

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

中野 栄俊^{1,a)} 塚本 和也^{1,b)} 鶴 正人^{1,c)}

概要: 路車間・車車間通信の利用増加に伴い、専用に割り当てられた周波数帯域の不足が予想され、時間・空間的に未使用の周波数（チャンネル）を探して使用するコグニティブ無線通信の適用が検討されている。本研究では、車間距離が減少していく2台の車がコグニティブ無線通信でデータ転送する場合のチャンネル選択手法を提案する。近づくにつれ、短距離・高データレートのチャンネルが新たに利用可能になるが、頻繁なチャンネル切り替えは転送性能を劣化させる。提案手法では、後に利用可能になるチャンネルも考慮したヒューリスティックな条件を満たすチャンネルがある場合だけ切り替える。シミュレーションによりいくつかの手法と比較し提案手法の優位性を示した。

Selecting Data Channels in Cognitive Radio VANET When the Distance Closes In

Abstract: With penetration of V2R/V2V communication-based services, radio frequency channels dedicatedly allocated to the services will become scarce. Cognitive radio technology is promising to cope with this scarcity, where temporally and spatially unused channels can be used by unlicensed users. The authors propose a channel selection in cognitive radio-based data transfer between two distance-closing vehicles. In closing scenarios, while channels with shorter distance but higher data rate become newly available, frequent switches of channels may reduce data throughput. A heuristic condition for channel switch/selection is introduced by considering channels available in future. Simulation results supported the proposal compared with some simple approaches.

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) が普及しているが、車車間通信に基づくサービスも検討や開発が始まっている。しかし ITS の利用者増加に伴い、そのサービス用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「コグニティブ無線通信」の利用が検討されている [1]。ここでは、ある周波数帯が割り当てられたサービスを利用するプライマリユーザ (PU) と、それとは異なるサービスで利用するセカンダリユーザ (SU) の2種類が存在する。コ

グニティブ無線通信では、SU が PU の通信に影響を与えないように時間・空間的に未使用の周波数（チャンネル）を探して使用する。ただしチャンネル切り替え中は通信できないので切り替えが増えると性能が劣化する。ここで、チャンネルによってデータレートや到達距離が異なり、また SU の利用開始後の PU の利用開始によるチャンネル切り替え発生の確率も異なるため、使用するチャンネルによって通信性能に差が生じる。よって、SU の通信性能にとってチャンネル選択が重要になる。

以下では、2 ノードの SU が車車間通信においてコグニティブ無線を利用してデータを転送する。先行研究 [2] で時間経過により車が離れていく場合を扱ったが、本研究では車が近付いていく場合のデータ転送用チャンネル選択手法を考え、車が追い付くまでの平均スループットによって評価する。

本研究の構成は次の通りである。2 節でチャンネル等の想定環境の説明、3 節で提案手法の説明に必要である先行研

¹ 九州工業大学大学院 情報工学府

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

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

^{c)} tsuru@cse.kyutech.ac.jp

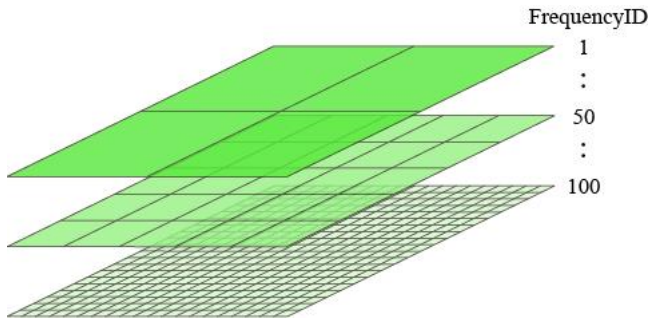


図 1 階層化サブエリア

究 [2] の手法の説明, 4 節で提案手法の説明, 5 節でシミュレーション環境の説明, 6 節でシミュレーション結果, 7 節でまとめとなっている。

2. 想定環境

2.1 チャンネルのパラメタ定義

本研究ではチャンネル毎に ID やデータレート, 到達距離, PU 利用率 (そのチャンネルを PU が利用している確率) が設定されており, 各チャンネルで異なる値としている。ID は周波数が高いほど大きく, また ID が高いほどデータレートは高く到達距離は短くなる。PU 利用率は ID の大きさによらず, 各チャンネルの PU 利用率の違いはコグニティブ無線通信の性能に大きく影響する。後の節で, このチャンネル利用率分布として複数のものを用いて性能評価を行う。

