

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6775200号
(P6775200)

(45) 発行日 令和2年10月28日(2020.10.28)

(24) 登録日 令和2年10月8日(2020.10.8)

(51) Int.Cl.		F I
HO4W 52/24	(2009.01)	HO4W 52/24
HO4W 84/12	(2009.01)	HO4W 84/12
HO4W 74/08	(2009.01)	HO4W 74/08
HO4W 24/02	(2009.01)	HO4W 24/02

請求項の数 10 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2017-99702 (P2017-99702)	(73) 特許権者	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(22) 出願日	平成29年5月19日(2017.5.19)	(73) 特許権者	504132272 国立大学法人京都大学 京都府京都市左京区吉田本町36番地1
(65) 公開番号	特開2018-196043 (P2018-196043A)	(74) 代理人	110003199 特許業務法人高田・高橋国際特許事務所
(43) 公開日	平成30年12月6日(2018.12.6)	(72) 発明者	アベセカラ ヒランタ 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日 本電信電話株式会社内
審査請求日	令和1年8月20日(2019.8.20)	(72) 発明者	篠原 笑子 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日 本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 無線通信システムおよび無線通信方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

共用周波数帯上で無線通信を行う複数の無線通信局を備えた無線通信システムにおいて

前記無線通信局は、

周辺無線環境情報および宛先通信局における信号電力対干渉電力比S I N Rの情報を取得する無線環境情報取得手段と、

前記宛先通信局における前記S I N Rに応じて、スループットに対するエネルギー効率が最大となる自局の送信電力値およびキャリアセンス閾値の補正值を同時に算出して設定するパラメータ設定手段と

を備えたことを特徴とする無線通信システム。

【請求項2】

請求項1に記載の無線通信システムにおいて、

前記パラメータ設定手段は、無線通信局*i*におけるリンクゲイン G_{ij} 、送信電力値の最大値 P およびキャリアセンス閾値の最小値 a_i の補正值 a_i から無線通信局*i*の宛先通信局におけるS I N R値 γ_i を求め、さらに伝送帯域 B 、S I N R値 γ_i 、送信時間割合 τ_i からスループット r_i を求め、さらにフレーム送信に係る消費電力 $P / a_i \cdot \gamma_i$ に応じてスループット r_i に対する前記エネルギー効率 η_i が

$$\eta_i = r_i / (P / a_i \cdot \gamma_i)$$

$$= B \cdot \log_2(1 + P G_{ii} / a_i^2) \cdot \eta_i / (P / a_i \cdot \eta_i)$$

であるときに、該エネルギー効率 η_i が最大となる補正值 a_i を算出する構成であることを特徴とする無線通信システム。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の無線通信システムにおいて、

前記パラメータ設定手段は、無線通信局 i におけるリンクゲイン G_{ii} 、送信電力値の最大値 P およびキャリアセンス閾値の最小値 η_i の補正值 a_i から無線通信局 i の宛先通信局における $SINR$ 値 η_i を求め、さらに伝送帯域 B 、 $SINR$ 値 η_i 、送信時間割合 η_i からスループット r_i を求め、さらにフレーム送信に係る消費電力 $P / a_i \cdot \eta_i$ 、フレーム送信以外の消費電力 P_c に応じて、スループット r_i に対する前記エネルギー効率 η_i が

$$\begin{aligned} \eta_i &= \text{スループット} / (\text{フレーム送信に係る消費電力} + \text{フレーム送信以外の消費電力}) \\ &= r_i / (P / a_i \cdot \eta_i + P_c) \\ &= B \cdot \log_2(1 + P G_{ii} / a_i^2) \cdot \eta_i / (P / a_i \cdot \eta_i + P_c) \end{aligned}$$

であるときに、該エネルギー効率 η_i が最大となる補正值 a_i を算出する構成であることを特徴とする無線通信システム。

【請求項 4】

請求項 2 または請求項 3 に記載の無線通信システムにおいて、

前記スループット r_i は、前記 $B \cdot \log_2(1 + P G_{ii} / a_i^2) \cdot \eta_i$ に替えて、

$B \cdot \log_2(1 + P G_{ii} / a_i^2) / (\text{周辺の周波数共用の無線通信局数})$ として求め、

前記フレーム送信に係る消費電力は、 $P / a_i \cdot \eta_i$ に替えて、

$P / a_i \cdot (\text{チャンネルアクセス確率})$ として求める

ことを特徴とする無線通信システム。

【請求項 5】

請求項 2 または請求項 3 に記載の無線通信システムにおいて、

前記パラメータ設定手段は、前記無線通信局 i の周辺に周波数共用の無線通信局があるとき、自局および周辺の無線通信局で計算されるスループットに対するエネルギー効率の評価値が最大になる補正值 a_i を算出する構成であることを特徴とする無線通信システム。

