

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 6月10日現在

機関番号：14401
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2009～2012
 課題番号：21760290
 研究課題名(和文) 異種無線統合ネットワークにおけるエージェント間協調を用いた動的周波数共用方式
 研究課題名(英文) A Dynamic Spectrum Sharing Method based on Cooperative Agents in Heterogeneous Wireless Networks
 研究代表者
 木下 和彦 (KINOSHITA KAZUHIKO)
 大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授
 研究者番号：40304018

研究成果の概要(和文)：近年、無線システムの多様化とモバイルマルチメディア通信の普及により、移動端末を用いた広帯域通信への要求が高まっている一方、周波数帯域の逼迫が問題視されており、限られた周波数を有効利用する必要がある。本研究では、ダイナミックスペクトラムアクセス技術を応用して異種無線システム間で周波数帯を共用し、全体としての周波数利用効率を向上させる方式を提案した。

研究成果の概要(英文)：With advances in wireless communication technologies, people can use multimedia services not only via wired networks but also via wireless networks such as Cellular, WiMAX, and WiFi. On the other hand, however, lack of spectrum resources becomes an important problem for future wireless networks. To overcome this problem, we proposed a spectrum sharing method based on dynamic spectrum access technology.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|-----------|-----------|
| 2009年度 | 600,000 | 180,000 | 780,000 |
| 2010年度 | 1,200,000 | 360,000 | 1,560,000 |
| 2011年度 | 1,000,000 | 300,000 | 1,300,000 |
| 2012年度 | 600,000 | 180,000 | 780,000 |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,400,000 | 1,020,000 | 4,420,000 |

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：無線ネットワーク、周波数共用、WiFi、WiMAX、エージェント、動的割り当て

1. 研究開始当初の背景

近年、セルラー網や無線 LAN (WiFi) の高速化及び WiMAX などの新しい通信規格の実用化に伴い、無線ネットワーク上で高度で大容量なアプリケーションが提供可能となりつつあるが、一方で、データ通信に適した無線周波数帯は有限であるため、その逼迫が問題視されており、今後、無線ネットワークをバックボーンへの安定したアクセス基盤として利用するためには、何らかの抜本的な対策が必要となるものと考えられる。

無線ネットワークにおける周波数の有効利用については、これまでも多くの研究がなされてきた。例えば、定められたエリアで所定の通信を行うのに必要なチャンネル数を彩色問題として解く研究や、セルラー網においてマイクロセルあるいはピコセルと呼ばれる基地局からの通信可能距離の異なるセルを階層的に用い、より小さいセルで同一の周波数を繰り返し利用することで実質的に利用可能周波数を増やす手法などが挙げられる。しかし、これらの研究はあくまで周波

数利用効率を静的に最適化するものであり、その効果には限界がある。

また、セルラー網と WiFi のような異なる無線ネットワークを同時に利用できる環境において、電波状況や接続ユーザ数あるいは利用アプリケーションに応じた最適なシステムへの選択接続と、それらの中での垂直ハンドオフによる通信継続とを提供することで、それらをシームレスに利用する統合ネットワークアーキテクチャも検討されている。また、このとき、ソフトウェア無線技術を適用すれば、端末は単一のネットワークインタフェースでこれを実現することができる。これらの技術は、ユーザの利便性を大きく向上させるものとして期待されているが、周波数の有効利用という観点からは特に大きな改善とはなり得ない。

一方、近年では、ソフトウェア無線技術を更に進化させ、端末が周囲の電波利用状況を認識し、それに応じて最適な周波数帯を用いて通信するコグニティブ無線技術の研究が盛んであり、これを応用して時間的・空間的に空いている周波数帯を利用して通信する手法の検討も進められている。例えば、IEEE802.22 で検討されている WRAN (Wireless Regional Area Network) システムでは、TV 放送の空き周波数帯を検知して利用しようとしている。しかし、これはあくまで農村や離島などの過疎地・遠隔地での局所的な周波数利用効率向上を達成するもので、都市部での大規模な無線ネットワークへの適用は考えられていない。

