

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4741978号  
(P4741978)

(45) 発行日 平成23年8月10日 (2011.8.10)

(24) 登録日 平成23年5月13日 (2011.5.13)

(51) Int. Cl. F I  
**HO4J 99/00 (2009.01)** HO4J 15/00  
**HO4B 7/04 (2006.01)** HO4B 7/04  
**HO4B 7/10 (2006.01)** HO4B 7/10 A

請求項の数 11 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2006-143202 (P2006-143202)	(73) 特許権者	392026693
(22) 出願日	平成18年5月23日 (2006.5.23)		株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ
(65) 公開番号	特開2006-333482 (P2006-333482A)		東京都千代田区永田町二丁目11番1号
(43) 公開日	平成18年12月7日 (2006.12.7)	(74) 代理人	100083806
審査請求日	平成21年3月2日 (2009.3.2)		弁理士 三好 秀和
(31) 優先権主張番号	200510071817.9	(74) 代理人	100095500
(32) 優先日	平成17年5月24日 (2005.5.24)		弁理士 伊藤 正和
(33) 優先権主張国	中国 (CN)	(74) 代理人	100101247
			弁理士 高橋 俊一
		(74) 代理人	100117064
			弁理士 伊藤 市太郎
		(72) 発明者	潘 振 崗
			中華人民共和国 100080 北京市海
			澱区科学院南路2号融科资讯中心E座7
			層 部科摩 (北京) 通信技術研究中心
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システム及びそのユーザスケジューリング方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

少なくともチャネル推定信号とユーザデータを有するデータフレームを送信する送信側(10)と、

前記送信側(10)が送信したデータフレームを受信し、該データフレームに対応するフィードバック信号を生成させ、前記ユーザデータを復調する少なくとも一つの受信端末(20)を含むランダムビームフォーミング(random beamforming)方式によるMIMO通信システムであって、

前記送信側(10)は、前記フィードバック信号に基づいて、スケジューリングされたユーザと、スケジューリングされた各ユーザの送信データストリームと、各データストリームを送信するために採用する送信ビーム(transmitting beam)とを含むスケジューリング情報を生成し、該スケジューリング情報を利用して適応ユーザスケジューリングを行い、

前記フィードバック信号は、各受信端末に対して最良の送信ビームセットと、前記最良の送信ビームセットの各送信ビームの等価チャネルゲイン(equivalent channel gain)と、前記受信端末に対して干渉が最小の送信ビームセットと、前記干渉が最小の送信ビームセットの各送信ビームが前記ユーザの最良の送信ビームに対する等価チャネルゲインの性能損失比とを含むことを特徴とするランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システム。

【請求項2】

前記送信側(10)は、

ディプレクサーグループ(130)(*diplexer group*)及び前記ディプレクサーグループ上に設置される送信アンテナと、

MIMOスケジューラ(120)と、

MIMOデータプロセッサ(110)とを含み、

前記ディプレクサーグループ(130)(*diplexer group*)及び前記ディプレクサーグループの上位に設置される送信アンテナは、前記データフレームを送信し、前記受信端末(20)からのフィードバック信号を受信し、

前記MIMOスケジューラ(120)は、前記フィードバック信号に基づいて前記スケジューリング情報を生成し、

前記MIMOデータプロセッサ(110)は、前記スケジューリング情報に基づいてスケジューリングを必要とするユーザを選択し、選択されたユーザのデータを選択された送信ビームで送信するものであり、

前記受信端末(20)は、

ディプレクサーグループ(230)及び前記ディプレクサーグループの上位に設置される送信アンテナと、

受信信号プロセッサ(210)と、

フィードバック情報プロセッサ(220)とを含み、

前記ディプレクサーグループ(230)及び前記ディプレクサーグループ上に設置される送信アンテナは、前記送信側(10)からのデータフレームを受信し、ユーザのフィードバック情報を送信し、

前記受信信号プロセッサ(210)は、データフレームに基づいてフィードバックデータを生成させ、ユーザデータを復調し、

前記フィードバック情報プロセッサ(220)は、ユーザフィードバック情報をフィードバック信号に変換するものであることを特徴とする請求項1に記載するランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システム。

【請求項3】

前記MIMOスケジューラ(120)は、

受信したフィードバック信号を対応するデータストリームに変換する受信RFリンクグループ(123)と、

変換されたデータストリームを時空信号処理し、変換されたデータストリームに対応するスケジューリング情報を取得するMIMO受信信号プロセッサ(122)と、

前記スケジューリング情報に基づいて前記MIMOデータプロセッサ(110)の信号処理を制御するスケジューラ(121)とを含むことを特徴とする請求項2に記載するランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システム。

【請求項4】

前記MIMOデータプロセッサ(110)は、

スケジューリング情報に基づいて、スケジューリングされるユーザを選択するユーザセクター(111)と、

スケジューリングされるユーザのユーザデータを分流処理し、複数のデータストリームを出力する複数のパラレル分流器(112)と、

分流器(112)から出力されたデータストリームを処理し、送信されたデータストリームと対応する送信ビームとに対して一対一の対応関係を持たせるビーム分配器(113)と、

ランダムマトリックスを生成し、かつ出力するランダムマトリックス生成器(116)と、

前記ビーム分配器(113)から受信した対応する送信ビームと対応関係を持つデータストリーム及び前記ランダムマトリックス生成器(116)からのランダムマトリックスに基づいて、複数の送信信号を生成するビーム成形器(114)と、

前記ビーム成形器(114)から出力された複数の送信信号を受信し、該複数の送信

10

20

30

40

50

信号を対応するRF信号に変換する送信RFリンクグループ(115)とを含むことを特徴とする請求項2に記載するランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システム。

【請求項5】

ビーム成形器(114)は、複数の乗算器と複数の加算器からなり、送信ビームに対応する複数の送信信号を生成することを特徴とする請求項4に記載するランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システム。

【請求項6】

前記送信RFリンクグループ(115)は、並列する複数の送信RFリンクを含み、ビーム成形器(114)から出力した複数の送信信号を対応するRF信号にそれぞれ変換し

10

、各送信RFリンクが直列接続する一つの変調器(117)と、一つのアップコンバータ(118)と、一つの電力増幅器(119)とを含むことを特徴とする請求項5に記載するランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システム。

【請求項7】

前記受信信号プロセッサ(210)は、

受信したRF信号を復調し、周波数変換処理を行い、対応するデータストリームを得る受信RFリンクグループ(211)と、

取得したデータストリームに基づいて対応するユーザフィードバック情報を生成させるとともに、ユーザデータを復調して出力するMIMO受信信号プロセッサ(212)と

20

を含み、前記フィードバック情報プロセッサ(220)は、

ユーザフィードバック情報をフィードバック信号に変換するMIMO送信信号プロセッサ(221)と、

前記フィードバック信号を対応するRF信号に変換する送信RFリンクグループ(222)とを含むことを特徴とする請求項6に記載するランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システム。

【請求項8】

ランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システムのユーザスケジューリング方法であって、

30

受信端末で、送信アンテナと受信アンテナとの間のチャネル減衰状況に基づいてフィードバック信号を生成させ、前記フィードバック信号を送信側にフィードバックするステップ(a)と、

前記送信側が、前記フィードバック信号を受信し、前記フィードバック信号に基づいて、スケジューリングされたユーザと、スケジューリングされた各ユーザの送信データストリームと、各データストリームを送信するために採用する送信ビームとを含むスケジューリング情報を生成させ、該スケジューリング情報を利用してユーザスケジューリングを行うステップ(b)とを含む、

前記フィードバック信号は、各受信端末に対して最良の送信ビームセットと、前記最良の送信ビームセットの各送信ビームの等価チャネルゲインと、前記受信端末に対して干渉が最小の送信ビームセットと、前記干渉が最小の送信ビームセットの各送信ビームが前記ユーザの最良の送信ビームに対する等価チャネルゲインの性能損失比とを含むことを特徴とするランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システムのユーザスケジューリング方法。