【請求項 6】

共用周波数帯上で無線通信を行う複数の無線通信局を備えた無線通信方法において、前記無線通信局は、

周辺の無線環境情報および宛先通信局における信号電力対干渉電力比 $SINR$ の情報を取得する無線環境情報取得ステップと、

前記宛先通信局における前記 $SINR$ に応じて、スループットに対するエネルギー効率が最大となる自局の送信電力値およびキャリアセンス閾値の補正值を同時に算出して設定するパラメータ設定ステップと

を有することを特徴とする無線通信方法。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の無線通信方法において、

前記パラメータ設定ステップは、無線通信局 i におけるリンクゲイン G_{ii} 、送信電力値の最大値 P およびキャリアセンス閾値の最小値 η_i の補正值 a_i から無線通信局 i の宛先通信局における $SINR$ 値 η_i を求め、さらに伝送帯域 B 、 $SINR$ 値 η_i 、送信時間割合 η_i からスループット r_i を求め、さらにフレーム送信に係る消費電力 $P / a_i \cdot \eta_i$ に応じてスループット r_i に対する前記エネルギー効率 η_i が

$$\begin{aligned} \eta_i &= \text{スループット} / \text{フレーム送信に係る消費電力} \\ &= r_i / (P / a_i \cdot \eta_i) \\ &= B \cdot \log_2(1 + P G_{ii} / a_i^2) \cdot \eta_i / (P / a_i \cdot \eta_i) \end{aligned}$$

であるときに、該エネルギー効率 η_i が最大となる補正值 a_i を算出することを特徴とする無線通信方法。

【請求項 8】

請求項 6 に記載の無線通信方法において、

前記パラメータ設定ステップは、無線通信局 i におけるリンクゲイン G_{ii} 、送信電力値の最大値 P およびキャリアセンス閾値の最小値 a_i から無線通信局 i の宛先通信局における $SINR$ 値 γ_i を求め、さらに伝送帯域 B 、 $SINR$ 値 γ_i 、送信時間割合 α_i からスループット r_i を求め、さらにフレーム送信に係る消費電力 $P / a_i \cdot \alpha_i$ 、フレーム送信以外の消費電力 P_c に応じて、スループット r_i に対する前記エネルギー効率 η_i が

$$\begin{aligned} \eta_i &= \text{スループット} / (\text{フレーム送信に係る消費電力} + \text{フレーム送信以外の消費電力}) \\ &= r_i / (P / a_i \cdot \alpha_i + P_c) \\ &= B \cdot \log_2(1 + P G_{ii} / a_i^2) \cdot \alpha_i / (P / a_i \cdot \alpha_i + P_c) \end{aligned}$$

であるときに、該エネルギー効率 η_i が最大となる補正值 a_i を算出する

ことを特徴とする無線通信方法。

10

【請求項 9】

請求項 7 または請求項 8 に記載の無線通信方法において、

前記スループット r_i は、前記 $B \cdot \log_2(1 + P G_{ii} / a_i^2) \cdot \alpha_i$ に替えて、

$B \cdot \log_2(1 + P G_{ii} / a_i^2) / (\text{周辺の周波数共用の無線通信局数})$ として求め、

前記フレーム送信に係る消費電力は、 $P / a_i \cdot \alpha_i$ に替えて、

$P / a_i \cdot (\text{チャンネルアクセス確率})$ として求める

ことを特徴とする無線通信方法。

20

【請求項 10】

請求項 7 または請求項 8 に記載の無線通信方法において、

前記パラメータ設定ステップは、前記無線通信局 i の周辺に周波数共用の無線通信局があるとき、自局および周辺の無線通信局で計算されるスループットに対するエネルギー効率の評価値が最大になる補正值 a_i を算出する

ことを特徴とする無線通信方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、無線 LAN (Local Area Network) の稠密環境において、各無線局の CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 制御に起因するスループットの低下を改善する無線通信システムおよび無線通信方法に関する。

30

【背景技術】

【0002】

近年、ノートパソコンやスマートフォン等の持ち運び可能で高性能な無線端末の普及により企業や公共スペースだけではなく、一般家庭でも IEEE802.11 標準規格の無線 LAN が広く使われるようになってきている。IEEE802.11 標準規格の無線 LAN には、2.4 GHz 帯を用いる IEEE802.11b/g/n 規格の無線 LAN と、5 GHz 帯を用いる IEEE802.11a/n/ac 規格の無線 LAN がある。

【0003】

40

IEEE802.11 b 規格や IEEE802.11 g 規格の無線 LAN では、2400 MHz から 2483.5 MHz 間に 5 MHz 間隔で 13 チャンネルが用意されている。ただし、同一場所で複数のチャンネルを使用する際は、干渉を避けるためスペクトルが重ならないようにチャンネルを使用すると最大で 3 チャンネル、場合によっては 4 チャンネルまで同時に使用できる。

【0004】

IEEE802.11 a 規格の無線 LAN では、日本の場合は、5170 MHz から 5330 MHz 間と、5490 MHz から 5710 MHz 間で、それぞれ互いに重ならない 8 チャンネルおよび 11 チャンネルの合計 19 チャンネルが規定されている。なお、IEEE802.11 a 規格では、チャンネル当たりの帯域幅が 20 MHz に固定されている。

