

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5607237号
(P5607237)

(45) 発行日 平成26年10月15日 (2014. 10. 15)

(24) 登録日 平成26年9月5日 (2014. 9. 5)

(51) Int. Cl. F I
HO 4 B 17/00 (2006. 01) HO 4 B 17/00 C
HO 4 W 16/22 (2009. 01) HO 4 W 16/22

請求項の数 23 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2013-505505 (P2013-505505)	(73) 特許権者	507237945
(86) (22) 出願日	平成22年5月24日 (2010. 5. 24)		エレクトロビット・システム・テスト・オ
(65) 公表番号	特表2013-529422 (P2013-529422A)		サケユキテア
(43) 公表日	平成25年7月18日 (2013. 7. 18)		フィンランド国 90570 オウル, ツ
(86) 国際出願番号	PCT/FI2010/050419		トキヤンティエ 8
(87) 国際公開番号	W02011/148030	(74) 代理人	100140109
(87) 国際公開日	平成23年12月1日 (2011. 12. 1)		弁理士 小野 新次郎
審査請求日	平成24年10月22日 (2012. 10. 22)	(74) 代理人	100075270
			弁理士 小林 泰
		(74) 代理人	100096013
			弁理士 富田 博行
		(74) 代理人	100092967
			弁理士 星野 修
		(74) 代理人	100096068
			弁理士 大塚 住江

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無線通信を用いる試験システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

無線通信を用いた試験における複数の経路のシミュレーションされた無線チャンネルに基づいて、試験対象のデバイス(100)の周りのアンテナ・エレメント(102~116)の複数の考慮すべき位置(160~178)から、アンテナ・エレメントの位置のサブセット(180)を選択するステップ(1300)と、

前記シミュレーションされた無線チャンネルを物理的に実現するために、前記サブセット(180)の前記アンテナ・エレメントのみと、無線チャンネル・エミュレータ(150)とを接続するステップ(1302)とを備えることを特徴とする方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の方法において、前記複数の考慮すべき位置(160 - 178)は、固定の位置であることを特徴とする方法。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の方法において、前記サブセット(180)を選択するステップは、前記アンテナ・エレメント(102~116)の前記考慮すべき位置(160~178)から、前記サブセット(180)を、前記シミュレーションされた無線チャンネルと様々なサブセットのアンテナ・エレメントとを用いて達成可能な静寂ゾーンのサイズに基づいて、選択するステップであることを特徴とする方法。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の方法において、前記サブセット (1 8 0) を選択するステップは、前記アンテナ・エレメント (1 0 2 ~ 1 1 6) の前記考慮すべき位置 (1 6 0 ~ 1 7 8) から、前記サブセット (1 8 0) を、理論的な空間相互相関と、最適化において様々なサブセットのアンテナ・エレメントにより達成可能な実際の空間相関との間の誤差の最適化により、選択するステップであることを特徴とする方法。

【請求項 5】

請求項 1 に記載の方法において、前記サブセット (1 8 0) を選択するステップは、前記サブセット (1 8 0) を、前記エミュレータ (1 5 0) と試験対象の前記デバイス (1 0 0) との間の前記シミュレーションされた無線チャネルの角度分布のデータに基づいて、選択するステップであることを特徴とする方法。

10

【請求項 6】

請求項 2 に記載の方法において、前記サブセット (1 8 0) を選択するステップは、前記シミュレーションされた無線チャネルを一度に前記エミュレータから受信可能又は前記エミュレータへ入力可能なアンテナ・エレメントの数以下の数のアンテナ・エレメントについての前記サブセット (1 8 0) を選択するステップであり、前記サブセット (1 8 0) のアンテナ・エレメントの数は、前記複数のアンテナ・エレメントの数よりも少ないことを特徴とする方法。

【請求項 7】

請求項 1 に記載の方法において、該方法はさらに、前記エミュレータ (1 5 0) において前記シミュレーションされた無線チャネルのための所定数の特定アンテナ・エレメント向けチャンネルを形成するステップを含み、前記サブセット (1 8 0) のアンテナ・エレメントのみを接続するステップは、それぞれの特定アンテナ・エレメント向けチャンネルを前記サブセット (1 8 0) の位置にあるアンテナ・エレメントへ接続するステップであることを特徴とする方法。

20

【請求項 8】

請求項 1 に記載の方法において、前記サブセット (1 8 0) を選択するステップは、立体的角度で試験対象の前記デバイス (1 0 0) の周りに分散した前記アンテナ・エレメント (1 0 2 ~ 1 1 6) の前記考慮すべき位置 (1 6 0 ~ 1 7 8) から、前記サブセット (1 8 0) を選択するステップであることを特徴とする方法。

【請求項 9】

請求項 1 に記載の方法において、前記サブセット (1 8 0) を選択するステップは、平面的角度で試験対象の前記デバイス (1 0 0) の周りに分散した前記アンテナ・エレメント (1 0 2 ~ 1 1 6) の前記考慮すべき位置 (1 6 0 ~ 1 7 8) から、前記サブセット (1 8 0) を選択するステップであることを特徴とする方法。

30

【請求項 10】

接続システムであって、

エミュレータ (1 5 0) と試験対象の電子デバイス (1 0 0) の周りにある複数のアンテナ・エレメント (1 0 2 ~ 1 1 6) との間に配されるセレクタ (1 5 2) であって、試験対象の前記電子デバイス (1 0 0) と前記エミュレータ (1 5 0) との間で、前記エミュレータ (1 5 0) の複数の経路のシミュレーションされた無線チャネルを通じて無線接続を行うためのセレクタ (1 5 2)

40

を備え、

前記セレクタ (1 5 2) は、前記シミュレーションされた無線チャネルに関するデータを前記エミュレータ (1 5 0) から受信するように、及び前記データに基づいて接続を行うために、アンテナ・エレメント (1 0 2 ~ 1 1 6) の複数の考慮すべき位置 (1 6 0 ~ 1 7 8) から、アンテナ・エレメントの位置のサブセット (1 8 0) を選択するように構成される

ことを特徴とする接続システム。

【請求項 11】

請求項 10 に記載の接続システムにおいて、前記セレクタ (1 5 2) は、前記デバイス (

50

100)の周りの固定の位置にある前記複数のアンテナ・エレメント(102~116)から、前記アンテナ・エレメント(102~116)の前記位置に基づいて、アンテナ・エレメントのサブセットを選択するように構成されていることを特徴とする接続システム。

【請求項12】

請求項10に記載の接続システムにおいて、前記セクタ(152)は、前記アンテナ・エレメント(102~116)の前記考慮すべき位置(160~178)から、前記サブセット(180)を、前記シミュレーションされた無線チャネルと様々なサブセットのアンテナ・エレメントとを用いて達成可能な静寂ゾーンのサイズに基づいて、選択するように構成されていることを特徴とする接続システム。

10

【請求項13】

請求項10に記載の接続システムにおいて、前記セクタ(152)は、前記アンテナ・エレメント(102~116)の前記考慮すべき位置(160~178)から、前記サブセット(180)を、理論的な空間相互相関と、最適化において様々なサブセットのアンテナ・エレメントにより達成可能な実際の空間相関との間の誤差の最適化により、選択するように構成されていることを特徴とする接続システム。

【請求項14】

請求項10に記載の接続システムにおいて、前記セクタ(152)は、前記シミュレーションされた無線チャネルを一度に前記エミュレータ(150)から受信可能又は前記エミュレータへ入力可能なアンテナ・エレメントの数以下の数のアンテナの位置をもつ前記サブセット(180)を選択するように構成されていることを特徴とする接続システム。

20

【請求項15】

請求項10に記載の接続システムにおいて、前記セクタ(152)は、立体的角度で試験対象の前記デバイス(100)の周りに分散した前記アンテナ・エレメント(102~116)の前記考慮すべき位置(160~178)から、位置の前記サブセット(180)を選択するように構成されていることを特徴とする接続システム。

【請求項16】

請求項10に記載の接続システムにおいて、前記セクタ(152)は、平面的角度で試験対象の前記デバイス(100)の周りに分散した前記アンテナ・エレメント(102~116)の前記考慮すべき位置(160~178)から、位置の前記サブセット(180)を選択するように構成されていることを特徴とする接続システム。

30

【請求項17】

エミュレート・システムであって、

無線チャネル・エミュレータ(150)と、セクタ(152)と、コネクタ(154)と、試験対象の電子デバイス(100)のためのテスト・スポット(122)の周りに配される複数のアンテナ・エレメント(102~116)とを備え、

前記セクタ(152)は、複数の経路のシミュレーションされた無線チャネルに関するデータを前記エミュレータ(150)から受信するように、及び前記データに基づいて接続を行うために、前記アンテナ・エレメント(102~116)の複数の考慮すべき位置(160~178)から、アンテナ・エレメントの位置のサブセット(180)を選択するように構成され、

40

前記コネクタ(154)は、前記シミュレーションされた無線チャネルを物理的に実現するために、前記サブセット(180)の前記アンテナ・エレメントのみと、無線チャネル・エミュレータ(150)とを接続するように構成されている

