

明 細 書

発明の名称：

通信制御装置、通信制御方法、通信装置、通信方法及び通信システム

技術分野

[0001] 本開示は、通信制御装置、通信制御方法、通信装置、通信方法及び通信システムに関する。

背景技術

[0002] 将来の周波数リソースの枯渇を緩和するための対策の1つとして、周波数の二次利用についての議論が進められている。周波数の二次利用とは、あるシステムに優先的に割り当てられている周波数チャネルの一部又は全部を、他のシステムが二次的に利用することをいう。一般的に、周波数チャネルが優先的に割り当てられているシステムは一次システム (Primary System)、当該周波数チャネルを二次利用するシステムは二次システム (Secondary System) と呼ばれる。

[0003] TVホワイトスペースは、二次利用が議論されている周波数チャネルの一例である (非特許文献1及び2参照)。TVホワイトスペースは、一次システムとしてのTV放送システムに割り当てられている周波数チャネルのうち、地域に応じて当該TV放送システムにより利用されていないチャネルを指す。このTVホワイトスペースを二次システムに開放することで、周波数リソースの効率的な活用が実現され得る。TVホワイトスペースの二次利用を可能とするための物理層 (PHY) 及びMAC層のための標準規格として、例えば、IEEE 802.22、IEEE 802.11af、及びECMA (European Computer Manufacturer Association) - 392 (Cognea, 下記非特許文献3参照) が挙げられる。

[0004] 周波数帯の二次利用に際して、通常、二次システムには、一次システムに致命的な干渉を与えることのないような運用が求められる。そのための重要な技術の1つが、送信電力制御である。例えば、下記特許文献1は、二次シ

ステムの基地局において一次システムの受信装置までの経路損失と周波数チャネル間の離隔周波数幅とを算出し、その算出結果に基づいて二次システムの最大送信電力を決定する、という手法を提案している。

先行技術文献

非特許文献

[0005] 非特許文献1：「SECOND REPORT AND ORDER AND MEMORANDUM OPINION AND ORDER」、[online]、[2010年10月12日検索]、インターネット<URL：http://hraunfoss.fcc.gov/edocs_public/attachmatch/FCC-08-260A1.pdf>

非特許文献2：「SE43-Cognitive radio systems-White spaces (470-790MHz)」、[online]、[2010年10月12日検索]、インターネット<URL：<http://www.cept.org/0B322E6B-375D-4B8F-868B-3F9E5153CF72.W5Doc?frames=no&>>

非特許文献3：「Standard ECMA-392 MAC and PHY for Operation in TV White Space」、[online]、[2010年10月12日検索]、インターネット<URL：<http://www.ecma-international.org/publications/standards/Ecma-392.htm>>

特許文献

[0006] 特許文献1：特開2009-100452号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] しかしながら、上記特許文献1に記載された手法では、二次システムの基地局が他の二次システムの存在の可能性を計算に入れていないため、複数の二次システムが存在する場合に一次システムへの干渉が許容量を超える恐れがある。

[0008] そこで、周波数帯の二次利用に際して、複数の二次システムが存在する場合にも一次システムに致命的な干渉が及ぶことを回避することのできる仕組

みが提供されることが望ましい。

課題を解決するための手段

- [0009] ある実施形態によれば、一次システムに割り当てられた周波数チャネル及び当該周波数チャネルの近傍の周波数チャネルの少なくとも一方を利用して二次システムを運用する1つ以上の二次通信ノードとの間で通信する通信部と、送信電力の割当ての対象とする二次システム又は二次通信ノードの上限数を決定する決定部と、決定された上記上限数と上記一次システムの許容干渉量とに基づいて、各二次システム又は各二次システムの各二次通信ノードに送信電力を割り当てる電力割当て部と、を備える通信制御装置が提供される。
- [0010] また、上記決定部は、各二次システムの通信品質の要件に基づいて上記上限数を決定してもよい。
- [0011] また、上記決定部は、各二次システムの通信品質の要件から推定される上記一次システムへの干渉量と上記一次システムの許容干渉量との差を評価することにより、上記上限数を決定してもよい。
- [0012] また、上記電力割当て部は、複数の周波数チャネルが1つ以上の二次システムにより利用される場合に、当該複数の周波数チャネルの二次利用に起因する上記一次システムへの干渉量の総和が上記一次システムの上記許容干渉量を超えないように、各二次システム又は各二次システムの各二次通信ノードに送信電力を割り当ててもよい。
- [0013] また、上記決定部は、上記一次システムに割り当てられた周波数チャネルについての第1の上限数と他の周波数チャネルについての第2の上限数とを決定し、上記電力割当て部は、上記第1の上限数及び上記第2の上限数を用いて、各二次システム又は各二次システムの各二次通信ノードに送信電力を割り当ててもよい。
- [0014] また、上記電力割当て部は、二次システムにより利用される周波数チャネルごとに当該周波数チャネルを利用する二次システムに送信電力を暫定的に配分した後、暫定的に配分された送信電力に基づいて、異なる周波数チャネ

ルを利用する二次システム間で送信電力を再配分してもよい。

[0015] 上記電力割当て部は、二次システム間で送信電力を配分又は再配分した後、上記許容干渉量と一次システムのサービスエリア内で干渉量の総和が最も多くなる地点での干渉量との比較に基づいて、各二次システムに割り当てるべき送信電力を修正してもよい。

[0016] また、上記通信部は、二次システムについての優先度を定義する優先度情報を他の装置から受信し、上記電力割当て部は、より高い優先度を有する二次システムに上記暫定的に配分された送信電力に基づいて送信電力を割当てた後、残る二次システムに送信電力を再配分してもよい。

[0017] また、上記通信部は、二次システムについての優先度を定義する優先度情報を他の装置から受信し、上記電力割当て部は、上記優先度に応じた重みを用いて、各二次システム又は各二次システムの各二次通信ノードに割り当てる送信電力を重み付けしてもよい。

[0018] 上記電力割当て部は、新たな二次システムが運用開始される場合に、既存の二次システムのうち送信電力の余剰分を有する二次システムに送信電力の引き下げを要求してもよい。

[0019] 上記決定部は、上記一次システムへの干渉量を推定する際の上記一次システムの基準点の位置を、上記一次システムのデータサーバから受信される情報を用いて決定してもよい。

[0020] また、上記電力割当て部は、上記一次システムの上記許容干渉量、及び上記一次システムと各二次システムとの間の距離に応じた経路損失に基づいて、送信電力の割当てを決定し、上記一次システムと各二次システムとの間の距離は、各二次システムの位置から上記一次システムのサービスエリアの外周又は上記一次システムのノードまでの最短距離であってもよい。

[0021] また、上記電力割当て部は、上記一次システムの上記許容干渉量、及び上記一次システムと各二次システムとの間の距離に応じた経路損失に基づいて、送信電力の割当てを決定し、上記一次システムと各二次システムとの間の距離は、各二次システムの位置から上記一次システムのサービスエリアの外

周上又は当該外周内の特定の地点までの距離であってもよい。

[0022] また、上記電力割当て部は、上記一次システムとの間の距離又は当該距離に応じた経路損失が所定の閾値を超える二次システムを、送信電力の割当ての計算において無視してもよい。

[0023] また、上記閾値は、周波数チャネルごとに設定されてもよい。

[0024] また、上記電力割当て部は、上記通信部により受信される二次通信ノードからの要求に応じて、二次通信ノードに電力割当て結果を通知してもよい。

[0025] また、上記電力割当て部は、二次通信ノードからの要求に依存することなく、二次通信ノードに電力割当て結果を通知してもよい。

[0026] また、上記電力割当て部は、送信電力の割当てに際して干渉のリスクを低減するためのマージンを算入し、上記通信制御装置は、周波数チャネルごとの運用中の二次システム数若しくは二次通信ノード数又は運用可能な最大の二次システム数若しくは二次通信ノード数に基づいて、上記マージンを設定するマージン設定部、をさらに備えてもよい。

[0027] また、上記マージン設定部は、帯域の中央部の周波数チャネルのマージンが端部の周波数チャネルのマージンよりも相対的に大きくなるように、上記マージンを周波数チャネルごとに設定してもよい。

[0028] また、別の実施形態によれば、一次システムに割り当てられた周波数チャネル及び当該周波数チャネルの近傍の周波数チャネルの少なくとも一方を利用して二次システムを運用する1つ以上の二次通信ノードとの間で通信する通信制御装置を用いた通信制御方法であって、送信電力の割当ての対象とする二次システム又は二次通信ノードの上限数を決定することと、決定された上記上限数と上記一次システムの許容干渉量とに基づいて、各二次システム又は各二次システムの各二次通信ノードに送信電力を割り当てることと、を含む通信制御方法が提供される。

[0029] また、別の実施形態によれば、一次システムに割り当てられた周波数チャネル及び当該周波数チャネルの近傍の周波数チャネルの少なくとも一方を利用して二次システムを運用する通信装置であって、送信電力の割当ての対象

とする二次システム又は二次通信ノードの上限数と上記一次システムの許容干渉量とに基づいて、各二次システム又は各二次システムの各二次通信ノードに送信電力を割り当てる通信制御装置から、送信電力の割当て結果を受信する通信部と、上記通信部により受信される送信電力の割当て結果に基づいて、他の二次通信ノードとの間の通信のための送信電力を制限する制御部と、を備える通信装置が提供される。

[0030] また、別の実施形態によれば、一次システムに割り当てられた周波数チャネル及び当該周波数チャネルの近傍の周波数チャネルの少なくとも一方を利用して二次システムを運用する通信装置による通信方法であって、送信電力の割当ての対象とする二次システム又は二次通信ノードの上限数と上記一次システムの許容干渉量とに基づいて、各二次システム又は各二次システムの各二次通信ノードに送信電力を割り当てる通信制御装置から、送信電力の割当て結果を受信することと、上記送信電力の割当て結果に基づいて、他の二次通信ノードとの間の通信のための送信電力を制限することと、を含む通信方法が提供される。

[0031] また、別の実施形態によれば、一次システムに割り当てられた周波数チャネル及び当該周波数チャネルの近傍の周波数チャネルの少なくとも一方を利用して二次システムを運用する1つ以上の二次通信ノードと、当該1つ以上の二次通信ノードによる通信を制御する通信制御装置とを含む通信システムであって、上記通信制御装置は、上記1つ以上の二次通信ノードとの間で通信する通信部と、送信電力の割当ての対象とする二次システム又は二次通信ノードの上限数を決定する決定部と、決定された上記上限数と上記一次システムの許容干渉量とに基づいて、各二次システム又は各二次システムの各二次通信ノードに送信電力を割り当てる電力割当て部と、を備え、上記1つ以上の二次通信ノードの各々は、上記通信制御装置から送信電力の割当て結果を受信する通信部と、受信された上記送信電力の割当て結果に基づいて、他の二次通信ノードとの間の通信のための送信電力を制限する制御部と、を備える、通信システムが提供される。

発明の効果

[0032] 以上説明したように、本開示に係る技術に係る通信制御装置、通信制御方法、通信装置、通信方法及び通信システムによれば、周波数帯の二次利用に際して、複数の二次システムが存在する場合にも一次システムに致命的な干渉が及ぶことを回避することができる。

図面の簡単な説明

[0033] [図1]周波数の二次利用に際して一次システムのノードが受ける干渉について説明するための説明図である。

[図2]チャネル内の干渉及びチャネル間の干渉について説明するための説明図である。

[図3]一実施形態に係る通信システムの構成について説明するための説明図である。

[図4]一実施形態に係る通信システムにおいて実行される干渉制御処理の概略的な流れの一例を示すシーケンス図である。

[図5]一実施形態に係る通信制御装置の構成の一例を示すブロック図である。

[図6]一実施形態に係る通信制御装置による電力調整処理の流れの概要を示すフローチャートである。

[図7]一実施形態に係る上限数決定処理の流れの一例を示すフローチャートである。

[図8]狭義の同時利用数及び広義の同時利用数の一例について説明するための説明図である。

[図9A]一次システムとの間の距離に応じた電力割当て対象の除外の第1の例について説明するための説明図である。

[図9B]一次システムとの間の距離に応じた電力割当て対象の除外の第2の例について説明するための説明図である。

[図10A]一実施形態に係る電力割当て処理の流れの第1の例を示すフローチャートである。

[図10B]一実施形態に係る電力割当て処理の流れの第2の例を示すフローチャートである。

ートである。

[図10C]一実施形態に係る電力割当て処理の流れの第3の例を示すフローチャートである。

[図11]一実施形態に係る電力再調整処理の流れ一例を示すフローチャートである。

[図12]一実施形態に係る二次システム管理テーブルの構成の一例を示す説明図である。

[図13A]一実施形態において二次システムの運用開始が拒否される場合の処理の流れの第1の例を示すフローチャートである。

[図13B]一実施形態において二次システムの運用開始が保留される場合の処理の流れの一例を示すフローチャートである。

[図13C]一実施形態において二次システムの運用開始が拒否される場合の処理の流れの第2の例を示すフローチャートである。

[図14A]一次システムと各二次システムとの間の距離の定義の第1の例について説明するための説明図である。

[図14B]一次システムと各二次システムとの間の距離の定義の第2の例について説明するための説明図である。

[図14C]一次システムと各二次システムとの間の距離の定義の第3の例について説明するための説明図である。

[図14D]一次システムと各二次システムとの間の距離の定義の第4の例について説明するための説明図である。

[図15]一実施形態に係る二次通信ノードの構成の一例を示すブロック図である。

[図16]一変形例に係る通信制御装置の構成の一例を示すブロック図である。

[図17]帯域内の周波数チャネルの位置に依存するマージンの設定について説明するための説明図である。

発明を実施するための形態

[0034] 以下に添付図面を参照しながら、本開示の好適な実施の形態について詳細

に説明する。なお、本明細書及び図面において、実質的に同一の機能構成を有する構成要素については、同一の符号を付すことにより重複説明を省略する。

[0035] また、以下の順序にしたがって当該「発明を実施するための形態」を説明する。

1. システムの概要
2. 基本的な干渉制御モデル
3. 通信制御装置（マネージャ）の構成例
4. 通信装置（二次通信ノード）の構成例
5. 適応的なマージンの設定
6. まとめ

