Estudi sobre Bluetooth Low Energy

Sergi Crespi Asensio
Tecnologies de la Telecomunicació
Integració de Xarxes Telemàtiques

José López Vicario
Pere Tuset Peiró

11/06/2017

Aquesta obra està subjecta a una llicència de Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada 3.0 Espanya de Creative Commons

FITXA DEL TREBALL FINAL

Títol del treball:	*Estudi sobre Bluetooth Low Energy*
Nom de l'autor:	*Sergi Crespi Asensio*
Nom del consultor/a:	*José López Vicario*
Nom del PRA:	*Pere Tuset Peiró*
Data de lliurament (mm/aaaa):	*06/2017*
Titulació o programa:	*Grau de Tecnologies de la Telecomunicació*
Àrea del Treball Final:	*Integració de xarxes telemàtiques*
Idioma del treball:	*Català*
Paraules clau	*Bluetooth, Low Energy, WPAN*

Resum del Treball:

Amb l'Estudi sobre Bluetooth Low Energy es pretén entendre el funcionament i el paper d'una de les tecnologies wireless més conegudes en el món actual, el Bluetooth LE. D'aquesta manera, aconseguint una visió històrica i tècnica es veurà d'on ve el seu èxit, així com quins són els seus principals punts forts i les seves principals debilitats, i les tecnologies que competeixen directament amb Bluetooth. En un món on s'ha començat una nova revolució tecnològica, on es tendeix a que tots els dispositius no tinguin fils per a comunicar-se amb altres dispositius, o per a dur a terme la seva funció, Bluetooth LE pot esdevenir un dels principals beneficiats.

Per a entendre els diversos aspectes que es tractaran, es consultaran diverses fonts d'informació de cara a recopilar les bases necessàries per a poder, primerament, entendre el seu funcionament, i el marc en el que es troba, i a partir d'això, poder preveure cap on anirà el futur de les tecnologies sense fils, i, principalment, de la tecnologia Bluetooth LE.

Finalment, el que s'obtindrà serà una complerta revisió d'aquesta tecnologia i es podran veure i analitzar els motius pels quals Bluetooth LE pot esdevenir un dels motors principals de l'Internet of Things i de les properes tendències tecnològiques.

Abstract:

With the “Estudi sobre Bluetooth Low Energy” the main goal is to understand how that technology works, and the main role of one of the wireless most well known technologies, Bluetooth LE. We’ll end up having an historical and technical point of view in which we’ll understand it’s big success, and we’ll be able to understand its strong and weak spots, alongside comparing it with Bluetooth’s main competing technologies. In a world where a new technological revolution has begun, where the main tendencies are to use wireless devices to communicate with other devices, or to be able to complete its function without wires, Bluetooth LE may become one of the most benefited.

In order to understand the different aspects that will be revised, several sources of information will be consulted, to collect the needed information to be able to, firstly, understand how it works and its framework, and, from that, be able to anticipate the future path of wireless technologies and mainly, Bluetooth LE.

Finally, the final product will be an exhaustive revision of this technology, and we’ll be able to see and analyse the main reasons because Bluetoot LE may become one of the main impellers of the Internet of Things and the future technological trends.

Índex

1. Introducció 1
1.1 Context i justificació del Treball 1
1.2 Objectius del Treball 1
1.3 Enfocament i mètode seguit 2
1.4 Planificació del Treball 2
1.5 Breu sumari de productes obtinguts 3
1.6 Breu descripció dels altres capítols de la memòria 4
2. Wireless 5
2.1 Definició 5
2.2 Orígens 5
2.3 Tipus 8
2.3.1 WPAN 9
2.3.2 WLAN 11
2.3.3 WMAN 13
2.3.4 WWAN 15
3. Bluetooth 19
3.1 Orígens 20
3.2 Evolució històrica 21
3.3 Característiques de Bluetooth 25
3.3.1 Versions prèvies de Bluetooth 28
3.3.2 Bluetooth 4.0 (LE) 33
3.3.2.1 Bluetooth Smart i Bluetooth Smart Ready 34
3.3.2.2 Especificacions del nucli de Bluetooth 36
3.3.2.3 Perfils 39
3.3.2.3.1 GAP 40
3.3.2.3.2 GATT 41
3.3.2.4 Màquina d'estats Bluetooth 44
3.3.2.5 Paràmetres de connexió i White List 46
3.3.3 Versions posteriors de Bluetooth 47
4. Usos i aplicacions de Bluetooth 50

5. Altres tecnologies 56
5.1 Comparativa entre tecnologies..... 64
6. El futur de Bluetooth..... 71
7. Conclusions..... 76
8. Glossari.....78
9. Bibliografia..... 80

Llista de figures

Figura 1 8
Figura 2 18
Figura 3 19
Figura 4 19
Figura 5 20
Figura 6 35
Figura 7 37
Figura 8 41
Figura 9 42
Figura 10 43
Figura 11 43
Figura 12 45
Figura 13 56
Figura 14 57
Figura 15 58
Figura 16 58
Figura 17 59
Figura 18 60
Figura 19 61
Figura 20 62
Figura 21 63
Figura 22 63

1. Introducció

1.1 Context i justificació del Treball

Bluetooth LE és una de les tecnologies més rellevants en el món de les tecnologies sense fils. En el futur, el seu paper pot ser molt important, en un món on es tendeix, cada vegada més, a fer servir dispositius que no facin ús de cablejat per a connectar-se amb altres dispositius.

En el context d'un futur sense cables, hi ha diverses tecnologies que competeixen per a fer-se un lloc en el sector, i Bluetooth LE, degut a la seva fama prèvia i a les seves característiques, pot esdevenir una de les més importants. És per això que es farà un repàs exhaustiu a aquesta tecnologia, de cara a entendre el seu funcionament i el seu context, i es compararà amb altres tecnologies, de cara a veure'n els seus avantatges i desavantatges. Així doncs, una vegada finalitzat l'Estudi sobre Bluetooth LE es serà capaç d'entendre en profunditat el seu funcionament i el seu entorn, i poder pronosticar quin serà el seu paper en el món de les Smart Cities, de l'Internet of Things...

1.2 Objectius del Treball

- Fer una introducció a les tecnologies Wireless i descriure'n les més rellevants.
- Descriure els orígens del Bluetooth i la seva evolució històrica.
- Descripció d'aquesta tecnologia, centrant-nos en la versió 4.0 (LE).
- Aplicacions i usos de la tecnologia Bluetooth LE.
- Novetats a les noves versions (4.1, 4.2 i 5).
- Comparativa amb altres tecnologies existents.
- Conèixer els diferents tipus de tecnologies sense fils i les seves categoritzacions.
- Comprendre el rol de la tecnologia Bluetooth en el dia a dia.
- Ser capaços de comprendre el seu funcionament a nivell tècnic.
- Prendre consciència de l'èxit d'aquesta tecnologia i de la seva gran acceptació.
- Aprendre els diferents usos i aplicacions que ha permès la tecnologia Bluetooth Low Energy.
- Fer una predicció del futur d'aquesta tecnologia tenint com a marc de referència altres tecnologies rivals i el futur marcat per tendències com les Smart Cities, Internet of Things...

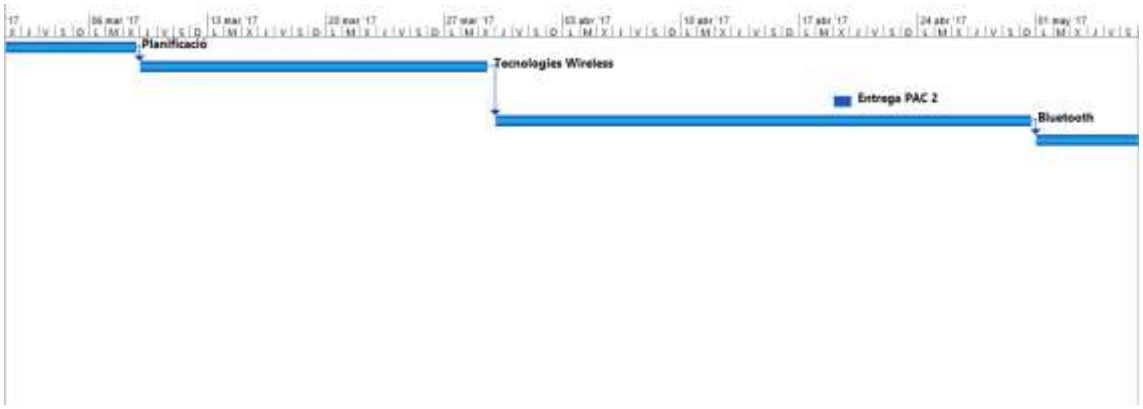
1.3 Enfocament i mètode seguit

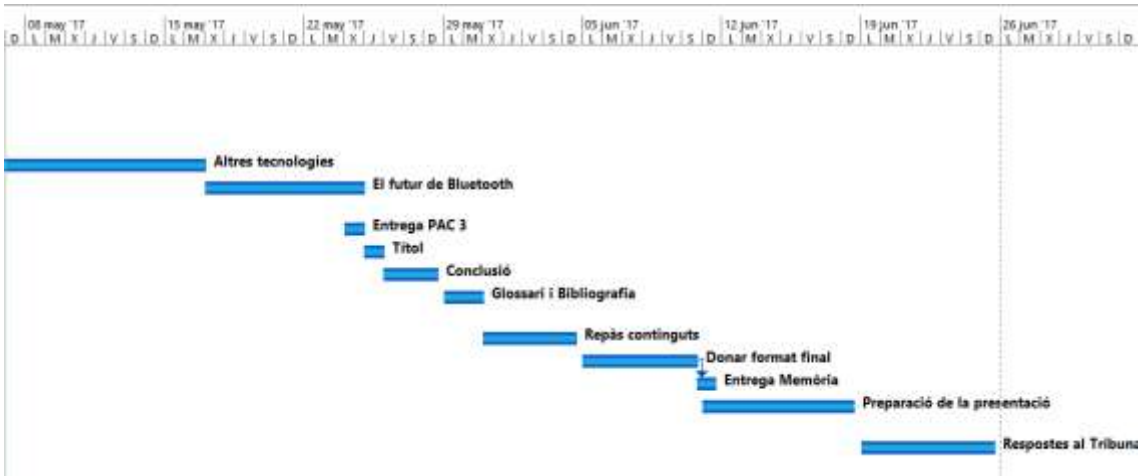
Per a dur a terme l'Estudi sobre Bluetooth Low Energy, la metodologia que es segueix és la de, primerament, ubicar la tecnologia Bluetooth LE en el món de les tecnologies wireless. Una vegada fet això, hi haurà una visió històrica sobre l'origen de Bluetooth, i llavors es passarà a descriure les versions prèvies a la 4.0, per a arribar a descriure tècnicament el funcionament de Bluetooth en l'explicació de la versió LE. Llavors, un breu repàs de versions posteriors, comparació amb altres tecnologies, i una visió del futur de Bluetooth en un futur ple de reptes.

S'opta per a fer una introducció de menys a més tècnic de cadascun dels apartats, donant suport amb taules que tenen la informació clau de cada apartat. D'aquesta manera, s'aconsegueix un millor enteniment de la tecnologia Bluetooth, afegint detalls tècnics de manera progressiva, i reforçant-ho amb taules i imatges, i amb l'opinió personal.

1.4 Planificació del Treball

S'han dividit temporalment les tasques de la següent manera:





Les tasques a realitzar, detallades per dates i per càrrega de treball en nombre d'hores:

Id		Modo de tarea	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras	Nombres de los recursos	Trabajo previsto
1	✓		Planificació	8 días	mié 01/03/1	mié 08/03/1			16 horas
2	✓		Tecnologies Wireless	21 días	jue 09/03/17	mié 29/03/17	1		52 horas
3			Entrega PAC 2	1 día	mié 19/04/1	mié 19/04/1			2 horas
4	✓		Bluetooth	33 días	jue 30/03/1	dom 30/04/	2		94 horas
5	✓		Altres tecnologies	16,5 días	lun 01/05/1	mar 16/05/1	4		40 horas
6	✓		El futur de Bluetooth	8,25 días	mié 17/05/17	mié 24/05/17			16 horas
7	✓		Entrega PAC 3	1 día	mié 24/05/1	mié 24/05/1			2 horas
8	✓		Títol	1 día	jue 25/05/1	jue 25/05/1			1 hora
9	✓		Conclusió	3 días	vie 26/05/1	dom 28/05/			4 horas
10	✓		Glossari i Bibliografia	2 días	lun 29/05/17	mar 30/05/17			5 horas
11	✓		Repàs continguts	5 días	mié 31/05/1	dom 04/06/			13 horas
12	✓		Donar format final	6 días	lun 05/06/1	sáb 10/06/1			16 horas
13	✓		Entrega Memòria	1 día	sáb 10/06/1	dom 11/06/	12		0 horas
14	✓		Preparació de la presentació	8 días	dom 11/06/17	dom 18/06/17			24 horas
15	✓		Respostes al Tribunal	7 días	lun 19/06/17	dom 25/06/17			15 horas

En la planificació ja es preveu quines seran les dates d'entrega de les PACs, i el contingut de les mateixes serà tot el que estigui planificat fins a aquella data. Els recursos que es necessitaran seran diverses fonts d'informació d'on extreure la informació relativa als continguts de l'Estudi. A destacar també que la càrrega de treball de l'apartat d'usos i aplicacions Bluetooth està inclòs dins de la planificació de l'apartat Bluetooth.

1.5 Breu sumari de productes obtinguts

En la finalització de l'Estudi, es tindrà una classificació de les tecnologies wireless, així com les seves característiques. Dins dels apartats de Bluetooth,

hi haurà una evolució històrica, i una revisió tècnica de les diverses versions, separat en versions prèvies a la 4.0, la versió LE (4.0) i versions posteriors. Llavors, es farà una comparació amb altres tecnologies, primerament enunciant les característiques més importants de cadascuna d'aquestes. Finalment, i amb la informació obtinguda fins al moment, es farà una previsió de quin pot ser el futur de Bluetooth, havent conegut les seves principals fortaleses i debilitats, i tenint en compte el context de cap on es dirigeixen les tecnologies sense fils i la societat.

1.6 Breu descripció dels altres capítols de la memòria

A continuació, en el punt 2, hi trobarem una descripció de les xarxes Wireless. En veurem els 4 tipus, WPAN, WLAN, WMAN i WWAN, i alguns exemples de cadascuna.

Al punt 3, s'entrarà plenament al Bluetooth, veient primer els seus orígens i història, i entrant ja a la part tècnica, on es veuran característiques, versions prèvies, versió LE i versions posteriors a la 4.0, el funcionament del nucli de Bluetooth i dels perfils, així com la màquina d'estats i altres paràmetres de connexió. Finalment, s'acabarà aquest punt amb usos i aplicacions de Bluetooth LE.

Al punt 4, es farà un repàs dels usos i aplicacions de Bluetooth, en els principals àmbits en els que aquesta tecnologia té presència, i de quines maneres ho fa, així com s'analitzarà quins són els seus punts forts i febles en aquell escenari.

Al punt 5, hi haurà un repàs de diverses tecnologies que o competeixen o tenen algunes característiques en comú amb Bluetooth LE. Després, es farà una comparativa entre cadascuna d'aquestes tecnologies i Bluetooth LE, per a finalment destacar-ne els seus punts forts i febles.

Al punt 6, amb el que s'ha vist anteriorment, es veurà quin pot ser el futur de Bluetooth. Havent vist tots aquests apartats ja es tindrà una visió sòlida de com funciona Bluetooth i de quina és la seva situació actual, així com quines són les perspectives que té aquesta tecnologia.

Finalment, al punt 7, i tenint en ment tots els continguts vistos, s'arribaran a les conclusions pertinents, i tindrem els punts 8 i 9, amb el glossari i la bibliografia.

2. Wireless

2.1 Definició

Es defineix com a tecnologia Wireless la transferència d'informació o energia entre dos o més punts que no estan connectats entre ells per un conductor elèctric. Aquesta transferència d'informació o energia es pot produir entre dos o més punts que estan a escassos centímetres, o fins a milions de quilòmetres (com per exemple, comunicacions amb l'espai profund). Amb aquest tipus de tecnologia s'aconsegueix comunicar dos o més punts els quals seria impossible, o poc pràctic, connectar-los mitjançant cablejat. Una de les tecnologies més emprades per a dur a terme la comunicació entre aquests punts són mitjançant ones de ràdio, tot i que també es fan servir altres mètodes tals com llum, camps elèctrics o magnètics...

El terme wireless s'ha emprat de dues maneres diferent en la història de les telecomunicacions, primerament, al 1890, amb la primera tecnologia d'emissió i recepció de ràdio, un telègraf wireless, fins que es va començar a fer servir la paraula ràdio. El terme wireless va tornar a fer-se servir a la dècada dels 80 i 90 del segle XX per a distingir aparells que es comunicaven sense fer ús de cablejat, i noms de tecnologies tals com Wi-Fi, LTE o Bluetooth van fer que el terme es fes famós.

2.2 Orígens

Va ser al febrer de l'any 1896 quan Guglielmo Marconi, un enginyer elèctric italià (que va ser premiat amb el premi Nobel de Física l'any 1909), va anar des de la seva Itàlia natal fins a Anglaterra, per a mostrar que havia pogut dissenyar un aparell de telègraf wireless funcional. El 2 de juny d'aquell any en va demanar la seva patent. Conjuntament amb W.H. Preece, que estava a la British Post-office Telegraphs, van aconseguir emetre i rebre senyals sense fils a la Salisbury Plain. Va ser arran d'aquests esdeveniments que Marconi va fundar la Marconi Company, i aprofitant el ressò dels seus experiments a la premsa americana, va aconseguir experimentar i anar avançant amb la seva tecnologia, fins a un dels grans esdeveniments de la tecnologia wireles: l'11 de desembre de 1901, quan el Dr. Marconi a St Johns, Newfoundland, va rebre

una comunicació sense fils, la lletra “S”, retransmesa com a un senyal de test des de la seva estació a Anglaterra.

Al 1904, diverses agències del govern americà (la Marina, el Departament d’Agricultura, l’Exèrcit...) van començar a instal·lar els seus propis aparells de transmissió i de recepció de ràdio.

Seria a partir d’aquests fonaments en els que es basarien les tecnologies sense fils, i començava una era en la que des d’invents com el transistor fins a esdeveniments com el primer llançament d’un satèl·lit de comunicacions, Telstar, anirien afegint ingredients i donant petits i grans passos fins al que coneixem avui en dia.

Fent un repàs dels principals esdeveniments en el món de les tecnologies Wireless, ordenats de manera cronològica:

- 1896: Es crea el primer telègraf sense fils, l’inventor, Guglielmo Marcone.
- 1927: Veu la llum el primer servei de radiotelefonia comercial entre Gran Bretanya i Estats Units.
- 1946: S’introdueix el primer servei de radiotelefonia comercial a St. Louis.
- 1947: John Bardeen, Walter Brattain i Willian Shockley inventen el transistor, fundant les bases de l’electrònica moderna, i fent possible que s’uneixin computació i comunicacions. Posteriorment, acabarien guanyant el premi Nobel pel seu descobriment.

  El mateix any, enginyers de Bell Labs desenvolupen el concepte de tecnologia cel·lular.
- 1948: Claude Shannon publica les bases de la compressió de dades i de la detecció i correcció de canal.
- 1950: S’instal·la ell primer sistema de telecomunicacions terrestre per microones, el TD-2, i dóna cobertura a 2400 circuits de telèfon.
- 1962: Es llança a la òrbita terrestre el primer satèl·lit de comunicacions, anomenat Telstar.
- 1964: es crea INTELSAT (International Telecommunications Satellite Consortium).
- 1965: INTELSAT llança l’Early Bird, un satèl·lit geoestacionari.
- 1968: DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency) selecciona BBD per a desenvolupar l’Advanced Research Projects Agency Network (ARPANET), el precursor d’Internet.

També, la Federal Communications Commission (FCC) obre el Docket 18262 per a poder cobrir la demanda espectral de terminals mòbils, que estava començant a ser insostenible.

- 1970: FCC selecciona els 75 MHz per a sistemes cel·lulars fora de l'espectre UHF.
- 1971: FCC modifica la seva decisió del 1970 permetent a companyies no telefòniques a accedir als 75 MHz.
- 1974: FCC revisa la banda dels 75 MHz passant-la als 40 MHz i en restringeix l'ús a companyies mòbils.
- 1983: TCP/IP és seleccionat com el protocol oficial per a ARPANET.

