

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5288469号
(P5288469)

(45) 発行日 平成25年9月11日(2013.9.11)

(24) 登録日 平成25年6月14日(2013.6.14)

(51) Int.Cl.	F I		
HO4W 56/00	(2009.01)	HO4W 56/00	130
HO4W 74/08	(2009.01)	HO4W 74/08	
HO4W 16/28	(2009.01)	HO4W 16/28	
HO4W 16/14	(2009.01)	HO4W 16/14	
HO4B 1/40	(2006.01)	HO4B 1/40	

請求項の数 4 (全 24 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2009-40609 (P2009-40609)
 (22) 出願日 平成21年2月24日(2009.2.24)
 (65) 公開番号 特開2010-199804 (P2010-199804A)
 (43) 公開日 平成22年9月9日(2010.9.9)
 審査請求日 平成23年10月27日(2011.10.27)

(出願人による申告)平成20年度、支出負担行為担当
 官、総務省大臣官房会計課企画官、研究テーマ「同一周
 波数帯における複数無線システム間無線リソース制御技
 術の研究開発」に関する委託研究、産業技術力強化法第
 19条の適用を受ける特許出願

(73) 特許権者 393031586
 株式会社国際電気通信基礎技術研究所
 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
 (74) 代理人 100101454
 弁理士 山田 卓二
 (74) 代理人 100081422
 弁理士 田中 光雄
 (74) 代理人 100125874
 弁理士 川端 純市
 (72) 発明者 鄭 吉秀
 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
 (72) 発明者 矢野 一人
 京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2
 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無線ネットワークシステムとその制御方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の無線局を備えて構成され、制御信号の交換を行った後にデータ伝送を行う第1の無線通信システムと、

複数の無線局を備えて構成され、上記第1の無線通信システムと同一の周波数帯域を用いてかつ時間的に重畳してデータ伝送を行う第2の無線通信システムと備えた無線ネットワークシステムであって、

上記第2の無線通信システムの送信側無線局は、上記第1の無線通信システムの制御信号を受信し、当該受信した制御信号に基づいて上記第1の無線通信システムのデータ伝送のタイミングを予測し、当該予測したタイミングであって上記第1の無線通信システムのデータ伝送の開始と同時に、送信すべきデータを送信し、

上記第2の無線通信システムの受信側無線局は、上記第1の無線通信システムの制御信号を受信し、当該受信した制御信号に基づいて上記第1の無線通信システムのデータ伝送のタイミングを予測し、当該予測したタイミングで上記第2の無線通信システムの送信側無線局からのデータを受信し、

上記第2の無線通信システムの送信側無線局は、上記第1の無線通信システムの受信側無線局からの制御信号を受信したときに、上記受信した制御信号に基づいて、アダプティブ制御方法を用いて上記第1の無線通信システムの受信側無線局に対しヌルを形成するようにデータ送信の指向性パターンを制御し、

上記第2の無線通信システムの受信側無線局は、上記第1の無線通信システムの送信側

無線局からの制御信号を受信したときに、上記受信した制御信号に基づいて、アダプティブ制御方法を用いて上記第1の無線通信システムの送信側無線局に対しヌルを形成するようにデータ受信の指向性パターンを制御することを特徴とする無線ネットワークシステム

【請求項2】

上記第2の無線通信システムの送信側無線局は、上記第1の無線通信システムの送信側無線局からの制御信号を受信しかつ上記第2の無線通信システムの送信側無線局から送信するデータ長が上記第1の無線通信システムの送信側無線局からのデータ長よりも長いときに、上記受信した制御信号に基づいてアダプティブ制御方法を用いて上記第1の無線通信システムの送信側無線局に対しヌルを形成するようにデータ送信の指向性パターンを制御し、

10

上記第2の無線通信システムの受信側無線局は、上記第1の無線通信システムの受信側無線局からの制御信号を受信しかつ上記第2の無線通信システムの送信側無線局から送信するデータ長が上記第1の無線通信システムの送信側無線局からのデータ長よりも長いときに、上記受信した制御信号に基づいてアダプティブ制御方法を用いて上記第1の無線通信システムの受信側無線局に対しヌルを形成するようにデータ受信の指向性パターンを制御することを特徴とする請求項1記載の無線ネットワークシステム。

【請求項3】

複数の無線局を備えて構成され、制御信号の交換を行った後にデータ伝送を行う第1の無線通信システムと、

20

複数の無線局を備えて構成され、上記第1の無線通信システムと同一の周波数帯域を用いてかつ時間的に重畳してデータ伝送を行う第2の無線通信システムと備えた無線ネットワークシステムの制御方法であって、

上記第2の無線通信システムの送信側無線局は、上記第1の無線通信システムの制御信号を受信し、当該受信した制御信号に基づいて上記第1の無線通信システムのデータ伝送のタイミングを予測し、当該予測したタイミングであって上記第1の無線通信システムのデータ伝送の開始と同時に、送信すべきデータを送信し、

上記第2の無線通信システムの受信側無線局は、上記第1の無線通信システムの制御信号を受信し、当該受信した制御信号に基づいて上記第1の無線通信システムのデータ伝送のタイミングを予測し、当該予測したタイミングで上記第2の無線通信システムの送信側無線局からのデータを受信し、

30

上記第2の無線通信システムの送信側無線局は、上記第1の無線通信システムの受信側無線局からの制御信号を受信したときに、上記受信した制御信号に基づいて、アダプティブ制御方法を用いて上記第1の無線通信システムの受信側無線局に対しヌルを形成するようにデータ送信の指向性パターンを制御し、

上記第2の無線通信システムの受信側無線局は、上記第1の無線通信システムの送信側無線局からの制御信号を受信したときに、上記受信した制御信号に基づいて、アダプティブ制御方法を用いて上記第1の無線通信システムの送信側無線局に対しヌルを形成するようにデータ受信の指向性パターンを制御することを特徴とする無線ネットワークシステムの制御方法。

40

【請求項4】

上記第2の無線通信システムの送信側無線局は、上記第1の無線通信システムの送信側無線局からの制御信号を受信しかつ上記第2の無線通信システムの送信側無線局から送信するデータ長が上記第1の無線通信システムの送信側無線局からのデータ長よりも長いときに、上記受信した制御信号に基づいてアダプティブ制御方法を用いて上記第1の無線通信システムの送信側無線局に対しヌルを形成するようにデータ送信の指向性パターンを制御し、

上記第2の無線通信システムの受信側無線局は、上記第1の無線通信システムの受信側無線局からの制御信号を受信しかつ上記第2の無線通信システムの送信側無線局から送信するデータ長が上記第1の無線通信システムの送信側無線局からのデータ長よりも長いと

50

きに、上記受信した制御信号に基づいてアダプティブ制御方法を用いて上記第1の無線通信システムの受信側無線局に対しルを形成するようにデータ受信の指向性パターンを制御することを特徴とする請求項3記載の無線ネットワークシステムの制御方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、例えばRTS (Request to Send) / CTS (Clear to Send) / DATA / ACK (Acknowledgement) 信号を交換することにより無線通信を行う無線ローカル・エリア・ネットワーク(以下、ローカル・エリア・ネットワークをLANという。)システムと、それと同一のカバーエリアに設けられかつ無線LANシステムと同一の運用周波数を用いて無線通信を行う2次無線通信システム(以下、2次システムという。)とを備えた無線ネットワークシステムにおいて、2次システムの無線局での無線通信を可能にする無線ネットワークシステムとその制御方法に関する。

10

【背景技術】

【0002】

近年、無線通信に対する需要増加に伴い、深刻な周波数の逼迫状況が生じている。そのため、周波数資源利用効率の大幅な改善に向け、複数の無線システムが同一周波数帯域を共同利用する周波数共用技術の研究開発がなされてきた(例えば、非特許文献1参照)。これらの周波数共用技術は1次システムで未使用の時間・周波数を2次システムが利用する方法と、1次及び2次システムが同時に同一周波数を利用する方法に大別される。前者は、運用周波数帯域に対してスペクトラムセンシングを行い、使用されていない時間あるいは周波数帯において2次システムを運用する。このため、1次システムのネットワーク負荷が高い場合は運用周波数帯域が1次システムに占有され、2次システムは通信を行うことができない。一方、後者は2次システムが干渉対策を行い、同時に同一周波数で複数の通信を重畳する。非同期系システムでは所望信号の到来時刻が必ずしも予測できないため、受信機は一定レベル以上のRSSI (Received Signal Strength Indication: 受信信号強度表示) が観測されると同期処理を開始する。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2008-278450号公報。

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】S. Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.23, No.2, pp.201-220, February 2005.

【非特許文献2】A. Singh, et al., "Spatial reuse through adaptive interference cancellation in multi-antenna wireless networks", Proceedings of IEEE GLOBECOM 2005, pp.3092-3096, December 2005.

【非特許文献3】中尾優太ほか, 「階層型アレーアンテナの概念を用いたウェイト制御によるUWB-WPANの干渉回避技術に関する一検討」, Proceedings of SITA 2008, pp.293-298, October 2008.

40

【非特許文献4】長縄潤ほか, 「コグニティブ無線による重畳通信のためのチャネル情報が不要な変調方式」, 2008年電子情報通信学会ソサイエティ大会, B-17-9, 2008年2月。

【非特許文献5】IEEE Standard 802.11-2007, Part11:Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications, June 2007.

【非特許文献6】菊間信良, 「アダプティブアンテナ技術」, オーム社, 2003年10月。

【非特許文献7】LaI Chand Godara, "Smart Antenna", CRC Press LLC, January, 2004.