2. 研究の目的

本研究では、ダイナミックスペクトラムアクセス技術を応用して異種無線システム間で周波数帯を共用し、全体としての周波数利用効率を向上させることでこの問題に対処する。具体的には、WiMAX/WiFi 統合ネットワークにおいて、より通信可能範囲の狭い WiFi のアクセスポイントがコグニティブ無線技術を用いて電波利用状況を検知し、初期状態としては WiMAX に割り当てられた周波数帯を動的に利用することで、時間的側面から周波数利用効率を高める。この際、周囲にある他の WiFi アクセスポイントと協調し、干渉の発生しない範囲で周波数を繰り返し利用することで、空間的側面からも周波数利用効率を高め大幅な通信容量増大を達成する。

3. 研究の方法

下図のような WiMAX/WiFi 統合ネットワークを対象とし、初期状態としては WiMAX に割り当てられた周波数帯を WiFi アクセスポイントが動的に利用することで周波数利用効率を高める方式について検討する。



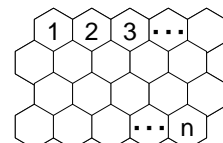
まず、全ての WiMAX/WiFi アクセスポイントが利用できる周波数帯を集中的に管理できるサーバが存在すると仮定して、理想的な周波数割り当てについて検討する。仕様上、WiMAX の最大伝送速度は 20MHz あたり 74.81Mbps、WiFi (802.11a, g) の最大伝送速度は 22MHz あたり 54Mbps であるため、WiMAX の周波数帯を 2 つ以上できるだけ多くの WiFi アクセスポイントで利用することが全体としてのスループット向上につながる計算になるが、実際には、WiFi アクセスポイントの存在しないエリアも多く存在することから、極端に WiMAX への割り当て周波数を削減することはユーザ間の公平性を損なうことになる。また、各アクセスポイントは端末との間での電波状況に応じて適応的に変調方式を切り替えるレートアダプテーション制御を行うことから、実効的なスループットは必ずしも最大伝送速度に比例しない。これらの点を考慮しながら、総合的に最適な周波数割り当てを確立する。

ここで、従来のセルラー網で提供されるサービスは回線交換的な固定レートの双方向音声通信のみであり、サービス品質としては呼損率とハンドオフ失敗率を評価すればよかった。しかし、現在の無線ネットワークではこれらのサービスに加えて、WWW 閲覧やファイル交換といったアプリケーションの利用が急増している。この場合の通信レートはベストエフォートとなるため、サービス品質としてスループットを評価する必要がある。これらのどちらかを重視するかは、サービス提供者の意向によると考えられるため、本研究としてはそれらに適応的に対処できる枠組みを準備する。

4. 研究成果

主たる成果として、遺伝的アルゴリズム (GA) を応用した周波数割り当て手法を提案した。

まず、システム内のエリアに図に示すような ID を与え、WiFi AP への周波数割り当てリストを複数用意する。リストのインデックスはエリア ID に対応し、WiMAX からの周波数割り当て対象ならば '1'、そうでなければ '0' の要素を持ち、このリストを GA を適用する個体とする。

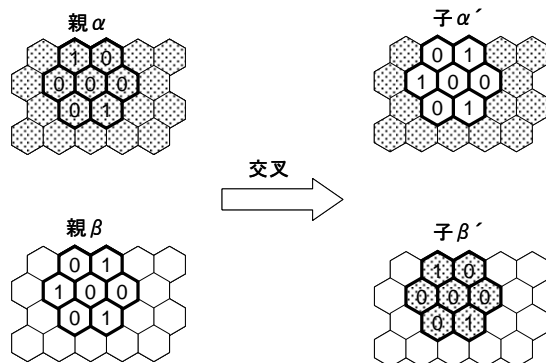


| | | | | | | |
|----|---|---|---|-----|-----|---|
| ID | 1 | 2 | 3 | ... | ... | n |
| 要素 | 0 | 1 | 0 | ... | ... | 1 |

