

UWB (Ultra Wideband)ってな～に？

佐々木重信

新潟大学工学部電気電子工学科

E-mail: kojiro@eng.niigata-u.ac.jp

URL: <http://telecom0.eng.niigata-u.ac.jp/klab/>

内容

- UWB (Ultra Wideband) とは？
- どういう使われ方をするか？？
- 研究・開発・法制化がどう進んでいるか？

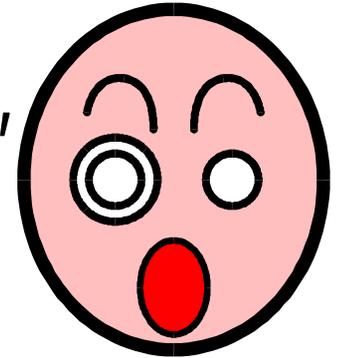
といったことをお話ししたいと思います。

実は . . .

インターネットと、

UWB(Ultra Wideband)技術とは、

「兄弟」 なんです . . .



では、その「生みの親」は??

核兵器

UWBが生まれたきっかけ - 核実験

小林岳彦氏(東京電機大)の電子情報通信学会総合大会UWBパネル討論(2002/3)資料より

- 1962.7.9 米軍が米国ハワイ島南西沖の島の上空で高高度の原爆実験 (Starfishプロジェクト)
 - 高度400kmでTNT換算1.4メガトンの原爆が爆発
 - 2600km離れた地点でも目視できた。
 - オーロラが7分間継続

1300km(!)離れたハワイ島の電力網、電話網、放送局設備などが軒並みダウン

- 原子爆弾が放射した強大な 線により生じたEMP(electromagnetic pulse)が原因
- 送配電網や電話網が巨大な受信アンテナとして働く

この核実験が生み出したもの...

- NEMP(Nuclear Electromagnetic Pulse)の脅威
 - 命中精度の低い弾道ミサイルでも上空で核爆発が起これば、(軍用)通信網にダメージ
- どこか1ヶ所破壊されても、他の通信経路を確保できるような通信網の開発：
 - DARPA(国防高等研究計画庁)が担当
 - 1969: ARPANETが稼動 インターネットへ
- Electromagnetic Pulse(電磁パルス)の研究
 - LLNL(ローレンスリバモア国立研究所), LANL(ロスアラモス国立研究所), NBS(国立標準局)等が担当

Ultra Wideband(UWB)技術

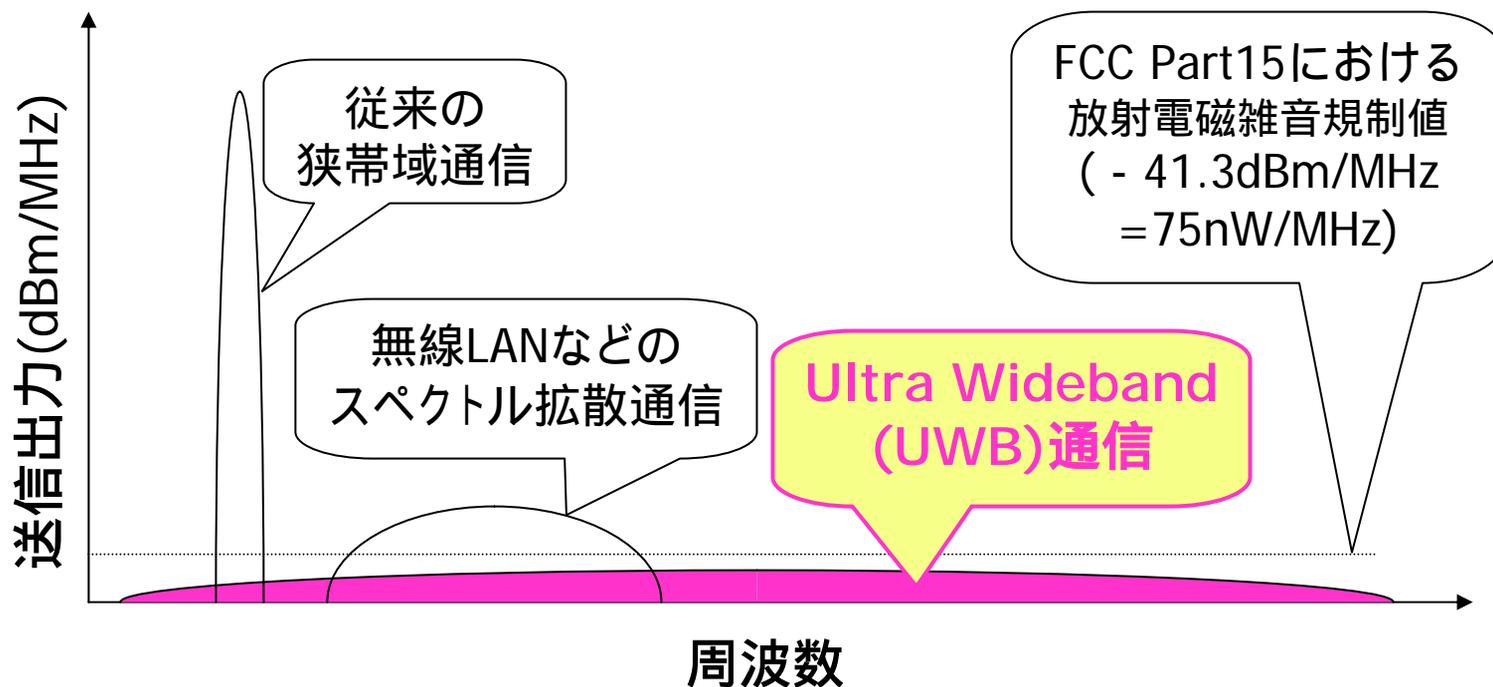
UWB(Ultra Wideband)とは？

- (オリジナルの) Ultra Wideband (UWB) 信号とは . . .
 - インパルス, nonsinusoidal
 - キャリア(搬送波)なし, ベースバンドなどの概念を含む信号
- 1989年ごろまで, Ultra Widebandという名称は使われていなかった。
 - “time-domain electromagnetics”などの用語
- 1994年ごろまでは米国において機密扱い(classified)となっていた。

要は「封印」されていたわけ！

UWBの(物理的)特徴(1)

- 極めて短時間のパルスを利用
 - パルス間隔: 数十ps ~ 数ns
 - キャリヤ変調を用いない
- 放射電力スペクトル密度が極めて低い
 - MHz当りpW単位 ~ 数十nW/MHz程度



UWB(Ultra Wideband)のイメージ図(周波数領域)

UWBの(物理的)特徴(2)

- 比帯域幅が非常に大きい

- 比帯域幅 = (帯域幅)/(中心周波数) or $2(f_H - f_L)/(f_H + f_L)$
(f_H : 信号の最高周波数, f_L : 最低周波数)

- FCCの定義

- 比帯域幅 > 20% (-10dB帯域幅)