【0005】

50

無線LANの最大伝送速度は、IEEE802.11b規格の場合は11Mbpsであり、IEEE802.11a規格やIEEE802.11g規格の場合は54Mbpsである。ただし、ここでの伝送速度は物理レイヤ上での伝送速度である。実際にはMAC (Medium Access Control) レイヤでの伝送効率が50~70%程度であるため、実際のスループットの上限值はIEEE802.11b規格では5Mbps程度、IEEE802.11a規格やIEEE802.11g規格では30Mbps程度である。また、伝送速度は、情報を送信しようとする無線局が増えればさらに低下する。

【0006】

一方で、有線LANでは、Ethernet (登録商標) の100Base-T インタフェースをはじめ、各家庭にも光ファイバを用いたFTTH (Fiber to the home) の普及から、100Mbps~1Gbps級の高速回線の提供が普及しており、無線LANにおいても更なる伝送速度の高速化が求められている。

10

【0007】

そのため、2009年に標準化が完了したIEEE802.11n規格では、これまで20MHzと固定されていたチャンネル帯域幅が最大で40MHzに拡大され、また、空間多重送信技術 (MIMO: Multiple input multiple output) 技術の導入が決定された。IEEE802.11n規格で規定されているすべての機能を適用して送受信を行うと、物理レイヤでは最大で600Mbpsの通信速度を実現可能である。

【0008】

さらに、2013年に標準化が完了したIEEE802.11ac規格では、チャンネル帯域幅を80MHzや最大で160MHz (または80+80MHz) まで拡大することや、空間分割多元接続 (SDMA: Space Division Multiple Access) を適用したマルチユーザMIMO (MU-MIMO) 送信方法の導入が決定している。IEEE802.11ac規格で規定されているすべての機能を適用して送受信を行うと、物理レイヤでは最大で約6.9Gbpsの通信速度を実現可能である。

20

【0009】

IEEE802.11規格の無線LANは、2.4GHz帯または5GHz帯の免許不要な周波数帯で運用するため、IEEE802.11規格の無線基地局は、無線LANセル (BSS: Basic Service Set) を形成する際に、自無線基地局で対応可能な周波数チャンネルの中から1つの周波数チャンネルを選択して運用する。

【0010】

自セルで使用するチャンネル、帯域幅およびそれ以外のパラメータの設定値および自無線基地局において対応可能なその他のパラメータは、定期的に送信するBeaconフレームや、無線端末から受信するProbe Request フレームに対するProbe responseフレーム等に記載し、運用が決定された周波数チャンネル上でフレームを送信し、配下の無線端末および周辺の他無線局に通知することで、セルの運用を行っている。

30

【0011】

無線基地局において、周波数チャンネルや帯域幅およびその他のパラメータの選択および設定方法には、次の4つの方法がある。

(1) 無線基地局の製造メーカーで設定されたデフォルトのパラメータ値をそのまま使用する方

40

(2) 無線基地局を運用するユーザが手動で設定した値を使用する方法

(3) 各無線基地局が起動時に自局において検知する無線環境情報に基づいて自律的にパラメータ値を選択して設定する方法

(4) 無線LANコントローラなどの集中制御局で決定されたパラメータ値を設定する方法

【0012】

また、同一場所で同時に使えるチャンネル数は、通信に用いるチャンネル帯域幅によって、2.4GHz帯の無線LANでは3つ、5GHz帯の無線LANでは2つ、4つ、9つ、または19のチャンネルになるので、実際に無線LANを導入する際には無線基地局が自BSS内で使用するチャンネルを選択する必要がある (非特許文献1)。

50

【 0 0 1 3 】

チャンネル帯域幅を40MHz、80MHz、160MHzまたは80+80MHzと広くする場合、5GHz帯において同一場所で同時に使えるチャンネル数は、チャンネル帯域幅が20MHzで19チャンネルだったものが、9チャンネル、4チャンネル、2チャンネルと少なくなる。すなわち、チャンネル帯域幅が増加するにつれて、使えるチャンネル数が低減することになる。

【 0 0 1 4 】

使用可能なチャンネル数よりもBSS数が多い無線LANの稠密環境では、複数のBSSが同一チャンネルを使うことになる(OBSS:Overlapping BSS)。そのため無線LANでは、CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)を用いて、キャリアセンスによりチャンネルが空いているときにのみデータの送信を行う自律分散的なアクセス制御が使われている。

10

【 0 0 1 5 】

具体的には、送信要求が発生した無線局は、まず所定のセンシング期間(DIFS:Distributed Inter-Frame Space)だけキャリアセンスを行って無線媒体の状態を監視し、この間に他の無線局による送信信号が存在しなければ、ランダム・バックオフを行う。無線局は、引き続きランダム・バックオフ期間中もキャリアセンスを行うが、この間にも他の無線局による送信信号が存在しない場合に、チャンネルの利用権を得る。なお、他の無線局による送受信は、予め設定されたキャリアセンス閾値よりも大きな信号を受信するか否かで判断される。チャンネルの利用権を得た無線局は、同一BSS内の他の無線局にデータを送信し、またそれらの無線局からデータを受信できる。このようなCSMA/CA制御を行う場合、同一チャンネルを使用する無線LANの稠密環境では、キャリアセンスによりチャンネルがビジーになる頻度が高くなるためスループットが低下する。したがって、周辺環境をモニタリングし、使用するチャンネル、送信電力値、キャリアセンス閾値、減衰値などを適切に選択することが重要になる。

