

超広帯域 (UWB) ワイヤレスシステムの研究 (0212011)

A Study of Ultra Wideband Wireless Systems

小林 岳彦 東京電機大学工学部
Takehiko Kobayashi, Tokyo Denki University

幸谷 智 東京電機大学工学部
Satoshi Kouya, Tokyo Denki University

研究期間 平成 14 年度～平成 16 年度

概要 UWB(ultra wideband)技術は超高速通信や高精度測位に活用できるとともに、実質的に新たなスペクトル資源を開拓するものとして期待されているが、UWBの伝搬特性やUWBシステムとスペクトルを共有する既存のワイヤレスシステムへの干渉は十分に検討されているとは言い難い。本研究開発課題では、チャンネルサウンダシステムを試作して電波伝搬特性の実測およびモデル化を行うとともに、UWBワイヤレスシステムから既存の狭帯域ワイヤレスシステムへの干渉の影響について実験およびシミュレーションにより定量的評価を行った。また実験に利用するための要素技術として、UWB信号源、UWBで低VSWRを実現した無指向性アンテナや、UWB人体電磁ファントム材料などを開発した。

Abstract Ultra wideband (UWB) technologies have been developed to exploit a substantially new spectrum resource and to realize ultra-high-speed communication, high precision radar, and other sensing systems. Propagation characterization of UWB signals and electromagnetic compatibility between UWB systems and incumbent narrowband systems are of prime importance to accommodate such applications. Experimental and numerical studies were carried out in terms of UWB propagation and interferences from UWB sources to narrowband digital transmission systems. Efforts were also made to develop elementary UWB technologies, such as four types of UWB signal sources, an omnidirectional, low-VSWR UWB antenna, and solid and liquid UWB electromagnetic human phantom materials.

1. 研究内容

UWBによる超高速伝送や超高分解能測位の基礎となる、UWB要素技術の開発、電波伝搬特性の解明および電磁環境両立性の定量的評価を目的として、

- UWB波源、UWBアンテナなどのハードウェア要素技術の開発
- マイクロ波帯 UWB 時空間チャンネルサウンダシステムの試作、およびこのチャンネルサウンダを用いた屋内および屋外における電波伝搬特性の実測およびモデル化、ならびに
- 既存の狭帯域ワイヤレスシステムに対する干渉の定量的評価（シミュレーションおよび実験）

を行った。

2. 研究成果

2.1 UWB ハードウェア要素技術の開発および UWB 実験局免許取得

UWB波源 ①ステップリカバリダイオード2個を用いたインパルスラジオ波源、②ガリウム砒素ECLデバイスによって発生させた2 Gchip/sの擬似雑音系列を用いる直接拡散UWB波源、および③IEEE 802.15.3a（高速WPAN）において標準化提案されているMB-OFDMおよびDS-CDMA方式の信号および白色ガウス雑音（任意波形ジェネレータを用いて発生）などの、各種UWB波源を開発し、実験に供した。また、これらのハードウェアを用いて、国内の大学・研究機関として初めてUWB実験局免許を取得した。

水平面内無指向性・低VSWRアンテナ モノポールアンテナの形状とパラメータを最適化し、水平面内無指向性で3～20 GHzまでの帯域でVSWR < 1.3のアンテナを実現した（図1）。この性能は、現時点でも世界のトップデータである。



図1 水平面内無指向性・低VSWR UWBアンテナ

UWB over fiber伝送システム 損失の大きい高周波同軸ケーブルと比べてUWB信号の長距離伝送が可能なUWB over fiber伝送システム（上限周波数11 GHz）を開発した。

高感度インパルスラジオ受信回路 トンネルダイオードとバックダイオードを組合せた高感度受信回路を開発した。

UWB人体電磁ファントム材料 複素誘電率の誤差の影響を数値的に見積もった上で、材料組成を探索的に変えて、周波数帯域3.1～10.6 GHzにおいて人体の電気的特性を模擬する液体および固体材料を開発した。

2.2 UWB 電波伝搬の研究

UWB 時空間チャンネルサウンダの開発 モノパルスアンテナとベクトルネットワークアナライザを組合わせた時空間チャンネルサウンダおよび到来方向推定のための信号処理技術を考案し、その性能を実験的に評価した。周波数3.1～10.6 GHzを用いて、時間分解能0.2 ns以下、空間分解能4°以下を実現した。

地表反射波が存在する場合のUWB伝搬損失 直接波および地表反射波が存在する場合に、任意帯域幅のUWB信号の伝

搬損失を求める計算式を提案し、室内実験によりその妥当性を検証した。[国際標準化寄与文書 1 件]

机上環境における UWB 伝搬特性 無線 LAN や PAN (パーソナルエリアネットワーク) 等が使用される机上環境における UWB 伝搬特性の実測およびシミュレーションを行った。その結果、UWB システムでは狭帯域システムに比べて、波形歪は避けられないもののフェージングマージンを小さくできる (周波数ダイバーシティメカニズムがシステムにビルトインされている) ことを明らかにした。また、伝搬路が腕、茶器、紙束などで遮蔽された場合の付加損失を実測した。

