

2010.2.5

博士前期課程学位論文

**マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式に
おける車車間通信に関する研究**

2009 年度

埼玉大学大学院 理工学研究科

数理電子情報系専攻 電気電子システム工学コース

08MM201 石其 俊明

概要 -Abstract-

本論文では、安全のために交差点付近でリアルタイムな情報共有を行うマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式において、通信の切り替え方法について検討を行い、空間的に隣り合う交差点同士の路車間通信の通信範囲が重なる場合の対応を行った上、都市部と郊外を想定した環境下において車車間通信単独の性能と、車車間通信と路車間通信の干渉の影響を評価している。

大きな社会問題の一つとして車両事故、特に死亡事故の約半数が交差点で発生しており、このような事故防止のために必要な情報共有を行うマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式が提案されている。この通信方式は基地局が設置されている交差点付近の領域を三つの領域に分割し、基地局が設置されている交差点付近の最近傍領域と準近傍領域では路車間通信を、基地局が設置されている交差点から離れたその他の領域では車車間通信を行う。

従来路車間通信に必要な帯域幅が示されているが、通信の切り替え方法の検討が不十分であり、また基地局同士の通信範囲が重なる場合について検討されていない。さらに車車間通信単独の性能と、路車間通信と車車間通信の相互干渉の影響が明らかにされていない。

そこで本論文では最初に、マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の実現のために、路車間通信と車車間通信の切り替え方法と、空間的に隣り合う交差点に対応するために異なる二つの周波数帯域を用いた干渉の回避方法を示している。

次に、評価のために通信を含むマイクロシミュレーションを構築し、都市部と郊外を想定した環境において評価を行い、車車間通信単独の性能を示している。その結果、都市部を想定した環境では基地局を設置する必要があることを明らかにしている。

最後に、都市部と郊外を想定した環境において、車車間通信と路車間通信の相互干渉の影響について、シミュレーションにより定量的な評価を行っている。その結果、都市部、郊外どちらの環境においても、路車間通信は干渉を受けた場合でも通信要件を満たすことを示している。また、車車間通信は干渉を受けた場合でも完全成功パケット率が干渉を受けない場合とほぼ同等であり、生成されたパケットが棄却されることがなかったことを示している。これら二つの結果から都市部、郊外ともに相互干渉の影響は十分に小さいことを明らかにしている。

以上、マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の車車間通信に関する重要な知見を得ている。

目次 -Contents-

概要 -Abstract-	i
目次 -Contents-	ii
図目次 -List of Figures-	iii
表目次 -List of Tables-	iv
第1章 序論	1
第2章 基礎理論[26][27]	3
2.1. マルチクラスゾーンITS情報通信方式の概要	4
2.2. マルチクラスゾーンITS情報通信方式のフレーム構成	5
2.3. マルチクラスゾーンITS情報通信方式の通信処理の概要	6
2.4. マルチクラスゾーンITS情報通信方式の課題	7
第3章 通信の切り替え方法と空間的に隣り合う交差点への対応	8
3.1. 3章のまえがき	9
3.2. 路車間通信と車車間通信の切り替え方法	10
3.3. 空間的に隣り合う交差点への対応[28]	11
3.4. 3章のまとめ	12
第4章 車車間通信の基礎評価[28]	13
4.1. 4章のまえがき	14
4.2. 評価用シミュレータ	15
4.3. 評価指標	16
4.4. 基礎評価のシミュレーション諸元	17
4.5. 基地局が設置されていない交差点における評価	19
4.6. 4章のまとめ	20
第5章 路車間通信と車車間通信の相互干渉の評価[29]	21
5.1. 5章のまえがき	22
5.2. 干渉が発生する状況	23
5.3. 評価指標	24
5.4. 干渉を評価するシミュレーション諸元	25
5.5. 相互干渉の評価	27
5.6. 5章のまとめ	30
第6章 結論	31
謝辞	33
参考文献	34

図目次 -List of Figures-

図 2.1 基地局が設置されている交差点付近の領域の分割	4
図 2.2 フレーム構成	5
図 2.3 通信処理の概略	6
図 3.1 隣り合う交差点における路車間通信の通信範囲の重なり.....	11
図 4.1 評価シミュレータの交通流部表示の一例	15
図 4.2 交差点数 3 の都市部を想定した道路諸元.....	18
図 4.3 交差点数 3 の郊外を想定した道路諸元	18
図 4.4 基地局が設置されていない交差点におけるキャリアセンス半径に対する完全成功パケット率..	19
図 5.1 路車間通信が車車間通信から干渉を受ける状況	23
図 5.2 車車間通信が路車間通信から干渉を受ける状況	23
図 5.3 交差点数 4 の都市部を想定した道路諸元.....	26
図 5.4 交差点数 4 の郊外を想定した道路諸元	26
図 5.5 1 秒 1 台当たりの通信成功回数の度数分布	28
図 5.6 都市部を想定した環境におけるキャリアセンス半径に対する完全成功パケット率.....	29
図 5.7 郊外を想定した環境におけるキャリアセンス半径に対する完全成功パケット率.....	29

表目次 -List of Tables-

表 4.1 基礎評価の通信諸元	17
表 4.2 車両諸元	17
表 5.1 干渉評価の通信諸元	25

第1章 序論

高度交通システム(ITS: Intelligent Transport Systems)とは、最先端の情報通信技術により実現される高度な移動システムであり、人と物の移動において安全性、効率、利便性、快適性、環境を考慮し、改善するためのシステムである[1]。近年、自動車による交通事故は大きな社会問題の一つであり、特に交差点付近において死亡事故の約半数が発生している[2]。

ITS 分野では、交通事故の防止や事故被害の軽減のためのアプリケーションには通信を用いた人・道路・車両の情報共有(VIS: Vehicle Information Sharing)が重要であることが、ITS 通信コンセプトリファレンスモデル[3]によって示されている。ITS 分野における VIS のための情報通信方式に関して、路車間通信に関する研究[4][5]、車車間通信に関する研究[6]-[21]、路車間車車間統合通信に関する研究[22]-[29]など様々な研究が行われている。交差点の安全に注目した研究として、例えば[17]では交差点における出会い頭の衝突事故を防止する警報型システムのための通信方式が提案されているが、車両の自動制御系や緊急情報系のシステムに対応していない。

[26]では、交差点内の安全を目的とした路車間車車間統合通信方式であるマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式が提案され、交差点内の通信に必要な帯域幅が示されている。この通信方式では交差点付近の領域を、安全のために確実な通信を行う最近傍領域、最近傍領域の準備をしつつできるだけ高品質な通信を行う準近傍領域、インフラを用いない通信を行うその他の領域の、3 つに分割している。そして、[27]ではマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式における路車間通信のシャドーイングによる通信失敗を解消するためにマルチホップの導入が行われている。

しかし、従来のマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式では、路車間通信と車車間通信の切り替え方法についての検討が不十分であり、また空間的に隣り合う交差点の通信範囲が重なる場合の対応が未検討である。また、車車間通信の性能評価と、路車間通信と車車間通信の相互干渉の評価が行われていない。

そこで本論文では、路車間通信と車車間通信の切り替え方法と空間的に隣り合う交差点の通信範囲が重なる場合について検討を行う。さらに車車間通信の性能評価および、路車間通信と車車間通信が相互に干渉する影響の定量的評価を行う。

本論文の構成は、2章でマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式について述べ、マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の課題の整理を行っている。3章ではマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の路車間通信と車車間通信の切り替え方法と、空間的に隣り合う交差点の通信範囲が重なる場合について対応方法について述べる。4章では交差点に基地局を設置する必要性を示すための車車間通信の基礎評価として、都市部と郊外を想定した環境における基地局が設置されていない交差点において、車車間通信単独の性能評価を行っている。5章では路車間通信と車車間通信の相互干渉が発生する状況と影響について整理し、性能評価を行っている。最後に6章では結論と今後の課題について述べる。