- 帯域幅 : 500MHz以上

- DARPAの定義 : 比帯域幅 > 25%

- (参考) 既存システムにおける比帯域幅の例

- AM $9\text{kHz}/530\text{kHz} = 1.7\%$

- cdmaOne $1.25\text{MHz}/800\text{MHz} = 0.15\%$

- W-CDMA $5\text{MHz}/2200\text{MHz} = 0.23\%$

- 無線LAN(IEEE802.11) $22\text{MHz}/2450\text{MHz} = 0.9\%$

UWBの(機能的)特徴

1. 電力スペクトル密度が極めて低い(雑音レベル以下)
既存の通信システムとの共存の可能性
2. 極めて短い(ns単位)のパルスを利用
マルチパスに強い(高いパス分離能力)
高精度測距(数cm単位)が可能
3. キャリヤなし, 信号の放射時間が極めて短い
小型・低消費電力のシステムを構築可能
4. 非常に広い帯域を占有(GHzオーダ)
超高速データ伝送(< 数百Mbps)
既存システムとの相互干渉が不可避

UWB伝送における伝送速度

- Shannon限界

- 誤りなしに伝送できる伝送速度の理論限界

$$C = W \log_2 \left(1 + \frac{P}{N_0 W} \right) \quad (\text{bps})$$

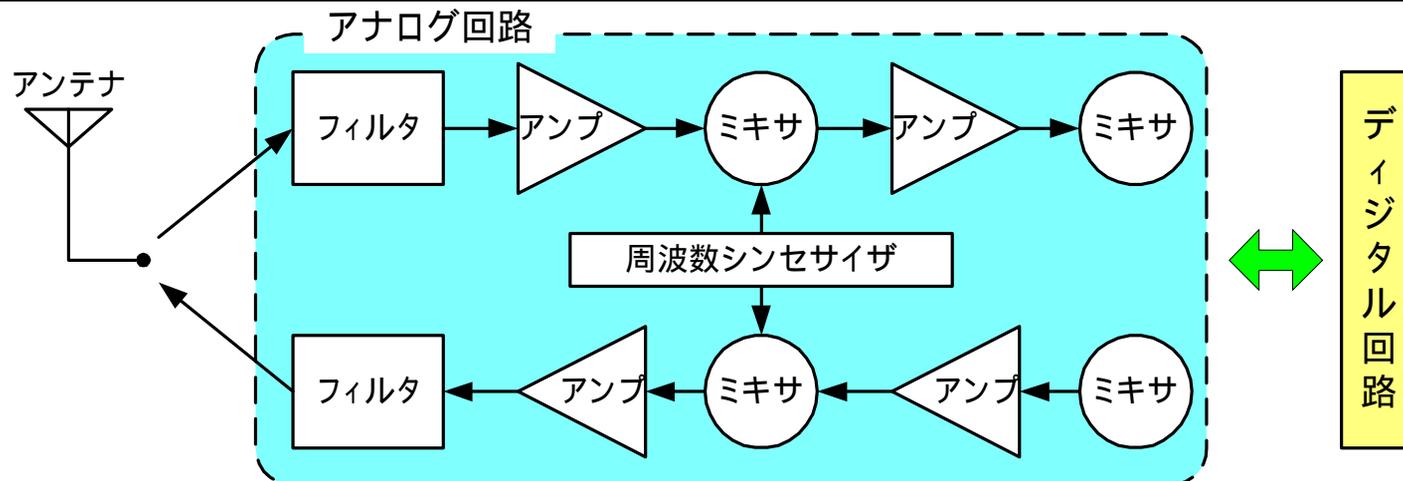
W : 信号の帯域幅(Hz) P : 信号電力(W)

N_0 : 雑音の片側電力スペクトル密度(W/Hz)

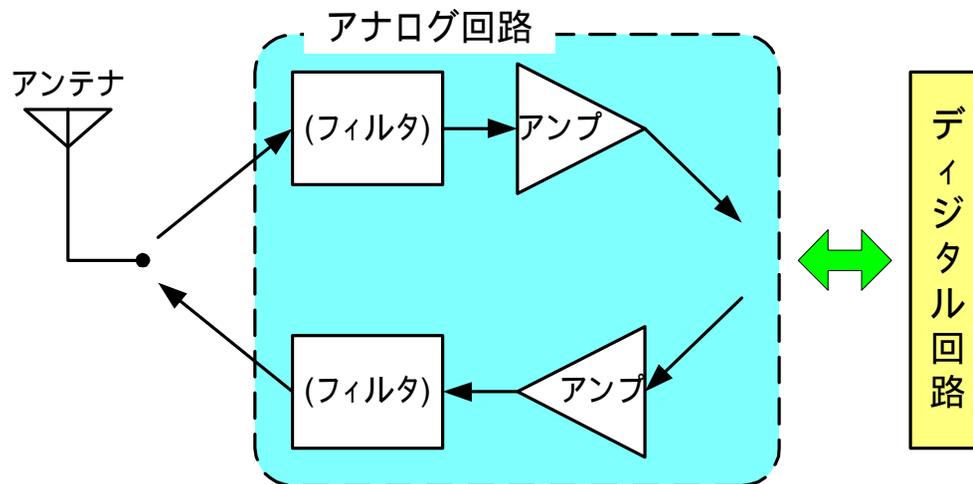
- 帯域幅を増やすか、SN比を大きくすることにより伝送速度を増やすことができる。

- UWBは極めて広い(GHzオーダ)の帯域を占める
数百Mbpsの高速伝送の可能性

アナログ回路部分の簡略化



(a) 一般的な(搬送波を使った)無線通信システム



(b) UWB通信システム

デジタル変調から見たUWB

- UWBはあくまで「物理層」の技術
- 短い(インパルス状)信号を用いる
 - 1 ~ 数サイクルのRFキャリアの場合もある
- データの乗せ方は比較的シンプルなものが用いられている。

[UWBに用いられる変調方式]

- PPM(Pulse Position Modulation)
 - 時間ホッピング (TH)
- Bi-phase Modulation
 - 直接拡散(DS), TH
- PAM(Pulse Amplitude Modulation)

UWBにおける変調の例 (TH/PPM)

$$s_{tr}^{(e)}(t^{(e)}) = \sum_{j=-\infty}^{\infty} w_{tr} \left(t^{(e)} - \underbrace{jT_f}_{\text{パルス反復時間}} - \underbrace{c_j^{(e)} T_c}_{\text{THのチップ長}} - \underbrace{\delta D_j^{(e)}}_{\text{データによるシフト時間}} \right) D_j = (1, 1, 0, 1, 0, 1, \Lambda)$$

