

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2007～2009

課題番号：19360168

研究課題名（和文） 仮想アンテナアレーによる送信ビーム形成を用いた高信頼度無線通信に関する研究

研究課題名（英文） Study on Highly Reliable Radio Communications Using Transmit Beam-forming with a Virtual Antenna Array

研究代表者

小川 恭孝 (OGAWA YASUTAKA)

北海道大学・大学院情報科学研究科・教授

研究者番号：70125293

研究成果の概要（和文）：将来の高速移動通信においては、広い伝送帯域幅を確保するため、電波が伝わりにくい高い周波数帯を使用することになる。この場合、上り回線においては、電源がバッテリーのため電力の制限が厳しく、信頼性の高い通信を行うことが困難となる。本研究では、異なる複数の端末が互いに協力しあい、1組のアンテナアレーとして動作する仮想アンテナアレーによる送信ビームを形成する検討を行った。必要となる要素技術の提案を行い、4端末が協調することにより、平均ビット誤り率 10^{-4} において、協調をしない場合に比べて約 6dB の送信電力低減が可能であることが明らかになった。

研究成果の概要（英文）：Future mobile communications need to use a higher frequency band to accommodate a wider frequency bandwidth. In a higher frequency band, the attenuation of electromagnetic waves is severely large. In an uplink channel, we may have difficulties to realize reliable transmission because the transmit power of a user terminal is limited due to battery use. In this study, we have proposed a virtual antenna array in which plural user terminals cooperate with each other and operate as a single terminal. The virtual antenna array forms transmit beams toward a base station. We have proposed several elemental technologies to realize the virtual antenna array. It has been shown that when four user terminals cooperate each other, we can reduce transmit power by about 6dB comparing with a conventional single user terminal case.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	10,300,000	3,090,000	13,390,000
2008年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
総計	13,900,000	4,170,000	18,070,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・通信・ネットワーク

キーワード：移動通信，協調無線，MIMO システム，アンテナアレー，アレー信号処理，送信電力，サウンディングパケット，キャリア周波数オフセット

1. 研究開始当初の背景

将来の高速移動通信においては，広い伝送帯域幅を確保するため，電波が伝わりにくい高い周波数帯（例えば 3.5GHz 以上）を使用せざるを得なくなる．この場合，上り回線（携帯端末 → 基地局）においては，電源がバッテリーのため電力の制限が厳しく，信頼性の高い通信を行うことが困難となる恐れがある．

2. 研究の目的

本研究では図 1 に示したように，異なる複数の端末が互いに協力し合い，1組のアンテナアレーとして動作する仮想アンテナアレー（仮想 MIMO と呼ぶ）による送信ビーム形成を行い，低い送信電力で信頼性の高い上り回線無線システムを構成することを目的としている．

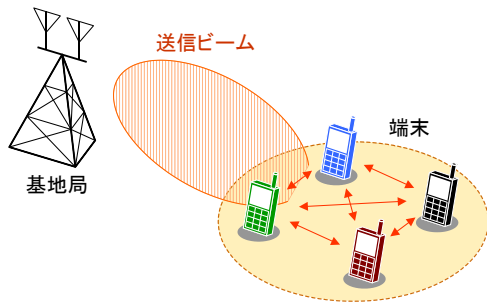


図 1. 仮想アンテナアレーの概念図 (各端末が協調して送信ビームを形成)

3. 研究の方法

図 1 に示した仮想アンテナアレーを実現するには，独立な端末の発信周波数を制御する技術，ビームフォーミングを適切に行い，送信電力を低減する固有ベクトルビーム空間分割多重 (E-SDM) 技術の導入が必須である．それを実現することをシミュレーションにより考察した．

4. 研究成果

(1) 本研究で提案したシステムを図 2 に示した．各端末は基地局にサウンディングパケットと呼ばれる既知のパイロット信号を送信し，各端末の送信アンテナから基地局の各

アンテナまでのチャンネルを推定する．一定間隔で再度このようなチャンネル推定を行う．その位相回転量から，各端末の発信周波数のオフセットを推定する．更に，チャンネル情報を用いて，最適ウエイト，送信電力配分，変調方式などの E-SDM 伝送に必要なパラメータを決定する．