第2章

基礎理論 [26] [27]

2.1. マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の概要

図 2.1 に示すようにマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式では、基地局が設置されている交差点付近の領域を、路車間通信を行う最近傍領域と準近傍領域、車車間通信を行うその他の領域の三つに分割する。基地局が設置されている交差点に最も近い最近傍領域では、予約したスロットを用いた TDMA(Time Division Multiple Access)方式による周期的かつ確実な通信を行っており、この通信を第一種路車間通信と定義する。最近傍領域の次に基地局が設置されている交差点に近い準近傍領域では、Slotted-ALOHA 方式によって最近傍領域で用いるスロットの予約を行いつつ、1s に 1 回以上の通信成功を目的とした通信を行っており、この通信を第二種路車間通信と定義する。基地局が設置されていない交差点や基地局が設置されている交差点から離れた道路であるその他の領域では、CSMA(Carrier Sense Multiple Access)方式によるインフラを用いない車車間通信を行う。

マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式では安全のための情報共有を行うため、高精度な自車位置と速度が取得可能であると仮定している。また、車両には路車間通信と車車間通信共に可能な車載器が搭載されていると仮定している。

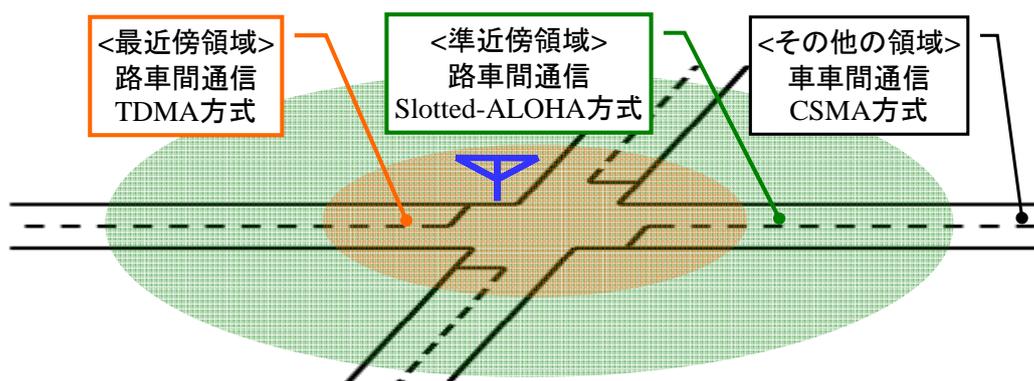


図 2.1 基地局が設置されている交差点付近の領域の分割

2.2. マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式のフレーム構成

路車間通信のフレーム構成を図 2.2 に示す。一つのメインフレームは第一種交差点路車間通信サブフレームと、第二種交差点路車間通信サブフレームで構成される。最近傍領域の車両は第一種交差点路車間通信サブフレームを用いて 20ms 周期の通信を行い、準近傍領域の車両は第二種交差点路車間通信サブフレームを用いて 1s 周期以内の通信を行う。Up-Link と Down-Link は各フレーム内で時分割多重化(TDD: Time Division Duplex)で行う。例えば、図 2 の第一種交差点路車間通信を行っている車両 1 と車両 2 は 20ms 毎に第一種交差点路車間通信サブフレームを用いて通信を行い、第二種交差点路車間通信を行っている車両 3 と車両 4 は 0.1s 毎に第二種交差点路車間通信サブフレームを用いて通信を行う。シャドワーイングによる通信失敗を回避するためのマルチホップ用のフレームは、第一種交差点路車間通信、第二種交差点路車間通信それぞれのサブフレームの Up-link, Down-Link 後に挿入される。

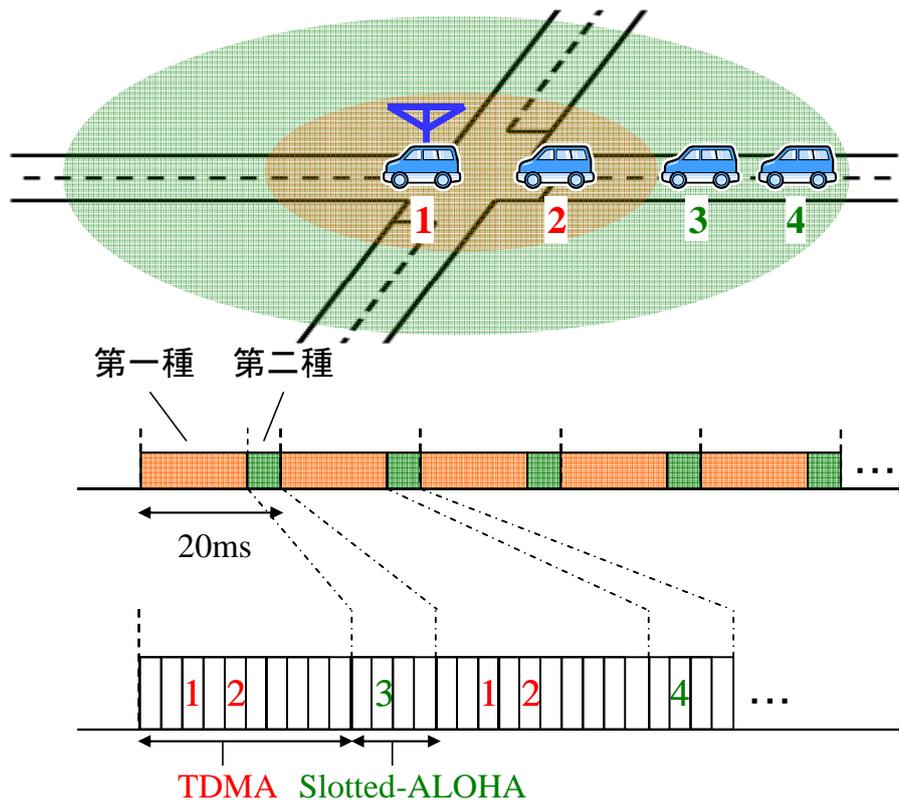


図 2.2 フレーム構成

2.3. マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の通信処理の概要

図 2.3 にマルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の通信処理の概略を示す。その他の領域で車車間通信を行っている車両が基地局が設置されている交差点に近づき準近傍領域に進入すると、車両は第二種交差点路車間通信を開始し、最近傍領域で行う第一種交差点路車間通信のロット予約を行う。さらに交差点に近づき最近傍領域に進入すると予約したロットを用いて第一種交差点路車間通信を開始する。車両が最近傍領域を退出すると、予約したロットを開放して予約を行わない第二種交差点路車間通信を行う。そして、準近傍領域を退出すると路車間通信を停止して車車間通信を開始する。

準近傍領域と最近傍領域の境界に電波マーカ等の路側マーカが設置されていると仮定しており、車両はこのマーカから信号を受信することで準近傍領域に進入したと判断する[28]。

