

Mechanismen voor de optimalisatie van het coëxistentiële gedrag van Bluetooth-systemen



© PHOENIX CONTACT 2008

Bluetooth voor de industriële toepassing

Bluetooth is een draadloze technologie, die in de consumentensector een zeer grote verspreiding kent. Momenteel worden daadwerkelijk meer Bluetooth- dan WLAN-chipsets verkocht, hetgeen voornamelijk kan worden toegeschreven aan de toepassing van deze technologie in mobiele telefoons, koptelefoons etc. De basistechnologie is gestandaardiseerd in de IEEE 802.15.1. Boven de standaard uit legt de Bluetooth SIG (Special Interest Group), de vereniging van producenten (Bluetooth chipsets en producten), verschillende toepassingsprofielen vast bijvoorbeeld voor de spraakoverdracht, seriële communicatie of voor de draadloze ethernetverbinding in de zogenaamde Personal Area Networks (PAN).

Om meerdere redenen is deze technologie, met name voor de industriële communicatie, bijzonder interessant:

1. De communicatie vindt reeds tijdgesynchroniseerd op het medium plaats en benadert daarom, met betrekking tot de determinatie, de werkwijze van bedrade veldbussen zeer dicht.
2. Chipsets en uiteindelijk producten zijn gestandaardiseerd en daarom zowel wereldwijd toepasbaar alsook tegen geringe kosten produceerbaar.
3. De werkwijze van Bluetooth maakt het in principe onnodig om welke radiotechnische parameters dan ook vooraf te moeten instellen om een draadloze verbinding te kunnen opbouwen. Dit is bijvoorbeeld heel belangrijk voor toepassing in de machinebouw. Wanneer men zich voorstelt dat bij een eindgebruiker meerdere machines van hetzelfde type in één hal werken en dat men, alvorens deze in bedrijf te stellen, de radio-oplossingen in de machines eerst individueel zou moeten aanpassen. Dat zou in de meeste gevallen volstrekt onacceptabel zijn.

4. Applicatieprofielen zoals SPP (seriële communicatie) of ook PAN (transparant ethernet) kunnen een op een worden toegepast voor een groot aantal besturings- en parametreeropgaven in industriële toepassingen.
5. Bluetooth gebruikt slechts een kleine bandbreedte van 1 MHz in het frequentiespectrum. Daarmee kunnen veel systemen parallel zonder wederzijdse beïnvloeding worden geëxploiteerd. Weliswaar is daardoor ook de overdrachtssnelheid beperkt tot circa 700 kBit/s maar nog steeds groot genoeg voor veel automatiseringstoepassingen. Op deze wijze wordt een optimale benutting van het krappe frequentiespectrum bereikt, dat voor een licentievrije draadloze overdracht ter beschikking staat.
6. Bluetooth blijkt met name bij het bedrijf in industriële omgevingen met veel staal en gewapend beton een zeer robuuste technologie te zijn, die uitstekend met effecten als multipath-fading in sterk reflecterende omgevingen kan omgaan.

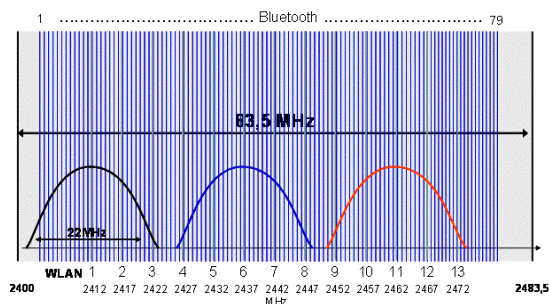
Frequentiegedrag

Bluetooth maakt door de kanaalbreedte van 1 MHz evenals op grond van de geïmplementeerde frequentiesprongprocedure met vaste perioden van 625 μ s een zeer grote dichtheid van parallel werkende draadloze netwerken, die elkaar onderling niet beïnvloeden. Dit is niet alleen belangrijk voor de mobiele telefoontoepassing, waar bijvoorbeeld op luchthavens of dergelijke veel mensen onafhankelijk van elkaar hun mobiele telefoon willen gebruiken, maar het is tevens een belangrijke eis uit de industriële communicatie (zie boven).

