

車車間通信のためのホワイトスペースデータベース連携型 データチャネル選択手法

中尾 仁^{1,a)} 塚本 和也^{1,b)}

概要：近年，車車間通信 (VANET: Vehicle Ad-hoc Network) を活用した通信サービスへの要求が高まっているが，新規通信サービスに割り当てる周波数の枯渇が問題となっている．そこで本研究では，TV 周波数帯の一次利用者 (PU: Primary User) が時間・空間的に未使用の周波数 (TVWS: TV White Space) を，二次利用者 (SU: Secondary User) が検知し利用する Cognitive 無線技術を VANET に適用する (以降，Cognitive VANET と呼ぶ)．Cognitive VANET で安定したデータ通信を行うためにはデータチャネルを適切に選択する必要がある．そのために必須となる PU 通信状況の把握のために，ホワイトスペースデータベースを用いる方法が考案されている．そこで本研究では，ホワイトスペースデータベースを用いてデータチャネルを選択する手法を提案する．その後，シミュレーション評価を行い，提案手法の有効性を示した．

キーワード：コグニティブ無線，車車間通信，ホワイトスペースデータベース，データチャネル

Data Channel Selection Scheme in Cooperation with WSDB for CognitiveVANET

HITOSHI NAKAO^{1,a)} KAZUYA TSUKAMOTO^{1,b)}

Abstract: In recent years, although a demand for communication services utilizing the VANET (Vehicle Ad-hoc Network) is increasing drastically, frequencies that can be assigned to the new communication service are insufficient. In this research, we apply the cognitive radio to technology in VANET, which is referred to as the cognitive VANET. In order to provide stable data communication in cognitive VANET it is necessary to select the appropriate data channel. Also, in terms of the acquisition of the status of PU communication, a way of using the white space database is actively discussed. In this research, we propose a method to select a data channel exploiting the white space database. Then, we conducted a simulation evaluation and showed the effectiveness of the proposed method.

Keywords: Cognitive radio, Vehicle-to-vehicle communication, White space database, Data channel selection

1. はじめに

近年，ITS (Intelligent Transport Systems) のような路車間・車車間通信に基づくサービスが注目されている．路車間通信に基づく ETC (Electronic Toll Collection) や VICS (Vehicle Information Communication System) が既

に普及しているが，車車間通信 (VANET) に基づくサービスも検討や開発が始まっている．今後，この ITS の利用者増加に伴い，そのサービスに割り当てられた周波数帯だけでは要求品質を満足できなくなると予想され，その問題を解決する技術として我々は Cognitive 無線技術の利用を検討している [1]．Cognitive 無線通信は周波数を割り当てられている一次利用者 (PU: Primary User) が時間・空間的に利用していない周波数 (WS: White Space) が存在することを利用し，PU 以外の二次利用者 (SU: Secondary

¹ 九州工業大学大学院 情報工学府

^{a)} nakao@infonet.cse.kyutech.ac.jp

^{b)} tsukamoto@cse.kyutech.ac.jp

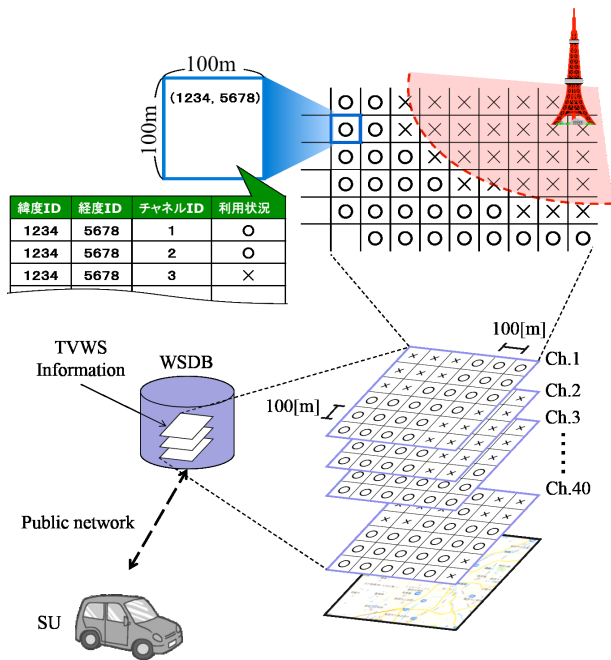


図 1 本研究で想定する WSDB の内部構造とアクセス方法

User) が PU の通信に影響を与えない範囲で WS を利用する通信手法で、これを VANET に適用したものを本研究では Cognitive VANET と呼ぶ。Cognitive 無線通信で利用する周波数帯としては、特に、広範囲で高速に伝送できる TV 周波数帯の WS(TVWS) を活用する検討が先行して進められており、米国では FCC(Federal Communications Commission: 連邦通信委員会) が既に規則を制定し [2], 利用が開始されている。また、既存研究 [3] では SU が WS を取得するためにセンシングを用いていたが、現在、WS の情報を格納したデータベース (WSDB: WS DataBase) の利用が検討されており、様々な実証実験を通じて検証が行われている [4]。そこで本研究では、WSDB を用いた Cognitive VANET に着目し、特に安定したデータ通信のために必須であるデータチャンネルの選択手法を提案することを目的とする。また、現在 ITS におけるアプリケーションが様々な考案されているため [5], データチャンネルの選択手法の有効性を検証するためにいくつかのデータ通信環境を用意し、シミュレーションにより評価を行う。