20

【 0 0 1 6 】

無線基地局におけるチャンネルの選択方法は、IEEE802.11標準規格で定まっていないため、各ベンダーが独自の方法を採用しているが、最も一般的なチャンネル選択方法としては、干渉電力の最も少ないチャンネルを自律分散的に選択する方法がある。無線基地局は、一定期間すべてのチャンネルをキャリアセンスして最も干渉電力が小さいチャンネルを選択し、選択したチャンネル上で配下の端末装置とデータの送受信を行う。なお、干渉電力とは、近隣BSSや他システムから受信する信号のレベルである。

30

【 0 0 1 7 】

IEEE802.11標準規格では、BSS周辺の無線状況が変化した場合におけるチャンネルの変更手順が規定されているが、基本的に、レーダ検出などによる強制移行以外は、一度選択したチャンネルの再選択を行っていない。すなわち、現状無線LANでは、無線状況の変化に応じたチャンネルの最適化は行われていない。

【 0 0 1 8 】

また、IEEE802.11標準規格では、各国で定められている電波法に従って送信する信号の最大送信出力値を規定している。キャリアセンス閾値として検知信号が無線LAN信号の場合は-82dBmであり、それ以外の場合は-62dBmと規定されている。

40

【 0 0 1 9 】

このように、送信電力値およびキャリアセンス閾値の最大値が規定されているが、同一チャンネル上で複数の無線局が送受信を行う際に、無線状況の変化に応じた最適値については規定されていない(非特許文献2)。

【 先行技術文献 】

【 非特許文献 】

【 0 0 2 0 】

【 非特許文献 1 】 守倉正博、久保田周治監修、「802.11高速無線LAN教科書」改訂三版、インプレスR&D、2008年3月。

【 非特許文献 2 】 Robert Stacey, "Specification Framework for TGax," 2016年1月28

50

日 .

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0021】

前述した周波数チャンネルや帯域幅およびその他のパラメータの選択および設定方法 (1) ~ (4) のうち、特に安価な無線基地局は、(1) の製造メーカーで設定されたデフォルトのパラメータをそのまま使用することが多い。しかし、近くに同じ製造メーカーの無線基地局が複数台設置された環境の場合は、全ての無線基地局が同じ周波数チャンネルや送信電力値を使うことになるので、無線基地局間で干渉が発生してしまい通信品質が劣化する問題がある。

10

【0022】

一般家庭など比較的小規模なネットワークでは、(2) の無線 LAN を運用するユーザが適切なパラメータを設定することが考えられる。しかし、外部干渉源がない環境では各種パラメータの設定は可能だが、都市部や集合住宅など周りで無線 LAN が使われている環境、または中規模や大規模なネットワークでは、ユーザまたは管理者による適切なパラメータ設定が困難である。

【0023】

自律分散動作が可能な無線基地局は、(3) の各無線基地局が起動時に自局において検知する無線環境情報に基づいて自律的にパラメータ値の選択が可能である。しかし、無線基地局が起動される順番によって適切なパラメータ値が異なる。

20

【0024】

また、共用の周波数チャンネルを使用する BSS の稠密環境では、起動中の無線基地局数の変化、各無線基地局配下の無線端末数の変化、各 BSS 内で伝送されるデータ量の変化などの環境変化が起きたときに、使用するチャンネル、使用する送信電力値やキャリアセンス閾値やアッテネータの減衰値などの最適化を行っていない場合に、各 BSS のスループット間で差が生じたり、システム全体のスループットが劣化する問題があった。

【0025】

ところで、無線基地局では、送信電力値とキャリアセンス閾値を個別に設定する代わりに、アッテネータの減衰値を制御することにより送信電力とキャリアセンス閾値を同時に制御することもできる。すなわち、減衰値を a [dB] だけ上げるとは、送信電力値を a [dB] だけ下げ、キャリアセンス閾値を a [dB] だけ上げることと等価である。

30

【0026】

この補正值 a [dB] に応じて BSS の通信エリアの大きさが変化する。それによって送信機会が増えてスループットが上がることもあれば、隠れ端末やさらし状況による干渉が増加して通信品質が低下し、フレームの再送処理が多くなってスループットが下がることもある。さらに、干渉増加によりフレームの再送処理が多くなると、フレーム送信に係る消費電力やキャリア検知等のフレーム送信以外の消費電力が増え、無線基地局においてスループットに対するエネルギー効率が大きく低下する問題があった。