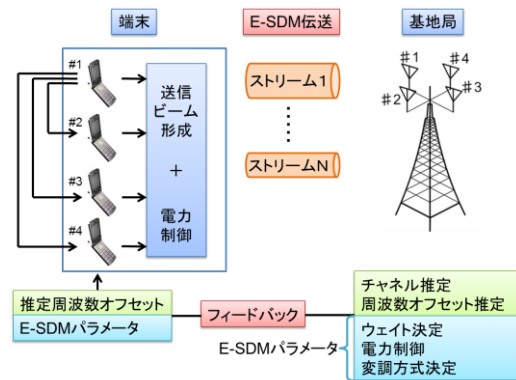


図 2. 仮想アンテナアレーによる E-SDM 伝送

(2) 図 3 に本システムでのデータ送信のフロー図を示す．時刻 0 と t_d で端末はサウンディングパケットを送信し，基地局では，それを用いて得られるチャンネル情報により，各端末の周波数オフセット粗推定を行う．次に，時刻 T_d で再度サウンディングパケットを送信し，そのチャンネル情報により，周波数オフセットの精密推定を行う．また，E-SDM パラメータも決定して，これらを端末にフィードバックする．各端末は送信データの共有を行った後に，周波数オフセット補償を行いながら，E-SDM 送信する．

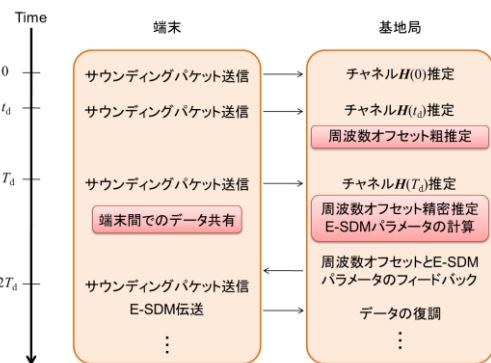


図 3. データ送信のフロー

(3) 図4に各端末の周波数オフセット補償を行った仮想アンテナアレーの平均ビット誤り率を示した。これは、上り回線の公称キャリア周波数が4GHzのときの4端末使用時の特性である。受信側(基地局側)でRLSアルゴリズムに基づく受信ウエイトを用いている場合には、周波数オフセットが400Hz(キャリア周波数の0.1ppm)であっても、ほとんどその影響を除くことができていることが分かる。

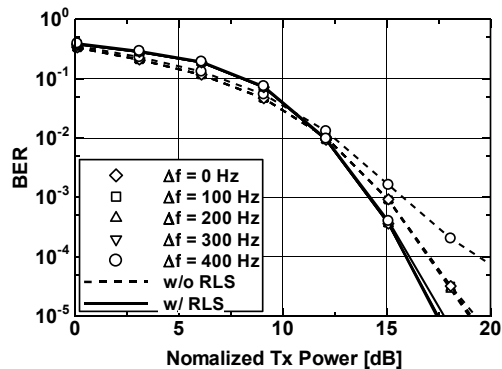


図4. 周波数オフセットをパラメータにしたときの仮想アンテナアレーの平均ビット誤り率

(4) 各端末の周波数オフセット, および, E-SDM パラメータは基地局からのフィードバックにより報知される。これは下り回線の通信を圧迫することになる。送信ウエイトについては, 端末と基地局で共通のコードブックを持ち, 最適に近いウエイト行列のインデックスのみを伝送するなどにより, フィードバック量を削減することを提案した。シミュレーションの結果, フィードバック量の低減による特性劣化は大きくないことが明らかになった。

(5) 本研究では, 仮想アンテナアレーの送信電力の評価を行った。そのためには, 端末間のフェージング特性と基地局から端末までの伝搬特性を想定する必要がある。端末間はKファクタが0dBの仲上-ライスフェージングを仮定した。基地局と端末間のパスロスITU-R M. 2135に記載されているUrban Macroを用いて決定した。シャドーイングは標準偏差6dBの対数正規分布を仮定し, その90%値で評価した。高速フェージングはJakesモデルによるレイリーフェージングを仮定した。その結果, 図5に示した通り, 仮想アンテナアレー(4×4MIMO)による協調伝送を用いることにより, 協調を行わないで1台の端末のみで送信する方式(1×4SIMO)に比べ, 平均誤り率10⁻⁴において, 約6dBの送信電力低減が可能であることを明らかにした。

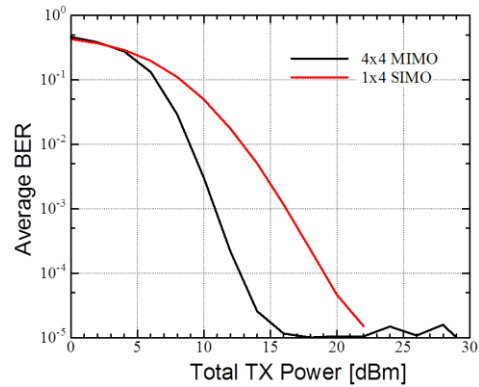


図5. 平均ビット誤り率と送信電力の関係

(6) 協調を行っている端末が移動すると, 動的フェージング環境になり, 端末と基地局間のチャンネル推定に誤差が含まれるため E-SDM パラメータが正しく求められず, 仮想 MIMO システムの特性に劣化が現れる。そのため, チャンネル予測技術等の導入が必要であることが明らかになった。このことは今後の検討課題である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- ① Y. Saito, Y. Ogawa, T. Ohgane, T. Nishimura, Cooperative Communication Using a Virtual MIMO System with a Feedback Channel for Uplink Transmission in Cellular Radio, Proceedings of IEEE VTC2009-Spring (CD-ROM), 査読有, pp. 1-5, 2009
- ② 伊藤達也, 小川恭孝, 西村寿彦, 大鐘武雄, 動的フェージング環境における上り回線仮想MIMOシステムの特性評価, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, vol. 109, no. 305, RCS2009-145, pp. 73-78, 2009
- ③ 齊藤裕大, 小川恭孝, 西村寿彦, 大鐘武雄, 仮想MIMOシステムを用いた上り回線における所要送信電力に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, vol. 108, no. 445, RCS2008-223, pp. 65-70, 2009
- ④ 齊藤裕大, 小川恭孝, 大鐘武雄, 西村寿彦, 仮想MIMOシステムを用いた上り回線における周波数オフセット推定と送受信ウエイト制御, 電子情報通信学会論文誌 B, 査読有, vol. J91-B, no. 9, pp. 940-947, 2008
- ⑤ 齊藤裕大, 小川恭孝, 西村寿彦, 大鐘武雄, 仮想MIMOシステムにおける周波数オフ

セットと送信ウエイトのフィードバック量削減に関する検討, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, vol. 108, no. 188, RCS2008-57, pp. 25-30, 2008

- ⑥ 齊藤裕大, 小川恭孝, 大鐘武雄, 西村寿彦, 仮想MIMOシステムにおける端末周波数オフセットの影響を補償する上り回線ウエイトの検討, 電子情報通信学会技術研究報告, 査読無, vol. 107, no. 305, AP2007-107, pp. 31-36, 2007

[学会発表] (計4件)

- ① 伊藤達也, 小川恭孝, 西村寿彦, 大鐘武雄, 上り回線仮想MIMOシステムにおける送信電力に関する考察, 第9回無線分散ネットワークに関するワークショップ, 2010年3月29日, 函館工業高等専門学校
- ② 伊藤達也, 小川恭孝, 西村寿彦, 大鐘武雄, 動的フェージング環境における仮想MIMOシステム, 2009年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, 2009年9月17日, 新潟大学
- ③ 齊藤裕大, 小川恭孝, 西村寿彦, 大鐘武雄, 仮想MIMOシステムにおけるコードブックを用いた送信ウエイトのフィードバックに関する検討, 2008年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, 2008年9月17日, 明治大学生田キャンパス
- ④ 齊藤裕大, 小川恭孝, 大鐘武雄, 西村寿彦, 仮想MIMOシステムにおける端末周波数オフセットを補償した上り回線ウエイト決定法, 2007年電子情報通信学会通信ソサイエティ大会, 2007年9月12日, 鳥取大学 鳥取キャンパス

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小川 恭孝 (OGAWA YASUTAKA)
北海道大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号: 70125293

(2) 研究分担者

大鐘 武雄 (OHGANE TAKEO)
北海道大学・大学院情報科学研究科・准教授
研究者番号: 10271636

西村 寿彦 (NISHIMURA TOSHIHIKO)
北海道大学・大学院情報科学研究科・助教
研究者番号: 70301934