50

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

図3は従来技術に係る無線通信ネットワークにおいて2次システムの受信側無線局での同期捕捉の可能な例を示すタイミングチャートであり、図4は従来技術に係る無線通信ネットワークにおいて2次システムの受信側無線局での同期捕捉の不可能な例を示すタイミングチャートである。すなわち、図3及び図4にそれぞれ重畳伝送における2次システムの受信側で同期捕捉の可能な例と不可能な例を示す。図3においては、受信機は先行して到来する信号に対して同期処理を開始(t_0)するため、2次システムの信号が同期処理の時間窓(T_w)以内に到来すれば同期捕捉が可能である(図3)が、時間窓以降に到来すると同期捕捉が不可能になる(図4)。重畳伝送に関する研究例が例えば非特許文献2~4において開示されている。しかし、これらにおいては上記受信タイミング同期に関する問題が考慮されていない。

10

【0006】

非特許文献2は、RTS/CTS信号の交換を行って無線通信を行う無線LANシステムにおいて、RTS/CTS信号を無指向性で送信し、DATA/ACK信号の送信時には宛先端末に対して送信ビームフォーミングを行う方式を開示している。この方式では、先行通信のDATA伝送中に他の端末がRTS/CTS信号の交換を開始できるように、NAV(Network Allocation Vector:パケットの送信禁止期間をいう。)の長さをRTS/CTS信号のみを保護するように調整している。しかし、先行通信のDATA伝送中に次のRTS/CTS信号交換が開始された場合、先行通信からの被干渉が発生する。これにより、自局宛RTSの受信タイミング同期、ひいてはRTS信号の受信が失敗する恐れがある。

20

【0007】

非特許文献3では、ウルトラ・ワイドバンド・ワイヤレス・パーソナル・エリア・ネットワーク(Ultra-Wideband Wireless Personal Area Network(UWB WPAN))のコーディネータ装置が指向性アンテナを有し、信号帯域内に存在する無線LANシステムの送受信端末に対してヌルを形成することで被干渉及び与干渉を回避する方式が提案されている。PANコーディネータ装置は無線LANシステムのCTS/DATA信号の交換時に、無線LANシステムの送受信端末へヌルを形成するウエイトを計算し、求めたウエイトを利用して周囲の無線PAN端末に対して通信可能状態に遷移したことを知らせる制御信号を送信する。しかし、無線LANシステムからの被干渉が抑制されてないため、無線PANの端末はPANコーディネータ装置から送信された制御信号の受信タイミングを検出できない可能性がある。また、2次システムの送信端末が1次システムの送信信号を受信し、小電力な自身の情報信号を加えて再送信する手法が提案されている(例えば、非特許文献4参照。)

30

【0008】

1次システムの受信端末は1次システム送信端末と2次システムの送信端末から中継された信号を用いて復調を行う。2次システムの受信端末は1次システムからの干渉を除去した後に、所望信号の復調を行う。しかし、2次システムの信号は1次システムよりも十分に小さな電力にて送信されているため、精度の良い受信タイミング検出が行えない恐れがある。

40

【0009】

本発明の目的は以上の問題点を解決し、例えばRTS/CTS/DATA/ACK信号を交換することにより無線通信を行う無線LANシステムと、それと同一のカバーエリアに設けられかつ無線LANシステムと同一の運用周波数を用いて無線通信を行う2次システムとを備えた無線ネットワークシステムにおいて、タイミング同期の獲得を容易にでき、2次システムの無線局での無線通信を可能にする無線ネットワークシステムとその制御方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

50

【 0 0 1 0 】

第 1 の発明に係る無線ネットワークシステムは、
複数の無線局を備えて構成され、制御信号の交換を行った後にデータ伝送を行う第 1 の無線通信システムと、

複数の無線局を備えて構成され、上記第 1 の無線通信システムと同一の周波数帯域を用いてかつ時間的に重畳してデータ伝送を行う第 2 の無線通信システムと備えた無線ネットワークシステムであって、

上記第 2 の無線通信システムの送信側無線局は、上記第 1 の無線通信システムの制御信号を受信し、当該受信した制御信号に基づいて上記第 1 の無線通信システムのデータ伝送のタイミングを予測し、当該予測したタイミングであって上記第 1 の無線通信システムのデータ伝送の開始と同時に、送信すべきデータを送信し、

10

上記第 2 の無線通信システムの受信側無線局は、上記第 1 の無線通信システムの制御信号を受信し、当該受信した制御信号に基づいて上記第 1 の無線通信システムのデータ伝送のタイミングを予測し、当該予測したタイミングで上記第 2 の無線通信システムの送信側無線局からのデータを受信することを特徴とする。

【 0 0 1 1 】

上記無線ネットワークシステムにおいて、上記第 1 の無線通信システムは、R T S / C T S 信号である制御信号を用いて無線通信を行う無線 L A N システムであり、上記第 2 の無線通信システムの送信側無線局及び受信側無線局は、上記第 1 の無線通信システムからの C T S 信号を受信し、当該受信した C T S 信号に短フレーム間隔 (S I F S) を加算して上記第 1 の無線通信システムのデータ伝送のタイミングを予測することを特徴とする。

20

【 0 0 1 2 】

また、上記無線ネットワークシステムにおいて、上記第 2 の無線通信システムの送信側無線局は、上記第 1 の無線通信システムの受信側無線局からの制御信号を受信したときに、上記受信した制御信号に基づいて、アダプティブ制御方法を用いて上記第 1 の無線通信システムの受信側無線局に対しヌルを形成するようにデータ送信の指向性パターンを制御することを特徴とする。

【 0 0 1 3 】

さらに、上記無線ネットワークシステムにおいて、上記第 2 の無線通信システムの送信側無線局は、上記第 1 の無線通信システムの送信側無線局からの制御信号を受信しかつ上記第 2 の無線通信システムの送信側無線局から送信するデータ長が上記第 1 の無線通信システムの送信側無線局からのデータ長よりも長いときに、上記受信した制御信号に基づいてアダプティブ制御方法を用いて上記第 1 の無線通信システムの送信側無線局に対しヌルを形成するようにデータ送信の指向性パターンを制御することを特徴とする。

30

【 0 0 1 4 】

またさらに、上記無線ネットワークシステムにおいて、上記第 2 の無線通信システムの受信側無線局は、上記第 1 の無線通信システムの送信側無線局からの制御信号を受信したときに、上記受信した制御信号に基づいて、アダプティブ制御方法を用いて上記第 1 の無線通信システムの送信側無線局に対しヌルを形成するようにデータ受信の指向性パターンを制御することを特徴とする。

40

【 0 0 1 5 】

また、上記無線ネットワークシステムにおいて、上記第 2 の無線通信システムの受信側無線局は、上記第 1 の無線通信システムの受信側無線局からの制御信号を受信しかつ上記第 2 の無線通信システムの送信側無線局から送信するデータ長が上記第 1 の無線通信システムの送信側無線局からのデータ長よりも長いときに、上記受信した制御信号に基づいてアダプティブ制御方法を用いて上記第 1 の無線通信システムの受信側無線局に対しヌルを形成するようにデータ受信の指向性パターンを制御することを特徴とする。

【 0 0 1 6 】

さらに、上記無線ネットワークシステムにおいて、上記第 2 の無線通信システムの送信側無線局は、上記第 1 の無線通信システムからの制御信号を受信したときに、所定のアク

50

セス制御に従ってデータの送信開始の可否を決定することを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

第 2 の発明に係る無線ネットワークシステムの制御方法は、

複数の無線局を備えて構成され、制御信号の交換を行った後にデータ伝送を行う第 1 の無線通信システムと、

複数の無線局を備えて構成され、上記第 1 の無線通信システムと同一の周波数帯域を用いてかつ時間的に重畳してデータ伝送を行う第 2 の無線通信システムと備えた無線ネットワークシステムの制御方法であって、

上記第 2 の無線通信システムの送信側無線局は、上記第 1 の無線通信システムの制御信号を受信し、当該受信した制御信号に基づいて上記第 1 の無線通信システムのデータ伝送のタイミングを予測し、当該予測したタイミングであって上記第 1 の無線通信システムのデータ伝送の開始と同時に、送信すべきデータを送信し、

10

上記第 2 の無線通信システムの受信側無線局は、上記第 1 の無線通信システムの制御信号を受信し、当該受信した制御信号に基づいて上記第 1 の無線通信システムのデータ伝送のタイミングを予測し、当該予測したタイミングで上記第 2 の無線通信システムの送信側無線局からのデータを受信することを特徴とする。

【 0 0 1 8 】

上記無線ネットワークシステムの制御方法において、上記第 1 の無線通信システムは、R T S / C T S 信号である制御信号を用いて無線通信を行う無線 L A N システムであり、上記第 2 の無線通信システムの送信側無線局及び受信側無線局は、上記第 1 の無線通信システムからの C T S 信号を受信し、当該受信した C T S 信号に短フレーム間隔 (S I F S) を加算して上記第 1 の無線通信システムのデータ伝送のタイミングを予測することを特徴とする。

20

【 0 0 1 9 】

また、上記無線ネットワークシステムの制御方法において、上記第 2 の無線通信システムの送信側無線局は、上記第 1 の無線通信システムの受信側無線局からの制御信号を受信したときに、上記受信した制御信号に基づいて、アダプティブ制御方法を用いて上記第 1 の無線通信システムの受信側無線局に対しヌルを形成するようにデータ送信の指向性パターンを制御することを特徴とする。

【 0 0 2 0 】

30

さらに、上記無線ネットワークシステムの制御方法において、上記第 2 の無線通信システムの送信側無線局は、上記第 1 の無線通信システムの送信側無線局からの制御信号を受信しかつ上記第 2 の無線通信システムの送信側無線局から送信するデータ長が上記第 1 の無線通信システムの送信側無線局からのデータ長よりも長いときに、上記受信した制御信号に基づいてアダプティブ制御方法を用いて上記第 1 の無線通信システムの送信側無線局に対しヌルを形成するようにデータ送信の指向性パターンを制御することを特徴とする。

【 0 0 2 1 】

またさらに、上記無線ネットワークシステムの制御方法において、上記第 2 の無線通信システムの受信側無線局は、上記第 1 の無線通信システムの送信側無線局からの制御信号を受信したときに、上記受信した制御信号に基づいて、アダプティブ制御方法を用いて上記第 1 の無線通信システムの送信側無線局に対しヌルを形成するようにデータ受信の指向性パターンを制御することを特徴とする。

40

【 0 0 2 2 】

また、上記無線ネットワークシステムの制御方法において、上記第 2 の無線通信システムの受信側無線局は、上記第 1 の無線通信システムの受信側無線局からの制御信号を受信しかつ上記第 2 の無線通信システムの送信側無線局から送信するデータ長が上記第 1 の無線通信システムの送信側無線局からのデータ長よりも長いときに、上記受信した制御信号に基づいてアダプティブ制御方法を用いて上記第 1 の無線通信システムの受信側無線局に対しヌルを形成するようにデータ受信の指向性パターンを制御することを特徴とする。

【 0 0 2 3 】

50

さらに、上記無線ネットワークシステムにおいて、上記第2の無線通信システムの送信側無線局は、上記第1の無線通信システムからの制御信号を受信したときに、所定のアクセス制御に従ってデータの送信開始の可否を決定することを特徴とする。

