

TV ホワイトスペース有効利用のためのデータベース/センシング協調型通信制御手法に関する研究

代表研究者

塚本 和也

九州工業大学大学院 情報工学研究院 准教授

1 研究調査の目的・意義

本研究は、空間的・時間的に変化する TV ホワイトスペースを効率よく利用し、通信品質を向上させる事を目的とする。先行研究では、TV ホワイトスペースの利用に際し、事前に構築したデータベースにアクセスし、利用可能な周波数情報を取得する事が条件となっているが、そのアクセス方法については言及していない。広範囲なアクセス範囲を提供可能なセルラー網を用いても、アクセス不可のエリアが存在する上、トラヒックの急増問題は残る。一方で、主に学术界を中心に以前よりセンシングによる TV ホワイトスペースの発見手法が研究されてきたが、その精度に不安が残る上、近接エリアの状況を事前に検知する事ができない。加えてセンシング中はデータ通信が行えないため、センシング時間の増加に伴う通信時間の減少が問題となる。このように各手法には利点と欠点が存在する。

現実のセルラー網では、「移動に伴う通信品質劣化」や「ユーザー数増加に伴うトラヒック急増」によって通信が不通となる。そこで本研究では、セルラー網の通信状況を考慮した上で、事前にデータベースから取得する TV ホワイトスペース情報の空間範囲を変化させる。これによって、セルラー網が不通の状況、つまりセンシングが必要な状況においても、空間的に不完全なデータベース情報を補完的に用いた上で、効率的に TV ホワイトスペースを発見/利用し、通信性能を向上させる。

本研究で提案するデータベース/センシングの協調型通信制御手法は、今後の不可避な問題である無線ネットワークトラヒックやデバイス数の急増に対する解決策としての意義が高い。本研究課題では、研究期間内において、以下の項目に関する成果を得る事が出来た。

1. セルラー通信状況に応じたデータベース情報の適応的取得手法の考案
2. データベースの利用不可時にセンシングを行うチャンネルの決定手法
3. ホワイトスペース情報に基づく適切なデータチャンネルの選択手法

2 研究の背景

ここ数年、今後の無線通信トラヒックの急増に関する予測が頻繁に公表されている。例えば、2020 年までに M2M (Machine-to-Machine) デバイス数が 500 億台まで増加すると予想されている。これらの機器に加え、スマートフォンなどのモバイルデバイスは、環境の変化 (静的) や人の移動や興味の変化 (動的) に応じて、あらゆる場所と時間で通信を行うことになると予想される。その結果、シスコの予想では、無線トラヒックは 2013 年から 2018 年までの 5 年間で 11 倍に増加すると予測している。

この急増するトラヒックを収容するために、セルラー網は WiFi によるデータオフローディングを積極的に利用しているが、すでに WiFi も輻輳しているため、前述した今後のトラヒックの急増に対応できないことは自明である。しかし、その他の周波数資源も既に他のサービスに対して割当が完了しているため、急増するトラヒックを収容するための新規周波数の割当が困難となっている。

これに対し、サービス割当が完了した周波数の内、時間、空間的に未使用な周波数帯 (ホワイトスペース) を利用する手法が議論されており、本研究ではソフトウェアで利用するホワイトスペースを決定する コグニティブ無線 [1] に着目する。この手法ではホワイトスペース発見が必要不可欠なため、周波数に依存しない「センシング手法」に関して検討されてきたが、近年「既存利用者の場所が固定、時間変化がない」という特性から TV 周波数帯のホワイトスペースの利用方法が検討されている。

この検討では世界的に データベース (DB) の利用が想定されているが、DB へのアクセス方法に関する議論は 具体的には行われていない。加えて、DB とセンシング手法は 相互補完的な特性を持っているため、効率的に連携して利用することで効率性が高まると予想される。

研究代表者はこれまでに 広範囲な周波数帯を対象とし、コグニティブ無線技術を用いた制御チャンネル、データチャンネル確立手法を考案してきた。加えて、TV 周波数帯を対象として センシングと DB、それぞれの技術

を用いたシステムを考案、実装し、実証実験を行っている。そこで、これらの経験で得られた知見を活かした上で、DB/センシング連携型通信制御手法を考案する。

3. 提案手法

3-1 セルラー通信状況に応じたデータベース情報の適応的取得手法の考案

(1) データベースとセンシングの特徴

コグニティブ無線技術を適用した車車間通信は、セカンダリユーザ(以降、SU)の通信がプライマリユーザ(以降、PU)の通信に影響を与えてはならないため、SUである車両はホワイトスペース(以降、WS)を確実に把握する必要がある。把握方法としては、以下の2つのアプローチが存在し、それぞれ長所と短所がある。

1. データベース利用

データベースにはPUの情報(基地局位置、出力電力等)が格納されており、それらの情報からSUが利用できる周波数(WS)を計算する機能を持つ。SUは何らかの手段でデータベースにアクセスし、所望の地点のWS情報を取得することで、WSを把握する。