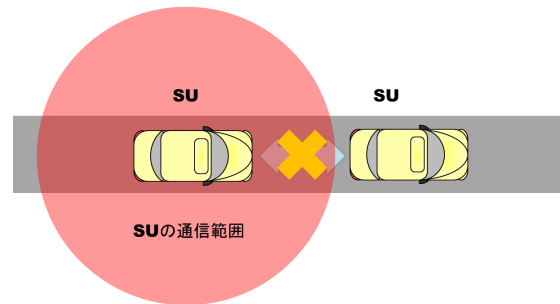
2.2 PU によるチャンネル利用モデルのための階層化サブエリア

各チャンネルにおける PU の利用は, 時間的・空間的に変化し, PU が利用中のチャンネルを SU は利用できない。これをモデル化するため, 地表を正方形に分割して各正方形区画をサブエリアと呼び, サブエリア単位で PU の存在 (すなわち PU によるチャンネル利用) を考える。各チャンネルにおいて各サブエリアで独立に PU の存在が確率的に ON/OFF を繰り返し, ON 時間中は SU はそのサブエリア内でそのチャンネルを利用してはいけない, とする。しかし, 各チャンネルで到達距離が異なっているため, SU がその場所でチャンネルを利用できるかどうかを決めるサブエリアも異なる大きさにする。つまり, 図 1 のようにチャンネル毎にサブエリアの大きさを変える階層化サブエリアを定義する。サブエリアの 1 辺をチャンネルの到達距離の 2 倍とし, 周波数が高いほど到達距離は短いのでサブエリアの大きさは小さくなる。

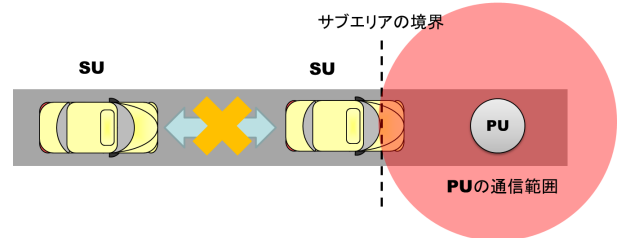
2.3 車間通信における SU のチャンネル切り替え

SU ノード間のコグニティブ無線車間通信では以下の 3 種類の通信切断が考えられ, その際, 利用可能なチャンネルの中からどれか 1 つを選択し, そこに切り替える必要がある。ただし SU は, チャンネルの利用可否や使用中チャネ

ノード間の距離がチャンネルの到達距離を超えた場合



前方ノードが PU があるサブエリアに進入した場合



時間経過により PU が通信開始した場合

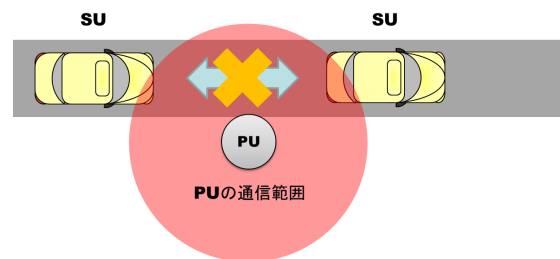


図 2 3 種類の通信切断要因

ルへの PU 出現を, チャンネルセンシングによって検知するものとする。

- (I) ノード間の距離が利用中チャンネルの到達距離を超えた場合
- (II) 前方のノードが新しいサブエリアに進入した時に利用中チャンネルの PU が存在する場合
- (III) 利用中チャンネルの現サブエリア内で時間の経過により PU が通信を開始した場合

また, 時間・空間的变化により新たにそれまで利用できなかったチャンネルが利用可能になる場合もある。その時は敢えて通信を中断させてまでチャンネルを切り替えるかどうかは何らかの判断基準が必要になる。

さて, 本研究で対象とする車間距離が減少していく状況では, (I) は発生しない。一方, 逆に新たに到達距離が短いチャンネルが次々と利用可能になる可能性がある。なお, 車 (SU ノード) の移動は等速直線運動を仮定する。よって将来の各時点での位置が計算できるものとする。

3. 車間距離増加時におけるデータチャンネル選択手法

先行研究 [2] では車間距離が増加していく状況でのチャンネル選択手法を提案し通信継続時間の計算方法を導出し

た．本節ではそのチャンネル選択手法と通信継続時間の計算の要点のみを紹介する．

3.1 実効データレートをを用いたチャンネル選択

SU が利用するチャンネルに対し切断要因 (I), (II), (III) が発生した場合は別のチャンネルに切り替えデータ転送を再開する必要がある．車間距離増加時の手法では，チャンネル毎に式 (2) の実効データレート M を算出し，その値が最大となるチャンネルを選択する．

$$M = R \times \frac{W}{W + C} \quad (1)$$

C はチャンネルの切替えにかかる時間 (チャンネル切替遅延)， W はそのチャンネルで通信が可能な時間 (通信継続時間) の予測値である．想定環境においてチャンネルの切り替えは頻繁に発生することが予想されるため，時間平均のスループットは選択するチャンネルのデータレート R だけでなく，チャンネル切替遅延 C や通信継続時間の予測値 W に依存する．実際， R が高くても W が小さいチャンネルを選択すると，すぐに次の切替えが発生し， C の間は転送が休止するので，平均スループットは高くない．よって式 (4) により実効データレートを定義し，それが最大のチャンネルを選択する．データレート R はチャンネル毎に固定であり，チャンネル切替遅延 C は全チャンネルで共通かつ固定の値を使うため，実効データレートを求めるには通信継続時間の予測値 W の算出が重要となる．

