα και αντιμετωπίστηκαν μέσω της συζήτησης και της ψηφοφορίας όταν χρειαζόταν, αλλά γενικά η ανάπτυξη και ο καθαρισμός των σχεδιαγραμμάτων προχώρησαν κατά τρόπο υποδειγματικό.

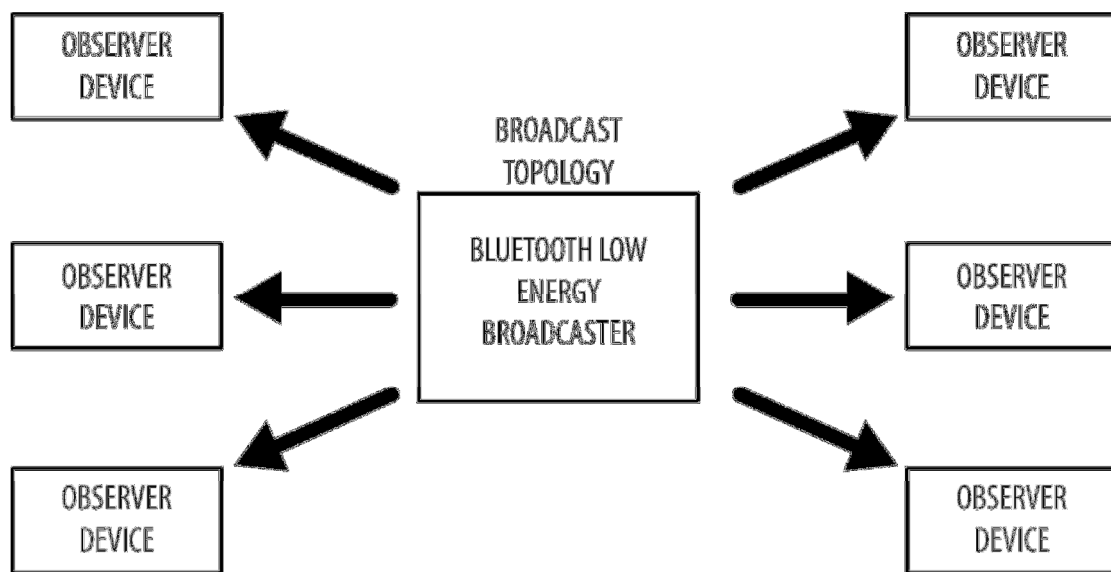
## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>**

## BLUETOOTH LOW ENERGY TOPOLOGY

### 1. NETWORK TOPOLOGY-τοπολογία δικτύου

Μια Bluetooth Low Energy συσκευή μπορεί να επικοινωνεί με τον έξω κόσμο με δύο τρόπους: μέσω εκπομπών ή συνδέσεων. Κάθε μηχανισμός έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και τους δικούς της περιορισμούς, ενώ και οι δύο υπόκεινται στις κατευθυντήριες γραμμές που καθορίζονται από την Generic Access Profile (GAP).

Χρησιμοποιώντας connectionless broadcasting, μπορούν να σταλούν τα δεδομένα σε οποιαδήποτε συσκευή σάρωσης ή δέκτη μέσα σε διάστημα ακρόασης (Όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 2). Ο μηχανισμός αυτός επιτρέπει ουσιαστικά τη μονόδρομη αποστολή δεδομένων σε οποιονδήποτε ή οτιδήποτε που έχει τη δυνατότητα λήψης των δεδομένων που μεταδίδονται.



Σχήμα 2. Broadcast topology

Το Broadcasting ορίζει δύο διακριτούς ρόλους:

Ο Broadcaster στέλνει nonconnectable πακέτα διαφήμισης με περιοδικότητα σε οποιονδήποτε είναι διατεθειμένος να τα λάβει.

Ο Παρατηρητής σαρώνει επανειλημμένα τις προκαθορισμένες συχνότητες ώστε να λάβει τα nonconnectable διαφημιστικά πακέτα τη στιγμή που μεταδίδονται.

Το Broadcasting είναι σημαντικό να κατανοηθεί, γιατί είναι ο μόνος τρόπος για να μεταδώσει μια συσκευή δεδομένα σε περισσότερα από ένα άτομα τη δεδομένη στιγμή. Η εκπομπή δεδομένων γίνεται μέσω αξιοποίησης των διαφημιστικών χαρακτηριστικών του BLE.

Το πρότυπο πακέτο διαφήμισης περιέχει ένα ωφέλιμο φορτίο 31-byte το οποίο χρησιμοποιείται για να περιλαμβάνει δεδομένα που περιγράφουν τον broadcaster και τις δυνατότητές του, αλλά μπορεί επίσης να περιλαμβάνει οποιοδήποτε προσαρμοσμένη πληροφορία δύναται να μεταδοθεί σε άλλες συσκευές. Ένα αυτό το πρότυπο ωφέλιμο φορτίο 31-byte δεν είναι αρκετά μεγάλο για να χωρέσει όλα τα απαιτούμενα στοιχεία, η BLE υποστηρίζει επίσης ένα προαιρετικό δευτερεύον διαφημιστικό payload (called the Scan Response), το οποίο επιτρέπει στις συσκευές που ανιχνεύουν μια συσκευή που εκπέμπει, να



ζητήσουν ένα δεύτερο πλαίσιο διαφήμισης με άλλο ένα 31-byte ωφέλιμου φορτίου, δηλαδή έως 62 bytes συνολικά.

Το Broadcasting είναι γρήγορο και εύκολο στη χρήση, και είναι μια καλή επιλογή αν επιθυμητό είναι να προωθηθεί μόνο μια μικρή ποσότητα δεδομένων σε ένα καθορισμένο χρονοδιάγραμμα ή σε πολλαπλές συσκευές. Ένα σημαντικό ελάττωμα των εκπομπών, σε σύγκριση με μια κανονική σύνδεση, είναι ότι δεν υπάρχουν διατάξεις ασφαλείας ή εμπιστευτικότητας καθόλου με αυτό (οποιαδήποτε συσκευή-παρατηρητής είναι σε θέση να λαμβάνει τα δεδομένα που μεταδίδονται), οπότε μπορεί να μην είναι κατάλληλο για πιο εμπιστευτικά δεδομένα.

## **Συνδέσεις**

Εάν πρέπει να διαβιβαστούν τα δεδομένα και στις δύο κατευθύνσεις, ή εάν τα δεδομένα είναι περισσότερα από όσα μπορεί να μεταδώσουν τα δύο διαφημιστικά ωφέλιμα φορτία (δηλαδή περισσότερα από 62 bytes), θα χρειαστεί να χρησιμοποιηθεί σύνδεση. Η σύνδεση είναι μια μόνιμη, περιοδική ανταλλαγή δεδομένων πακέτων μεταξύ δύο συσκευών. Επομένως, είναι εξ ορισμού ιδιωτική ανταλλαγή (τα δεδομένα αποστέλλονται και λαμβάνονται μόνο από τα δύο άτομα που εμπλέκονται στη σύνδεση, και καμία άλλη συσκευή, εκτός και εάν αυτή είναι αδιακρίτως sniffing).

Οι συνδέσεις περιλαμβάνουν δύο διακριτούς ρόλους:

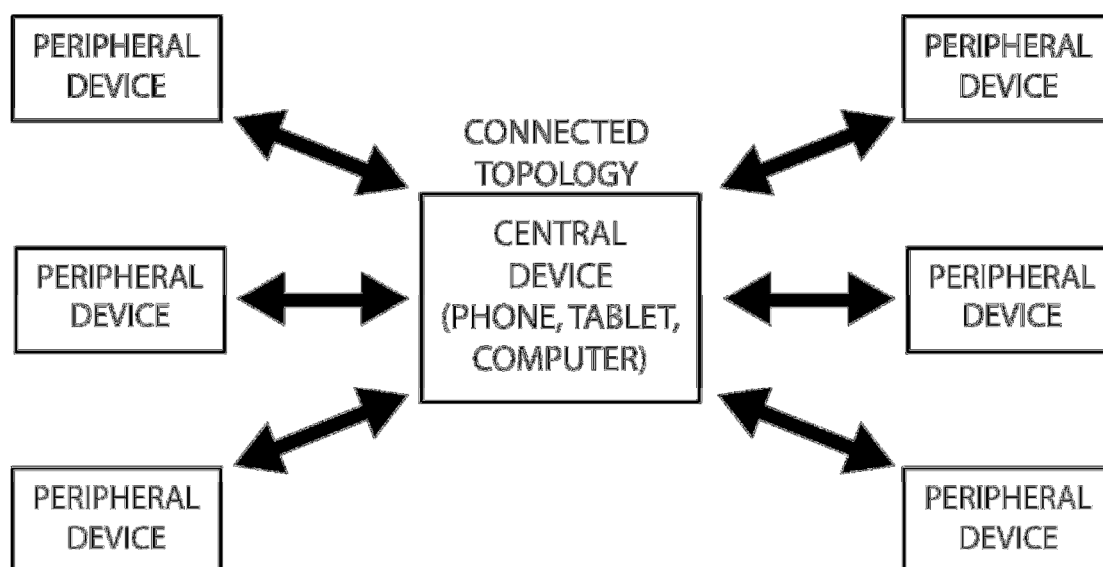
### **1. Κεντρική (master)**

Σαρώνει επανειλημμένα τις προεπιλεγμένες συχνότητες για να συνδεθούν τα διαφημιστικά πακέτα και, όταν κρίνεται κατάλληλο, ξεκινά τη σύνδεση. Μόλις πραγματοποιηθεί η σύνδεση, η κεντρική διαχειρίζεται το χρονοδιάγραμμα και αρχίζει τις περιοδικές ανταλλαγές δεδομένων.

### **2. Περιφεριακή (slave)**

Μια συσκευή που στέλνει συνδεθεί πακέτα διαφήμισης, τα οποία μπορούν να συνδεθούν, περιοδικά και δέχεται εισερχόμενες συνδέσεις. Μόλις βρεθεί σε μια ενεργή σύνδεση, η περιφεριακή ακολουθεί το χρονοδιάγραμμα της κεντρικής και ανταλλάσσει δεδομένα τακτικά με αυτή.

Για να ξεκινήσει μια σύνδεση, μια κεντρική συσκευή μαζεύει τα πακέτα διαφήμισης, που μπορούν να συνδεθούν μαζί της, από μια περιφεριακή συσκευή και στη συνέχεια στέλνει ένα αίτημα προς την περιφεριακή για τη δημιουργία μιας αποκλειστικής σύνδεσης μεταξύ των δύο συσκευών. Μόλις πραγματοποιηθεί η σύνδεση αυτή, η περιφεριακή σταματά τη διαφήμιση και οι δύο συσκευές μπορούν να αρχίσουν να ανταλλάσσουν δεδομένα και στις δύο κατευθύνσεις, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.



Σχημα 3. Connected topology

Μια σύνδεση δεν είναι επομένως τίποτα περισσότερο από την περιοδική ανταλλαγή δεδομένων σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές (connection events) μεταξύ των δύο εκτελεστών που εμπλέκονται σε αυτό. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, αν και η κεντρική είναι η συσκευή που διαχειρίζεται την εγκατάσταση της σύνδεσης, τα δεδομένα μπορούν να σταλούν ανεξάρτητα από οποιαδήποτε συσκευή κατά τη διάρκεια κάθε σύνδεσης, και οι ρόλοι δεν επιβάλλουν περιορισμούς στη διακίνηση δεδομένων ή την προτεραιότητα της διακίνησης αυτής.

Ξεκινώντας με την έκδοση 4.1 των προδιαγραφών, τυχόν περιορισμούς όσον αφορά τους συνδυασμούς των ρόλων έχουν αφαιρεθεί, και όλα τα ακόλουθα είναι δυνατά:

- Μια συσκευή μπορεί ταυτόχρονα να λειτουργήσει ως κεντρική και περιφεριακή συσκευή.
- Μια κεντρική μπορεί να συνδεθεί με πολλαπλά περιφεριακά.
- Μια περιφεριακή μπορεί να συνδεθεί σε πολλαπλές κεντρικές.

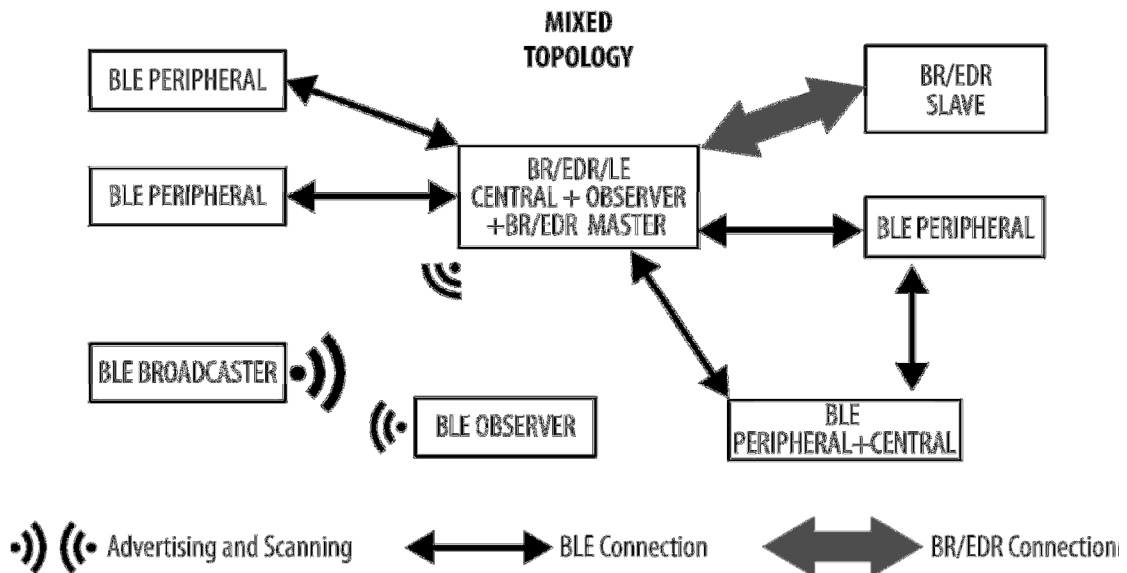
Οι προηγούμενες εκδόσεις περιείχαν διαφορετικές προδιαγραφές που περιόριζαν την περιφεριακή σε μια ενιαία κεντρική σύνδεση (αν και όχι αντίστροφα) και περιόριζε τους συνδυασμούς των ρόλων.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των συνδέσεων, σε σύγκριση με τις broadcasting, είναι η ικανότητα να οργανώσουν τα δεδομένα με πολύ ευαίσθητο έλεγχο σε κάθε τομέα ή επίπεδο μέσω της χρήσης των επιπλέον στρωμάτων πρωτοκόλλου και, πιο συγκεκριμένα, το Generic Attribute Profile (GATT). Τα δεδομένα είναι οργανωμένα γύρω από μονάδες οι οποίες καλούνται υπηρεσίες και χαρακτηριστικά. Αξιοσημείωτο είναι ότι μπορούν να υπάρξουν πολλαπλές υπηρεσίες και χαρακτηριστικά, τα οποία οργανώνονται σε μια ουσιαστική δομή. Οι υπηρεσίες μπορεί να περιέχουν πολλαπλά χαρακτηριστικά, το καθένα με τη δική τους πρόσβαση και τα δικά τους περιγραφικά μεταδεδομένα. Πρόσθετα πλεονεκτήματα περιλαμβάνουν υψηλότερη απόδοση, την ικανότητα να δημιουργήσει μια ασφαλή κρυπτογραφημένη σύνδεση, και την διαπραγμάτευση των παραμέτρων της σύνδεσης για να ταιριάζει με το μοντέλο δεδομένων.

Οι συνδέσεις επιτρέπουν τη δημιουργία ενός πολύ πιο πλούσιου, πολυεπίπεδου μοντέλου δεδομένων. Έχουν επίσης τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν πολύ λιγότερη ενέργεια από όση

στην broadcast mode κατάσταση, επειδή μπορούν να επεκτείνουν την καθυστέρηση μεταξύ των συνδέσεων, ή να πιέσουν μεγάλα κομμάτια των δεδομένων έξω μόνο όταν νέες τιμές είναι διαθέσιμες, αντί να χρειάζεται να διαφημίζουν συνεχώς το πλήρες ωφέλιμο φορτίο σε συγκεκριμένη συχνότητα χωρίς να είναι γνωστό ποιος ακούει ή πόσο συχνά. Όχι μόνον αυτό, αλλά και το γεγονός ότι και οι δύο χρήστες γνωρίζουν πότε πρόκειται τα γεγονότα σύνδεσης να λάβουν χώρα στο μέλλον, επιτρέπει στο radio να απενεργοποιηθεί για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα, ενδεχομένως για μεγαλύτερη εξοικονόμηση ενέργειας της μπαταρίας σε σύγκριση με το broadcasting.

Τέλος, αυτές οι τοπολογίες μπορούν να αναμιχθούν ελεύθερα σε ένα ευρύτερο BLE δίκτυο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4. Μια BR / EDR / LE-ικανή συσκευή μπορεί να γεφυρώσει μαζί BLE και BR / EDR συνδέσεις, και ο αριθμός των συνδυασμών και των συμμετεχόντων στο δίκτυο περιορίζεται μόνο από τους περιορισμούς του radio και των πρωτοκόλλων της κάθε συσκευής λήψης που παίρνει μέρος σε αυτό.



Σχήμα 4. Μικτή τοπολογία

Οι πιο προηγμένες συσκευές dual-mode και single-mode αρχίζουν να εμφανίζονται, οι οποίες είναι σε θέση να συνδυάζουν πολλαπλούς ρόλους ταυτόχρονα. Αυτό τους επιτρέπει να συμμετέχουν σε διάφορες συνδέσεις σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή ενώ παράλληλα χρησιμοποιείται advertising για να γίνει εκπομπή δεδομένων.

## 1. DATA THROUGHPUT

Το ποσοστό διαμόρφωσης του Bluetooth Low Energy radio καθορίζεται από την προδιαγραφή σταθερά σε 1Mbps . Αυτό θέτει το θεωρητικό ανώτατο όριο που μπορεί να παρέχει ο BLE προς μεταγωγή, αλλά σε πραγματικούς όρους, το όριο αυτό είναι συνήθως σημαντικά χαμηλότερο εξαιτίας μιας ποικιλίας παραγόντων, οι οποίοι περιλαμβάνουν, αλλά δεν περιορίζονται σε, αμφίδρομη κίνηση, το protocol overhead, CPU και περιορισμούς του radio, όπως και τεχνητούς περιορισμούς λογισμικού.

Ως επίδειξη κάποιων από αυτούς τους πρακτικούς περιορισμούς, εξετάστε τις ακόλουθες βασικές προϋποθέσεις για τον υπολογισμό θα χρησιμοποιήσουμε:

- μια κεντρική (master) συσκευή έχει ξεκινήσει και έχει καθιερώσει μια σύνδεση με μια περιφερειακή (slave) συσκευή.

- Ενώ βρίσκεστε σε μια ενεργή σύνδεση, η προδιαγραφή ορίζει το διάστημα σύνδεσης να είναι το διάστημα μεταξύ δύο διαδοχικών γεγονότων σύνδεσης (μία ανταλλαγή δεδομένων πριν ξαναμπεί σε κατάσταση αδράνειας για εξοικονόμηση ενέργειας), και σε αυτό το διάστημα η σύνδεση μπορεί να ρυθμιστεί σε μια τιμή μεταξύ 7,5 ms και 4 s .

Για αυτό το παράδειγμα, θα χρησιμοποιήσουμε το nRF51822, ένα ευρέως διαθέσιμο SoC (σύστημα σε chip) BLE IC που κατασκευάζεται από τη Nordic Semiconductor που χρησιμοποιείται σε μια ποικιλία αξεσουάρ του BLE στην αγορά. Nordic's radio hardware και BLE stack καθιερώνουν τους ακόλουθους περιορισμούς στη μεταφορά δεδομένων:

- το nRF51822 μπορεί να μεταδώσει μέχρι και έξι πακέτα δεδομένων ανά χρονικό πλαίσιο (που περιορίζεται από το IC).

- κάθε εξερχόμενο πακέτο δεδομένων μπορεί να περιέχει μέχρι 20 bytes των δεδομένων του χρήστη (που καθορίζεται από τις ήδη εγκατεστημένες προδιαγραφές εκτός εάν αφορούν πακέτα με υψηλότερα μεγέθη).

Υποθέτοντας ότι το μικρότερο χρονικό διάστημα σύνδεσης (η συχνότητα με την οποία ο master και ο slave ανταλλάσσουν τα πακέτα των 7,5 ms, αυτό παρέχει κατ'ανώτατο όριο 133 εκδηλώσεις σύνδεσης (μία ενιαία ανταλλαγή πακέτων μεταξύ των δύο χρηστών) ανά δευτερόλεπτο και 120 byte ανά περίπτωση σύνδεσης (6 πακέτα \* 20 bytes χρήστη ανά πακέτο).

Εάν, λοιπόν, μεταδίδει συνεχώς στο μέγιστο ρυθμό δεδομένων του nRF51822 θα μπορούσε να προκύψει ο ακόλουθος πραγματικός υπολογισμός:

$133 \text{ εκδηλώσεις σύνδεσης ανά δευτερόλεπτο} \times 120 \text{ bytes} = 15.960 \text{ bytes} / \text{s}$  ή  $\sim 0,125 \text{ Mbit/s}$  ( $\sim 125 \text{ kbit/s}$ )

Αυτό είναι ήδη σημαντικά χαμηλότερο από το θεωρητικό μέγιστο των BLE, αλλά η ομολογη συσκευή στην οποία προωθούνται δεδομένα (συνήθως μια smart συσκευή, όπως ένα smartphone ή ένα tablet) μπορεί να προσθέσει περαιτέρω περιορισμούς.

Το smartphone ή το tablet μπορεί επίσης να είναι απασχολημένο επικοινωνώντας με άλλες συσκευές, και οι vendor-implemented BLE stacks έχουν αναπόφευκτα τους δικούς τους περιορισμούς, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι η κεντρική συσκευή δεν μπορεί στην πραγματικότητα να είναι σε θέση να χειριστεί τα δεδομένα με το μέγιστο ρυθμό. Έτσι, λοιπόν, λόγω και πολλαπλών άλλων παραγόντων, η σύνδεση στην πραγματικότητα μπορεί να εκτελείται διαφορετικά από ό, τι είχε αρχικά προγραμματιστεί.

Έτσι, στην πράξη, ένα τυπικό σενάριο στην καλύτερη περίπτωση θα πρέπει να αναλάβει κατά πάσα πιθανότητα μια πιθανή μέγιστη μετάδοση δεδομένων των 5-10 KB ανά δευτερόλεπτο, ανάλογα και με τους περιορισμούς των δύο χρηστών.

## 1. GENERAL ADVERTISING PACKETS

### GATT Attribute Data in Advertising Packets

Αν και η GATT βασίζεται κυρίως σε καθιερωμένες συνδέσεις μεταξύ μιας κεντρικής και μιας περιφερειακή συσκευής, είναι επίσης δυνατό να περιλαμβάνουν τμήματα των πληροφοριών που φυλάσσονται από το διακομιστή μέσα σε πακέτα advertising, καθιστώντας τα

χαρακτηριστικά που διαθέτει διαθέσιμα σε κάθε παρατηρητή ή central κατά τη διάρκεια της σάρωσης.

Όπως φαίνεται στον πίνακα 1, για να είναι σε θέση να μεταδίδει δεδομένα υπηρεσίας, ένας διακομιστής GATT πρέπει να περιλαμβάνει δύο διαφορετικά πεδία στην ενότητα Υπηρεσία Δεδομένων του advertising πακέτου.

Field	Length in bytes	Description
UUID	2, 4, or 16	The actual UUID identifying the data
Service Data	Variable	The data associated with the service identified by the UUID

Πίνακας 1. Service Data AD Type

Τα περιεχόμενα του Service Data field μπορεί να αντιστοιχεί στην πλήρη ή μερική αξία ενός συγκεκριμένου χαρακτηριστικού ή ενός περιγραφέα εντός της αντίστοιχης υπηρεσίας. Είναι στην αρμοδιότητα κάθε μεμονωμένου προφίλ να προσδιορίσει τα χαρακτηριστικά, διότι μόνο το προφίλ έχει επαρκή γνώση σχετικά με τα δεδομένα για να αποφασίσει ποια κομμάτια των πληροφοριών είναι τα καταλληλότερα για να μεταδοθούν.

#### **Χαρακτηριστικά**

Τα χαρακτηριστικά της GATT είναι αυστηρά καθορισμένες διαδικασίες που επιτρέπουν να λάβει χώρα η ανταλλαγή δεδομένων της GATT. Είναι όλα με βάση τις διαφορετικές λειτουργίες που παρέχει η ATT. Σε κάποιο βαθμό, τα περισσότερα από τα χαρακτηριστικά που αναφέρονται στο παρόν κεφάλαιο εκτίθενται με τον ένα ή τον άλλο τρόπο σε APIs της GATT. Ο διακομιστής της GATT, APIs, προσέθεσε τη δυνατότητα να ενισχύεται ο server με ιδιότητες, αλλά αυτή η δυνατότητα είναι σε μεγάλο βαθμό εξαρτημένη από την εφαρμογή και πέραν από το πεδίο εφαρμογής της εργασίας αυτής.

#### **Ανταλλαγή MTU**

Αυτή η συνοπτική two-packet διαδικασία επιτρέπει σε κάθε ομότιμο ATT να γνωστοποιήσει στον άλλο τη μέγιστη μονάδα μετάδοσης (MTU, ή αποτελεσματικό μέγιστο μήκος πακέτου) που μπορεί να χωρέσει σε αυτή ρυθμιστικά και ως εκ τούτου μπορεί να δεχθεί.

Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιείται μόνο όταν είτε ο πελάτης είτε ο εξυπηρετητής (ή αμφότερα) μπορεί να χειριστεί το MTU περισσότερο χρονικό διάστημα από το προεπιλεγμένο ATT\_MTU των 23 bytes και θέλει να ενημερώσει τον άλλο χειριστή ότι αυτό μπορεί να στείλει πακέτα για περισσότερο χρόνο από τις προεπιλεγμένες τιμές που απαιτεί η προδιαγραφή. Η L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol) στη συνέχεια θα κατακερματίσει αυτά τα μεγαλύτερα πακέτα σε μικρότερα Link Layers πακέτα και θα τα ανασυνθέσει από αυτά.

#### **Service and Characteristic Discovery –Εύρεση υπηρεσιών και χαρακτηριστικών**

Ο πελάτης δεν έχει καμία γνώση σχετικά με τις ιδιότητες που θα μπορούσαν να υπάρξουν σε ένα GATT διακομιστή όταν πρωτο-συνδέεται με αυτό. Συνεπώς, είναι απαραίτητο για τον πελάτη να ξεκινήσει εκτελώντας μια σειρά από ανταλλαγές πακέτων για τον προσδιορισμό του μεγέθους, τον τύπο και τη φύση όλων των χαρακτηριστικών που μπορεί να έχουν

ενδιαφέρον. Οι διαδικασίες σε αυτή την κατηγορία μπορούν, σε ορισμένες περιπτώσεις βέβαια, να παραλειφθούν.