長所: 遠方のWSを把握することができる。

短所: データベースにアクセスできない場合はWSを把握できない。

2. センシング利用

SUが周辺の周波数利用状況を判断するためのアンテナを備え、アンテナを用いて周辺のWSを把握する。

長所: WSをリアルタイムに把握できる。

短所: 遠方のWSを把握できない。

本研究ではデータベースを利用したコグニティブ無線通信に着目するため、データベース利用方法について最初に説明する。データベース利用は世界中で研究・開発が進められているため、まずデータベース利用に関する世界の動向を紹介する。その後、上記で説明したデータベースの特徴を参考にして作成した本研究で想定するデータベースの仕様について述べる。また、このデータベースはホワイトスペース情報を格納しているため、今後ホワイトスペースデータベース(WSDB)と表記する。

(2) 本研究で想定するホワイトスペースデータベース

ここでは、本研究で用いるWSDBの仕様について述べる。本研究では、世界で先駆けてWSDBの研究が行われているFCCの規則を参考に、FCC規則に従うと、車車間通信を構成する車両は移動体であるためPersonal/portable deviceにあたりと考えられる。その中でも、本研究では車両自身がWSDBを活用することを想定し、端末自身がWSDBにアクセスできるMode II (independent)の端末に分類すると考える。FCC規則におけるMode II (independent)のWSDBに対する特徴は以下のようになる。

- ・アクセス頻度: 起動時、及び24時間毎、さらに100[m]移動毎

- ・取得情報: 「利用可能なチャンネル番号のリスト」

また、本研究では、高速で移動する車両を対象とすることから、想定するWSDBは以下の要求を満たすものとする。

- ・100[m]移動毎のアクセス頻度に着目し、100mの精度でWS情報を把握できる。

- ・移動先の地点のWS情報を用いることが有効であると考えられるため、任意の位置の利用可能なチャンネル番号のリストを取得できる。

これらより、本研究では図1に示すWSDBモデルを想定する。

- ・100[m]移動毎のWS情報が必要であることから、WS情報を100[m]100[m]四方の領域に分け、各領域は緯度・経度を用いた位置情報とWS情報(WSであれば○、WSでなければ×)を保持しており、この情報の作成をすべての利用予定チャンネルで行い、これらの情報をWSDBとして用いる。

- ・WSDBはインターネット上にサーバとして配置され、接続端末からWS情報の要求があれば、WSのチャンネル情報を返答する機能を持つ。

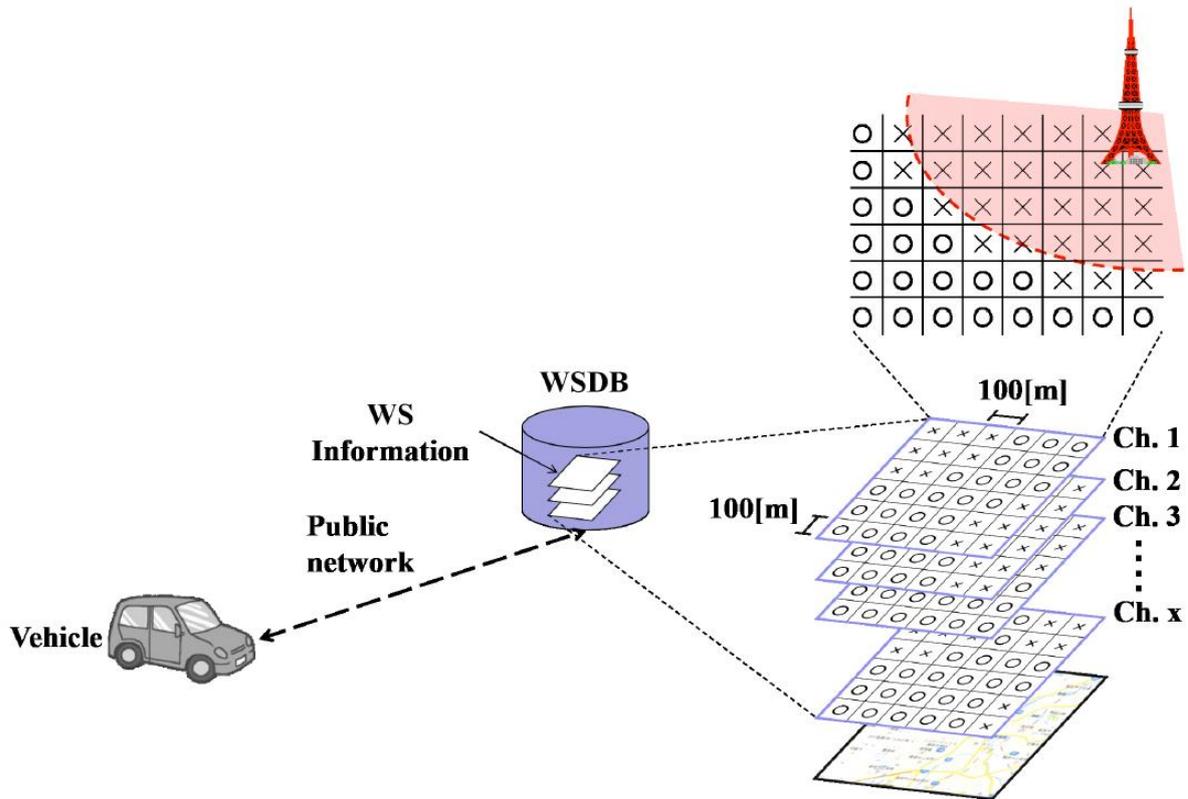


図 1. 本研究で想定する WSDB

- SU である車両は 3G や LTE 等の何らかの公衆無線アクセス網を用いて WSDB から情報を取得する。

WSDB を用いた車車間通信において、車両は公衆アクセス網を用いて WSDB にアクセスすることで TVWS を把握する。しかし、多くの車両が WSDB にアクセスするようになると、公衆アクセス網が輻輳してしまうという問題が発生する可能性がある。そのため、限定された車両のみが WSDB にアクセスし、その車両が周辺車両に WSDB から取得した情報を配布することで公衆アクセス網の負荷を軽減する手法が必要となる。