Iets moeilijker wordt evenwel de situatie, wanneer Bluetooth storingsvrij moet coëxisteren met systemen, die met vaste frequenties werken, zoals bij WLAN het geval is. (zie afbeelding 1). Terwijl WLAN de 2,4 GHz ISM (Industrial, Scientific, Medicine) band in 13 kanalen onderverdeelt en per WLAN systeem ca. 20 MHz bandbreedte nodig heeft, verdeelt Bluetooth dezelfde band in 79 kanalen.

Wanneer op een Bluetooth-kanaal storingen optreden, omdat daar eveneens een WLAN werkt, dan heeft Bluetooth nog de mogelijkheid via de frequentiesprongprocedure met de volgende vaste periode op een volledig andere frequentie te werken, die dan eventueel buiten het WLAN-spectrum ligt. WLAN heeft deze mogelijkheid niet op grond van de statisch benutte frequentie.

Of het tot een storing van Bluetooth of WLAN komt of niet, is niet alleen van de frequentie afhankelijk, maar ook van de signaalniveaus van de betreffende stoorbronnen en of beide systemen ook gelijktijdig gegevens verzenden. WLAN kan bijvoorbeeld heel goed overweg met smalbandige stoorbronnen, wanneer hun signaalniveaus in relatie tot het WLAN-signaal een bepaalde signaal-ruisafstand niet overschrijden.



Afbeelding 1: Gebruik van de licentievrije 2,4 GHz ISM-band door Bluetooth en WLAN

Aangezien echter met name het gelijktijdige optreden van WLAN en Bluetooth-netwerken, zowel in de consumenten- en in de kantoorsector alsook in de industriële communicatie niet als uitzondering maar eerder als regel geldt, heeft Bluetooth sinds de specificatie 1.2 een automatisch coëxistentiemechanisme ingebouwd, het zogenaamde Adaptive Frequency Hopping (AFH).

Daarbij kregen de Bluetooth radio's de mogelijkheid om kanalen die als „slecht“ werden herkend, niet meer voor de communicatie te gebruiken (zie [1] en

[2]). De sprongvolgorde en de beslissing, welke kanalen niet gebruikt worden, berust bij de Master van het Bluetooth-netwerk. Dat is voor het Wireless I/O-systeem van Phoenix Contact steeds het zogenaamde basisstation.

Volgens [1] en [2] heeft de master nu 3 mogelijkheden om te besluiten een frequentie uit de lijst van de mogelijke Bluetooth-kanalen (de zogenaamde channel map) uit de sprongvolgorde weg te nemen:

1. Eigen metingen:

Die kunnen hetzij passief (analyse van ontvangsniveaus [RSSI = Received Signal Strength Indication] op kanalen wanneer het eigen BT-netwerk net niet zendt) of actief zijn. In het actieve geval wordt de Link Quality geanalyseerd, die met de bitfoutfrequentie van de overdracht per Bluetooth kanaal in het eigen netwerk correleert.
2. Metingen en reports van slaves:

De master kan ook op grond van eisen van de slaves besluiten een kanaal voor de communicatie in het netwerk af te sluiten. De slave kan deze informatie als de master uit eigen metingen verkrijgen, moet echter via een daaraan beantwoordend report van de master verlangen de afsluiting uit te voeren, omdat de totale netwerkcoördinatie alleen door de master mag worden uitgevoerd.
3. De derde mogelijkheid bestaat daarin, dat de Bluetooth master de informatie voor zijn channel map van zijn host system krijgt (trefwoord: Set_AFH_channel_classification commando). Daarmee is in de standaard vastgelegd om bepaalde Bluetooth kanalen configureerbaar uit de hopping volgorde weg te nemen (channel skipping of blacklisting genaamd).