Για τις πρωταρχικές service discovery, η GATT προσφέρει τις δύο παρακάτω επιλογές:

#### **Εύρεση όλων των πρωταρχικών υπηρεσιών**

Χρησιμοποιώντας αυτή τη λειτουργία, οι πελάτες αποκτούν έναν πλήρη κατάλογο όλων των πρωταρχικών υπηρεσιών (ανεξαρτήτως της UUIDs υπηρεσίας) από τον απομακρυσμένο διακομιστή. Αυτό χρησιμοποιείται συνήθως όταν ο πελάτης υποστηρίζει περισσότερες από μία υπηρεσίες και, ως εκ τούτου απαιτεί να ενημερωθεί για την πλήρη υποστήριξη της υπηρεσίας από την πλευρά του διακομιστή. Επειδή ο πελάτης μπορεί να καθορίσει μια handle range όταν γίνεται η απαίτηση, θα πρέπει να οριστεί 0x0001-0xFFFF ως handle range για την εφαρμογή αυτής της δυνατότητας, που καλύπτει όλο το φάσμα των ιδιοτήτων του διακομιστή.

#### **Εύρεση των πρωταρχικών υπηρεσιών μέσω της UUID υπηρεσίας**

Κάθε φορά που ο πελάτης ξέρει ποια υπηρεσία αναζητά (συνήθως επειδή υποστηρίζει μόνο μια single υπηρεσία), μπορεί απλά να ψάξει για όλες τις μορφές μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας που χρησιμοποιεί αυτό το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό μαζί με την απαίτηση να καθοριστεί η handle range στο 0x0001-0xFFFF.

Κάθε μία από αυτές τις διαδικασίες αποδίδει handle ranges που αναφέρονται στα χαρακτηριστικά που ανήκουν σε μια ενιαία υπηρεσία. Η ανακάλυψη όλων των χαρακτηριστικών των πρωτογενών υπηρεσιών επίσης βοηθά στην απόκτηση της ατομικής UUIDs υπηρεσίας.

Όταν ο πελάτης έχει ήδη βρει τις υπηρεσίες στον διακομιστή, μπορεί να προχωρήσει στην εκτέλεση της relationship discovery (η ανακάλυψη δηλαδή τυχόν περιλαμβανόμενων υπηρεσιών) με το ακόλουθο στοιχείο:

#### **Βρείτε τις περιλαμβανόμενες υπηρεσίες**

Αυτό επιτρέπει στον πελάτη να θέσει υπό αμφισβήτηση τον διακομιστή σχετικά με τις υπηρεσίες που περιλαμβάνονται στο πλαίσιο μιας υπηρεσίας.

Το handle range που παρέχεται σε ένα τέτοιο ερώτημα αναφέρεται στα όρια μιας ήδη υπάρχουσας υπηρεσίας, τα οποία όρια συγκεντρώθηκαν προηγουμένως μέσω της service discovery. Όπως και με την ανακάλυψη των υπηρεσιών, ο πελάτης λαμβάνει, επίσης, μια σειρά από handle ranges, μαζί με UUIDs όταν αυτό είναι εφικτό.

Στο επίπεδο της characteristic discovery, η GATT προσφέρει τις ακόλουθες επιλογές:

#### **• Εύρεση άλυση όλων των χαρακτηριστικών μιας υπηρεσίας**

Μόλις ο πελάτης λάβει το handle range για την υπηρεσία που μπορεί να τον ενδιαφέρει, μπορεί στη συνέχεια να προχωρήσει ώστε να αποκτήσει έναν πλήρη κατάλογο των χαρακτηριστικών της. Η μόνη οδός είναι η handle range, και σε αντάλλαγμα, ο διακομιστής επιστρέφει τόσο το handle όσο και την αξία της δήλωσης των χαρακτηριστικών που περικλείονται εντός αυτής της υπηρεσίας.

#### **• Εύρεση των χαρακτηριστικών μέσω UUID**

Αυτή η διαδικασία είναι όμοια με την προηγούμενη, εκτός του ότι ο πελάτης απορρίπτει όλες τις απαντήσεις που δεν ταιριάζουν με το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό στο οποίο στοχεύει η UUID. Εφόσον καθοριστούν τα όρια (σε σχέση με τα handles) ενός χαρακτηριστικού στόχου, ο πελάτης μπορεί πλέον να προχωρήσει στην characteristic descriptor discovery:

#### **• Εύρεση όλων των χαρακτηριστικών περιγραφών**

Πλέον με την κατοχή μιας σειράς handle ranges και UUIDs για ορισμένα ή για όλα τα χαρακτηριστικά σε μια υπηρεσία, ο πελάτης μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτή την ιδιότητα για να ανακαλύψει όλους τους περιγραφείς σε ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Ο διακομιστής απαντά με μια λίστα των UUID και των handle ζευγαριών για τις διάφορες δηλώσεις περιγραφέων.

Όλα τα χαρακτηριστικά αυτά μπορούν να πραγματοποιηθούν μέσω ανοικτών, μη ασφαλών συνδέσεων, επειδή η ανακάλυψη επιτρέπεται για όλους τους πελάτες, χωρίς κανένα περιορισμό.

### **Reading Characteristics and Descriptors. Ανάγνωση χαρακτηριστικών και περιγραφέα**

Για να αποκτήσει την τρέχουσα τιμή της αξίας ενός χαρακτηριστικού του περιγραφέα, ο πελάτης έχει τις εξής επιλογές:

- **Ανάγνωση της χαρακτηριστικής τιμής ή του περιγραφέα**

Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την απλή ανάγνωση των περιεχομένων μιας χαρακτηριστικής τιμής ή ενός περιγραφέα χρησιμοποιώντας το handle του. Μόνο τα πρώτα ATT\_MTU-1 bytes των περιεχομένων μπορούν να διαβαστούν, γιατί αυτός είναι ο μέγιστος αριθμός των bytes που μπορούν να χωρέσουν στο συνολικό πακέτο απόκρισης (1 byte είναι δεσμευμένο για τον ATT κώδικα).

- **Ανάγνωση long χαρακτηριστικής τιμής ή περιγραφέα**

Εάν η τιμή είναι πολύ μεγάλη για να διαβαστεί με την προηγούμενη λειτουργία, αυτό το χαρακτηριστικό περιλαμβάνει ένα offset μαζί με το handle στην αίτηση, έτσι ώστε η χαρακτηριστική τιμή ή τα περιεχόμενα του περιγραφέα να μπορούν να διαβαστούν σε διαδοχικά κομμάτια. Πολλαπλές αίτησης / αποκρίσεις ανά ζεύγη μπορεί να απαιτούνται, ανάλογα με το μέγεθος της τιμής του χαρακτηριστικού που διαβάζεται.

Επιπλέον, και εφαρμόσιμο μόνο στις χαρακτηριστικές τιμές, αυτά τα χαρακτηριστικά είναι διαθέσιμα:

- **Ανάγνωση χαρακτηριστικών τιμών με τη χρήση του χαρακτηριστικού UUID**

Κάθε φορά που ένας πελάτης δε γνωρίζει τα ειδικά handles για τα χαρακτηριστικά που ενδιαφέρεται, μπορεί να διαβάσει τις τιμές όλων των χαρακτηριστικών ενός συγκεκριμένου τύπου. Ο πελάτης παρέχει απλώς μια ποικιλία των handles και ένα UUID και λαμβάνει μια σειρά από τιμές των χαρακτηριστικών που περιλαμβάνονται σε αυτό το εύρος.

- **Ανάγνωση πολλαπλών χαρακτηριστικών τιμών**

Αντιστρόφως, εάν ένας πελάτης έχει ήδη τα handles από τα οποία θέλει να υπολογίσει την τιμή από ένα σύνολο χαρακτηριστικών, μπορεί στη συνέχεια να στείλει αίτημα με αυτό το σύνολο των handles και έπειτα να λάβει τις τιμές για όλα τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά.

Η ανάγνωση των χαρακτηριστικών και των περιγραφέων υπόκειται στην ελαστικότητα της ασφάλειας και ο server μπορεί να αρνηθεί την άδεια, εάν το επίπεδο ασφάλειας της σύνδεσης δεν ταιριάζει με τις καθιερωμένες απαιτήσεις.

- **Εγγραφή των χαρακτηριστικών και των περιγραφών**

Για να γραφτεί η τιμή της αξίας ενός χαρακτηριστικού ή ενός περιγραφέα, ο πελάτης έχει τις ακόλουθες επιλογές:

- **Εγγραφή της χαρακτηριστικής τιμής ή του περιγραφέα**

Αυτή η λειτουργία χρησιμοποιείται για τη γραφή σε μια χαρακτηριστική τιμή ή σε ένα χαρακτηριστικό περιγραφέα. Ο πελάτης παρέχει το handle και τα περιεχόμενα της τιμής (έως ATT\_MTU-3 bytes, επειδή το handle και ο κωδικός λειτουργίας ATT περιλαμβάνονται στο πακέτο μαζί με τα δεδομένα) και ο διακομιστής θα αναγνωρίσει τη λειτουργία εγγραφής με μια απάντηση.

- **Εγγραφή μακροσκελούς χαρακτηριστικής τιμής ή μακροσκελούς περιγραφέα**

Παρόμοια με την ανάγνωση μεγάλης χαρακτηριστικής αξίας ή μεγάλου περιγραφέα, αυτό επιτρέπει σε έναν πελάτη να γράψει περισσότερα από ATT\_MTU-3 byte δεδομένων σε χαρακτηριστική τιμή ενός διακομιστή ή σε περιγραφέα. Λειτουργεί τοποθετώντας στην ουρά αρκετές προετοιμασίες των λειτουργιών γραφής, καθεμία από τις οποίες περιλαμβάνει offset και τα ίδια τα δεδομένα, και στη συνέχεια γράφονται όλα αυτά ατομικά με μια εκτελεστική λειτουργία εγγραφής.

Επιπλέον, και ισχύει μόνο για τις χαρακτηριστικές τιμές, τα στοιχεία αυτά είναι διαθέσιμα:

Εγγραφή χωρίς ανταπόκριση. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι ισοδύναμο με το αντίθετο των κοινοποιήσεων και χρησιμοποιεί Write Command packets. Write Commands είναι μη αναγνωρίσιμα πακέτα που περιλαμβάνουν ένα handle και μια τιμή, και μπορούν να αποσταλούν οποιαδήποτε στιγμή και σε οποιαδήποτε ποσότητα χωρίς να παρεμβάλλεται κανένας μηχανισμός ελέγχου ροής (με εξαίρεση φυσικά για τον εγγενή Link Layer flow control, δεδομένου ότι το σύνολο της κίνησης υπόκειται σε αυτό). Ο server είναι ελεύθερος να τα απορρίψει αθόρυβα εάν δε μπορεί να τα επεξεργαστεί ή εάν ο έλεγχος αποτρέπει την αποδοχή τους. Ο πελάτης δε θα ενημερωθεί ποτέ, αλλά αυτό το γεγονός αποτελεί αμοιβαία συμφωνία. Ο μόνος τρόπος για να μάθει ο πελάτης εάν η τιμή ήταν εγγεγραμμένη είναι η ανάγνωσή της έπειτα από το γεγονός.

#### **Αξιόπιστες εγγραφές**

Παρόμοια με την ανάγνωση πολλαπλών χαρακτηριστικών τιμών, όταν ο πελάτης επιθυμεί να θέσει σε σειρά τις λειτουργίες της εγγραφής σε πολλαπλές χαρακτηριστικές τιμές, εκδίδει ένα τελικό πακέτο ώστε να εκτελεστούν οι λειτουργίες εγγραφής που βρίσκονται σε εκκρεμότητα.

Η εγγραφή των χαρακτηριστικών και των περιγραφών υπόκειται στις άδειες της επιλεγμένης ασφάλειας και ο server μπορεί να αρνηθεί την άδεια, εάν το επίπεδο ασφάλειας της σύνδεσης δεν ταιριάζει με τις καθιερωμένες απαιτήσεις.

Ενημερώσεις που εκκινούνται από τον διακομιστή Οι ενημερώσεις οι οποίες ξεκινούν από το διακομιστή είναι τα μόνα ασύγχρονα (δηλαδή, όχι ως απάντηση στο αίτημα του πελάτη) πακέτα που μπορούν να ρέουν από το διακομιστή στον πελάτη. Αυτές οι ενημερώσεις αποστέλλουν έγκαιρες προειδοποιήσεις για τις αλλαγές που υπόκειται μια χαρακτηριστική αξία, χωρίς ο πελάτης να χρειάζεται να τις αναζητεί τακτικά, εξοικονομώντας μπαταρία και bandwidth.

**Υπάρχουν δύο τύποι server-initiated ενημερώσεις:**



### **Notification χαρακτηριστικής τιμής**

Τα Notifications είναι πακέτα που περιλαμβάνουν το handle μιας χαρακτηριστικής αξίας μαζί με την τρέχουσα τιμή του. Ο πελάτης τα παραλαμβάνει και μπορεί να επιλέξει πώς θα ενεργήσει, αλλά δεν αποστέλλει στον server απάντηση για να επιβεβαιώσει την υποδοχή.

Σε συνδυασμό με την εγγραφή χωρίς απάντηση, αυτό είναι το μόνο άλλο πακέτο που δεν συμμορφώνεται με το πρότυπο αίτησης / απόκρισης του μηχανισμού flow control σε ATT, καθώς ο διακομιστής μπορεί να στείλει οποιοδήποτε αριθμό των notification αυτών, ανά πάσα στιγμή. Αυτό το χαρακτηριστικό χρησιμοποιεί το handle value notification (HVN) ATT πακέτο.

### **Ένδειξη χαρακτηριστικής τιμής**

Οι ενδείξεις, από την άλλη πλευρά, ακολουθούν την ίδια μορφή handle / αξία, αλλά απαιτούν ρητή αναγνώριση από τον πελάτη με τη μορφή της επιβεβαίωσης. Σημειώνεται ότι παρόλο που ο διακομιστής δε μπορεί να στείλει περαιτέρω ενδείξεις (ακόμη και για διαφορετικά χαρακτηριστικά) μέχρις ότου να λάβει επιβεβαίωση από τον πελάτη (επειδή ρέει προς την αντίθετη κατεύθυνση από ό,τι οι συνηθισμένες αιτήσεις / απαντήσεις), μια επικείμενη επιβεβαίωση δεν επηρεάζει πιθανά αιτήματα που ο πελάτης μπορεί να αποστείλει στο αναμεταξύ. Αυτή η λειτουργία χρησιμοποιεί τις handle value indication (HVI) και handle value confirmation (HVC) σε ATT πακέτα. Ο πελάτης πρέπει να επιτρέπει και τα δύο είδη server-initiated ενημερώσεων γράφοντας με το αντίστοιχο CCCD πριν ο διακομιστής μπορεί να ξεκινήσει την αποστολή τους.

## **Ασφάλεια**

Οι GATT συναλλαγές μπορούν να ενεργήσουν ως εναύσματα μιας τέτοιας διαδικασίας επαλήθευσης ταυτότητας. Κάθε χαρακτηριστικό σε GATT διακομιστή έχει λεπτά, ανεξάρτητα όρια τόσο για την ανάγνωση και τη γραφή, και αυτά τα δικαιώματα επιβάλλονται σε επίπεδο ATT

Σε γενικές γραμμές, χαρακτηριστικά τα οποία αποτελούν δηλώσεις δεν απαιτούν ειδική ασφάλεια για να γίνουν προσβάσιμα. Αυτό ισχύει και για τις δηλώσεις υπηρεσιών και χαρακτηριστικών, αλλά όχι για τις δηλώσεις περιγραφέα, οι οποίες περιέχουν τα σχετικά σε αυτά, και όχι σε ένα ξεχωριστό χαρακτηριστικό. Αυτό γίνεται έτσι ώστε οι πελάτες που δεν έχουν ακόμα ταιριάζει ή συνδεθεί ή με έναν διακομιστή να μπορούν τουλάχιστον να εκτελέσουν βασικές υπηρεσίες και την ανακάλυψη των χαρακτηριστικών, χωρίς να χρειάζεται να καταφύγουν στην εκτέλεση διαδικασιών ασφαλείας. Η διάταξη των ιδιοτήτων και η ιεραρχία των δεδομένων ενός διακομιστή δεν θεωρείται ότι είναι ευαίσθητες πληροφορίες και είναι επομένως ελεύθερα διαθέσιμες σε όλους τους πελάτες.

Κατά την πρόσβαση σε μια χαρακτηριστική τιμή ή τη δήλωση του περιγραφέα (η οποία ονομάζεται επίσης υπηρεσία αιτήματος), ωστόσο, ο πελάτης μπορεί να λάβει ένα πακέτο ATT ως απόκριση σφάλματος, υποδεικνύοντας ότι το τρέχον επίπεδο ασφαλείας της σύνδεσης δεν είναι αρκετά υψηλό ώστε να εκτελεστεί. Οι ακόλουθοι δύο κωδικοί σφάλματος είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται κατά κόρον για το σκοπό αυτό και τοποθετούνται στο πακέτο της απόκρισης σφάλματος:

### **Ανεπαρκής πιστοποίηση**

Υποδηλώνει ότι η σύνδεση δεν είναι κρυπτογραφημένη και ότι ο διακομιστής δεν έχει μακροπρόθεσμο κλειδί (LTK) που διατίθενται για την κρυπτογράφηση του συνδέσμου, ή ότι ο σύνδεσμος είναι πράγματι κρυπτογραφημένος, αλλά ο LTK που χρησιμοποιείται για την εκτέλεση της διαδικασίας της κρυπτογράφησης δεν είναι επικυρωμένος (παράγεται με την man-in-the-middle προστασία), ενώ οι άδειες που απαιτούνται επικυρώνουν την κρυπτογράφηση.

### Ανεπαρκής Κρυπτογράφηση

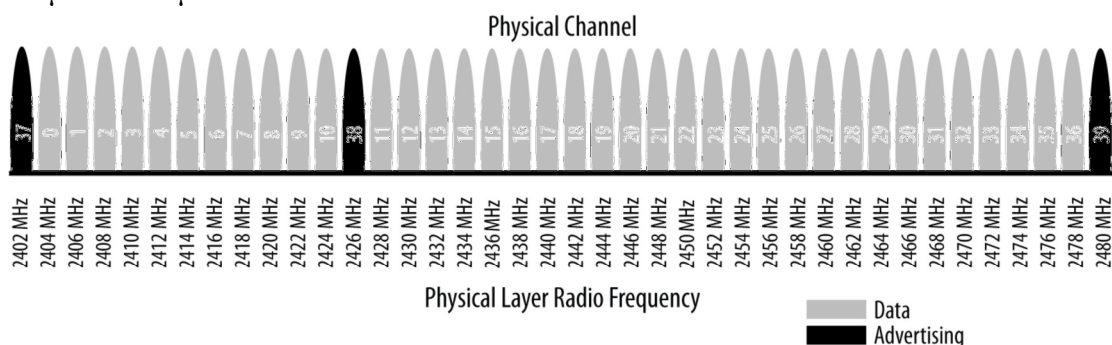
Υποδηλώνει ότι η σύνδεση δεν είναι κρυπτογραφημένη, αλλά ένα κατάλληλο LTK είναι διαθέσιμο.

Οι ρόλοι των GAP και GATT δεν συνδέονται με κανέναν τρόπο, αλλά όμως μπορούν να αναμιχθούν και να συνδυαστούν ελεύθερα. Ωστόσο, οι διαδικασίες ασφάλειας ξεκινούν πάντα από την κεντρική GAP. Ως εκ τούτου, ανάλογα με το ποιος χρήστης ενεργεί ως κεντρικός και ποιος ως περιφερικός, μπορεί να εξαρτάται είτε από τον πελάτη της GATT ή τον server της GATT για την εκκίνηση της αντιστοίχισης, σύνδεσης ή τη διαδικασία της κρυπτογράφησης, προκειμένου να αυξηθεί το επίπεδο ασφάλειας της σύνδεσης. Μόλις το επίπεδο ασφάλειας ανταποκριθεί σε αυτό που απαιτείται από το είδος του χαρακτηριστικού, ο πελάτης μπορεί πάλι να στείλει την αίτηση ώστε να εκτελεστεί από τον διακομιστή.

## 1. PHYSICAL LAYER

Το physical (PHY) layer είναι το κομμάτι το οποίο περιέχει ουσιαστικά το κύκλωμα των αναλογικών επικοινωνιών, ικανό να ρυθμίζει και να απορυθμίζει αναλογικά σήματα και να τα μετατρέπει σε ψηφιακά σύμβολα.

Το radio χρησιμοποιεί τους 2,4 GHz ISM (Βιομηχανική, Επιστημονική και Ιατρική) τομείς να επικοινωνούν και να τους χωρίζουν σε 40 κανάλια από 2,4000 GHz έως 2,4835 GHz. Όπως φαίνεται στο σχήμα 3 6, 37 από αυτά τα κανάλια χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση των δεδομένων, ενώ τα τελευταία τρία κανάλια (37, 38, και 39) χρησιμοποιούνται ως διαφημιστικά (advertising channels) για να ρυθμιστούν οι συνδέσεις και να σταλούν τα μεταδιδόμενα δεδομένα.



Σχήμα 5. Frequency channels

Το πρότυπο χρησιμοποιεί μια τεχνική η οποία ονομάζεται frequency hopping spread spectrum (συχνότητα μεταπήδησης εξάπλωσης φάσματος), στην οποία το radio μεταπηδά μεταξύ των καναλιών σε κάθε συμβάν σύνδεσης με τον ακόλουθο τύπο:

$$\text{κανάλι} = (\text{curr\_channel} + \text{hop}) \bmod 37$$

Η τιμή του hop κοινοποιείται όταν η σύνδεση εγκαθίσταται και ως εκ τούτου είναι διαφορετική για κάθε νέα σύνδεση που δημιουργείται. Αυτή η τεχνική ελαχιστοποιεί την επίδραση των ραδιοφωνικών παρεμβολών που ενδέχεται να είναι παρούσες στη ζώνη των 2,4 GHz σε κάθε μεμονωμένο κανάλι, ειδικά από τη στιγμή που το WiFi και το Bluetooth κυριαρχούν στην εν λόγω ζώνη και έτσι, οι συσκευές ενδέχεται να αντιμετωπίσουν σοβαρές παρεμβολές κοντά σε άλλες συσκευές με ισχυρές δυνατότητες μετάδοσης.

Η διαμόρφωση που επιλέχθηκε να κωδικοποιήσει το bitstream over the air είναι Gaussian Frequency Shift Keying (GFSK), την ίδια διαμόρφωση που χρησιμοποιείται από το κλασικό Bluetooth και πολλά άλλα ασύρματα πρωτόκολλα χαμηλής ισχύος. Το ποσοστό της διαμόρφωσης για Bluetooth χαμηλής ενέργειας καθορίζεται σε 1 Mbit / s , το οποίο αποτελεί και το ανώτερο όριο φυσικού throughput για την τεχνολογία.

## 1. LINK LAYER (Στρώμα συζευξης)

Το Link Layer αποτελεί το μέρος που διασυνδέεται άμεσα με το PHY , και συνήθως υλοποιείται ως συνδυασμός custom hardware και software. Επίσης, είναι το μόνο σκληρό περιορισμένο στρώμα σε πραγματικό χρόνο από το σύνολο του πρωτοκόλλου, δεδομένου ότι είναι υπεύθυνο για τη συμμόρφωση με όλες τις απαιτήσεις χρονισμού που ορίζονται από την προδιαγραφή. Ως εκ τούτου, διατηρούνται συνήθως σε απομόνωση σε σχέση με τα ανώτερα στρώματα του πρωτοκόλλου με τη βοήθεια ενός προτύπου διασύνδεσης το οποίο αποκρύπτει την πολυπλοκότητα και τις απαιτήσεις σε πραγματικό χρόνο από τα υπόλοιπα στρώματα.

Υπολογιστικά ακριβό, εύκολα αυτοματοποιημένη λειτουργικότητα συνήθως εφαρμόζεται σε hardware by silicon vendors για να αποφευχθεί η υπερφόρτωση της κεντρικής μονάδας επεξεργασίας που τρέχει όλα τα στρώματα του λογισμικού. Αυτή η λειτουργία συνήθως περιλαμβάνει:

- Προοίμιο, πρόσβαση στη διεύθυνση και διαμόρφωση air πρωτοκόλλου
- CRC γεννήτρια και επαλήθευση
- Whitening δεδομένων
- Γεννήτρια τυχαίων αριθμών
- AES κρυπτογράφηση

Το μισό του λογισμικού του Link Layer διαχειρίζεται την κατάσταση σύνδεσης του radio, δηλαδή τον τρόπο με τον οποίο η συσκευή συνδέεται με άλλες συσκευές. Μια συσκευή BLE μπορεί να είναι η κύρια, ο σκλάβος, ή και τα δύο, ανάλογα με την περίπτωση και τις απαιτήσεις της χρήσης της. Οι συσκευές που θα ξεκινήσουν τις συνδέσεις είναι οι masters και οι συσκευές που διαφημίζουν τη διαθεσιμότητά τους και αποδέχονται τις συνδέσεις θα είναι οι slaves.

Μια master συσκευή μπορεί να συνδεθεί με πολλαπλές slaves και μια slave μπορεί να συνδεθεί με πολλαπλές masters. Τυπικά, συσκευές όπως smartphones ή tablets τείνουν να δρουν ως master, ενώ οι μικρότερες, απλούστερες, και οι περιορισμένες σε μνήμη συσκευές, όπως οι αυτόνομοι αισθητήρες, συνήθως υιοθετούν το ρόλο του σκλάβου.

Το Bluetooth Low Energy έχει εγγενή ασυμμετρία στις κατώτερες στρώσεις της μεταξύ της master και της slave συσκευής, επειδή απαιτεί περισσότερους πόρους για να ενεργήσει ως κύρια. Αυτή η ασυμμετρία είναι παρόμοια με το USB, καθώς οι USB hosts απαιτούν

περισσότερους πόρους από τις συσκευές USB. Αυτό το είδος της αρχιτεκτονικής ασυμμετρίας επιτρέπει περιφερικά χαμηλού κόστους που λειτουργούν με φθηνούς μικροελεγκτές και radios, ενώ λαμβάνει χώρα η πλειονότητα του χαμηλού επιπέδου πολυπλοκότητας πρωτοκόλλου σε συσκευές με περισσότερους πόρους, όπως smartphones και tablets.

Το Link Layer καθορίζει τους ακόλουθους ρόλους :

- Διαφημιστής (Advertiser)
- Μια συσκευή αποστέλλει τα διαφημιστικά πακέτα.
- Ερευνητής (Scanner)
- Μια συσκευή σάρωσης για την εύρεση διαφημιστικών πακέτων.
- Κύρια (Master)
- Μια συσκευή που ξεκινά μια σύνδεση και αργότερα τη διαχειρίζεται.
- Σκλάβος (Slave)
- Μια συσκευή που δέχεται την αίτηση σύνδεσης και ακολουθεί το χρονοδιάγραμμα της master.

Αυτοί οι ρόλοι μπορούν λογικά να ομαδοποιηθούν σε δύο ζεύγη: διαφημιζόμενου και σαρωτή (όταν δεν αναφερόμαστε σε μια ενεργή σύνδεση) και master και slave (όταν αναφερόμαστε σε σύνδεση).

### **Bluetooth Device Address**

Το θεμελιώδες αναγνωριστικό μιας συσκευής Bluetooth, παρόμοια με την πρόσβαση στο Ethernet Media Control (MAC) address, είναι η διεύθυνση της συσκευής Bluetooth. Αυτός ο αριθμός 48 -bit (6 - byte) προσδιορίζει μοναδικά μια συσκευή μεταξύ των χρηστών. Υπάρχουν δύο τύποι διευθύνσεων της συσκευής, και, είτε η μια είτε και οι δύο, μπορεί/μπορούν να ρυθμιστεί/-στούν σε μια συγκεκριμένη συσκευή:

#### **Διεύθυνση Δημόσιας συσκευής (Public device address)**

Αυτή η διεύθυνση είναι το ισοδύναμο μιας σταθερής, BR / EDR, factory-programmed διεύθυνση της συσκευής. Πρέπει να εγκριθεί από την Υπηρεσία Εγγραφής IEEE και δεν αλλάζει καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας της συσκευής.