ことを特徴とするエミュレート・システム。

【請求項18】

請求項17に記載のエミュレート・システムにおいて、前記セクタ(152)は、前記デバイス(100)の周りの固定の位置にある前記複数のアンテナ・エレメント(102~116)から、前記アンテナ・エレメント(102~116)の前記位置に基づいて、

50

アンテナ・エレメントのサブセットを選択するように構成されていることを特徴とするエミュレート・システム。

【請求項 19】

請求項 17 に記載のエミュレート・システムにおいて、前記セクタ (152) は、前記アンテナ・エレメント (102 ~ 116) の前記考慮すべき位置 (160 ~ 178) から、前記サブセット (180) を、前記シミュレーションされた無線チャネルと様々なサブセットのアンテナ・エレメントとを用いて達成可能な静寂ゾーンのサイズに基づいて、選択するように構成されていることを特徴とするエミュレート・システム。

【請求項 20】

請求項 17 に記載のエミュレート・システムにおいて、前記セクタ (152) は、前記アンテナ・エレメント (102 ~ 116) の前記考慮すべき位置 (160 ~ 178) から、前記アンテナ・エレメントの前記位置の前記サブセット (180) を、理論的な空間相互相関と、最適化において様々なサブセットのアンテナ・エレメントにより達成可能な実際の空間相関との間の誤差の最適化により、選択するように構成されていることを特徴とするエミュレート・システム。

10

【請求項 21】

請求項 17 に記載のエミュレート・システムにおいて、前記セクタ (152) は、前記シミュレーションされた無線チャネルを一度に前記エミュレータ (150) から受信可能又は前記エミュレータへ入力可能なアンテナ・エレメントの数以下の数のアンテナの位置をもつ前記サブセット (180) を選択するように構成されていることを特徴とするエミュレート・システム。

20

【請求項 22】

請求項 17 に記載のエミュレート・システムにおいて、前記セクタ (152) は、立体的角度で試験対象の前記デバイス (100) の周りに分散した前記複数の考慮すべき位置 (160 ~ 178) から、位置の前記サブセット (180) を選択するように構成されていることを特徴とするエミュレート・システム。

【請求項 23】

請求項 17 に記載のエミュレート・システムにおいて、前記セクタ (152) は、平面的角度で試験対象の前記デバイス (100) の周りに分散した前記複数の考慮すべき位置 (160 ~ 178) から、位置の前記サブセット (180) を選択するように構成されていることを特徴とするエミュレート・システム。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、無響室内のデバイスに対する無線通信を用いた試験に関する。

【背景技術】

【0002】

無線周波数信号が送信機から受信機へ送られるとき、その信号は、個々に異なる到来角 (angle of arrival)、信号遅延、分極 (polarization)、及びパワーを有する 1 又は複数の経路に沿って無線チャネルで伝搬し、その結果として、受信される信号では様々な持続時間や強度のフェージングが生じる。更に、他の送信機に起因するノイズや干渉により、無線接続が妨害される。

40

【0003】

送信機及び受信機に対しては、実際の環境をエミュレートする無線チャネル・エミュレータを用いて試験を行うことができる。デジタル無線チャネル・エミュレータでは、無線チャネルは、通常、FIR (有限インパルス応答) フィルタを用いてモデル化される。従来の無線チャネル・エミュレーション試験は、送信機と受信機とをケーブルを用いて接続する伝導接続を用いて行われる。

【0004】

無線システムの加入者 (サブスクライバ) 端末と基地局との間の通信に関しては、OT

50

A (Over The Air) 試験 (無線通信を用いた試験) を用いて試験を行うことができ、この O T A 試験では、実際の D U T (Device Under Test: 試験対象のデバイス) が、無響室 (anechoic chamber) 内でエミュレータの複数のアンテナ・エレメントにより囲まれる。エミュレータは、基地局と接続されて、又は基地局として作用して、チャンネル・モデルに従って、加入者端末と基地局との間の経路をエミュレートする。それぞれのアンテナとエミュレータの間には、特定アンテナ・エレメント向けチャンネル (antenna-element-specific channel) が存在する。多くの場合、多数のアンテナ・エレメントと、それに依じての多数の特定アンテナ・エレメント向けチャンネルとが必要とされる。多数のアンテナ・エレメントを備えるためには、試験チャンバ内に十分に大きい静寂ゾーン (quiet zone) を必要とする。しかし、特定アンテナ・エレメント向けチャンネルが増加すると、試験システムは複雑になり高価なものとなる。従って、より良い試験システムが必要とされている。

10

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0005】

ウィリアム・エッチ・プレス、「Cにおける数値レシピ、科学的計算の技術」、第2版、ケンブリッジ・ユニバーシティ・プレス、1992年 (William H. Press, "Numerical Recipes in C - The Art of Scientific Computing," Cambridge University Press, second edition (1992))

【発明の概要】

20

【0006】

本発明の幾つかの構成についての基本的な理解を得られるように、以下に、本発明の概要を記載する。この概要は、本発明の広範囲な全体像を示すものではない。この概要は、本発明の鍵となるエレメントを特定することや、本発明の範囲を規定することを意図するものではない。この概要は、単に、後に記載する詳細な説明の序説として、本発明の幾つかの原理を簡素な形で示すことを目的とする。

【0007】

本発明の1つは方法に関連するものであり、その方法は、O T A 試験においてシミュレーションされた無線チャンネルに基づいて、試験対象デバイスの周りにおけるアンテナ・エレメントの考慮され得る複数の位置から、アンテナ・エレメントの位置のサブセットを選択するステップと、そのサブセットにあるアンテナ・エレメントのみと無線チャンネル・エミュレータとを共に接続して、シミュレーションされた無線チャンネル (simulated radio channel、シミュレーテッド無線チャンネル) を物理的に実現するステップとを備える。

30

【0008】

別の本発明は接続システムに関連するものであり、その接続システムはセレクタを備え、セレクタは、エミュレータと、試験対象の電子デバイスの周りにおける複数のアンテナ・エレメントとの間に配置され、エミュレータのシミュレーテッド無線チャンネルを介して、電子デバイスとエミュレータとの間の無線接続を行うためのものであり、セレクタは、エミュレータからシミュレーテッド無線チャンネルに関するデータを受信し、そのデータに基づいて、接続を行うために、アンテナ・エレメントの考慮され得る複数の位置から、位置のサブセットを選択するように構成される。

40

【0009】

更に別の本発明は、無線通信を用いる試験 (over-the-air test) のエミュレート・システムに関連するものであり、エミュレート・システムは、無線チャンネル・エミュレータと、セレクタと、コネクタと、試験対象の電子デバイスの試験 (テスト) スポットの周りに配置される複数のアンテナ・エレメントとを備える。セレクタは、エミュレータからシミュレーテッド無線チャンネルに関するデータを受信し、そのデータに基づいて、接続を行うために、アンテナ・エレメントの考慮され得る複数の位置から、位置のサブセットを選択するように構成される。コネクタは、そのサブセットにあるアンテナ・エレメントのみと無線チャンネル・エミュレータとを接続して、シミュレーテッド無線チャンネルを物理的に

50

実現するように構成される。

【0010】

本発明の構成の様々な構成、実施形態、及び特徴は個別に記載されるが、本発明の様々な構成、実施形態、及び特徴の全ての組み合わせが可能であり、それが本発明の範囲内にあることを理解すべきである。

本発明は、少ない数の特定アンテナ・エレメント向けチャネル及びアンテナ・エレメントを用いて、正確な角パワー分布 (angular power distribution) を提供する。

以下では、例示的な実施形態を用い、添付の図面を参照して本発明を詳細に説明する。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1A】OTA試験チャンバの実施形態の幾何学形状の平面図を示す。

【図1B】別の時点でのアクティブなアンテナ・エレメントを示す図である。

【図2】アンテナ・エレメントの考慮され得る位置、及び選択された位置のサブセットの例を示す図である。

【図3】送信機と受信機との間を伝搬する信号を反射するクラスタを示す図である。

【図4】望ましいパワーを、角度の関数として示すグラフである。

【図5】PASのフーリエ変換を示すグラフである。

【図6】アンテナ・エレメントのパワーを示すグラフである。

【図7】OTA試験チャンバの立体的な実施形態を示す図である。

【図8】3個の空間相関線を示す図である。

【図9】コネクタを示す図である。

【図10】様々なアンテナ・エレメントに関して分布されたビーム及びパワーを示す図である。

【図11】全てのアンテナ・エレメント中の選択されたアンテナ・エレメントを示す図である。

【図12】全てのアンテナ・エレメント中の別の選択されたアンテナ・エレメントを示す図である。

【図13】方法のフロー図である。

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下に、添付の図面を参照して本発明の例示的な実施形態を詳細に説明するが、図面には、全てではなく幾つかの実施形態のみが示されている。本発明は、様々な形態で実現でき、ここに説明される実施形態に制限されるものではない。ここに示す実施形態は、適用され得る法的な要求を満たすように開示されるものである。この明細書では、幾つかの部分で、「実施形態」、「1つの実施形態」、「幾つかの実施形態」などと言及することもあるが、これは、必ずしも、それが同じ実施形態を参照することを意味するものではなく、また、特徴が1つの実施形態にのみ適用されることを意味するものではない。様々な実施形態の個々の特徴を組み合わせ、別の実施形態を構成することも可能である。従って、全ての語句や表現は広く解釈すべきであり、それらは実施形態を限定するものではなく説明することを意図したものである。