3.2 通信継続時間の予測値の算出方法

次に通信継続時間の予測値の算出方法の概要を説明する．その計算には通信が切断される要因を考慮する必要があるが，一般に切断要因 (III) は PU 利用率だけでは定量化できないため，ここでは，(I), (II) の 2 種類のみを考慮して計算した．直線上を移動する 2 ノード間の通信を考える．正の方向を定め，通信継続時間を予測する時点 (現時点) において，前方を正方向に走行するノードを B，後方を走行するノードを A とする．各ノードの速度は変化しないものとする．ノード A の速度を V_a ，ノード B の速度を V_b とし， $V_a < V_b$ を仮定する．通信継続時間の予測には表 1 の変数を用いて算出する．ただし， A, D, U はチャンネル毎に異なる値である．切断要因 (I) が起きるまでの通信時間について考えると，初期位置ではノード B が正方向の前方にあり， $V_a < V_b$ であるため常にノード B が前方にいることになる．2 ノードは時間と共に離れていくため，車間距離 S がチャンネルの到達距離 A より大きくなるまでは通信が可能である．よって，車間距離がチャンネルの到達距離と同じになるまでにかかる時間 L は

$$L = \frac{A - S}{V_b - V_a} \quad (2)$$

となる．次に切断要因 (II) が起きる場合について考える．

表 1 各パラメタの値

パラメタ	変数
チャンネルの到達距離	A
車間距離	S
サブエリアの幅	D
PU の利用率	U
ノード A の速度	V_a
ノード B の速度	V_b

ノード B の初期位置から最初のサブエリアの境界線までの距離を一様分布に従う確率変数 X とする． $LV_b > X$ ，つまり前方ノード B が 1 個先のサブエリアに進入した時にまだ L 時間が経過していない場合を考える．時間 L の時点でノード B がいるサブエリアを N 個先と置くと，正数 $w = \frac{LV_b}{D}$ を使って以下のように書ける．

$$N = \text{Floor}(w - \frac{X}{D}) + 1 \quad (3)$$

PU が 1 個先，2 個先， $\dots$ ， N 個先にいるそれぞれの場合で通信継続時間が定まる．各々の場合分けの事象発生確率を計算することで通信継続時間の期待値が計算できる．

4. 提案手法

車間距離が減少する環境では時間経過により通信相手に届くチャンネルが増えるため，転送中にデータレートの高いチャンネルが利用可能になる．今利用中のチャンネルを，そこに PU が現れるまで継続して使うよりも，先に新しく利用可能となった別のチャンネルに切り替えた方が性能が良くなる可能性もある．そこで本研究では定期的に利用可能なチャンネルを調べ，性能が良くなるチャンネルがあれば PU が現れなくても切り替える．

しかし，定期的にチャンネル選択をする際にその時点で利用できる各チャンネルの特性 (データレート，到達距離，PU 利用率) だけを使ってある量を最大にするチャンネルを選択する，という方法を取ると，新しいチャンネルが利用可能になる度に切り替えが起きる可能性がある．チャンネルの切り替えには時間がかかり (チャンネル切替遅延) その間転送が中断されるため，切り替えが頻繁に起きるのは望ましくない．そこで切り替えが頻繁に起きるのを防ぐために，その時点で利用できる各チャンネルの情報だけでなく，将来利用可能になるチャンネルの情報も間接的に考慮に入りたい．本研究では，追いつくまでに利用可能になる可能性のあるチャンネル全体の情報から計算できるある条件を定義し，その条件を満たすチャンネルがあれば切り替えるという方法を取る．

4.1 定期的なチャンネル選択

定期的にチャンネル切り替えの必要性を判断する条件を次のように導出する．

利用中のチャンネル ID を 0，切り替え先のチャンネル ID を

j , 追いつくまでにかかる時間を Y とすると利用中のチャネルで追いつくまで転送をした場合の転送量は $R_0 \times Y$ となる．追いつくまでの間に α 回切り替えるとして，将来どのチャネルに切り替えるかはわからないためチャネル j を繰り返し使うと仮定して切り替えた場合の転送量の下限を計算する．切り替えた後のチャネルを追いつくまで使うとすると転送量は $R_j \times (Y - C)$ であり， α 回切り替えた時の転送中断によるマイナスは $\alpha \times R_j \times C$ となる．つまり切り替えた後の転送量は $R_j \times (Y - (\alpha + 1)C)$ となる．