#### **Τυχαία διεύθυνση συσκευής (Random device address)**

Αυτή η διεύθυνση μπορεί είτε να προγραμματίζεται εκ των προτέρων στη συσκευή ή να προγραμματίζεται δυναμικά κατά τη διάρκεια του χρόνου εκτέλεσης.

Κάθε διαδικασία πρέπει να πραγματοποιείται με τη χρήση ενός από τα δύο και πρέπει να καθορίζεται από τον ξενιστή.

### **Διαφήμιση (Advertising) και Σάρωση (Scanning)**

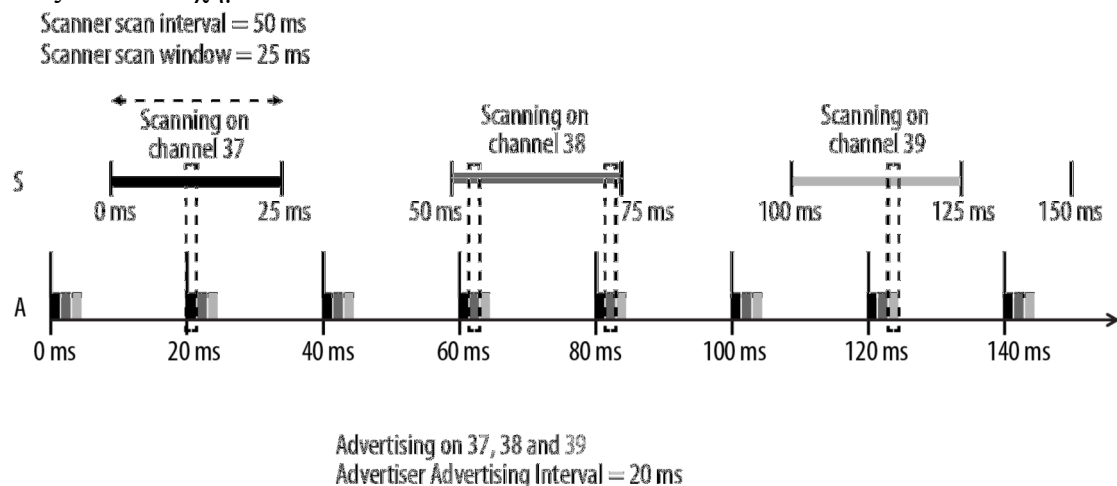
Ο BLE διαθέτει μόνο μία format πακέτου και δύο τύπους πακέτων (διαφήμιση και πακέτα δεδομένων), το οποίο απλοποιεί την εφαρμογή πρωτοκόλλων πάρα πολύ. Έτσι, τα Πακέτα Διαφήμιση εξυπηρετούν δύο σκοπούς:

- Για τη μετάδοση δεδομένων για εφαρμογές που δεν χρειάζονται την επιβάρυνση της εγκατάστασης πλήρους σύνδεσης
- Για την ανακάλυψη των slaves και τη σύνδεση μαζί τους

Κάθε πακέτο διαφήμισης μπορεί να μεταφέρει μέχρι και 31 bytes payload διαφήμισης δεδομένων, σε συνδυασμό με τις βασικές πληροφορίες για τα header (συμπεριλαμβανομένων με τη Bluetooth διεύθυνση της συσκευής). Τέτοια πακέτα απλά μεταδίδονται τυφλά over the

air από τον διαφημιζόμενο χωρίς τη προηγούμενη γνώση της παρουσίας οποιασδήποτε συσκευής σάρωσης. Στέλνονται σε ένα σταθερό ποσοστό που ορίζεται από το διάστημα διαφήμιση, η οποία κυμαίνεται από 20 ms έως 10,24 s. Όσο μικρότερο είναι το χρονικό διάστημα, τόσο υψηλότερη είναι η συχνότητα με την οποία εκπέμπονται τα πακέτα διαφήμισης, που οδηγεί σε μια υψηλότερη πιθανότητα αυτών των πακέτων που λαμβάνονται από ένα σαρωτή, αλλά υψηλότερες ποσότητες πακέτων διαβιβάζονται επίσης μεταφράζεται σε μεγαλύτερη κατανάλωση ενέργειας.

Επειδή η διαφήμιση χρησιμοποιεί ένα μέγιστο των τριών καναλιών συχνότητας και του διαφημιζόμενου και ο σαρωτής δεν είναι συγχρονισμένα με οποιονδήποτε τρόπο, ένα πακέτο διαφήμιση θα λαμβάνονται επιτυχώς από το σαρωτή μόνον όταν τυχαία επικαλύπτονται, όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 6.



Σχήμα 6. Advertising and scanning

Η interval σάρωση και οι παράμετροι της window σάρωσης καθορίζουν τη συχνότητα και το χρονικό διάστημα στα οποία η συσκευή σάρωσης θα εντοπίζει τα πιθανά πακέτα διαφήμισης. Όπως και με το interval διαφήμισης, οι τιμές αυτές έχουν σοβαρό αντίκτυπο στην κατανάλωση ενέργειας, επειδή σχετίζονται άμεσα με τον χρόνο κατά τον οποίο το radio θα πρέπει να είναι ενεργοποιημένο.

Η προδιαγραφή ορίζει δύο βασικές διαδικασίες σάρωσης:

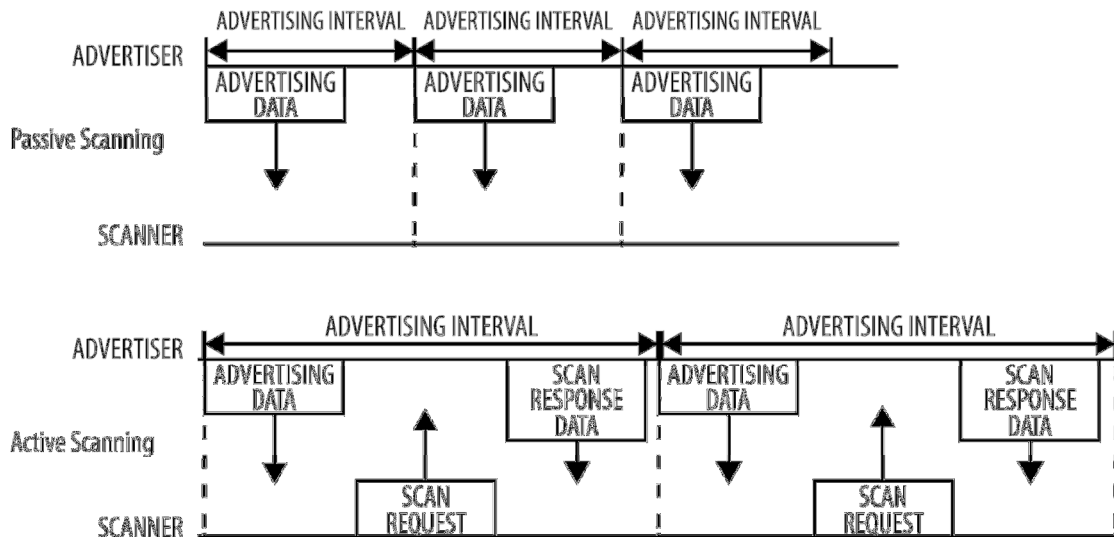
### 1. Παθητική σάρωση

Ο σαρωτής απλά ακούει για τη διαφήμιση των πακέτων, και ο διαφημιζόμενος δεν λαμβάνει ποτέ επίγνωση του γεγονότος ότι ένα ή περισσότερα πακέτα πράγματι λαμβάνονται από ένα σαρωτή.

### 2. Ενεργής σάρωση

Ο σαρωτής εκδίδει ένα Scan Request πακέτο, αφού δεχθεί ένα πακέτο διαφήμισης. ο διαφημιζόμενος δέχεται και απαντά με ένα πακέτο απόκρισης σάρωσης. Αυτό το πρόσθετο πακέτο διπλασιάζει το ωφέλιμο payload το οποίο ο διαφημιζόμενος είναι σε θέση να στείλει στο σαρωτή, αλλά είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι δεν παρέχεται ένα μέσο για το σαρωτή ώστε να στείλει έστω και κάποια από τα δεδομένα των χρηστών στον διαφημιζόμενο.

Το σχήμα 7 απεικονίζει τη διαφορά μεταξύ παθητικής και ενεργητικής σάρωσης.



Σχήμα 7. active passive scanning

Οι τύποι των πακέτων διαφήμισης μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τρεις διαφορετικές ιδιότητες. Η πρώτη είναι η συνδεσιμότητα:

- ❖ Ικανό να συνδεθεί

Ένας σαρωτής μπορεί να ξεκινήσει μια σύνδεση κατά τη λήψη ενός τέτοιου πακέτου διαφήμισης.

- ❖ Μη ικανό να συνδεθεί

Ένας σαρωτής δε μπορεί να ξεκινήσει μια σύνδεση (αυτό το πακέτο προορίζεται μόνο για εκπομπή).

Η δεύτερη ιδιότητα είναι η scannability :

- ❖ Με δυνατότητα σάρωσης

Ένας σαρωτής μπορεί να εκδώσει ένα αίτημα σάρωσης κατά τη λήψη ενός τέτοιου πακέτου διαφήμισης.

- ❖ Μη δυνατότητα σάρωσης

Ένας σαρωτής δε μπορεί να εκδώσει ένα αίτημα σάρωσης κατά τη λήψη ενός τέτοιου πακέτου διαφήμισης.

Και η τρίτη είναι η directability :

- ❖ Με δυνατότητα διεύθυνσης

Ένα πακέτο αυτού του τύπου περιέχει μόνο το Bluetooth του διαφημιστή και του σαρωτή στόχου. Δεν επιτρέπεται κανένα δεδομένο του χρήστη. Όλα τα κατευθυνόμενα πακέτα διαφήμισης, ως εκ τούτου, μπορούν να συνδεθούν.

- ❖ Χωρίς δυνατότητα διεύθυνσης

Ένα πακέτο αυτού του τύπου δεν στοχεύει σε συγκεκριμένο σαρωτή και μπορεί να περιέχει δεδομένα του χρήστη στο payload του.

## 2. L2CAP

Logical Link Control (Έλεγχος Λογικής Σύνδεσης) και Adaptation Protocol (Πρωτόκολλο Προσαρμογής, L2CAP)

Τα Logical Link Control και L2CAP παρέχουν τα δύο βασικά κομμάτια λειτουργικότητας. Πρώτον, χρησιμεύει ως multiplexer πρωτοκόλλου, το οποίο λαμβάνει πολλαπλά πρωτόκολλα

από τα ανώτερα στρώματα και τα ενσωματώνει στο πρότυπο BLE με τη μορφή πακέτων (και αντίστροφα).

Εκτελεί, επίσης, τον κατακερματισμό και τον ανασυνδυασμό, μια διαδικασία με την οποία λαμβάνει αρκετά μεγάλα πακέτα από τα ανώτερα στρώματα και τα τεμαχίζει σε κομμάτια που χωρούν σε 27 – byte, το μέγιστο μέγεθος payload των πακέτων BLE από την εκπομπή. Κατά την υποδοχή, λαμβάνονται πολλά πακέτα που έχουν κατακερματιστεί και ανασυνδυαστεί σε ένα ενιαίο μεγάλο πακέτο που θα αποσταλεί upstream προς τους αρμόδιους στα ανώτερα στρώματα του ξενιστή. Για να επιτευχθεί μια απλή σύγκριση, το L2CAP είναι παρόμοιο με το TCP, καθώς επιτρέπει σε ένα ευρύ φάσμα πρωτοκόλλων να συνυπάρχουν αρμονικά μέσω μιας ενιαίας φυσικής σύνδεσης, το καθένα με διαφορετικό μέγεθος και διαφορετικές απαιτήσεις.

Όσον αφορά το BLE, το L2CAP στρώμα είναι υπεύθυνο για να δρομολογήσει δύο κύρια πρωτόκολλα: το Attribute Protocol (ATT) και το Security Manager Protocol (SMP). Το ATT σχηματίζει τη βάση της ανταλλαγής δεδομένων στις BLE εφαρμογές, ενώ το SMP παρέχει ένα πλαίσιο ώστε να παραχθούν και να διανεμηθούν τα κλειδιά ασφαλείας μεταξύ των χρηστών.

Πέραν των προαναφερθέντων, και έπειτα από την έκδοση των 4.1 προδιαγραφών, το L2CAP μπορεί να δημιουργήσει τα δικά του κανάλια, τα οποία καθορίζονται από τον χρήστη, για τη μεταφορά δεδομένων υψηλής απόδοσης, τα οποία δεν απαιτούν την επιπρόσθετη πολυπλοκότητα που προστίθεται από το ATT. Αρχικά σχεδιασμένο για μεταφορά αρχείων, αυτή η λειτουργία είναι γνωστή και ως λειτουργία LE Credit Based Flow Control Mode και ενισχύει τη δυνατότητα δημιουργίας άδηλης κατάστασης, υψηλού όγκου δεδομένων κανάλια μέσω BLE σύνδεσης για εφαρμογές που το απαιτούν. Από την πλευρά ενός προγραμματιστή εφαρμογής, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, όταν μόνο προεπιλεγμένα μεγέθη πακέτων χρησιμοποιούνται, το L2CAP πακέτο καταλαμβάνει 4 bytes, το οποίο σημαίνει ότι το πραγματικό payload μήκος του χρήστη είναι  $27-4 = 23$  bytes (όπου τα 27 bytes είναι το Link Layer's payload μέγεθος).

### **3. ATTRIBUTE PROTOCOL (ATT)**

Το ATT είναι ένα απλό client/ server πρωτόκολλο το οποίο βασίζεται σε χαρακτηριστικά που παρουσιάζονται από μια συσκευή. Στο BLE, κάθε συσκευή είναι πελάτης, διακομιστής, ή και τα δύο, ανεξάρτητα από το αν πρόκειται για master ή slave. Ένας πελάτης ζητά δεδομένα από ένα διακομιστή και, αντίστοιχα, ο διακομιστής στέλνει δεδομένα σε πελάτες. Το πρωτόκολλο είναι αυστηρό όταν πρόκειται για την αλληλούχιση του: εάν ένα αίτημα είναι ακόμα σε εκκρεμότητα (όταν δε έχει ληφθεί απάντηση γι 'αυτό ακόμα) περαιτέρω αιτήματα μπορούν να αποσταλούν έως ότου ληφθεί η ανταπόκριση και επεξεργαστεί. Αυτό ισχύει και για τις δύο κατευθύνσεις και ανεξάρτητα στην περίπτωση όπου οι δύο χρήστες δρουν τόσο ως πελάτες και διακομιστές μαζί.

Κάθε διακομιστής περιέχει δεδομένα τα οποία οργανώνονται σε μορφή χαρακτηριστικών, καθένα από τα οποία έχει εκχωρηθεί σε handle των 16-bit, ένα καθολικό και μοναδικό στοιχείο ταυτοποίησης (UUID), ένα σύνολο δικαιωμάτων, και, τέλος, φυσικά, μια τιμή. Η χαρακτηριστική handle είναι απλά ένα αναγνωριστικό που χρησιμοποιείται για την πρόσβαση της τιμής ενός χαρακτηριστικού. Το UUID καθορίζει τον τύπο και τη φύση των δεδομένων που περιέχονται στην αξία. Όταν ένας πελάτης θέλει να διαβάσει ή να γράψει χαρακτηριστικές τιμές από ή σε ένα διακομιστή, εκδίδει ένα read ή write αίτημα στο

διακομιστή με τη handle. Ο διακομιστής θα απαντήσει με την χαρακτηριστική αξία ή μια αναγνώριση. Στην περίπτωση της διαδικασίας της ανάγνωσης, εναπόκειται στον πελάτη να αναλύσει την αξία και να κατανοήσει το είδος των δεδομένων με βάση το UUID του χαρακτηριστικού. Από την άλλη πλευρά, κατά τη διάρκεια λειτουργίας εγγραφής, ο πελάτης αναμένεται να παρέχει δεδομένα τα οποία συνάδουν με τον τύπο του χαρακτηριστικού και ο διακομιστής είναι ελεύθερος να απορρίψει τη λειτουργία ένα επιθυμεί.

### **ATT operations**

Το σύνολο των ATT λειτουργιών εμπίπτουν στις ακόλουθες κατηγορίες :

#### **Χειρισμός σφαλμάτων**

Χρησιμοποιείται από τον server για να απαντήσει σε αιτήματα όταν παρουσιάζεται ένα σφάλμα και αυτό περιλαμβάνει μόνο:

#### **Απόκριση σφάλματος**

Αποστέλλονται ως απάντηση σε αίτημα αντί της αντίστοιχης αποκρινόμενης λειτουργίας κάθε φορά που ένα λάθος εμποδίζει να εκτελεστεί η αίτηση από το διακομιστή.

#### **Διαμόρφωση διακομιστή**

Χρησιμοποιείται για να διαμορφώσετε το ίδιο το πρωτόκολλο ATT και περιλαμβάνει μόνο:

#### **Ανταλλαγή MTU ερώτησης/ απάντησης**

Ανταλλαγή μεταξύ πελάτη και διακομιστή των Maximum Transmission Units (MTU ή maximum packet size accepted).

#### **Εύρεση πληροφοριών**

Χρησιμοποιείται από τον πελάτη για να λάβει πληροφορίες σχετικά με τη διάταξη των ιδιοτήτων του server και περιλαμβάνει:

#### **Εύρεση πληροφοριών αίτησης / απάντησης**

Απόκτηση μιας λίστας με όλα τα χαρακτηριστικά σε ένα συγκεκριμένο εύρος handle.

#### **Εύρεση αξίας ανά τύπο**

Απόκτηση του handle range μεταξύ ενός χαρακτηριστικού που προσδιορίζεται από τα UUID της και της αξίας και της ομάδας οριοθέτησης.

#### **Ανάγνωση λειτουργιών**

Χρησιμοποιείται από τον πελάτη για να υπολογισθεί η τιμή ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών, που περιλαμβάνουν:

#### **Ανάγνωση αίτησης / απάντησης**

Απόκτηση της τιμής ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών χρησιμοποιώντας ένα UUID.

#### **Ανάγνωση ερώτησης / απάντησης**

Υπολογισμός της τιμής των ιδιοτήτων χρησιμοποιώντας handle.

#### **Ανάγνωση Blob ερώτησης / απάντησης**

Απόκτηση μέρους της αξίας μιας μακράς ιδιότητας, χρησιμοποιώντας handle.

#### **Ανάγνωση πολλαπλών αιτήσεων / απαντήσεων**

Υπολογισμός της τιμής ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών χρησιμοποιώντας πολλαπλά handles.

#### **Ανάγνωση από Group Type ερώτησης / απάντησης**

Παρόμοια με ανάγνωση τύπου, αλλά το UUID πρέπει να είναι τύπος γκρουπ.

#### **Λειτουργίες εγγραφής**

Χρησιμοποιείται από τον πελάτη για να ρυθμίσει την τιμή ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών, που περιλαμβάνουν:



### **Γραφή ερώτησης / απάντησης**

Γραφή της τιμής ενός χαρακτηριστικού και αναμονή μιας απάντησης από τον server.

### **Γραφή Εντολής**

Γραφή της τιμής ενός χαρακτηριστικού, χωρίς καμία απάντηση ή αναγνώριση.

Αυτή η λειτουργία δεν ακολουθεί την αλληλουχία του αιτήματος / απόκρισης και μπορεί να αποστέλλονται οποτεδήποτε.

### **Υπογραφή γραπτής εντολής**

Παρόμοια με γραπτή εντολή, αλλά χρησιμοποιώντας μια υπογραφή. Η λειτουργία αυτή δεν ακολουθεί την αλληλουχία της αίτησης / απάντησης και μπορεί να αποσταλεί οποιαδήποτε στιγμή.

### **Γραφή σε σειρά**

Χρησιμοποιείται από τον πελάτη για να αποδώσει τιμές που είναι μεγαλύτερες από ό,τι μπορεί να χωρέσει σε ένα ενιαίο πακέτο, που περιλαμβάνει:

### **Προετοιμασία γραφής ερώτησης / απάντησης**

Τοποθέτηση σε ουρά μιας λειτουργίας εγγραφής στον εξυπηρετητή για μια συγκεκριμένη handle, μετά την οποία οι επιτυχείς ουρές αναγνωρίζονται από τον διακομιστή.

### **Εκτέλεση γραφής ερώτησης / απάντησης**

Εκτέλεση όλων των εκκρεμοτήτων των εργασιών στην ουρά εγγραφής και έπειτα ο διακομιστής αναφέρει στον πελάτη πιθανή επιτυχία ή αποτυχία.

### **Εκκίνηση διακομιστή**

Χρησιμοποιείται από τον server για να προωθήσει ασύγχρονες τιμές των χαρακτηριστικών στον πελάτη, που περιλαμβάνουν:

### **Ένδειξη Handle Αξίας / Επιβεβαίωσης**

Ασύγχρονη ενημερωμένη έκδοση server της αξίας ενός χαρακτηριστικού που προσδιορίζεται από τη handle του, αναμένει μια επιβεβαίωση με τη μορφή της αποδοχής από τον πελάτη.

### **Κοινοποίηση Handle Αξίας**

Ασύγχρονη ενημερωμένη έκδοση server της αξίας ενός χαρακτηριστικού που προσδιορίζεται από τη handle του, χωρίς αναγνώριση. Αυτή η λειτουργία δεν ακολουθεί την αλληλουχία της αίτησης / απάντησης και μπορεί να αποσταλεί οποιαδήποτε στιγμή.

Όλες οι λειτουργίες εκτός από εκείνες που εκκινούνται από τον server (και μερικές άλλες επιλεγμένες) ομαδοποιούνται σε ζεύγη αίτησης / απόκρισης. Οι αιτήσεις αποστέλλονται πάντα από τον πελάτη, ενώ οι απαντήσεις εκδίδονται από το διακομιστή ως απάντηση στο αίτημα.

## **ATT OPERATION- ATT πράξεις**

Το σύνολο των λειτουργιών που είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν με το ATT πρωτόκολλο εμπίπτουν στις ακόλουθες κατηγορίες:

### **Χειρισμός σφαλμάτων**

Χρησιμοποιείται από τον server για να απαντήσει σε οποιοδήποτε από τα αιτήματα όταν ένα σφάλμα παρουσιαστεί, αυτό περιλαμβάνει μόνο:

### **Απόκριση σφάλματος**

Αποστέλλονται ως απάντηση σε αίτημα αντί της αντίστοιχης απόκρισης λειτουργίας κάθε φορά που ένα λάθος εμπόδισε την αίτηση από το να εκτελεστεί στο διακομιστή.

### **Διαμόρφωση διακομιστή**

Χρησιμοποιείται για να διαμορφώσετε το ίδιο το πρωτόκολλο ΑΤΤ, αυτό περιλαμβάνει μόνο:

Ανταλλαγή MTU ερώτησης / απάντησης

Ανταλλαγή μεταξύ πελάτη και διακομιστή των αντίστοιχων τιμών της μέγιστης μετάδοσης τους. Μονάδες (MTU ή το μέγιστο αποδεκτό μέγεθος πακέτου).

### **Πληροφορίες εύρεσης (Read operations )**

Χρησιμοποιείται από τον πελάτη να λάβει πληροφορίες σχετικά με τη διάταξη των ιδιοτήτων του server, περιλαμβάνουν:

Εύρεση Πληροφοριών Αίτησης /Απάντησης (Find information Request / Response)

Αποκτάει μια λίστα με όλα τα χαρακτηριστικά για ένα συγκεκριμένο εύρος handle.

Εύρεση ανά Τύπο Αξίας(Handle value)

Αποκτήστε το Handle range μεταξύ ενός χαρακτηριστικού αναγνωριστικού (identified) από το UUID που χρησιμοποιεί ς και της αξίας του(value) και η επόμενης ομάδας οριοθέτησης (next group delimiter).

### **Επιχειρήση ανάγνωσης (Read Operations)**

Χρησιμοποιείται από τον client για να υπολογισθεί η τιμή ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών, που περιλαμβάνουν:

Read by type Request / Response

Αποκτήστε την αξία ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών χρησιμοποιώντας ένα UUID.

Read Request / Response

Υπολογισθεί η τιμή του ιδιοτήτων χρησιμοποιώντας ένα Handle.

Ανάγνωση Blob αίτησης / απάντησης (Read Blob Request / Response)

Αποκτήστε μέρος της αξίας μιας μακράς ιδιότητας(long attribute) , χρησιμοποιώντας ένα handle .

Ανάγνωση Πολλαπλών Αιτήσεων / Απαντήσεων(Read multiple Request / Response)

Εύρεση της τιμής ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών χρησιμοποιώντας πολλαπλά Handles .

Ανάγνωση από ομάδα Τύπου αίτησης / απάντησης (Read by group type Request / Response)

Παρόμοια με το Read by type, αλλά το UUID πρέπει να είναι group type.

### **Λειτουργίες εγγραφής(Write Operations)**

Χρησιμοποιείται από τον client για να ρυθμίσει την τιμή ενός ή περισσότερων χαρακτηριστικών , που περιλαμβάνουν:

#### **Εγγραφή ερώτησης / απάντησης (Write request / Response )**

Γράφει την τιμή ενός χαρακτηριστικού και περιμένει μια απάντηση από τον server.

#### **Write command**

Γράφει την τιμή ενός χαρακτηριστικού, χωρίς καμία απάντηση ή αναγνώριση. Αυτή η λειτουργία δεν ακολουθεί το αίτημα αίτησης / απάντησης και μπορεί να αποστέλλεται οποτεδήποτε.

#### **Signed write command**

Παρόμοια με γραπτή εντολή, αλλά χρησιμοποιώντας μια υπογραφή . Η λειτουργία αυτή δεν ακολουθεί την αλληλουχία της αίτησης / απάντησης και γι' αυτό μπορεί να αποσταλεί οποιαδήποτε στιγμή.

#### **Queued Writes**

Χρησιμοποιείται από τον client για να γράψουμε attributes- τιμές που είναι μεγαλύτερες από το μέγεθος ενός πακέτου.

Τα Queued Writes περιλαμβάνουν :

#### **Προετοιμασία Εγγραφή ερώτησης / απάντησης (Prepare Write request / Response )**

Προσθέτει στην ουρά μια λειτουργία εγγραφής στον εξυπηρετητή για ένα συγκεκριμένο Handle , που αφού εισέλθει σωστά στην ουρά τότε αναγνωρίζεται από το διακομιστή.

#### **Εκτέλεση Εγγραφή ερώτησης / απάντησης (Execute Write request / Response )**

Εκτελεί όλες τις εκκρεμείς εργασίες στην ουρά εγγραφής, και ο διακομιστής αναφέρει στη συνέχεια την επιτυχία ή αποτυχία στον client .

#### **Ξεκίνημα διακομιστή (Server Initiated )**

Χρησιμοποιείται από τον server για να ωθήσει ασύγχρονα τιμές των χαρακτηριστικών στον πελάτη, που περιλαμβάνουν:

### **Handle value Indication/Confirmation**

Ασύγχρονη ενημέρωση στον server της αξίας ενός χαρακτηριστικού και αναμονή για επιβεβαίωση από τον client .

### **Handle value Notification**

Ασύγχρονη ενημέρωση στον server της αξίας ενός χαρακτηριστικού και προσδιορισμός του από το handle χωρίς ομολογία λήψης της ενημέρωσης . Αυτή η λειτουργία δεν ακολουθεί την request/response sequencing και μπορούν να αποσταλούν σε οποιαδήποτε στιγμή.

