

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 13 日現在

機関番号：13101

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2010～2012

課題番号：22760272

研究課題名（和文）マルチセル環境における空間リソース制御法に関する研究

研究課題名（英文）Research on spatial resource control method in multi-cell environment

研究代表者

西森 健太郎（KENTARO NISHIMORI）

新潟大学・自然科学系・准教授

研究者番号：90500611

研究成果の概要（和文）：

本研究では、マクロセル環境において、セル内の基地局が端末や中継局と協調して周辺の干渉を監視制御するとともに、空間・周波数のリソースの動的制御により周波数資源を有効活用する手法を複数提案した。また、計算機シミュレーションにより提案手法の有効性を明らかにした。

研究成果の概要（英文）：

In this research, the methods which improve the frequency utilization is proposed by control the interference via base and relay stations inside cell. employing the spatial and frequency resources in multi-cell systems. Moreover, the effectiveness of proposed method is clarified via computer simulation.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,200,000	360,000	1,560,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	800,000	240,000	1,040,000
年度			
年度			
総計	3,100,000	930,000	4,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学，通信・ネットワーク工学

キーワード：通信方式（無線，有線，衛星，光，移動）

1. 研究開始当初の背景

第三代携帯電話および無線 LAN 端末の急速な普及により、将来の無線通信システムでは端末数が著しく増大することが予測され、今までよりも飛躍的な周波数利用効率の向上が必要となっている。この手段の一つとして、無線 LAN の標準規格である IEEE802.11n では、送信と受信アンテナに複数のアンテナを用い高速無線通信を実現する MIMO (Multiple Input Multiple Output) 伝送技術が導入されている。

また、数 Gbps 程度の伝送速度の必要性から、今後はマイクロ波帯が携帯電話および無線 LAN の周波数として使用される予定である。しかし、周波数が高くなると電波の到達距離が短くなるため、基地局のサービスエリアが狭くなる。この観点から送信・受信局の間に中継局を用いる協調通信技術が提案されている。協調通信技術は MIMO 技術と併用して実現することも可能であるため、協調通信技術を用いる中継局 MIMO 伝送は、周波数利用効率増大とサービスエリア拡大の側面から

有効である。

MIMO 伝送や協調通信方式における検討では、一般に1台の基地局がカバーする通信エリア(セルと呼ぶ)の環境を想定して検討が行われている。しかし、MIMO 伝送や協調通信方式ではセル内の等価的なアンテナの本数が従来のシステムよりも増大するため、複数の基地局が各々のセルを形成するマルチセル環境では、セル間干渉により端末あたりの通信速度が低下する。この対策として、従来のシステムでは干渉がセル間で発生しないように、異なる周波数をセル間で割り当てる。固定の周波数割り当てでは、周波数利用効率が大きく低下する。

本研究では、空間・周波数リソースを統合した適応制御を導入し、セル間の干渉量を監視・制御することで、周波数資源を有効活用する手法を提案する。図2に本手法で得られるセル設計の概念を示す。本手法では、セル内の端末数や端末が必要とする伝送レートに応じて、基地局もしくは中継局が空間と周波数リソースを端末に対し最適配分する。本手法が実現すると、究極には周波数繰返しを行う必要がない無線通信システムを実現することが可能となる。すなわち、端末が要求する通信速度に応じた柔軟性の高い無線サービスを提供できる。

2. 研究の目的

(1) 干渉量に対応した空間リソース配分方法に関する検討

本研究で検討する空間多重と干渉除去の概念を図3に示す。図3では、セルが1個の場合、10台の端末同時に通信を行うことができる。セルが2個存在すると、端末に割り当てるリソースが削減する。通常は時間や周波数でリソースを配分するが、端末に割り当てるリソースは半分となる。一方、提案法では、周辺の干渉量を考慮し周辺セルからの干渉波の低減に空間のリソースを効率的に使用する。リソース配分の最適化により、端末あたりの通信速度は若干低下するが、マルチセルでも同一周波数を用いた通信が実現できる。この空間・周波数リソースの最適配分に関する詳細な特性評価を行う。