パルス波形

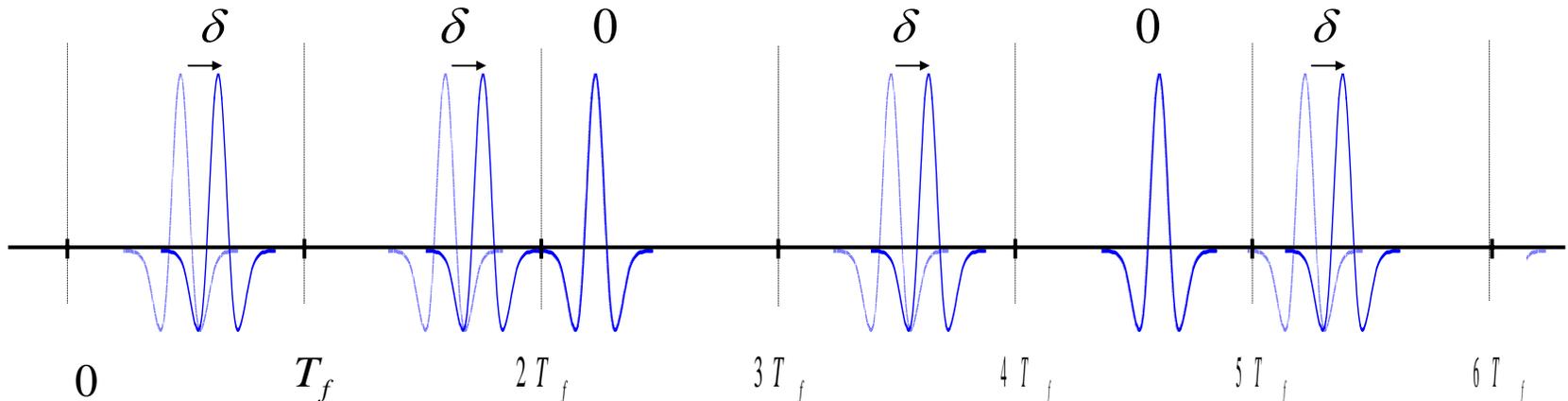
パルス反復時間

THのチップ長

送信データ

データによるシフト時間

各ユーザに固有のTHパターン

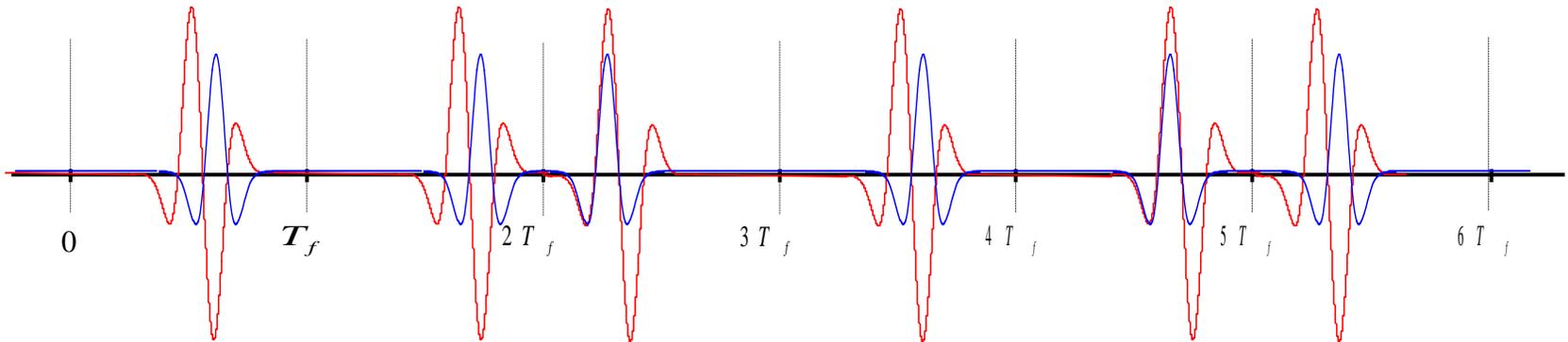


(出典) M. Z. Win and R. A. Scholtz, "Ultra-Wide Bandwidth Time-Hopping Spread-Spectrum Impulse Radio for Wireless Multiple-Access Communications," *IEEE Trans. Commun.*, Vol. 48, No.4, pp. 679-691, Apr. 2000

TH/PPMにおける復調例

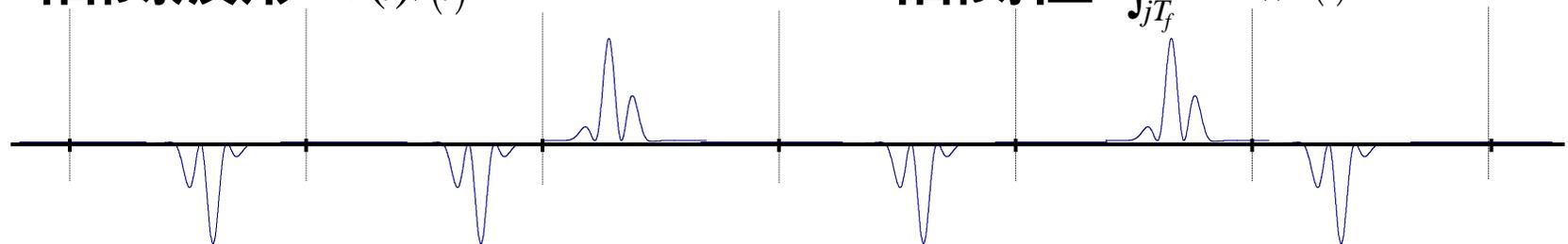
テンプレート波形 $v(t)$

受信波形 $r(t)$



相関波形 $r(t)v(t)$

相関値 $\int_{jT_f}^{(j+1)T_f} r(t)v(t)dt$



マイナス

マイナス

プラス

マイナス

プラス

マイナス

-

-

+

-

+

-



1

1

0

1

0

1

米国におけるUWBの規制緩和

1998/08	FCC(連邦通信委員会)がUWBを規制緩和するための意見募集(NOI)を開始
2000/05/	FCCがUWBの規制緩和に関する提案書(NPRM)を出した。
2001/01/18	NTIAがGPS以外のFederal Government SystemsへのUWBシステムの影響に関する試験結果を公表
2001/02/28	NTIAがGPS受信機へのUWBシステムの影響に関する試験結果を公表
2001/12	FCCの会議においてUWBの規制緩和が議題として予定されていた(直前に議題から削除された)
2002/02/14	FCCがUWBの規制緩和に踏み切る(First Report & Order) (2002/04/22にリリースされた) (「控えめな」規制緩和 - 今後更に規制の緩和を検討)

UWBに関する規制(米FCC)

- Communication and Measurement Systems
 - 周波数帯: 3.1GHz - 10.6GHz
 - 室内: Peer-to-peer型の通信に限定
- Imaging Systems
 - 地中探査用レーダ, 壁の内部探査用, 医療用, セキュリティ用途など(利用者制限あり)
 - 960MHz以下, 1.99GHz or 3.1GHz - 10.6GHz
- Vehicular Radar Systems
 - 自動車の衝突防止用レーダなど
 - 中心周波数が24.075GHz以上