De standaard voor Bluetooth stelt weliswaar deze mogelijkheden vast, maar bepaalt echter niet dat alle mechanismen geïmplementeerd moeten zijn. De standaard geeft met name geen grenswaarden aan waarnaar, bijvoorbeeld op grond van RSSI, grenswaarden of overschrijding van bitfoutfrequentiekanalen als „slecht“ geclassificeerd en daardoor niet meer gebruikt worden.

Dit en het feit dat Bluetooth ook slechts een kans heeft een andere frequentiegebruiker zoals een WLAN-systeem te herkennen, wanneer deze ook zendt, maakt de herkenning van andere systemen pas na een bepaalde netbelasting mogelijk.

Als vuistregel laat de ervaring met Bluetooth chipsets van verschillende producenten zien, dat in het geval van de WLAN coëxistentie de WLAN tenminste een netbelasting van 10% moet vertonen om veilig en via zijn normale frequentiebereik door Bluetooth te worden herkend.

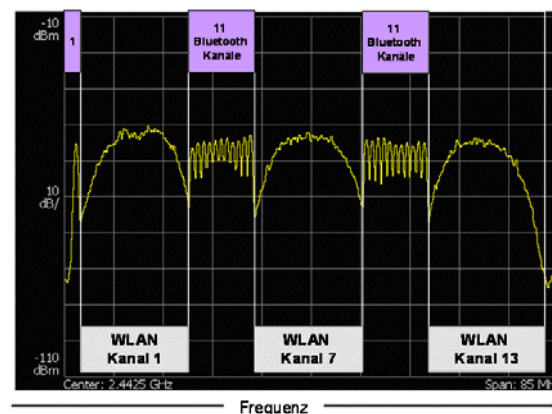
Vooraf in consumer-producten is de onder 3 hierboven genoemde mogelijkheid in de regel toch al niet configureerbaar voor de gebruiker, hoewel de chipsets volgens standaard de overeenkomstige commando's geïmplementeerd moeten hebben.

Producten van Phoenix Contact hebben echter de mogelijkheid dat zij ook door de gebruiker dienovereenkomstig met de hand geconfigureerd kunnen worden. Deze configuratie is evenwel verbonden aan een paar voorwaarden, die op grond van internationale reguleringsvoorschriften voor frequentiesprongsystemen ontstaan:

1. Bluetooth moet voor de communicatie een minimum aantal van 20 kanalen gebruiken, die zich over de gehele gebruikte band moeten verdelen.
2. De officiële Amerikaanse reguleringsinstantie FCC vereist bovendien, dat het frequentie management uitsluitend wordt ingezet om de storingen van draadloze systemen volgens andere draadloze standards (dus bijvoorbeeld WLAN volgens de IEEE 802.11) te voorkomen. Het mag niet worden ingezet om de systeemdichtheid van frequentiesprongers van dezelfde standaard te verhogen (zie [3])

In afbeelding 2 is het gebruik van de 2,4 GHz band door 3 onafhankelijke WLAN systemen op de WLAN kanalen 1, 6 en 11 evenals een Bluetooth systeem in de resterende tussenruimten afgebeeld. Het Bluetooth systeem bespaart daarbij per WLAN kanaal 19 Bluetooth kanalen (d.w.z. 19 MHz), zodat nog 23 kanalen voor de Bluetooth communicatie over blijven.

Zodoende is bij de Bluetooth systemen van Phoenix Contact sprake van een optimale coëxistentie met andere frequentiegebruikers van de 2,4 GHz band en daarmee met name met WLAN systemen door een duidelijke frequentiescheiding. Omdat het mechanisme streng aan Bluetooth geconformeerd is, kan op deze wijze het frequentiegedrag ook door Bluetooth producten van andere producenten, die de manuele configuratie niet ondersteunden en waarvan de producten echter tenminste voldoen aan de Bluetooth standaard 1.2, op dezelfde aard en wijze worden beïnvloed, terwijl zij als slave aan een master van Phoenix Contact (bijvoorbeeld een Bluetooth Access Point) werkzaam zijn.



