

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-4528
(P2010-4528A)

(43) 公開日 平成22年1月7日(2010.1.7)

(51) Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)
HO4J 99/00	(2009.01)	HO4J 15/00		5K022
HO4W 16/28	(2009.01)	HO4Q 7/00	234	5K059
HO4B 7/04	(2006.01)	HO4B 7/04		5K067

審査請求 有 請求項の数 20 O L 外国語出願 (全 83 頁)

(21) 出願番号	特願2009-137100 (P2009-137100)	(71) 出願人	392026693 株式会社エヌ・ティ・ティ・ドコモ 東京都千代田区永田町二丁目11番1号
(22) 出願日	平成21年6月8日(2009.6.8)	(74) 代理人	100099623 弁理士 奥山 尚一
(31) 優先権主張番号	08010375.7	(74) 代理人	100096769 弁理士 有原 幸一
(32) 優先日	平成20年6月6日(2008.6.6)	(74) 代理人	100107319 弁理士 松島 鉄男
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)	(74) 代理人	100114591 弁理士 河村 英文
		(74) 代理人	100118407 弁理士 吉田 尚美
		(74) 代理人	100125380 弁理士 中村 綾子

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 移动通信システムにおけるユーザ選択装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】 程々の複雑度を有しながら、和容量に関して改善された結果を達成するようなユーザ選択の概念を移动通信システムにおいて提供する。

【解決手段】 移动通信システムで動作し、送信のために複数のユーザからユーザのサブグループを選択するユーザ選択装置100である。ユーザは、多入力多出力(MIMO)無線チャネルを介して通信している。ユーザ選択装置100は、他のユーザの送信容量尺度に比べて所定量だけ高い送信容量尺度を有するユーザを選択した状態から解除して、選択が解除されたユーザを含まない事前選択グループを得て、事前選択グループが、2つの互いに等しい送信容量尺度を有するか、2つの送信容量尺度の差が所定量よりも小さい2つのユーザを含むようにする事前選択器110と、MIMO無線チャネルに基づいて送信のためのユーザのサブグループを決定するプロセッサ115とを備える。

【選択図】 図1A

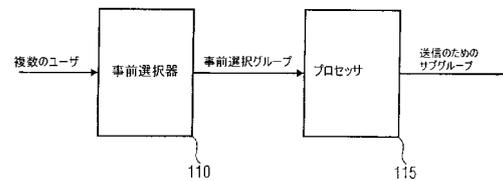


FIG 1A

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

移動通信システムで動作し、送信のために複数のユーザからユーザのサブグループを選択するユーザ選択装置であって、ここで、ユーザは、MIMO (Multiple-Input-Multiple-Output) 無線チャネルを介して通信できるものであり、

他のユーザの送信容量尺度に比べて所定量だけ高い送信容量尺度を有するユーザを選択された状態から解除して、前記選択が解除されたユーザを含まない事前選択グループを得て、前記事前選択グループが、2つの互いに等しい送信容量尺度を有するか、2つの送信容量尺度の差が所定量よりも小さい2つのユーザを含むようにする事前選択器 (110) と、

前記MIMO無線チャネルに基づいて送信のためのユーザのサブグループを決定するプロセッサ (115) と

を備えるものであるユーザ選択装置。

【請求項 2】

前記事前選択器 (110) は、前記MIMO無線チャネルのユーザの空間サブチャネルの最高達成可能データ速度の観点から前記送信容量尺度を決定するものであり、前記所定量は、相対的又は絶対的な量である、請求項 1 に記載のユーザ選択装置。

【請求項 3】

前記事前選択器 (110) は、前記ユーザのMIMO無線チャネルを表すユーザのMIMO無線チャネル行列の特異値分解を行うことによって、送信容量尺度を決定するものであり、

前記事前選択器 (110) は、ユーザのMIMO無線チャネル行列の最高特異値の観点から前記送信容量尺度を決定するものである、請求項 1 又は 2 に記載のユーザ選択装置。

【請求項 4】

前記事前選択器 (110) は、前記ユーザのMIMO無線チャネルを表すユーザのMIMO無線チャネル行列のフロベニウス・ノルムの観点から前記送信容量尺度を決定するものである、請求項 1 ないし 3 のいずれか一項に記載のユーザ選択装置。

【請求項 5】

前記事前選択器 (110) は、ユーザの送信容量尺度に従ってユーザを並べ替えて、あるユーザの送信容量尺度を他のユーザの送信容量尺度と比較するものであり、前記他のユーザは、前記複数のユーザの中で、前記ユーザの次に低いか又は前記ユーザの次に高い送信容量尺度を有するものである、請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載のユーザ選択装置。

【請求項 6】

前記事前選択器 (110) は、前記ユーザの送信容量尺度と前記他のユーザの送信容量尺度との商を所定の閾値に対して評価するものであり、

前記事前選択器 (110) は、前記他のユーザが前記ユーザの次に低い送信容量尺度を有する場合に、前記商が前記閾値を超過するならば、前記事前選択グループから前記ユーザを選択した状態から解除し、前記他のユーザが前記ユーザの次に高い送信容量尺度を有する場合に、前記商が前記閾値よりも下であれば、前記事前選択グループから前記ユーザを選択した状態から解除するものである、請求項 5 に記載のユーザ選択装置。

【請求項 7】

前記事前選択器 (110) は、所定数のユーザを前記複数のユーザから選択することによって前記事前選択グループのユーザを決定するものであり、前記所定数のユーザは、前記所定数のユーザのMIMO無線チャネル上で送信容量尺度における限定された差を有し、前記所定数のユーザは、前記複数のユーザの中で限定された差を有する最高送信容量尺度を有するものである、請求項 1 ないし 6 のいずれか一項に記載のユーザ選択装置。

【請求項 8】

前記送信容量尺度とは異なる、前記事前選択グループのユーザの前記MIMO無線チャネルにおける空間特性に基づいて、中間選択グループのためにユーザを前記事前選択グル

10

20

30

40

50

ープから選択する選択器(120)を更に備え、

前記プロセッサ(115)は、前記中間選択グループのユーザの前記MIMO無線チャンネルに基づいて、送信のためにユーザの前記サブグループを決定するものである、請求項1ないし7のいずれか一項に記載のユーザ選択装置。

【請求項9】

前記選択器(120)は、前記中間選択グループのユーザにおける組み合わせられた送信容量及び/又は空間的整合性に従って、前記中間選択グループのためにユーザを前記事前選択グループから選択するものである、請求項1ないし8のいずれか一項に記載のユーザ選択装置。

【請求項10】

前記選択器(120)は、前記中間選択グループのためにユーザを前記事前選択グループから選択するものであり、

その選択されたユーザに関して、前記中間選択グループのユーザは、前記事前選択グループからの最高送信容量尺度を有するユーザに比べて高い組み合わせられた送信容量尺度を有する、請求項9に記載のユーザ選択装置。

【請求項11】

前記選択器(120)は、前記中間選択グループSのために所定数|S|のユーザを前記事前選択グループから選択するものであり、ユーザkの前記MIMO無線チャンネルは、MIMO無線チャンネル行列 H_k によって表現され、前記中間選択グループSのユーザのために、行列式

【数1】

$$\left| \sum_{k \in S} H_k^H H_k \right|$$

が、前記事前選択グループからの|S|ユーザの順列に基づいて最適化又は最大化される、請求項10に記載のユーザ選択装置(100)。

【請求項12】

前記選択器(120)は、前記中間選択グループSのためにユーザkを前記事前選択グループS[^]から選択するものであり、前記ユーザkについて、

【数2】

$$\lim_{P_{Tx} \rightarrow \infty} C_{sum}(S) = \log_2 \left| I + \sum_{k \in S} H_k^H H_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right|$$

ここで

【数3】

$$\sum_{k \in S} M_{Rx,k} \leq M_{Tx}$$

に従った和容量 $C_{sum}(S)$ 又は

【数4】

$$\lim_{P_{Tx} \rightarrow \infty} C_{sum}(S) \approx \log_2 \left| I + \sum_{k \in S} H_k^H H_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right|$$

ここで

10

20

30

40

【数 5】

$$\sum_{k \in S} M_{Rx,k} > M_{Tx}$$

あるいは

P_{Tx} < について

【数 6】

$$C_{sum}(S) \approx \log_2 \left| I + \sum_{k \in S} H_k^H H_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right| \quad 10$$

に従った推定和容量 $C_{sum}(S)$ に関する組み合わされた送信容量が最適化又は最大化され、ここで、 $M_{Rx,k}$ はユーザ k の受信アンテナの数を表し、 P_{Tx} は送信電力であり、 H_k はユーザ k の前記 MIMO 無線チャネル行列を表現し、 I は恒等行列であり、 N は S の濃度を表し、 M_{Tx} は送信に使用される送信アンテナの数を表す、請求項 1 ないし 11 のいずれか一項に記載のユーザ選択装置。

【請求項 13】

前記選択器 (120) は、前記中間選択グループ S のためにユーザ (1) を選択するものであり、

前記ユーザ (1) は、MIMO 無線チャネル行列 $H_{(1)}$ によって表現される MIMO 無線チャネルを有し、

前記 MIMO 無線チャネル行列 $H_{(1)}$ は、

【数 7】

$$\pi(1) = \arg \max_{k \in \hat{S}} \|H_k\|_F$$

に従って前記事前選択グループ S^{\wedge} のユーザの最高フロベニウス・ノルムを有する、請求項 1 ないし 12 のいずれか一項に記載のユーザ選択装置。

【請求項 14】

前記選択器 (120) は、前記中間選択グループ S のためにユーザ (i) を選択されていないユーザ k から追加するものであり、

ユーザ (i) について和容量又は推定和容量の増加 $C_{sum}(S \cup k)$ が、

【数 8】

$$\pi(i) = \arg \max_{k \in \hat{S} \setminus S} \Delta C_{sum}(S \cup k)$$

ここで、 $C_{sum}(S \cup k) = C_{sum}(S \cup k) - C_{sum}(S)$ に従って最大となり、

和容量 $C_{sum}(S)$ が、

【数 9】

$$\lim_{P_{Tx} \rightarrow \infty} C_{sum}(S) = \log_2 \left| I + \sum_{k \in S} H_k^H H_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right|$$

ここで

【数 1 0】

$$\sum_{k \in S} M_{Rx,k} \leq M_{Tx}$$

に従って決定されるか、
推定和容量 $C_{sum}(S)$ が、

【数 1 1】

$$\lim_{P_{Tx} \rightarrow \infty} C_{sum}(S) \approx \log_2 \left| I + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right| \quad 10$$

ここで

【数 1 2】

$$\sum_{k \in S} M_{Rx,k} > M_{Tx}$$

又は

 $P_{Tx} < \quad$ について

【数 1 3】

$$C_{sum}(S) \approx \log_2 \left| I + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right| \quad 20$$

に従って決定され、

ここで、 $M_{Rx,k}$ はユーザ k の受信アンテナの数を表し、 P_{Tx} は送信電力であり、 \mathbf{H}_k はユーザ k の前記 MIMO 無線チャネル行列を表現し、 \mathbf{I} は恒等行列であり、 N は S の濃度を表現し、 M_{Tx} は送信に使用される送信アンテナの数を表す、請求項 13 に記載のユーザ選択装置。 30

【請求項 15】

前記プロセッサ(115)は、前記事前選択グループ又は前記中間選択グループのユーザの前記 MIMO 無線チャネルを処理して、処理された MIMO 無線チャネルを得て、前記事前選択グループ又は前記中間選択グループのユーザの前記処理された MIMO 無線チャネルの空間特性に基づいて送信のためにユーザの前記サブグループを決定するものである、請求項 1 ないし 14 のいずれか一項に記載のユーザ選択装置。

【請求項 16】

前記プロセッサ(115)は、SESAM (SESAM = Successive Encoding Successive Allocation Method) に基づいて、前記事前選択グループ又は前記中間選択グループから前記サブグループのためにユーザを選択するものである、請求項 15 に記載のユーザ選択装置。 40

【請求項 17】

移動通信システムにおいて送信のために複数のユーザからユーザのサブグループを選択する方法であって、ここで、ユーザは、MIMO 無線チャネルを介して通信できるものであり、

他のユーザの送信容量尺度に比べて所定量だけ高い送信容量尺度を有するユーザを選択した状態から解除して、前記選択が解除されたユーザを含まない事前選択グループを得て、前記事前選択グループが、2つの互いに等しい送信容量尺度を有するか、2つの送信容 50

量尺度の差が所定量よりも小さい２つのユーザを含むようにするステップ（２００）と、
前記 M I M O 無線チャネルに基づいて送信のためのユーザの前記サブグループを決定する
ステップと
を含む方法。

【請求項 18】

前記選択を解除するステップ（２００）は、
前記事前選択グループの所定のサイズを受け取るステップ（２０５）と、
ユーザの M I M O 無線チャネルを表すユーザの M I M O 無線チャネル行列のフロベニウス・ノルム又は単一ユーザ速度に従って、前記複数のユーザを降順に並べ替えるステップ
（２１０）と、

全ユーザを前記事前選択グループの中を含めるステップ（２１５）と、
前記事前選択グループからの最高フロベニウス・ノルム又は最高単一ユーザ速度を有する
ユーザのフロベニウス・ノルム又は単一ユーザ速度を、前記事前選択グループからの 2
番目に高いフロベニウス・ノルム又は 2 番目に高い単一ユーザ速度を有するユーザのフロ
ベニウス・ノルム又は単一ユーザ速度と比較するステップ（２２０）と、

前記事前選択グループからの前記最高フロベニウス・ノルム又は前記最高単一ユーザ速
度を有する前記ユーザを選択した状態から解除して（２２５）、前記事前選択グループか
らの前記 2 番目に高いフロベニウス・ノルム又は前記 2 番目に高い単一ユーザ速度を乗じ
たある因子に比べて、前記最高フロベニウス・ノルム又は前記最高単一ユーザ速度が高け
れば、前記比較するステップ（２２０）へ戻るステップと、

前記事前選択グループからの最低フロベニウス・ノルム又は最低単一ユーザ速度を有す
るユーザを選択した状態から解除して、前記所定のサイズにマッチさせるステップ（２３
０）と

を含む請求項 17 に記載の方法。

【請求項 19】

前記送信容量尺度とは異なる、前記事前選択グループのユーザの前記 M I M O 無線チャ
ネルの空間特性に基づいて、ユーザの中間選択グループのために前記事前選択グループか
らユーザを選択するステップ（２５０）を更に備え、

前記サブグループを決定するステップは、前記中間選択グループのユーザの前記 M I M
O 無線チャネルに基づいて送信のためにユーザの前記サブグループを決定し、

前記選択するステップ（２５０）は、

前記中間選択グループの所定のサイズを受け取るステップ（２５５）と、

前記最高フロベニウス・ノルム又は前記最高単一ユーザ速度を有する前記ユーザを前記
事前選択グループから選択するステップ（２６０）と、

前記中間選択グループ内の選択されたユーザに基づいて、前記事前選択グループ内にお
ける選択されていないユーザのために容量又は和の増加量を評価するステップ（２６５）
と、

前記中間選択グループのために最高容量又は最高和速度の増加を有するユーザを選択す
るステップ（２７０）と、

前記中間選択グループのサイズが、前記中間選択グループの前記所定のサイズへ到達す
るまで、前記評価するステップ（２６５）へ戻るステップと

を含む請求項 17 又は 18 に記載の方法。

【請求項 20】

プロセッサ上で実行する際に、請求項 17 ないし 19 のいずれか一項に記載の方法を実
行するプログラム・コードを有するコンピュータ・プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、多入力多出力（M I M O = m u l t i p l e - i n p u t - m u l t i p l e - o u t p u t）無線チャネルを利用する通信システムの分野のものである。

【背景技術】

【0002】

移動通信における開発は、各ユーザのデータ速度及びシステム容量を改善して、できるだけ多くのユーザへ高品質のサービスを提供することを常に求めている。ポイント・ツー・マルチポイント通信システムでは、例えば、移動通信システムのダウンリンクのように、送信機は、自分のカバレッジ内の受信機へ、時間、周波数、及び空間成分のようリソースを割り当てる重要なタスクを有する。送信機が各ユーザのチャネルを知っている場合、複数のユーザが、同じ時間及び同じ周波数で空間においてそれらを多重化してサービスを提供されることができる。マルチポイント・ツー・ポイント通信システムでは、例えば、移動通信システムのアップリンクのように、このタスクは、受信機によって達成される必要がある。

10

【0003】

下記において、分析は、ダウンリンクへ向けられる。なお、アップリンクへの応用は簡単である。この目的のために、基地局あるいはアクセスポイント及びモバイルユーザにおいて複数のアンテナが採用され、周知の多入力多出力システムとなる。ここで、Kのユーザと、送信機における M_{Tx} のアンテナと、k番目の受信機における $M_{Rx,k}$ のアンテナとを有するMIMOシステムが考察される。k番目のユーザのチャネルは、次の行列によって記述される。

【数1】

$$H_k \in \mathbb{C}^{M_{Rx,k} \times M_{Tx}}$$

20

【0004】

これらの行列の情報が送信機で完全に分かっていると仮定して、考察される共通の最適化問題は、和容量 (sum capacity) の最大化である。この問題への最適解は、反復注水法 (iterative waterfilling) によって見出され得る。非特許文献1及び非特許文献2を参照されたい。

【0005】

この問題への効率的な非反復的なアプローチとして、非特許文献3では、連続符号化連続割当法 (SESAM = Successive Encoding Successive Allocation Method) が提案されている。この提案は、最適解に非常に近い解を達成することができる。双方のアルゴリズムは、非特許文献4のダーティー・ペーパー符号化 (DPC = Dirty Paper Coding) の原理に頼っている。この文献においては、あるデータ・ストリームが符号化されるときに知られる干渉は、完全に除去されることができ、このストリームの最大達成可能速度は、その干渉が存在しなかったときと同じであることが記載されている。しかしながら、ほぼ最適であるDPCの実用的な実装は、計算が込み入っている。

30

【0006】

更に、双方のアルゴリズムの複雑度は、ユーザの数と共に線形に拡大する。もっとも、実際にサービスを提供されるユーザの数は、通常、送信アンテナの数より小さいかあるいは等しい。この理由によって、幾つかのユーザ選択アルゴリズムが提案されている。これらのアルゴリズムは、簡単な規準に基づいてユーザの部分集合を選択し、対応するアルゴリズムは、この簡単な規準を用いて実行される。最適アプローチについて、ユーザの事前選択法が、非特許文献5で提示されている。これは、合成されたチャネル行列の特異値分解 (SVD = Singular Value Decomposition) に頼っており、したがって、どちらかと言えば同じように複雑である。合成されたチャネル行列Hは、1つの行列の中で行単位でスタックされた全ユーザのチャネル行列を含む。例えば、3ユーザの場合、合成されたチャネル行列は、次式によって与えられる。

40

【数 2】

$$H = \begin{bmatrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \end{bmatrix}$$

【0007】

同様に、ブロック対角化又はゼロ・フォーシング・ビーム形成 (ZFBF = Zero - Forcing Beamforming) のような線形アプローチのみが、和速度 (sum rate) の最大化について使用される場合において、ユーザ選択に関して多数の研究が行われてきた。非特許文献 6 及び非特許文献 7 を参照されたい。

【0008】

非特許文献 8 は、空間干渉除去 (spatial interference cancellation) とも呼ばれる同時マルチユーザ・ダウンリンク・ビーム形成の問題を検討している。著者らは、送信アンテナ・アレイを採用して、個々のユーザへ向けられる複数アンテナ・ビームを作り出している。この場合、著者らは和容量又は和速度によって測定されるスループットを増加することを求めている。和容量又は和速度は、個々のユーザ・アンテナ線図、及びこれら線図によって導入される対応する交差干渉に依存して、個々のユーザ容量を累積することによって決定される。著者らは、ユーザ選択を要求する送信アンテナよりも多いユーザを有する場合を詳しく調べている。この問題への最適解は、基地局でのオンライン実装がひどく複雑になり得る。他の解は、マルチユーザ・ダイバーシティに費用をかけて、より低い複雑度コストで和容量の有意な端数を達成することができる。著者らは、次善最適である欲張りプリコーディングに基づくスキームにおけるレイリーフェージングにおいてスループット性能を解析して、簡単なゼロ・フォーシング・ビーム形成に基づくユーザ選択法を提案している。

【0009】

更なる詳細は、非特許文献 9 に見出すことができる。ゼロ・フォーシングの更なるアプローチは、非特許文献 10 及び非特許文献 11 に開示されている。

【0010】

非特許文献 12 は、ブロック対角化 (block diagonalization) と呼ばれるプリコーディング法を開示している。これは、ダウンリンク・マルチユーザ多入力多出力 (MIMO) システムにおけるユーザ間干渉を取り除くものである。著者らは、全ユーザが、同数の受信アンテナを有し、送信についてスケジューラされたときに、全受信アンテナを利用するものと仮定している。ブロック対角化を用いて同時にサポートされ得るユーザの数は、ユーザ受信アンテナの数に対する基地局送信アンテナの数の比によって制限される。多数のユーザを有するダウンリンク MIMO システムにおいて、基地局は、サービスを提供するユーザの部分集合を選択し、総スループットを最大化することができる。しかしながら、最適のユーザ集合を全幅探索することは、計算的に極めて困難である。著者らは、ブロック対角化を有するマルチユーザ MIMO システムについて、2つの低複雑度の次善最適ユーザ選択アルゴリズムを提案している。双方のアルゴリズムは、ユーザの部分集合を選択して、総スループットが最大値に近くなるようにしている。総スループットは、個々のユーザ容量又はスループットを累積することによって評価される。第 1 のやり方は、総スループットを貪欲に最大化することであり、第 2 の規準は、チャンネル・エネルギー (channel energy) に基づいている。開示された双方のアルゴリズムは、線形複雑度及びユーザの総数を使用し、シミュレーションにおいて完全探索法の総スループットの約 95% を達成している。

