TREBALL FINAL DE CARRERA:

BLUETOOTH LOW ENERGY

Xavier Carrera Navarro
Enginyeria Tècnica de Telecomunicacions

Índex

1. Objectius **4**

2. Descripció del projecte **5**

3. Introducció **6**

4. Tecnologia sense fils **7**

4.1. Historia **7**

4.2. Tipus de xarxes sense fils **10**

4.2.1. WWAN (Wireless Wide Area Network) **11**

4.2.2. WMAN (Wireless Metropolitan Area network) . **13**

4.2.3. WLAN (Wireless Local Area Network) **16**

4.2.4. WPAN (Wireless Personal area Network) **18**

5. El Bluetooth **22**

5.1. Introducció **22**

5.2. Software i especificacions **22**

5.3. Arquitectura de hardware **27**

5.3.1. Nucli del Bluetooth v4.0 . . . . . **28**

5.3.1.1. Definició del sistema del nucli **28**

5.3.1.2. Blocs de l'arquitectura de software **30**

5.3.2. Esquema elèctric del dispositiu **31**

5.4. Usos i aplicacions **32**

5.4.1. Altaveus Hi-Fi de disseny **32**

5.4.2. Mans lliures al casc **33**

5.4.3. Smart watch **34**

5.4.4. Bambes amb marcador de passes **35**

5.4.5. Teclat no físic **36**

5.4.6. Localitzador de cotxe **37**

5.4.7. Xarxa de sensors sense fils **38**

6. Comparativa entre Bluetooth i altres tecnologies **40**

7. Aplicació a un cas real **47**

8. Conclusions **55**

9. Glossari de temes i abreviatures **56**

10. Bibliografia **57**

1. Objectiu del projecte

Donada la importància i rellevància que esta tenint el protocol Bluetooth en els sistemes electrònics d'avui dia, sabent també la necessitat existent que hi ha en industria en la reducció del consum dels dispositius, sobretot els que estan en permanent funcionament com el telèfon mòbil, PDA's o tauletes, i sent conscients també de la sempre renyida balança entre potencia i consum, l'objectiu d'aquest projecte és conèixer què aporta d'avantatjós el BLE (*Bluetooth Low Energy*) al mercat, i quin potencial pot tenir per convertir-se en l'estàndard més utilitzat dels sistemes integrats de comunicació.

2. Descripció del projecte

Aquest projecte es mou amb l'afany d'estudiar les característiques que fan possible un sistema Bluetooth de baix consum.

Des de la creació del protocol Buetooth, l'any 1994, el protocol ha anat evolucionant en versions successives, cada vegada millorades respecte l'anterior, i a més sent de compatibilitat cap avall, que permet que l'últim estàndard compleixi totes les especificacions del anterior. La última versió, la 4.0, incorpora la tecnologia de baix consum BLE (*Bluetooth Low Energy*), que és molt ben rebuda per el mercat, sobre tot per els dispositius de funcionament constant com els mòbils, PDA's o tauletes, les quals, fins ara no es podien permetre el luxe de mantenir activat el protocol de comunicació Bluetooth de forma permanent ja que consumia les seves bateries molt més despresa.

Aquesta tecnologia s'aconsegueix gracies a un nou protocol de pila i a la nova integració d'arquitectura de computador. En aquest projecte s'estudiarà amb més detall què fa possible aquesta baixada de consum respecte les versions anteriors, i quins son els avantatges que guanya Bluetooth gracies a aquest avanç.

Seguint la línea d'estudi dels avantatges que aporta en els dispositius i aplicacions actuals, s'analitzarà altres tecnologies similars que compleixen les mateixes funcionalitats "transmissió d'informació sense fils a curta distancia" i es compararà punts forts i febles respecte el Bluetooth 4.0.

Finalment s'exposarà, primer de forma genèrica, la quantitat de sistemes i dispositius que avui dia utilitzen aquest protocol, i després de forma concreta, un dispositiu en concret. El qual s'estudiarà a mode pràctic: veuré quins protocols utilitza, quins sistemes de seguretat disposa, la seva eficiència i rendiment, la seva funcionalitat per l'aplicació en concret, etc.

Finalment s'exposarà les conclusions dels estudis fets, tenint en compte les necessitats del mercat i les característiques que aporta aquesta última versió. D'aquesta manera podrem veure clarament en quines aplicacions és més adient el Bluetooth 4.0., i què pot aportar d'avantatjós als dispositius que la utilitzin.

3. Introducció

En la historia de les telecomunicacions, la tecnologia de comunicació sense fils, ha estat un puntal que ha marcat un avanç i un desprès en la interacció dels dispositius electrònics i de les xarxes de comunicació.

Avui dia podem trobar sistemes “Wireless” en solucions tan simples com una trucada telefònica, o en solucions tan complexes com la utilització d’una aplicació de seguiment comercial que poden fer comercials de carrer atacant directament sobre el ERP (Software de gestió) de la seva empresa. De fet, l’avantatge principal del sistema Wireless, es que es pot mantenir connectat constantment a un altre persona o software encara que un es vagi movent de posició, o fins i tot que un viatgi a un altre país.

Per altre banda el sistema sense fils es totalment compatible amb els sistemes cablejats, i a més és molt més senzill d’instal·lar i es més escalable, per lo que redueix els costos d’instal·lació i manteniment dràsticament.

La tecnologia wireless tant et permet la intercomunicació entre xarxes de veu i dades fins a la comunicació punt a punt a través d’infraroig o radiofreqüència. En aquest projecte ens basarem en l’estudi d’una tecnologia de comunicació punt a punt basada en radiofreqüència, el Bluetooth.

El protocol de comunicacions Bluetooth es va crear l’any 1994 per substituir el cable per poder transmetre veu i dades entre diferents dispositius. El fet de tenir gran expectació i acceptació entre els fabricants de dispositius de telecomunicació i la informàtica, va provocar que aquest protocol anés evolucionant en diferents versions que anaven millorant l’anterior. A part d’altres avenços importants que s’han anat aconseguint amb les successives versions, com per exemple la distància d’abast del senyal entre dispositius i la velocitat de transmissió, en la versió 4.0 (la última a data d’avui), s’ha aconseguit reduir el consum energètic per el seu funcionament. Això ha fet millorar molt un problema que hi havia fins ara principalment en els dispositius de funcionament constant, com per exemple els mòbils, PDA’s, taules, etc. En el transcurs del projecte veurem tots els detalls.

4. Tecnologia sense fils

Tal com es comenta a l'apartat d'introducció, la tecnologia sense fils ha estat un factor molt important en el desenvolupament de les noves tecnologies, fins i tot ha estat important l'evolució i l'ús d'aquetes. Avui dia ens trobem tecnologia sense fils a tots els nivells: Connexió punt a punt de curta distancia, com un comandament a distancia; connexió en xarxa a curta distancia, com la WiFi (tot seguit s'explicarà que és WiFi) d'una casa o d'una empresa; Connexió punt apunt a llarga distancia, com la telefonia mòbil; ó connexió en xarxa a llarga distancia com les xarxes Wireless WAN, com les interconnexions entre satèl·lits per transmetre la informació d'Internet.

La principal avantatge és la mobilitat i el baix cost d'instal·lació. Per exemple els edificis que no permeten la instal·lació de cables o llocs massa amplis com les naus industrials, son els casos ideals per instal·lar una connexió sense fils en comptes de cablejat.

Per altre banda l'accés és simultani gracies a que la transmissió radioelèctrica es fa multiplexant diversos canals. La reubicació dels terminals es senzilla i en conseqüència, la seva instal·lació és ràpida.

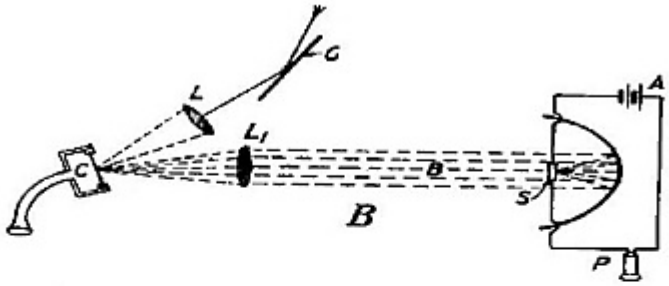
Per altre banda s'ha de dir que aquesta tecnologia és més vulnerable a interferències (ja que els cables poden ser blindats), és més insegura, (ja que la radiofreqüència es pot interceptar més fàcil), i pot ser més lenta (ja que la velocitat de transferència de les ones electromagnètiques no son tant elevades com la velocitat de l'electricitat que passa per un cable).

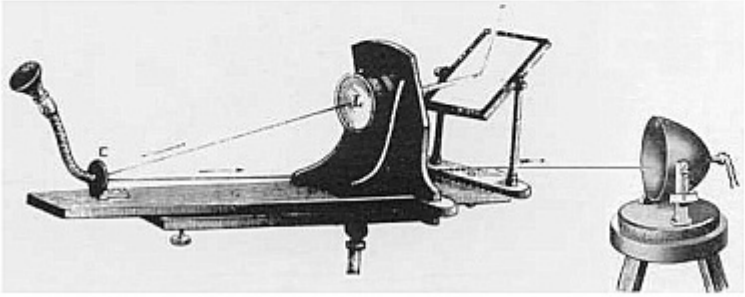
Cada tipus de xarxa sense fils te les seves virtuts i limitacions, que les fa especifiques a les necessitats dels usuaris.

4.1 Historia

Per fer entenedora aquesta tecnologia, ens remuntem a la historia de més d'un segle endarrere, on trobem l'origen de la comunicació sense fils i els conceptes que ja es van començar a treballar en aquell temps.

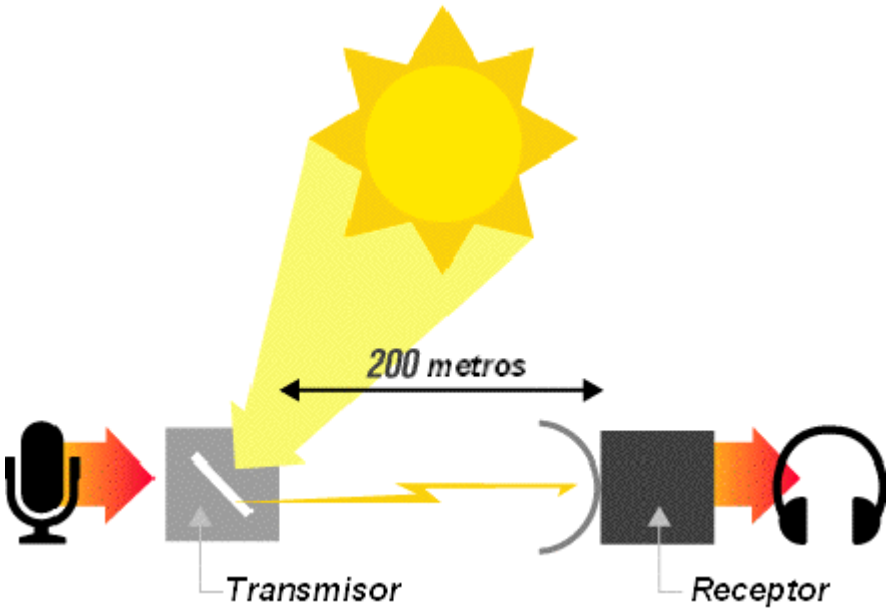
El 1880 Graham Bell Summer Tainter van inventar el Fotòfon. El Fotòfon permetia la transmissió del so a través d'una emissió de llum, tot i que no va tenir molt èxit per que tot just feia un any que s'havia inventat la bombeta i encara no es disposava de subministrament elèctric.





Fotófono Bell-Tainter, 1880.

Esquema de funcionament del Fotòfon:



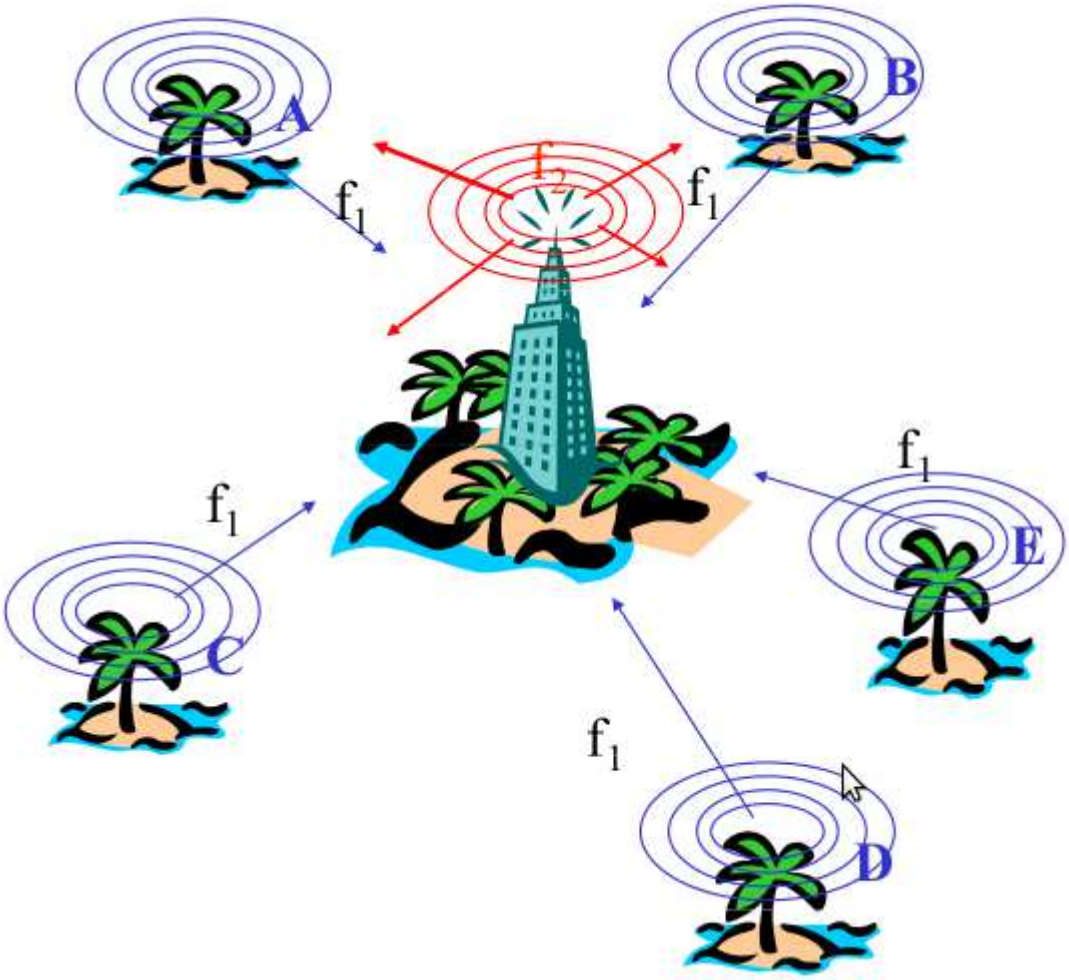
No va ser fins 8 anys després que el físic alemany Rudolf Hertz va realitzar la primera transmissió sense cables amb ones electromagnètiques a través d'un oscil·lador que feia d'emissor i un ressonador que feia de receptor.

Aquells avanços van provocar una acceleració en desenvolupament, i al 1899 Guillermo Marconi va crear la primera radio de comunicació bidireccionals que arribava a travessar el canal de la Manega.

Van passar més de setanta anys fins que al 1971 un grup d'investigadors de la Universitat de Hawaii van crear el primer sistema de comunicació per paquets mitjançant una xarxa de comunicació per ràdio. Va ser l'anomenat sistema ALOHA.

En el següent gràfic veiem la primera xarxa d'àrea local WLAN que es va realitzar.
La xarxa estava formada per 7 ordinadors situats en diferents illes de Hawaii i aquests comunicaven amb un ordenador central, el qual executava ordres que li demanaven els altres.
Un dels primer problemes que es van trobar va ser el control d'accés al medi, es a dir, per evitar que les senyals s'interfereixin entre elles o es solapin hi ha d'haver un protocol que controli les comunicacions entre els 7 ordinadors i la base, i d'aquí va sorgir el famós MAC (Media Access control).

En un principi es va solucionar fent que la central emetés una senyal intermitent a una freqüència diferent al resta (va ser on es va crear el concepte de "servidor" –la central- i "client" –els ordinadors que li enviaven ordres-), de manera que els clients esperaven a rebre aquella senyal intermitent per entendre que la línea estava lliure i podien transmetre. Aquest protocol s'anomena CSMA (Carrier Sense Multiple Access).



Al 1979 IBM va publicar els resultats d'un experiment que es va realitzar en una fàbrica a Suïssa que consistia en utilitzar rajos infrarojos per crear una xarxa local. Els resultats van ser considerats com el punt de partida de la línia evolutiva de les xarxes sense fils.

4.2 Tipus de xarxes sense fils

Per arribar al correcte estudi de la tecnologia Buetooth primer comentarem i definirem el diferents tipus d'ona física que existeixen per transferir una senyal sense fils, i posteriorment detallarem els tipus de xarxes que s'han desenvolupat. D'aquesta manera arribarem a veure quin és el tipus d'ona i el tipus de xarxa que utilitza Bluetooth per les seves finalitats.

Tipus d'ona física que existeixen:

Ones de ràdio: Son omnidireccionals, no necessita recollir el senyal a través de parabòlica ni tampoc son sensibles als canvis climàtics. Es transmeten i es reben a través d'antenes estàndard com les de televisió o ràdio. Hi ha diferents tipus de banda i treballa a una freqüència de transportadora molt baixa. Es pot transmetre amb una freqüència de 3 a 30 Hz i un màxim de freqüència de 300 a 3.000 MHz

Microones terrestres: Son senyals molt potents i de molt alta freqüència que es propaguen a molta distancia. De fet al ser d'alta freqüència s'atenuen molt ràpidament, per això s'emeten a molta potencia. A més necessiten ser usat per parabòliques ja que son antenes que recullen el senyal a base dels rebots de la paella que porta incorporada. Son sistemes de transferència punt a punt i per això han d'estar les dos parabòliques alineades (la emissora amb la receptora). Poden transmetre a quilometres de distancia i la seva freqüència portadora pot anar de 1 a 300 GHz

Microones per satèl·lit: Son senyals similars a les microones terrestres, amb la diferencia que treballen a un freqüència una mica més elevada i transmeten a més potencia. S'utilitzen per transmetre el senyal entre satèl·lits i de satèl·lits a la terra. És de les senyals més flexibles però també és més fàcil que pateixin interferències.

Infrarojos: Es basa en comunicació unidireccional i l'emissor i el receptor han d'estar alineats per poder captar el senyal. No travessen parets ni obstacles i treballen a una freqüència de 300 GHz a 384 THz. Son per treballar a distancies curtes i tenen l'avantatge de poder transferir a alta velocitat.

L' IEEE (Institut d'Enginyers d'Electrònica i Electricitat) va crear un grup de treball anomenat 802.11 amb la finalitat de crear uns estàndards de comunicació per que les comunicacions sense fils poguessin proliferar en el mon de les telecomunicacions. El primer requisit era que aquesta tecnologia fos compatible amb la tecnologia cablejada, de manera que aquest grup va crear els protocols necessaris per que tant a nivell físic com a nivell de d'enllaç de xarxa el format del protocol fos el mateix que en les comunicacions cablejades. Així la única diferencia d'una xarxa sense fils a una xarxa cablejada seria el format en que es transmeten els paquets de dades. I d'aquesta manera s'aconseguiria que els softwares no haguessin de tenir en compte el modes de transferència dels paquets de dades.

L'any 1999 els principals venedors de solucions sense fils, Nokia, Symbol Technologies i Lucent Technologies, van crear la associació WECA (Wireless Ethernet Compability Aliance) i un any després van crear la norma IEEE 802.11b anomenada WiFi (Wireless Fidelity) amb l'objectiu d'assegurar la compatibilitat entre els equips. Tots els equips que utilitzin l'estàndard WiFi han d'utilitzar la banda dels 2,4 GHz de radiofreqüència i han d'arribar a una velocitat de 11Mbps de transferència de dades.