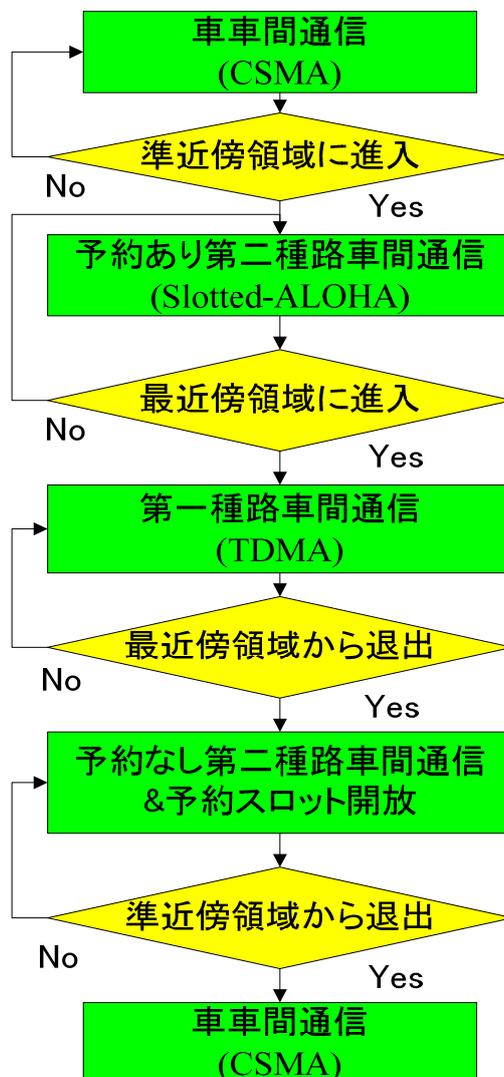


図 2.3 通信処理の概略

2.4. マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の課題

従来研究では路車間通信と車車間通信の切り替え方法についての検討が不十分であり、シームレスな通信の切り替えを行うために検討を行う必要がある。また、空間的に隣り合う基地局が設置されている交差点において、路車間通信領の通信範囲が重なる場合に路車間通信同士の干渉が発生し、安全のための確実な通信が行えない問題がある。さらに、その他の領域で行われる車車間通信が評価されておらず、その性能が明らかにされていない。そして、路車間通信と車車間通信の干渉が準近傍領域とその他の領域の境界付近で発生するが、その影響についても明らかにされていない。

第3章

通信の切り替え方法と 空間的に隣り合う 交差点への対応

3.1. 3章のまえがき

本章では、マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式を実現するために必要である通信の切り替え方法と、空間的に隣り合う交差点の路車間通信の通信範囲が重なる場合における対応について述べる。

まず、路車間通信と車車間通信の切り替え方法について、マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の前提条件を踏まえて検討を行う。次に空間的に隣り合う交差点の路車間通信の通信範囲が重なる状況において、路車間通信同士の干渉を二つの異なる周波数帯域を用いて回避する方法について述べる。

3.2. 路車間通信と車車間通信の切り替え方法

車両は高精度な自車位置と基地局の位置を知ることができれば、車両自身が現在自車両が存在する領域を判断して通信の切り替えることが可能となる。2.1で述べたように車両は高精度な自車位置が取得可能であると仮定している。そのため、車両に路車間通信を行う基地局の位置情報が入っているデータベースなどが搭載されていると仮定する。この仮定は2.3で述べた従来 of 路側マーカを設置する仮定と比較して、切り替え用の特別なインフラを設置する必要がないためコストの面でより実現性の高い仮定であり、この仮定により2.3で述べた前提条件は不要となる。

3.3. 空間的に隣り合う交差点への対応 [28]

図3.1に示すように路車間通信の通信範囲が重なり干渉が発生する場合を考慮して、異なる二つの周波数帯域を用意する。全ての交差点は隣り合う交差点と異なる周波数帯域を用いて路車間通信を行う。このように二つの周波数帯域を交互に交差点に割り当てることで、路車間通信同士の干渉を回避することが可能となる。そのためマルチクラスゾーンITS情報通信方式の所用帯域幅は、一つの交差点に必要な周波数帯域幅の二倍の帯域幅である。また、車車間通信は路車間通信用に用意された周波数帯域を用いて通信を行うため、この二つの周波数帯域を両方用いて通信を行う。

基地局が設置されている交差点で行う路車間通信の周波数帯域は、基地局の位置情報と共にデータベースなどで車両に搭載されていると仮定する。

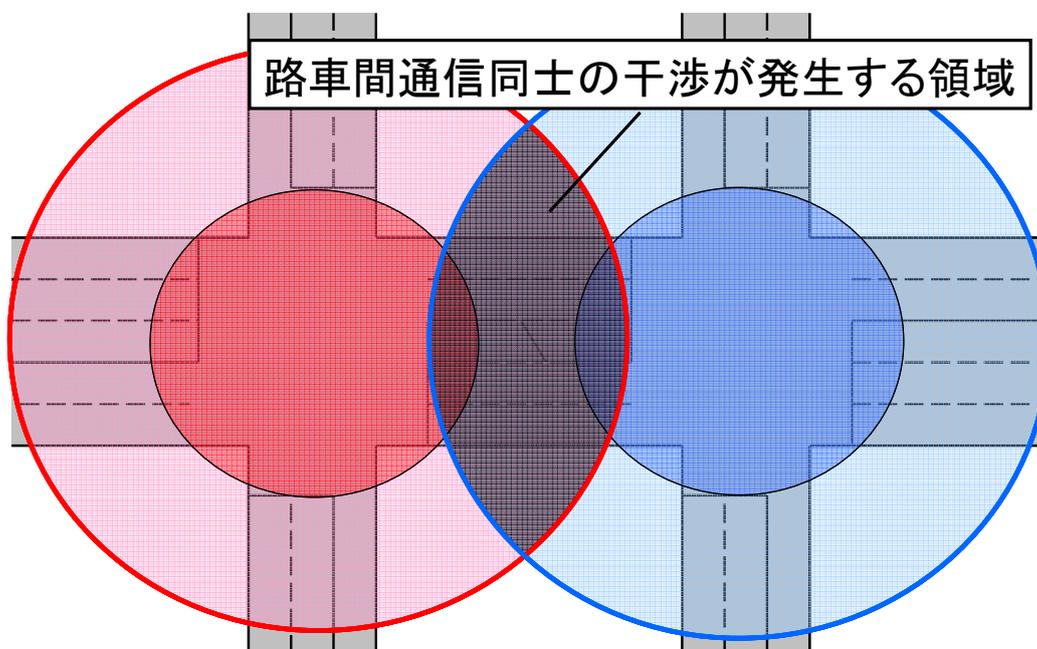


図 3.1 隣り合う交差点における路車間通信の通信範囲の重なり

3.4. 3章のまとめ

本章では、マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式における路車間通信と車車間通信の切り替え方法と、路車間通信同士の干渉を回避する方法について検討を行った。

車両が高精度な自車位置情報が取得でき、路車間通信を行う基地局の位置情報を持っているという仮定の下に、車両は自車位置と基地局の位置から基地局までの距離を算出することで、現在自車両が存在する領域を判断して通信の切り替えを行う方法を示した。また、空間的に隣り合う交点において路車間通信範囲が重なる場合を考慮して異なる二つの周波数帯域を用意し、隣接交差点で二つの周波数帯域を交互に利用することで対応可能であることを明らかにした。また、車車間通信は路車間通信用に用意された周波数帯域を用いて通信を行うため、二つの周波数帯域を両方用いて通信を行うことを示した。

次章では、車車間通信の基礎評価を行うため基地局が設置されていない交差点における車車間通信単独の性能評価を行う。

第4章

車車間通信の基礎評価

[28]

4.1. 4 章のまえがき

本章では、車車間通信の基礎評価として、都市部と郊外を想定した二つの環境において路車間通信を考慮しない車車間通信単独の性能評価をシミュレーションによって行う。

まず、評価用シミュレータについて述べ、次に評価指標として用いる完全成功パケット率と 1 送信パケット当たりの待機回数について述べる。さらに、評価を行う都市部と郊外の二つの環境を想定した交通環境などのシミュレーション諸元を示し、基地局の設置されていない交差点において定量的な評価を行う。評価結果から車車間通信単独の性能を明らかにする。

4.2. 評価用シミュレータ

本論文では、従来の通信を含むミクロスコピック街路シミュレータ[26]に車車間通信部を加え、評価シミュレータとして用いる。図4.1はシミュレータの交通流部を表示させた一例である。

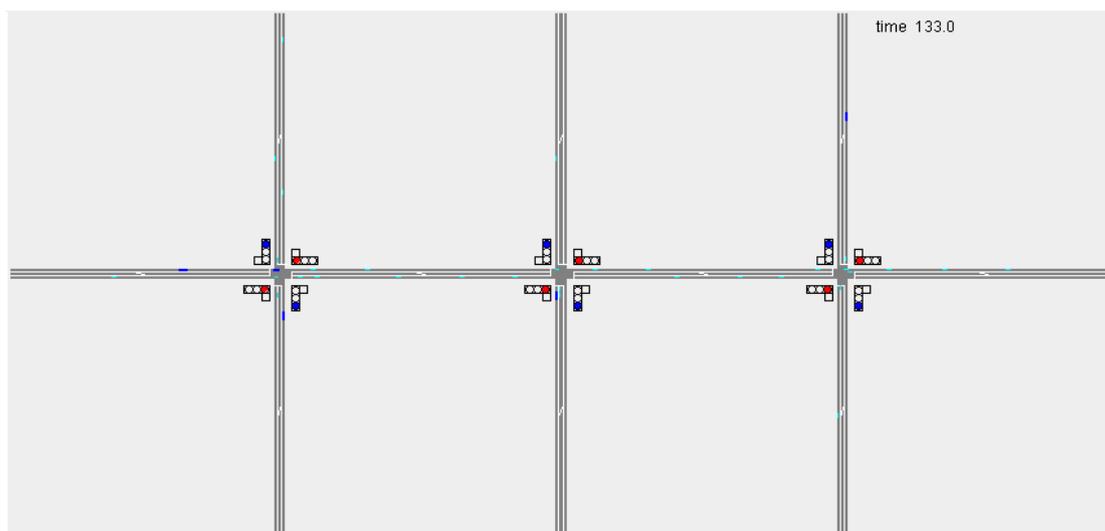


図 4.1 評価シミュレータの交通流部表示の一例

4.3. 評価指標

本論文では, MAC 層における通信の評価を行うため, 評価指標に完全成功パケット率[27]と 1 送信パケット当たりのキャリアセンス待機回数を用いる. 完全成功パケット率の定義は, 全送信パケット中通信範囲内の全ての車両が受信に成功したパケットの割合である. 完全成功パケット率は情報提示系・自動運転系[30]では 0.1s 間隔の通信に対して 90% が求められている. また, 1 送信パケット当たりのキャリアセンス待機回数の定義は 1 パケットが送信されるまでにキャリアセンスで待機した回数である. 連続で 5 回以上待機した場合は 0.1s 毎に生成されたパケットが送信されずに棄却されることを表す.

4.4. 基礎評価のシミュレーション諸元

表 4.1 に DOLPHIN[18]を基にした通信諸元を, 表 4.2 に車両諸元を示す. 車両の中心にアンテナがあるものとし, 通信範囲とキャリアセンス半径は車両の中心からの距離を表す. パケットは 0.1s 毎に生成され, キャリアセンスは平均 20ms で行う. 通信帯域幅は 3.3 で述べたように路車間通信の通信範囲が重なる場合を考慮して二つの帯域幅を用い, 1ch につき 1 交差点当たりの所用帯域幅である 13MHz[26]を用いる. 伝送速度は 1Hz あたり 1bps とする. 今回全ての車両は路車間通信・車車間通信共に可能な車載器を搭載しているものし, 精確な自車位置と路車間通信を行う交差点における基地局の位置がわかるものとする. さらに, MAC 層における通信の評価のみを行うため, シャドワーイングや電波減衰, 通信路の雑音等による通信の失敗は無視し, 通信失敗の原因はパケットの衝突のみとする.

表 4.1 基礎評価の通信諸元

通信範囲	100m	
通信周期	20ms	
パケット発生周期	0.1s	
正規化遅延	0.5	
通信帯域幅	CH1	13MHz
	CH2	13MHz
パケット(データ長)	70oct.(30oct.)	

表 4.2 車両諸元

車両長	4.5m
車両幅	1.7m

また、基地局を設置する必要性を示すための車車間通信の基礎評価として、今回都市部と郊外の二つの環境を想定し、基地局が設置されていない交差点における車車間通信単独の性能評価を行う。交差点数が 3 で図 4.2 に示すような、主道路両側 5 本、従道路両側 3 本で車両密度が 60Veh./km/lane の都市部を想定した環境と、図 4.3 に示すような主道路両側 3 本、従道路両側 3 本で車両密度が 20Veh./km/lane の郊外を想定した環境で評価を行う。そして中央の交差点の停止線から 250m の範囲内を評価エリアとする。