2. 想定環境

2.1 WSDB モデル

TVWS を利用する Cognitive VANET は、SU 通信が TV 周波数帯の PU 通信に影響を与えてはならないため、TVWS を確実に把握する必要がある。その把握方法の一つとして WSDB を用いる方法があり、WSDB を用いると遠方の TVWS を把握することができるという利点があるため、近年注目を集めている。しかし、現在考案されている WSDB は公衆無線ネットワークを用いてアクセスすることにより

TVWS を把握するため、公衆無線ネットワークにアクセスできない環境では TVWS を把握できないという欠点も存在する。本研究では、この WSDB と連携したデータチャンネル選択を行う手法を提案するため、本節で WSDB モデルについて記述する。

現在、世界各国で WSDB を利用した TVWS 利活用が検討されているが、中でも世界に先駆け TVWS を活用した通信サービスの運用が開始されている米国に着目し、本研究で想定する WSDB は FCC 規則を参考にする。FCC 規則における WSDB を用いた SU 通信の条件をまとめると、各車両 (SU) は自車両の位置情報を常に把握した上で、(1) 起動時、(2) 24 時間毎、(3) 100[m] 移動毎に WSDB にアクセスし、現在地における TVWS を把握しなければならない。しかし、高速で移動する車両にとっては、移動に伴い、100[m] 間隔でその場の TVWS を把握する必要があるため、最低限 100[m] 毎の TVWS を把握できればよいと考えられる。そこで、本研究では図 1 に示す WSDB を想定する。

- 位置座標平面 (経度-緯度平面) を 1 辺 100[m] 四方のセルに分割する。このセルは、経度方向の ID と緯度方向の ID で識別することができる。
- 各セル内に存在する PU 保護 (通信) エリアを計算し、TVWS 情報を格納する。

つまり、WSDB に格納されている各レコードは、図 1 の左上に示すように緯度方向の ID、経度方向の ID、チャンネル ID、TVWS 情報 (チャンネル利用状況) の属性を持つ。また、この WSDB を用いる車両 (SU) は図 1 の左下に示すように、公衆無線ネットワークを利用して WSDB にアクセスすることで TVWS 情報を取得する。

2.2 前提条件

本研究では、各車両は WSDB にアクセス済みで、少なくとも車両の現在位置から 1[km] 程度先の地点の TVWS を把握しているものとする。また、データ通信に必要な制御情報を交換するためのチャンネル (制御チャンネル) は常時確立していることも前提とする。利用周波数帯としては TV 周波数帯を想定するため、チャンネルのデータレート、到達距離は全チャンネルで同一とする。

3. データチャンネル選択手法

本章では、本研究で提案する WSDB を用いた Cognitive VANET における通信に適したデータチャンネルの選択手法について説明する。

3.1 方針

車車間通信が行われる領域は通信する車両の走行経路上であるため、データチャンネルを選択する際に必要となるのはエリア内の全地点の TVWS ではなく、車両の走行経路上の領域のみである。つまり、車両の走行経路上の TVWS

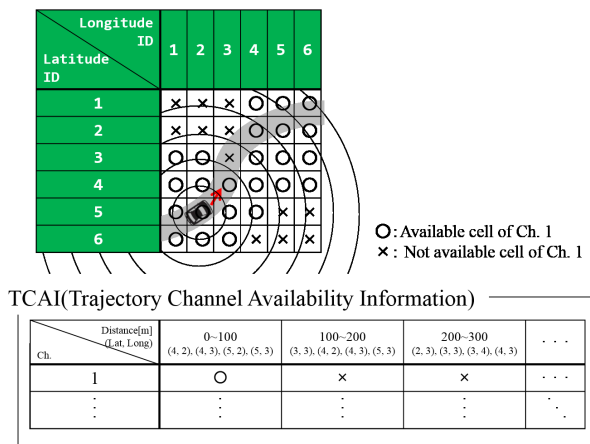


図 2 走行 DB 情報の作成方法

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取得できるため、このチャンネル情報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、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、通信を行う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、TVWS 情報に加えて車両の走行経路を用いてデータチャンネルの選択を行う。本研究では、この 2 つの情報を基に、走行経路上の TVWS をまとめた情報を作成し、「走行 DB 情報」と呼ぶ。走行 DB 情報の作成方法については 3.2 節で詳述する。