[0036] <1. システムの概要>

まず、図1～図4を参照しながら、一実施形態に関連する課題及び通信システムの概要を説明する。

[0037] [1-1. 一実施形態に関連する課題]

図1は、周波数の二次利用に際して一次システムのノードが受ける干渉について説明するための説明図である。図1を参照すると、一次システムのサービスを提供する一次送信局10、及び当該一次システムのサービスエリアの境界12の内部に位置する一次受信局20が示されている。一次送信局10は、例えば、TV放送の放送局であってもよく、又はセルラ通信方式の無線基地局若しくは中継局であってもよい。一次送信局10がTV放送の放送局である場合には、一次受信局20は、TV放送の受信用アンテナ及びチューナを有する受信機である。また、一次送信局10がセルラ通信方式の無線基地局である場合には、一次受信局20は、当該セルラ通信方式に従って動作する無線端末である。図1の例において、一次送信局10には、チャンネルF1が割り当てられている。一次送信局10は、このチャンネルF1上で無線信号を送信することにより、TV放送サービス、無線通信サービス又はその他の何らかの無線サービス（以下、一次サービスという）を提供することが

できる。

- [0038] 図1には、さらに、複数の二次システムの通信ノード（以下、二次通信ノードという）200a、200b、200c及び200dが示されている。各二次通信ノードは、一次システムに割り当てられたチャネルF1又は近傍のチャネルF2若しくはF3を利用して、それぞれ二次システムを運用する。図1の例において、境界12と境界14との間のガードエリアの外に位置する二次通信ノード200aは、チャネルF1を利用している。ガードエリアの内部に位置する二次通信ノード200b及び200cは、それぞれ、チャネルF1の近傍のチャネルF2及びF3を利用している。ガードエリアの外に位置する二次通信ノード200dは、チャネルF2を利用している。
- [0039] 図1のような状況下で、一次受信局20は、一次サービスの提供を受けるに際して、各二次通信ノードから送信される無線信号に起因する干渉の影響を受ける可能性がある。図2は、チャネル内の（In-band）干渉及びチャネル間の干渉について説明するための説明図である。図2の例において、チャネルF1は、一次システムの利用チャネルである。このチャネルF1を図1の二次通信ノード200aが二次利用することにより、同一チャネル内での干渉が生じ得る。チャネルF2は、チャネルF1に隣接するチャネルである。チャネルF3は、チャネルF2に隣接するチャネルである。チャネルF1とチャネルF2との間、及びチャネルF2とチャネルF3との間には、保護帯域（Guard Band）が設けられる。これらチャネルF2及びF3を他のシステムが利用した場合に、一次システムが干渉を受けないことが理想的である。しかし、実際には、図2に例示しているように、帯域外輻射を原因として、近傍のチャネル（チャネルF2、F3及び他のチャネルなど）からの無視できない干渉が生じ得る。
- [0040] 既存の手法によれば、図1に示した各二次通信ノードは、一次システムとの間の1対1の関係において、自らの送信電力を制御することにより、一次システムに与える干渉を抑制することはできる。しかしながら、複数の二次通信ノードにより複数の二次システムが運用される場合には、個々の二次シ

ステムに起因する干渉が積み重なることで、結果的に一次システムが致命的な干渉を受けるリスクが存在する。既存の手法は、こうしたリスクを十分に抑制して一次システムの安全な運用を確保するまでには至っていない。

[0041] [1-2. 通信システムの概要]

図3は、一実施形態に係る通信システム1の構成について説明するための説明図である。図3を参照すると、通信システム1は、一次送信局10、データサーバ30、通信制御装置100、並びに二次通信ノード200a及び200bを含む。なお、図3の例では、二次通信ノードとして、二次通信ノード200a及び200bのみを示しているが、実際にはより多くの二次通信ノードが存在してもよい。本明細書の以降の説明において、特に二次通信ノード200a及び200b（並びにその他の二次通信ノード）を相互に区別する必要がない場合には、符号の末尾のアルファベットを省略することによりこれらを二次通信ノード200と総称する。

[0042] データサーバ30は、二次利用に関するデータを記憶するデータベースを有するサーバ装置である。データサーバ30は、二次通信ノード200からのアクセスを受け、二次利用可能なチャネルを表すデータ、及び一次システムの送信局10の位置データなどを二次通信ノード200に提供する。また、二次通信ノード200は、二次利用の開始に際して、二次システムに関する情報をデータサーバ30に登録する。データサーバ30と二次通信ノード200との間の通信は、例えば、インターネットなどの任意のネットワークを介して行われてよい。このようなデータサーバの仕様の一例については、TVホワイトスペースの二次利用について記述した非特許文献1を参照されたい。

[0043] 通信制御装置100は、複数の二次システムの運用に起因する干渉が一次システムに致命的な影響を与えないように、各二次通信ノード200が使用する送信電力を調整する、二次システムマネージャとしての役割を有する。通信制御装置100は、例えばインターネットなどのネットワークを介してデータサーバ30にアクセス可能であり、送信電力の調整のために使用する

データを、データサーバ30から取得する。また、通信制御装置100は、各二次通信ポート200とも通信可能に接続される。そして、通信制御装置100は、二次通信ポート200若しくは一次システムからの要求に応じて又は周期的に、複数の二次システムの送信電力を調整する。なお、図3の例に限定されず、通信制御装置100は、データサーバ30又はいずれかの二次通信ポート200と物理的に同一の装置上に実装されてもよい。

[0044] 図4は、通信システム1において実行される干渉制御処理の概略的な流れの一例を示すシーケンス図である。

[0045] まず、二次通信ポート200は、二次利用の開始に際して、二次システムに関する情報をデータサーバ30に登録する(ステップS10)。ここで登録される情報には、例えば、二次利用を開始する装置のID、クラス及び位置データなどが含まれ得る。また、二次システムに関する情報の登録に際して、データサーバ30は、二次利用可能な周波数チャネルのチャネル番号のリスト、許容最大送信電力及びスペクトラムマスクなどの二次システムの構成のための情報を、二次通信ポート200に通知する。なお、二次通信ポート200によるデータサーバ30へのアクセスの周期は、周波数利用規制に関する法律の規定に基づいて決定されてもよい。例えば、FCC (Federal Communications Commission) において、二次通信ポートの位置が変化する場合には位置データの更新を少なくとも60秒ごとに行うべき、という要件が検討されている。また、利用可能なチャネル番号のリストの確認を二次通信ポートにより少なくとも30秒ごとに行うことが推奨されている。但し、データサーバ30へのアクセスの増加は、オーバーヘッドの増加をもたらす。そこで、データサーバ30へのアクセス周期は、より長い周期(例えば、規定される周期の整数倍など)に設定されてもよい。また、アクセス周期は、アクティブなノード数に応じて動的に設定されてもよい(例えば、ノード数が少ない場合には、干渉のリスクが低いため、周期はより長く設定され得る)。アクセス周期は、例えば、二次システムに関する情報の初期登録の際に、データサーバ30により二次通信ポート200へ指示されてもよい。

[0046] また、通信制御装置 100 は、例えば周期的に、データサーバ 30 から一次システムに関する情報を受信し、受信した情報を用いて自装置が記憶している情報を更新する（ステップ S 11）。ここで受信される情報は、一次システムの送信局 10 の位置データ、アンテナ高さ、ガードエリアの幅、周波数チャネルのチャネル番号のリスト、一次システムの許容干渉量、後に説明する干渉計算のための基準点の位置データ、登録済みの二次通信ノード 200 の ID のリスト及びその他のパラメータ（例えば、近傍チャネル漏れ率（ACLR : Adjacent Channel Leakage Ratio）、フェージングマージン、シャドウイングマージン、保護比率、ACS（Adjacent Channel Selection）など）のうちの 1 つ以上を含み得る。なお、通信制御装置 100 は、二次通信ノード 200 から間接的に一次システムに関する情報の全部又は一部（例えば、チャネル番号のリストなど）を受信してもよい。また、後に説明するように、送信電力の配分のための配分マージンが適応的に設定される場合には、通信制御装置 100 は、配分マージンを設定するために使用するパラメータをデータサーバ 30 から受信してもよい。配分マージンを設定するために使用されるパラメータは、例えば、チャネルごとのアクティブな二次システム数若しくは二次通信ノード数、又はそれらの代表値（チャネル間の最大値など）を含み得る。

[0047] 次に、二次通信ノード 200 は、データサーバ 30 から通知された情報に基づいて、二次システムを構成する（ステップ S 12）。例えば、二次通信ノード 200 は、二次利用可能な周波数チャネルから 1 つ又は複数のチャネルを選択し、選択したチャネル上で自装置の周囲にビーコンを送信する。そして、二次通信ノード 200 は、ビーコンに応答した装置との間で通信を確立する。

[0048] その後、二次通信ノード 200 から通信制御装置 100 へ、又は通信制御装置 100 から二次通信ノード 200 へ、干渉制御の要求が送信される（ステップ S 13）。干渉制御の要求は、例えば、二次通信ノード 200 が自ら運用する二次システムとは別の二次システムからの無線信号を検知したこと

を契機として、二次通信ノード２００から送信されてもよい。その代わりに、干渉制御の要求は、例えば、通信制御装置１００から能動的に各二次通信ノード２００へ送信されてもよい。なお、ステップＳ１２の二次システムの構成の前に干渉制御の要求が送信されてもよい。

[0049] 干渉制御の要求に対して応答が返されると、通信制御装置１００と二次通信ノード２００との間で相互認証及びアプリケーションレベルの情報の交換が行われる（ステップＳ１４）。また、二次通信ノード２００から通信制御装置１００へ、二次システムに関する情報が送信される（ステップＳ１５）。ここで送信される情報には、例えば、二次通信ノード２００のＩＤ、クラス、位置データ、二次通信ノード２００が選択した周波数チャネル（利用チャネル）のチャネル番号、通信品質の要件（ＱoS（Quality of Service）要件など）に関する情報、優先度情報及び通信履歴などが含まれ得る。

[0050] 次に、通信制御装置１００は、データサーバ３０及び二次通信ノード２００から取得した情報に基づいて、電力調整処理を実行する（ステップＳ１６）。ここでの通信制御装置１００による電力調整処理について、後に詳細に説明する。次に、通信制御装置１００は、電力割当ての結果を二次通信ノード２００に通知し、二次システムの再構成を要求する（ステップＳ１７）。

[0051] 次に、二次通信ノード２００は、通信制御装置１００から通知された電力割当ての結果に基づいて、二次システムを再構成する（ステップＳ１８）。次に、二次通信ノード２００は、二次システムの再構成を終了すると、再構成の結果を通信制御装置１００へレポートする（ステップＳ１９）。そして、通信制御装置１００は、二次通信ノード２００からのレポートに応じて、自装置が記憶している二次システムに関する情報を更新する（ステップＳ２０）。

[0052] <２．基本的な干渉制御モデル>

上述したシーケンスのうち、ステップＳ１６における通信制御装置１００による電力調整処理は、例えば、以下に説明する干渉制御モデルに基づく処理であってよい。なお、ここでは真値表現を用いて干渉制御モデルの数式を