GA を適用するために N 個の個体をランダムに生成し、これらを初期集団とする。具体的には、ランダムに WiFi AP が存在するエリア i を選択し、 i の隣接エリアに要素 '1' をもつエリアがなければ、この i に割り当てる。この操作を割り当てられる WiFi AP が無くなるまで行い、終了後のパターンを個体とする。この個体を集団数が N 個になるまで生成する。

次に、隣接している 7 つのエリアの集合を 1 つのクラスタとし、このクラスタ単位で交叉を行う。ここで、各個体で同一の ID を持つクラスタは同一のエリアで構成されているものとする。要素の入れ替えは各個体の同じクラスタで行うため、WiFi AP の存在しないエリアが割り当て対象となることはない。

まず、 N 個の個体の中から親となる 2 つの個体 α と β をランダムに選択し、これらに含まれる全クラスタの中から K 個のクラスタをランダムに選択し α 、 β 間で入れ替えを行うことで α' と β' を生成する。このとき α 、 β も集団の中に含めたままとし、集団の個体数は 2 増加する。この交叉を M 組の親のペアに対して行う。



しかし、交叉により生成した子は干渉を発生させる割り当てパターンである可能性がある。そこで、制約条件を維持するために、干渉の発生する割り当てとなっている要素に該当する WiFi AP のうち、要素を '0' にしても割当対象の負荷の合計に最も影響が少ない WiFi AP を割り当て対象から除外する。

交叉により $N+2M$ 個に増加した集団の個体数を初期集団の個体数である N 個に維持するために、ルーレット選択により $2M$ 個を淘汰する。

全ての個体が同一の割り当てパターンならば交叉を行っても同じ割り当てパターンしか生成されない。そこで、異なる割り当てパターンを生成するために突然変異を行う。

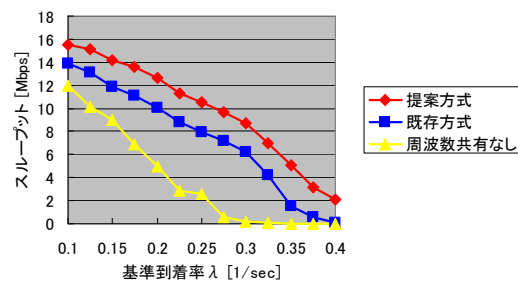
なお、本方式での GA の動作は、一定時間内に解を収束させる一般的なものと異なり、GA を常に動作させ続け評価値の高い解を探索し続けるものとし、一定時間毎の周波数割当の際に、その時間で最も評価値の高い解である候補個体に従って割り当てを行う。

以上の方式の有効性を評価するため計算

機シミュレーションを行った結果を示す。

ネットワーク環境として、WiMAX BS を 1 つ設置し、その BS のセル内の一部を 8×8 の 64 個のエリアに分割し、このうち 32 個のエリアに WiFi AP をランダムに配置した。WiMAX BS は帯域幅を 10 [MHz] 単位の複数のチャンネルに分割して利用し、WiFi AP には 2 チャンネル単位で割り当てるものとした。各 WiFi AP は、WiMAX から割り当てられるチャンネル以外に 1 チャンネル 20 [MHz] を使用可能であるとした。なお、WiMAX の 1 チャンネルの実効スループットには WiMAX Forum で評価された値である 20 [Mbps] を、WiFi の 1 チャンネル当たりの実効スループットには ns による予備実験の結果から 17.5 [Mbps] を用いた。

アプリケーションとして、平均ファイルサイズ 10 [Mbyte] の指数分布に従うファイルダウンロードを想定したときの平均スループットを示す。



このグラフから、グリーディに負荷の高い AP に周波数を割り当てる既存方式と比較して、提案方式はより有効に周波数資源を活用し、スループットを向上させていることが確認できた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

[1] K. Kinoshita, K. Kawano, and K. Murakami, "Joint Spectrum Sharing and Routing for WiFi/WiMAX Interworking Mesh Networks," International Journal of Multimedia Technology. (to be published)

[2] K. Kinoshita, Y. Kanamori, K. Kawano, and K. Murakami, "A Dynamic Spectrum Assignment Method for Call Blocking Probability Reduction in WiFi/WiMAX Integrated Networks," IEICE Transactions on Communications, Vol. E94-B, No. 12, pp. 3498-3504, December 2011.