40

【請求項9】

前記ステップ(b)は、

ユーザスケジューリング表と割り当て済み送信ビーム表とを初期化するステップ(1)と、

フィードバックされてきたすべての信号干渉比を比較し、最大信号干渉比を有するユーザを選出してユーザスケジューリング表に加え、対応する送信ビームを割り当て済み送

50

信ビーム表に加えるステップ(2)と、

フィードバックされてきたすべての信号干渉比を比較し、スケジューリングしないユーザの中から、最大信号干渉比を有するユーザを選出して、選出されたユーザが対応する送信ビームが割り当て済み送信ビーム表にない場合、ユーザスケジューリング表に加え、対応する送信ビームを割り当て済み送信ビーム表に加えるステップ(3)と、

ユーザスケジューリングが完成するまでステップ(3)を繰り返すステップ(4)と

最終的なユーザスケジューリング表と割り当て済み送信ビーム表とに基づいて、システムのユーザスケジューリングを行うステップ(5)とを含むことを特徴とする請求項8に記載するユーザスケジューリング方法。

10

【請求項10】

前記ステップ(b)は、

ユーザスケジューリング表と割り当て済み送信ビーム表とを初期化するステップ(1)と、

フィードバックされてきたすべての信号干渉比を比較し、最大信号干渉比を有するユーザを選出してユーザスケジューリング表に加え、対応する送信ビームを割り当て済み送信ビーム表に加えるステップ(2)と、

ユーザスケジューリング表にあるユーザに対して、該ユーザに対応する組合せから干渉が最小の送信ビームを選出し、前記干渉が最小の送信ビームに基づいて、該干渉が最小の送信ビームに対応する最大干渉比を有するユーザを選出し、前記ユーザをユーザスケジューリング表に加え、同時に、前記ユーザが対応する送信ビームを割り当て済み送信ビーム表に加えるステップ(3)と、

20

スケジューリングが完成するまでステップ(3)を繰り返すステップ(4)と、

最終的なユーザスケジューリング表と割り当て済み送信ビーム表とに基づいて、システムのユーザスケジューリングを行うステップ(5)とを含むことを特徴とする請求項8に記載するユーザスケジューリング方法。

【請求項11】

前記ステップ(b)は、

ユーザスケジューリング表と割り当て済み送信ビーム表とを初期化するステップ(1)と、

30

フィードバックされてきたすべての等価チャネルゲインを比較し、最大等価チャネルゲインを有するユーザを選出してユーザスケジューリング表に加え、対応する送信ビームを割り当て済み送信ビーム表に加えるステップ(2)と、

ユーザスケジューリング表にあるユーザに対して、該ユーザに対応する組合せから干渉が最小の送信ビームを選出し、そして前記干渉が最小の送信ビームに対応する最大等価チャネルゲインを有するユーザを選出するステップ(3)と、

フィードバックされてきた性能損失比に基づいて、前記ユーザの加入によってシステム容量を向上させたかどうかを判断し、前記ユーザの加入でシステム容量を向上させた場合、前記ユーザをユーザスケジューリング表に加え、対応する送信ビームを割り当て済み送信ビーム表に加え、前記ユーザの加入でシステム容量を低下させた場合、前記ユーザをユーザスケジューリング表に加えず、スケジューリングを停止させるステップ(4)と、

40

前記ユーザが加入後、スケジューリングが完成するまで順次にステップ(3)と(4)を繰り返すステップ(5)と、

最終的なユーザスケジューリング表と割り当て済み送信ビーム表とに基づいて、システムのユーザスケジューリングを行うステップ(6)とを含むことを特徴とする請求項8に記載するユーザスケジューリング方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、マルチ入力・マルチ出力(Multiple Input Multiple Output、MIMO)アン

50

テナシステムを使用するユーザスケジューリング技術に関するもので、特に、ランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システム及びそのユーザスケジューリング方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

将来の無線通信システムは、たとえば、映像会議、映像リクエスト、双方向型のゲームなどの高速データ業務を提供する必要がある。高速無線業務(High Mobility)は最高100Mbpsの速度が要求され、低速(Low Mobility)又は固定無線(Fixed Wireless)業務はさらに1Gbpsの速度が要求される。

【0003】

無線通信において、チャンネルの速度は、該チャンネルのスペクトラム帯幅とその応用する技術のスペクトラム効率の積に等しい。速度を向上させるためには、そのスペクトラム帯幅又は応用する技術のスペクトラム効率を向上させることが必要である。しかし、周波数資源は有限であるため、無制限にスペクトラム帯幅を増加させることによって通信速度を向上させることは不可能である。最も良い方法は、その応用する技術のスペクトラム効率を向上させることである。

【0004】

通常、主に二つの方法でスペクトラム効率を向上させる。一つは、たとえば、先進的なコーディング技術、信号処理技術などの物理層の技術によってリンクレベルのスペクトラム効率を向上させる。もう一つの方法は、ハイレベルの制御によって柔軟に資源分配をし、システムレベルのスペクトラム効率を向上させる。マルチ入力・マルチ出力(Multiple Input Multiple Output、MIMO)技術とチャンネルユーザスケジューリング(Channel-Aware User Scheduling)に基づく方法は、上記目標を実現する2種類の方法である。

【0005】

いわゆるマルチ入力・マルチ出力技術とは、つまり、同時に通信システムの送信側と受信端末に複数のアンテナ(Multiple Antennas)を取付けることである。それは、片端に複数のアンテナを取付けること、すなわちシングル入力・マルチ出力(Single Input Multiple Output、SIMO)と、マルチ入力・シングル出力(Multiple Input Single Output、MISO)とを含む。異なるアンテナは物理的に分かれるため、一般的に複数のアンテナを使用することは通信システムに他のひとつの信号域空間域を導入すると考えられる。

【0006】

空間資源(Spatial Resource)は大きい性能ゲインを提供できるが、客観的な物理条件の変化によって不確定になるので、容易に利用することができない。より効率的に空間資源を利用するためには、より良い制御技術が欠かせない。

【0007】

次に、ユーザスケジューリング技術について検討する。現在、2種類の最も基本的なユーザスケジューリング方法が無線通信システムに応用されている。一つのユーザスケジューリング技術は循環(Round Robin)スケジューリングで、つまり、チャンネルは循環方式ですべてのユーザに割り当てられる。この方法は、伝統な回路交換と同様、時間遅れの特性とユーザ間の公平性を保証する効果があるが、性能の向上はない。もう一つは最大所望波対干渉波比(MAXC/I)スケジューリング(チャンネルユーザスケジューリングに基づく)と言い、ユーザのチャンネル減衰状況 $h_k$ (シングルアンテナシステムにおいて、複素数スカラーである)に基づいて、アダプティブに現在チャンネルの使用権を最大所望波対干渉波比(簡単に、 $\max = |h_k|$ と見ても良い)を有するユーザに割り当てる。このようにすると、システムの性能を大きく向上させることができる。最大所望波対干渉波比スケジューリングで得た性能ゲインは、マルチユーザダイバーシティ(Multi-User Diversity)と呼ばれる。

【0008】

しかし、チャンネルユーザスケジューリングはチャンネルの状況に基づいて共通チャンネルの分配を決定するので、チャンネル状況に対する依存性が大きい。このように、特殊なチャネ

10

20

30

40

50

ル状況において、システムの性能が顕著に低下することがある。

【0009】

図1(a)と1(b)は、基地局(送信側)に一つの送信アンテナ、かつ二つのユーザ(受信端末)を有するシステム構成を示す図である。上記システムにおいて、チャンネルユーザスケジューリングはチャンネル状況に基づいて共通チャンネルの分配を決定する。

【0010】

図2の(a)は、チャンネル状況が良好のときのチャンネルゲインの状況を示す。(b)はチャンネルにライン・オブ・サイト(Line Of Sight、LOS)が存在するときのチャンネルゲインの状況を示す。(c)はシステムが緩やかに減衰する状況にあるときのチャンネルゲインの状況を示す。