そこで本稿では、「代理 DB アクセスエリア」呼ばれる領域を定義し、代理 DB アクセスエリア内に複数台の車両が存在する場合は 1 台が代表車両となり、代表車両が WSDB にアクセスし、取得した情報を制御チャネルを用いて代理 DB アクセスエリア内の他の車両に配布する方法を提案する。

シンプルなモデルによる性能評価

代理アクセスエリアを大きくすることで、データベースにアクセスする車両数を減少させる事はできるが、代理アクセスエリア内のデータベース情報の配布の効率性を考えると、適切な代理アクセスエリアの大きさが存在するかもしれない。例えば、データベース情報の配布のために利用する制御チャネルの到達範囲によっても代理アクセスエリアの大きさは変わるかもしれない。そのため、代理アクセスエリアの大きさを様々な変化させて、代理アクセスの影響について、シンプルなモデルによる性能評価を行う。

まず車両を 15km 平方メートルの中にランダムに配置させた。その上で、我々は代理アクセスエリアの大きさを 100m、200m、250m、500m 四方の 5 種類で変化させた上で、代理アクセスを用いた場合と用いない場合の車両数と WSDB に代理アクセスする車両数の関係性について調査する。ここで、我々はデータベース情報を代理アクセスエリア内で利用可能な制御チャネルで交換出来るものと仮定した。

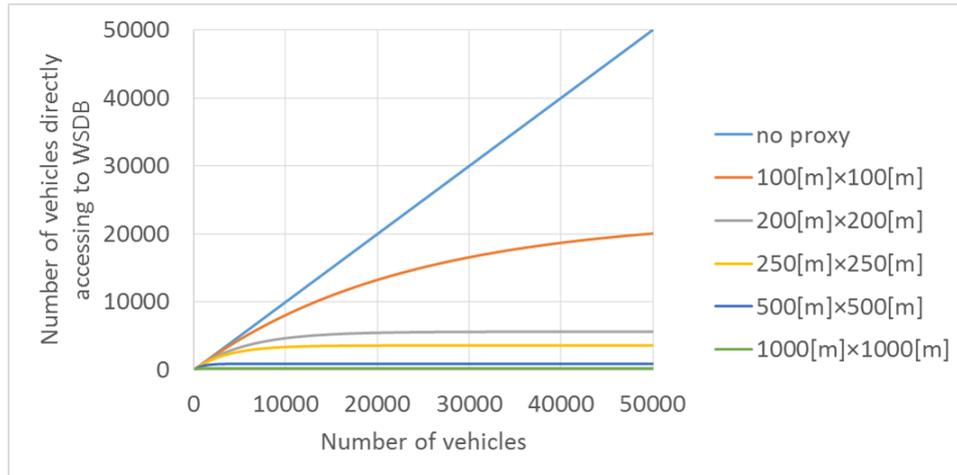


図 2. 車両数 vs. WSDB に直接接続する車両数

図 2 にシンプルな評価結果を示す。代理アクセスを用いずに直接データベースに接続する場合、全車両がデータベースから情報をすぐに取得する事ができるが、車両数に比例してデータベースにアクセスする車両数が増加する事になる。一方で、代理アクセスを用いる場合、データベースにアクセスする車両数は以下の式によって計算する事ができる。

$$N - \frac{(N-1)^n}{N^{(n-1)}}$$

n は車両数、 N はシミュレーションエリア内の代理アクセスエリア数となる。図 2 に示すように、WSDB に直接アクセスする車両数は全車両数の増加と共に増加し始めるが、その後、最終的には N に収束している。これらの結果から、我々は代理アクセス手法が効率的に WSDB に直接アクセスする車両数を減少させる事ができ、最終的には固定値となる。この結果から、WSDB にアクセスする車両数の増加を避ける事ができる代理アクセス手法は、例えば都市部のような、ある特定のエリア内に車両が密集するような場合において大変効果的に働くことが明らかとなった。

3-2 データベース利用不可時にセンシングを行うチャネル決定手法

(1) 研究背景

近年、ITS の普及に伴い、車両通信に対する要求が高まっているが、新規サービスに対する割当周波数が枯渇している。本研究では周波数利用権を有するプライマリユーザ (PU) が時間的・空間的に未使用な周波数 (White Space : WS) をセカンダリユーザ (SU) が利用するコグニティブ無線技術を車両通信に適用する。WS 把握にはホワイトスペースデータベース利用とセンシング利用があり、この 2 つには通信可能エリアと通信時間にトレードオフの関係がある。そこで、本研究では両手法を効率的に組み合わせた手法を提案し、シミュレーションにより通信性能を評価する。