[学会発表] (計 13 件)

[1] 丸山幸香, 河野圭太, 木下和彦, 村上孝三, "非協力的な WiMAX/WiFi 事業者間での簡便な制御による効果的な周波数共有," 電子

情報通信学会総合大会, B-6-143, March 2013.

[2] H. Takemoto, K. Kawano, K. Kinoshita, and K. Murakami, ``A Spectrum Sharing Method Considering Users' Behavior for Uncooperative WiFi/WiMAX Providers,`` Proceedings of the 12th International Conference on Networks (ICN 2013), January 2013. (Best Paper Award)

[3] 竹本裕明, 河野圭太, 木下和彦, 村上孝三, ``非協力的な事業者間での WiFi/WiMAX 周波数共有に関する一検討,`` 電子情報通信学会技術研究報告, NS2012-100, October 2012.

[4] 竹本裕明, 河野圭太, 木下和彦, 村上孝三, ``WiMAX/WiFi 統合ネットワークにおけるスループットと各事業者の利潤を考慮した動的周波数割り当て,`` 電子情報通信学会総合大会, B-6-18, March 2012.

[5] K. Kinoshita, M. Nakagawa, K. Kawano, and K. Murakami, ``A Fair and Efficient Spectrum Assignment for WiFi/WiMAX Integrated Networks,`` Proceedings of the 6th International Conference on Systems and Networks Communications (ICSNC 2011), October 2011.

[6] 中川将史, 河野圭太, 木下和彦, 村上孝三, ``WiFi/WiMAX 統合ネットワークにおけるハンドオーバを考慮した周波数共有手法,`` 電子情報通信学会技術研究報告, NS2010-200, March 2011.

[7] 中川将史, 河野圭太, 木下和彦, 村上孝三, ``WiFi/WiMAX 統合ネットワークにおけるシステム間の公平性を考慮した周波数共有手法,`` 電子情報通信学会技術研究報告 (奨励講演), NS2010-63, September 2010.

[8] K. Kinoshita, M. Yoshimoto, K. Kawano, and K. Murakami, ``An Effective Spectrum Sharing Method for WiFi/WiMAX Interworking Mesh Network,`` Proceedings of the 8th IEEE International Conference on Industrial Informatics (INDIN 2010), SS-8-3-3, July 2010.

[9] 杉本貴史, 河野圭太, 木下和彦, 村上孝三, ``WiMAX/WiFi 連携メッシュネットワークのためのチャンネル割り当てを考慮した経路制御,`` 電子情報通信学会総合大会, B-6-130, March 2010.

[10] 金森悠一, 河野圭太, 木下和彦, 村上孝三, ``WiFi/WiMAX 統合ネットワークにおける呼損率予測に基づく動的周波数割り当て手法,`` 電子情報通信学会技術研究報告, NS2009-170, March 2010.

[11] M. Nakagawa, K. Kawano, K. Kinoshita, and K. Murakami, ``A Spectrum Assignment Method based on Genetic Algorithm in WiMAX/WiFi Integrated Network,``

Proceedings of the 5th ACM International Conference on emerging Networking EXperiments and Technologies (ACM CoNEXT 2009), December 2009.

[12] 中川将史, 河野圭太, 木下和彦, 村上孝三, ``WiMAX/WiFi 統合網におけるスループット向上のための遺伝的アルゴリズムを用いた周波数割当方式,`` 電子情報通信学会技術研究報告, NS2009-53, July 2009.

[13] 金森悠一, 河野圭太, 木下和彦, 村上孝三, ``WiFi/WiMAX 統合ネットワークにおけるマルチメディアサービスの呼損率を低減する動的周波数割当手法,`` 電子情報通信学会技術研究報告, ICM2009-10, May 2009.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

木下 和彦 (KINOSHITA KAZUHIKO)

大阪大学・大学院情報科学研究科・准教授
研究者番号: 40304018

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: