

ふりがな	らはまん もはめつど あじずる
氏名	Rahman, Mohammad Azizur
学位	博士(工学)
学位記番号	新大院博(工)第281号
学位授与の日付	平成20年3月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
博士論文名	Performance Analysis of Low-duty Ultra-Wideband Wireless Communication Systems (低デューティ比ウルトラワイドバンド無線通信システムの性能解析)

論文審査委員	主査	准教授	佐々木重信
	副査	教授	菊池久和
	副査	教授	仙石正和
	副査	教授	間瀬憲一
	副査	准教授	村松正吾

#### 博士論文の要旨

近年、ウルトラワイドバンド(UWB)技術は短期無線通信のための最も有望な技術の1つとして認識されてきている。UWBは無線パーソナルエリアネットワーク(WPAN)規格のための物理(PHY)層の技術としてIEEE802.15作業部会において検討されてきている。周波数帯を「超広帯域」にすることにより、

- 1) データ信号速度が平均電力スペクトル密度(PSD)の規制の下で帯域幅に比例して増加する
  - 2) 既存無線システムとのオーバーレイを前提として、特定の帯域で低い送信電力レベルを保ちながら全体として十分な送信電力を確保できる
- などのメリットが得られる。

UWB技術は直接拡散符号分割多重接続(DS-CDMA)のような従来の通信系が連続的に信号を送信するのとは異なり、低デューティサイクルで間欠的に信号を送信する。UWBを用いた多元接続システムは従来のDS-CDMAにおいて各チップのデューティ比を下げることで得られる。さらに各チップにおけるパルスの位置をランダム化することにより、ハイブリッドDS/TH(直接拡散/時間ホッピング)-CDMAシステムという新しいオプションを提供する。ランダム系列を使用する従来のDS-CDMA(デューティ比=1)における誤り率解析はこれまでに数多く検討されている。MorrowとLehnertは複数のアクセス干渉の解析に用いられる標準のガウス近似(SGA)が性能を楽観的に推定することを示し、より多くの計算量で正確な性能推定を行う改良ガウス近似(IGA)を提案した。その後、HoltzmanはSGAに匹敵する計算量で高精度な誤り率推定を可能にする簡易型改良ガウス近似(SIGA)を提案した。しかしながら低デューティ比のDS-CDMAやDS/TH-CDMAについてはこれまでに誤り率解析の理論が確立していないのが現状である。

本研究では、このような状況を踏まえ、UWB無線伝送で想定される低デューティ比のCDMA信号における多元接続性能を簡易かつ正確に推定するための理論の構築を目的として研究を行った。

第1章では、前述した本研究の背景、および本研究の位置づけについて述べている。

第2章では、加法的白色ガウス雑音(AWGN)のみの通信路を想定した場合の低デューティ比 DS-CDMA とハイブリッド DS/TH-CDMA システムの誤り率解析について述べている。ここではまず低デューティ比の DS-CDMA システムにおいては、簡単な性能推定法である SGA が正確でないことを示している。また、SIGA を用いて干渉を近似した場合の低デューティ比 DS-CDMA とハイブリッド DS/TH-CDMA システムの誤り率特性を解析し、SGA に比べて正確な誤り率の推定が可能であることを見出した。特にハイブリッド DS/TH-CDMA の場合、システムパラメータの違いにより性能が異なってくるが、SGA ではその相違を正確に推定できず、SIGA に基づく方法では正確な推定が可能であることを初めて示した。しかしながら、デューティ比が低くなるに従い、SIGA の適用可能な領域が狭くなり、正確な誤り率の推定が可能であるが、より複雑で膨大な計算量を要する IGA を用いなければならないことを初めて見出した。

第3章では、フラットフェージング通信路における低デューティ比 DS-CDMA とハイブリッド DS/TH-CDMA システムの誤り率解析について述べている。フェージング通信路を想定した場合、第2章で述べた理由から SIGA では適用可能な領域が狭くなり、IGA では広い範囲の通信路環境に対応できるものの、(多重局数×3)重の積分を必要とし、計算量が多重局数に比べて莫大となり実用的ではない。そこで簡単かつ正確な誤り率特性の計算法が必要となる。本章ではさまざまなタイプのフェージングをモデル化できる仲上フェージング通信路を想定し、低デューティ比 CDMA システムの性能評価するための理論を構築した。本章では、他局からの干渉を特性関数を用いて近似し、フェージング通信路の特性や、伝送に用いるパルス波形にも柔軟に対応し、正確な誤り率特性の推定を行う理論式を構築した。計算機シミュレーションによりその有効性を証明した。

第4章では、マルチパス通信路における UWB 無線信号のシミュレーションを行い、その特性を評価している。ここでは、UWB 信号伝送の通信路モデルとして知られている IEEE802.15.3a モデルを用い、通常の CDMA 信号の受信技術として知られる Rake 受信機を想定した。UWB 信号は非常に広い帯域幅を用いることでパルスを受信した際の時間分解能が高くなり、マルチパスフェージングの影響を低くできることをまず示した。その上で、任意の到来時刻を持つパルスを受信側で合成する Rake 受信を用いた場合、必ずしも十分な量のエネルギーを細くできない可能性があることを示し、それを改善する手法としてパス遅延の推定を考慮した最適 Rake 受信の概念を提唱した。最適 Rake 受信を用いることにより、通常の Rake 受信よりも少ない合成パス数ではるかに良い性能が得られることを示した。

第5章では、UWB 無線伝送で想定されるマルチパス通信路における低デューティ比 DS-CDMA とハイブリッド DS/TH-CDMA システムの性能解析について述べている。ここでは UWB が短距離の屋内通信へ応用される場合を想定し、いくつかの通信路の電力遅延プロファイル(PDP)の形を考慮した。具体的には指数関数的に減衰するモデルと複数のクラスターでそれぞれ指数減衰するモデルを仮定して検討を行った。またフェージングモデルは仲上フェージングを用いた。過去にこのような通信路モデルを想定して多元接続の理論解析を行った研究は極めて少ない。第3章で述べた特性関数法に基づき、マルチパスにより生じるシンボル間干渉やチップ間干渉の影響を考慮して解析を行った。計算結果に基づいて本研究で構築した理論式の有効性を示した。

第6章では、本研究における全体の成果を総括し、合わせて今後の課題について述べている。

#### 審査結果の要旨

本研究は、ウルトラワイドバンド(UWB)無線伝送において、ある範囲内に複数の通信局が存在する場合の多元接続性能の評価を簡単かつ精密に推定する方法を提示し、その有効性を示したものである。UWB 無線伝送のときにパルスを間欠的に送出する低いデューティ比の信号を想定し、従来から知られている多元接続性能の評価法に計算不可能な領域や計算量の観点から限界がある点を指摘し、これらの課題を克服するための新しい理論解析の枠組みを構築している。またより実際の無線通信路の性質に近い通信路モデルでの理論的性能評価の枠組みはこれまでにない新しい成果である。これらの結果は、UWB 通信技術および近距離無線伝送技術の進歩に対する有意義な貢献と認められる。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として十分であると認定した。