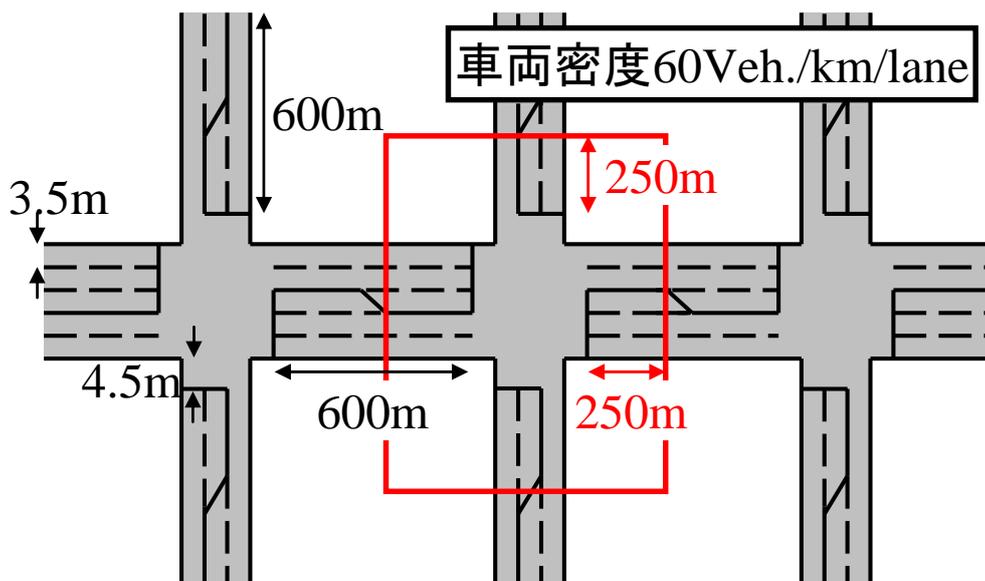


図 4.2 交差点数 3 の都市部を想定した環境

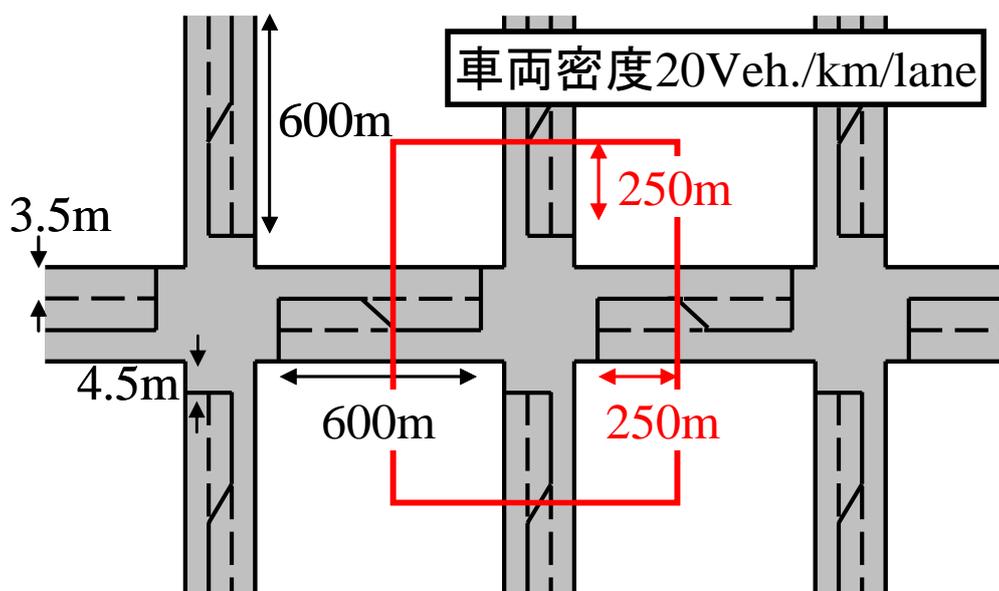


図 4.3 交差点数 3 の郊外を想定した環境

4.5. 基地局が設置されていない交差点における評価

隠れ端末問題の影響を評価するために、通信半径 100m に対してキャリアセンス半径を 1m, 50m, 100m, 150m, 200m に変化させて評価を行う。図 4.4 にキャリアセンス半径に対する完全成功パケット率を示す。キャリアセンス半径にかかわらず完全成功パケット率はほぼ変化しておらず、都市部と郊外どちらの場合も隠れ端末問題が原因となる受信失敗の割合は十分に小さい。また、郊外では完全成功パケット率が 97%を超えており、都市部では完全成功パケット率は 88%である。この結果から、今回想定した郊外のような車線数が少なく車両密度も小さい環境では完全成功パケット率が十分高いが、都市部のような車線数が多く車両密度も高い環境では不十分であることがわかる。1 送信当たりのキャリアセンス待機回数はキャリアセンス半径が 200m の場合でも都市部、郊外のどちらの場合も 5 回以上連続で待機したパケットはなく、全送信パケットのうち 1 回以上待機したパケットの割合は都市部を想定した環境で 6.0%、郊外を想定した交差点で 0.9%であった。

以上の結果から、今回想定した郊外のような環境では車車間通信のみでも十分に高い性能であるが、都市部のような環境では安全のための通信を行うために基地局を設置し路車間通信を行う必要がある。

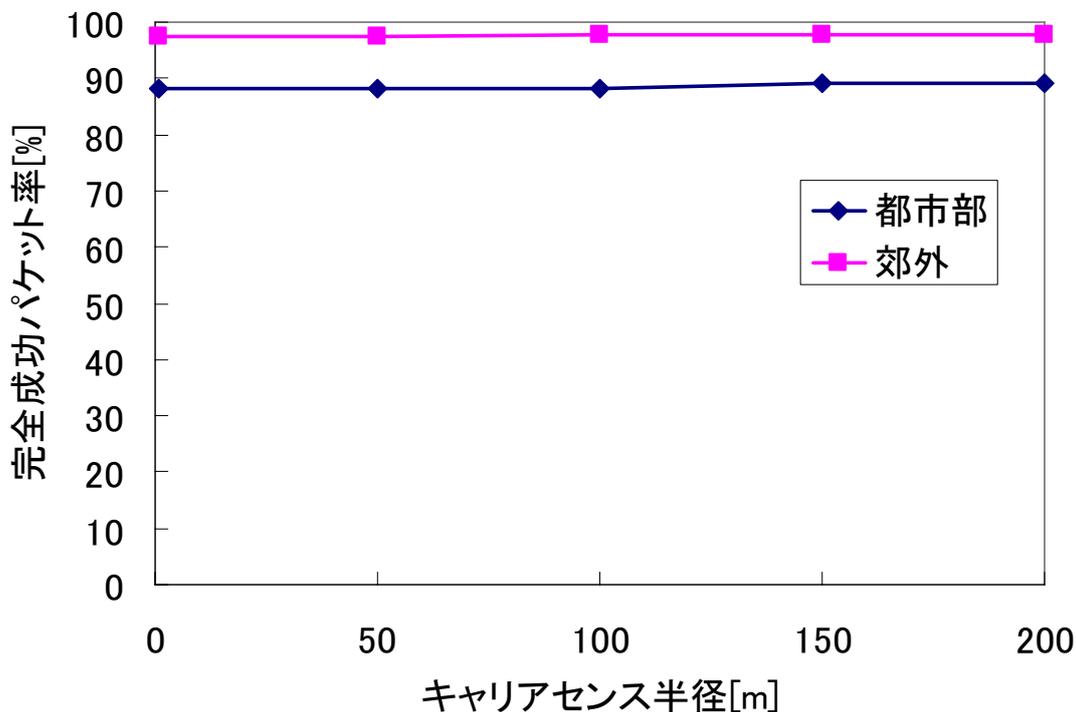


図 4.4 基地局が設置されていない交差点における
キャリアセンス半径に対する完全成功パケット率

4.6. 4 章のまとめ

本章では、基地局を設置する必要性を示すための車車間通信の基礎評価として、都市部と郊外を想定した二つの環境において、基地局が設置されていない交差点における車車間通信単独の定量的な性能評価を行った。どちらの環境においても棄却されたパケットは存在せず、郊外では完全成功パケット率 97% に対して、都市部では完全成功パケット率 88% であった。これらの結果より、郊外を想定した環境のように車線数が少なく車両密度も小さい場合には車車間通信のみでも十分に高い性能であり、都市部を想定した環境のように車線数が多く車両密度が高い場合には安全のための通信を行うために、基地局が必要であることを示した。

本章では車車間通信単独の性能評価を行い、交差点に基地局を設置する必要性を示した。しかし、基地局が設置されている交差点の路車間通信と車車間通信の境界付近では、路車間通信と車車間通信の干渉が発生する。次章ではこの干渉の影響について定量的な評価を行う。

第5章

路車間通信と車車間通信の 相互干渉の評価[29]

5.1. 5 章のまえがき

基地局が設置されている交差点の準近傍領域とその他の領域の境界付近において、路車間通信と車車間通信は互いに干渉する。そこで本章では、路車間通信と車車間通信の相互干渉の影響を評価する。まず、路車間通信が車車間通信干渉を受ける状況と車車間通信が路車間通信から受ける状況について述べる。次に、評価指標として 4.3 で述べた完全成功パケット率と 1 送信パケット当たりの待機回数に加え、1 秒 1 台当たりの通信成功回数について述べる。さらにシミュレーション諸元を示し、路車間通信が車車間通信から受ける干渉の影響と、車車間通信が路車間通信から受ける干渉の影響についてそれぞれ評価を行う。

5.2. 干渉が発生する状況

準近傍領域にいる車両のうち、その他の領域の境界から車車間通信の通信範囲内にいる車両は、車車間通信から干渉を受ける。図 5.1 に、路車間通信を行っている車両が車車間通信から干渉を受ける状況を示す。準近傍領域の車両が基地局からの Down-Link を受信中に、その他の領域の車両が車車間通信の送信を行うと Down-Link のパケットと衝突する。これは車車間通信を行っている車両は基地局からの Down-Link をキャリアセンスできないためである。このように路車間通信は車車間通信から干渉を受ける。

一方、その他の領域にいる車両のうち、準近傍領域との境界から路車間通信の通信範囲内にいる車両は、路車間通信から干渉を受ける。図 5.2 に、車車間通信を行っている車両が路車間通信から干渉を受ける状況を示す。路車間通信を行う交差点付近において、その他の領域で車車間通信を行っている車両が車車間通信の受信中に、路車間通信を行っている車両が Up-Link を行うと車車間通信のパケットと衝突する。これは路車間通信を行っている車両はキャリアセンスを行わないためである。また、その他の領域で車車間通信を行っている車両が路車間通信の Up-Link をキャリアセンスすると、送信を行わず待機する。これは車車間通信が路車間通信用に用意された帯域を利用して通信を行っているためである。このように車車間通信は路車間通信から干渉を受ける。