切り替えた後の転送量が利用中のチャネルの転送量を超えていれば性能は向上するはずなので切り替えた方がよい．よって以下の式を満たす時チャネル切り替えを行う．

$$R_0 \times Y < R_j \times (Y - (\alpha + 1)C) \quad (4)$$

4.2 α の計算方法

式 (4) の α は実際の値を知ることはできないため，何らかの方法で予測値を計算する必要がある．ここで，先行研究 [2] において提案した，車間距離が増加していく場合のチャネル切替遅延と PU 利用率を考慮したチャネル切替時のチャネル選択の手法を援用する．具体的には，本研究で想定する車間距離が減少していく場合に対して，将来 2 台が追いつくはずの位置から現在の位置関係まで時間を逆回して考えた場合の仮想的なチャネル切り替え系列を，3 節のチャネル選択と通信継続時間予測を用いて作成し，その系列での切り替え回数を α とする．

つまり実際の時間の流れとは逆に，将来追いつくはずの位置（車間距離 0）から現在の位置関係（車間距離 S ）へ変化すると考え，車が離れていく状況でのチャネル選択を実効データレートをを用いる先行手法で決定する．まず車間距離 0 の状態から利用可能な全チャネルで実効データレートを計算し，その値が最大のチャネルを選択する．実効データレートの計算時に通信継続時間という値を各チャネルで計算するため，その値を通信時間と仮定し次のチャネル切り替え時点での車間距離を計算，再度チャネル選択を行う．これを車間距離 S を超えるまで選択を続け，車間距離 S を超えた時点で切り替えた回数を α とする．実効データレートについては 3 節参照，通信継続時間は 3 節に基づき追いつくまでの範囲で計算する．

4.3 PU 利用率を考慮する方法

式 (4) では α を求める時に将来利用できる可能性のある各チャネルの PU 利用率を間接的に使用しているが，チャネル 0 や j の利用率は直接反映されない．

そこで式 (4) を使う前に PU 利用率が高いチャネルを除くことで式 (4) で PU が出現しやすいチャネルを選択しないようにする．そのために PU 利用率を考慮して計算される通信継続時間の予測値 W_0, W_j を用いて，追いつくまで

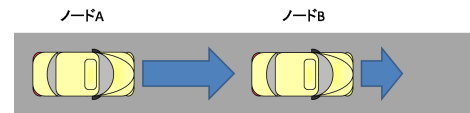


図 3 ノードの位置関係

表 2 チャネルのパラメタ

パラメタ	パラメタの値
チャネル ID	1-100
データレート	100[KB/s] - 50[MB/s]
到達距離	100[m] - 10[m]

に切り替える回数 β_j を以下の式により求める．

$$\beta_j = \text{Floor}\left(\frac{W_0 - C}{W_j}\right) \quad (5)$$

通信継続時間の予測値 W_0, W_j の計算は 3.2 節の方法で行う．チャネル j の PU 利用率が高いと β_j の値が大きくなり，切り替え後の転送量が小さくなるようになっている．そして切り替えない場合（左辺）と切り替えた場合（右辺）の転送量を計算し比較する式は以下のようになる．

$$R_0 \times W_0 < R_j \times (W_0 - (\beta_j + 1)C) \quad (6)$$

式 (6) の条件を満たすチャネルの中から式 (4) でチャネルを選択する．

4.4 PU 利用率を考慮した PU 出現時のチャネル選択

式 (4) を用いたチャネル選択は利用中のチャネルがある前提であるため，PU 出現時には使うことができない．そこで PU が出現した時には以下の方法でチャネルを選択する．

まず α の計算過程で導出される仮想的なチャネル切り替え系列での現時刻でのチャネルを基準チャネルとする．そのチャネルのデータレートを R_0 とし，そのチャネルよりデータレートの高いチャネルの中から式 (6) を満たすチャネルの中で右辺が最大のチャネルを選択する．

5. シミュレーション環境

2 ノードが図 3 のように直線上に並び，車間距離 50[m] から 0[m] になるまで近づきながらデータ転送を行うシミュレーションを行った．シミュレーションには Qualnet[4] を利用し，1500[Byte] の UDP パケットをチャネルのデータレートで転送した．前方のノードの速度を 30[km/h] とし，速度差の値を変更することで後方のノードの速度を決定する．チャネルは 100 個用意し，データレート等の各パラメタは表 2 のように設定している．

変化させるパラメタとして速度差とチャネル切替遅延があり，各パラメタの値は表 3 の通りである．

PU 利用率は以下の 3 種類の分布でシミュレーションを行い提案手法の性能を調べる．

- PU が出現しない（全チャネルの PU 利用率 0）分布

表 3 変更するパラメタの値

パラメタ	パラメタの値
2 ノードの速度差	1,5,10[km/h]
チャンネル切替遅延	0.5,1,2[s]