(2) WS把握手法

・ホワイトスペースデータベース (WSDB)

本研究では、米国 FCC [2] (Federal Communications Commission) が定める規則に従い WSDB を用いる。WSDB の接続には 3G 等が用いられ、あらかじめ広範囲の情報が取得可能であるため、長い通信時間を確保できる。しかし、位置的に 3G が利用不可の場合、WS が把握できず通信できない。また、この情報は、地理的に 100 m * 100 m のセルに分割されて提供される [3]。

・センシング

SU 自身が一定間隔で PU 信号を検知する。3G 等の回線に依存せず通信できるが、1 インターフェースの場合にはセンシングと通信を同時に行えないため、センシング期間 (Quiet Period : QP) があり、通信時間を減少させてしまう。

(3) データベース/センシング協調手法

WSDB とセンシングを連携させることで、それぞれの利点を生かし欠点を解消し、通信時間向上を目指す。WSDB 利用時は広範囲の情報を取得できるため、図3に示す3つの状況が想定される。

- (1) WSDB 接続可 AND 移動先情報を保持
- (2) WSDB 接続不可 AND 移動先情報を保持
- (3) WSDB 接続不可 AND 移動先情報を未保持

(3) では、センシングでWSを把握するため、QPが通信時間を大きく減少させる要因となる。そこで、QP短縮のために、(1)、(2)で準備を行う。以下で、その詳細を述べる。

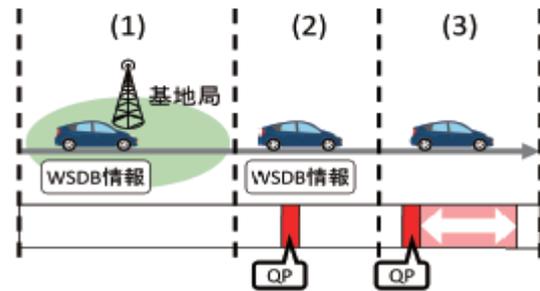


図3：DBとの接続状況

(1)、(2)では、SUは各チャンネル毎にEMA(Exponential Moving Average)を計算する*

$$EMA(t) = (1 - \alpha)EMA(t-1) + \alpha \times m(t) \quad (m(t) = 1(\text{使用不可}) \text{ or } 0(\text{使用可}); \alpha = 0.2)$$

この情報から、SUは(3)で長期間使用可能なチャンネルを推定する。

(2)ではWSDBの情報を保持している。しかしこの情報は、3-1の図1で説明したように、セル単位で提供され、センシングと比べ地理的精度が正確ではない。そこで、WSDB情報で使用不可のチャンネルに対して選択的にセンシングを行い、その結果からEMAを計算する。

(3)ではQP短縮のために、センシング対象チャンネルを限定してセンシングを行う。この時センシング対象チャンネルはEMA値を基に選択する。ここで、把握したWS数が要求されるチャンネル数を満たせなければ、要求を満たすために全チャンネルに対してセンシングを行う。しかし、このセンシングは大きく通信時間を減少させる要因となる。

(4) シミュレーション評価

シミュレーションモデル

提案手法の有効性に関して、PU環境及びセンシング対象チャンネル数(T)、要求チャンネル数(M)を変化させ評価を行う。この時 T の最適値は M に依存しており、その比 T/M は1~4の任意の値とする。また、本研究では、 M は1、10、20の3通りとする。各車両はセンシングを1秒間隔で行い、14000mの直線上を同方向に60km/hで縦列走行する。WSDBの接続確率は基地局からの距離に依存し、今回のシミュレーションでは、図4のように変化する。また、PU環境による通信性能の違いを評価するために、PUカバーエリアが疎(10%)・密(80%)の2つの環境を想定する。評価指標には実通信時間を理想通信時間2で割った通信時間割合を用いる(式(1))。

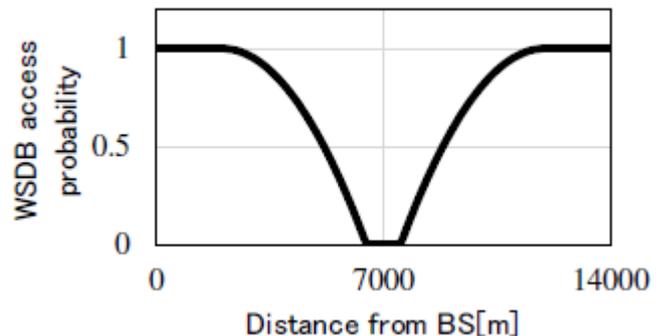


図4：WSDBの接続状況

$$\text{通信時間割合} = (\text{実通信時間}) / (\text{理想通信時間}) \quad (1)$$

結果・考察

図5では、 $T/M = 1$ の時に通信時間割合が最大となる。この時、全チャンネルセンシングは最小限に抑えられ、理想の約100%の通信時間を確保できている。また、以降は T/M の増加に伴いQPが増加するため、通信時間割合は減少していく。

図6では、 $T/M = 1$ の時に、選択的にセンシングでWSを M 個把握できず、全チャンネルセンシングが頻発したため、通信時間割合が減少している。一方、 $M = 1; 10; 20$ において $T/M = 2; 1.5; 1.25$ の時に