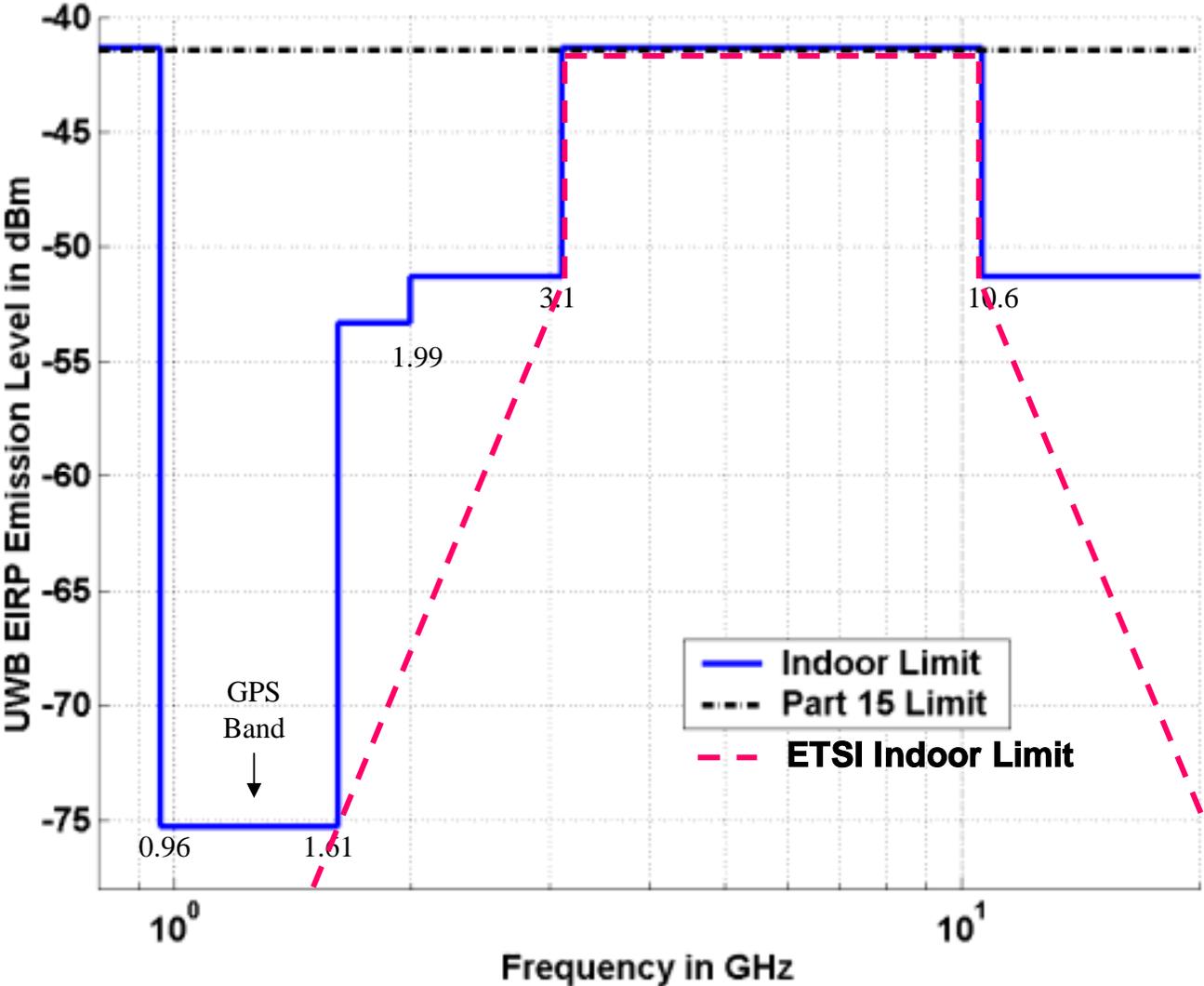
欧州における動向(1)

- CEPT(European Conference of Postal and Telecommunications Administrations)
ERC(European Radiocommunications Committee)
 - UWBの利用に必要な法規制の整備
 - 短長距離のレーダ, センサへの応用
 - CEPT European Radiocommunications Committee Workshop (2001/03/20)
 - 第2回のWorkshop(2002/04/11)
 - UWB技術の利用に向けて、技術開発動向と法規制の動向の情報交換が行われた。
 - CEPT SE(Spectrum Engineering Work Group)21およびSE24が作業中
 - 適切な干渉のシナリオ, および信号の伝搬損失モデル
 - UWBデバイスにより生じる干渉のマージン

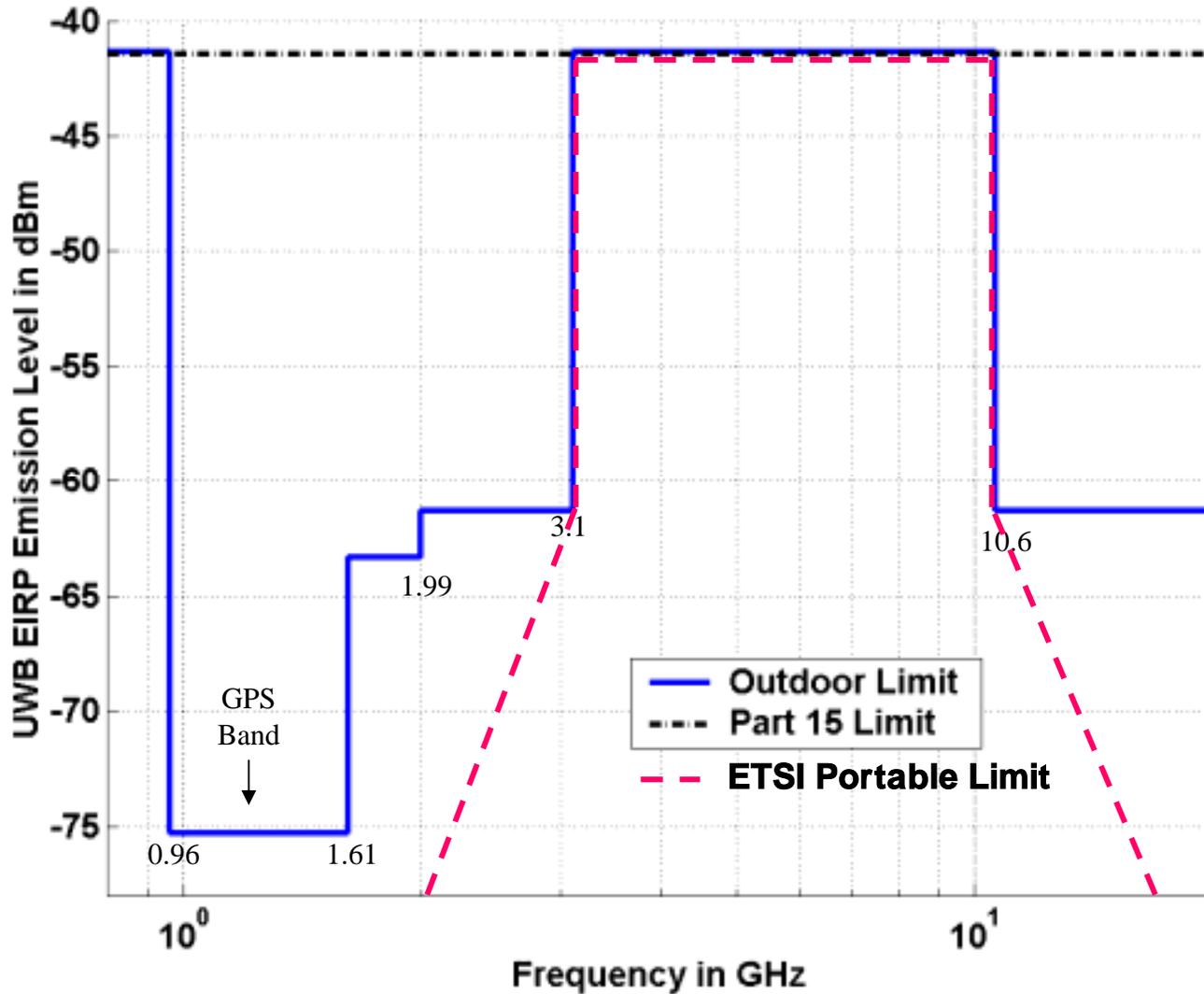
欧州における動向(2)