【発明の効果】

【0024】

本発明に係る無線ネットワークシステムとその制御方法によれば、従来技術に比較してタイミング同期の獲得を容易にでき、第2の無線通信システムの無線局での無線通信を可能にすることができる。特に、以下の特有の作用効果を有する。

(1) 第2の無線通信システムの受信側無線局における受信タイミング同期を容易に実現することができる。すなわち、第2の無線通信システムは第1の無線通信システムのフレーム伝送を観測してデータ送信開始タイミングを予測し、第2の無線通信システムのデータ送信開始タイミングを合わせることで第2の無線通信システムの受信側無線局において所望信号の到来タイミングを予測可能となる。

10

(2) また、第2の無線通信システムの送信側無線局が第1の無線通信システムの事前通信を観測することで第1と第2の無線通信システム間の伝搬路状況の推定が可能になるため、その推定した伝搬路情報を用いて空間的に与干渉を抑圧する。すなわち、第2の無線通信システムの送信側無線局での処理は事前通信の観測 伝搬路状況推定 与干渉抑圧の順になる。

(3) さらに、第2の無線通信システムの受信側無線局が第1の無線通信システムの事前通信を観測することで第1と第2の無線通信システム間の伝搬路状況の推定が可能になるため、その推定した伝搬路情報を用いて空間的に被干渉を抑圧する。すなわち、第2の無線通信システムの受信側無線局での処理は事前通信の観測 伝搬路状況推定 被干渉抑圧の順になる。

20

(4) またさらに、第2の無線通信システムにおけるアクセス制御において、第2の無線通信システムの重畳伝送が可能となる条件を満たした状態をアクセス制御の最小単位とすることで、第2の無線通信システム内でのアクセス制御を可能にする。

【図面の簡単な説明】

【0025】

【図1】本発明の実施形態に係る無線通信ネットワークの構成を示すブロック図である。

【図2】図1の各無線局2-1, 2-2の構成を示すブロック図である。

30

【図3】従来技術に係る無線通信ネットワークにおいて2次システムの受信側無線局での同期捕捉の可能な例を示すタイミングチャートである。

【図4】従来技術に係る無線通信ネットワークにおいて2次システムの受信側無線局での同期捕捉の不可能な例を示すタイミングチャートである。

【図5】図1の無線通信ネットワークにおいて無線LANシステム101と2次システム102のフレーム交換フローを示すタイミングチャートである。

【図6】図1の2次システム102における送信側無線局2及び受信側無線局2の通信処理の第1の部分を示すフローチャートである。

【図7】図1の2次システム102における送信側無線局2及び受信側無線局2の通信処理の第2の部分を示すフローチャートである。

40

【図8】本実施形態に係る相互同期によるタイミング同期処理を示すタイミングチャートである。

【図9】図2の受信側無線局2の受信指向性制御回路14の構成を示すブロック図である。

【図10】図2の受信側無線局2の送信指向性制御回路18の構成を示すブロック図である。

【図11】図1の無線通信ネットワークにおける各無線局の配置と直接波到来角のモデルを示す平面図である。

【図12】実施形態の無線通信ネットワークを用いて行うシミュレーションにおける遅延プロファイルを示す図である。

50

【図13】実施形態の無線通信ネットワークを用いて行うシミュレーションの結果であって、無線LANシステム101の受信側無線局1-2と、2次システム102の受信側無線局2-2における信号対雑音電力比(SNR)及び信号対干渉電力比(SIR)を示す表である。

【図14】実施形態の無線通信ネットワークを用いて行うシミュレーションの結果であって、アンテナ素子数 $M = 2$ のときの送信電力比に対するフレーム誤り率FERを示すグラフである。

【図15】実施形態の無線通信ネットワークを用いて行うシミュレーションの結果であって、アンテナ素子数 $M = 3$ のときの送信電力比に対するフレーム誤り率FERを示すグラフである。

10

【図16】実施形態の無線通信ネットワークを用いて行うシミュレーションの結果であって、アンテナ素子数 $M = 4$ のときの送信電力比に対するフレーム誤り率FERを示すグラフである。

【符号の説明】

【0026】

1, 1-1, 1-2, 1-3, 2, 2-1, 2-2 ... 無線局、

1a ... アンテナ素子、

10-0 ~ 10-(M-1) ... アンテナ素子、

11-0 ~ 11-(M-1) ... スイッチ、

12-0 ~ 12-(M-1) ... 低雑音増幅器、

20

13-0 ~ 13-(M-1) ... 電力増幅器、

14 ... 受信指向性制御回路、

15 ... 無線受信回路、

16 ... 信号処理回路、

17 ... 無線送信回路、

18 ... 送信指向性制御回路、

20 ... コントローラ、

21-0-1 ~ 21-(M-1)-(Lp-1) ... 遅延回路、

22-0-0 ~ 22-(M-1)-(Lp-1) ... 乗算器、

23-0-1 ~ 23-(M-1)-(Lp-1) ... 加算器、

30

24 ... 加算器、

25 ... 分配器、

26-0-1 ~ 26-(M-1)-(Lp-1) ... 遅延回路、

27-0-0 ~ 27-(M-1)-(Lp-1) ... 乗算器、

28-0-1 ~ 28-(M-1)-(Lp-1) ... 加算器、

100 ... 相互の電波が届くカバーエリア、

101 ... 無線LANシステム、

102 ... 2次システム、

200 ... アレーアンテナ。

【発明を実施するための形態】

40

【0027】

以下、本発明に係る実施形態について図面を参照して説明する。なお、以下の各実施形態において、同様の構成要素については同一の符号を付している。

【0028】

図1は本発明の実施形態に係る無線通信ネットワークの構成を示すブロック図であり、図2は図1の各無線局2-1, 2-2の構成を示すブロック図である。

【0029】

本発明に係る実施形態においては、上述の従来技術の問題点を解決するために、2次システムの受信タイミング同期問題を解決する重畳伝送方式について検討を行う。具体的には、図1に示すように、それぞれ例えば単一のアンテナ素子1aを有する複数の無線局1

50

- 1 ~ 1 - 3 (総称して、符号 1 を付す。)を含む無線 LAN システム 1 0 1 を 1 次システムとし、当該無線 LAN システム 1 0 1 と相互の電波が届くカバーエリア 1 0 0 内に位置しかつ例えば指向性を変化させることができるアレーアンテナ 2 0 0 (複数 M 個のアンテナ素子 1 0 - 1 ~ 1 0 - (M - 1) から構成される)を有する複数の無線局 2 - 1 ~ 2 - 2 (総称して、符号 2 を付す。)を含み、無線 LAN システム 1 0 1 の運用周波数帯域(すなわち、同一の運用周波数を用いる)を 2 次的に利用する新規な 2 次システム 1 0 2 を提案する。提案する無線通信ネットワークでは、IEEE 8 0 2 . 1 1 のプロトコルを考慮して 2 次システム 1 0 2 側の送信タイミングを決定し、2 次システム 1 0 2 の受信機におけるタイミング同期の獲得を容易にすることを特徴としている。また、RTS / CTS 信号の交換時に被干渉・与干渉を抑制するアダプティブアレーのウエイトを計算し、DATA 伝送時に送受信ビームを形成することでタイミング同期制度の改善、並びに重畳通信を実現することを特徴としている。

10

【 0 0 3 0 】

図 2 において、2 次システム 1 0 2 の各無線局 2 は、以下の構成要素を備えて構成される。

(1) 複数 M 個のアンテナ素子 1 0 - 0 ~ 1 0 - (M - 1) からなるアレーアンテナ 2 0 0 (例えば、アレーアンテナ 2 0 0 に代えて、例えばエスパアンテナなどの可変指向性アンテナを備えてもよい。) ;

(2) コントローラ 2 0 により制御される送受信切り替えスイッチ 1 1 - 0 ~ 1 1 - (M - 1) ;

20

(3) 低雑音増幅器 1 2 - 0 ~ 1 2 - (M - 1) ;

(4) 電力増幅器 1 3 - 0 ~ 1 3 - (M - 1) ;

(5) コントローラ 2 0 により制御され、受信信号の受信時においてアレーアンテナ 2 0 0 の指向性パターンを制御する受信指向性制御回路 1 4 ;

(6) ダウンコンバータ及び復調器などを含む無線受信回路 1 5 ;

(7) 無線 LAN モードにおいて RTS / CTS / DATA_w / ACK 信号を生成し、これらの信号を検出するとともに(なお、2 次システムモードにおいてもこれらの信号の検出機能を有する。)、2 次システムモードにおいて図 6 及び図 7 の通信処理を実行するために DATA_s 信号を生成し当該信号を検出する信号処理回路 1 6 ;

(8) 変調器及びアップコンバータなどを含む無線送信回路 1 7 ;

30

(9) コントローラ 2 0 により制御され、送信信号の送信時においてアレーアンテナ 2 0 0 の指向性パターンを制御する送信指向性制御回路 1 8 ; 及び

(1 0) 図 6 及び図 7 の通信処理を実行することにより無線局 2 の各構成要素を制御するコントローラ 2 0 。

【 0 0 3 1 】

なお、無線 LAN システム 1 0 1 の各無線局 1 は無線局 2 と同様の構成を有し、もしくは、アレーアンテナ 2 0 0 を有さず、単一のアンテナ素子 1 a のみを有してもよい。この場合、受信指向性制御回路 1 4 及び送信指向性制御回路 1 8 を備えない。また、無線局 1 の信号処理回路 1 6 は RTS / CTS / DATA_w / ACK 信号を生成し、これらの信号を検出する機能のみを有してもよい。

40

【 0 0 3 2 】

図 2 の無線局 2 において、信号処理回路 1 6 により生成された信号は無線送信回路 1 7 において変調されかつアップコンバートされた後、送信指向性制御回路 1 8、電力増幅器 1 3 - 0 ~ 1 3 - (M - 1)、送受信切り替えスイッチ 1 1 - 0 ~ 1 1 - (M - 1) の接点 b 側及びアンテナ素子 1 0 - 0 ~ 1 0 - (M - 1) を介して相手先の無線局に送信される。一方、アンテナ素子 1 0 - 0 ~ 1 0 - (M - 1) により受信された受信信号は、送受信切り替えスイッチ 1 1 - 0 ~ 1 1 - (M - 1) の接点 a 側、低雑音増幅器 1 2 - 0 ~ 1 2 - (M - 1) 及び受信指向性制御回路 1 4 を介して無線受信回路 1 5 に入力され、当該受信信号がダウンコンバート及び復調された後、その復調信号が信号処理回路 1 6 に入力されて所定の信号処理が行われる。