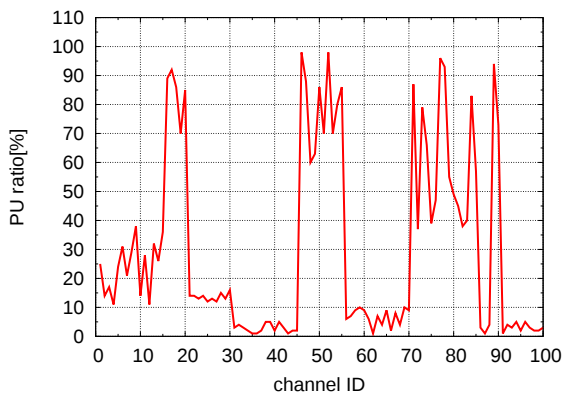


図 4 ポストンの実測調査に基づく PU 利用率の分布

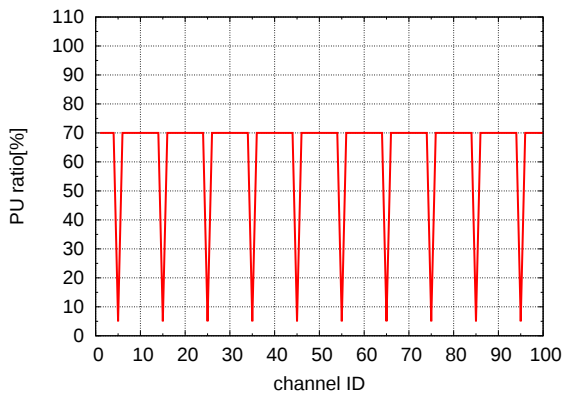


図 5 高い PU 利用率のチャンネルが多い分布

- ある地域のチャンネル利用状況に基づいた分布 (図 4)
 - 高い PU 利用率のチャンネルが多い分布 (図 5)
- また平均 ON 時間を全チャンネル固定で 10[s] とし, 平均 OFF 時間をチャンネルの PU 利用率に合わせて設定する.

シミュレーションは表 3 のようにパラメタを変更して 10 回ずつ行い, 平均スループットを指標として各手法の性能を評価する. また定期的なチャンネル選択の手法を実行するのは 1[s] 毎とする.

6. シミュレーション結果

6.1 PU が出現しない分布

まず PU が出現しない環境においてシミュレーションを行い, 提案手法と α 計算方法の妥当性について調べた. 今回性能を比較するチャンネル選択手法として以下の手法を用意した.

- データレートの最も高いチャンネルを選択する手法
- 式 (4) を使用し α を固定値 (1,2,3,5,10) とする手法
- 式 (4) を使用し α を 4.2 節の方法で決定する手法 (提案手法)

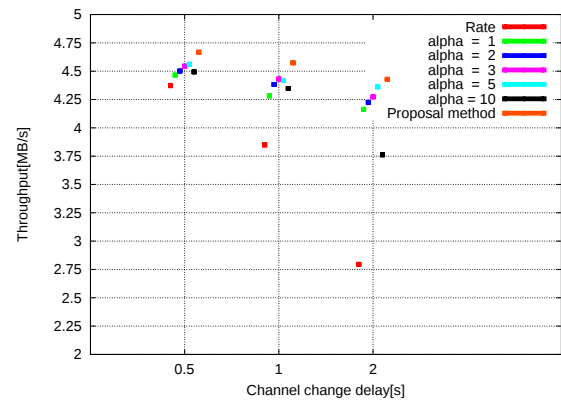


図 6 PU が出現しない環境で速度差 1[km/h] の時のスループット

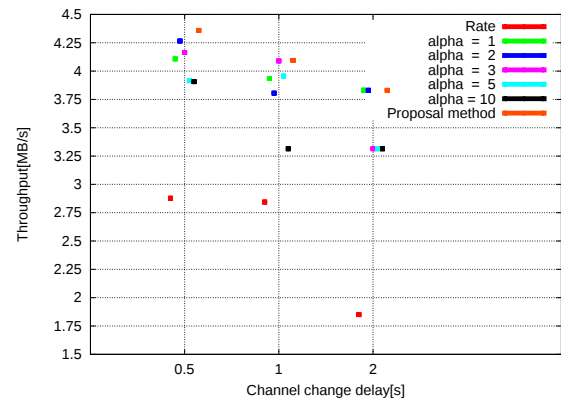


図 7 PU が出現しない環境で速度差 5[km/h] の時のスループット

シミュレーションの結果は図 6, 図 7 の通りとなった. 横軸はチャンネル切替遅延の値, 縦軸はスループットの最小・平均・最大の値を表している. しかし, PU が出現しない環境でシミュレーションをすると 10 回シミュレーションを行っても毎回同じ値となり, 平均・最小・最大の値が全て同じとなるため図 6, 図 7 では点で表示されている. データレートの値だけで選択する手法は新しいチャンネルが利用可能になる度に切り替えを行うため, 切り替える毎にチャンネル切替遅延の値だけ転送が中断され, 結果として一番スループットが低くなっている.