【0027】

本発明は、共用無線周波数帯を用いる無線通信局が密集している環境において、データ送信を行う無線通信局の周辺の無線環境情報および宛先通信局における信号電力対干渉電力比 (SINR) を用いて、スループットに対するエネルギー効率を最大化する最適なキャリアセンス閾値、送信電力値、減衰値の補正值を算出することができる無線通信システムおよび無線通信方法を提供することを目的とする。

40

【課題を解決するための手段】

【0028】

第1の発明は、共用周波数帯上で無線通信を行う複数の無線通信局を備えた無線通信システムにおいて、無線通信局は、周辺の無線環境情報および宛先通信局における信号電力対干渉電力比 SINR の情報を取得する無線環境情報取得手段と、宛先通信局における SINR に応じて、スループットに対するエネルギー効率が最大となる自局の送信電力値お

50

よびキャリアセンス閾値の補正值を同時に算出して設定するパラメータ設定手段とを備える。

【0029】

第1の発明の無線通信システムにおいて、パラメータ設定手段は、無線通信局*i*におけるリンクゲイン G_{ii} 、送信電力値の最大値 P およびキャリアセンス閾値の最小値の補正值 a_i から無線通信局*i*の宛先通信局におけるSINR値 γ_i を求め、さらに伝送帯域 B 、SINR値 γ_i 、送信時間割合 α_i からスループット r_i を求め、さらにフレーム送信に係る消費電力 $P/a_i \cdot \alpha_i$ に応じてスループット r_i に対するエネルギー効率 η_i が

$$\eta_i = \text{スループット} / \text{フレーム送信に係る消費電力}$$

$$= r_i / (P / a_i \cdot \alpha_i)$$

$$= B \cdot \log_2(1 + P G_{ii} / a_i^2) \cdot \alpha_i / (P / a_i \cdot \alpha_i)$$

10

であるときに、該エネルギー効率 η_i が最大となる補正值 a_i を算出する構成である。

【0030】

第1の発明の無線通信システムにおいて、パラメータ設定手段は、無線通信局*i*におけるリンクゲイン G_{ii} 、送信電力値の最大値 P およびキャリアセンス閾値の最小値の補正值 a_i から無線通信局*i*の宛先通信局におけるSINR値 γ_i を求め、さらに伝送帯域 B 、SINR値 γ_i 、送信時間割合 α_i からスループット r_i を求め、さらにフレーム送信に係る消費電力 $P/a_i \cdot \alpha_i$ 、フレーム送信以外の消費電力 P_c に応じて、スループット r_i に対するエネルギー効率 η_i が

$$\eta_i = \text{スループット} / (\text{フレーム送信に係る消費電力} + \text{フレーム送信以外の消費電力})$$

$$= r_i / (P / a_i \cdot \alpha_i + P_c)$$

$$= B \cdot \log_2(1 + P G_{ii} / a_i^2) \cdot \alpha_i / (P / a_i \cdot \alpha_i + P_c)$$

20

であるときに、該エネルギー効率 η_i が最大となる補正值 a_i を算出する構成である。

【0031】

第1の発明の無線通信システムにおいて、スループット r_i は、

$$B \cdot \log_2(1 + P G_{ii} / a_i^2) \cdot \alpha_i$$

$$B \cdot \log_2(1 + P G_{ii} / a_i^2) / (\text{周辺の周波数共用の無線通信局数})$$

として求め、フレーム送信に係る消費電力は、 $P/a_i \cdot \alpha_i$ に替えて、 $P/a_i \cdot (\text{チャネルアクセス確率})$ として求める。

【0032】

第1の発明の無線通信システムにおいて、パラメータ設定手段は、無線通信局*i*の周辺に周波数共用の無線通信局があるとき、自局および周辺の無線通信局で計算されるスループットに対するエネルギー効率の評価値が最大になる補正值 a_i を算出する構成としてもよい。

30

【0033】

第2の発明は、共用周波数帯上で無線通信を行う複数の無線通信局を備えた無線通信方法において、無線通信局は、周辺の無線環境情報および宛先通信局における信号電力対干渉電力比SINRの情報を取得する無線環境情報取得ステップと、宛先通信局におけるSINRに応じて、スループットに対するエネルギー効率が最大となる自局の送信電力値およびキャリアセンス閾値の補正值を同時に算出して設定するパラメータ設定ステップとを有する。

40

【0034】

第2の発明の無線通信方法において、パラメータ設定ステップは、無線通信局*i*におけるリンクゲイン G_{ii} 、送信電力値の最大値 P およびキャリアセンス閾値の最小値の補正值 a_i から無線通信局*i*の宛先通信局におけるSINR値 γ_i を求め、さらに伝送帯域 B 、SINR値 γ_i 、送信時間割合 α_i からスループット r_i を求め、さらにフレーム送信に係る消費電力 $P/a_i \cdot \alpha_i$ に応じてスループット r_i に対するエネルギー効率 η_i が

$$\eta_i = \text{スループット} / \text{フレーム送信に係る消費電力}$$

$$= r_i / (P / a_i \cdot \alpha_i)$$

$$= B \cdot \log_2(1 + P G_{ii} / a_i^2) \cdot \alpha_i / (P / a_i \cdot \alpha_i)$$

50

であるときに、該エネルギー効率 η_i が最大となる補正值 a_i を算出する。

【0035】

第2の発明の無線通信方法において、パラメータ設定ステップは、無線通信局 i におけるリンクゲイン G_{ii} 、送信電力値の最大値 P およびキャリアセンス閾値の最小値 γ_{th} の補正值 a_i から無線通信局 i の宛先通信局における $SINR$ 値 γ_i を求め、さらに伝送帯域 B 、 $SINR$ 値 γ_i 、送信時間割合 α_i からスループット r_i を求め、さらにフレーム送信に係る消費電力 $P / a_i \cdot \alpha_i$ 、フレーム送信以外の消費電力 P_c に応じて、スループット r_i に対するエネルギー効率 η_i が

$$\begin{aligned} \eta_i &= \text{スループット} / (\text{フレーム送信に係る消費電力} + \text{フレーム送信以外の消費電力}) \\ &= r_i / (P / a_i \cdot \alpha_i + P_c) \\ &= B \cdot \log_2(1 + P G_{ii} / a_i^2) \cdot \alpha_i / (P / a_i \cdot \alpha_i + P_c) \end{aligned}$$

10

であるときに、該エネルギー効率 η_i が最大となる補正值 a_i を算出する。

【0036】

第2の発明の無線通信方法において、スループット r_i は、

$$B \cdot \log_2(1 + P G_{ii} / a_i^2) \cdot \alpha_i \text{ に替えて、}$$

$B \cdot \log_2(1 + P G_{ii} / a_i^2) / (\text{周辺の周波数共用の無線通信局数})$ として求め、フレーム送信に係る消費電力は、 $P / a_i \cdot \alpha_i$ に替えて、 $P / a_i \cdot (\text{チャンネルアクセス確率})$ として求める。

【0037】

第2の発明の無線通信方法において、パラメータ設定ステップは、無線通信局 i の周辺に周波数共用の無線通信局があるとき、自局および周辺の無線通信局で計算されるスループットに対するエネルギー効率の評価値が最大になる補正值 a_i を算出するようにしてもよい。

20

【発明の効果】

【0038】

本発明は、共用無線周波数帯を用いる無線通信局が密集している環境において、エネルギー効率を最大化しながら、無線通信局がデータ送信を行う際のアクセス権（チャンネル利用権）を獲得するまでの待機時間が短くなり、不要な再送信等も減る。そのため、共用無線周波数帯を用いる無線通信局のスループットを改善するとともに、バッテリーの消費を最小化することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0039】

【図1】本発明の無線通信システムの構成例を示す図である。

【図2】無線通信局の構成例を示す図である。

【図3】無線通信局の処理手順例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0040】

図1は、本発明の無線通信システムの構成例を示す。

図1において、無線通信システムは、隣接する BSS の無線基地局 (AP) $10-1 \sim 10-N$ (N は2以上の整数) が共用の周波数チャンネルを用いてそれぞれ帰属する無線端末 (STA) とデータ通信を行う構成である。ここで、無線基地局 $10-n$ (n は $1 \sim N$) に帰属する無線端末を $20-n-1 \sim 20-n-N_s$ (N_s は1以上の整数) とするが、各無線基地局に帰属する無線端末は必ずしも同数 N_s である必要はない。

40

【0041】

ここで、無線基地局 $10-1$ を中心とする円は、送信電力値、キャリアセンス閾値に応じた通信エリアを模式的に示す。実線矢印は無線基地局と帰属する無線端末との間で送受信する無線信号、破線矢印は隣接する BSS との間の干渉信号を示す。

【0042】

送信電力値は、無線基地局の送信信号が所定のレベル（品質）で届く通信エリアを決める。送信電力値が大きいほど通信エリアは大きくなるが、当該通信エリア内に存在する近

50

隣BSSに対しては干渉信号となり、無線通信システム全体のスループットの低下要因になる。一方、送信電力値が小さくなれば、近隣BSSに対する干渉信号は小さくなるものの、宛先無線端末におけるSINR (Signal-to-Interference Plus Noise Power Ratio) の低下により、変調方式と符号化率の組み合わせであるMCS (Modulation and coding scheme) が低下し、スループットが低下することになる。

【0043】

キャリアセンス閾値は、CSMA/CA制御により送信可否を判断するキャリアセンス範囲を決め、受信信号のRSSIに基づく通信エリアを決める。キャリアセンス閾値が大きいほど通信エリアは小さくなり、閾値以下の信号に対してチャンネルアイドルとなって送信機会が増加する。ただし、送信機会の増加は、近隣BSSに対しては干渉信号が増加する

10

【0044】

したがって、無線基地局における通信エリアを決める送信電力値およびキャリアセンス閾値は、干渉レベルなどの無線環境情報に応じて、無線通信システム全体としてスループットに対するエネルギー効率を最大化するように適切に設定する必要がある。

【0045】

図2は、本発明の無線通信システムの無線通信局の構成例を示す。なお、無線通信局は、無線基地局APまたは帰属端末STAであり、どちらも同じ構成である。

【0046】

図2において、無線通信局は、宛先局とデータ送受信を行う無線通信部11と、周辺の無線環境情報のスキニングを実施し、周辺の無線通信局の使用パラメータ等の無線環境情報および宛先通信局における信号電力対干渉電力比SINRの情報を取得する無線環境情報取得部12と、取得した無線環境情報を用いて送信電力値、キャリアセンス閾値、減衰値などのパラメータを算出するパラメータ算出部13と、算出した送信電力値、キャリアセンス閾値、減衰値などのパラメータを設定するパラメータ設定部14と、設定されたパラメータを用いたキャリアセンスによりアクセス権を獲得するアクセス権獲得部15とにより構成される。

20

【0047】

図3は、本発明の無線通信システムの無線通信局の処理手順例を示す。

30

図3において、無線通信局の無線環境情報取得部12は、周辺の無線通信局の使用パラメータ等の無線環境情報を取得し(S11)、現在運用中の送信電力値における宛先通信局での信号電力対干渉電力比SINRの情報を取得する(S12)。次に、パラメータ算出部13は、各取得情報を用いて当該無線通信局においてエネルギー効率を最大化する送信電力値およびキャリアセンス閾値の補正値を算出する(S13)。次に、パラメータ設定部14は、算出された送信電力値およびキャリアセンス閾値の補正値を設定し(S14)、運用を開始する。

【0048】

本発明の特徴は、送信電力値およびキャリアセンス閾値の補正値により、送信電力値を下げた分だけキャリアセンス閾値を上げる、または送信電力値を上げた分だけキャリアセンス閾値を下げることにより、キャリアセンスによるアクセス権を取得しやすくするとともに、SINRが大幅に低下しないように制御するところにある。すなわち、送信電力値をa[dB]下げる(キャリアセンス閾値をa[dB]上げる)と、周辺の干渉無線局数が減るためアクセス権獲得率が増すが、宛先の無線通信局におけるSINRが劣化する。一方、送信電力値をa[dB]上げる(キャリアセンス閾値をa[dB]下げる)と、周辺の無線通信局数が増え、アクセス権が取得しにくくなるが、宛先の無線通信局におけるSINRが高くなる。したがって、送信電力値およびキャリアセンス閾値には、エネルギー効率を最大化する最適な補正値aがあり、本発明はその最適な補正値aを算出する方法を示す。

40

【0049】

ここで、無線通信局のアッテネータの減衰値を現在の値に対してa[dB]大きくすると、

50

無線通信局の送信電力が a [dB] 下がり、また当該無線通信局における受信電力が a [dB] 減少するので、キャリアセンス閾値を a [dB] 上げたことと等価になる。したがって、例えばキャリアセンス閾値の変更ができない無線通信局、または送信電力値の補正值とキャリアセンス閾値の補正值を正負対称の値に調整できない無線通信局においては、減衰値を調整する方法がとられる。

【0050】

無線通信局 i におけるスループットに対するエネルギー効率 η_i は、無線通信局 i におけるスループットを r_i 、送信電力値を p_i 、送信時間割合を α_i ($0 < \alpha_i < 1$) としてフレーム送信に係る消費電力を $p_i \cdot \alpha_i$ とし、フレーム送信以外の消費電力を P_c とすると、

$$\eta_i = r_i / (p_i \cdot \alpha_i + P_c) \quad \dots(1)$$

と表される。

【0051】

ここで、無線通信局 i におけるスループット r_i は、宛先通信局における SINR 値を γ_i 、伝送帯域を B としたときに、

$$r_i = B \cdot \log_2(1 + \gamma_i) \cdot \alpha_i \quad \dots(2)$$

により算出される。

【0052】

一方、無線通信局 i の宛先通信局における SINR 値 γ_i は、無線通信局 i の送信電力値 p_i 、リンクゲイン G_{ii} 、キャリアセンス閾値 θ_i を用いて

$$\gamma_i = p_i G_{ii} / \theta_i \quad \dots(3)$$

と表される。

【0053】

よって、無線通信局 i におけるスループットに対するエネルギー効率 η_i は、

$$\begin{aligned} \eta_i &= r_i / (p_i \cdot \alpha_i + P_c) \\ &= B \cdot \log_2(1 + \gamma_i) \cdot \alpha_i / (p_i \cdot \alpha_i + P_c) \\ &= B \cdot \log_2(1 + p_i G_{ii} / \theta_i) \cdot \alpha_i / (p_i \cdot \alpha_i + P_c) \quad \dots(4) \end{aligned}$$