  També, Motorola introdueix la unitat de telefonia mòbil DynaTAC, la primera que és totalment "mòbil". Tenia autonomia d'una hora de conversa i de 8 hores en standby.
- 1985: FCC allibera la banda ISM per a ús sense llicència, creant les bases per al que seria les wireless local area networks.

  Al final d'aquest any hi ha 340.216 subscriptors de telefonia mòbil.
- 1989: Comencen les "technology wars" per a definir els estàndards de telefonia mòbil entre diferents competidors del sector.

  Es presenta el MicroTAC de Motorola, el telèfon mòbil més petit i lleuger del moment.
- 1990: els usuaris de telefonia mòbil passen els 5 milions.
- 1992: es sobrepassen els 10 milions d'usuaris de telefonia mòbil.

  També, s'envia el primer missatge comercial de text per part d'empleats de Logica CMG.

  Hi ha un milió de hosts connectats a Internet, la xifra es va doblant any rere any.
- 1995: Hi ha 33,8 milions de subscriptors wireless.
- 1997: Es presenta la versió original de l'estàndard IEEE 802.11 per a wireless area networking.
- 1998: Ericsson, IBM, Intel, Nokia i Toshiba anuncien que uniran forces per a desenvolupar el Bluetooth per a intercanvi de dades entre ordinadors i/o telèfons mòbils.
- 1999: Es funda la Wi-Fi Alliance, hi participen 3Com, Aironet, Intersil, Lucent Technologies, Nokia i Symbol Technologies.
- 2002: S'introdueixen per primer cop les càmeres de vídeo als telèfons al mercat americà.

- 2005: s'arriben als 208 milions de subscriptors de tecnologies wireless.
- 2007: es presenta l'iPhone, innovant al mercat de la telefonia mòbil.
- 2008: El 13 d'octubre se celebren 25 anys de las comunicacions wireless a nivell comercial i es funda la Wireless History Foundation.
- 2009: Es ven el xip Wi-Fi número un bilió.

2.3 Tipus

Hi ha diferents tipus de tecnologies wireless, que permeten la comunicació entre ordinadors, o altres tipus d'aparells. Es poden classificar en diferents tipus segons les distàncies entre les quals es poden transmetre les dades:

- Wireles Personal Area Network (WPAN)
- Wireles Local Area Network (WLAN)
- Wireles Metropolitan Area Network (WMAN)
- Wireles World Area Network (WWAN)

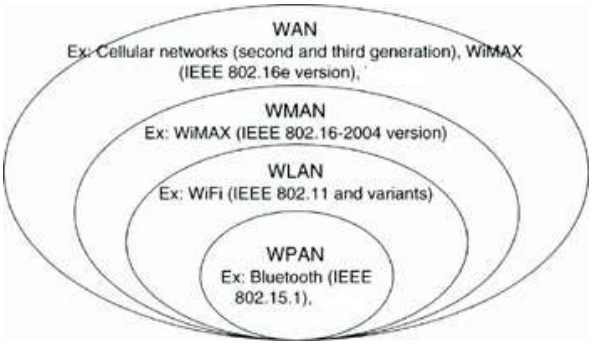


Figura 1
Classificació de tecnologies Wireless i exemples

Una ràpida comparativa entre les diferents classificacions:

Tipus	Cobertura	Rendiment	Estàndards	Aplicacions
WPAN	A l'abast d'una persona	Moderat	Bluetooth, IrDa, IEEE 802.15	Perifèrics sense cables
WLAN	Interior d'un edifici	Alt	IEEE 802.11, Wi-Fi i HiperLAN	Extensió mòbil de xarxes cablejades
WMAN	Una ciutat	Alt	Proprietary, IEEE 802.16 i WIMAX	Connexions sense cables entre domicilis, negocis i Internet
WWAN	Mundial	Baix	CDPD i tecnologies	Accés mòbil a Internet per a

	2G, 3G, 4G...	zones a l'aire lliure

Taula 1, tipus de classificacions de xarxes Wireless

2.3.1 WPAN

WPAN respon a les sigles de Wireless Personal Area Network, i fa referència a una PAN, personal area network, una xarxa d'aparells tals com ordinadors, telèfons, tablets... que formen una xarxa en la que s'intercanvien dades. L'abast de la mateixa és curta, i algunes de les tecnologies que estan a aquesta categoria, algunes de les quals es veuran a l'apartat final de l'Estudi, són:

- Bluetooth
- INSTEON
- IrDA
- Wireless USB
- Z-Wave
- ZigBee
- Body Area Network
- HomeRF

L'abast d'aquesta classificació de les tecnologies wireless va des d'uns pocs centímetres fins a uns quants metres. S'utilitzen principalment per a la interconnexió de perifèrics, com, per exemple, smartwatches, impressores, telèfons mòbils, electrodomèstics, ordinadors...

La WPAN està basada en l'estàndard IEEE 802.15 (directrius que pertanyen a l'Institute of Electrical and Electronic Engineers). En aquest estàndard IEEE 802.15 hi ha diferents Task Groups depenent del nombre de projectes actius. Aquest estàndard defineix també tres classes de WPANs que es diferencien pel seu rang de dades, consum d'energia i qualitat de servei (QoS). Les WPANs amb un rang de velocitat elevat (que pertanyen al grup de treball 802.15.3) estan dissenyades per a aplicacions multimèdia que necessiten d'un alt nivell de QoS. Les WPAns de rang mitjà de dades (802.12.1/Bluetooth), tenen una QoS apropiada per a tasques de veu. Finalment, l'última classe és la de les LR-WPAN (low rate WPAN, que pertanyen al grup 802.15.4).

Els principals grups de treball per a les tecnologies WPAN, que cadascun té unes característiques i interessos que generen estàndards, són els següents:

- Grup de treball 802.15.1: realitza l'estàndard basat en les especificacions SIG del Bluetooth. Va publicar l'estàndard 802.15.1 el 14 de juny del 2002.

- Grup de treball 802.15.2: va desenvolupar un model de coexistència entre les xarxes de tipus WPAN i WLAN.
- Grup de treball 802.15.3: la tasca del qual és realitzar un estàndard d'alta velocitat (20 MB/s o més) per a WPANs. Aquest estàndard ofereix alta velocitat de transmissió, un baix consum d'energia i una millor gestió dels costos per a aplicacions multimèdia.
- Grup de treball 802.15.4: aquest grup de treball investiga i desenvolupa solucions que necessiten una baixa transmissió de dades, i gràcies a això, les bateries dels dispositius poden arribar a durar mesos, o fins i tot anys, sense haver de complicar molt el disseny. Aquest grup de treball vol publicar l'estàndard 802.15.4.

Una taula comparativa entre algunes de les diferents tecnologies WPAN que podem trobar, seria:

Projecte	Taxa de dades	Abast	Configuració	Altres característiques
802.15.1 (Bluetooth)	1 Mbps	10 m (Classe 3) 100 m (Classe 1)	8 dispositius actius Piconet/Scatternet	Autentificació, encriptació i veu
802.15.3 High Rate	22, 33, 44, 55 Mbps	10 m	256 dispositius actius Piconet/Scatternet	FCC part 15.249 QoS, Fast Join Multi-Media
802.15.4 Low Rate	Fins a 250 kbps	10 m nominal 1m-100m segons configuració	Mestre/Esclau (256 dispositius o més) Peer to Peer	Vida de la bateria: Molt llarga, de molts mesos endavant
802.15.2 Coexistència	Es desenvolupa un model de coexistència entre les tecnologies i dels mecanismes de les mateixes com a recomanacions			

Taula 2. Exmeples de WPAN

El principal concepte de la tecnologia WPAN és el "plug in": quan dos equips que tenen aquesta tecnologia s'apropen i entren en el radi de cobertura, es

connecten i es poden comunicar tal com si estiguessin comunicats mitjançant cablejat. També, tenen la habilitat de fixar unes determinades connexions entre dispositius, evitant interferències i també prevenint l'accés no autoritzat d'un altre dispositius a la informació. Aquesta connexió entre dispositius és del tipus *peer-to-peer*, i no es sol requerir un gran índex de transmissió de dades. Generalment, l'abast de la connexió entre dispositius és d'uns 10 metres de diàmetre del dispositiu.

Les WPAN també es pot necessitar que una WPAN interactiu amb una WLAN, com, per exemple, les de la família 802 i això es pot dur a terme mitjançant l'ús d'una AG (attachment gateway). D'aquesta manera, la unitat de serveis de dades MAC d'una LAN es pot condicionar per a que transporti informació sobre una WPAN.

2.3.2 WLAN

Una Wireless Local Area Network és una xarxa que uneix dos o més dispositius amb un mètode de connexió sense fils, dins d'una àrea limitada de l'abast d'una casa, oficina... Així doncs, permet als seus usuaris la possibilitat de moure's dins del radi de cobertura d'aquesta xarxa tenint una connexió a Internet.

Els tipus de dispositiu que utilitzen aquesta tecnologia van des de telèfons mòbils, tables o ordinadors portàtils, televisions, consoles de videojocs... i cada cop són més els aparells que incorporen la capacitat de interactuar amb aquesta tecnologia.

Hi ha dos modes d'operació de les tecnologies WLAN:

- Infraestructura
- Ad hoc

En el mode d'operació d'infraestructura (la majoria de xarxes utilitzen aquest mode d'operació), hi ha un punt d'accés wireless per a la resta de la xarxa, i és aquest hub els que es comunica amb la resta d'aparells (generalment aquest hub està connectat mitjançant cablejat a un altre punt que l'aprovisiona de la connexió a internet, i aquest fa de punt d'accés a la resta de dispositius).

En el mode d'operació ad hoc, són els propis aparells que es comuniquen entre si, sense necessitat de fer servir un punt d'accés de cara a que es produeixi

aquesta comunicació. Quan aquests dispositius estan dintre del radi d'abast de la xarxa WLAN, poden detectar-se i començar aquesta comunicació.

També, dins de les WLAN, hi trobem dues tecnologies:

- HiperLAN
- Wi-Fi

HiperLAN (High Performance Radio LAN) és la alternativa europea a la IEEE 802.11 definida per l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute). L'estàndard de HiperLAN té quatre versions diferents. Les característiques tècniques de la primera versió, HiperLAN/1 són:

- Abast de 50 metres
- Baixa mobilitat (1.4 m/s)
- Permet tràfic síncron i asíncron
- Taxa de bits de 23,2 Mbit/s
- Marge freqüencial de 5 GHz

Wi-Fi està basada en l'estàndard IEEE 802.11. Aquest estàndard està format per un conjunt de MAC (media access control) i unes especificacions de capa física (PHY) que implementen la WLAN a les freqüències de 2,4, 3,6, 5 i 60 GHz. La primera versió d'aquest estàndard va ser anunciada al 1.997.
A continuació, un resum de les característiques tècniques de les diferents xarxes Wi-Fi:

Estàndard	Velocitat	Freqüència (GHz)	Amplada de banda (MHz)	Abast (m)	Any d'implementació
802.11	2 Mbit/s	2,4	22	330	1.997
802.11a	54 Mbit/s	5,4	22	460	1.999
802.11b	11 Mbit/s	2,4	22	460	1.999
802.11g	54 Mbit/s	2,4	20	460	2.003
802.11n	600 Mbit/s	2,4 i 5,4	20/40	820	2.009
802.11ac	6,93 Gbps	5,4	80 fins a 160	460	2.013
802.11ad	7,16 Gbps	60	2	300	2.012

802.11ah	15 Mbps	0,9	2	1.000	2.016

Taula 3. Tipus de xarxes Wi-Fi

2.3.3 WMAN

Una Wireless Metropolitan Area Network és una xarxa sense fils que permet la comunicació entre dos o més terminals mitjançant un punt d'accés amb radis de fins a 40 km. La tecnologia d'aquest tipus més coneguda és la WiMAX (WorldWide Interoperability for Microwave Access), creada pel WiMAX Forum, que va ser fundat per Nokia, Esemble, CrossSpan i Harri al 2.001. Aquesta tecnologia també és coneguda com a IEEE 802.16, que és l'estàndard que la defineix.

A part d'aquesta tecnologia, també hi ha les HiperMAN i les HiperACCESS.

La High Performance Radio Access (HiperACCESS) és un estàndard pensat per a donar cobertura al domicili i a petites i mitjanes empreses, així com donant cobertura a sistemes de telefonia mòbil. Treballa en unes taxes de dades de 100 Mbit/s, tot i que és més usual que treballi entorn dels 25 Mbit/s. Opera a les bandes freqüencials de 40,5-43,5 GHz, i es fa servir TDMA (Time Division Multiple Access).

La High Performance Radio Metropolitan Area Network (HIPERMAN) està dissenyada per a donar cobertura a les Metropolitan Area Network, que treballa a les freqüències de ràdio entre els 2 i els 11 GHz.

La WiMAX treballa a les freqüències entre els 2,3 i 3,5 GHz. Això permet arribar a velocitats de 70 Mbps a distàncies de fins a 50 km del punt d'accés. Així doncs, amb un punt d'accés, es podrien cobrir fins a 100 km amb aquesta velocitat. El primer estàndard WiMAX, IEEE 802.16, va ser creat per a administrar la interoperabilitat dels dispositius que treballen entre les freqüències de 10 a 66 GHz.

Els diferents estàndards de WiMAX i la seva evolució són:

- 802.16: Fa servir l'espectre de 10 a 66 GHz, amb una capacitat de fins a 134 Mbps en cel·les de 3 a 7,5 km.
- 802.16a: Ampliació de l'estàndard 802.16 a les bandes de 2 a 11 GHz. Es va publicar l'any 2.003.
- 802.16c: Ampliació de l'estàndard 802.16 per a definir les característiques i especificacions de la banda dels 10 als 66 GHz.

- 802.16d: Revisió de les versions 802.16 i 802.16a per a afegir els perfils aprovats pel WiMAX Forum.
- 802.16e: Extensió del 802.16 que inclou la connexió de banda ampla nòmada per a elements portàtils.
- 802.16m: Extensió del 802.16 que permet una velocitat de dades de fins a 1Gbit/s immòbil i 100 Mbit/s en moviment.
- 802.16m-2011: Conegit com Mobile WiMAX Release 2, amb una taxa de dades de 1 Gbit/s immòbil i 100 Mbit/s enmoviment, amb OFDMA (Orthogonal Frequency-Division Multiple Access).

Una taula comparativa entre algunes de les versions de WiMAX:

Tecnologia	802.16	802.16a	802.16e
Espectre	10-66 GHz	Menys de 11 GHz	Menys de 6 GHz
LOS (Line of Sight) o NLOS (Non-Line of Sight)	Només LOS (visió directe)	NLOS (No és necessària la visió directa)	NLOS (No és necessària la visió directa)
Taxa de bits	32-134 Mbit/s	75 Mbit/s	15 Mbit/s
Amplada de Banda	20, 25 i 28 MHz	Seleccionable: 1,25 i 20 MHz	20, 25 i 28 MHz
Radi de cel·la	2-5 km	5-10 km (màxim abast de 50 km)	2-5 km
Modulació	QPSK 16-QAM 64-QAM	OFDM amb 256 subportadores QPSK 16-QAM 64-QAM	QPSK 16-QAM 64-QAM
Mobilitat	Sistema fix	Sistema fix	Sistema mòbil

Taula 4. Comparativa entre estàndards WiMAX

Hi ha dos tipus de WMANs, les Back haul i les Last mile. D'una banda, les Back haul són xarxes que estan pensades per a negocis, torres de connexió de telèfons mòbils i punts amb una alta demanda Wi-Fi. És una opció que utilitzen moltes empreses que no poden permetre's instal·lar fibra que connecti cap als

seus edificis, i necessiten d'un servei d'Internet a alta velocitat. D'altre banda, les de tipus Last mile són útils per a oferir serveis temporals per a accés a internet, tals com llocs de construcció o localitzacions en el que s'ha perdut l'accés a internet. El seu cost d'instal·lació és menor que les Back haul, i la seva velocitat d'instal·lació, major.

2.3.4 WWAN

Una Wireless Wide Area Network es diferencia principalment d'una WLAN ja que fa servir sistemes de telecomunicació cel·lular, tals com:

- LTE
- CDMA2000
- GSM
- GPRS
- UMTS
- CDPD (Cellular Digital Packet Data)
- Mobitex

El GSM (Global System for Mobile Communications, originàriament Groupe SécialMobile), és un estàndard desenvolupat per l'ETSI (European Telecommunicactions Standards Insititue), que descriu els protocols de segona generació (2G) utilitzats per la telefonia mòbil. A Europa, GSM fa servir les bandes de freqüència dels 900 i 1.800 MHz, a Estats Units, els 1.900. Ofereix un rendiment màxim de 9,6 kbps, i permet transmissions de veu i de dades digitals de baix volum.

L'evolució del sistema GSM és el GPRS (General Packet Radio Service), i se sol anomenar 2,5G, GSM++ o GSM2+. La seva taxa teòrica de transferència arriba als 171,2 kbps teòrics, tot i que a la pràctica són 114 kbps. Les novetats que ofereix respecte el GSM serien:

- Servei punt a punt (PTP): capacitat de connectar-se en mode client-servidor a un equip a una xarxa IP.
- Servei de punt a multipunt (PTMP): capacitat d'enviar paquets a més d'un destinatari (multidifusió).

Seguint amb l'evolució, arribaria el sistema 3G, anomenat UMTS (Universal Mobile Telecommunications System). Va ser desenvolupat per 3GPP (3rd

Generation Partnership Project). Forma part de l'estàndard International Telecommunications Union IMT-2000 i és comparable amb la tecnologia CDMA2000. Utilita W-CDMA (Code Division Multiple Access) per a oferir millor eficiència espectral i amplada de banda als operadors de telefonia mòbil. Pot arribar a tenir una velocitat de transmissió de dades de fins a 2 Mb/s.

LTE, (Long-Term Evolution) és un estàndard basat en GSM i UMTS. Va ser desenvolupat pel 3GPP, i tot i que no compleix les característiques tècniques del 4G, degut a les pressions del mercat es va adoptar el nom de 4G LTE, tot i que seria a la versió posterior, la LTE Advance, la que si satisfaria aquestes característiques tècniques i la ITU la defineix com a "True 4G".

L'LTE està sota el paraigües de la ETSI, i l'objectiu principal d'aquesta tecnologia és la de incrementar la capacitat i la velocitat de les xarxes de dades mitjançant tècniques de DSP (Digistal Signal Processing). També es volia redissenyar l'arquitectura a un sistema basat en IP, que reduiria mot la latència comparat a la arquitectura 3G. Aquest arquitectura, que s'anomena EPC (Evolved Packet Tracer), va ser dissenyat per a substituir les velles tecnologies tals com GSM, UMTS o CDMA2000

Les característiques tècniques de la LTE permeten taxes de dades de 300 Mbit/s de baixada, i de 75 Mbit/s de pujada, i una QoS (Quality of Service) que permet una latència de menys de 5 ms. Pot treballar en diverses amplades de banda,des dels 1,4 MHz, fins als 20 MHz, i permet l'ús de FDD (Frequency Division Duplexing) i TDD (Time-Division Duplexing).

Una taula comparativa entre aquestes, i altres tecnologies, seria:

Tecnologia	GSM/GPRS	WCDMA (UMTS)	HSPA HSDPA HSUPA	HSPA +	LTE
Velocitat màxima de baixada (bps)	10-150 k	384 k	14 M	28 M	100 M

Velicitat màxima de pujada (bps)	10-150 k	128k	5,7 M	11 M	50 M
Latència	600 ms	150 ms	100 ms	50 ms	10 ms
Any de publicació	1.991	2.003 2.004	2005-6 HSDPA 2.007-8 HSUPA	2.008-9	2.009-10
Metodologia d'accés	TDMA FDMA	WCDMA	WCDMA	WCDMA	OFDMA SC-FDMA
Ample de banda	200 KHz	5 MHz	5 MHz	5 MHz	1,4-20 MHz
Tipus de modulació	GMSK 8-PSK	QPSK	QPSK 16-QAM	QPSK 16-QAM	QPSK 16-QAM 64-QAM
Potència de sortida (dBm)	30-33	21	21	21	23

Taula 5. Comparativa entre diferents tecnologies WWAN

A part d'aquestes tecnologies, també pot fer servir LMDS (Local Multipoint Distribution Service) o Wi-Fi per a donar accés a Internet. S'ofereixen a nivell regional, nacional, o fins i tot global, mitjançant proveïdors de serveis wireless. Gràcies a aquest tipus de xarxes, i connectant-se a una VPN (Virtual Private Network), qualsevol usuari es pot connectar a Internet sense dependre de límits (ja sigui per la regió, el servei de telefonia...).

Aquest tipus de connexions solen incorporar sistemes d'encriptació i d'autenticació, ja que no es pot garantir una connexió que sigui segura si no és mitjançant aquestes tècniques.