【0013】

図1A及び図1Bは、OTA試験チャンバの平面幾何学形状の実施形態を示す。図1Aに示すように、加入者端末であるDUT100は中心部に配される。固定アンテナ・エレメント102、104、106、108、110、112、114、及び116は、DUT100が配される試験スポット122の周りに既知の間隔で分散して配置されている。ここでは、J個のOTAアンテナの方向を k ($k = 1, \dots, J$) とし、角ドメインにおけるアンテナの間隔 d_s を d_s とし、Jをアンテナ・エレメント102～116の数とする。角度 θ_k は、電子デバイス100を中心とした2個のアンテナ・エレメント(102～106)の離隔距離の測定値を表す。一般に、間隔 d_s は、均一ではない場合もあり、任意の2個の連続するアンテナ・エレメント102～116についての離隔角度

10

20

30

40

50

も、同じ又は異なるものである。

【 0 0 1 4 】

アンテナ・エレメント 1 0 2 ~ 1 1 6 は、D U T 1 0 0 から異なる距離の位置にあってもよい。それに対応して、アンテナ・エレメント 1 0 2 ~ 1 1 6 は 1 つのセクタにのみ配置されるものであり、全ての角度や全ての立体角に対して配置されるものではない。また、D U T 1 0 0 は、アンテナ内に 1 又は複数のエレメントを有する。

1 つの実施形態では、アンテナ・エレメントは、連続的に動くか、又は 1 つの位置から別の位置へと不連続的にシフトされ、それにより、或る時点でアンテナ・エレメントが必要とされるセクタにおいて、アンテナ・エレメントの密度が高くなるようにされる。

【 0 0 1 5 】

試験チャンバは、無響室とすることができる。エミュレータ 1 5 0 は、それぞれの特定アンテナ向けチャンネルを形成するための少なくとも 1 つの F I R フィルタを備える。更に、又は代替例として、エミュレータ 1 5 0 は、特定アンテナ向けチャンネルを提供するために、プロセッサと、メモリと、適切なコンピュータ・プログラムとを備える。

【 0 0 1 6 】

エミュレータ 1 5 0 は、少なくとも 1 つの無線チャンネル・モデルを有し、そのうちの 1 つが、試験のためのシミュレーション無線チャンネルとして使用するために選択される。シミュレーション無線チャンネルは、試験を行う人が選択してもよい。使用されるシミュレーション無線チャンネルは、実際の無線システムから記録されたチャンネルに基づくプレイバック（再生）・モデルのものや、人工的に生成された人工生成モデルのものや、プレイバック・モデルと人工生成モデルとを組み合わせたものなどである。

【 0 0 1 7 】

例えば E B (E l e k t r o b i t) P r o p s i m (登録商標) F 8 などのようなエミュレータ 1 5 0 のそれぞれのエミュレータ出力ポート 1 5 6 は、コネクタ 1 5 4 の入力ポート 1 5 8 へ接続される。同様に、それぞれのアンテナ・エレメント 1 0 2 ~ 1 1 6 は、コネクタ 1 5 4 の出力ポート 1 6 0 へ接続される。エミュレータ 1 5 0 は、シミュレーション無線チャンネルの予め定められた数の特定アンテナ・エレメント向けチャンネルを形成する。従って、1 つの特定アンテナ・エレメント向けチャンネルは、エミュレータ 1 5 0 と 1 つのアンテナ・エレメントとの間の接続により、その 1 つのアンテナ・エレメントと関連付けられる。通常、アンテナ・エレメント 1 0 2 ~ 1 1 6 の少なくとも 1 つがエミュレータ 1 5 0 と結合される。

【 0 0 1 8 】

エミュレート・システムはセクタ 1 5 2 を含む。エミュレータ 1 5 0 は、セクタ 1 5 2 に、受信方向（ 1 又は複数）の角度分布のデータを提供する。このデータは座標の形で与えることができ、その場合、D U T 1 0 0 が原点であり、従って、データが D U T 1 0 0 に受信されるかアンテナ・エレメントに受信されるかにかかわらず、角度データは D U T 1 0 0 と相対して表される。信号を D U T 1 0 0 へ送信するためにアンテナ・エレメント 1 0 2 ~ 1 1 6 が使用される場合、D U T 1 0 0 は受信機であり、従って、データは、D U T 1 0 0 に関しての到来角 の直接的情報又は間接的情報を含む。ここで、図 1 及び図 2 に関しては、明瞭化するために、角度 s を「 $s = + 1 8 0 ^{\circ}$ 」と定義することに留意されたい。D U T 1 0 0 がアンテナ・エレメント 1 0 2 ~ 1 1 6 へ送信を行うとき、データは、アンテナ・エレメント 1 0 2 ~ 1 1 6 に関しての到来角 の直接的情報又は間接的情報を含む。到来角 は、D U T 1 0 0 からの又は D U T 1 0 0 へのビーム 1 2 0 ~ 1 2 4 の方向である。従って、受信の方向の角分布は、ビーム 1 2 0 ~ 1 2 4 の角分布と考えることができ、その分布はエミュレータ 1 5 0 のシミュレーション無線チャンネルから抽出することができる。また、エミュレータ 1 5 0 が、シミュレーション無線チャンネルをセクタ 1 5 2 へ供給して、セクタ 1 5 2 が受信方向の角度分布の特定データを抽出することもできる。受信の 2 つの方向（ビーム 1 2 2、1 2 4）は狭い角度差を有するものであり、従来技術では、狭い角度差に対応する分解能を実現するためには、エミュレータ 1 5 0 へ接続可能な数よりも多くのアンテナ・エレメントを使用する必要がある、又

10

20

30

40

50

は多くのエミュレータを使用する必要があると考えられた。

【 0 0 1 9 】

図 1 B は、図 1 A に示す時点とは異なる時点での、選択されたアンテナ・エレメントを示す。ここでは、エミュレータ 1 5 0 と D U T 1 0 0 との間の到来角は、図 1 A に示すものとは異なる。これは、シミュレーションされた状況におけるクラスタ（群）が、信号を異なるように反射するからである。クラスタという用語は、類似のパラメータ値を有するグループで発生するマルチパス（多重経路）信号成分を指すものである。マルチパス信号成分は、散乱を生じさせるオブジェクト（物）又は少なくとも 1 つのオブジェクトの一部が原因で生じる。クラスタは、M I M O（Multiple-Input and Multiple-Output）（多入力及び多出力）チャンネルと関連付けされることが多いが、この用語は、他のチャンネル・モードと関連して使用される場合もある。クラスタは、時間とともに変化するものもある。この例では、セクタ 1 5 2 は、図 1 A で選択されているサブグループとは異なるサブグループ 1 0 2、1 1 0、1 1 2、1 1 6 を、シミュレーション無線チャンネルがエミュレータ 1 5 0 と接続されることに基づいて、選択している。

10

【 0 0 2 0 】

図 2 において、アンテナ・エレメントは固定位置に配置されず、選択されたアンテナ・エレメントは、考慮され得る位置 1 6 0 ~ 1 7 8 へ配置される。考慮され得る位置 1 6 0 ~ 1 7 8 の数は、通信のために選択されるアンテナ・エレメントの数よりもかなり多い。考慮され得る位置 1 6 0 ~ 1 7 8 の数は、アンテナ・エレメントが移動可能である場合には、無限に近い。1 つの実施形態では、セクタ 1 5 2 は、O T A 試験におけるシミュレートッド無線チャンネルに基づいて、複数の考慮され得る位置 1 6 0 ~ 1 7 8 からアンテナ・エレメントの位置のサブセット 1 8 0 を選択する。サブセット 1 8 0 における選択された位置の数は、通信に使用するアンテナ・エレメントの数を定めることになる。従って、サブセット 1 8 0 が 4 個の位置を含む場合、アンテナ・エレメントの数も 4 個となる。4 個よりも多くのアンテナ・エレメントを通信に使用可能な場合、サブセット 1 8 0 における選択された位置の 4 個のアンテナ・エレメントが、アンテナ・エレメントの選択されたサブグループを形成する。

20

【 0 0 2 1 】

コネクタ 1 5 4 は、シミュレーション無線チャンネルを物理的に実現するために、サブセット 1 8 0 の位置に配されたアンテナ・エレメントと、無線チャンネル・エミュレータ 1 5 0 とを接続する。他のアンテナ・エレメントは、エミュレータ 1 5 0 と接続されない。