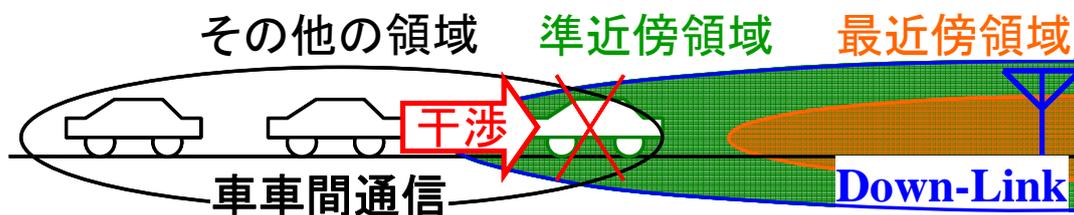


図 5.1 路車間通信が車車間通信から干渉を受ける状況



図 5.2 車車間通信が路車間通信から干渉を受ける状況

5.3. 評価指標

路車間通信が車車間通信から受ける干渉の影響を評価するために、1 秒 1 台当たりの通信成功回数を評価指標として用いる。これは準近傍領域の通信要件の一つに、各車両が 1s に 1 回以上通信が成功することがあるためである。また、車車間通信が路車間通信から受ける干渉の影響を評価するために、4.3 で定義した完全成功パケット率と 1 送信パケット当たりのキャリアセンス待機回数を評価指標として用いる。

5.4. 干渉を評価するシミュレーション諸元

4.4の通信諸元に[26]の路車間通信を含めた通信諸元を表5.1に示す。車両諸元は表4.2の諸元を用いる。都市部を想定した環境を図5.3に、郊外を想定した環境を図5.4に示す。車車間通信が二つの帯域の両方で路車間通信から干渉を受ける状況の評価するために交差点数を4として、中央二つの交差点に基地局を設置している。路車間通信が車車間通信から受ける干渉を評価するために、中央二つの交差点においてその他の領域から100m以内の準近傍領域を、車車間通信が路車間通信から受ける干渉を評価するために二つの路車間通信を行う交差点に挟まれたリンクの中央100mを、評価エリアとしている。

表5.1 干渉評価の通信諸元

通信範囲	車車間通信	100m
	路車間通信	250m
通信周期	TDMA方式 CSMA方式	20ms
	Slotted-ALOHA方式	0.1s
パケット発生周期	CSMA方式 Slotted-ALOHA方式	0.1s
	TDMA方式	20ms
	正規化遅延	0.5
通信帯域幅	CH1	13MHz
	CH2	13MHz
パケット(データ長)		70oct.(30oct.)

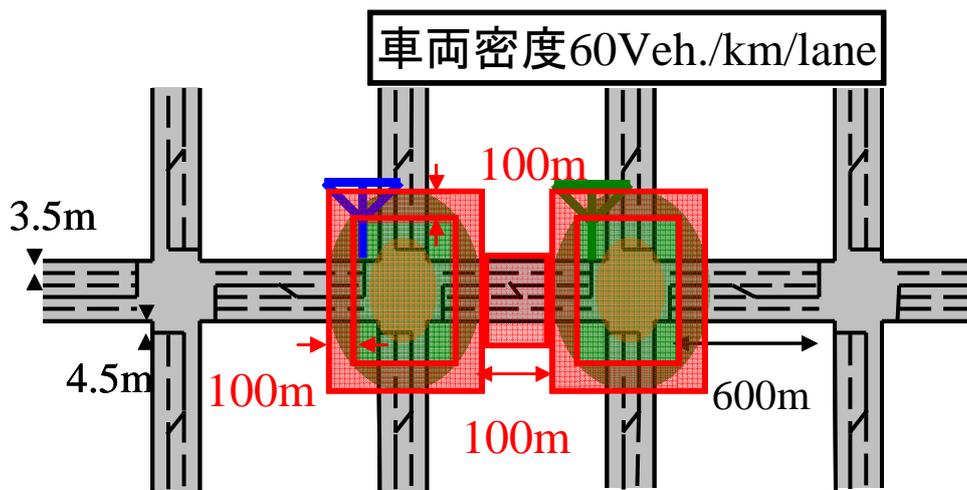


図 5.3 交差点数4の都市部を想定した環境

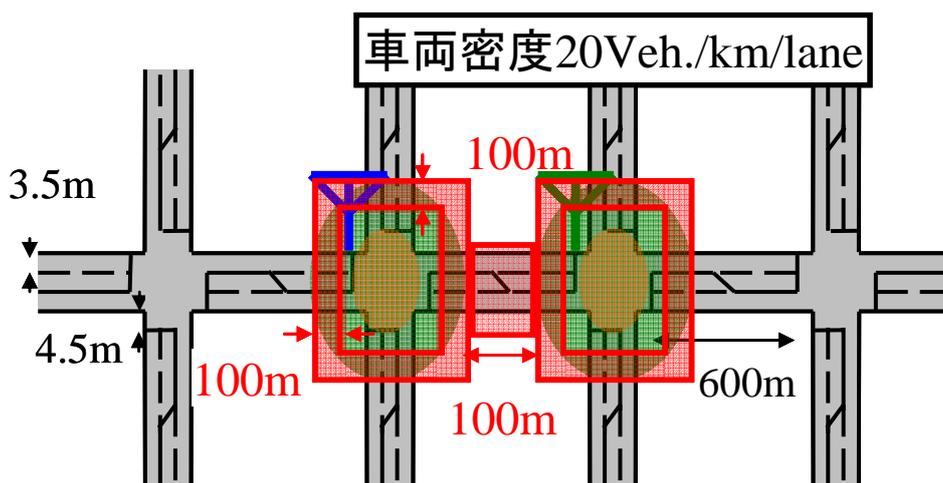


図 5.4 交差点数4の郊外を想定した環境

5.5. 相互干渉の評価

まず、路車間通信が車車間通信から受ける干渉の影響を評価する。図 5.5 に、車車間通信から影響を受ける準近傍領域の車両を対象とした 1 秒 1 台当たりの通信成功回数の度数分布を示す。都市部、郊外どちらを想定した場合の結果でも、車車間通信から影響を受ける準近傍領域の全ての車両が 1s 当たり 1 回以上通信が成功していることがわかる。また、全ての Down-Link パケットに対して、車車間通信から受けた干渉が原因で Down-Link の受信に失敗したパケットの割合は 0.01% 以下である。車車間通信の干渉による Down-Link の受信失敗が少ないのは、準近傍領域に近づくほど車車間通信は路車間通信をキャリアセンスして送信せずに待機することが多く発生するからである。これらの結果から、路車間通信が車車間通信から受ける干渉の影響は十分に小さいことがわかる。

次に、車車間通信が路車間通信から受ける干渉の影響を評価する。図 5.6 に都市部を想定した環境におけるキャリアセンス半径に対する完全成功パケット率を、図 5.7 に郊外を想定した環境におけるキャリアセンス半径に対する完全成功パケット率をそれぞれ示す。都市部を想定した環境では 86% で干渉を受けない場合より 2% の低下、郊外を想定した環境では 97% で性能の低下が見られず、都市部、郊外共に干渉を受けない場合とほぼ同等の性能である。また、1 送信パケットあたりのキャリアセンス待機回数は、キャリアセンス半径が 200m の場合でも 5 回以上連続待機したパケットはなく車車間通信が送信するパケットの総数は変化していない。さらに、都市部を想定した環境では 1 回以上待機してから送信したパケットの割合が 7.2% で干渉を受けない場合より 1.2% 増加しており、郊外を想定した環境では 1.3% で干渉を受けない場合より 0.4% 増加している。これは、路車間通信の通信範囲が車車間通信より広いため、Up-Link をキャリアセンスして待機する割合は増加するが、生成されたパケットが棄却される程影響がなかったことを示している。これら二つの結果より、車車間通信が路車間通信から受ける干渉の影響は十分に小さいことがわかる。