記述するが、本干渉制御モデルは、数式を変換することでデシベル値表現にも対応可能である。

[0053] まず、干渉計算上の基準点（リファレンスポイント）を i 、一次システムに割り当てられた周波数チャネルを f_j 、一次システムの許容干渉量を $I_{\text{acceptable}}(i, f_j)$ とする。また、チャネル f_j を二次利用する単一の二次システム k がガードエリアの外周上に位置しているとする。すると、二次システムの最大送信電力 $P_{\text{max}}(f_j, k)$ 、最小離隔距離（ガードエリアの幅）についての経路損失 $L(i, f_j, k)$ 、及び許容干渉量 $I_{\text{acceptable}}(i, f_j)$ の間に次の関係式が成立する。

[0054] [数1]

$$I_{\text{acceptable}}(i, f_j) = P_{\text{max}}(f_j, k) \cdot L(i, f_j, k) \quad (1)$$

[0055] なお、基準点の位置は、図4のステップS11において通信制御装置100がデータサーバ30から受信する情報に基づいて決定され得る。基準点が予め定義される場合には、当該基準点の位置を表す位置データ（例えば、緯度及び経度など）がデータサーバ30から受信されてもよい。また、通信制御装置100は、データサーバ30から受信される一次システムのノード、サービスエリア又はガードエリアの位置データ、及び各二次通信ノード200から受信される位置データを用いて、基準点の位置を動的に決定してもよい。

[0056] 二次システムが複数存在する場合には、各二次システムへの送信電力の割当ては、式（1）を拡張することにより得られる次の関係式を満たしていることが求められる。

[0057]

[数2]

$$I_{\text{acceptable}}(i, f_j) \geq \sum_{k=1}^{M_j} P(f_j, k) \cdot L(i, f_j, k) \cdot G(f_j, k) + \sum_{jj=1}^{O_j} \sum_{kk=1}^{N_{jj}} \{P(f_{jj}, kk) \cdot L(i, f_{jj}, kk) \cdot G(f_{jj}, kk) / H(f_j, f_{jj}, kk)\} \quad (2)$$

[0058] ここで、式（２）の右辺の第１項は、一次システムに割り当てられたチャネル f_j と同一のチャネルを二次利用する二次システムに起因する干渉量の総和を表す。 M_j は同一チャネルを二次利用する二次システムの数、 $P(f_j, k)$ は k 番目の二次システム（又は当該二次システムを管理するマスタである二次通信ノード、若しくはマスタ・スレーブを含む全ての二次通信ノード）に割り当てられる電力、 $L(i, f_j, k)$ は k 番目の二次システムと一次システムの基準点 i との間の経路損失、 $G(f_j, k)$ は利得成分である。また、第２項は、チャネル f_j とは異なる近傍のチャネルを二次利用する二次システムに起因する干渉量の総和を表す。 O_j は近傍チャネルの数、 j_j は近傍チャネルのインデックス、 N_{jj} は近傍チャネルを二次利用する二次システムの数、 kk は近傍チャネルを二次利用する二次システムのインデックス、 $H(f_j, f_{jj}, kk)$ は近傍チャネル f_{jj} からチャネル f_j への二次システム kk についての損失成分である。なお、上記 M_j 及び N_{jj} は、アクティブな二次システム（若しくは二次通信ノード）の数であってもよい。

[0059] 式（２）における利得成分 G は、主に次の表１に示す要因に基づいて決定され得る。

[0060]

[表1]

表 1 . システム間の利得成分の要因	
記号	要因
$PR(f_{jj} - f_j)$	周波数が $f_{jj} - f_j$ 離れたチャネル間の保護比率
$\mu\sigma$	シャドウイングマージン
σ	シャドウイング (の標準偏差)
$D_{dir}(i, f_j \text{ (or } jj))$	チャネル f_j (f_{jj})、基準点 i における一次受信局のアンテナ指向性による信号識別度
$D_{pol}(i, f_j \text{ (or } jj))$	チャネル f_j (f_{jj})、基準点 i における一次受信局の偏波による信号識別度
$G_{ant}(i, f_j \text{ (or } jj))$	チャネル f_j (f_{jj})、基準点 i における一次受信局のアンテナ利得
$L_f(i, f_j \text{ (or } jj))$	チャネル f_j (f_{jj})、基準点 i における一次受信局のフェーダ損失

[0061] 例えば、表 1 の保護比率 PR については、次のような考え方が適用され得る。即ち、チャネル f_{CR} を二次利用する二次システムからチャネル f_{BS} を利用する一次システムへの許容干渉量を $I_{acceptable}$ とする。また、一次システムの所要受信電力を $P_{req}(f_{BS})$ とする。これらパラメータの間には、次のような式が成立する。

[0062] [数3]

$$I_{acceptable} = P_{req}(f_{BS}) / PR(f_{CR} - f_{BS}) \quad (3)$$

[0063] なお、保護比率がデシベル表記である場合には、上記式 (3) の代わりに、次のような式が用いられ得る。

[0064] [数4]

$$I_{acceptable} = P_{req}(f_{BS}) / 10^{PR(f_{CR}-f_{BS})/10} \quad (4)$$

[0065] 式 (2) における損失成分 H は、例えば、近傍チャネルの選択性 (selecti

vity) 及び漏洩率 (leakage ratio) に依存する。なお、これら利得成分及び損失成分の詳細については、例えば "Technical and operational requirements for the possible operation of cognitive radio systems in the "white spaces" of the frequency band 470-790 MHz" (ECC Report 159, 2010) を参照されたい。

[0066] <3. 通信制御装置 (マネージャ) の構成例>

次に、上述した干渉制御モデルに従って二次システム間で送信電力を調整する通信制御装置 100 の構成の一例を説明する。

[0067] [3-1. 全体的な構成]

図5は、本実施形態に係る通信制御装置 100 の構成の一例を示すブロック図である。図5を参照すると、通信制御装置 100 は、通信部 110、データ取得部 120、記憶部 130、上限数決定部 140 及び電力割当て部 150 を備える。

[0068] 通信部 110 は、通信制御装置 100 によるデータサーバ 30 及び二次通信ノード 200 との間の通信のための通信インタフェースとして動作する。通信制御装置 100 とデータサーバ 30 及び二次通信ノード 200 との間の通信は、それぞれ、有線通信若しくは無線通信又はそれらの組合せのいずれにより実現されてもよい。

[0069] データ取得部 120 は、通信制御装置 100 が複数の二次システム間での送信電力の調整のために使用する様々なデータを、データサーバ 30 及び二次通信ノード 200 から取得する。例えば、データ取得部 120 は、データサーバ 30 から一次システムに関する情報を受信する。また、例えば、データ取得部 120 は、二次通信ノード 200 から二次システムに関する情報を受信する。そして、データ取得部 120 は、取得したデータを記憶部 130 に記憶させる。

[0070] 記憶部 130 は、ハードディスク又は半導体メモリなどの記憶媒体を用いて、送信電力の調整のために使用されるプログラム及びデータを記憶する。例えば、記憶部 130 は、プロトコル及びレギュレーションなどにより予め

定義される情報、並びにデータ取得部 120 により取得される上述した情報を記憶する。記憶部 130 により記憶されるデータは、上限数決定部 140 及び電力割当て部 150 による処理に際して、各部に出力される。また、記憶部 130 は、電力割当て部 150 による電力割当ての結果を記憶する。

[0071] 上限数決定部 140 は、送信電力の割当て対象の上限数を決定する。送信電力の割当て対象の数は、二次システムの数としてカウントされてもよく、又は二次システムに参加する二次通信ノードの数としてカウントされてもよい。例えば、二次システム内で時分割方式で通信が多重化される場合には、あるタイミングで 1 つの二次システム内で無線信号を送信する二次通信ノードは 1 つである。従って、その場合、二次システムの数と二次通信ノードの数は区別されなくてよい。上限数決定部 140 により決定される上限数は、上述した式 (2) の右辺の二次システムの数 M_j 及び $N_{j,j}$ として、後述する電力割当て部 150 により使用され得る。

[0072] 本実施形態において、上限数決定部 140 は、例えば、各二次システムの通信品質の要件に基づいて、送信電力の割当て対象の上限数を決定する。より具体的には、例えば、上限数決定部 140 は、各二次システムの通信品質の要件を充足する送信電力を当該二次システムに割り当てた場合の一次システムへの干渉量を推定する。次に、上限数決定部 140 は、推定した干渉量と一次システムの許容干渉量との差を評価する。そして、上限数決定部 140 は、一次システムの許容干渉量を超過しない範囲の最大の二次システムの数、送信電力の割当て対象の上限数と決定する。上限数決定部 140 による処理の例について、後にさらに具体的に説明する。

[0073] 電力割当て部 150 は、上限数決定部 140 により決定される上限数と一次システムの許容干渉量とに基づいて、各二次システム又は各二次システムの各二次通信ノードに送信電力を割り当てる。その際、複数の周波数チャンネルが 1 つ以上の二次システムにより利用される場合（例えば、図 1 のような状況）には、電力割当て部 150 は、複数の周波数チャンネルの利用に起因する一次システムへの干渉量の総和が一次システムの許容干渉量（式 (1) の

$I_{\text{acceptable}}(i, f_j)$) を超えないように、二次システム間で送信電力を配分する。電力割当て部 150 による処理の例について、後にさらに具体的に説明する。

[0074] [3-2. 処理の詳細]

図6は、図4のステップS16における電力調整処理の流れの概要を示すフローチャートである。図6を参照すると、通信制御装置100による電力調整処理は、3つの段階に分けられる。第1段階は、上限数決定部140による上限数決定処理（ステップS110）である。第2段階は、電力割当て対象の二次システムの選択（ステップS130）である。第3段階は、電力割当て部150による電力割当て処理（ステップS140）である。これら3つの段階の各々について、以下に詳細に説明する。

[0075] (1) 上限数決定処理

図7は、上限数決定部140による上限数決定処理の流れの一例を示すフローチャートである。

[0076] 図7を参照すると、まず、上限数決定部140は、データサーバ30から提供された一次システムに関する情報を、記憶部130から取得する（ステップS111）。ここで取得される情報には、一次システムの許容干渉量、並びに一次システムのサービスエリア及びガードエリアの境界の位置に関するデータが含まれる。また、上限数決定部140は、二次通信ノード200から収集された二次システムに関する情報を、記憶部130から取得する（ステップS112）。ここで取得される情報には、二次システムごとの通信品質の要件に関する情報及び二次通信ノード200の位置データが含まれる。通信品質の要件に関する情報とは、例えば、最小の所要S/NR（Signal-to-Noise Ratio）若しくはS/I/NR（Signal-to-Interference and Noise Ratio）、又は要求送信電力などを含み得る。

[0077] 次に、上限数決定部140は、各二次システムについて、所要の通信品質に対応する暫定的な送信電力を決定する（ステップS113）。所要の通信品質に対応する暫定的な送信電力とは、例えば、所要最小S/I/Rを充足する

ために要する最小の送信電力であつてもよい。その代わりに、所要の通信品質に対応する暫定的な送信電力とは、要求送信電力であつてもよい。なお、例えば FCC のルールでは、デバイスの認証クラスごとに固定的な最大送信電力が定義されている。そこで、上限数決定部 140 は、図 7 の例のように所要の通信品質に応じて暫定的な送信電力を決定する代わりに、二次通信ノード 200 の認証クラスについて定義されている最大送信電力を暫定的な送信電力として決定してもよい。

[0078] 次に、上限数決定部 140 は、各二次システムについて、二次通信ノード 200 の位置に応じて経路損失を決定する (ステップ S114)。ここでの経路損失の算出の手法は、例えば、次の文献 1 又は文献 2 に記載された伝播カーブを利用する手法であつてよい。

- ・文献 1 : 「BPR-10 : Application Procedures and Rules for Digital Television (DTV) Undertakings」 (Industry Canada, BPR-10, Issue 1, August 2010)
- ・文献 2 : 「Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz」 (Recommendation ITU-R P.1546-4, October 2009)

伝播カーブが利用される場合には、伝播カーブを表す参照テーブルが記憶部 130 により予め記憶される。そして、上限数決定部 140 は、二次通信ノード 200 と一次システムの基準点との間の距離に対応する経路損失を、伝播カーブを参照することにより決定する。なお、上限数決定部 140 は、二次通信ノード 200 の位置ではなく、二次通信ノード 200 の位置から上記基準点までの距離に応じて、経路損失を決定してもよい。また、その計算に際して、各ノードのアンテナ高さ又はアンテナ利得などのパラメータから二次通信ノード 200 よりも干渉レベルが大きいと推定されるスレーブノードのみが考慮されてもよい。