30

J 個のアンテナ・エレメントが D U T 1 0 0 の周りの固定位置に配されるものと仮定する。そして、アンテナ・エレメントの位置の選択が、アンテナ・エレメントの選択と直接的に対応するものとする。受信方向（ビーム 1 2 4 ~ 1 3 4）の角度分布のデータを用いて、セクタ 1 5 2 は、複数のアンテナ・エレメント 1 0 2 ~ 1 1 6 からサブグループ 1 0 8、1 1 0、1 1 4、1 1 6 を選択する。サブグループには、互いの受信方向の間の角度差が小さくて互いに接近したアンテナ・エレメントが多く含まれ、互いの間の角度差が大きいアンテナ・エレメントの数は少なく、また、信号が伝搬されないアンテナ・エレメントは含まれない。

40

【 0 0 2 2 】

セクタ 1 5 2 は、サブグループ 1 0 8、1 1 0、1 1 4、1 1 6 のデータをコネクタ 1 5 4 へ供給し、コネクタ 1 5 4 は、サブグループ 1 0 8、1 1 0、1 1 4、1 1 6 と無線チャンネル・エミュレータ 1 5 0 とを接続して、サブグループとエミュレータとの間でシミュレーション無線チャンネルを物理的に実現する。サブグループの選択されたアンテナ・エレメントは、エミュレータ 1 5 0 と D U T 1 0 0 との間で送信された信号の少なくとも 1 つの到来角を生じさせ、それは、実際の無線システムの状況をエミュレートするためのシミュレーションを行うために十分に近い。

【 0 0 2 3 】

図 3 は、送信機と受信機との間を伝搬する信号を反射するクラスタ（黒い点）を示し、その反射は、受信機への信号成分の到来角を定める。角度が $-30^{\circ} \sim 0^{\circ}$ の間では、サ

50

ブグループに多くのアンテナ・エレメントを選択すべきであることと、角度が150°のところでは、サブグループにおそらくは1つのアンテナ・エレメントのみが必要であることが理解できるであろう。

【0024】

エミュレート・システムは、クラスタをシミュレーションするためにDUT100の周りのアンテナ・エレメント102~116の位置の適切なサブセット180を、情報処理能力を用いて選択することができ、これは、受信機へ送信される対応するパワーの角度分布を決定することによりなされる。到来角の値が近い複数のアンテナ・エレメントは間隔が詰まっているので、OTAチャンバにおいてシミュレーション無線チャネルを正確に再構築することができる。

10

【0025】

セクタ152は、アンテナ・エレメント102~116の位置のサブセット180を選択するための選択アルゴリズムを有する。アンテナ・エレメント102~116が方位面のみに取り付けられる平面幾何学的な実施形態では、複数の選択アルゴリズムが使用可能である。原理では、位置のサブセット180をランダムに選択することが可能であるが、より現実的には、決定論的プロセスを用いる。全ての使用可能なアンテナ位置又はアンテナ・エレメントの数がJであり、エミュレータ150の出力ポートの数がKであり、 $J > K$ であると仮定する。しかし、シミュレーション無線チャネルの角度分解能に関して、密度の高いコンステレーション(一群)と関連するセクタでは、そのセクタにおけるアンテナ・エレメントの密度がDUTの周りに均等に分配されたJ個のアンテナ・エレメントの密度と同じであることを、必要とする。一般に、必要とされる角度分解能は、更に精度の高いものである場合があり、少なくとも、K個のアンテナ・エレメントをDUTの周りに均等に配した場合よりも精度が高いことが多い。

20

【0026】

セクタ152のアルゴリズムは、OTA試験チャンバの静寂ゾーンのサイズを最大化し、シミュレーション無線チャネルに必要とされる角度分解能を提供する。一般に、何れのDUTも、適正に試験を行うために十分に大きい静寂ゾーンを必要とする。デバイスが大きくなると、必要とされる静寂ゾーンも大きくなる。例えば、ラップトップ型デバイスは、小型モバイル電話よりも大きいサイズの静寂ゾーンを必要とする。言い換えると、最小数のアンテナ・エレメントを用いて角度分解能を最大化するアルゴリズムを使用するのが好適である。

30

【0027】

最初に、力任せ(brute force)技法を用いて、アンテナ・エレメントの考慮され得る全ての組み合わせに対して、アンテナ・エレメントの重み G_{tot} の最適化を行うことが可能である。次に、空間的相関に関して最も適合する重み、又は最大でK個のアンテナ・エレメントを使用して得る何らかの他の適切な測定値を、選択する。しかし、力任せ技法で試験される組み合わせの数は、特に、Jが大きくてKがJよりも小さい場合には、多くなる。

【0028】

力任せ技法の代わりに、最適化を以下のように行うことができる。

1つの実施形態では、OTA試験チャンバにおける静寂ゾーンを最大化する方法は、アンテナ・エレメントの理論的な空間相互相関(spatial cross correlation) (ρ_m, \dots) と、様々な重み $G_{tot} = (g_1, g_2, \dots, g_p)$ を持つOTAアンテナ・エレメントを用いて得られる空間相関

40

【数1】

$$\tilde{\rho}(\Delta_m)$$

との比較を行う最適化アルゴリズムを使用する。なお、上記においては $P = K$ である。最適化アルゴリズムの目的は、K個のアンテナ・エレメントに対する重み G_{tot} の適切な組を見つけることである。また、K個より少ない個数のアンテナ・エレメントに対する重み G_t

50

otの適切な組を見つけることも可能である。

【0029】

図4は、1つのクラスタの望ましいパワー400を、角度、すなわちDUT100の周りのPAS(Power Angular Spectrum、パワー角スペクトル)の関数としてグラフで示す。パワーは垂直軸に示され、角度は水平軸に示されている。この例では、PASはラプラシアン形状となっている。PASはフーリエ変換することができ、その結果を図5に示す。フーリエ変換されたPASは、空間相関関数500で表される。相関値は垂直軸に示され、波長における位置は水平軸に示されている。

【0030】

ここで、最適化は、図5に示すような空間相関を用いて行われる。OTA試験チャンバにおける空間相関は、空間離隔 Δ_m 、公称到来角 φ_0 、到来角の角拡がり (angular spread of angles of arrival) σ_φ を引数として有する。空間離隔は、2点間の相距離 (phase distance) として定義される。通常、クワイエット・ゾーンにおける相距離を考慮する。相距離は、2点の距離を波長で除算し、それに2を乗算することにより求めることができる。

10

最適化アルゴリズムでは、 L^2 -norm $E(g_1, g_2, \dots, g_J)$ 等の費用関数が、各クラスタについて個別に最適化される。

【0031】

【数2】

$$E_p(g_1, g_2, \dots, g_J) = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M |\rho(\Delta_m, \varphi_0, \sigma_\varphi) - \tilde{\rho}(\Delta_m)|^2} \quad (1)$$

20

上記の式(1)において、 $(\Delta_m, \varphi_0, \sigma_\varphi)$ は理論的な空間相互相関である。また、

【数3】

$$\tilde{\rho}(\Delta_m)$$

は、OTAアンテナ・エレメントを用いて得られた空間相関である。ここでの目的は、アンテナ・エレメントの様々な考慮され得る重みGに関して上記の費用関数を最小化することにより、OTAアンテナ・エレメントの選択された位置に対する重みGを求めることである。このアルゴリズムは、アンテナ・エレメントに関して考慮され得る位置160~178からサブセット180を選択するための1つの方法である。この選択は、理論的な空間相互相関と、最適化における様々なサブセットのアンテナ・エレメントにより達成可能な実際の空間相関との間の誤差を最適化することによりなされる。最適化アルゴリズムは、必要とされるアンテナ・エレメントの数と、その数のアンテナ・エレメントに対して必要とされる適切な位置と、それぞれに対する適切な重みとを見つける。なお、固定されたアンテナ・エレメントの場合、アンテナ・エレメントの位置は予め定められる。代替例として、式(1)の最適化を、グラジエントを用いる方法や、半空間を用いる方法などにより行うこともできる。

30

40

【0032】

ラプラシアン形状のPASに対する理論的な相互相関関数 $(\Delta_m, \varphi_0, \sigma_\varphi)$ は、以下のように定義することができる。

【数4】

$$\rho(\Delta_m, \varphi_0, \sigma_\varphi) = \int \exp(-j2\pi\Delta_m \sin(\varphi_0 + \varphi)) \frac{1}{\sqrt{2}\sigma_\varphi} \exp\left(-\frac{\sqrt{2}|\varphi|}{\sigma_\varphi}\right) d\varphi \quad (2)$$

実際には、これは、斜切頭されたラプラシアンPAS (truncated Laplacian PAS) に

50

関して計算することや、離散近似により計算することもできる。OTAアンテナ・エレメントを用いて得られる空間相関は、以下のように定義することができる。

【数5】

$$\tilde{\rho}(\Delta_m, \theta_0) = \left(\sum_{i=1}^J g_{k_i} \right)^{-1} \sum_{k=1}^J g_{k_i} \exp(-j2\pi\Delta_m \sin\theta_{k_i}) \quad (3)$$

上記の式(3)において、項Jは、反復法におけるアンテナ・エレメントの数を表し、 g_k は、「 $g_k \in [0, 1]$ 」のように制限される。最適化は、J次元空間においてバイナリ・サーチを適用することにより、数的に行うことができる。なぜなら、式(1)は凸関数だからである。バイナリ・サーチを用いると、約「 $\log_2 L^J = J \cdot \log_2 L$ 」の反復(即ち、式(1)の計算)のみが必要である。なお、ここでは、Lは g_k の点の数である。