A partir d'aquí varen sortir altres versions de l'estàndard WiFi com el 802.11g que utilitzava la mateixa banda de 2,5 GHz però amb una velocitat de transferència superior: 54Mbps. L'últim estàndard que ha aparegut i és el que més s'utilitza és el 802.11n que pot treballar tant a 2,4 GHz com a 5 GHz i la seva velocitat és de 108Mbps.

Tipus de xarxa sense fils:

Els tipus de xarxes sense fils depenen del tipus d'ona electromagnètica i de l'abast. Entre totes elles trobem 4 tipus diferents, nombrades de major a menor abast:

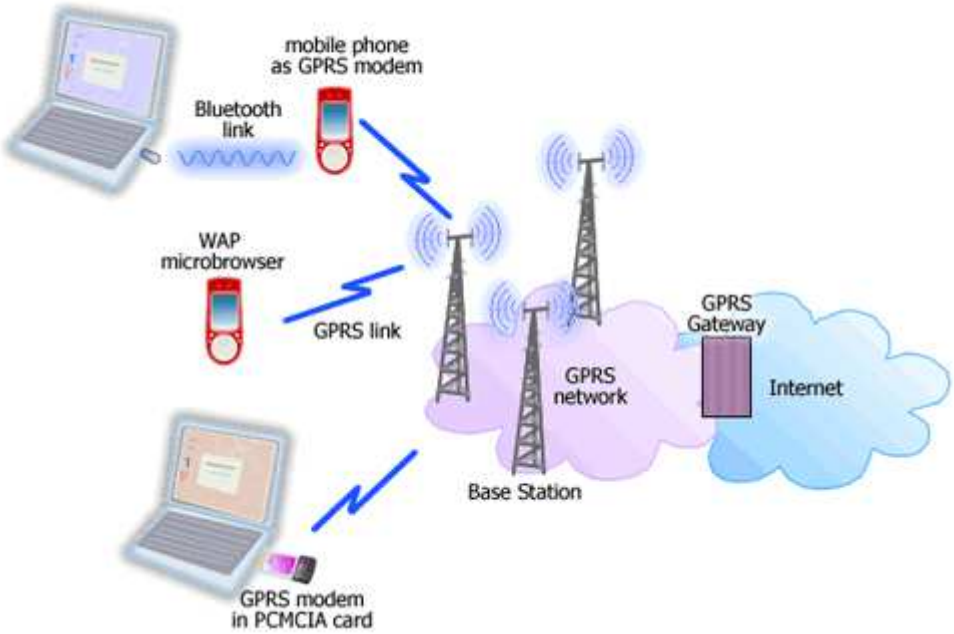
4.2.1 WWAN (Wireless Wide Area Network)

Son xarxes d'àrea extensa. Permeten als usuaris establir connexions a través de xarxes remotes publiques o privades. Aquestes connexions es troben establertes en àrees geogràfiques extenses com ciutats o fins i tot països, mitjançat l'ús de satèl·lits o antenes terrestres repartides estratègicament pel territori.

La tecnologia WWAN es coneixia com el sistema de segona generació "2G". Entre els sistemes 2G es troben les tecnologies GSM (Global System for Mobile), CDPD (Cellular Digital Packet Data) i CDMA (Code Division Multiple Access).

Però el fet que aquest sistema tingués problemes de compatibilitat entre les diferents tecnologies i a més tingués capacitats limitades de mobilitat, la UIT (Unió Internacional de Telecomunicacions), va fomentar el desenvolupament de la nova generació 3G. El sistema 3G és la xarxa que s'utilitza per les noves tecnologies UMTS (Universal Mobile Telecomunication System) i GPRS (General Packet Ratio Service).

En la figura següent veiem com es combina el sistema de xarxa de gran abast 3G, utilitzant tecnologia GPRS amb el sistema de xarxa punt a punt o personal com és el Buetooth, que s'explicarà en l'apartat de les xarxes WPAN.



En la següent figura veiem com està format el protocol GPRS. De fet és un protocol de túnel de capa 3 que es composa de 4 fluxos de missatges, des de MS (estació mòbil) fins a GGSN (Node de Porta d'Enllaç de suport del Servei GPRS) utilitzant les interfícies (per lligar els 4 fluxos) Um, Gb i Gm.

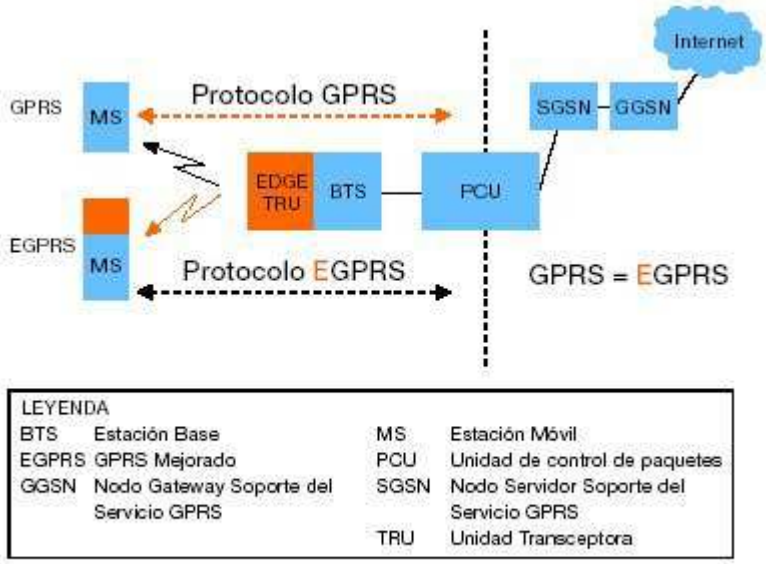
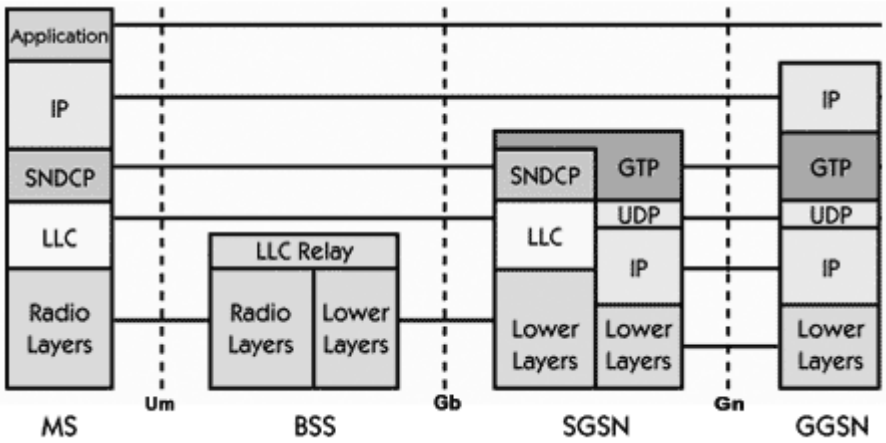


Figura 1. EGPRS introduce cambios en GPRS, solamente en la parte de la red correspondiente al sistema de estación base

En la següent figura veiem la pila de protocols GPRS. Un dels detalls importants d'aquesta tecnologia es que tota l'aplicació es comunica a través de IP estàndard, que es realitza a través de la xarxa GPRS i surt per la porta d'enllaç GPRS. A nivell d'usuari es veu com una subxarxa IP normal.

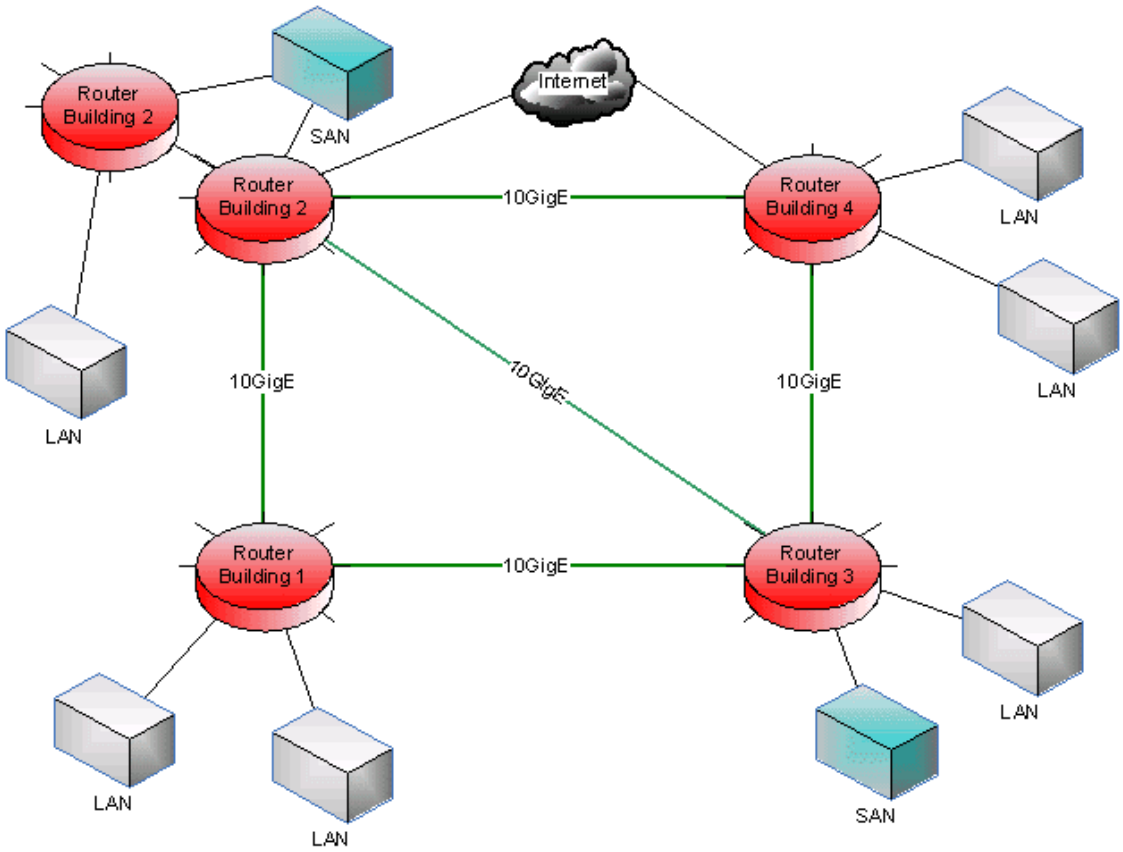


4.2.2 WMAN (Wireless Metropolitan Area Network)

Son xarxes d'àrea metropolitana que permeten als usuaris establir connexions entre varies ubicacions dins d'una ciutat. Aquest sistema permet comunicar-se entre diversos edificis en una empresa o per exemple en un campus universitari sense haver d'invertir grans costos de cablejat. També pot fer-se servir com a Back up de les xarxes cablejades, ja que si aquestes cauen, WMAN pot actuar com a substituït i assumir tot el flux de comunicació. WMAN utilitza principalment ones de ràdio, tot i que també pot utilitzar infrarojos.

Aquestes xarxes de banda ampla van ser creades pel grup de IEEE 802.16, i proporcionen als usuaris accés a alta velocitat. De fet cada cop son més demandades per a ubicacions metropolitanes, fins i tot a nivell d'usuaris fora de nivell d'empresa. La principal avantatge de la WMAN es que no necessita infraestructura costosa com la línia de fibra òptica, ni tampoc temps de realització, ja que la instal·lació d'una línea WMAN es configura relativament molt ràpid respecte la fibra òptica. Un altre avantatge es que tanca l'escletxa tecnològica que hi havia en determinades zones on no pot arribar la fibra òptica, generant així un increment de clients i negoci per les companyies que estan en el negoci de les telecomunicacions. L'únic desavantatge que té és que és molt més vulnerable a les interferències i les intrusions malicioses, ja que la comunicació és en espai obert per radiofreqüència.

En la següent figura veiem una estructura habitual de WMAN.



Tot i que les tecnologies que encara s'utilitzen avui dia son la MMDS (Servei de Distribució Multipunt de Canal Múltiple), i la LMDS (Servei de Distribució Multipunt Local), cada cop s'utilitzen més tecnologies com WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access), que és un estàndard de comunicació sense fils basat en la norma IEEE 802.16. És molt semblant a WiFi, però te més cobertura i ample de banda.

Amb aquest sistema també existeix la tecnologia LTE (Long Term Evolution). El gran avantatge de LTE es la mobilitat. WiMax disposa de la versió "WiMax mobil" el que passa és que no és compatible amb la seva pròpia versió estàndard de "WiMax fix". Per la resta, tant LTE com WiMax son molt similars tècnicament, en la forma de transmetre el senyal, en les velocitats de transmissió, etc.

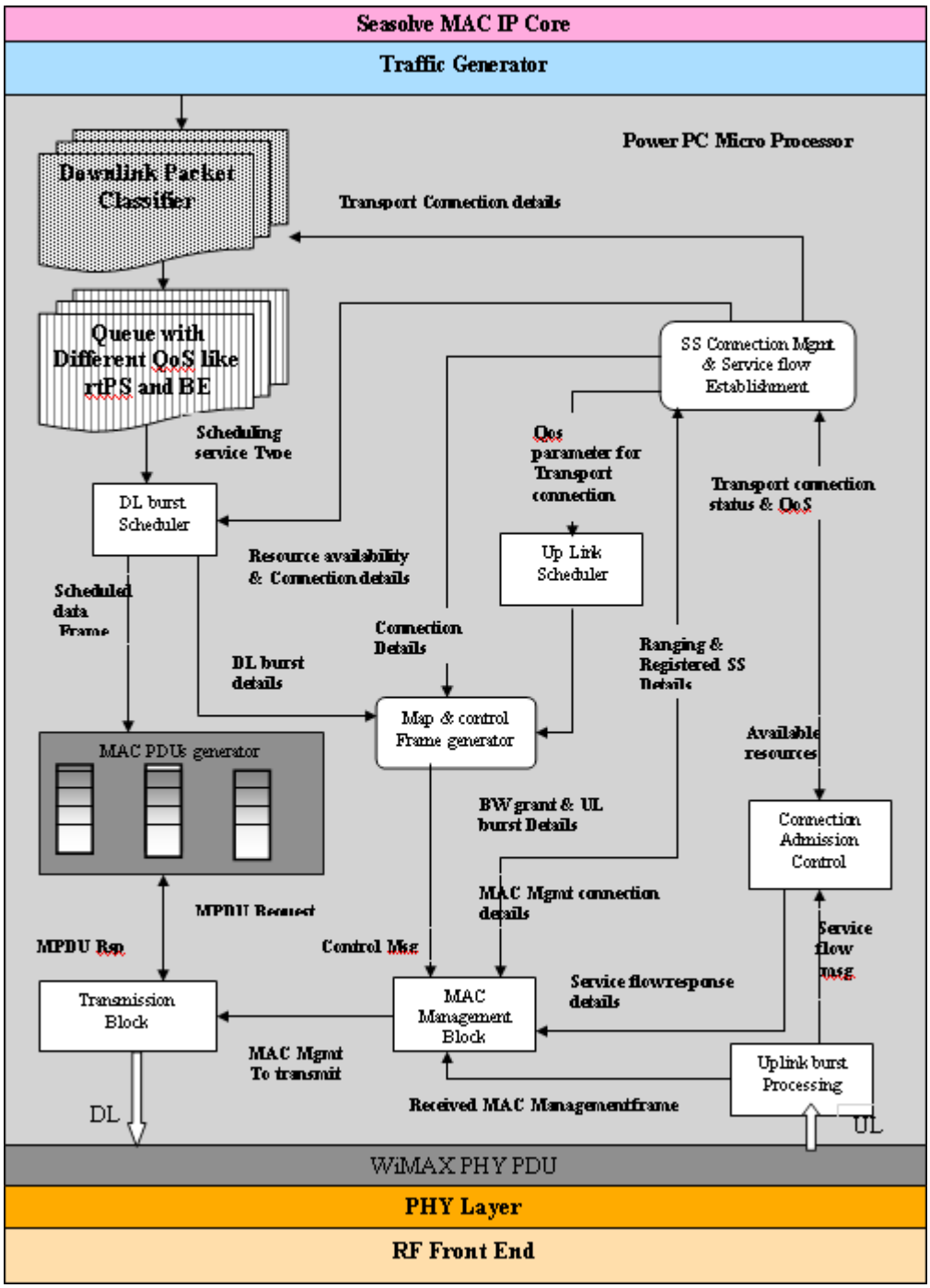
En el gràfic següent es pot veure el diagrama de control del protocol WiMAX. Un mateix enllaç WiMAX te capacitat per proporcionar diversos canals per connexió física i atendre a múltiples subscriptors, cada un d'ells tractats privadament amb els protocols i nivells de servei diferenciats per cada un. Per això els equips que gestionen el sistema WiMAX han d'incloure un esquema de control com el de la figura.

WiMAX implementa QoS a nivell 2 (MAC). La capa MAC coneix la capacitat instantània del nivell físic, per lo que pot assignar capacitat de forma absoluta a les necessitats de cada servei (assigna bps)

Per altre banda, respecte la capa física (PHY), la modulació es OFDM (Orthogonal Frequency Division Modulation): Modula 256 subportadores i cada subportadora es modula en BPSK, QPSK, 16QAM i 65QAM, de forma adaptativa. Aquesta modulació es va definir per l'equip IEEE 802.16 per l'estàndard WiMAX pensada per entorns d'exterior.