[0079] 次に、上限数決定部 140 は、各二次システムについて、暫定的な送信電

力と経路損失との積を求めることにより、一次システムに与えることが見込まれる推定干渉量を算出する（ステップS 1 1 5）。

[0080] 次に、上限数決定部 1 4 0 は、二次システムの数をストックするための変数 t を 1 に初期化する（ステップS 1 1 6）。次に、上限数決定部 1 4 0 は、 t 個の二次システムを選択する（ステップS 1 1 7）。ここでの二次システムの選択は、例えば、二次システムの運用開始の時間順、優先度順又はランダム方式など、任意の基準に従って行われてよい。次に、上限数決定部 1 4 0 は、選択した t 個の二次システムの推定干渉量の総和を算出する（ステップS 1 1 8）。

[0081] 次に、上限数決定部 1 4 0 は、算出した推定干渉量の総和が一次システムの許容干渉量よりも大きいか否かを判定する（ステップS 1 1 9）。ここで、推定干渉量の総和が一次システムの許容干渉量よりも大きくない場合には、ステップS 1 2 0 において t に $t + 1$ が代入され（即ち t がインクリメントされ）、処理はステップS 1 1 7 へ戻る。一方、推定干渉量の総和が一次システムの許容干渉量よりも大きい場合には、処理はステップS 1 2 1 へ進む。

[0082] ステップS 1 2 1 において、上限数決定部 1 4 0 は、 $t - 1$ 個の二次システムの利用チャネルに基づいて、周波数チャネルごとの電力割当て対象の上限数を決定する（ステップS 1 2 1）。例えば、 $t - 1$ 個の二次システムのうち t_1 個の二次システムの利用チャネルが一次システムに割り当てられた周波数チャネルと等しければ、上限数決定部 1 4 0 は、同一チャネルについての上限数を t_1 と決定する。同様に、上限数決定部 1 4 0 は、他の周波数チャネルについての上限数も決定する。

[0083] なお、上限数決定部 1 4 0 は、ステップS 1 1 7 における二次システムの選択に際し、 t 個の二次システムの複数の組合せを選択してもよい。その場合、ステップS 1 1 9 の処理分岐は、例えば、選択されたいずれの組合せについても推定干渉量の総和が一次システムの許容干渉量より大きいときに、ステップS 1 2 1 へ遷移し得る。

[0084] ここで、上限数決定部 140 により決定される電力割当て対象の上限数は、同時に二次利用を行うことを許可される二次システム又は二次通信ノードの上限数であると言えることができる。その場合の「同時」とは、時間軸上の同じ時点を厳密に指し示す狭義の「同時」ではなく、一定の時間的範囲内のズレを包含する広義の「同時」であってもよい。図 8 は、狭義の同時利用数と広義の同時利用数の一例を示している。図 8 の例において、狭義の同時利用数は、いずれの時点においても 3 を超えることがない。一方、広義の同時利用数は、第 1 区間 T1 では 4、第 2 区間 T2 では 5、第 3 区間 T3 では 2、第 4 区間 T4 では 4 である。このような広義の同時利用数を扱うことで、干渉制御の時間分解能は下がるものの、制御処理のための負荷は抑制される。

[0085] (2) 電力割当て対象の二次システムの選択

図 6 の第 2 段階において、電力割当て部 150 は、データサーバ 30 に登録済みの二次通信ノード 200 により運用される二次システムのうち、送信電力の割当て対象とする二次システムを選択する（ステップ S130）。送信電力の割当て対象とする二次システムとは、一次システムに対して無視できないレベルの干渉を与える可能性のある二次システムのうち、第 1 段階において決定された上限数を超えない数の二次システムをいう。

[0086] 例えば、電力割当て部 150 は、各二次通信ノード 200 と一次システムとの間の距離が所定の閾値を超える二次通信ノード 200 については、当該二次通信ノード 200 により運用される二次システムに起因する干渉は無視できると判定する。ここで干渉が無視できると判定された二次システムは、送信電力の割当て対象から除外される。これら二次システムは、通信制御装置 100 による電力割当てに従うことなく、自らの要求送信電力を用いて二次システムを運用することが可能である。

[0087] 干渉が無視できるか否かの判定のための閾値は、全ての周波数チャンネルに共通の閾値であってもよく、又は周波数チャンネルごとに異なる閾値であってもよい。また、距離に関する閾値の代わりに、距離に応じた経路損失に関する

る閾値が使用されてもよい。

[0088] 例えば、図9Aには、一次システムのサービエリアの境界12からの距離についての全ての周波数チャネルに共通の閾値D1が示されている。また、5つの二次通信ノード200の位置も簡略的に示されている。図9Aの例において、5つの二次通信ノード200のうち、第1、第3及び第4の二次通信ノード200は、一次システムのサービエリアの境界12から外側に閾値D1を超えて離れてはいない。従って、これら第1、第3及び第4の二次通信ノード200は、電力割当て部150による送信電力の割り当て対象となり得る。なお、一次システムのサービエリア内に位置する第4の二次通信ノード200については、閾値D1と比較すべき距離はゼロとみなされ得る。一方、第2及び第5の二次通信ノード200と境界12との間の距離は、閾値D1を超えている。従って、これら第2及び第5の二次通信ノード200から送信される無線信号が一次システムに与える干渉は無視できるレベルであり、第2及び第5の二次通信ノード200は電力割当て部150による送信電力の割り当て対象から除外される。

[0089] 図9Bには、境界12からの距離についての2つの閾値D2及びD3が示されている。閾値D2は、一次システムに割り当てられた周波数チャネルと同一のチャネル(図9Bの例ではチャネルF1)を二次利用する二次システムに適用される閾値である。閾値D3は、上記チャネルF1とは異なる周波数チャネルを二次利用する二次システムに適用される閾値である。図9Bの例において、5つの二次通信ノード200のうち、第2及び第5の二次通信ノード200は、チャネルF1を二次利用する。そして、第2の二次通信ノード200は、境界12から外側に閾値D2を超えて離れてはいない。一方、第5の二次通信ノード200と境界12との間の距離は、閾値D2を超えている。従って、第5の二次通信ノード200は、電力割当て部150による送信電力の割り当て対象から除外される。また、第1、第3及び第4の二次通信ノード200は、チャネルF2を二次利用する。そして、第1及び第4の二次通信ノード200は、境界12から外側に閾値D3を超えて離れて

はない。一方、第3の二次通信ノード200と境界12との間の距離は、閾値D3を超えている。従って、第3の二次通信ノード200は、電力割当て部150による送信電力の割り当て対象から除外される。なお、送信電力及び経路損失が同じ条件下では、通常、同一チャネルからの干渉の方が近傍チャネルからの干渉よりも重大であるため、閾値D2は閾値D3よりも大きく設定され得る。

[0090] このように、干渉を無視できる二次システムを送信電力の割り当て対象から除外することで、後に説明する電力割当て処理の計算量を低減することができる。また、周波数チャネルごとに異なる閾値を用いることで、干渉の影響のより精度の高い評価が可能である。

[0091] 次に、電力割当て部150は、除外されずに残る二次システムの数、上限数決定部140により決定された上限数と比較する。そして、電力割当て部150は、二次システムの数上限数を超える場合には、差分に相当する数の二次システムへの送信電力の割り当てを拒否することを決定する。例えば、電力割当て部150は、二次システムの優先度、通信履歴又は通信品質の要件などに基づいて、送信電力の割り当てを拒否する二次システムを決定してよい。ここで送信電力の割り当てが拒否された二次システムの二次通信ノード200は、あらためて送信電力が割り当てられるまで待機し得る。そして、電力割当て部150は、上限数決定部140により決定された上限数以下の二次システムを対象として、次に説明する電力割当て処理を行う。

[0092] (3) 電力割当て処理

(3-1) 第1の例

図10Aは、電力割当て部150による電力割当て処理の流れの第1の例を示すフローチャートである。第1の例において、電力割当て部150は、周波数チャネルごとに当該周波数チャネルを二次利用する二次システムに送信電力を暫定的に配分した後、異なる周波数チャネル間の影響を考慮して、暫定的に配分した送信電力を再配分する。そして、電力割当て部150は、配分後又は再配分後の送信電力を、上述した干渉制御モデルにおける式(2

)を充足するように修正する。

[0093] 図10Aを参照すると、まず、電力割当て部150は、データサーバ30から提供された一次システムに関する情報を、記憶部130から取得する(ステップS141)。また、電力割当て部150は、二次通信ノード200から収集された二次システムに関する情報を、記憶部130から取得する(ステップS142)。次に、電力割当て部150は、二次システムにより利用される周波数チャネルごとに、ステップS143の処理を繰り返す。

[0094] ステップS143において、電力割当て部150は、ある1つの注目チャネルを利用する二次システム間で、送信電力を暫定的に配分する(ステップS143)。送信電力の暫定的な配分は、例えば、以下に説明する固定マージン方式、均等方式及び不均等方式の3種類の方式のいずれかに従って行われてよい。

[0095] (固定マージン方式)

第1の方式は、固定マージン方式である。固定マージン方式の場合、予め固定的に設定される配分マージン MI (及びセーフティマージン SM)を用いて、各二次システムに配分される送信電力が簡易に算出される。この場合、送信電力の配分のための計算コストが小さくなる。周波数チャネル f_j を利用する k 番目の二次システムに暫定的に配分される送信電力 $P(f_j, k)$ は、次式により導かれる。

[0096] [数5]

$$P(f_j, k) = I_{\text{acceptable}}(i, f_j) / L(i, f_j, k) \cdot G(f_j, k) \cdot MI \cdot SM \quad (5)$$

[0097] (均等方式)

第2の方式は、均等方式である。均等方式の場合、各二次システムに配分される送信電力は互いに等しくなる。即ち、複数の二次システムに公平に送信電力が配分される。周波数チャネル f_j を利用する k 番目の二次システムに暫定的に配分される送信電力 $P(f_j, k)$ は、次式により導かれる。

[0098]

[数6]

$$P(f_j, k) = I_{\text{acceptable}}(i, f_j) / \sum_{kk=1}^{M_j} \{L(i, f_j, kk) \cdot G(f_j, kk)\} \quad (6)$$

[0099] (不均等方式)

第3の方式は、不均等方式である。不均等方式の場合、一次システムとの間の距離が大きい二次システムほど多くの送信電力が配分される。それにより、全体として二次利用の機会をより高めることができる。周波数チャネル f_j を利用する k 番目の二次システムに暫定的に配分される送信電力 $P(f_j, k)$ は、次式により導かれる。

[0100] [数7]

$$P(f_j, k) = I_{\text{acceptable}}(i, f_j) / \{L(i, f_j, k) \cdot G(f_j, k) \cdot M_j\} \quad (7)$$

[0101] また、均等方式及び不均等方式は、次に説明する与干渉マージン低減方式と組合せられてもよい。

[0102] (与干渉マージン低減方式)

与干渉マージン低減方式は、干渉のリスクを低減するためのセーフティマージン SM を算入する方式であり、上述した均等方式又は不均等方式と組合せて用いられ得る。送信電力 $P(f_j, k)$ は、均等方式との組合せについては次の式(8)、不均等方式との組合せについては次の式(9)により導かれる。なお、 SM は、予め設定され又は二次通信ノード200から通知されるセーフティマージンを表す。

[0103] [数8]

$$P(f_j, k) = I_{\text{acceptable}}(i, f_j) / \sum_{kk=1}^{M_j} \{L(i, f_j, kk) \cdot G(f_j, kk) \cdot SM\} \quad (8)$$

$$P(f_j, k) = I_{\text{acceptable}}(i, f_j) / \{L(i, f_j, k) \cdot G(f_j, k) \cdot M_j \cdot SM\} \quad (9)$$

[0104] さらに、上述した各方式は、次に説明する重み付け配分方式と組合せられ

てもよい。

[0105] (重み付け配分方式)

重み付け配分方式は、二次システムごとの優先度に応じて送信電力の配分を重み付けする方式である。送信電力 $P(f_j, k)$ は、均等方式との組合せについては次の式 (11) により導かれる。また、送信電力 $P(f_j, k)$ は、均等方式及び干渉マージン低減方式との組合せについては次の式 (10)、不均等方式及び干渉マージン低減方式との組合せについては次の式 (11) により導かれる。なお、 w_k は、優先度に応じた重みを表す。なお、二次システムごとの重み w_k の代わりに、周波数チャネルごとの重み w_j が用いられてもよい。

[0106] [数9]

$$P(f_j, k) = \left(w_k / \sum_{kk=1}^{M_j} w_{kk} \right) I_{\text{acceptable}}(i, f_j) / \sum_{kk=1}^{M_j} \{ L(i, f_j, kk) \cdot G(f_j, kk) \cdot SM \} \quad (10)$$

$$P(f_j, k) = \left(w_k / \sum_{kk=1}^{M_j} w_{kk} \right) I_{\text{acceptable}}(i, f_j) / \{ L(i, f_j, k) \cdot G(f_j, k) \cdot M_j \} \quad (11)$$

$$P(f_j, k) = \left(w_k / \sum_{kk=1}^{M_j} w_{kk} \right) I_{\text{acceptable}}(i, f_j) / \{ L(i, f_j, k) \cdot G(f_j, k) \cdot M_j \cdot SM \} \quad (11')$$