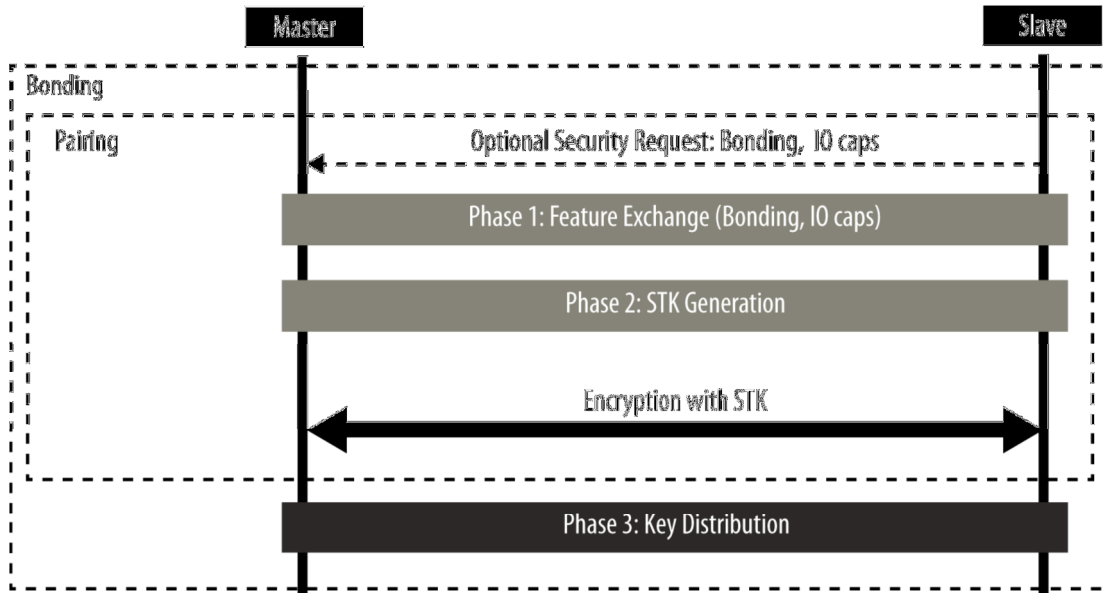
## **3. Security Manager (SM)**

Ο Security Manager (SM) είναι τόσο ένα πρωτόκολλο όσο και μια σειρά από αλγόριθμους ασφαλείας σχεδιασμένοι να παρέχουν το Bluetooth πρωτόκολλο, μαζί με την ικανότητα να παράγουν και να ανταλλάσσουν τα κλειδιά ασφαλείας, γεγονός το οποίο στη συνέχεια επιτρέπει στους χρήστες να επικοινωνούν με ασφάλεια σε μια κρυπτογραφημένη σύνδεση, να εμπιστεύονται την ταυτότητα της απομακρυσμένης συσκευής και, τέλος, να αποκρύπτει τη δημόσια Bluetooth διεύθυνση αν απαιτείται, ώστε να αποφευχθεί ο εντοπισμός της συγκεκριμένης συσκευής από τυχόν κακόβουλους χρήστες. Ο Security Manager ορίζει δύο ρόλους: τον Initiator, ο οποίος αντιστοιχεί πάντα στο Link Layer master και, συνεπώς, στην κεντρική GAP. Ο Responder αντιστοιχεί πάντα στο Link Layer slave και, ως εκ τούτου, στην περιφερειακή GAP. Αν και είναι πάντα αρμοδιότητα του εκκινήτη να προκαλέσει την έναρξη της διαδικασίας, ο απαντών μπορεί ασύγχρονα να ζητήσει την έναρξη κάποιας από τις διαδικασίες που αναφέρονται στην ενότητα «Διαδικασίες ασφαλείας». Δεν υπάρχουν εγγυήσεις για τον responder ότι ο initiator θα λάβει υπόψιν το αίτημα, εξυπηρετώντας, έτσι, περισσότερο ως υπόδειξη παρά ως πραγματικό, δεσμευτικό αίτημα. Λογικά, αυτό το αίτημα της ασφαλείας μπορεί να εκδοθεί μόνο από τον slave ή το περιφερικό άκρο της σύνδεσης.

### **Security Procedures**

Ο Security Manager παρέχει στήριξη για τις ακόλουθες τρεις διαδικασίες: Αντιστοίχιση της διαδικασίας με την οποία ένα προσωρινό κλειδί κρυπτογράφησης της ασφαλείας καθίσταται ικανό να στραφεί προς μια ασφαλή, κρυπτογραφημένη σύνδεση. Αυτό το προσωρινό κλειδί δεν αποθηκεύεται και συνεπώς, δεν μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί στις επόμενες συνδέσεις. Ακόμα, συγκόλληση μιας ακολουθίας ζευγών που ακολουθείται από την παραγωγή και την ανταλλαγή των μόνιμων κλειδιών ασφαλείας, που πρόκειται να αποθηκευτούν σε nonvolatile μνήμη και, επομένως, τη δημιουργία ενός μόνιμου δεσμού μεταξύ των δύο συσκευών, η οποία θα τους επιτρέψει να δημιουργήσουν ένα ασφαλές link σε επόμενες συνδέσεις, χωρίς να χρειάζεται να εκτελεστεί ξανά η διαδικασία συγκόλλησης. Τρίτον, κρυπτογράφηση επαναφοράς. Έπειτα από την ολοκλήρωση μιας διαδικασίας συγκόλλησης, τα κλειδιά μπορεί να έχουν αποθηκευτεί και στις δύο πλευρές της σύνδεσης. Αν έχουν αποθηκευτεί κλειδιά κρυπτογράφησης, η διαδικασία αυτή καθορίζει το πώς θα χρησιμοποιούν αυτά τα κλειδιά σε επόμενες συνδέσεις για να αποκατασταθεί μια ασφαλής, κρυπτογραφημένη σύνδεση χωρίς να χρειάζεται να υποστούν τη διαδικασία της σύζευξης (ή και αντιστοίχισης) ξανά. Η σύζευξη

μπορεί, επομένως, να δημιουργήσει ένα ασφαλές link ο οποίο θα διαρκέσει όσο διαρκεί και η σύνδεση, ενώ η συγκόλληση στην πραγματικότητα δημιουργεί μια μόνιμη ένωση (ονομάζεται επίσης και δεσμός) με τη μορφή των κοινών κλειδιών ασφαλείας που θα χρησιμοποιηθούν σε μεταγενέστερες συνδέσεις μέχρι κάποια από τις δύο πλευρές αποφασίσει να τα διαγράψει. Ορισμένα APIs και η τεκμηρίωσή τους μερικές φορές χρησιμοποιούν τον όρο αντιστοίχιση με συγκόλληση αντί απλώς συγκόλληση, επειδή η διαδικασία συγκόλλησης περιλαμβάνει πάντα μια διαδικασία δεσμού πρώτα.



Σχήμα 8. Pairing and Bonding sequences

### Pairing Algorithms (σύζευξη αλγορίθμων)

Μια διαδικασία σύζευξης αφορά την ανταλλαγή των Security Manager Protocol (SMP) πακέτων για τη δημιουργία ενός προσωρινού κλειδιού κρυπτογράφησης το οποίο ονομάζεται Short Term Key (STK). Το τελευταίο στάδιο της διαδικασίας σύζευξης (ανεξάρτητα από το εάν στη συνέχεια θα επακολουθήσει μια ανταλλαγή κλειδιού ασφαλείας και, ως εκ τούτου, μια διαδικασία συγκόλλησης) είναι να κρυπτογραφηθεί ο σύνδεσμος με την STK που έχει δημιουργηθεί. Κατά την ανταλλαγή των πακέτων, οι δυο χρήστες διαπραγματεύονται μία από τις ακόλουθες μεθόδους παραγωγής STK: Just Works. Το STK δημιουργείται και στις δύο πλευρές, με βάση τα πακέτα που ανταλλάσσονται σε απλό κείμενο. Αυτό δεν παρέχει καμία ασφάλεια ενάντια σε man-in-the-middle (MITM) επιθέσεις. Passkey Display. Ο ένας από τους δύο χρήστες εμφανίζει έναν τυχαίο, εξαψήφιο passkey και η άλλη πλευρά καλείται να το εισαγάγει (ή, σε ορισμένες περιπτώσεις, και οι δύο πλευρές πρέπει να εισάγουν το κλειδί, εάν δεν υπάρχει ένδειξη διαθεσιμότητας). Αυτή η δυνατότητα παρέχει προστασία από επιθέσεις MITM και χρησιμοποιείται όποτε καθίσταται εφικτό. Out Of Band (OOB). Όταν χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος, πρόσθετα δεδομένα μεταφέρονται με άλλα μέσα, πέραν του BLE radio, όπως μια άλλη ασύρματη τεχνολογία όπως NFC. Αυτή η μέθοδος παρέχει επίσης προστασία από επιθέσεις MITM. Το SM διευκρινίζει τα ακόλουθα τρία είδη των μηχανισμών ασφαλείας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την επιβολή διαφόρων επιπέδων ασφαλείας, κατά τη διάρκεια μιας σύνδεσης ή της διαδικασίας της διαφήμισης:

## **Κρυπτογράφηση (Encryption)**

### **• Προστασία Προσωπικών Δεδομένων (Privacy)**

Αυτός ο μηχανισμός αποτελείται από την πλήρη κρυπτογράφηση όλων των πακέτων που μεταδίδονται μέσω μιας καθιερωμένης σύνδεσης. Η προστασία της ιδιωτικότητας επιτρέπει σε έναν advertiser να αποκρύψει τη διεύθυνση του δημόσιου Bluetooth του χρησιμοποιώντας προσωρινές και τυχαίες διευθύνσεις οι οποίες μπορούν να αναγνωριστούν από ένα σαρωτή που συνδέεται με τη συσκευή διαφήμισης. Signing. Με το μηχανισμό αυτό, μια συσκευή μπορεί να αποστείλει ένα μη κρυπτογραφημένο πακέτο σε μια σύνδεση που έχει δημιουργηθεί με ψηφιακή υπογραφή (δηλαδή, η πηγή των οποίων μπορεί να πιστοποιηθεί). Κάθε ένας από αυτούς τους τρεις μηχανισμούς μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανεξάρτητα από τους άλλους, αλλά και την εφαρμογή, σε συνδυασμό με τον ξενιστή, και έχει την επιλογή της ταυτόχρονης επιβολής σε οποιαδήποτε από αυτές.

### **• Κλειδιά ασφαλείας (Security Keys)**

Κάθε ένα από τα τρία είδη των μηχανισμών ασφαλείας απαιτεί ένα κλειδί ή μια ομάδα κλειδιών που θα καθοριστούν. Αυτά είναι τα κλειδιά που ανταλλάσσονται και αποθηκεύονται για να επιτραπεί στους μηχανισμούς ασφαλείας που να εφαρμοστούν: Κρυπτογράφηση Πληροφορίας (Long Term Key ή LTK) και Αναγνώριση του Master (EDIV, Rand). Αυτό είναι ένα κλειδί κρυπτογράφησης 128-bit το οποίο μοιράζεται και στους δύο χρήστες (LTK) μαζί με δύο τιμές (EDIV, Rand) οι οποίες ενεργούν ως αναγνωριστικό του, δεδομένου ότι ο μηχανισμός μπορεί να συνδέεται και με πολλούς άλλους χρήστες. Πληροφορίες Ταυτότητας (Identity Resolving Key Identity ή IRK) και Πληροφορίες Διεύθυνσης Ταυτότητας (Address Type και Bluetooth Device Address). Το IRK χρησιμοποιείται για την υλοποίηση της ιδιωτικότητας: μπορεί να δημιουργήσει και να επιλύσει τις επιλύσιμες διευθύνσεις που προστατεύουν μια συσκευή διαφήμισης από το να παρακολουθείται από κακόβουλους χρήστες. Η πραγματικά δημόσια ή στατικά τυχαία διεύθυνση της συσκευής διανομής περιλαμβάνεται μαζί με το IRK. Υπογραφή Πληροφοριών (Connection Signature Resolving Key ή CSRK). Ένα κλειδί που χρησιμοποιείται για την ψηφιακή υπογραφή μη κρυπτογραφημένων δεδομένων. Κάθε ένα από αυτά τα πλήκτρα ή σύνολα πλήκτρων είναι ασύμμετρο και μονής κατεύθυνσης: μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο με την ίδια διαμόρφωση ρόλου στην οποία είχαν αρχικά δημιουργηθεί. Εάν οι συσκευές θελήσουν να αλλάξουν τους Link Layer ρόλους (Master και Slave) στις επόμενες συνδέσεις, τότε κάθε πλευρά θα πρέπει να διανείμει το δικό του σύνολο κλειδιών για κάθε βασικό τύπο. Οι συσκευές διαπραγματεύονται τον αριθμό των κλειδιών που διανέμονται σε κάθε κατεύθυνση, η οποία μπορεί να κυμαίνεται από μηδέν έως τρία είδη κλειδιών σε κάθε κατεύθυνση, για ένα σύνολο έξι κλειδιών που κατανέμονται μεταξύ των χρηστών (τρεις από slave σε master και τρία από master σε slave).

Εάν δεν ανταλλάσσεται κανένα κλειδί κατά τη διάρκεια μιας διαδικασίας σύζευξης, ο δεσμός μεταξύ των δύο συσκευών θα εξακολουθεί να ισχύει, αλλά δεν θα είναι διαθέσιμη καμία από τις διαδικασίες ασφαλείας μεταξύ τους.

Δεδομένου ότι κάθε κλειδί είναι ασύμμετρο (και ως εκ τούτου η διαδικασία της κατανομής κλειδιών είναι συμμετρική) και έτσι κάθε πληροφορία του δεσμού που αποθηκεύεται μεταξύ δύο συσκευών μπορεί να περιέχει έως και δύο δείγματα του κάθε κλειδιού (κάθε χρήστης

λαμβάνει το δικό του), είναι σημαντικό να σημειωθεί πώς διανέμονται τα κλειδιά από κάθε συσκευή που χρησιμοποιείται.

Key	Distributor Usage	Acceptor Usage
LTK, EDIV, Rand (Encryption)	Used to encrypt the link when a slave	Used to encrypt the link when a master
IRK, BD_ADDR (Privacy)	Used to generate resolvable private addresses	Used to resolve resolvable private addresses
CSRK (Signing)	Used to sign data	Used to verify signatures

Πίνακας 1 Security Manager key usage

Ως παράδειγμα μιας σύνδεσης με κλειδί κατανομής, ας υποθέσουμε ότι δύο συσκευές, ένα tablet που ενεργεί ως master και ένα ρολόι που ενεργεί ως slave, εκτελούν μια διαδικασία σύζευξης και διανέμουν τα κλειδιά κρυπτογράφησης και στις δύο κατευθύνσεις. Το ρολόι θα διανείμει τα δικά του κλειδιά κρυπτογράφησης με τη μορφή των πληροφοριών κρυπτογράφησης και ταυτοποίησης master (τα οποία ας αποκαλέσουμε LTK\_EDIV\_Rand\_watch) και το tablet θα κάνει το ίδιο ακριβώς, αλλά στην αντίθετη κατεύθυνση (LTK\_EDIV\_Rand\_tablet). Αφότου η σύνδεση καταστεί πλήρης, μπορεί να αποσυνδεθεί, και στη συνέχεια οι δύο συσκευές μπορεί να θέλουν να επανασυνδεθούν και να επαναχρησιμοποιήσουν τα κλειδιά για να αποκαταστήσουν μια ασφαλή, κρυπτογραφημένη σύνδεση χωρίς να χρειάζεται να υποστούν πάλι τη διαδικασία σύζευξης. Εάν οι συσκευές επανασυνδεθούν με την ίδια διαμόρφωση όπως και πριν, με το tablet να ενεργεί ως master, τότε και οι δύο χρήστες θα χρησιμοποιήσουν LTK\_EDIV\_Rand\_watch να κρυπτογραφήσει το σύνδεσμο. Εάν, αργότερα, οι δύο επανασυνδεθούν με αντίστροφους ρόλους (δηλαδή, το ρολόι αυτή τη φορά να ενεργεί ως master και το table ως slave), το LTK\_EDIV\_Rand\_tablet μπορεί στη συνέχεια να χρησιμοποιηθεί για την κρυπτογράφηση αυτής της σύνδεσης.

### 3. GENERIC ACCESS PROFILE (GAP)

Το GAP υπαγορεύει τον τρόπο με τον οποίο οι συσκευές αλληλεπιδρούν μεταξύ τους σε κατώτερο επίπεδο, πέραν του πραγματικού πρωτοκόλλου. Το GAP μπορεί να θεωρηθεί ότι ορίζει το BLE ανώτερο στρώμα ελέγχου, δεδομένου ότι προσδιορίζει τον τρόπο με τον οποίο οι συσκευές εκτελούν τις διαδικασίες ελέγχου, όπως η ανακάλυψη συσκευής, η σύνδεση, η εγκατάσταση ασφαλείας και άλλα για να εξασφαλιστεί η διαλειτουργικότητα και να επιτραπεί η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συσκευών που προέρχονται από διαφορετικούς κατασκευαστές. Το GAP ορίζει διαφορετικά σύνολα κανόνων και εννοιών για τη ρύθμιση και την τυποποίηση της lowlevel λειτουργία των συσκευών:

- Οι ρόλοι και η αλληλεπίδραση μεταξύ τους
- Οι καταστάσεις λειτουργίας και μεταβάσεις σε αυτές
- Λειτουργικές διαδικασίες για την επίτευξη συνεπών και διαλειτουργικών πτυχών της ασφάλειας των επικοινωνιών
- Τομείς της ασφάλειας, συμπεριλαμβανομένων των τρόπων και των διαδικασιών ασφαλείας
- Πρόσθετες μορφές δεδομένων για non-protocol δεδομένα

#### GAP (Advertising and Connections)

Το Generic Access Profile (GAP) γενικών χαρακτηριστικών πρόσβασης (GAP) αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο ώστε να επιτρέπεται στις Bluetooth Low Energy συσκευές να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Παρέχει ένα πλαίσιο το οποίο πρέπει να ακολουθήσει κάθε BLE

εφαρμογή για να επιτραπεί σε συσκευές να ανακαλύψουν άλλους χρήστες, να μεταδώσουν τα δεδομένα, να δημιουργήσουν ασφαλές συνδέσεις, και να εκτελέσουν πολλές άλλες θεμελιώδεις λειτουργίες σε ένα πρότυπο, παγκοσμίως κατανοητό τρόπο. Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε σε βάθος το GAP, επειδή πολλά BLE πρωτόκολλα το χρησιμοποιούν ως ένα από τα χαμηλού επιπέδου σημεία εισόδου κατά την παροχή λειτουργικών API για τους προγραμματιστές εφαρμογών. Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, στα τμήματα του GAP που ισχύουν για το Bluetooth Low Energy ορίζουν τις ακόλουθες διαφορετικές πτυχές της αλληλεπίδρασης των συσκευών: Ρόλοι. Κάθε συσκευή μπορεί να λειτουργήσει σε έναν ή περισσότερους ρόλους ταυτόχρονα. Κάθε ρόλος επιβάλλει περιορισμούς και ορισμένες απαιτήσεις συμπεριφοράς. Ορισμένοι συνδυασμοί των ρόλων επιτρέπουν σε συσκευές να επικοινωνούν μεταξύ τους και το GAP καθορίζει με ακρίβεια τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών. Αν και όχι πάντα, οι ρόλοι τείνουν να συνδέονται με συγκεκριμένους τύπους συσκευών, και για πολλούς (αν όχι όλους), είναι επίσης στενά συνδεδεμένες με την συνθήκη της χρήσης τους και δεν αλλάζουν καθόλου. Λειτουργίες (Modes). Περαιτέρω εξειδίκευση της έννοιας του ρόλου, μια λειτουργία είναι μια κατάσταση την οποία μπορεί η συσκευή να πάρει ένα ορισμένο χρονικό διάστημα για την επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου ή, ειδικότερα, για να επιτρέψει σε έναν από τους χρήστες να εκτελέσει μια συγκεκριμένη διαδικασία. Η εναλλαγή των λειτουργιών μπορεί να προκληθεί από ενέργειες του περιβάλλοντος του χρήστη ή αυτόματα, όταν απαιτείται, ενώ οι συσκευές τείνουν να αλλάζουν λειτουργίες πιο συχνά από ότι αλλάζουν ρόλους.

#### Διαδικασίες

Μια διαδικασία είναι μια ακολουθία ενεργειών (συνήθως συνδέουν Link Layer control sequences ή packet exchanges) που επιτρέπει σε μια συσκευή την επίτευξη ενός συγκεκριμένου στόχου. Μια διαδικασία σχετίζεται συνήθως με μια διαδικασία από τον άλλο χρήστη, κι έτσι είναι συχνά στενά συνδεδεμένες μεταξύ τους. Το GAP ασφαλείας στηρίζεται στα Security Manager και Security Manager Protocol, μέσω καθορισμού των τρόπων και των διαδικασιών ασφάλειας, τα οποία ορίζουν τον τρόπο με τον οποίο οι χρήστες ελέγχουν το επίπεδο ασφάλειας που απαιτεί μια συγκεκριμένη ανταλλαγή δεδομένων και το πώς επιβάλλεται στη συνέχεια το επίπεδο ασφάλειας. Το GAP ορίζει περαιτέρω πρόσθετη ασφάλεια η οποία όμως δεν σχετίζεται χαρακτηριστικά που με συγκεκριμένες εφαρμογές και διαδικασίες, και οι συσκευές είναι ελεύθερες να χρησιμοποιήσουν εκείνες που πρέπει ώστε να αυξηθεί το επίπεδο προστασίας των δεδομένων που απαιτούνται για κάθε εφαρμογή.

#### Πρόσθετες Μορφές GAP Δεδομένων

Εκτός από όλα τα παραπάνω, το GAP χρησιμοποιείται, επίσης, ως τρόπος δέσμευσης θέσης για ορισμένους πρόσθετους ορισμούς με τη μορφή των δεδομένων που σχετίζονται με τις λειτουργίες και τις διαδικασίες που ορίζονται από το GAP.

#### Ρόλοι

Το GAP ορίζει τέσσερις ρόλους που μια συσκευή μπορεί να υιοθετήσει ώστε να ενταχθεί σε μια BLE δικτύου:

##### Μεταδότης (Broadcaster)

Ορίζεται μόνο για εφαρμογές που μπορούν να μεταδώσουν και οι οποίες διανέμουν δεδομένα σε τακτική βάση, ενώ ο ρόλος του μεταδότη αποστέλλει με περιοδικότητα advertising packets με δεδομένα. Θεωρητικά, ο ρόλος του μεταδότη θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί μόνο με radios που έχουν την ιδιότητα του πομπού, αλλά στην πράξη, ο ρόλος αυτός συνήθως



σχετίζεται με συσκευή ικανή τόσο εκπομπής όσο και λήψης. Οι μεταδότες αποστέλλουν δεδομένα σε διαφημιστικά πακέτα αντί σε πακέτα δεδομένων σύνδεσης, και τα δεδομένα είναι προσβάσιμα σε κάθε συσκευή ικανή να λάβει μηνύματα. Ο ρόλος αυτός, λοιπόν, χρησιμοποιεί το Link Layer ρόλο του διαφημιστή.

#### Observer

Βελτιστοποιημένη για να λαμβάνει μόνο από εφαρμογές οι οποίοι επιθυμούν να συλλέγουν δεδομένα από συσκευές που εκπέμπουν, ο ρόλος του παρατηρητή ακροάζεται τα δεδομένα ενσωματωμένα διαφημιστικά πακέτα από ραδιοτηλεοπτικούς συνομηλίκους. Ο ρόλος του παρατηρητή χρησιμοποιεί το Link Layer scanner ρόλο.

#### Central

Ο κεντρικός ρόλος αντιστοιχεί στο Link Layer master. Πρέπει η συσκευή να μπορεί να θεμελιώσει πολλαπλές συνδέσεις με τους υπόλοιπους χρήστες, ενώ ο κεντρικός ρόλος είναι πάντα ο εκκινητής των συνδέσεων και ουσιαστικά επιτρέπει την πρόσβαση των συσκευών στο δίκτυο. Το BLE protocol είναι ασύμμετρο, γεγονός το οποίο σημαίνει ότι οι υπολογιστικές απαιτήσεις του Link Layer master είναι περισσότερες από αυτές του επιπέδου Link Layer slave. Ο κεντρικός ρόλος συνήθως εκτελείται από ένα smartphone ή tablet στο δίκτυο, επειδή έχει πρόσβαση σε ισχυρούς CPUs και πόρους μνήμης. Αυτό του επιτρέπει να διατηρήσει τις συνδέσεις σε πολλαπλές συσκευές.

Οι κεντρική ξεκινά με την ακρόαση διαφημιστικών πακέτων άλλων συσκευών και στη συνέχεια πραγματοποιεί σύνδεση με μια επιλεγμένη συσκευή. Αυτή η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί για να συμπεριλάβει πολλαπλές συσκευές σε ένα ενιαίο δίκτυο.

#### Peripheral

Ο Peripheral αντιστοιχεί στο Link Layer slave. Ο ρόλος αυτός χρησιμοποιεί advertising packets για να επιτρέψει στον Central, να το βρει και, στη συνέχεια, να δημιουργήσει μια σύνδεση με αυτό. Το BLE πρωτόκολλο έχει βελτιστοποιηθεί ώστε να απαιτεί λίγους πόρους για την εφαρμογή, τουλάχιστον όσον αφορά την επεξεργαστική ισχύ και μνήμη. Αυτό ανοίγει το δρόμο σε μια μεγάλη αγορά από οικονομικά Peripheral BLE.

Κάθε συγκεκριμένη συσκευή μπορεί να λειτουργήσει σε έναν ή περισσότερους ρόλους μια δεδομένη στιγμή, και η προδιαγραφή της δεν επιβάλλει περιορισμούς σε αυτό το θέμα.

Πολλοί προγραμματιστές λανθασμένα προσπαθούν να συσχετίσουν τον BLE GATT πελάτη και τους ρόλους του server με τους GAP ρόλους. Ωστόσο, δεν υπάρχει καμία σύνδεση μεταξύ αυτών, και οποιαδήποτε συσκευή μπορεί να είναι GATT πελάτης, server, ή και τα δύο, ανάλογα με την εφαρμογή και κατάσταση.

Ως παράδειγμα, ένας fitness tracker σε συνδυασμό με ένα smartphone. Ο GAP ρόλος του πρώτου είναι peripheral, και ενεργεί ως GATT διακομιστής όταν το τηλέφωνο ζητά δεδομένα από τους sensors του. Μπορεί επίσης μερικές φορές να ενεργεί ως GATT πελάτης, όταν ζητά τον ακριβή χρόνο από τα δεδομένα του smartphone για να ενημερώσει το εσωτερικό ρολόι του για Timestamping δεδομένων. Οι ρόλοι GATT client / server εξαρτώνται αποκλειστικά από την κατεύθυνση στην οποία ρέουν τα αιτήματα και τα δεδομένα των απαντήσεων, ενώ οι GAP ρόλοι παραμένουν σταθερά ως peripheral για τον fitness tracker και ως central για το smartphone.

#### Modes and Procedures

Mode	Applicable Role(s)	Applicable Peer Procedure(s)
Broadcast	Broadcaster	Observation
Non-discoverable	Peripheral	N/A
Limited discoverable	Peripheral	Limited and General discovery
General discoverable	Peripheral	General discovery
Non-connectable	Peripheral, broadcaster, observer	N/A
Any connectable	Peripheral	Any connection establishment

Πίνακας 2. GAP modes and their applicable procedures.