Afbeelding 2: Gemeten spectrum bij gebruik van 3 WAN kanalen en een Bluetooth systeem met manuele channel skipping/blacklisting

Zendvermogen

Een verdere parameter, die leidt naar een verbetering van de coëxistentie tussen verschillende radio-oplossingen van dezelfde technologie, is het zendvermogen. In principe is bij nagenoeg alle radio-oplossingen, ongeacht van welke technologie, de instelling van een individueel zendvermogen op chipniveau mogelijk.

Terwijl men bij consumer- of kantooroplossingen vaak een statisch zendvermogen aantreft, dat niet

meer door de gebruiker kan worden geparametreerd, is het voor automatiseringstechnische toepassingen zinvol om deze instelbaar te maken. Daarbij dient steeds het principe te worden gevolgd het zendvermogen zo groot als nodig maar zo laag als mogelijk in te stellen.

Bluetooth gebruikt behalve een statisch, instelbaar zendvermogen een individuele, automatische vermogensregeling. Dit houdt in, dat Bluetooth

vanaf versie 1.2 het zendvermogen automatisch tot het laagst mogelijke niveau verlaagt. Het op de producten van Phoenix Contact ingestelde zendvermogen legt daarbij slechts het maximaal mogelijke zendvermogen vast. Dit zal met name bij toepassingen met korte reikwijdten van enkele meters met nog meer dB via het regelmechanisme duidelijk dalen. Terwijl deze techniek bij Bluetooth met de oorspronkelijke gedachte geïmplementeerd werd om de batterijen van de mobiele telefoons te ontzien, vervult zij, vanuit het gezichtspunt van de coëxistentie en systeemdichtheid, nog meer niet te onderschatten voordelen voor industriële toepassing.

Bluetooth onderscheidt 3 verschillende zendvermogensklassen:

Tabel 1: Zendvermogensklassen van Bluetooth

klasse	max. zendvermogen [dBm]	max. zendvermogen [mW]
1	+20	100
2	+4	2,5
3	0	1

Terwijl mobiele telefoons overwegend klasse 3 radio's gebruiken met een reikwijdte van typ. 10 m, maken klasse 1 radio's in het buitengebied en bij zichtverbinding van antennes communicatieafstanden van duidelijk meer dan 100 m mogelijk. Klasse 2 radio's bereiken bij indoor-toepassingen altijd nog afstanden van 30 m en meer, wat bij typische afmetingen van een machine of productiecel volkomen toereikend is.

Terwijl voor klasse 2 en 3 de vermogensregeling optioneel is, is deze voor radio's van de klasse 1 voorgeschreven. Om die reden gebruikt Phoenix Contact principieel radio's conform klasse 1, ook als die werken in de producten met een lager maximaal zendvermogen.

Verbindingsopbouw – Inquiry en Paging

Er zijn bij Bluetooth twee bedrijfsfasen waarop bijzonder de aandacht moet worden gevestigd met betrekking tot de coëxistentie met andere draadloze systemen: dat zijn het zoeken naar nabije en verbindingsoperationele Bluetooth producten (Inquiry) en de eigenlijke opbouw van een Bluetooth communicatieverbinding (Paging).

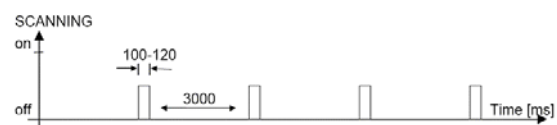
Aangezien producten in deze situaties nog niet in een Bluetooth-netwerk zijn geïntegreerd, kunnen de mechanismen van de AFH nog geen effect sorteren. Bovendien moet een product, dat zich met een andere deelnemer wil verbinden, zijn frequentiesprongvolgorde eerst synchroniseren met die van de gewenste verbindingspartner.