[0107]

二次システムにより利用される全ての周波数チャネルについてスツッPS 143 の処理を終了すると、電力割当て部 150 は、さらにチャネル間の干渉を算入して、二次システム間で送信電力を再配分する (スツッPS 144) 。例えば、均等方式における送信電力の再配分は、次の式 (12) (与干渉マージン低減方式との組合せの場合には式 (12')) に従って行われ得る。

[0108]

[数10]

$$P'(f_j, k) = \frac{I_{\text{acceptable}}(i, f_j) - \sum_{jj=1}^{O_j} \sum_{kk=1}^{N_{jj}} \{P(f_{jj}, kk) \cdot L(i, f_{jj}, kk) \cdot G(f_{jj}, kk) / H(f_j, f_{jj}, kk)\}}{\sum_{kk=1}^{M_j} \{L(i, f_j, kk) \cdot G(f_j, kk)\}} \quad (12)$$

$$P'(f_j, k) = \frac{I_{\text{acceptable}}(i, f_j) - \sum_{jj=1}^{O_j} \sum_{kk=1}^{N_{jj}} \{P(f_{jj}, kk) \cdot L(i, f_{jj}, kk) \cdot G(f_{jj}, kk) / H(f_j, f_{jj}, kk)\}}{\sum_{kk=1}^{M_j} \{L(i, f_j, kk) \cdot G(f_j, kk) \cdot SM\}} \quad (12')$$

[0109] 式(12)は、一次システムの許容干渉量から近傍チャネルの利用に起因する干渉量を差し引いた後に残る許容干渉量が残りの二次システム間で再配分されることを意味する。同様に、不均等方式における送信電力の再配分は、次の式(13)(与干渉マージン低減方式との組合せの場合には式(13'))に従って行われ得る。

[0110] [数11]

$$P'(f_j, k) = \frac{I_{\text{acceptable}}(i, f_j) - \sum_{jj=1}^{O_j} \sum_{kk=1}^{N_{jj}} \{P(f_{jj}, kk) \cdot L(i, f_{jj}, kk) \cdot G(f_{jj}, kk) / H(f_j, f_{jj}, kk)\}}{L(i, f_j, k) \cdot G(f_j, k) \cdot M_j} \quad (13)$$

$$P'(f_j, k) = \frac{I_{\text{acceptable}}(i, f_j) - \sum_{jj=1}^{O_j} \sum_{kk=1}^{N_{jj}} \{P(f_{jj}, kk) \cdot L(i, f_{jj}, kk) \cdot G(f_{jj}, kk) / H(f_j, f_{jj}, kk)\}}{L(i, f_j, k) \cdot G(f_j, k) \cdot M_j \cdot SM} \quad (13')$$

[0111] なお、当然ながら、再配分のための上述した各数式に、重み付け配分方式における重みがさらに適用されてもよい。

[0112] 次に、電力割当て部150は、再配分後の送信電力に基づいて評価される干渉量が最も厳しい地点を、一次システムのサービスエリア内で探索する(ステップS145)。例えば、干渉量が最も厳しい地点i'は、次の式(14)又は式(14')のように探索される。

[0113]

[数12]

$$\begin{aligned}
 i' = \arg \min_i & \left(\sum_{j=1}^{N_j} P'(f_j, k) \cdot L(i, f_j, k) \cdot G(f_j, k) \cdot SM \right. \\
 & \left. - \sum_{j=1}^{N_j} \sum_{k=1}^{M_j} P'(f_j, kk) \cdot L(i, f_j, kk) \cdot G(f_j, kk) \cdot SM / H(f_j, f_j, kk) \right) \quad (14) \\
 i' = \arg \min_i & \left(\sum_{j=1}^{N_j} P'(f_j, k) \cdot L(i, f_j, k) \cdot G(f_j, k) \cdot SM \right. \\
 & \left. - \sum_{j=1}^{N_j} \sum_{k=1}^{M_j} P'(f_j, kk) \cdot L(i, f_j, kk) \cdot G(f_j, kk) \cdot SM / H(f_j, f_j, kk) \right) \quad (14)
 \end{aligned}$$

[0114] 次に、電力割当て部150は、地点 i' での縦干渉量と許容干渉量 $I_{acceptable}$ に基づいて、電力配分の修正係数 Δ を次式のように計算する。

スツツS146)。

[0115] [数13]

$$\Delta = \frac{\sum_{j=1}^{N_j} P'(f_j, k) \cdot L(i', f_j, k) \cdot G(f_j, k)}{I_{acceptable}(i', f_j)} + \sum_{j=1}^{N_j} \sum_{k=1}^{M_j} P'(f_j, kk) \cdot L(i', f_j, kk) \cdot G(f_j, kk) / H(f_j, f_j, kk) \quad (15)$$

$$\Delta = \frac{\sum_{j=1}^{N_j} P'(f_j, k) \cdot L(i', f_j, k) \cdot G(f_j, k) \cdot SM}{I_{acceptable}(i', f_j)} + \sum_{j=1}^{N_j} \sum_{k=1}^{M_j} P'(f_j, kk) \cdot L(i', f_j, kk) \cdot G(f_j, kk) \cdot SM / H(f_j, f_j, kk) \quad (15)$$

[0116] なお、上記式(15')は、電力配分に際して与干渉マージン低減方式が適用される場合に使用され得る。

[0117] そして、電力割当て部150は、算出した修正係数 Δ を用いて、二次スラムに割り当てるべき送信電力を次式に従って修正する(スツツS147)。

[0118]

[数14]

$$P''(f_j, k) = P'(f_j, k) \cdot \Delta \quad (16)$$

[0119] (3-2) 第2の例

図10Bは、電力割当て部150による電力割当て処理の流れの第2の例を示すフローチャートである。第2の例において、電力割当て部150は、第1の例と同様、周波数チャネルごとに当該周波数チャネルを二次利用する二次システムに送信電力を暫定的に配分した後、異なる周波数チャネル間の影響を考慮して、暫定的に配分した送信電力を再配分する。但し、第2の例においては、電力割当て部150は、暫定的に配分した送信電力を、例えば二次システムごと又は周波数チャネルごとの優先度に応じて、段階的に確定させていく。

[0120] 図10Bの例において、電力割当て部150は、まず、第1の例と同様に、二次システムにより利用される全ての周波数チャネルについて、チャネルごとに送信電力を暫定的に配分する（ステップS141～ステップS143）。次に、電力割当て部150は、暫定的に配分された送信電力が上述した干渉制御モデルにおける式(2)を充足するか否かを判定する（ステップS149）。ここで、式(2)が充足されない場合には、処理はステップS150へ進む。

[0121] ステップS150では、電力割当て部150は、電力配分が未確定の二次システムのうち、より優先度の高い二次システムの電力配分を確定させる（ステップS150）。例えば、電力割当て部150は、より優先度の高い二次システムに暫定的に配分された送信電力を、そのまま当該二次システムに割り当てる送信電力として確定してもよい。その代わりに、電力割当て部150は、例えば、暫定的に配分された送信電力に優先度に応じた重みを乗算して得た値を、当該二次システムに割り当てる送信電力として確定してもよい。

[0122] 次に、電力割当て部 150 は、チャンネル間の干渉を算入して、電力配分が未確定の残りの二次システムに送信電力を再配分する（ステップ S 151）。ここでの再配分の計算式は、上述した式（12）又は式（13）などと同様であってよい。

[0123] その後、ステップ S 149 において式（2）が充足される場合には、電力割当て部 150 は、全ての二次システムについて、暫定的に配分された送信電力又は再配分された送信電力を、二次システムに割り当てるべき送信電力として確定する（ステップ S 152）。

[0124] （3-3）第 3 の例

電力割当て処理の第 3 の例では、電力割当て部 150 は、第 1 の例及び第 2 の例と異なり、周波数チャンネルごとに送信電力を暫定的に配分する処理を経ることなく、送信電力の割当てを決定する。

[0125] まず、式（2）の左辺と右辺との差を D_j とすると、式（2）を次のように表すことができる。

[0126] [数15]

$$I_{\text{acceptable}}(i, f_j) = \sum_{k=1}^{M_j} P(f_j, k) \cdot L(i, f_j, k) \cdot G(f_j, k) + \sum_{jj=1}^{O_j} \sum_{kk=1}^{N_{jj}} \{P(f_{jj}, kk) \cdot L(i, f_{jj}, kk) \cdot G(f_{jj}, kk) / H(f_j, f_{jj}, kk)\} + D_j \quad (17)$$

[0127] ここで、各周波数チャンネルについての許容干渉量 $I_{\text{acceptable}}(i, f_j)$ ($j = 1, \dots, O_j$) が与えられるものと仮定する。また、 $M_j + N_{jj}$ 個の二次システムの各々に割り当てられる送信電力を P_s ($s = 1, \dots, M_j + N_{jj}$) とする。すると、式（17）を拡張することにより、 O_j 次元の許容干渉量ベクトルと $M_j + N_{jj}$ 次元の送信電力ベクトルとの間に、次の関係式が成立する。

[0128]

[数16]

$$\begin{bmatrix} I_{\text{acceptable}}(i, f_1) \\ I_{\text{acceptable}}(i, f_2) \\ \vdots \\ I_{\text{acceptable}}(i, f_{O_j}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{1,1} & \cdots & a_{M_j+N_{jj},1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{1,O_j} & \cdots & a_{M_j+N_{jj},O_j} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_{M_j+N_{jj}} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \vdots \\ D_{O_j} \end{bmatrix} \quad (18)$$

[0129] 式(18)に現れる、 j 番目の周波数チャネルについての s 番目の二次システムの送信電力 P_s にかかる係数 $a_{s,j}$ は、上述した干渉制御モデルにおける経路損失 L 、利得成分 G 及び損失成分 H に基づいて算出され得る。従って、電力割当て部150は、式(18)の係数行列を算出した後、式(18)の解を導出することにより、送信電力ベクトル $(P_1, \dots, P_{M_j+N_{jj}})$ を算出することができる。

[0130] 許容干渉量ベクトルを $I_{\text{acceptable}}$ 、送信電力ベクトルを P_{tx} 、係数行列を A とする。すると、式(18)は次のように表される。なお、マージンに相当するベクトル D の要素は、固定値又はゼロであってもよい。

[0131] [数17]

$$I_{\text{acceptable}} = A \cdot P_{tx} + D \quad (19)$$

[0132] 例えば、二次システムの数 $M_j + N_{jj}$ が周波数チャネルの数 O_j と等しい場合には、電力割当て部150は、正方行列となる係数行列 A の逆行列を用いて、次のように送信電力ベクトル $(P_1, \dots, P_{M_j+N_{jj}})$ を算出することができる。

[0133] [数18]

$$P_{tx} = A^{-1}(I_{\text{acceptable}} - D) \quad (20)$$

[0134] なお、二次システムの数 $M_j + N_{jj}$ と周波数チャネルの数 O_j とが等しくな

い場合には、電力割当て部 150 は、送信電力ベクトルの複数の解から選択される 1 つの送信電力ベクトルを、各二次システムに割り当てるべき送信電力の解として決定してもよい。また、式 (18) の解は、近似的な解であってもよい。また、二次システムの数 $M_j + N_{jj}$ の代わりに、次式の通りチャンネルごとに考慮すべき二次システムの数に積算した数を、送信電力ベクトルの次元数として扱ってもよい。

[0135] [数19]

$$M_j + \sum_{jj=1}^{O_j} N_{jj} \quad (21)$$

[0136] 図 10C は、電力割当て部 150 による電力割当て処理の流れの第 3 の例を示すフローチャートである。

[0137] 図 10C を参照すると、まず、電力割当て部 150 は、データサーバ 30 から提供された一次システムに関する情報を、記憶部 130 から取得する（ステップ S141）。ここで取得される情報には、式 (18) の許容干渉量ベクトル $I_{\text{acceptable}}$ が含まれる。また、電力割当て部 150 は、二次通信ノード 200 から収集された二次システムに関する情報を、記憶部 130 から取得する（ステップ S142）。

[0138] 次に、電力割当て部 150 は、上述した干渉制御モデルに従って、送信電力ベクトル P_{tx} と許容干渉量ベクトル $I_{\text{acceptable}}$ との関係式の係数行列 A を算出する（ステップ S154）。それにより、式 (18) のような送信電力ベクトル P_{tx} と許容干渉量ベクトル $I_{\text{acceptable}}$ との関係式が形成される。そして、電力割当て部 150 は、形成された関係式を解くことにより、送信電力の配分を決定する（ステップ S155）。