Τα Advertising packets αποστέλλονται τυφλά σε μονή κατεύθυνση σε τακτά χρονικά διαστήματα, και αποτελούν τη βάση και του broadcasting (και observing), αλλά και του discovery. Μια συσκευή σάρωσης για τη διαφήμιση των πακέτων μπορεί να λάβει ένα πακέτο εάν συμβεί σάρωση τη στιγμή που μεταδίδεται ένα πακέτο διαφήμισης, και θα μπορούσε απλά να λάβει τα δεδομένα που περιέχονται σε αυτό ή να συνεχίσει με την έναρξη μιας σύνδεσης. Οι συνδέσεις, από την άλλη πλευρά, απαιτούν δύο peers οι οποίοι εκτελούν συγχρονισμένα ανταλλαγές δεδομένων σε περιοδικότητα και παρέχει εγγυήσεις για τη διαβίβαση των δεδομένων και την απόδοση.

### Broadcast and Observation

Η μέθοδος του broadcast και η observation διαδικασία που ορίζεται στο GAP καθορίζουν το πλαίσιο μέσω του οποίου μια συσκευή μπορεί να αποστέλλει δεδομένα μονής κατεύθυνσης, ως broadcaster σε μία ή σε περισσότερες ενεργές συσκευές (the observers). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι ο broadcaster δεν έχει τρόπο να γνωρίζει εάν τα δεδομένα φτάνουν πράγματι σε τυχόν παρατηρητές, κι έτσι αυτός ο συνδυασμός του τρόπου και της διαδικασίας παραμένει πιστός στην ονοματολογία της: ο broadcaster εκπέμπει δεδομένα χωρίς να λαμβάνει καμία επιβεβαίωση ή απόδειξη, και ο observer 'ακούει' (προσωρινά ή επ'αόριστον) τυχόν υποψήφιους broadcasters χωρίς καμία εγγύηση στην πραγματικότητα για τη λήψη δεδομένων. Τα advertising packets που αποστέλλονται από τον broadcaster περιέχουν πραγματικά, έγκυρα δεδομένα του χρήστη, μαζί με μερικά στοιχεία μετα-δεδομένων (όπως είναι η Bluetooth device address) τα οποία εισάγονται από το Link Layer. Όπως έχει ήδη περιγραφεί, κάθε πακέτο διαφήμισης περιέχει μέχρι και 31 bytes δεδομένων (το πραγματικά διαθέσιμο μήκος δεδομένων χρήστη θα είναι μικρότερο, λόγω των headers και format overheads), αλλά μπορεί και να διπλασιαστεί χρησιμοποιώντας το αίτημα scan request/scan response αμέσως μετά την επιτυχή λήψη ενός πακέτου διαφήμισης από τον παρατηρητή, αποδίδοντας έως και 62 bytes δεδομένων ανά περίπτωση. Δεδομένου ότι ένα scan response packet αποστέλλεται μόνο κατόπιν αιτήματος από τον παρατηρητή, τα πιο σημαντικά δεδομένα πρέπει πάντοτε να τοποθετούνται στο ίδιο το πακέτο διαφήμισης, όχι στη σάρωση response packet. Ένας broadcaster μπορεί να αποστείλει ADV\_NONCONN\_IND ή ADV\_SCAN\_IND advertising packets (see Table 2-1).

Με τη δημιουργία μιας συσκευής που θα αποτελεί μόνο broadcaster, μπορούν απλά να μεταδοθούν δεδομένα προς τα έξω, όπου κάθε συσκευή εντός της εμβέλειας ακρόασης μπορεί να το λάβει, είτε είναι μία είτε περισσότερες συσκευές. Αυτό έρχεται σε έντονη αντίθεση με

ένα peripheral, ο οποίος σταματά να κάνει advertising αφού εφαρμόσει σύνδεση, κλείνοντας αποτελεσματικά μόνο του σε οποιαδήποτε άλλες κεντρικές συσκευές εντός εμβέλειας ακρόασης έως ότου η σύνδεση είναι κλειστή ή , στη σπάνια περίπτωση των συσκευών που υποστηρίζουν πολλαπλές συνδέσεις ως σκλάβος , μέχρις ότου μια επιπλέον σύνδεση δημιουργείται.

### **3. GATT**

GATT (Services and Characteristics)

Το γενικό σχεδιάγραμμα ιδιοτήτων (GATT) πιστοποιεί λεπτομερώς πώς ανταλλάζουν σε όλα τα προφίλ τα στοιχεία χρηστών σε μια σύνδεση BLE. Σε αντίθεση με τη GAP που καθορίζει τις χαμηλού επιπέδου αλληλεπιδράσεις με τις συσκευές, η GATT ασχολείται μόνο με τις πραγματικές διαδικασίες και τα σχήματα μεταφοράς δεδομένων. Η GATT παρέχει επίσης τα πλαίσια αναφοράς για όλα τα GATT - βασισμένα σχεδιαγράμματα (που συζητούνται στα «SIG-καθορισμένα GATT σχεδιαγράμματα» ), τα οποία καλύπτουν τις ακριβείς περιπτώσεις χρήσης και εξασφαλίζουν διαλειτουργικότητα μεταξύ των συσκευών από τους διαφορετικούς προμηθευτές. Όλα τα τυποποιημένα σχεδιαγράμματα BLE είναι επομένως βασισμένα στη GATT και πρέπει να συμμορφωθούν με αυτό για να λειτουργήσουν σωστά. Αυτό κάνει τη GATT ένα βασικό τμήμα της προδιαγραφής BLE, επειδή κάθε ενιαίο στοιχείο των στοιχείων που είναι σχετικά με τις εφαρμογές και τους χρήστες πρέπει να σχηματοποιηθεί, να συσκευαστεί, και να σταλεί σύμφωνα με τους κανόνες του. Η GATT χρησιμοποιεί το πρωτόκολλο ιδιοτήτων σαν το το πρωτόκολλο των μεταφορών του για να ανταλλάξει τα στοιχεία μεταξύ των συσκευών. Αυτό το στοιχείο οργανώνεται ιεραρχικά στα τμήματα και καλεί τις υπηρεσίες. Αυτό καθορίζει πολλές θεμελιώδεις πτυχές της GATT που συζητούνται σε αυτό το κεφάλαιο.

#### **Ρόλοι**

Όπως με οποιοδήποτε άλλο πρότυπο ή σχεδιάγραμμα στην προδιαγραφή Bluetooth , η GATT αρχίζει καθορίζοντας τους ρόλους που οι αλληλεπιδρώντας συσκευές μπορούν να υιοθετήσουν:

#### **Πελάτης**

Ο πελάτης GATT αντιστοιχεί στον πελάτη ATT που συζητείται στο «πρωτόκολλο ιδιοτήτων (ATT)» . Στέλνει τα αιτήματα σε έναν κεντρικό υπολογιστή και λαμβάνει τις απαντήσεις (και ενημερώνει) από αυτό. Ο πελάτης GATT δεν ξέρει τίποτα εκ των προτέρων από τις ιδιότητες του κεντρικού υπολογιστή (server) , έτσι αυτό πρέπει πρώτα να ερευνηθεί με την εκτέλεση της ανακάλυψης υπηρεσιών. Μετά όταν ολοκληρωθεί η υπηρεσία ανακάλυψης, μπορεί στη συνέχεια να αρχίσει ανάγνωση και γραφή των χαρακτηριστικά που βρίσκονται στο διακομιστή, όπως καθώς και στη λήψη του διακομιστή ξεκίνησε ενημερώσεις.

#### **Εξεπηρετητής-server**

Ο διακομιστής GATT αντιστοιχεί στο διακομιστή ATT που συζητήθηκε στο "Πρωτόκολλο Χαρακτηριστικού (ATT) ". Λαμβάνει αιτήσεις από έναν πελάτη και στέλνει τις απαντήσεις πίσω. Στέλνει επίσης στον διακομιστή ενημερώσεις ότι έχει διαμορφωθεί και ο ρόλος του είναι πως είναι υπεύθυνο για την αποθήκευση και την διάθεση στον πελάτη των δεδομένων του χρήστη . Κάθε BLE συσκευή προς πώληση πρέπει να περιλαμβάνει τουλάχιστον ένα

βασικό διακομιστή της GATT που μπορεί να ανταποκριθεί στα αιτήματα των πελατών, ακόμη και αν είναι μόνο για να επιστρέψει μια απάντηση σφάλματος.

Αξίζει να σημειωθεί για μια ακόμη φορά ότι οι ρόλοι της GATT και οι δύο εντελώς ανεξάρτητες από τους ρόλους του GAP, αλλά ταυτόχρονα είναι και συμβατά μεταξύ τους.

Αυτό σημαίνει ότι τόσο το GAP κεντρικό και περιφερειακό (central-peripheral) GAP μπορεί να ενεργεί ως πελάτης της GATT ή ο server, ή ακόμη και να ενεργεί σαν και τα 2 ταυτόχρονα.

## **UUIDs**

Ένα καθολικά μοναδικό αναγνωριστικό (UUID) είναι ένα 128-bit (16 bytes) αριθμός που είναι εγγυημένος (ή έχει μεγάλη πιθανότητα) να είναι παγκοσμίως μοναδικός. UUIDs χρησιμοποιούνται σε πολλά πρωτόκολλα και εφαρμογές, εκτός από Bluetooth, και η μορφή, η χρήση τους και η παραγωγή τους καθορίζεται στην ITU-T Rec. X.667, εναλλακτικά γνωστή ως ISO / IEC 9834-8: 2005.

Για λόγους αποτελεσματικότητας, και επειδή τα 16 bytes πέρνουν ένα μεγάλο κομμάτι του ωφέλιμου φορτίου δεδομένων του 27-byte μήκος του στρώματος ζεύξης, η BLE προδιαγραφή προσθέτει δύο επιπλέον μορφές UUID: 16-bit και 32-bit των UUID. Αυτές οι μειωμένες μορφές μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο με UUIDs που ορίζονται στην προδιαγραφή Bluetooth (δηλαδή, που αναφέρονται στην Bluetooth SIG ως πρότυπο Bluetooth UUIDs).

Για να ανακατασκευάσει το πλήρες UUID 128-bit από τη μικρότερη έκδοση, τοποθετήστε το 16- 32- ή την αμέσως μικρότερη αξία (υποδεικνύεται από xxxxxxxx, συμπεριλαμβανομένων ηγετικών μηδενικά) στη Βάση Bluetooth .

UUID: xxxxxxxx-0000-1000-8000-00805F9B34FB

Το SIG παρέχει (σύντομη) UUIDs για όλους τους τύπους, τις υπηρεσίες και τα προφίλ που καθορίζει και εξειδικεύει. Αλλά αν η αίτησή σας χρειάζεται το δικό του, είτε επειδή αυτά που προσφέρονται από το SIG δεν καλύπτουν τις απαιτήσεις σας ή επειδή θέλετε να υλοποιήσετε μια νέα περίπτωση χρήσης που δεν έχουν προηγουμένως εξεταστεί στη συγγραφή προφίλ, μπορείτε να τους δημιουργήσετε χρησιμοποιώντας σελίδα UUID γενιάς της ITU.

Βράχυνση δεν είναι διαθέσιμη για UUIDs που δεν προέρχονται από την Bluetooth .

## **Γνωρίσματα-attributes**

Χαρακτηριστικά είναι η μικρότερη οντότητα δεδομένων που ορίζονται από την GATT (και ATT). Είναι διευθυνσιοδοτούμενα κομμάτια των πληροφοριών που μπορούν να περιέχουν δεδομένα σχετικά με το χρήστη (ή μεταδεδομένα) για τη δομή και ομαδοποίηση των διαφόρων χαρακτηριστικών που περιέχονται εντός του διακομιστή. Και οι δύο GATT και ATT μπορούν να λειτουργήσουν μόνο με αυτά τα χαρακτηριστικά, τόσο για τους πελάτες όσο και για τους διακομιστές πρέπει να αλληλεπιδρούν, όλες οι πληροφορίες πρέπει να οργανώνονται σε αυτή τη μορφή.

Εννοιολογικά ,τα χαρακτηριστικά πάντα βρίσκονται στο διακομιστή και η πρόσβαση (και, ενδεχομένως, τροποποιημένη) γίνεται από τον πελάτη. Η προδιαγραφή ορίζει τις ιδιότητες μόνο εννοιολογικά, και δεν υποχρεώνει τις ATT και της GATT εφαρμογές να χρησιμοποιούν ένα συγκεκριμένο εσωτερικό χώρο αποθήκευσης. Επειδή τα χαρακτηριστικά περιέχουν τόσο στατικό ορισμούς των αμετάβλητη τη φύση και την πραγματική χρήστη (συντά αισθητήρων) τα δεδομένα που είναι υποχρεωμένα να αλλάζουν γρήγορα με το χρόνο , είναι τα

χαρακτηριστικά που συνήθως αποθηκεύονται σε ένα μίγμα από nonvolatile memory\_ και RAM.

Κάθε ένα και κάθε χαρακτηριστικό γνώρισμα περιλαμβάνει πληροφορίες σχετικά με την ίδια την ιδιότητα και, στη συνέχεια, τα πραγματικά δεδομένα, βρίσκονται στους τομείς που περιγράφονται στις ακόλουθες παραγράφους.

### **Διαχείριση-Handle**

Η Διαχείριση ή χαρακτηριστικό είναι ένα μοναδικό αναγνωριστικό 16-bit για κάθε χαρακτηριστικό σε έναν συγκεκριμένο GATT υπηρετή. Είναι το μέρος του κάθε χαρακτηριστικού που το καθιστά διευθυνσιοδοτούμενο, και δεν είναι εγγυημένο να αλλάξει μεταξύ των συναλλαγών ή, για συνδεδεμένες συσκευές, η ακόμη και σε συνδέσεις. Επειδή δηλώνει 0x0000 αξία μια άκυρη διαχείριση (invalid handle), το ύψος των handles που διατίθενται σε κάθε σέρβερ GATT είναι 0xFFFE (65535), αν και στην πράξη, ο αριθμός των χαρακτηριστικών σε ένα διακομιστή είναι συνήθως πιο κοντά σε μερικές δεκάδες.

Μέσα σε ένα διακομιστή της GATT, οι αυξανόμενες τιμές των handles καθορίζουν την διατεταγμένη ακολουθία των χαρακτηριστικών στα οποία ένας πελάτης μπορεί να έχει πρόσβαση. Αλλά τα κενά ανάμεσα στα handles επιτρέπονται, οστε ο πελάτης να μην μπορεί να επικαλεστεί μια συνεχή αλληλουχία και να μαντέψει τη θέση του επόμενου χαρακτηριστικού. Έτσι, ο πελάτης πρέπει να χρησιμοποιήσει τη δυνατότητα ανακάλυψης Service and Characteristic Discovery για να πάρει τα handles των χαρακτηριστικών που ενδιαφέρεται.

### **Type -Τύπος**

Ο τύπος δεν είναι τίποτα άλλο από ένα χαρακτηριστικό UUID. Αυτό μπορεί να είναι ένα UUID 16-, 32- ή 128-bit, πέρνοντας 2, 4, ή 16 bytes, αντίστοιχα. Ο τύπος καθορίζει το είδος των δεδομένων που περιλαμβάνονται στην αξία του χαρακτηριστικού, και οι μηχανισμοί είναι διαθέσιμοι για να ανακαλύψουμε τα χαρακτηριστικά που βασίζονται αποκλειστικά με το είδος τους

Παρά το γεγονός ότι ο τύπος του χαρακτηριστικού είναι πάντα ένα UUID, πολλά είδη UUIDs μπορεί να χρησιμοποιηθούν για να γεμίσουν τον τύπο. Μπορούν να είναι πρότυπα UUIDs που καθορίζουν τη διάταξη του διακομιστή GATT αποδίδοντας, όπως η υπηρεσία ή το χαρακτηριστικό UUIDs, προφίλ UUIDs που προσδιορίζουν το είδος των δεδομένων που περιέχονται στην ιδιότητα, όπως η καρδιακή συχνότητα μέτρησης ή της θερμοκρασίας.

### **Δικαιώματα**

Τα δικαιώματα είναι τα μεταδεδομένα που προσδιορίζουν ποιες λειτουργίες ATT μπορούν να εκτελεστούν σε κάθε συγκεκριμένη ιδιότητα και με ποιες συγκεκριμένες απαιτήσεις ασφαλείας.

Η ATT και η GATT ορίζουν τα ακόλουθα δικαιώματα:

#### **Δικαιώματα Πρόσβασης**

Παρόμοια με άδειες αρχείων, τα δικαιώματα πρόσβασης καθορίζονται εάν ο πελάτης μπορεί να διαβάσει ή να γράψει (ή και τα δύο) στην τιμή ενός χαρακτηριστικού. Κάθε χαρακτηριστικό μπορεί να έχει ένα από τα ακόλουθα δικαιώματα πρόσβασης:

#### **Κανένα**

Το χαρακτηριστικό δεν μπορεί ούτε να διαβάσει ούτε γραμμένο από έναν πελάτη.

#### **Αναγνώση**

Το χαρακτηριστικό μπορεί να διαβαστεί από έναν πελάτη.

#### **Εγγράφη**

Το χαρακτηριστικό μπορεί να γραφτεί από έναν πελάτη.

#### **Αναγνώση και Εγγράφη**

Το χαρακτηριστικό μπορεί να διαβάζονται και γράφονται από τον πελάτη.

#### **Κρυπτογράφηση**

Καθορίζει αν ένα ορισμένο επίπεδο κρυπτογράφησης είναι απαραίτητο για αυτό το χαρακτηριστικό όταν προσεγγιστεί από τον πελάτη.

Αυτές είναι οι επιτρεπόμενες άδειες κρυπτογράφησης, όπως ορίζεται στην GATT:

#### **Δεν απαιτείται κρυπτογράφηση (Λειτουργία Ασφαλείας 1, Επίπεδο 1)**

Το χαρακτηριστικό είναι προσβάσιμο σε ένα απλό κείμενο, μη κρυπτογραφημένη σύνδεση.

#### **Μη εξουσιοδοτημένη κρυπτογράφησης (Λειτουργία Ασφαλείας 1, Επίπεδο 2)**

Η σύνδεση πρέπει να κρυπτογραφείται για να αποκτήσετε πρόσβαση σε αυτό το χαρακτηριστικό, αλλά η κρυπτογράφηση δεν χρειάζεται να επικυρώση (αν και μπορεί να έχει).

#### **Απαιτηση επικυρώσης για την κρυπτογράφησης (Λειτουργία Ασφαλείας 1, Επίπεδο 3)**

Η σύνδεση πρέπει να κρυπτογραφηθεί με επικυρωμένο το κλειδί για να αποκτήσει πρόσβαση σε αυτό ένας Ιδιώτης.

#### **Εξουσιοδότηση**

Καθορίζει αν χρειάζεται την άδεια του για την πρόσβαση σε αυτό το χαρακτηριστικό.

Ένα χαρακτηριστικό μπορεί να επιλέξει μόνο ανάμεσα στο απαιτείται ή δεν απαιτείται άδεια:

Δεν απαιτείται άδεια Η πρόσβαση σε αυτό το χαρακτηριστικό δεν απαιτεί άδεια.

#### **Απαιτείται άδεια**

Η πρόσβαση σε αυτό το χαρακτηριστικό απαιτεί άδεια.

Όλα τα δικαιώματα είναι ανεξάρτητα το ένα από το άλλο και μπορούν να συνδυαστούν ελεύθερα από τον server, ο οποίος τα αποθηκεύει σε μια βάση ανά-χαρακτηριστικό.

#### **Αξία-value**

Η τιμή του χαρακτηριστικού κατέχει το πραγματικό περιεχόμενο δεδομένων του χαρακτηριστικού. Δεν υπάρχουν περιορισμοί σχετικά με το είδος των δεδομένων που μπορεί να περιέχει (μπορείτε να το φανταστείτε σαν ένα μη-δακτυλογραφημένο buffer που μπορεί να χυτευθεί σε οτιδήποτε το πραγματικό, ανάλογα με τον τύπο χαρακτηριστικού), αν και του μέγιστο μήκος περιορίζεται σε 512 bytes από τις προδιαγραφές του.

Ανάλογα με το χαρακτηριστικό τύπο, η τιμή μπορεί να κρατήσει περισσότερες πληροφορίες για τον εαυτό της. Αυτό είναι το μέρος ενός χαρακτηριστικού που ένας πελάτης μπορεί να έχει ελεύθερη πρόσβαση (με τα κατάλληλα δικαιώματα επιτρέποντος) τόσο εγγραφής όσο και ανάγνωσης. Όλες οι άλλες οντότητες που απαρτίζουν τη δομή του χαρακτηριστικού και δεν μπορούν να τροποποιηθούν ή να έχουν άμεση πρόσβαση σε αυτόν.

Μπορείτε να σκεφτείτε το σύνολο των χαρακτηριστικών που περιέχονται σε ένα διακομιστή της GATT, όπως ένα τραπέζι με κάθε σειρά αντιπροσωπεύει μια ενιαία ιδιότητα και κάθε στήλη αντιπροσωπεύει τα διάφορα μέρη που πραγματικά αποτελούν ένα χαρακτηριστικό.

Handle	Type	Permissions	Value	Value length
0x0201	UUID <sub>1</sub> (16-bit)	Read only, no security	0x180A	2
0x0202	UUID <sub>2</sub> (16-bit)	Read only, no security	0x2A29	2
0x0215	UUID <sub>3</sub> (16-bit)	Read/write, authorization required	"a readable UTF-8 string"	23
0x030C	UUID <sub>4</sub> (128-bit)	Write only, no security	{0xFF, 0xFF, 0x00, 0x00}	4
0x030D	UUID <sub>5</sub> (128-bit)	Read/write, authenticated encryption required	36.43	8
0x031A	UUID <sub>1</sub> (16-bit)	Read only, no security	0x1801	2

Πίνακας 3. Attributes represented as a table

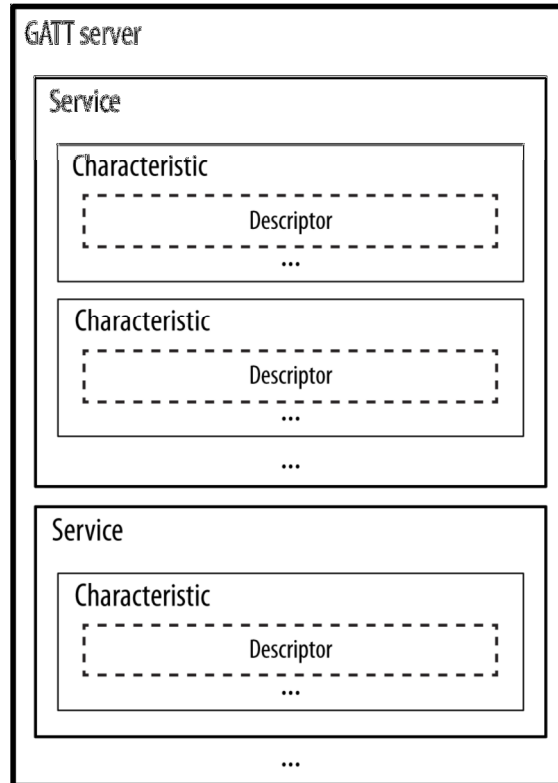
Σε αυτόν τον εξυπηρετητή της GATT, οι ιδιότητες που εμπεριέχονται εκπροσωπήθηκαν ως σειρές από ένα απλό πίνακα. Ο συγκεκριμένος διακομιστής της GATT συμβαίνει να φιλοξενεί μόνο πέντε χαρακτηριστικά (μάλλον μικρός αριθμός σε σύγκριση με πραγματικό κόσμο συσκευές). Σημειώστε ότι, όπως αναφέρθηκε νωρίτερα σε αυτό το τμήμα, τα handles των διαφορετικών χαρακτηριστικών δεν χρειάζεται να είναι συνεχόμενα, , όπως σε αυτό το παράδειγμα.

Η στήλη Αξία του πίνακα έχει ως στόχο να αντικατοπτρίσει τη μεγάλη ποικιλομορφία των μορφών που οι τιμές της παραμέτρου μπορούν να περιέχουν τα διαφορετικά προφίλ της GATT. Τα χαρακτηριστικά με handle 0x0201, 0x0202, και 0x031A περιέχουν ακέραιους 16-bit. Το χαρακτηριστικό με λαβή 0x0215 περιέχει UTF-8, 0x030C περιέχει 4- ρυθμιστικά byte, και 0x030D κατέχει IEEE-754 64-bit αριθμό κινητής υποδιαστολής.

### Ιεράρχιση Χαρακτηριστικών και δεδομένων Attribute and Data Hierarchy

Παρόλο που η προδιαγραφή του Bluetooth προσδιορίζει τα χαρακτηριστικά στο τμήμα ATT, , όταν πρόκειται για αυτά. Το GATT πηγαίνει περαιτέρω ώστε να καθιερώσει μια αυστηρή ιεραρχία για να οργανώνει τα χαρακτηριστικά σε ένα επαναχρησιμοποιήσιμο και πρακτικό τρόπο, επιτρέποντας την πρόσβαση και την ανάκτηση των πληροφοριών μεταξύ πελάτη και server και για να ακολουθήσει ένα περιεκτικό σύνολο κανόνων σε ένα πλαίσιο που χρησιμοποιείται από όλους που χρησιμοποιούν το GATT προφίλ.

Στο σχήμα 9 απεικονίζεται η ιεραρχία των δεδομένων που εισάγονται από την GATT.



Σχήμα 9. GATT server hierarchy

Τα χαρακτηριστικά σε ένα διακομιστή GATT ομαδοποιούνται σε υπηρεσίες, καθένα από τα οποία μπορεί να περιέχει μηδέν ή περισσότερα χαρακτηριστικά. Αυτά τα χαρακτηριστικά, με τη σειρά τους, μπορούν να περιλαμβάνουν μηδέν ή περισσότερα descriptors. Η ιεραρχία αυτή εφαρμόζεται αυστηρά για οποιαδήποτε συσκευή υποστηρίζει τη συμβατότητα του GATT (ουσιαστικά, όλες οι συσκευές BLE που πωλούνται), που σημαίνει ότι όλα τα χαρακτηριστικά σε ένα διακομιστή της GATT περιλαμβάνονται σε μία από αυτές τις τρεις κατηγορίες, χωρίς εξαιρέσεις. Δεν υπάρχουν χαρακτηριστικά που να μπορούν να ζήσουν έξω από αυτήν την ιεραρχία, όπως η ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ συσκευών BLE που εξαρτάται από αυτό.

Για τους περισσότερους τύπους δεδομένων στην ιεραρχία GATT, είναι σημαντικό να γίνει διάκριση μεταξύ του ορισμού τους (ολόκληρη η ομάδα των χαρακτηριστικών που συνθέτουν) και της δήλωσης του. Η δήλωση είναι ένα μοναδικό χαρακτηριστικό που είναι πάντα στην πρώτη θέση (με αύξουσα σειρά λαβή) στον ορισμό και εισάγει το μεγαλύτερο μέρος των μεταδεδομένων για τα δεδομένα που ακολουθούν. Όλες οι δηλώσεις έχουν δικαιώματα μόνο για ανάγνωση χωρίς να απαιτείται ασφάλεια, επειδή δεν μπορούν να περιέχουν ευαίσθητα δεδομένα. Είναι μόνο διαρθρωτικά χαρακτηριστικά που επιτρέπουν στον πελάτη για να μάθει και να ανακαλύψει τη διάταξη και τη φύση των ιδιοτήτων στο διακομιστή.

## Υπηρεσίες- services



Οι υπηρεσίες της GATT σχετίζονται σαν εννοιολογικά χαρακτηριστικά σε ένα κοινό τμήμα του attribute information που ορίζεται στο διακομιστή της GATT. Η προδιαγραφή αναφέρεται σε όλες τις ιδιότητες μέσα σε μια ενιαία υπηρεσία, όπως ο ορισμός των υπηρεσιών. Ως εκ τούτου, τα χαρακτηριστικά ενός διακομιστή GATT είναι στην πραγματικότητα μια σειρά από ορισμούς των υπηρεσιών, το καθένα ξεκινά με ένα μόνο χαρακτηριστικό που σηματοδοτεί την έναρξη μιας υπηρεσίας . Αυτό το χαρακτηριστικό είδος και η μορφή της αξίας είναι αυστηρά καθορισμένα στο πλαίσιο της GATT, όπως φαίνεται στο Πίνακας 4.