10

【0033】

式(1)は、式(2)及び(3)を適用し、グラジエントを用いる方法や半空間を用いる方法などのような数的な最適化の方法を使用することにより、計算される。

表記を簡素にするために、重みをベクトルG、位相の項の組をベクトル A_m 、理論的な相互相関をスカラー ρ_m として、以下のように表す。

【数6】

$$\mathbf{G} = (g_1, g_2, \dots, g_J), \quad (4)$$

20

$$\begin{aligned} \mathbf{A}_m &= (a_{m1}, a_{m2}, \dots, a_{mJ}) \\ &= (\exp(-j2\pi\Delta_m \sin\theta_1), \exp(-j2\pi\Delta_m \sin\theta_2), \dots, \exp(-j2\pi\Delta_m \sin\theta_J)) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\rho_m = \rho(\Delta_m, \varphi_0, \sigma_\varphi). \quad (6)$$

【0034】

Eは、グラジエントの0を解くことにより最小化できる。

【数7】

30

$$\nabla E_\rho(g_1, g_2, \dots, g_J) = \sum_{k=1}^J 2u_k \sum_{m=1}^M \left| \rho_m - \frac{\mathbf{G} \cdot \mathbf{A}}{\sum_{k=1}^J g_k} \left(\frac{a_{mk} \sum_{k=1}^J g_k - (\mathbf{G} \cdot \mathbf{A})J}{\sum_{k=1}^J g_k} \right) \right| = 0 \quad (7)$$

【0035】

上記の式(7)において、 u_k は第kの単位底ベクトルである。上記のグラジエントの式は、J個の式の組へと処理でき、それを重みに関して解くことができる。

【数8】

$$\begin{cases} \sum_{m=1}^M \left| \rho_m - \frac{\mathbf{G} \cdot \mathbf{A}}{\sum_{k=1}^J g_k} \left(\frac{a_{m1} \sum_{k=1}^J g_k - (\mathbf{G} \cdot \mathbf{A})J}{\sum_{k=1}^J g_k} \right) \right| = 0 \\ \vdots \\ \sum_{m=1}^M \left| \rho_m - \frac{\mathbf{G} \cdot \mathbf{A}}{\sum_{k=1}^J g_k} \left(\frac{a_{mJ} \sum_{k=1}^J g_k - (\mathbf{G} \cdot \mathbf{A})J}{\sum_{k=1}^J g_k} \right) \right| = 0 \end{cases} \quad (8)$$

40

式(8)は、式の分析的な組を表し、従って、グラジエントの式(7)を0にする。

【0036】

複数のクラスタがある場合、次に、最適化は、全ての他のクラスタに対して同様に行われる。全ての最適化された重みが求められた後に、重みを組み合わせることができ、重み

50

をベクトルとして加算することにより、DUT100の周りの全てのクラスタを表す組み合わせた重み $G_{t_{ot}}$ （合成重み $G_{t_{ot}}$ ）を形成することができる。合成重み $G_{t_{ot}}$ は、選択された位置の各アンテナ・エレメントに対する重み要素を有するベクトル又はマトリックスである。また、各クラスタに対して最適化を個別に行わず、個別の最適化動作を1つの最適化動作へと組み合わせて、クラスタの重みを個別に加算せずに重み $G_{t_{ot}}$ を得るようにすることも可能である。

【0037】

次に、合成重み $G_{t_{ot}}$ から最小値の重みが捜され、それが見つかる、その最小値の重みを有するアンテナ・エレメントの位置が、使用可能なアンテナ・エレメントの考慮され得る位置160～178から除かれる。これは、アンテナ・エレメントのJ個の全ての使用可能な位置が1個減らされることを意味し、これを「 $J = J - 1$ 」と表すことができる。一般には、アンテナ・エレメントの考慮され得る位置160～178から1個よりも多くの位置が除かれる。そのような場合、予め定めた数の最小値の重みが捜され、それに対応する数のアンテナ・エレメントの位置が、アンテナ・エレメントの考慮され得る位置160～178から除かれる。別の反復法においては、別の数のアンテナ・エレメントの位置と、それらの重みとが除かれる。

【0038】

次に、アンテナ・エレメントの位置の数を減らすこと、及び最小値の重みを有するアンテナ・エレメントの少なくとも1つの位置を除くことを伴っての合成重み $G_{t_{ot}}$ の計算を含む最適化アルゴリズムは、アンテナ・エレメントの全ての考慮され得る位置の数Jがエミュレータ150の出力ポートの数Kに到達するか又はそれより低下するまで、反復される。J < Kのとき、合成重み $G_{t_{ot}}$ の最終的な値が計算され、それらはエミュレータ150とDUT100との間の無線チャンネルをシミュレーションするために用いられる。

【0039】

アンテナ・エレメントの少なくとも1個の位置及びその重みを除去することは、必ずしも重みの値に基づくものではない。1つの実施形態では、費用関数「 $E(g_1, g_2, \dots, g_{j-1})$ 」における第2の反復における重み $G_{t_{ot}, j-2}$ の選択は、二次の費用関数「 $E(g_1, g_2, \dots, g_{j-1})$ 」の結果と一次の費用関数「 $E(g_1, g_2, \dots, g_j)$ 」の結果とを比較したときの費用関数の値における最小変化に基づくことができる。同様に、最適化における三次の費用関数の結果及び後の反復iの費用関数の結果を一次の費用関数「 $E(g_1, g_2, \dots, g_j)$ 」の結果と比較し、最小差をもたらす重み $G_{t_{ot}, j-i}$ を選択することができる。J < Kのとき、合成重み $G_{t_{ot}}$ の最終的な値が計算され、それらはエミュレータ150とDUT100との間のシミュレーション無線チャンネルを形成するために、選択された位置のアンテナ・エレメントに対して用いられる。

【0040】

更に別の使用可能なアルゴリズムは、シリアル・インターフェース・キャンセレーション(SIC)と類似の原理を用いる。そのアルゴリズムでは、上記のように最適化を行うが、最小値ではなく、各クラスタと関連する費用関数の重み G_k の最大値を選択して記憶する。次に、最大重みは、上記のように値を加算することにより組み合わせられる。次に、最適化の反復が、記憶される重みの数を増加させて行われる。アンテナ・エレメントの全ての使用可能な位置の数Jは1以上増加され、その重みは最高値をもたらす。更に、最大重み及びアンテナ・エレメントの位置の増加を記憶することを伴う最適化は、アンテナ・エレメントの全ての考慮され得る位置の数がエミュレータ150の出力ポートの数Kに最初に到達するか又はそれより多くなるまで、反復される。次に、アンテナ・エレメントJ個の位置が選択される。Jは、Kと同じ又はKより小さい。なぜなら、Kは、アンテナ・エレメントの物理的に可能な最大数であるからである。最後の反復が行われると、アンテナ・エレメントの除かれる位置の数とそれらの重みとに関しては、選択されるアンテナ・エレメントの数がKになるようにされる。最後に、合成重み $G_{t_{ot}}$ と、対応する位置のサブセット180とは、エミュレータ150とDUT100との間のシミュレーション無線チャンネルのために用いられる。これらの例では、1個のアンテナ・エレメントが1個の選択さ

10

20

30

40

50

れた位置に配されることを考慮している。

【 0 0 4 1 】

最適化アルゴリズムの目的は、DUT 100の周りのクワイエット・ゾーンのサイズを最大化することである。それを行うことにより、高い角度分解能を有する大きいDUTを支持することができる。

【 0 0 4 2 】

図6は、アンテナ・エレメントのパワー600を示す。また、図6における分布は、使用可能なそれぞれのアンテナ・エレメントの重みGを表すと考慮することができる。この分布は、アルゴリズムにおける最適化による、図5で表した空間相関関数の離散的な逆変換された形を表す。例えば、最小値が捜されてアルゴリズムにおいて取り除かれた場合、それは、矢印が付けられた - 60°又は + 60°の近くにある最小重みの少なくとも1つが、反復最適化アルゴリズムの新たな計算の前に最初に取り除かれることを意味する。

10

【 0 0 4 3 】

図7は、OTA試験チャンバの立体幾何学的な実施形態を表す。この例では、アンテナ・エレメント（矩形で示す）は、球の面に配され、DUT 100は球の中間に配されている（配されているかのように示している）。しかし、アンテナ・エレメントが配されている（配されているかのように示されている）面は、或る体積を囲み込む任意の面である。そのような面の例としては、立方体、楕円体、四面体の面などがある。

DUT 100の周りにアンテナ・エレメントを3次元的に配する場合、最適化も、1、2、又は3の直交する次元において行われる。立体的構成において結果を得るには、空間相関及び最適化について、3つの直交する方向の全ての成分を有する少なくとも3個の線に沿って計算が行われる。