前述した走行 DB 情報は自車両の走行経路上の TVWS をまとめたものであり、通信する相手車両のことはまだ考慮していない。しかし、データチャンネルを選択するためには相手車両も考慮しなければならないため、相手車両の走行 DB 情報も知る必要がある。そこで本研究では、SU 通信においてデータを受信する車両 (受信車両) がデータを送信する車両 (送信車両) に自車両の走行 DB 情報を送信することにより、1 台の車両に走行 DB 情報を集める方法を用いる。この方法の利点については 3.3 節で詳述する。

最後のステップとして、送信車両は自車両と受信車両の位置情報と走行 DB 情報を基に、それぞれの手法に応じてデータ通信に適していると考えられるチャンネルを選択する。その後、選択したチャンネルの情報は、制御チャンネルを用いて受信車両に伝え、共有する。チャンネルを選択する方法については、通信環境やアプリケーションの要求によって様々な選択手法があると考えられるため、本研究では 3.4 節にてデータチャンネルの選択手法をいくつか提案する。

3.2 走行 DB 情報の作成方法

走行 DB 情報はデータ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

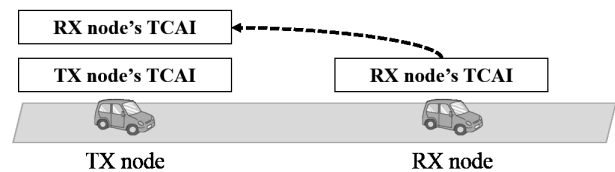


図 3 走行 DB 情報の集約方法

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 に関する全てのチャンネルの TVWS 情報を抜き出す。もし複数のセルが存在する場合、それらの論理積をとり (つまり、分割された経路上における WSDB のセルがすべて TVWS である場合のみ SU 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 TVWS 情報の領域の範囲内で繰り返す。

図 2 は走行 DB 情報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 TVWS (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 TVWS 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 2 の下部にあるような走行経路上の TVWS 一覧が完成し、本研究ではこれを走行 DB 情報として用いる。

3.3 走行 DB 情報の集約

3.2 節で作成した走行 DB 情報は車両固有のものであるため、データ通信を行うためには通信相手の走行 DB 情報も取得しなければ通信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。そこで本研究では図 3 に示すように、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走行 DB 情報を送信することで、送信車両に走行 DB 情報を集約させ、データチャンネルを選択する手法を提案する。こうすることで、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走行 DB 情報を別々に保持し続け、それぞれの走行 DB 情報を参照しながらデータチャンネルの切替を行う。これにより、送信車両と受信車両の速度が時間変化するに伴い、位置関係が徐々に変化し、別々の

タイミングで WSDB セルをまたぐような状況となっても、送信車両は適切なタイミングでチャネル切替を実行することができる。

3.4 チャネルの選択

本節では、本研究で提案するチャネルの選択方法について記述する。データ通信中にチャネルを切り替えると、データ通信の中断が発生するため、チャネルの切り替えは可能な限り行わないことが望ましい。しかし一方で、SU 通信は PU 通信に干渉を与えてはならないため、車両がデータ通信中に PU 通信エリアに侵入する場合にはデータチャネルを切り替えなければならない。これらのことからデータチャネルは、データ通信中に PU 通信エリアに侵入する可能性が最も低いチャネルが良いと考えられる。そこで、本研究では走行 DB 情報から各チャネルにおいて車両が通信を継続できる距離（以降、「継続距離」と定義する）を算出し、この継続距離を用いてチャネルを選択する手法を二つ提案する。

- 手法 LATDF(Longest Available Travel Distance First): 継続距離が最も長いチャネルをデータチャネルとして選択する手法

手法 LATDF を用いると、チャネルの切替回数を最も少なくできると考えられる。しかし、高速道路や幹線道路のような大きな道路に多くの車両が存在する状況を想定する場合、近隣で複数のデータ通信が発生する。この場合、車両同士の TVWS は類似するため、手法 LATDF では複数のデータ通信が同じチャネルを選択する可能性が非常に高くなると予想される。その結果、一つのチャネル上で複数のデータ通信が競合することになり通信性能が劣化してしまう。しかしこの問題は、チャネルをデータ通信の特性を考慮することなく選択していることが原因であるため、特性を考慮してチャネルを選択すれば、選択チャネルが分散すると考えられる。この場合、チャネルの競合は発生せず、通信性能は劣化しないと予測される。そこで本研究ではデータ通信の特性として、(1) 車両速度と (2) 送信データサイズに着目した。これは車両速度に関しては、車両は任意の速度で走行することが可能で、実際の道路環境では一つの道路においても車線によって速度が異なる車両が走行しており、更に交差点のような車両同士が交わる場所においては一方は走行状態で、もう一方は停止状態といった、速度が異なる車両群が近隣エリアに存在する状態が起こりうる。一方で、送信データサイズに関しては、車間通信では、センサーデータの転送や、マルチメディアの配信といった様々な用途での活用が想定されており、データ通信の種類によってデータサイズが異なることは十分に考えられる。そこで、チャネル競合の発生を防ぐため、この車両速度と送信データサイズを用いて、データ通信要求を満足するチャネルを選択する手法として CUEF を提案する。

- 手法 CUEF(Channel Utilization Efficiency First): (1) 車両速度と (2) 送信データサイズからデータ通信が完了できる距離（通信距離）を予測し、通信距離以上の継続距離を持つチャネルのうち、通信距離に最も近いチャネルを選択する手法

具体的な計算方法について記述する。送信データサイズを D とし、送信レートを R とすると、予測通信時間 T を $D/(R \times 0.35)^{*1}$ と計算する。そして、送信車両の車両速度を v_s 、受信車両の車両速度を v_r とすると、送信車両の予測通信距離 L_s は $T \times v_s$ 、受信車両の予測通信距離 L_r は $T \times v_r$ となる。最後に、以下のアルゴリズムを用いてデータチャネルを選択する。

```
X = ∅
for i in ChannelNumber
  if  $L_s \geq A_i$  and  $L_r \geq A_i$  then
     $X \leftarrow \{X, A_i\}$ 
  endif
endfor
DataChannel  $\leftarrow i$  of  $\min(X)$ 
```

尚、データチャネルを選択する際に $X = \emptyset$ であれば、予測通信距離である L_s , L_r を半分の値に削減して、再度上記アルゴリズムを実行し、 $X \neq \emptyset$ になるまで繰り返し実行する。手法 CUEF を用いると、各データ通信の特性に応じてチャネルを選択できるため、複数のデータ通信が近隣で発生する場合でもチャネルが分散し、チャネル競合の発生を抑制できると考えられる。

シミュレーションを用いて提案手法の有効性を他の手法との比較により検証するため、比較手法として以下の手法を用いる。

- 手法 RS(Random Selection): SU 通信が利用できるチャネルの中からランダムにチャネルを選択する手法

4. データチャネル選択手法の評価

本研究で提案する手法の有効性を検証するために行ったシミュレーション評価について記述する。尚、本研究ではネットワークシミュレータである Scenargie[6] を使用する。

4.1 シミュレーションモデル

本シミュレーションに用いる WSDB は 2.1 章で記述したモデルを用いる。車間通信モデルにおいては、まず、制御チャネルは確立していることを前提とし、以下の情報を制御チャネルで交換しているものとする。

- 自車両の車両情報 (0.1 秒毎にブロードキャスト)
 - 時刻情報
 - 位置情報

*1 メディアアクセス制御やトランスポートプロトコルによるオーバーヘッドを考慮し、アプリケーション層でのデータレートを物理層のデータレートの 0.35 倍として検証を行った。

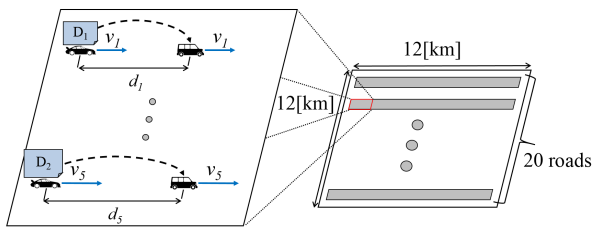


図 4 シミュレーションモデル

ー 速度情報

- データ通信の開始要求 (データ通信の要求発生時に受信車両が送信車両に通知)
- 受信車両の走行 DB 情報 (受信車両が送信車両に通知. 3.2 節参照)
- データチャネル決定通知 (データチャネル選択後に送信車両が受信車両に通知)

また、車車間のデータ通信には図 4 に示すモデルを使用する。まず、1 ホップ通信を行う 2 台の車両 (スワーム) が直線道路を走行しながらデータ通信を行う環境を想定する。スワーム内の車両は 0-100[m] のランダムな位置 x から走行を開始し、0-50[m] のランダムな車間距離 d を空けて縦列走行し、共通の速度 v で走行する。そして、0-5[s] のランダムな時刻 t に後方の車両から前方の車両に向けてデータサイズ D のファイルを転送する。トランスポートプロトコルには TCP を使用し、1 回のチャネル切替にかかる時間は 500[ms] とする。また、1 本の直線道路に複数の車線があることを想定し、各車線を走行する複数のスワームがデータ通信を行う状況についても検証する。PU の配置状況については、シミュレーションフィールドに各チャネル毎に到達距離が 500[m] の PU を 50 個ランダムに配置する。利用する周波数は TV 周波数帯 (470[MHz]~710[MHz]) の 40 チャネルを想定し、データレートは 6[Mbps]、到達距離は 300[m] で全チャネルで共通とする。また、シミュレーションフィールドについては 12[km] 四方のフィールドに直線道路を平行に 20 本配置し、各道路を車両が走行する。この 20 本の道路は 500[m] の間隔があり、車車間通信に用いる無線の到達距離は 300[m] であるため、道路間の無線干渉は発生しない。つまり、一回のシミュレーションから 20 個の PU 通信エリアが異なる独立した結果が得られ、その 20 個の結果の平均値、最大値、最小値を用いて結果の評価を行う。評価指標については 4.3 節に記述する。

4.2 シミュレーションシナリオ

本研究では、表 1 に示す 4 つのシナリオを用意する。まず、シナリオ 1 では 1 つのスワーム、シナリオ 2~4 では 5 つのスワームが同じ道路を走行する状況を想定する。シナリオ 1 と 2 は車両速度、送信データサイズがランダムであり、3.4 節で述べたように、多様な環境が想定される車

表 1 シミュレーションシナリオ

シナリオ	1	2	3	4
スワーム数	1	5		
車両速度 [km/h]	30-120			60
送信データサイズ [MB]	1-100	50	1-100	

車間通信で最も起こりうる状態であると考えられる。シナリオ 3 は意図的に送信データサイズを一定にしたシナリオであるが、これは複数のスワームが同じサイズの情報を通信している状態を表し、例えば、事故情報の伝達や緊急車両接近の通知といった場面を想定している。最後に、シナリオ 4 は車両速度を一定にしたシナリオであるが、これは複数のスワームが同じ速度で走行している状態を表し、例えば、道路が混雑している環境での通信を想定している。

4.3 評価指標

本研究では、チャネルの選択による有効性を評価するため、以下の 4 つの評価指標を用いる。

まず、3.4 節で記述した通り、PU への無線干渉、及び SU 通信に対するデータ通信の中断を防ぐため、チャネルの切り替えは可能な限り行わないことが望ましい。そこで、以下の指標により、データ通信中にチャネルの切り替えが発生しているかを計測し、チャネル選択の有効性について分析する。

- チャネル切替回数：データ通信中にデータチャネルを切り替えた回数

また、3.4 節で記述した通り、データ通信に応じたチャネルを選択することは、チャネルを分散させることの要因になると考えられるため、データ通信の特性に合ったチャネルを選択できているかどうかを判断するための指標としてチャネル適切度を定義し、分析を行う。

- チャネル適切度：データ通信に利用した距離を D とし、チャネルの継続距離を A とし、 $D \div A$ により求める。

そして、実際にチャネルの競合が発生しているかを以下の評価指標により分析する。

- チャネル競合率：スワーム i にて他のスワームと競合した時間を C_i 、スワーム i のデータ通信時間を T_i とし、 $\frac{\sum_i C_i}{\sum_i T_i}$ により求める。

最後に、スループットについて検証し、単位時間当たり転送することができるデータサイズから、効率の良い通信が行えているかを分析する。

- スループット：スワーム i の送信データサイズを D_i 、スワーム i の通信時間を T_i とし、 $\frac{\sum_i D_i}{\sum_i T_i}$ により求める。

5. シミュレーション結果および考察

本章では 4 章で記述したシミュレーションを実行した結果と考察を述べる。

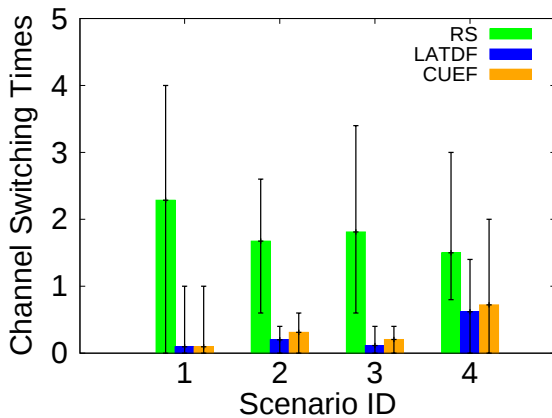


図 5 シミュレーション結果:チャンネル切替回数

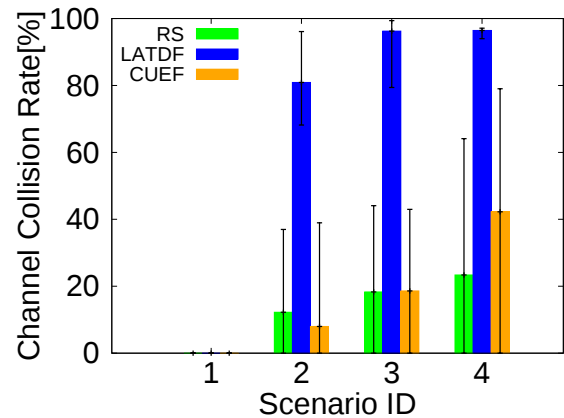


図 7 シミュレーション結果:チャンネル競合率

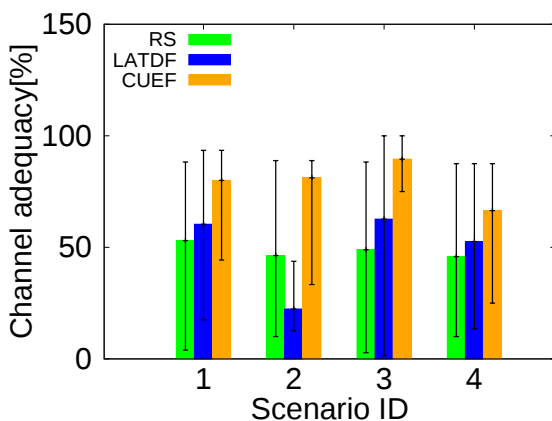


図 6 シミュレーション結果:チャンネル適切度

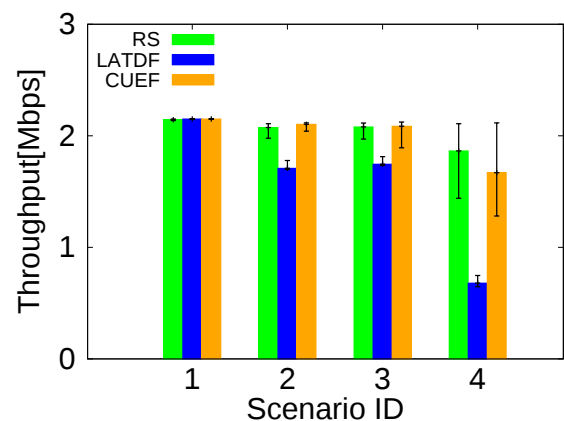


図 8 シミュレーション結果:スループット

5.1 シミュレーション結果

5.1.1 チャンネル切替回数

シミュレーションから得られたチャンネル切替回数の結果を図 5 に示す。横軸はシナリオ番号を表し、縦軸はチャンネル切替回数を表す。棒グラフはシミュレーション試行回数 (20 回) の平均値を表しており、エラーバーの上端は最大値、下端は最小値を表している。全シナリオにおいて、手法 LATDF の切替回数が最も少なくなっており、手法 RS が最も多くなっている。手法 LATDF は継続距離が最大のチャンネルを選択する手法であるため、PU に遭遇する回数が少なく、最も切替が発生していないと考えられる。手法 CUEF はシナリオ 2～4 で切替回数が増加しているが、手法 RS に比べれば大幅に小さい値となっている。これはチャンネル競合により通信距離の予測が正常に機能していないことが考えられるが、詳しくは 5.2 節で考察する。

5.1.2 チャンネル適切度

シミュレーションから得られたチャンネル適切度の結果を図 6 に示す。横軸はシナリオ番号を表し、縦軸はチャンネル適切度を表す。全シナリオにおいて、手法 CUEF のチャンネル適切度が最大になっており、反対に手法 LATDF のチャンネル適切度は小さくなっている。手法 CUEF はデータ通信時間に応じた継続距離を持つチャンネルを選択するため、

チャンネル適切度が大きくなるのは想定通りの結果であると言える。

5.1.3 チャンネル競合率

シミュレーションから得られたチャンネル競合率の結果を図 7 に示す。横軸はシナリオ番号を表し、縦軸はチャンネル競合率を表す。シナリオ 1 は単一スワームなので、チャンネル競合は発生しない。手法 LATDF は競合が発生するシナリオ 2～4 で最大の競合率となっているが、この手法はデータ通信の特性を考慮せずに、継続距離のみでチャンネルを選択するため、近隣のスワームのデータ通信と同じチャンネルを選択する可能性が非常に高いことが予想され、実際にその予想通りになっていることが分かる。手法 CUEF についてはシナリオ 2 では手法 RS を下回っている。つまり車両速度と送信データサイズの両方が異なる場合はチャンネルが分散され、競合の発生を防ぐことができていると考えられるが、詳しくは 5.2 節で考察する。

5.1.4 スループット

シミュレーションから得られたスループットの結果を図 8 に示す。横軸はシナリオ番号を表し、縦軸はスループットを表す。シナリオ 1 は 1 つのスワームのみの通信で、スループット劣化の原因はチャンネル切替による遅延のみであるため、チャンネル切替回数が最も大きい手法 RS のスルー