Havent repassat els diferents tipus de xarxes Wireless, a mode de resum podríem veure aquest gràfic, en el que podem veure de manera esquemàtica l'abast que té cada tipus de xarxa, i alguns de les seves tecnologies més destacables:

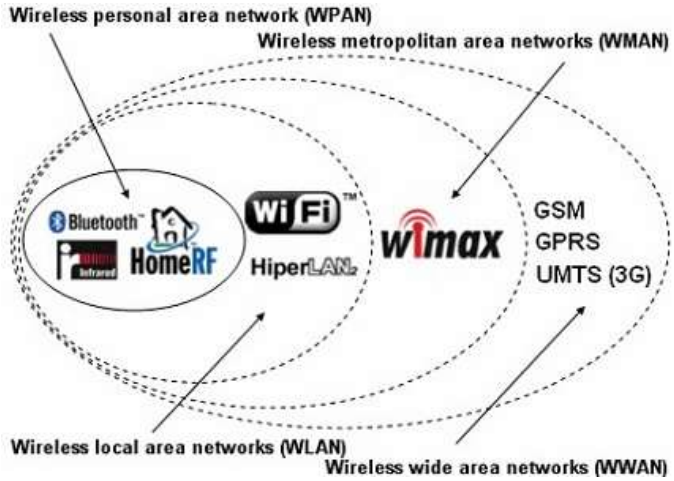


Figura 2
Esquema d'abast i de principals tecnologies Wireless

Així doncs, segons el que s'ha vist en aquest apartat, les tecnologies més adients segons escenari, serien:

Escenari	Tecnologia
Comunicació curt abast entre dispositius	Bluetooth, ZigBee
Connexió a Internet a alta velocitat	Wi-Fi
Trucades/comunicació a llarga distància	Wi-Fi, GSM/UMTS/LTE, GPRS
Punt mòbil amb necessitat d'accés a Internet	WiMAX
Interconnexió d'infraestructures de telecomunicacions	WiMAX
Pagaments mitjançant telèfon/rellotge intel·ligent	NFC
Internet of Things i Smart Cities	Bluetooth, ZigBee
Gran volum d'intercanvi de dades entre dispositius	Wi-Fi, Wireless USB

Taula 6. Recomanacions de tecnologies segons escenari

3. Bluetooth

Figura 3
Logotip de Bluetooth

Bluetooth, que pertany a la família de les tecnologies Wireless WPAN (Wireless Personal Area Network), és un estàndard per a l'intercanvi d'informació a distàncies curtes entre dispositius tals com telèfons mòbils o altres dispositius d'ús personal. Per a dur a terme la comunicació, fa servir ones de ràdio a les freqüències de 2,4 a 2,485 GHz, que estan dins de les ones catalogades com a UHF (Ultra High Frequency), concretament a l'anomenada ISM band (Industrial, scientific and Medical radio bands, que són un grup de freqüències reservades internacionalment per a telecomunicacions). Permet connectar fins a 7 dispositius a la vegada, oferint prestacions que altres tecnologies no podien oferir.

Bluetooth està gestionat pel SIG (Bluetooth Special Interest Group), que té més de 30 mil companyies en diverses àrees tals com telecomunicacions, computació... Aquest estàndard, va ser originàriament inventat per Ericsson a l'any 1.994, i es que es buscava era una alternativa al cables de tipus RS-232. VA ser l'IEEE qui va estandarditzar el Bluetooth mitjançant l'IEEE 802.15.1, però actualment no manté aquest estàndard.

Per a que un producte pugui ser considerat per a fer servir aquesta tecnologia ha d'acreditar que compleix un seguit de Bluetooth SIG estàndards.

Figura 4
Cables de tipus RS-232

3.1 Orígens

L'origen del terme Bluetooth ve d'una versió adaptada de l'escandinau *Blåtand*/*Blåtann,* un epítet del rei del segle X Harald Bluetooth, que va unir les diverses tribus daneses en un sol regne, i que també va introduir el cristianisme. Va ver gràcies a aquest concepte, el d'unir diversos protocols de comunicació en un de sol, pel que es va escollir aquest nom: Harald Bluetooth havia fet el mateix amb les diverses tribus daneses, unir-les en una de sola.

El logo de Bluetooth està format per dues runes: Hagall i Bjarkan, que eren les inicials de Harald Bluetooth.

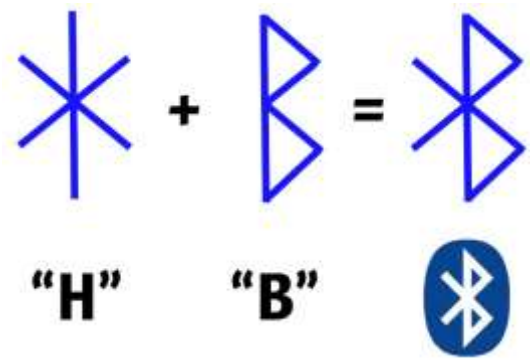


Figura 5
Runes Hagall i Bjarkan que formen el símbol de Bluetooth

Els orígens d'aquesta tecnologia es remunten fins a l'any 1.989 per Nils Rydbeck, CTO (Chief Technology Officer) de Ericsson Mobile, a Lund, Suècia, i per Johan Illman. D'inici, aquesta tecnologia que encara no tenia nom, tenia l'objectiu de desenvolupar uns auriculars que no necessitessin de cablejat a l'hora de reproduir l'àudio, que tinguessin una tecnologia sense fils per a comunicar-se amb l'equip principal. Les patents que se'n van derivar, dues invencions de Johan Ullman són SE 8902098-6, difosa el 12/06/1989, i la SE 9202239, difosa el 24/07/1992. Nils Rudbeck va encarregar les tasques de fer l'especificació de la tecnologia que es coneixeria com a Bluetooth a Tord Wingren, i amb les tasques de desenvolupament de la mateixa a Sven Mattisson. Ambdues persones treballaven per Ericsson a la població de Lund. L'especificació de Bluetooth està basada en la tècnica d'espectre eixamplat per salt de freqüència.

3.2 Evolució històrica

El Bluetooth Special Interest Group (SIG), que gestiona Bluetooth, és l'encarregat de revisar els estàndards d'aquesta tecnologia i de concedir les llicències i permisos per a que les companyies puguin acreditar que compleixen els requisits per a fer-la servir. La història d'aquest grup està estretament lligada amb la història del Bluetooth. Una evolució històrica del Bluetooth i del Bluetooth Special Interest Group:

- 1989: Nils Rydbeck i Jonah Ullman comencen a desenvolupar la tecnologia que serà finalment coneguda com a Bluetooth.
  S'implica en el projecte a Tord Wingren (especificació tècnica) i a Sven Mattisson (desenvolupament del projecte).
  Primera de les invencions registrades per Jonah Ullman, la SE 8902098-6, difosa el 12/06/1989.

- 1992: Segona de les invencions registrades per Jonah Ullman, SE 9202239, difosa el 24/07/1992.

- 1998: S'adopta, oficialment, el nom Bluetooth.
  Es forma el Bluetooth Special Interest Group (SIG) i el conformen 5 companyies, Ericsson, IBM, Intel, Toshiba i Nokia (arriben als 400 socis).

- 1999: Es publica la versió Bluetooth 1.0.
  La tecnologia Bluetooth guanya el premi "Best of Show Technology Award" A COMDEX (Computer Dealer's Exhibition, una fira d'electrònica i computació).

- 2000: Surt a la venda el primer telèfon mòbil amb Bluetooth.
  Diversos prototips (ratolí, ordinador portàtil...) exposats a diverses fires tals com CeBIT 2000 o COMDEX.
  Es venen els primers auriculars Bluetooth.
  Es crea el primer xip que integra tecnologies basades en ràdio freqüències, banda base i software sense fils Bluetooth.

- 2001: Es creen la primera impressora, ordinador portàtil i sistema de mans lliures per al cotxe (també en la versió amb reconeixement de veu).
  El Bluetooth SIG, Inc. Es forma com a organització sense ànim de lucre.

- 2002: Es creen conjuntament el primer ratolí i teclat sense fils, el primer receptor GPS, i la primera càmera digital.
  El número de productes certificats amb tecnologia Bluetooth arriba a 500.
  L'IEEE aprova les especificacions 802.15.1 per a tecnologies Bluetooth.

- 2003: Primer reproductor MP3 que funciona amb tecnologia Bluetooth.
  El Bluetooth SIG adopta la Bluetooth Core Specification Versió 1.2.

- 2004: El Bluetooth SIG adopta la Core Specification Versió 2.0 Enhanced Data Rate (EDR).
  Primers auriculars estèreo que funcionen amb tecnologia Bluetooth. Aquesta tecnologia està present a 250 milions de dispositius.

- 2005: 4000 members al Bluetooth SIG.
  El SIG engega el Profile Testing Suite (PTS) v 1.0, una eina de proves i de qualificació pels membres de l'organització.

- 2006: Primer rellotge amb Bluetooth.
  Els dispositius amb aquesta tecnologia estan presents a 1 bilió de dispositius.
  El Profile Tuning Suite (PTS) esdevé obligatori en l'etapa de qualificació d'un producte.

- 2007: Primer ràdio-despertador i televisor amb aquesta tecnologia.
  El SIG arriba als 8000 membres.
  El Profile Tuning Suite Protocol Viewer és publicat com a part de la versió 2.1.1 de la PTS.

- 2008: Es publica la Profile Tuning Suite (PTS) versió 3.0.
  Gairebé dos bilions de productes que presenten aquesta tecnologia han estat produïts en els últims 10 anys.
  Desè aniversari de la creació del SIG (que arriba als 10000 membres).

- 2009: El SIG presenta la Core Specification Versió 3.0 HS, fent així realitat el Bluetooth d'alta velocitat.

Aquesta organització també enuncia la adopció de la Bluetooth low energy wireless Technology, la característica destacada de la seva Bluetooth Core Specification versió 4.0.
S'arriben als 12000 membres del SIG.

- 2010: El SIG anuncia que s'adopta la Bluetooth Core Specification versió 4.0 amb la tecnologia low energy.
  Es presenta la Profile Tuning Suite (PTS) versió 4.1 que inclou metodologies per a testejar la tecnologia Bluetooth low energy.
  El SIG arriba als 13000 membres.

- 2011: 15000 empreses formen part del SIG.
  Apple i Nordic Semiconductor entren a la SIG Board of Directors.
  El SIG adopta el primer nou perfil per a Bluetooth versió 4.0.
  Apple posa a la venda els primers dos ordinadors, MacMini i MacBook Air, amb tecnologia Bluetooth versió 4.0. Anuncia també que el seu iPhone 4S tindrà tecnologia Bluetooth versió 4.0, convertint-se així amb el primer telèfon mòbil amb tecnologia Bluetooth low energy.
  Microsoft anuncia que Windows 8 permetrà Bluetooth versió 4.0.
  El SIG adopta 29 nous perfils, serveis, protocols, i especificacions de prototips de Bluetooth versió 4.0, creant la infraestructura dels dispositius Bluetooth.

- 2012: El número de membres del SIG supera els 17000.
  El SIG publica nous recursos per a desenvolupadors d'aplicacions.
  Surten a la venda la primera tablet i el primer reproductor de música que tenen integrat Bluetooth low energy.
  El SIG anuncia l'expansió als mercats d'esports i fitness mitjançant un nou grup de treball i nous perfils que se centraran en la monitorització en temps real d'activitats físiques.

- 2013: El SIG dóna a conèixer el Bluetooth 4.1, que dóna el tret de sortida per l'IoT (Internet of Things).
  Google anuncia suport natiu per al Bluetooth low energy per a sistemes Android.
  El SIG passa els 20000 members, i llança el Bluetooth World.

- 2014: El SIG introdueix el Bluetooth 4.2, que presenta novetats en termes de connectivitat IP, privacitat i velocitat.
  S'arriben als 24000 membres a l'organització.
  La presència de la tecnologia Bluetooth als telèfons mòbils és del 90 % dels dispositius.

- 2015: El SIG anuncia el seu Bluetooth Developer Studio.
  Presenta també el seu mapa de ruta i novetats pel proper 2016.
  L'agrupació anuncia la formació de l'Smart Mesh Working Group.
  S'arriben als 27000 membres.

- 2016: El SIG anuncia el Bluetooth 5, noves especificacions que quadrupliquen l'abast, doblen la velocitat i incrementen les capacitats de transmissió de dades en un 800%.
  L'organització arriba als 30000 membres i introdueix noves eines de desenvolupament per l'Internet of Things.
  SIG introdueix el Transport Discovery Service.

Amb el pas dels anys es van anar afegint noves especificacions Bluetooth. Una taula on es pot veure aquesta evolució, i algunes de les característiques de les diferents especificacions:

Especificacions	1.1	1.2	2.0 + EDR	2.1 + EDR	3.0 + HS	4.0
Any de publicació	2002	2003	2004	2007	2009	2010
Taxa de transmissió	723,1 kbps	723,1 khps	2,1 Mbps	3 Mbps	24 Mbps	25 Mbps
Abast PAN estàndard	10 m	10 m	10 m	10 m	10 m	50 m
Aparellament de dispositius millorat (sense PIN)				Si	Si	Si
Seguretat						

millorada	Si	Si	Si	Si	Si
Permet l'ús de NFC		Si	Si	Si	Si

Taula 7. Comparativa entre diferents especificacions Bluetooth.

3.3 Característiques del Bluetooth

La tecnologia Bluetooth treballa entre les freqüències de 2402 i 2480 MHz o dels 2400 als 2483,54 MHz, amb dos intervals de guàrdia de 2 MHz a la part inferior de l'espectre, i de 3,5 a la part superior. Per a que aquesta tecnologia no interfereixi amb altres que operen en el mateix interval de l'espectre de radiofreqüència, fa servir una tecnologia anomenada Frequency-Hopping Spread Spectrum. Aquesta tecnologia es basa en dividir les dades a transmetre en paquets de dades, i cada paquet ocupa un dels 79 canals Bluetooth (cadascun d'aquests canals té una amplada de banda de 1 MHz). Sol fer uns 800 salts per segon, mitjançant la Adaptive Frequency-Hopping (AFH). El que fa l'AFH és evitar les freqüències que ja estan ocupades, o que no presenten una qualitat adient per a dur a terme una bona transmissió de dades, mitjançant una seqüència de salts. En el cas del Bluetooth low energy, es fan servir 2 MHz d'amplada de banda per canal, fins a un total de 40 canals.

En els inicis d'aquesta tecnologia, només estava disponible la modulació GFSK (Gaussian Frequency-Shift Keying), en el que el senyal varia entre dos nivells de tensió de cara a transmetre la informació. Quan es va introduir el Bluetooth 2.0 amb l'Enhanced Data Rate (EDR), també es van poder fer servir les modulacions $\frac{\pi}{4}$-DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) i 8DPSK, que correspon a l'EDR (Enhanced Data Rate), i que poden arribar a donar fins a 2 i 3 Mbit/s, respectivament. Si es fa servir una modulació GFSK, s'arriba a 1 Mbit/s com a màxim.

Bluetooth és un protocol basat en paquets en el que es té una estructura de dispositiu mestre/dispositiu esclau. Un dispositiu mestre es pot arribar a comunicar fins a 7 dispositius esclaus (o 255 si es troben en mode en espera). Es fa servir la paraula piconet per a designar una xarxa formada per un dispositiu i la resta de dispositius que estan en el seu rang d'abast. Poden coexistir fins a 10 xarxes piconet a la vegada, amb els 7 dispositius esclaus actius (o 255 en espera). Els dispositius que es troben en una piconet tenen

una direcció lògica de 3 bits, fins a un total de 8 dispositius. Els que estan en espera, no tenen la seva adreça física a la piconet. Tot i així, el mestre només es connecta amb un sol dispositiu a la vegada, i el que es fa és anar canviant la connexió ràpidament entre els dispositius d'aquesta piconet per a que sembli que estan connectats al mateix temps.

La tecnologia Bluetooth permet que dues piconets es connectin entre si per a formar una xarxa més gran, anomenada scatternet, alguns dels dispositius de les piconets actuen com a pont entre les dues piconets.

Una connexió entre un dispositiu mestre i un d'esclau generalment es produeix mitjançant la interacció de l'usuari. Hi ha diversos passos per a establir una connexió entre dos dispositius:

- Investigació/descoberta: Quan dos dispositius no saben res l'un de l'altre, un d'ells ha d'investigar si hi ha aparells al seu abast, i descobrir-los. Una vegada es descobreix el dispositiu, aquest pot contestar amb la seva adreça, i també pot adjuntar més informació.
- Inici de la connexió: En aquesta etapa, es forma la connexió entre els dos dispositius. Per a que es produeixi aquest fet, ambdós dispositius han de conèixer l'adreça de l'altre (que es facilita en el procés d'investigació/descoberta).
- Connexió: Quan s'ha acabat l'etapa anterior, s'entra a l'estat de la connexió, i en aquest estat el dispositiu pot estar activament enviant informació o entrar en el mode de baix consum d'energia. Hi ha diferents modes de funcionament en aquest estat:
    - Mode actiu: És el mode normal de connexió, en el que el dispositiu està activament enviant o rebent informació.
    - Mode "sniff": Aquest mode és del tipus d'estalvi d'energia. El dispositiu és menys actiu, i passarà a "adormir-se" i a escoltar transmissions cada interval fix de temps.
    - Mode en espera: Aquest mode és temporal,i es tracta d'un mode de consum d'energia, en el que el dispositiu s'adorm per un període definit de temps, i llavors torna al mode actiu. És el dispositiu mestre el que envia a un dispositiu a mode en espera.
    - Mode "park": En aquest mode, el dispositiu està adormit, i ho està de manera continuada. És el dispositiu mestre el que envia al dispositiu esclau a entrar en aquest mode, i hi romandrà fins que el mestre li enviï l'ordre de tornar-se a despertar.

Quan dos dispositius ja han format una connexió, llavors es poden vincular. Una vegada estan vinculats, aquest dispositius formaran la connexió de manera automàtica quan estiguin a l'abast l'un de l'altre. Per a que es produeixi aquest fet, una vegada s'ha establert la connexió, els aparells comparteixen les seves adreces, noms i perfils, i els guarden en memòria. També guarden una clau secreta comuna, que els permetrà connectar-se en un futur. Per a aquest dispositius s'aparellin, l'usuari ha de validar aquest procés, ja sigui mitjançant la introducció d'un codi PIN o mitjançant altres tipus d'actuacions que requereixen de la confirmació de l'usuari.

Aquesta connexió, el rang en el que poden connectar-se aquest dispositius, depèn de la potència dels dispositius. N'hi ha tres classes definides:

Número de classe	Potència màxima de sortida (dBm)	Potència màxima de sortida (mW)	Rang màxim
Classe 1	20 dBm	100 mW	100 m
Classe 2	4 dBm	2,5 mW	10 m
Classe 3	0 dBm	1 mW	10 cm

Taula 8. Diferents classes de potència de dispositius Bluetooth.

Han anat apareixent diferents versions de la tecnologia Bluetooh, a cada nova versió, oferint millors prestacions i possibilitats. Una breu comparativa entre la tecnologia clàssica Bluetooth (versió 2.1) i la versió low energy en forma de taula, seria:

Especificació tècnica	Bluetooth clàssic (versió 2.1)	Bluetooth low energy
Frequència de funcionament	2,4-2,5 GHz	2,4-2,5 GHz
Distància màxima	Aproximadament 30 metres	Aproximadament 50 metres
Taxa de bits	1-3 Mbit/s (segons versió)	Aproximadament 200 kbit/s
Temps de preparació	Menor a 6 segons	Menor a 0,003 segons
Capacitat de veu	Si	No
Esquema de modulació	GFSK	GFSK

Índex de modulació	0,35	0,5
Potència màxima de sortida	+20 dBm	+10 dBm
Número de canals	79	40
Amplada de banda de canal	1 MHz	2 MHz

Taula 9. Comparativa entre Bluetooth, versions 2.1 i 4.0

3.3.1 Versions prèvies de Bluetooth

Les especificacions de caràcter tècnic de les diferents versions del Bluetooth van ser aprovades i adoptades pel Bluetooth Special Interest Group. En els inicis de la formació d'aquesta organització, les empreses que la formaven eren Ericsson, IBM, Intel, Toshiba i Nokia. Actualment, a part d'aquestes, també hi trobem Lenovo, Microsoft i Apple.

Totes les versions de Bluetooth tenen compatibilitat cap a les versions més prèvies de la tecnologia. Així doncs, l'última versió pot cobrir totes les funcionalitats prèvies de les altres versions.