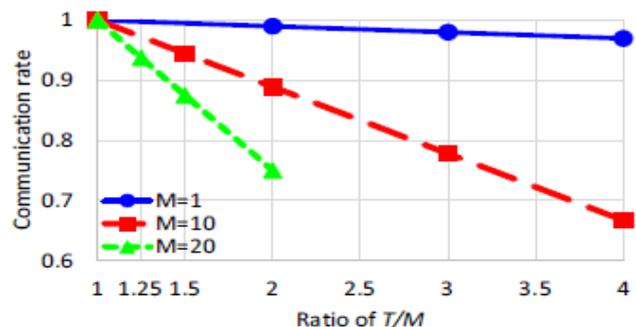


図5：通信効率 (PU疎)

は、事前に M よりも大きい T を設定することにより、全チャネルセンシングを抑制したため、通信時間割合は最大となる。この時の通信時間割合は理想的な場合の 90% 以上を確保できている。以降は図 5 と同様に減少していく。

以上のことから、PU 環境や M に応じた最適な T/M の比が存在すると言える。

(5) まとめ

本研究では、WSDB 利用時にセンシング利用に向けた準備を行うことで、QP を短縮し通信時間を向上する手法を提案した。また、提案した手法のパラメータに関して調査を行い、環境に応じた最適なパラメータ値があることを明らかにした

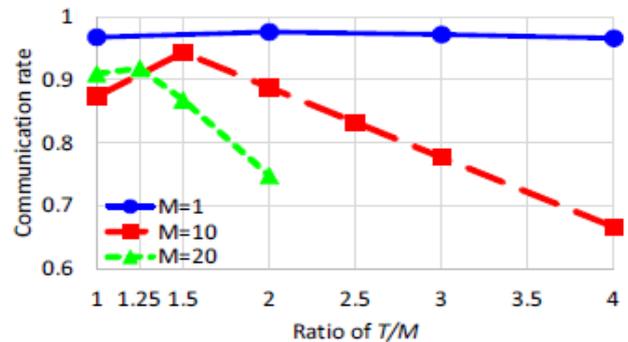


図 6：通信効率 (PU 密)

3-3 把握したホワイトスペース情報に基づくデータチャネル決定手法

(1) 研究背景

高度道路交通システム (ITS: Intelligent Transport Systems) [4] では、ETC (Electronic Toll Collection System: 電子料金収受システム) や VICS (Vehicle Information and Communication System: 道路交通情報通信システム) に代表される路車間通信のサービスが普及している。しかし、路車間通信は道路上のインフラと車両との間の通信であり、通信できる場所や配信される情報が限定される。そのため、インフラ設備が不要かつ低コストで広域なネットワークを構築できる車車間通信への要求が高まっている。車車間通信が利用される用途として、様々なアプリケーションが検討されており、事故防止や衝突回避といった安全運転支援アプリケーションだけでなく大容量の動画や音楽、ゲームといったエンターテインメント関連の情報 (infotainment) を転送するアプリケーションも検討されている [5]。車両には大容量のストレージや高性能な演算装置が搭載されているため、Infotainment 等の大容量通信サービスとの親和性は高く、自動運転への期待の高まりとともにこのようなアプリケーション通信の需要も増加すると予想される。

一方、無線通信の提供に必要不可欠である無線周波数は有限な資源であり、現在、既にほとんどの無線周波数が何らかのサービスに割り当てられており、新規に割当可能な無線周波数の枯渇が問題となっている。そのため、今後大容量な通信サービスが予測される車車間通信にとって、既に割り当てられている周波数だけでは信頼性のある通信を実現できない [6]。

しかし、現在様々なサービスに割り当てられている周波数帯は、ある“時刻”や“場所”の視点で見た場合には必ずしも 100% 利用されているわけではなく、当該周波数帯を利用するサービス用途によってその利用率が極めて低い地点が存在することが分かっている [7]。このように時間的、空間的に利用されていない周波数帯はホワイトスペース (WS: White Space) と呼ばれ、その活用が注目されている。特に近年、遠方まで伝達できる TV 周波数帯の WS (TVWS) を活用するための検討が世界各国で行われており、米国では、FCC (Federal Communications Commission: 連邦通信委員会) が TVWS を活用するための規則 [2] を作成し、既に利用が開始されている。

このような背景から、近年、この TVWS を利用するための技術として Dynamic Spectrum Access (DSA) 技術が注目されている。DSA 技術はコグニティブ無線技術としても知られており [1]、周波数を動的に切り替えながら継続した通信を行うための技術であり、その実現には、当該周波数利用の優先権をもつユーザ (PU: Primary User) の通信に干渉を与えないことが必須条件となる。そのため、当該周波数利用の優先権をもたないユーザ (SU: Secondary User) は自律的に利用可能な周波数を把握し、その中から適切な周波数を選択して通信を行う必要がある。本研究では、このコグニティブ無線技術を車車間通信に適用させることにより、車車間通信の大容量通信サービスの実現に向けた検討を行う。