50

【 0 0 3 3 】

次いで、無線LANシステム101に対して重畳伝送を行う2次システム102においてタイミング同期を容易に実現する方法及び運用手順について説明する。

【 0 0 3 4 】

2次システム102の通信開始にあたり、1次システムの無線LANシステム101のバックオフ処理の進行を阻害することによる送信機会の減少を避けること、そして与干渉の影響を十分に少なくすることが重要である。そこで、本実施形態に係る2次システム102では無線LANシステム101のRTS/CTS信号の交換時にはデータ伝送を控え、無線LANシステム101のDATA信号のフレーム伝送に対して自らのフレーム伝送を重畳する。その際、アダプティブアレーのウエイト制御により空間軸上で信号を分離し、与干渉並びに被干渉の抑圧を行うことを特徴としている。

10

【 0 0 3 5 】

図5は図1の無線通信ネットワークにおいて無線LANシステム101と2次システム102のフレーム交換フローを示すタイミングチャートである。また、図6及び図7は、図1の2次システム102における送信側無線局2及び受信側無線局2の通信処理（通信手順）を示すフローチャートである。ここで、無線LANシステム101における送信側無線局1-1と受信側無線局1-2はそれぞれDATA_wフレームを送信と受信する端末を表す。また、DATA_wフレームは無線LANシステム101の送信側無線局1-1から送信されるDATAフレームであり、DATA_sフレームは2次システム102の送信側無線局2-1から送信されるDATAフレームである。さらに、NAV(RTS)はRTS信号のDuration/IDフィールド内の使用予定期間に基づく衝突防止用パケット送信禁止期間であり、NAV(CTS)はCTS信号のDurationフィールド内の使用予定期間に基づく衝突防止用パケット送信禁止期間である。また、SIFS(Short Inter Frame Space)は、IEEE 802.11において規定されているCSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)方式を用いた無線チャネルアクセス制御で用いる短フレーム間隔である。なお、図5～図7の通信処理において、説明の便宜上、無線局に符号を付しているが、各無線局は送信側にも受信側にもなることは可能である。

20

【 0 0 3 6 】

図6において、本実施形態に係る2次システム102の送信側無線局2-1では、送信要求に応じてRSSIの測定を開始する(S1)。RSSI測定時間T_{cs}内にキャリアセンスしきい値P_{th}を超える信号レベルの検出がない場合は(S2でNOかつS3でYES)、対象帯域を空き帯域と見なしDATA_sフレーム送信を開始する(S4)。一方、RSSI測定値がしきい値P_{th}を超えた場合は(S2でYES)信号受信処理を開始する(S5)。

30

【 0 0 3 7 】

受信信号がRTSフレームの場合は(S6でYES)無線LANシステム101の送信側無線局1-1に対しヌル(指向性パターンにおける最小値をいい、以下同様である。)を形成するウエイトの計算及びCTS/DATA_w/ACKフレームの送信開始・終了タイミングの予測を行う(S8;図6のフェーズA)。また、受信信号がCTSフレームの場合は(S7でYESかつS9でYES)無線LANシステム101の受信側無線局1-2に対しヌルを形成するウエイトの計算及びDATA_w/ACKフレームの送信開始・終了タイミングの予測を行う(S10;図6のフェーズB)。受信信号が無線LANシステム101のRTS/CTSフレームではない場合は(S6でNOかつS7でNO)RSSI測定を再開する(S1)。CTSフレーム受信に成功した場合は(S9でYES)、図7のステップS11に進み、ランダムバックオフなどのアクセス制御に従ってDATA_sフレーム送信開始の可否を決定する。DATA_sフレームの送信が開始可能な場合(S11でYES)、無線LANシステム101の受信側無線局1-2に対しヌルを形成し(S12)DATA_sフレームの送信を開始する(S13;図7のフェーズC)。送信ビーム形成に関しては詳細後述する。一方、CTSフレーム受信に失敗、あるいはアクセス制御

40

50

により送信を行わない場合は (S 1 1 で N O) R S S I 測定を再開する (S 1)。

【 0 0 3 8 】

送信 D A T A _S フレーム長は予測 D A T A _W フレーム長を超えない範囲で設定する。ただし、R T S フレーム受信に成功した場合は無線 L A N システム 1 0 1 の送信側無線局 1 - 1 に対しヌル形成が可能であるため、A C K フレーム伝送時にも与干渉を回避できる。すなわち、D A T A _W フレーム長を超える D A T A _S フレームの送信が可能となる。そこで、必要に応じて A C K フレームの予測終了タイミングを超えない範囲で D A T A _S フレーム長を設定する。この場合は (S 1 4 で Y E S) D A T A _W フレームの予測終了タイミングに合わせて無線 L A N システム 1 0 1 の受信側無線局 1 - 2 に対しヌルを形成するウエイトに切り替える (S 1 5 ; 図 7 のフェーズ D)。D A T A _S フレームの送信 (S 4) 終了後は R S S I 測定を再開する (S 1)。

10

【 0 0 3 9 】

図 6 において、2 次システム 1 0 2 の受信側無線局 2 - 2 では、継続的に R S S I 測定を行い (S 2 1)、しきい値 P t h を超える信号レベルが検出された場合は (S 2 2 で Y E S) 信号受信処理を開始する (S 2 3)。受信信号が R T S フレームの場合は (S 2 4 で Y E S) 無線 L A N システム 1 0 1 の送信側無線局 1 - 1 に対しヌルを形成するウエイトの計算及び C T S / D A T A _W / A C K フレームの送信開始・終了タイミングの予測を行う (S 2 7 ; 図 6 のフェーズ A)。受信信号が C T S フレームの場合は (S 2 5 で Y E S かつ S 2 8 で Y E S) 無線 L A N システム 1 0 1 の受信側無線局 1 - 2 に対しヌルを形成するウエイトの計算及び D A T A _W / A C K フレームの送信開始・終了タイミングの予測を行う (S 2 9 ; 図 6 のフェーズ B)。そして、図 7 のステップ S 3 1 に進む。

20

【 0 0 4 0 】

一方、受信信号が D A T A _S フレームの場合は (図 6 の S 2 6 で Y E S) 受信タイミング同期処理後 (図 7 の S 3 3)、受信ビームを形成し受信を開始する (S 3 4 ; 図 7 のフェーズ C)。受信ビーム形成に関しては詳細後述する。ここで、R T S フレーム受信に成功した場合は (S 3 1 で Y E S) 無線 L A N システム 1 0 1 の送信側無線局 1 - 1 に対しヌルを形成し、被干渉を抑制した上で受信タイミング同期処理を行う (S 3 3)。これにより同期捕捉性能の向上が期待できる。なお、D A T A _W フレーム長を超える D A T A _S フレームを受信に際し (S 3 5 で Y E S)、事前に C T S フレーム受信に成功している場合は (S 3 6 で Y E S)、予測した D A T A _W フレームの終了タイミングに合わせて無線 L A N システム 1 0 1 の受信側無線局 1 - 2 に対しヌルを形成するウエイトに切り替える (S 3 7)。次に所望信号に対し受信ビーム更新を行い、D A T A _S フレーム受信を再開する (S 3 8 ; 図 7 のフェーズ D)。当該 D A T A _S フレームの受信終了後、R S S I 測定を再開する (S 2 1)。

30

【 0 0 4 1 】

次いで、本実施形態に係るタイミング同期の方法について以下に説明する。

【 0 0 4 2 】

I E E E 8 0 2 . 1 1 の無線 L A N フレームの D u r a t i o n / I D フィールドには無線チャネルの占有時間が記載されている (例えば、非特許文献 5 参照。)。本実施形態に係る 2 次システム 1 0 2 の送受信無線局 2 - 1 , 2 - 2 は、無線 L A N システム 1 0 1 の R T S / C T S 信号を検出し、D u r a t i o n / I D フィールドを復調することで D A T A _W フレームのおおよその送信タイミングとその終了タイミングを獲得する。また、C T S と D A T A _W フレームはそれぞれ R T S と C T S フレームの送信終了後、短フレーム間隔 S I F S (Short Inter Frame Space) その送信が開始されると定められているため (例えば、非特許文献 5 参照。)、これらのタイミングを予測することが可能である。

40

【 0 0 4 3 】

本実施形態に係る方法では、自身の D A T A _S フレームを無線 L A N システム 1 0 1 の D A T A _W フレームの予測送信タイミングに合わせて送信する。2 次システム 1 0 2 の受信側無線局 2 - 1 では伝搬遅延や送信タイミング誤差を考慮し、予測送信タイミングのマージン期間を含むように、受信信号の到来タイミング検出のための時間窓を設定し、当該

50

時間窓の間に既知の参照プリアンブルをシフトしながら受信されるプリアンブルとの相互相関値を計算することで行うタイミング同期処理を開始する。なお、2次システム102のDATA_sフレーム送信タイミングを無線LANシステム101のDATA_wフレーム予測送信タイミングに合わせることで、2次システム102におけるDATA_sフレームの伝送時間を最大限に確保することが可能である。すなわち、無線LANシステム101と2次システム102の両方ともフレームの先頭にプリアンブルをもっている。2次システム102の無線局2は無線LANシステム101と2次システム102のプリアンブル両方とも既知である。RTS/CTSフレーム受信時は、無線LANシステム101のプリアンブルを用いてタイミング同期を行う。また、DATA_sフレーム(2次システム102自身のデータ)を受信する時はDATA_sフレームの先頭に配置された既知のプリアンブルでタイミング同期処理を行う。2次システム102の送信側無線局2-1で1次システムのDATA_wフレームの送信開始タイミングにあわせてDATA_sフレームを送信しているので、2次システム102の受信側無線局2-2ではDATA_sフレームの到来タイミングが予測でき、DATA_sフレームに対し同期処理を行えばよい。

10

【0044】

図8は本実施形態に係る相互同期によるタイミング同期処理を示すタイミングチャートであり、すなわち、想定するタイミング同期処理を示す。図中の t_s は送信タイミング誤差を考慮した同期点探索開始タイミング、 T_w は伝搬遅延を考慮した時間窓の幅を表す。タイミング同期は、2次システム102の無線局2から送信されることが予め既知であるデータパターンである参照信号(プリアンブル)と、実際に無線局2から受信される受信信号(プリアンブル)との相互相関値を計算し、当該相互相関値のピーク値検出によりタイミング同期点及び遅延波到来タイミングの推定を行う。