[0139] (4) 送信電力の再調整

通信制御装置 100 は、上述した手法に従って二次システムへの送信電力の割当てを決定すると、二次通信ノード 200 への再構成要求の中で、それぞれ割り当てた送信電力の値を通知する。その後、新たな二次通信ノード 2

00による二次システムの運用が開始される可能性がある。その場合、通信制御装置100は、図6に例示した電力調整処理を再実行して、既存の二次システム及び新たな二次システムに再度送信電力を割り当ててもよい。その代わりに、通信制御装置100は、以下に説明するように、既存の二次システムに既に割り当てた送信電力を再調整し、新たな二次システムへ追加的に送信電力を割り当ててもよい。

[0140] 図11は、通信制御装置100による電力再調整処理の流れの一例を示すフローチャートである。図11を参照すると、まず、電力割当て部150は、新たな二次システムの運用開始を待ち受ける（ステップS161）。そして、例えば、通信部110が二次通信ノード200からの干渉制御要求を受信することで、電力割当て部150は、新たな二次システムの運用開始を認識する。すると、処理はステップS162へ進む。

[0141] ステップS162において、電力割当て部150は、既存の各二次システムについて、割当て済みの送信電力に応じた通信品質の所要の通信品質に対する余剰分を計算する（ステップS162）。例えば、周波数チャネル f_j における k 番目の二次システム内の二次通信ノード間の通信距離を R 、所要の通信品質を $SINR_{req}(f_j, k, R)$ とする。また、割当て済みの送信電力に応じた通信品質を $SINR_{est}(f_j, k, R)$ とする。すると、当該二次システムについての送信電力の余剰率 $\alpha_{f_j, k}$ は、次式のように導かれる。

[0142] [数20]

$$\alpha_{f_j, k} = SINR_{est}(f_j, k, R) / SINR_{req}(f_j, k, R) \quad (22)$$

[0143] 次に、電力割当て部150は、各二次システムについて送信電力の余剰分が存在するか否かを判定する（ステップS163）。例えば、式(22)に従って算出される余剰率 $\alpha_{f_j, k}$ が1.0よりも大きい場合には、電力割当て部150は、当該二次システムについて送信電力の余剰分が存在すると判定し得る。次に、電力割当て部150は、送信電力の余剰分が存在すると判定した二次システムについての送信電力を、次式に従って再計算する（ステッ

プS 1 6 4)。

[0144] [数21]

$$P_{opt}(f_j, k) = P(f_j, k) \cdot \alpha_{fj, k} \quad (23)$$

[0145] なお、式(23)において、 $P(f_j, k)$ は割当て済みの送信電力、 $P_{opt}(f_j, k)$ は再計算された送信電力である。

[0146] 電力割当て部150は、このように既存の二次システムについての送信電力の再計算を終了すると、新たな二次システムに送信電力を配分可能か否かを判定する(ステップS 1 6 5)。例えば、送信電力の余剰分が存在している既存の二次システムが送信電力を下げることで新たな二次システムを受け入れることができる場合には、電力割当て部150は、新たな二次システムに送信電力を配分可能であると判定する。ここで、新たな二次システムに送信電力を配分可能でないと判定された場合には、新たな二次システムに送信電力が割り当てられることなく、図11の送信電力再調整処理は終了する。一方、新たな二次システムに送信電力を配分可能であると判定された場合には、処理はステップS 1 6 6へ進む。

[0147] ステップS 1 6 6において、電力割当て部150は、既存の二次システムの二次通信ノード200の少なくとも1つへ再構成要求を送信し、送信電力の引き下げを要求する(ステップS 1 6 6)。そして、電力割当て部150は、新たな二次システムを受け入れる余地が生じると、新たな二次システムに送信電力を割当てると共に、当該二次システムの二次通信ノード200へ送信電力の値を通知する(ステップS 1 6 7)。

[0148] このような送信電力再調整処理により、全ての二次システムを対象として送信電力調整処理を再実行するよりも少ない計算コストで、新たな二次システムの運用を開始させることができる。

[0149] なお、通信制御装置100の記憶部130は、図12に例示するような二次システム管理テーブルを保持し、各二次システムの所要品質、余剰率の計算結果及び送信電力の割当てなどの情報を記憶してもよい。図12の例では

、チャンネル番号ごとに二次システムのID（識別子）が保持され、各二次システムについての所要品質、余剰率及び送信電力の最新の割当てが二次システム管理テーブル内に記憶されている。

[0150] （５）運用開始の拒否又は保留

上述した例では、新たな二次通信ノード200による二次システムの運用が開始される場合に、通信制御装置100により既存の二次システムに既に割り当てた送信電力が再調整される。これに対し、通信制御装置100は、予め決定される二次システム又は二次通信ノードの最大数に応じて、新たな二次システムの運用の開始を拒否し又は保留してもよい。

[0151] 図13Aは、二次システムの運用開始が拒否される場合の処理の流れの第1の例を示すフローチャートである。図13Aを参照すると、まず、電力割当て部150は、新たな二次システムの運用開始を待ち受ける（ステップS161）。そして、例えば、通信部110が二次通信ノード200からの干渉制御要求を受信することで、電力割当て部150は、新たな二次システムの運用開始を認識する。すると、処理はステップS170へ進む。

[0152] ステップS170において、電力割当て部150は、新たな二次システムの運用を開始することで二次システム又は二次通信ノードの数が予め決定される登録可能な最大数を超えるか否かを判定する（ステップS170）。ここで、登録可能な最大数を超えないと判定された場合には、電力割当て部150による電力割当て処理（又は図11に例示したような電力再調整処理）が行われる（ステップS171）。一方、登録可能な最大数を超えると判定された場合には、電力割当て部150は、新たな二次システムの登録を拒否することを当該二次システムの二次通信ノード200へ通知する（ステップS172）。

[0153] 図13Bは、二次システムの運用開始が保留される場合の処理の流れの一例を示すフローチャートである。図13Bを参照すると、まず、電力割当て部150は、新たな二次システムの運用開始を待ち受ける（ステップS161）。そして、例えば、通信部110が二次通信ノード200からの干渉制

御要求を受信することで、電力割当て部 150 は、新たな二次システムの運用開始を認識する。すると、処理はステップ S 170 へ進む。

[0154] ステップ S 170 において、電力割当て部 150 は、新たな二次システムの運用を開始することで二次システム又は二次通信ノードの数が予め決定される登録可能な最大数を超えるか否かを判定する（ステップ S 170）。ここで、登録可能な最大数を超えないと判定された場合には、電力割当て部 150 による電力割当て処理（又は図 11 に例示したような電力再調整処理）が行われる（ステップ S 171）。一方、登録可能な最大数を超えると判定された場合には、電力割当て部 150 は、新たな二次システムに送信電力を割り当てることなく、当該二次システムに関するデータのみを登録する（即ち、当該二次システムを仮登録する）（ステップ S 173）。そして、電力割当て部 150 は、電力が割り当てられることなく登録が保留されていることを当該二次システムの二次通信ノード 200 へ通知する（ステップ S 174）。その後、例えば既存の二次システムが運用を停止すると、登録が保留されている二次システムに優先的に送信電力が割り当てられる。

[0155] 図 13C は、二次システムの運用開始が拒否される場合の処理の流れの第 2 の例を示すフローチャートである。第 3 の例においては、データサーバ 300 又は通信制御装置 100 に登録可能な二次システム又は二次通信ノードの最大数が、周波数チャネルごとに予め決定されているものとする。

[0156] 図 13C を参照すると、まず、電力割当て部 150 は、新たな二次システムの運用開始を待ち受ける（ステップ S 161）。そして、例えば、通信部 110 が二次通信ノード 200 からの干渉制御要求を受信することで、電力割当て部 150 は、新たな二次システムの運用開始を認識する。すると、処理はステップ S 170 へ進む。

[0157] ステップ S 170 において、電力割当て部 150 は、新たな二次システムの運用を開始することで二次システム又は二次通信ノードの数が対象のチャネルについての登録可能な最大数を超えるか否かを判定する（ステップ S 170）。ここで、登録可能な最大数を超えないと判定された場合には、電力

割当て部 150 による電力割当て処理（又は図 11 に例示したような電力再調整処理）が行われる（ステップ S 171）。

- [0158] 一方、ステップ S 170 において、登録可能な最大数を超えると判定された場合には、電力割当て部 150 は、他のチャネルが空いているか否かを判定する（ステップ S 175）。ここで、他のチャネルが空いている場合には、電力割当て部 150 は、空いているチャネルの利用を新たな二次システムの二次通信ノード 200 に推奨する（ステップ S 176）。一方、他のチャネルも空いていない場合には、電力割当て部 150 は、新たな二次システムの登録を拒否することを当該二次システムの二次通信ノード 200 へ通知する（ステップ S 177）。

- [0159] (6) 一次システムと二次システムとの間の距離

図 6 に示した上限数決定処理及び電力割当て処理においては、二次システムごとの経路損失を導出するために、一次システムと各二次システムとの間の距離を決定することが求められる。一次システムと各二次システムとの間の距離は、例えば、以下に説明するいずれかの例に従って定義され得る。

- [0160] (6-1) 第 1 の例

第 1 の例において、一次システムと各二次システムとの間の距離は、各二次システムの位置から一次システムのサービスエリアの外周までの最短距離である。

- [0161] 例えば、図 14 A には、一次システムのサービスエリアの外周に相当する境界 12 と 4 つの二次システム（二次通信ノード 200）とが示されている。第 1、第 2 及び第 3 の二次システムは、一次システムのサービスエリアの外部に位置する。第 1、第 2 及び第 3 の二次システムから一次システムのサービスエリアの外周までの最短距離は、それぞれ d_{01} 、 d_{02} 及び d_{03} である。一方、第 4 の二次システムは、一次システムのサービスエリアの内部に位置する。第 4 の二次システムについて経路損失を導出する際には、一次システムと二次システムとの間の距離はゼロとみなされてもよい。その場合、経路損失は最大となる。その代わりに、第 4 の二次システムから境界 1

2までの最短距離が、一次システムと第4の二次システムとの間の距離として扱われてもよい。

[0162] (6-2) 第2の例

第2の例において、一次システムと各二次システムとの間の距離は、各二次システムの位置から一次システムのサービスエリアの外周上又は当該外周内の特定の1点までの距離である。特定の1点とは、例えば、ある1つの二次システムから最も近い一次システムのサービスエリアの外周上の地点であってもよい。また、特定の1点とは、例えば、複数の二次システムからの距離の和が最小となる地点などであってもよい。この地点は、二次システムからの干渉を受ける一次システムの仮想的な受信局が位置する地点であると考えられ得る。

[0163] 例えば、図14Bには、境界12と4つの二次システムとが再び示されている。第1、第2及び第3の二次システムは、一次システムのサービスエリアの外部に位置する。ここで、第1の二次システムから最も近い境界12上の点をP1とする。第1、第2及び第3の二次システムと一次システムとの間の距離は、第1、第2及び第3の二次システムのそれぞれの位置と点P1との間の距離 d_{11} 、 d_{12} 及び d_{13} に相当する。一方、第4の二次システムは、一次システムのサービスエリアの内部に位置する。第4の二次システムについて経路損失を取得する際には、第1の例と同様、一次システムと二次システムとの間の距離はゼロとみなされてもよい。その代わりに、第4の二次システムと点P1との間の距離が一次システムと第4の二次システムとの間の距離として扱われてもよい。

[0164] 図14Bにおいて、点P2は、境界12上で第1、第2及び第3の二次システムからの距離の和が最小となる点である。このような点P2が点P1の代わりに使用されてもよい。なお、例えば、二次システムの多くが一次システムのガードエリアから離れた位置にある場合、一次受信局が狭い地理的領域内にのみ存在することが既知である場合、又は特定の地点において許容干渉量が著しく厳しい場合などにおいては、予め決定される特定の地点が距離

算出のための基準点として使用されてもよい。また、変調方式ごとに異なる複数の許容干渉量が規定されている場合には、距離だけではなく変調方式又は複数の許容干渉量を考慮して基準点が選択されてもよい。

[0165] 第1の例と第2の例とを比較すると、第1の例の場合には、距離の算出がより容易である一方で、経路損失の値が過剰に小さく見積もられる可能性がある。例えば、2つの二次システムが一次システムを挟んで反対側に位置する場合に、そのような状況は生じ得る。その場合、二次システムに割り当てられる送信電力は、より小さい値となる。従って、第1の例は、計算コストがより低く、干渉防止の観点でより安全な定義と言える。一方、第2の例では、経路損失の値が過剰に小さく見積もられる可能性が少ないため、二次利用の機会をより高めることができる。