Handle	Type	Permissions	Value	Value length
0xNNNN	UUID <sub>primary service</sub> or UUID <sub>secondary service</sub>	Read Only	Service UUID	2, 4, or 16 bytes

Πίνακας 4 . Service Declaration attribute

Στη παρουσίαση του πίνακα 4, η UUID κύρια υπηρεσία (0x2800) και UUIDs δευτερεύουσα υπηρεσία (0x2801) αναφέρονται στο πρότυπο, SIG UUIDs που χρησιμοποιούνται ως τον αποκλειστικό τύπο για να εισαχθεί μια υπηρεσία

Η διαφορά μεταξύ της κύριας και δευτερεύουσας υπηρεσίας είναι σημαντικό να σημειωθεί.

Μια κύρια η υπηρεσία είναι ο κανονικός τύπος των υπηρεσιών της GATT που περιλαμβάνει τα πάντα σχετικά, με το πρότυπο λειτουργικότητας που εκτίθεται από το διακομιστή της GATT. Μια δευτερεύουσα υπηρεσία, από την άλλη πλευρά, προορίζεται για να περιλαμβάνεται μόνο σε άλλες κύριες υπηρεσίες και έχει νόημα μόνο ως τροποποιητής της, οι δευτερεύουσες δεν έχουν πραγματικό νόημα από μόνες τους. Στην πράξη, οι δευτερεύουσες υπηρεσίες χρησιμοποιούνται σπάνια.

Παρά το γεγονός ότι η δήλωση των υπηρεσιών πρέπει πάντα να είναι το πρώτο χαρακτηριστικό της υπηρεσίας, πολλές άλλες μπορούν να ακολουθήσουν πριν από την επόμενη δήλωση υπηρεσίας, συνήθως με τη μορφή των χαρακτηριστικών και των περιγραφών.

Εννοιολογικά, θα μπορούσατε να σκεφτείτε μια υπηρεσία της GATT ως κατηγορία σε κάθε σύγχρονη αντικειμενοστραφής γλώσσα, επειδή η υπηρεσία μπορεί να αρχικοποιείται πολλές φορές μέσα σε ένα μόνο διακομιστή GATT.

Μέσα σε ένα ορισμό της υπηρεσίας, μπορείτε να προσθέσετε μια ή περισσότερες παραπομπές σε άλλες υπηρεσίες, χρησιμοποιώντας include ορισμούς. Οι include ορισμοί αποτελούνται από ένα μοναδικό χαρακτηριστικό (η δήλωση περιλαμβάνουν) που περιέχει όλα τα στοιχεία που απαιτούνται για τον πελάτη. Περιλαμβάνονται οι υπηρεσίες μπορούν να βοηθήσουν να αποφευχθεί η αντιγραφή δεδομένων σε ένα διακομιστή της GATT. Αν μια υπηρεσία παραπεμφθεί από άλλες υπηρεσίες, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αυτό το μηχανισμό για να εξοικονομήσουμε μνήμη .

### Χαρακτηριστικά-characteristics

Μπορείτε να καταλάβετε χαρακτηριστικά ως δοχεία για τα δεδομένα χρήστη. Πάντα περιλαμβάνουν τουλάχιστον δύο χαρακτηριστικά: η χαρακτηριστική δήλωση (η οποία παρέχει μεταδεδομένα σχετικά με το τα πραγματικά δεδομένα χρήστη) και η χαρακτηριστική τιμή (το οποίο είναι ένα πλήρες χαρακτηριστικό που περιέχει το δεδομένων των χρηστών στον τομέα του αξία).

Επιπροσθέτως, η χαρακτηριστική τιμή μπορεί να ακολουθείται από περιγραφείς, η οποία επεκτείνει περαιτέρω στα μετα-δεδομένα που περιέχονται στη χαρακτηριστική δήλωση.

Η δήλωση, και η αξία, περιγράφουν μαζί και σχηματίζουν τον χαρακτηριστικό ορισμό, τα οποία είναι η δέσμη των χαρακτηριστικών που συνθέτουν ένα μοναδικό χαρακτηριστικό.

Handle	Type	Permissions	Value	Value length
0xNNNN	UUID <sub>characteristic</sub>	Read only	Properties, value handle (0xMMMM), characteristic UUID	5, 7, or 19 bytes
0xMMMM	Characteristic UUID	Any	Actual value	Variable

Πίνακας 5. δείχνει τη δομή των δύο πρώτων γνωρίσματα του κάθε χαρακτηριστικού

Όλα τα χαρακτηριστικά της GATT είναι πάντα μέρος της υπηρεσίας, και μπορούν επομένως πάντα να βρεθούν και να περικλείονται σε ένα.

### Χαρακτηριστικό γνώρισμα δήλωσης- Characteristic declaration attribute

Για άλλη μια φορά, ο τύπος UUID (0x2803) είναι ένα τυποποιημένο, και μοναδικό UUID που χρησιμοποιείται αποκλειστικά για να δηλώσει την έναρξη των χαρακτηριστικών. Όπως και με όλες τις άλλες δηλώσεις, το χαρακτηριστικό αυτό έχει δικαιώματα μόνο για ανάγνωση, έτσι οι πελάτες έχουν τη δυνατότητα μόνο να ανακτήσουν την αξία του, αλλά σε καμία περίπτωση να το τροποποιήσουν.

Το Πίνακας 6 απαριθμεί τα διάφορα στοιχεία που συνενώνονται στο πλαίσιο της δήλωσης του χαρακτηριστικού και του αποδίδουν αξία.

Name	Length in bytes	Description
Characteristic Properties	1	A bitfield listing the permitted operations on this characteristic
Characteristic Value Handle	2	The handle of the attribute containing the characteristic value
Characteristic UUID	2, 4, or 16	The UUID for this particular characteristic

Πίνακας 6. Charactertistics description

Αυτά τα τρία πεδία που περιέχονται σε ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα αξία δήλωση:

#### χαρακτηριστικές ιδιότητες

Αυτό το Bit 8-bit πεδίο, μαζί με τα δύο επιπλέον bits στις επεκτασείς ιδιότητας, περιέχουν τις λειτουργίες και διαδικασίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με αυτό το χαρακτηριστικό . Κάθε μία από εκείνες τις 10 ιδιότητες κωδικοποιείται ως ένα ενιαίο κομμάτι όπως παρουσιάζονται στον επόμενο Πίνακα.

Property	Location	Description
Broadcast	Properties	If set, allows this characteristic value to be placed in advertising packets, using the Service Data AD Type (see "GATT Attribute Data in Advertising Packets")
Read	Properties	If set, allows clients to read this characteristic using any of the ATT read operations listed in "ATT operations"
Write without response	Properties	If set, allows clients to use the Write Command ATT operation on this characteristic (see "ATT operations")
Write	Properties	If set, allows clients to use the Write Request/Response ATT operation on this characteristic (see "ATT operations")
Notify	Properties	If set, allows the server to use the Handle Value Notification ATT operation on this characteristic (see "ATT operations")
Indicate	Properties	If set, allows the server to use the Handle Value Indication/Confirmation ATT operation on this characteristic (see "ATT operations")
Signed Write Command	Properties	If set, allows clients to use the Signed Write Command ATT operation on this characteristic (see "ATT operations")
Queued Write	Extended Properties	If set, allows clients to use the Queued Writes ATT operations on this characteristic (see "ATT operations")
Writable Auxiliaries	Extended Properties	If set, a client can write to the descriptor described in "Characteristic User Description Descriptor"

Πίνακας 7.

Ο πελάτης μπορεί να διαβάσει αυτές τις ιδιότητες για να μάθετε ποιες λειτουργίες επιτρέπεται να εκτελεί στα χαρακτηριστικά.

### Χαρακτηριστική τιμή λαβή characteristic handle value

Αυτά τα δύο bytes περιέχουν το handle χαρακτηριστικό του γνώρισμα που περιέχει την πραγματική αξία του χαρακτηριστικού. Αν και είναι συχνά η περίπτωση, δεν πρέπει ποτέ να υποθέσουμε ότι αυτή η λαβή θα είναι συνεχόμενη (δηλαδή,  $0xNNNN + 1$ ) με εκείνη που περιέχει τη δήλωση.

### Χαρακτηριστικό UUID

Το UUID του ιδιαίτερου χαρακτηριστικού, μπορεί να είναι είτε ένα SIG-εγκεκριμένο UUID (όταν κάνουν χρήση των δεκάδων με χαρακτηριστικούς τύπους που περιλαμβάνονται στο πρότυπο προφίλ) ή 128-bit vendor με ειδικά διαφορετικά UUID. Συνεχίζοντας με την κατηγορία και το αντικείμενο του προσανατολισμού τα χαρακτηριστικά είναι σαν μεμονωμένα πεδία ή ιδιότητες σε αυτή την κατηγορία, και ένα προφίλ είναι σαν μια εφαρμογή που καθιστά την χρήση μίας ή περισσότερων τάξεων για μια συγκεκριμένη ανάγκη ή σκοπό.

### Χαρακτηριστικό γνώρισμα αξίας

Τέλος, η χαρακτηριστική τιμή περιέχει τα πραγματικά δεδομένα χρήστη που ο πελάτης μπορεί να ανάγνωση και να γράψει για τις ανταλλαγές πληροφοριών. Ο τύπος για αυτό το χαρακτηριστικό είναι πάντα το ίδιο UUID και βρίσκονται στο πεδίο τιμών που δηλώνεται το χαρακτηριστικό. Έτσι, τα χαρακτηριστικά της χαρακτηριστικής τιμής δεν έχουν πλέον είδη υπηρεσιών ή χαρακτηριστικών, αλλά μάλλον συγκεκριμένα, ειδικά UUIDs που μπορούν να αναφέρονται διαβάζοντας ένα αισθητήρα ή με το πάτημα ενός πλήκτρου στο πληκτρολόγιο.

Η αξία ενός χαρακτηριστικού characteristic value attribute μπορεί να περιέχει το οποιοδήποτε είδος δεδομένων μπορεί να φανταστεί κανείς, από θερμοκρασίες σε βαθμούς Κελσίου σε

βασικούς κωδικούς σάρωσης για να εμφανίσετε σε ταχύτητες σε μίλια ανά ώρα, κάτι που μπορεί να μεταδοθεί μέσω δύο BLE συσκευών οι οποίες μπορούν να συμπληρώσουν το περιεχόμενο της εν λόγω αξίας.

### **Χαρακτηριστικό περιγραφείς - Characteristic Descriptors**

Στο GATT χαρακτηριστικό περιγραφής (συνήθως ονομάζεται απλά descriptors- Περιγραφής) χρησιμοποιούνται ως επί το πλείστον ώστε να παράσχει στον πελάτη μεταδεδομένα (πρόσθετες πληροφορίες σχετικά με το χαρακτηριστικό και την αξία του). Πάντοτε τοποθετούνται εντός του ορισμού του χαρακτηριστικού και μετά στο χαρακτηριστικό γνώρισμα αξία. Οι περιγραφές δημιουργούνται πάντα από ένα μόνο χαρακτηριστικό, το characteristic descriptor declaration, των οποίων το UUID είναι πάντα ο τύπος Περιγραφές και η αξία των οποίων περιέχει ό, τι ορίζεται από το συγκεκριμένο τύπο.

Μπορείτε να βρείτε δύο τύπους των περιγραφών σε διαφορετικά χαρακτηριστικά της GATT:

#### **GATT- περιγραφής GATT-defined descriptors**

Αυτά είναι τα θεμελιώδη, και ευρέως χρησιμοποιούμενοι τύποι περιγραφή; που απλά προσθέτονται στις metadata πληροφορίες και έχουν σχέση με το χαρακτηριστικό. Οι ακόλουθες ενότητες περιγράφουν τα πιο κοινά από αυτά.

#### **Προφίλ ή πωλητής περιγραφής- Profile or vendor-defined descriptors**

Ανεξάρτητα από το αν ένα προφίλ που καθορίζεται και δημοσιεύεται από την SIG ή από ένα συγκεκριμένο πωλητή, αυτές οι περιγραφές μπορούν να περιέχουν όλα τα είδη των δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των πρόσθετων πληροφοριών σχετικά με την χαρακτηριστική τιμή, όπως η κωδικοποίηση που χρησιμοποιείται για την απόκτηση της τιμής από έναν αισθητήρα ή οποιαδήποτε άλλα στοιχεία που συμπληρώνουν την ίδια την ανάγνωση. Οι ακόλουθες ενότητες περιγράφουν μερικές από τους πιο συχνά χρησιμοποιούμενους descriptors που ορίζονται στην GATT.

#### **Επέκταση δικαιωμάτων περιγραφής - Extended Properties Descriptor**

Αυτή η περιγραφική, όταν υπάρχει, απλά περιέχει δύο επιπλέον bits δικαιωμάτων.

#### **Χαρακτηριστικό χρήστη Περιγραφή περιγραφής- Characteristic User Description Descriptor**

Όπως υποδηλώνει το όνομα, αυτό ο Περιγραφέας περιέχει μια αναγνώσιμη περιγραφή για ένα χρήστη του οποίου το χαρακτηριστικό έχει τοποθετηθεί εντός. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι μία UTF-8 συμβολοσειρά που θα μπορούσε να διαβάσει, για παράδειγμα, "Την θερμοκρασία στο σαλόνι."

#### **Πελάτης περιγραφής Χαρακτηριστικό Διαμόρφωση- Client Characteristic Configuration Descriptor**

Αυτός ο τύπος Περιγραφέας (συντομογραφία συχνά CCCD) είναι χωρίς αμφιβολία ο πιο σημαντικός και χρησιμοποιείται συχνά, αυτό είναι απαραίτητο για την λειτουργία των περισσότερων από τα προφίλ και των περιπτώσεων χρήσης. Η λειτουργία του είναι απλή: λειτουργεί ως διακόπτης, η ενεργοποίησης ή απενεργοποίησης του διακομιστή που είναι υπεύθυνος για τις ενημερώσεις, αλλά μόνο για το χαρακτηριστικό στο οποίο η ίδια βρίσκεται κλειστό. Κάθε φορά που ένας πελάτης θέλει να ενεργοποιήσετε τις ειδοποιήσεις ή τις

ενδείξεις για ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό , απλά χρησιμοποιεί ένα πακέτο Γράψτε Αίτημα ATT(Write Request ATT packet) ώστε να καθορίσει το αντίστοιχο bit προς 1. Στη συνέχεια ο διακομιστής θα απαντήσει με ένα Write Response και θα αρχίσει την αποστολή των κατάλληλων πακέτων για το όποτε επιθυμεί να προειδοποιήσει τον πελάτη για μια αλλαγή στην αξία.

Επιπλέον, CCCDs έχουν δύο ειδικές ιδιότητες που τους χωρίζουν από τα άλλα χαρακτηριστικά:

#### **Οι τιμές τους είναι μοναδικές ανά σύνδεση**

Σε σενάρια multi-σύνδεσης, στην οποία ένας κεντρικός συνδέεται με πολλαπλά περιφερειακά και επίσης ενεργεί ως διακομιστής της GATT, κάθε περιφερειακή συσκευή θα λάβει το δικό της αντίγραφο της η αξία του CCCD όταν το διαβάζει με το ATT.

#### **Οι τιμές τους διατηρούνται σε όλη συνδέσεις με συνδεδεμένες συσκευές**

Οι τιμές συνήθως δεν αποθηκεύονται ανά συσκευή και ο Διακομιστής της GATT μπορεί να τα επαναφέρει μεταξύ των συνδέσεων. Αυτή δεν είναι η περίπτωση με CCCDs που έχουν τις Μεταξύ τους συσκευές συνδεδεμένες: η τελευταία τιμή που γράφεται από έναν πελάτη σε μια CCCD στο διακομιστή είναι εγγυημένη να αποκατασταθεί μετά την επανασύνδεση, ανεξάρτητα από το χρονικό διάστημα μεταξύ της σύνδεσης.

Πολλές στοίβες πρωτοκόλλου έχουν ειδικούς μηχανισμούς για την αντιμετώπιση των CCCDs, τόσο από τον πελάτη όσο και από τον διακομιστή , αυτό γίνεται επειδή είναι κρίσιμο για την σωστή λειτουργία , την εγγύηση και έγκαιρη ενημέρωση των δεδομένων μεταξύ των συσκευών.

#### **Ανταλλαγή MTU**

Αυτή η συνοπτική διαδικασία δύο-πακέτων επιτρέπει σε κάθε ομοτίμους ATT να αφήσουν ο ένας τον άλλο να γνωρίζει σχετικά με τη μέγιστη μονάδα μετάδοσης (MTU, ή αποτελεσματικά μέγιστο μήκος πακέτου) ώστε να μπορεί να ρυθμίσει τους buffer του.

Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιείται μόνο όταν είτε ο πελάτης ή ο εξυπηρετητής (ή αμφότεροι) μπορούν να χειριστούν MTU μεγαλύτερο από το προεπιλεγμένο ATT\_MTU των 23 bytes και θέλουν να ενημερώσουν το άλλο άκρο ότι αυτό μπορεί να στείλει πακέτα περισσότερα από τις προεπιλεγμένες τιμές που απαιτεί η προδιαγραφή. Τότε το L2CAP στην συνέχεια θα κατακερματιστεί αυτά τα μεγαλύτερα πακέτα σε μικρά στρώματα Σύνδεσης(link layer) και μετά θα τα επαναφέρει όπως ήταν πριν.

#### **Service and Characteristic Discovery**

Όπως αναφέρεται ο πελάτης δεν έχει καμία γνώση σχετικά με τις ιδιότητες που θα μπορούσαν να υπάρχουν σε ένα διακομιστή GATT όταν συνδέεται σε αυτόν. Συνεπώς, είναι απαραίτητο για τον πελάτη να ξεκινήσει εκτελώντας μια σειρά από ανταλλαγές πακέτων για τον προσδιορισμό του ύψους, του τόπου και της φύσης όλων των χαρακτηριστικών που μπορεί να έχουν ενδιαφέρον.

Για τις υπηρεσίες πρωτογενών υπηρεσιών, της GATT προσφέρονται οι δύο παρακάτω επιλογές:

#### **Εύρεση όλων των πρωτογενών υπηρεσιών**

Χρησιμοποιώντας αυτή τη λειτουργία, οι πελάτες μπορούν να ανακτήσουν έναν πλήρη κατάλογο όλων των πρωτογενών υπηρεσιών (ανεξαρτήτως UUIDs της υπηρεσίας) από τον απομακρυσμένο διακομιστή. Αυτό χρησιμοποιείται συνήθως όταν ο πελάτης υποστηρίζει

περισσότερες από μία υπηρεσίες και, ως εκ τούτου θέλει να μάθετε για την πλήρη εξυπηρέτηση-υποστήριξη από την πλευρά του διακομιστή. Επειδή ο πελάτης μπορεί να καθορίσει μια σειρά handles όταν εκδίδει την απαιτούμενη αίτηση, θα πρέπει να οριστεί από το 0x0001-εώς 0xFF το φάσμα των handles δίνοντας την δυνατότητα, να καλύπτουν όλο το φάσμα των χαρακτηριστικών του διακομιστή.

### **Ανακάλυψη κύριων υπηρεσιών από μια UUID υπηρεσία**

Κάθε φορά που ο πελάτης δεν ξέρει για ποια υπηρεσία ψάχνει, μπορεί απλά να κοιτάξει για όλες τις εμφανίσεις μιας συγκεκριμένης υπηρεσίας που χρησιμοποιεί αυτό το χαρακτηριστικό. Όταν ο πελάτης έχει ήδη βρει υπηρεσίες στο διακομιστή, μπορεί να προχωρήσει στην εκτέλεση ανακάλυψη της σχέσης (ή την ανακάλυψη τυχόν περιλαμβανόμενων υπηρεσιών) με το ακόλουθο χαρακτηριστικό:

#### **Find included services**

Αυτό επιτρέπει σε έναν πελάτη για να θέσει υπό αμφισβήτηση το διακομιστή σχετικά με τις υπηρεσίες που περιλαμβάνονται στο πλαίσιο μιας υπηρεσίας. Το ευρος του Handle που παρέχεται σε ένα τέτοιο ερώτημα αναφέρεται στα όρια μιας υπάρχοντος υπηρεσίας, η οποία ανακαλύφθηκε προηγουμένως με τη χρήση μιας υπηρεσίας.

Σε επίπεδο χαρακτηριστικών ανακάλυψης, η GATT προσφέρει τις ακόλουθες επιλογές:

#### **Ανακάλυψη όλων των χαρακτηριστικών μιας υπηρεσίας**

Μόλις ο πελάτης έχει λάβει το handle range για μια υπηρεσία που μπορεί να τον ενδιαφέρει, μπορεί στη συνέχεια να προχωρήσει και να ανακτήσει έναν πλήρη κατάλογο των χαρακτηριστικών της. Η μόνη είσοδος είναι το handle range, και σε αντάλλαγμα, ο διακομιστής επιστρέφει τόσο τη λαβή και την αξία των όλων των χαρακτηριστικών που περιλαμβάνονται εντός αυτής της

#### **Εύρεση χαρακτηριστικών του UUID**

Αυτή η διαδικασία είναι όμοια με την προηγούμενη, εκτός ο πελάτης απορρίπτει όλες τις απαντήσεις που δεν ταιριάζουν με το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό UUID που θέλει. Αφού έχουν καθοριστεί τα όρια (σε όρους handles-λαβών) ενός χαρακτηριστικού στόχου, ο πελάτης μπορεί να πάει να ανακαλύψει το χαρακτηριστικό Περιγραφέας (descriptor discovery):

#### **Ανακάλυψη όλων των χαρακτηριστικών περιγραφών**

Τώρα που έχουμε στην κατοχή μας μια σειρά handle range και οδηγούς για ορισμένα ή όλα τα χαρακτηριστικά σε μια υπηρεσία, ο πελάτης μπορεί να χρησιμοποιήσει αυτό το χαρακτηριστικό για να ανακτήσετε όλους τους περιγραφείς μέσα σε ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό.

Ο διακομιστής απαντά με μια λίστα των UUID και Ζεύγη handles για τις διάφορες δηλώσεις του περιγραφέα - descriptor. Όλα τα χαρακτηριστικά σε αυτή την ενότητα μπορούν να πραγματοποιηθεί μέσω ανοικτών, και μη ασφαλών συνδέσεων, επειδή η ανακάλυψή επιτρέπεται για όλους τους πελάτες, και χωρίς κανένα περιορισμό.

#### **Ανάγνωση Χαρακτηριστικών και περιγραφών Reading Characteristics and Descriptors**

Για να αποκτήσετε την τρέχουσα τιμή ενός χαρακτηριστικού αξίας ή Περιγραφέα, ο πελάτης έχει τις παρακάτω επιλογές:

#### **Διαβάστε χαρακτηριστική τιμή ή Περιγραφέας- Read characteristic value or descriptor**

Αυτό το χαρακτηριστικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να διαβάσει απλώς τα περιεχόμενα μιας χαρακτηριστικής τιμής ή ενός Περιγραφέα χρησιμοποιώντας το handle του. Μόνο το

πρώτο ATT\_MTU-1 bytes των περιεχομένων μπορεί να διαβαστεί, γιατί αυτός είναι ο μέγιστος αριθμός των bytes που μπορούν να χωρέσουν στο πακέτο απόκρισης (1 byte είναι δεσμευμένο για τον Κώδικα Διαχείρισης του ATT).

#### **Ανάγνωση μεγάλης χαρακτηριστικής τιμής ή Περιγραφής- Read long characteristic value or descriptor**

Εάν η τιμή είναι πολύ μεγάλη για να διαβαστεί με την προηγούμενη λειτουργία, αυτό το χαρακτηριστικό περιλαμβάνει ένα όφσσετ μαζί με το handle στην αίτηση, έτσι ώστε η χαρακτηριστική τιμή ή ο Περιγραφέας να μπορούν να διαβαστούν σε διαδοχικά κομμάτια. Πολλαπλά ζεύγη αίτησης / απόκρισης μπορεί να απαιτούνται, ανάλογα με το μήκος της τιμής χαρακτηριστικού που διαβάζεται.

Επιπλέον, τα χαρακτηριστικά αυτά είναι διαθέσιμα και ισχύουν μόνο για τις χαρακτηριστικές τιμές,:

#### **Διαβάστε χαρακτηριστική τιμή χρησιμοποιώντας το χαρακτηριστικό UUID- Read characteristic value using characteristic UUID**

Κάθε φορά που ένας πελάτης δεν γνωρίζει τα συγκεκριμένα handles για τα χαρακτηριστικά που θα μπορούσε να μας ενδιαφέρουν, μπορεί να διαβάσει τις τιμές όλων των χαρακτηριστικών ενός συγκεκριμένου τύπου. Ο πελάτης παρέχει απλώς μια σειρά handles και ένα UUID και λαμβάνει μια σειρά από τις τιμές των χαρακτηριστικών που περικλείονται σε αυτό το εύρος.

#### **Διαβάστε πολλαπλές χαρακτηριστικές τιμές - Read mutiple characteristic values**

Αντιστρόφως, εάν ένας πελάτης έχει ήδη τα handles για ένα σύνολο χαρακτηριστικών που θέλει να πάρει, μπορεί στη συνέχεια να στείλει ένα αίτημα σε αυτό το σύνολο των handles και στη συνέχεια να λαβει τις τιμές για όλα τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά. Διαβάζοντας τα χαρακτηριστικά και τις περιγραφές που υπόκειται στα δικαιώματα και την ασφάλεια του server μπορεί να αρνηθεί την άδεια, εάν το επίπεδο ασφάλειας της σύνδεσης δεν ταιριάζει με την καθιερωμένη απαίτηση.

#### **Γράψτε καιρό χαρακτηριστική τιμή ή Περιγραφής-Writing Characteristics and Descriptors**

Για να γράψετε την τιμή ενός χαρακτηριστικού αξίας ή Περιγραφής, ο πελάτης έχει τις ακόλουθες επιλογές:

#### **Γράψτε την χαρακτηριστική τιμή ή Περιγραφής Write characteristic value or descriptor**

Αυτή η λειτουργία χρησιμοποιείται για να γράψει σε μια χαρακτηριστική τιμή ή Περιγραφής. Ο πελάτης παρέχει ένα handle και τα περιεχόμενα των τιμών (έως ATT-3 MTU bytes, επειδή το handle και ο κωδικός λειτουργίας ATT περιλαμβάνονται στο πακέτο με τα δεδομένα) και ο διακομιστής θα αναγνωρίσει τη λειτουργία εγγραφής με μια απάντηση.