BAN (ボディエリアネットワーク) を想定した人体近傍での UWB 伝搬測定 アンテナが人体近傍に設置された場合の放射特性の変化、および送受信アンテナがともに人体直近に置かれた場合の伝搬特性を実測した。この場合にも、狭帯域システムよりもフェージングマージンを小さくできること、すなわち Bluetooth や無線 LAN のような狭帯域システムよりも回線設計上有利になることを明らかにした。

2.3 UWB ワイヤレスシステムから狭帯域ワイヤレスシステムへの干渉の定量的評価

実験による評価 MB-OFDM および DS-SS-CDMA 信号、ならびに直接拡散 UWB 信号および白色ガウス雑音(AWGN)の 4 種類の UWB 信号をハード的に実現し、UWB 信号源の干渉下における狭帯域デジタル無線伝送システム (変調方式は $\pi/4$ シフト DQPSK 変調、フェージングなし、誤り訂正なし) の平均ビット誤り率を実験的に評価した。その結果、UWB 信号源の種類によって、干渉の影響が異なることが判明した。例えば、DS-SS-CDMA および直接拡散 UWB 信号源と AWGN の BER 特性の劣化はほぼ同じであるのに対し、MB-OFDM では 3.2 MHz おきに発生するピーク間の谷間において、AWGN 波源と比較して、同じ BER を与える D/U (所望信号対非所望信号電力比) が 5 dB 程度劣化することを明らかにした。このピークと谷の間には 20 dB 以上のレベル差があるから、UWB 信号源が被干渉システムのアンテナから一定の距離にあると仮定すると、3.2 MHz おきに発生するピーク周波数では影響が大きくなる可能性がある。

シミュレーションによる評価 帯域の広い UWB 信号の影響を、従来広く用いられている等価低域系法によって評価するのはきわめて困難であることが明らかになった。そこで、UWB 信号および被干渉信号の周波数を UWB 信号の中心周波数だけ DC 側にずらす擬似等価低域系を考案し、低いサンプリングレートでのシミュレーションを可能にした。上記と同じ 4 種類の UWB 信号を干渉信号として、狭帯域システム (フェージングなし、誤り訂正なし) に印加し、平均ビット誤り率を計算した。シミュレーション結果は、実験結果と同様の傾向を示したが、細部にわたっては一致していない。これは、シミュレーションに用いるのが理想受信機であるのに対し、実際の受信回路は非線形特性を持っているためである。被干渉信号の帯域幅で観測した干渉信号の振幅確率密度関数が非ガウスであるときに、干渉の影響が白色ガウス雑音と異なることを明らかにした。

誌上 (または同等の) 発表リスト

- [1] 小林岳彦, 幸谷 智, “UWB ワイヤレスシステムの研究開発動向 (招待論文),” 信学論 (A), vol. J86-A, no. 12, pp. 1264-1273, 2003 年 12 月. 被引用度数: 不明
- [2] 小林岳彦, “UWB ワイヤレス技術,” 中嶋信生編「次世代ワイヤレス技術」所収, 丸善, 東京, 2004 年 3 月. 被引用度数: 不明
- [3] Y. Suzuki and T. Kobayashi, “Ultra wideband signal propagation in desktop environments,” IEICE Trans. Fundamentals, vol. E88-A, no.10, 2005, to be published. 被引用度数: 未詳

申請特許リスト

- [1] 小林岳彦, 谷口琢也, アンテナ装置、申請国 日本、特開 2004-129209、出願日 2003 年 6 月 2 日
- [2] 小林岳彦, 鈴木克征, 信号到来方向推定装置及び信号到来方向推定方法、申請国 日本、特願 2003-372028、出願日 2003 年 10 月 31 日
- [3] 小林岳彦, 富木淳史, 超広帯域パルス受信回路、申請国 日本、特願 2004-314444、出願日 2004 年 10 月 28 日
他 2 申請

受賞リスト

- [1] 鈴木克征, 東京電機大学経営同友会第 1 回 TDU アイディア・コンテスト最優秀賞, “超広帯域 (UWB) 信号の到来方向推定法,” 2003 年 11 月 3 日.
- [2] 富木淳史, 社団法人電子情報通信学会 学術奨励賞、2004 年 3 月 23 日.
- [3] 小林岳彦, 谷口琢也, 東京電機大学学術振興基金発明賞, “アンテナ装置,” 2005 年 1 月 7 日.
他 2 件受賞

報道発表リスト

- [1] “東京電機大, UWB 無線局免許取得,” 日刊工業新聞、日本工業新聞、電波新聞、電波タイムズ、日経エレクトロニクスオンライン、news@nifty、2003 年 6 月 2 日
- [2] “東京電機大, UWB 高性能アンテナを開発,” 日刊工業新聞、日経産業新聞、電波新聞、電磁環境工学情報 EMC、電波受験界、日経エレクトロニクス、2003 年 6 月 23 日

ホームページによる情報提供

URL <http://www.wsl.c.dendai.ac.jp/>