- ETSI TG31aが標準化を検討
 - パラメータの定義、測定法、制約条件の策定
 - ECC/CEPTと強調して作業
- ETSI における標準化内容
 - SRD(Short Range Devices) が主な対象
 - IndoorおよびOutdoor(pending)での通信など
 - 送信機における放射スペクトルのみを規定
 - 放射スペクトルマスクの条件を満たしてさえいけば, UWBシステムの実装方法は特に制限しない。
- 標準化スケジュール
 - 4Q/2003にETSI標準をリリース(予定)

UWB Emission Limit for Indoor Systems



UWB Emission Limit for Outdoor Hand-held Systems



その他のUWBの規制緩和動向

- 日本

- 総務省：情報通信審議会にUWBシステム利用の技術的条件について諮問(2002/9/30)
 - 2004/3月頃に一部答申を出す予定
- UWB無線設備に対する実験局免許の交付をスタート(2003/4月頃～)

- 韓国

- 情報通信省がUWBの規制緩和を検討中

- シンガポール

- IDA (Infocomm Development Authority)がScience Park内に“UWB Friendly Zone”を設置(2003年2月)
 - 2.2 ~ 10.6GHzの帯域
 - 放射電力の上限: - 35dBm/MHz

UWB技術の研究開発動向

- UWBに関する国際会議の開催(2002年頃～)
 - Joint UWBST/IWUWBS 2004 : 京都(2004/5/18-21)
- UWBの無線PANへの応用・標準化
 - IEEE 802.15 TG3a
 - IEEE 802.15 SG4a
- 欧州におけるUWB関係プロジェクト
 - UCAN, ULTRAWAVES, PULSERS, ほか
- 日本における研究開発プロジェクト
 - 通信総合研究所(CRL)-UWBコンソーシアム
 - メーカーと共同で理論解析から技術開発まで
 - テスト・ベッドの構築, 伝送特性の評価, 他の無線への干渉実験

UWBと無線PANの標準化(米国)

IEEE 802.15 [無線PAN(Personal Area Network)]

- 802.15.1[Bluetooth]
- 802.15.2[Coexistence]
- 802.15.3[High Rate]—802.15.3a[Alternative PHY]
 - 近距離での100Mbps以上の無線伝送
- 802.15.4[Low Rate]
 - データ速度: 250 kbps, 40 kbps, and 20 kbps.
 - ロケーション機能を有する
 - 低送信出力, 低消費電力, 到達距離75m(屋内), 200+m(自由空間)
- 802.15.5?[Mesh Topology Network]

無線PAN(802.15)と無線LAN(802.11)

- 802.15

- コネクションオリエンテッド, 帯域保証あり
 - プロトコルタイプ: TDMA (802.11はCSMA)
- アドホックネットワークむけ (アクセスポイントなし)
- MAC層の構造上, 80%の時間をデータ伝送に利用できる (802.15.3:802.11は約40%)

- 802.11(a/b/g/n)

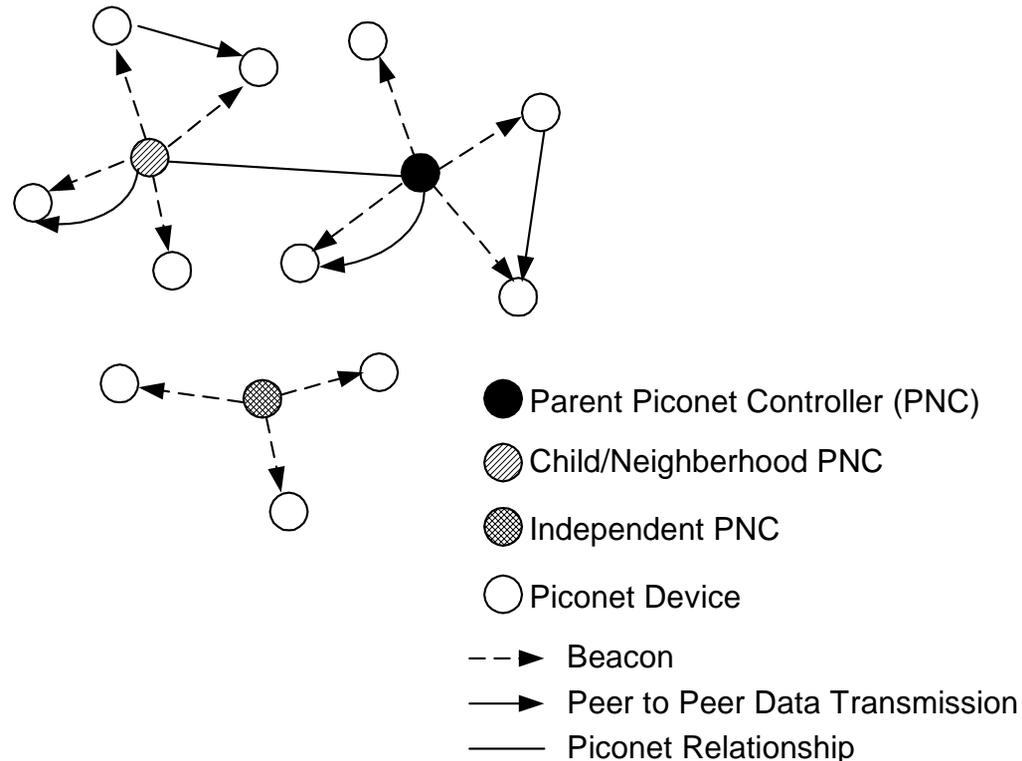
- コネクションレス, 本質的なQoSはサポートしていない
- LAN向け。マルチメディア用途には必ずしも向いていない
 - 現状の802.11:78Mbps以上はサポートできない(a/b/g)
 - Multistreamingのサポートが困難

IEEE802.15 TG3aにおける主な技術仕様の要求条件

項目	要求条件
伝送速度 (伝送距離)	110Mbps(10m以上), 200Mbps(4m以上) 480Mbps(規定なし)
ビット誤り率	アプリケーションに依存(1024 octetのパケット誤り率: 8%) (例)動画伝送: 10^{-9} , Wireless USB: 10^{-12}
消費電力	100mW以下(110Mbps伝送時), 250mW以下(200Mbps伝送時) 待機時モードを備えること
接続台数	最大256台(1ピコネットワークあたり) 4つの独立したピコネットを収容できること
他の無線方式との共存 (())内は関連する業界団体の規格を示す)	IEEE802.11a/b (Wi-Fi), IEEE802.15.1 (Bluetooth) IEEE802.15.3 (WiMedia), IEEE802.15.4 (ZigBee) コードレス電話, 携帯電話, GPS など 2.4GHzおよび5GHz帯を利用する通信システムとの共存が可能なこと
MAC方式	IEEE802.15.3対応
位置測定機能	備えていること