α を固定値とする手法では速度差やチャンネル切替遅延の値によって性能が良くなる値が異なっており, 速度差 1[km/h] では $\alpha = 5$ の時が良い性能を示している. 速度差が大きくなると $\alpha = 1, 2$ の性能が良くなっており, これは速度差が 5[km/h] になると追いつくまでの時間 Y が小さくなり式 (4) の切り替えが難しくなっていることが原因と考えられる. 切り替えが難しい状況の中で α が大きいとさらに切り替えができなくなるため, 切り替えが少なくなる. その結果データレートの低いチャンネルを使い続けることで性能は悪くなり, 速度差 5[km/h] では α が小さい手法の性能が良くなっている. そして状況に合わせて α の値を動的に変更する提案手法はパラメタがどの値になっても性能が良い結果となった.

この結果から式 (4) を用いた手法が有効であり、また α を動的に決定する方が性能が良くなることが示された。次に PU が出現する環境で提案手法の性能を評価する。

6.2 ある地域のチャンネル利用状況に基づいた分布

ボストンの実測調査のシグナル強度の分布に基づいて設定した分布 (図 4) でシミュレーションを行った [3]。また比較する手法は以下の 4 つである。

- (A) PU 出現時も定期的な選択も PU 利用率を考慮しない手法
- (B) PU 出現時のみ PU 利用率を考慮する手法
- (C) 定期的な選択のみ PU 利用率を考慮する手法
- (D) PU 出現時と定期的な選択の両方で PU 利用率を考慮して選択する手法 (提案手法)

以降は各手法を (A) ~ (D) と呼ぶ。

シミュレーション結果は図 8, 図 9 となった。各手法で大きな差は現れず、4 つの手法とも近い性能を示した。図 4 の分布ではデータレートは高く PU 利用率が低いチャンネルが存在するため、PU 利用率を考慮しなくても良いチャンネルを選択できる。その結果、PU 利用率が高いチャンネルを選択して多少切り替えが増えたとしても同じ程度の性能を出すことができたと考えられる。

ただし、速度差 1[km/h] でチャンネル切替遅延が 2[s] の時だけ (B) の性能が他よりも低く、特に最大値が小さい。これは (B) が PU 出現時に PU 利用率を考慮してデータレートの低いチャンネルを選択するが、その後定期的な選択により PU 利用率を考慮せずデータレートの高いチャンネルを選択することで切替回数が増え、チャンネル切替遅延の影響を受けて性能が他の手法よりも劣化したと考えられる。

速度差が 5,10[km/h] の時も 4 つの手法であまり差が現れず、(B) のみ劣化するという事もなくあった。これは速度差が大きくなったことで追いつくまでにかかる時間が短くなり、式 (4) による定期的選択時のチャンネル切り替えの回数が減り、かつどのチャンネルを選択しても後に PU の出現によって切断される可能性が大差なくなるからだと考えられる。つまり、追いつくまでにかかる時間は速度差 1,5,10[km/h] でそれぞれ 180,36,18[s] となっており、どの手法を用いても、少ない切り替えタイミングにデータレートの高いチャンネルを選択する、という似た傾向に収束する。そのため PU 利用率を考慮している効果が現れにくい結果となったと考えられる。

次は PU が頻繁に出現する環境でシミュレーションし、PU 利用率を考慮する効果を確かめた。

6.3 高い PU 利用率のチャンネルが多い分布

最後に PU 利用率を考慮する効果が現れやすいと考えられる、PU が出現しやすい環境でシミュレーションを行った。チャンネル 100 個中 90 個が PU 利用率 70% となってお

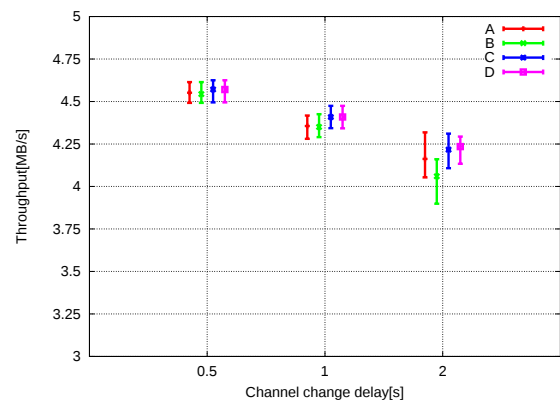


図 8 図 4 の分布で速度差 1[km/h] の時のスループット

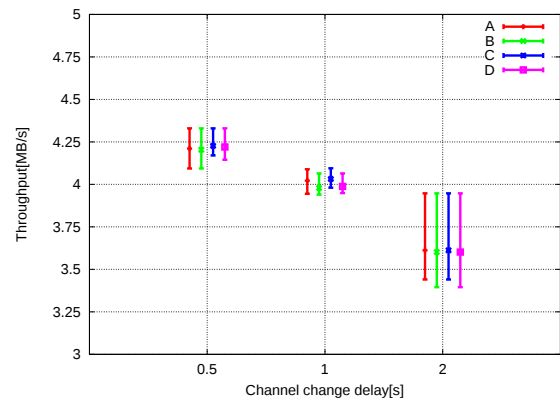


図 9 図 4 の分布で速度差 5[km/h] の時のスループット

り、PU 利用率が低いチャンネルを意図的に選択しないと PU 利用率が高いチャンネルを選択してしまう。比較する手法は 6.2 節と同じ (A) ~ (D) の 4 つである。