[0166] (6-3) 第3の例

第3の例において、一次システムと各二次システムとの間の距離は、各二次システムの位置から最も近傍の一次受信局までの距離である。例えば、図14Cには、3つの二次システム及び3つの一次受信局が示されている。第1の二次システムの最も近傍には、第1の一次受信局が位置する。第1の二次システムと第1の一次受信局との間の距離は d_{21} である。第2の二次システムの最も近傍には、第2の一次受信局が位置する。第2の二次システムと第2の一次受信局との間の距離は d_{22} である。第3の二次システムの最も近傍には、第3の一次受信局が位置する。第3の二次システムと第3の一次受信局との間の距離は d_{23} である。従って、第1の二次システムと一次システムとの間の距離として d_{21} 、第2の二次システムと一次システムとの間の距離として d_{22} 、第3の二次システムと一次システムとの間の距離として d_{23} がそれぞれ使用され得る。

[0167] (6-4) 第4の例

第4の例において、一次システムと各二次システムとの間の距離は、全ての二次システムの位置からの距離の総和が最も小さい一次受信局までの距離である。例えば、図14Dには、3つの二次システム及び3つの一次受信局

が再び示されている。このうち、3つの二次システム的位置からの距離の総和が最も小さい一次受信局は、第2の一次受信局である。第1の二次システムと第2の一次受信局との間の距離は d_{31} である。第2の二次システムと第2の一次受信局との間の距離は d_{32} である。第3の二次システムと第2の一次受信局との間の距離は d_{33} である。従って、第1の二次システムと一次システムとの間の距離として d_{31} 、第2の二次システムと一次システムと d_{32} 、第3の二次システムと一次システムとの間の距離として d_{33} がそれぞれ使用され得る。

[0168] 第3及び第4の例においては、実際の一次受信局の位置が距離の算出のための基準点となるため、より現実的に即した干渉量の見積もりが可能となる。

[0169] (6-5) 二次システム側の基準点

図14A～図14Dの例では、一次システムと二次システムとの間の距離の算出にあたって主に一次システム側の基準点をどのように設定すべきかについて説明した。これに対し、二次システム側の基準点についても、様々な設定の手法が考えられる。例えば、二次システム側の基準点の位置は、単純に二次システムのスタである二次通信ノード200の位置であってもよい。その代わりに、二次システム側の基準点の位置は、二次システムのノード(スタノード及びスレーブノード)のうち一次システムのガードエリア又はいずれかの一次受信局の最も近くのノードの位置であってもよい。また、計算が複雑になるもの、二次システムの複数のノードの位置を基準として複数の距離が算出され、当該複数の距離に応じて総合的な経路損失が計算されてもよい。これら二次システム側の基準点の設定の手法は、それぞれ、図14A～図14Dに例示したどの一次システム側の基準点の設定の手法と組み合わせてもよい。

[0170] また、例えば、二次システム側の基準点は、次のように段階的に設定されてもよい。まず、二次システム側の基準点を暫定的に二次システムスタである二次通信ノード200とする。次に、二次通信ノード200

から最も近くの一次システムのサービスエリアの外周上の1点又は最も近くの一次受信局の地点を一次システム側の基準点とする。次に、一次システム側の上記基準点に与える干渉を、二次システムのノード（アスタノード及びスレーブノード）の各々について見積もる。そして、一次システム側の上記基準点に最大の干渉を与える二次システム側のノードの位置を、二次システム側の最終的な基準点に設定する。二次システムのノードごとの干渉の見積もりに際しては、ノードの種類（アスタノード又はスレーブノード）に応じて異なる送信電力が考慮されてもよい。

[0171] <4. 通信装置（二次通信ノード）の構成例>

図15は、上述した通信制御装置100により割り当てられる送信電力を用いて二次システムを運用する二次通信ノード200の構成の一例を示すブロック図である。図15を参照すると、二次通信ノード200は、通信部210、制御部220、記憶部230及び無線通信部240を備える。

[0172] 通信部210は、二次通信ノード200によるデータサーバ30及び通信制御装置100との間の通信のための通信インタフェースとして動作する。通信部210は、制御部220による制御の下、例えば、二次利用の開始に際して、二次システムに関する情報をデータサーバ30に送信する。また、通信部210は、データサーバ30から通知される情報を受信する。また、通信部210は、通信制御装置100との間で、干渉制御の要求及び応答を送受信する。その後、通信制御装置100により送信電力の割当てが決定されると、通信部210は、送信電力の割当て結果を受信する（図4のステップS17）。

[0173] 制御部220は、二次通信ノード200の動作全般を制御する役割を有する。例えば、制御部220は、図4に例示したシーケンスに従って通信制御装置100と連携することで、二次システムの運用に際しての一次システムへの干渉を抑制する。より具体的には、制御部220は、通信制御装置100による送信電力の割当て結果が通信部210により受信されると、当該送信電力の割当て結果に基づいて、無線通信部240による他の二次通信ノード

ドとの間の通信のための送信電力を制限する。

[0174] 制御部 220 は、例えば、自装置が運用する二次システムに割り当てられた送信電力を、当該二次システムに参加する二次通信ノードの間でさらに配分してもよい。これは、二次通信ノード 200 が 1 つの二次システムに参加するノード群の送信電力を管理するマスタとしての役割を有し得ることを意味する。この場合、マスタとしての二次通信ノード 200 は、スレーブノードによる通信が一次システムに致命的な干渉を与えないように、スレーブノードの送信電力を制御する。一般的には、送信電力の制御には誤差が伴う。しかし、例えば、上述したセーフティマージン SM が導入されることで、送信電力の制御の誤差によって一次システムに致命的な干渉が生じることが回避される。例えば、二次通信ノード 200 は、スレーブノードのデューティサイクルを認識し、認識したデューティサイクルに応じてセーフティマージンを動的に設定してもよい。その場合には、二次通信ノード 200 は、動的に設定されるセーフティマージンを、データサーバ 30 を介して又は直接、通信制御装置 100 へ報告する。その代わりに、通信制御装置 100 が二次通信ノード 200 から報告されるデューティサイクルに応じてセーフティマージンを動的に設定してもよい。

[0175] 記憶部 230 は、ハードディスク又は半導体メモリなどの記憶媒体を用いて、通信制御装置 100 との連携及び二次システムの運用のために使用されるプログラム及びデータを記憶する。

[0176] 無線通信部 240 は、二次通信ノード 200 と他の二次通信ノードとの間の無線通信のための無線通信インタフェースとして動作する。無線通信部 240 は、例えば、IEEE 802.22、IEEE 802.11af 又は ECMA-392 に従って、二次システムに参加する他の二次通信ノードとの間で、無線信号を送受信する。無線通信部 240 により送信される無線信号の送信電力は、通信制御装置 100 による送信電力の割当て結果に基づいて、制御部 220 により制限される。

[0177] <5. 適応的なマージンの設定>

上述した実施形態における固定マージン方式では、送信電力の配分に際して、予め固定的に設定される配分マージン M_I が算入される。これら配分マージン M_I の値は、一例として、3 dB～6 dBなどの範囲内の任意の値であってよい。配分マージン M_I の値を固定的に設定することで送信電力の配分のための計算が簡略されることから、固定マージン方式は、実装を容易にするという利点を有する。しかしながら、例えば、6 dBの固定的な配分マージンを導入すると、チャンネル当たりの動作可能な二次システムの数、多くとも4つ程度となる。この二次システム数は、周波数の二次利用の機会を高めるという観点では、必ずしも十分でない。また、値の大きい固定的なマージンを設定すると、想定された数よりも二次システム数が少ない場合に、個々の送信電力が過剰に抑制されてしまうという問題点がある。さらに、二次システム数がチャンネルごとに異なる可能性があることから、固定マージン方式よりもむしろマージンの値を動的に設定の方が望ましい状況があり得る。そこで、本節では、マージンの値を動的に設定する構成を有する通信制御装置について説明する。

[0178] 図16は、上述した実施形態の一変形例に係る通信制御装置300の構成の一例を示すブロック図である。図16を参照すると、通信制御装置300は、通信部110、データ取得部320、記憶部130、上限数決定部140、マージン設定部345及び電力割当て部350を備える。

[0179] データ取得部320は、上述した通信制御装置100のデータ取得部120により取得されるデータに加えて、マージン設定部345がマージンを動的に設定するために使用するデータを、データサーバ30及び二次通信ノード200から取得する。マージンを設定するために使用されるデータとは、後に説明するように、例えば、運用中の（即ち、現在登録されている）二次システム数若しくは二次通信ノード数、又は運用可能な（登録可能な）最大二次システム数若しくは最大ノード数を含み得る。そして、データ取得部320は、取得したデータを記憶部130に記憶させる。

[0180] マージン設定部345は、データ取得部320により取得されるデータを

用いて、送信電力の割当てに際して干渉のリスクを低減するためのマージンを設定する。マージンは、例えば、周波数チャネルごとに設定され得る。例えば、周波数チャネル f_i についての配分マージンを MI_i とすると、配分マージン MI_i は、概念的には、チャネル内の干渉のための成分とチャネル間干渉のための成分との和として、次式のように表現され得る。

[0181] [数22]

$$MI_i = MI'_i + \sum_{jj=1}^{O_j} MI''_{jj} \quad (24)$$

[0182] 式(24)において、右辺の第1項がチャネル内の干渉のための成分、第2項がチャネル間干渉のための成分である。具体的には、第1の例において、配分マージン MI_i は、周波数チャネル f_i を二次利用している運用中の二次システム数又は二次通信ノード数 U_i を用いて、次のように計算され得る：

[0183] [数23]

$$MI_i = U_i \quad (25)$$

$$MI_i = U_i \cdot \alpha_i \quad (26)$$

[0184] 運用中の二次システム数又は二次通信ノード数 U_i をそのままマージンの値として利用できる場合には、式(25)が使用される。一方、 U_i を修正する場合には、式(26)のように修正係数 α_i が算入される。修正係数 α_i は、上述した式(5)のセーフティマージン SM と等しくてもよい。

[0185] 第2の例において、配分マージン MI_i は、例えば、周波数チャネル f_i を二次利用可能な最大の二次システム数又は最大の二次通信ノード数 X_i を用いて、次のように計算され得る：

[0186] [数24]

$$MI_i = X_i \quad (27)$$

$$MI_i = X_i \cdot \beta_i \quad (28)$$

[0187] 最大の二次システム数又は最大の二次通信ノード数 X_i をそのままマージンの値として利用できる場合には、式(27)が使用される。一方、 X_i を修正する場合には、式(28)のように修正係数 β_i が算入される。修正係数 β_i もまた、上述した式(5)のセーフティマージン SM と等しくてもよい。 X_i は、式(25)及び式(26)の U_i とは異なり、時々刻々と変化する値ではない。そのため、第2の例では、第1の例と比較して情報の取得のためのトラフィックをより少なくすることができる。

[0188] 次の第3の例及び第4の例では、マージンの値は、複数の周波数チャンネルにわたって共通の値となる。第3の例において、配分マージン MI_i は、運用中の二次システム数又は二次通信ノード数 U_i のチャンネル間の最大値を用いて、次のように計算され得る：

[0189] [数25]

$$MI_i = \max\{U_i\} \quad (29)$$

$$MI_i = \max\{U_i \cdot \alpha_i\} \quad (30)$$

[0190] 第4の例において、配分マージン MI_i は、チャンネルごとの最大の二次システム数又は最大の二次通信ノード数 X_i のチャンネル間の最大値を用いて、次のように計算され得る：

[0191] [数26]

$$MI_i = \max\{X_i\} \quad (31)$$

$$MI_i = \max\{X_i \cdot \alpha_i\} \quad (32)$$

[0192] また、マージン設定部345は、帯域の中央部の周波数チャンネルのマージンが端部の周波数チャンネルのマージンよりも相対的に大きくなるように、周波数チャンネルごとにマージンを設定してもよい。図17の例では、帯域全体の中に、9つの周波数チャンネル $F_1 \sim F_9$ が存在する。このようなチャンネル構成において、例えば、隣り合うチャンネルに加えて、さらに1つ先の周波数チャンネルからの無線信号が干渉源となり得るものとする。そうすると、例え

ば、帯域の中央部の周波数チャネルF 3～F 7については4つの近傍のチャネルが干渉源となり得るのに対し、帯域の端部の周波数チャネルF 1及びF 9については2つ、周波数チャネルF 2及びF 8については3つの近傍チャネルのみが干渉源となり得る。従って、マージン設定部345は、図17の下部のグラフに例示したように、帯域の中央部の周波数チャネルのマージンがより端部のチャネルよりも大きくなるようにマージンを設定することで、特に端部において二次利用の機会を効率的に高めることができる。このような周波数チャネルの位置に応じたマージンの計算は、例えば、式(26)の修正係数 α_i 又は式(28)の修正係数 β_i を図17のグラフのように定義することにより実現されてもよい。