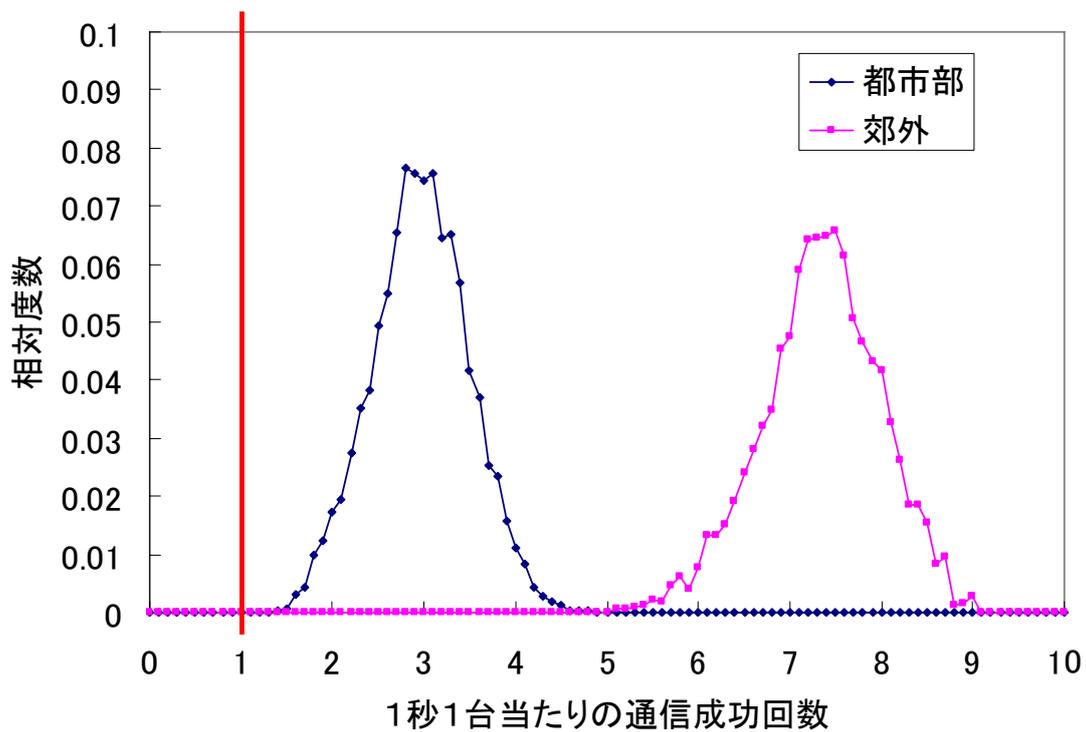


図 5.5 1 秒 1 台当たりの通信成功回数の度数分布

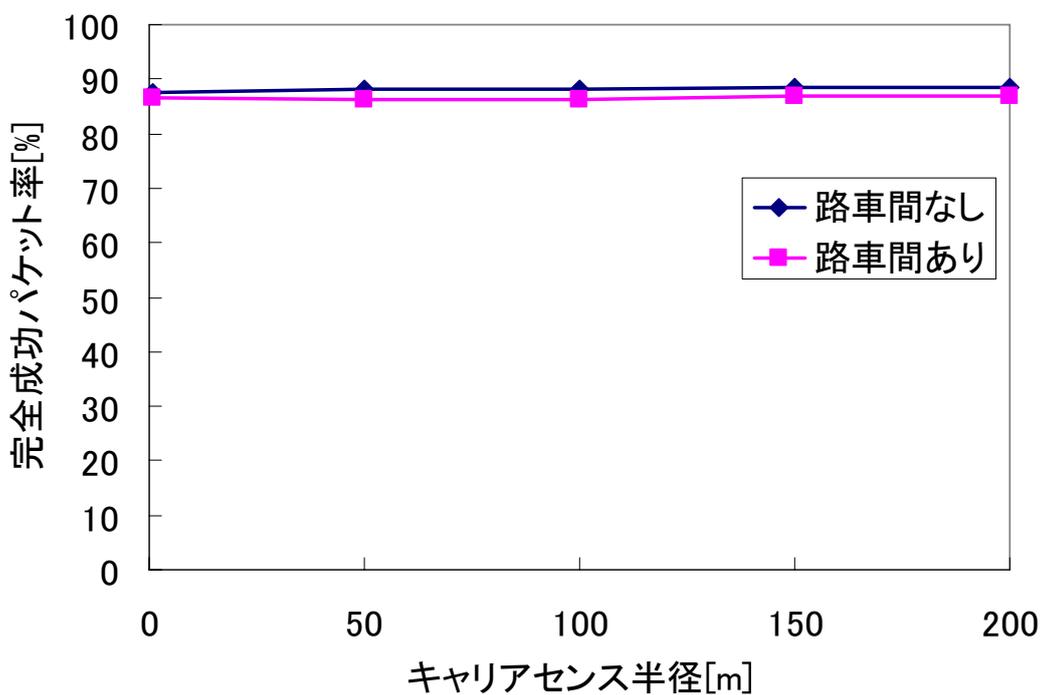


図 5.6 都市部を想定した環境におけるキャリアセンス半径に対する完全成功パケット率

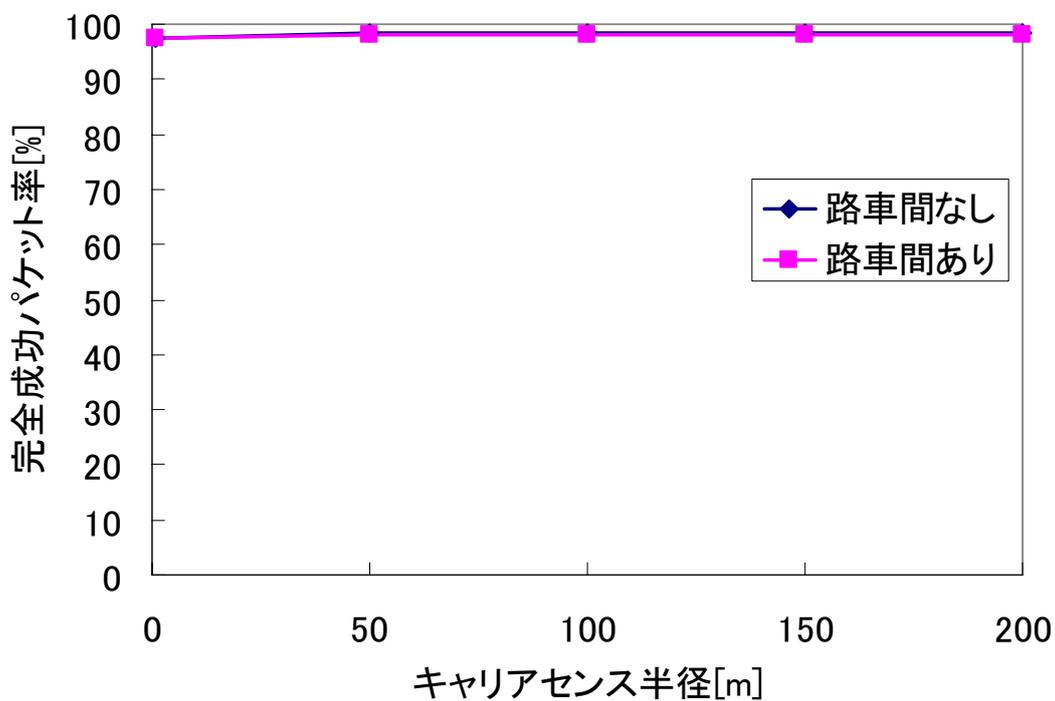


図 5.7 郊外を想定した環境におけるキャリアセンス半径に対する完全成功パケット率

5.6. 5 章のまとめ

本章では、マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式における路車間通信と車車間通信の相互干渉が発生する状況を示し、通信の相互干渉の影響について評価を行った。

路車間通信が車車間通信から受ける干渉の評価では、車車間通信から干渉を受けても路車間通信の通信要件を満たしていること示し、車車間通信が路車間通信から受ける干渉の評価では、送信時に待機するパケットの割合が増えているものの、完全成功パケット率は干渉を受けない場合とほぼ同等の結果となり、送信するパケット総数は変わらないことを示した。