シミュレーションの結果は図 10, 図 11 となった。速度差 1[km/h] においては図 10 より (C), (D) のスループットの値が (A), (B) よりも高くなっており、一番性能が良いのは提案手法の (D) となっている。これは PU 利用率が高いチャンネルが多くなったことで、PU 利用率を考慮していない (D) はもちろん、一部考慮できていない (B), (C) も PU 利用率の高いチャンネルに切り替えてしまい切替回数が多くなっているためである。

図 12, 図 13 は速度差 1[km/h], チャンネル切替遅延 0.5[s] の時のシミュレーション 1 回分の実際に切り替えたチャンネル ID の推移を表しているが、(A) と (B) は数秒で切り替えることが頻繁に起きており、PU 利用率を考慮していないため PU 利用率を高く設定しているチャンネルに何度も切り替えていることがわかる。一方図 13 の (C) と (D) は PU 利用率の低いチャンネルを 20[s] 以上使うことが多く、PU 利用率の高いチャンネルへの切り替えを抑えている。この違いがスループットの差に現れている。

図 10 では (B) と (C) はどちらも PU 利用率を一部考慮しているにもかかわらず性能に大きく差が出ている。これは切り替えが起きるタイミングに理由がある。6.2 節で説

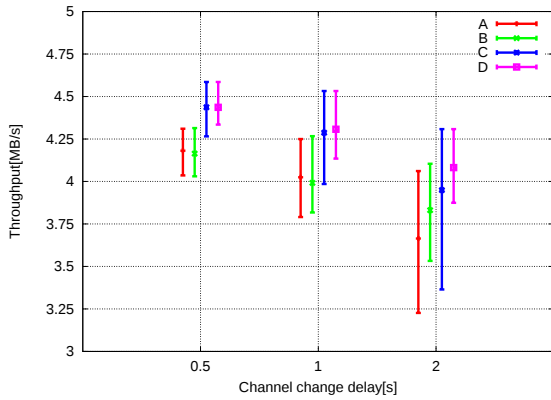


図 10 図 5 の分布で速度差 1[km/h] の時のスループット

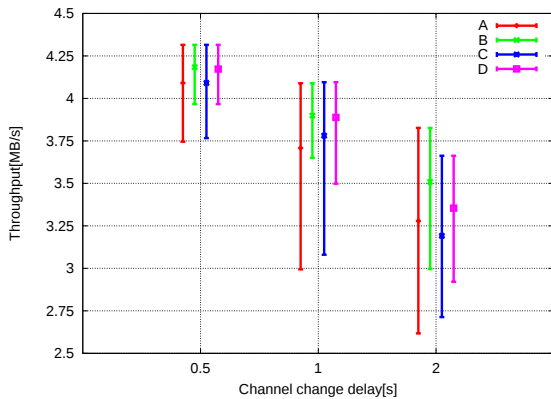


図 11 図 5 の分布で速度差 5[km/h] の時のスループット

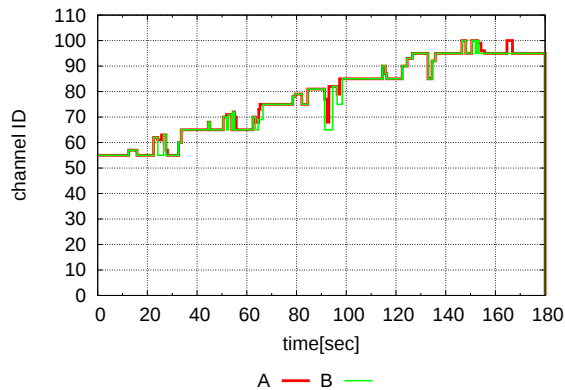


図 12 速度差 1[km/h], チャンネル切替遅延 0.5[s] の時の (A) と (B) のチャンネル ID の推移の例

明したように (B) は PU が出現した時の切り替えでは PU 利用率を考慮するが、定期的な選択により PU 利用率を考慮しない切り替えが行われ PU 利用率の高いチャンネルに切り替えてしまう。その結果、PU 利用率を考慮する効果が現れず、(A) とあまり変わらない性能となっている。

逆に (C) は定期的な選択の時に PU 利用率を考慮しているため PU 出現時は PU 利用率の高いチャンネルを選択し、(C) は (D) と比べると最小値で劣るが (A), (B) よりも良い性能を示している。