- [0193] なお、マージン設定部345は、周波数チャネルごとの配分マージンを設定するにあたり、二次システムの送信スペクトルマスク（又は近傍チャネル漏れ率（ACLR : Adjacent Channel Leakage Ratio））に相当する値を算入してもよい。例えば、チャネルF_{jj}からチャネルF_{ii}への帯域外の損失をH(i, jj, kk)とすると、送信スペクトルマスクに相当する値を算入することにより、配分マージンMI_iは、次式のように更新され得る：

[0194] [数27]

$$MI_i''' = MI_i / H(i, jj, kk) \quad (33)$$

- [0195] 電力割当て部350は、上述した通信制御装置100の電力割当て部150と同様、上限数決定部140により決定される上限数と一次システムの許容干渉量とに基づいて、各二次システム又は各二次システムの各二次通信ノードに送信電力を割り当てる。その際、電力割当て部350は、配分マージンMIの値として、マージン設定部345により適応的に設定される値を使用する。

- [0196] このような変形例に係る構成によれば、マージンの値が適応的に設定されるため、一次システムに致命的な干渉を及ぼすことなく、二次利用の機会を一層効率的に高めることができる。なお、式(25)～式(33)に示した

$M1$ 又は $M1'$ の計算式は、式 (24) の右辺の第 1 項の $M1$ 又は第 2 項の $M1'$ の計算のために利用されてもよい。

[0197] <6. まとめ>

ここまで、図 1 ～図 17 を用いて、一実施形態について説明した。本実施形態によれば、二次システムを運用する二次通信ノードとの間で通信する通信制御装置により、送信電力の割当ての対象とする二次システム又は二次通信ノードの上限数が決定され、当該上限数と一次システムの許容干渉量とに基づいて、二次利用のための送信電力がそれぞれ割り当てられる。それにより、複数の二次システムが存在する場合にも、上限数を超えない範囲内の二次システムに二次利用の機会を与えながら、一次システムに致命的な干渉が及ぶことを回避することができる。従って、周波数リソースの利用効率を、適切かつ安全な形で高めることが可能となる。

[0198] また、本実施形態によれば、送信電力の割当て対象の上限数は、各二次システムの通信品質の要件から推定される一次システムへの干渉量と、一次システムの許容干渉量との差を評価することにより決定される。それにより、二次利用の機会を与えられた二次システムについては、所要の通信品質を確保して通信の目的を達成することができる。

[0199] また、本実施形態によれば、一次システムに割り当てられた周波数チャンネルのみならず近傍の周波数チャンネルが二次利用される場合に、それら周波数チャンネルの二次利用に起因する干渉量の総和が一次システムの許容干渉量を超えないように、送信電力が割り当てられる。それにより、帯域外輻射を原因とするチャンネル間の干渉が一次システムに致命的な影響を及ぼすことも回避される。

[0200] また、本実施形態によれば、送信電力は、周波数チャンネルごとに当該周波数チャンネルを利用する二次システムに暫定的に配分された後、異なる周波数チャンネルを利用する二次システム間で再配分され得る。このような段階的な送信電力の配分によれば、送信電力の割当ての計算をより少ない計算リソースで行うことが可能となる。その結果、考慮すべき周波数チャンネルの数又は

二次システムの数が増えた場合の送信電力の割当ての負荷が軽減される。

[0201] なお、本明細書において説明した各装置による処理は、ソフトウェア、ハードウェア、及びソフトウェアとハードウェアとの組合せのいずれを用いて実現されてもよい。ソフトウェアを構成するプログラムは、例えば、各装置の内部又は外部に設けられる記憶媒体に予め格納される。そして、各プログラムは、例えば、実行時にRAM (Random Access Memory) に読み込まれ、CPU (Central Processing Unit) などのプロセッサにより実行される。

[0202] 以上、添付図面を参照しながら本開示の好適な実施形態について詳細に説明したが、本開示の技術的範囲はかかる例に限定されない。本開示の属する技術の分野における通常の知識を有する者であれば、特許請求の範囲に記載された技術的思想の範疇内において、各種の変更例または修正例に想到し得ることは明らかであり、これらについても、当然に本開示の技術的範囲に属するものと了解される。

符号の説明

[0203]	100, 300	通信制御装置
	110	通信部
	140	(上限数) 決定部
	345	マージン設定部
	150, 350	電力割当て部
	200	通信装置 (二次通信ノード)
	210	通信部
	220	制御部

請求の範囲

- [請求項1] 一次システムに割り当てられた周波数チャネル及び当該周波数チャネルの近傍の周波数チャネルの少なくとも一方を利用して二次システムを運用する1つ以上の二次通信ノードとの間で通信する通信部と、
送信電力の割当ての対象とする二次システム又は二次通信ノードの上限数を決定する決定部と、
決定された前記上限数と前記一次システムの許容干渉量とに基づいて、各二次システム又は各二次システムの各二次通信ノードに送信電力を割り当てる電力割当て部と、
を備える通信制御装置。
- [請求項2] 前記決定部は、各二次システムの通信品質の要件に基づいて前記上限数を決定する、請求項1に記載の通信制御装置。
- [請求項3] 前記決定部は、各二次システムの通信品質の要件から推定される前記一次システムへの干渉量と前記一次システムの許容干渉量との差を評価することにより、前記上限数を決定する、請求項2に記載の通信制御装置。
- [請求項4] 前記電力割当て部は、複数の周波数チャネルが1つ以上の二次システムにより利用される場合に、当該複数の周波数チャネルの二次利用に起因する前記一次システムへの干渉量の総和が前記一次システムの前記許容干渉量を超えないように、各二次システム又は各二次システムの各二次通信ノードに送信電力を割り当てる、請求項1に記載の通信制御装置。
- [請求項5] 前記決定部は、前記一次システムに割り当てられた周波数チャネルについての第1の上限数と他の周波数チャネルについての第2の上限数とを決定し、
前記電力割当て部は、前記第1の上限数及び前記第2の上限数を用いて、各二次システム又は各二次システムの各二次通信ノードに送信電力を割り当てる、

請求項 4 に記載の通信制御装置。

[請求項6] 前記電力割当て部は、二次システムにより利用される周波数チャンネルごとに当該周波数チャンネルを利用する二次システムに送信電力を暫定的に配分した後、暫定的に配分された送信電力に基づいて、異なる周波数チャンネルを利用する二次システム間で送信電力を再配分する、請求項 5 に記載の通信制御装置。

[請求項7] 前記電力割当て部は、二次システム間で送信電力を配分又は再配分した後、前記許容干渉量と一次システムのサービスエリア内で干渉量の総和が最も多くなる地点での干渉量との比較に基づいて、各二次システムに割り当てるべき送信電力を修正する、請求項 6 に記載の通信制御装置。

[請求項8] 前記通信部は、二次システムについての優先度を定義する優先度情報を他の装置から受信し、

前記電力割当て部は、より高い優先度を有する二次システムに前記暫定的に配分された送信電力に基づいて送信電力を割当てた後、残る二次システムに送信電力を再配分する、

請求項 6 に記載の通信制御装置。

[請求項9] 前記通信部は、二次システムについての優先度を定義する優先度情報を他の装置から受信し、

前記電力割当て部は、前記優先度に応じた重みを用いて、各二次システム又は各二次システムの各二次通信ノードに割り当てる送信電力を重み付けする、

請求項 6 に記載の通信制御装置。

[請求項10] 前記電力割当て部は、新たな二次システムが運用開始される場合に、既存の二次システムのうち送信電力の余剰分を有する二次システムに送信電力の引き下げを要求する、請求項 1 に記載の通信制御装置。

[請求項11] 前記決定部は、前記一次システムへの干渉量を推定する際の前記一次システムの基準点の位置を、前記一次システムのデータサーバから

受信される情報を用いて決定する、請求項 3 に記載の通信制御装置。

[請求項12] 前記電力割当て部は、前記一次システムの前記許容干渉量、及び前記一次システムと各二次システムとの間の距離に応じた経路損失に基づいて、送信電力の割当てを決定し、

前記一次システムと各二次システムとの間の距離は、各二次システムの位置から前記一次システムのサービスエリアの外周又は前記一次システムのノードまでの最短距離である、

請求項 1 に記載の通信制御装置。

[請求項13] 前記電力割当て部は、前記一次システムの前記許容干渉量、及び前記一次システムと各二次システムとの間の距離に応じた経路損失に基づいて、送信電力の割当てを決定し、

前記一次システムと各二次システムとの間の距離は、各二次システムの位置から前記一次システムのサービスエリアの外周上又は当該外周内の特定の地点までの距離である、

請求項 1 に記載の通信制御装置。

[請求項14] 前記電力割当て部は、前記一次システムとの間の距離又は当該距離に応じた経路損失が所定の閾値を超える二次システムを、送信電力の割当ての計算において無視する、請求項 1 に記載の通信制御装置。

[請求項15] 前記閾値は、周波数チャネルごとに設定される、請求項 1 4 に記載の通信制御装置。

[請求項16] 前記電力割当て部は、前記通信部により受信される二次通信ノードからの要求に応じて、二次通信ノードに電力割当て結果を通知する、請求項 1 に記載の通信制御装置。

[請求項17] 前記電力割当て部は、二次通信ノードからの要求に依存することなく、二次通信ノードに電力割当て結果を通知する、請求項 1 に記載の通信制御装置。

[請求項18] 前記電力割当て部は、送信電力の割当てに際して干渉のリスクを低減するためのマージンを算入し、

前記通信制御装置は、

周波数チャネルごとの運用中の二次システム数若しくは二次通信ノード数又は運用可能な最大の二次システム数若しくは二次通信ノード数に基づいて、前記マージンを設定するマージン設定部、

をさらに備える、請求項 1 に記載の通信制御装置。

[請求項19]

前記マージン設定部は、帯域の中央部の周波数チャネルのマージンが端部の周波数チャネルのマージンよりも相対的に大きくなるように、前記マージンを周波数チャネルごとに設定する、請求項 18 に記載の通信制御装置。

[請求項20]

一次システムに割り当てられた周波数チャネル及び当該周波数チャネルの近傍の周波数チャネルの少なくとも一方を利用して二次システムを運用する 1 つ以上の二次通信ノードとの間で通信する通信制御装置を用いた通信制御方法であって、

送信電力の割当ての対象とする二次システム又は二次通信ノードの上限数を決定することと、

決定された前記上限数と前記一次システムの許容干渉量とに基づいて、各二次システム又は各二次システムの各二次通信ノードに送信電力を割り当てることと、

を含む通信制御方法。

[請求項21]

一次システムに割り当てられた周波数チャネル及び当該周波数チャネルの近傍の周波数チャネルの少なくとも一方を利用して二次システムを運用する通信装置であって、

送信電力の割当ての対象とする二次システム又は二次通信ノードの上限数と前記一次システムの許容干渉量とに基づいて、各二次システム又は各二次システムの各二次通信ノードに送信電力を割り当てる通信制御装置から、送信電力の割当て結果を受信する通信部と、

前記通信部により受信される送信電力の割当て結果に基づいて、他の二次通信ノードとの間の通信のための送信電力を制限する制御部と

、
を備える通信装置。

[請求項22] 一次システムに割り当てられた周波数チャネル及び当該周波数チャネルの近傍の周波数チャネルの少なくとも一方を利用して二次システムを運用する通信装置による通信方法であって、

送信電力の割当ての対象とする二次システム又は二次通信ノードの上限数と前記一次システムの許容干渉量とに基づいて、各二次システム又は各二次システムの各二次通信ノードに送信電力を割り当てる通信制御装置から、送信電力の割当て結果を受信することと、

前記送信電力の割当て結果に基づいて、他の二次通信ノードとの間の通信のための送信電力を制限することと、

を含む通信方法。

[請求項23] 一次システムに割り当てられた周波数チャネル及び当該周波数チャネルの近傍の周波数チャネルの少なくとも一方を利用して二次システムを運用する1つ以上の二次通信ノードと、当該1つ以上の二次通信ノードによる通信を制御する通信制御装置とを含む通信システムであって、

前記通信制御装置は、

前記1つ以上の二次通信ノードとの間で通信する通信部と、

送信電力の割当ての対象とする二次システム又は二次通信ノードの上限数を決定する決定部と、

決定された前記上限数と前記一次システムの許容干渉量とに基づいて、各二次システム又は各二次システムの各二次通信ノードに送信電力を割り当てる電力割当て部と、

を備え、

前記1つ以上の二次通信ノードの各々は、

前記通信制御装置から送信電力の割当て結果を受信する通信部と、

受信された前記送信電力の割当て結果に基づいて、他の二次通信ノ

ードとの間の通信のための送信電力を制限する制御部と、
を備える、
通信システム。