El Bluetooth Core Specification Working Group (CSWG) s'encarrega, principalment, de 4 tipus d'especificacions:

- La Bluetooth Core Specification, que generalment es va publicant cada pocs anys.
- Core Specification Addendum (CSA), es publica en diverses ocasions cada any.
- Core Specification Supplements (CSS), es publica de manera molt més usual i ràpida.
- Errata, que estan disponibles mitjançant el compte d'usuari del Bluetooth SIG.

És mitjançant aquestes publicacions que s'arriben a les noves versions, i a les actualitzacions i correccions dels estàndards de Bluetooth. Les principals característiques, i informació més destacable, de les versions prèvies a la Bluetooth low energy, són:

- 1.0 i 1.0 B

  Aquest primer estàndard, tot i que oferia les possibilitats d'interconnexió entre dispositius, presentava molts problemes (ambdues versions, la 1.0 i la 1.0 B),

fet que provocava que fos molt difícil que productes de diferents marques poguessin interactuar entre ells. En aquesta versió era obligatori que la adreça del dispositiu fos BD_ADDR en el procés de connexió, fet que feia impossible que la connexió es fes de manera anònima. La documentació relativa a la especificació 1.0 es va publicar el 20 de juny de 1999, la de la versió 1.0 B, l'1 de desembre del mateix any.

- 1.1

  Un dels principals objectius de la tecnologia Bluetooth és la interoperabilitat entre dispositius, independentment del tipus de dispositiu que sigui i de la seva marca. Amb l'especificació 1.0 i 1.0 B, dispositius amb aquesta tecnologia de diferents marques podien tenir problemes de connexió. Aquest fet va arribar fins al punt que dispositius de la mateixa marca podien veure reduïdes de manera significativa les capacitats d'interacció entre dispositius i les possibles accions que podien dur a terme. En aquest context, el Bluetooth Special Interest Group va organitzar una sèrie d'esdeveniments anomenats unplugfests, en el que diferents marques podien anar a l'esdeveniment i provar els seus productes amb els d'altres marques. Aquesta experiència, conjuntament amb la correcció d'errates que hi havia hagut a la versió 1.0 B, va donar pas a la versió 1.1, en la que també s'afegien les definicions de mestre/esclau entre els dispositius, i altres millores, com que tots els dispositius amb Bluetooth 1.1 poguessin fer 79 salts en les freqüències al voltant dels 2,4 GHz (Adaptive Frequency-Hopping), eliminant l'opció dels 23 salts en països tals com França, Japó o Espanya, en el que aquesta freqüència tenia finalitats de caràcter militar (s'havia dividit entre aquests 23 canals per a compatibilitzar l'ús d'aquesta tecnologia dins de l'espectre militar, però això produïa que els aparells que eren fabricats amb la tecnologia de 79 salts no fossin compatibles amb els de 23). Així doncs, a la versió 1.1, només es permeten aparells dissenyats per a fer 79 salts dins de les freqüències de Bluetooth.

- 1.2

  Aquesta nova versió és compatible amb la versió anterior, 1.1. En les seves novetats més destacables s'hi troben un descobriment de dispositiu i una connexió més ràpida. També es posa en pràctica l'Adaptative Frequency-

Hopping Spread Spectrum, que millora la resistència a les interferències de ràdio evitant les que estan més transitades.

També, es troba l'eSCO (Extended Synchronous Connections), que permet una millorar de la qualitat d'àudio mitjançant la retransmissió de paquets corruptes. Aquesta versió es va ratificar com a l'estàndard IEEE 802.15.1-2005.

- 2.0 + EDR

  Aquesta versió del Bluetooth Core Specification va ser publicada l'any 2004. La principal diferència amb la versió anterior, amb la qual hi és compatible, és l'Enhanced Data Rate (EDR) per a una velocitat de transferència de dades molt més elevada. Aquesta taxa teòrica de dades pot arribar als 3 Mbit/s, tot i que la taxa real, tenint en compte totes les operacions que s'han de fer per a verificar els paquets, és de 2,1 Mbit/s.

  L'EDR permet un menor consum d'energia, i combina una barreja de modulacions GSK i Pase Shift Keying (PSK) en les seves variants $\frac{\pi}{4}$-DQPSK i 8DPSK.

  Aquesta versió està publicada com a Bluetooth versió 2.0 + EDR, fet que indica que l'EDR és una característica opcional. Així doncs, a part de l'EDR, la versió 2.0 presenta altres millores, i pot ser que un producte suporti Bluetooth 2.0 però que no suporti l'EDR.

- 2.1 + EDR

  La versió 2.1 de Bluetooth va ser adoptada pel Bluetooth Special Interest Group el 26 de juliol de 2007. La principal novetat d'aquesta versió és l'SSP (Simple Secure Pairing), que millora la detecció i connexió entre diferents dispositius millorant-ne la seguretat de la connexió. Amb aquesta tecnologia, es fa servir un tipus de criptografia de clau pública, i alguns tipus poden protegir d'atacs de tipus "Man-in-the-middle" o MITM. SSP fa servir els següents mecanismes d'autenticació:

  - Just Works: Amb aquest mètode, no es necessita interacció per part de l'usuari, tot i que li pot demanar confirmació en el procés d'aparellament amb un altre dispositiu. No ofereix protecció davant atacs del tipus MITM.
  - Numeric comparison: Aquesta metodologia, que es fa servir si ambdós dispositius tenen una pantalla, consisteix en ensenyar un número de 6

dígits en cadascun dels dispositius. L'usuari haurà de comprovar que els dos números són el mateix. Si és així, l'usuari ha de confirmar l'aparellament del dispositiu. Aquesta metodologia protegeix d'atacs del tipus MITM ja que és l'usuari el que fa la comparació entre els dos dispositius.

- Passkey Entry: Aquesta metodologia es pot fer servir entre dos dispositius en el que un tingui una pantalla, i l'altre un teclat, o dos dispositius que tinguin teclat. En el primer cas, l'usuari ha de confirmar el número present a la pantalla amb el teclat de l'altre dispositiu. En el segon cas, s'ha de posar el mateix número en ambdós dispositius mitjançant els seus teclats (o aparell similar). Qualsevol dels dos escenaris protegeix davant d'atacs de tipus MITM.
- Out of band (OOB): Amb aquesta metodologia es fa servir un sistema de comunicació extern, com, per exemple, NFC (Near Field Communication), que intercanvia informació en el procés d'aparellament dels dispositius, que se n'encarrega la tecnologia Bluetooth, però és necessària la informació del mecanisme d'OOB de cara a dur-lo a terme. Aquesta metodologia només preveu certa protecció davant d'atacs del tipus MITM.

També hi ha altres millores, com l'EIR (Extended Inquiry Response) que dóna més informació mentre es duu a terme la detecció de dispositius, i això permet que es puguin filtrar abans de fer la connexió, fet que permet que es pugui estalviar energia.

Es destaca també l'Encryption Pause Resume, que permet que la clau d'encriptació s'actualitzi per a connexions que duren més de 23,3 hores (un dia Bluetooth).

Finalment, en aquesta versió també s'introdueix l'NFC cooperation, que permet la creació d'una connexió Bluetooth segura quan hi ha disponibles connexions de ràdio de tipus NFC.

- 3.0 + HS

  Va ser a l'any 2009 quan el Bluetooth Special Interest Group va adoptar la versió 3.0 + HS de la Bluetooth Core Specification. Amb aquesta versió, es pot arribar, de manera teòrica, a taxes de dades de 24 Mbit/s.

La principal novetat que presenta aquesta versió és l'AMP (Alternative MAC/PHY), la connexió es fa mitjançant la connexió Bluetooth, però és mitjançant un enllaç del tipus 802.11 pel qual es fa la transferència de dades, i així es poden arribar a aquestes taxes de velocitat. Com en el cas de la versió 2.0 amb l'EDR, en aquesta versió, l'HS (High-Speed) és opcional.

En aquesta nova versió també hi ha altres novetats tals com L2CAP Enhanced modes, en el que l'ERTM (Enhanced Retransmission Mode) implementa un canal L2CAP. L'Streaming Mode (SM) no té ni control de flux ni retransmissió de paquets. També es pot emprar una MAC i PHY alternativa en el perfil de dades de Bluetooth. És el propi Bluetooth el que descobreix i es connecta amb altres dispositius, però quan s'han de passar grans volums de dades, es fa servir un enllaç de tipus MAC PHY 802.11. També es permet intercanviar dades de servei sense que s'estableixi un canal (Unicast Connectionless Data) entre dispositius que necessiten una latència molt baixa, tot i que només es pot fer servir per a quantitats molt petites de dades.

Una de les altres novetats d'aquesta versió és una millora del control de potència dels enllaços Bluetooth, en el que se solucionen algunes ambigüitats en el control de potència pels nous esquemes de modulació que es van introduir amb l'EDR, especificant quin és el comportament que han de presentar els dispositius. Amb aquesta metodologia, també se solucionen problemàtiques tals com la pèrdua de potència entre dispositius connectats segons la ubicació dels mateixos.

Finalment, la característica (AMP) d'alta velocitat del Bluetooth 3.0 va ser pensada per a funcionar en UWB (Ultra-wideband), però la WiMedia Alliance, l'organització responsable per a aquesta implementació, va anunciar al 2009 que es dissolia, i va fer que aquesta característica caigués de la versió 3.0. Tot i així, la WiMedia Alliance va anunciar que traspassaria tot el que tenien per a la implementació de la ultra wide-band al Bluetooth Special Interest Group, al Wireless USB Promoter Group i a l'USB Implementers Forum. Finbalment, a l'octubre del 2009, va ser quan el Bluetooth SIG va decidir suspendre el desenvolupament de la UWB, com a alternativa del MAC/PHY del Bluetooth 3.0 + HS.

Així doncs, a mode de resum, les principals característiques de les versions prèvies al Bluetooth low energy (4.0) serien:

Any	2000	2002	2005	2004	2007	2009
Versió	1.0	1.1	1.2	2.0	2.1	3.0
Màxima taxa de bits	723,1 kbps	723,1 kbps	723,1 kbps	2,1 Mbit/s	3 Mbit/s	24 Mbit/s
Novetats respecte la versió anterior		Indicador de rebuda de senyal	Adaptive Frequency-Hopping spread spectrum (AFH)	Enhanced Data Rate (EDR)	Enhanced Data Rate (EDR)	High speed (HS)
Conegut per	Bugs	Solució als Bugs	AFH	EDR	EDR	HS (802.11)

Taula 10. Evolució de les versions de Bluetooth prèvies a la Bluetooth low energy

3.3.2 Bluetooth 4.0 (LE)

Els inicis de la tecnologia que seria finalment coneguda com a la versió 4.0 de Bluetooth són a Wibree, una tecnologia de Nokia que es va presentar l'any 2006. Finalment, va ser introduïda a l'estàndard Bluetooth a l'any 2010 i així es va acabar formant la Bluetooth Core Specification versió 4.0.

Aquesta tecnologia es coneix amb els noms de Bluetooth low energy, Bluetooth LE, BLE i Bluetooth Smart, i amb aquesta tecnologia, el Bluetooth Special

Interest Group volia enfocar-se en altres sectors tals com el fitness, les balises... gràcies a la seva característica més destacable, l'estalvi d'energia, que proposa aquest estàndard respecte les seves versions predecessores. D'aquestes, en conservava les seves característiques, com, per exemple, l'alta taxa de velocitat .

Una de les principals novetats d'aquesta versió respecte a les anteriors és que s'utilitza un protocol diferent enfocat a aplicacions que tinguin un consum molt baix d'energia. D'aquesta manera, el nucli d'aquesta tecnologia està dissenyat mitjançant un xip que pot presentar dos tipus d'implementació, el dual mode i el single mode. Els noms que es feien servir fins llavors, Wibree i Bluetooth ULP (Ultra Low Power) es van abandonar, i es va passar a anomenar Bluetooth Low Energy (BLE). Finalment, aquest nom també acabaria donant pas, a partir de l'any 2011, al Bluetooth Smart Ready (per a hosts) i al Bluetooth Smart, per a sensors. Així doncs, els dos modes d'implementació:

- Single mode: Només s'implementa el protocol low energy. Empreses tals com Nordic Semiconductor, Texas Instruments i CSR han produït aquest dispositius amb aquest tipus d'implementació, que exigeix que es funcioni exclusivament amb aquest protocol, i per tant, treballen en "single mode".

- Dual mode: En aquesta implementació, s'integra la funcionalitat de Bluetooth Smart als dispositius clàssics de Bluetooth. Aquest dispositius, i per un cost extra no gaire elevat, es poden comunicar amb els xips que treballen en single mode. Així doncs, com que suporten el protocol clàssic de Bluetooth i el nou paradigma de baixa energia del single mode, s'anomenen dual mode. Els xips amb aquesta implementació es comencen a fer servir als llocs on hi havia implementat el model clàssic de Bluetooth.

3.3.2.1 Bluetooth Smart i Bluetooth Smart Ready

Les principals diferències entre el Bluetooth Smart i el Bluetooth Smart Ready, són:

- Bluetooth Smart Ready: Està implementat als dispositius que es poden considerar com a primaris, tals com telèfons intel·ligents, tabletes... que poden rebre i compartir senyals de tipus Bluetooth provinents d'altres accessoris. Per a que un producte es pugui considerar Bluetooth Smart Ready, ha de poder

treballar en dual mode (BR/EDR i BLE), on aquestes dues modalitats puguin ser fetes servir de manera individual o conjunta.

- Bluetooth Smart: Està implementat als dispositius que es poden considerar com a secundaris, com a perifèrics dels dispositius primaris. Amb aquesta metodologia, es permet que dispositius que no s'estiguin fent servir activament puguin passar a mode d'estalvi d'energia (sleep) durant grans períodes de temps, ja que es poden despertar en un període de temps molt curt, i llavors, transmetre les dades que siguin necessàries.

Gràcies a aquest plantejament, els productes que no tenen aquesta tecnologia sinó versions anteriors encara poden comunicar-se amb els dispositius que siguin Bluetooth Smart Ready. De la mateixa manera, els perifèrics que són Bluetooth Smart, només funcionen amb els aparells que són Bluetooth Smart Ready.

De manera gràfica, les compatibilitats entre els productes Bluetooth, Bluetooth Smart i Bluetooth Smart Ready:

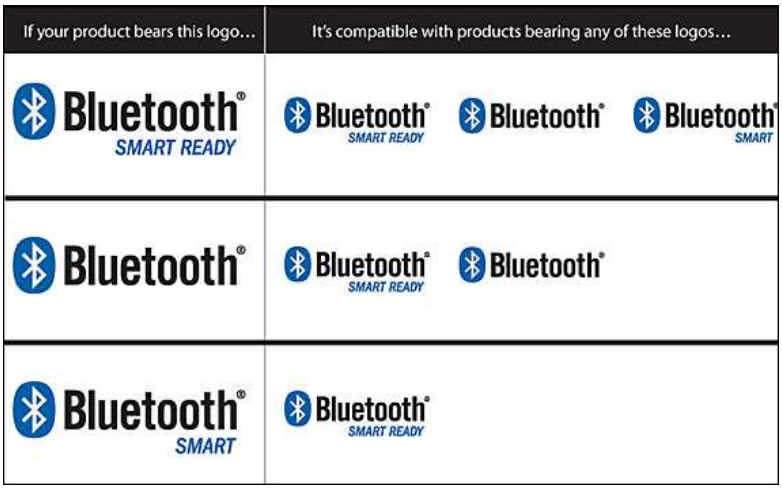


Figura 6
Compatibilitat entre productes Bluetooth, Bluetooth Smart i Bluetooth Smart Ready

Així doncs, per a que un producte es pugui considerar Bluetooth Smart o Bluetooth Smart Ready, ha de tenir, com a mínim, aquestes característiques:

- Bluetooth Core Specification versió 4.0 o superior, amb arquitectura GATT (Generic Attribute Profile).
- Que operi en single mode (Bluetooth Smart) o en dual mode (Bluetooth Smart Ready).

3.3.2.2 Especificacions del nucli de Bluetooth

Amb les especificacions del nucli de Bluetooth, es defineixen diversos blocs que serveixen per a definir les diferents funcionalitats Bluetooth.

Tal i com s'ha vist, les principals implementacions són les que tenen la tecnologia Bluetooth Basic Rate/Enhanced Data Rate (BR/EDR), originària de les versions 2.0 i 2.1, i la Bluetooth low energy (LE), provinent de la versió 4.0, i emprat en versions posteriors. Cada implementació fa servir un xip diferent per a complir amb els requeriments que li pertoquen, tot i que també hi ha xips dual mode que presenten les especificacions d'ambdós casos.

Tot i que cadascuna de les implementacions té uns requeriments específics, hi ha un marge comú, una arquitectura comuna, present a totes. Aquesta arquitectura inclou un transceptor de RF, banda base i un grup de protocols que permet als dispositius interconnectar-se entre si i intercanviar diferents tipus de dades. Aquest protocols del sistema són:

- Radio (RF)
- Link Control (LC)
- Link Manager (LM)
- Logical Link Control and Adaptation (L2CAP)

Els tres primers, Radio, Link Control i Link Manager, se solen agrupar en un subsistema conegut com a controlador Bluetooth. Amb aquesta implementació, generalment sol fer servir una interfície estàndard opcional anomenada Host to Controller Interface (HCI) que permet la comunicació a dues bandes entre l'altre part del sistema Bluetooth, el Host. Segons el tipus de dispositius de que es tracti, pot presentar alguna de les següents configuracions:

- Controlador BR/EDR amb radio, banda base i Link Manager. Opcionalment, HCI.
- Controlador LE que inclou LE PHY, Link Layer i, opcionalment, HCI.
- Controlador combinat de BR/EDR i LE, amb una adreça Bluetooth del dispositiu que és compartida amb el controlador.

Amb aquesta configuració s'assegura la interoperabilitat entre les diferents capes, i entre diferents subsistemes Bluetooth, ja que es defineix una interfície comuna entre els controladors i els hosts.

Una imatge que mostra aquesta arquitectura:

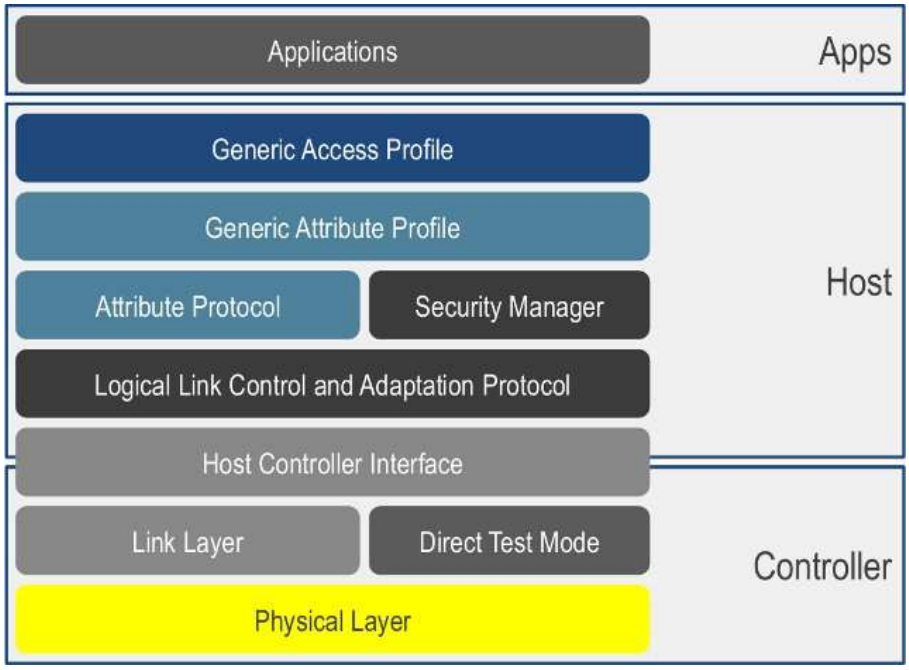


Figura 7
Arquitectura Bluetooth

Amb més detall, cadascuna de les parts que conformen aquesta arquitectura:

- Physical Layer (PHY)

  És la encarregada de controlar la transmissió/recepció de les freqüències de 2,4 GHz pròpies dels canals de comunicació Bluetooth. Les tècniques de BR/EDR tenen més canals per a tenir un menor ample de banda, mentre que les de LE tenen menys canals però amb un major ample de banda.

- Link Layer

  Aquesta capa defineix l'estructura de paquets i canals, el procediment de descoberta i de connexió amb altres dispositius i els enviaments i recepcions de dades.