IEEE802.15.3aで想定する「ピコネット」

- 図1の中で、PNCはピコネットデバイスに基本となるタイミングを Beaconにより供給
- Parent と Child/Neighborhood ピコネットは共通のチャンネルを共有
- Independentピコネットは他のピコネットと独立に動作し、異なるチャンネルを用いるか、他のピコネットから十分離れたところにある。
- Child PNCはParent PNCとデータをやりとりすることができる。



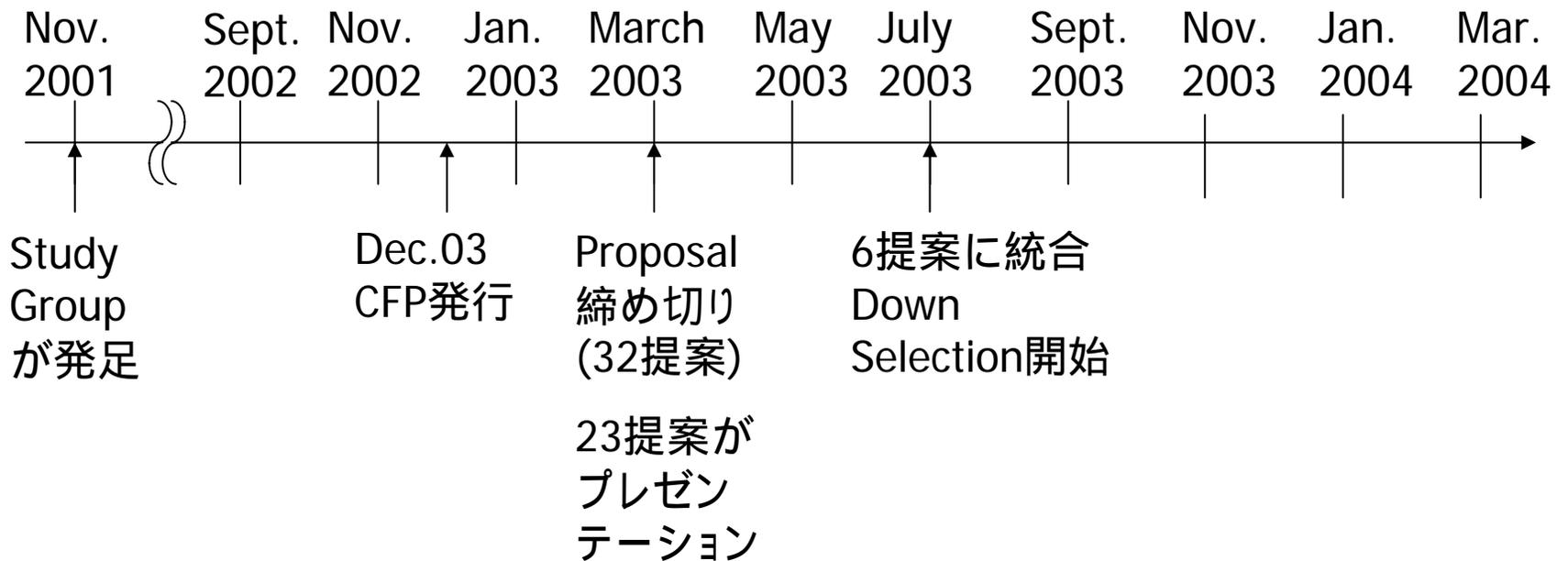
ピコネットデバイスは他のピコネットの存在をモニタし、

- 存在するピコネットと協調する
- 新たにchildやneighborhoodピコネット、Independentピコネットを作るかを、Hostコントローラからの指示や他のピコネットの存在にしたがって決める。

「ピコネット」とUWB

- 「ピコネット」に関するIEEE802.15.3aの技術条件
 - 少なくとも4つの独立したピコネットが存在できるように
 - 非同期の多元接続 (multiple access) が必須
CDMAかFDMAの実装が必要
- マルチバンド方式の登場
 - シングルパルス型のUWB・・・CDMAのみ
 - マルチバンド型のUWB・・・CDMAとFDMAが可能
 - 変調のオプションが増加
 - 非同期CDMAで生じる「遠近問題」を回避しやすい