コグニティブ無線技術を用いた車車間通信では、(1) PU の通信状況が時間的・空間的に変化する、(2) 車両の移動に伴いネットワークトポロジが変化する、という特徴を持つため、安定したデータ通信を行うためには適切なデータチャネルを選択する必要がある。先行研究 [8] や既存研究 [9] [10] では (1) のためにセンシングを行っていた。このセンシングには WS の情報をリアルタイムに把握できるという長所があるが、遠方の WS は把握できないことや利用予定の全チャネルをセンシングするハードウェア能力が必要になるという

短所がある。そこで、現在、センシングに代わるものとして PU の通信状況を格納したホワイトスペースデータベース (WSDB) の利用が注目されている [2]。WSDB は既に複数の国により実用化に向けた取り組みが成されているため、本研究では (1) のために WSDB の利用を想定する。この WSDB を用いることで、遠方の WS を把握することができるという長所がある一方で、WSDB にアクセスできない場所では WS を把握することができないという短所がある。

そこで本研究では、WSDB の長所を活かしてデータチャネルの選択を行う。(2) に関しては、前提として先行研究 [11] で考案された制御情報を交換するためのチャネル (制御チャネル) を用いて、車両の位置や速度情報が常に交換できる環境を想定する。また、現在、ほとんどの車両に搭載されているカーナビゲーションから車両の走行経路が取得できることも前提とする。つまり、(1) のために WSDB を用いることで、時間的・空間的に変化する PU の通信状況を把握でき、(2) のために専用チャネルによる情報交換とカーナビゲーションからの経路情報を用いることで、未来の車両位置を把握できる環境を構築し、この環境の中でデータ通信に適したデータチャネルを選択する手法を提案することを目的とする。また、実際の環境を想定した上で、提案した手法を評価するため車両速度、データサイズを変更した環境によるシミュレーション評価を行い、手法の有効性を検証する。

(2) コグニティブ無線技術を適用した車車間通信

この実現には (1) 周辺環境の把握と (2) アプリケーション通信の実現が必要不可欠となる。その中でも特に、コグニティブ無線技術を車車間通信に適用する場合、PU の通信状況が時間的・空間的に変化し、車両の移動に伴いネットワークトポロジが変化するため、安定したデータ通信を行うためには適切なデータチャネルを選択する必要がある。そこで、本研究は、(1) のために WSDB を利用し、(2) のための車車間通信に適したデータチャネルを選択する手法を提案する。

前提項目

- 各車両は WSDB にアクセス済みであり、少なくとも車両の現在位置から 1[km] 程度先の地点の WS 情報を取得している。
- アプリケーション通信を行うために必要な制御情報を交換するための制御チャネルは常時確立しており、チャネルの到達範囲内の車両とは常に制御情報が交換できる。また、制御情報として、車両は以下の情報を定期的に周辺車両に配信している。
 - 時刻情報
 - 位置情報
 - 速度情報
 - データ通信の開始要求
 - TCAI の情報 (後述)
 - データチャネル決定通知
- 利用チャネル数は TV 周波数帯の 40 チャネル (470~710[MHz]) を想定し、比較的狭い周波数帯域であるため、チャネルのデータレート、到達距離は全チャネルで同一である。
- アプリケーションについては、1 つのアプリケーション通信を行う 2 台の車両をスワームと呼び、スワーム内の車両を、データを送信する車両 (送信車両) とデータを受信する車両 (受信車両) とに分け、送信車両から受信車両に向けてサイズが事前に把握できているファイルを転送するというアプリケーションを想定する。

(3) データチャネル選択方針

本研究で提案するデータチャネル選択手法は以下の 3 つのステップから構成される。

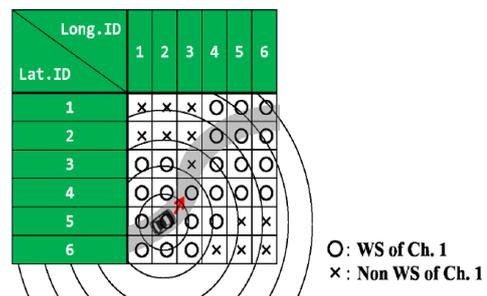
1. TCAI の作成
2. TCAI の集約
3. チャネルの選択

車車間通信は車両同士が直接通信を行うため、車車間通信によるアプリケーション通信が行われる領域は通信する車両の走行する経路上のみである。そのため、データチャネルを選択する際に必要となる WS 情報

はすべての領域ではなく、車両走行経路上の領域のみであると言える。そこで、車両の走行経路上の WS 情報を抽出することができれば、車車間通信に必要な領域のみのチャンネル情報を把握できるため、そこから車車間通信に適したデータチャンネルを選択することができると考えられる。そこで本研究では、現在、多くの車両がカーナビゲーションシステムを搭載し、目的地までの走行経路を設定できる環境が実現できている点に着目し、車両の走行経路が既知であり、データチャンネルを選択する際に車両の走行経路を利用できる環境を想定する。そうすることで、ホワイトスペース情報に加えて車両の走行経路を用いたデータチャンネルの選択が可能となる。本研究では、この 2 つの情報を基に、走行経路上の WS 情報を抽出し、この情報を TCAI (Trajectory Channel Availability Information) と呼ぶ。