10

【0011】

図2において、曲線1はユーザ1の時間の経過とともに変化するチャンネルゲイン曲線を示す。曲線2はユーザ2の時間の経過とともに変化するチャンネルゲイン曲線を示す。横方向の点線は現在のシステムが時間の経過とともに変化する平均チャンネルゲイン曲線を示す。(a)から分かるように、異なる時刻において、システムはユーザ1とユーザ2のチャンネルゲインに基づいて共通チャンネルの分配を決定し、すなわち、 $0 - t_1$ の時間においてユーザ1に、 $t_1 - t_2$ の時間においてユーザ2に分配するなど、それぞれ時間軸に「1」、「2」で表示する。最後に、システムのチャンネルゲインは曲線1と曲線2の上の包絡線であり、その平均を求め、横方向の点線で示すシステム平均チャンネルゲイン曲線を得る。

【0012】

20

図2(a)と(b)を比較して分かるように、チャンネルにラインオブサイトが存在するとき、そのラインオブサイトがチャンネル係数の変動を低下させるため、実現できるシステム平均チャンネルゲインを低下させる。しかも、図2(b)と(c)を比較して分かるように(カッコに示す時間間隔)、システムの減衰が緩やかなとき、伝送の時間遅れはより大きい。

【0013】

この課題を解決するため、P. Viswanath、D. N. C. Tse及びR. Laroiaらは一つの解決方法を提案している。(非特許文献1参照)。

【0014】

上記の方法では、基地局に $n_T$ 本のアンテナを取り付け、かつ各ユーザが一本のアンテナを利用するとすれば、ユーザのチャンネルはベクトル

30

【数1】

$$\mathbf{h}_k \in \mathbb{C}^{n_T \times 1}$$

【0015】

である。送信する前、データ信号に $n_T$ 次元ランダム複素数ベクトル

【数2】

$$\mathbf{w} \in \mathbb{C}^{n_T \times 1}$$

40

【0016】

を乗じ、そして、上記データ信号を全部 $n_T$ 本のアンテナから送信する。このとき、各ユーザの検出したチャンネルゲインは、実際のチャンネルと送信ベクトルを結合した等価チャンネルゲイン

【数3】

$$GN_k = |\mathbf{h}_k^* \mathbf{w}|$$

【0017】

である。各ユーザは、検出した等価チャンネルゲインを基地局へフィードバックし、そして

50

、基地局ではチャンネルが最大等価チャンネルゲインを有するユーザに分配される。

【0018】

例えば、図1(a)と図1(b)において、最大等価チャンネルゲインを有するユーザはちょうど送信ベクトル  $h_k$  が形成する送信ビーム内にある。この場合、ランダム複素数ベクトル  $W$  を変化させることによって、等価チャンネルゲインの統計特性(例えば、関連特性、時間の経過とともに変化する特性など)を変化させることができ、ユーザスケジューリングの要求に満たすことができるが、この方法の欠点は、毎回に一つだけのユーザ、例えば、 $t_1$ の時刻にスケジューリングユーザ1、 $t_2$ の時刻にスケジューリングユーザ2にしかスケジューリングできないので、大量の空間資源が浪費され、しかもシステムスループット(system throughput)も高SNRの領域で減少してしまう。

10

【0019】

この課題を解決するため、R. Laroia、J. Li、S. Rangan及びM. Srinivasanなどは、複数のランダムビームフォーミング方法(Multiple Random Beamforming)を提示している(非特許文献2参照)。

【0020】

$n_T$ 本の送信アンテナに対し、原則上、 $n_T$ 個の互いに独立する送信ビームをサポートできる。上記方法は、基地局に $n_T$ 個のランダム送信ベクトル  $W_n$  (そのうち、 $n=1, \dots, n_T$ ) を生成させ、各ユーザが一つの最良の送信ビーム及び対応する等価チャンネルゲインをフィードバックする方法である。各送信ビームについて、1以上のユーザにより選択される可能性があり、基地局で最大等価チャンネルゲインを有するユーザに分配される。

20

【非特許文献1】「Opportunistic beamforming using dumb Antennas」、IEEE Trans. Infor. Theory、Vol. 48、No. 6、pp. 1277-1294、June. 2002

【非特許文献2】「Enhanced opportunistic beamforming」、IEEE VTC2003-Fall、Vol. 3、PP. 1762-1766、OCT. 2003

【非特許文献3】「A random beamforming technique in MIMO systems exploiting multiuser diversity」、IEEE JSAC、Vol. 21、No. 5、June 2003

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0021】

上記方法は、以下の問題を存在する。

30

【0022】

(1)ランダムな送信ビームの間に存在する干渉を考慮していない。例えば、図3において、ユーザ1と2は、それぞれ送信ビーム1と2のメインローブ(main lobe)に対応するので、この場合は、ユーザ1と2をスケジューリングする。しかし、送信ビーム1のサイドローブ(side lobe)がユーザ2に対し大きな干渉を存在する場合、送信ビーム2に対応するユーザ2の実際の性能は、ユーザ3より良くない。従って、マルチユーザスケジューリングを行うとき、干渉を考慮する必要がある。

【0023】

(2)上記方法では、毎回 $n_T$ 個のユーザをスケジューリングする必要があるが、実際に、チャンネル状況が常に変化しているので、多くのときのチャンネル状況は同時に多くのユーザをスケジューリングできない。強制的にマルチユーザをスケジューリングすることはシステム性能を低下させる。

40

【0024】

また、上記方法ではユーザが複数のアンテナを有するときのスケジューリング方法を開示していない。

【0025】

そこで、J. Chung、C. S. Hwang、K. Kim及びY. K. Kimなどは、ユーザが複数のアンテナを利用することができるときのランダムビームフォーミングを使用する方法を開示している(非特許文献3参照)。

【0026】

50

しかし、常に全部の送信ビームをひとつのユーザに分配するので、最良の方法ではないことは明らかである。

【課題を解決するための手段】

【0027】

本発明の第1の特徴に基づく発明は、ランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システムにおいて、チャンネル推定信号とユーザデータとを少なくとも有するデータフレームを送信する送信側と、送信側が送信したデータフレームを受信し、データフレームに対応するフィードバック信号を生成させ、ユーザデータを復調する少なくとも一つの受信端末とを含む。送信側は、上記フィードバック信号に基づいて、スケジューリング情報を生成させ、このスケジューリング情報を利用して適応なユーザスケジューリングを行う。上記スケジューリング情報はスケジューリングされたユーザと、スケジューリングされた各ユーザの送信データストリームと、各データストリームを送信するために採用する送信ビームとを含む。

10

【0028】

本発明の第2の特徴に基づく発明は、上記フィードバック信号において、各受信端末に最良の送信ビームセットと、上記最良の送信ビームセットの各送信ビームに対応する信号干渉比とを含む。

【0029】

本発明の第3の特徴に基づく発明は、上記フィードバック信号において、さらに各受信端末に対して干渉が最小の送信ビームセットを含む。

20

【0030】

本発明の第4の特徴に基づく発明は、上記フィードバック信号において、各受信端末に最良の送信ビームセットと、上記最良の送信ビームセットの各送信ビームの等価チャネルゲインと、上記受信端末に対して干渉が最小の送信ビームセットと、この干渉が最小の送信ビームセットの各送信ビームが上記ユーザの最良の送信ビームに対する性能損失比とを含む。

【0031】

本発明の第5の特徴に基づく発明は、ランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システムのユーザスケジューリング方法において、受信端末が、送信アンテナと受信アンテナとの間のチャンネル減衰状況に基づいてフィードバック信号を生成させ、上記フィードバック信号を送信側にフィードバックするステップ(a)と、上記送信側が、上記フィードバック信号を受信し、このフィードバック信号に基づいてスケジューリング情報を生成させ、上記スケジューリング情報を利用してユーザスケジューリングを行うステップ(b)とを含む。上記スケジューリング情報はスケジューリングされたユーザと、スケジューリングされた各ユーザのデータストリームと、各データストリームを送信するために採用する送信ビームとを含む。