20

【 0 0 4 4 】

図8は3つの線800~804を示し、これらに関して空間相関が計算される。線の長さは、試験スポットのクワイエット・ゾーンの直径に対応する。

平面幾何学的な実施形態と同様に、アンテナ・エレメント102~116が方位（アジマス）面及び仰角（高さ）面に取り付けられる立体幾何学的な実施形態では、複数の選択アルゴリズムがある。位置のサブセット180はランダムに選択することができるが、より現実的には決定論的プロセスを用いて選択する。

30

【 0 0 4 5 】

1つの実施形態では、重みGの最適化は以下の費用関数に基づくことができ、この費用関数は、式(1)で示す2次元の費用関数と似ている。

【 0 0 4 6 】

【数9】

$$E_p(g_1, g_2, \dots, g_J) = \sqrt{\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M W_{n,m} |\rho(\Delta_{n,m}, \varphi_n, \sigma_\varphi, \gamma_m, \sigma_\gamma) - \tilde{\rho}(\Delta_{n,m})|^2}, \quad (9)$$

上記の式(9)において、 $W_{n,m}$ は、重要度重み、即ち、アジマス方向(n)及び高さ方向(m)における費用関数の費用(コスト)であり、 $(\Delta_{n,m}, \varphi_n, \sigma_\varphi, \gamma_m, \sigma_\gamma)$ は、アンテナ・エレメントの2次元空間離隔 $\Delta_{n,m}$ での理論的な空間相互相関であり、 φ_n は、アジマス方向における公称到来角であり、 σ_φ は、アジマス方向における角の拡がり(angular spreads)であり、 γ_m は、高さ方向における公称到来角であり、 σ_γ は、高さ方向における角の拡がりである。また、

40

【数10】

$$\tilde{\rho}(\Delta_{n,m})$$

は、OTAアンテナ・エレメントを用いて得られる実際の空間相関である。式(9)の最適化は、図8に示す3個の直交する線のセグメントに対して行うことができる。

【 0 0 4 7 】

50

アンテナ・エレメントの位置のサブセット180は、2次元の実施形態と同様の様式で、最適化に基づいて、アンテナ・エレメント102~116の考慮される位置160~178から選択することができる。

【0048】

MIMOのOTAのチャンネル・モデルは、幾何学的にアンテナから独立している。立体的構成を考慮した場合、無線チャンネルのパラメータは、

- パワー (P)、遅延 ()、
 - アジマス方向の到来角 (A o A)、アジマス方向の到来角の角拡がり (A S A)、クラスタ (P A S) の形状、
 - アジマス方向の離脱角 (A o D)、アジマス方向の離脱角の角拡がり (A S D)、P A S の形状、
 - 高さ方向の到来角 (E o A)、高さ方向の到来角の角拡がり (E S A)、P A S の形状、
 - 高さ方向の離脱角 (E o D)、高さ方向の離脱角の角拡がり (E S D)、P A S の形状、
 - 相対偏りパワー率 (cross polarization power ratio) (X P R)
- 等となる。

10

これらのパラメータを最適化アルゴリズムで使用することができる。

【0049】

MIMOのOTAシステムにおける目標の1つは、制限された数のOTAアンテナを用いて任意のパワー角スペクトル (P A S) をモデル化することである。このモデル化は、様々なOTAアンテナから独立のフェージングする信号を送信することにより行われる (散乱が相関していないと想定)。これらのアンテナは、上記の例と同様のアンテナの特定のパワーの重み g_k を持つ。連続的 P A S は、方向 k で個別のOTAアンテナ・エレメントを用いて離散的な P A S によりモデル化することができる。

20

【0050】

OTAアンテナのパラメータは最適化により決定できる。OTAアンテナのパワーの重み及び位置の決定のための費用関数は、空間相関の最小二乗誤差である。

【数11】

$$E_p(\Theta, \mathbf{G}) = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{m=1}^M |\rho(P_\varphi, \Delta_m) - \tilde{\rho}(\Theta, \mathbf{G}, \Delta_m)|^2} \quad (10)$$

30

上記の式 (10) において、 $\varphi = \{ \varphi_k \}$ であり、 $\varphi_k \in [0, 2\pi]$ は、OTAアンテナ・エレメントの方向のベクトルであり、 $\mathbf{G} = \{ g_k \}$ であり、 $g_k \in [0, 1]$ は、OTAアンテナ・エレメントのパワーの重みのベクトルであり、 (P_φ, Δ_m) は、理論的な空間相関である。また、

【数12】

$$\tilde{\rho}(\Theta, \mathbf{G}, \Delta_m)$$

40

は、パラメータ Θ 及び \mathbf{G} を用いて得られたは空間相関であり、 P は、既知の形状 (例えば、ラプラシアン)、公称到来角 φ_0 、及び角拡がりの平方自乗平均 σ_φ^2 をもつパワー角スペクトルである。

OTAアンテナを用いて得られる空間相関

【数13】

$$\tilde{\rho}(\Theta, \mathbf{G}, \Delta_m)$$

は下記のように定義することができる。

50

【数 1 4】

$$\tilde{p}(\Theta, \mathbf{G}, \Delta_m) = \left(\sum_{k=1}^{K'} g_k \right)^{-1} \sum_{k=1}^{K'} g_k \exp(-j2\pi\Delta_m \sin\theta_k) \quad (11)$$

【 0 0 5 1】

最後に、O T A アンテナのパワーの重み及び位置が、費用関数における最小化により得られる。

【数 1 5】

$$\{\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_K; g_1, g_2, \dots, g_K\} = \arg \left(\min_{\substack{\Theta \in [0, 2\pi], \\ \mathbf{G} \in [0, 1]}} (E_p(\Theta, \mathbf{G})) \right) \quad (12)$$

10

費用関数の最適化は、例えば、シミュレートされたアニーリングの原理 (simulated annealing principle) と呼ばれる原理を適用することにより、数的に行うことができる。この原理は、ウィリアム・エッチ・プレス著の「Cにおける数値レシピ、科学的計算の技術」、第2版、ケンブリッジ・ユニバーシティ・プレス、1992年 (William H. Press, "Numerical Recipes in C - The Art of Scientific Computing," Cambridge University Press, second edition (1992)) に記載されている。

【 0 0 5 2】

O T A アンテナ・エレメントは固定位置にあることが多く、従って、方向 θ_k は固定されている。最適化の問題は、アンテナ・エレメントの最適のサブセットの選択と、最適なパワーの重みの決定とを減らすことである。可動のアンテナ・エレメントの場合、アンテナ・エレメントは、方向 θ_k に対応する位置へ動かされる。

20

【 0 0 5 3】

アプリケーションの出力は、K個の選択されたO T A アンテナのインデックス及び位置である。インデックスは、ベクトルの形態とすることができる。アンテナ・エレメントの数Kが16である選択されたアンテナ・エレメントを示すベクトルvの内容の一例は下記のようなものである。

$$v = [4 \ 7 \ 10 \ 15 \ 17 \ 19 \ 21 \ 22 \ 23 \ 24 \ 25 \ 27 \ 29 \ 32 \ 45 \ 48]$$

30

【 0 0 5 4】

この例では、アンテナ・エレメントの考慮され得る数Jは48である。K個の選択されたO T A アンテナ・エレメントの位置もまた、ベクトルの形態とすることができる。K = 16個の選択されたアンテナのベクトル v_{θ} の内容の一例は下記のようなものである。

$$V_{\theta} = [22.5 \ 45 \ 67.5 \ 105 \ 120 \ 135 \ 150 \ 157.5 \ 165 \ 172.5 \ 180 \ 195 \ 210 \ 232.5 \ 330 \ 352.5]$$

ベクトル v_{θ} はベクトルvに対応する。

【 0 0 5 5】

図9はコネクタを示す。コネクタ154は、選択されたアンテナ・エレメントとエミュレータ150の出力との間でのそれぞれの接続のためのスイッチ900を備える。スイッチ900は、エミュレータ150とサブセット180に置かれたアンテナ・エレメントとの接続を解除するために開かれるか、又は、エミュレータ150とサブセット180に置かれたアンテナ・エレメントとを接続するために閉じられる。スイッチの状態はセレクタ152により制御される。セレクタは、エミュレータ150により一度にシミュレートされた無線チャネルを入力可能なアンテナ・エレメントの数と等しい又はそれより少ない数の、アンテナ・エレメントに対するサブセット180の位置を選択する。同様に、セレクタは、エミュレータ150により一度にシミュレーション無線チャネルを受信可能なアンテナ・エレメントの数と等しい又はそれより少ない数の、アンテナ・エレメントに対するサブセット180の位置を選択する。

40

【 0 0 5 6】

50

セレクタ152及びコネクタ154はスイッチング・システムの一部であり、エミュレータ150と複数のアンテナ・エレメント102～116との間に配される。既に説明したように、セレクタ152は、エミュレータ150からのシミュレーテッド無線チャンネルに関するデータを受信し、そのデータに基づいて、アンテナ・エレメント102～116に対する複数の位置から接続のための位置のサブセット180を選択する。コネクタ154は、サブセット180に属するアンテナ・エレメントのサブグループとエミュレータ150とを接続し、シミュレーテッド無線チャンネルを物理的に実現する。サブグループ外の考慮され得るアンテナ・エレメントは、エミュレータ150との接続が解除されている。