- Direct Test Mode

  Permet fer tests i demanar-li a la capa PHY que transmeti o que rebi seqüències de paquets o que enviï ordres ja sigui mitjançant la HCI o amb una interfície UART.

- Host to Controller Interface (HCI)

Interfície de caràcter opcional entre el controlador Bluetooth i el host Bluetooth.

- Logical Link Control and Adaptation Protocol Layer (L2CAP)

Aquesta capa és un protocol basat en paquets que transmet els paquets cap a l'HCI o al Link Manager. Permet multiplexatge, segmentació de paquets i reordenació, i del transport de la informació relativa a la QoS (Quality of service) cap a les capes més altes. Controla també el volum i el nivell de trànsit per a respectar els nivells de QoS requerits.

- Attribute Protocol (ATT)

L'Attribute Protocol es fa servir en les implementacions LE, i en algunes ocasions, també es fa servir en les BR/EDR. És l'encarregat de definir el protocol entre client i servidor per a l'intercanvi de dades quan ja s'ha produït la connexió. Els atributs s'agrupen conjuntament mitjançant el Generic Attribute Profile (GATT).

- Security Manager

És l'encarregat de definir els protocols i comportaments que permeten la integritat, autenticació i encriptació entre els dispositius Bluetooth. També, té un nombre de funcions de seguretat que altres components poden emprar per a assegurar la integritat i seguretat del dispositiu i de les aplicacions.

- Generic Attribute Profile (GATT)

Només es fa servir en implementacions de Bluetooth LE. Defineix i descriu els rols i comportaments dels dispositius basat en la funcionalitat GATT. Defineix els procediments i els formats d'operacions tals com la descoberta,

lectura, escriptura, notificació i indicació de característiques, així com d'altres.

- Generic Access Profile (GAP)

Només es fa servir en implementacions de Bluetooth LE. Treballa conjuntament amb el GATT per a definir els procediments i els comportaments sobre la descoberta dels dispositius i de la seva posterior compartició d'informació, així com de la interconnexió entre aquests dispositius.

GAP i GATT s'explicaran amb més profunditat posteriorment.

3.3.2.3 Perfils

Els perfils tals com el GATT, permeten la interconnexió entre dispositius Bluetooth. Per a que dos dispositius puguin connectar-se i comunicar-se, han de tenir el mateix perfil, com a mínim. En el cas concret de Bluetooth LE, hi ha un gran número de perfils disponibles, o pot ser el propi GATT el que creï un nou perfil. Per exemple, en el cas d'implementacions de Bluetooth BR/EDR, que vagin a comunicar-se amb una implementació del tipus Bluetooth LE (o viceversa), es necessita un controlador en dual mode.

Alguns perfils són:

- Serial Port Profile (SPP)

  És el perfil que es fa servir si el que es vol és substituir una interfície de comunicació com les RS-232 (l'idea original de Bluetooth era substituir aquest tipus de cablejat) o UART. Aquest perfil està especialitzat en l'intercanvi de grans volums de dades, i és un dels perfils més bàsics de Bluetooth. Així doncs, amb aquest perfil, dos dispositius Bluetooth poden intercanviar informació sense les limitacions d'haver d'estar connectats físicament.

- Human Interface Device (HID)

  Aquest perfil es fa servir per a dispositius els quals tenen una interacció directa amb l'usuari, tals com teclats, ratolins, joysticks o fins i tot comandaments de consoles de videojocs. Aquest perfil pretén substituir les connexions mitjançant cablejat USB, tal i com el SPP pretenia substituir les connexions per RS-232.

- Hands-Free Profile (HFP) i Headset Profile (HSP)

Aquest perfils estan implementats en llocs tals com vehicles, i permeten l'ús de dispositius Bluetooth sense la necessitat de fer servir les mans. Un clar exemple seria el mans lliures d'un vehicle. Permet algunes interaccions molt bàsiques amb el telèfon, com acceptar o rebutjar trucades, penjar...

- Advanced Audio Distribution Profile (A2DP)

  Aquest perfil defineix la manera en la que l'àudio s'envia des d'un dispositiu Bluetooth a un altre. Es diferencial dels perfils HFP i HSP ja que aquest envien àudio en les dues direccions, i l'A2DP només l'envia en una direcció, però amb una qualitat molt major.

  Aquest perfil permet l'ús d'un nombre definits de còdecs. Com a mínim permet l'ús de SB (SubBand Codec), i és probable que també permeti l'ús de MPEG-1, MPEG-2, AAC i ATRAC.

- A/V Remote Control Profile (AVRCP)

  El perfil d'Audio/Video Remote Control Profile permet que es controli un dispositiu Bluetooth de manera remota. Un possible exemple seria el control d'un reproductor d'àudio mitjançant el control remot present els auriculars Bluetooth.

3.3.2.3.1 GAP

GAP, Generic Access Profile, s'encarrega de les connexions i de que els dispositius estiguin visibles per a altres dispositius. Hi ha dos tipus de dispositius, els centrals, que tenen una gran capacitat de processament i de memòria, i els perifèrics, que tenen una menor capacitat de processament i de memòria. Solen ser dispositius més petits, i es connecten als dispositius centrals.

Hi ha dues maneres d'enviar les senyals d'advertising, que enuncien la presència d'un dispositiu Bluetooth, la Advertising Data payload i la Scan Response Payload. Ambdues contenen 31 bytes de dades. Només és obligatòria la primera, que estarà transmetent-se per a que un altre dispositiu pugui trobar el que emet el senyal.

Aquest procés d'anunci i detecció de dispositius segueix el següent esquema:

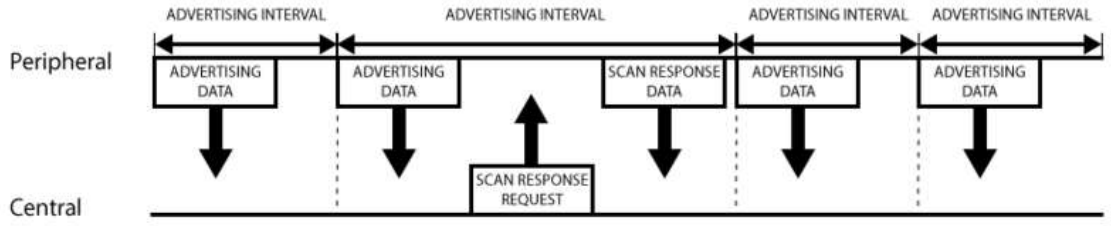


Figura 8
Anunci i detecció de dispositius

En el que es pot veure que hi ha intervals d'advertising, en el que el dispositiu anuncia la seva presència. Si el dispositiu central no en requereix la connexió, s'anirà anunciant. Si en requereix la connexió, envia el senyal de scan response request, i el perifèric contestarà amb la informació que se li ha demanat.

S'ha de tenir en compte que un dispositiu perifèric s'anuncia i el poden rebre tots els dispositius centrals que tingui a l'abast. Això s'anomena broadcasting. Finalment, acabarà establint la connexió amb un sol dispositiu central, i deixarà d'anunciar-se als altres dispositius.

3.3.2.3.2 GATT

Aquest perfil, exclusiu per a Bluetooth LE, defineix una estructura jeràrquica de dades entre els dispositius connectats. El perfil GATT (Generic Attribute Profile) està construït a sobre del Attribute Protocol (ATT), el qual es fa servir per a emmagatzemar Serveis, Característiques i informació relacionada, i es fa servir per a definir la manera en la que dos dispositius amb Bluetooth LE envien i reben missatges.

Una imatge de la jerarquia del GATT:

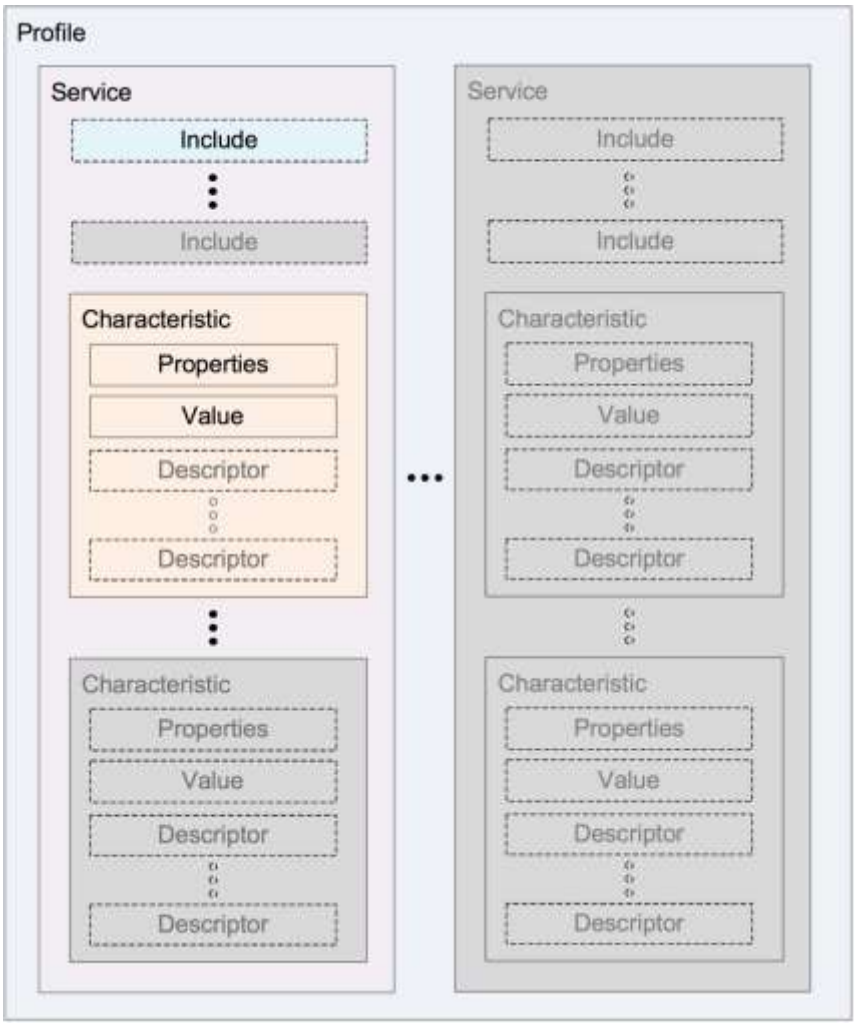


Figura 9
Jerarquia GATT

Una de les característiques més destacades és que les connexions són exclusives, és a dir, un dispositiu amb Bluetooth LE perifèric només pot estar connectat a un dispositiu central al mateix temps, per exemple, un telèfon. Quan s'ha establert la connexió, el perifèric deixarà d'anunciar-se i deixarà de ser visible per a altres dispositius. La comunicació entre el dispositiu central i el perifèric és bidireccional, és a dir, es poden enviar i rebre dades per part dels dos dispositius. Tanmateix, el dispositiu central pot tenir associats diversos dispositius perifèrics, però és el dispositiu perifèric el que només pot estar associat a un dispositiu central al mateix temps. Aquesta casuística es pot veure amb més detall al següent gràfic:

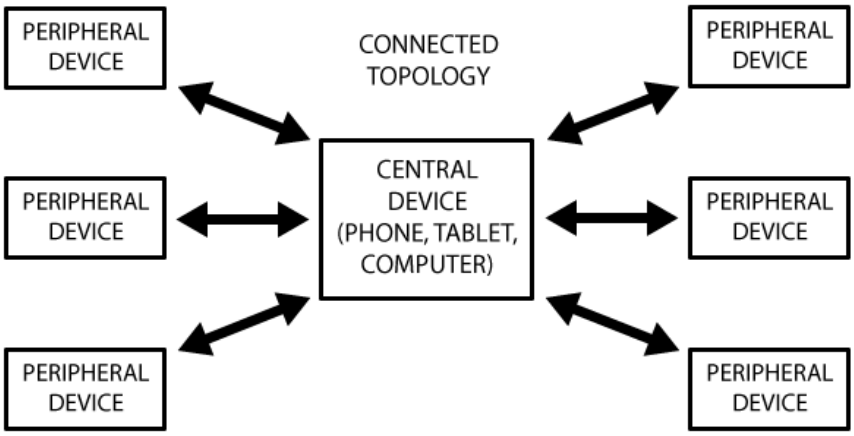


Figura 10
Topologia de connexió entre un dispositiu central i diversos perifèrics

Un dels conceptes més rellevants dins del GATT és el servidor GATT i el client GATT. El client GATT, també conegut com a mestre, és el que envia les peticions de dades al servidor GATT, també conegut com a perifèric. En el moment en el que un client es connecta a un servidor, aquest últim li envia un interval de connexió al client, i aquest s'anirà connectant al servidor en aquests intervals per a verificar si hi ha noves dades que necessiten ser enviades. Si es dóna el cas, el perifèric, el servidor GATT, enviarà aquesta informació. Es pot veure un exemple a la següent imatge:

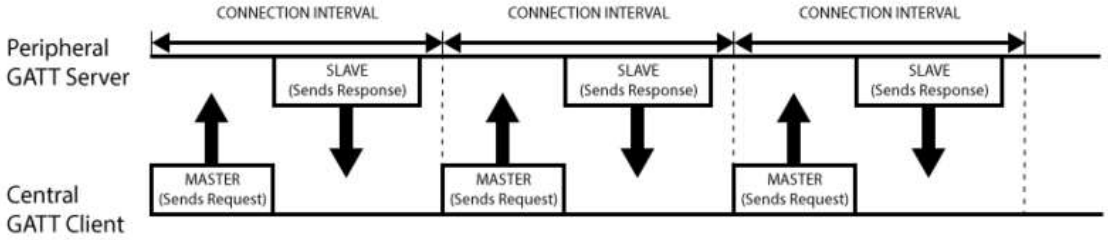


Figura 11
Interval de connexió entre servidor GATT (perifèric) i client GATT (central).

A la jerarquia GATT es poden veure tres tipus d'objectes, Perfils, Serveis i Característiques:

- Perfils

  Aquesta entitat no existeix per ella mateixa, és un recull de Serveis que han estat compilats pel Bluetooth SIG o pels dissenyadors del perifèric. Hi ha un gran nombre de Perfils.

- Serveis

Els Serveis són fets servir per a fraccionar les dades en entitats lògiques formades per petites parts de dades que s'anomenen Característiques. Un servei pot tenir una o més característiques, i cadascuna d'elles es distingeix de les altres mitjançant un identificador únic anomenat UUID, que pot ser de 16 o 128 bits. També hi ha un gran nombre de Serveis.

- Característiques

  Cada Característica es distingeix mitjançant un UUID de 16 o 128 bits. Les Característiques es fan servir per a enviar dades entre els dispositius Bluetooth LE, i són el nivell més baix dins de l'arquitectura i jerarquia GATT.

3.3.2.4 Màquina d'estats Bluetooth

La banda ISM (Industrial, Scientific, Medical) està dividida en 40 canals de dos tipus, advertising i data.

- Canals d'advertising

  Es fan serviren el procés de descoberta, connexió i de broadcast d'informació. Hi ha tres canals fixos per a aquestes tasques, el canal 37 (2402 MHz), el canal 38 (2426 MHz) i el canal 39 (2480 MHz).

- Canals de data

  Una vegada els dos dispositius s'han connectat, es fan servir els canals de dades per a transmetre les dades entre els dispositius. Hi ha 37 canals de dades. Els canals del 0 al 10, estan entre els 2404-2424 MHz. Els canals de l'11 al 36, entre els 2428 i els 2478 MHz.

Es defineix la màquina d'estats com a les operacions possibles que es duen a terme a la Link Layer. En aquestes operacions hi intervenen els canals d'advertising i els de dades. Els 5 estats possibles són: Standby, Advertising, Scanning, Initiating, Connection. Només hi pot haver un d'aquests estats actiu al mateix temps, i la Link Layer ha de tenir, com a mínim, una màquina d'estats que tingui capacitat per a un estat d'Advertising o un estat d'Scanning.

Un gràfic de la màquina d'estats i de les possibles transicions entre estats:

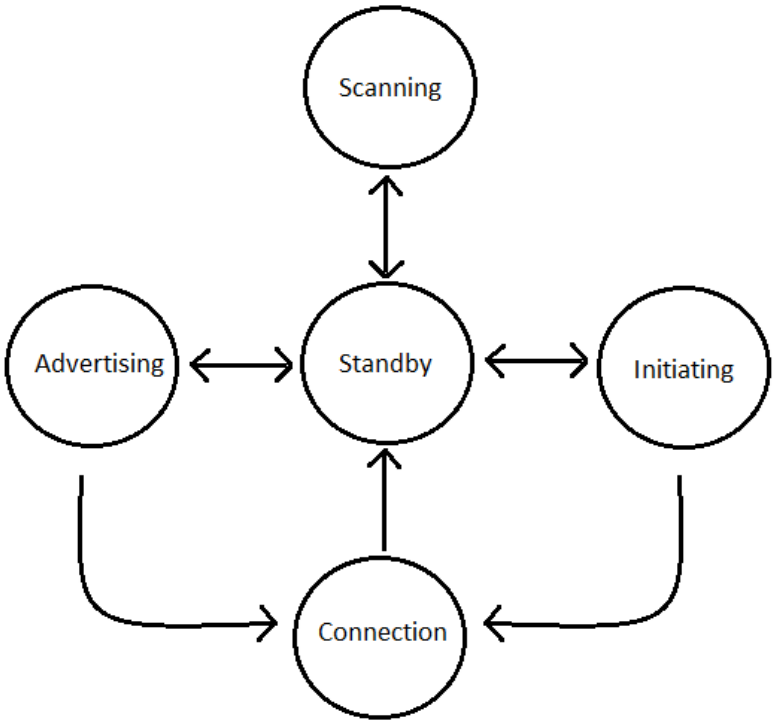


Figura 12
Màquina d'estats

Les característiques més rellevants dels estats, són:

- Estat d'Standby

  En aquest estat, la Link Layer no rep ni transmet cap paquet, i és accessible des de qualsevol altre estat.

- Estat d'Advertising

  En aquest estat, la Link Layer està transmetent paquets del canal d'advertising, i és probable que estigui escoltant i responen degut a l'acció d'aquests paquets. Només s'hi pot entrar des del canal d'Standby, i un dispositiu que està en aquest estat es coneix com a advertiser.

- Estat d'Scanning

  En aquest estat, la Link Layer està escoltant pels paquets dels canals d'advertising dels dispositius que s'estan enunciant. A aquest estat només s'hi pot accedir des de l'estat d'Standby, i el dispositiu que està en aquest estat es coneix com a scanner.

- Estat d'Initiating

En aquest estat, la Link Layer està escoltant els paquets del canal d'advertising d'un dispositiu (o dispositius) en concret, i contestant a aquests paquets per a establir la connexió amb un dispositiu. A aquest estat s'hi pot accedir des de l'estat d'Standby, i el dispositiu que està en aquest estat se'l coneix com a iniciador.

- Estat de Connection

  A aquest estat s'hi pot accedir o bé des de l'estat Initiation o de l'Advertising. En aquest estat hi ha dos rols definits, el Mestre, que quan s'entra a aquest estat provinent de l'estat Initiating, el dispositiu en aquest estat Connection serà el Mestre. També hi ha l'Esclau, que quan s'entra a aquest estat provinent de l'estat d'Advertising, la Link Layer del Mestre es comunicarà amb el dispositiu que està definit com a Esclau i es definirà el temps de les transmissions. La Link Layer del dispositiu Esclau només es pot comunicar amb un únic dispositiu que estigui en l'estat Mestre.

3.3.2.5 Paràmetres de connexió i White List

Una vegada la Link Layer entre en l'estat de Connection, hi ha diversos paràmetres a tenir en consideració:

- Connection Interval

  L'inverval de connexió és l'espai de temps entre dos esdeveniments de connexió. Ha de ser múltiple de 1,25 ms, i ha d'anar des dels 7,5 ms fins als 4 s. Si un dels dispositius ha d'enviar informació, s'ha d'esperar fins al proper interval de connexió. Si hi ha un interval de connexió molt gran, s'estalviarà bateria dels dispositius, però també s'haurà d'esperar més temps de cara a rebre informació. Si l'interval de connexió és més curt, es consumirà més bateria, però s'haurà d'esperar menys temps de cara a enviar informació.

- Slave Latency

  La latència d'esclau indica la quantitat d'intervals de connexió que un dispositiu esclau es pot saltar abans de tornar a fer una connexió. Així doncs, es permet que el dispositiu esclau pugui estalviar energia saltant-se interval de connexió. Una vegada hagin passat el número d'interval establerts, el dispositiu es connectarà, i tornarà a esperar la propera connexió fins que hagin tornat a passar aquest nombre d'intervals.