(2) 実際の伝搬環境とアンテナ特性を考慮した中継局の最適置局方法に関する検討

中継局における制御方法や置局設計の決定は、中継局 MIMO の特性に大きな影響を与える。しかしながら、送信/中継/受信局でアンテナの設置条件が大きく異なるため、中継局 MIMO の効果は実際の伝搬環境に大きく依存するが、実環境を考慮した検討はあまり検討が行われていない。本検討では、実際の伝搬環境(伝搬損失、シャドウイング、フェージング、空間相関など)とアンテナパラメータ(指向性、偏波、素子間隔など)に基づき、干

渉量を考慮した場合の中継局における最適置局方法について検討を行い、実際の環境で有効になる中継局の最適置局設計を実現する。

(3) 空間・周波数リソース制御における具体的手法の考案と特性評価

(1)と(2)の結果をもとに、自セル内の基地局と中継局が端末と協調し、空間的に干渉量を制御するとともに、空間・周波数のリソースを動的に制御する具体的な方法を複数提案する。この際、端末局は簡易でかつ低消費電力を実現できるための構成を目指す。

3. 研究の方法

(1) 干渉量に対応した空間リソース配分方法に関する検討

まずは、特性評価を行うためのシミュレーションツールの作成を行う。次に、作成したツールを用いて空間リソース配分に対する評価を行う。

① マルチセル特性評価のためのシミュレーションツールの作成

まず、マルチセルの特性評価を行うためのシミュレーションツールを作成する。マルチセルの特性評価では、多岐にわたるパラメータを考慮する必要があるため、パラメータを統一的に扱えるシミュレーションツールを作成する。シミュレーションツールでは、i) セルサイズ、干渉を与える可能性のあるセル数、ii) セル毎の端末数、基地局と端末のアンテナ数、iii) セルの中で実現する基地局と端末の MIMO の通信方法、iv) フェージング条件、伝搬損失条件、アンテナのパラメータ条件の変更を考慮できるようにする。

② ユーザ数/素子数をパラメータとしたセル間干渉量の評価

①で作成したツールを用い、セル内におけるユーザ数/素子数をパラメータとしたセル間干渉量を評価し、マルチセル環境におけるセル間干渉がどの程度問題となるかを定量的に把握する。

③ 空間多重とマルチセル干渉除去に必要なアンテナ数の関係の明確化

②の評価に対し、図2で示した、セル内の空間多重数を減少させ、これを周辺セルからの干渉の除去に利用する空間リソースの有効活用について検討する。空間多重とマルチセル干渉除去に必要なアンテナ数の関係を明確化する。

(2) 実際の伝搬環境とアンテナ特性を考慮した中継局の最適配置に関する検討

① 実際の伝搬環境による特性評価

評価としては、送信局/受信局、送信局/中継局、中継局/受信局における、i) 伝搬損失の違いによる通信容量評価、ii) 空間相関の違いによる通信容量評価、iii) フェージン

グの違いによる通信容量評価を行う。なお、i)～iii)の評価にあたっては、実際の屋外環境で取得された伝搬データから値を参照し、厳密な特性評価を行う。

② 実際のアンテナ特性を用いた特性評価
 ①の評価をより現実の環境に近づけるため、①の評価にアンテナのパラメータを加えて評価を行う。アンテナのパラメータとしては、素子指向性、素子間隔、素子配置、素子指向方向（水平、垂直）、偏波があるが、本検討では、これらをパラメータとして、より現実に近い環境での評価を行う。

(3) 空間・周波数リソース制御における具体的手法の考案と特性評価

セル間の干渉除去が実現する手法を複数提案する。あるセルの端末がほかのセルから干渉を受ける。片側の端末には周波数のリソースを多く割り当てるとともに、基地局もしくは中継局で推定した干渉信号を端末側で結果的に相殺できるような信号を所望信号と重畳して送信し、端末では負荷をかけずに干渉を除去する。このような具体的な方法を複数提案し、提案方法を(1)で作成したツールにより特性評価を行う。

4. 研究成果

(1) シミュレーションツールの作成と干渉量評価結果

研究計画に基づき、マクロセル環境を評価するためのシミュレーションツールを作成した。このツールでは、異なるサービスエリア、伝搬特性(フェージング、伝搬損失)をもつ環境を構築することができる。MIMO 伝送による特性の影響を考慮できる。本ツールは本項目の検討だけでなく、以降の検討にも使用している。