#### **Write long characteristic value or descriptor**

Παρόμοια με το read characteristic value or descriptor, αυτό επιτρέπει σε έναν πελάτη να γράψει περισσότερα από ATT\_MTU-3 byte δεδομένων στην χαρακτηριστική τιμή ενός διακομιστή ή Περιγραφέα.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>**



## 1. ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ PROFILE TUNING SUITE;

- Το προφίλ Bluetooth® Tuning suite (PTS) είναι ένα ισχυρό λογισμικό που βασίζεται σε ένα μαύρο κουτί(black box) εργαλείο ελέγχου που αυτοματοποιεί τις δοκιμές πρωτόκολλου και το προφίλ της διαλειτουργικότητας, της μείωσης του κόστους και του χρόνου των μελών της Bluetooth SIG για τις διαδικασίες ανάπτυξης προϊόντων, δοκιμές και τα προσόντα τους. Τα χαρακτηριστικά του αυτοματισμού επιτρέπουν επίσης στα μέλη να μεγιστοποιήσουν τις δοκιμές. Το PTS προσφέρει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα.:
- Βελτιωμένη διαλειτουργικότητα των προϊόντων Bluetooth και ταχεία ανατροφοδότηση των προδιαγραφών για την SIG.
- Ταχύτερη, αμερόληπτη, καλύτερης ποιότητας δοκιμές με απτά αποτελέσματα και απλοποιημένες logs που διευκολύνουν την ευκολότερη ανάλυση των δοκιμών των test.
- Οι αυτοματοποιημένες διαδικασίες δοκιμής επιτρέπουν σε αρχάριους χρήστες να έχουν αποτελεσματική και αξιόπιστη δοκιμή των προϊόντων, επιτρέποντας στο ανώτερο προσωπικό να επικεντρωθεί σε στρατηγικές διαδικασίες, εξοικονομώντας χρόνο και χρήμα.
- Το μειωμένο κόστος ανάπτυξης, όταν το PTS χρησιμοποιείται σε όλη τη διαδικασία ανάπτυξης και σε συνδυασμό με τις νέες προδιαγραφές, έτσι ώστε να επιτρέπει τον πιο έγκαιρο εντοπισμό των προκλητικών τεστ πιστοποίησης.

Profile tuning suite -Τεχνολογία και Αυτοματισμός

Το Bluetooth® PTS είναι για in-house δοκιμές περιλαμβάνοντας ένα ευρύ φάσμα συσκευών Bluetooth δίνοντάς του την δυνατότητα να έχει πολλά προφίλ. Το PTS ελέγχει ένα ευρύ φάσμα συσκευών και λειτουργεί ως initiator and acceptor σε διάφορα σενάρια.

Το Bluetooth PTS είναι εξαιρετικά χρήσιμο κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης ενός προϊόντος ble, επιτρέποντας τον ευκολότερο εντοπισμό σφαλμάτων με το PTS protocol viewer, το οποίο καταγράφει την επικοινωνία μεταξύ του εργαλείου δοκιμής και το υπό δοκιμή προϊόν. Χρησιμοποιώντας το PTS καθ 'όλη τη διαδικασία ανάπτυξης υποστηρίζετε η βελτίωση με σκοπό την μείωση της διαλειτουργικότητας του προϊόντος και, εξοικονομεί χρόνο και χρήμα. Αυτό όμως κοστίζει. Και δεν μπορούν να έχουν όλοι πρόσβαση. Παρόλα αυτά το PTS είναι δωρεάν για όλα τα μέλη της. Ωστόσο, τα μέλη της θα χρειαστεί να αγοράσουν ένα radio module.

## 2. ΒΑΣΙΚΟΙ ΣΤΟΧΟΙ ΤΟΥ PTS

Οι πρωταρχικοί στόχοι του PTS είναι:

Να βοηθήσει τις εταιρείες-μέλη για την ανάπτυξη των συσκευών με δυνατότητα Bluetooth.

Βελτίωση της διαλειτουργικότητας του προϊόντος

Απλοποίηση της διαδικασίας πιστοποίησης του Bluetooth SIG

Να δημιουργήσει μια βάση στην οποία θα υπάρχει η δυνατότητα βελτίωσης του pts ώστε να βελτιωθεί το Bluetooth.

Στρατηγική δοκιμών

Το PTS είναι ένα μαύρο κουτί tester(Black box tester). Black box tester είναι μια τεχνική με την οποία οι εσωτερικές λειτουργίες της εφαρμογής που υπόκειται σε Test (IUT) δεν είναι γνωστές στον μηχανικό που κάνει τα test.

Η τεχνική αυτή προσφέρει πολλά προφανή πλεονεκτήματα:

Ανεξάρτητη μελέτη και δοκιμή των διαδικασιών, και αμερόληπτη, όπως επίσης δίνιντάς μας την δυνατότητα για επαναλήψιμα αποτελέσματα.

Αυτοματοποιημένα tests , που επιτρέπουν τον έλεγχο από τους αρχάριους χρήστες και την απελευθέρωση του ανώτερου προσωπικού για στρατηγικά σχέδια

Οι περιπτώσεις δοκιμής διατίθενται σε συνδυασμό με νέες κυκλοφορίες των προδιαγραφών, ώστε τα προϊόντα να έρθουν γρηγορότερα στην αγορά.

### **ΠΟΙΟΙ το χρησιμοποιούν**

Το προσωπικό που ασχολείται με το σχεδιασμό, την ανάπτυξη, την υλοποίηση, τον έλεγχο και την πιστοποίηση του προϊόντος. Εταιρείες-μέλη Bluetooth SIG μπορεί να χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα του PTS ως απόδειξη της διαλειτουργικότητας των συσκευών τους ».

### **Προγραμματιστές**

Το PTS debugging σκοπό έχει να βοηθήσει τους προγραμματιστές να εντοπίζουν και διορθώνουν προβληματικές περιοχές σε πρωτότυπες ble συσκευές και software. Καθώς εκτελούνται οι δοκιμαστικές περιπτώσεις(test cases), ένα αρχείο καταγραφής δημιουργείται που δείχνει ποιες πληροφορίες αποστέλνει το PTS, και τι πληροφορίες περιμένει να λάβει όπως, και ποιες πληροφορίες έχει λάβει από το IUT.

### **Διασφάλιση ποιότητας**

Καθ 'όλη τη διαδικασία ανάπτυξης, το προσωπικό του QA μπορεί να χρησιμοποιήσει το PTS για να εκτελέσει μια ευρεία ποικιλία test, συμπεριλαμβανομένης της επαναληπτικότητας, stress tests, και την σταθερότητα και τον έλεγχο της διαλειτουργικότητας.

### **Αντιπρόσωποι πιστοποίησης**

Οι περιπτώσεις ελέγχου που βρέθηκαν στο PTS λαμβάνεται απευθείας από την SIG Test case reference list (TRCL). Με κάθε νέα έκδοση TCRL, το PTS θα απαιτεί απο τον tester για όλο και περισσότερες περιπτώσεις δοκιμών και θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν όλες ώστε να παρέχουν τα στοιχεία δοκιμών για την πρόκριση στην Bluetooth SIG.

### **Χειριστές**

Με τον πολλαπλασιασμό των ασύρματης τεχνολογίας Bluetooth σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών, πολλές οργανώσεις έχουν έννομο συμφέρον να δίνουμε στους πελάτες τους μια λίστα με τις προτεινόμενες συσκευές με δυνατότητες Bluetooth που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τις συσκευές τους. Το PTS μπορεί να χρησιμεύσει ως εργαλείο ελέγχου για τις διαδικασίες πιστοποίησης των εν λόγω εταιρειών.

### **3. Πώς δουλεύει?**

Το Bluetooth PTS χρησιμοποιεί εκτελέσιμα Test Suite (ETS) αρχεία για την άσκηση IUT. Υπάρχει ένα αρχείο ETS ανά προφίλ / πρωτόκολλο, και κάθε αρχείο περιέχει μια σειρά test cases οι οποίες δοκιμάζουν αν το IUT είναι σύμφωνα με τις προδιαγραφές του Bluetooth specification. Κατά τη διάρκεια των δοκιμών, μια ασύρματη μονάδα Bluetooth είναι απαραίτητη για την αποστολή σημάτων από το PTS στο IUT και από το IUT στο PTS.

#### **Έλεγχος Αυτοματισμού**

Με τη χρήση της PTS API Αυτοματισμού και επικοινωνεί με τη συσκευή μέσω του implicit send, μπορούμε να αυτοματοποιήσουμε το PTS testing.

Η δυνατότητα αυτοματοποίησης PTS επιτρέπει τον έλεγχο του PTS χωρίς γραφικό περιβάλλον και καθιστά την ολοκλήρωση των δοκιμών PTS σε μια ήδη υπάρχουσα καλωδιωμένη δοκιμή ως μια πολύ απλούστερη δουλειά. Με το PTS control API, το PTS μπορεί να τρέξει σε μια προγραμματισμένη ώρα και το σύστημα δοκιμής που μπορεί να συντονίζει το PTS και την εφαρμογή υπό δοκιμή (IUT) ώστε να διεξάγουν πλήρως αυτοματοποιημένα τεστ.

Το PTS Control API Ενεργοποιεί τους ακόλουθους Ελέγχους στο PTS

Δημιουργία και άνοιγμα χώρων εργασίας (Workspaces)

Εκτέλεση των test cases

Ενημέρωση PICS και PIXIT

Λήψη των αιτήσεων δράσης (MMI) από το PTS

Λήψη αναφορών αποτελέσματος και ετυμηγορίες.

Η Λειτουργία μπορεί να εγγραφεί για να λαμβάνετε logs και ετυμηγορίες που επιτρέπουν στο σύστημα δοκιμής σας να αναλύσει τα αποτελέσματα των δοκιμών και να καθορίσει πώς η δοκιμή θα πρέπει να συνεχιστεί. Παράδειγμα με πλήρη πηγαίο κώδικα είναι συσκευασμένο με την εγκατάσταση του PTS.

#### **Περιπτώσεις Χρήσης**

Παράδειγμα 1 - ελέγχου ασφαλείας στον κώδικα το check-in

Αναρωτιέται αν ο νέος κώδικας (new check-in code) είναι απαλλαγμένος από ανεπιθύμητες παρενέργειες? Αυτό Οδηγεί το PTS να ελέγξει σε ένα αυτοματοποιημένο περιβάλλον και να επαληθεύσει την ακεραιότητα του λογισμικού - τακτικά, είτε αυτόματα μετά από κάθε check-in.

Παράδειγμα 2 - Κλίμακα την ικανότητά σας δοκιμές

Θέλουμε να συντομεύσουμε τον χρόνο στον κύκλο δοκιμών χωρίς να αλλοιώσουμε την ποιότητα; Τότε χτίζουμε το τεστ αυτοματισμού του PTS για πολλαπλούς κόμβους και τρέχουμε πολλαπλά σύνολα δοκιμών κ όλα αυτά ταυτόχρονα.

Παράδειγμα 3 – δοκιμή Ευρωστίας

Θέλουμε να εντοπιστούν τυχόν αδύνατα σημεία του προϊόντος; Δημιουργούμε ένα σχέδιο δοκιμής με επανειλημμένες περιπτώσεις δοκιμών, και στη συνέχεια να αναθέτουμε στο PTS στο στρες-τεστ των στοχευμένων χαρακτηριστικών του IUT μας.

#### **4. Απαιτήσεις συστήματος**

Το PTS του Bluetooth είναι μία Windows based εφαρμογή που υποστηρίζει τα ακόλουθα μοντέλα:

Windows Vista

Windows 7 32 & 64 bit

Windows 8 32 & 64 bit

Απαιτήσεις υλικού:

Τελευταίες ασύρματη μονάδα PTS (dongle)

Intel Pentium 4 ή AMD Athlon 64 επεξεργαστής

2 GB μνήμης RAM (προτείνεται 4 GB)

500 MB διαθέσιμου χώρου στο σκληρό δίσκο για την εγκατάσταση-περισσότερος χώρος απαιτείται για τα αρχεία εργασίας

Σύνδεση στο Internet συνιστάται ιδιαίτερα για την ενεργοποίηση του λογισμικού και πρόσβαση σε ηλεκτρονικές υπηρεσίες

#### **5. FRAMEWORK**

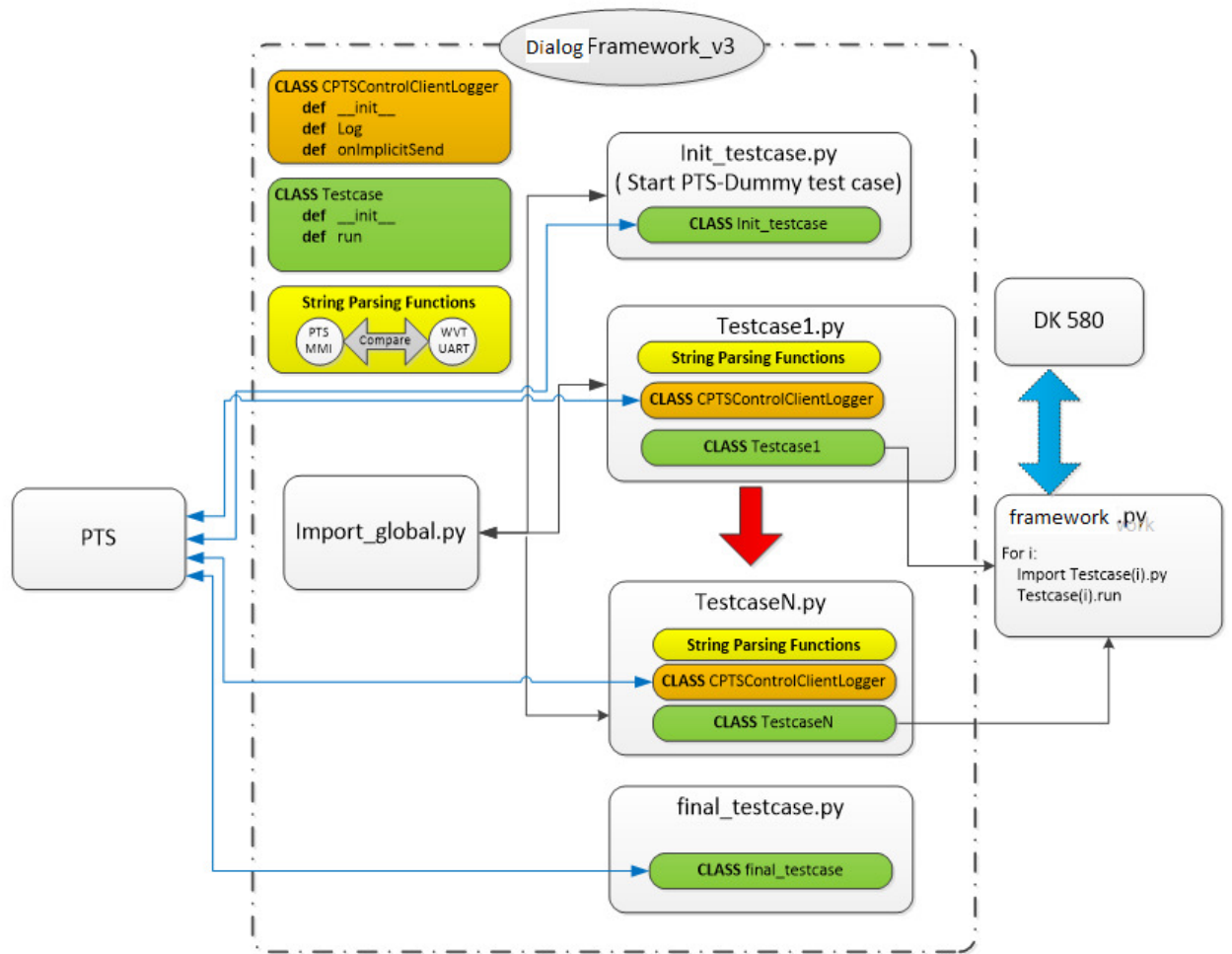
Dialog based framework v3 Πλαίσιο

Το Dialog based framework προτείνεται προκειμένου να αυτοματοποιήσει την αλληλεπίδραση μεταξύ PTS και DK 580.

Τρίτη έκδοση του πλαισίου παρουσιάζεται παρακάτω.

Το Dialog based framework τρέχει κάθε testcase ανάπτυσσοντας την μέθοδο testcaseN.run από την TestCase κατηγορία που περιλαμβάνονται στο αρχείο testcaseN.py. Ταυτόχρονα, τα παραπάνω αρχεία έχουν δημιουργηθεί για κάθε testcase. Στο σημερινό πλαίσιο, η Κλάση CPTSControlClientLogger από την PTS API αυτοματισμού έχει ενσωματωθεί σε κάθε αρχείο και testcase στην κλάση testcase. Για κάθε μέθοδο testcase testcaseN.run αγκιστρώνουμε την κλάση CPTSControlClientLogger στο PTS για να καλέσουμε τις μεθόδους CPTSControlClientLogger (Log, onimplicitSend) συγχρονίζοντας την αλληλεπίδραση μεταξύ, PTS και DK 580.

Το Import\_global αρχείο περιέχει καθολικές μεταβλητές και τα στιγμιότυπα των αντικειμένων για το PTS API αυτοματισμού. Το Πρώτο testcase (Init\_testcase.py) φορτώνει μόνο το PTS χωρίς να αλληλεπιδρά με το Dialog based framework. Η Τελευταία testcase (final\_testcase.py) κλείνει την PTS διαδικασία χωρίς να αλληλεπιδρά με το framework. η λειτουργία string parsing προστέθηκε προκειμένου να συγκρίνουμε το περιεχόμενο του PTS MMI με τα μηνύματα απο το Dialog based framework από την UART όπως και για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας δοκιμής της συσκευής.



Εικόνα 1. Dialog based framework

# **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>**

## 1. PYTHON SCRIPT CODE FOR PTS AUTOMATION

Κάθε testcase ξεχωρίζει λόγο ενός μοναδικού χαρακτηριστικού στο όνομα της το οποίο καθορίζει και το χαρακτηριστικό της κλάσης των testcases όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Identifier	Class identifier <class>
SD	Service Definition
DEC	Characteristic Declaration
CW	Characteristic Write
SP	Service Procedures
SDP	Service Discovery

Πίνακας 19 Test Purposes (TP) Class Naming Convention

### TC\_SP\_BV\_01\_C

Επιβεβαιώνει ότι η IUT ξεκινά προειδοποιεί όταν είναι γραμμένη η χαρακτηριστική τιμή του επιπέδου συναγερμού Alert level.

#### Συνθήκη εκκίνησης

Αμα το IUT χρειάζεται μια bonding διαδικασία τότε πραγματοποιείτε αυτή η διαδικασία και δημιουργεί μια σύνδεση κομιστή ATT μεταξύ του εξεταστή και του IUT.

#### Διαδικασία ελέγχου

Επιλέγει μια τιμή η οποία είναι έγκυρη για το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Και γράφει την τιμή αυτού του χαρακτηριστικού με το να εκτελεί την διαδικασία της GATT test case TP/GAW/SR/BV-01-c.

Επιβεβαιώνει ότι η χαρακτηριστική τιμή που γράφτηκε είναι η σωστή. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το alert lever να είναι ρυθμισμένο στο "Mild Alert". Και επιβεβαιώνει πως το IUT αρχίζει να προειδοποιεί με Mild Alert.

Επιλέγει μια τιμή η οποία είναι έγκυρη για το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Και γράφει την τιμή αυτού του χαρακτηριστικού με το να εκτελεί την διαδικασία της GATT test case TP/GAW/SR/BV-01-c.

Επιβεβαιώνει ότι η χαρακτηριστική τιμή που γράφτηκε είναι η σωστή. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το alert lever να είναι ρυθμισμένο στο "High Alert". Και επιβεβαιώνει πως το IUT αρχίζει να προειδοποιεί με High Alert.

Επιλέγει μια τιμή η οποία είναι έγκυρη για το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Και γράφει την τιμή αυτού του χαρακτηριστικού με το να εκτελεί την διαδικασία της GATT test case TP/GAW/SR/BV-01-c.

Επιβεβαιώνει ότι η χαρακτηριστική τιμή που γράφτηκε είναι η σωστή. Στην συγκεκριμένη περίπτωση το alert lever να είναι ρυθμισμένο στο “No Alert”. Και επιβεβαιώνει πως το IUT σταματάει.

**Το προβλεπόμενο αποτέλεσμα μπορεί να είναι:**

**Passverdict**

Αν το IUT ξεκινήσει να προειδοποιεί με το σωστό σήμα δηλαδή Mid alert ,High alert και να μην προειδοποιεί όταν το σήμα είναι No alert.

**Fail verdict**

Για οποιαδήποτε άλλη περίπτωση.

```
##
### HEADER
#####
##
#
# @name gatt_gar_p2p_tc_05
# @grp p2p
# @sgrp gad
# @type f
# @role server / client
# @feat 39-0099
# @brief GATT Test Case for Valid Behavior : Discovery 01.
# @brief TP/GAD/CL/BV-01-C [Discover All Primary Services - by client]
# @brief TP/GAD/SR/BV-01-C [Discover All Primary Services - from server]
# @param should use PIXIT DB
# @time 2
#
### END
#####
#####

#####
#####
# IMPORTS
#####
#####
import struct
#hci and fe defines
from api.hci.hci_def import *
from api.fe.fe_def import *
from api.fe.fe import *
from api.fe.fe_gatt import *
#multiple objects functions
```



```

from tc_utils.bt_utils import *
#title print functions
from co.d_hdr import *
import time

#----- Log to files -----#
from co. _log import D_log
#-----#
#---- Create DB -----#
from tc_utils.ble_att_db import *
#-----#

#broadcaster defines
from api.fe.fe_def import *
from api.fe.fe import *
#embedded
from api.hci.hci_def import *
#title print functions
from co.d_hdr import *
#exceptions
from co.d_exc import *

import impglobal
import comtypes

#-----Extra Libraries-----#
import re

## Debug information
## DEBUG = 1 Enable
## DEBUG = 0 Disable
DEBUG = 0

## File
## IO_WRITE = 1 Enable
## IO_WRITE = 0 Disable
IO_WRITE = 1
#-----#
#----- PTS Logger Class -----#
#-----Logger Class Implementation with hook function -----#
#-----#
class CPTSControlClientLogger(impglobal.COMObject):
    _com_interfaces_ =
[impglobal.PtsApi.IPTSControlClientLogger,impglobal.PtsApi.IPTSImplicitSendCallback,im
pglobal.PtsApi.IPTSImplicitSendCallbackEx]

```

```

#----- Advertise -----#
## Instance for connected device (580 DK)
dut=0
## Index for connection between central and peripheral
conidx_ph=0
conhdl_ph=0
lrx_t = 0
## tmp =0
## dMsgUart = 0
## count =1
#-----#

def __init__(self, temp1):
#----- Object for current DUT (device)--#
self.dut = temp1
#-----#

## PTS Hook Function Implementation
def
OnImplicitSend(self,this,pszProjectName,wID,pszTestCase,pszDescription,style,pszResponse,
responseSize,pbResponseIsPresent):
    from comtypes.hresult import E_POINTER, S_OK

## if DEBUG == 1:
#----- Python Command line -----#
print "pszProjectName = %s" % pszProjectName
print "wID          = %d" % wID
print "pszTestCase  = %s" % pszTestCase
print "pszDrecription = %s" % pszDescription
print "style        = %s" % hex(style)
print "pszResponse   = %s" % pszResponse
print "responseSize  = %s" % responseSize
#-----#
print hex(style)
message = pszDescription

    mesBoxRet = impglobal.win32ui.MessageBox(message,
"Title",impglobal.win32con.MB_OKCANCEL)

##-----##
##===== MMI 1=====##
##-----##

if style == int('0x11141', 16) and wID == 20001:
    print "OK =%d" % pbResponseIsPresent[0]
    print "Start advertising"

```

```

self.dut.fe_start_advertise(gapm.op.GAPM_ADV_UNDIRECT,gap_adv_mode.GAP_GEN_D
ISCOVERABLE)
    #===== K Th. =====#
    ## Confirm advertising
    ## Complition event
    lrx = self.dut.recv_evt()
    self.dut.check_par(lrx, [gapc.GAPC_CONNECTION_REQ_IND, TASK_API,
TASK_GAPC])
    self.conidx_ph = lrx[3]
    self.conhdl_ph = lrx[4]
    self.dut.fe.gapc.h2f_connection_cfm(self.conidx_ph)
    lrx = self.dut.recv_evt()
    self.dut.check_par(lrx, [gapm.GAPM_CMP_EVT, TASK_API, TASK_GAPM,
gapm.op.GAPM_ADV_UNDIRECT])

    pbResponseIsPresent[0] = 1
if style == int('0x11041', 16) and wID == 0:
    pbResponseIsPresent[0] = 1

if style == int('0x11041', 16) and wID == 1:
    pbResponseIsPresent[0] = 1

if style == int('0x11041', 16) and wID == 2:
    pbResponseIsPresent[0] = 1

return S_OK

###-----#
###----- End of PTS Logger Class -----#
###-----#

#####
#####
##@brief IAS Test Case for Valid Behavior : Discovery 01.
#####
#####
class tc_sp_bv_01_c:

#####
#####
##@brief Class Constructor - Initialization of Test Case.
# @param env Environment with device instances and log

```

```

#####
#####
def __init__(self, env):
    #at least one device needed
    assert(env.devs != [])

    #TC name for titles
    self.tcname = '['+self.__class__.__name__+']'

    #init log
    self.logfile = None

    #recover the device instance - the 1st in environment
    self.dut = env.devs[0]

    #For final print out checks ok per device
    self.nbdevs = 1

    #log file descriptor
    if env.dirpath != None: self.logfile= (env.dirpath+'log_'+self.tcname+'.txt')
    self.log = d_log(self.logfile, 'a')

    #change log for device
    self.dut.set_log(self.log)

    #reset device checks_ok
    self.dut.checks_ok = 0

    #DUT parameters-----
    self.dut.role      = gap_role.GAP_PERIPHERAL
    self.dut.adv_type   = ADVCUND
    self.dut.adv_chnl_map = ADV3789
    self.dut.adv_pol    = ADVALL

    self.dut.adv_intv_min = 0xA0 #100ms
    self.dut.adv_intv_max = 0x140 #200ms

    self.dut.adv_data     = '\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00'
    self.dut.le_scanrsp_data = '\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00'

#####
#####
##@brief TC Scenario

```



## TC\_CW\_BV\_01\_C

### Συνθήκη εκκίνησης

Το handle του χαρακτηριστικού του alert level είναι γνωστό στον χρήστη με άλλους τρόπους η έχει ανακαληφθεί σε προηγούμενο test case.

Αμα το IUT χρειάζεται μία bonding διαδικασία τότε πραγματοποιείτε αυτη η διαδικασία και δημιουργεί μια σύνδεσης κομιστή ATT μεταξύ του εξεταστή και του IUT.

Αμα το IUT χρειάζεται άδεια για κάποιο χαρακτηριστικό η κάποιο συγκεκριμένο επίπεδο ασφάλειας δημιουργεί μια σύνδεση που να καλύπτει αυτές τις προϋποθέσεις.

### Διαδικασία ελέγχου

Επιλέγει μια τιμή η οποία είναι έγκυρη για το συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Και γράφει την τιμή αυτού του χαρακτηριστικού με το να εκτελεί την διαδικασία της GATT test case TP/GAW/SR/BV-01-c.

Επιβεβαιώνει οτι η χαρακτηριστική τιμη που γράφτηκε είναι η σωστή

### Αναμενόμενο αποτέλεσμα

#### Pass verdict

Η τιμή του χαρακτηριστικού είναι σωστά γραμμένη.