- Supervision Timeout

  Aquest paràmetre indica la màxima quantitat de temps entre dos paquets de dades per a que una connexió es consideri perduda.

La White List és un llistat de dispositius que la Link Layer fa servir per a filtrar els advertisers, scanners o initiators. D'aquesta manera, la Link Layer pot respondre a les peticions dels altres dispositius i no s'ha de despertar al Host i es pot estalviar energia. Segons si es tracta de dispositius de tipus advertisers, scanners o initiatiors, es tindran unes o altres directrius a l'hora de processar la informació dels dispositius a la Whie List.

3.3.3 Versions posteriors de Bluetooth

Després de la versió LE, hi ha hagut diverses noves versions:

- 4.1

  El Bluetooth SIG va anunciar la versió 4.1 de Bluetooth el 4 de Desembre de 2013. S'ha de considerar aquesta versió com una millora del software respecte la versió 4.0, i no una millora en termes de hardware. Una de les característiques més destacades implementades en aquesta versió és l'eliminació de la superposició entre Bluetooth i la tecnologia 4G. També, hi ha millores en terme de la gestió de l'energia dels dispositius mitjançant que els productors puguin establir els períodes de reconnexió del dispositiu. Es millora la transferència de dades, permeten que els dispositius puguin interactuar entre ells sense necessitat de passar per un terminal comú, estalviant així bateria del dispositiu.

- 4.2

  El Bluetooth SIG va anunciar la versió 4.2 el 2 de Desembre de 2014. Amb aquesta nova versió s'ofereixen moltes més opcions per a l'IoT. Els dispositius poden connectar-se a Internet directament, sense haver de dependre d'altres connexions. També hi ha millores en termes de consum de bateria, augmentant la vida útil del dispositiu ja que se'n millora l'eficiència. Cap dispositiu que presenti Bluetooth Smart podrà ser rastrejat sense que es doni el consentiment prèviament. Finalment, una altre de les característiques més destacades, és la millora de la velocitat, en un 250%, i també es multiplica per 10 la quantitat d'informació que es pot enviar.

- 5

  Va ser 16 de Juny del 2016 quan el Bluetooth SIG va anunciar el Bluetooth 5 (s'ha passat a anomenar aquesta nova versió 5, i no 5.0, per raons de màrqueting i de millor comunicació del producte). Les principals millores d'aquesta nova versió van enfocades a l'IoT. Dins d'aquestes millores es pot trobar que es dobla la velocitat de transmissió (comparant-la amb la màxima velocitat de Bluetooth LE), s'arriben als 2 Mbit/s, es quadruplica l'abast de la connexió (en els modes de llarg abast, es poden arribar a taxes de bits de 125 a 500 kbps), i es poden enviar fins a 8 cops més d'informació (entre altres, hi ha un ús més eficient dels advertising channels).

  Bluetooth 5 LE està bastat en tres PHYs:

  - LE 1 Mbps, el PHY dels Bluetooth 4.0, 4.1 i 4.2.
  - LE 2 Mbps, també conegut com a 2 LE.
  - LE Coded, també conegut com a BLR.

Algunes de les seves característiques són:

PHY	Esquema de modulació	Esquema de codificació	Taxa de dades
LE 1M (Igual al Bluetooth LE)	Modulació 1 Ms/s GFSK	Sense codificar	1 Mbps
LE 2M	Modulació 2 Ms/s GFSK	Sense codificar	2 Mbps
LE Coded	Modulació 1 Ms/s GFSK	Codificat	125 kbps o 500 kbps

Taula 11. Característiques de les diferents PHY de Bluetooth 5

Una taula resum de les característiques de Bluetooth LE:

Taxa de dades	Freqüència	Abast	Tipus de xarxa	Número dispositius actius	Número dispositius totals	Consum d'energia
25 Mbps	2,4 GHz	50 m	WPAN	7	255	Molt baix

Taula 12. Resum de característiques de Bluetooth LE

Com s'ha vist a aquest apartat, Bluetooth LE, i les seves versions posteriors, presenten una complexitat i una versatilitat que el preparen pel futur de les tecnologies sense fils. En la problemàtica d'identificar si Bluetooth LE és una tecnologia capaç d'afrontar els reptes de futur, s'ha vist que aquesta tecnologia s'ha anat adaptant a les necessitats del mercat i de les característiques tecnològiques del moment, i ha sabut afrontar moments difícils, com els de la incompatibilitat entre marques de la versió 1.0. I és en les piconets i scatternets que ha aconseguit sobreposar-se a un dels principals avantatges que tenien altres tecnologies, el número de dispositius que podien estar connectats i interactuar al mateix temps.

La seva taxa de dades és suficient per les necessitats d'avui dia, i amb l'AFH s'aconsegueix que no hi hagi problemes amb altres tecnologies que treballin a la mateixa freqüència. El seu abast la fa ideal per a usos d'interconnexió entre dispositius, sent el telèfon intel·ligent un dels eixos principals d'aquestes connexions. És en aquest dispositiu, en el que ja ve instal·lat de sèrie, on té una posició predominant sobre altres marques que serà molt difícil de que es pugui desbancar. Per exemple, l'últim terminal de la casa Samsung, l'S8, ja incorpora la tecnologia Bluetooth 5, les grans marques aposten per Bluetooth.

Tot i així, una de les característiques que van fer que Bluetooth propiciés un gran salt tecnològic és el seu baix consum d'energia. Gràcies a això, i a característiques com el connection interval, slave latency, white list... fan que el seu consum d'energia sigui molt baix, i permeti l'ús de dispositius que fa pocs anys no es podia concebre que fossin possibles.

Bluetooth presenta unes molt bones característiques per a fer-lo servir en la interconnexió de dispositius, en molts aspectes de les Smart Cities, en la Indústria 4.0, a l'Internet of Things... la seva arquitectura i vessant tècnica ofereixen un món de possibilitats per a Bluetooth.

4. Usos i aplicacions de Bluetooth

La tecnologia Bluetooth ha experimentat una forta revitalització amb l'aparició dels anomenats wearables, dispositius tals com smartwatches o similars. Aquesta tecnologia també rep un bon impuls gràcies a les perspectives de l'IoT, l'Internet of Things, en els que ha de tenir un paper molt important. Alguns dels àmbits, i exemples, on aquesta tecnologia hi té aplicació:

- Informàtica

  Un dels àmbits en els que hi havia hagut els primers dispositius famosos que gaudien d'aquesta tecnologia.

  - Teclats i ratolins: mitjançant aquesta tecnologia, es poden eliminar els cables que els connecten a l'ordinador.
  - Auriculars: segurament una de les primeres implementacions per les quals es va conèixer aquesta tecnologia, juntament amb teclats i ratolins.
  - Impressores: tot i que hi ha impressores que aprofiten la connexió Wi-Fi per a connectar-se amb altres dispositius, també hi ha l'opció de que ho facin mitjançant Bluetooth.
  - Ordinadors: també es poden interconnectar aquests dispositius entre ells, o fins i tot amb tauletes, o telèfons intel·ligents de cara a aprofitar la seva connexió a internet, en entorns que no s'hi pot accedir de cap altre manera.

  Per a avaluar el nivell d'adequació d'aquesta tecnologia en aquest àmbit, les següents observacions:

Escenari	Observacions
Taxa de dades suficient?	Sí, tot i que en l'escenari d'intercanvi d'arxius pot no ser l'ideal
Escenari amb mobilitat?	No, generalment són connexions entre punts fixes
Suficient abast de connexió?	Sí
Número de dispositius actius al mateix	Amb una piconet seria suficient

temps	
Paràmetres crítics	Estabilitat connexió
Altres tecnologies que poden competir	Wi-Fi, ZigBee
Avantatge principal ús Bluetooth	Versatilitat
Desavantatge principal ús Bluetooth	Algun escenari pot tenir la taxa de dades limitada

Taula 13. Adequació de Bluetooth LE en la informàtica

- Automoció

  El sector de l'automoció té una gran projecció de futur amb les tecnologies sense sables, i ja té diverses aplicacions:

  - Mans lliures: ja hi ha molts exemples de poder fer servir el telèfon mòbil per a fer trucades, entre altres, gràcies a la tecnologia Bluetooth. També es poden dur a terme altres funcionalitats.
  - Navegador GPS: aquests dispositius es poden actualitzar mitjançant una connexió Bluetooth que els permeti connectar-se a Internet.
  - Reproducció d'àudio: hi ha diverses propostes de reproducció d'àudio mitjançant Bluetooth, com, per exemple, fent servir el telèfon intel·ligent com a emissor.

Avaluant el nivell d'adequació d'aquesta tecnologia a aquest àmbit:

Escenari	Observacions
Taxa de dades suficient?	Sí
Escenari amb mobilitat?	No, l'àmbit d'actuació és dins o proper al vehicle
Suficient abast de connexió?	Sí
Número de dispositius actius al mateix temps	Amb una piconet seria suficient

Paràmetres crítics	Taxa de dades
Altres tecnologies que poden competir	No hi ha molta competència
Avantatge principal ús Bluetooth	Tecnologia coneguda, facilitat ús
Desavantatge principal ús Bluetooth	Consum més elevat d'energia, es pot suplir amb l'ús de la bateria del vehicle

Taula 14. Adequació de Bluetooth LE en l'automoció.

- Domicili

  Un dels principals escenaris d'expansió de Bluetooth. Actualment, hi podem trobar moltes implementacions:

  - Home Theater: dispositius que reprodueixen àudio, la seva versió sense fils facilita l'ús i instal·lació.
  - Sensors de temperatura: permeten controlar i monitoritzar la temperatura del domicili.
  - Sensors de moviment: permeten detectar moviment.
  - Sensors de llum: permeten el control remot de la il·luminació.
  - Senros de portes i finestres: funcionalitats per a garantir una major seguretat en el domicili.

  Si s'avalua el nivell d'adequació d'aquesta tecnologia a aquest àmbit:

Escenari	Observacions
Taxa de dades suficient?	Sí
Escenari amb mobilitat?	No
Suficient abast de connexió?	Sí, tot i que en domicilis grans es podria necessitar una mica més d'abast
Número de dispositius actius al mateix temps	Es necessitaria fer ús de piconets i scatternets
Paràmetres crítics	Estabilitat de connexió

Altres tecnologies que poden competir	ZigBee, Z-Wave, Thread
Avantatge principal ús Bluetooth	Tecnologia coneguda, facilitat ús
Desavantatge principal ús Bluetooth	Alta competència en un sector emergent

Taula 15. Adequació de Bluetooth LE en el domicili.

- Salut

  En aquest àmbit hi ha molt camp per a expandir-se, sobretot en contribució amb tecnologies ja existents. Algunes aplicacions:

  - Aparells de mesura: molts aparells, tals com de mesura de pressió sanguínia, nivell de glucosa, estetoscopis... es poden implementar amb aquesta tecnologia, aprofitant els avantatges de no tenir cables.
  - Monitoratge de senyals: d'una manera similar a la darrera aplicació esmentada, es poden monitoritzar els senyals d'un pacient mitjançant aquesta tecnologia, i col·laborant amb tecnologies com BAN. D'aquesta manera, es pot tenir una monitorització del pacient sense tenir cables.
  - Control remot aparells i històric del pacient: relacionat amb els anteriors aspectes, es podrien arribar a controlar remotament els aparells i poder actuar en cas de que fos necessari. Així, es podrien automatitzar procediments i estalviar feina al personal docent. Tanmateix, es podria dur a terme un control de l'històric del pacient, una variable a tenir en compte a l'hora d'actuar. I, fins i tot, es podrien avisar, en part gràcies a Bluetooth, als serveis d'emergència si es detectés que la salut del pacient està en perill.

Avaluant el nivell d'adequació d'aquesta tecnologia en aquest àmbit:

Escenari	Observacions
Taxa de dades suficient?	Sí
Escenari amb mobilitat?	No
Suficient abast de connexió?	Sí
Número de dispositius actius al mateix	Amb una piconet seria suficient

temps	
Paràmetres crítics	Estabilitat de connexió, monitoratge continu
Altres tecnologies que poden competir	Coexistència amb BAN. Competència amb ZigBee
Avantatge principal ús Bluetooth	Fama de Bluetooth
Desavantatge principal ús Bluetooth	Sector en expansió, amb forta oposició de ZigBee i presència de BAN

Taula 16. Adequació de Bluetooth LE en el sector de la salut.

- Electrònica de consum

  Un dels àmbits de major expansió en els últims temps. Algunes aplicacions:
  - Auriculars i altaveus: capaços de reproduir àudio sense necessitat de cables.
  - Videojocs: molts dels comandaments de les videoconsoles fan ús de Bluetooth per a eliminar el cablejat.
  - Telefonia mòbil i tabletes: aquests dispositius poden fer ús d'aquesta tecnologia per a interconnectar-se amb molts altres dispositius, i també entre ells mateixos, de cara a intercanviar informació.
  - Smartwatches: rellotges intel·ligents que van augmentant amb el nombre de funcionalitats que suporten. També hi ha les anomenades smartbands, més orientades al sector de l'esport i el benestar.

El nivell d'adequació d'aquesta tecnologia a l'àmbit de l'electrònica de consum:

Escenari	Observacions
Taxa de dades suficient?	Sí
Escenari amb mobilitat?	Sí, els dispositius poden connectar-se/desconnectar-se
Suficient abast de connexió?	Depenent dels dispositius
Número de dispositius actius al mateix	Es podrien arribar a necessitar

temps	scatternets
Paràmetres crítics	Taxa de dades, fàcil reconnexió i white list
Altres tecnologies que poden competir	Thread, Z-Wave, ZigBee
Avantatge principal ús Bluetooth	Bluetooth ja present a molts dispositius
Desavantatge principal ús Bluetooth	L'abast pot no ser suficient en alguns casos

Taula 17. Adequació de Bluetooth LE en el sector de l'electrònica de consum.

- Altres aplicacions i funcionalitats en diferents àmbits

  Hi ha molts altres àmbits menors que poden tenir moltes aplicacions. Els escenaris poden ser molt variats, i poden ser desde l'aparició dels Smart Helmets, cascos que tenen informació a dins del propi dispositiu, o fins a funcionalitats pròpies d'altres dispositius, com la funció de cerca, que mitjançant Bluetooth activa una alarma a l'altre dispositiu de cara a localitzar-lo. En un futur, hi haurà un gran impacte i notorietat de les balisses, els beacons, que funcionen amb tecnologia Bluetooth.

  Ja que hi poden haver moltes aplicacions molt diferents en aquests àmbits menors, els paràmetres que s'han avaluat en les taules dels àmbits anteriors no es poden englobar en una única resposta, poden ser molt diversos.

5. Altres tecnologies

Hi ha altres tecnologies que tenen algunes coses en comú, o que competeixen per a esdevenir l'estàndard en un futur on les tecnologies sense fils tenen un paper molt important a jugar. La majoria de tecnologies que es detallaran són WPAN, ja que són les que tenen més en comú amb Bluetooth, l'abast de la tecnologia:

Figura 13
Logotip de IrDA

- IrDA (Infrared Data Association)

  La tecnologia que es deriva d'aquest grup d'interès que es va formar l'any 1993 per part de 50 empreses, entre les quals hi havia Hewlett-Packard, IBM i Sharp Corporation, i van acabar definint un seguit d'especificacions per a acabar donant forma a un conjunt de protocols per a connexions sense fils mitjançant infrarojos. El nom IrDA, a part de ser el nom d'aquest grup d'interès, també dóna nom a la tecnologia.

  Aquesta tecnologia és de molt curt abast, arribant, com a molt, als 2 metres. La connexió es produeix entre dos dispositius, i, com el seu nom indica, no s'utilitzen ones de ràdio per a transmetre les dades, sinó infrarojos. No té un gran consum d'energia, i la seva taxa de dades és de 16 Mb/s, tot i que hi ha una versió que pot arribar a l'1 Gb/s. Una altre de les característiques destacades, i un dels seus inconvenients més grans, és que hi ha d'haver visió directa entre els dos dispositius de cara que hi hagi la transmissió de les dades. No es contemplen escenaris en els que no hi hagi línia de visió, ja que llavors, la comunicació no serà possible. També presenta un altre gran desavantatge vers altres tecnologies, i és que no preveu cap tipus d'autentificació ni d'encriptació de les dades. Tampoc es demana autorització per a establir la connexió. Finalment, dues característiques a favor és que el cost dels components necessaris de cara a implementar un dispositiu que treballi amb

aquesta tecnologia és molt baix, i la seva resistència a interferències per part d'un tercer és molt alta.

Figura 14
Logotip de ZigBee

- ZigBee

  L'origen d'aquest nom, tal i com es pot deduir, va per les abelles, "bees". S'origina del concepte de que, per a que un conjunt d'abelles pugui sobreviure, ha d'estar constantment en comunicació amb la resta d'integrants del rusc. ZigBee, que treballa segons l'estàndard IEEE 802.15.4, està sota el paraigües del grup de treball IEEE 802.15, que en va definir l'estàndard l'any 2003 (tot i que aquesta tecnologia es va concebre l'any 1998). A part de ser la base de ZigBee, també hi és d'altres especificacions tals com ISA100.11a o WirelessHART.

  Aquesta tecnologia també pertany al grup de les WPANs, i està enfocada a poder enviar dades entre dispositius que poden estar separats una distància de 10 a 100 metres, amb visió directa, i, generalment, enviant un volum de dades que no és massa gran, però que els dispositius que emeten i reben aquests missatges tenen necessitat d'una durada de la bateria molt gran.

  ZigBee treballa en les bandes de ràdio ISM de 2,4 GHz. També, en els 784 MHz a la Xina, 868 MHz a Europa i 915 MHz als Estats Units i a Austràlia. Les taxes de dades poden variar des dels 20 kbit/s, a la banda dels 868 MHz, fins als 250 kbit/s, a la banda dels 2,4 GHz. Aquesta tecnologia permet connexions punt a punt, punt a multipunt i xarxes mesh, que és una de les seves característiques clau. Una xarxa mesh, els nodes estan interconnectats amb altres nodes, formant així camins múltiples pel qual un dispositiu pot accedir als altres. Un exemple gràfic d'una mesh network, seria:

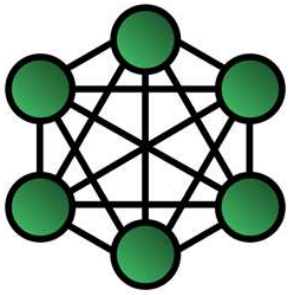


Figura 15
Xarxa mesh

Aquesta xarxa descentralitzada permet que els dispositius puguin descobrir per ells mateixos la composició de la xarxa. Tanmateix, quan un dispositiu abandona la xarxa, o algun nou s'hi suma, els dispositius poden tornar a configurar els diversos camins per a comunicar-se amb cadascun dels altres dispositius.

Entre les aplicacions de ZigBee hi podem trobar sistemes automàtics de lectura, controls d'il·luminació, sistemes d'automatització de construcció, aplicacions de caràcter mèdic...

Figura 16
Logotip de HomeRF

- HomeRF

  Va ser el Home Radio Frequency Working Group qui, a l'any 1998 va desenvolupar aquesta tecnologia. Entre les empreses que la van formar, hi trobem Intel, Siemens AG, Philips i Motorola. Aquesta tecnologia va entrar en desús a partir del gener del 2003, que va ser quan aquest grup es va dissoldre, ja que va ser llavors quan van entrar altres tecnologies al mercat, que eren suportades per les plataformes que hi havia llavors, i HomeRF va acabar deixant-se de fer servir.

Aquesta tecnologia inicialment es deia Shared Wireless Access Protocol (SWAP), tot i que finalment va ser canviada a HomeRF. Això permetia que els dispositius del domicili, tals com ordinadors, telèfons i altres dispositius similars no haguessin de dependre de cablejat per a poder-se comunicar entre ells. Aquesta tecnologia que està als 2,4 GHz de la banda ISM inclou IEEE 802.11FH (Frequency Hopping, salta de freqüència dins de les habilitades per a transmetre de cara a no solapar-se amb altres senyals en aquest mateix espectre) i DECT (l'estàndard de telefonia sense cables que predominava).

Segons les especificacions tècniques, es podien arribar a oferir 10 Mbit/s, i es tenia un abast màxim de 50 m.

Un dels factors més rellevants a l'hora de considerar el fracàs d'aquesta tecnologia és que aquesta estava desenvolupada per un consorci, i no per un estàndard oficial, i això va fer que estigués en desavantatge davant altres tecnologies, com la Wi-Fi i el seu estàndard 802.11. Tot i així, va tenir cert èxit, principalment degut al baix cost dels seus components i a la facilitat d'instal·lació. Però, finalment, es va acabar dissolent el Radio Frequency Working Group, i actualment, tota la documentació relativa a aquest grup encara està sent conservada.

