

機関番号：12612
 研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2008年度～2010年度
 課題番号：20760235
 研究課題名（和文） 路車間・車車間連携 OFDMA サブキャリア制御による周波数共用技術の研究
 研究課題名（英文） Spectrum Sharing Techniques of OFDMA Subcarrier Control for Road to Vehicle Communication and Inter Vehicle Communication
 研究代表者
 藤井 威生 (FUJII TAKEO)
 電気通信大学・先端ワイヤレスコミュニケーション研究センター・准教授
 研究者番号：10327710

研究成果の概要（和文）：本研究課題では ITS の路車間通信（RVC）と車車間通信（IVC）の間で OFDMA を用いた周波数共用技術に関する検討を行った。このような周波数共用システムでは、同期の不完全性により OFDMA のサブキャリアの直交性が崩れ、RVC の特性が劣化する問題がある。そこで本研究では、OFDMA におけるタイムスロットとサブキャリアを RVC と IVC に割り当てる際に、適応的にサブキャリア選択および電力制御を行うことで、相互干渉を抑えることが可能な周波数共用スケジューリングを提案した。

研究成果の概要（英文）：In this research, a frequency sharing with OFDMA is considered to be applied on road to vehicle communication (RVC) and inter-vehicle communication (IVC). In such spectrum sharing systems, a synchronization error leads to degrade the orthogonality among OFDMA subcarriers and the performance of RVC is degraded. This paper proposes a frequency sharing scheduling to suppress the interference to RVC by selecting subcarriers and controlling power at IVC adaptively during the period allocating the time slot and the subcarrier of OFDMA to multiple pairs of RVC and IVC, respectively.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：移動通信

科研費の分科・細目：電気・電子工学、通信・ネットワーク工学

キーワード：通信方式、ITS、周波数共用技術、OFDMA、路車間通信、車車間通信

1. 研究開始当初の背景

交通事故防止の抜本的な対策として期待され、研究開発が行われてきた高度交通システム（ITS）は、無線通信技術の発展、普及と共に、これまでの基礎的な検討にとどまらず実用化を視野に入れた研究活動が始まりつ

つある。ITS における無線通信の役割は、地図情報、交通情報などの提供およびインターネットなどの外部ネットワークとの接続を考慮に入れた路車間通信（RVC）と、周囲の車両同士での安全情報の交換や交通事故防止のための制御情報交換のための車車間通信

(IVC)とに大別できる。これら 2 つの方式は互いに補完関係にあるものの、道路側設備を制御局とした集中制御が可能な RVC と、車両同士で自律的な相互通信が必要となる IVC との間では異なるシステム、異なる周波数を利用する考えが一般的である。

一方、無線通信技術の普及に伴って、限りある周波数資源を有効に活用し、効率的な無線システムを構築することが求められている。その対策のひとつとして近年注目されている技術に複数システムの周波数共有技術がある。本技術は、コグニティブ無線実現のための基盤技術としても検討されており、既存システムに割り当てられている周波数帯域を別のシステムで 2 次利用する無線技術である。結果として、複数のシステムを同一周波数で運用することが可能となり、周波数有効利用に対する抜本的な対策として期待されている。現在考えられているコグニティブ無線技術は、優先的にその無線帯域を利用できる 1 次ユーザと、1 次ユーザが利用していない場合に同一周波数を利用することができる 2 次ユーザとの間での周波数共有技術が基本となっている。しかし、技術的・法的な問題がまだ多く、すぐの実現は簡単ではない。一方で、1 次ユーザが一定の制御を行う環境下で、同一周波数を利用して 2 次ユーザが周波数を共有する技術は、実現への障壁が少ない上、有効性は非常に高い技術と考えられ、今後の周波数不足への対策として重要な技術になってくるものと考えられる。

2. 研究の目的

そこで、本研究では集中制御が可能な 1 次ユーザと自律的な運用を行う 2 次ユーザとの間での周波数共有を行うアプリケーションとして ITS の RVC と IVC との間での周波数共有システムを想定し、その間で OFDMA による周波数共有手法の検討と、その効果についての研究を行う。本研究成果は ITS における応用だけでなく、コグニティブ無線の現実的な運用として集中制御型 1 次システムと自律分散型 2 次システムの協調型周波数共有が可能な技術としても期待することができ、集中制御型・自律分散型無線システム混在環境下での周波数共存手法として今後幅広く応用が可能な技術ともなりうる潜在的可能性を持っている。

本提案では、IVC との同一周波数による連携技術を確認することで、ブロードキャストデータだけでなく、IVC の車両同士のデータや RVC の特定の車両へのデータも同一周波数で効率的に運用することの有効性を明らかにするものである。本研究課題の特徴としては複数のサブキャリアに分割されている OFDM 信号を複数のユーザで共有する OFDMA 技術を集中制御システムと分散システムとの