Les bandes de freqüència a les que treballa son:

- 3,4-3,6 GHz, amb connexió d'algunes subbandes. Es una banda llicenciada, lo qual vol dir que exigeix títol d'habilitant.
- 5,47-5,725 GHz. És una banda d'us comú (banda lliure).
- 5,72-5,87 GHz, dividit en dos subbandes. És una banda d'us comú (banda lliure)

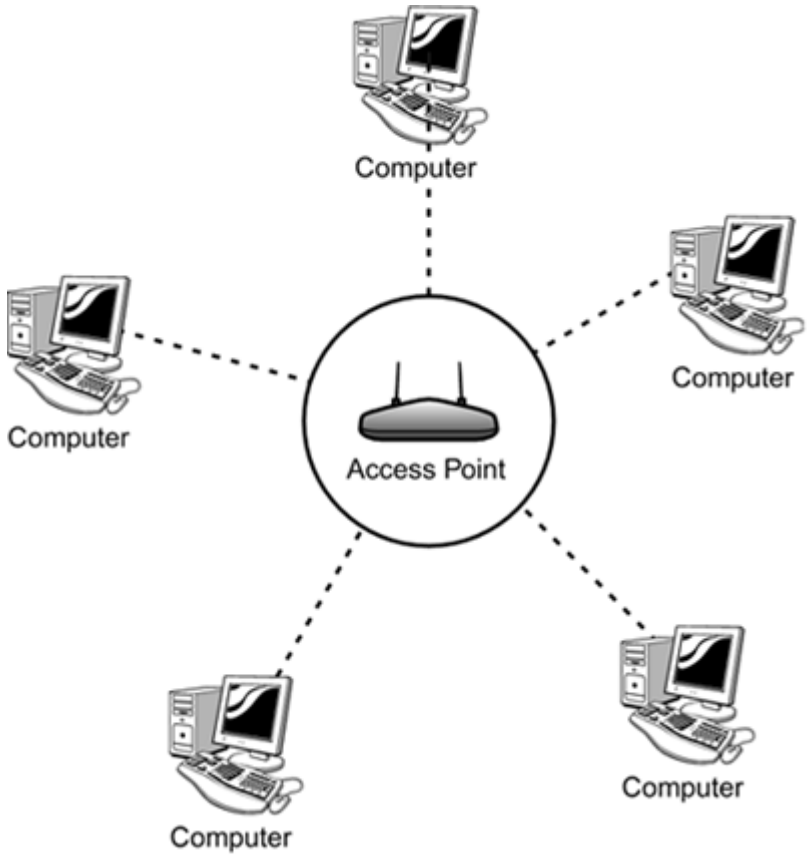

Seasolve MAC IP Core
Traffic Generator
Power PC Micro Processor
Downlink Packet Classifier
Transport Connection details
Queue with Different QoS like rtPS and BE
SS Connection Mgmt & Service flow Establishment
Scheduling service Type
Qos parameter for Transport connection
Transport connection status & QoS
DL burst Scheduler
Up Link Scheduler
Resource availability & Connection details
Scheduled data Frame
Connection Details
Ranging & Registered SS Details
DL burst details
Map & control Frame generator
MAC PDUs generator
Available resources
BW grant & UL burst Details
Connection Admission Control
MAC Mgmt connection details
MPDU Request
MPDU Rsp
Control Msg
Service flow msg
Service flowresponse details
Transmission Block
MAC Management Block
MAC Mgmt To transmit
Uplink burst Processing
Received MAC Managementframe
DL
UL
WiMAX PHY PDU
PHY Layer
RF Front End

4.2.3 WLAN (Wireless Local Area Network)

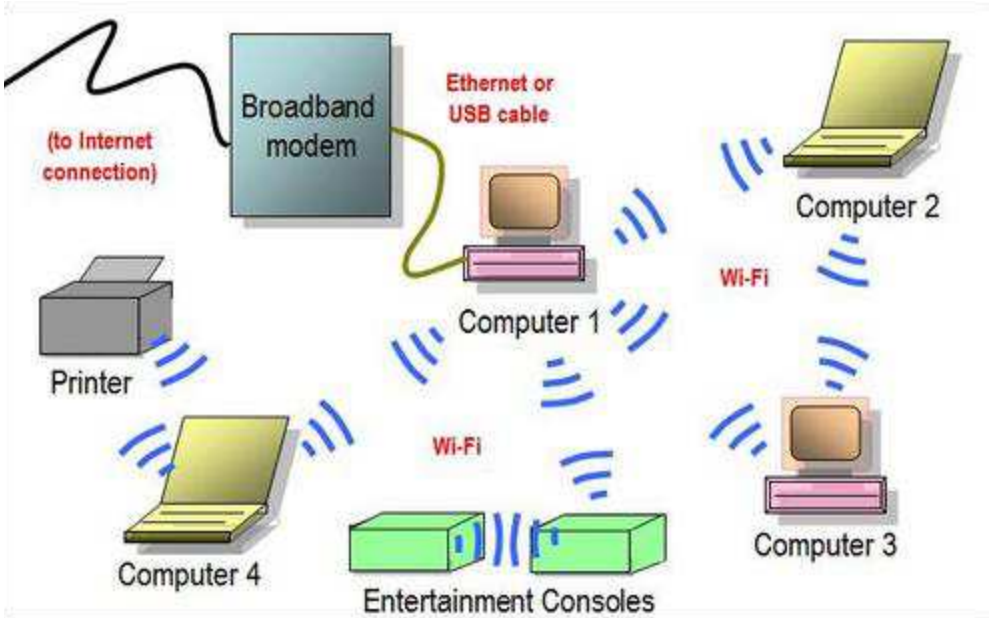
Son xarxes d'àrea local que permeten als usuaris establir connexions dins una àrea local per exemple un edifici corporatiu, un aeroport, o un campus empresarial. Les WLAN es poden instal·lar en espais on no estaria permès cablejat com oficines temporals, o per complementar una LAN existent, de manera que els usuaris poguessin disposar del mateix accés que la LAN però permetent-los desplaçar en diferents punts de la zona local.

Les WLAN poden treballar de dos modes diferents, mode Infraestructura i mode Ad-hoc.

En mode Infraestructura, els equips es connecten a punts d'accés sense fil, el qual s'encarrega del MAC (Control d'Accés al Medi), i aquest funciona com a pont entre aquests equips i l'estació central. Habitualment el recorregut des de el punt d'accés fins a l'estació central va cablejat.



El mode Ad-hoc es basa en que els terminals es comuniquen lliurement entre si. Per exemple diversos usuaris d'una àrea limitada, com una sala de conferencies, poden formar una xarxa temporal sense utilitzar el punts d'accés, si no necessiten tenir accés a la xarxa.



En les xarxes d'àrea local podem trobar tecnologies sense fils basades en HiperLAN (High Performance Radio LAN), o tecnologies basades en WiFi (Wireless Fidelity)

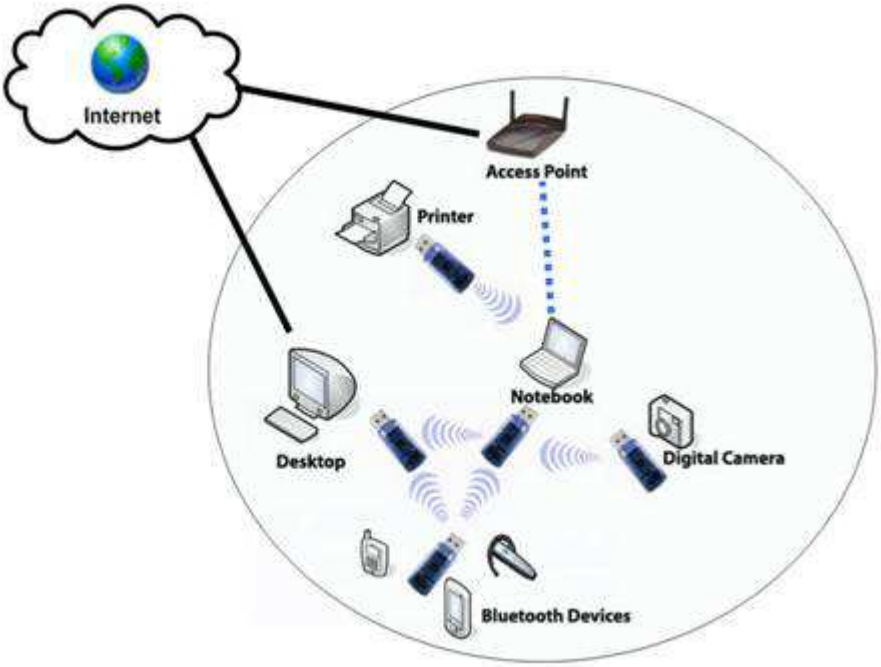
Actualment, per les xarxes WLAN s'estableix la norma 802.11b, la qual transfereix dades a una velocitat màxima de 11Mbps a través d'una banda de freqüència de 2,4 GHz

4.2.4 WPAN (Wireless Personal Area Network)

Son xarxes d'àrea personal i permeten als usuaris establir comunicacions Ad-hoc per dispositius sense fils com ara PDAs, telèfons mòbils, equips portàtils, tauletes digitals, etc., que s'utilitzen dins d'un espai personal (POS). Un POS es un espai personal que rodeja una persona fins a una distancia de 10m de radi. De fet la xarxa PAN es va crear per que les persones es poguessin comunicar amb els seus dispositius mes propers fins a on arribi la veu (així va sorgir la distancia establerta dels 10 metres), i tot d'una forma senzilla i sense cablejat.

Les principals avantatges de la Wireless PAN es que permeten que els equips remots es connectin sense dificultats (protocol de connectivitat senzill), la seva instal·lació no requereix de cap canvi significatiu d'estructura (ni foradar parets ni tiratge de cablejat) amb lo que es redueix cost i temps de la instal·lació.

En aquesta xarxa s'utilitzen tecnologies com HomeRF, Infraroig, Bluetooth i ZigBee, que fan interconnectar equips i generen la interacció amb les persones, com per exemple els comandaments a distancia, els altaveus sense fils connectats al mòbil, els mòbils connectats al GPS d'un cotxe, sistemes de domòtica d'una casa, etc.



El grup IEEE, per normalitzar el desenvolupament de les tecnologies de xarxa WPAN, va establir el grup de treball 802.15. Les particularitats de WPAN son connexions segures, baixa complexitat, baix consum energètic, interoperabilitat i coexistència amb les xarxes de mig abast 802.11. Donat l'avanç tecnològic que va aportar la tecnologia Bluetooth, la norma 802.15 esta basada en Bluetooth 1.0.

En la següent taula es pot veure el protocol utilitzat per WPAN. A diferencia dels anteriors protocols que hem vist, aquest és molt simple. De fet utilitza la mateixa estructura que la configuració d'una xarxa local.

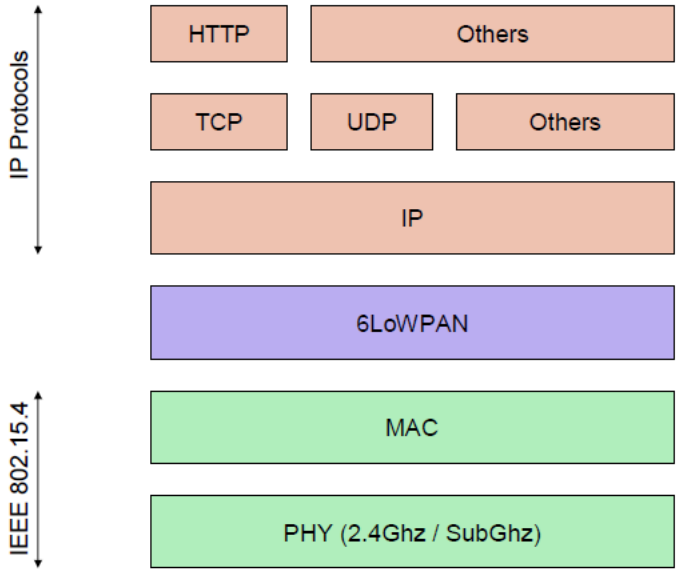


Figure 1 - IP Layers

A continuació descobrirem una mica més les diferents tecnologies que treballen sobre WPAN:

HomeRF:

Existeixen el HomeRF i el Home RF2. La idea d'aquest estàndard es basa en el telèfon sense fils digital millorat DECT (Digital Enhanced Cordless Telephone), que és un equivalent a l'estàndard dels telèfons cel·lulars GSM. Transporta veu i dades per separat, al contrari dels protocols WiFi que transporta la veu com una forma de dades. Els creadors d'aquest estàndard pretenien dissenyar un aparell central en cada casa que connectés els telèfons i a més proporcionés un ample de banda de dades entre les computadores.

Característiques principals:

Identificador de trucades, trucades en espera, retorn de trucada, intercomunicació dins la casa, etc.

Prestacions principals del sistema:

- Modulació FSK (Frequency Shift Keying)
- Velocitat de dades variables entre 800 Kbps i 1,6 Mbps
- Banda de modulació de 2,4 GHz
- 75 canals de 1 MHz per a la veu.

En la segona generació Home RF2, les característiques van millorar a:

- Velocitats de transmissió entre 5MHz i 10 MHz
- 15 canals de 5 MHz per a la veu (millor qualitat de veu)

Infraroig:

Aquesta tecnologia esta basada en raigs lluminosos que es mouen en l'espectre de l'infraroig. Els estàndard IsDA suporten una àmplia gama de dispositius electrònics, informàtics i de telecomunicacions que permeten la comunicació bidireccional entre els dos extrems (emissor i receptor). La comunicació es fa a través d'impulsos digitals, no és senyal modulada (com per exemple el HomeRF). Al transmeteres amb senyal directa per impulsos digitals i a través d'infraroig, es transmet sempre monofocal (en línea recta), i és molt sensible als obstacles físics que hi hagi en el camí. El seu us més comú son els comandaments a distancia gracies a la seva senzillesa tecnològica, el seu baix consum, i la no necessitat d'estar en constant transmissió.

Prestacions principals del sistema:

- Comunicació per impulsos IsDA
- Velocitats de transmissió entre 9,6 Kbps i 4 Mbps.
- Connectivitat de curt abast (menys de 10 metres)

ZIgBee:

Aquesta tecnologia està basada en radiofreqüència a alta potencia. Al treballar a major potencia, pot transmetre a molta distancia y a més la modulació disposa de múltiples canals. És un sistema especialment dissenyat per domòtica i per intercomunicar sistemes senzills com sensors, connectors electrònics, etc i d'una forma esporàdica. Per aquest motiu, la seva velocitat de transferència no es molt ràpida però té un abast a nivell d'edifici. Alguns exemples d'us d'aquest sistema, son sistemes d'irrigació, controls d'accés de les empreses, sistemes domòtics d'una llar, etc

Prestacions principals del sistema:

- Velocitats de transmissió màxima: 250Kbps.
- Banda de freqüència: entre 2,4 GHz
- 16 canals
- Abast màxim: 100 metres.

Buetooth:

Va ser creat per una associació de grans companyies d'alt nivell d'I+D, en les que es destaquen Intel, Motorola, Ericcson, Nokia, Microsoft, IBM. Es un sistema basat en transmissió de dades entre diferents dispositius a través de radiofreqüència, amb l'objectiu de facilitar les comunicacions entre els dispositiu mòbils i fixes. Aquesta tecnologia es va crear en el grup de treball 802.15.1 del IEEE. I una de les característiques principals és la seva facilitat de protocol de comunicació i el seu baix consum.

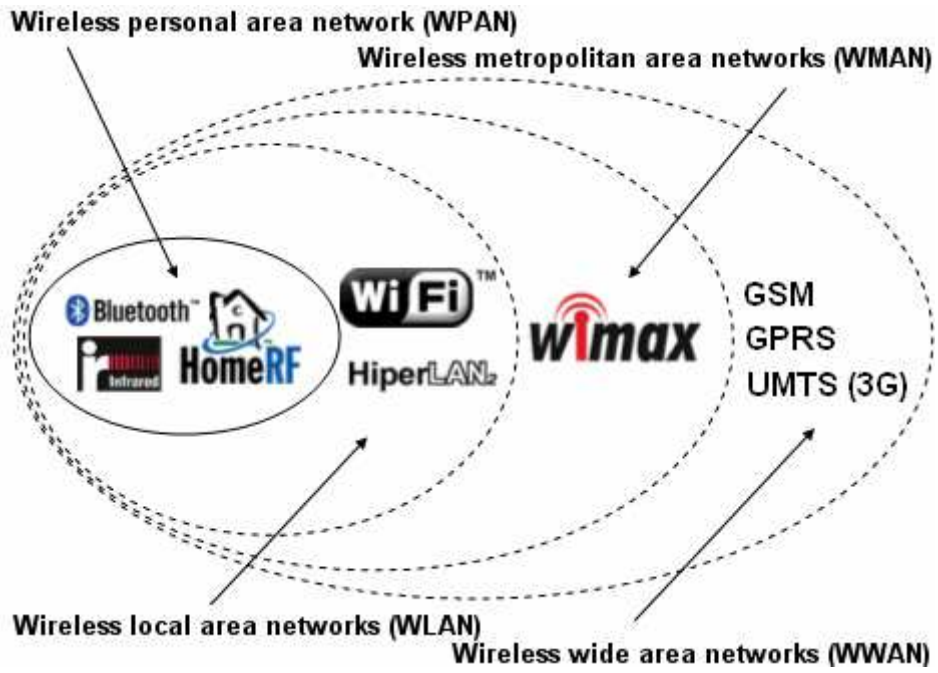
Prestacions principals del sistema:

- Modulació per radiofreqüència
- Banda de freqüència: entre 2,4 GHz
- Velocitats de transmissió: 1Mbps.
- Connectivitat de curt abast: entre 10 m i 30 m.

Per tancar aquest apartat, es mostra el següent quadre que resumeix els 3 tipus de xarxa sense fils existents (exceptuant les de gran abast WWAN), recordant les tecnologies predominants en cada una d'elles i les bandes de freqüència que marca la normativa 802.XX en cada cas.

Usage	Wireless Communications service	Frequency band
Wide Area Network (WAN)	WiMAX	2.300-2.400 GHz 2.496-2.690 GHz 3.300-3.800 GHz
Local Area Network (LAN)	WiFi	2.412-2.4835 GHz 4.9-5.9 GHz
Personal Area Network (PAN)	Bluetooth	2.402-2.480 GHz

La següent gràfica resumeix d'una forma més visual el posicionament dels estàndards "Wireless" i les tecnologies que es dominen en cada xarxa:



5. El Bluetooth

Com a curiositat, la idea del nom de Bluetooth procedeix del rei danès Harald Blatand, la traducció de la qual en angles és Harald Bluetooth, conegut per unificar les tribus sueques daneses i noruegues i convertir-les al cristianisme. Jim Kardach que va ser l'inventor i desenvolupador, va posar aquest nom a la tecnologia amb el significat de desenvolupar una tecnologia que permetés comunicar els telèfons mòbils amb els ordinadors, amb els mans lliures, altaveus, i tots els sistemes electrònics o informàtics personals, com PDA, impressores, càmeres digitals, etc. De fet el logo de Bluetooth és una de les ranures de les inicials del nom i cognom: ᚼ de Harald i la ᛒ de Blatand.

5.1. Introducció

El Bluetooth va ser desenvolupat en el 1994 per substituir la connexió per cable entre dispositius electrònics. Ericsson va ser el promotor del projecte, en el que després d'un llarg temps investigant sobre els multicomunicadors conectats a una xarxa cel·lular, van veure que la millor forma de interconnectar la xarxa era a través de radio de curt abast. Quant Ericsson va presentar el seu projecte, es van formar un grup estratègic compost per 5 empreses: IBM, Intel, Toshiba y Nokia. Porteriorment, les quals eren dos líders del mercat de telecomunicacions, dos líders del mercat de PC's i un líder del mercat de microxips, i es va crear el primer grup d'interès especial, que es va anomenar SIG. Amb el temps, aquest grup va guanyar nous adeptes (no tant com a promotors si no com a seguidors de la tecnologia) i s'hi van sumar moltes altres companyies. Avui es compta amb una membresia de 14.000 empreses en tot el mon.

El primer llançament al mercat va ser el 1998, publicat per el Bluetooth SGI (Special Interest Group), on es va presentar el Bluetooth v1.0. Aquesta primera versió, ja va crear els seus primers ites perquè les empreses es fixessin en aquesta tecnologia fins a convertir-se en un estàndard utilitzat per quasi totes les empreses del mon. Els seus objectius inicials eren:

- El sistema haurà d'operar en tot el mon
- L'emissor de ràdio haurà de consumir poca energia, ja que haurà d'integrar-se en equips alimentats per bateries
- La connexió haurà de suportar dades i veu i per tant aplicacions multimèdia
- La banda de freqüències operable ha de ser lliure.

5.2. Software i Especificacions

En el transcurs dels anys s'ha anat millorant la tecnologia Bluetooth segons les necessitats que han anat apareixent, les idees per evolucionar aquesta tecnologia per més enllà d'una simple substitució del cablejat informàtic, i també lògicament per resoldre errors apareguts en versions anteriors.

En les últimes versions, Bluetooth simplifica el descobriment i la configuració dels dispositius entre si, ja que ells mateixos poden indicar als altres els serveix que ofereixen, lo qual, permet establir la connexió d'una forma més ràpida. L'únic que no s'informa en el moment de connectar, és la velocitat de transmissió.

Un aspecte important a tenir en compte es que totes les versions dels estàndards de Bluetooth estan dissenyats per la compatibilitat del cap avall, que permet que l'últim estàndard cobreixi totes les versions anteriors.

El procediment general per connectar dispositius Bluetooth es similar en la majoria dels casos. Consisteix en:

0. Tenir la connexió Bluetooth engegada en mode detecció
   Alguns sistemes com les impressores ja el porten activat sempre de sèrie. Però els dispositius (sobretot els que son alimentats per bateries) tenen una opció, o bé per pantalla o bé per interruptor, en la que pots activar o apagar el senyal Bluetooth

1. Detectar el dispositiu com a present
   Els dispositius han d'estar a una distancia prudencial per que es puguin detectar entre sí. Avui dia, amb la versió de Bluetooth v4.0 la detecció és molt ràpida inclús si estan a 10 metres de distancia o si hi ha parets o obstacles pel mig.

2. Emparellar els dispositius
   Per emparellar, primer s'ha de seleccionar en pantalla el dispositiu que ha trobat i que nosaltres volem, i tot seguit els dos dispositius iniciaran la tasca de pactar el protocol de comunicació que utilitzaran i preguntar el password per poder autoritzar la comunicació.