20

【0045】

さらに、与干渉抑圧及び被干渉抑圧について以下に説明する。

【0046】

2次システム102の送受信無線局2-1, 2-2では、RTS/CTSフレーム受信時に無線LANシステム101の送受信無線局1-1, 1-2との間の伝搬路応答を推定し、推定伝搬路応答に対してヌル拘束付きのウエイトを求め、そして、DATA_sフレームの送受信時にそれぞれのウエイトを適用して与干渉及び被干渉の抑圧を行う。以下、具体的手法を説明する。

30

【0047】

送信ウエイト及び受信ウエイトの生成について以下に説明する。2次システム102の送信側無線局2-1では、広帯域伝送においてアレーの自由度を超える遅延波を抑圧するため、タップ付遅延線型アダプティブアレー(TDL-AAA: Tapped Delay Line Adaptive Array Antenna; 以下、TDL-AAAという。)を用いる(例えば、非特許文献7参照)。RTS/CTS信号フレーム受信時に、無線LANシステム101の送受信無線局1-1, 1-2との間の伝搬路応答を推定し、推定伝搬路応答に対してヌル拘束付きのウエイトを求め、DATA_sフレームの送信時には本ウエイトに基づく送信TDL-AAAにより無線LANシステム101への与干渉を回避する。

40

【0048】

図9は図2の受信側無線局2の受信指向性制御回路14の構成を示すブロック図であり、図10は図2の送信側無線局2の送信指向性制御回路18の構成を示すブロック図である。図9及び図10ではそれぞれ受信TDL-AAA及び送信TDL-AAAの構成を示す。ここで、 M はアンテナ素子数、 L_p は各TDLのブランチ数、 T はサンプル間隔、 $z_{Tx, m}(t)$ は第 m 番目のアンテナ素子10-mへの入力信号、 $s(t)$ はDATA_sフレーム信号、 $w_{Tx, m, l}$ は第 m 番目のアンテナ素子10-mの第 l ブランチにおけるウエイトを表す。ただし、時間遅延 τ_l はサンプル間隔 T の整数倍で $\tau_0 (= 0)$

$1 \dots L_p - 1$ と仮定する。

【0049】

図9において、受信指向性制御回路14はいわゆるトランスバーサルフィルタの構成を

50

有し、各アンテナ素子で互いに縦続接続され受信信号を遅延させる複数 ($L_p - 1$) 個の遅延回路 $21 - 0 - 1 \sim 21 - (M - 1) - (L_p - 1)$ と、各遅延回路 $21 - 0 - 1 \sim 21 - (M - 1) - (L_p - 1)$ の入出力端子に接続され各遅延信号にウェイトを乗算する乗算器 $22 - 0 - 0 \sim 22 - (M - 1) - (L_p - 1)$ と、各乗算器 $22 - 0 - 0 \sim 22 - (M - 1) - (L_p - 1)$ からの各信号を加算する加算器 $23 - 0 - 1 \sim 23 - (M - 1) - (L_p - 1)$ と、すべての受信信号を加算して受信信号 $y(t)$ を出力する加算器 24 とを備えて構成される。

【0050】

図10において、送信指向性制御回路18は受信指向性制御回路14とは逆の構成を有し、送信信号 $s(t)$ を M 分配する分配器25と、各アンテナ素子で互いに縦続に接続され各分配送信信号を遅延させる遅延回路 $26 - 0 - 1 \sim 26 - (M - 1) - (L_p - 1)$ と、各アンテナ素子の送信信号にウェイトを乗算する乗算器 $27 - 0 - 0 \sim 27 - (M - 1) - (L_p - 1)$ と、各乗算器 $27 - 0 - 0 \sim 27 - (M - 1) - (L_p - 1)$ からの信号と、各遅延回路 $26 - 0 - 1 \sim 26 - (M - 1) - (L_p - 1)$ 空の信号を加算する加算器 $28 - 0 - 1 \sim 28 - (M - 1) - (L_p - 1)$ とを備えて構成される。

10

【0051】

図9において、受信指向性制御回路14からの出力信号は次式で表される。

【0052】

【数1】

$$y(t) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{L_p-1} z_{Tx,m}(t-\tau_l) w_{Tx,m,l} \quad (1)$$

20

【0053】

2次システム102の送信側無線局2-1と、無線LANシステム101の送受信無線局1-1, 1-2との間の伝搬路応答に対してヌル拘束を行う最適ウェイトは、方向拘束付出力電力最小化法(DCMP: Directionally Constrained Minimization of Power; 以下、DCMP法という。)を用いて次式により求められる(例えば、非特許文献6参照。)

【0054】

【数2】

$$\begin{aligned} \operatorname{argmin}_{\mathbf{w}_{Tx}} \left(P_{out} = \frac{1}{2} \mathbf{w}_{Tx}^H \mathbf{R}_{Tx} \mathbf{w}_{Tx} \right) \\ \text{subject to } \mathbf{C}_A^T \mathbf{w}_{Tx} = \mathbf{q} \end{aligned} \quad (2)$$

30

【0055】

式(2)を満たす送信最適ウェイト $\mathbf{w}_{Tx, opt}$ は次式で表される。

【0056】

【数3】

$$\mathbf{w}_{Tx, opt} = \mathbf{R}_{Tx}^{-1} \mathbf{C}_A (\mathbf{C}_A^H \mathbf{R}_{Tx}^{-1} \mathbf{C}_A)^{-1} \mathbf{q}^* \quad (3)$$

40

【0057】

ここで、 \mathbf{R}_{Tx} 、 \mathbf{w}_{Tx} 、 \mathbf{C}_A 及び \mathbf{q} はそれぞれ入力信号 $z_{Tx}(t)$ の相関行列、ウェイト、拘束行列及び拘束応答ベクトルを表し、次式のようになる。

【0058】

【数1】

$$\mathbf{R}_{Tx} = E [z_{Tx}(t) z_{Tx}^H(t)] \quad (4)$$

【数2】

$$\mathbf{z}_{Tx}^T(t) = [z_{Tx}^T(t) \dots z_{Tx}^T(t - L_p - 1)] \quad (5)$$

50

[数3]

$$z'_{Tx}(t) = [z_{Tx,0}(t) \dots z_{Tx,M-1}(t)]^T \quad (6)$$

[数4]

$$w^T_{Tx} = [w^T_{Tx,0} \dots w^T_{Tx,Lp-1}] \quad (7)$$

[数5]

$$w_{Tx,1} = [w_{Tx,0,1} \dots w_{Tx,M-1,1}]^T \quad (8)$$

[数6]

$$C_A = [p_{Tx} \quad d] \quad (9)$$

[数7]

$$q = [0 \quad 1]^T \quad (10)$$

【0059】

ここで、 $E[\cdot]$ はアンサンブル平均、 H は複素共役転置、 T と $*$ はそれぞれ転置と複素共役を表す。なお、 $p_{Tx} = E[z_{Tx}(t) \quad d^*_{ref}(t)]$ は $z_{Tx}(t)$ と参照信号 $d_{ref}(t)$ との間の相関ベクトルであり、 $d_{ref}(t)$ は無線LANシステム101のプリアンブル波形とする。本実施形態では2次システム102の送信側無線局2-1では自システム内の伝搬路応答情報を未知とし、 $d = [1 \quad \dots \quad 1]^T$ とする。しかし、受信側からの伝搬路応答情報が事前に得られる場合は、 d を所望信号における伝搬路応答に設定することにより受信信号対雑音電力比(SNR)を改善できる。

【0060】

次いで、受信ウエイトの生成について以下に説明する。2次システム102の受信側無線局2-2では、2種類のTDL-AAAのウエイトを用いる。まず、所望波のパス検出精度を向上させるため、送信側と同様の処理により被干渉抑圧のためのヌル拘束付きウエイトを生成する。そして、そのウエイトに基づく合成信号に対して所望信号のパス検出を行う。次に、復調精度の改善に向けて、パス検出結果に基づきTDL-AAAのタップ位置を決定し、MMSEウエイトを生成する。パス検出用ウエイトは、RTS/CTSフレーム受信時に送信側と同様にDCMP法で求められる。受信最適ウエイト $w_{Rx,opt}$ は次式で表される。

【0061】

[数4]

$$w_{Rx,opt} = R_{Rx}^{-1} C_B (C_B^H R_{Rx}^{-1} C_B)^{-1} q^* \quad (11)$$

【0062】

ここで、 $R_{Rx} = E[z_{Rx}(t) \quad z^H_{Rx}(t)]$ は入力信号 $z_{Rx}(t)$ の相関行列、 $C_B = [p_{Rx} \quad d]$ は拘束行列、 $p_{Rx} = E[z_{Rx}(t) \quad d^*_{ref}(t)]$ は相関ベクトルを表す。上式により求めたウエイトに基づく合成信号に対してパス検出を行うと、被干渉が抑圧されているため、パス検出精度の改善が期待できる。

【0063】

パス検出後はDATA_Sフレーム先頭に配置されたプリアンブル信号を用い、所望信号の受信SINRが改善するように受信指向性制御回路14(受信TDL-AAA)のウエイト制御を行う。具体的には、受信指向性制御回路14からの出力信号とプリアンブル信号 $d_{tr}(t)$ との平均2乗誤差を最小にする以下のMMSE(Minimum Mean Square Error)規範に基づいて最適ウエイトを求める(例えば、非特許文献6参照)。

【0064】

[数5]

$$\arg \min_{w_{Rx,MMSE}} \left(E \left[\left| d_{tr}(t) - w_{Rx,MMSE}^H z_{Rx,D}(t) \right|^2 \right] \right) \quad (12)$$

【0065】

ただし、 $z_{Rx,D}(t)$ はDATA_Sフレーム受信時における受信指向性制御回路1

10

20

30

40

50

4 (受信 TDL - AAA) への入力信号である。従って、受信最適ウエイト $W_{R_x, MMSE, opt}$ は次式で表される。

【0066】

【数6】

$$W_{R_x, MMSE, opt} = R_{R_x, D}^{-1} P_{R_x, D} \quad (13)$$

【0067】

ここで、 $R_{R_x, D} = E [Z_{R_x, D} (t) Z_{R_x, D}^H (t)]$ は入力信号 $Z_{R_x, D} (t)$ の相関行列、 $P_{R_x, D} = E [Z_{R_x, D} (t) d_{tr}^* (t)]$ は相関ベクトルを表す。