30

【0032】

上記ステップ(b)は、ユーザスケジューリング表と割り当て済み送信ビーム表とを初期化するステップ(1)と、フィードバックされてきたすべてのチャンネル干渉比を比較し、最大チャンネル干渉比を有するユーザを選出してユーザスケジューリング表に加え、対応する送信ビームを割り当て済み送信ビーム表に加えるステップ(2)と、フィードバックされてきたすべてのチャンネル干渉比を比較し、スケジューリングしないユーザの中から、最大チャンネル干渉比を有するユーザを選出し、選出されたユーザに対応する送信ビームが割り当て済み送信ビーム表にない場合、ユーザスケジューリング表に加え、対応する送信ビームを割り当て済み送信ビーム表に加えるステップ(3)と、ユーザスケジューリングが完成するまでステップ(3)を繰り返すステップ(4)と、最終的なユーザスケジューリング表と割り当て済み送信ビーム表とに基づいて、システムのユーザスケジューリングを行うステップ(5)とを含んでも良い。

40

【0033】

上記ステップ(b)は、ユーザスケジューリング表と割り当て済み送信ビーム表とを初期

50

化するステップ(1)と、フィードバックされてきたすべてのチャンネル干渉比を比較し、最大チャンネル干渉比を有するユーザを選出してユーザスケジューリング表に加え、対応する送信ビームを割り当て済み送信ビーム表に加えるステップ(2)と、ユーザスケジューリング表にあるユーザに対し、対応する組合せから対応する干渉が最小の送信ビームを選出し、上記干渉が最小の送信ビームに基づいて対応する最大干渉比を有するユーザを選出し、上記ユーザをユーザスケジューリング表に加え、同時に、上記ユーザに対応する送信ビームを割り当て済み送信ビーム表に加えるステップ(3)と、スケジューリングが完成するまでステップ(3)を繰り返すステップ(4)と、最終的なユーザスケジューリング表と割り当て済み送信ビーム表とに基づいて、システムのユーザスケジューリングを行うステップ(5)とを含んでも良い。

10

**【0034】**

さらに、上記ステップ(b)は、ユーザスケジューリング表と割り当て済み送信ビーム表とを初期化するステップ(1)と、フィードバックされてきたすべての等価チャンネルゲインを比較し、最大等価チャンネルゲインを有するユーザを選出してユーザスケジューリング表に加え、対応する送信ビームを割り当て済み送信ビーム表に加えるステップ(2)と、ユーザスケジューリング表にあるユーザに対し、対応する組合せから対応する干渉が最小の送信ビームを選出し、上記干渉が最小の送信ビームに対応する最大等価チャンネルゲインを有するユーザを選出するステップ(3)と、フィードバックされてきた性能損失比に基づいて、上記ユーザの加入によってシステム容量を向上させたかどうかを判断し、上記ユーザの加入でシステム容量を向上させた場合、上記ユーザをユーザスケジューリング表に加

20

**【0035】**

上記ユーザの加入でシステム容量を低下させた場合、上記ユーザをユーザスケジューリング表に加え、スケジューリングを停止させるステップ(4)、上記ユーザが加入後、スケジューリングが完成するまで順次にステップ(3)と(4)を繰り返すステップ(5)、最終的なユーザスケジューリング表と割り当て済み送信ビーム表とに基づいて、システムのユーザスケジューリングを行うステップ(6)とを含んでも良い。

**【0036】**

現有技術に比較し、本発明のランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システム及びそのユーザスケジューリング方法は当時のチャンネル状況、異なるフィードバック情報に基づいて、固定ユーザのスケジューリングと適応なスケジューリングを行うことができ、システム制御の知能化及び通信安定性を向上させ、常にシステム容量が最大を保持することができる。特に、適応スケジューリングに対し、さらに以下の優れた点がある。

30

**【0037】**

(1) 各受信端末にとって、もっとも多く受信アンテナ数と同じ数量の送信ビームの分配を要求できる。

**【0038】**

(2) 各受信端末のフィードバック情報は、最良の送信ビームセットと、選出された送信ビームが提供できる等価チャンネルゲインと、干渉が最小の複数の送信ビームセットと、この干渉が最小の複数の送信ビームセットにおける各送信ビームが上記ユーザに対する最良の送信ビームの性能損失比とを含む。これによればアンテナ選択時の算出法の複雑度を低下することができ、しかも予めスケジューリングを要するユーザ数を知っておく必要がない。

40

**【0039】**

(3) 送信側にとって、スケジューリングされるユーザ数はその時のチャンネル状況によって決定され、予め確定する必要がない。

**【発明の効果】****【0040】**

本発明の目的は、ランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システムを提供することである。

50

## 【 0 0 4 1 】

本発明のもう一つの目的は、上記通信システムに使用するユーザスケジューリング方法を提供することである。

## 【 発明を実施するための最良の形態 】

## 【 0 0 4 2 】

次に図面と合わせて、本発明を説明する。

## 【 0 0 4 3 】

図4は、本発明のランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システムの構造図である。そのうち、上記MIMO通信システムは送信側10（基地局）及び複数の受信端末20（ユーザ）を含む。図5は、図4に示すMIMO通信システムのユーザスケジューリングのフローチャートを示す図である。図6は、本発明のランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システムが採用するフレームの構造図を示す図である。

10

## 【 0 0 4 4 】

図4乃至6に示すように、送信側10は、MIMOデータプロセッサ110と、MIMOスケジューラ120と、ディプレクサーグループ130と、 $n_T$ 本の送信アンテナとを有する。各受信端末20は、受信信号プロセッサ210と、フィードバック情報プロセッサ220と、ディプレクサーグループ230と、 $n_R$ 個の受信アンテナとを有する。各受信端末20の受信アンテナの数は異なっても良い。上記フレームは、チャンネル推定時間帯と、チャンネルフィードバック時間帯と、データ送信時間帯とを含み、しかもシステムの要求に応じてその他時間帯を設定することができ、ここでは説明の簡素化のために、省略することにする。

20

## 【 0 0 4 5 】

スケジューリング情報取得過程

図6から分かるように、送信側10は、ユーザデータ信号を送信する前、まずディプレクサーグループ130を介して $n_T$ 本の送信アンテナから送信ビーム形式で受信端末20に向けてチャンネル推定信号を送信する。

## 【 0 0 4 6 】

仮に、送信側10の送信信号が $n_T$ 次元の複素数ベクトル

## 【 数 4 】

$$\mathbf{x} \in \mathbb{C}^{n_T}$$

30

## 【 0 0 4 7 】

であるとすると、各受信端末20が受信するのは $n_R$ 次元の複素数ベクトル

## 【 数 5 】

$$\mathbf{y}_k \in \mathbb{C}^{n_R}$$

## 【 0 0 4 8 】

であり、送信側10と受信端末20との間には、 $n_R \times n_T$ 次元のチャンネル減衰マトリックス(式1)が存在する。

40

## 【 数 6 】

$$\mathbf{H}_k = [\mathbf{h}_1^k, \dots, \mathbf{h}_{n_T}^k] = \begin{bmatrix} h_{1,1}^k & h_{1,2}^k & \Lambda & h_{1,n_T}^k \\ h_{2,1}^k & h_{2,2}^k & & \\ \mathbf{M} & & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ h_{n_R,1}^k & & \Lambda & h_{n_R,n_T}^k \end{bmatrix} \quad (1)$$

## 【 0 0 4 9 】

なお、

50

【数7】

$$h_{i,j}^k$$

【0050】

は、送信側10の第*i*本送信アンテナと受信端末20の第*j*本アンテナ間のチャネル送信特性を示す（*k*は、第*k*ユーザを示す）。

【0051】

したがって、システムの伝達関数は、以下の式2のように示すことができる。

【数8】

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_k &= \mathbf{H}_k \mathbf{x}_k + \boldsymbol{\mu}_k \\ k &= 1, \dots, K \end{aligned} \quad (2)$$

10

【0052】

なお、

【数9】

$$\boldsymbol{\mu}_k \in C^{n_r}$$

20

【0053】

は、 $n_r$ 次元の複素数ベクトルであり、受信端末20のホワイトノイズを示す。

【0054】

そして、各受信端末20は確実なチャネル減衰状況を把握できる。このチャネル減衰状況は実際のチャネル減衰状況と送信側のランダム複素数ベクトルとを結合している。上記チャネル減衰状況に基づいて、各受信端末20は受信信号プロセッサ210を介してそれを処理することによってユーザのフィードバック情報を取得し、これをフィードバック情報プロセッサ220へ送信する。

【0055】

フィードバック情報プロセッサ220は、受信したユーザ情報を処理し、それをMIMO通信システムに適應するフィードバック信号（RF信号）に変換する。このフィードバック信号は、受信端末20のアンテナを介し、フィードバックチャネルを経て送信側10へフィードバックされる。

30

【0056】

送信側10のアンテナは、フィードバック信号を受信した後、それをMIMOスケジューラ120へ送達する。MIMOスケジューラ120は、この信号に基づいてスケジューリング情報を生成させ、生成されたスケジューリング情報を利用して、MIMOデータプロセッサ110の操作を制御し、それによってMIMO通信システムを最大システム容量時のスケジューリング状態に達するようにさせる。すなわち、スケジューリング情報に基づいて最良化したユーザスケジューリングを行う。

40

【0057】

上記チャネル減衰状況を取得する方法は、チャネル推定信号（つまりパイロット信号）を利用することによって行われ、データフレームにチャネル推定信号が挿入され、受信端末20はそのチャネル推定信号に基づいて送信側10と受信端末20との間のチャネル減衰状況を取得し、さらに受信信号プロセッサ210でチャネル減衰状況処理した後、ユーザフィードバック情報を取得する。

【0058】

しかし、本発明において、チャネルブラインド推定方法を利用してチャネル減衰状況を取得することもできる。すなわち、データフレームにチャネル推定時間帯を設定する必要がなく、受信端末20は、送信側10が送信したデータを受信すると同時に、チャネルブラ

50

ンド推定でチャネル減衰状況を取得し、その後受信信号プロセッサ210でチャネル減衰状況処理した後、ユーザフィードバック情報を取得する。このとき、チャネル推定信号の挿入によるスペクトラム資源の浪費を回避できる。

【0059】

図7は、さらに本発明のMIMO通信システムの送信側10の構造を示す図である。図8は、図7に示すビーム成形器の一種の具体構造図である。図9は、送信側10の送信RFリンクグループの構造を示す図である。図10は、本発明の送信側10のディプレクサーグループ130を示す図である。図11は、さらに本発明のMIMO通信システムの受信端末20の構造を示す図である。図7と図11において階層型時空間信号処理方法を用いてMIMO通信を説明している。信号処理について、同様にその他の従来技術で開示されている信号処理方法と装置、たとえば時空間コーディング方法などを採用して実行することができる。

10

【0060】

ユーザデータ送信 / 受信及びスケジューリング過程

送信側10

図7において、上記送信側10は、MIMOデータプロセッサ110と、MIMOスケジューラ120と、ディプレクサーグループ130と、 $n_T$ 本の送信アンテナとを含む。

【0061】

上記MIMOスケジューラ120は、受信RFリンクグループ123と、MIMO受信信号プロセッサ122と、スケジューラ121とを含む。そのうち、受信RFリンクグループ123は、送信アンテナと対応する数量の受信RFリンクを有し、受信したフィードバック信号を対応するデータストリームに変換するために用いられる。MIMO受信信号プロセッサ122は、変換されたデータストリームを時空間信号処理し、対応するスケジューリング情報を得る。このスケジューリング情報は、スケジューリングを要するユーザと、スケジューリングする各ユーザのデータを送信するために必要とするデータストリーム数と、各データストリームが対応する送信ビームとを含む。スケジューラ121は、上記スケジューリング情報を利用して、MIMOデータプロセッサ110の信号処理を制御する。

20

【0062】

上記MIMOデータプロセッサ110は、ユーザセレクター111と、並列する複数の分流器112と、ビーム分配器113と、ビーム成形器114と、送信RFリンクグループ115と、ランダムマトリックス生成器116とを含む。

30

【0063】

そのうち、スケジューリング情報の制御のもと（スケジューリング情報における「スケジューリングを要するユーザ」に基づく）で、ユーザセレクター111は、スケジューリングを要するユーザ数量 $n_S$ を選択し、かつ対応するユーザデータを出力するために用いる。ここで、 $n_S$ は、送信側10のアンテナの数量 $n_T$ 以下である。

【0064】

スケジューリング情報の制御のもとで、 $n_S$ 個の分流器112が選出され、スケジューリングする $n_S$ 個のユーザのユーザデータの分流処理に用い、すなわち、スケジューリング情報における「各スケジューリングするユーザのデータを送信するために必要とするデータストリーム数」に基づいて、スケジューリングされる $n_S$ 個のユーザのユーザデータを $L$  ( $n_S \leq L \leq n_T$ ) 個のデータストリームに分けて出力し、そのうち $L$ はスケジューリングする各ユーザのデータに分配されるデータストリーム数の総和である。実際に、各ユーザデータの各データストリームは対応する受信端末の一つのアンテナに対応する。

40

【0065】

そして、ビーム分配器113で分流器112が出力する $L$ 個のデータストリームを $L$ 個の異なる層として処理し、スケジューリング情報の「各データストリームに対応する送信ビーム」に基づいて、送信する $L$ 個のデータストリームをそれぞれ対応する送信ビームと一対一の対応関係を有するものとし、対応関係のあるデータストリームを出力する。図7に示すのは $n_T$ 個を出力するが、実際には、そのうち、ユーザデータを有するデータストリームは $L$ 個だけしかなく、その他の $n_T - L$ 個のデータストリームは、ユーザデータを有していな

50

い。

【0066】

ランダムマトリックス生成器116は、ランダム的に  $n_T \times n_T$  次元マトリックス ( $W_{i,j}$  で示す、 $i, j$  は、 $1-n_T$  の正の整数) を生成し、この  $n_T \times n_T$  次元マトリックスをビーム成形器114に入力する。このランダム  $n_T \times n_T$  次元マトリックスは経験マトリックス (experienced matrix) であってもいいし、又はチャネル情報に基づいて生成したチャネルマトリックスであってもいい。すなわち、上記ランダムマトリックス生成器116は、スケジューラ121のスケジューリング情報を受信でき、このスケジューリング情報のチャネル情報に基づいて対応するランダムマトリックスを生成し、又はスケジューラから独立し、単独に経験マトリックスを生成することができる。

10

【0067】

ビーム成形器114は、ランダムマトリックス生成器116で生成したランダム  $n_T \times n_T$  次元マトリックスに基づいて、ビーム分配器113から入力した  $n_T$  個のデータストリーム (送信ビームと対応関係を有し、ユーザデータを有する  $L$  個のデータストリーム及びユーザデータを有しない  $n_T-L$  個のデータストリームを含む) にウェイト操作 (weighting operation) を行い、 $n_T$  個の送信信号を生成する。

【0068】

送信RFリンクグループ115は、ビーム成形器114から出力した  $n_T$  個の送信信号を受信し、上記  $n_T$  個の送信信号を対応するRF信号に変換し、ディプレクサーグループ130の  $n_T$  本の送信アンテナで送信する。

20

【0069】

図8は、ビーム成形器114の一種の具体的な構造図である。そのうち、ビーム成形器114は、 $n_T \times n_T$  個の乗算器と  $n_T$  個の加算器からなる。このビーム成形器114は、 $n_T$  個のデータストリームに対応する  $n_T$  個の送信信号を生成でき、各送信信号の生成方式は、ほぼ同じである。記述を簡単化するため、第  $i$  個の送信信号を例にして説明する。

【0070】

まず、第  $i$  個の送信信号には、ランダムマトリックス生成器116からの  $n_T \times n_T$  次元マトリックスの第  $i$  行 ( $W_{1,i}$  から  $W_{n_T,i}$  まで) の各元素 (係数) がそれぞれ各データストリームに乘じられ、そして、乗算した後のデータを加算し、第  $i$  個の送信信号になる。

【0071】

図9は、さらに送信RFリンクグループ115の具体構造を説明し、この送信RFリンクグループ115は、 $n_T$  個の並行する送信RFリンクを含み、各送信RFリンクは直列接続する変調器17と、アップコンバータ118と、電力増幅器119とを含み、この電力増幅器119はパワーの大きい線型増幅器であっても良い。そのうち、上記  $n_T$  送信RFリンクはそれぞれビーム成形器114から出力した  $n_T$  個の信号を相応するRF信号に変換する。

30

【0072】

図10は、本発明の送信側10のディプレクサーグループ130を示す図である。そのうち、このディプレクサーグループ130は、 $n_T$  個の並行するディプレクサーを含む。各ディプレクサーは、一本の対応する送信アンテナに接続し、かつ送信RFリンクグループ115と受信RFリンクグループ123に接続する。

40

【0073】

受信端末20

説明を簡単にするため、ここに1つの受信端末20を示す。

【0074】

図11において、この受信端末20は、受信信号プロセッサ210と、フィードバック情報プロセッサ220と、ディプレクサーグループ230と、 $n_R$  本のアンテナとを含む。

【0075】

そのうち、この受信信号プロセッサ210は、受信RFリンクグループ211と、MIMO受信信号プロセッサ212とを含む。上記フィードバック情報プロセッサ220は、MIMO送信信号プロセッサ221と、送信RFリンクグループ222とを含む。

50

## 【 0 0 7 6 】

上記受信RFリンクグループ211は、受信アンテナの数量  $n_R$  と同一の並列する受信RFリンク（図示せず）を有し、受信したRF信号を対応するデータストリームに復調するために用い、MIMO受信信号プロセッサ212へ送信する。

## 【 0 0 7 7 】

上記MIMO受信信号プロセッサ212は、データストリームを最初のユーザデータに復調し、かつそれを出力する。

## 【 0 0 7 8 】

データフレームのデータの送信から分かるように、データフレームのチャネル推定時間帯のチャネル推定信号は同様な方式で送信されるが、ただスケジューリング情報の元でユーザを選択するような選択過程が存在しない。同時に、 $n_T$  個のデータストリームに分配される。これらのデータストリームはそれぞれ  $n_T$  個のビームと一対一で対応し、しかもビーム成形器で  $n_T$  個の送信ビームが生成され、最終的にアンテナから送信される。

10

## 【 0 0 7 9 】

データフレームの変化に対するランダムマトリックスの元素の変化は、時間的により長く、通常、一つのデータフレームの時間は  $\mu\text{sec}$  (micro second) レベルであるのに対し、ランダムマトリックスの生成は  $\text{msec}$  (milli second) レベルなので、チャネル推定時間帯でフィードバックする情報には、当時を反映するチャネル状況を使用しても良い。

## 【 0 0 8 0 】

次に、異なるスケジューリングユーザ状況を結合し、本発明のスケジューリング過程について説明する。受信端末20には、本発明のスケジューリングにおいて、複数本のアンテナを有する各受信端末20を、同じ数量の一本のアンテナを有する受信端末20と考えても良い。ここで、各受信端末20が一本のアンテナを有する状況のみについて説明するが、各受信端末20が複数本のアンテナを有することにも応用できる。

20

## 【 0 0 8 1 】

（第一スケジューリング例）

各受信端末20は、チャネル減衰状況に基づいて、受信信号プロセッサ210を介して受信した信号を処理することによって、ユーザフィードバック情報を取得し、フィードバック情報プロセッサ220へ送信する。そのうち、このユーザフィードバック情報は、上記受信端末20に最良の送信ビーム  $n_k$  のセット及びこの最良の送信ビームセットの各送信ビームに対応する信号干渉比  $GNI_k$  を含み、この最良の送信ビームセットにおける最良の送信ビームの数は、実際のチャネル状況に基づいて選定しても良い。

30

## 【 数 1 0 】

$$n_k = \arg \max_{n=1 \dots n_T} |H_k^* \mathbf{w}_n| \quad (3)$$

$$GNI_k = \frac{|H_k^* \mathbf{w}_{n_k}|^2}{1 + |H_k^* \sum \mathbf{w}_n|^2} \quad (4)$$

40

## 【 0 0 8 2 】

なお、 $\mathbf{w}_n$  は、送信側のランダム複素数ベクトルを示し、 $H_k$  は、送信側10と受信端末20の間のチャネル減衰マトリックスを示す。

## 【 0 0 8 3 】

フィードバック情報プロセッサ220は、受信したユーザフィードバック情報を処理し、MIMO通信システムに適應するフィードバック信号へ変換する。このフィードバック信号は、受信端末20のアンテナでフィードバックチャネルを経て送信側10へフィードバックする

50

## 【 0 0 8 4 】

送信側10のスケジューラ121は、フィードバック信号を受信すると、システムスケジューリングを行う。各受信端末20は、その最良の送信ビームセット及び最良の送信ビームセットの各送信ビームに対応する信号干渉比  $G N I_k$  をフィードバックするので、スケジューリング過程は、主に以下のステップを含む。

## 【 0 0 8 5 】

ユーザスケジューリング表SUと割り当て済み送信ビーム表SBとを初期化するステップ(1)と、フィードバックされてきたすべてのチャンネル干渉比  $G N I_k$  を比較し、最大チャンネル干渉比  $G N I_k$  を有するユーザを選出してユーザスケジューリング表SUに加え、対応する送信ビームを割り当て済み送信ビーム表SBに加えるステップ(2)と、そして、フィードバックされてきたすべてのチャンネル干渉比  $G N I_k$  を比較し、スケジューリングしないユーザの中から、最大チャンネル干渉比  $G N I_k$  を有するユーザを選出してユーザスケジューリング表SUに加え、対応する送信ビームを割り当て済み送信ビーム表SBに加えるステップ(3)と、ユーザスケジューリングが完成するまでステップ(3)を繰り返すステップ(4)と、最終的なユーザスケジューリング表SUと割り当て済み送信ビーム表SBとに基づいて、MIMOデータプロセッサ110を制御し、スケジューリングされるユーザのデータストリームを独立するデータストリームに分け、対応する送信ビームに分配し、送信アンテナから送信するステップ(5)とを含む。

## 【 0 0 8 6 】

上記スケジューリングステップ(3)又は(4)において、ある受信端末20(ユーザ)が既にユーザスケジューリング表SUに加えられ、しかも、最良の送信ビームセットのもう一つの送信ビームを選択するとき、上記受信端末20が一本のアンテナしかないので、再びスケジューリングされず、このとき、スケジューリングは停止する。

## 【 0 0 8 7 】

同時に、上記スケジューリングステップ(3)又は(4)において、上記ユーザが対応する送信ビームは既に割り当て済み送信ビーム表SBに加えられた場合、上記ユーザが再びスケジューリングされず、このとき、スケジューリングは停止する。

## 【 0 0 8 8 】

各受信端末20が複数本のアンテナを有する場合、各アンテナを一つの受信端末と想定すると、各受信端末が複数本のアンテナを有するスケジューリング状況は各受信端末が一本のアンテナしかない状況に近い。

## 【 0 0 8 9 】

(第二スケジューリング例)

本発明のランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システムは、送信ビーム間の干渉を考慮し、かつスケジューリングされるユーザの数が固定された  $M (1 < M < n_T)$  個である場合、各受信端末20は、チャンネル減衰状況に基づいて、受信信号プロセッサ210を介して受信した信号を処理することによって、ユーザフィードバック情報を取得し、フィードバック情報プロセッサ220へ送信する。

## 【 0 0 9 0 】

そのうち、上記ユーザフィードバック情報は、上記受信端末20に最良の送信ビーム  $n_k$  のセットと、上記最良の送信ビームセットの各送信ビームに対応する信号干渉比  $G N I_k$  と、上記受信端末に対して干渉が最小の送信ビームセット  $Q_k$  とを含む。上記最良の送信ビームセットの最良の送信ビームの数及び上記受信端末に干渉が最小の  $(M-1)$  個の送信ビームセット  $Q_k$  に送信ビームの数は、実際のチャンネル状況に基づいて選定しても良い。その原則としては、同一の送信ビームは、同時に上記二つのセットに含めることができない。