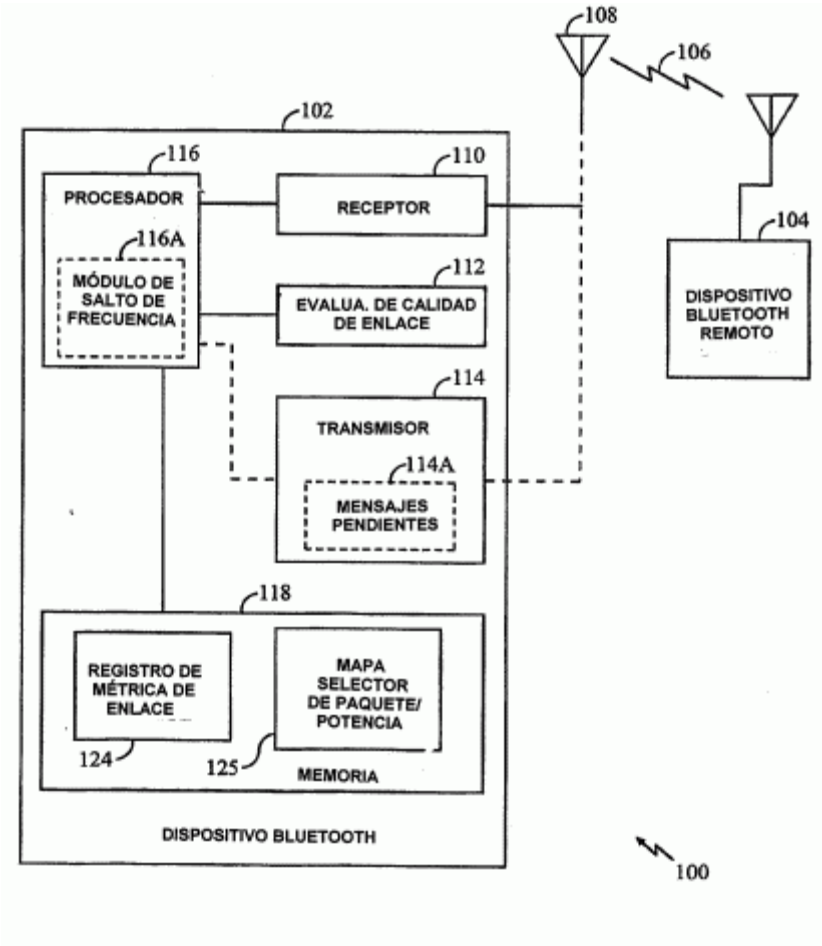
3. Seleccionar els serveis desitjats
   Un cop s'han emparellat, els dos dispositius es coneixen les configuracions a les que estan programats i per tant els serveis que poden oferir (per exemple un altaveu sense fils no tindrà opcions de certes aplicacions de dades o satèl·lit, però sí tindrà tots els serveis d'àudio, música, telefonía, intercomunicació, mans lliures, etc.

4. Connectar el dispositiu.
   Un cop seleccionat el servei, els dispositius poden començar a comunicar. Avui dia els dispositius Bluetooth poden guardar en memòria les configuracions dels últims dispositius usats, o els que s'usen amb més freqüència, de manera que quant troben que aquell dispositiu està al abast el poden activar automàticament amb la configuració emmagatzemada i així connectar-se i començar a funcionar automàticament.

A continuació faré un resum de les diferents versions que s'han anat desenvolupant:

Bluetooth V1.0

Tot i la seva atracció que va provoca des de l'inici, bàsicament per la idea i seu potencial que es veia, la versió 1.0 va tenir molt problemes i els fabricants tenien dificultats per fer els seus productes interoperables. Aquestes versions incloïen en el hardware de forma obligatòria la direcció del dispositiu Bluetooth "BD_ADDR" en la transmissió, el que feia impossible alguns serveis previstos per l'ús en entorns Bluetooth.



Esquema bàsic de la estructura de software del Bluetooth V1.0

Bluetooth V1.1

Principalment es van corregir molts errors de la versió 1.0.
També es van afegir suports per a canals no xifrats.
Es va incorporar els indicadors RSSI (Indicadors de senyal rebuda)
I el més important és que es va aconseguir la ratificació com estàndard IEEE 802.15.1

Bluetooth V1.2

En aquesta versió es va millorar la velocitat de transmissió en la pràctica, de 721 Kbps fins a 1 Mbps
Es va aconseguir una connexió més ràpida a través del nou sistema de protocol de connexió "Discovery", que detecta i es configura més eficientment.
Es va millorar la radiofreqüència, fent un salt de freqüència adaptable d'espectre ampliat que millora la resistència a les interferències de radiofreqüència.
Es va incorporar el sistema ESCO (Connexions síncrones esteses), que milloren la qualitat de la veu en els enllaços d'àudio al permetre la transmissió de paquets corruptes i opcionalment poder augmentar la latència d'àudio per proporcionar millor suport a l'hora de transmetre dades simultàniament.

Bluetooth V2.0

La principal diferencia és la incorporació del sistema EDR ("Enhanced Data Rate": "Velocitat de dades millorada"), que ha fet que accelerar la transferència de dades. La tassa nominal del EDR és de 3 Mbps, tot i que la tassa pràctica és de 2,1 Mbps.

EDR proporciona un menor consum d'energia a través d'un cicle de treball reduït. Per la modulació en freqüència utilitza una combinació GFSK i PSK amb dos variables 4DQPSK i 8DPSK.

Bluetooth V2.1

Aquesta versió millora l'aparellament entre els dispositius. En aquesta versió va aparèixer el sistema SSP (Secure Simple Pairing) que dit ràpidament es un sistema que millora la seguretat de les dades que es transmeten, ja que per una banda proporciona més informació en el procés d'enllaçament amb els dispositius, tant de permisos com de compenetració en el filtratge de dades abans de la connexió.

Per altra banda també millora l'agilitat d'aparellament amb els altres dispositius, a través de reduir el temps d'enllaçament.

També es va incorporar el EIR (Resposta Amplia Investigació), en el qual redueix més el consum en mode de baix consum.

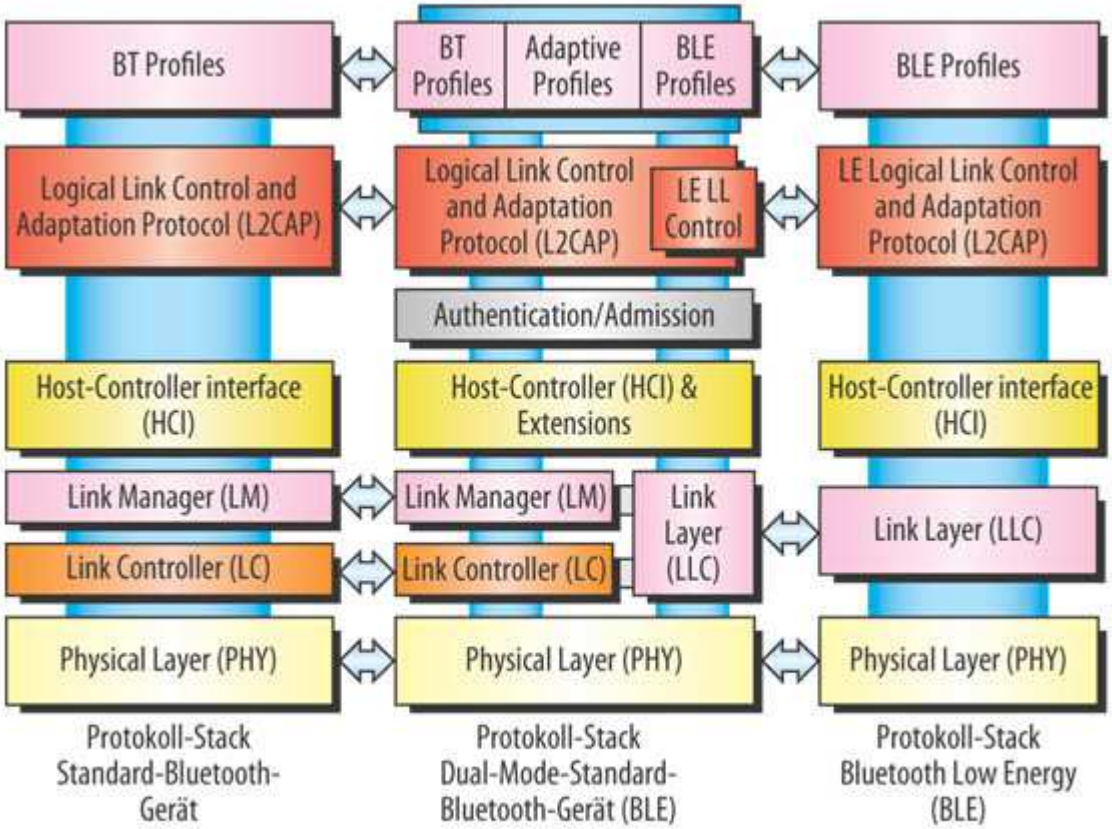
Bluetooth V3.0

El principal avanç de la versió Bluetooth 3.0+HS es la velocitat de transferència teòrica, que arriba fins als 24 Mbps, tot i que no a través del enllaç Bluetooth pròpiament dit. En realitat la connexió Bluetooth nativa, s'utilitza per la negociació i l'establiment de connexió mentre que el tràfic de dades a alta velocitat es fa a través d'un enllaç 802.11.

Un altre novetat es el AMP (Alternate MAC / PHY) al afegiment del 802.11 com transport d'alta velocitat. Aquest sistema permet l'ús d'alternatives MAC y PHY per el transport de dades de perfil Bluetooth. Així doncs, la radio Bluetooth s'utilitza per a la detecció de dispositius, la seva negociació i enllaç, i després, quant s'han d'enviar grans quantitats de dades s'utilitza PHY MAC 802.11, que per lo general està associat a WiFi per transportar les dades. Això significa que el mode de baixa energia s'utilitza quant el sistema està inactiu, i la radio 802.11 (amb el seu consum d'energia característic) s'utilitza quant s'envien grans quantitats de dades.

Bluetooth V4.0

El grup SGI de Bluetooth ha millorat el nucli de Bluetooth a la versió 4.0, aconseguint així major velocitat de transferència i processament de dades i menor consum. La ultima versió 4.0 (compatible amb les versions anteriors per poder funcionar amb dispositius antics) inclou Bluetooth clàssic (que consta de protocols llegat), Bluetooth d'alta velocitat (basat en tecnologia WiFi), i Bluetooth de baix consum (ja que està fet amb el nou nucli que ara parlaré).



Mostra dels tres esquemes de funcionament de Bluetooth v4.0: Classic, Alta Velocitat i Baix consum

L'aspecte de "baix consum" és el que ha revolucionat més la tecnologia amb la publicació que es va fer al 2010 del Bluetooth Low Energy "BLE". Disposa d'una pila de protocols totalment nova amb ràpida acumulació d'enllaços senzills. El disseny dels xips permeten dos tipus d'implementació, de mode dual, de mode únic, i millorades versions anteriors.

Texas instruments, RSE i Nordic Semiconductor van ser les empreses que van desenvolupar i anunciar el nou nucli del Bluetooth de baixa energia. En l'apartat d'Arquitectura de Hardware explicaré en què consisteix aquest nou nucli i els beneficis que aporta.

5.3. Arquitectura de Hardware

La utilitat es basa en la tecnologia de radiofreqüència, i més concretament en salts de freqüència d'ampli espectre. Això vol dir que no cal que els dispositius estiguin alineats per comunicar-se, inclús poden estar en habitacions separades o amb obstacles pel mig, però si que necessiten estar en una zona propera ja que la seva potencia no és molt elevada.

Es classifiquen en 3 classes en referència a la seva potencia de transmissió, sent totalment compatibles els dispositius d'una classe amb els d'un altre.

Clase	Potencia máxima permitida (mW)	Potencia máxima permitida (dBm)	Alcance (aproximado)
Clase 1	100 mW	20 dBm	~30 metros
Clase 2	2.5 mW	4 dBm	~10-5 metros
Clase 3	1 mW	0 dBm	~1 metro

Cal destacar que en la majoria dels casos la cobertura efectiva d'un dispositiu de classe 2 s'estén quant es connecta a un transceptor de classe 1. Això és gracies a la major sensibilitat de potencia de transmissió del dispositiu de classe 1, es a dir, el fet que el de classe 1 tingui major potencia de transmissió, fa que la senyal pugui arribar més lluny perquè el de classe 2 el detecti, i en l'altre sentit, la major sensibilitat que te el de classe 1 fa que la senyal atenuada que arribi del de classe 2 (per la seva menor potencia de transmissió) fa que el de classe 1 el pugui percebre també.

Els dispositius també es classifiquen pel seu ample de banda

Versión	Ancho de banda
Versión 1.2	1 Mbit/s
Versión 2.0 + EDR	3 Mbit/s
Versión 3.0 + HS	24 Mbit/s
Versión 4.0	24 Mbit/s

El hardware que composa el dispositiu està compost per dues parts:

- Un dispositiu de ràdio encarregat de modular i transmetre el senyal
- Un controlador digital, compost per una CPU (Control Process Unit) un DSP (Digital Signal Processor) anomenat Link Controller, i un interface amb el dispositiu amfitrió.

El link Controler s'encarrega del processament de la banda base per controlar els enllaços i també del maneig dels protocols ARQ i FEC de la capa física. A més s'encarrega de files funcions de transferència tant síncrones com asíncrones, la codificació d'àudio i el xifrat de dades.

La CPU del dispositiu s'encarrega de les instruccions relacionades amb el Bluetooth en el dispositiu amfitrió per simplificar la seva operació. Sobre la CPU corre un

software anomenat Link Manager la funció de la qual és comunicar-se amb altres dispositius per mitjà del protocol LMP.

Les principals tasques que es realitzen entre el Link controller i el Link Manager son:

- Enviament i recepció de dades
- Paginació i peticions
- Establiment de connexions
- Autenticació
- Negociació i establiment de tipus de d'enllaç
- Establiment del tipus de cos de cada paquet
- Establir el dispositiu en mode sniff o hold.
    - Sniff es tradueix literalment com ensumar, però representa la funció d'escolta. Escolta les freqüències en les que està funcionant el dispositiu, així qualsevol paquet de dades enviades en aquella freqüència serà llegit, encara que no vagi dirigit a ell. És el que es denomina rastrejament de paquets.
    - Hold es tradueix literalment com mantenir, que es representa com que el dispositiu es mantindrà en aquella freqüència encara que no s'emeti ni es rebi res. Inclòs mantindrà aquella freqüència sempre disponible encara que altres dispositius la utilitzin.

5.3.1 Nucli del Bluetooth v4.0

Per entendre com està construït un sistema Bluetooth, primer definirem els controladors i protocols generals en la seva estructura i després, amb l'ajuda d'un gràfic veurem els blocs principals de l'arquitectura de software.

5.3.1.1 Definició del sistema del nucli:

Primer definim l'arquitectura del sistema. El nucli del sistema Bluetooth cobreix les quatre capes més baixes i els protocols associats definits per l'especificació Bluetooth, tant els protocols de descobriment de servei (SDP), com el de definició del perfil (GAP).

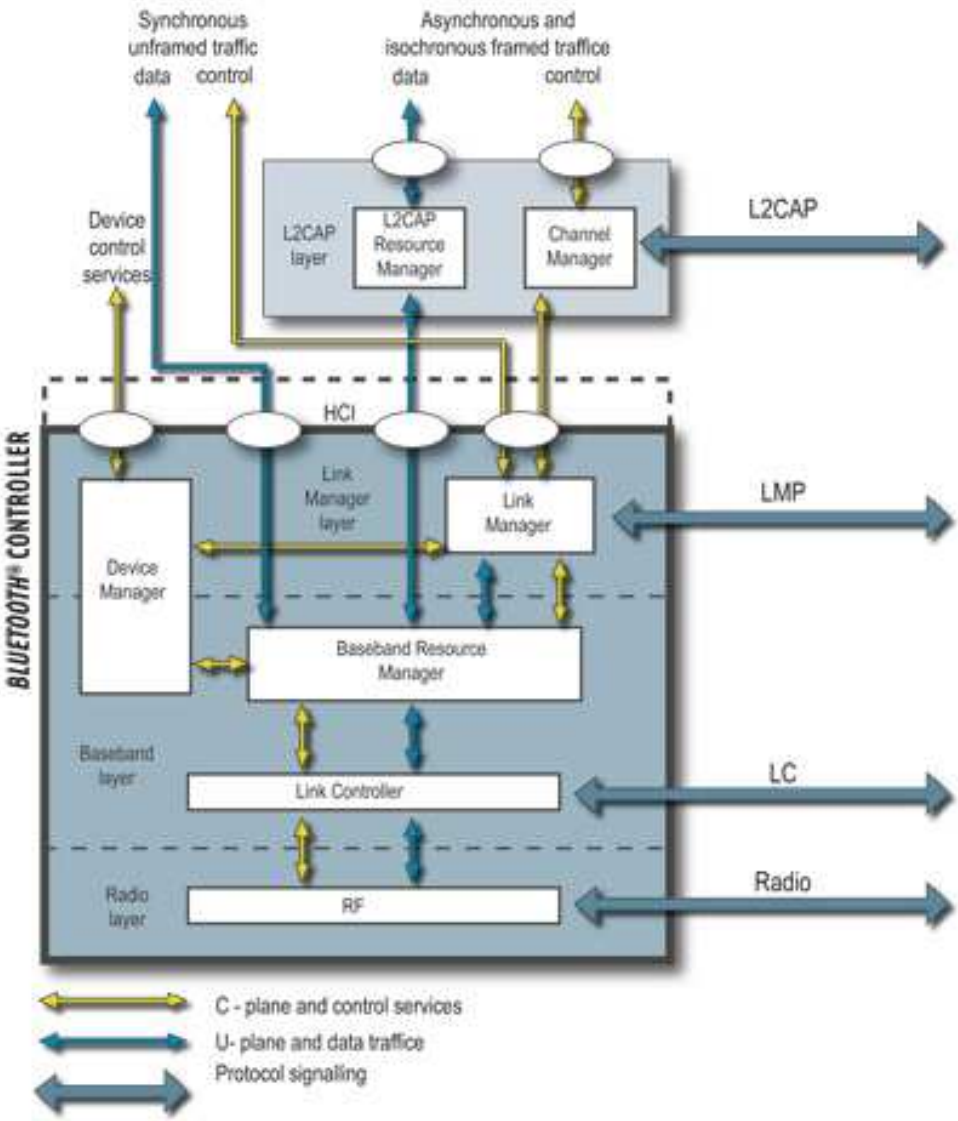
El controlador de Bluetooth ocupa les tres capes més baixes. Aquesta és la aplicació d'interfície de comunicacions físiques que s'executa quant un dispositiu Bluetooth es connecta amb un altre. Per fer això s'utilitza la capa d'adaptació (L2CAP), que és la capa de servei coneguda com l'amfitrió de Bluetooth, i és la

que donarà la interoperabilitat amb els sistemes Bluetooth, independentment del serveis i tecnologia que disposi cada connexió.

Els protocols de sistema i senyalització estan definits com interaccions estàndard per la operació interna del dispositiu, i trobem els següents:
Els protocols de nucli del sistema Bluetooth que són el protocol de ràdio (RF)
El protocol de control d'enllaç (LC)
El protocol de gestor d'enllaços (LM) i de control d'enllaç lògic
El protocol d'adaptació (L2CAP)

El nucli del sistema Bluetooth ofereix els serveis a través d'una sèrie de punts d'accés, els quals es mostren a l'esquema del gràfic com el·lipses. Aquests serveis es poden dividir en tres tipus.

1 Serveis de control de dispositius, que modifiquen el comportament i les maneres de treballar d'un dispositiu
2 Serveis de control de transport, que creen, modifiquen i alliberen portadors de trànsit (canals i enllaços)
3 Serveis de dades, que s'utilitzen per enviar les dades per a la seva transmissió per portadors de trànsit.



La interfície del control de host gestiona en controlador de Bluetooth per que pugui treballar de fora estàndard, sigui quina siguis la connexió amb l'altre dispositiu. En aquesta configuració, el controlador de Bluetooth funciona en les tres capes més baixes i la capa L2CAP està continguda, junt amb la resta de l'aplicació Bluetooth, en un sistema host. Aquesta interfície de control es diu (HCI).