#### Fail verdict

Για οποιαδήποτε άλλη περίπτωση.

```
### HEADER
```

```
#####
```

```
##
```

```
#
```

```
# @name gatt_gar_p2p_tc_05
```

```
# @grp p2p
```

```
# @sgrp gad
```

```
# @type f
```

```
# @role server / client
```

```
# @feat 39-0099
```

```
# @brief GATT Test Case for Valid Behavior : Discovery 01.
```

```
# @brief TP/GAD/CL/BV-01-C [Discover All Primary Services - by client]
```

```
# @brief TP/GAD/SR/BV-01-C [Discover All Primary Services - from server]
```

```
# @param should use PIXIT DB
```

```
# @time 2
```

```
#
```

```
### END
```

```
#####
```

```
#####
```

```
#####
```

```
#####
```

```
# IMPORTS
```

```

#####
#####
import struct
#hci and fe defines
from api.hci.hci_def import *
from api.fe.fe_def import *
from api.fe.fe import *
from api.fe.fe_gatt import *
#multiple objects functions
from tc_utils.bt_utils import *
#title print functions
from co.d_hdr import *
import time

#----- Log to files -----#
#3VT log
from co.d_log import d_log
#-----#
#---- Create DB -----#
from tc_utils.ble_att_db import *
#-----#

#broadcaster defines
from api.fe.fe_def import *
from api.fe.fe import *
#embedded
from api.hci.hci_def import *
#title print functions
from co.d_hdr import *
#exceptions
from co.d_exc import *

import impglobal
import comtypes

#-----Extra Libraries-----#
import re

## Debug information
## DEBUG = 1 Enable
## DEBUG = 0 Disable
DEBUG = 0

## File
## IO_WRITE = 1 Enable
## IO_WRITE = 0 Disable
IO_WRITE = 1

```

```

#-----#
#----- PTS Logger Class -----#
#-----Logger Class Implementation with hook function -----#
#-----#
class CPTSControlClientLogger(impglobal.COMObject):
    _com_interfaces_ =
[impglobal.PtsApi.IPTSControlClientLogger,impglobal.PtsApi.IPTSImplicitSendCallback,im
pglobal.PtsApi.IPTSImplicitSendCallbackEx]

    #----- Advertise -----#
    ## Instance for connected device (580 DK)
    dut=0
    ## Index for connection between central and peripheral
    conidx_ph=0
    conhdl_ph=0
    lrx_t = 0
    ## tmp =0
    ## dMsgUart = 0
    ## count =1
    #-----#

    def __init__(self, temp1):
        #----- Object for current DUT (device)--#
        self.dut = temp1
        #-----#

        ## PTS Hook Function Implementation
        def
OnImplicitSend(self,this,pszProjectName,wID,pszTestCase,pszDescription,style,pszResponse,
responseSize,pbResponseIsPresent):
            from comtypes.hresult import E_POINTER, S_OK

    ## if DEBUG == 1:
        #----- Python Command line -----#
        print "pszProjectName = %s" % pszProjectName
        print "wID          = %d" % wID
        print "pszTestCase  = %s" % pszTestCase
        print "pszDrecription = %s" % pszDescription
        print "style        = %s" % hex(style)
        print "pszResponse   = %s" % pszResponse
        print "responseSize = %s" % responseSize
        #-----#
        print hex(style)
        message = pszDescription

```



```
mesBoxRet = impglobal.win32ui.MessageBox(message,
"Title",impglobal.win32con.MB_OKCANCEL)
```

```
##-----##
##===== MMI 1=====##
##-----##
```

```
if style == int('0x11141', 16) and wID == 20001:
    print "OK =%d" % pbResponseIsPresent[0]
    print "Start advertising"
```

```
self.dut.fe_start_advertise(gapm.op.GAPM_ADV_UNDIRECT,gap_adv_mode.GAP_GEN_D
ISCOVERABLE)
```

```
##### K Th. #####
## Confirm advertising
## Complition event
lrx = self.dut.recv_evt()
self.dut.check_par(lrx, [gapc.GAPC_CONNECTION_REQ_IND, TASK_API,
TASK_GAPC])
self.conidx_ph = lrx[3]
self.conhdl_ph = lrx[4]
self.dut.fe.gapc.h2f_connection_cfm(self.conidx_ph)
lrx = self.dut.recv_evt()
self.dut.check_par(lrx, [gapm.GAPM_CMP_EVT, TASK_API, TASK_GAPM,
gapm.op.GAPM_ADV_UNDIRECT])
```

```
pbResponseIsPresent[0] = 1
```

```
if style == int('0x11044', 16) and wID == 20207:
    pbResponseIsPresent[0] = 1
```

```
return S_OK
```

```
###-----#
###----- End of PTS Logger Class -----#
###-----#
```

```
#####
#####
```

```
##@brief IAS Test Case for Valid Behavior : Discovery 01.
```

```

#####
#####
class tc_cw_bv_01_c:

#####
#####
    ##@brief Class Constructor - Initialization of Test Case.
    # @param env Environment with device instances and log

#####
#####
    def __init__(self, env):
        #at least one device needed
        assert(env.devs != [])

        #TC name for titles
        self.tcname = '['+self.__class__.__name__+']'

        #init log
        self.logfile = None

        #recover the device instance - the 1st in environment
        self.dut = env.devs[0]

        #For final print out checks ok per device
        self.nbdevs = 1

        #log file descriptor
        if env.dirpath != None: self.logfile= (env.dirpath+'log_'+self.tcname+'.txt')
        self.log = d_log(self.logfile, 'a')

        #change log for device
        self.dut.set_log(self.log)

        #reset device checks_ok
        self.dut.checks_ok = 0

        #DUT parameters-----
        self.dut.role          = gap_role.GAP_PERIPHERAL
        self.dut.adv_type      = ADVCUND
        self.dut.adv_chnl_map  = ADV3789
        self.dut.adv_pol       = ADVALL

        self.dut.adv_intv_min  = 0xA0 #100ms
        self.dut.adv_intv_max  = 0x140 #200ms

```



```
te_tc = impglobal.PTSinst.RunTestCase(te_rt,te_op)
fin_test = impglobal.PTSinst.UnregisterImplicitSendCallbackEx(implicit_send)
```

```
#=====
=====#
#=====-----End of PTS-----
=====#
```

```
#=====
=====#
#@ }
```

## TC\_DEC\_BV\_01\_C

### Συνθήκη εκκίνησης

Αμα το IUT χρειάζεται μια bonding διαδικασία τότε πραγματοποιείτε αυτη η διαδικασία και δημιουργεί μια σύνδεσης κομιστή ATT μεταξύ του εξεταστή και του IUT.

### Διαδικασία test

Ανακαλύπτει όλα τα χαρακτηριστικά της υπηρεσίας εκτελώντας την TP/GAD/SR/BV-04-C test case απο το GATT.

Για ένα χαρακτηριστικό του alert level επιβεβαιώνει οτι οι ιδιότητες ιδιότητες του πεδίου της δήλωσης των χαρακτηριστικών είναι σύμφωνα με τις προιποθέσεις της υπηρεσίας.

### Αναμενόμενο αποτέλεσμα

#### Pass verdict

Το χαρακτηριστικό έχει ανακαλυφθεί και οι ιδιότητες του πεδίου της δήλωσης των χαρακτηριστικών είναι σύμφωνα με τις προιποθέσεις της υπηρεσίας.

Μόνο μια παρουσία του χαρακτηριστικού βρίσκεται.

#### Fail verdict

Για οποιαδήποτε άλλη περίπτωση.

```
##
### HEADER
#####
##
#
#
# @grp p2p
# @sgrp gad
# @type f
# @role server / client
# @feat 39-0099
# @brief TP/GAD/CL/BV-01-C [Discover All Primary Services - by client]
# @brief TP/GAD/SR/BV-01-C [Discover All Primary Services - from server]
# @param should use PIXIT DB
# @time 2
#
### END
#####
#####

#####
#####
# IMPORTS
#####
#####
import struct
#hci and fe defines
from api.hci.hci_def import *
```

```

from api.fe.fe_def import *
from api.fe.fe import *
from api.fe.fe_gatt import *
#multiple objects functions
from tc_utils.bt_utils import *
#title print functions
from co.d_hdr import *
import time

#----- Log to files -----#
#3VT log
from co.d_log import d_log
#-----#
#---- Create DB -----#
from tc_utils.ble_att_db import *
#-----#

#broadcaster defines
from api.fe.fe_def import *
from api.fe.fe import *
#embedded
from api.hci.hci_def import *
#title print functions
from co.d_hdr import *
#exceptions
from co.d_exc import *

import impglobal
import comtypes

#-----Extra Libraries-----#
import re
## Debug information
## DEBUG = 1 Enable
## DEBUG = 0 Disable
DEBUG = 0

## File
## IO_WRITE = 1 Enable
## IO_WRITE = 0 Disable
IO_WRITE = 1
#-----#
#----- PTS Logger Class -----#
#-----Logger Class Implementation with hook function -----#
#-----#
class CPTSControlClientLogger(impglobal.COMObject):

```

```

    _com_interfaces_ =
[impglobal.PtsApi.IPTSControlClientLogger,impglobal.PtsApi.IPTSImplicitSendCallback,im
pglobal.PtsApi.IPTSImplicitSendCallbackEx]

```

```

#----- Advertise -----#
## Instance for connected device (580 DK)
dut=0
## Index for connection between central and peripheral
conidx_ph=0
conhdl_ph=0
lrx_t = 0
## tmp =0
## dMsgUart = 0
## count =1
#-----#

def __init__(self, temp1):
#----- Object for current DUT (device)--#
self.dut = temp1
#-----#

## PTS Hook Function Implementation
def
OnImplicitSend(self,this,pszProjectName,wID,pszTestCase,pszDescription,style,pszResponse,
responseSize,pbResponseIsPresent):
    from comtypes.hresult import E_POINTER, S_OK

## if DEBUG == 1:
#----- Python Command line -----#
print "pszProjectName = %s" % pszProjectName
print "wID          = %d" % wID
print "pszTestCase  = %s" % pszTestCase
print "pszDrecription = %s" % pszDescription
print "style        = %s" % hex(style)
print "pszResponse   = %s" % pszResponse
print "responseSize  = %s" % responseSize
#-----#
print hex(style)
message = pszDescription

    mesBoxRet = impglobal.win32ui.MessageBox(message,
"Title",impglobal.win32con.MB_OKCANCEL)

##-----##
##===== MMI 1=====##
##-----##

```

```

if style == int('0x11141', 16) and wID == 20001:
    print "OK =%d" % pbResponseIsPresent[0]
    print "Start advertising"

self.dut.fe_start_advertise(gapm.op.GAPM_ADV_UNDIRECT,gap_adv_mode.GAP_GEN_D
ISCOVERABLE)
    #===== K Th. =====#
    ## Confirm advertising
    ## Complition event
    lrx = self.dut.recv_evt()
    self.dut.check_par(lrx, [gapc.GAPC_CONNECTION_REQ_IND, TASK_API,
TASK_GAPC])
    self.conidx_ph = lrx[3]
    self.conhdl_ph = lrx[4]
    self.dut.fe.gapc.h2f_connection_cfm(self.conidx_ph)
    lrx = self.dut.recv_evt()
    self.dut.check_par(lrx, [gapm.GAPM_CMP_EVT, TASK_API, TASK_GAPM,
gapm.op.GAPM_ADV_UNDIRECT])

    pbResponseIsPresent[0] = 1

    return S_OK
###-----#
###----- End of PTS Logger Class -----#
###-----#

#####
#####
##@brief IAS Test Case for Valid Behavior : Discovery 01.
#####
#####
class tc_dec_bv_01_c:

#####
#####
    ##@brief Class Constructor - Initialization of Test Case.
    # @param env Environment with device instances and log

#####
#####
    def __init__(self, env):
        #at least one device needed
        assert(env.devs != [])

```



```

#TC name for titles
self.tcname = '['+self.__class__.__name__+']'

#init log
self.logfile = None

#recover the device instance - the 1st in environment
self.dut = env.devs[0]

#For final print out checks ok per device
self.nbdevs = 1

#log file descriptor
if env.dirpath != None: self.logfile= (env.dirpath+'log_'+self.tcname+'.txt')
self.log = d_log(self.logfile, 'a')

#change log for device
self.dut.set_log(self.log)

#reset device checks_ok
self.dut.checks_ok = 0

#DUT parameters-----
self.dut.role      = gap_role.GAP_PERIPHERAL
self.dut.adv_type   = ADVCUND
self.dut.adv_chnl_map = ADV3789
self.dut.adv_pol    = ADVALL

self.dut.adv_intv_min = 0xA0 #100ms
self.dut.adv_intv_max = 0x140 #200ms

self.dut.adv_data     = '\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00'
self.dut.le_scanrsp_data = '\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00'

```

```

#####
#####

```

```

##@brief TC Scenario

```

```

#####
#####

```

```

def run(self):
    #title of TC
    H1(self.log, self.tcname)

```



## TC\_SD\_BV\_01\_C

### Συνθήκη εκκίνησης

Αμα το IUT χρειάζεται μια bonding διαδικασία τότε πραγματοποιείτε αυτη η διαδικασία και δημιουργεί μια σύνδεσης κομιστή ATT μεταξύ του εξεταστή και του IUT.

### Διαδικασία test

Ανακαλύπτει όλες τις πρωτοβάθμιες υπηρεσίες εκτελώντας την TP/GAD/SR/BV-01-C test case απο το GATT.

Επιβεβαιώνει οτι ένα attribute handle range μαζί με την UUID υπηρεσία επιστρέφουν το «Immediate Alert» το οποίο περιλαμβάνει το αρχικο και το τελικό handle του ορισμού της υπηρεσίας.

Για ένα χαρακτηριστικό του alert level επιβεβαιώνει οτι οι ιδιότητες ιδιότητες του πεδίου της δήλωσης των χαρακτηριστικών είναι σύμφωνα με τις προιποθέσεις της υπηρεσίας.

### Αναμενόμενο αποτέλεσμα

#### Pass verdict

Ενα χαρακτηριστικό του alert level επιβεβαιώνει οτι οι ιδιότητες ιδιότητες του πεδίου της δήλωσης των χαρακτηριστικών είναι σύμφωνα με τις προιποθέσεις της υπηρεσίας.

#### Fail verdict

Για οποιαδήποτε άλλη περίπτωση.

```
### HEADER
```

```
#####
```

```
##
```

```
#
```

```
# @name gatt_gar_p2p_tc_05
```

```
# @grp p2p
```

```
# @sgrp gad
```

```
# @type f
```

```
# @role server / client
```

```
# @feat 39-0099
```

```
# @brief GATT Test Case for Valid Behavior : Discovery 01.
```

```
# @brief TP/GAD/CL/BV-01-C [Discover All Primary Services - by client]
```

```
# @brief TP/GAD/SR/BV-01-C [Discover All Primary Services - from server]
```

```
# @param should use PIXIT DB
```

```
# @time 2
```

```
#
```

```
### END
```

```
#####
```

```
#####
```

```
#####
```

```
#####
```

```
# IMPORTS
```

```
#####
```

```
#####
```

```
import struct
```

```

#hci and fe defines
from api.hci.hci_def import *
from api.fe.fe_def import *
from api.fe.fe import *
from api.fe.fe_gatt import *
#multiple objects functions
from tc_utils.bt_utils import *
#title print functions
from co.d_hdr import *
import time

#----- Log to files -----#
#3VT log
from co.d_log import d_log
#-----#
#---- Create DB -----#
from tc_utils.ble_att_db import *
#-----#

#broadcaster defines
from api.fe.fe_def import *
from api.fe.fe import *
#embedded
from api.hci.hci_def import *
#title print functions
from co.d_hdr import *
#exceptions
from co.d_exc import *

import impglobal
import comtypes

#-----Extra Libraries-----#
import re

## Debug information
## DEBUG = 1 Enable
## DEBUG = 0 Disable
DEBUG = 0

## File
## IO_WRITE = 1 Enable
## IO_WRITE = 0 Disable
IO_WRITE = 1
#-----#
#----- PTS Logger Class -----#
#-----Logger Class Implementation with hook function -----#

```

```

#-----#
class CPTSControlClientLogger(impglobal.COMObject):
    _com_interfaces_ =
[impglobal.PtsApi.IPTSControlClientLogger,impglobal.PtsApi.IPTSImplicitSendCallback,im
pglobal.PtsApi.IPTSImplicitSendCallbackEx]

    #----- Advertise -----#
    ## Instance for connected device (580 DK)
    dut=0
    ## Index for connection between central and peripheral
    conidx_ph=0
    conhdl_ph=0
    lrx_t = 0
    ## tmp =0
    ## dMsgUart = 0
    ## count =1
    #-----#

    def __init__(self, temp1):
    #----- Object for current DUT (device)--#
    self.dut = temp1
    #-----#

    ## PTS Hook Function Implementation
    def
OnImplicitSend(self,this,pszProjectName,wID,pszTestCase,pszDescription,style,pszResponse,
responseSize,pbResponseIsPresent):
    from comtypes.hresult import E_POINTER, S_OK

    ## if DEBUG == 1:
    #----- Python Command line -----#
    F    print "pszProjectName = %s" % pszProjectName
    print "wID          = %d" % wID
    print "pszTestCase  = %s" % pszTestCase
    print "pszDrecription = %s" % pszDescription
    print "style        = %s" % hex(style)
    print "pszResponse  = %s" % pszResponse
    print "responseSize = %s" % responseSize
    #-----#
    print hex(style)
    message = pszDescription

    mesBoxRet = impglobal.win32ui.MessageBox(message,
"Title",impglobal.win32con.MB_OKCANCEL)

    ##-----##

```

```

##===== MMI 1=====##
##-----##

if style == int('0x11141', 16) and wID == 20001:
    print "OK =%d" % pbResponseIsPresent[0]
    print "Start advertising"

self.dut.fe_start_advertise(gapm.op.GAPM_ADV_UNDIRECT,gap_adv_mode.GAP_GEN_D
ISCOVERABLE)
    #===== K Th. =====#
    ## Confirm advertising
    ## Complition event
    lrx = self.dut.recv_evt()
    self.dut.check_par(lrx, [gapc.GAPC_CONNECTION_REQ_IND, TASK_API,
TASK_GAPC])
    self.conidx_ph = lrx[3]
    self.conhdl_ph = lrx[4]
    self.dut.fe.gapc.h2f_connection_cfm(self.conidx_ph)
    lrx = self.dut.recv_evt()
    self.dut.check_par(lrx, [gapm.GAPM_CMP_EVT, TASK_API, TASK_GAPM,
gapm.op.GAPM_ADV_UNDIRECT])

    pbResponseIsPresent[0] = 1

    return S_OK
###-----#
###----- End of PTS Logger Class -----#
###-----#

#####
#####
##@brief IAS Test Case for Valid Behavior : Discovery 01.
#####
#####
class tc_sd_bv_01_c:

#####
#####
    ##@brief Class Constructor - Initialization of Test Case.
    # @param env Environment with device instances and log

#####
#####
    def __init__(self, env):

```

```

#at least one device needed
assert(env.devs != [])

#TC name for titles
self.tcname = '['+self.__class__.__name__+']'

#init log
self.logfile = None

#recover the device instance - the 1st in environment
self.dut = env.devs[0]

#For final print out checks ok per device
self.nbdevs = 1

#log file descriptor
if env.dirpath != None: self.logfile= (env.dirpath+'log_'+self.tcname+'.txt')
self.log = d_log(self.logfile, 'a')

#change log for device
self.dut.set_log(self.log)

#reset device checks_ok
self.dut.checks_ok = 0

#DUT parameters-----
self.dut.role      = gap_role.GAP_PERIPHERAL
self.dut.adv_type  = ADVCUND
self.dut.adv_chnl_map = ADV3789
self.dut.adv_pol   = ADVALL

self.dut.adv_intv_min = 0xA0 #100ms
self.dut.adv_intv_max = 0x140 #200ms

self.dut.adv_data     = '\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00'
self.dut.le_scanrsp_data = '\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00\x00'

```

```

#####
#####

```

```

##@brief TC Scenario

```

```

#####
#####

```

```

def run(self):

```

```

#title of TC
H1(self.log, self.tcname)
self.dut.fe_set_config()
#=====#
prf_prepare_db(self.dut, "pxp", 0x01)
#   prf_en_server([self.dph, conhdl_ph], "pxp", ["ENABLE", 0, 0])

#=====#
#Devices initialization
H1(self.log, 'BROADCASTER Mode Enable')

#####
#####
#=====#
#-----PTS-----
#=====#

#=====#
#-----#
##   import_global.logger = CPTSControlClientLogger(self.dut)
    impglobal.set_logger(CPTSControlClientLogger(self.dut))
##   ##----- HOOK the logger Class -----
    print 'logger_ready'
    rtest     = impglobal.PTSinst.SetControlClientLoggerCallback(impglobal.logger)
    implicit_send =
impglobal.logger.QueryInterface(impglobal.PtsApi.IPTSImplicitSendCallbackEx)
    fin_test  = impglobal.PTSinst.RegisterImplicitSendCallbackEx(implicit_send)
    print 'logger_ok'
##-----
    temp_OpWorkSp = impglobal.PTSinst.OpenWorkspace(impglobal.TCPath)
    te_rt = 'IAS'
    te_op = 'TC_SD_BV_01_C'
    te_tc = impglobal.PTSinst.RunTestCase(te_rt,te_op)
    fin_test  = impglobal.PTSinst.UnregisterImplicitSendCallbackEx(implicit_send)

#=====#
#-----#
#-----End of PTS-----
#=====#

#=====#
#-----#
# @}

```



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>**

## 1. ΒΗΜΑΤΑ – ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΔΙΕΞΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ TEST SUITE

Για να εκτελέσουμε το PTS Automasion test θα χρειαστούμε: Να έχουμε στο pc μας το PTS.exe Ένα expert 14580 expert DK board το οποίο θα έχει φορτωμένο τον κώδικα ανάλογα με το τι θέλουμε να ελέγξουμε, στην δικιά μας περίπτωση θα έχει εναν proximity monitor ext του οποίου τον έχουμε σε ένα .hex file. Ακόμα θα πρέπει να έχουμε στο pc μας εγκατεστημένα την 2.7.x έκδοση της python και τα com library comtypes-0.6.2.win32.exe, python extensions for windows pywin32-219.win32-py2.7.exe. Θα πρέπει να φτιάξουμε μέσα στο PTS το κατάλληλο workspace για την testcase που θέλουμε να τρέξουμε. Δηλώνουμε την com port του board στο framework\frame\_3.0.13\tool\framework\config στο dev\_plf.txt,

Δλώνουμε στο impglobal.py Global variable TCPPath

```
## TCPPath='C:\Users\Dialog\Documents\ProfileTuning Suite\DEMO\DEMO.pqw6' το όνομα του workspace μας καθώς και το path του. Στο framework\framework_3.0.13\tool\framework\tc\paths ανοίγουμε το path_tc_fe.py και προσθέτουμε το
```

```
sys.path.append(os.path.join(PATH_BASE, '../tc/ble/hl/p2p/gatt_fv3/ias/cl'))
```

Φτιάχνω στο framework\framework\_3.0.13\tool\framework\tc\ble\lists\ll την tc\_file\_list.txt ωστε να τρέξει τις testcases μου. Αφού τα ετοιμάσω αυτά είμαστε έτοιμοι να τρέξουμε τις testcases. Αυτό γίνεται ανοίγοντας ένα cmd με δικαιώματα διαχειριστή στο C:\...\framework\_3.0.13\tool\ framework \src γράφοντας την εντολή python framework.py -l ..\tc\ble\lists\ll\tc\_file\_list.txt

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7<sup>ο</sup>**

## 1. Αποτελέσματα- Συμπεράσματα και προοπτικές

Ο σκοπός της εργασίας αυτής ήταν η υλοποίηση σε γλώσσα προγραμματισμού python την αυτοματοποίηση της διαδικασίας για τον έλεγχο και την πιστοποίηση συσκευών Bluetooth low energy χρησιμοποιώντας το pts automation της SIG .

Για να επιτευχθεί αυτό χρησιμοποιήσαμε ένα DAI4580 board της εταιρίας DIALOG SEMICONDUCTOR, όπως επίσης και το PTS DONGLE της SIG Με τη διαφορά ότι εκεί που η SIG δίνει κώδικα για γλώσσα προγραμματισμού C εμείς θα χρησιμοποιήσουμε python.

Έτσι λοιπόν η δημιουργία μιας test suite η οποία επιτρέπει στον χρήστη να αυτοματοποιεί την διαδικασία για τον έλεγχο και την πιστοποίηση προϊόντων Bluetooth low energy έχει σαν αποτέλεσμα η εταιρία η ο εκάστοτε ενδιαφερόμενος να κερδίζει σε αξιοπιστία, χρόνο , εμψυχο δυναμικό και σε μείωση του κόστους.

Τα αποτελέσματα αυτής της πτυχιακής είναι :

- Το automanion script είναι λειτουργικό.
- Κατά την εκτέλεση των τεστ όταν τρέχαμε την κάθε test case αυτοτελή η testcase πέραγε και εμφάνιζε τα σωστά αποτελέσματα.Όταν όμως τρέχαμε τα testcases σε μία λίστα το τέστ αποτύγχανε.
- Αυτό συμβαίνει γιατί το Pts της SIG έχει bug σε αυτό το σημείο, και για να διορθωθεί αυτό ενημερώσαμε την SIG και περιμένουμε την δικιά τους παρέμβαση.

Στην παρακάτω φωτογραφία φαίνεται το bug.

```
PTS - 001BDC655311 - DEMO_IAS
TSPX_security_enabled FALSE
TSPX_iut_setup_att_over_br_edr FALSE
TSPX_tester_appearance 0000
TSPX_iut_use_resolvable_random_address FALSE

+998 ms
Start Test Case: TC_CW_BV_01_C

+998 ms
Message: PTS Log started on Monday, December 07, 2015, 15:53:11

+998 ms
Message: PTS: v6.3.0 Build 19

+998 ms
Message: OS: Microsoft Windows NT 6.1.7601 Service Pack 1

+1996 ms
Preliminary Verdict: PASS

+2043 ms
Send Event: HCI!HCI_RESET

+23493 ms
Verdict Description: BT_CONGESTED, genericResendCount (gt) 100.

+23493 ms
Pass: GATTBasedTestStepGroup::ConfigureTestCase failed, APICOM preamble failed, Central

+23493 ms
Verdict Description: GATTBasedTestStepGroup::ConfigureTestCase failed, APICOM preamble failed, Central

+40497 ms
Final Verdict: INCONC

+40497 ms
Encrypted Verdict:
A1#ZWY4MzQ5MDg3MmQwNTIxOGQzMzQ5YjY2ODAsM2MzNjQ5ZDY4NmY0Yjc2MzZmM2VhNTUyNTFhNGU4Mjg1MjI0NA==#6MdRfLn
fcKFPYXCjTaGSIqGPRo8M/2eoZMLk9ZJFRdyP3k2R174vq3+ea4SC+u+n

+40497 ms
Test Case Ended: TC_CW_BV_01_C
```

Εικόνα 2 . Bug in pts

Ωφέλιμο θα ήταν στο μέλλον να γίνει επεκταση αυτής της μελέτης ώστε να μπορούμε να ελέγχουμε όλα τα πρωτόκολλα και τις υπηρεσίες του Bluetooth μέσα σε ελάχιστο χρόνο και με τον ελάχιστο δυνατό κόπο.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <https://www.bluetooth.org/en-us/test-qualification/test-tools-overview/profile-tuning-suite/pts-in-depth>
2. Inside BLUETOOTH LOW ENERGY Naresh Gupta
3. core v.4.0 specification of the bluetooth system
4. Bluetooth Low Energy The Developer's Handbook Robin Heydon
5. Getting Started with Bluetooth Low Energy Kevin Townsend, Carles Cufi, Akiba, and Robert Davidson
6. Bluetooth SIG, <http://www.bluetooth.com>
7. <http://www.bluetooth.com/developer/specification/specification.asp>
8. [http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito\\_doc/introint.htm#xtocid130454](http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/introint.htm#xtocid130454)
9. [http://www.microsoft.com/hwdev/tech/network/bluetooth/Bluetooth Security](http://www.microsoft.com/hwdev/tech/network/bluetooth/Bluetooth_Security)
10. <http://www.bluetooth.com/developer/whitepaper/whitepaper.asp>
11. [http://users.sch.gr/angnikolou/tech\\_v/wireless.htm](http://users.sch.gr/angnikolou/tech_v/wireless.htm)
12. [http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/8880/3/Kogkas\(ele\).pdf](http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/8880/3/Kogkas(ele).pdf)
13. <https://www.bluetooth.org/en-us/test-qualification/test-tools-overview/profile-tuning-suite>