【0057】

サブセット180が選択される各時点で、エミュレータ150における幾何学的無線チャンネル・モデルが、OTAアンテナ・エレメント102～116の位置のサブセット180へマッピングされる。これは、サブセット180に配される各アンテナ・エレメントがエミュレータ150から特定アンテナ・エレメント向けチャンネルを通じて信号を受信し、その信号を無線でDUT100へ送信することにより行われる。経路、即ち、マルチパス伝搬の遅延と関連する各信号成分は、同じ方向又は異なる方向からDUT100へ到来するので、エミュレータ150は、受信する信号を、各時点でチャンネル・モデルの無線経路に従って、サブセット180に属する位置に配された各アンテナ・エレメントへ分配する。無線チャンネル・モデルは、それぞれの特定アンテナ向け信号のパワー及び遅延を決定する。逆方向に送信される信号にも、対応する原理を適用する。

【0058】

簡素な実施形態では、1つの経路の信号は、サブグループの1個のアンテナ・エレメントのみからDUT100へ送信される。従って、経路を表すビーム120の方向は、経路の方向に最も近いサブグループのアンテナ・エレメントの角度 θ_k を用いて近似させることになる。

経路の角度とサブグループのアンテナ・エレメントの角度 θ_k との差が、エミュレート・システムの所定の閾値、例えば、 1° よりも大きい場合、ビームは、サブグループの少なくとも2個のアンテナ・エレメントを用いて送信される。

【0059】

1つの実施形態では、シミュレーションされた経路の信号のパワーは、アンテナの角度 θ_k と経路の方向の角度 θ に基づいて、サブグループの2個のアンテナ・エレメントの間で分けられる。

更に、雑音及び干渉が、シミュレーテッド無線チャンネルへ加えられる。また、アンテナ・エレメント102～116及びDUT100が、偏った放射を使用することをサポートする場合、偏り（分極）効果（polarization effects）も使用され得る。

【0060】

図10は、6個のビーム1000～1010を示す。1個のアンテナ・エレメントがクラスタの1個のビームを形成するために使用される場合、1つの重み g_i が1個のアンテナ・エレメントに対して与えられる。一般に、或る角度 θ で1つのビームを形成するために1個より多くのアンテナ・エレメントが使用される場合、重み g_i が下記の式

【数16】

$$g_i = \sum_{n=1}^N w_{n,i}$$

により決定される。この式において、 $w_{n,i}$ は、アンテナ・エレメント n,i の重みであり、 N は、1つのビーム i のために使用されるアンテナ・エレメントの数である。選択されたビーム方向は1個のアンテナ・エレメントの方向とは異なるので、このような場合、アンテナ・エレメントが1個より多くのサブエレメントを備えるか、又は少なくとも2個のアンテナ・エレメントが使用されるようにする。

【0061】

次に、2次元空間におけるOTAアンテナの選択の例について説明する。数値計算用の

10

20

30

40

50

コンピュータ・プログラムであるアプリケーションは、所与の無線チャネル・モデルに基づいて、O T A アンテナの所与のセットから、O T A アンテナ・エレメントの最適のサブセットを選択する。アプリケーションの出力は、K 個の選択された O T A アンテナ・エレメントのインデックス及び位置である。アプリケーションへの入力は、チャネル・モデルのパワー角スペクトル、J 個の元の O T A アンテナ・エレメントの位置、及び目標の静寂ゾーンのサイズである。O T A アンテナ・エレメントの目標数 K も入力とすることができる。空間特性により、アンテナ選択アルゴリズムにおける選択基準の基礎が形成されるので、分極 (polarization) 及び他の無線チャネル次元は無視される。

【 0 0 6 2 】

入力パラメータは、以下の例に示すようにファイルヘタイプ入力される。チャネル・モデル・パラメータは、チャネル・モデルにおけるクラスタ (タップ) の数 (例えば、6)、クラスタ (タップ) のパワー (例えば、dB で [0 -2.7 -1.3 -4.3 -6.0 -8.4])、クラスタの到来角 (例えば、度数で [0.7 146.1 -13.2 -30.5 -11.4 -1.1])、クラスタに関しての到来角の拡がりの平方自乗平均 (cluster-wise rms angular spread of arrival) (例えば、度数で、[35 35 35 35 35 35]) である。

【 0 0 6 3 】

O T A アンテナ・エレメントと関連するパラメータは、下記のようなものである。即ち、O T A アンテナ・エレメントの数 (例えば 4 8 であるが、一般に、O T A アンテナ・エレメントの数は特定の数に限定されない) と、O T A アンテナ・サイト (例えば、度数で [0 : 7 . 5 : 3 5 9]) であり、これは、アンテナ・エレメントの角度間隔が 7 . 5 ° であることを意味する) と、静寂ゾーンの最小サイズを定める、D U T アンテナ (静寂ゾーン) のサイズ (例えば、波長で 5) と、O T A アンテナ・エレメントの目標数と同じであるエミュレータ出力の数 (例えば、1 6) と、識別、即ち、ユーザの定めたチャネル・モデルの名前 (例えば、「 J = 4 8 , K = 1 6 , S C M E U r b a n m a c r o 」) とである。O T A アンテナのサイトは自由に選択できるが、ベクトルの長さは O T A アンテナ・エレメントの数と等しくする必要がある。これらのパラメータを表 1 に示す。

【表 1】

表 1 入力値および出力値の範囲

名前	説明
クラスタの番号	1 ~ 2 4
パワー	-無限大 ~ 0 d B
到来角	0 ~ 3 6 0 度
到来角の角拡がり	0 ~ 1 0 4 度
アンテナ・エレメントの数	1 ~ 4 8
アンテナ・サイト	任意の位置
静寂ゾーンのサイズ	0 ~ 無限大
出力	1 ~ アンテナ・エレメントの数
O T A パラメータ・ファイル名	任意の有効なストリング

【 0 0 6 4 】

図 1 1 は、O T A チャンバにおける、白の点及び黒の点で印付けした J 個 (この例では 4 8 個) のアンテナ・エレメントを示す。上記の最適化アルゴリズムを用いて、黒の点で印付けされた K 個 (この例では 1 6 個) のアンテナ・エレメントが選択されている。

図 1 2 は、別の例の、O T A チャンバにおける、白の点及び黒の点で印付けした J 個 (この例では 4 8 個) のアンテナ・エレメントを示す。上記の最適化アルゴリズムを用いて、図 1 1 とは異なる、黒の点で印付けされた別の K 個 (この例では 1 6 個) のアンテナ・エレメントが選択されている。

【 0 0 6 5 】

図 1 3 は、本発明の方法のフローチャートである。ステップ 1 3 0 0 において、シミュ

10

20

30

40

50

レーション無線チャンネルに基づいて、試験対象デバイスの周りの無線通信を用いた試験用のアンテナ・エレメントの複数の考慮され得る位置 160 ~ 178 から、アンテナ・エレメントの位置のサブセット 180 が選択される。ステップ 1302 において、サブセット 180 のアンテナ・エレメントのみと無線チャンネル・エミュレータとが接続されシミュレート無線チャンネルが物理的に実現される。

【0066】

エミュレータ 150 及び/又はセクタ 152 は、メモリと接続されたプロセッサを含む。プロセッサは中央処理装置であるが、別の演算処理装置でもよい。プロセッサは、コンピュータ・プロセッサ、ASIC (特定用途向け集積回路)、FPGA (フィールド・プログラマブル・ゲート・アレイ)、及び/又は実施形態における 1 以上の機能を行うようにプログラムされた他のハードウェア・コンポーネントとすることができる。

10

【0067】

メモリは、揮発性メモリ及び/又は不揮発性メモリであり、データを記憶する。例えば、メモリは、ソフトウェア・アプリケーションやオペレーティング・システムなどのようなコンピュータ・プログラム・コード、情報、データ、実施形態に従った装置の動作と関連するステップをプロセッサが行うためのコンテンツなどを含む。例えば、メモリは、RAM (ランダム・アクセス・メモリ) や、ハード・ドライブや、他の固定型データ・メモリや記憶デバイスとすることができる。更に、メモリ又はメモリの一部を、エミュレート・システムと取り外し可能に接続される、取り外し可能なメモリとすることができる。

20

【0068】

ここで説明した技術は様々な手段で実現できる。例えば、これらの技術は、ハードウェア、ファームウェア、ソフトウェア、又はそれらの組み合わせで実現できる。ファームウェアやソフトウェアに関しては、ここで説明した機能を行うモジュールを介して実施することもできる。ソフトウェア・コードは、プロセッサやコンピュータにより読取可能な任意の適切な 1 又は複数のデータ記録媒体やメモリ・ユニットや製造物に記憶することができ、1 又は複数のプロセッサやコンピュータにより実行することができる。データ記録媒体やメモリ・ユニットは、プロセッサやコンピュータの内部に実装することも外部に実装することもできる。データ記録媒体やメモリ・ユニットは、既知の様々な手段を介してプロセッサやコンピュータと通信可能に結合される。