10

【0068】

一方、RTSフレーム受信に失敗した場合はいずれかの基準アンテナ素子における受信信号を用いてパス検出を行う。検出結果に基づき上記のMMSE規範を用いて受信指向性制御回路14 (受信 TDL - AAA) のウエイト制御を行い、被干渉を抑圧する。

【0069】

また、DATA_wフレーム長を超えるDATA_sフレームを受信する場合は、直前に到来したCTSフレームの受信に成功していれば、無線LANシステム101のACKフレームに起因する被干渉を抑圧するような初期ウエイトをセットした上で、DATA_wフレーム予測終了タイミングに合わせて受信ビーム形成のウエイトを更新し、DATA_sフレーム受信を再開する。一方、CTSフレーム受信に失敗した場合はウエイトのリセットなしに、所望信号に対して受信ビーム形成のウエイトを更新し、DATA_sフレーム受信を再開する。

20

【0070】

以上の実施形態においては、図2、図9及び図10に示すように、無線周波数帯で送信指向性及び受信指向性を制御しているが、本発明はこれに限らず、中間周波数帯又はベースバンド帯で送信指向性及び受信指向性を制御するように構成してもよい。

【実施例】

【0071】

次いで、本発明者らは、図1の無線通信ネットワークシステムを用いて計算機シミュレーションを行った結果について以下に説明する。

30

【0072】

図11は図1の無線通信ネットワークにおける各無線局の配置と直接波到来角のモデルを示す平面図である。図11において、各無線局配置のトポロジは正方形とし、無線LANシステム101と2次システム102の経路は互いに交差するとした。ここで、 α_x は無線局xのアダプティブアレーのブロードサイド方向と、無線局2-1と無線局2-2を結ぶ直線が成す角度を表す。 θ_A と θ_B は各実行毎に0度から180度までランダムに与えた。

【0073】

図12は実施形態の無線通信ネットワークを用いて行うシミュレーションにおける遅延プロファイルを示す図である。伝搬路モデルは図12に示す5波 ($L = 5$) モデルを想定し、先行波は直接波のみ、遅延波はレイリーフェージングを受けるとした。また、伝搬損失は2乗則、遅延波のアンテナ間フェージング相関は無相関であると想定した。

40

【0074】

TDLのブランチ数 L_p は、無線LANシステム101と2次システム102との間の与干渉抑圧及び被干渉抑圧のためのDCMP法によるウエイト生成では $L_p = L$ とした。また、所望波受信におけるMMSE規範によるウエイト生成では $L_p = 2 \times L - 1$ と設定した。これは、所望信号に対する見かけの伝搬路応答が送信指向性制御回路18 (送信 TDL - AAA) のインパルス応答と実際の伝搬路応答との畳み込みとなるためである。実施形態の無線通信ネットワークを用いて行うシミュレーションにおいて、特性評価のためのシミュレーション諸元を表1及び表2に示す。

50

【 0 0 7 5 】

[表 1]

無線 LAN システム 1 0 1 のシミュレーション諸元

サンプリングレート	2 0 M H z	
変調方法	1 6 Q A M - O F D M	
副搬送波数	5 2 (データ : 4 8 、パイロット : 4)	
FFT ポイント数	6 4	
有効シンボル期間	3 . 2 μ s e c (6 4 サンプル)	
ガード期間	1 0 . 8 μ s e c (1 6 サンプル)	10
チャンネルコーディング	畳み込みコード (レート : 1 / 2 、拘束長 : 7)	
チャンネルデコーディング	ハード入力ビタビアルゴリズム	
インターリーバのタイプ	ブロック・インターリーバ (深さ : 1 2 \times 1 6)	
ペイロード長	1 0 0 0 バイト	
アンテナ素子数	1	

【 0 0 7 6 】

[表 2]

2 次システム 1 0 2 のシミュレーション諸元

サンプリングレート	2 0 M H z	
変調方法	/ 4 - D Q P S K D S - S S	
拡散コード	M 系列	
コード長	6 3 (トレーニング) , 1 5 (データ)	
トレーニングシンボル数	3	
チャンネルコーディング	畳み込みコード (レート : 1 / 2 、拘束長 : 7)	
チャンネルデコーディング	ハード入力ビタビアルゴリズム	
インターリーバのタイプ	ブロック・インターリーバ (深さ : 4 \times 2)	
ペイロード長	6 0 バイト	
アレーアンテナ構成	リニアアレー	30
アンテナ素子数	2 ~ 4	
アンテナ間隔	半波長	

【 0 0 7 7 】

無線 LAN システム 1 0 1 のパラメータは I E E E 8 0 2 . 1 1 a 規格 (例えば、非特許文献 5 参照。) に準拠したものとする。規格では、先行フレームにおける最終シンボルの終了タイミングから次フレームのプリアンブルにおける最初シンボルの送信タイミングまでの区間を短フレーム間隔 (S I F S) とし、許容送信タイミング誤差がコンテンションスロット長の 1 0 % 以下と定めている。本シミュレーションでは上記許容タイミング誤差を考慮し、予測到来タイミングから $t_s = - 1 8$ サンプル、そして、同期処理の時間窓 $T_w = (1 8 \times 2)$ サンプル + L_p サンプルとした。

【 0 0 7 8 】

2 次システム 1 0 2 のフレームは、先頭のプリアンブルと情報データで構成し、プリアンブルは同期捕捉及び遅延波検出と受信ウエイト制御用として、周期 6 3 の M 系列を 3 周期分、配置した。また、情報データは周期 1 5 の M 系列を拡散符号として用いた。参照信号 $d_{t_r}(t)$ は上記プリアンブルの 1 8 9 サンプル、参照信号 $d_{r_e_f}(t)$ は無線 LAN システム 1 0 1 の長いプリアンブル区間のうち、ガードインターバルを除いた 1 2 8 サンプルを用いた。

【 0 0 7 9 】

2 次システム 1 0 2 の $D A T A_s$ フレーム長は無線 LAN システム 1 0 1 の $D A T A_w$

10

20

30

40

50

フレームより時間的に短くなるように、ペイロード長は60バイトとした。これは、制御情報の伝送を想定している。2次システム102の送信側無線局2-1では無線LANシステム101のCTSフレーム受信時に送信指向性制御回路18(送信TDL-AAA)のウエイトを求めた。そして、2次システム102の受信側無線局2-2では無線LANシステム101のRTSフレーム受信時にパス検出用の受信指向性制御回路14(受信TDL-AAA)のウエイトを求めた。また、復調用のMMSE規範のウエイト生成には公知のSMI(Sample Matrix Inversion)アルゴリズムを用いた。

【0080】

次いで、シミュレーション結果について以下に説明する。

【0081】

図13は実施形態の無線通信ネットワークを用いて行うシミュレーションの結果であって、無線LANシステム101の受信側無線局1-2と、2次システム102の受信側無線局2-2における信号対雑音電力比(SNR)及び信号対干渉電力比(SIR)を示す表である。すなわち、図13では、無線LANシステム101の送信電力 $P_{Tx,w}$ と2次システム102の送信電力 $P_{Tx,s}$ の比(Transmission Power Ratio: $TPR = P_{Tx,w} / P_{Tx,s}$)、無線LANシステム101と2次システム102の受信側無線局2-2における信号対雑音電力比(SNR)及び信号対干渉電力比(SIR)の関係を示す。ここで、2次システム102の受信側無線局2-2におけるSNRとSIRは1本の受信アンテナ当たりの逆拡散後平均信号電力に基づき計算した。

【0082】

2次システム102の送受信側無線局2のアレー素子数を同数とし、素子数 $M = 2, 3$ 及び4における無線LANシステム101と2次システム102のTPRに対する平均フレーム誤り率(Frame Error Rate: FER)特性をそれぞれ図14、図15及び図16に示す。表2の条件で重畳伝送を行った場合、無線LAN(WLAN with secondary)は重畳伝送を行ってない場合(WLAN without secondary)と比べて低TPR領域において大きく劣化するものの、TPRが高くなるにつれ与干渉を回避できることがわかる。また、アレー素子数 $M = 2$ の場合は $M = 3$ の場合と比べ、低TPR領域で無線LANシステム101のFER特性が大きく劣化しているが $M = 3$ と $M = 4$ の場合はおおむね同程度の与干渉抑圧効果を示している。

【0083】

2次システム102(Secondary with WLAN)は、アレー素子数 $M = 2$ の場合はおよそ $TPR = -3\text{ dB}$ で平均 $FER = 1\%$ を達成している。しかし、無線LANシステム101への与干渉が大きく、無線LANシステム101の平均FERが著しい劣化を示している。一方、 $M = 3$ の場合はおよそ $TPR = 6\text{ dB}$ 、そして $M = 4$ の場合はおよそ $TPR = 10\text{ dB}$ 程度で平均 $FER = 1\%$ を達成し、無線LANシステム101への与干渉の影響が十分に抑圧できている。以上の結果より2次システム102は $M = 3$ 以上のアレー素子を用いることで無線LANシステム101への与干渉を回避しながら平均 $FER = 1\%$ 以下に抑え通信可能であることがわかる。

【0084】

以上説明したように、本実施形態によれば、重畳伝送における2次システム102の受信タイミング同期問題の解決策として、無線LANシステム101のプロトコルを考慮したタイミング同期処理を容易に実現する重畳伝送方式を考案した。さらに、広帯域伝送における遅延波対策として、送受信TDL-AAAによる与干渉抑圧及び被干渉抑圧手法の検証を行なった。計算機シミュレーションによる評価の結果、無線LANシステム101への与干渉の影響は適切な送信アダプティブアレー素子数と送信電力で十分に回避することができる。また、無線LANシステム101からの被干渉は2次システム102の送信電力が制限された場合においてもTDL-AAAによる時空間信号処理を用いることで抑圧できると考えられる。

【0085】

2次システム102の通信処理の変形例。

10

20

30

40

50

図7及び図8に図示した実施形態に係る通信処理においては、CTSフレーム受信に失敗した場合は(図7のS7でNO)重畳伝送を行わずRSSI測定(S1)を再開している(図7のフェーズB)。しかし、下記に示す方法によりCTSフレーム受信に失敗(DATA復調に失敗)した場合においても受信側無線局1-2に対しヌル形成ができていれば重畳伝送が開始可能である。