La capa de banda base en L2CAP te el protocol de detecció d'errors (ARQ). La capa L2CAP pot proporcionar opcionalment una detecció d'errors a més de retransmetre a la PDU. Aquesta funció es recomana per a aplicacions amb requisits de baixa probabilitat d'errors no detectats en les dades de l'usuari.

El nucli del Bluetooth v4.0 també disposa d'una interfície de control de proves (TCI) sobre la transmissió per radio RF. Es requereix una prova de conformitat automatitzada de les implementacions del sistema de la base Bluetooth. Això s'aconsegueix testejant la interfície de RF mitjançant el control de prova (TCI).

5.3.1.2 Blocs de l'arquitectura de software

Administrador de canal: És responsable de la creació, la gestió, i la destrucció dels canals L2CAP per al transport de protocols de serveis i els fluxos de dades d'aplicació.

Administrador de recursos L2CAP: El bloc d'administrador de recursos L2CAP s'encarrega de gestionar l'ordre de fragments de PDU a la banda base i algunes configuracions relatives entre els canals, per assegurar que els canals de L2CAP estan compromesos i que no es denega l'accés per causa d'esgotament de recursos, aconseguint així el nivell de qualitat de servei (QoS) adequat.

Administrador de dispositius: L'administrador de dispositius és el bloc funcional en la banda base que controla el comportament general del dispositiu amb Bluetooth . És responsable de totes les operacions del sistema de Bluetooth que no estan directament relacionades amb el transport de dades, com per exemple, preguntant per la presència d'altres dispositiu habilitats propers, o mostrant visibilitat d'ell mateix com a dispositiu lliure de connectar-se.

Administrador de connexions: El gestor d'enllaços és el responsable de la creació, modificació i publicació d'enllaços lògics (i, si cal, les seves comunicacions lògiques associades), així com l'actualització dels paràmetres relacionats amb els enllaços físics entre els dispositius. L'administrador de connexions aconsegueix això mitjançant la comunicació amb el gestor d'enllaços en els dispositius Bluetooth remots utilitzant el protocol de gestió d'enllaç (LMP).

Administrador de recursos de banda base: El gestor de recursos de banda base és responsable de tots els accessos als mitjans de radio. Té dues funcions principals:

1. És un programador que atorga temps als canals físics a totes les entitats que han negociat un contracte d'accés.
2. Negocia contractes d'accés amb aquestes entitats. Un contracte d'accés és efectivament el compromís de lliurar una determinada qualitat de servei

(QoS) que es requereix per tal de proporcionar una aplicació d'usuari amb un rendiment esperat.

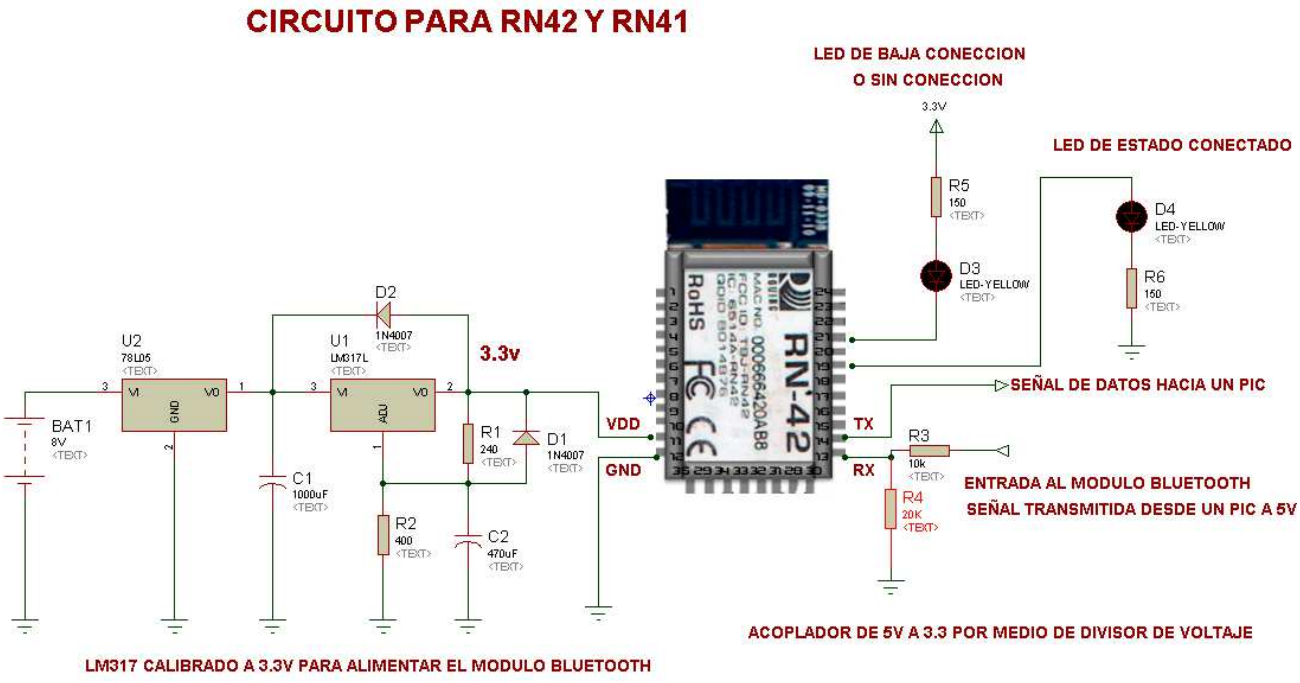
Controlador d'enllaços: El controlador d'enllaç és responsable de la codificació i descodificació de paquets Bluetooth de la càrrega útil de dades i els paràmetres relacionats amb el canal físic, lògic i de transport d'enllaç lògic.
RF: El bloc de RF és responsable de la transmissió i la recepció de paquets d'informació sobre el canal físic. Una via de control entre la banda base i el bloc de RF permet, al bloc de banda base, controlar el temps i la freqüència portadora del bloc de RF . El bloc de RF transforma un paquet de dades des del canal físic, i la banda de base els transforma en els formats requerits per tractar-los.

5.3.2 Esquema elèctric del dispositiu

La especificació de Bluetooth defineix el canal de comunicació a un màxim 24Mbps amb rang òptim de 30 m. Opera a la freqüència de ràdio de 2,4 a 2,48 GHz amb ampli espectre y salts de freqüència amb possibilitat de transmetre en Full Duplex amb un màxim de 1.600 salts per segon. Els salts en freqüència es donen entre un total de 79 freqüències amb intervals d'1MHz, això permet donar seguretat i robustesa a la transmissió vers a interferències.

La potencia de sortida per a poder transmetre a una distancia màxima de 30 metres es de 30 dBm (1W).

Per arribar a l'objectiu de baix consum i baix cost, es va idear una solució que es pot implementar en un sol xip utilitzant circuits CMOS. D'aquesta manera s'aconsegueix crear una solució de 9x9 mm i que consumeix aproximadament un 97% menys que un telèfon mòbil estàndard.



Esquema elèctric del Bluetooth v4.0 encapsulat en un USB

El protocol de la banda base (canals simples per línea) combina commutació de circuits i paquets. Per assegurar que els paquets no arribin fora d'ordre, els slots poden ser reservats per paquets síncrons utilitzant un salt diferent de senyal per cada paquet. La comunicació de circuit pot ser síncrona o asíncrona. Cada una permet suportar tres canals de dades síncrons (de veu, per exemple) o un canal de dades síncron i un altre asíncron. Cada canal de veu pot suportar una taxa de transferència de 64Kbps en cada sentit lo qual és suficient per transmetre veu. Un canal asíncron pot transmetre com a molt 721Kbps en una direcció i 56Kbps en la direcció contraria. Tanmateix una connexió síncrona pot suportar 432,6Kbps en ambdues direccions si l'enllaç és simètric.

5.4. Usos i aplicacions

Des de la creació de la tecnologia, cada vegada s'estan descobrint nous usos funcionals i avantatjosos que, inclòs, van més enllà que la simple substitució del cable.

L'ús més adequat és quant pot haver-hi dos o més dispositius en un àrea reduïda sense grans necessitats d'ample de banda. A més es pot realitzar i confeccionar enllaços o vincular diferents dispositius entre si.

Els principals usos que se li dona avui dia pertanyen al sector de les telecomunicacions i la informàtica personal, com per exemple PDA, telèfons mòbils, vídeo consoles, portàtils, impressores, càmeres digitals, comandaments a distancia, auriculars, etc. Però cada cop es troben usos més innovadors com els que descriurem seguidament:

5.4.1 Altaveus Hi-Fi de disseny

Dins de la carcassa blava hi ha un parell d'altaveus Hi-Fi i un sistema passiu d'amplificador que avarca totes les freqüències d'audició d'alta fidelitat que van des de els 60Hz fins als 20KHz. Les dimensions son 15 x 5 x 4 cm i pesa no gaire més de 300 gr.

Aquest nivell de dispositiu, no s'endolla enlloc si no que la connexió amb el dispositiu de so és sense fils i s'alimenta a través d'una bateria que aguanta 10 hores d'autonomia, depenent del volum al que escoltem la música.

Tant el nivell de bateria com els ajustos del dispositiu, en quant a volum, equalització, etc es controla des de el mateix mòbil el qual es connecta, en aquest cas funciona tant en S.O. iOS d'iPhone com en Android de Google. Tot aquests controls estan connectats a través del Bluetooth v4.0 que porta indegut en la caixa. Aquí tenim un dels exemples del per que és tant necessari que el sistema Bluetooth consumeixi el menys possible.

Això no es podria fer en cap altre tecnologia ja que, per exemple, si ho féssim a través de WiFi, primer que el seu elevat consum reduiria l'autonomia, com a mínim en un -30% (serien com a màxim un unes 7 hores). Però el més important és que el seu cost podria incrementar en un 4.000% aprox, per lo que l'altaveu tindria un cost final molt elevat i poc competitiu. Ni ZigBee ni RFID tenen cabuda en aquesta aplicació donat l'ample de banda que l'altaveu Hi-Fi requereix i aquestes no poden donar.

5.4.2 Mans lliures al casc

Aquests son dos models de casc que porten un sistema mans lliures incorporat a l'estructura.

Porta dobles auriculars i un micròfon, els tres resistents a l'aigua i a la pols. Incorporen també un sistema de reconeixement de veu, el qual a través d'unes paraules clau interactua amb una aplicació que ha de ser instal·lada al mòbil i que pot fer trucades, contestar trucades, buscar persones a la agenda, inclòs està preparat per poder-se utilitzar amb com a navegador.

Per altre banda, el sistema Bluetooth que porta, pot connectar fins a dos mòbils o dispositius al mateix temps. Amb lo qual pots arribar a utilitzar un navegador, al mateix temps que escoltar música des de el mòbil, inclòs el mateix mòbil pot connectar-se amb trucades si en rep una.

Aquesta és una aplicació on es demostra la facilitat de connexió entre dispositius Bluetooth, ja que, seria difícil connectar un sistema mans lluïres incorporat en un casc si s'hagués de configurar prèviament, o manipular el dispositiu per aconseguir l'acoblament, com en el cas de WiFi. A part que un sistema WiFi conté un hardware més complexa i voluminós i seria més complicat incrustar-lo al casc, a més del seu preu, que al ser una tecnologia 40 vegades més cara, faria incrementar massa el preu del casc.

A més, per altre banda, gràcies a la robustesa en la transmissió del senyal, aquesta tecnologia es pot usar en una aplicació tal com en un casc ja que la velocitat, el vent, el soroll extern i altres factors naturals com la pluja, etc no l'afecten en la transmissió de radio i la recepció correcte ni per les interferències ni per la possible atenuació del senyal degut a la velocitat i el vent. Per això no es podria utilitzar ZigBee, ni per la robustes de senyal que necessita ni per la velocitat de transmissió.

5.4.3 Smart watch

El rellotge de l'esquerra es diu MyKronoz. És un rellotge polsera amb Bluetooth compatible amb tots els smartphones, tablets i PC's del mecat. La seva pantalla OLED et mostra el número de les trucades i el nom del contacte que realitza la trucada.

Amb el propi rellotge pots respondre directament les trucades gracies al micròfon que incorpora i el petit altaveu que disposa en la part inferior de la pantalla. A més te una funció de vibració per si vols desactivar el so i mantenir l'atenció a les trucades o notificacions. També et permet escoltar la música que tinguis al mòbil gracies al altaveu i a la connexió Bluetooth v4.0

Porta una bateria d'ions de liti de 150 mAh treballa a una tensió de 4,2V i la seva autonomia es de 72 h en espera i 2-3 h en conversa

El rellotge de l'esquerra és el Pebble. Tot i que és molt similar a l'anterior, aquest va més enllà incorporant una pantalla tàctil. La seva connectivitat és Bluetooth v4.0. i porta un S.O. Android, en versió molt simplificada per reduir al màxim el consum energètic.

Un altre avantatge important és que al no ser un dispositiu perifèric, sinó un dispositiu intel·ligent, aquest SmartWhatch es vincula al mòbil i es sincronitza automàticament quant el detecta, de manera que totes les aplicacions que tinguis incorporades al rellotge (en realitat son com links posats al rellotge de les aplicacions que esculls en el mòbil) es van sincronitzant amb el mòbil avisant-te de notificacions d'agenda, o missatges, o gestionant la música del mòbil, o trucades entrants o incorporacions de contactes a la agenda, etc, fent-ho com si es tractés d'una extensió de pantalla.

Aquí tenim uns altres exemples de sistemes de Bluetooth que si no fossin de baix consum no es podrien fer realitat. A més han de portar la versió Bluetooth v4.0 per que puguin treballar com a mínim a 16 Mbps, per poder gestionar totes les aplicacions que incorpora un mòbil.

Aparentment aquesta aplicació es podria fer amb Home RF, donat que és el millor sistema enfocat a veu IP "VoIP", però tenim 4 problemes: Primer que és una tecnologia de hardware complexa i consumeix molt, la seva autonomia es reduiria com a mínim un -30% respecte Bluetooth. Segon que la seva tecnologia i protocols que utilitza son compatibles amb el S.O. Android (que arriben a ser quasi el 50% dels dispositius que es comercialitzen). Tercer, que és una tecnologia 10 vegades més cara. Quart, que és una tecnologia obsoleta els qual els fabricants de dispositius no s'interessen en fabricar equips compatibles en Home RF.

5.4.4 Bambes amb marcador de passes

Un altre cas en que veiem que cada cop la tecnologia la fem més part de nosaltres, fins al punt d'incorporar-les al nostre mode de vida, i inclòs a la nostre roba, son les noves sabatilles amb sistema Bluetooth incorporat. Això es un nou moviment que s'està creant i l'anomenen Wearable Computing, el qual consta de vestir-se amb roba electrònica intel·ligent.

Una de les primeres peces que iniciava aquesta tendència eren les bambes amb GPS que Nike va llençar al mercat. Amb aquestes bambes podem comptabilitzar la distancia recorreguda, crear un "track" o camí de les nostres rutes o registrar les pulsacions en el nostre mòbil a través d'una aplicació.

Més tard altres fabricants han presentat altres articles alternatius com polseres, rellotges, etc que feien funcions similars.

En aquest cas tenim un sistema que, tot i no ser especialment sensible al consum energètic, ja que les bambes de córrer no les uses durant tot el dia si no només una determinada estona (llavors es podria utilitzar WiFi); i potser no tenir tanta necessitat de velocitat de transmissió ja que la connexió Bluetooth de les bambes en concret s'utilitza per trucades ni per transmetre música, si no només per transmetre posicionament GPS, per lo que la transferència pot ser molt més lenta (llavors es podria utilitzar ZigBee); però hi ha un aspecte que fa que sigui molt recomanable utilitzar la versió concreta de Bluetooth v4.0, i és la robustesa que necessita suportar amb la possible aigua, fang, pols, inclòs els cops constants que es van rebent per les gambades al córrer. Aquesta robustesa només la pot donar un circuit CMOS fabricat de forma molt compacte i sense gairebé ramificacions en el propi chip del Bluetooth (aquest motiu ens descarta WiFi i Home RF). Una arquitectura compacte i feta de silici, fa que el circuit elèctric sigui físicament robust i aguanti totes les inclemències nombrades anteriorment.

5.4.5 Teclat no físic

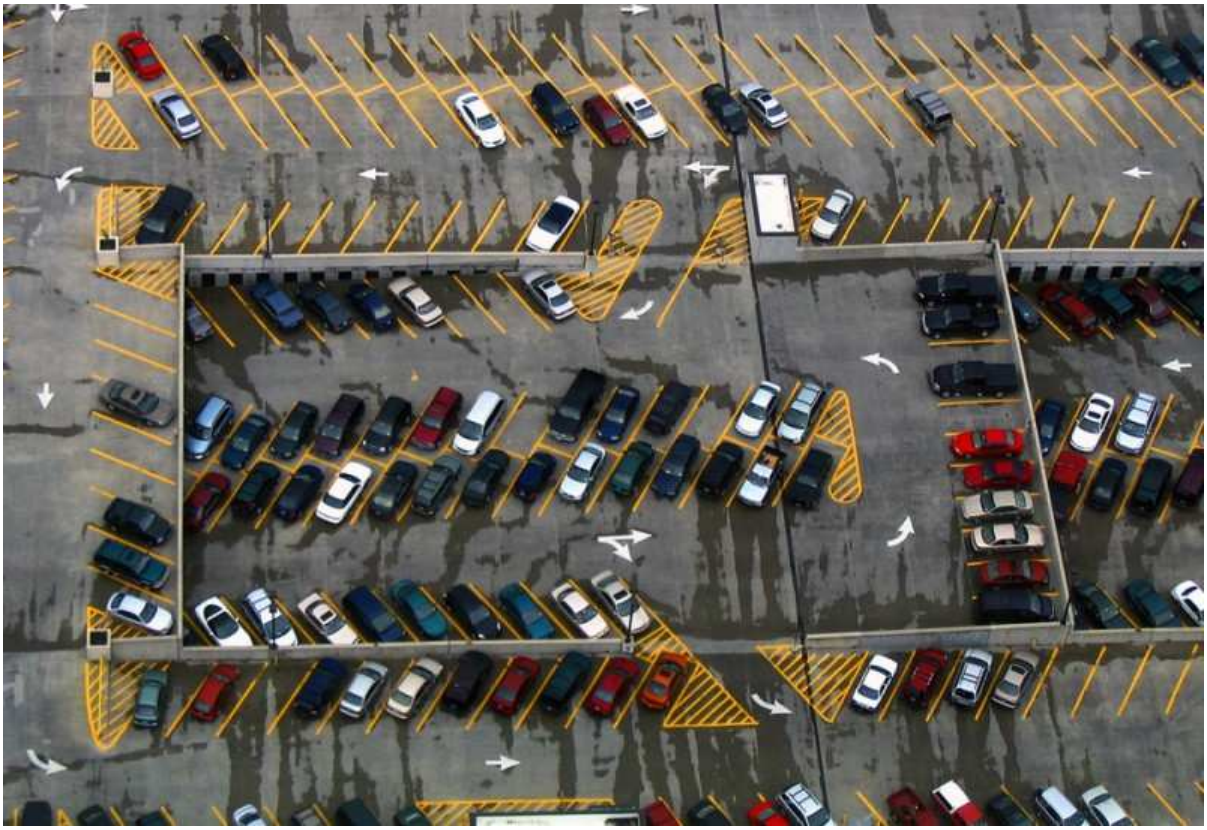
Aquest dispositiu es pot connectar a un mòbil, una tauleta, un PC o a qualsevol dispositiu que pugui portar teclat. La seva connexió es tan fàcil com tenir instal·lada l'aplicació del "Bluetooth-Teclat" al dispositiu destí i utilitzar-lo com un perifèric més, de la mateixa manera que connectaríem un USB. L'avantatge d'aquest és que no necessites ni entrada USB, ni port sèrie, ni cap connexió de cap tipus. Aquest teclat virtual permet connectar-se fàcilment (les posteriors vegades després d'haver-lo configurat), ja que quant el detecta, s'activa automàticament.