間で共有することにある。これにより、異なるデータが混在する環境において、サブキャリア利用の自由度と電力制御を周波数共有に有効に生かすことができる。このような OFDMA のサブキャリア制御による周波数共有手法はこれまで検討されてきた例がない。その原因としては、サブキャリア選択手法、複数システム混在スケジューリング手法、複数端末同期手法など多くの課題があるためであり、本研究ではこれらの課題を克服する研究を進めることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では RVC と IVC の周波数共有の方針として、集中制御型の RVC が一次ユーザとして優先的に一定量の周波数帯域を利用し、RVC が利用していない周波数を二次ユーザの IVC に割り当てることとし、IVC には一定の帯域を残して二次ユーザとしての通信を可能とするモデルを考える。

図 1 は単純な RVC と IVC の混在モデルを示す。このように RVC と IVC が混在している環境において、マルチアクセス干渉を回避する手段の一つとしては TDMA (Time Division Multiple Access) が挙げられているが、ガード時間が必要であるなど周波数利用効率が低いという問題がある。そこで、筆者らは OFDMA のサブキャリア直交性を生かし、RVC と IVC にそれぞれ異なるサブキャリアを割り当てることで互いに干渉を回避することを考える。ここで用いる OFDMA を用いた RVC と IVC の周波数共有手法は、一次ユーザの RVC が優先的にサブキャリアを利用し、残りのサブキャリアを二次ユーザの IVC に割り当てることとする。利用可能な OFDMA サブキャリアの数は 512 とし、RVC と IVC が同一周波数共有するとき、ともに 256 サブキャリアを利用することとし、一定量の IVC の通信も確保する。

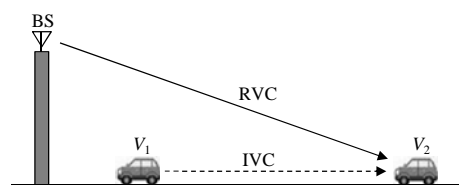


図 1 単純な RVC と IVC の混在モデル

本研究ではシステム全体の伝送特性を向上するために、RVC と IVC に OFDMA サブキャリアを割り当てる際に適応的なサブキャリア割当手法を提案する。まず、路側機は全サブキャリアを用いて受信車両にパイロット信号を送信することにより RVC の通信路情報を取得する。そして、取得した通信路情報を基に、周波数選択性フェージングによる影響

の少ない 256 サブキャリアを選出して路側機と車両 V_2 間での RVC に割り当てる。残りの 256 サブキャリアは一次ユーザの RVC が利用していないため、これを IVC の通信ペア V_1 と V_2 間の通信に割り当てる。RVC と IVC の通信路は互いに独立であるため、RVC の通信路において周波数選択性フェージングによりチャネル状態が悪いサブキャリアであっても、IVC の通信路でのチャネル状態は必ずしも悪くならない。したがって、RVC が利用していないサブキャリアを IVC に割り当てても IVC の特性には直接影響を与えないと考えられる。

OFDMA システムによる周波数共用は信号を復調する時に正確な搬送波周波数同期とシンボルタイミング同期が必要である。複数の送信機間の局部発振機の搬送波周波数のずれを周波数オフセットと呼ぶ。周波数オフセットが発生すると、サブキャリア間の直交性が崩れ、キャリア間干渉が生じる。一方、時間オフセットとは複数の送信機間のフレーム同期のずれである。フレーム同期がずれた場合お互いの信号の直交性が確保できなくなり、他の送信機からの信号に対して、シンボル間干渉が生じ、その影響が他のサブキャリア信号へも影響する。この対策として、IVC と RVC の電力比を小さくすることが考えられる。

図 2 に本研究で想定する RVC および IVC のモデルを示す。本モデルに従って、RVC と同一周波数帯域を共用する適切な IVC 通信ペアを選出するため、 IVC_1 と IVC_2 の場合を比較しながら検討を行う。ここでは、前述したように、RVC と IVC のそれぞれの通信ペアの受信車に届く信号の電力を一致させるように路側機からの情報により電力制御していることを想定する。

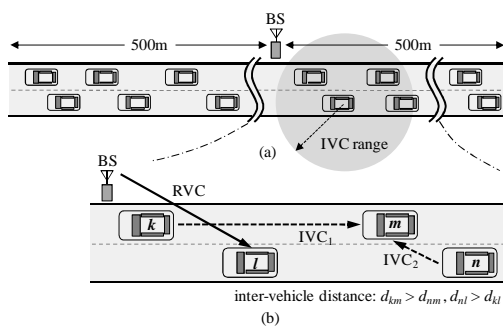


図 2 複数の RVC と IVC の混在モデル

(1) IVC_1 の車車間距離 d_{km} が IVC_2 の車車間距離 d_{nm} より長いため、 IVC_1 に必要な送信電力は IVC_2 に必要な送信電力と比べて大きい。そのため、送信電力が大きい IVC_1 は RVC への干渉の影響が大きくなる可能性がある。

(2) IVC_1 の送信車 k と RVC の受信車 l との車間距離 d_{kl} は IVC_2 の送信車 n と RVC の受信車 l

との車間距離 d_{nl} より短いため、 IVC_1 の送信車 k から RVC の受信車 l に届く IVC の干渉波電力が強くなる可能性がある。

(3) 交通安全の観点から考えると、 IVC_2 の車車間距離 d_{nm} が IVC_1 の車車間距離 d_{km} より短いため、 IVC_2 の車車間に衝突・追突事故が発生する確率が高い。

したがって、RVC の特性への影響と交通安全の両方の観点からみると、 IVC_2 の周波数共用の優先度を IVC_1 より高く設定すべきだと考える。そして、RVC と同一周波数帯域を共用する IVC の通信ペアの決定手法は上記の検討に基づき、以下のような評価式に従うように提案した。

$$i(RVC_k) = \arg \min_{i=1,2,\dots,n} \left(\frac{d_{IVC_i}}{d_{RVC_k-IVC_i}} \right) \quad (1)$$

ここでは、 d_{IVC_i} は第 i 組の IVC の通信ペア IVC_i の車車間距離を表し、 $d_{RVC_k-IVC_i}$ は RVC_k の受信車と IVC_i の送信車の車車間距離を表す。

式 (1) の計算に必要なパラメータとしては各通信ペアの車車間距離である。これは各車両に搭載している GPS や路側に設置しているセンサーにより簡単に収集できる。路側機は収集した車車間距離の情報を基に、式 (1) により最小の IVC と RVC の電力比を達成できる IVC ペアを選出することができる。そして、選出した IVC ペアの送受信車の ID や RVC が利用しているサブキャリアの情報などは路側機から全車両にブロードキャストされる。各車両は路側機のデータベースから取得した情報により、自車が IVC の送受信車として通信できるかどうか、二次ユーザとしてどのサブキャリアが利用できるかを判断することができる。

複数の RVC と IVC の通信ペアが混在する場合、適応的なサブキャリア割当てと IVC 選択を適応した周波数共用スケジューリングを以下のように提案した。

(1) 複数の RVC の通信ペアに対して、OFDMA のタイムスロットをそれぞれの RVC の通信ペア間の通信に割り当てる。

(2) OFDMA の各タイムスロットにおいて、適応的なサブキャリア割当て手法を用いて、RVC にとって通信品質の良い OFDMA サブキャリアを優先的に RVC の通信ペア間の通信に割り当てる。ここでは、全サブキャリアの数は 512 とし、RVC が利用可能なサブキャリアの数は 256 とする。

(3) 各タイムスロットにおいて、式 (1) により適応的な IVC の通信ペアを選出し、RVC が利用していない 256 サブキャリアを割り当てる。

4. 研究成果

提案した周波数共用スケジューリングの有効性を評価するために、計算機シミュレーシ

ョンを行う。ここでは主に周波数共用スケジューリングとして適応的な IVC 選択手法を用いる場合とランダムな IVC 選択手法を用いる場合の特性について評価する。シミュレーションモデルを図 2 (a) に示し、シミュレーションの諸元を表 1 に示す。なお、各通信ペアの受信車における平均 SNR (Signal to Noise Ratio) をすべて 10 [dB] となるように電力制御を行うことを想定する。また、一度でまとめて割り当てる OFDMA のタイムスロット数はモデルの全車両台数と同じく 20 とする。20 タイムスロットにおいて、全車両が路側機と一回 RVC のダウンリンク通信があり、20 組の IVC の通信ペアもランダムに生成し、提案およびランダム割当による特性への影響を調べた。また、通信ペア間における伝搬路の距離減衰は式 (2) に表したモデルで算出する。

$$L_{\text{path}}(d) = -10 \log_{10} \left(\frac{\lambda}{4\pi d_0} \right)^2 + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (2)$$

ここでは、 λ は搬送波の波長、 n は減衰係数、 d_0 は参照距離、 d は通信ペア間の距離である。本稿では減衰係数 n を 3、参照距離 d_0 を 1 [m] とする。

図 3 と図 4 はそれぞれ IVC の周波数オフセットと時間オフセットがある場合の RVC の特性を示す。ランダムな IVC 選択手法と比べ、適応的な IVC 選択手法を適用した周波数共用スケジューリングを用いることで、IVC の周波数オフセットと時間オフセットによる RVC への干渉を抑えられることが確認できる。また、図 5 は IVC の通信ペア間の車車間距離が異なる場合の平均遅延タイムスロット数を示す。提案手法を用いる場合、車車間距離が短い IVC の通信ペア間の通信に対して、通信の遅延時間が短くなることを確認できる。すなわち、衝突・追突の発生確率が高い IVC の通信ペア間の通信が優先的に周波数帯域を利用することができる。

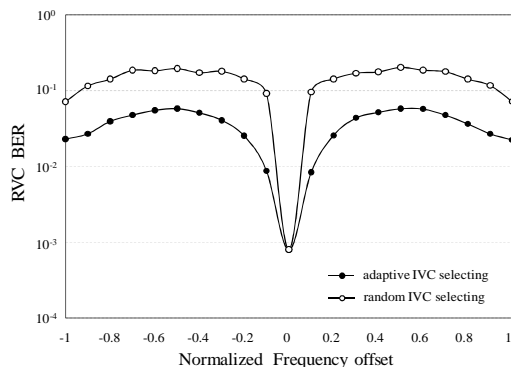


図 3 提案手法の周波数オフセットの影響

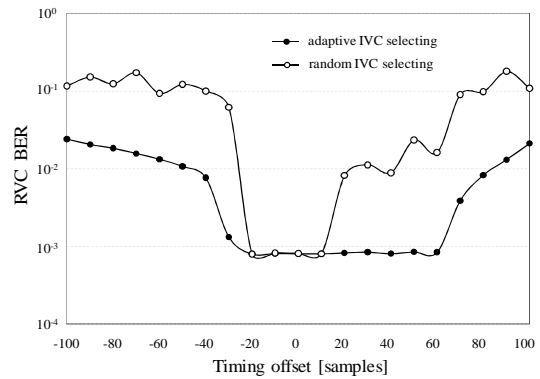


図 4 提案手法の時間オフセットの影響

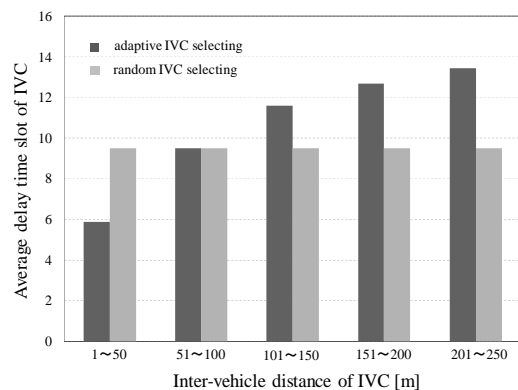


図 5 IVC の平均遅延への影響

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)

[学会発表] (計 7 件)

- ① Fengning Xu, Takeo Fujii, "Frequency Sharing Scheduling with OFDMA for Road to Vehicle and Inter-vehicle Communications," Proc. MC-SS 2011, Munich, Germany, May 4, 2011.
- ② 徐 峰寧, 藤井 威生, "相互干渉を考慮に入れた路車間通信と車車間通信混在型 OFDMA 周波数共用スケジューリングに関する検討," 信学技報 SR2010-50, 大阪府吹田市, October 28, 2010.
- ③ Hoa Tung Le, Takeo Fujii, "Information Sharing in Sparse Traffic Area by Low Level Carrier Sense for VANET," Proc. ICUFN 2010, Jeju, Korea, June 17, 2010.
- ④ Hoa Tung Le, 藤井 威生, "Information Sharing in Low-Density Traffic Area for VANET by Low Level Carrier Sense," 2010 年電子情報通信学会総合大会, A-17-10, sendai, Japan, March 16, 2010.

- ⑤ 徐 峰寧・藤井 威生, "路車間通信と車車間通信混在 OFDMA スケジューリング手法の検討," 2010年電子情報通信学会総合大会, A-17-12, 仙台市, March 16, 2010.
- ⑥ 角田 真隆, 藤井 威生, "ITS の路車間通信システムと車車間通信システムにおける OFDMA による周波数共用に関する一検討," 電子情報通信学会総合大会, A17-3, 松山市, March 17, 2009.
- ⑦ Jia Shen, Takeo Fujii, "Two-dimensional location information exchanging method based on time and frequency slot assignment in ITS system," Proc. APWCS 2008, Sendai, Japan, 22nd Aug., 2008.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤井 威生 (FUJII TAKEO)

電気通信大学・先端ワイヤレスコミュニケーション研究センター・准教授

研究者番号：10327710