【0011】

更なる詳細及び更なるユーザ選択アプローチは、非特許文献 13、非特許文献 14、及び非特許文献 15 に見出すことができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 2 】

ユーザ・グループ化法においては、DPC (DPC = Dirty Paper Precoding) を採用するSDMA (SDMA = Space Division Multiple Access) に基づくアプローチと、TDMA (TDMA = Time Division Multiple Access) との間の、最大和速度の差を考慮することができる。集合Sの中で選択されるべきユーザを部分合計するとき、ユーザ選択規準は次式のように記載される。

【 数 3 】

$$\max_S \left[\sum_{k \in S} R_{k,DPC} - \max_{k \in S} R_{k,su} \right] = \max_S g(S) \quad (1.1)$$

$$s.t. |S| = N,$$

10

ここで、Sの濃度 (cardinality) は既定値Nに等しくなければならず、 $R_{k,DPC}$ は、DPCを用いて達成できるユーザkの速度を表す。TDMAの最大和速度は、最大単一ユーザ速度 $R_{k,su}$ に等しい。この速度は、ユーザが全システム・リソースを受け取るならば、そのユーザが達成できる速度である。

【 0 0 1 3 】

図11は、最新技術のシナリオを示している。ここで、複数のアンテナが、基地局で動作され、複数の移動端末が、そのフィールド内に存在している。このフィールドに存在する端末もまた、複数のアンテナを利用し、MIMO無線チャネルを確立してよいことが分かる。下記では、完全なチャネルの知識が、例えば、基地局及び移動端末で与えられるものと仮定する。これは、図11において、完全なCSI (CSI = Channel State Information) が利用可能であることを示す矢印によって表されている。

20

【 0 0 1 4 】

図12は、2つのユーザ・シナリオの適用された目的関数 $g(S)$ を可視化した図である。ユーザ1のサポート可能レートは、横座標で与えられ、ユーザ2のサポート可能データ速度は、縦座標で与えられている。図12から、ユーザ1は、全リソースを単独で利用するとき10のレートをサポートでき、ユーザ2は、同じ場合に8の最大データ速度を達成することができることが分かる。留意すべきことは、ユーザのデータ速度に関して、図12で単位が与えられない。というのは、ここでの数字は、品質の尺度 (measure) としてのみ役立つからである。これは、残りの部分についても当てはまる。

30

【 0 0 1 5 】

図12は、2つのユーザを有するサンプル・シナリオについて、目的関数をグラフで提示している。破線は-1の勾配を有する。それは最大和速度の点で容量領域に接触するので、和速度の値は軸との交点で読み取られ得る。これに限定されるものではないが、単純化を理由として、下記では単一搬送波システムが考察される。

【 0 0 1 6 】

しかしながら、グラフ内の和容量と破線との交点から、システムの和容量、すなわち、空間チャネル分離を利用して同一時間に同一周波数の上で双方のユーザにサービスを提供するときの和容量は、個々のユーザのサポート可能データ速度よりも高いことが明らかである。

40

【 先行技術文献 】

【 非特許文献 】

【 0 0 1 7 】

【 非特許文献1 】 W. Yu, Sum-Capacity Computation for the Gaussian Vector Broadcast Channel, IEEE Transactions on Information Theory,

50

52:754 - 759, 2006

【非特許文献2】W. Yu, W. Rhee, S. Vishwanath, S. Jafar, and A. Goldsmith, Sum Power Iterative Waterfilling for Multi-antenna Gaussian Broadcast Channels, IEEE Transactions on Information Theory, 51:1570 - 1580, 2005

【非特許文献3】P. Tejera, W. Utschick, G. Bauch, and J. A. Nossek, Subchannel Allocation in Multiuser Multiple Input Multiple Output Systems, IEEE Transactions on Information Theory, 52:4721 - 4733, Oct. 2006

10

【非特許文献4】M. H. M. Costa, Writing on Dirty Paper, IEEE Transactions on Information Theory, 29:439 - 441, May 1983

【非特許文献5】G. Aniba and S. Aissa, Multi-User Capacity Maximization for MIMO Gaussian Broadcast Channels, In Proc. of International Conference on Communications (ICC), 2006

【非特許文献6】Q. H. Spencer, A. L. Swindlehurst, and M. Haardt, Zero-forcing Methods for Downlink Spatial Multiplexing in Multiuser MIMO Channels, IEEE Trans. on Signal Processing, 52(2):461 - 471, February 2004

20

【非特許文献7】G. Caire and S. Shamai, On the Achievable Throughput of Multiantenna Gaussian Broadcast Channel, IEEE Transactions on Information Theory, 49(7):1691 - 1706, July 2003

【非特許文献8】G. Dimic and N. D. Sidoropoulos, On Downlink Beamforming with Greedy User Selection, IEEE Transactions on Signal Processing, 53(10):3857 - 3868, October 2005

30

【非特許文献9】J. Wang, D. J. Love, and M. Zoltowski, User Selection for the MIMO Broadcast Channel with a Fairness Constraint, In Proc. of IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), 2007

【非特許文献10】T. Yoo and A. Goldsmith, On the Optimality of Multiantenna Broadcast Scheduling Using Zero-Forcing Beamforming, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 24(3):528 - 541, March 2006

40

【非特許文献11】T. Yoo and A. Goldsmith, Sum-Rate Optimal Multi-Antenna Downlink Beamforming Strategy Based on Clique Search, In Proc. of Global Telecommunications Conference (GLOBECOM), 2005

【非特許文献12】Z. Shen, R. Chen, J. G. Andrews, R. W. H

50

eath, and B. L. Evans, Low Complexity User Selection Algorithms for Multiuser MIMO Systems with Block Diagonalization, IEEE Transactions on Signal Processing, 54(9): 3658 - 3663, September 2006

【非特許文献13】M. Fuchs, G. Del Galdo, and M. Haardt, Low-Complexity Space-Time-Frequency Scheduling for MIMO Systems With SDMA, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 56: 2775 - 2784, September 2007

10

【非特許文献14】Q. H. Spencer and A. L. Swindlehurst, Channel Allocation in Multi-user MIMO Wireless Communications Systems, In Proc. of International Conference on Communications (ICC), 2004

【非特許文献15】T. F. Maciel and A. Klein, A Convex Quadratic SDMA Grouping Algorithm Based on Spatial Correlation, In Proc. of International Conference on Communications (ICC), 2007

20

【非特許文献16】Z. Shen, R. Chen, J. G. Andrews, R. W. Heath, and B. L. Evans, Low Complexity User Selection Algorithms for Multiuser MIMO Systems with Block Diagonalization, IEEE Transactions on Signal Processing, 54(9): 3658 - 3663, September 2006

【非特許文献17】H. Viswanathan, S. Venkatesan, and H. Huang, Downlink Capacity Evaluation of Cellular Networks With Known-Interference Cancellation, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 21(6): 802 - 811, June 2003

30

【非特許文献18】M. Fuchs, G. Del Galdo, and M. Haardt, Low-Complexity Space-Time-Frequency Scheduling for MIMO Systems With SDMA, IEEE Transactions on Vehicular Technology, 56: 2775 - 2784, September 2007

【非特許文献19】T. F. Maciel and A. Klein, A Low-Complexity SDMA Grouping Strategy for the Downlink of Multi-User MIMO Systems, In Proc. of IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), 2006

40

【非特許文献20】J. Lee and N. Jindal, High SNR Analysis for MIMO Broadcast Channels, Dirty Paper Coding Versus Linear Precoding, IEEE Transaction on Information Theory, 53: 4787 - 4792, 2007

【非特許文献21】J. Lee and N. Jindal, High SNR Analysis for MIMO Broadcast Channels, Dirty

50

Paper Coding Versus Linear Precoding, IEEE Transaction on Information Theory, 53: 4787-4792, 2007

【非特許文献22】D.S. Baum et al., Final Report on Link Level and System Level Channel Models, Technical report, IST-2003-507581 WINNER D5.4 v.1.0, 2005

【非特許文献23】D.S. Baum et al., Final Report on Link Level and System Level Channel Models, Technical report, IST-2003-507581 WINNER D5.4 v.1.0, 2005

【非特許文献24】H. Viswanathan, S. Venkatesan, and H. Huang, Downlink Capacity Evaluation of Cellular Networks With Known-Interference Cancellation, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 21(6): 802-811, June 2003

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0018】

本発明の目的は、程々の複雑度を有しながら、和容量に関して改善された結果を達成するようなユーザ選択の概念を移動通信システムにおいて提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0019】

この目的は、請求項1に係るユーザ選択装置と、請求項17に係るユーザ・サブグループ選択方法とによって達成される。

【0020】

本発明は、所与の制限された複雑度において、同時にサービスを提供されるユーザが、バランスの取れた個々の容量又は送信容量の尺度 (measure) を利用するとき、単一ユーザ速度に関して、より高いシステム容量又は送信容量又は利得が達成され得るという知見に基づいている。更に、MIMOシナリオでは、より小さいユーザ数が考慮されるならば、計算複雑度が低減され得る。したがって、本発明の実施形態では、ユーザの事前選択を実行することができる。すなわち、全ユーザから事前に選択したグループを決定することができる。事前選択グループは、より少ないユーザを有し、ユーザは、個々の送信容量、単一ユーザ速度、チャンネル利得などに関してある範囲までバランスを取ることができる。

【0021】

言い換えれば、所与の複雑度において、ユーザを選択するとき、最良ユーザ、すなわち、最高のチャンネル利得、個々の送信容量、又は最高のサポート可能送信速度を有するユーザを選択した状態から解除することは、MIMOシナリオで同時にサービスを提供されるユーザの合計送信容量又は送信速度に関して利点があることが、本発明の知見である。これは、最良ユーザが、2番目に良いユーザよりも高いチャンネル利得、個々の送信速度または送信容量を有する場合に当てはまる。

【0022】

本発明の実施形態は、ユーザのチャンネル利得、個々の送信速度、個々の容量などに関してバランスが取られたユーザ・グループを考慮に入れるときに、より高いシステム容量又は組み合わせ容量が達成されるという利点がある。更に、洗練されたMIMOユーザ選択及びサブチャンネル割り当てアルゴリズムが実行されるという利点がある。というのは、事前選択が、より小さいユーザ・グループを提供し、より洗練されたアルゴリズムの計算複雑度を実現可能レベルにするからである。この実施形態は、2重の利点がある。すなわち、第1に、バランスが取られたユーザ・グループが考慮されるので、システム容量が増加

10

20

30

40

50

すること、第2に、バランスが取られたユーザ・グループは、ある濃度 (cardinality) を有する、すなわち、バランスが取られたユーザ・グループ内のユーザの数のことである。この濃度は、MIMO無線チャネルの、より良好な利用を介してシステム容量を更に増加させる複雑なMIMOアルゴリズムの展開を可能にする。

【0023】

実施形態は、2段階で実行することができる。第1の段階では事前選択グループが複数のユーザから決定され、ユーザMIMO無線チャネル上のユーザチャネル利得に関してユーザがバランスを取る。更なる段階では、事前選択グループに基づいてユーザ選択又はMIMOサブチャネル割り当てアルゴリズムが実行される。

【0024】

他の実施形態では、事前選択とMIMO処理との間で追加段階を採用することができる。言い換えれば、第1段階で事前選択グループの中の、バランスが取られたユーザ・グループが一度見出されると、事前選択グループに基づいて第2の段階又は選択が実行され、中間選択グループを決定する。中間選択グループの選択は、MIMOチャネルの空間特性に基づいて行うことができる。第3段階、すなわち、実際の複雑なMIMO処理は、これらの実施形態では、その中間選択グループに基づいて実行される。

【0025】

言い換えれば、実施形態は、多数のユーザ、すなわち、複数のユーザからスタートすることができる。第1段階では、複数のユーザからユーザの事前選択グループが選択される。この場合、事前選択グループのユーザは、ある程度まで、バランスが取られたチャネル利得又は個々のユーザ速度を利用する。事前選択グループ内のユーザの数は、上記複数のユーザのユーザ数よりも少ない。事前選択グループ内のユーザの数は、中間選択グループへ更に減らすことができる。事前選択グループを中間選択グループへ減らすとき、事前選択グループ内のユーザのMIMO無線チャネル空間特性が評価され得る。言い換えれば、事前選択グループ内のユーザの空間的整合性 (spatial compatibility) が評価され、事前選択グループからユーザの部分集合を選択する。この部分集合は、ある程度まで、中間選択グループと空間的に整合可能である。中間選択グループは、空間的に整合しないユーザの選択解除に起因して、事前選択グループよりも少ないユーザを有する。第3段階では、中間選択グループにおけるユーザの低減数を用いて、複雑なMIMO処理が実行される。

【発明の効果】

【0026】

実施形態は、バランスが取られて且つ空間的に整合するMIMO無線チャネルを有する複数のユーザから選ぶことによって、複雑なMIMOアルゴリズムのパフォーマンスを可能にする。

【0027】

本発明の実施形態によれば、最初に事前選択を実行することによって、高システム・スループットを達成するためのユーザ選択が、より小さい複雑度で実行され得るという利点がある。事前選択は、例えば、SESA Mなどの洗練されたアルゴリズムのように、複雑度が小さいずっと簡単な規準を利用することができる。例えば、ユーザの事前選択、すなわち、全ユーザのグループを小さい事前選択グループへ低減して、送信のためのサブグループを選ぶことは、個々のユーザのチャネル利得又はチャネル容量に基づくことができる。この場合、複雑な演算、例えば、特異値分解 (SVD = Singular Value Decomposition) 又は固有値解析を実行する必要はない。

【0028】

本発明の更なる知見は、システム・スループットを危うくすることなく、全ユーザのグループよりも小さい事前選択グループが、簡単な規準に基づいて決定され得ることである。更に、事前選択を複数の規準に基づいて実行することができる。この場合、送信のために事前選択グループからサブグループを決定することは、より洗練されたアルゴリズム、例えば、事前選択グループのユーザの空間特性を考慮するアルゴリズムを利用することが

10

20

30

40

50

できる。

【0029】

既存のユーザ・グループ化アプローチは、最大の和速度となるようにユーザを特定することを目標としているが、実施形態は、幾つかのユーザを空間的に多重化することによって取得可能な最大利得を目標とするユーザ・グループ化を実行することができる。したがって、送信のために選択されるユーザは、反復注水法 S E S A M、又は類似のアプローチによってサービスを提供されることができ、例えば、最大の和速度と、選択されたユーザの1つが利用可能な総送信電力又は送信リソースを用いて達成できる最大速度との差が、最大になるようにしてよい。

【0030】

そのような選択規則を有する実施形態は、次のように動機付けされ得る。和容量の達成アルゴリズム又は和容量のアプローチ・アルゴリズムは、大きな計算複雑度を暗示している。特に、アルゴリズムが D P C を採用するときそうである。したがって、多くの実用的シナリオでは、これらのアルゴリズムによって全ユーザにサービスを提供することはできない。それにも拘わらず、実施形態では、幾つかのユーザについて、これらアルゴリズムの採用が依然として実用的範囲に収まり、他のユーザは時分割多元接続のような単純アプローチによって分離される。また、実施形態では、同一時間及び同一周波数上でただ1つのユーザがサービスを提供されるシナリオと比較して、より複雑なアルゴリズムに投資される特別な労力は、最適化された、ある場合には最大の、和速度の利得をもたらすはずである。

【0031】

本発明の実施形態は、例えば、ダーティ・ペーパー符号化を採用する空間多重化アルゴリズムが適用されるとき T D M A と比較して、和速度における最大又は少なくとも最適化された増加をもたらすようなユーザの特定を目標とするユーザ選択方法を備えることができる。

【0032】

実施形態は、所与の計算制約のもとで、理想的には和速度における最大の利得をもたらすという利点を提供する。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1A】ユーザ選択装置の実施形態を示した図である。

【図1B】ユーザ選択装置の別の実施形態を示した図である。

【図1C】選択器の実施形態を示した図である。

【図1D】選択器の別の実施形態を示した図である。

【図2A】ユーザ選択方法の実施形態を示した図である。

【図2B】事前選択方法の実施形態を示した図である。

【図2C】選択方法の実施形態を示した図である。

【図3A】大きなチャンネル利得を有する2ユーザ・シナリオについて和容量を図示したグラフである。

【図3B】小さいチャンネル利得を有する2ユーザ・シナリオについて和容量を図示したグラフである。

【図4A】強い空間分離を有する2ユーザ・シナリオについて和容量を図示したグラフである。

【図4B】空間分離を有しない2ユーザ・シナリオについて和容量を図示したグラフである。

【図5A】バランスの取れたチャンネルを有する2ユーザ・シナリオについて和容量を図示したグラフである。

【図5B】アンバランスなチャンネルを有する2ユーザ・シナリオについて和容量を図示したグラフである。

【図6A】2ユーザ・シナリオについて平均和容量のシミュレーション結果を図示したグ

10

20

30

40

50

ラフである。

【図 6 B】4 ユーザ・シナリオにおける平均和容量のシミュレーション結果を図示したグラフである。

【図 7】シミュレーション・シナリオを示した図である。

【図 8】平均利得についてシミュレーション結果を図示したグラフである。

【図 9】他のシミュレーション・シナリオを示した図である。

【図 10】平均利得のシミュレーション結果を図示したグラフである。

【図 11】最新技術 MIMO シナリオを示した図である。

【図 12】従来の 2 ユーザ・シナリオにおける和容量を図示したグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0034】

以下では、添付の図面を使用して、より詳細な実施形態が説明される。

【0035】

図 1 A は、ユーザ選択装置 100 を示している。ユーザ選択装置 100 は、移動通信システムで動作し、送信のために複数のユーザからユーザのサブグループを選択するものである。あるユーザは、多入力多出力 (MIMO = Multiple - Input - Multiple - Output) 無線チャネルを介して通信している。ユーザ選択装置 100 は、事前選択器 (pre-selector) 110 を備えるものである。また、事前選択器 110 は、他のユーザの送信容量尺度 (transmission capacity measure) に比べて所定量だけ高い送信容量尺度を有するユーザを選択された状態から解除して、この選択が解除されたユーザを含まない事前選択グループを得て、この事前選択グループが、2 つの互いに等しい送信容量尺度を有するか、2 つの送信容量尺度の差が所定量よりも小さい 2 つのユーザを含むようにする。ユーザ選択装置 100 は、MIMO 無線チャネルに基づいて、送信するためのユーザのサブグループを決定するプロセッサ 115 を更に備えるものである。

【0036】

ある実施形態において、前記所定量は、相対的又は絶対的な量とすることができる。事前選択器 110 は、MIMO 無線チャネルのユーザ空間サブチャネルにおいて達成可能な最高のデータ速度 (最高達成可能データ速度) の観点から送信容量尺度を決定するように構成可能である。事前選択器 110 は、ユーザの MIMO 無線チャネルを表すユーザ MIMO 無線チャネル行列 (MIMO ratio channel matrix) の特異値分解を評価することによって送信容量尺度を決定するように構成可能である。この場合、事前選択器 110 は、ユーザの MIMO 無線チャネル行列の最高特異値の観点から送信容量尺度を決定するように構成可能である。他の実施形態において、事前選択器 110 は、ユーザの MIMO 無線チャネルを表すユーザ MIMO 無線チャネル行列のフロベニウス・ノルムの観点から送信容量尺度を決定するように構成可能である。

【0037】

更なる実施形態では、事前選択器 110 を、ユーザの送信容量尺度に従ってユーザを並べ替え、あるユーザの送信容量尺度を他のユーザの送信容量尺度と比較するように構成することができる。ここで、上記他のユーザは、複数のユーザの中で、上記ユーザの次に低い送信容量尺度か又は次に高い送信容量尺度を有するものである。事前選択器 110 は、ユーザの送信容量尺度及び上記他のユーザの送信容量尺度の商を所定の閾値に対して評価するように更に構成可能である。この場合、事前選択器 110 は、上記他のユーザが上記ユーザの次に低い送信容量尺度を有する場合に、上記商が閾値を超過するならば、事前選択グループからそのユーザを選択した状態から解除する。また、上記他のユーザが上記ユーザの次に高い送信容量尺度を有する場合に、上記商が閾値よりも下であれば、事前選択グループからそのユーザを選択した状態から解除するように構成可能である。一般的に、ユーザが昇順に並べ替えられるかあるいは降順に並べ替えられるかに依存して、又は選択の解除が高容量 / 速度のユーザからスタートするかあるいは低容量 / 速度のユーザからスタートするかに依存して、異なる閾値を使用することができる。

【0038】

10

20

30

40

50

事前選択器 110 は、複数のユーザから所定数のユーザを選択することによって、事前選択グループのユーザを決定するように構成可能である。この所定数のユーザは、ユーザ MIMO 無線チャネル上のユーザ送信容量尺度において限定された差を有する。また、この所定数のユーザは、複数のユーザのなかにおいて限定された差を有する最高送信容量尺度を有する。最も高い送信容量尺度と 2 番目に高い送信容量尺度との間の差が所定量を超過するならば、事前選択器 110 は、MIMO 無線チャネル上で最高の送信容量尺度を有するユーザを選択することができる。

【0039】

事前選択器 110 は、所定数のユーザを有する事前選択グループを決定するように構成可能である。更に、事前選択器 110 は、所定数のユーザを複数のユーザから選択することによって、事前選択グループのユーザを決定するように構成可能である。この所定数のユーザは、ユーザ MIMO 無線チャネル上のユーザ送信容量尺度において限定された差を有し、これらの条件の双方を満たす複数のユーザの中で最高の送信容量尺度を有する。

【0040】

言い換えれば、最良ユーザ、すなわち、最高の送信容量尺度を有するユーザは、事前選択グループには選択されず、したがって送信においては選択されない。なぜなら、このユーザの送信容量尺度は、2 番目に高いユーザの送信容量尺度よりもずっと高いからである。そして、事前選択器は、全ユーザのグループから事前選択グループを選択するように構成されており、この事前選択グループは、ユーザ間のバランスがある要件を満たすように、すなわち、事前選択グループ内のユーザの送信容量尺度の差が、ある制限を受けるようなやり方で選択される。

【0041】

このようにして、事前選択器 110 は、バランスの取れたチャネルを有するグループ、好ましくは最高の送信容量尺度を有するグループを、全ユーザから選ぶように構成される。

【0042】

更なる実施形態において、図 1 B で示されるように、ユーザ選択装置 100 は、送信容量尺度とは異なる、事前選択グループのユーザにおける MIMO 無線チャネルの空間特性 (spatial property) に基づいて、中間選択グループのために事前選択グループからユーザを選択する選択器 120 を備えることができる。プロセッサ 115 は、中間選択グループのユーザの MIMO 無線チャネルに基づいて、送信のためにユーザのサブグループを決定するように構成可能である。

【0043】

実施形態において、選択器 120 は、中間選択グループのユーザにおける組み合わせされた送信容量及び / 又は空間的整合性 (spatial compatibility) に従って、中間選択グループについて事前選択グループからユーザを選択するように構成可能である。また、選択器 120 は、中間選択グループのために事前選択グループからユーザを選択するように構成可能である。ここで、このユーザに関して、中間選択グループのユーザは、事前選択グループにおける最高の送信容量尺度を有するユーザに比べて、より高い組み合わせされた送信容量尺度を有する。

【0044】

図 1 C は、選択器の実施形態を示している。選択器 120 は、ユーザの中間選択グループについて、複数のユーザからユーザを選択するように構成可能である。この場合、空間的整合性は、この中間選択グループのユーザにおける組み合わせされた送信容量尺度に対応する。選択器 120 は、MIMO 無線チャネル H_1 を有する第 1 のユーザと、MIMO 無線チャネル H_2 を有する第 2 のユーザと、MIMO 無線チャネル H_3 を有する第 3 のユーザとを備える複数のユーザから選択するようになっている。また、選択器 120 は、 H_1 に基づいて第 1 の組み合わせ送信容量尺度 $C_{sum}(S)_1$ を評価し、 H_2 に基づいて第 2 の組み合わせ送信容量尺度 $C_{sum}(S)_2$ を評価し、 H_3 に基づいて第 3 の組み合わせ送信容量尺度 $C_{sum}(S)_3$ を評価し、 H_1 及び H_2 に基づいて第 4 の組み合わせ送

10

20

30

40

50

信容量尺度 $C_{sum}(S)_{12}$ を評価し、 H_1 及び H_3 に基づいて第 5 の組み合わせ送信容量尺度 $C_{sum}(S)_{13}$ を評価し、 H_2 及び H_3 に基づいて第 6 の組み合わせ送信容量尺度 $C_{sum}(S)_{23}$ を評価し、 H_1 、 H_2 、及び H_3 に基づいて第 7 の組み合わせ送信容量尺度 $C_{sum}(S)_{123}$ を評価して、最高の組み合わせ送信容量尺度を有するユーザの組み合わせを、中間選択グループ S について選択するように構成可能である。

【0045】

図 1 D によれば、選択器 120 は、中間選択グループの第 1 のユーザと第 2 の非選択ユーザ（選択されていないユーザ）とにおける第 1 の組み合わせ送信容量尺度を評価し、中間選択グループの第 1 のユーザと第 3 の非選択ユーザとにおける第 2 の組み合わせ送信容量尺度を評価するようになっている。そして、選択器 120 は、第 1 の組み合わせ送信容量尺度が第 2 の組み合わせ送信容量尺度よりも高ければ、中間選択グループのために第 2 のユーザを選択し、そうでなければ中間選択グループのために第 3 のユーザを選択するように構成可能である。

10

【0046】

選択器 120 は、中間選択グループ S のために事前選択グループから所定数 $|S|$ のユーザを選択することができる。ここで、ユーザ k の MIMO 無線チャネルは、MIMO 無線チャネル行列 H_k によって表現され、中間選択グループ S のユーザについて、行列式

【数 4】

$$\left| \sum_{k \in S} H_k^H H_k \right|$$

20

が、事前選択グループからの $|S|$ ユーザの順列 (permutation) に基づいて最適化又は最大化される。言い換えれば、空間的整合性の尺度は、上記の行列式に基づいてよい。

【0047】

本発明の更なる態様としては、ユーザの MIMO 無線チャネルを表すユーザの MIMO 無線チャネル行列に関して、ユーザの空間的整合性が評価され得る。ある実施形態において、ユーザのある組み合わせについて、組み合わせ送信容量尺度は、ユーザの組み合わせのチャンネル・エネルギー行列 (channel energy matrix) を累積する累積行列の行列式に基づくことができる。

30

【0048】

言い換えれば、ユーザの MIMO 無線チャネル行列が知られるならば、チャンネル・エネルギー行列は、複素共役転置と行列自身とを乗じることによって決定することができる。結果は、MIMO 無線チャネルの空間サブチャンネルにおける対角エネルギー (diagonal energy) をうまく得ることができる。非対角要素は、これらのチャンネル間のクロスカップリング又はクロストークの尺度 (measure) を決定する。そのような行列の行列式は、チャンネル・エネルギーとサブチャンネル間のクロストークとの間の関係を決定する尺度を提供する。例えば、単純な加算によって、そのような行列の複数を累積するとき、行列式は、組み合わせされたサブチャンネルのクロストークに関する組み合わせされたサブチャンネル内のエネルギーの尺度を提供する。言い換えれば、ユーザの組み合わせについてそのチャンネル・エネルギー行列を累積するとき、その行列の行列式は、ユーザの空間的整合性の尺度、すなわち、サブチャンネル内のエネルギーと関連するクロストークとの関係を提供する。この関係は、組み合わせされた MIMO 無線チャネルにおける複数の空間サブチャンネルの空間的分離可能性 (spatial separability) の尺度でもある。

40

【0049】

実施形態は、ユーザの組み合わせの累積エネルギー行列を評価することに関して、組み合わせされた送信容量尺度を利用することができる。それによって、実施形態は、例えば、個々のユーザの MIMO 無線チャネル行列の特異値又は固有値分解及び射影を利用する従来の概念よりも、複雑度が小さいやり方で空間的整合性を評価することができるという利点がある。良好な、又は更に最高の、空間的整合性を有するユーザの組み合わせを選び、

50

この組み合わせに基づいて、すなわち、利用可能なユーザの数と比較して低減されたユーザ数を有する中間選択グループに基づいて、より複雑なMIMOサブチャネル又はユーザ選択アルゴリズムを実行することによって、高容量にすることができる。

【0050】

更なる実施形態において、選択器120は、中間選択グループSのために事前選択グループS^hからユーザkを選択するように構成可能である。ユーザkについて、

【数5】

$$\lim_{P_{Tx} \rightarrow \infty} C_{sum}(S) = \log_2 \left| I + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right| \quad 10$$

ここで、

【数6】

$$\sum_{k \in S} M_{Rx,k} \leq M_{Tx}$$

に従った和容量(sum capacity) $C_{sum}(S)$ 、又は

【数7】

20

$$\lim_{P_{Tx} \rightarrow \infty} C_{sum}(S) \approx \log_2 \left| I + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right|$$

ここで

【数8】

$$\sum_{k \in S} M_{Rx,k} > M_{Tx}$$

30

あるいは

$P_{Tx} <$ のとき

【数9】

$$C_{sum}(S) \approx \log_2 \left| I + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right|$$

に従った推定和容量 $C_{sum}(S)$ に関する組み合わせ送信容量が、最適化又は最大化される。ここで、 $M_{Rx,k}$ はユーザkの受信アンテナの数を表し、 P_{Tx} は送信電力であり、 \mathbf{H}_k はユーザkのMIMO無線チャネル行列であり、 \mathbf{I} は恒等行列であり、 N はSの濃度(cardinality)を表現し、 M_{Tx} は送信に使用される送信アンテナの数を表す。

40

【0051】

更に、選択器120は、中間選択グループSのためにユーザ(1)を選択するように構成可能である。ユーザ(1)は、MIMO無線チャネル行列 $\mathbf{H}_{(1)}$ によって表現されるMIMO無線チャネルを有し、行列 $\mathbf{H}_{(1)}$ は、

【数 1 0】

$$\pi(1) = \arg \max_{k \in \hat{S}} \|\mathbf{H}_k\|_F$$

に従って事前選択グループ S^{\wedge} のユーザの最高フロベニウス・ノルムを有する。

【0 0 5 2】

選択器 1 2 0 は、中間選択グループ S のために非選択ユーザ k からユーザ (i) を追加することができる。ユーザ (i) について、和容量又は推定和容量の増加量 $C_{sum}(S \cup k)$ は、

【数 1 1】

$$\pi(i) = \arg \max_{k \in \hat{S} \setminus S} \Delta C_{sum}(S \cup k)$$

に従って最も強くなる。

ここで

$$C_{sum}(S \cup k) = C_{sum}(S \cup k) - C_{sum}(S)$$

であり、和容量 $C_{sum}(S)$ が

【数 1 2】

$$\lim_{P_{Tx} \rightarrow \infty} C_{sum}(S) = \log_2 \left| \mathbf{I} + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right|$$

ここで

【数 1 3】

$$\sum_{k \in S} M_{Rx,k} \leq M_{Tx}$$

に従って決定されるか、又は

推定和容量 $C_{sum}(S)$ が

【数 1 4】

$$\lim_{P_{Tx} \rightarrow \infty} C_{sum}(S) \approx \log_2 \left| \mathbf{I} + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right|$$

ここで

【数 1 5】

$$\sum_{k \in S} M_{Rx,k} > M_{Tx}$$

あるいは

$P_{Tx} < \dots$ について

10

20

30

40

【数 16】

$$C_{sum}(S) \approx \log_2 \left| I + \sum_{k \in S} H_k^H H_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right|$$

に従って決定される。

ここで、 $M_{Rx,k}$ はユーザ k の受信アンテナの数を表し、 P_{Tx} は送信電力であり、 H_k はユーザ k の MIMO 無線チャネル行列を表現し、 I は恒等行列であり、 N は S の濃度であり、 M_{Tx} は送信に使用される送信アンテナの数を表す。

10

【0053】

実施形態において、プロセッサ 115 は、事前選択グループ又は中間選択グループのユーザの MIMO 無線チャネルを処理して、処理された MIMO 無線チャネルを得て、事前選択グループ又は中間選択グループのユーザの処理された MIMO 無線チャネルの空間特性に基づいて、送信のためにユーザのサブグループを決定するように構成可能である。

【0054】

プロセッサ 115 は、SESAM (SESAM = Successive Encoding Successive Allocation Method) に基づいて、サブグループのために事前選択グループ又は中間選択グループからユーザを選択するように構成されるものである。

20

【0055】

図 2A は、移動通信システムにおいて送信のために複数のユーザからユーザのサブグループを選択する方法の実施形態を説明するフローチャートを示している。ユーザは、MIMO 無線チャネルを介して通信できるものである。この方法は、他のユーザの送信容量尺度に比べて所定量だけ高い送信容量尺度を有するユーザを選択した状態から解除して、選択が解除されたユーザを含まない事前選択グループを得て、この事前選択グループが、2つの互いに等しい送信容量尺度を有するか、又は2つの送信容量尺度の差が所定量よりも小さい2つのユーザを含むようにするステップ 200 を備える。この方法は、MIMO 無線チャネルに基づいて、送信のためのユーザのサブグループを決定するステップを更に含む。

30

【0056】

更なる実施形態において、方法は、図 2A の破線のボックスによって示されているように、送信容量尺度とは異なる事前選択グループのユーザの MIMO 無線チャネルの空間特性に基づいて、ユーザの中間選択グループのために事前選択グループからユーザを選択する任意のステップ 250 を更に含むことができる。この場合、決定するステップは、この中間選択グループのユーザの MIMO 無線チャネルに基づいて、送信のためのユーザのサブグループを決定することを意味する。

【0057】

図 2B で示されるように、更なる実施形態では、選択を解除するステップ 200 は、事前選択グループの所定のサイズを受け取るステップ 205 と、フロベニウス・ノルム又はユーザの MIMO 無線チャネルを表すユーザの MIMO 無線チャネル行列の単一ユーザ速度に従って複数のユーザを降順に並べ替えるステップ 210 とを含むことができる。選択を解除するステップ 200 は、全ユーザを事前選択グループの中を含めるステップ 215 と、事前選択グループからの最高フロベニウス・ノルム又は最高単一ユーザ速度を有するユーザのフロベニウス・ノルム又は単一ユーザ速度を、事前選択グループからの2番目に高いフロベニウス・ノルム又は2番目に高い単一ユーザ速度を有するユーザのフロベニウス・ノルム又は単一ユーザ速度と比較するステップ 220 を更に含むことができる。

40

【0058】

更に、本実施形態は、事前選択グループからの最高フロベニウス・ノルム又は最高単一ユーザ速度を有するユーザを選択した状態から解除するステップ 225 を備えることがで

50

きる。更に、本実施形態は、事前選択グループからのユーザの2番目に高いフロベニウス・ノルム又は2番目に高い単一ユーザ速度を乗じた或る因子 に比べて最高フロベニウス・ノルム又は最高単一ユーザ速度が高ければ、比較するステップ220へ戻るステップを備えることができる。また、本実施形態は、事前選択グループからの最低フロベニウス・ノルム又は最低単一ユーザ速度を有するユーザを選択した状態から解除して、所定のサイズにマッチさせるステップ230を備えることができる。

【0059】

一旦、上記の因子 を越えないような、一对のユーザが見出されると、本実施形態の方法は、事前選択グループから、最低フロベニウス・ノルム又は単一ユーザ速度を有するユーザ、すなわち、数値順に並んでいるものの後ろからユーザを選択した状態から解除して、ステップ205で受け取られた所定のサイズにマッチさせるステップ230を備える。

10

【0060】

図2Cによれば、選択するステップ250は、中間選択グループの所定のサイズを受け取るステップ255と、事前選択グループからの最高フロベニウス・ノルム又は最高単一ユーザ速度を有するユーザを選択するステップ260とを備えることができる。更に、中間選択グループ内の選択されたユーザに基づいて事前選択グループ内の選択されていないユーザについて容量又は和の増加量を評価するステップ265と、中間選択グループのために最高容量又は最高和速度(sum rate)の増加量を有するユーザを選択するステップ270とを備えることができる。更に、本実施形態は、中間選択グループのサイズが中間選択グループの所定のサイズに到達するまで、評価するステップ265へ戻るステップを備

20

【0061】

他の実施形態は、他の送信容量尺度を利用してよいこと、又はユーザを増加量の順に並べ替えてよいこと、又は異なるやり方を用いてユーザから選択してよいことに留意されたい。また、いかなる場合にも本実施形態に限定して解釈されてはならない。

【0062】

(1.1)の最適解は、全ての可能な集合Sにわたる全数検索を要求する。Kのユーザを有するシナリオでは、それは

【数17】

$$\binom{K}{N}$$

30

の可能な集合の中で最良集合を探索することを要求するだろう。明らかに、これは実用システムでは実行することが不可能であり、複雑度を低減するという所望の目標を妨げることになる。他の実施形態を詳細に説明する前に、目的関数 $g(S)$ に影響する3つの因子が導入される。次の図は $K=2$ のユーザの場合を取り扱うが、与えられる記述は任意の数のユーザに当てはまる。

【0063】

確かに、大きなチャンネル利得を有するユーザのグループにおいては、ユーザの空間多重化の潜在的な利得が高くなる。「チャンネル利得」とは、送信容量尺度、例えば、ユーザ k のMIMO無線チャンネルを表すMIMOチャンネル行列 H_k のフロベニウス・ノルムを意味し、

40

【数18】

$$\|H_k\|_F$$

で表され、チャンネルの全体的エネルギーを表す。非特許文献16を参照されたい。

【0064】

実施形態の代替において、1つのユーザが達成できる最大送信速度である単一ユーザ速

50

度 R_{k, s_u} は、1つのユーザが自分自身の上に全送信リソースを受け取るならば、チャンネル利得の送信容量尺度の役割を果たすことができる。図3 A及び図3 Bは、2つのユーザを含むシナリオにおける和容量を図示した2つのグラフである。図3 Aの場合、2つのユーザの双方は大きなチャンネル利得、すなわち、高い送信容量尺度を有することが仮定される。図3 Bの場合、考慮される2つのユーザは小さいチャンネル利得、すなわち、どちらかと言えば低い送信容量尺度を有することが仮定される。図3 A及び図3 Bは、ユーザ1及び3のチャンネルが同じ特異ベクトルを有するが異なる特異値を有する2つのシナリオを提示している。同様に、ユーザ2及び4のチャンネルも特異値でのみ異なっている。特異値は、実施形態においてチャンネル利得又は送信容量尺度として考えられてよい。図3では、容量領域及びTDM Aで達成可能な領域がプロットされている。チャンネル利得が増加するにつれて最大単一ユーザ速度も高くなるが、この速度と、双方のユーザが同時にサービスを提供されるときに取得可能な和速度との差も増加する。

10

【0065】

和容量を評価するときに考慮されるべき別の態様は、ユーザの無線チャンネルの空間的配列 (spatial alignment) である。最大フロベニウス・ノルムに従って、又は同様に非特許文献17で提案されるような最大単一ユーザ速度に従って、Sのためにユーザを選択することは、事前選択のための簡単な方法であるが、最大チャンネル利得を有するユーザのチャンネルが空間的に強く整列されるならば、この方法は完全に失敗する。

【0066】

図4 A及び図4 Bは2つのグラフを示すが、これらのグラフは2つのユーザ・シナリオにおける和容量を図示している。2つのユーザ・シナリオとは、図4 Aで見られるようにユーザの空間分離が高いときのシナリオと、図4 Bで見られるようにユーザの空間分離が一過性であるとき、すなわち、ユーザが空間的に整列されているときのシナリオである。図4 Bは、極端な場合を示しており、2つのユーザチャンネルの範囲が完全にオーバーラップしている場合を示している。更に、ユーザの右特異ベクトルが恒等的に選ばれている。このようにして、ユーザの空間分離を行うことができず、容量領域はTDM Aレート領域と一致する。他方、ユーザのチャンネルが空間的に整合されていないならば、すなわち、1つのユーザのチャンネルの範囲が、図4 Aで示されるように、他のユーザのチャンネルのゼロ空間 (null-space) の中に入るならば、大きな利得を得ることができる。この場合、2つのユーザは相互に干渉せず、双方のユーザは自分のチャンネル利得から完全に利益を得ることができる。したがって、ユーザの無線チャンネルの空間配列は、和容量の第2の影響因子として特定されることができる。

20

30

【0067】

和容量について考慮されるべき別の因子は、ユーザの無線チャンネルのバランスである。これまで言及された影響因子も、ゼロ・フォーシング・アプローチ (zero forcing approach) のグループ化アルゴリズムで重大な役割を果たす。次の規準、すなわち、ユーザのチャンネルのバランスは、目的関数 $g(S)$ に対して、より特有である。チャンネルのバランスとは、ユーザのチャンネルのフロベニウス・ノルムの比率を意味する。ある実施形態において、フロベニウス・ノルムは、送信容量尺度の役割を果たすことができる。

【0068】

図5 A及び図5 Bは、2つのユーザ・シナリオにおける和容量を図示した2つのグラフである。図5 Aは、2つのユーザが、バランスの取れたチャンネルを有する場合、すなわち、双方のユーザが同じようなチャンネル利得又は送信容量尺度を有する場合のシナリオの和容量を示している。図5 Bは、シナリオにおける2つのユーザが非常に異なるチャンネル利得、すなわち、アンバランスなチャンネル又はアンバランスな送信容量尺度を有する場合を図示している。

40

【0069】

アンバランスなシナリオは、図5 Bに示されている。ユーザ3はユーザ4よりもずっと大きいチャンネル利得を有する。これは、このユーザについて、より大きい単一ユーザ速度となることを暗示する。そのようなアンバランスなシナリオにおいて、最大和容量の点は

50

、最大チャネル利得を有するユーザが、全ての利用可能なシステム・リソースを取得するような点の近くに存在するか、あるいは図 5 B で示された例のようにこの点の上に存在する。その理由は、他のユーザへのリソースのシフトは、限界利得をもたらすのみであるのに対して、それに含まれる最大のユーザの損失は、和容量に対してはより有害となるためである。他方、同じような大きさのチャネル利得を有するユーザにとって、最大の和速度の点は、1つのユーザが全システム・リソースを受け取る端点から遠く離れて存在する可能性がある。これは、和速度において、より高い利得が潜在的に存在していることを示す。

【 0 0 7 0 】

前のセクションで説明された影響因子から、チャネルの利得及びバランスは、比較的容易に決定され得るが、チャネルの空間的配列は、フロベニウス・ノルム又は送信容量尺度のように単純に計算され得ないことが観察される。更に、ユーザの各組み合わせについて後者の特性をチェックするためには、新しい計算が要求されるのに対して、他の特性については、ユーザごとにスカラ・フロベニウス・ノルムを送信容量尺度として一度だけ計算し、それらを比較して適切なグループを見出すことで十分である。

10

【 0 0 7 1 】

この事実は、2段階でユーザをグループ化する実施形態の動機づけとなる。例えば事前選択器 1 1 0 によって実行される実施形態の段階 I において、ユーザは簡単な規準に従って並べ替えられる。また、例えば選択器 1 2 0 によって実行される実施形態の段階 II において、DPC を採用する SDMA ベースのアプローチを用いて送信を行うためのサブグループ、すなわち、サービスを提供されるべきサブグループは、段階 I で取得した減らされた集合又はユーザの事前選択グループから、より複雑な探索によって選択される。下記では、実施形態の 2 つの段階が詳述される。