El teclat compta amb una font de llum que es basa en un làser de Diode vermell, el qual projecta una distribució de teclat de 63 tecles. El tamany del teclat és d'aproximadament 29 x 9 cm. Per utilitzar-lo correctament ha d'estar projectat en una superfície plana i no reflectant. L'usuari podrà escriure fins a 400 caràcters per minut. Te recolzament per pulsació múltiple. La bateria d'aquest teclat virtual pot treballar fins a 2 hores d'escriptura continua. Contrast d'iluminació 600 lux. Pot treballar amb llum ambiental fins a 600lux. Els S.O. compatibles son: iOS, Android i Windows Phone 7, Windows XP/Vista/7 I Mac OS X.

Aquesta aplicació, tot i ser molt nova, funciona amb la versió tecnològica de Bluetooth v1.1 de classe 2. Tot i així, sabent que la resposta en temps de resposta de pulsació de teclat es important (el fabricant dona velocitats màximes d'escriptura), i que l'energia que consumeix el feix de llum laser que projecta el dispositiu també és valorable, tot apuntaria a una necessitat de millorar la versió tecnològica, com a mínim a la Bluetooth v3.0, ja que tindríem uns transferència de dades de 16Mbps i una major eficiència energètica (o sigui, menor consum) respecte la versió v1.1.

Si no fos pel consum que ja gasta el làser, en aquesta aplicació la millor tecnologia seria la WiFi ja que aconseguiríem les velocitats de transferència aptes per poder escriure ràpid, tot i així, els problema del consum és important, ja que si en aquest dispositiu se li determina una autonomia de 2h amb Bluetooth, amb WiFi l'autonomia es reduiria a una 1h solament.

5.4.6 Localitzador de cotxe



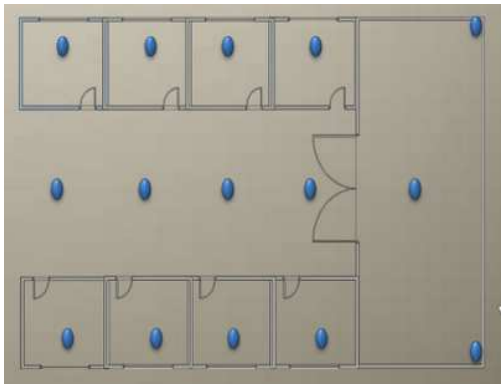
¿Alguna vegada ens ha passat que perdem el cotxe en el parking d'un aeroport o centre comercial per que ens hem oblidat de mirar la plaça on hem aparcat?

Ara existeix un dispositiu molt senzill i econòmic que pot evitar aquesta situació per sempre. Es tracta d'un dispositiu GPS que (havent-lo instal·lat al nostre cotxe) a través d'uns sensors, gestiona intel·ligentment la localització GPS del cotxe. Quant nosaltres

arrenquem el cotxe, aquest dispositiu busca el Bluetooth al que està emparellat, vaja al SmartPhone que està emparellat, i es connecta a la plicació del telèfon. Un cop aparquem i apaguem el cotxe, el dispositiu detecta la parada del motor i acte seguit envia la informació de localització GPS a la aplicació del nostre mòbil. Un cop rebuda la confirmació de la transmissió correcta de la informació el dispositiu es queda en repòs de nou i la aplicació del nostre mòbil guarda la localització. En el moment que volem anar a buscar el nostre cotxe, el mòbil ens sap dir a on està.

Com veiem en aquest cas, no necessitem que la distancia de transmissió sigui molt llarga per que tota la comunicació es fa quant estem dins el cotxe, no fora, per això amb connexió Bluetooth v1.1 ja en tindríem prou. Per altre banda, la transmissió d'informació (de la localització GPS) no cal que sigui de gran ample de banda ja que amb una velocitat de 1Mbps en tindríem suficient per transmetre aquesta localització al mòbil abans que nosaltres sortim del cotxe i quedem fora de l'abast de transmissió. En aquest sentit es podria utilitzar ZigBee, tot i que la seva velocitat de transmissió a 250 Kbps quedaria una mica compromesa. Tampoc tindríem, en aquest cas, molts problemes de consum d'energia ja que és un dispositiu instal·lat en un cotxe (lo qual va alimentat per la bateria del cotxe constantment) i la majoria del temps el dispositiu està en repòs, per això es podria utilitzar qualsevol tecnologia inclòs WiFi. Però la millor tecnologia que engloba totes les característiques és la Bluetooth v1.1. (distancia d'abast, velocitat de transferència, consum energètic, cost tecnològic).

5.4.7 Xarxa de sensors sense fils



En la següent aplicació mostrem un centre domòtic en mode API aplicat a una empresa on trobem 4 sensors en la recepció, 4 senssors en les sales de reunions, 4 sensors en despatxos i 3 sensors més en la sala central i de monitorització. La sala central i centre de monitorització es compon de 3 subsistemes, cada un consta d'una tarjeta de comunicació embebida i un mòdul XBee i 3 sensors. El reste de sensors repartits en les altres sales estan interconnectats en trames API en topologia cluster. En cada una de les àrees nombrades abans (recepció, sales reunions, despatxos, zona central) hi ha un dispositiu FFDS el qual comunica amb la resta de sensors o nodes de l'area en concret. Aquest FFDS al mateix temps és el que es comunica amb el coordinador de la xarxa.

La banda de freqüència a la que s'opera és a la de 2,4GHz per ser lliure dins l'àrea WPAN. El desenvolupament de la tecnologia es centra per la senzillesa i el baix cost, més que altres xarxes sense fils de WPAN, per això, en aquesta aplicació, la millor opció es ZigBeecom en comptes de Bluetooth. El node ZigBee més complert requereix només el 10% del hardware d'un node de Bluetooth o WiFi, la xifra de la qual baixa al 2% per als nodes més senzills. No obstant, el tamany del còdi en sí és bastant major i prop del

50% del de Bluetooth. Per altra banda el cost d'un transceptor està sobre l'1€, i el preu del conjunt de radio, processador i memòria ronda els 3 €. En comparació amb Bluetooth, aquesta instal·lació feta amb ZigBee és aproximadament un 50% més econòmic. Per altra banda, el fet de necessitar una tassa de transferència baixa per al comunicació amb els sensors, necessitar una potencia d'abast alta (atravessant parets) i necessitar de nodes de molt alta autonomia, per no haber de canviar bateries cada dos per tres, fa que ZigBee sigui l'ideal en aquest cas.

En resum entre totes les aplicacions de gran diversitat hem vist varies possibilitats d'us de tecnologia, de les quals, la millor opció tecnologia en quasi totes és el Bluetooth, a excepció de la última (la de xarxa de sensors sense fils). De fet la tecnologia RFID i ZigBee es van construir més aviat per aplicacions específiques, en el cas de RFID per el marcatge i/o etiquetatge de productes comercials, i ZigBee per instal·lacions de xarxes de sensors i domòtica com la que hem vist. Si Bluetooth ha aconseguit tant protagonisme en els últims temps ha estat gracies a la seva versatilitat d'us i grans possibilitats d'utilització en les xarxes WPAN. WiFi també ha guanyat molt protagonista, en contra de Home RF (que ja s'ha descatalogat) pero el seu protagonisme el té més en l'àrea de xarxes WLAN.

En el següent apartat s'explica les diferencies tecnològiques entre cada tecnologia i la seva comparativa per una millor entesa.

6. Comparativa entre Bluetooth i altres tecnologies

Al llarg del temps han anat apareixent diferents tecnologies per interconnectar equips sense necessitat de fils. Cada una d'elles te uns avantatges i uns desavantatges, tot depenent de l'ús que se li vulgui treure. Dins l'àmbit d'estandardització, el més important perquè aquestes tecnologies PAN tinguessin èxit ha estat la confiança dels propis fabricants de dispositius electrònics, ja que ells son els que finalment marquen la tendència d'us, i si ells no hi confien, aquella tecnologia no tindrà mai èxit.

Els principals factors que sempre es valoren en les xarxes o interconnexions de curt abast, son:

- La simplicitat de connexió i us, ja que no son connexions de xarxes industrials sinó molt habitualment per a us domèstic i per tant l'ús d'aquests dispositius seran gestionats per gent no professionals en el sector.
- El consum energètic, donat que en l'àmbit domèstic o personal, cada cop hi ha un us més elevat d'aplicacions multimèdia en nous dispositius digitals, com per exemple: pulsòmetres, velocímetres, rellotges intel·ligents, comandaments de videoconsoles, sensors domòtics, etc. I aquests dispositius funcionen a través de bateries, i per tant, la seva autonomia és un factor importat a tenir en compte.
- La distancia d'abast és un altre factor que ens determinarà si podem usar una tecnologia determinada o no per que en determinats casos. Tot i que sabem que son tecnologies de curt abast, la importància del baix consum energètic fa que aquestes tecnologies no disposin de potencies de transmissió elevades, però s'ha de valorar un equilibri òptim per aconseguir el bon funcionament, per exemple, en els sensors domòtics, que poden estar a una distancia considerablement llunyana del punt de control de la xarxa, o per exemple els mòbils o portàtils poden tenir parets i obstacles físics entre ells i l'altre dispositiu de connexió.
- Els canals de connexió que pugui gestionar una tecnologia també seran valorats ja que en el "curt abast" parlem de d'usabilitats i aplicacions múltiples i diverses on molt probablement un dispositiu estigui connectat en una petita xarxa.
- La velocitat de transmissió no és un aspecte important en determinades aplicacions, com per exemple comandaments a distancia o sensors domòtics, però si que es pot requerir en altres com la reproducció d'àudio en uns auriculars, o la transferència de fitxers entre dispositius.

Amb aquests conceptes, en aquest apartat farem un anàlisi comparatiu entre Bluetooth 4.0 i 4 tecnologies més: ZigBee, RFID, Home RF i Wifi.

Primer, a través del següent quadre comparo les característiques tècniques principals de cada una:

	Bluetooth 4.0	ZigBee	RFID	Home RF	WiFi
Estàndard	IEEE 802.15.1	IEEE 802,15,4	ISO/IEC 14443	IEEE 802.11	IEEE 802.11
Distancia d'abast (en aire lliure)	30-100 m	50-160 m	1-10 m	50 m	50-300 m
Autonomia	Dies	Anys	Anys	Hores	Hores
Velocitat de transmissió	1-24 Mbps	20-250 Kbps	28 Kbps	0,8 Mbps (Isòcron) 10 Mbps (Asíncron)	1-54 Mbps
Rang de Freqüència	2,4 GHz	0,8 GHz, 0,9 GHZ, 2,4 GHz	13,56 MHz	2,4 GHz	2,4 GHz
Canals de connexió	32 bits d'adreces	65535	1000	128	50
Seguretat	64 bits, 128 bits	64 bits, 128 bits	No aplica, donada la proximitat dels dispositius	SSID	SSID
Facilitat d'us	Normal	Fácil	Normal	Normal	Complicat
Tecnologia de xarxa	Ad-hoc Petites xarxes	Ad-hoc Punt a punt Estrella Malla	Estrella	Punt a punt Punt a hub	Punt a Hub
Consum energétic	Baix	Molt baix	Mínim o inexistent	Alt	Alt
Preu de la tecnologia	5 €	3 €	0,95 € (etiquetes actives)	50 €	225 €

ZigBee

ZigBee es va crear a través d'una aliança de 25 empreses, principalment fabricant de semiconductors. Aquesta tecnologia la van desenvolupar precisament per contrarestar les característiques que Bluetooth no arribava.

El sistema de ràdio que consta és de baixa velocitat de transferència (250Kbps) i de llarg abast respecte Bluetooth, però en canvi pot arribar a tenir fins a 255 nodes en front els 8 que te Bluetooth. De fet la lògica d'aquesta enginyeria es poder controlar molts dispositius a baix consum, això implica que el senyal serà multiplexat per temps per tots els nodes que estiguin connectats, per això no es pot confiar en comunicacions que es necessiti gran flux de dades.

Tot i que l'ultima versió de Bluetooth 4.0 ja consumeix molt poc, ZigBee encara es manté com un sistema que consumeix menys, ja que l'autonomia d'un dispositiu amb ZigBee pot ser d'anys. Això ho aconsegueix primer, per la baixa tassa de transferència de dades (que fa que el dispositiu no requereixi de molta energia de pic) i segon per que, en el moment que no hi ha tràfic, canvia l'estat a "dormit" (aquesta característica ja la incorpora el Bluetooth 4.0). Per això és ideal per dispositius instal·lats en zones de difícil accés com poden ser sensors de moviments o mecanismes domòtics d'un edifici.

A mes el cost d'aquest sistema és més econòmic que el Bluetooth, per una banda per que és una tecnologia molt compacte (molt petita físicament), però també per que al no necessitar controlar grans flux de dades, la seva arquitectura és més senzilla que el Bluetooth.
I no nomé es senzill en arquitectura de hardware sinó també en software ja que els protocols de transferència i els controls de connexió son més senzills. Això provoca també que siguin connexions de baixa complexitat, o sigui senzills d'instal·lar i molt més fàcils de configurar la connexió amb els perifèrics. Les connexions poden se ad-hoc, o en malla auto-organitzativa, que fa que tots els nodes es comportin com a routers. Això fa que un avantatge gran en aquest sistema es que es pugui reconfigurar quant hi hagin nodes espatllats, lo qual determina robustes de sistema.

Per les característiques explicades, l'ús principals d'aquesta tecnologia es la domòtica, però avui dia s'està integrant també en el mon de l'automoció. Altres aplicacions son: control industrial, sensors mèdics, o perifèrics de PC's.

RFID

RFID son les sigles de "Radio Frequency IDentification". Es un sistema d'emmagatzament i recuperació de dades remot que utilitza dispositius anomenats etiquetes, transponedors o tags RID. L'objectiu fonamental d'aquesta tecnologia és transmetre la identitat d'un objecte mitjançant ones de ràdio, lo qual s'usa bàsicament per la identificació automàtica dels objectes marcats.

Físicament consta d'un xip molt petit i molt prim, tan prim com una etiqueta que es col·loca a la roba o s'enganxa a l'objecte que es vol controlar. Inclús també es podria enganxar a un animal o persona. L'antena per comunicar-se esta inclosa en la etiqueta (de fet l'antena està adherida en la etiqueta igual com apareix en el propi logo del títol). Aquests dispositius poden ser actius o passius, i al ser detectats per ones electromagnètiques, no necessiten que l'emissor estigui enfront sinó que la detecció és omnidireccional.

El funcionament dels RFID, és molt senzill. L'etiqueta conté les dades del objecte allotjat en una memòria. Aquestes etiquetes, en el cas de ser actives emeten senyal, i en el cas de ser passives, la pròpia antena en forma de bobina, respon a través dels propis impulsos electromagnètics que rep del senyal de radio del transceptor. El transceptor (que és la base de control) va emetent senyal de radiofreqüència, i quant detecta un senyal de retorn modulat, aquest capta el senyal modulat, el transforma en senyal digital i l'envia al subsistema de processament de dades.

El xip de l'etiqueta conte una memòria de capacitat entre 10 B a 10 KB on guarda la informació de l'objecte. Depenent del xip, aquesta memòria pot ser: De lectura; De lectura i

escriptura; O d'anti-col·lisió (que son etiquetes especials que permeten que un lector identifiqui varies etiquetes al mateix temps).

Aquesta tecnologia es diferencia molt de Bluetooth per molts motius:

- Per una banda el Bluetooth no guarda informació i la gestiona sinó que senzillament la transmet.
- Per altra banda el principal objectiu d'un Bluetooth és interconnectar dispositius com en una xarxa, cosa que el RFID es basa en un punt central on es gestiona la informació (transceptor) i els altres treballen com esclaus (etiquetes). Per tant la tecnologia de xarxa és en estrella.
- A més la distancia d'abast del RFID és molt baixa (fins a 10 m) ja que es va dissenyar per la detecció i identificació d'objectes al entrar en la zona de detecció del transceptor.
- Velocitat de transferència no necessita ser elevada perquè només ha de transmetre dades molt petites
- És la tecnologia de més baix consum per excel·lència, ja que els dispositius passius, no consumeixen gens, i els actius poden tenir una autonomia d'anys només amb una pila de boto.

Les seves aplicacions es basen en la identificació de productes que qualsevol establiment, per això pot ser molt útil, per exemple, per rastrejar els productes en un establiment sense haver-los de trobar visualment, i fer inventaris d'una forma més ràpida i eficient.

Altres utilitats poden ser telepeatge, o detecció de targetes d'accés, identificació de la clau del cotxe identificat per el propi vehicle, etc.

Home RF

La idea d'aquest estàndard es basa en el telèfon sense fils millorat. Els creadors d'aquest estàndard, DECT (Digital Enhaced Corless Telephone) pretenien crear un sistema central en cada casa que connectes els telèfons i a més subministres un ample de banda de dades a tots els ordinadors. Per això el seu sistema te una basant isòcron (per la veu), un altre asíncrona (per les dades), i un altre de comunicació sense connexió (Connection less broadcast) per interconnectar els telèfons de al llar. Bluetooth en canvi gestiona la senyal de veu com a dades i ho interconnexiona tot d'una sola forma amb un sol protocol, d'aquesta manera és més senzilla la configuració de xarxa dins una llar amb tots els dispositius.

També s'ha de dir que al desenvolupar aquest sistema pensat en al interconnectivitat de telèfons, HomeRF per defecte incorpora més prestacions per a la telefonia fixa com: Identificació de trucades, trucades en espera, retorn de trucades, intercomunicació dels terminals, etc. Això Bluetooth no ho suporta, però també s'ha de dir que avui dia tots els telèfons fixes ja porten un sistema de radiofreqüència simple que fan aquestes funcions. Tot i

així s'ha de dir que HomeRF garanteix l'accés simultani per veu fins a 8 usuaris a una centraleta o telèfon digital i en canvi Bluetooth només pot garantir una sola conversa de veu, i WiFi ni tan sols compleix la resposta temporal necessària per complir això.

Per donar suport al tres tipos de connexió, te una tipologia de xarxa punt a punt, on pots connectar dispositius individuals –com a Bluetooth-; xarxa interna, on pots tenir ordinadors, dispositius digitals i telèfons interconnectats en xarxa -igual que Bluetooth excepte els telèfons fixes-; i punt a hub, per disposar d'un control de l'entrada d'Internet a casa, -això ho pot fer WiFi però no Bluetooth-.

Com que treballa amb l'estàndard 802.11, igual que WiFi el consum energètic és molt més elevat que Bluetooth tot i que la connexió és més senzilla. Però homeRF ja no és una competència de Bluetooth perquè el grup de desenvolupament de HomeRF es va disoldre al 2003 quant els principals fabricant de dispositius van apostar més per WiFi i van deixar de fabricar dispositius compatibles amb Home RF.

Les principals aplicacions que tenia HomeRF eren les connexions sense fils d'un PC a altres dispositius electrònics de consum, com son vídeos, electrodomèstics, joguines avançades, impressores, telèfons sense fils, centraletes, etc.

HiFi

S'ha de dir que és el sistema més estes en les xarxes WLAN i el grup d'investigació cada vegada el vol estendre més en les altres xarxes, per exemple, des de fa pocs anys ja està disponible la tecnologia WiFi en la xarxa WMAN sota el nom de WiMax, lògicament no és exactament WiFi sinó una versió adaptada a xarxes de gran abast. Ara s'està intentant fer per les xarxes WPAN incorporant WiFi simplificat, anomenat "WiFi-Direct" i amb possibilitat de connexió Ad-hoc sense necessitat d'un punt d'accés entremig.

Però de moment, una de les principals diferencies que hi ha amb Bluetooth és que WiFi només pot controlar fins a un màxim de 6 nodes donat el seu gran ample de banda que disposa, quant la versió de Bluetooth v4.0 ja disposa d'un control d'adreces de 32 bits, que això ascendeix a una quants milers de dispositius.