30

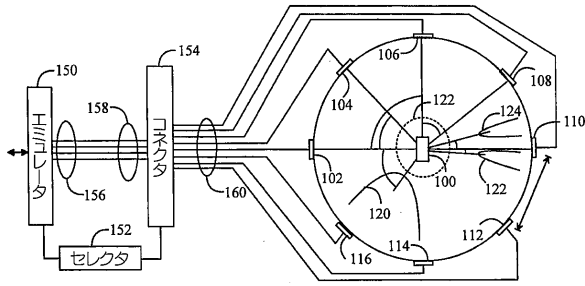
【0069】

実施形態は、3GPP (第3世代パートナーシップ・プロジェクト) LTE (ロング・ターム・エボリューション) や、WiMAX (ワールドワイド・インターオペラビリティ・フォー・マイクロウェーブ・アクセス) や、Wi-Fi や、WCDMA (ワイドバンド・コード・ディビジョン・マルチプル・アクセス) などにおいて適用できる。MIMO もまた、適用可能な分野である。

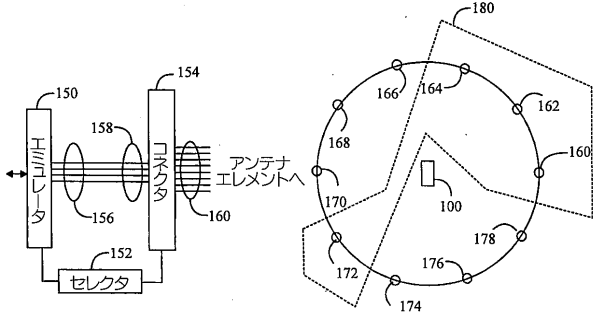
【0070】

技術が進歩するにつれて、本発明の原理を様々な方法で実施できることが、当業者には明らかである。本発明及びその実施形態は、ここで説明した例に限定されるものではなく、特許請求の範囲で定めた範囲内で様々なものとするすることができる。

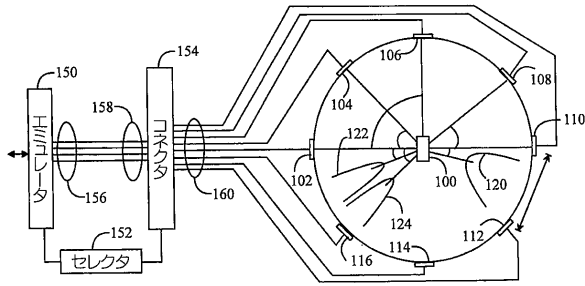
【図 1 A】



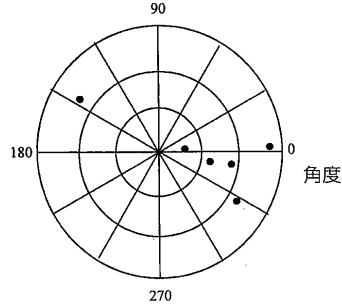
【図 2】



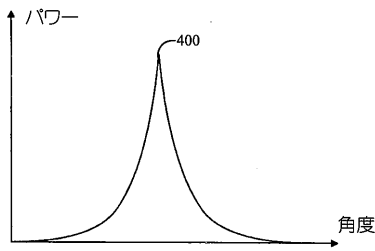
【図 1 B】



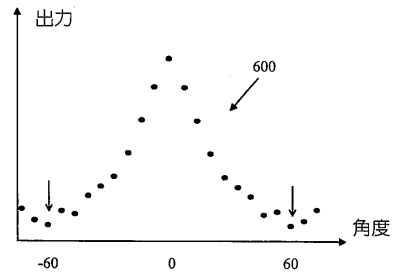
【図 3】



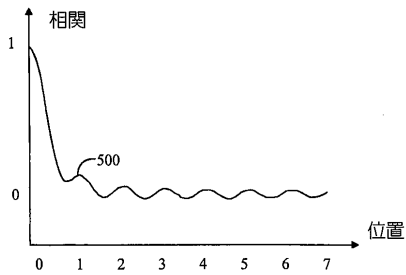
【図 4】



【図 6】



【図 5】



【図 7】

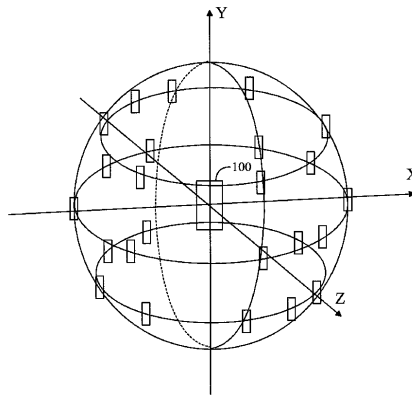


FIG. 7

【図 8】

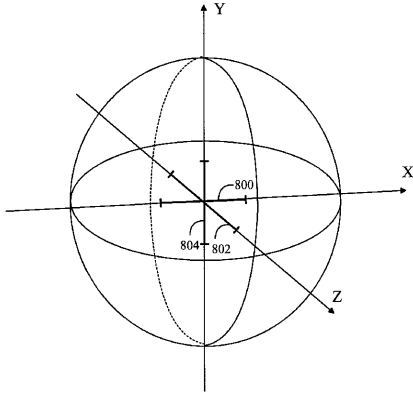
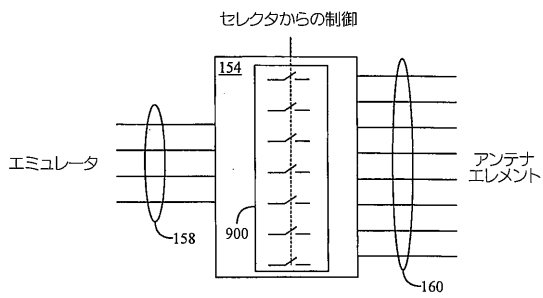


FIG. 8

【図 9】



【図 10】

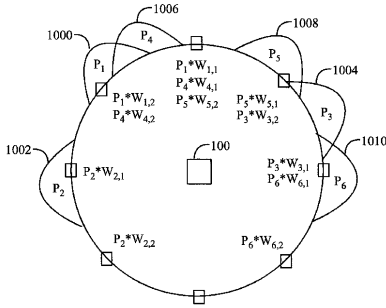


FIG. 10

【図 11】

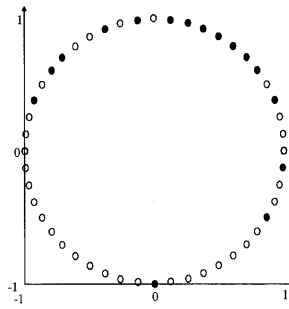


FIG. 11

【図 12】

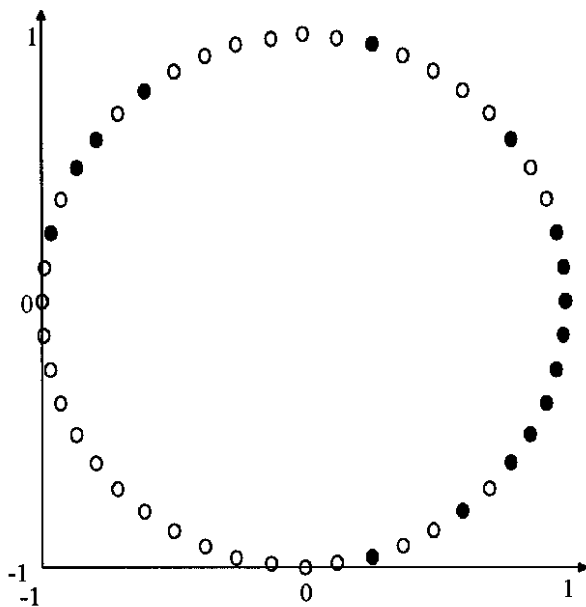
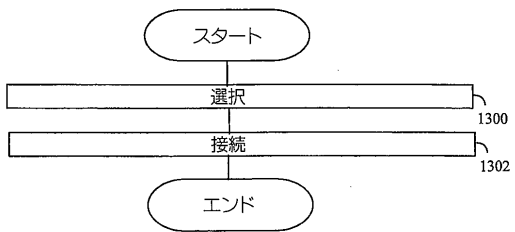


FIG. 12

【図 13】



フロントページの続き

- (72)発明者 キュヨスティ, ペッカ
フィンランド国 90590 オウル, ツトキヤンティエ 8 ケア・オブ・エレクトロビット・
システム・テスト・オサケユキテュア
- (72)発明者 ヌーティネン, ユッカ - ペッカ
フィンランド国 90590 オウル, ツトキヤンティエ 8 ケア・オブ・エレクトロビット・
システム・テスト・オサケユキテュア
- (72)発明者 マルム, ユハマッティ
フィンランド国 90590 オウル, ツトキヤンティエ 8 ケア・オブ・エレクトロビット・
システム・テスト・オサケユキテュア

審査官 石田 昌敏

- (56)参考文献 国際公開第2010/040889 (WO, A1)
特開2010-025787 (JP, A)
特開2005-354319 (JP, A)
国際公開第2010/040887 (WO, A1)
特開2011-087114 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04B 17/00 - 17/02
H04W 4/00 - 99/00
H04B 7/02 - 7/12