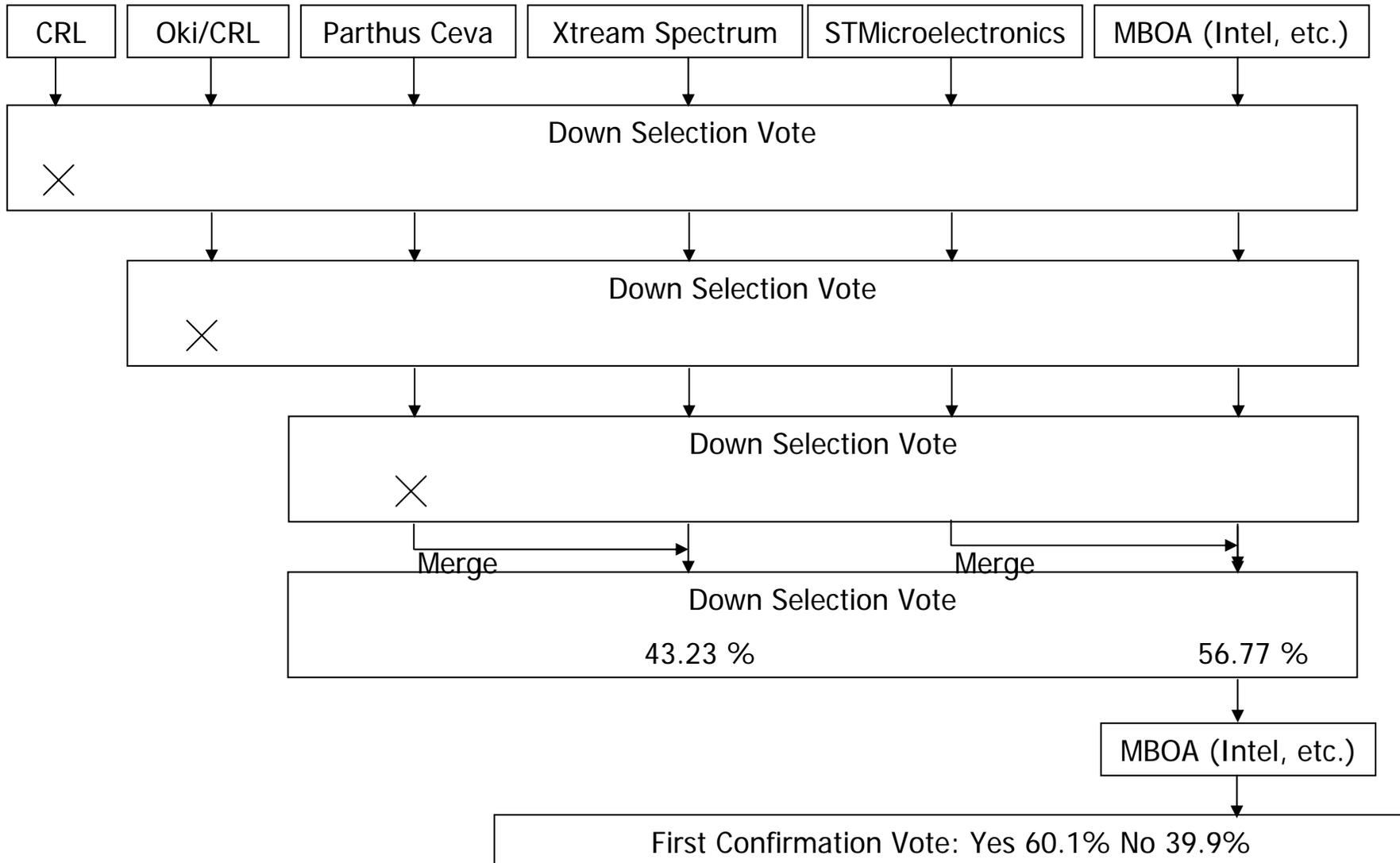
IEEE802.15TG3aの標準化作業経過



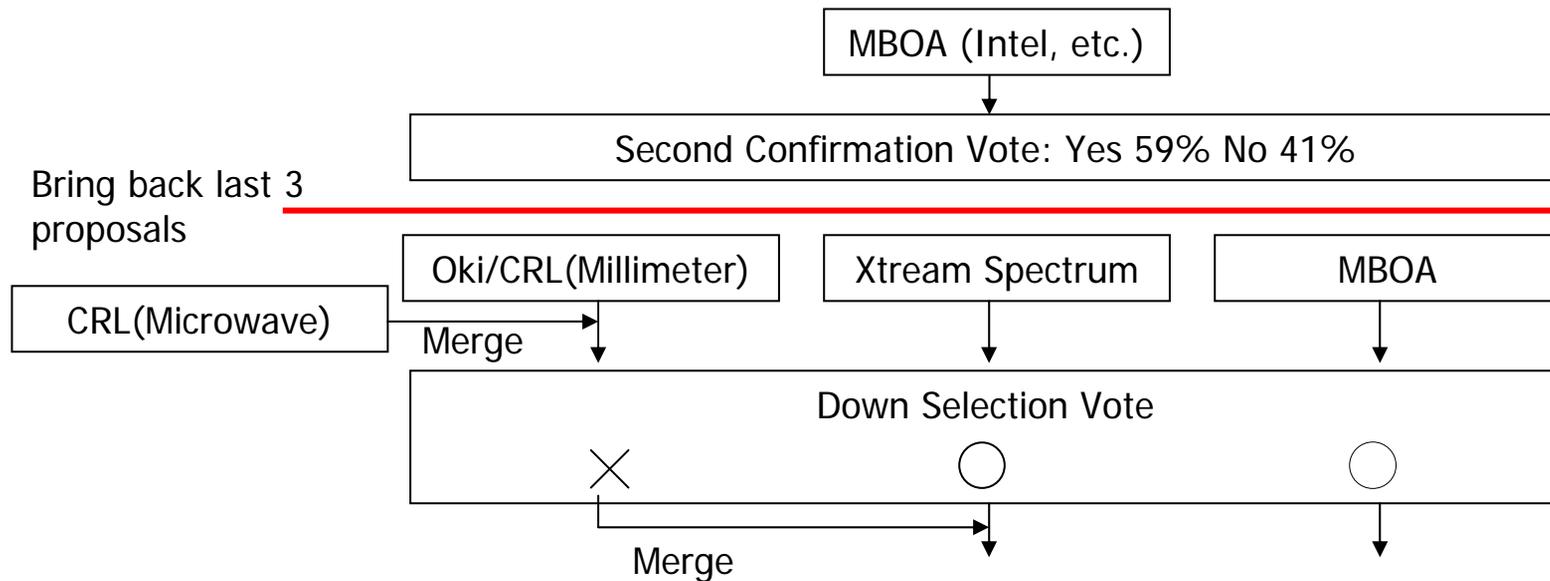
投票の方法

- 投票により生き残らなかった提案同士のMergeは禁止
- すべての提案が60分間プレゼンテーションされ投票
- 最初の投票により上位6つもしくは20%の得票率を持つ提案以外を削除
- 2回目以降60分間のプレゼンテーションの後投票を行い、最下位の提案を削除
- 最後の1つの提案に対して確認の投票を行い75%以上の得票にてドラフト案とする。
- 75%の得票に達しない場合には削除された上位2つの提案を加え3つの提案で再度プレゼンテーション及び投票を行う。

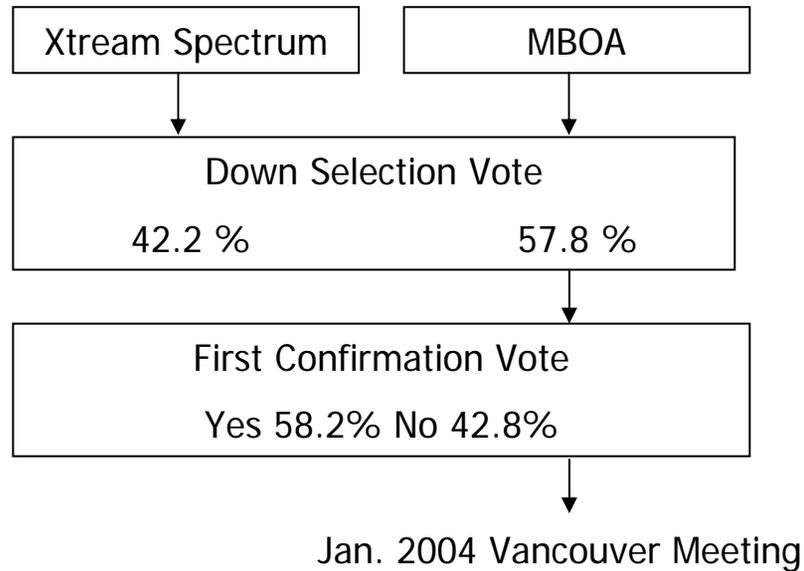
7月会合@San Francisco



9月会合@Singapore



11月会合@Albuquerque



今後の動向

- 次回のIEEE802.15会合
 - 2004.1.12-16@Vancouver(Canada)
- 2方式の比較
 - Ad hocグループが発足
 - 11月会合にて中間報告(2方式を評価中)
- 標準化動向
 - 2つの方式が歩み寄るか？
(IntelとMotorolaが話し合いを始めたという情報)
 - 2方式の採用か？
 - 無限ループか？
- 商品化動向
 - 2004年4Qから？
 - 本格的普及は2006年以降？

UWBの応用ターゲット

- 通信

- データ速度: 低速 (数十kbps) ~ 超高速 (数百Mbps)
- 通信範囲: 数m程度 (~ 5m)
- “The 3rd generation” Bluetooth ?
無線PAN (Personal area network) ^
- Wireless USB (Universal serial bus) 2.0 (Intel)
 - Data rate: 480Mbps (USB 2.0)

- レーダ, センサ

- 軍事用途
- 警察・消防向け (スルーウォール・センサなど)
- 高精度測距 (衝突防止センサなど) など...

UWBと既存システムとの干渉

- UWBは極めて広い帯域を占有するため、既存の通信システムなどとの相互干渉は避けられない問題
- 考慮すべき問題
 - UWBシステムから既存通信システムへの干渉
 - UWB信号:インパルス状の信号
スパイク雑音
 - UWB信号を通常の(連続性)雑音と同様に取り扱えるか? 取り扱えるならその基準は?
 - 既存(狭帯域)通信からUWBシステムへの干渉
 - SS通信における狭帯域干渉の問題と同様
 - (潜在的に)干渉する信号が極めて多い

実現上の課題

- ネットは「超広帯域をカバーする」こと
 - 数百MHzから数GHzの帯域幅
 - マルチバンド方式：複数GHzオーダの正弦波を発生
 - アンテナ：小型，広帯域のアンテナ？？
 - 国内：UWB用アンテナの試作（東京電機大）
 - 太陽誘電：UWB向け小型アンテナ
 - マルチバンド伝送用（米General Atomicsと共同で実験）
 - IEEE802.15.3aでアンテナ関係の技術提案
- 方式の標準化は急速に進んでいる
- 実現にはなお多くのハードル
 - 発振器，ミキサ，増幅器，A/D・D/A変換器など

まとめ

- UWB技術は、
 - 高性能測位、超高精度レーダ, センサ
 - 無線PANにおける高速データ伝送などに有望な技術
 - ポテンシャルの高い技術である反面、課題も多い
- UWB技術の利用
 - 既存の通信信号との「共存」が不可欠
 - これまでの「住み分け」の周波数割り当ては事実上不可能
 - 「共存」が可能か？ どうすれば「共存」できるか？ については今後更に検討が必要
- UWB: 方式, デバイスともに要求レベルが高い
 - デバイスで実現できる範囲で, デバイスで避けられない問題(ジッタなど)を如何に方式設計でカバーするか??

参考文献

1. Federal Communications Commission, “*In the matter of Revision of Part 15 of the Commission’s Rules Regarding Ultra-Wideband Transmission Systems,*” *First Report and Order in ET Docket 98-153*, Apr. 2002
2. <http://www.multispectral.com/UWBFAQ.html>
3. 小林岳彦, 幸谷 智:”UWBワイヤレスシステムの研究開発動向”, 電子情報通信学会論文誌, vol. J86 -A, No. 12, pp. 1264 - 1273, 2003年12月
4. 河野隆二:”Ultra Wideband (UWB)無線技術の研究開発に関する産官学連携と無線PANの標準化への貢献”, 電子情報通信学会論文誌, vol. J86 -A, No. 12, pp. 1274 - 1283, 2003年12月
5. 「産声を上げる無線の革命児『Ultra Wideband』」, 日経エレクトロニクス, 2002年3月11日号, pp.55 - 66, 2002年3月
6. 「究極の無線通信」, 日経バイト, 第230号, pp.76 - 93, 2002年7月
7. 「UWB 日本上陸」, 日経エレクトロニクス, 2003年2月17日号, 2003年2月
8. IEEE802.15 TG3aウェブサイト
<http://www.ieee802.org/15/pub/TG3a.html>
9. WiMedia Alliance ウェブサイト <http://www.wimedia.org>
10. ULTRAWAVES ウェブサイト <http://www.ultrawaves.org/>
11. UCAN ウェブサイト <http://www.ucan.biz/>
12. Whyless.com ウェブサイト <http://www.whyless.org/>
13. PULSERS ウェブサイト <http://www.pulsers.net/>
14. D. Porcino, W. Hirt, “Ultra - Wideband Radio Technology: Potential and Challenges Ahead,” *IEEE Commun. Mag.*, July 2003, pp. 2 - 11

參考資料

UWB関係デバイス

- Multispectral Solutions, Inc.
 - UWB関連機器 (警察や軍用レーダ, センサなど)
- Time Domain, Corp.
 - UWBチップセットを開発中 (警察や軍用レーダ, 家電機器など)
 - RadarVision (ハンドヘルド型のスルーウォール検出器) を2003年初め頃にリリース (law enforcement agencies向け)
 - 有効距離 : 30 feet以内
 - 送信電力 : 50 microwatts
- XtremeSpectrum, Inc.
 - 高速無線伝送用UWBチップセット(Trinity)を発表(2002/6)
 - 100Mbps(20m)の伝送速度
 - 2003年中ごろの商品化を予定



Trinity chipset(XtremeSpectrum社)

- リリース: 2002/6/24
- 構成と仕様
 - (http://www.xtremespectrum.com/xsl_trinity_brief.pdf)
 - 低雑音増幅器LNA(SiGe), RF,Baseband,MAC(CMOS)の4種のチップで構成
 - 主な特徴と仕様(右表を参照)
 - 2003年中ごろのリリースを予定
 - 予定価格\$19.95 (10万個以上)
- UWB伝送装置を試作
 - HDTV信号の伝送実験
- 本チップセットを用いたUWBモジュールを太陽誘電と共同開発中

TRINITY Chipset の仕様

周波数帯	3.1-10.6 GHz
MAC Protocol	IEEE 802.15.3
ネットワーク	Peer-to peer, Ad Hoc, Piconet (8 nodes)
Encoding	Bi-phase Mono-cycle
Coding Rates	1, 3/4, 1/2
データ速度	25, 50, 75 and 100 Mbps
消費電力	200 mW
Bit Error Rate	10 ⁻⁹
Range	10 meters
動作温度範囲	0 – 70 °
動作湿度範囲	0-95 % (結露しないこと)

UWB関係デバイス(2)

- Aether Wire & Location, Inc.
 - 距離測定, 無線タグ用UWBチップ, モジュールを開発中
- Intel Corp. (<http://www.intel.com>)
 - 無線版USB2.0などをターゲットにUWBシステムを試作中
 - 2002年2月のIDF(Intel Developer's Forum)でUWBの試作機を公開
 - 100Mビット/秒でデータを転送(送信出力は160 μ W程度)
- Picosecond Pulse Labs (<http://www.picosecond.com/>)
 - 高速なパルス発生器を発表
 - Falltime: 5 ps 未満(10 ps)(パルス電圧-5 V).
 - high-speed oscilloscopes
 - impulse ultrawideband(UWB) radar 等への応用

UWB関係デバイス(3)

- 太陽誘電

- UWB向け小型アンテナを開発

- 10mm × 8mm , 厚さ1mm

- 米General Atomics社と共同で伝送実験

- シングルバンド , マルチバンド両方の波形を対象

- アンテナ利得として-3dBiは見込まなければならないか

- (多くの場合 , アンテナ利得を0dBiとしてlink budgetを算出)