Un avantatge de WiFi que hereta de les necessitats de les xarxes WLAN, és que ve equipat amb un millor sistema contra interferències i una millor seguretat en la transmissió de dades gracies la encriptació que utilitza. Per contra Bluetooth te una seguretat més dèbil (tot i que compleix nivells de seguretat mínims) però és a propòsit, per fer més senzill el protocol de comunicació i així aconseguir més rapidesa d'enllaç. El temps d'enllaç de Bluetooth és més ràpid que WiFi i el consum en comunicació és menor.

WiFi no podria incorporar-se en un dispositiu alimentat per piles (...encara) per que la seva arquitectura de funcionament no li permet consumir poc per varies causes:

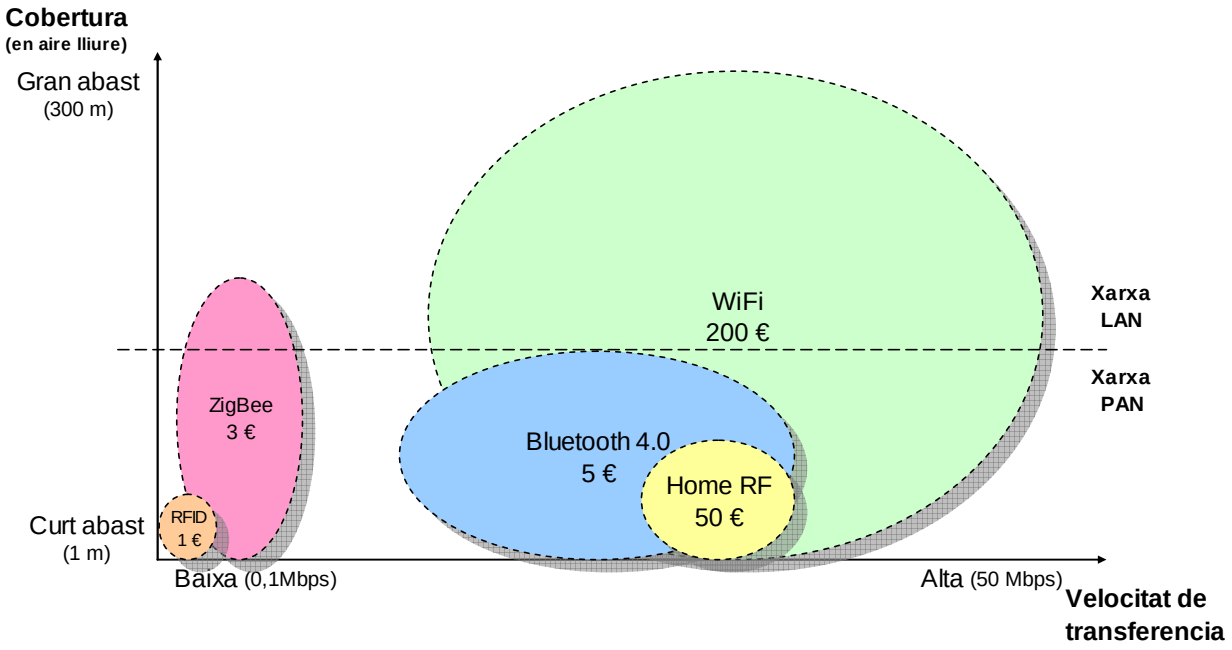
- La seva velocitat de transmissió i la major capacitat per transmetre dades fa que es consumeixi més energia.
- La grandària de paquets, per la quantitat de dades, i pels protocols de seguretat i d'enllaçament, fan que en cada paquet es consumeixi més energia.
- La seva capacitat d'abast també es directament proporcional a la potencia de transmissió i per tant a l'energia que consumeix. Bluetooth, en canvi, limita la potencia de sortida exactament al valor necessari segons el seu interlocutor per aconseguir la màxima eficiència de consum energètic.
- I també el consum en repòs afecta, ja que quant no s'envien dades WiFi continua emetent a la seva potencia habitual. En aquest sentit en Bluetooth v4.0 utilitza només 3 canals per buscar dispositius connectats a ell i fa que es redueixi fins a 10 vegades el que consumeix la WiFi i fins a 20 vegades el que consumeix el HomeRF en estat de repòs.

Un avantatge que té WiFi és que el radi d'abast és força superior que Bluetooth, però també és una tecnologia més cara.

Però de moment Bluetooth no competeix amb WiFi, sinó que es complementen. Els components Bluetooth son més petits, més barats, i consumeixen menys que els WiFi, però amb menor velocitat i distancia d'abast.

Les aplicacions més comuns de WiFi son les connexions de xarxa d'àrea local, càmeres de seguretat, internet de banda ampla, connexió interna de dispositius d'una oficina (PC's, Notebooks, PDA's, SmartPhones, impresores, etc) dins del mateix edifici o fins i tot entre edificis propers.

Per acabar de concloure aquest apartat representem una gràfica comparativa entre totes les tecnologies i agafant els 3 valors més importants de comparació, que son: Velocitat de transferència, Distancia d'abast i Preu de la tecnologia.



- *Cal tenir en compte que tant la velocitat de transferència com la distancia d'abast màxima del Bluettoh està agafada amb les especificacions de la última generació 4.0, no en les seves especificacions estàndard.*
- *El preu que es marca és el cost de la tecnologia aproximat el qual es ven als fabricants de dispositius.*

Com a comentaris particulars, el primer que veiem es que WiFi i Bluetooth son les dos tecnologies més adaptables en velocitats de transferència. De fet son les tecnologies que han acabat menjant-se el "market share" en els últims temps. Amb això ens referim a que s'han quedat com les tecnologies líders les quals, que els fabricants de dispositius escullen per incorporar en els seus equips.

Però és WiFi millor que Bluetooth? No, cada una te virtuts i característiques diferents i cada una es destaca com la millor en el seu àmbit. Bluetooth és millor per aplicacions de xarxa d'àrea personal (WPAN) gracies el seu baix preu, facilitat d'us, adaptabilitat de connexió i baix consum. Per altre banda WiFi, tot i que tècnicament també pot fer les funcions d'una connexió WPAN, però és una tecnologia molt més cara, més complexa de connectar i configurar, i utilitza una electrònica més complexa, lo que fa que requereixi de consums més elevats, i per tant amb poca autonomia. Ara bé, per xarxes WLAN, les necessitats de les quals son diferents, sí que és la tecnologia ideal, gracies a la seva alta seguretat en la transferència de dades, el seu llarg abast de cobertura, i el seu ample de banda o velocitat de transferència.

Per altre banda, ens pot sorprendre visualment que la tecnologia ZigBee, tot i ser molt econòmica, arriba a la banda de WLAN en distancia d'abast. De fet és així, tal com hem explicat a dalt, s'utilitza per instal·lacions de comunicació senzilla en edificis (domòtica, sensors, etc), per tant, si que des d'aquest punt de vista (distancia d'abast) sí que s'utilitza com una xarxa WLAN, però no es considera així pel seu poc ample de banda, la seva baixa seguretat en la transmissió de dades (per culpa de la senzillesa de software i hardware), i perquè utilitza bandes de freqüència d'us sense llicencia (aquest últim motiu és fonamental per no poder entrar a treballar en xarxes WLAN).

7. Aplicació d’un cas real

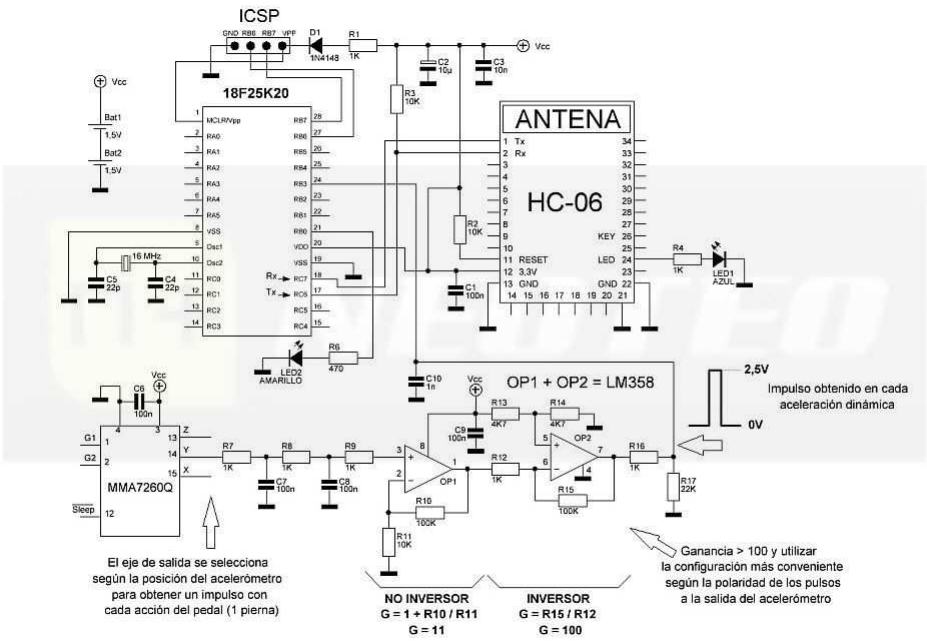
Una aplicació curiosa que he trobat per la web és un projecte anomenat “El acelerómetro en tu pie”, que és el cas d’un sistema Bluetooth per bicicleta estàtica connectat a un Smartphone. M’ha atret el projecte que van realitzar els dos nois com a idea del que es pot arribar a fer amb tecnologia digital i a través d’un sistema Bluetooth.

Aquest projecte combina l’ús d’un acceleròmetre, un microcontrolador, i un mòdul Bluetooth HC-06, que units obtindran la informació necessària i la bolcaran sobre el dispositiu mòbil equipat amb Sistema Operatiu Android.

Els elements actius que formen aquest desenvolupament son quatre: un acceleròmetre amb sortida analògica, un doble amplificador operacional, un microcontrolador i un mòdul Bluetooth HC-06 amb entrada de dades sèrie, operat per el microcontrolador. L’acceleròmetre que es va utilitzar en el projecte és un MMA7260Q que, tot i que ja no es fabrica més, es pot trobar al mercat fàcilment en forma simple o en mòduls pre-ensamblats i llestos per a utilitzar-se en una protoboard. Tots els elements actius que donen forma a aquest desenvolupament utilitzen una alimentació de 3,3V.

S’utilitza la sortida d’un eix de pedal, perquè al utilitzar una bicicleta, qualsevol dels peus realitza el mateix moviment en forma vertical, i s’aprofita la resposta entregada per l’acceleròmetre quant detecta exclusivament aquest moviment. El desenvolupament contempla un disseny petit, que sigui capaç de ser construït amb tecnologia de muntatge superficial i en forma íntegra. D’aquesta manera tot pot ser allotjat dins una banda elàstica, com si es tractés d’una canellera. Tot i així en aquest cas s’aplica per sobre del turmell contenint-hi a dins de la turmellera la electrònica que veurem a continuació. A cada acció ascendent o descendent (en la configuració, es pot escollir la direcció del moviment que es vulgui), l’acceleròmetre posat al turmell enviarà un senyal analògic proporcional al impuls exercit que després, aquest senyal serà transformat en un impuls digital.

Si observem el circuit veiem que prenen la informació de l’acceleració dinàmica des de l’acceleròmetre i l’amplifiquen lo suficient per tenir impulsos clars que son interpretats per el microcontrolador com un “1” lògic.



Els nois van disposar un tipus de circuit que ajuda a descobrir fàcilment com adaptar-lo a les necessitats requerides. Utilitzen les dos configuracions d'amplificació (inversor i no inversor) amb la finalitat de que es vegi com és el circuit i pugui servir com a exemple per a altres projectes. Per exemple, potser amb un únic pas d'amplificació amb el guany adequat i en mode inversor, que ja aconsegueixis els polsos adequats per enviar al informació al microcontrolador. Depenent de la posició en la que es col·loqui l'acceleròmetre, de les seves propietats, de la seva longitud de recorregut, i de la combinació de totes les característiques nombrades anteriorment, es podrà determinar quin és el millor disseny de circuit per aconseguir entrar el senyal i que el microprocessador detecti la informació correcte. S'entén llavors que l'esquema que es construeix per aquest projecte es una forma d'ensenyar com es pot utilitzar aquesta mateixa idea per altres aplicacions.

Per determinar si s'utilitza només un pas d'amplificador o no es determina si l'acció del peu sobre el pedal de la bicicleta es generarà un pols equivalent a un "1" o a un "0" lògic a la sortida del acceleròmetre. Segons s'hagi col·locat el sensor en el seu muntatge es sabrà. A més també es te en compte quant es genera el pols, si quant el pedal ascendeix o quant descendeix, i programar el microcontrolador segons hagi de llegir el canvi d'estat pertinent. Aquesta última part, la d'entrada del pols, es pot associar en forma imaginaria a un polsador que treballi amb una resistència pull-up o una configuració pull-down a l'entrada. Si es configura amb la primera opció es simularà un pols des de Vcc cap a GND i si es configura amb la segona opció serà al reves, de GND a Vcc.

L'operacional que s'utilitza per aquest projecte és el LM358 i és capaç de captar el senyal de l'acceleròmetre que funciona a 2,7 volts, ja que el LM358 especifica que pot funcionar amb tensions a partir de 2,3 volts.

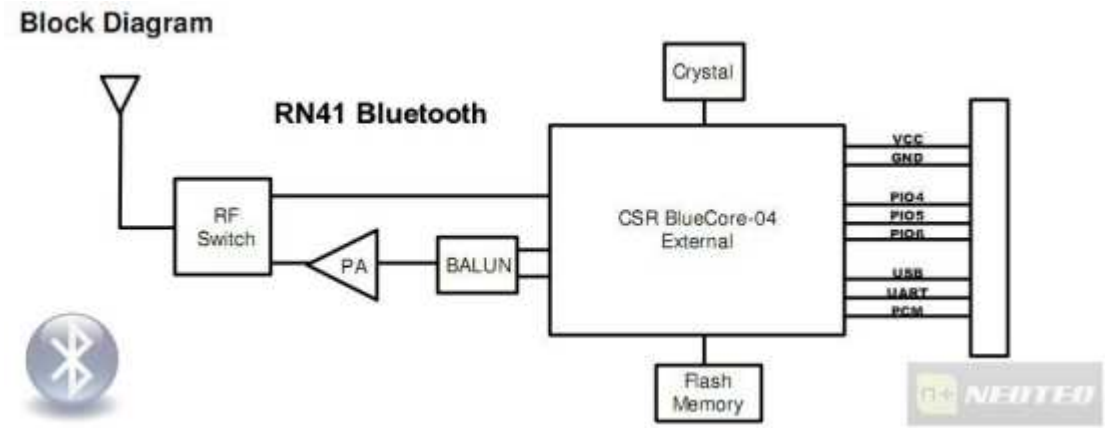
En el pas següent es troba un microcontrolador PIC programat en Amicus (que és un software de programació gratuït) i un mòdul Bluetooth HC-06 que és el que serveix de nexe entre la part de l'acceleròmetre, ubicat a la turmellera, i l'aplicació, ubicada al mòbil. Aquí tornem a parlar d'una etapa on les possibilitats es multipliquen ja que es pot seleccionar el microcontrolador, el llenguatge de programació i el mòdul Bluetooth que es vulgui.

En aquest moment van preparar la connexió Bluetooth per enllaçar la informació de polsos que genera l'acceleròmetre cap a l'aplicació d'Android, que posteriorment programaren amb el software Inventor.

Van utilitzar el mòdul Bluetooth RN41. Gracies a aquest mòdul, es pot transformar una connexió sèrie RS232 en una connexió sense fils, amb un abast de fins a 100 metres. Aquest Bluetooth està fet per la casa Microingenia, S.L. i està basat en un mòdul creat per Roving Networks sota el model RN41. Treballa en Classe 1 i disposa d'una antena integrada. És compatible amb l'estàndard Bluetooth 2.1 i permet velocitats de transferència de fins a 921Kbps. La seva connexió és senzilla mitjançant el UART (que és un transmissor/receptor asíncron universal, RX/TX) de qualsevol microcontrolador, la connexió de la qual pots controlar utilitzant els comandaments AT (que son comandaments bàsics d'Atenció amb els que controles, per exemple, la disponibilitat del dispositiu, o si ha rebut senyal o no, i amb els que pots generar interrupcions en subrutines).

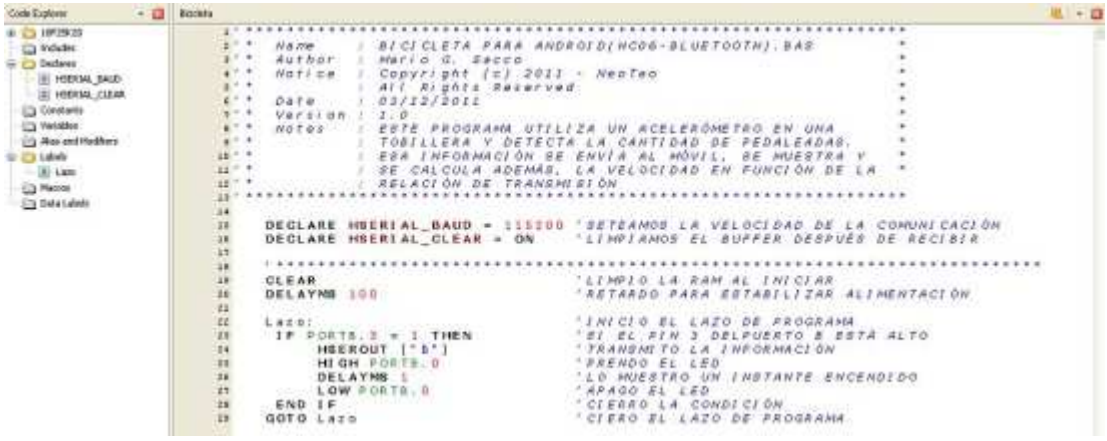
Aquest mòdul pot ser alimentat en 5 vols o en 3,3 vols. Per a aquest projecte, com que es volia reduir al màxim el consum i tampoc s'havia de transmetre a molta potencia, donat que el mòdul estava molt a prop de receptor, van utilitzar la opció de 3,3vols.

L’arquitectura de hardware d’aquest mòdul és bastant senzilla:



Aquest hardware utilitza un PIC (Controlador Programable d’Interrupcions) 18F25K20 amb un oscil·lador de 16Mhz. Van utilitzar un Zoftware lliure anomenat AMICUS per programar el mòdul de Bluetooth. Programaren el sistema perquè corregués a 64Mhz de velocitat de rellotge, i així es pogués transmetre dades a 115,2Kbps. El PIC 18F25K20 t’ofereix diferents entrades analògiques perquè ell mateix les transforma en digital i les envia a través de la connexió de Radio Freqüència de Bluetooth.

A l’hora de programar l’AMICUS van utilitzar principalment el comandament FOR-NEXT per crear les subrutines en l’activació de la interrupció. En la següent figura veiem que en només 12 línies de codi es pot programar el 18F25K20 per que es gestioni el control del acceleròmetre i enviï les dades pertinents a l’aplicació del mòbil.



El que fa aquest programa és detectar cada acció del acceleròmetre interpretant-lo com un interruptor que es tanca. En aquest moment envia, per comunicació sèrie, un Byte, que en aquest cas, és la lletra B, a través de l’ordre HSEROUT. Quant l’aplicació de l’Android detecta la lletra B entén que s’ha produït una volta de pedal i suma una quantitat a la variable “Comptador”.
Aquesta connexió es fa a través del pin 0 del port B.