20

【 0 0 7 2 】

段階 I において、目標は、SDMA でサービスを提供されるべきユーザのグループの候補ユーザを含む集合又は事前選択グループ S^{\wedge} を見出すことである。これに続く段階の複雑度を制御するため、 S^{\wedge} の濃度 (cardinality)、ここで

【 数 1 9 】

$$N \leq |\hat{S}| < K$$

30

を前もって定義することが提案される。段階 II をスキップする実施形態では、

【 数 2 0 】

$$|\hat{S}| = N$$

を選択することができる。最初に、全ユーザのチャネルのフロベニウス・ノルム

【 数 2 1 】

$$\|H_k\|_F$$

40

が計算され、例えば、降順に並べ替えられる。最大フロベニウス・ノルム又は送信容量尺度を有するユーザから始まる現在の実施形態では、

【数 2 2】

$$\frac{\|H_i\|_F}{\|H_{i+1}\|_F} < \alpha, \quad (1.2)$$

がチェックされる。ここで、 α は前もって定義された閾値を表し、 i は降順におけるフロベニウス・ノルムを索引することが仮定される。(1.2)が成り立つならば、ユーザ i は集合から排除されずテストは停止される。そうでなければ、このユーザは排除され、ユーザ $i + 1$ からテストが継続する。(1.2)は、したがって、他のユーザよりもずっと大きいチャンネル利得を有するユーザを排除又は選択解除し、したがって、アンバランスなチャンネルの場合を回避しようとする。集合 S^* が所望されるサイズになった後に、最小フロベニウス・ノルムを有するユーザを第 1 の影響因子に従って除去することによって、事前選択グループが達成される。同様に、ある実施形態は、 $1/\alpha$ 又は他の因子に 2 番目に小さいフロベニウス・ノルムを乗じたものよりも、 S^* の中の最小フロベニウス・ノルムが大きくなるまで、 S^* からユーザを追加的に除去してよい。任意的に、異なる因子を使用することができる。この場合、 S^* は、当初に計画されたものよりも少ないユーザを有する。

【0 0 7 3】

下記では、実施形態の第 2 の段階、すなわち、段階 II について明らかにされる。段階 II は、選択器 1 2 0 によって実行することができる。この段階では、ユーザの空間的整合性 (spatial comparability) がチェックされ、最終集合 S が選択される。例えば、非特許文献 1 8、又は非特許文献 1 9 において整合性の尺度として提案される数字は、この実施形態では考慮されない。というのは、これらの数字は、線形ゼロ・フォーシング・アプローチを対象とするからである。本実施形態においては、むしろ、非特許文献 2 0 に記載された高 SNR における和容量の推定が、考慮に入れられる。

【0 0 7 4】

ユーザ間の空間相関のほかに、この定式は、DPC が送信機で採用され得ること、したがって、それは単に集合内のユーザの信号空間の間の直交性に頼られないことも考慮に入れる。送信電力 P_{Tx} が無限大へ進むにつれて、和容量 $C_{sum}(S)$ は、

【数 2 3】

$$\lim_{P_{Tx} \rightarrow \infty} C_{sum}(S) = \log_2 \left| I + \sum_{k \in S} H_k^H H_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right| \quad (1.3)$$

ここで

【数 2 4】

$$\sum_{k \in S} M_{Rx,k} \leq M_{Tx}, \quad (1.4)$$

に従って計算され得る。

代替として、推定される和容量は、

【数 2 5】

$$\lim_{P_{Tx} \rightarrow \infty} C_{sum}(S) \approx \log_2 \left| I + \sum_{k \in S} H_k^H H_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right|$$

ここで
【数 2 6】

$$\sum_{k \in S} M_{Rx,k} > M_{Tx}$$

又は
 $P_{Tx} <$ について
【数 2 7】

$$C_{sum}(S) \approx \log_2 \left| I + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right|$$

10

によって評価されてよい。

ここで、 $M_{Rx,k}$ はユーザ k の受信アンテナの数を表し、 I は恒等行列を表す。このようにして、高い SNR において、デュアル・アップリンク内の最適共分散行列は、スケールされた恒等行列になる。

【0075】

(1.4) の条件が満たされないか、中間 SNR であるとき、非特許文献 21 に従って、(1.3) は、実施形態における上記の和容量推定に従った良好な近似を構成する。

20

【0076】

図 6 A 及び図 6 B は、シミュレーション結果を図示したグラフである。図 6 A は、2 ユーザ・シナリオにおける平均和容量のシミュレーション結果を示し、図 6 B は、4 ユーザ・シナリオにおける類似のシミュレーション結果を示している。双方のグラフは、平均和容量対ユーザ SNR ($SNR = \text{Signal-to-Noise-Ratio}$) を示している。

【0077】

図 6 A 及び図 6 B は、 $K = 2$ ユーザ、 $M_{Tx} = 4$ 送信アンテナ、及び $M_{Rx,k} = 2$ 受信アンテナ ($k = 1, 2$) を有するシステムにおいて、推定された和容量と Sato 限界との比較を示している。容量は、WINNER (WINNER = Wireless World Initiative New Radio) チャネルモデルに従って作り出された 10000 の空間屋内非見通線 (NLOS = Non-Line-of-Sight) シナリオにわたって平均されている。非特許文献 22 を参照されたい。

30

【0078】

(1.4) が満たされるとき、図 6 A のように、推定は、平均して、中間 SNR で実際の容量へ全く良好に当てはまる。2 受信アンテナを有する 4 ユーザの場合、条件 (1.4) が満たされないときに誤差が大きくなる。しかしながら、2 つの曲線は、同じ振る舞いを示している。事前選択を目的とするとき、すなわち、SDMA へ最良に適する事前選択グループを見出すためには、幾つかの実施形態において、この近似で十分である。(1.4) を満たさないことに関連する不正確度を回避するため、実施形態は、チャンネルの SV D を計算し、

40

【数 2 8】

$$\mathbf{H}_k = \sum_{i=1}^{\text{rank}(\mathbf{H}_k)} \sigma_{k,i} \mathbf{u}_{k,i} \mathbf{v}_{k,i}^H$$

各々の積 $\sigma_{k,i} \mathbf{v}_{k,i}^H$ を別個のチャンネルと考えてよい。これらの等価チャンネルは、左特異ベクトルを受信フィルタとして適用することから結果として得られる。しかしながら、ユーザのチャンネルの SV D が要求されるので、これは追加の計算複雑度を課し、改善

50

の見込みは低い。

【0079】

幾つかの実用環境において、 S^{\wedge} の中の最良集合 S を求める全数検索を実行するには、(1.3)は依然として複雑すぎるかもしれない。実施形態は、したがって、次のようにして集合又は中間選択グループ S の継続的拡大を実行することができる。(1)で表される集合内の第1のユーザは、事前選択グループ S^{\wedge} の中で最大フロベニウス・ノルムを有するユーザであり得る。すなわち、

【数29】

$$\pi(1) = \arg \max_{k \in \hat{S}} \|H_k\|_F \quad (1.5)$$

10

である。

【0080】

連続するステップの各々で、ユーザは、サブグループ S へ追加される。これは、推定される和容量の最大の増加をもたらす。 i 番目のユーザは、したがって、

【数30】

$$\pi(i) = \arg \max_{k \in \hat{S} \setminus S} \Delta C_{sum}(S \cup k)$$

20

ここで、 $C_{sum}(S \cup k) = C_{sum}(S \cup k) - C_{sum}(S)$ に従って決定される。

【0081】

その後、 S は $S = S \cup \pi(i)$ に従って更新される。各ステップで $C_{sum}(S)$ を計算するため、最終的な電力の割り当てが使用される。すなわち、因子 $1/N$ は(1.3)の中に残る。したがって、留意すべきことは、 S が N ユーザよりも少ないユーザを含む限り、 $C_{sum}(S)$ は、所与の送信電力を用いて達成できる和容量の推定となり得ない。アルゴリズムは N ステップの後に終了され、そのときサブグループ S は所望の濃度を提示する。

30

【0082】

以下では、シミュレーション結果が示される。シミュレーションのために、非特許文献23のWINNERチャネルモデルが使用されているが、単一搬送波システムが使用されている。帯域幅は132 KHzに等しく、 $M_{Tx} = 4$ アンテナを有する送信機が120 m x 120 m屋内シナリオの中心に置かれる。第1のシミュレーションのために、30のユーザがこの区域へ無作為に置かれた。各ユーザは、 $M_{Rx, k} = 2$ 受信アンテナを作動し、送信機への見通線(Light of Sight)を有しない。図7は、サンプル・シナリオを提示する。図7は、星で示される4アンテナを利用する基地局BSが、シナリオの中心に位置するシミュレーション・シナリオを図示している。図7において、x印は、30のユーザを示し、これらのユーザは、120 m x 120 m屋内NLOS(NLOS = None-Line-of-Sight)シナリオで均等に分布する。

40

【0083】

図8は、ユーザの平均利得対SNRのシミュレーション結果を図示するグラフである。このグラフは、4つの異なるグラフ、すなわち、全数検索(破線及びx印で示される)と、実施形態に従った低減された全数検索(実線及びx印で示される)と、実施形態に従った提案アプローチ(実線及び星印で示される)と、実施形態に従ったフロベニウス・ノルム(段階1のみ、実線及び三角で示される)とを示している。

【0084】

図8では、1500の無作為シナリオにわたって平均された利得 $g(S)$ が示されている。利得は、SESA Mで達成可能な和速度と S 内の最大単一ユーザ速度との差として測

50

定される。段階 I の場合、事前選択グループ S^{\wedge} の集合の濃度は

【数 3 1】

$$|\hat{S}| = 15$$

に設定され、閾値 $\theta = 30$ が選ばれている。最終集合又は中間選択グループ S の濃度は、送信アンテナの数に等しかった。すなわち、 $|S| = M_{Tx} = 4$ であった。「低減された全数検索」とラベルを付けられた曲線は、(1.5) に従って決定されたユーザ (1) が集合 S の中にあるように強制される場合に達成可能な利得を示している。すなわち、全数検索は、この実施形態においてユーザ (1) と共に $SESA M$ を用いてサービスを提供されるべき 3 つの更なるユーザを見出すためにのみ実行される。

10

【0085】

このようにして、全数検索と実施形態との差異は、主として、実施形態が、発見的であるが簡単なやり方で第 1 のユーザを選ぶという事実に起因する。このユーザが、 S の一部分であれば、実施形態は、低減された全数検索と同じ性能をもたらす。最も低い曲線は、ユーザのグループ化が

【数 3 2】

$$|\hat{S}| = N$$

20

を用いて実行される時、すなわち、段階 II が完全にスキップされるときに達成可能な利得を示している。比率のテスト (1.2) とは別に、このアルゴリズムは非特許文献 24 によって提示されるものと同じである。この場合、ユーザは最大の単一ユーザ速度に従って選択される。

【0086】

次に、ユーザが著しく空間的に整列されるシナリオについて考察する。図 9 は、基地局 B_S が中心にあり、ユーザが 2 つの集団、すなわち、集団 # 1 及び集団 # 2 へ集められる他のシミュレーション・シナリオを図示している。集団サイズは $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ であり、10 のユーザが集団内で均等に分布している。図 9 から、異なる集団の中に位置するユーザは良好な空間分離を有するが、同じ集団の中に位置するユーザは、ほぼ空間的に整列されることが分かる。20 のユーザが $(-50\text{ m}, 50\text{ m})$ 及び $(100\text{ m}, 30\text{ m})$ を中心として 2 つの集団へ無作為に置かれ、送信機は座標系の中心を定義する。各シナリオについて、ユーザはこれら中心点の周りでサイズ $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ の正方形の中に無作為に置かれた。図 9 はサンプル・シナリオを提示している。5000 の集団シナリオにわたって平均された和速度の結果の利得が、図 10 で示される。

30

【0087】

図 10 は、ユーザの SNR に対する平均利得のシミュレーション結果を図示するグラフである。図 10 は、5 つのグラフ、すなわち、全数検索 (×印を有するダッシュ線で示される) と、実施形態に従った低減された全数検索 (×印を有する実線で示される) と、実施形態に従った提案アプローチ (段階 II のみ、円を有する実線で示される) と、実施形態に従った提案アプローチ (段階 I 及び段階 II、星印を有する実線で示される) と、実施形態に従ったフロベニウス・ノルム・ベース (段階 I のみ、三角を有する実線で示される) とを示している。

40

【0088】

図 10 は、段階 I が実施形態に従って完全にスキップされる、すなわち、

【数 3 3】

$$|\hat{S}| = 20$$

50

であるシミュレーション結果（円を有する実線によって示される）を更に示している。このアルゴリズムは全数検索なしに最良性能をもたらすが、それは

【数 3 4】

$$|\hat{S}|=10$$

を有する実施形態の少し上にあるだけである。段階 I だけを適用することは、厳しい性能低下をもたらすことになる。

【0089】

10

本発明の実施形態は、MIMO通信シナリオにおける先進的な空間割り当てアルゴリズム、例えばSESAMを、合理的複雑度で確立することを可能にする。実施形態は、高処理性能を要求する空間アルゴリズムが、送信のために潜在的に利用可能な全ユーザのグループよりも小さい事前選択ユーザ・グループに対して実行され得るという利点を有する。それによって、本発明の実施形態は、洗練された空間多重化又はMIMOアルゴリズムの実現を可能にし、システム容量が増加し、ユーザの満足度が上がる。更に、本発明の実施形態は、より高い速度及び、より高い品質サービスの提供を可能にするので、実施形態は移動通信システムにおけるサービス・ポートフォリオの向上にも貢献する。

【0090】

20

一般的に、和容量アプローチ・マルチユーザMIMO送信法の計算複雑度は、ユーザの数と共に大きくなる。このようにして、高度負荷システムにおいては、送信信号処理に全ユーザを考慮するときの計算負荷は、しばしば、あまりに高くなる。そのような場合、本発明の実施形態は、例えば事前選択によってユーザをグループ化し、事前選択されたグループ、すなわち、送信のためのサブグループのユーザへのみ、数値関連アルゴリズムを別個に適用できるという利点を提供する。

【0091】

30

本発明の実施形態は、複雑な送信信号処理アルゴリズムを用いてサービスが提供されるユーザの適切なグループを見出す問題に対して有効である。実施形態は、ユーザのグループ化又はユーザの事前選択を実行して、これらのアルゴリズムの計算努力が和速度の最大可能利得をもたらすようにする。これらのアルゴリズムの計算量は、ダーティー・ペーパー符号化を使用しない簡単なアプローチと対比される。実施形態は2つの段階を実行することができる。最初に、例えば、チャネルのプロベニウス・ノルムから引き出された計算効率規準に基づいて、ユーザの事前選択が行われる。送信のために実際に選択されるユーザの、計算的に高価又は複雑となる、最終的なサブグループ選択は、低減されたユーザ数を用いて、本発明の実施形態によって実行される。

【0092】

40

本発明の方法の実施要件に依存して、本発明の方法はハードウェア又はソフトウェアで実施することができる。この実施は、デジタル記憶媒体、特にフラッシュ・メモリ、ディスク、DVD、又はCDを使用して実行され得る。これらの記憶媒体は、電子的に読み取り可能な制御信号を記憶しており、プログラム可能コンピュータ・システムと協力して、本発明の方法が実行されるようにする。一般的に、本発明は、プログラム・コードを有する機械読み取り可能なキャリアである。プログラム・コードは、コンピュータ・プログラム・プロダクトがコンピュータ又はプロセッサ上で動くときに、本発明の方法を実行するように動作する。言い換えれば、本発明の方法は、プログラム・コードを有するコンピュータ・プログラムであり、プログラム・コードは、コンピュータ・プログラムがコンピュータ又はプロセッサ上で動くときに、本発明の少なくとも1つを実行する。

【符号の説明】

【0093】

100 ユーザ選択装置

110 事前選択器

50

1 2 0 選 択 器

【 図 1 A 】

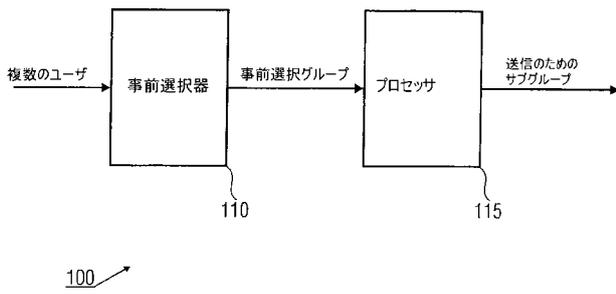


FIG 1A

【 図 1 B 】

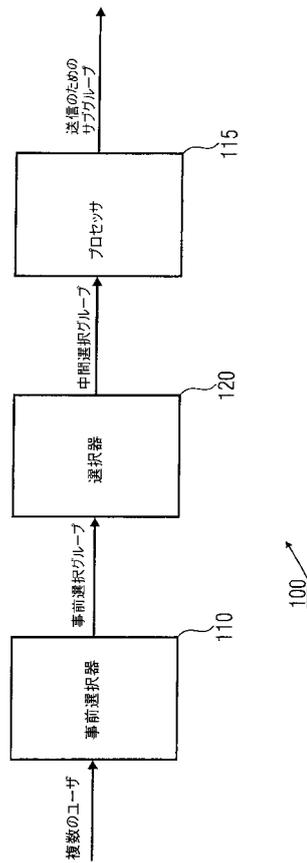


FIG 1B

【 図 1 C 】

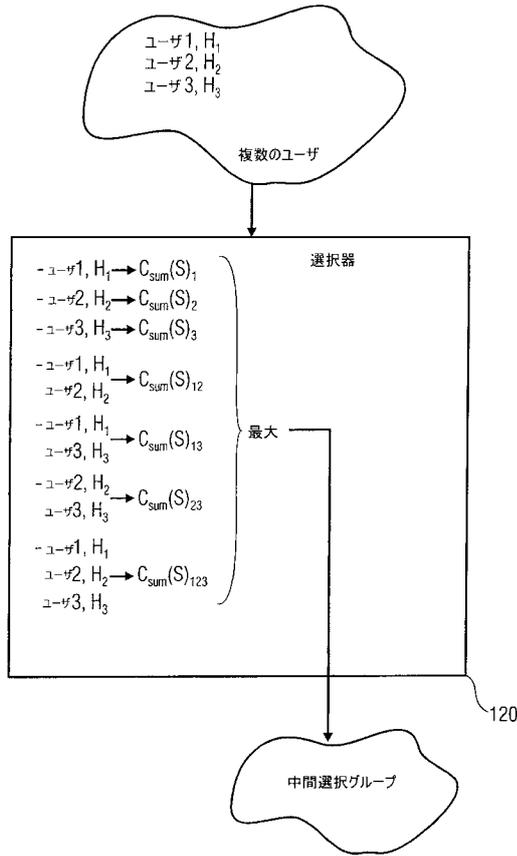


FIG 1C

【 図 1 D 】

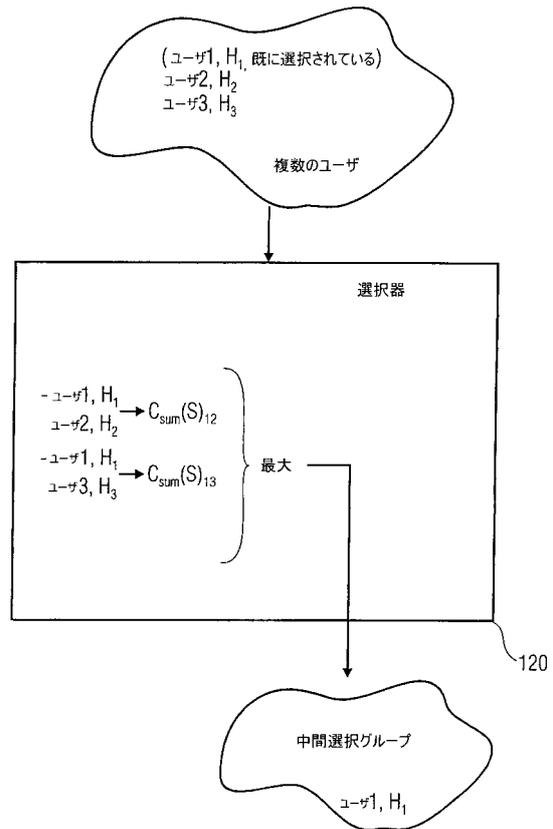


FIG 1D

【 図 2 A 】

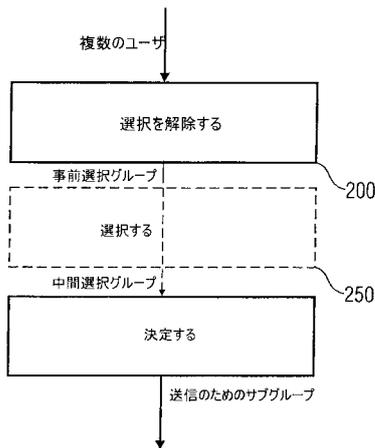
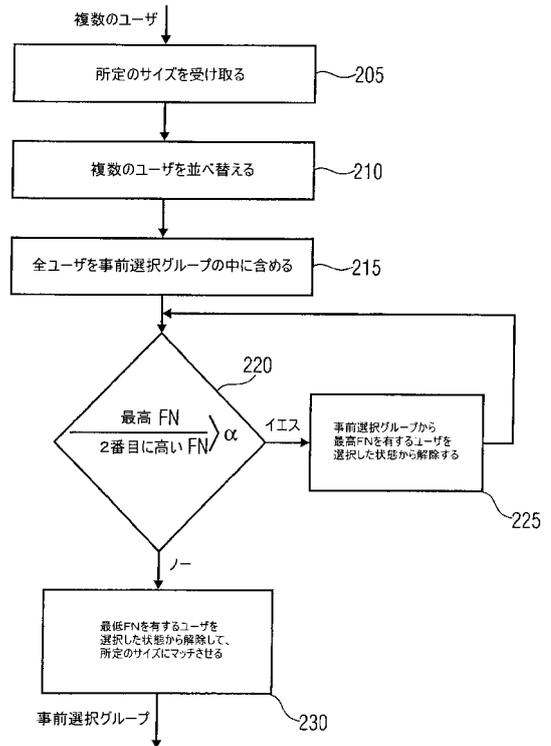


FIG 2A

【 図 2 B 】



200 ↗

FIG 2B

【 図 2 C 】

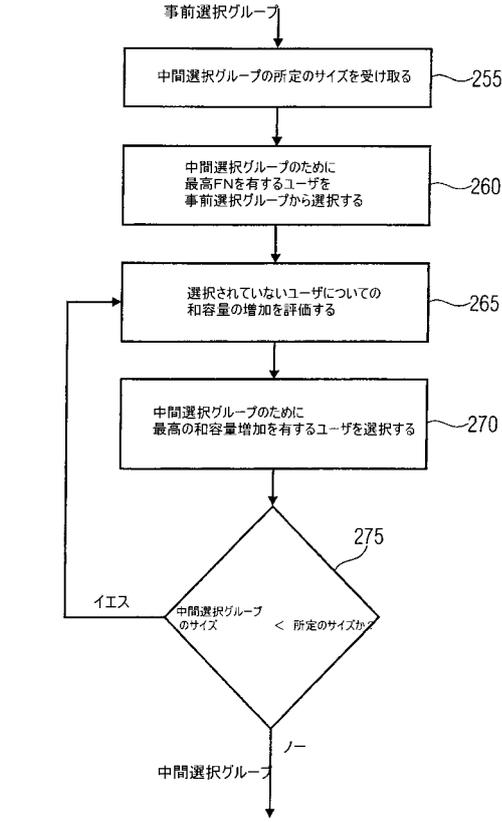


FIG 2C

250 ↗

【 図 3 A 】

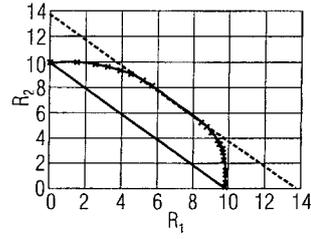


FIG 3A

【 図 3 B 】

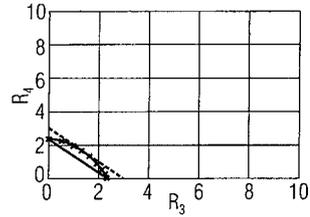


FIG 3B

【 図 4 A 】

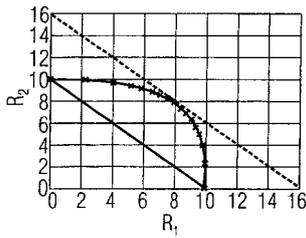


FIG 4A

【 図 5 A 】

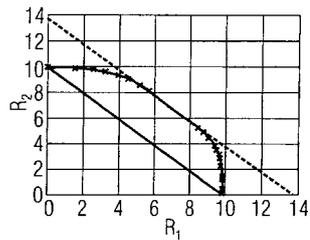


FIG 5A

【 図 4 B 】

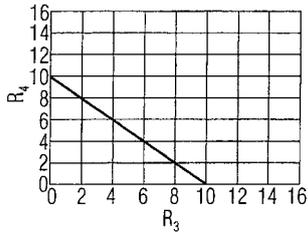


FIG 4B

【 図 5 B 】

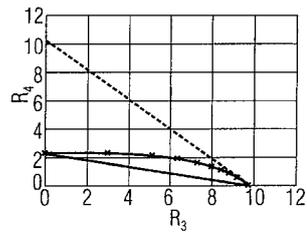


FIG 5B

【 図 6 A 】

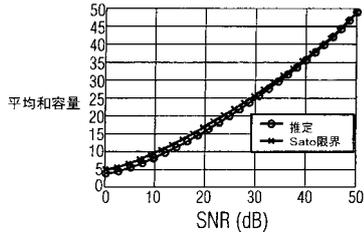


FIG 6A

【 図 6 B 】

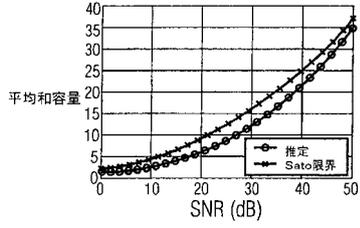


FIG 6B

【 図 7 】

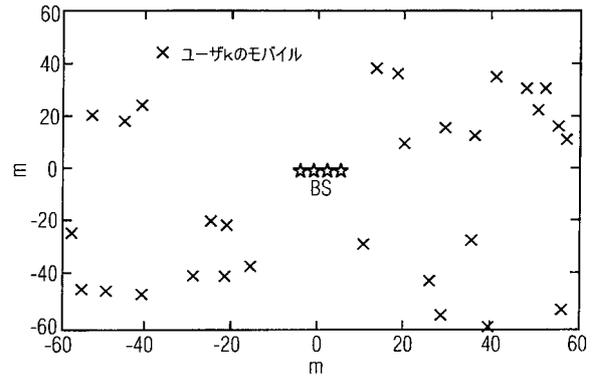


FIG 7

【 図 8 】

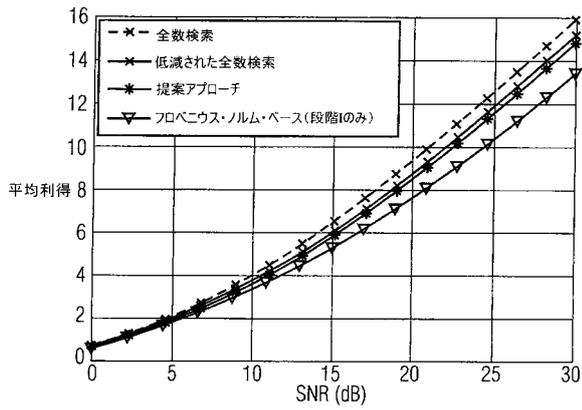


FIG 8

【 図 9 】

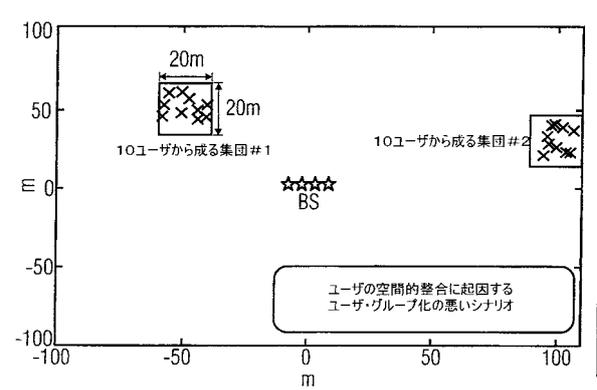


FIG 9

【 図 1 0 】

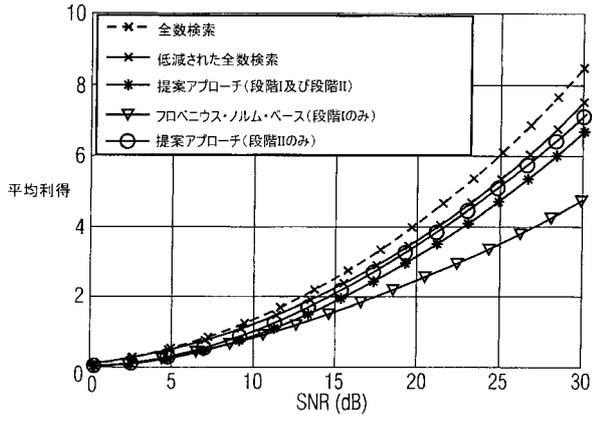


FIG 10

【 図 1 1 】

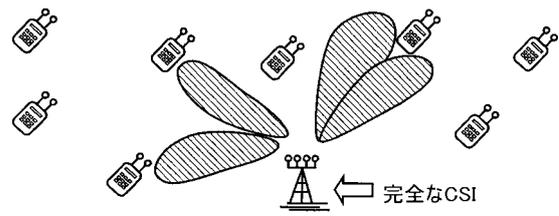


FIG 11 (最新技術)

【 図 1 2 】

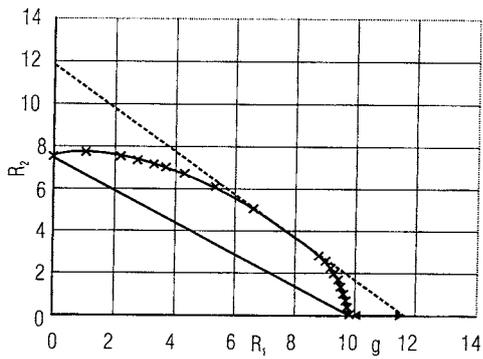


FIG 12 (最新技術)

フロントページの続き

- (74)代理人 100125036
弁理士 深川 英里
- (74)代理人 100142996
弁理士 森本 聡二
- (74)代理人 100154298
弁理士 角田 恭子
- (74)代理人 100156443
弁理士 松崎 隆
- (74)代理人 100162330
弁理士 広瀬 幹規
- (72)発明者 クリスティアン・ゲーティ
ドイツ連邦共和国, 8 0 8 0 3 ミュンヘン, ラインシュトラッセ 3
- (72)発明者 ヴォルフガング・ウチック
ドイツ連邦共和国, 8 5 0 5 1 インゴルシュタット, メンドルシュトラッセ 4エー
- (72)発明者 グイド・ディートル
ドイツ連邦共和国, 8 0 8 0 5 ミュンヘン, ガーヒンガー・シュトラッセ 3 4
- (72)発明者 ヨーゼフ・アー・ノセック
ドイツ連邦共和国, 8 2 3 9 3 イッフェルドルフ, ツークシュピッツシュトラッセ 1 9
- Fターム(参考) 5K022 FF00
5K059 EE02
5K067 AA13 BB21 CC01 EE02 EE10 KK03

【外国語明細書】

1. Title of Invention

**A User Selection Apparatus for a Mobile Communication
System**

5

2. Detailed Explanation of the Invention

The present invention is in the field of communication systems utilizing multiple-input-multiple-output (MIMO =
10 multiple-input-multiple-output) radio channels.

Development in mobile communications constantly seeks for improvement of each user's data rate and system capacity in order to provide as many users as possible with high
15 quality services. In a point to multipoint communication system, as for instance the downlink of a mobile communication system, a transmitter has the important task of assigning resources such as time, frequency and space components to the receivers under its coverage. If the
20 transmitter knows the channel of each user, multiple users can be served at the same time and over the same frequency multiplexing them in space. In a multipoint to point communication system, as for example the uplink of a mobile communication system, this task has to be accomplished by
25 the receiver.

In the following, analysis will be directed to the downlink, application to the uplink is straightforward. For this purpose multiple antennas at a base station or access point
30 and at mobile users are employed which leads to the well-known Multiple-Input-Multiple-Output systems. Here a MIMO-system with K users and with M_{Tx} antennas at the transmitter and $M_{Rx,k}$ antennas at the k -th receiver is considered. The k -th user's channel is described by the
35 matrix

$$\mathbf{H}_k \in \mathbb{C}^{M_{Rx,k} \times M_{Tx}} .$$

Assuming perfect knowledge of these matrices at the transmitter a common optimization problem looked at is the maximization of sum capacity. The optimum solution to that problem can be found by iterative waterfilling, cf. in W. Yu, Sum-Capacity Computation for the Gaussian Vector Broadcast Channel, *IEEE Transactions on Information Theory*, 52:754-759, 2006, and in W. Yu, W. Rhee, S. Vishwanath, S. Jafar, and A. Goldsmith, Sum Power Iterative Waterfilling for Multi-antenna Gaussian Broadcast Channels, *IEEE Transactions on Information Theory*, 51:1570-1580, 2005.

As an efficient non-iterative approach to this problem the Successive Encoding Successive Allocation Method (SESAM = Successive Encoding Successive Allocation Method) has been proposed in P. Tejera, W. Utschick, G. Bauch, and J. A. Nossek, Subchannel Allocation in Multiuser Multiple Input Multiple Output Systems, *IEEE Transactions on Information Theory*, 52:4721-4733, Oct. 2006, which is able to achieve the optimum solution very closely. Both algorithms rely on the principle of Dirty Paper Coding (DPC = Dirty Paper Coding) M.H.M. Costa, Writing on Dirty Paper, *IEEE Transactions on Information Theory*, 29:439-441, May 1983, which states that interference that is known when a certain data stream is encoded can be perfectly canceled and the maximum achievable rate of this stream is the same as if that interference was not present. The practical implementation of nearly optimum DPC, however, is numerically involved.

Furthermore the complexity of both algorithms linearly scales with the number of users, although the number of users actually served is usually smaller or equal to the number of transmit antennas. For this reason several user selection algorithms have been proposed which select a subset of users based on a simple criterion with which the corresponding algorithms are executed. For the optimum approach a user pre-selection method is presented in G. Aniba and S. Aissa, Multi-User Capacity Maximization for

MIMO Gaussian Broadcast Channels, In *Proc. of International Conference on Communications (ICC)*, 2006, which relies on the Singular Value Decomposition (SVD = Singular Value Decomposition) of the composed channel matrix and is therefore rather complicated as well. The composed channel matrix \mathbf{H} contains the channel matrices of all users stacked row-wise in one matrix. In case of 3 users for example, the composed channel matrix is given by

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 \\ \mathbf{H}_2 \\ \mathbf{H}_3 \end{bmatrix}.$$

Correspondingly a lot of research has been conducted regarding user selection, when only linear approaches such as Block Diagonalization or Zero-Forcing Beamforming (ZFBF = Zero-Forcing Beamforming) are used for the maximization of sum rate, cf.

Q.H. Spencer, A.L. Swindlehurst, and M. Haardt, Zero-forcing Methods for Downlink Spatial Multiplexing in Multiuser MIMO Channels, *IEEE Trans. on Signal Processing*, 52(2):461-471, February 2004, and

G. Caire and S. Shamai, On the Achievable Throughput of Multiantenna Gaussian Broadcast Channel, *IEEE Transactions on Information Theory*, 49(7):1691-1706, July 2003.

G. Dimic and N.D. Sidoropoulos, On Downlink Beamforming with Greedy User Selection, *IEEE Transactions on Signal Processing*, 53(10):3857-3868, October 2005, discuss the problem of simultaneous multi user downlink beam forming, also called spatial interference cancellation. The authors employ a transmit antenna array to create multiple antenna beams directed towards the individual users, where they seek to increase the throughput measured by a sum capacity or a sum rate. The sum capacity or sum rate is determined by accumulating the individual user capacities depending on the individual user antenna diagrams and the corresponding cross interference introduced therewith. The authors

investigate the case of having more users than transmit antennas, which requires user selection. Optimal solutions to this problem can be prohibitively complex for online implementation at the base station. Other solutions may
5 capitalize on multi user diversity to achieve a significant fraction of sum capacity at a lower complexity cost. The authors analyzed the throughput performance in Rayleigh fading of a sub-optimal greedy pre-coding based scheme and propose a user selection method based on simple zero-
10 forcing beam forming.

Further details can be found in J. Wang, D.J. Love, and M. Zoltowski, User Selection for the MIMO Broadcast Channel with a Fairness Constraint, In *Proc. of IEEE International
15 Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), 2007*, and further approaches for zero forcing are disclosed in

T. Yoo and A. Goldsmith, On the Optimality of Multiantenna Broadcast Scheduling Using Zero-Forcing Beamforming, *IEEE
20 Journal on Selected Areas in Communications*, 24(3):528-541, March 2006, and

T. Yoo and A. Goldsmith, Sum-Rate Optimal Multi-Antenna Downlink Beamforming Strategy Based on Clique Search, In *Proc. of Global Telecommunications Conference (GLOBECOM),
25 2005*.

Z. Shen, R. Chen, J.G. Andrews, R.W. Heath, and B.L. Evans, Low Complexity User Selection Algorithms for Multiuser MIMO Systems with Block Diagonalization, *IEEE Transactions on
30 Signal Processing*, 54(9):3658 - 3663, September 2006, disclose a pre-coding technique called block diagonalization that eliminates inter-user interference in downlink multi user multiple-input multiple-output systems. The authors assume that all users have the same number of
35 receive antennas and utilize all receive antennas when scheduled for transmission. The number of simultaneously supportable users with block diagonalization is limited by the ratio of the number of base station transmit antennas

to the number of user receive antennas. In a downlink MIMO system with a large number of users, the base station may select a subset of users to serve in order to maximize the total throughput. A brute-force search for the optimal user set, however, is computationally prohibitive. The authors propose two low complexity sub-optimal user selection algorithms for multi user MIMO systems with block diagonalization. Both algorithms try to select a subset of users such that a total throughput is nearly maximized. The total throughput is evaluated by accumulating the individual user capacities or throughput. A first method greedily maximizes the total throughput, whereas the second criteria is based on channel energy. Both algorithms disclosed use linear complexity and a total number of users and achieve around 95% of the total throughput of the complete search method in simulations.

Further details and further user selection approaches can be found in M. Fuchs, G. Del Galdo, and M. Haardt, Low-Complexity Space - Time - Frequency Scheduling for MIMO Systems With SDMA, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 56:2775 - 2784, September 2007, Q.H. Spencer and A.L. Swindlehurst. Channel Allocation in Multi-user MIMO Wireless Communications Systems, In *Proc. of International Conference on Communications (ICC)*, 2004, and T.F. Maciel and A. Klein, A Convex Quadratic SDMA Grouping Algorithm Based on Spatial Correlation, In *Proc. of International Conference on Communications (ICC)*, 2007.

For user grouping methods the difference in maximum sum rate between an SDMA (SDMA = Space Division Multiple Access) based approach employing DPC (DPC = Dirty Paper Precoding) and TDMA (TDMA = Time Division Multiple Access) can be considered. Subsuming users to be selected in a set S , a user selection criterion reads as

$$\max_S \left[\sum_{k \in S} R_{k,DPC} - \max_{k \in S} R_{k,su} \right] = \max_S g(S) \quad (1.1)$$

$$s.t. |S| = N,$$

whereas the cardinality of S must be equal to a predefined value N and $R_{k,DPC}$ denote the rates of user k achievable with DPC. The maximum sum rate for TDMA is equal to the maximum single-user rate $R_{k,su}$, which is the rate a user can achieve if it receives all system resources.

Fig. 11 shows a state of the art scenario, where multiple antennas are operated at a base station and a plurality of mobile terminals are in the field. It can be seen that the terminals which are in the field may also utilize multiple antennas, establishing a MIMO radio channel. In the following it is assumed that perfect channel knowledge is given at, for example, a base station as well as at a mobile terminal. This is shown in Fig. 11 by the arrow indicating that perfect CSI (CSI = Channel State Information) is available.

Fig. 12 shows a visualization of an applied objective function $g(S)$ for a two user scenario. The supportable rate of user 1 is given on the abscissa and the supportable data rate of user 2 is given on the ordinate. From Fig. 12 it can be seen that user 1 can support a rate of 10 when utilizing all resources by itself, respectively user 2 may achieve a maximum data rate of 8 for the same case. Note that no units are given in Fig. 12 with respect to the user data rates, as the numbers here only serve as qualitative measures, which also holds for the remainder.

Fig. 12 exhibits the objective function graphically for a sample scenario with two users. The dashed line has a slope of -1. As it touches the capacity region at the point of maximum sum rate, the value for the sum rate can be read

off at the points of intersection with the axes. For simplicity reasons, but not meant to be limiting, considerations to single carrier systems are considered in the following.

5

However, from the intersection point of the sum capacity in the view graph with the dashed line, it is obvious that the sum capacity of the system, i.e., when serving both users at the same time on the same frequency utilizing spatial channel separation, is higher than the supportable data rate of the individual users.

10

It is the object of the present invention to provide a concept for user selection in a mobile communication system which achieves improved results in terms of sum capacity, while having moderate complexity.

15

The object is achieved by user selection apparatus according to claim 1 and a method for selecting a sub-group of users according to claim 17.

20

The present invention is based on the finding that for a given limited complexity higher system capacity or transmission capacity or gain with respect to single user rates can be achieved when simultaneously served users utilize balanced individual capacities or transmission capacity measures. Moreover, in a MIMO scenario computational complexity can be reduced if a smaller number of users is taken into account. Therefore, embodiments of the present invention may carry out a user pre-selection, i.e. determining a pre-selection group out of all users, which has less users and in which users are balanced to a certain extent with respect to their individual transmission capacities, single user rates, channel gains etc.

25

30

In other words, it is a finding of the present invention that, for a given complexity, when selecting users, de-

35

selecting the best user, i.e., the user with the highest channel gain, individual transmission capacity or highest supportable transmission rate, can provide an advantage with respect to the total transmission capacity or transmission rate of simultaneously served users in a MIMO scenario. This may be the case, if the best user has a much higher channel gain, individual transmission rate or transmission capacity than the second best user.

Embodiments of the present invention may provide the advantage that a higher system capacity or combined capacity may be achieved when taking into account a group of users which are balanced with respect to their channel gains, individual transmission rates, individual capacities, etc. Moreover, embodiments may provide the advantage that sophisticated MIMO user selection and sub-channel assignment algorithms may be carried out, since a pre-selection may provide a smaller group of users, bringing computational complexity of more sophisticated algorithms to a feasible level. Advantages achieved by embodiments may be two-fold, a system capacity may be increased since a balanced group of users is taken into account and second, the balanced group of users may have a cardinality, i.e., the number of users within the balanced group of users, which allows for deployment of complex MIMO algorithms further increasing a system's capacity through better utilization of the MIMO radio channels.

Embodiments may be carried out in a two phase manner. In a first phase, a pre-selection group is determined from a plurality of users, in which users are balanced with respect to their channel gains on their MIMO radio channels. In a further phase, a user selection or MIMO sub-channel allocation algorithm may be carried out based on the pre-selection group.

Other embodiments may employ an additional phase between the pre-selection and the MIMO processing. In other words,

once a balanced group of users has been found in a first phase within the pre-selection group, a second phase or selection may be carried out based on the pre-selection group in order to determine an intermediate selection group.

5 The selection of the intermediate selection group may be based on spatial properties of the MIMO channel. The third phase, i.e., the actual complex MIMO processing may, in these embodiments, be carried out based on the intermediate selection group.

10

In other words, embodiments may start out from a large number of users, i.e., the plurality of users. In a first phase, a pre-selection group of users can be selected from the plurality of users, wherein the users of the pre-
15 selection group utilize, to a certain extent, balanced channel gains or individual user rates. The number of users in the pre-selection group can be lower than the number of users in the plurality of users. The number of users in the pre-selection group may further be reduced to an
20 intermediate selection group. When reducing the pre-selection group to the intermediate selection group, spatial properties of the MIMO radio channels of the users in the pre-selection group can be evaluated. In other words, the spatial compatibility of users within the pre-selection
25 group is evaluated, selecting a sub-set of users from the pre-selection group which are, to a certain extent, spatially compatible for the intermediate selection group. The intermediate selection group may have less users than the pre-selection group due to the de-selection of
30 spatially incompatible users. In a third phase, the complex MIMO processing can be carried out with the reduced number of users in the intermediate selection group.

Embodiments may therewith enable performance of complex
35 MIMO algorithms by choosing from a plurality of users, having balanced and spatially compatible MIMO radio channels.

Embodiments of the present invention may provide the advantage that user selection for achieving high system throughput can be carried out with less complexity by performing pre-selection first. The pre-selection can
5 utilize a much simpler criterion, involving less complexity as, for example, sophisticated algorithms as SESAM etc. For example, user pre-selection, i.e., the reduction of the group of all users to a smaller pre-selection group to choose a subgroup for transmission from, maybe based on
10 channel gains or channel capacities of the individual users, for which it is not necessary to carry out complex operations as, for example, a singular value decomposition (SVD = Singular Value Decomposition) or an Eigenvalue analysis.

15 It is a further finding of the present invention that a pre-selection group, which is smaller than the group of all users, can be determined based on simple criteria, without jeopardizing the system throughput. Moreover, pre-selection
20 may be carried out on the basis of multiple criteria, where the determination of the subgroup for transmission from the pre-selection group may utilize a more sophisticated algorithm, for example, taking into account spatial properties of the users of the pre-selection group.

25 While the existing user grouping approaches aim at identifying users which lead to maximum sum rate, embodiments may carry out a user grouping aiming at the maximum gain obtainable by spatially multiplexing several
30 users. Therefore users selected for transmission may be served by iterative waterfilling, SESAM or similar approaches such that e.g. the difference between the maximum sum rate and the maximum rate one of the selected users could achieve with the totally available transmit
35 power or transmission resources becomes a maximum.

Embodiments with such a selection rule can be motivated as follows. The sum capacity achieving or approaching

algorithms imply a large computational complexity, especially as they employ DPC. In many practical scenarios one can therefore not afford to serve all users by these algorithms. Nevertheless in embodiments for some users
5 employing these algorithms may remain still affordable, while the other users are separated by simpler approaches as Time Division Multiple Access. In embodiments the extra effort invested in the more complicated algorithms should therefore lead to an optimized, in some cases even maximum
10 gain in sum rate compared to a scenario where only one user is served at the same time on the same frequency.

Embodiments of the present invention may comprise a user selection method aiming at identifying the users which lead
15 to the maximum or at least to an optimized increase in sum rate compared to TDMA when spatial multiplexing algorithms for example employing Dirty Paper Coding are applied.

Embodiments provide the advantage that they may ideally
20 lead to a maximum, they may provide gain in sum rate under given computational constraints. Embodiments may enable a scaled complexity.

In the following, more detailed embodiments will be
25 described using the accompanying figures, in which

Fig. 1a shows an embodiment of a user selection apparatus;

Fig. 1b shows another embodiment of a user selection
30 apparatus;

Fig. 1c shows an embodiment of a selector;

Fig. 1d shows another embodiment of a selector;
35

Fig. 2a shows an embodiment of a method for user selection;

Fig. 2b shows an embodiment of a method for pre-selection;

Fig. 2c shows an embodiment of a method for selection;

Fig. 3a shows a view graph illustrating the sum capacity
5 for a scenario with two users having large channel gains;

Fig. 3b shows a view graph illustrating the sum capacity
for a scenario with two users having a small channel gain;

10 Fig. 4a shows a view graph illustrating the sum capacity
for a scenario with two users having strong spatial
separation;

Fig. 4b shows a view graph illustrating the sum capacity
15 for a scenario with two users having no spatial separation;

Fig. 5a shows a view graph illustrating the sum capacity
for a scenario with two users having balanced channels;

20 Fig. 5b shows a view graph illustrating the sum capacity
for a scenario with two users having unbalanced channels;

Fig. 6a shows a view graph illustrating simulation results
on the average sum capacity for a two user scenario;
25

Fig. 6b shows a view graph illustrating simulation results
on the average sum capacity in a four user scenario;

Fig. 7 shows a simulation scenario;
30

Fig. 8 shows a view graph illustrating simulation results
for the average gain;

Fig. 9 shows another simulation scenario;
35

Fig. 10 shows a view graph illustrating simulation results
on the average gain;

Fig. 11 shows a state of the art MIMO scenario; and

Fig. 12 shows a view graph illustrating the sum capacity in a conventional two user scenario.

5

Fig. 1a shows a user selection apparatus 100 for being operative in a mobile communication system and for selecting a sub-group of users from a plurality of users for transmission, a user being adapted for communicating through a multiple-input-multiple-output (MIMO = Multiple-Input-Multiple-Output) radio channel. The user selection apparatus 100 comprises a pre-selector 110 for de-selecting a user having a transmission capacity measure which is higher than a transmission capacity measure of another user by a predetermined amount to obtain a pre-selection group not including the de-selected user, such that the pre-selection group comprises two users having two transmission capacity measures which are equal or different from each other by less than the pre-determined amount. The user selection apparatus 100 further comprises a processor 115 for determining the sub-group of users for transmission based on the MIMO radio channels.

In embodiments the pre-determined amount can be relative or absolute. The pre-selector 110 can be adapted for determining the transmission capacity measure in terms of a highest achievable data rate of a user's spatial sub-channel of the MIMO radio channel. The pre-selector 110 may be adapted for determining a transmission capacity measure by evaluating a singular value decomposition of a user's MIMO radio channel matrix representing the user's MIMO radio channel, wherein the pre-selector 110 can be adapted for determining the transmission capacity measure in terms of the highest singular value of a user's MIMO radio channel matrix. In another embodiment the pre-selector 110 can be adapted for determining the transmission capacity

measure in terms of a Frobenius norm of a user's MIMO radio channel matrix representing the user's MIMO radio channel.

In further embodiments the pre-selector 110 may be adapted
5 for sorting the users according to their transmission
capacity measures and for comparing a user's transmission
capacity measure to another user's transmission capacity
measure, the other user having the next lower or the next
10 higher transmission capacity measure within the plurality
of users. The pre-selector 110 can be further adapted for
evaluating a quotient of the user's transmission capacity
measure and the other user's transmission capacity measure
against a pre-determined threshold, wherein the pre-
15 selector 110 can be adapted for de-selecting the user from
the pre-selection group if the quotient exceeds the
threshold in case the other user has the next lower
transmission capacity measure and for de-selecting the user
from the pre-selection group if the quotient is below the
20 threshold in case the other user has the next higher
transmission capacity measure. Generally different
thresholds may be used in dependence on whether the users
are sorted in ascending or descending order or whether de-
selection is started with the high capacity/rate user or
with the low capacity/rate users.

25

The pre-selector 110 can be adapted for determining the
users of the pre-selection group by selecting from the
plurality of users a predetermined number of users having
limited differences in their transmission capacity measures
30 on their MIMO radio channels and having the highest
transmission capacity measures with limited differences
within the plurality of users. The pre-selector 110 may de-
select a user with a highest transmission capacity measure
on the MIMO radio channel if the difference between the
35 highest transmission capacity measure and the second
highest transmission capacity measure exceeds the pre-
determined amount.

The pre-selector 110 may, in embodiments, be adapted for determining a pre-selection group having a predetermined number of users. Moreover, the pre-selector 110 can be adapted for determining the users of the pre-selection group by selecting from the plurality of users, the pre-determined number of users having a limited difference in their transmission capacity measures on their MIMO radio channels and having the highest transmission capacity measure within the plurality of users fulfilling both of these conditions.

In other words, the best user, i.e., the user with the highest transmission capacity measure, may not be selected for the pre-selection group and therewith not for transmission, because its transmission capacity measure is so much higher than the transmission capacity measure of a second highest user, i.e., the pre-selector is adapted for selecting from the group of all users, a pre-selection group in a way, such that the balance between the users fulfils a certain requirement, i.e., the differences in the transmission capacity measures of the users in the pre-selection group undergo a certain limit.

Therewith, the pre-selector 110 is adapted to choose a group from all users having balanced channels, preferably the group with the highest transmission capacity measures.

In further embodiments, as shown in Fig. 1b, the user selection apparatus 100 may comprise a selector 120 for selecting users from the pre-selection group for an intermediate selection group based on a spatial property of the MIMO radio channels of the users of the pre-selection group, which is different from the transmission capacity measure, and the processor 115 can be adapted for determining the sub-group of users for transmission based on the MIMO radio channels of the users of the intermediate selection group.

In embodiments the selector 120 can be adapted for selecting users from the pre-selection group for the intermediate selection group according to a combined transmission capacity and/or spatial compatibility of the users of the intermediate selection group. The selector 120 may be adapted for selecting for the intermediate selection group a user from the pre-selection group, for which the users of the intermediate selection group have a higher combined transmission capacity measure than a user with the highest transmission capacity measure from the pre-selection group.

Fig. 1c shows an embodiment of a selector. The selector 120 can be adapted for selecting users from the plurality of users for the intermediate selection group of users wherein the spatial compatibility corresponds to a combined transmission capacity measure of the users of the intermediate selection group. The selector 120 can be adapted for selecting from the plurality of users comprising a first user having a MIMO radio channel H_1 , a second user having a MIMO radio channel H_2 and a third user having a MIMO radio channel H_3 , and for evaluating a first combined transmission capacity measure $C_{sum}(S)_1$ based on H_1 , a second combined transmission capacity measure $C_{sum}(S)_2$ based on H_2 , a third combined transmission capacity measure $C_{sum}(S)_3$ based on H_3 , a fourth combined transmission capacity measure $C_{sum}(S)_{12}$ based on H_1 and H_2 , a fifth combined transmission capacity measure $C_{sum}(S)_{13}$ based on H_1 and H_3 , a sixth combined transmission capacity measure $C_{sum}(S)_{23}$ based on H_2 and H_3 , and a seventh combined transmission capacity measure $C_{sum}(S)_{123}$ based on H_1 , H_2 and H_3 , and for selecting for the intermediate selection group

S the combination of users with the highest combined transmission capacity measure.

According to Fig. 1d, the selector 120 can be adapted for
 5 evaluating a first combined transmission capacity measure
 of a first user of the intermediate selection group and a
 second non-selected user, and for evaluating a second
 combined transmission capacity measure of the first user of
 the intermediate selection group and a third non-selected
 10 user, and for selecting the second user for the
 intermediate selection group if the first combined
 transmission capacity measure is higher than the second
 combined transmission capacity measure and for selecting
 the third user for the intermediate selection group
 15 otherwise.

The selector 120 may select a predetermined number $|S|$ of
 users from the pre-selection group for the intermediate
 selection group S , where the MIMO radio channel of a user
 20 k is represented by a MIMO radio channel matrix \mathbf{H}_k and
 wherein for the users of the intermediate selection group
 S a determinant

$$\left| \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \right|$$

25

is optimized or maximized based on permutations of $|S|$ users
 from the pre-selection group. In other words, the spatial
 compatibility measure may be based on the determinant
 above.

30

It is a further aspect of the present invention that the spatial compatibility of users can be evaluated in terms of their MIMO radio channel matrices representing their MIMO radio channels. For a certain combination of users, the combined transmission capacity measure may in embodiments be based on a determinant of an accumulated matrix, accumulating channel energy matrices of the combination of users.

10 In other words, if a MIMO radio channel matrix of a user is known, a channel energy matrix can be determined by multiplying the complex conjugate transpose with the matrix itself. The result will deliver on the diagonal energies within the spatial sub-channels of the MIMO radio channel.

15 The off-diagonal elements will determine a measure of the cross coupling or cross talk between said channels. The determinant of such a matrix will provide a measure determining the relation between channel energy and cross talk between the sub-channels. When accumulating multiple

20 such matrices, for example by simple addition, the determinant will provide a measure on the energy in the combined sub-channels in relation to the cross talk of the combined sub-channels. In other words, when accumulating said channel energy matrices for a combination of users,

25 the determinant of said matrix may provide a measure on their spatial compatibility, i.e., the relation of energy in the sub-channels and the cross-talk involved, also being a measure on the spatial separability of the multiple spatial sub-channels in the combined MIMO radio channel.

30 Embodiments may utilize a combined transmission capacity measure in terms of evaluating accumulated energy matrices of combinations of users. Embodiments therewith provide the advantage that the spatial compatibility can be evaluated

35 in a less complex manner than, for example, with conventional concepts utilizing singular value or Eigen value decompositions and projections of individual users' MIMO radio channel matrices. By choosing a combination of

users, which have a good or even the highest spatial compatibility, high capacity can be achieved by carrying out a more complex MIMO sub-channel or user selection algorithms on the basis of said combination, i.e., on the basis of the intermediate selection group with a reduced number of users compared to the number of available users.

In further embodiments the selector 120 can be adapted for selecting for the intermediate selection group S users k from the pre-selection group \hat{S} for which a combined transmission capacity in terms of a sum capacity $C_{sum}(S)$, according to

$$\lim_{P_{Tx} \rightarrow \infty} C_{sum}(S) = \log_2 \left| \mathbf{I} + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right|$$

with $\sum_{k \in S} M_{Rx,k} \leq M_{Tx}$

or an estimated sum capacity $C_{sum}(S)$ according to

$$\lim_{P_{Tx} \rightarrow \infty} C_{sum}(S) \approx \log_2 \left| \mathbf{I} + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right|$$

with $\sum_{k \in S} M_{Rx,k} > M_{Tx}$, or

$$C_{sum}(S) \approx \log_2 \left| \mathbf{I} + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right| \text{ for } P_{Tx} < \infty,$$

is optimized or maximized, where $M_{Rx,k}$ denotes a number of receive antennas of user k , P_{Tx} is the transmit power, \mathbf{H}_k represents the MIMO radio channel matrix of user k , \mathbf{I} is an identity matrix, N represents the cardinality of S and M_{Tx} denotes the number of transmit antennas used for transmission.

30

Moreover, the selector 120 can be adapted for selecting a user $\pi(l)$ for the intermediate selection group S having a MIMO radio channel represented by a MIMO radio channel matrix $\mathbf{H}_{\pi(l)}$ having a highest Frobenius norm of the users of the pre-selection group \hat{S} according to

$$\pi(l) = \arg \max_{k \in \hat{S}} \|\mathbf{H}_k\|_F .$$

The selector 120 may add a user $\pi(i)$ from non-selected users k for the intermediate selection group S for which an increase in sum capacity or estimated sum capacity $\Delta C_{sum}(S \cup k)$ is the strongest, according to

$$\pi(i) = \arg \max_{k \in \hat{S} \setminus S} \Delta C_{sum}(S \cup k) ,$$

whereas

$$\Delta C_{sum}(S \cup k) = C_{sum}(S \cup k) - C_{sum}(S) ,$$

and the sum capacity $C_{sum}(S)$ is determined according to

$$\lim_{P_{Tx} \rightarrow \infty} C_{sum}(S) = \log_2 \left| \mathbf{I} + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right|$$

with $\sum_{k \in S} M_{Rx,k} \leq M_{Tx}$

or an estimated sum capacity $C_{sum}(S)$ according to

$$\lim_{P_{Tx} \rightarrow \infty} C_{sum}(S) \approx \log_2 \left| \mathbf{I} + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right|$$

with $\sum_{k \in S} M_{Rx,k} > M_{Tx}$, or

$$C_{sum}(S) \approx \log_2 \left| \mathbf{I} + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right| \text{ for } P_{Tx} < \infty ,$$

where $M_{Rx,k}$ denotes a number of receive antennas of user k , P_{Tx} is the transmit power, \mathbf{H}_k represents the MIMO radio channel matrix of user k , \mathbf{I} is an identity matrix, N

represents the cardinality of S and M_{Tx} denotes a number of transmit antennas used for transmission.

In embodiments the processor 115 can be adapted for processing the MIMO radio channels of the users of the pre-selection group or of the intermediate selection group to obtain processed MIMO radio channels and for determining the sub-group of users for transmission based on a spatial property of the processed MIMO radio channels of the users of the pre-selection group or of the intermediate selection group.

The processor 115 is adapted for selecting users from the pre-selection group or from the intermediate selection group for the sub-group based on SESAM (SESAM = Successive Encoding Successive Allocation Method).

Fig. 2a shows a flowchart illustrating an embodiment of a method for selecting a sub-group of users from a plurality of users for transmission in a mobile communication system, a user being adapted for communicating through a MIMO radio channel, comprising the steps of de-selecting a user having a transmission capacity measure which is higher than a transmission capacity measure of another user by a predetermined amount to obtain a pre-selection group not including the de-selected user, such that the pre-selection group comprises two users having two transmission capacity measures which are equal or different from each other by less than the pre-determined amount. The method further comprises a step of determining the sub-group of users for transmission based on the MIMO radio channels.

In further embodiments the method can further comprise an optional step of selecting users, indicated by the dashed box in Fig. 1a, from the pre-selection group for an intermediate selection group of users based on a spatial

property of the MIMO radio channels of the users of the pre-selection group, which is different from the transmission capacity measure and wherein the step of determining refers to determining the sub-group of users for transmission based on the MIMO radio channels of the users of the intermediate selection group.

As shown in Fig. 2b, in further embodiments the step of de-selecting 200 may comprise the steps of receiving 205 a pre-determined size of the pre-selection group and sorting 210 the plurality of users according to the Frobenius norms or the single user rates of their MIMO radio channel matrices representing their MIMO radio channels in decreasing order. The step of de-selecting 200 may further comprise steps of including 215 all users in the pre-selection group and comparing 220 the Frobenius norm or the single user rate of the user with the highest Frobenius norm or the highest single user rate from the pre-selection group with the Frobenius norm or single user rate of the user having the second highest Frobenius norm or the second highest single user rate from the pre-selection group.

Moreover, steps of de-selecting 225 the user with the highest Frobenius norm or the highest single user rate from the pre-selection group and returning to the step of comparing 220 if the highest Frobenius norm or the highest single user rate is higher than a factor α multiplied by the second highest Frobenius norm or the second highest single user rate of the user from the pre-selection group and de-selecting 230 users with the lowest Frobenius norms or the lowest single user rates from the pre-selection group to match the pre-determined size may be comprised.

Once a pair of users is found, not overshooting the factor α , the method in the present embodiment comprises a step 230 of de-selecting users with the lowest Frobenius norms or single user rates, i.e., from the back of the sequence,

from the pre-selection groups in order to match the pre-determined size received in step 205.

5 According to Fig. 2c the step of selecting 250 can comprise
the steps of receiving 255 a pre-determined size of the
intermediate selection group and selecting 260 the user
having the highest Frobenius norm or the highest single
user rate from the pre-selection group. Furthermore, steps
of evaluating 265 a capacity or a sum increase for non-
10 selected users in the pre-selection group on the basis of
the selected users in the intermediate selection group and
selecting 270 the user with the highest capacity or the
highest sum rate increase for the intermediate selection
group may be comprised. Furthermore, a step of returning to
15 the step of evaluating 265 until the size of the
intermediate selection group has reached the pre-determined
size of the intermediate selection group can be comprised.

Please note that other embodiments may utilize other
20 transmission capacity measures, or sort the users in
increasing order, or just choose from the users in
different ways. The present embodiment is not to be
interpreted limiting in any way.

25 An optimum solution of (1.1) may require an exhaustive
search over all possible sets S . In a scenario with K
users that would require to search for the best set amongst
 $\binom{K}{N}$ possible sets. Clearly it is infeasible in practical
systems and counteracts the desired aim of complexity
30 reduction. Before explaining another embodiment in detail
three factors that influence the objective function $g(S)$
shall be introduced. Although the following illustrations
will address the case of $K=2$ users, the statements given
hold for an arbitrary number of users.

Certainly in a group with users having large channel gains, the potential gains of spatial multiplexing of users is higher. By "channel gains" it is referred to a transmission capacity measure, e.g. to the Frobenius norms of the MIMO channel matrices \mathbf{H}_k representing the MIMO radio channels of a user k , denoted by $\|\mathbf{H}_k\|_F$, which indicate the overall energy of the channel, cf. Z. Shen, R. Chen, J.G. Andrews, R.W. Heath, and B.L. Evans, Low Complexity User Selection Algorithms for Multiuser MIMO Systems with Block Diagonalization, *IEEE Transactions on Signal Processing*, 54(9):3658 - 3663, September 2006.

Alternatively in embodiments the single-user rates $R_{k,su}$, which are the maximum transmission rates one user can achieve, if it receives all transmission resources on its own, may serve as transmission capacity measure for the channel gains. Fig. 3a and Fig. 3b show two view graphs illustrating the sum capacity in a scenario involving two users. For Fig. 3a it is assumed that the two users both have large channel gains, i.e., high transmission capacity measures. For Fig. 3b it is assumed that the two users considered have small channel gains, i.e., rather low transmission capacity measures. Figs. 3a and 3b exhibit two scenarios, where the channels of the users 1 and 3 have the same singular vectors but different singular values. Correspondingly the channels of users 2 and 4 differ only in the singular values. Singular values may in embodiments be considered as channel gains or transmission capacity measures. In Fig. 3 the capacity region and the region achievable with TDMA are plotted. Although the maximum single user rate also becomes higher with increasing channel gain, the difference between this rate and the sum rate obtainable when both users are served simultaneously also increases.

Another aspect to be taken into account when evaluating the sum capacity is the spatial alignment of the users' radio channels. Selecting the users for S according to the largest Frobenius norms or equivalently according to the largest single-user rates as proposed in H. Viswanathan, S. Venkatesan, and H. Huang, Downlink Capacity Evaluation of Cellular Networks With Known-Interference Cancellation, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 21(6):802-811, June 2003 is a simple method for preselection but it completely fails if the channels of the users with the largest channel gains are strongly spatially aligned.

Fig. 4a and Fig. 4b show two view graphs, illustrating the sum capacity in a two user scenario when their spatial separation is high, see Fig. 4a, respectively when their spatial separation is evanescent, i.e., when they are spatially aligned, see Fig. 4b. Fig. 4b shows an extreme case, where the ranges of the two users channels completely overlap. Furthermore the right singular vectors of the users have been chosen identically. Hence spatial separation of the users is not possible and the capacity region coincides with the TDMA rate region. On the other hand large gains are possible, if the users' channels are not spatially aligned, i.e. the range of one user's channel completely lies in the nullspace of the other user's channel, as shown in Fig. 4a. In this case the two users do not interfere with each other and both users can fully benefit from their channel gains. Therefore the spatial alignment of the users' radio channels can be identified as a second factor of influence for the sum capacity.

Another factor to be taken into account for the sum capacity is the balance of the users' radio channels. The factors of influence mentioned so far also play a crucial role in grouping algorithms for zero forcing approaches. The next criterion, namely the balance of the users' channels is more specific to the objective function $g(S)$.

By balance of channels it is referred to the ratio of the Frobenius norms of the users' channels, where in embodiments the Frobenius norms may serve as transmission capacity measures.

5

Figs. 5a and 5b show two view graphs illustrating the sum capacity in a two user scenario, wherein Fig. 5a shows the sum capacity for a scenario where the two users have balanced channels, i.e., both users have similar channel gains or transmission capacity measures. Fig. 5b illustrates the case where the two users in the scenario have very different channel gains, i.e., unbalanced channels or unbalanced transmission capacity measures.

15 An unbalanced scenario is shown in Fig. 5b. User 3 has a much larger channel gain than user 4, which implicitly leads to a larger single-user rate for this user. In such an unbalanced scenario the point of maximum sum capacity lies close to or, as in the example depicted in Fig. 5b, even on the point, where the user with the largest channel gain obtains all available system resources. That is because a shift of resources to other users leads only to marginal gains, whereas the losses for the strongest user involved therewith are more harmful for sum capacity. On the other hand for users with similarly large channel gains the point of maximum sum rate is likely to lie far apart from a corner point, where one user receives all system resources. That implies a potential for higher gains in sum rate.

30

From the factors of influence described in the previous sections it can be observed that gains and balance of the channels can be determined relatively easy, while the spatial alignment of the channels cannot be computed as simple as the Frobenius norms or transmission capacity measures. Furthermore to check the latter property for each combination of users new computations are required, while for the other properties it suffices to compute the scalar

35

Frobenius norms as transmission capacity measures once for every user and compare them to find an appropriate group.

This fact is the motivation for a two-phase user grouping embodiment. In phase I of the embodiment, e.g. carried out by the pre-selector 110, users are sorted out according to the simple criteria, in phase II of the embodiment, e.g. carried out by the selector 120, the subgroup for transmission, i.e. to be served, with SDMA based approaches employing DPC is selected from the reduced set or the pre-selection group of users obtained in phase I by a more complicated search. In the following the two phases of the embodiment will be detailed.

In phase I the aim is to find a set or pre-selection group \hat{S} containing candidate users for the group of users to be served with SDMA. In order to control the complexity of the following phase it is proposed to predefine the cardinality of \hat{S} , whereas $N \leq |\hat{S}| < K$. One can select $|\hat{S}| = N$ in embodiments which skip phase II. First the Frobenius norms of all users' channels $\|H_k\|_F$ can be computed and sorted e.g. in descending order. In the present embodiment beginning with the user with the largest Frobenius norm or transmission capacity measure it is checked whether

$$\frac{\|H_i\|_F}{\|H_{i+1}\|_F} < \alpha, \quad (1.2)$$

where α denotes a predefined threshold and it is assumed that i indices the Frobenius norms in decreasing order. If (1.2) holds, user i is not excluded from the set and the test is stopped, otherwise this user is excluded and the test is continued with user $i+1$. (1.2) therefore excludes or de-selects users which have much larger channel gains than the other users and therefore tries to avoid the case of unbalanced channels. Afterwards the desired size of the set \hat{S} pre-selection group is achieved by removing the

users with the smallest Frobenius norms according to the first factor of influence. Similarly embodiments may additionally remove users from \hat{S} until the smallest Frobenius norm in \hat{S} is larger than $1/\alpha$ or another factor
5 times the second smallest Frobenius norm. Optionally a different factor may be used. In this case \hat{S} will have less users than originally planned.

In the following the second phase, phase II, of the
10 embodiment will be illuminated, which may be carried out by the selector 120. In this phase the spatial comparability of the users is checked and the final set S is selected. As a measure for compatibility the figures proposed e.g. in
15 M. Fuchs, G. Del Galdo, and M. Haardt. Low-Complexity Space-Time - Frequency Scheduling for MIMO Systems With SDMA, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 56:2775 - 2784, September 2007, or

T.F. Maciel and A. Klein, A Low-Complexity SDMA Grouping Strategy for the Downlink of Multi-User MIMO Systems, In
20 *Proc. of IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, 2006, are not considered for this embodiment as those are intended for linear zero-forcing approaches. In the present embodiment an estimation for the sum capacity at high SNR
25 from J. Lee and N. Jindal, High SNR Analysis for MIMO Broadcast Channels, Dirty Paper Coding Versus Linear Precoding, *IEEE Transaction on Information Theory*, 53:4787-4792, 2007, is rather taken into account.

30 Besides the spatial correlations between the users this formula also takes into account that DPC can be employed at the transmitter and that therefore it is not solely relied on orthogonalities between the signal spaces of the users in the set. As the transmit power P_{tx} goes to infinity, the
35 sum capacity $C_{sum}(S)$ can be computed according to

$$\lim_{P_{Tx} \rightarrow \infty} C_{sum}(S) = \log_2 \left| \mathbf{I} + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right| \quad (1.3)$$

$$\text{with } \sum_{k \in S} M_{Rx,k} \leq M_{Tx}, \quad (1.4)$$

5 alternatively an estimated sum capacity may be evaluated by

$$\lim_{P_{Tx} \rightarrow \infty} C_{sum}(S) \approx \log_2 \left| \mathbf{I} + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right|$$

$$\text{with } \sum_{k \in S} M_{Rx,k} > M_{Tx}, \text{ or}$$

$$10 \quad C_{sum}(S) \approx \log_2 \left| \mathbf{I} + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right| \text{ for } P_{Tx} < \infty,$$

where $M_{Rx,k}$ denotes the number of receive antennas of user k and \mathbf{I} denotes the identity matrix. Hence at high SNR the
15 optimum covariance matrices in the dual uplink become scaled identity matrices.

When the conditions of (1.4) are not met or at medium SNR, (1.3) constitutes a good approximation according to the
20 above estimation for the sum capacity in embodiments, according to

J. Lee and N. Jindal, High SNR Analysis for MIMO Broadcast Channels, Dirty Paper Coding Versus Linear Precoding, *IEEE Transaction on Information Theory*, 53:4787-4792, 2007.

25

Figs. 6a and 6b show view graphs illustrating simulation results. Fig. 6a depicts simulation results on the average sum capacity in a two user scenario, and Fig. 6b illustrates similar simulation results in a four user
30 scenario. Both view graphs show the average sum capacity versus the user SNR (SNR = Signal-to-Noise-Ratio).

Figs. 6a and 6b show a comparison of the estimated sum capacity with the Sato bound in a system with $K=2$ users, $M_{Tx}=4$ transmit antennas and $M_{Rx,k}=2$ receive antennas (for $k=1,2$). The capacities have been averaged over 10000 spatial indoor Non-Line-of Sight (NLOS = Non-Line-of Sight) scenarios which have been created according to the WINNER (WINNER = Wireless World Initiative New Radio) channel model D.S. Baum et al, Final Report on Link Level and System Level Channel Models, Technical report, IST-2003-10 507581 WINNER D5.4 v. 1.0, 2005.

When (1.4) is fulfilled, as in Fig. 6a, the estimation fits the real capacity quite well on average already at medium SNR. In case of 4 users with 2 receive antennas, when the condition (1.4) is not fulfilled, the error becomes larger, nevertheless the two curves show the same behavior. For pre-selection purposes, i.e. to find the pre-selection group best suitable for SDMA, this approximation will be enough in some embodiments. In order to avoid the inaccuracies associated with not fulfilling (1.4), 20 embodiments may also compute the SVDs of the channels

$$\mathbf{H}_k = \sum_{i=1}^{\text{rank}(\mathbf{H}_k)} \sigma_{k,i} \mathbf{u}_{k,i} \mathbf{v}_{k,i}^H$$

25 and consider each product $\sigma_{k,i} \mathbf{v}_{k,i}^H$ as separate channel. These equivalent channels result from applying the left singular vectors as receive filters. However, this imposes additional computational complexity, as the SVDs of the users' channels are required, whereas possible improvements 30 are low.

(1.3) may still be too complicated to perform an exhaustive search for the best set S within \hat{S} in some practical environments. Embodiments may therefore carry out a

successive enlargement of the set or intermediate selection group S as follows. The first user in the set, denoted as $\pi(1)$, can be the user with maximum Frobenius norm in the pre-selection group \hat{S} , i.e.

5

$$\pi(1) = \arg \max_{k \in \hat{S}} \|H_k\|_F. \quad (1.5)$$

In each of the consecutive steps the user is added to the subgroup S which leads to the strongest increase in estimated sum capacity. The i -th user is therefore determined according to

10

$$\pi(i) = \arg \max_{k \in \hat{S} \setminus S} \Delta C_{sum}(S \cup k),$$

whereas

$$\Delta C_{sum}(S \cup k) = C_{sum}(S \cup k) - C_{sum}(S).$$

15

Afterwards S is updated according to $S = S \cup \pi(i)$. In order to compute $C_{sum}(S)$ in each step the final power allocation is used, i.e. the factor $1/N$ remains in (1.3). Note, that therefore as long as S contains less than N users, $C_{sum}(S)$ may not be an estimation of the sum capacity achievable with the given transmit power. The algorithm is finished after N steps, when the subgroup S exhibits the desired cardinality.

20

In the following simulation results will be presented. For the simulations the WINNER channel model D.S. Baum et al, Final Report on Link Level and System Level Channel Models, Technical report, IST-2003-507581 WINNER D5.4 v. 1.0, 2005 whereas a single carrier system is used. The bandwidth equals 132 KHz and a transmitter with $M_{Tx} = 4$ antennas is placed in the center of a $120m \times 120m$ indoor scenario. For the first simulation 30 users have been randomly placed in this area. Each user operates $M_{Rx,k} = 2$ receive antennas and no Line-of-Sight to the transmitter. Fig. 7 exhibits a sample scenario. Fig. 7 illustrates a simulation scenario,

30

35

where a base station BS utilizing four antennas indicated by stars is located in the center of the scenario. In Fig. 7, crosses indicate the 30 users equally distributed over a 120m×120m indoor NLOS (NLOS = None-Line-of Sight) scenario.

5

Fig. 8 shows a view graph illustrating simulation results of the average gain versus the SNR of a user. The view graph indicates four different graphs exhaustive search (indicated by dashed line and crosses), reduced exhaustive search according to an embodiment (indicated by solid line and crosses), proposed approach according to an embodiment (indicated by solid line and asterisks) and Frobenius norm according to an embodiment (phase 1 only, indicated by solid line and triangles).

10

In Fig. 8 the gain $g(S)$ averaged over 1500 random scenarios is shown. The gain is measured as the difference in sum rate achievable with SESAM and the maximum single-user rate within S . For phase I the cardinality of the set of the pre-selection group \hat{S} has been set to $|\hat{S}|=15$ and the threshold α has been chosen to be $\alpha=30$. The cardinality of the final set or intermediate selection group S has been equal to the number of transmit antennas, i.e. $|S|=M_{Tx}=4$. The curve labeled by "Reduced exhaustive search" shows the gain achievable if the user $\pi(1)$ determined according to (1.5) is forced to be in the set S , i.e. the exhaustive search is only conducted to find the three further users to be served with SESAM together with user $\pi(1)$ in this embodiment.

15

Hence the difference between exhaustive search and the embodiment is mainly due to the fact that the embodiment may choose the first user in a heuristic but simple manner. If this user is part of S , the embodiment leads to the same performance as the reduced exhaustive search. The lowest curve shows the gains achievable when the user grouping is conducted with $|\hat{S}|=N$, i.e. phase II is completely skipped. Apart from the ratio test (1.2), this

20

25

30

35

algorithm is similar to the one presented by H. Viswanathan, S. Venkatesan, and H. Huang, Downlink Capacity Evaluation of Cellular Networks With Known-Interference Cancellation, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 5 21(6):802-811, June 2003, where the users are selected according to the strongest single-user rates.

Next, scenarios are considered where the users are highly spatially aligned. Fig. 9 illustrates another simulation 10 scenario, with the base station BS in the center and users gathered in two clusters, namely cluster #1 and cluster #2. Cluster size is $20\text{m}\times 20\text{m}$ and 10 users are equally distributed within the clusters. From Fig. 9 can be seen that users being located in different clusters have a good 15 spatial separation, while users located in the same cluster are almost spatially aligned. 20 users are randomly placed into two clusters centered at $(-50\text{m}, 50\text{m})$ and $(100\text{m}, 30\text{m})$, whereas the transmitter defines the center of the coordinate system. For each scenario the users have been 20 randomly placed in a square of size $20\text{m}\times 20\text{m}$ around these center points. Fig. 9 exhibits a sample scenario. The resulting gains in sum rate averaged over 5000 clustered scenarios are shown in Fig. 10.

25 Fig. 10 shows a view graph illustrating simulation results of the average gain over the SNR of a user. Five graphs are shown in Fig. 10, exhaustive search (indicated by dashed line with cross), reduced exhaustive search according to an embodiment (indicated by solid line with cross), proposed 30 approach according to an embodiment (phase II only, indicated by solid line with circle), proposed approach according to an embodiment (phase I and phase II, indicated by solid line with asterisk) and Frobenius norm based according to an embodiment (phase I only, indicated by 35 solid line with triangle).

Fig. 10 also shows simulation results where phase I is completely skipped according to an embodiment (indicated by

solid line with circles), i.e. $|\hat{S}|=20$. This algorithm leads to the best performance without an exhaustive search, whereas it is only slightly above the embodiment with $|\hat{S}|=10$. Applying phase I only leads to severe performance
5 degradation.

Embodiments of the present invention allow to establish advanced spatial assignment algorithms as, for example, SESAM in a MIMO communication scenario, at a reasonable
10 complexity. Embodiments have the advantage, that spatial algorithms requiring high processing performance can be carried out on a pre-selected group of users, which is smaller than the group of all users potentially available for transmission. Embodiments of the present invention
15 therewith enable implementation of sophisticated spatial multiplexing or MIMO algorithms, increasing system capacity, and increasing user satisfaction. Moreover, since embodiments of the present invention may enable provision of higher rate and higher quality services, embodiments may
20 also contribute to enhancement of the service portfolio in mobile communication systems.

In general, the computational complexity of sum capacity approaching multiuser MIMO transmission techniques
25 increases with the number of users. Thus, in highly loaded systems, the computational burden when considering all users for transmit signal processing, is often too high. In such cases, embodiments of the present invention provide the advantage that it is possible to group users, e.g.
30 through a pre-selection and apply the numerically involved algorithms only to users of a pre-selected group, i.e. the subgroup for transmission, separately.

Embodiments of the present invention can combat the problem
35 of finding an appropriate group of users to be served with complex transmit signal processing algorithms. Embodiments may perform user grouping or user pre-selection such that the computational effort for these algorithms leads to the

maximum possible gain in sum rate compared to simpler approaches, where no Dirty Paper Coding is used. Embodiments may carry out two phases. First, a pre-selection of users may be made based on computationally
5 efficient criteria derived e.g. from the Frobenius norms of the channels, while the final, computationally more expensive or involved selection of the subgroup of users which are actually selected for transmission can be performed with the reduced amount of users by embodiments
10 of the present invention.

Depending on certain implementation requirements of the inventive methods, the inventive methods can be implemented in hardware or in software. The implementation can be
15 performed using a digital storage medium, in particular a flash memory, a disc, a DVD or a CD having electronically readable control signals stored thereon, which cooperate with a programmable computer system such that the inventive methods are performed. Generally, the present invention is
20 therefore a machine readable carrier with a program code being operative for performing the inventive methods when the computer program product runs on computer or processor. In other words, the inventive methods are, therefore, a computer program having a program code for performing at
25 least one of the inventive methods when the computer program runs on a computer or a processor.

List of Reference Signs

	100	User Selection Apparatus
	110	Pre-selector
5	120	Selector
	200	De-selecting
	205	Receiving
	210	Sorting
10	215	Including
	220	Comparing
	225	De-selecting
	230	De-selecting
15	250	Selecting
	255	Receiving
	260	Selecting
	265	Evaluating
	270	Selecting
20	275	Comparing

Claims

1. A user selection apparatus (100) for being operative in a mobile communication system and for selecting a sub-group of users from a plurality of users for transmission, a user being adapted for communicating through a multiple-input-multiple-output (MIMO = Multiple-Input-Multiple-Output) radio channel, the user selection apparatus (100) comprising:
- 5
- 10 a pre-selector (110) for de-selecting a user having a transmission capacity measure which is higher than a transmission capacity measure of another user by a predetermined amount to obtain a pre-selection group not including the de-selected user, such that the pre-selection group comprises two users having two transmission capacity measures which are equal or different from each other by less than the pre-determined amount; and
- 15
- 20 a processor (115) for determining the sub-group of users for transmission based on the MIMO radio channels.
2. The user selection apparatus (100) of claim 1, wherein the pre-selector (110) is adapted for determining the transmission capacity measure in terms of a highest achievable data rate of a user's spatial sub-channel of the MIMO radio channel and wherein the pre-determined amount is relative or absolute.
- 25
- 30 3. The user selection apparatus (100) of claim 1 or 2, wherein the pre-selector (110) is adapted for determining a transmission capacity measure by evaluating a singular value decomposition of a user's MIMO radio channel matrix representing the user's MIMO radio channel, wherein the pre-selector (110) is adapted for determining the transmission capacity measure in terms of the highest singular value of a user's MIMO radio channel matrix.
- 35

4. The user selection apparatus (100) of one of the claims 1 to 3, wherein the pre-selector (110) is adapted for determining the transmission capacity measure in terms of a Frobenius norm of a user's MIMO radio channel matrix
5 representing the user's MIMO radio channel.
5. The user selection apparatus (100) of one of the claims 1 to 4, wherein the pre-selector (110) is adapted for sorting the users according to their transmission capacity
10 measures and for comparing a user's transmission capacity measure to another user's transmission capacity measure, the other user having the next lower or the next higher transmission capacity measure within the plurality of users.
- 15
6. The user selection apparatus (100) of claim 5, wherein the pre-selector (110) is adapted for evaluating a quotient of the user's transmission capacity measure and the other user's transmission capacity measure against a pre-
20 determined threshold, wherein the pre-selector (110) is adapted for de-selecting the user from the pre-selection group if the quotient exceeds the threshold in case the other user has the next lower transmission capacity measure and for de-selecting the user from the pre-selection group
25 if the quotient is below the threshold in case the other user has the next higher transmission capacity measure.
7. The user selection apparatus (100) of one of the claims 1 to 6, wherein the pre-selector (110) is adapted for
30 determining the users of the pre-selection group by selecting from the plurality of users a predetermined number of users having limited differences in their transmission capacity measures on their MIMO radio channels and having the highest transmission capacity measures with
35 limited differences within the plurality of users.
8. The user selection apparatus (100) of one of the claims 1 to 7 further comprising a selector (120) for selecting

users from the pre-selection group for an intermediate selection group based on a spatial property of the MIMO radio channels of the users of the pre-selection group, which is different from the transmission capacity measure, and wherein the processor (115) is adapted for determining the sub-group of users for transmission based on the MIMO radio channels of the users of the intermediate selection group.

9. The user selection apparatus (100) of one of the claims 1 to 8, wherein the selector (120) is adapted for selecting users from the pre-selection group for the intermediate selection group according to a combined transmission capacity and/or spatial compatibility of the users of the intermediate selection group.

10. The user selection apparatus (100) of claim 9, wherein the selector (120) is adapted for selecting for the intermediate selection group a user from the pre-selection group, for which the users of the intermediate selection group have a higher combined transmission capacity measure than the user with the highest transmission capacity measure from the pre-selection group.

11. The user selection apparatus (100) of claim 10, wherein the selector (120) is adapted for selecting a predetermined number $|S|$ of users from the pre-selection group for the intermediate selection group S , wherein the MIMO radio channel of a user k is represented by a MIMO radio channel matrix \mathbf{H}_k and wherein for the users of the intermediate selection group S a determinant

$$\left| \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \right|$$

is optimized or maximized based on permutations of $|S|$ users from the pre-selection group.

12. The user selection apparatus (100) of one of the claims 5 1 to 11, wherein the selector (120) is adapted for selecting for the intermediate selection group S users k from the pre-selection group \hat{S} for which a combined transmission capacity in terms of a sum capacity $C_{sum}(S)$, according to

10

$$\lim_{P_{Tx} \rightarrow \infty} C_{sum}(S) = \log_2 \left| \mathbf{I} + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right|$$

with $\sum_{k \in S} M_{Rx,k} \leq M_{Tx}$

or an estimated sum capacity $C_{sum}(S)$ according to 15

$$\lim_{P_{Tx} \rightarrow \infty} C_{sum}(S) \approx \log_2 \left| \mathbf{I} + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right|$$

with $\sum_{k \in S} M_{Rx,k} > M_{Tx}$, or

$$C_{sum}(S) \approx \log_2 \left| \mathbf{I} + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right| \text{ for } P_{Tx} < \infty,$$

20

is optimized or maximized, where $M_{Rx,k}$ denotes a number of receive antennas of user k , P_{Tx} is the transmit power, \mathbf{H}_k represents the MIMO radio channel matrix of user k , \mathbf{I} is an identity matrix, N represents the cardinality of S and 25 M_{Tx} denotes the number of transmit antennas used for transmission.

13. The user selection apparatus (100) of one of the claims 30 1 to 12, wherein the selector (120) is adapted for selecting a user $\pi(1)$ for the intermediate selection group S having a MIMO radio channel represented by a MIMO radio

channel matrix $\mathbf{H}_{\pi(1)}$ having a highest Frobenius norm of the users of the pre-selection group \hat{S} according to

$$\pi(1) = \arg \max_{k \in \hat{S}} \|\mathbf{H}_k\|_F .$$

5

14. The user selection apparatus (100) of claim 13, wherein the selector (120) is adapted for adding a user $\pi(i)$ from non-selected users k for the intermediate selection group S for which an increase in sum capacity or estimated sum capacity $\Delta C_{sum}(S \cup k)$ is the strongest, according to

$$\pi(i) = \arg \max_{k \in \hat{S} \setminus S} \Delta C_{sum}(S \cup k) ,$$

whereas

$$\Delta C_{sum}(S \cup k) = C_{sum}(S \cup k) - C_{sum}(S) ,$$

15 and the sum capacity $C_{sum}(S)$ is determined according to

$$\lim_{P_{Tx} \rightarrow \infty} C_{sum}(S) = \log_2 \left| \mathbf{I} + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right|$$

with $\sum_{k \in S} M_{Rx,k} \leq M_{Tx}$

20 or an estimated sum capacity $C_{sum}(S)$ according to

$$\lim_{P_{Tx} \rightarrow \infty} C_{sum}(S) \approx \log_2 \left| \mathbf{I} + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right|$$

with $\sum_{k \in S} M_{Rx,k} > M_{Tx}$, or

$$C_{sum}(S) \approx \log_2 \left| \mathbf{I} + \sum_{k \in S} \mathbf{H}_k^H \mathbf{H}_k \frac{P_{Tx}}{M_{Rx,k} N} \right| \text{ for } P_{Tx} < \infty ,$$

25

where $M_{Rx,k}$ denotes a number of receive antennas of user k , P_{Tx} is the transmit power, \mathbf{H}_k represents the MIMO radio channel matrix of user k , \mathbf{I} is an identity matrix, N represents the cardinality of S and M_{Tx} denotes a number of transmit antennas used for transmission.

30

15. The user selection apparatus (100) of one of the claims 1 to 14, wherein the processor (115) is adapted for processing the MIMO radio channels of the users of the pre-selection group or of the intermediate selection group to
5 obtain processed MIMO radio channels and for determining the sub-group of users for transmission based on a spatial property of the processed MIMO radio channels of the users of the pre-selection group or of the intermediate selection group.

10

16. The user selection apparatus (100) of claim 15, wherein the processor (115) is adapted for selecting users from the pre-selection group or from the intermediate selection group for the sub-group based on SESAM (SESAM = Successive
15 Encoding Successive Allocation Method).

17. Method for selecting a sub-group of users from a plurality of users for transmission in a mobile communication system, a user being adapted for
20 communicating through a MIMO radio channel, comprising the steps of:

de-selecting (200) a user having a transmission capacity measure which is higher than a transmission capacity
25 measure of another user by a predetermined amount to obtain a pre-selection group not including the de-selected user, such that the pre-selection group comprises two users having two transmission capacity measures which are equal or different from each other by less than the pre-
30 determined amount; and

determining the sub-group of users for transmission based on the MIMO radio channels.

35 18. The method of claim 17, wherein the step of de-selecting (200) comprises the steps of

receiving (205) a pre-determined size of the pre-selection group;

5 sorting (210) the plurality of users according to the Frobenius norms or the single user rates of their MIMO radio channel matrices representing their MIMO radio channels in decreasing order;

10 including (215) all users in the pre-selection group;

comparing (220) the Frobenius norm or the single user rate of the user with the highest Frobenius norm or the highest single user rate from the pre-selection group with the
15 Frobenius norm or single user rate of the user having the second highest Frobenius norm or the second highest single user rate from the pre-selection group;

de-selecting (225) the user with the highest Frobenius norm
20 or the highest single user rate from the pre-selection group and returning to the step of comparing (220) if the highest Frobenius norm or the highest single user rate is higher than a factor multiplied by the second highest Frobenius norm or the second highest single user rate of
25 the user from the pre-selection group; and

de-selecting (230) users with the lowest Frobenius norms or the lowest single user rates from the pre-selection group to match the pre-determined size.

30

19. The method of one of the claims 17 or 18, further comprising a step of selecting (250) users from the pre-selection group for an intermediate selection group of users based on a spatial property of the MIMO radio
35 channels of the users of the pre-selection group, which is different from the transmission capacity measure and wherein the step of determining refers to determining the sub-group of users for transmission based on the MIMO radio

channels of the users of the intermediate selection group and wherein the step of selecting (250) comprises the steps of

5 receiving (255) a pre-determined size of the intermediate selection group;

selecting (260) the user having the highest Frobenius norm or the highest single user rate from the pre-selection
10 group;

evaluating (265) a capacity or a sum increase for non-selected users in the pre-selection group on the basis of the selected users in the intermediate selection group;
15

selecting (270) the user with the highest capacity or the highest sum rate increase for the intermediate selection group; and

20 returning to the step of evaluating (265) until the size of the intermediate selection group has reached the pre-determined size of the intermediate selection group.

20. Computer program having a program code for performing
25 one of the methods of claims 17 to 19 when the program code runs on a processor.

1. Abstract

A user selection apparatus (100) for being operative in a mobile communication system and for selecting a sub-group of users from a plurality of users for transmission, a user being adapted for communicating through a multiple-input-multiple-output (MIMO = Multiple-Input-Multiple-Output) radio channel. The user selection apparatus (100) comprises a pre-selector (110) for de-selecting a user having a transmission capacity measure which is higher than a transmission capacity measure of another user by a predetermined amount to obtain a pre-selection group not including the de-selected user, such that the pre-selection group comprises two users having two transmission capacity measures which are equal or different from each other by less than the pre-determined amount and a processor (115) for determining the sub-group of users for transmission based on the MIMO radio channels.

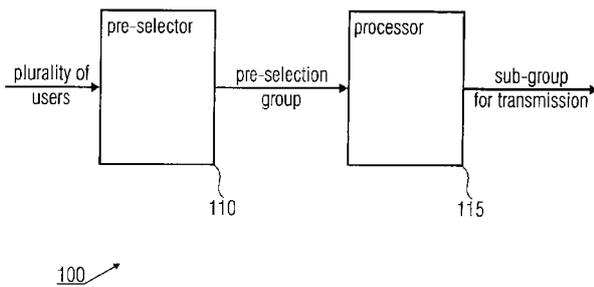


FIG 1A

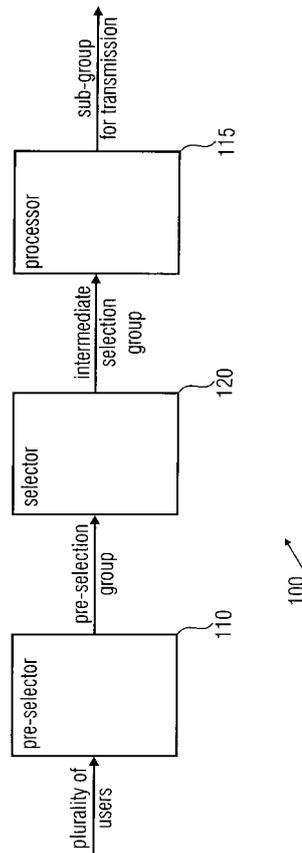


FIG 1B

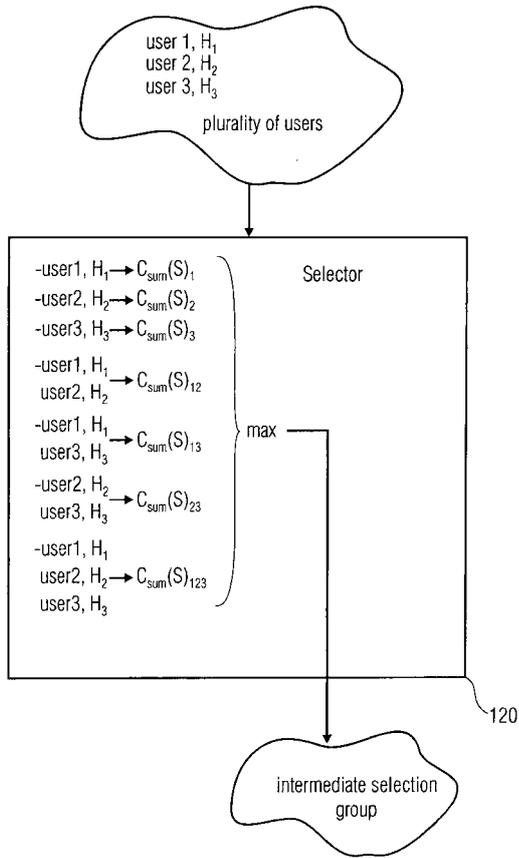


FIG 1C

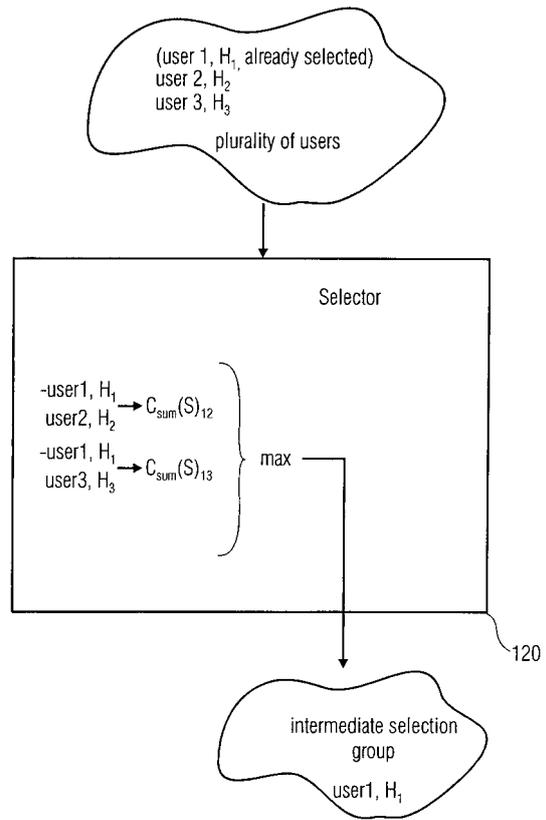


FIG 1D

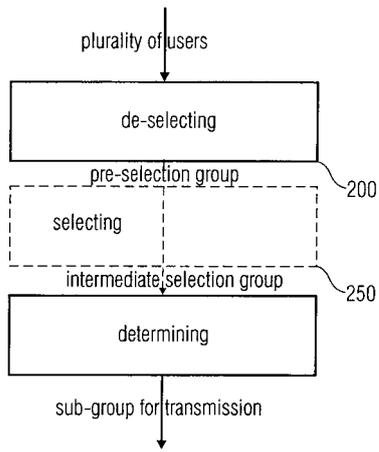


FIG 2A

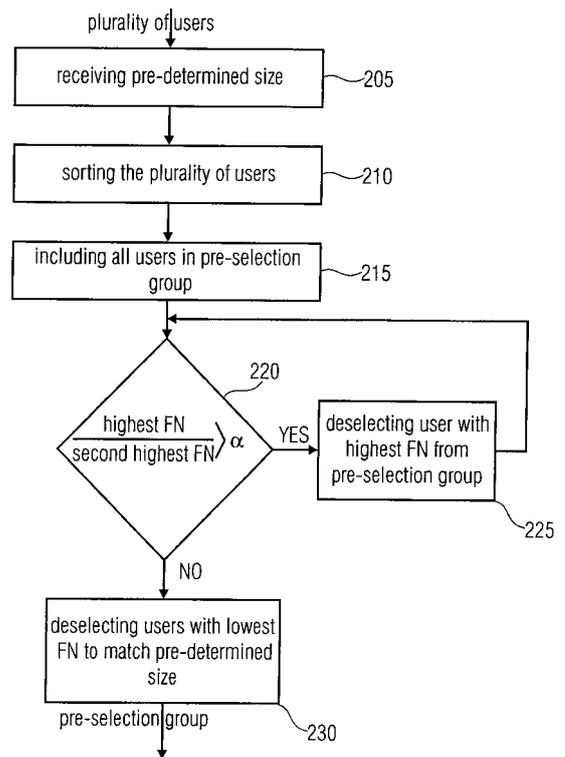
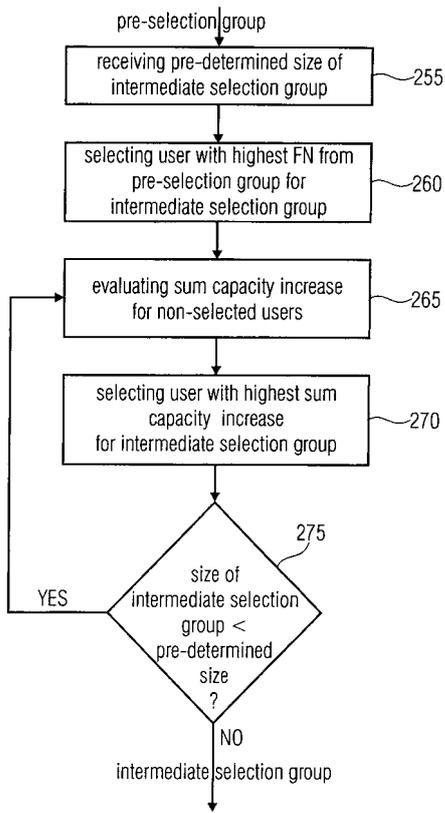


FIG 2B

200



250 ↗

FIG 2C

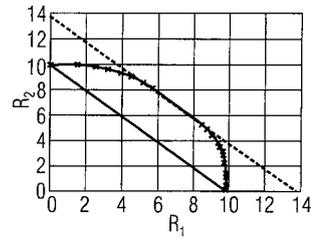


FIG 3A

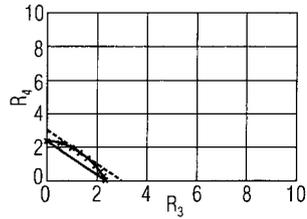


FIG 3B

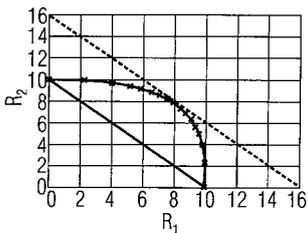


FIG 4A

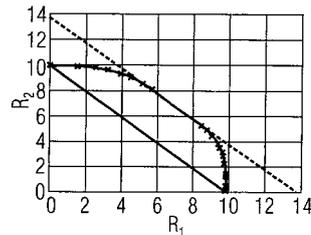


FIG 5A

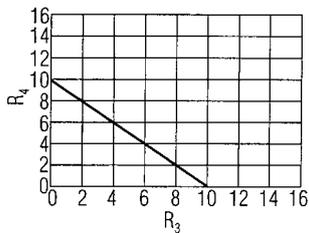


FIG 4B

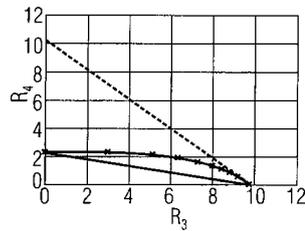


FIG 5B

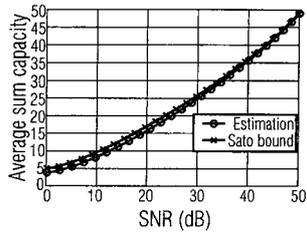


FIG 6A

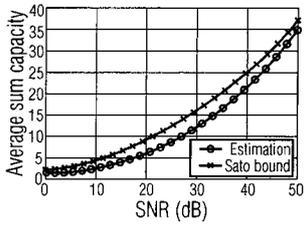


FIG 6B

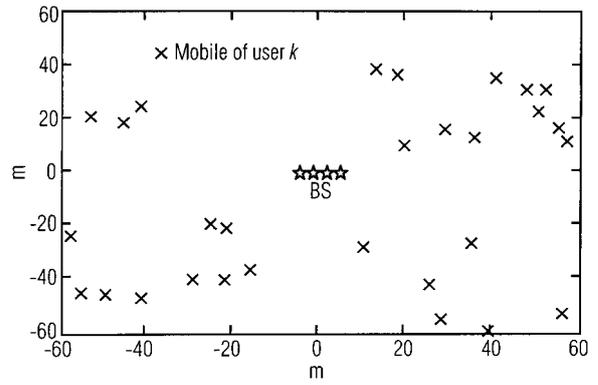


FIG 7

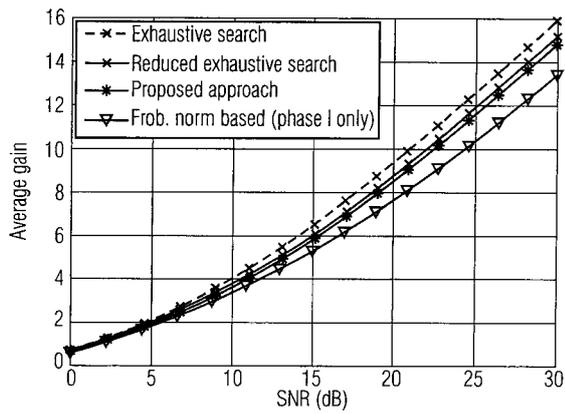


FIG 8

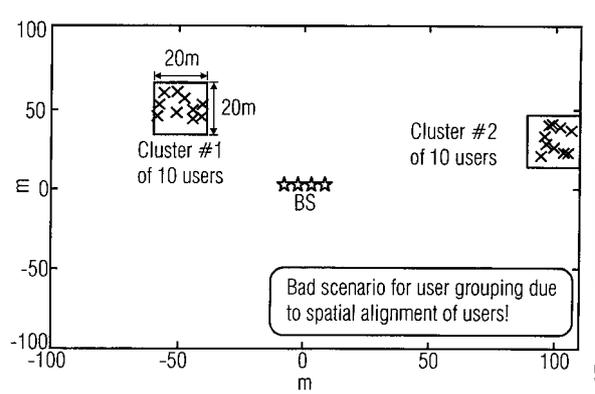


FIG 9

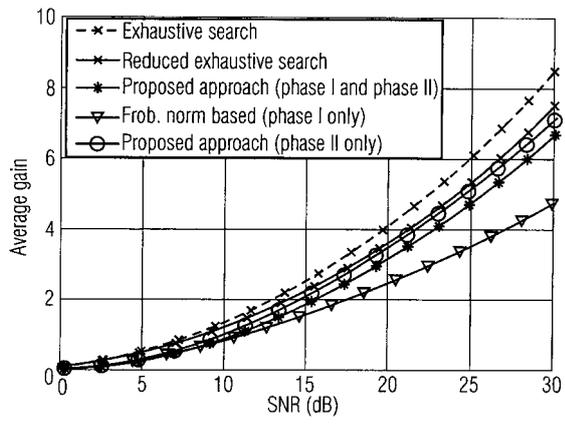


FIG 10

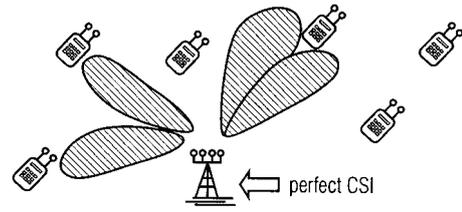


FIG 11 (State of the art)

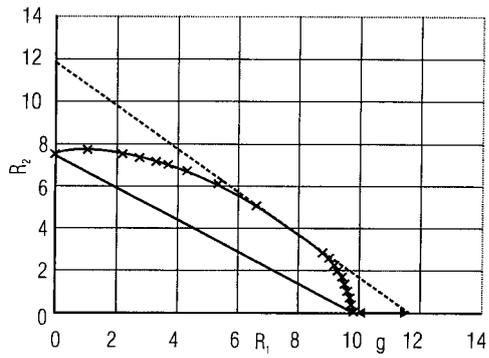


FIG 12 (State of the art)