Daartoe gebruiken de producten slechts 32 van de 79 Bluetooth kanalen. Het product, dat bijvoorbeeld een verbinding wil opbouwen, dus een paging uitvoert, springt door deze kanalen met de dubbele hopping frequentie (dus met 3200 in plaats van de normale 1600 sprongen per seconde) en verzendt daarbij connection requests. Met de bedoeling dat de tegenplek naast een eventueel reeds aanwezige integratie in een Bluetooth netwerk een nieuwe verbinding kan accepteren, moet dit product in bepaalde tijdsintervallen "luisteren" naar paging kanalen. Dit wordt aangeduid als page scan.

Terwijl een scannend product geen invloeden uitoefent op nabijgelegen radiodeelnemers, omdat het zich louter passief ontvangend gedraagt, kan het actief pagende product een grote invloed hebben. De Bluetooth standaard definieert daarbij een reeks parameters, die het tijdgedrag voor paging en inquiry (hier geldt in principe hetzelfde) bepalen (trefwoorden page scan interval, page scan window, inquiry scan interval, interlaced scan etc.).

Phoenix Contact gebruikt speciale parameters voor page en inquiry resp. page scan en inquiry scan, die een zeer goed compromis uit een snelle verbindingsopbouw en goede WLAN compatibiliteit mogelijk maken, de zogenaamde Low Emission Mode (LEM).

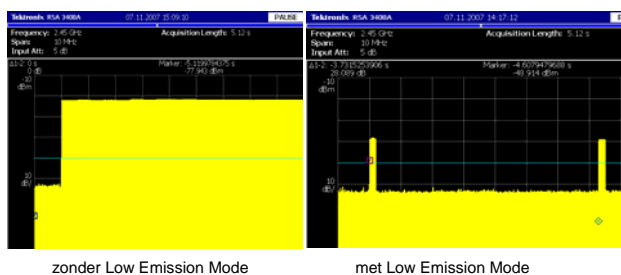
Daarvoor gaan producten, die een verbinding accepteren, zeer vaak voor een korte periode in page resp. inquiry scan, terwijl het product dat de verbinding opbouwt, slechts voor een korte tijd zendt (ca. 100 ms) en vervolgens een langere pauze maakt tot aan de volgende verbindingsopbouw (ca. 3 s later, zie afbeelding 3).



Afbeelding 3: Paging bij producten met Low Emission Mode

Consumer producten daarentegen passen bij Bluetooth vaak de strategie toe om zoveel mogelijk te pagen teneinde een snelle verbindingsofbouw te bereiken. Dit blijkt uit afbeelding 4.

Daar is met een spectrumanalysator het paging proces van een normale Bluetooth USB stick (linker afbeelding) in vergelijking met een Wireless I/O product van Phoenix Contact met LEM (rechts) afgebeeld. Er moet op gelet worden, dat daar geen spectra, maar zendvermogens (y-as) boven de tijd (x-as) zijn afgebeeld



Afbeelding 4: Vergelijking van een page-proces bij een BT USB stick zonder LEM met een product van Phoenix Contact met LEM

Men herkent, dat de USB-stick permanent zendt, terwijl het product in de LEM slechts korte pulspakketten verzendt en aansluitend tijd aan andere frequentiegebruikers overlaat om het radiomedium te benutten.

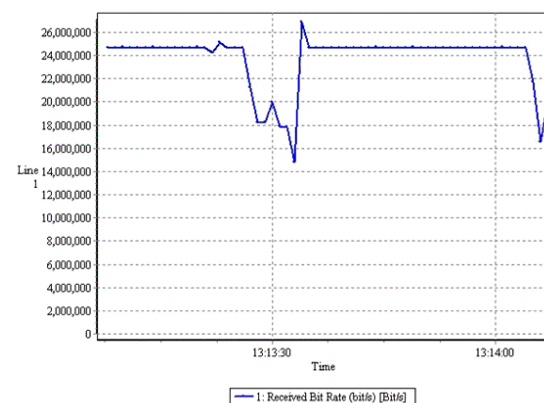
Eenvoudig samengevat kan men zeggen, dat de Low Emission Mode een tijdmultiplex voor het radiomedium bewerkstelligt, terwijl de AFH mechanismen een frequentiemultiplex bereiken. Een frequentieplanning voor Bluetooth ook voor het paging- en inquiryproces is niet in de standaard opgenomen. Daarom blijft slechts de mogelijkheid tijdelijk ontspanning te brengen in de verbindingsofbouw voor andere frequentiegebruikers.