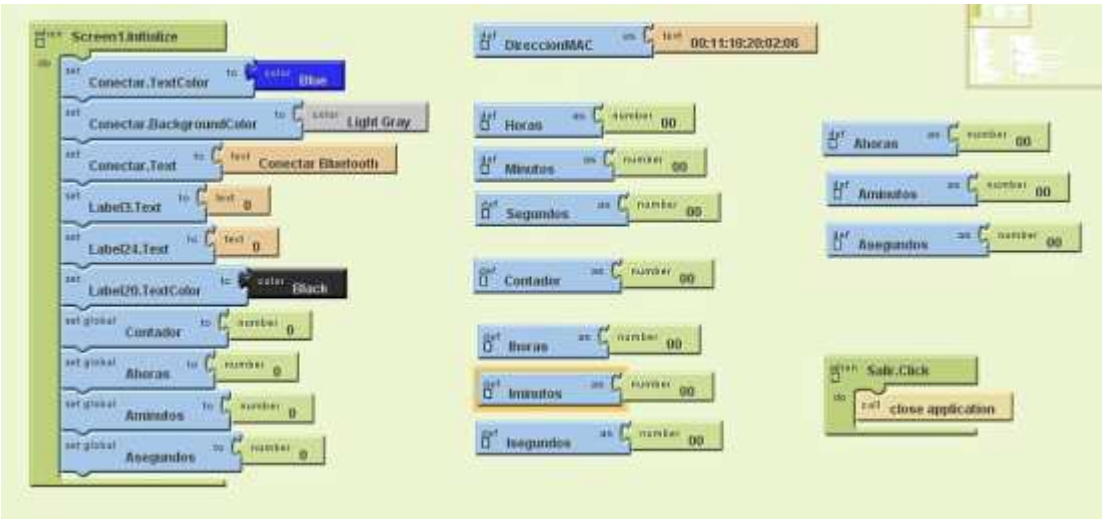
La part del software es va treballar mitjançant la aplicació “Inventor” d’Android. Es pretenia veure en pantalla del dispositiu mòbil no masses elements però els justos i els més importants per l’aplicació. Anomenant-los i definint-los eren:

- **Un rellotge en temps real**, per veure l’hora real quant l’usuari fes l’exercici.
- **Un comptador de temps**. Per alliberar a la persona que fes l’exercici, de que anés calculant el temps que porta fent l’exercici respecte el temps real, el millor es posar un cronòmetre per donar la informació útil.
- **Un comptador de revolucions**. Que registraria les vegades que es pedalegés la bicicleta, cosa que és fonamental per calcular la distancia
- **Un comptador de distancia recorreguda**. Aquesta dada era clau per calcular altres valors com, velocitats (instantània, mitges màximes, mínimes), calories cremades, distancies (parcials totals, etc).

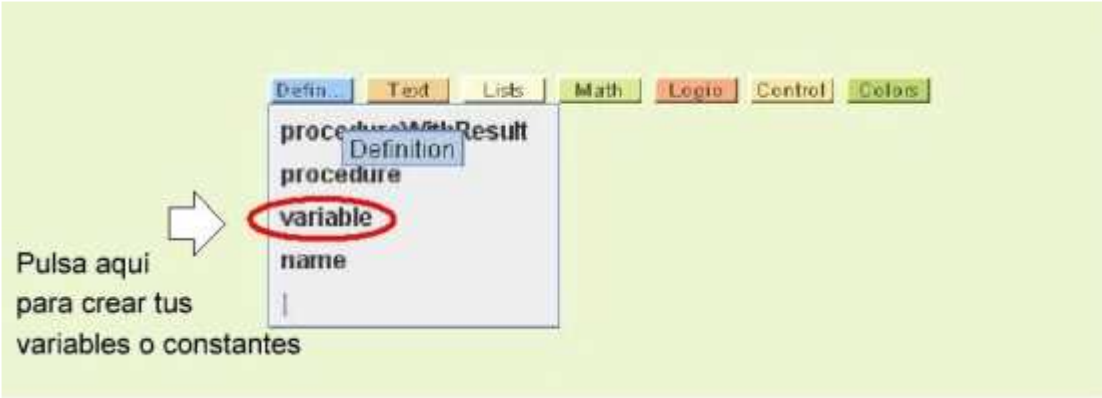
Aquest son els 4 elements basic que es van utilitzar per crear les rutines i valors de tot el projecte.

Per configurar la nova aplicació a través del Inventor, primer es va configurar el Bluetooth, agregant el boto de “Conectar/Desconectar Bluetooth”, i el botó de “Salir de la aplicación”. Al incertar el “Cliente Bluetooth” i qualsevol dels “Clocks” (temps, temporitzadors, rellotges, etc), no han de quedar sobre el llenç gràfic de l’aplicació sinó que es col·loca sempre en la part inferior. De totes maneres es pot posar qualsevol etiqueta o boto en la pantalla i ubicar-lo en el lloc que vulguem perquè l’aplicació tingui un disseny atractiu i a més sigui una aplicació funcional. De totes maneres, perquè quedés una aplicació ben estructurada, eficient i harmònica en el disseny es van anar ajudant de l’eina “Editor de bloques” amb la que podien moure els elements que formarien la pantalla fins a tenir el disseny final.

Dintre dels “Screens” que es van configurar amb l’Inventor per crear les diferents pantalles que pot tenir l’aplicació, la principal és on es va posar la connexió Bluetooth.



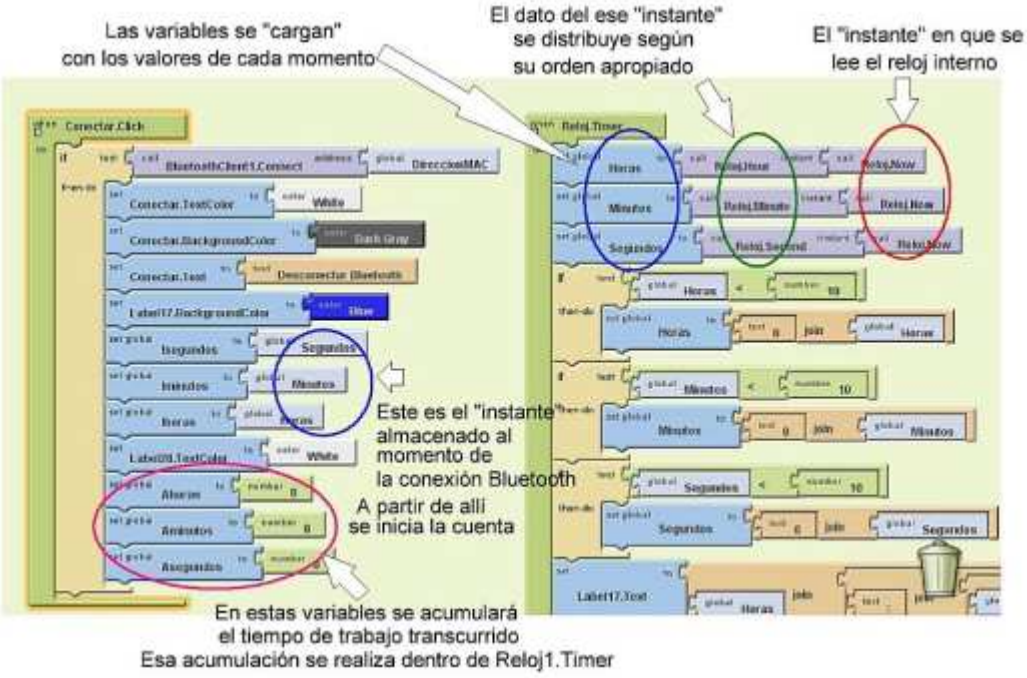
Per crear aquesta connectivitat primer es va introduir la direcció MAC (que tenia el mòdul de Bluetooth) a una variable constant, ja que quant es programessin les altres etiquetes, i necessitessin d’aquesta variable, aquesta podria ser utilitzada de forma comuna per cada objecte programat. Les variables es creen en la opció “My Definitions”



Cada variable creada portava un element que definia la seva funció, que podia ser un text, un número, o fins i tot una expressió matemàtica, però mai podia quedar orfe, se li havia d’assignar una funcionalitat dins el programa. Observant en la imatge superior veiem que es va crear una Constant per la direcció MAC de mòdul Bluetooth, al que cridaven des de l’aplicació quant es polsava el botó “Conectar Bluetooth”. A part d’això també es va crear una variable per el recompte de les “pedalades” i tres grups de tres variables cada un que componien les hores, els minuts i els segons. Els tres grups que es definien s’utilitzaven per emmagatzemar:

- L’**Hora**. Les dades de l’hora en temps real, procedent del telèfon.
- La **Inicial**. L’instant en que es comentava l’activitat del “Comptador”, o sigui el mateix moment en que s’iniciava la connexió Bluetooth.
- L’**Acumulat**. On s’emmagatzemava i mostrava el temps transcorregut des de que es decidia iniciar l’activitat.

Per poder mostrar en pantalla correctament l'hora, com Inventor no sabia interpretar si la variable que mostrava en l'etiqueta era de temps o no, li havien d'afegir zeros a l'esquerra dels valors dels minuts i segons més petits que 10, per això, es feia una subrutina que comparava si el valor era <10 i utilitzava la instrucció Join per afegir un zero a l'esquerra.



Per calcular al velocitat, l'aplicació utilitzava els inputs que arribaven del Bluetooth (que eren les pedalades) i les multiplicava per 0,0045, que era el valor, en kilòmetres, que recorria una pedalada sencera.

D'aquesta manera s'aconseguia la informació de totes les etiquetes i es mostrava per pantalla totes les funcions de l'aplicació gracies al sensor de l'acceleròmetre i gràcies a la transferència de dades del sistema Bluetooth configurat.

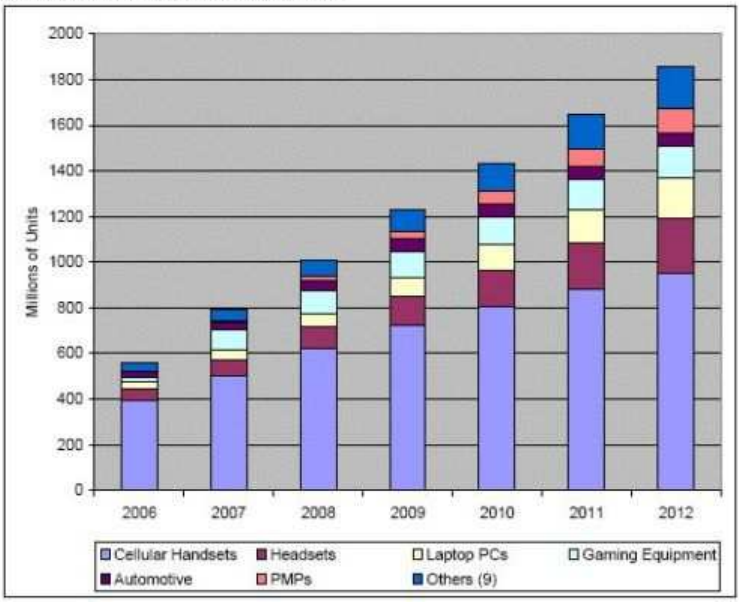
Ara, la pregunta és: Es podria haver utilitzar un altre tecnologia en aquest projecte? Si analitzem les necessitats d'aquest projecte veiem que la distancia d'abast entre l'emissor (que està ubicat en la canellera) i el receptor (que és el mòbil, el qual s'entén que és un dispositiu que sempre el portarem a sobre) seria inferior a 5 metres, per tant podríem fer servir qualsevol tecnologia. A més la seva autonomia tampoc ens preocupa gaire ja que és d'utilitat esporàdica i quant el faci servir, el consum que genera (respecte la potencia d'emissió i ample de banda que utilitza) és molt baix, llavors continuem dient, per aquestes especificacions, que qualsevol tecnologia serviria. El tamany del dispositiu emissor te la necessitat de ser el més petit possible, per tant aquí sí que ja descartaríem les dos tecnologies que tenen un hardware més complexa, que son Home RF i WiFi. A més, al no haver cap instal·lació de xarxa (ja que la comunicació es basa només en un node); al no necessitar cap sistema de seguretat de comunicació; i al ser un simple "perifèric" dispositiu emissor que no pot ser molt costos, fa que WiFi i Home RF quedin desproporcionats per aquesta aplicació. Per altre banda la velocitat de transferència es de 115Kbps, per tant RFID, ja no es podria utilitzar per que la seva velocitat màxima és de 28Kbps. Finalment tot porta a pensar que ZigBee seria la tecnologia que encaixaria millor (a part de Bluetooth), però tenim una última necessitat en aquest sistema, que s'ha de comunicar a un mòbil amb S.O. Android, i la estructura de comunicació de xarxa i el protocol de transferència ha de ser compatible amb Android, i aquí és on falla ZigBee. Per tant concloem finalment que els dos nois van escollir correctament Bluetooth com a la millor tecnologia per aquest projecte.

8. Conclusions

Després de l'estudi realitzat en aquest projecte sobre les tecnologies existents avui dia en les xarxes sense fils d'àrea personal, concloem que Bluetooth permet que les aplicacions WPAN puguin ser quasi il·limitades i permet canviar la forma en que els usuaris actuen amb els tots els dispositius electrònics.

I bon exemple del seu èxit el veiem a través de les dades publicades sobre la venta de chips Bluetooth a nivell mundial. En la següent gràfica podem veure l'evolució que ha tingut aquesta tecnologia.

Figure 1: Bluetooth Market Size and Growth



Avui dia parlem que es fabriquen a nivell mundial més de 2.000 milions de Bluetooth, xifra que esgarrifa.

Bluetooth s'està incorporant a molts dispositius que fins ara havien d'anar lligats per cables inevitablement com impressores, teclats, auriculars, etc. Però més enllà de la substitució del cables en equips perifèrics d'un sistema, s'estan obrint noves possibilitats en electrodomèstics i equips mecànics que fins ara funcionaven de manera totalment independent com rellotges, càmeres de fotos, cotxes, etc. Fins i tot s'està trobant utilitat per a objectes tan inversemblants com bambes, joguines o guants. Aquest és l'exemple del nou paradigma que s'ha obert en la nova tecnologia de comunicació sense fils.

El fet de ser la tecnologia que més encaixa en les necessitats d'una WPAN (baix consum, baix cost, tamany de chip molt petit, fàcil operabilitat, amb capacitats evolutives, etc) els més visionaris creuen que aquesta tecnologia pot arribar a utilitats de comunicació instantània amb dispositius esporàdics com per exemple el pagament automàtic al pujar en un autobús, o el control d'accés a l'entrada d'una empresa, sense necessitat que l'home faci res.

En definitiva, tot i que a la tecnologia Bluetooth encara li manca evolucionar en la velocitat de transmissió i en el cost del chip, esta clar que gracies a la seva estructura de funcionament primària, encara té molta capacitat d'evolució i adaptació per a les noves tecnologies, i això farà que Bluetooth continuï creixent com a tecnologia estàndard mundial utilitzada per la majoria dels fabricants de dispositius electrònics.

9. Glossari de termes i abreviatures

Wireless: Tecnologia de comunicació sense fils.

ERP: Abreviació de "Planificació de Recursos Empresarials". Però més conegut com el Software de gestió d'una empresa.

WiFi: Abreviació de "Wireless Fidelity", es la associació que es va crear a nivell mundial sobre la tecnologia sense fils. Gràcies a l'èxit del seu funcionament i les possibilitats d'evolució que te, ha esdevingut l'estàndard mundial de comunicació sense fils.

WiMax: Abreviació de "Worldwide Interoperability for Microwave Access". L'evolució de WiFi per xarxes WMAN.

LMDS: Abreviació de "Local Multipoint Distribution Service". Sistema de radiofreqüència per donar un servei LAN, tan veu, com dades, com vídeo.

MMDS: Abreviació de "Microwave Multipoint Distribution Service". Sistema de radiofreqüència per microones (rangs de 2GHz a 3GHz) per donar servei LAN. La diferencia amb LMDS és que MMDS pot transmetre més ample de banda, però les seves altes freqüències fan que hagi de tenir visió aèria directa, entre l'antena emissora i la receptora, sense edificis pel mig. Per aquestes característiques s'utilitza més per la comunicació de televisió com a alternativa a la televisió per cable.

ALOHA: Va ser el primer sistema de xarxa que es va crear. Es va desenvolupar per la Universitat de Hawai en 1970 i la seva base de funcionament encara es conserva utilitzant-lo en el protocol Ethernet.

LTE: Abreviació de "Long Term Evolution". És un nou estàndard de la norma 3G. Per alguns és un nou concepte d'arquitectura de comunicació evolutiva.

EDR: Abreviació de "Enhanced Data Rate". És una tècnica per millorar la taxa de dades que s'utilitza en la modulació de transmissió.

GFSK: Abreviació de "Gaussian frequency Shift KEying". És un tipus de modulació de senyal que es basa en el desplaçament de freqüència Guassiana.

PSK: Abreviació de "Phase Shift Keying". És un tipus de modulació de senyal basat en el desplaçament de fase.

4-DQPSK: Abreviació de "Differential Quadrature Phase Shift Keying". És un tipus de modulació de senyal basat en la diferencia de quadratura del desplaçament de fase.

8DPSK: Abreviació de "Differential Phase Shift Keying". És un tipus de modulació de senyal basat en la diferencia del desplaçament de fase.

RSSI: Abreviació de "Received Signal Strength Indication". És una escala de referència que mesura el nivell de potencia de les senyals rebudes en un dispositiu en les xarxes sense fils.

UART: Abreviació de "Universal Asynchronous Receiver-Trasmitter". És un transmissor-receptor asíncron universal que controla els ports i dispositius serie.

Comandaments AT: Son instruccions codificades que conformen un llenguatge de comunicació entre l'home y un terminal mòdem. Amb ell controlem la disponibilitat d'un dispositiu.

PIC: Controlador Programable d'Interrupcions

10. Bibliografia

Documentació:

http://www.cio.com/article/40797/Wireless_Definition_and_Solutions

http://histinf.blogs.upv.es/2010/12/02/historia-de-las-redes-inalambricas/

http://technet.microsoft.com/es-es/library/cc784756%28v=ws.10%29.aspx
→ Introducció a les xarxes sense fils.

http://www.maestrosdelweb.com/principiantes/evolucion-de-las-redes-inalambricas/
→Evolució xarxes sense fils.

http://www.tutorialspoint.com/gprs/gprs_protocol_stack.htm
→ Protocol GPRS

www.etsi.org
→ Organització Europea d'estàndards per Informació i tecnologies de comunicacions.

http://www.nfc-forum.org
→ Tecnologia NFC

http://www.3gpp.org
→ Pàgina de l'organisme 3GPP

http://web.mst.edu/~mobildat/WMAN/index.html
→ Breu descripció WMAN

http://freewimaxinfo.com/wimax-2-technology.html
→ Tecnologia WiMAX 2

http://ticylamejorasocial.blogspot.com.es/2012_05_01_archive.html
→ Blog d'un enginyer on fa un breu resum de WiMAX.

http://www.wi-fi.org
→ Organització amb l'objectiu de conduir l'adopció de les xarxes molt ràpides sense fils LAN.

http://www.xataka.com/moviles/que-es-lte
→ Tecnologia LTE.

http://www.wirelesscommunication.nl/reference/chaptr01/wrlslans/hiperlan.htm
→ Tecnologia HiperLan

http://www.zigbee.org
→ Tecnologia Zigbee.

http://www.rfidjournal.com
→ Tecnologia RFID.

http://es.wikipedia.org/wiki/Bluetooth
→ Tecnologia Bluetooth.

http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/es/equipamiento-tecnologico/hardware/262-claudio-garcia
→ Pàgina del ministeri d'educació. Característiques de Bluetooth.

https://www.bluetooth.org/
→ Pàgina oficial del Bluetooth.

http://www.electronicsnews.com.au/technical-articles/bluetooth-v4-0-s-smart-start
→ Bluetooth 4.0

http://www.digikey.com/us/en/techzone/wireless/resources/articles/comparing-low-power-wireless.html
→ Comparativa tecnologies de Baix Consum

Aplicacions:

http://www.blauden.com/mykronoz-zebracelet-negro-pulsera-reloj-bluetooth
http://www.movil-rom.net/teclado-virtual-lser-bluetooth-compatible-con-pc-telfonos-y-tabletas/
http://gizmologia.com/2011/12/usando-bluetooth-40-para-encontrar-tu-coche

Cas real:

http://www.neoteo.com/acelerometro-bluetooth-android/
http://www.neoteo.com/acelerometro-ii-bluetooth-android/
http://www.neoteo.com/bluetooth-android-pic-led-hola-mundo/
http://www.neoteo.com/bluetooth-con-modulo-rn41-y-18f25k20/