

	オウ	チシン	
氏名	王	智森	
授与学位	博士	(工学)	
学位授与年月日	平成17年	9月14日	
学位授与の根拠法規	学位規則	第4条第1項	
研究科, 専攻の名称	東北大学大学院工学研究科	(博士課程) 電気・通信工学専攻	
学位論文題目	パケットセルラーシステムにおけるランダム送信電力制御の研究		
指導教員	東北大学教授	安達 文幸	
論文審査委員	主査 東北大学教授	安達 文幸	東北大学教授 澤谷 邦男
		東北大学教授 坪内 和夫	東北大学助教授 工藤 栄亮

論文内容要旨

次世代移動通信システムではパケットデータ通信がトラフィックの主流になるものと予想される。第3世代システムでは、高い周波数利用効率を実現しつつ複雑な周波数管理問題を回避できる直接拡散符号分割マルチアクセス(DS-CDMA)が採用されている。高効率パケット伝送システム実現に当たっては、遠近問題やパケット衝突問題の解決が不可欠であり、送信電力制御(TPC)が重要な技術課題になっている。本論文は、平衡点探索手法を用いたモンテカルロ数値計算に基づいてDS-CDMAパケットセルラーシステムの上りリンクTPCに関する研究を行った成果をまとめたものであり、全編5章からなる。

第1章は緒論である。移動通信の進展についてまとめるとともに、次世代システムの技術条件について考察している。インターネット系のパケットデータサービスが主流になると考えられることから、次世代システムでは、全てのトラフィックがパケット化された高速パケット伝送技術が必要となることを示している。

第2章では、パケットスループットを求める平衡点探索手法を提案している。パケット通信では、衝突した複数のパケット間の受信電力差が小さい場合には全パケットとも損失してしまうが、パケット受信電力差が大きい場合には受信電力の大きなパケットの伝送は成功するというキャプチャ効果が得られ、衝突によるスループット低下を緩和できることが知られている。DS-CDMAでは、遠近問題やマルチパスフェーディングを抑圧するためにRake受信と送信電力制御(TPC)を用いることが必須である。TPCには、シャドウィング変動に追従する低速TPCと、フェーディング変動に追従する高速TPCとがある。第3世代セルラーシステムで採用されている高速TPCではキャプチャ効果が全く得られない。したがって、DS-CDMAパケットセルラーシステムでは、キャプチャ効果が得られる低速TPCの方が大きなスループットやリンク容量を得ることができる可能性がある。ところで、パケット通信では自動再送要求(ARQ)が不可欠であ

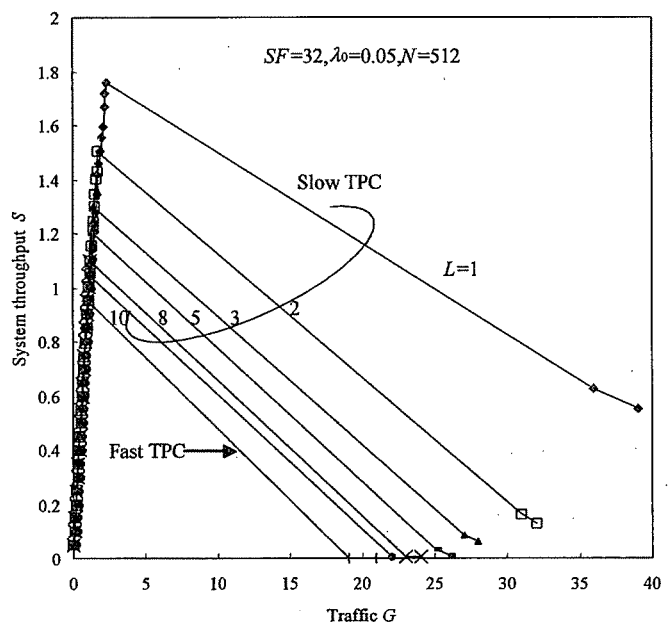


図1 低速TPCのシステムスループット特性

る. ARQ を用いるパケットセルラーシステムでは, パケット誤り率と再送を含めたパケット発生率とが相互に関係している, スループットを解析的に求めることは容易ではない. そこで, 平衡点探索手法を提案し, モンテカルロ数値計算により低速 TPC, 高速 TPC のスループットとリンク容量を求めている. その結果を図 1 と図 2 に示す. 低速 TPC では受信電力変動が残留しているためキャプチャ効果が得られること, これにより第 3 世代セルラーシステムで採用されている高速 TPC よりも大きなスループットやリンク容量が得られることが分かる. また, 図 2 に示すように, 低速 TPC のリンク容量(拡散率 SF で正規化した 1 セル当たりのユーザ数 C)は伝搬路のパス数 L に依存することを明らかにしている.

第 3 章では, TPC ターゲット値を確率的に変動させることにより受信電力に強制的にゆらぎを与える 2 値ランダム高速 TPC を提案している. 2 値ランダム高速 TPC の受信電力分布を図 3 に示す. 低速 TPC ではキャプチャ効果がパス数に依存するが, ランダム高速 TPC ではパス数に無関係に常に大きなキャプチャ効果が得られるという利点がある. 平衡点探索手法を用いたモンテカルロ数値計算により, 適切なゆらぎの大きさ Δ 及びゆらぎ確率 ε_- を与えれば, ランダム高速 TPC はパス数に殆ど依存せずに高速及び低速 TPC よりも常に大きなリンク容量とシステムスループットを得ることができることを明らかにしている. 一例として, 図 4 に拡散率 SF が 32 のときのランダム高速 TPC のリンク容量を示す. この図から, TPC のゆらぎの大きさ Δ 及びゆらぎ確率 ε_- をそれぞれ 3.5dB 及び 0.8 とすることにより, 高速 TPC のおよそ 1.7 倍のリンク容量が得られることが分かる.

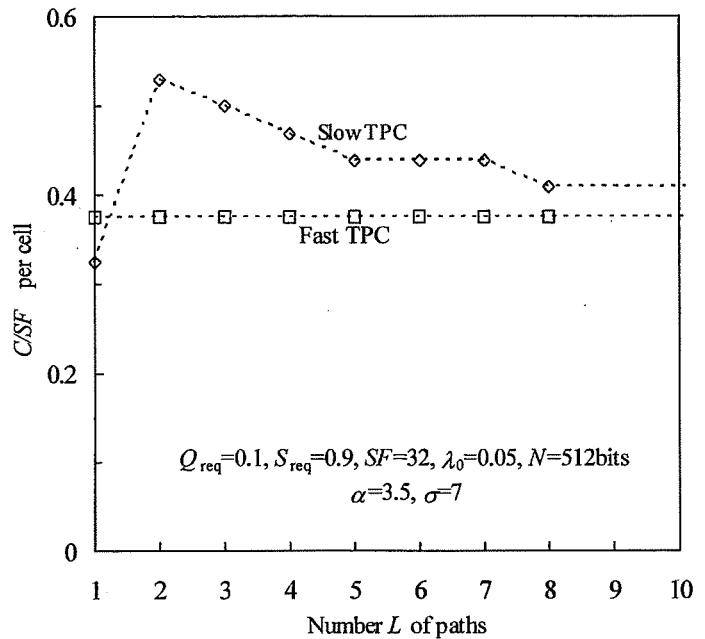


図2 低速TPCのリンク容量

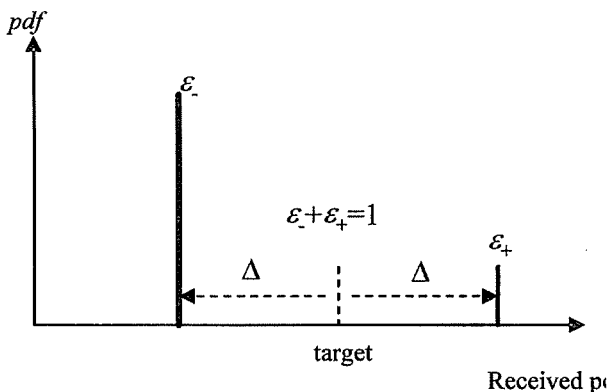


図3 ランダム高速TPCの受信電力分布

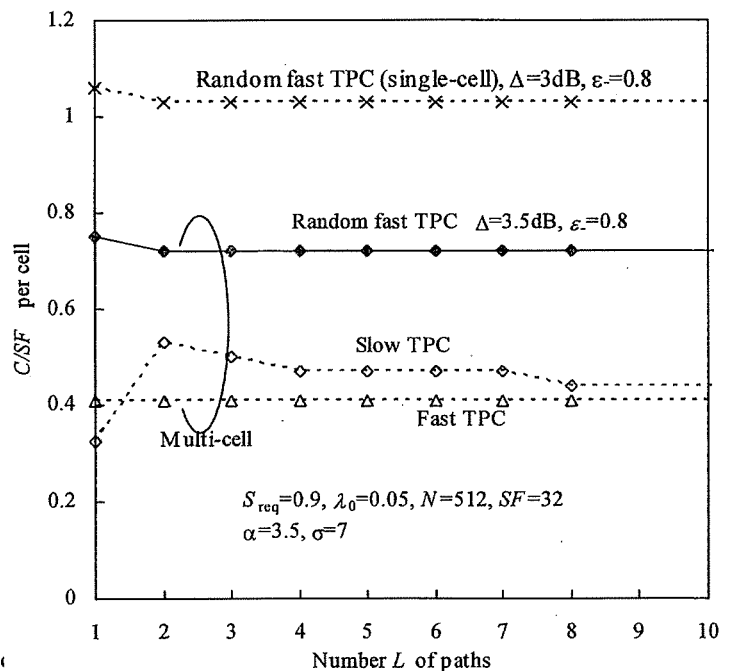


図4 ランダム高速TPCのリンク容量

第 4 章では, ランダム高速 TPC に加えて帯

域分割を併用することを提案している。ランダム高速 TPC ではパケット衝突時においてパケットが生き残る確率を高くすることができるが、パケット衝突確率そのものを低減することができない。パケット衝突確率を低下させることができれば、さらに高いスループットやリンク容量が期待できる。図5に示すように、与えられた周波数帯域を複数の周波数チャンネルに帯域分割し、各ユーザがその中の1つのチャンネルを選択して送信すれば、パケット衝突確率を低下させることができる。ランダム高速 TPC により大きなキャプチャ効果が期待できる上に、帯域分割によりパケット衝突確率を低減できるから、帯域分割しないシステムより大きなスループットとリンク容量を得ることができる。平衡点探索手法を用いたモンテカルロ数値計算により求めたリンク容量を図6に示す。リンク容量を最大にする最適な帯域分割数が存在し、そのとき帯域分割を行わない場合の約1.5倍のリンク容量が得られることが分かる。

第5章は結論である。本章では各章の成果をまとめるとともに、今後の課題として、DS-SS-CDMA パケットセルラーシステムの下りリンクにおける技術課題を述べている。

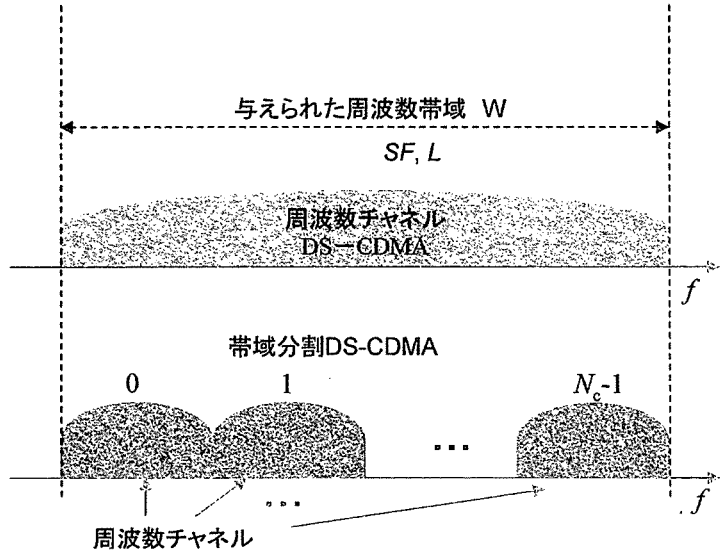


図5 帯域分割

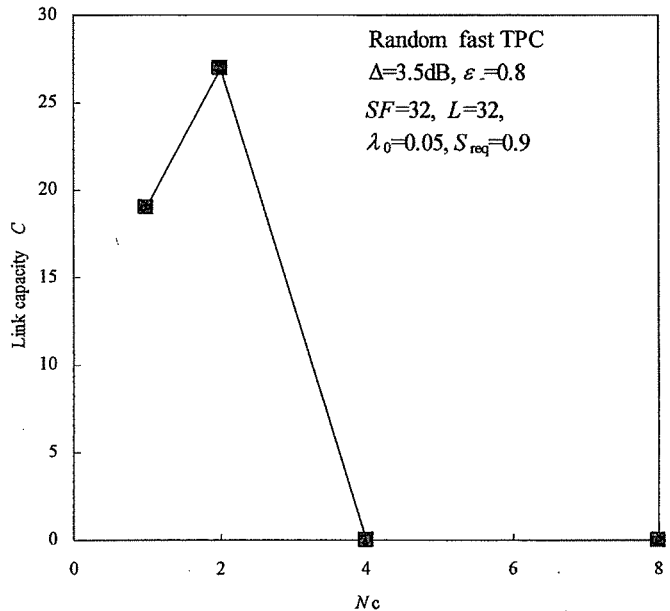


図6 ランダム高速TPCと帯域分割を併用したときのリンク容量

論文審査結果の要旨

次世代移動通信システムではパケットデータ通信がトラフィックの主流になるものと予想される。第3世代システムでは、高い周波数利用効率を実現しつつ複雑な周波数管理問題を回避できる直接拡散符号分割マルチアクセス(DS-CDMA)が採用されている。高効率パケット伝送システムを実現するためには、遠近問題やパケット衝突問題の解決が不可欠であり、送信電力制御(TPC)が重要な技術課題になっている。本論文は、平衡点探索手法を用いたモンテカルロ数値計算に基づいてDS-CDMAパケットセルラーシステムの上りリンクTPCに関する研究を行った成果をまとめたものであり、全編5章からなる。

第1章は緒論である。

第2章では、パケットスループットを求める平衡点探索手法を提案している。自動再送要求を用いるパケットセルラーシステムでは、パケット誤り率と再送を含めたパケット発生率とが相互に関係しているため、スループットを解析的に求めることは容易ではなかった。本章では、数値計算により、低速TPCでは受信電力変動が残留していることでキャプチャ効果が得られること、これにより第3世代セルラーシステムで採用されている高速TPCよりも大きなスループットやリンク容量が得られることを明らかにしている。これは、パケット通信が中心になりつつある第3世代セルラーシステムの高度化に貢献できる重要な成果である。

第3章では、TPCターゲット値を確率的に変動させることにより受信電力に強制的にゆらぎを与えるランダム高速TPCを提案している。低速TPCではキャプチャ効果が伝搬環境(特に伝搬パス数)に依存するが、ランダム高速TPCでは伝搬環境に無関係に常に大きなキャプチャ効果が得られるという利点がある。数値計算により、ランダム高速TPCが低速TPCよりも常に大きなスループットとリンク容量が得られることを明らかにしている。この成果は、次世代セルラーシステムにおけるTPC設計に関する重要な知見である。

第4章では、ランダム高速TPCに加えて帯域分割の併用を提案している。従来のDS-CDMAセルラーシステムでは、全てのユーザが同一周波数を共有するので、パケット衝突によりスループットが低下する。提案システムでは、与えられた周波数帯域を複数の周波数チャンネルに分割し、各ユーザは適当な周波数チャンネルを選択してランダム高速TPCを用いてパケット伝送する。提案システムでは、帯域分割によりパケット衝突確率を低減できる上に、ランダム高速TPCにより大きなキャプチャ効果が期待できるから、帯域分割しないシステムより大きなスループットとリンク容量を得ることができる。数値計算により、リンク容量を最大にする最適な帯域分割数が存在すること、そのとき約1.5倍のリンク容量が得られることを示している。これは、次世代パケットセルラーシステム構築に当たっての重要な成果である。

第5章は結論である。

以上要するに本論文は、DS-CDMAパケットセルラーシステムの上りリンクにおける送信電力制御技術を提案し、その有効性を明らかにしたものであり、無線通信工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士(工学)の学位論文として合格と認める。