次に、異なるセルサイズ的环境(マクロセル(例: WiMAX)とピコセル(例: 無線 LAN)が混在する環境)を想定した場合における、アンテナの指向性と伝搬損失の違いによる相互の干渉量を定量的に評価した。その結果、ピコセルからマクロセルに対する干渉量はかなり小さく、特にマクロセルが指向性アンテナを用いる場合、その影響を小さくできることを明らかにした。本成果は、IEICE Transaction on Communication に論文投稿し、採録された(2011年5月掲載、研究成果の論文の①)。以下に代表的な結果について示す。

図1に本検討で評価したモデル (Case1～4)を示す。図に示すように、複数のセルサイズの異なるシステムが配置されるとその干渉量はアンテナの高さに大きく依存する。例えば、Case2 の場合は、干渉を受ける局が高い場所にあり、所望端末が低い場所に配置される。この場合は干渉条件として最悪となる。

一方、Case3 は所望端末が高い場所に配置され、干渉を受ける局は低い場所にあるので、もっとも干渉の影響を受けないことが予想される。

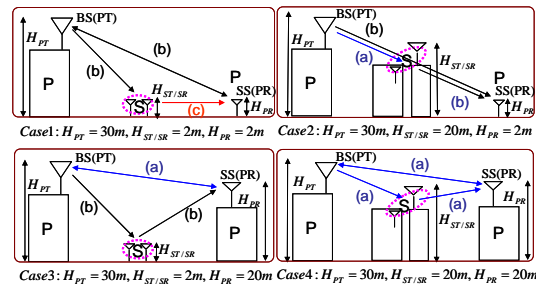


図1: 干渉量評価のためのモデル

図2に干渉を受ける局が屋外に存在する場合と屋内に存在する場合で干渉を与える局が干渉を与えないで通信できる確率を評価した結果を示す。図2において横軸は、干渉を受ける局の指向性の3dBビーム幅を示している。アンテナ高としては図1のCase1を採用した。図から明らかなように、局が屋内に位置することで干渉の影響を大きく低減でき、通信可能な範囲な割合が大幅に向上することがわかる。また、干渉を受ける局の指向性が狭ければ、たとえ他のシステムが屋外にいても、複数のシステムの共用が実現可能であることを示している。

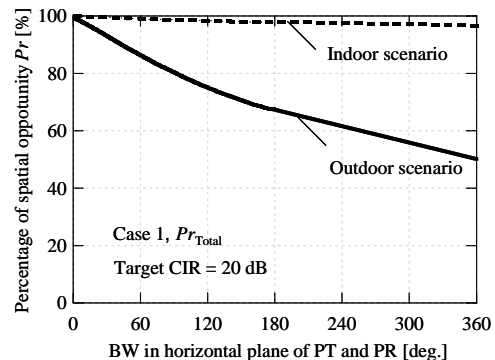
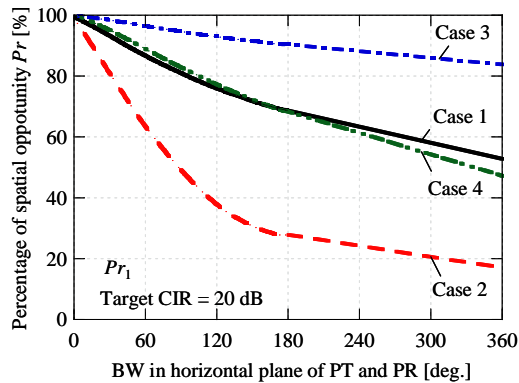


図2: 空間利用率の比較 (屋外/屋内)

図3には、図1のCase1からCase4の違いによる通信可能確率を示している。図から明らかなように、Case2 が最悪のケース、Case3 はもっとも高い通信可能確率を示していることが確認できた。また、Case1 とCase4 は全くアンテナの設置高が異なるものの、指向性のビーム幅が狭い場合は同程度の傾向が得られている。これについては、送信電力やサービスエリアが変わると傾向が変わることを明らかにしている。