Figura 17
Logotip de Wireless USB

- Wireless USB

  Aquest protocol va ser creat pel Wireless USB Promoter Group (que es va formar al febrer del 2004), i consisteix en un protocol de curt abast i d'alta amplada de banda i que funciona mitjançant ones de ràdio. Entre les empreses que van formar aquest grup, i finalment, la definició del Wireless USB, hi ha Agere Systems Hewlett-Packerd, Intel, Microsoft, Samsung, Philips... Va ser al Maig del 2005 quan el grup va anunciar la versió 1.0 de l'especificació de Wireless USB.

Aquesta tecnologia prenia com a base la plataforma d'Ultra WideBand (UWB) de la WiMedia Alliance, que podia arribar a enviar 480 Mbit/s a distàncies de fins a 3 metres, i fins a 110 Mbit/s a distàncies de 10 metres. Funciona entre les bandes de 3,1 i 10,6 GHz de freqüència i té el mateix tipus de modulació que el Bluetooth LE, OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplexing).

Una de les principals preocupacions d'aquesta tecnologia era la seguretat, aconseguir una connexió robusta, un fet que no és necessari en les connexions per cable USB. Es tractava la pèrdua de paquets i l'enviament de paquets corruptes mitjançant timeouts, emmagatzemant la informació al buffer del hardware i intentant retransmetre els paquets afectats, així com altres metodologies de control de fluxe. L'objectiu final d'implementar aquestes accions és acabar oferint una qualitat final similar a la USB per cable.

Figura 18
Logo de l'IEEE 802.15

- Body Area Network (BAN)

  Aquesta tecnologia està, com es pot veure a la figura 17, sota l'estàndard IEEE 802.15. Concretament, sobre l'IEEE 802.15.6. Els seus inicis es daten de l'any 1995, i es volia un tipus de tecnologia que s'originés a prop o dins del propi cos humà. Va ser a l'any 2001 quan es va començar a fer servir el terme BAN. El concepte rere la tecnologia BAN, que també se sol anomenar Wireless Body Area Network (WBAN) o Body Sensor Network (BSN), és d'incorporar una tecnologia sense fils a dispositius que poden anar dins del cos humà, ja sigui en implants, o en llocs sobre la superfície de la pell, en una posició fixa. També es contempla la possibilitat de que es puguin portar aquests aparells a la roba, ja sigui a butxaques, a la mà... Per a dur a terme això, es fan servir Body Sensor Units (BSU) en miniatura, i aquestes van conjuntament amb una BCU (Body Central Unit).

  Mitjançant aquesta tecnologia, es poden connectar aquests dispositius a altres dispositius que disposin d'una altre tecnologia de cara a arribar a un major abast. Fins i tot, seria possible connectar aquests dispositius a Internet. Per a

arribar a poder oferir aquestes capacitats, els dispositius que tenen tecnologia BAN han de ser capaços de fer una transferència contínua de dades cap a altres estàndards com Bluetooth, ZigBee... El sistema ha de ser escalable, i d'oferir una connexió sense interrupcions, de cara a poder fer la transferència d'informació amb èxit. Aquest tipus de tecnologia, es fa servir, sobretot, en l'àmbit de la salut i el benestar, en el que metges i personal del sector sanitari podrien monitoritzar a pacients mitjançant aquests dispositius que podrien prendre mesures al propi cos i acabar-les enviant, mitjançant aquesta tecnologia BAN, per Internet fins a que aquesta informació pugui ser consultada. Aquesta funcionalitat és especialment interessant en pacients que pateixen malalties cròniques tals com diabetis, asma... i que necessitin que es tingui un control estricte de la seva salut. Així doncs, els dispositius incorporats al cos del pacient podrien, fins i tot, arribar a informar d'urgència a un hospital si es produís, per exemple, un atac de cor. O, es podria monitoritzar el nivell d'insulina d'un pacient, i en el cas de que aquest baixés, es pogués injectar la quantitat que fos necessària automàticament.

Aquesta tecnologia ofereix un consum de bateria molt baix, una gran QoS (Quality of Service), i una taxa de dades que pot arribar als 10 Mbps. Una de les grans necessitats d'aquesta tecnologia està en el camp de la seguretat, en el que la confidencialitat de les dades, i autenticitat de les mateixes, és molt important.

Figura 19
Logotip de NFC

- NFC (Near Field Communication)

  L'origen de NFC ve d'una tecnologia de ràdio freqüència, anomenada RFID (Radio-Frequency Identification) que permet a un dispositiu comunicar-se amb un altre dispositiu passiu emprant ones de ràdio. Però va ser l'any 2004 quan Sony, Philips i Nokia formen el NFC Forum, que acabaria de donar forma a l'NFC. El conjunt de tecnologies sense fils que conformen l'NFC operen als

13,56 MHz sota l'ISO/IEC 18000-3, tot i que els estàndards pels quals es guia aquest protocol són el ISO/IEC 18092, l'ECMA-340 (European Computer Manufacturers Association), i els ISO/IEC 14443 i FeliCa (que són els estàndards de l'RFID), i els altres estàndards que ha definit l'NFC Forum, estàndards que especifiquen totes les característiques tècniques, tals com la, per exemple, taxa de dades, que varia entre els 106 kbit/s de mínim i els 424 kbit/s. Generalment, els dispositius implicats en l'intercanvi d'informació han d'estar separats, com a molt, 10 cm, tot i que en teoria es podria arribar als 20 cm. NFC és un tipus de xarxa punt a punt.

Hi ha dos modes, l'actiu i el passiu. En aquest últim, hi ha un dispositiu que proveeix d'energia al dispositiu de destí, que pot interactuar gràcies a les accions del dispositiu principal. En el mode actiu, ambdós dispositius intercanvien energia i dades.

Un dels factors a tenir en compte a l'emprar aquesta tecnologia és que és molt sensible a atacs de tipus eavesdropping (que es traduiria com a "escoltar secretament"), un tipus d'atac similar al Man In The Middle (MITM), i és per aquest motiu que les aplicacions que fan servir aquesta tecnologia solen emprar mètodes criptogràfics d'alt nivell de cara a protegir les dades, que poden tenir informació sensible i personal de l'usuari.

Entre les aplicacions més destacades d'aquesta tecnologia i podem trobar els pagaments mitjançant el telèfon mòbil. Aquests últims fan servir aquesta tecnologia en molts altres àmbits. Fins i tot, es poden fer servir a l'hora d'establir una connexió Bluetooth. Algunes empreses tals com Sony, Samsung i Nokia, fan servir aquesta tecnologia per a aparellar auriculars Bluetooth, per exemple.

Figura 20
Logotip de Wi-Fi

- Wi-Fi

  Aquesta tecnologia, que treballa sota l'estàndard IEEE 802.11. Treballa a la mateixa banda que Bluetooth, als 2,4 GHz, tot i que també hi ha protocols que actuen als 5 GHz o als 60 GHz. Està bastada en l'estàndard IEEE 802.11, i van sorgint noves versions en les que es van millorant les seves característiques tècniques, així doncs, l'últim d'aquests estàndards, el 802.11 ah, va ser aprovat el setembre del 2016, tot i que ja hi ha plans per a futures revisions, tals com les 802.11 ai, 802.11 aj, 802.11 aq... Hi ha diversos tipus de modulació disponibles, alguns estàndards en fan servir un o altre, però el que és més usual trobar és l'OFDM (en els estàndards més recents es pot arribar a trobar la modulació OFDM amb capacitat MIMO).

  És una de les principals tecnologies fetes servir en àmbits com el domèstic o el món empresarial de cara a poder accedir a Internet i dur a terme els intercanvis de dades pertinents. Per a poder accedir a la xarxa Wi-Fi, es necessita un punt d'accés wireless, que també s'anomena hotspot, de cara a que projecti aquest senyal i que els dispositius s'hi puguin connectar i accedir a Internet. L'abast d'un d'aquests hotspots sol oscil·lar entre els 30 i 40 metres, tot i que n'hi ha algun que permet més distància. Les taxes de dades d'aquesta tecnologia poden anar des del 1 Mbit/s, fins als, actualment, 7 Gbit/s. La seva amplada de banda va des dels 20 MHz fins a valors tals com els 160 MHz, o, fins i tot, els 2160 MHz.

Altres tecnologies:

Figura 21
Logotip de Thread

Figura 22
Logotip de Z-Wave

- Z-Wave i Thread

  Es tracta de dos protocols relativament nous, Z-Wave va donar els seus primers passos l'any 2005, i Thread l'any 2014.

  D'una banda, Z-Wave opera als 900 MHz, per tant, no interfereix amb altres tecnologies que operen als 2,4 GHz. La seva taxa de dades va dels 9,6 als 100 kbit/s, i treballa sota l'estàndard Z-Wave Alliance ZAD 12837 / ITU-T G.9959.

  D'altre banda, Thread si que opera als 2,4 GHz, com altres tecnologies, per tant, hi pot interferir. Està sota l'estàndard IEEE 802.15.4, com ZigBee, tot i que també incorpora elements del 6LowPAN. Permet taxes de dades de fins a 250 kbps. Teòricament, pot arribar als 30 m, com Z-Wave.

5.1 Comparativa entre tecnologies

Els principals indicadors de les diferents tecnologies, són:

Tecnologia	Freqüència	Taxa de dades	Abast	Tipus
Bluetooth LE	2402 a 2480 MHz o 2400 a 2483,5 MHz	25 Mbps	50 m	WPAN
IrDA	2,4 GHz	16 Mbps	2 m	WPAN
ZigBee	2,4 GHz/868MHz	250 kbps	100 m	WPAN
HomeRF	2,4 GHz	10 Mbps	50 m	WPAN
Wireless USB	3,1 i 10,6 GHz	Fins a 480 Mbps	3m a màxima velocitat	WPAN

			10 m	
Body Area Network	2,3-2,4 GHz	10 Mbps	2 a 5 m	WPAN
NFC	13,56 MHz	424 kbps	0,1 m	Punt a punt
Wi-Fi	2,4 o 5 o 60 GHz	7 Gb/s	40 m	WLAN
Z-Wave	900 MHz	100 kbps	30 m	WPAN
Thread	2,4 GHz	250 kbps	30 m	WPAN

Taula 18. Comparativa entre Bluetooth i altres tecnologies

Totes les tecnologies van oferint noves versions que introdueixen millores en termes de consum, taxa de dades i abast. Així doncs, totes aquestes tecnologies estan en una evolució constant, i segons com van evolucionant poden tenir més o menys presència en el mercat. Són els casos, per exemple, de Bluetooth, que ha tingut diverses fases de popularitat, o com el cas de HomeRF, que va arribar un moment en el que va entrar en desús i es va quedar en una tecnologia totalment obsoleta.

Una comparació entre Bluetooth LE i la resta de tecnologies:

- Bluetooth LE vs IrDA

  Bluetooth LE i IrDA treballen en les mateixes freqüències, al voltant dels 2,4 GHz. Em termes d'abast i de taxa de dades, Bluetooth té uns valors superiors, i a part d'aquest avantatge, n'hi ha un altre de molt significatiu, per a emprar la tecnologia IrDA els dos dispositius han d'estar en visió directe (LOS), ja que és necessari de cara a establir la connexió i

l'intercanvi de dades. És per això que aquesta tecnologia es fa servir en escenaris en els que els dispositius hagin d'estar estàtics i amb visió directa, fet que fa que els usos siguin més limitats que en el cas del Bluetooth, que no necessita visió directa, i té un abast molt major. En el nombre de dispositius que es poden interconnectar al mateix temps, també guanya Bluetooth, IrDA només en permet 2.

Una de les altres característiques de IrDA és que no hi ha cap tipus d'autentificació ni d'encriptació de les dades, aquestes tasques s'han de dur a terme en algun altre lloc, i no en el protocol, fet en el que Bluetooth surt, novament, guanyant. Finalment, un parell d'avantatges de IrDA respecte Bluetooth, el cost dels components és molt baix, i té una gran resistència a interferències de tercers, degut a la naturalesa d'aquesta tecnologia.

- Bluetooth LE vs ZigBee

  La tecnologia Bluetooth LE i la ZigBee treballen a la mateixa freqüència, si ens fixem en la freqüència de treball ISM de ZigBee. En termes de velocitat, Bluetooth té un gran avantatge sobre l'altre tecnologia, amb els 250 kb/s de ZigBee, es queda molt curta si la comparem amb Bluetooth. Ara bé, en termes d'abast, és ZigBee qui guanya.

  Probablement, una de les majors competències de Bluetooth en el futur la durà a terme ZigBee, ja que ambdues tecnologies tenen els seus àmbits de funcionament molt propers, com és el cas de la domòtica. L'àmbit d'expansió d'ambdues tecnologies en el camp de les smart homes, serà un dels punts a tenir en compte en el futur, tot i que ambdues tecnologies també tenen altres camps d'expansió com són els de la salut, l'oci... Per exemple, la Body Area Network ha d'interactuar amb aquestes tecnologies de cara a transmetre la informació que ha monitoritzat.

  De les tecnologies comparades, ZigBee pot esdevenir un dels competidors més forts i més directes de Bluetooth.

- Bluetooth LE vs HomeRF

  Aquesta tecnologia, que operava a la mateixa freqüència que el Bluetooth, va caure en desús fins al punt de quedar obsoleta, i que no se seguissin oferint nous estàndards. Va tenir cert èxit degut a que els components eren molt econòmics, però diverses problemàtiques, tals com la competència directe d'altres tecnologies com Bluetooth van fer que s'acabés abandonant. En termes tècnics, l'abast era molt similar a Bluetooth, i en termes de taxa de dades, guanya Bluetooth LE.

- Bluetooth LE vs Wirless USB

  Les freqüències en les que ambdues tecnologies funcionen són diferents, dels 2,4 GHz de Bluetooth als 3,1 i 10,6 GHz de Wireless USB. En termes de velocitat, guanya Wireless USB, tot i que en termes d'abast de connexió, guanya Bluetooth. Wireless USB pot esdevenir un competidor de Bluetooth no només per les seves característiques tècniques, tot i que l'abast de la connexió en pot limitar la usabilitat, sinó per la seva fama, ja que avui en dia tothom coneix la tecnologia USB per cable, i la tecnologia Bluetooth, tot i ser molt coneguda, no està tant estesa.

  Els camps d'ús d'aquesta tecnologia es troben sobretot en el camp de l'electrònica de consum i de la informàtica, tenint com a principals aplicacions els dispositius d'emmagatzematge, i a dispositius tals com càmeres digitals, impressores, escàners, comandaments d'estacions de videojocs...

- Bluetooth LE vs Body Area Network

  Aquestes tecnologies no tenen una competència directa. Body Area Network ha de ser capaç de comunicar-se amb Bluetooth LE per a poder transmetre les dades que ha obtingut. En termes d'especificacions tècniques, treballen a freqüències molt similars, l'abast de BAN és molt més curt, de 2 a 5 metres, i la taxa de dades, també és menor que la de Bluetooth LE.

  La principal aplicació de la BAN està en els sectors de la salut i del benestar, camps en el que no hi ha gaire, o gens, penetració per part de

Bluetooth. És per això que ambdues tecnologies poden, com a mínim de moment, conviure sense competir-se.

- Bluetooth LE vs NFC

  Les especificacions tècniques d'ambdues tecnologies són molt diferents. NFC, una tecnologia que opera als 13,56 MHz de freqüència, amb una taxa de dades de, com a molt, 424 kbps, i un abast de pocs centímetres, no presenta una competència directa a Bluetooth, més aviat es poden complementar, i és que hi ha molts aparells que poden combinar aquestes dues tecnologies per a donar un millor servei.

  El camp d'aplicació de NFC és molt diferent al de Bluetooth, i sol estar lligar al món dels pagaments mitjançant dispositius electrònics, com els telèfons intel·ligents.

- Bluetooth LE vs Wi-Fi

  Ambdues tecnologies treballen a les mateixes freqüències (tot i que algunes versions de Wi-Fi ho facin als 5 o 60 GHz), i és per això que es va desenvolupar el AFH (Advanced Frequency Hopping), per a que aquestes dues tecnologies no s'interferissin. En termes de velocitat, Wi-Fi té una capacitat molt més gran en temes de taxa de dades, i en abast, els repetidors Wi-Fi poden extendre'l molt més enllà del que podria arribar Bluetooth LE. Tot i així, el principal inconvenient de cara a les possibles aplicacions de la Wi-Fi en àmbits en els que està Bluetooth és l'elevat consum d'energia, que en el cas de Bluetooth LE és especialment baix. Per tant, aquestes dues tecnologies, tot i que tenen la potencialitat de ser competidores, tenen cadascuna el seu camp d'aplicació.

- Bluetooth LE vs altres tecnologies (Z-Wave i Thread)

  Bluetooth LE pot tenir seriosos competidors en aquestes tecnologies. Encara són molt joves, especialment Thread, però ja han tingut cert èxit en termes d'expansió al mercat. Tècnicament, Bluetooth LE guanya en diversos aspectes tècnics tals com la taxa de dades i l'abast de la connexió, però el punt fort d'aquestes tecnologies, igual que ZigBee, és

el nombre de dispositius que poden estar interconnectats al mateix temps, que està pels 232 de Z-Wave i entre els 250 i 300 de Thread (tot i que queden molt lluny del número que pot oferir ZigBee).

Així doncs, Z-Wave i Thread poden ser unes grans competidores de Bluetooth LE, sobretot en l'escenari de l'IoT, específicament, en la part de les Smart Homes.

A mode de resum, si es cataloguen les tecnologies segons la que ofereix millors característiques o s'adapta millor a un escenari, tindríem:

Context	Tecnologia
Millor abast	ZigBee
Major taxa de dades	Wi-Fi
Major nombre de dispositius connectats	ZigBee, Thread, Z-Wave, Bluetooth (amb scatternets)
Més estesa	Wi-Fi i Bluetooth
Més coneguda	Wi-Fi i Bluetooth
Millor opció per a l'IoT	Bluetooth
Millor opció per a les Smart Cities	Bluetooth i Wi-Fi
Millor opció en salut i benestar	BAN
Millor opció per a transferència de dades	Wi-Fi
Millor opció per a pagament electrònic	NFC

Taula 19. Conclusions millors tecnologies en diferents àmbits i criteris

Així doncs, la principal competidora de Bluetooth LE és ZigBee, tot i les seves diferències. Tot seguit, molt a prop, i a nivell teòric i tal i com estan plantejades, hi podríem trobar les tecnologies de Z-Wave i Thread, s'haurà de veure l'evolució del mercat, ja que no sempre tot depèn de les capacitats tècniques per a que una tecnologia s'acabi imposant, hi ha molts més factors. A continuació, es podria trobar competència amb Wireless USB i amb la tecnologia Wi-Fi, tot i que Bluetooth es veu com un dels pesos pesats de les tecnologies wireless entre dispositius del futur. Aquestes conclusions, basades en cap on es creu que aniran les tendències futures en terme d'aplicacions d'aquestes tecnologies i de desenvolupament de la societat, i tenint en compte els possibles usos de la tecnologia. Sempre s'ha comparat molt Bluetooth i Wi-

Fi, però cadascuna, com a mínim fins al moment, té un camp d'aplicació molt diferent.

Segurament, el principal avantatge de Bluetooth respecte les altres tecnologies és la seva fama. Que es tracti d'una tecnologia molt coneguda i que estigui molt estesa juga a favor seu, i si s'hi suma que és una tecnologia molt fàcil de fer servir, no es necessiten grans coneixements de cara a interconnectar dispositius. Fins i tot s'ha simplificat la metodologia de programació dels dispositius Bluetooth per a que sigui molt senzill de fer servir.
Tot i que de per si no tingui una seguretat que sigui de les més destacades, el fet de que per a establir la connexió entre dos dispositius s'hagi de supervisar la mateixa permet que es pugui resguardar la privacitat de l'usuari.
Tot i així, alguns dels desavantatges més grans de Bluetooth són, tot i així, el consum de bateria. Deixar el telèfon intel·ligent amb el Bluetooth connectat, augmenta el nivell de consum de bateria, tot i que no sigui un augment molt gran. També, amb la connexió a Internet d'aquesta tecnologia, es pot experimentar algun coll d'ampolla a l'hora de transmetre les dades. Segurament, aquests seran punts de millora de cara al futur.