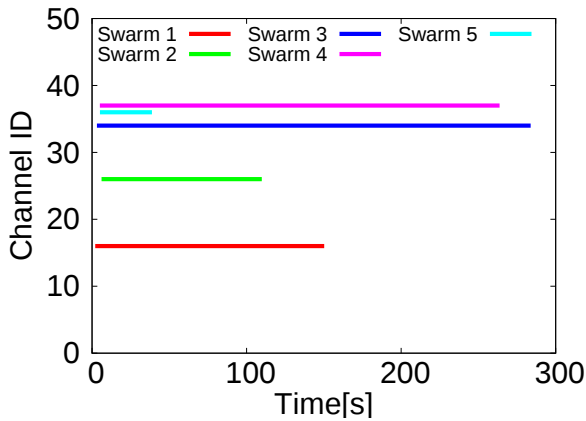


図 9 シナリオ 2 における手法 CUEF のチャンネル利用遷移例

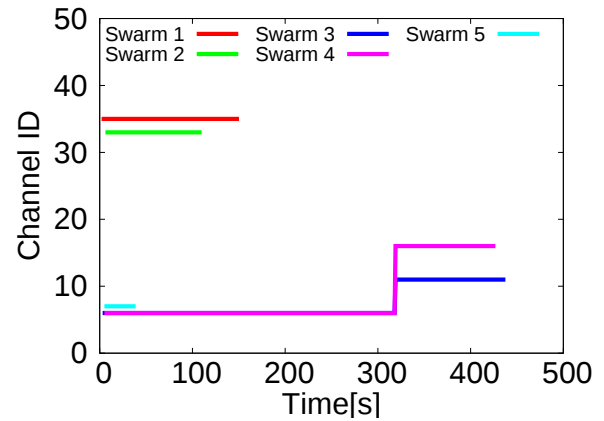


図 11 シナリオ 4 における手法 CUEF のチャンネル利用遷移例

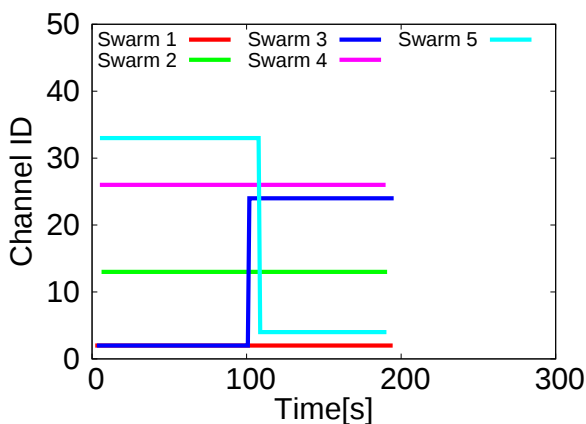


図 10 シナリオ 3 における手法 CUEF のチャンネル利用遷移例

プットが他の手法より若干劣化していることが分かる。その他のシナリオではチャンネル競合に伴う送信量の低下がスループット劣化の最も大きな要因になると考えられ、実際に競合率が高い手法ではスループットが低く、競合率が低い手法ではスループットが高くなる傾向にあり、予測通りの結果であると考えられる。

5.2 考察

5.2.1 手法 RS

手法 RS は TVWS であるチャンネルの中からランダムにチャンネルを選択する手法であるため、チャンネル切替が頻繁に発生することが予想され、実際にチャンネル切替回数は最も多くなった。しかし、競合率で見るとシナリオ 3, 4 では競合率が最も小さくなっている。これはチャンネルをランダムに選ぶことで他のデータ通信と異なるチャンネルを選択しているためだと考えられる。その結果、スループットも良い手法となっているため、特にチャンネル切替が発生しないような環境では、ランダム性を活かしたチャンネル選択手法が最も有効になる可能性があることが予想され、今回提案した手法が有効に機能しない環境 (近隣で同速度で移動するスワームが同一サイズのファイルを通信する場合) ではランダム性を導入する手法も重要になると考える。

5.2.2 手法 LATDF

本研究の提案手法の一つである手法 LATDF は継続距離が最大のチャンネルを選択し、チャンネル切替が最も少なくなるように設計された手法であるため、チャンネル切替回数は全シナリオで最小の値となっている。しかし、チャンネルの適切度、競合率においては小さい値となっており、車両の状況やデータ通信の内容を考慮せずにチャンネル選択していることのデメリットが表れていることが分かる。その結果、スループットでは他の手法と比べ最も低い値となっており、データ通信を早く完了させるという要求に対しては他の手法より劣る選択手法であると言える。しかし、チャンネル切替回数が最小であるという特徴は、PU 通信に干渉を与えてはならないという制約があるコグニティブ無線通信においては非常に重要な特性であり、スループット等の性能がアプリケーションに影響を与えないような場合は本手法が最適な選択手法であると考えられる。