【数 1 1】

$$Q_k = \operatorname{argmin}_{S=\{s_1, \dots, s_{M-1} \mid s_i=1, \dots, n_T\}} \left| h_k^* \sum_{n \in S} w_n \right| \quad (5)$$

【0091】

なお、Sは、 $n_T$ 個のビームから(M-1)個の異なる干渉の最小のビームを選出するためのあらゆる可能性の集合を示す。

10

【0092】

フィードバック情報プロセッサ220は、受信したユーザフィードバック情報を処理し、MIMO通信システムに適応するフィードバック信号へ変換する。このフィードバック信号は、受信端末20のアンテナでフィードバックチャネルを経て送信側10へフィードバックする。

【0093】

送信側10のスケジューラ121は、フィードバック信号を受信すると、システムスケジューリングを行う。このとき、各受信端末20は、最良の送信ビーム  $n_k$  のセットと、上記最良の送信ビームセットの各送信ビームに対応する信号干渉比  $GNI_k$  と、上記受信端末の干渉が最小の(M-1)個の送信ビームセット  $Q_k$  とをフィードバックするので、スケジューリング過程は、主に以下のステップを含む。

20

【0094】

ユーザスケジューリング表SUと割り当て済み送信ビーム表SBとを初期化するステップ(1)と、フィードバックされてきたすべてのチャンネル干渉比  $GNI_k$  を比較し、最大チャンネル干渉比  $GNI_k$  を有するユーザを選出してユーザスケジューリング表SUに加え、対応する送信ビームを割り当て済み送信ビーム表SBに加えるステップ(2)と、ユーザスケジューリング表にあるユーザに対し、対応するセット  $Q_k$  から対応する干渉が最小の送信ビームを選出し、このあと、この干渉が最小の送信ビームに基づいて対応する最大チャンネル干渉比のユーザを選出し、このユーザをユーザスケジューリング表SUに加え、このユーザに対応する送信ビームを割り当て済み送信ビーム表SBに加えるステップ(3)と、ユーザスケジューリングが完成するまでステップ(3)を繰り返すステップ(4)と、最後に、最終的なユーザスケジューリング表SUと割り当て済み送信ビーム表SBとに基づいて、MIMOデータプロセッサ110を制御し、スケジューリングされるユーザのデータを独立するデータストリームに分け、対応する送信ビームに分配し、送信アンテナから送信するステップ(5)とを含む。

30

【0095】

(第三スケジューリング例)

本発明のランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システムは送信ビーム間の干渉及びこの干渉がシステム容量に与える影響を考慮する場合、各受信端末20は、チャンネル減衰状況に基づいて、受信信号プロセッサ210を介して受信した信号を処理することによって、ユーザフィードバック情報を取得し、フィードバック情報プロセッサ220へ送信する。

40

【0096】

そのうち、このユーザフィードバック情報は、上記受信端末20に最良の送信ビーム  $n_k$  のセットと、上記最良の送信ビームセットにおける各送信ビームの等価チャンネルゲイン  $GNI_k$  と、上記受信端末に干渉が最小の送信ビームのセット  $Q_k$  と、上記干渉が最小の送信ビームセット  $Q_k$  に各送信ビームが上記ユーザに対する最良送信ビームの性能損失比  $D_{k,i}$  とを含む。

【数 1 2】

$$\{D_{k,i}\} = \left\{ \frac{GN_k}{|\mathbf{h}_k^* \mathbf{w}_i|^2}, i \in Q_k \right\} \quad (6)$$

【 0 0 9 7 】

フィードバック情報プロセッサ220は、受信したユーザフィードバック情報を処理し、MIMO通信システムに適應するフィードバック信号(RF信号)へ変換する。このフィードバック信号は、受信端末20のアンテナでフィードバックチャネルを経て送信側10へフィードバックする。

10

【 0 0 9 8 】

送信側10のスケジューラ121は、フィードバック信号を受信した時、システムスケジューリングを行う。各受信端末20は、その最良の送信ビーム  $n_k$  のセットと、この最良の送信ビームセットにおける各送信ビームの等価チャネルゲイン  $GN_k$  と、上記受信端末に対して干渉が最小の送信ビームセット  $Q_k$  と、この干渉が最小の送信ビームセット  $Q_k$  に各送信ビームが上記ユーザに対する最良送信ビームの性能損失比  $D_{k,i}$  とをフィードバックするので、スケジューリング過程は、主の以下のステップを含む。

20

【 0 0 9 9 】

ユーザスケジューリング表SUと割り当て済み送信ビーム表SBとを初期化するステップ(1)と、フィードバックされてきたすべての等価チャネルゲイン  $GN_k$  を比較し、最大等価チャネルゲイン  $GN_k$  を有するユーザを選出してユーザスケジューリング表SUに加え、対応する送信ビームを割り当て済み送信ビーム表SBに加えるステップ(2)と、ユーザスケジューリング表にあるユーザに対し、その対応するセット  $Q_k$  から対応する干渉が最小の送信ビームを選出し、このあと、この干渉が最小の送信ビームに対応する最大チャネル干渉比のユーザを選出するステップ(3)と、フィードバックされてきた性能損失比  $D_{k,i}$  に基づいて、上記ユーザの加入によってシステム容量を向上させるかどうかを判断する。

30

【 0 1 0 0 】

上記ユーザの加入でシステム容量を向上させた場合、上記ユーザをユーザスケジューリング表SUに加え、上記ユーザに対応する送信ビームを割り当て済み送信ビーム表SBに加える。

【 0 1 0 1 】

上記ユーザの加入によってシステム容量を低下させた場合、上記ユーザをユーザスケジューリング表に加え、スケジューリングを停止させるステップ(4)と、上記ユーザが加入後、スケジューリングが完成するまで順次にステップ(3)と(4)を繰り返すステップ(5)と、最後、最終的なユーザスケジューリング表SUと割り当て済み送信ビーム表SBとに基づいて、MIMOデータプロセッサ110を制御し、ユーザのデータストリームを独立するデータストリームに分け、対応する送信ビームに分配し、送信アンテナから送信するステップ(6)とを含む。

40

【 0 1 0 2 】

したがって、この第三のスケジューリング例は、適應にユーザをスケジューリングすることができ、そしてチャネル状況を十分に利用し、最大のチャネル容量を提供できる。

【 0 1 0 3 】

本発明のスケジューリングシステム及びスケジューリング方法の優位性を明確に示すために、図12において、実際のチャネルにラインオブサイト(Line Of Sight、LOS)が存在するときの異なるスケジューリング方法の性能比較を示している。そのうち、横座標は送信パワーを示し、縦座標は総チャネル容量を示す。このうち、送信側10の送信ビーム数

50

$n_T$  は8、ユーザ数  $k$  は32、各ユーザの受信アンテナ数は1、チャネルはRicean分布に満たすとし、Ricean因子  $k_r$  は4である。

【0104】

図12において、送信パワーの増加につれ、システムのチャネル容量（対応する条件のもとでの統計上の平均値）も増加する。これは送信パワーが増加するとき、システムのマルチユーザゲインも相応的に増大するためである。

【0105】

上記三種類のスケジューリング方法を比較して分かるように、本発明の第三のスケジューリング方法（自己適応スケジューリング方法）が常に最大のシステムチャネル容量を実現することができる。

10

【0106】

本発明の第一のスケジューリング例と第二のスケジューリング例は、全体的に非特許文献1と2に公開するスケジューリング方法よりより良いシステムチャネル容量を有する。

【0107】

そして、上記MIMO通信システムは、以下の特徴（特に、第三スケジューリング例について）を有する。

【0108】

(1) 各受信端末20には、もっとも多く受信アンテナ数と同じ数量の送信ビームの分配を要求できる。

【0109】

(2) 各受信端末20のフィードバック情報は、最良の送信ビームセットと、選出された送信ビームが提供できる等価チャネルゲインと、上記受信端末に対して干渉が最小の送信ビームのセットと、この干渉が最小の送信ビームセットの各送信ビームが上記ユーザに対する最良の送信ビームの性能損失比とを含む。これによればアンテナ選択時の算出法の複雑さを低下することができ、しかもスケジューリングされるユーザ数を予め知っておく必要がない。また、この絶対チャネル容量は、最終的にスケジューリングされるユーザ数の影響を受けない。