またここでは、中継局を配置した場合の基本特性を明らかにした。今年度は、送信局/受信局、送信局/中継局、中継局/受信局にお

ける, i) 伝搬損失の違いによる通信容量評価, ii) ライスファクタの違いによる通信容量評価を主に検討した. その結果, 中継局と受信局の伝搬損失係数は4以下であれば従来の方法よりも高い特性を示すことを明らかにした. また, 中継局は基地局側に配置するほうが高い通信容量を得ることを計算機シミュレーションで明らかにした. 本成果は2010年5月のアンテナ・伝播研究会にて発表した



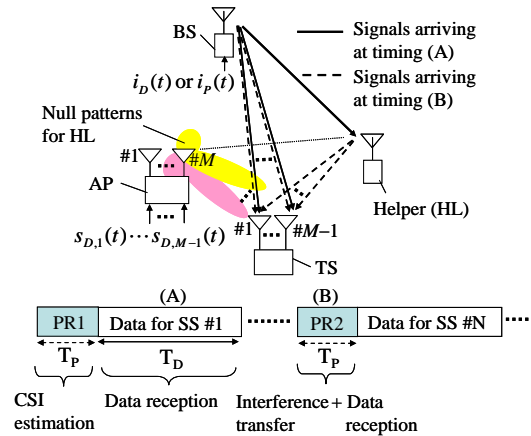
(研究成果の学会発表の①).
図3: 空間利用率の比較(図1の環境)

(2) 中継局を用いた干渉除去法の提案とその特性評価

(1)で作成したツールを用いて, 異なるセルサイズ(例: WiMAX)とピコセル(例: 無線LAN)が混在する環境を想定した場合において, 中継局を用いた干渉除去法を提案した. さらにこの構成を MIMO 通信で実現できる手法も提案した. その有効性を計算機シミュレーションと実環境における伝搬チャネル応答を用いた評価により有効性を明らかにした. 提案法は, 1素子のアンテナでも従来の2素子のアレーアンテナよりも高い干渉除去能力を得ることを明らかにした. 本成果は IEEE Wireless Communication の2011年の9月号に掲載された(研究成果の論文②). 以下, 代表的な結果について述べる.

図4に提案する干渉除去法を示す. 提案方法では, 干渉信号として周期的に到来する制御信号を利用している. 中継局では, まず, 最初のプリアンブル区間(図4: PR1)で干渉信号と所望信号の伝搬チャネル応答を推定する. 次に, データ区間で干渉信号をいったん受信する. この際, 基地局から中継局には信号を送信しないように制御されており, 中継局は干渉局からの信号のみを受信することができる. このうち, この干渉信号の情報を次の PR2 区間で端末に転送する. しかし, PR区間はデータ区間よりも短いため, 中継局が端末と近くにいることを利用して, データを圧縮して送信する. 例えば, 受信された干渉

信号が BPSK であり, 転送する信号を 16QAM で送信すれば, データ区間長 T_D に対し, プリアンブル区間長 T_P に対し, $T_D/T_P=4$ の場合でデータを転送することができる. このように, 提案方法では, 端末で干渉除去できないような場合でも効果的な干渉除去を実現することが可能となる.



SS: Subscriber station in the primary system
図4: 中継局を用いた干渉除去方法

図5に, 提案方法と従来方法で得られる伝送レートの比較を示す. 図5において Method(B)は端末側が1本のアンテナで干渉キャンセラを実現する場合の特性である. Method(C)は端末側のアンテナを2本とし Zero Forcing(ZF)という手法で干渉を除去する場合の特性である. また, 図5の横軸は, Signal to Interference Power ratio (SIR)を示している. $T_D/T_P=8$ としている. これは, 中継局が BPSK で干渉信号を受信し, 256QAM で端末に干渉信号を転送する場合の特性を示していることになる. 図から明らかのように, Method(B)は所望信号電力が干渉信号のそれよりも無視できる領域 ($SIR < -10\text{dB}$)では効果がある. しかし, SIRが0dB付近になると伝送レートが大きく低下する. Method(C)はSIRによる依存性はないものの, 提案方法より伝送レートが低下する. したがって, 提案方法は, 環境に依存せず, 干渉信号が存在する環境でも高い伝送レートを得ることが明らかとなった.