【0086】

(A)送信側無線局2-1の通信処理。

(1)2次システム102の送信側無線局2-1では、送信要求に応じてRSSI測定を開始する。RSSI測定時間Tcs内にキャリアセンスしきい値Pthを超える信号レベルの検出がない場合は、対象帯域を空き帯域と見なしてDATA_sフレーム送信を開始する。一方、RSSI測定値がしきい値Pthを超えた場合は信号受信処理、及び帯域幅と継続時間の測定を開始する。

10

(2)RTSフレームの受信に成功、あるいは帯域幅と継続時間の測定結果RTSフレームの到来が推定された場合は無線LANシステム101の送信側無線局1-1に対しヌルを形成するウエイトの計算及びCTS/DATA_w/ACKフレームの送信開始・終了タイミングの予測を行う(図6のフェーズA)。また、CTSフレームの受信に成功、あるいは帯域幅と継続時間の測定結果CTSフレームの到来が推定された場合は無線LANシステム101の受信側無線局1-2に対しヌルを形成するウエイトの計算及びDATA_w/ACKフレームの送信開始・終了タイミングの予測を行う(図6のフェーズB)。受信信号が無線LANシステム101のRTS/CTSフレームではない場合はRSSI測定

20

を再開する。

(3)CTSフレーム受信に成功、あるいはRTSフレームの受信に成功し、かつCTSフレームの到来が推定された場合は、ランダムバックオフなどのアクセス制御に従ってDATA_sフレーム送信開始の可否を決定する。DATA_sフレームの送信が開始可能な場合、無線LANシステム101の受信側無線局1-2に対しヌルを形成し送信を開始する(図7のフェーズC)。一方、CTSフレーム受信に失敗またはCTSフレームの到来が推定されていない場合、あるいはアクセス制御により送信を行わない場合はRSSI測定

を再開する。

(4)送信DATA_sフレーム長は予測DATA_wフレーム長を超えない範囲で設定する。ただし、RTSフレーム受信に成功した場合は無線LANシステム101の送信側無線局1-1に対しヌル形成が可能であるため、ACKフレーム伝送時にも与干渉を回避できる。すなわち、DATA_wフレーム長を超えるDATA_sフレームの送信が可能となる。そこで、必要に応じてACKフレームの予測終了タイミングを超えない範囲でDATA_sフレーム長を設定する。この場合はDATA_wフレーム予測終了タイミングに合わせて無線LANシステム101の受信側無線局1-2に対しヌルを形成するウエイトに切り替える(図7のフェーズD)。DATA_sフレームの送信終了後はRSSI測定を再開する。

30

【0087】

(B)受信側無線局2-2の通信処理。

(1)2次システム102の受信側(STA-B)では継続的にRSSI測定を行い、Pthを超える信号レベルが検出された場合は信号受信処理、及び帯域幅と継続時間の測定を開始する。

40

(2)RTSフレームの受信に成功、あるいは帯域幅と継続時間の測定結果RTSフレームの到来が推定された場合は無線LANシステム101の送信側無線局1-1に対しヌルを形成するウエイトの計算及びCTS/DATA_w/ACKフレームの送信開始・終了タイミングの予測を行う(図6のフェーズA)。CTSフレームの受信に成功、あるいは帯域幅と継続時間の測定結果CTSフレームの到来が推定された場合は無線LANシステム101の受信側無線局1-2に対しヌルを形成するウエイトの計算及びDATA_w/ACKフレームの送信開始・終了タイミングの予測を行う(図6のフェーズB)。

(3)一方、受信信号がDATA_sフレームの場合は受信タイミング同期処理後、受信ビームを形成し受信を開始する(図7のフェーズC)。ここで、RTSフレーム受信に成功

50

、あるいはR T Sフレームの到来が推定された場合は無線LANシステム101の送信側無線局1-1に対しヌルを形成し、被干渉を抑制した上で受信タイミング同期処理を行う。これにより同期捕捉性能の向上が期待できる。

(4) なお、DATA_wフレーム長を超えるDATA_sフレームを受信に際し、事前にCTSフレーム受信に成功、あるいはCTSフレームの到来が推定されたに場合は、予測したDATA_wフレームの終了タイミングに合わせて無線LANシステム101の受信側無線局1-2に対しヌルを形成するウエイトに切り替える。次に所望信号に対し受信ビーム更新を行い、DATA_sフレーム受信を再開する(図7のフェーズD)。

【産業上の利用可能性】

【0088】

10

以上詳述したように、本発明に係る無線ネットワークシステムとその制御方法によれば、従来技術に比較してタイミング同期の獲得を容易にでき、第2の無線通信システムの無線局での無線通信を可能にすることができる。特に、以下の特有の作用効果を有する。

(1) 第2の無線通信システムの受信側無線局における受信タイミング同期を容易に実現することができる。すなわち、第2の無線通信システムは第1の無線通信システムのフレーム伝送を観測してデータ送信開始タイミングを予測し、第2の無線通信システムのデータ送信開始タイミングを合わせることで第2の無線通信システムの受信側無線局において所望信号の到来タイミングを予測可能となる。

(2) また、第2の無線通信システムの送信側無線局が第1の無線通信システムの事前通信を観測することで第1と第2の無線通信システム間の伝搬路状況の推定が可能になるため、その推定した伝搬路情報を用いて空間的に与干渉を抑圧する。すなわち、第2の無線通信システムの送信側無線局での処理は事前通信の観測 伝搬路状況推定 与干渉抑圧の順になる。

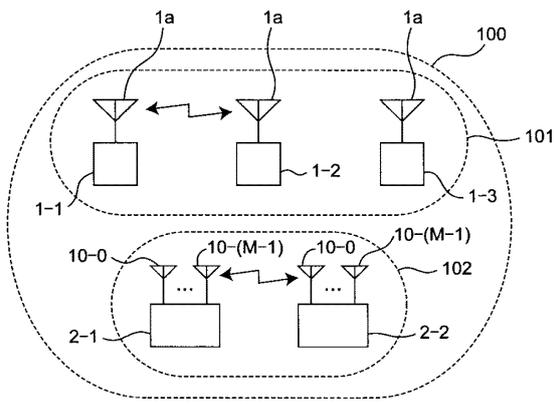
20

(3) さらに、第2の無線通信システムの受信側無線局が第1の無線通信システムの事前通信を観測することで第1と第2の無線通信システム間の伝搬路状況の推定が可能になるため、その推定した伝搬路情報を用いて空間的に被干渉を抑圧する。すなわち、第2の無線通信システムの受信側無線局での処理は事前通信の観測 伝搬路状況推定 被干渉抑圧の順になる。

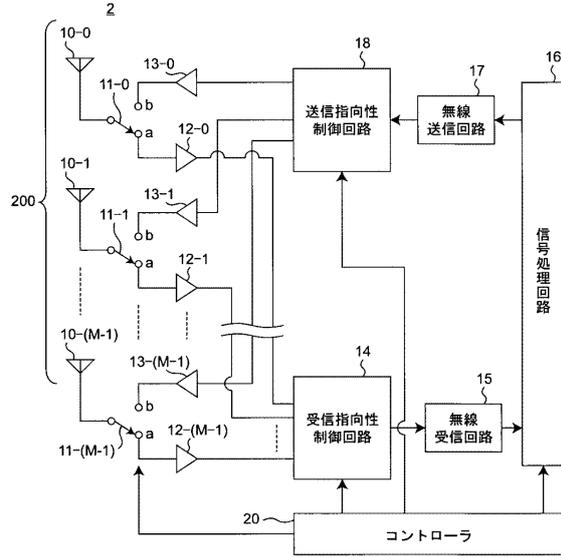
(4) またさらに、第2の無線通信システムにおけるアクセス制御において、第2の無線通信システムの重畳伝送が可能となる条件を満たした状態をアクセス制御の最小単位とすることで、第2の無線通信システム内でのアクセス制御を可能にする。