20

【0110】

(3) 送信側10には、スケジューリングされるユーザ数とその時のチャネル状況によって決定され、予め確定する必要がない。

30

【0111】

したがって、適応ユーザスケジューリングを実現でき、これにより、システム制御の知能化及び通信安定性を向上させ、常に最大のシステム容量を維持することができる。

【図面の簡単な説明】

【0112】

【図1】基地局に一つの送信アンテナが設けられ、かつ二つのユーザを有するシステム構成を示す図である。

【図2】チャネル状態が良好のときのチャネルゲインの状態、チャンネルにラインオブサイト（Line Of Sight、LOS）が存在するときのチャネルゲインの状態、及び、システムが緩やかに減衰する状態にあるときのチャネル状態を示す図である。

40

【図3】MIMO通信システムで各ランダム送信ビームの間に干渉が存在する可能性がある状況を示す図である。

【図4】本発明のランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システムの構造図である。

【図5】図4に示すMIMO通信システムのユーザスケジューリングのフローチャートである。

【図6】本発明のランダムビームフォーミング方式によるMIMO通信システムが採用するフレームの構造図である。

【図7】さらに本発明のMIMO通信システムの送信側10の構造を示す図である。

【図8】図7に示すビーム成形器114の一種の具体構造図である。

50

【図9】送信側10の送信RFリンクグループの構造を示す図である。

【図10】本発明の送信側10のディプレクサーグループ130を示す図である。

【図11】さらに本発明のMIMO通信システムの受信端末20の構造を示す図である。

【図12】実際のチャネル状況における異なるスケジューリング方法の性能比較図である。

【符号の説明】

【0113】

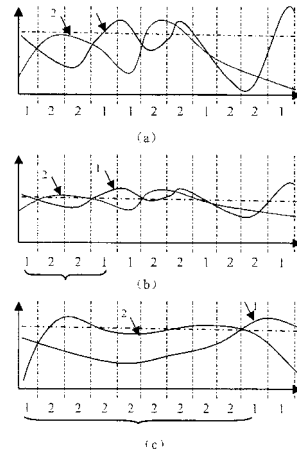
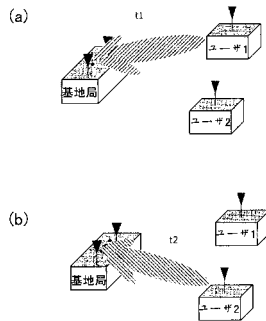
- 110...MIMOデータプロセッサ
- 120...MIMOスケジューラ
- 130...ディプレクサーグループ
- 210...受信信号プロセッサ
- 220...フィードバック情報プロセッサ
- 230...ディプレクサーグループ
- 111...ユーザセクタ
- 112...分流器
- 113...ビーム分配器
- 114...ビーム成形器
- 115...送信RFリンクグループ
- 116...ランダムマトリクス生成器
- 121...スケジューラ
- 122...MIMO受信信号プロセッサ
- 123...受信RFリンクグループ

10

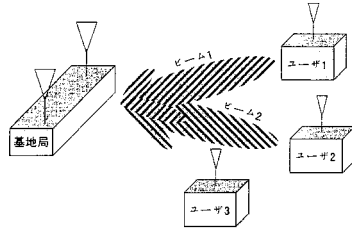
20

【図1】

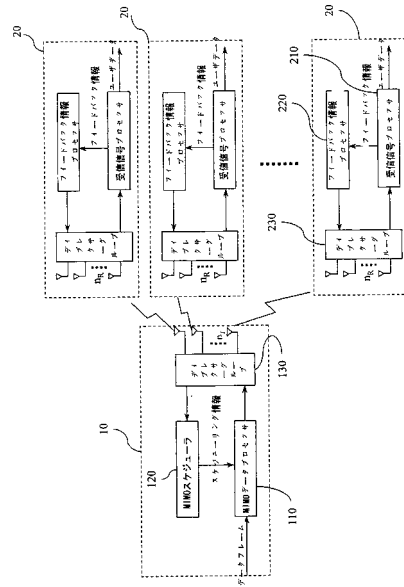
【図2】



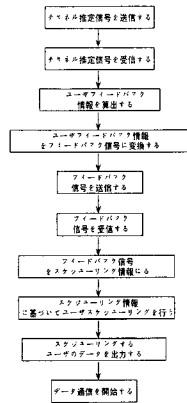
【図3】



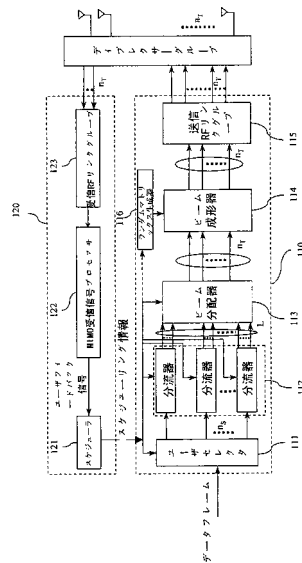
【図4】



【図5】



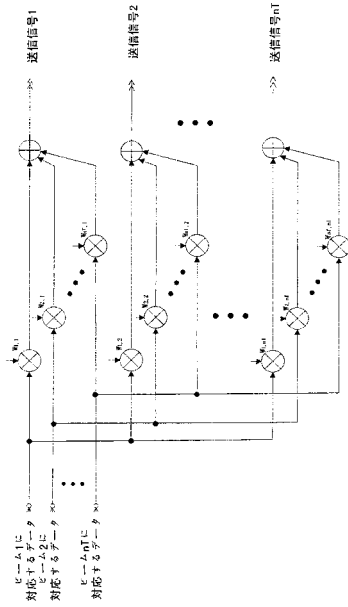
【図7】



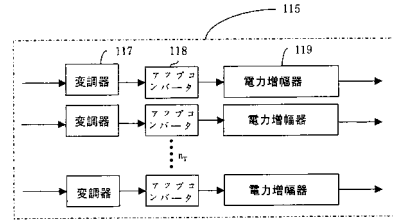
【図6】

チャネル特定	フィールドパラメータ	データ送信
--------	------------	-------

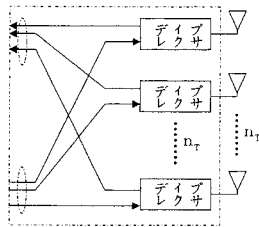
【図8】



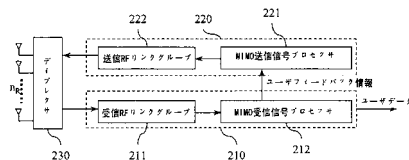
【図9】



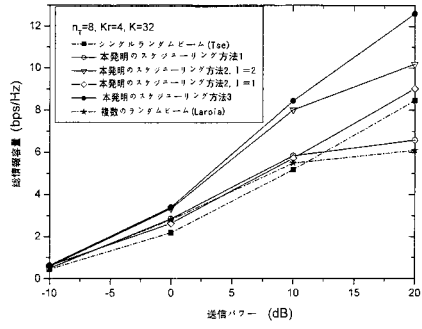
【図10】



【図11】



【図12】



---

フロントページの続き

(72)発明者 陳 嵐

中華人民共和国 100080 北京市海澱区科学院南路2号融科資訊中心エイ座7層 都科摩(北京)通信技術研究中心

審査官 渡辺 未央子

(56)参考文献 国際公開第2004/095851(WO, A1)

米国特許出願公開第2003/0128658(US, A1)

国際公開第03/058871(WO, A1)

特開2003-152610(JP, A)

特開2004-297575(JP, A)

特開2003-069461(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04J 99/00

H04B 7/04

H04B 7/10