6. El futur de Bluetooth

Un dels principals motius del gran èxit i de l'impuls de Bluetooth LE en els darrers temps és degut, a banda de la seva anterior popularitat i presència en diversos sectors, a la facilitat en el disseny i implementació de dispositius Bluetooth. El Bluetooth SIG va posar especial èmfasi amb que el llenguatge amb el qual es programava Bluetooth fos molt senzill i similar al llenguatge humà. Així doncs, aquesta facilitat d'implementació, un dels punts forts i dels avantatges de Bluetooth de cara a seguir sent un referent de les tecnologies sense fils.

Un dels camps en els que Bluetooth pot trobar una major competència, és en el sector de la Smart Home, en aspectes com l'automatització del domicili, entre altres. Hi ha diversos protocols que tenen com a objectiu oferir alternatives a aquesta tecnologia de cara a interconnectar els aparells electrònics del domicili per a que puguin interactuar entre ells i, fins i tot, poder-los controlar remotament mitjançant una connexió a Internet. Tecnologies com Z-Wave, Thread o ZigBee es veuen com a principals competidors en el camp de la casa intel·ligent, tot i que Bluetooth té l'avantatge de ser molt més conegut en altres àmbits, i de tenir un bon nom en el món de la interconnexió de dispositius sense fils. Una de les principals limitacions que es podria pensar que té Bluetooth és el nombre de dispositius que poden estar connectats al mateix temps. Però és gràcies a la formació de piconets (una agrupació de dispositius interconnectats entre si) i de scatternets (una agrupació de piconets que es poden comunicar entre si) es pot arribar a solucionar aquesta problemàtica. Per tant, una de les possibles desavantatges que podria tenir Buetooth davant d'altres tecnologies s'ha solucionat amb les piconets i scatternets. En les últimes versions de Bluetooth també s'ha solucionat la problemàtica de la connexió a Internet, ara Bluetooth s'hi pot connectar, per tant, s'alinea amb les característiques més destacades dels seus competidors.

Un dels altres camps en els que Bluetooth podria presentar una gran expansió és en el camp de la salut i del benestar. I no només en el sector dels dispositius "wereables" tals com els rellotges intel·ligents o les polseres d'entrenament, que poden monitoritzar el desenvolupament físic i portar un control de l'evolució de l'activitat, així com d'altres indicadors de la salut de l'usuari, sinó que

coexistint amb la BAN o, directament, intentant ocupar el seu lloc degut a la seva gran popularitat i facilitat d'implementació, els dispositius que controlin la salut dels pacients, que la monitoritzin, seran un dels punts d'evolució en els propers anys. Així doncs, en principi hi haurà aquesta coexistència entre Bluetooh i BAN, i el telèfon intel·ligent d'un pacient podrà arribar a ser un centre de salut on tingui les dades dels dispositius que la monitoritzin centralitzades, i que es puguin arribar a enviar per Internet de cara a que sigui consultada, i fins i tot, aquests dispositius puguin rebre instruccions segons les dades que han enviat.

El tercer dels grans camps en els que Bluetooth podria presentar una major expansió seria en el de l'automoció, en el que actualment ja té una presència destacada, per exemple, es pot controlar remotament un vehicle de cara a engegar-ne la calefacció, o fer que les portes del garatge s'obrin automàticament a l'estar a prop. La implementació de dispositius que s'interconnectin amb el vehicle, o de dispositius del propi vehicle que es puguin connectar amb dispositius de l'exterior, fa que hi hagi moltes possibilitats per a adoptar. Per exemple, es podria monitoritzar la part electrònica del vehicle, cada cop més nombrosa, mitjançant aquesta tecnologia, de cara a poder saber l'estat del vehicle, i de poder-ne preveure o informar errades. Tanmateix, cada cop hi ha un major nombre de dispositius externs que poden interactuar amb algun dels components del vehicle. Per exemple, es pot connectar un smartphone a l'equip de música del vehicle, i mitjançant Bluetooth, reproduir-ne continguts. Una de les últimes novetats en el sector de l'automoció és el fet de que es pugui fer servir sense necessitar una clau, és mitjançant una connexió Bluetooth que es poden controlar accions com obrir o tancar les portes o posar en marxa el vehicle. Així doncs, en un futur, es veurà incrementat en un gran nombre les possibles aplicacions que hi puguin haver dins d'un vehicle.

Una de les aplicacions que podran augmentar la seva popularitat i usabilitat en un futur seran els beacons mitjançant Bluetooth. Apple va presentar la seva proposta al 2013, i Google al 2015. Aquesta aplicació de la tecnologia Bluetooth consisteix en un dispositiu que transmet, mitjançant Bluetooth LE, una senyal que pot ser rebuda per altres dispositius que puguin rebre aquesta senyal, com telèfons intel·ligents. D'aquesta manera, es pot enviar contingut a una zona geogràfica concreta. Una de les possibles aplicacions que veurem

molt més normalitzada en el futur és la de comerços que podran enviar informació als seus clients, quan estiguin a l'abast del senyal del beacon, així com altres possibilitats: descomptes, ofertes especials...
També es poden oferir altres serveis, com els de punt d'informació: mitjançant un beacon es pot enviar informació als dispositius que s'hi apropin, i això pot tenir diverses aplicacions dins del món del turisme, o d'esdeveniments en general (fires, exhibicions, concerts...).

En els propers anys, Bluetooth tindrà un paper molt important en l'Internet of Things. Però no només en aquest àmbit, també en els anomenats Internet of Services (IoS) i l'Internet of People (IoP). Quan es parla de l'Internet of Services, es parla de la integració entre diferents dispositius que ofereixen diferents tipus de servei. Així doncs, es parla que l'Internet of Things acabarà donant pas a l'Internet of Services. En aquest nou model, es posarà especial èmfasi no en els dispositius en si, sinó en el servei que ofereixen. Llavors, es podria, per exemple, instal·lar un dispositiu, i acabar cobrant-ne només el servei que ofereix. I aquest servei, una de les bases més importants per a que es pugui dur a terme és la tecnologia Bluetooth, que es podrà comunicar amb l'ens final, receptor de la informació, de cara a que pugui oferir el servei pertinent. Així doncs, es passaria d'un model basat en el dispositiu i les seves capacitats, on aquest dispositiu és el producte en si, a un model en el que el servei ofert serà el centre, i els dispositius associats necessaris per a poder oferir aquest servei, peces clau per a poder-lo dur a terme, però no tindran el focus principal. També hi ha una altre vessant que parla de que s'està evolucionant també cap a l'Internet of People, en el que el focus principal és l'ésser humà. Es basa en la interacció amb objectes, i es considera a la persona com a part del perifèric. En aquesta definició, prenen una gran importància les dades, la informació relativa a l'usuari, i en la transmissió de les dades, Bluetooth hi pot tenir un paper fonamental. Així doncs, hi ha tres vessants, l'Internet of Things, on el centre és el dispositiu, l'Internet of Servicies, on el centre és el servei que s'ofereix, i l'Internet of People, on el centre és la persona.
Un altre dels àmbits en els que Bluetooth pot tenir una presència molt important i un paper molt rellevant, és en l'anomenada Indústria 4.0, el procés

d'automatització de la maquinària en el món de la indústria i tot el que comporta, ja que està estretament relacionat amb l'IoT. Es fa servir també el terme de Smart Factory, que implica que la maquinària del món de la indústria sigui capaç de comunicar-se entre ella, i també amb els propis humans, de cara a cooperar i poder arribar a produir els productes desitjats de la manera més òptima possible. En aquest escenari, Bluetooth té un perfil que pot encaixar molt bé en les necessitats d'interoperabilitat, de característiques tècniques necessàries per a dur a terme les funcions, i de tenir un flux de dades que garanteixi la integritat i la seguretat de la informació, podria arribar a esdevenir un dels estàndards més importants del món de les smart factories. Es parla d'una nova revolució industrial, en la que ja no es parla de mecanització de la indústria, sinó de la automatització, fins al punt de que els sistemes puguin ser el més autònoms possibles de cara a la producció. És en aquest sector en el que hi haurà un gran impacte en el món laboral, la indústria 4.0 farà que desapareguin molts llocs de treball, però també que se'n generin d'altres.
Des de fa relativament poc es parla amb força empenta dels dispositius de realitat virtual, i fins i tot, ja se n'han comercialitzat alguns en diverses videoconsoles o per a ordinador. En aquest camp, Bluetooth pot tenir un paper important, ja que molts dels controladors associats a les ulleres de realitat virtual fan servir aquesta tecnologia de cara a millorar-ne l'experiència. En aquest camp, hi pot haver una gran quantitat de perifèrics que puguin servir-se de Bluetooth per a funcionar i establir el que acabaran sent les bases de la tecnologia de la realitat virtual.

És a les ciutats on es concentra la major part de la població, i la concentració de gent a les mateixes anirà augmentant a mesura que vagin passant els anys. És per això que les Smart Cities tenen un paper molt rellevant en el futur. En qualsevol dels seus aspectes, des de l'economia digital, fins a la governança digital, passant per la mobilitat digital, entre altres, Bluetooth tindrà un paper fonamental en establir les bases d'una ciutat interconnectada on el flux d'informació no s'aturi, i les dades passin a ser un element central per al benestar del ciutadà.
Hi podran haver moltes altres aplicacions de Bluetooth en el futur, des de un millor control i cura del medi ambient gràcies a aquesta tecnologia, fins a poder

arribar a automatitzar molts dels aspectes més rellevants del nostre dia a dia. Bluetooth es troba en un moment de gran popularitat i d'expansió, i el futur sembla prometedor per a aquesta tecnologia.

7. Conclusions

En l'Estudi sobre Bluetooth Low Energy ens hem endinsat en el món de les tecnologies wireless, ubicant Bluetooth entre elles, i començant a explicar origen, història, característiques tècnices i utilitats i aplicacions d'aquesta tecnologia. Així doncs, s'ha pogut aprendre quina és la situació actual de Bluetooth LE, el seu funcionament, i la seva posició respecte altres tecnologies amb les quals competeix. Veient el funcionament de Bluetooth, s'ha pogut entendre part de l'èxit que ha obtingut, i analitzant la seva evolució es poden preveure quins seran els següents passos que el Bluetooth SIG donarà, de cara a imposar-se com a la tecnologia més important i rellevant en el món del futur: Smart Cities, IoT, IoS, IoP...

En el context de la realització del Grau de Tecnologies de la Telecomunicació, es tenia una certa visió d'aquesta tecnologia, però s'ha profunditzat fins a arribar a recordar conceptes ja vistos, i a expandir-los de cara a tenir un coneixement més profund.

En la realització d'aquest treball, s'han assolit els objectius plantejats inicialment. Es coneix Bluetooth LE, s'ha pogut contextualitzar en el món de les tecnologies wireless, s'han vist les versions posteriors a Bluetooth LE, i en base a aquesta evolució i a les tendències actuals, s'ha analitzat i previst quin serà el futur d'aquest tecnologia. Havent finalitzat aquest treball s'és capaç de saber el perquè, el quan i el com de la tecnologia Bluetooth. I el més important, es pot entendre l'èxit que ha obtingut, i el que obtindrà.

En termes generals, s'ha seguit la planificació. Totes les previsions s'han anat complint excepte en dos casos. En l'apartat d'altres tecnologies, s'havia previst analitzar un nombre lleugerament menor de tecnologies, i també s'ha acabat incloent un altre apartat al treball, sobre el futur de Bluetooth, segons recomanació del consultor. Tot i així, ja s'havien previst en la planificació que hi poguessin haver alguns canvis i ajustaments, i aquests no han tingut un gran impacte en la temporització i en les altres tasques a dur a terme. Amb un parell de lleugeres modificacions s'ha acabat duent a terme sense cap tipus de problemàtica. Amb aquestes incorporacions, i afegint-hi un punt de vista més

crític, donant la opinió en els apartats posteriors, el treball ha acabat guanyant i aconseguint un valor afegit.

En un futur, en una possible nova edició de la temàtica d'aquest treball, segurament s'hauran de tenir molt en compte aplicacions relativament noves i que, de ben segur, tindran un gran pes en el futur. És el cas, per exemple, dels beacons, les balises, de les quals en veurem moltes aplicacions. Tot just estem començant una nova revolució de les tecnologies sense fils, en els propers anys veurem els grans avenços del sector, i com aquestes tecnologies acabaran canviant la societat, i modelant-la per a que sigui més dinàmica.

Bluetooth té un gran futur per endavant, tal i com hem vist en aquest treball, estem en un moment clau en la història de les tecnologies sense fils, i els propers anys seran decisius de cara a veure com es modelarà aquest futur, de com modelaran la societat aquestes tecnologies sense fils, on Bluetooth té unes grans possibilitats de convertir-se en un dels jugadors més importants d'un futur sense fils.

8. Glossari

- Wireless: que no necessita de cablejat de cara a dur a terme un intercanvi d'informació.
- ISM: fa referència a l'Industrial, Scientific, Medical, un segment de l'espectre radioelèctric reservat per a usos no comercials dins dels seus àmbits.
- IEEE: Institute of Electrical and Electronic Engineers, associació dedicada a l'estandardització dins d'àmbits tals com les telecomunicacions, informàtica...
- ETSI: European Telecommunications Standards Institute, organització independent europea encarregada de l'estandardització en l'àmbit de les telecomunicacions.
- AFH: Adaptive Frequency Hopping, és una metodologia de transmissió de senyals de ràdio en el que es va canviant de freqüència d'emissió de cara a evitar interferències amb altres senyals.
- IoT: Internet of Things, fa referència als objectes quotidians que estan interconnectats entre ells de cara a que puguin interactuar.
- Xarxa mesh: xarxa en la que diferents dispositius estan interconnectats entre si de cara a millorar-ne la cobertura. Si un dels nodes de la xarxa cau, es pot autoconfigurar.
- QoS: Quality of Service, mesura el nivell de qualitat d'un servei. Per a donar-ne un valor, es tenen en compte factors com taxa de bits, jitter, retards...
- MITM: Man in the middle attack, consisteix en interceptar un senyal posant-se en la seva ruta d'emissió de cara a quedar-se amb la informació.
- OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing, es realitza una multiplexació de diferents ones portadores de diferents freqüències, on cadascuna d'aquestes porta la seva informació modulada.

- LOS/NLOS: Line of Sight/Non Line of Sight, consisteix en si emissor i receptor d'un senyal tenen visió directe (LOS) o no en tenen (NLOS) i la senyal només pot arribar per les reflexions multicamí.
- Wereable: objectes electrònics que es poden fer servir com a un complement, com, per e0078emple, un smartwatch, un rellotge intel·ligent.
- IoS: Internet of Services, similar a l'IoT, aquesta vessant se centra en el servei que ofereixen els dispositius, no en el dispositiu en si.
- IoP: Internet of People, vessant similar a l'IoT i l'IoS, que se centra en les persones, enlloc de en els serveis o dispositius.
- Smart City: ciutat en la que se l'hi han aplicat diversos tipus de tecnologia de cara a millorar i optimitzar el seu funcionament, com per exemple, tecnologies TIC.
- Peer-to-peer: connexió entre dos dispositius que no actuen com a clients ni servidors, sinó que actuen com a iguals, al mateix temps com a clients i servidors.
- Piconet: conjunt de dispositius interconnectats entre si que formen una xarxa. Poden ser fins a 7 esclaus actius al mateix temps (i fins a 255 inactius).
- Scatternet: conjunt de xarxes piconet.

9. Bibliografia

- https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless *[9 de març de 2017]*
- http://flylib.com/books/en/4.136.1.12/1/ *[9 de març de 2017]*
- http://itworldguide.com/types-of-wireless-networks/ *[9 de març de 2017]*
- http://www.computernetworkingnotes.com/wireless-networking-on-cisco-router/types-of-wireless-networks.html *[10 de març de 2017]*
- https://en.wikipedia.org/wiki/Personal_area_network *[11 de març de 2017]*
- http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/11761/fichero/Volumen1%252F6-Cap%C3%ADtulo2+-+Redes+inal%C3%A1mbricas+de+%C3%A1rea+personal+(WPAN).pdf+ *[13 de març de 2017]*
- https://www.slideshare.net/SHUBHAMMORGAONKAR/zigbee-802154-45952808 *[15 de març de 2017]*
- https://www.lifewire.com/wlan-816565 *[15 de març de 2017]*
- https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_LAN *[16 de març de 2017]*
- https://en.wikipedia.org/wiki/HiperLAN *[17 de març de 2017]*
- https://es.slideshare.net/jsolerab/wimax-joan-soler-abello *[18 de març de 2017]*
- https://norfipc.com/redes/tipos-redes-estandares-wi-fi-diferencias.php [20 de març de 2017]
- https://en.wikipedia.org/wiki/Wi-Fi *[21 de març de 2017]*
- http://wikid.eu/index.php/Wireless_Metropolitan_Area_Networking_(WMAN) *[21 de març de 2017]*
- http://web.mst.edu/~mobildat/WMAN/ *[22 de març de 2017]*
- https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_WAN *[24 de març de 2017]*
- http://es.ccm.net/contents/681-estandar-gsm-sistema-global-de-comunicaciones-moviles *[26 de març de 2017]*
- http://es.ccm.net/contents/680-estandar-gprs-servicio-general-de-paquetes-de-radio *[27 de març de 2017]*

- https://en.wikipedia.org/wiki/UMTS_(telecommunication) ***[28 de març de 2017]***
- http://www.3gpp.org/technologies/keywords-acronyms/103-umts ***[29 de març de 2017]***
- https://www.bluetooth.com/ ***[30 de març de 2017]***
- http://www.taringa.net/posts/info/19521604/La-desconocida-razon-por-la-que-el-Bluetooth-se-llama-asi.html ***[30 de març de 2017]***
- https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth ***[2 d'abril de 2017]***
- http://wistao.blogspot.com.es/2012/09/comparison-of-bluetooth-different.html ***[2 d'abril de 2017]***
- http://grouper.ieee.org/groups/802/15/Bluetooth/profile_10_b.pdf ***[4 d'abril de 2017]***
- http://www.informit.com/articles/article.aspx?p=21323 ***[6 d'abril de 2017]***
- http://blue-tooth.50webs.com/bluetooth1.1.html ***[8 d'abril de 2017]***
- http://es.ccm.net/contents/69-como-funciona-bluetooth ***[9 d'abril de 2017]***
- http://www.radio-electronics.com/info/wireless/bluetooth/networks-networking-connections-pairing.php ***[11 d'abril de 2017]***
- https://learn.sparkfun.com/tutorials/bluetooth-basics/how-bluetooth-works ***[12 de maig de 2017]***
- http://www.laptopmag.com/articles/just-what-is-bluetooth-4-0-anyway ***[12 d'abril de 2017]***
- http://www.cnx-software.com/2013/06/05/bluetooth-versions-walkthrough-and-bluetooth-4-0-low-energy-development-resources/ ***[13 d'abril de 2017]***
- https://learn.sparkfun.com/tutorials/bluetooth-basics/bluetooth-profiles ***[16 d'abril de 2017]***
- https://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy/gatt ***[18 d'abril de 2017]***
- https://www.quora.com/What-are-the-main-differences-between-Bluetooth-4-0-4-1-and-4-2-in-the-Layers-Baseband-LMP-L2CAP-app-Layer ***[21 d'abril de 2017]***

- http://www.semiconductorstore.com/blog/2015/BLE-4-2-vs-BLE-4-1/1548 ***[22 d'abril de 2017]***
- https://www.anritsu.com/en-AU/test-measurement/solutions/bluetooth5-02/index# ***[25 d'abril de 2017]***
- http://smallbusiness.chron.com/bluetooth-technology-used-for- *[de maig de 2017]*58102.html ***[28 d'abril de 2017]***
- https://en.wikipedia.org/wiki/Infrared_Data_Association ***[1 de maig de 2017]***
- http://www.irda.org/ ***[3 de maig de 2017]***
- http://www.zigbee.org ZigBee ***[5 de maig de 2017]***
- https://www.digi.com/resources/standards-and-technologies/rfmodems/zigbee-wireless-standard ***[7de maig de 2017]***
- http://www.cazitech.com/HomeRF%20WP%20-%20Home%20NW%20Technologies.PDF ***[9 de maig de 2017]***
- https://en.wikipedia.org/wiki/Wireless_USB ***[11de maig de 2017]***
- https://en.wikipedia.org/wiki/Body_area_network ***[13 de maig de 2017]***
- http://nearfieldcommunication.org/ ***[14 de maig de 2017]***
- https://en.wikipedia.org/wiki/Near_field_communication
- https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_802.11 ***[16 de maig de 2017]***
- https://www.rs-online.com/designspark/eleven-internet-of-things-iot-protocols-you-need-to-know-about ***[17 de maig de 2017]***
- https://www.silabs.com/documents/public/white-papers/the-many-flavors-of-bluetooth-iot-connectivity.pdf ***[20 de maig de 2017]***