30

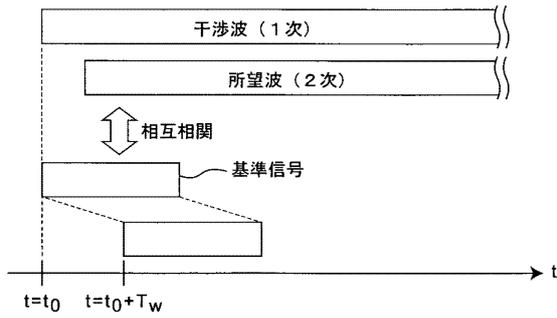
【図1】



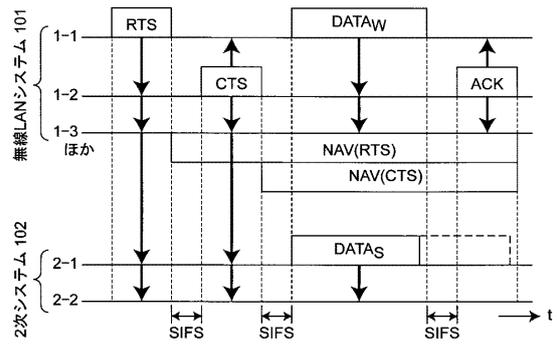
【図2】



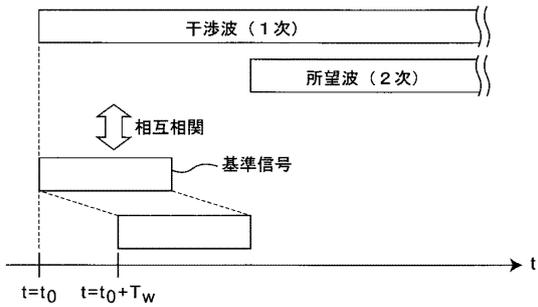
【図3】



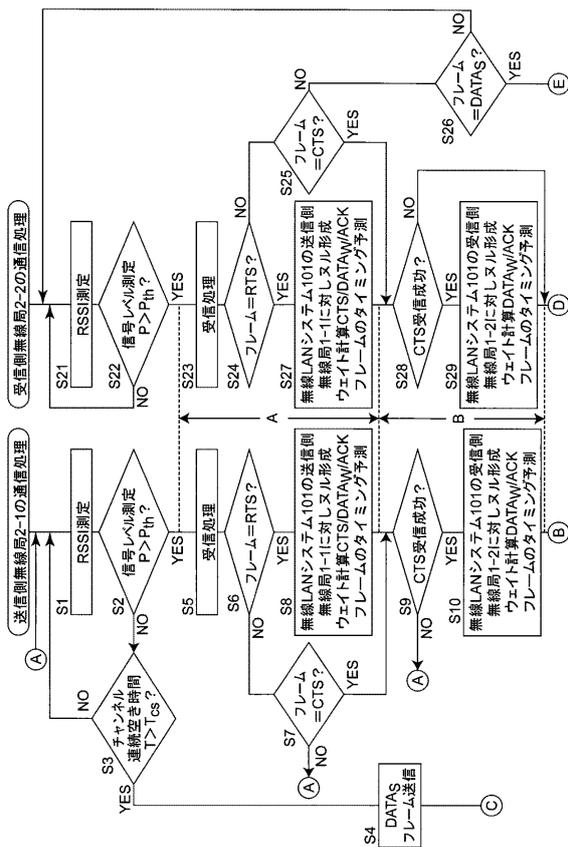
【図5】



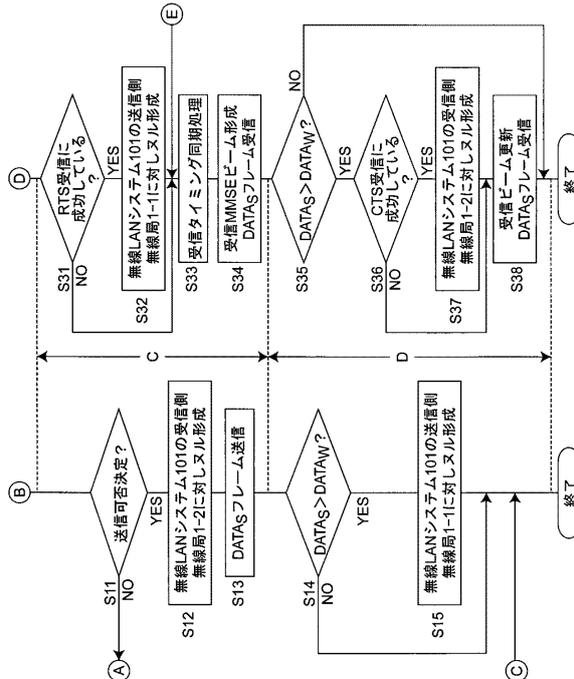
【図4】



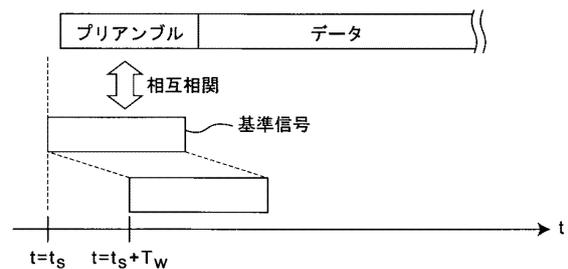
【図6】



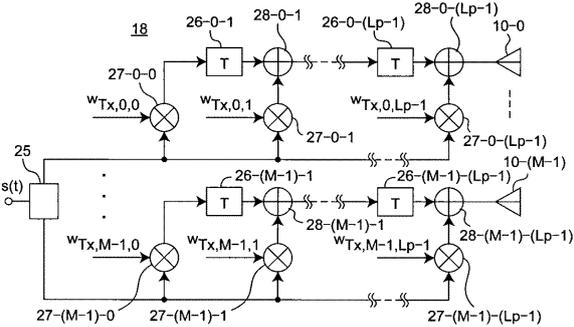
【図7】



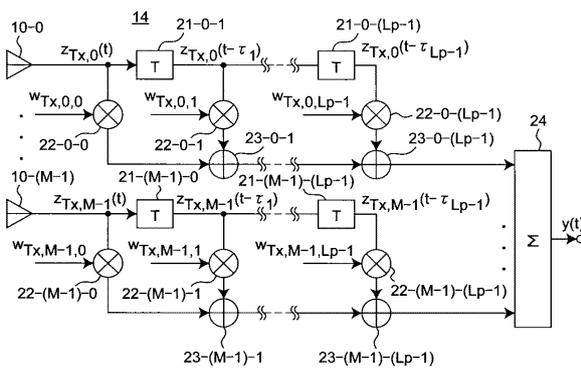
【図8】



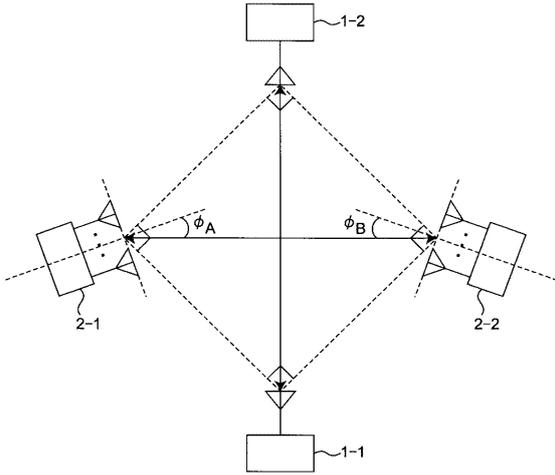
【図10】



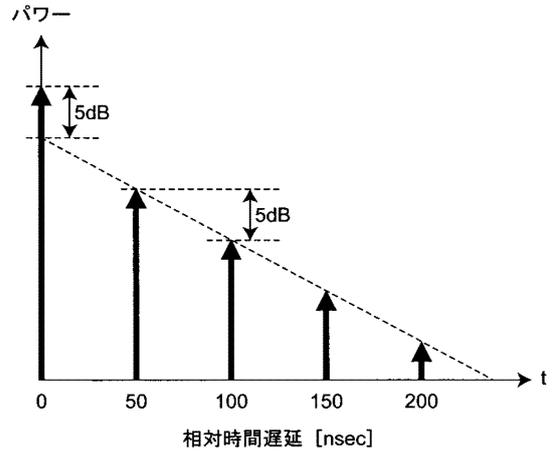
【図9】



【図11】



【図12】

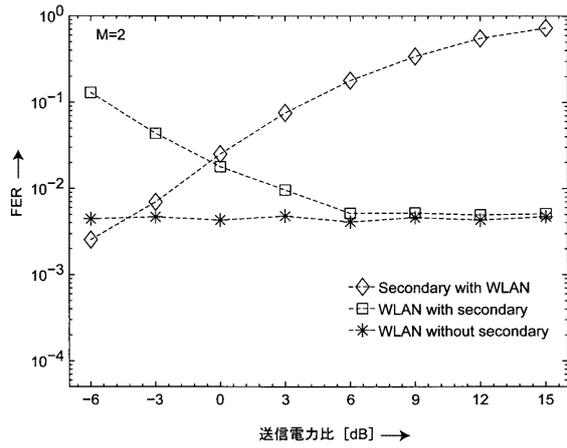


【図13】

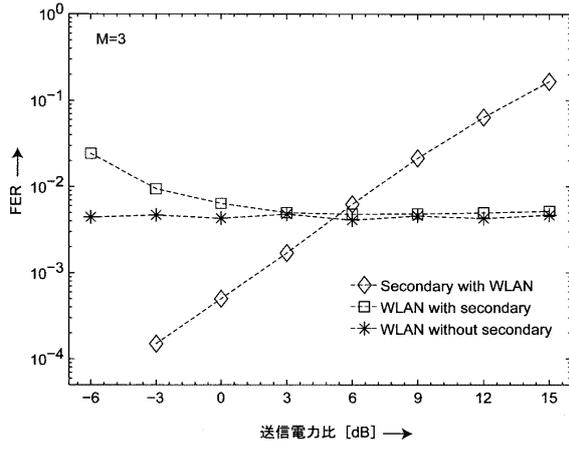
無線LANシステム101の受信側無線局1-2と、
2次システム102の受信側無線局2-2におけるSNRとSIR

TPR [dB]	受信側無線局1-2		受信側無線局2-2	
	SNR [dB]	SIR [dB]	SNR [dB]	SIR [dB]
-6	18	-9	24	3
-3	18	-6	21	0
0	18	-3	18	-3
3	18	0	15	-6
6	18	3	12	-9
9	18	6	9	-12
12	18	9	6	-15
15	18	12	3	-18

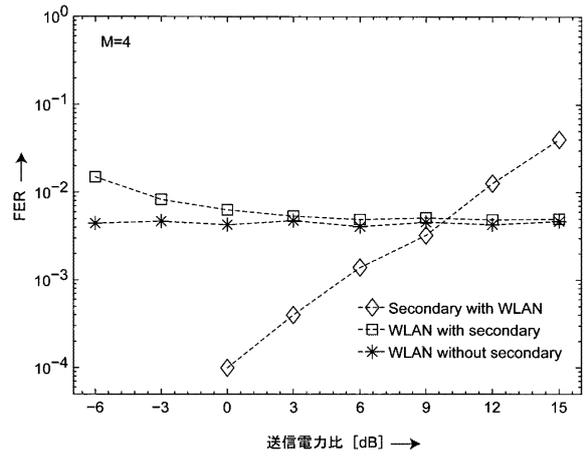
【図14】



【 図 15 】



【 図 16 】



フロントページの続き

(51) Int.Cl.		F I		
H 0 4 B	7/10	(2006.01)	H 0 4 B	7/10 A
H 0 4 J	11/00	(2006.01)	H 0 4 J	11/00 Z

- (72)発明者 塚本 悟司
京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
- (72)発明者 太郎丸 眞
京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内
- (72)発明者 上羽 正純
京都府相楽郡精華町光台二丁目2番地2 株式会社国際電気通信基礎技術研究所内

審査官 齋藤 浩兵

- (56)参考文献 特開2008-278450(JP,A)
特開2008-311745(JP,A)
特開2005-065210(JP,A)
特開2007-129570(JP,A)
特開2003-124878(JP,A)
特開2002-368521(JP,A)
中尾優太 他,階層型アレーアンテナの概念を用いたウェイト制御によるUWB-WPANの干渉回避技術に関する一検討,第31回情報理論とその応用シンポジウム(SITA2008),2008年10月10日,p.293-298

- (58)調査した分野(Int.Cl.,DB名)
- | | |
|---------|-----------|
| H 0 4 W | 5 6 / 0 0 |
| H 0 4 B | 1 / 4 0 |
| H 0 4 B | 7 / 1 0 |
| H 0 4 J | 1 1 / 0 0 |
| H 0 4 W | 1 6 / 1 4 |
| H 0 4 W | 1 6 / 2 8 |
| H 0 4 W | 7 4 / 0 8 |