図6は MIMO を実現するアンテナ本数を変化させた場合の伝送レートを示している. 図より, アンテナ本数が増加するにつれて, 提案方法の Method(C)への利得が向上していることが確認できる. また, Method(B)は SIRにより特性が大きく変化するが, SIRが0dBに近づくと提案方法の伝送レートが Method(B)のそれよりも著しく改善することが確認できる.

なお, ここでは図示していないが, 実伝搬

環境の実験データを用いてもこれらの結果と同程度の結果が得られることを確認しており、実際の環境でも提案方法は高い伝送レートを得ることができることを明らかにした。

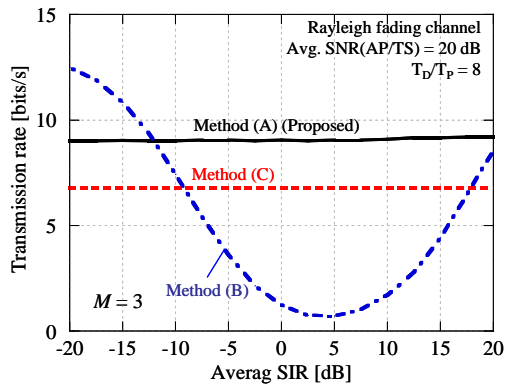


図 5：提案方法による伝送レート特性

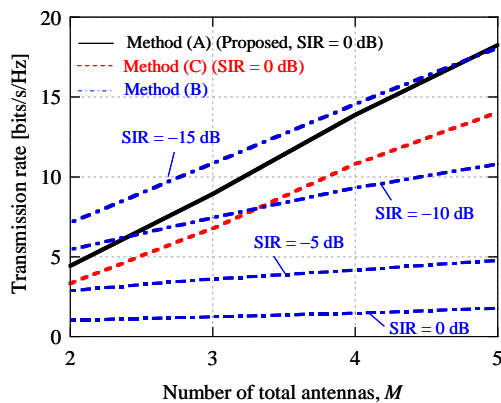


図 6：素子数と伝送レートの関係

(3) 中継局を用いた MIMO/MU-MIMO の効果

(1) で評価した中継局のアンテナ配置の結果を利用して、MIMO 通信において、中継局を配置した場合の、送信局/受信局、送信局/中継局、中継局/受信局における通信容量評価を実環境の測定データを用いて明らかにした。本結果は干渉が考慮される環境でもそのモデルが適用できる。ここでは、まず、中継局を用いることが高い通信容量を得ることを確認するとともに、複数のユーザが存在するときは特に効果が大きいことを示した。さらに、チャネル応答の相関が高くなる環境には直交する偏波を用いることでさらなる効果を得ることも明らかにした。本成果は IEEE Antenna and Propagation の 2012 年の 2 月号に掲載された。(研究成果の論文③)。

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 西森健太郎, Rocco Di Taranto, 四方博之, Peter Popovski, Cognitive Radio Operation under Directional Primary Interference and Practical Path Loss Models, IEICE Transaction on Communication, 査読有, Vol. E94-B, no. 5, 2011, pp.1243-1253, DOI:10.1587//transcom.E94.B.1243
- ② 西森健太郎, 四方博之, Peter Popovski, Distributed Interference Cancellation for Cognitive Radios Distributed Interference Cancellation for Cognitive Radios Using Periodic Signals of the Primary System, IEEE Transaction on Wireless Communication, 査読有, Vol.10, no.9, 2011, pp. 2791-2981, DOI: 10.1109/TWC.2011.062911.101524
- ③ 西森健太郎, 本間尚樹, 村上友規, 平栗健史, Effectiveness of relay MIMO transmission by measured outdoor channel state information, IEEE Transaction on Antenna & Propagation, 査読有, Vol. 60, no.2, 2012, pp.615-623, DOI: 10.1109/TAP.2011.2173434
- ④ 永瀬文昭, 平栗健史, 岸田朗, 西森健太郎, 牧野秀夫, A new long-distance communication retransmission control scheme, IEICE Communication Express, 査読有, Vol1. No.3, 2012, pp.113-118, DOI:10.1587//comex.1.113
- ⑤ 永瀬文昭, 平栗健史, 西森健太郎, 牧野秀夫, Web Acceleration by Prefetching in Extremely Large Latency Network, American Journal of Operations Research, 査読有, Vol.2, No.3, 2012, pp.339-347, doi:10.4236/ajor.2012.23041
- ⑥ 西森健太郎, 平栗健史, 堅岡良知, 牧野秀夫, MIMO-OFDM adaptive array using short preamble signals, IEICE Communication Express, 査読有, Vol. 2, No. 2, 2013, pp.25-30, DOI:10.1587//comex.1.113