5.2.3 手法 CUEF

本研究のもう一つの提案手法である手法 CUEF において、チャンネル切替回数について見てみると、手法 LATDF には及ばないものの比較的低い値に抑えることができています。本手法が手法 LATDF より切替回数が多いのは、チャンネルの競合が発生した際にスループットが劣化し、予測した通信距離内にデータ通信が終了せずに PU 通信エリアに侵入するため、チャンネルを切り替える必要が生じたためであると考えられる。実際に、手法 CUEF のチャンネル利用遷移を示した図 9~11 を見ると、チャンネルが競合した場合は通信距離が長くなり、継続距離を超えてしまった結果、チャンネル切替が発生していることが分かる。ただし、本手法は車両速度と送信データサイズからデータ通信距離に応じたチャンネルを選択するため、適切なチャンネルを選択し、その結果、チャンネル適切度は他の手法と比べて最も大きくなることを明らかにした。その結果、スループットを見ると、車両速度と送信データサイズのどちらもデータ通信毎に異なるシナリオ 2 において最も高くなっている。スループットが安定して高い手法 RS を上回っていることから、

通信距離を予測することでデータ通信毎にチャンネルを分散し、意図的にチャンネル競合を抑えることができる優れた手法であると言える。しかし、車両速度と送信データサイズのどちらかが他のスワームと同じであるような環境を想定したシナリオ 3, 4 では競合率が手法 RS より高くなっており、データ通信毎にチャンネルを上手く分散できていないことが分かる。これは、データ通信距離が近隣のスワームと同じような値となり、同一チャンネルを選択してしまうことが原因であると考えられる。また、今回のシミュレーション評価では行っていないが、全スワームの車両速度と送信データサイズを同じ値とした場合には全スワームが同じチャンネルを選択してしまい、手法 LATDF と同様の競合率となることが予想される。

6. まとめ

本研究では、近年注目を集めている VANET に Cognitive 無線技術を適用する環境を想定した上で、通信のためのデータチャンネルを WSDB と連携して選択する手法を提案した。また、利用周波数帯としては広範囲で高速に伝送できる TV 周波数帯を想定した。WSDB モデルは、現在既に運用が開始されている米国 FCC の規則を参考に 100[m] 間隔で TVWS 情報を格納するデータベースを想定した。この上で、データチャンネルを選択するために車両の走行経路上の TVWS を抜き出した「走行 DB 情報」を作成し、送信車両に走行 DB 情報を集約し、送信車両がデータチャンネルを選択し、切り替える方法を提案した。これにより、送信車両と受信車両の走行経路が異なる場合や位置関係が変化する場合でも、適切なデータチャンネル選択、切替が実現できる。

最後にチャンネルを選択する方法として、

- (1) 継続距離が最も長くチャンネル切替を最も少なくするために考案した手法 LATDF
 - (2) 車両速度と送信データサイズからデータ通信の通信距離を予測し、チャンネル適切度を大きくし、チャンネル競合率を小さくするために考案した手法 CUEF
- の 2 つの手法を提案した。

その後、比較手法である手法 RS とシミュレーション実験を通じて比較し、以下の点を明らかにした。

- (1) 手法 RS はチャンネル切替回数は多いものの、チャンネル競合が少なく環境の変化による影響が少ない手法であると考えられる。
- (2) 手法 LATDF はチャンネル切替回数が最も少なく、データ通信の中断を防ぎたいという要求、また PU 通信エリアに侵入する確率を抑えたいという要求に対しては最も適した手法であると考えられる。
- (3) 手法 CUEF はチャンネル適切度が最も大きく、データ通信の特徴からチャンネルを分散することにより、チャンネルの競合を可能な限り抑えつつ、かつチャンネル切替の

発生も抑えることができる手法であると考えられる。

最後に、今後様々な車車間通信アプリケーションの登場が想定されており、様々な特性を持つ ITS アプリケーション通信が考案されることが予想されるため、通信特性が大きく異なるアプリケーションが混在するようになると予想される。そのような環境においては、手法 CUEF が最も効果的であると結論づける。ただし、状況によっては、比較手法として用いたランダム手法が有効なケースも存在するため、ランダム性等も取り入れ、多種多様な環境に適応可能な手法の考案を進めていく予定である。

参考文献

- [1] K. Tsukamoto, Y. Omori, O. Altintas, M. Tsuru, Y. Oie, "On Spatially-Aware Channel Selection In Dynamic Spectrum Access Multi-hop Inter-Vehicle Communication," IEEE VTC2009-Fall, Anchorage, USA, September 2009.
- [2] "THIRD MEMORANDUM OPINION AND ORDER" FCC 02-380, 2012.
- [3] 中野 栄俊, 塚本 和也, 鶴 正人, "コグニティブ無線車車間通信における車間減少時のデータチャンネル選択手法," 火の国情報シンポジウム 2014, 2014 年 3 月
- [4] D. Gurney, G. Buchwald, L. Ecklund, S. Kuffner and J. Grosspietsch, "Geo-Location Database Techniques for Incumbent Protection in the TV White Space," Proc. IEEE Symp. Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN '08), 2008.
- [5] K. Dar, M. Bakhouya, J. Gaber, M. Wack, P. Lorenz, "Wireless Communication Technologies for ITS Applications," IEEE Communications Magazine 48: 5. 156-162, 2010
- [6] Space-Time Engineering,
<https://www.spacetime-eng.com/>