TCAI はアプリケーション通信の要求が発生した際に作成を開始する。まず、その地点の自車両の位置から 100[m] 毎に仮想的に経路を分割する。そして、分割された経路上に重複するセル ID に関するすべてのチャンネルの WS 情報を抜き出す。分割された経路上に複数のセルが存在する場合は、それらセルの論理積をとり(つまり、分割された経路上における WSDB のセルがすべて WS である場合のみ SU 通信 (車車間通信) に利用可能な領域と判断する)、これを目的地、あるいはその時点で車両が把握している WS 情報の領域の範囲内で繰り返す。

図 7 は TCAI を作成する時の様子である。まず、自車両の位置と半径 100[m] の円内において、経路上に重複するセルを抜き出す。この例では、(4, 2)、(4, 3)、(5, 2)、(5, 3) の 4 つのセルとなる。例えばチャンネル 1 において、これら 4 セルはすべて WS(SU が利用可能なセル) であるため、自車両の位置から半径 100[m] の間におけるチャンネル 1 の SU 利用は可能と判断する。次に、自車両の位置から半径 100[m] と 200[m] の間にある経路上のセルは (3, 3)、(4, 2)、(4, 3)、(5, 3) の 4 つのセルである。これら 4 セルの内、セル (3, 3) は利用不可能なセルであるため、論理積の結果、自車両の位置から半径 100[m] と 200[m] の間におけるチャンネル 1 の SU 利用は不可能と判断する。この手順を車両が把握している領域の端まで繰り返し行うことで、チャンネル 1 における車両の走行経路上の WS 情報を抽出することができる。更に上記の手順を TV 周波数帯の全チャンネルで行い、結果として図 7 の下部にあるような走行経路上の WS 情報の一覧が完成する。



Channel	Distance[m] (Lat, Long)	0~100 (4, 2), (4, 3), (5, 2), (5, 3)	100~200 (3, 3), (4, 2), (4, 3), (5, 3)	200~300 (2, 3), (3, 3), (3, 4), (4, 3)	...
	1		O	X	X
2		O	O	X	...
...	

図 7 : TCAI の作成方法

TCAI は車両固有のものであるため、アプリケーション通信を行うためには通信相手の TCAI も取得しなければ送信車両と受信車両の両車両にとって適切なデータチャンネルを選択することはできない。そこで本研究では、アプリケーション通信の受信車両が送信車両に自車両の TCAI を送信することで、送信車両に TCAI を集約させ、データチャンネルを選択する手法を提案する。集約する車両に送信車両を選んだのは、アプリケーション通信に用いるデータは送信車両が保持しているため、データチャンネルを選択する際にデータサイズを考慮できるためである。このように TCAI を一台の車両に集約することで、送信車両と受信車両の走行経路が異なる場合にも、送信車両と受信車両の走行経路を考慮したデータチャンネル選択が可能となる。また、送信車両は通信開始後も集約した TCAI を別々に保持し続け、それぞれの TCAI を参照しながらチャンネルを切り替える。

(3) データチャンネルの選択方法

ここでは TCAI からデータチャンネルを選択する方法について記述する。まず、SU 通信は PU 通信に干渉を与えてはならないため、車両がアプリケーション通信中に PU 通信エリアに侵入する場合にはデータチャンネルを切り替えなければならない。つまり、データチャンネルの選択には、車両がチャンネルの利用を継続できる距離 (PU 通信エリアに侵入するまでの距離) が重要となる。そこで、本研究では TCAI から各チャンネルにおいて車両が通信を継続できる距離を ATD (Available Travel Distance) と定義し、ATD を用いてチャンネルを

選択する方法を用いる。本研究では、3つのチャンネル選択手法を提案した。

- LATDF (Longest Available Travel Distance First) : ATDが最も長いチャンネルを選択。
- CU-EF (Channel Utilization Efficiency First) : 車両速度と送信データサイズからデータ通信完了までの移動距離TDC (Travel Distance During Communication duration) を予測し、 $TDC > ATD$ を満たすチャンネルの内、最もTDCが小さいチャンネルを選択
- CU-CF (Channel Utilization Continuity First) : $TDC > ATD$ を満たすチャンネルからランダムに選択。

(4) シミュレーション結果及び考察

図8にシミュレーションモデルを示す。2台の車両で構成されるスワームが5ペア並走する環境を想定する。これをPU環境が異なる20本の道路で走行させ、統計結果を評価する。各スワームは、表1に示す車両速度、データサイズが異なる4つのシナリオでTCPを用いたV2V通信を行い、性能を比較する。シミュレーション結果を図9、10に示す。LATDFは競合率が高く、CU-EFは切替回数が増加しているが、CU-CFはランダム選択により競合率が減少する上、 $TDC > ATD$ のチャンネルを用いるため切替回数も減少している。以上より、CU-CFがV2V通信に適したD-ch選択手法といえる。