速度差が 5[km/h] になると図 11 のようになり、速度差

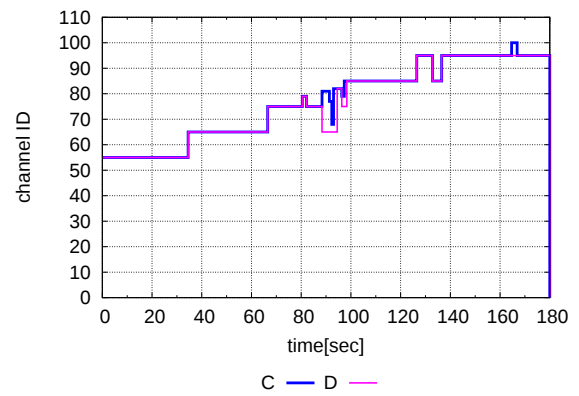


図 13 速度差 1[km/h], チャンネル切替遅延 0.5[s] の時の (C) と (D) のチャンネル ID の推移の例

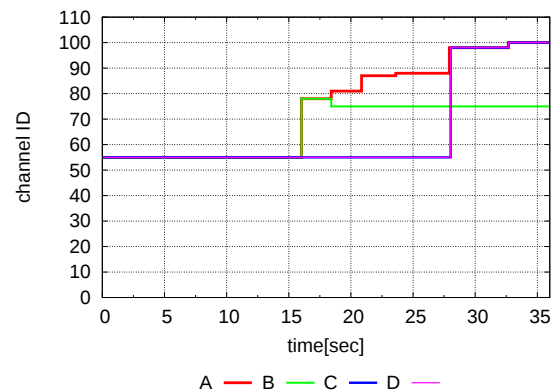


図 14 速度差 5[km/h], チャンネル切替遅延 2[s] の時のチャンネル ID の推移の例

1[km/h] の時と比べるとスループットの差が小さい。これは速度差が大きくなったことで切り替えが起きにくい状況になったと考えられる。定期的なチャンネル選択で PU 利用率を考慮する (C) と (D) では式 (6) で通信継続時間を使用しているが、追いつくまでにかかる時間が短くなると当然この値も短くなる。そして式 (6) により切り替えが抑えられ、図 14 は速度差 5[km/h], チャンネル切替遅延 2[s] の時の選択したチャンネル ID 推移を示しているが、(C), (D) は切り替えが遅く切り替えた後の利用時間も短い。それに対し (A) と (B) は早めに切り替えた後、何回か切り替えながら高いデータレートのチャンネルを利用している。切り替えが多いことは速度差 1[km/h] とは変わらないが、切り替えが遅くなっている (C), (D) と比べると結果的に性能が良くなっている。提案手法では追いつくまでの時間が短い場合に過度に切り替えが抑止され、切り替えるべきタイミングを逃していることになる。

7. まとめ

本研究では車車間通信においてコグニティブ無線通信を適用することを想定し、車間距離が減少する状況で高いスループットを実現するためのデータチャンネル選択手法を提

案した．車間距離が増加する状況での先行研究 [2] では 3 種類の切断要因によりチャネルが利用不可になった時のみ切り替えを行ったが，本研究では定期的にチャネル選択を考えることで性能向上を目的とした切り替えを行う．そして切り替えが増えることによる性能低下を回避するために条件を設定し，その条件を満たすチャネルが存在する場合にのみチャネル切替を行う．PU 利用率の分布を 3 種類用意してシミュレーションを行い，様々な状況での提案手法の性能を評価した．

最初に PU が出現しない環境でデータレートだけで選択する手法よりも条件式を用いて選択する手法の方が性能が良いこと，そして将来切り替える回数の予測値 α は動的に決定する方が性能が良いことが示された．実際のチャネル利用状況に基づいた PU 利用率の分布ではあまり大きな差は現れずどの手法でも近い性能となったが，PU 出現時のみ PU 利用率を考慮したチャネル選択をすると逆に性能が悪くなる場合があることを示した．最後に PU が頻繁に出現する，高い PU 利用率のチャネルが多い分布で比較をすると，速度差が 1[km/h] の時には PU 利用率を考慮していない手法と比較しスループットで大きな差が現れた．

しかし，速度差が 5[km/h] になると提案手法は切り替えの機会を逃すことで逆に性能が劣化するという問題点も明らかになった．このことから速度差が大きい場合でも切り替えが適切に行えるように式 (4) や式 (6) の改良が必要だと考えられる．

謝辞 本研究の一部は，日本学術振興会における科学研究費基盤研究 (C) (課題番号 25330107) の支援を受けている．ここに記して謝意を表す．

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 Communications (Invited Paper)," IEEE VTC2009-Fall, Anchorage, USA, September 2009.
- [2] 中野栄俊, "車車間コグニティブ無線通信における切替時間を考慮した無線チャネル選択", 九州工業大学 卒業論文, 2012 年 3 月.
- [3] Akyildiz, I.F., Lee, W.-Y., Vuran, M.C. and Mohanty, S., "Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: survey," Computer Networks 50(13), Sep. 2006, pp. 2127-2159
- [4] <http://network.kke.co.jp/products/qualnet/>