[学会発表] (計 12 件)

- ① 西森健太郎, Study toward optimal location of relay station in relay MIMO transmission, 電子情報通信学会 アンテナ・伝播研究会, 2010 年 5 月 13 日, 中国, 南東大学.
- ② 堅岡良知, 西森健太郎, 平賀健, 関智弘, 牧野秀夫, On antenna arrangement by genetic algorithm in short range MIMO transmission, International Symposium on Antenna and Propagation, 2011 年 11 月 28 日, Jeju, Korea.

- ③ 宍戸洸太, 西森健太郎, 本間尚樹, Decoupling method for compact MIMO antenna utilizing MISO channel response on neighboring antennas, International Symposium on Antenna and Propagation, 2011年11月28日
- ④ 西森健太郎, 牛木敬太, 本間尚樹, Experimental Evaluation Toward Transmit and Receive Diversity Effect in SIMO/MIMO Sensors, 6th European Conference on Antenna and Propagation, 2012年3月28日, Prague, Czech.
- ⑤ 西森健太郎, 堅岡良知, 牧野秀夫, Block Diagonalization with User Antenna Selection for Multiuser MIMO Systems, 7th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2013), 2012年04月10日~2012年04月10日, スウェーデン, ヨーテボリ
- ⑥ 西森健太郎, ユーザ側アンテナ選択によるブロック対角化法を用いたマルチユーザ MIMO の BER 特性, 電子情報通信学会 アンテナ・伝播研究会 無線通信システム研究会, 2012年11月15日~2012年11月15日, 東京都
- ⑦ 西森健太郎, 堅岡良知, 平栗健史, 牧野秀夫, MIMO伝送を利用したCollision Detection-ショートプリアンブルを利用した干渉検出方法の提案-, 電子情報通信学会 通信方式研究会, 2012年11月22日~2012年11月22日, 北海道
- ⑧ 堅岡良知, 西森健太郎, 牧野秀夫, Very Large MIMOに適した通信周波数に関する基礎検討, 電子情報通信学会 アンテナ・伝播研究会, 2013年01月24日~2013年01月24日, 宮崎県
- ⑨ 堅岡良知, 西森健太郎, 川原理彰, 平栗健史, 牧野秀夫, MIMO伝送を利用したCollision detection ~MIMO-OFDM信号を用いた実験評価による干渉検出特性~, 電子情報通信学会 無線通信システム研究会, 2013年03月01日~2013年03月01日, 東京都
- ⑩ 西森健太郎, 堅岡良知, 牧野秀夫, ユーザ側ビーム選択によるMU-MIMO伝送, 電子情報通信学会 アンテナ・伝播研究会, 2013年03月14日~2013年03月14日, 神奈川県
- ⑪ 佐々木 叡, 西森健太郎, 堅岡良知, 牧野秀夫, 見通し内環境における4x4MIMOシステムに適したアンテナ配置によるチャネル容量改善, 電子情報通信学会 2013年総合大会, 2013年03月21日~2013年03月21日, 岐阜県
- ⑫ 堅岡良知, 西森健太郎, 牧野秀夫, Very Large MIMO の干渉数に対する制御方法

の基礎検討, 電子情報通信学会 2013年総合大会, 2013年03月21日~2013年03月21日, 岐阜県

[その他]
ホームページ
<http://www.gis.ie.niigata-u.ac.jp/mlab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西森 健太郎 (KENTARO NISHIMORI)
新潟大学・自然科学系・准教授
研究者番号: 90500611