De Phoenix Contact producten zijn in de Low Emission Mode conform de standaard, zodat een verbindingsofbouw naar niet-Phoenix Contact producten natuurlijk nog steeds mogelijk is. Daar kan het echter vooral dan tot langere verbindingsofbouwen komen wanneer het Phoenix Contact product in de LEM een paging uitvoert en het product in de page scan (de verbindingspartner dus, die de verbinding moet accepteren) de Low Emission Mode niet ondersteunt.

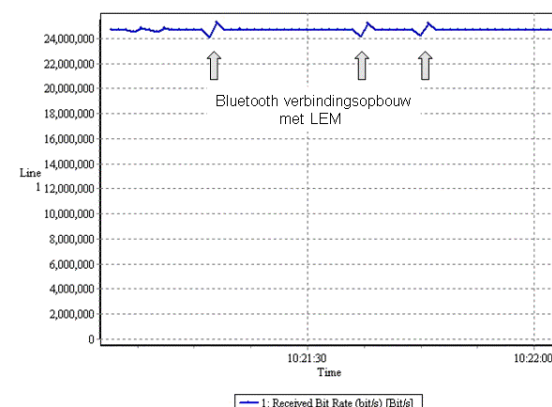
Voor een WLAN systeem moet de invloed van een paging-proces met of zonder Low Emission Mode worden gezien als afgebeeld op de volgende twee bladzijden.

Als maat voor de WLAN beïnvloeding werd in deze metingen de datadoorvoer van een WLAN systeem erbij gehaald. Daartoe werden 1500 Byte lange pakketten met een netto datasnelheid van ca. 25 MBit/s via een in de 802.11g modus werkend WLAN System overgedragen.

Tijdens een paging proces zonder Low Emission Mode drong de WLAN datadoorvoer significant binnen. Afhankelijk van de parametrage van de paging door de fabrikant kan het resultaat nog erger uitvallen en tot een volledige stilstand op de WLAN verbinding leiden. Met LEM is de invloed van de paging op de WLAN via de tijdmultiplex van de mediatoegang bijna niet meer aan te tonen.



Afbeelding 5: Invloed van een paging zonder LEM op de datadoorvoer van een WLAN systeem



Afbeelding 6: Restinvloed van een Bluetooth systeem met LEM op de datadoorvoer van een WLAN

Samenvatting

Manueel channel skipping resp. blacklisting, evenals een instelbaar zendvermogen maken in het werkende bedrijf van Bluetooth-oplossingen een optimale coëxistentie met andere frequentiegebruikers mogelijk. Ook voor de verbindingsofbouw, waar AFH en channel blacklisting Bluetooth implementering conform specificatie nog geen effect kunnen sorteren, opent de standaard mogelijkheden om de resterende radiotechnische invloed op andere draadloze systemen door een geschikte selectie van parameters (Low Emission Mode) te minimaliseren.

Literatuur

- [1] IEEE Standard for Information technology – Telecommunications and information exchange between systems – Local and metropolitan area networks Part 15.1: Wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for wireless personal area networks (WPANs), Stand 2005
- [2] Specification of the Bluetooth system, Core Package 2.1 + EDR, Stand juli 2007
- [3] FCC rules part 15 – Radio frequency devices, Section 15.247: Operation within the bands 902–928 MHz, 2400–2483.5 MHz, and 5725–5850 MHz, Stand februari 2006