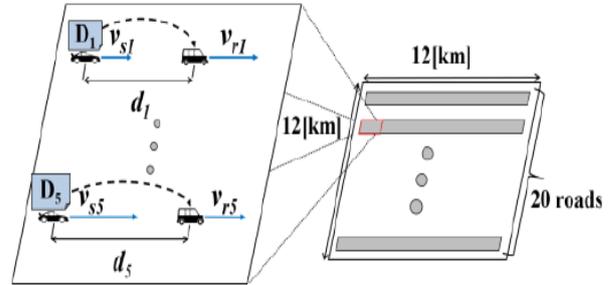


図8：シミュレーションモデル
表1：シミュレーションシナリオ

シナリオ	1	2	3	4
車両速度 [km/h]	30 - 100		60	
データサイズ [MB]	1 - 50	25	1 - 50	25

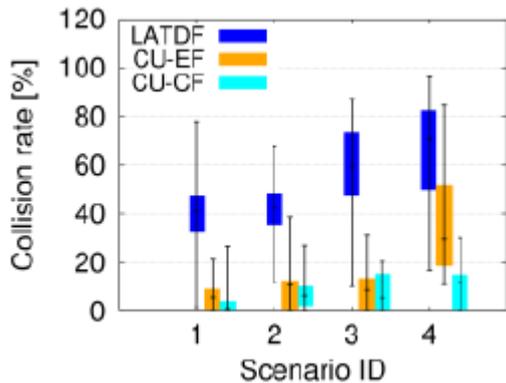


図9：チャンネル競合率

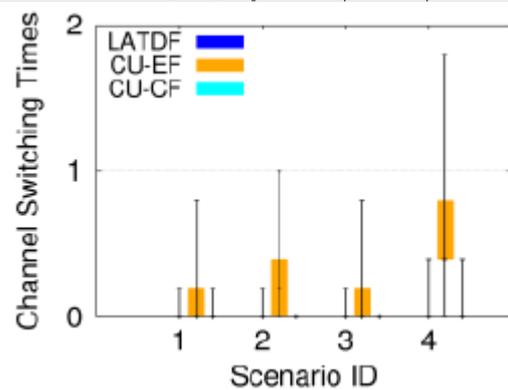


図10：チャンネル切替回数

(5) まとめ

本研究では、WSデータベースを利用したD-ch選択として、車両とデータ通信の特性を利用した上で、ランダム選択を行う手法を提案し、その有効性をシミュレーション評価により明らかにした。

【参考文献】

[1] Mitola J III "Cognitive radio for exible mobile multimedia communications," Proc of IEEE International Workshop on MoMuC 1:310, 1999.
 [2] "THIRD MEMORANDUM OPINION AND ORDER," FCC 02-380, April, 2012.
 [3] H. Nakao, K. Tsukamoto, M. Tsuru, Y. Oie, "A Database Driven Data Channel Selection Scheme for V2V Communication over TV White Space," Proc. 2015 SOFTNET workshop in conjunction with the 7th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS 2015), 5 pages, Paris, France, Jul., 2015.
 [4] 道路:高度道路交通システム(ITSIntelligent Transport Systems) - 国土交通省
<http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/>

- [5] Kashif Dar, Mohamed Bakhouya, Jaafar Gaber, Maxime Wack and Pascal Lorenz, "Wireless Communication Technologies for ITS Applications," IEEE Communications Magazine 48: 5. 156-162, 2010.
- [6] Lei Shi and Ki Won Sung, "Spectrum Requirement for Vehicle-to-Vehicle Communication for Traffic Safety," in IEEE Vehicular Technology Conference 2014 Spring, Seoul, S. Korea, May 2014.
- [7] Akyildiz, I.F., Lee, W.Y., Vuran, M.C. and Mohanty, S., "Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: survey," Computer Networks, vol 50, no. 13, Sep. 2006, pp.2127-2159.
- [8] K. Tsukamoto, Y. Omori, O. Altintas, M. Tsuru and Y. Oie, "On spatially-aware channel selection in dynamic spectrum access multi-hop inetr-vehicle communications," Proc. IEEE Vehicular Technology Conf. 2009-Fall (IEEE VTC 2009-Fall), Anchorage, AK, USA, Sept.2009.
- [9] Tevk Yucek and Huseyin Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications," IEEE Comm. Surv. and Tut., vol. 11, no. 1, pp. 116-13, Jan. 2008.
- [10] Matthias Wellens, Alexandre de Baynast, and Petri Mahonen, "Performance of dynamic spectrum access based on spectrum occupancy statistics," Communications, IET, 2(6):772-782, Jul. 2008.
- [11] 鶴 翔史, "Cognitive VANET のための 2 階層共通制御チャネル選択手法の有効性評価", 平成 26 年度 修士論文, 2015 年(九州工業大学)

〈 発 表 資 料 〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
A Database Driven Data Channel Selection Scheme for V2V Communication over TV White Space	Proc. 2015 SOFTNET workshop in conjunction with the 7th IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security (NTMS 2015), 5 pages	2015 年 7 月
Design and Experimental Evaluation of a Database-Assisted V2V Communications System over TV White Space	Springer Journal of Signal Processing Systems, Volume 83, Issue 1, pp 45-55,	2015 年 8 月
WSDB・センシング相互連携によるホワイトスペース有効利用手法	電子情報通信学会九州支部学生会講演会	2015 年 9 月
Hybrid Sensing/Database Approach to Detect White Spaces for Vehicular Communication	IEICE General Conference, BS-3-43	2016 年 3 月
A Database-Assisted Collision Aware Data Channel Selection for V2V Communication: Practical Evaluation	IEICE General Conference, BS-3-42	2016 年 3 月