と表される。

【0054】

ここで、無線通信局 i の送信電力値の最大値を P 、キャリアセンス閾値の最小値を θ 、送信電力値およびキャリアセンス閾値の補正值、すなわち減衰値の補正值を a_i とすると

$$p_i = P / a_i \quad \dots(5)$$

$$\theta_i = \theta \times a_i \quad \dots(6)$$

となり、無線通信局 i の補正值 a_i と、宛先通信局における SINR 値 γ_i の関係は、

$$\gamma_i = P G_{ii} / \theta a_i^2 \quad \dots(7)$$

となる。

【0055】

よって、無線通信局 i におけるスループットに対するエネルギー効率 η_i は、

$$\eta_i = B \cdot \log_2(1 + P G_{ii} / \theta a_i^2) \cdot \alpha_i / (P / a_i \cdot \alpha_i + P_c) \quad \dots(8)$$

と表される。

【0056】

この無線通信局 i におけるスループット r_i に対するエネルギー効率 η_i を最大化するように、減衰値の補正值 a_i を決定する。

【0057】

さらに、無線通信局 i の周辺に周波数共用の無線通信局 j があるとき、無線通信局 i および無線通信局 j のそれぞれで計算されるスループット r_i, r_j に対するエネルギー効率 η_i, η_j の評価値、例えば η_i, η_j の逆数和に負号をつけた値が最大になるように、無線通信局 i の減衰値の補正值 a_i を決定してもよい。

【0058】

10

20

30

40

50

なお、(1)式に示すエネルギー効率 η_i において、フレーム送信以外の消費電力 P_c を考慮しない場合は、

$$\begin{aligned}
 \eta_i &= r_i / (p_i \cdot \gamma_i) \\
 &= B \cdot \log_2(1 + P G_{ii} / a_i^2) \cdot \gamma_i / (P / a_i \cdot \gamma_i) \\
 &= B \cdot \log_2(1 + P G_{ii} / a_i^2) / (P / a_i) \quad \dots (9)
 \end{aligned}$$

と表される。

【0059】

また、無線通信局 i におけるスループット r_i は、式(2)に示す定義に替えて、

$$r_i = B \cdot \log_2(1 + \gamma_i) / (\text{周辺の周波数共有の無線通信局数})$$

としてもよい。

10

【0060】

また、フレーム送信に係る消費電力は、 $P / a_i \cdot \gamma_i$ に替えて、

$$P / a_i \cdot (\text{チャンネルアクセス確率})$$

としてもよい。

【符号の説明】

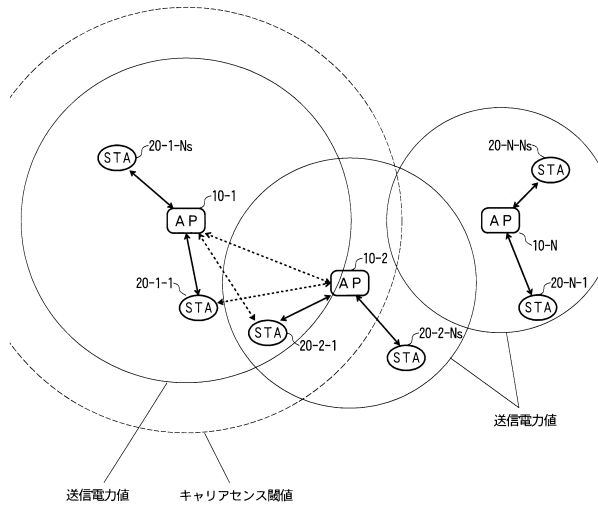
【0061】

- 10 無線基地局 (AP)
- 11 無線通信部
- 12 無線環境情報取得部
- 13 パラメータ算出部
- 14 パラメータ設定部
- 15 アクセス権獲得部
- 20 無線端末 (STA)

20

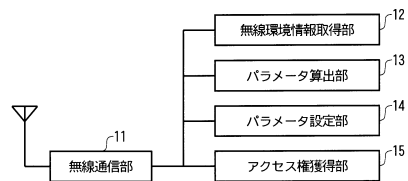
【図1】

本発明の無線通信システムの構成例



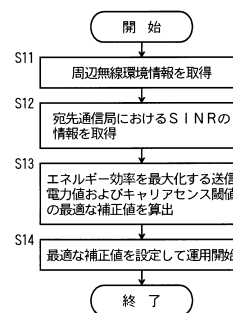
【図2】

無線通信局の構成例



【図3】

無線通信局の処理手順例



フロントページの続き

- (72)発明者 福園 隼人
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 松井 宗大
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 鷹取 泰司
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 溝口 匡人
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 山本 高至
京都府京都市左京区吉田本町3番地1 国立大学法人京都大学内
- (72)発明者 尹 博
京都府京都市左京区吉田本町3番地1 国立大学法人京都大学内

審査官 青木 健

- (56)参考文献 特開2015-167288(JP,A)
特開2015-167286(JP,A)
国際公開第2017/029738(WO,A1)
特表2015-534418(JP,A)
山本高至、アベセカラヒランタ，無線LANにおける送信電力・キャリア検出閾値反比例設定の確率幾何解析，電子情報通信学会技術研究報告 Vol.116 No.147 RCC2016-36，2016年7月13日，153-157頁

(58)調査した分野(Int.Cl.，DB名)

H04W 4/00 - 99/00
H04B 7/24 - 7/26