これら二つの結果より、路車間通信と車車間通信の相互干渉の影響は十分に小さいことを明らかにした。

第6章 結論

本論文では、マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の路車間通信と車車間通信の切り替え方法を検討し、空間的に隣り合う交差点の通信範囲が重なる場合についての対応を行った。また、車車間通信の基礎評価として、基地局が設置されていない交差点において都市部、郊外の二つの環境を想定し車車間通信単独の性能評価を行った。さらに路車間通信と車車間通信の相互干渉の影響について定量的な評価を行った。

まず、路車間通信と車車間通信の切り替え方法として、車両は自車両位置と基地局の位置から距離を算出し、現在自車両が存在する領域を判断し、その領域で行うべき通信に切り替える方法を示した。次に、空間的に隣り合う交差点の路車間通信の通信範囲が重なる場合を考慮して異なる二つ周波数帯域帯を用意し、隣り合う交差点で互いに異なる周波数帯域を用いることで路車間通信同士の干渉を回避する方法を示した。この方法により連続して路車間通信の通信範囲が重なる場合においても、交互に異なる周波数帯域を用いることで対応可能である。

そして、基地局を設置する必要性を示すための車車間通信の基礎評価として、基地局が設置されていない交差点において都市部と郊外の二つの環境を想定し、車車間通信単独の性能評価を行った。郊外を想定した環境のように車線数が少なく車両密度が小さい場合は、完全成功パケット率 97% で生成したパケットが棄却されておらず十分に高い性能であるが、都市部を想定した環境のように車線数が多く車両密度が大きい場合は、生成したパケットは棄却されていないものの完全成功パケット率は 88% となり基地局を設置し路車間通信を行う必要があることを示した。

さらに、路車間通信と車車間通信の相互干渉の影響について、都市部と郊外の二つの環境を想定し定量的な評価を行った。まず、路車間通信が車車間通信から受ける干渉の評価を行い、1 秒 1 台当たりの通信成功回数は全て 1 回以上であることを示した。また、車車間通信が路車間通信から受ける干渉の評価において、完全成功パケット率は都市部では 86% で干渉を受けない場合より 2% 低下しており、郊外では 97% で干渉を受けない場合とほぼ同等の性能であった。どちらの場合も棄却されたパケットは存在しなかった。これらの結果より干渉を受けない場合とほぼ同等であることを示した。それぞれの干渉の評価結果より路車間通信と車車間通信の相互干渉の影響は十分小さいことを明らかにした。

以上、マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式の車車間通信に関する重要な知見を得ている。

今後の課題として、交差点に基地局を設置する条件の詳細な検討、シャドウイングや電波伝搬を含めた性能評価、安全運転支援アプリケーションへの適用方法の検討を行う必要がある。

謝辞

本研究にあたり，終始御指導，御鞭撻を賜りました長谷川孝明教授に深謝します．また有益な御助言をいただいた金帝演助教，本研究室大学院生，学部生並びに OB の方々に深謝致します．

参考文献

- [1] 長谷川孝明, "ITS とシステム創成に関する一考察," 電子情報通信学会技術研究報告, ITS2002-120, pp.13-17, 2003.
- [2] 国土交通省, "平成 21 年度交通安全白書," 2009.
- [3] 水井潔, 長谷川孝明, 永長知孝, 加藤晋, 高橋常夫, 堀松哲夫, 関馨, 藤井治樹, "ITS 通信コンセプトリファレンスモデルに関する検討 - 車両情報共有の観点から -," 電子情報通信学会技術研究報告, ITS2006-6, pp.29-34, 2006.
- [4] 伊川雅彦, 後藤幸夫, 熊澤宏之, 津田喜秋, "DSRC の多目的利用を実現する路車間通信の環境に適した通信プロトコルの設計と実装," 電子情報通信学会論文誌 A, vol.J88-A, no.2, pp.218-227, 2005.
- [5] ARIB STD-T75, 境域通信(DSRC)システム, 電波産業界, Dec. 2007.
- [6] S. Tabbane, and P. Godlewski, "Performance evaluation of the R-BTMA protocol in a distributed mobile radio network context," IEEE Trans. Veh. Technol., vol.41, no.1, pp.24-34, Feb. 1992.
- [7] 和田脩平, 萬代雅希, 渡辺尚, "車群ネットワークを利用した高信頼性 MAC プロトコルについて," 情報処理学会研究報告, 2005.07, pp29-36, 2005.
- [8] 田代裕和, 土橋健太郎, 高橋健志, 浅谷耕一, 富永英義, "車車間通信における非持続型 CSMA プロトコルの提案," 電子情報通信学会技術研究報告, MoMuC2005-8, pp. 43-46, 2005.
- [9] 小林晋尚, 永長知孝, 森香澄夫, 小林英雄, "車両位置により発信タイミングを制御する改良型 CSMA 車々間通信方式," 電子情報通信学会技術研究報告, ITS2003-3, pp. 11-16, 2003.
- [10] 屋代智之, 松下温, "車車間通信を用いた車両ネットワークの構築に関する提案," 電子情報通信学会論文誌 B, vol.J82-B, no.1, pp. 9-18, Jan. 1999.
- [11] "車車間走行データ伝達技術の隊列走行制御システムへの応用に関するフィージビリティスタディ報告書," 機械システム振興協会, March. 2001.
- [12] 茂木信二, テープウィロージャナポンニワット, 堀内浩規, "車々間通信のためのパケット中継制御方式の提案," 電子情報通信学会論文誌 A, vol.J91-A, no.1, pp. 95-104 Jan. 1999.
- [13] 吉田成志, 新井国充, 浅見重幸, 三木哲也, "車両アドホックネットワーク向けルーチング方式の提案," 電子情報通信学会論文誌 B, Vol.J-88-B, no.8, pp. 1434-1443, Aug. 2005.
- [14] 水井潔, 内田雅敏, 中川正雄, "スペクトル拡散方式を用いた車両間通信・測距統合システム," 電子情報通信学会論文誌 B, vol.78-B-II, no.5, pp. 342-349, May 1995.
- [15] 伊藤健二, 伊藤修朗, 三田勝史, 唐沢好男, "見通し外交差点伝搬環境における MIMO-STBC 車車間通信方式 - 高速移動時における符号間干渉問題とその対策 -," 電子情報

- 通信学会技術研究報告, AP2005-108, Oct. 2005.
- [16] 大谷史郎, 秋月治, 六浦光一, 半田志郎, 大下眞二郎, "交差点における交通制御を目的とした ITS の検討," 電子情報通信学会技術研究報告, ITS2002-31, Nov. 2002.
- [17] 鈴木秀格, 村田英一, 荒木純道, "出会い頭衝突事故防止のための位置情報を利用した車車間通信方式に関する検討," 電子情報通信学会技術研究報告, ITS2005-40, pp. 7-12, Dec. 2005.
- [18] S. Tsugawa, S.Kato, K. Tokuda, T.Matsui, H. Fujii, "An Overview on Demo 2000 Cooperative Driving," Proc. of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2001, pp.327-332, 2001.
- [19] G. Korkmaz, E. Ekici, F.Ozguner, "Black-Burst-Based multihop broadcast protocols for vehicular networks," IEEE Trans. Veh. Technol., Vol.56, no.5, Sep. 2007.
- [20] D. Jiang, V. Taliwal, A. Meier, and W. Holfelder, "Design of 5.9GHz DSRC-based Vehicular Safety Communication," IEEE Wireless Communications, Vol. 13, no. 5, pp. 36-43, Oct. 2006.
- [21] M. M. Artimy, W. Robertson, W.J. Phillips, "Minimum Transmission Range in Vehicular Ad Hoc Network over Uninterrupted Highways," Intelligent Transportation Systems Conference, ITSC '06. 2006.
- [22] 屋代智之, 松下温, "路車間・車々間通信統合 MAC プロトコル: I-WarpII," 情報処理学会論文誌 Vol.42 No.7, pp.1781-1789, 2001.
- [23] 台蔵浩之, 渡辺尚, 岩橋努, "車車間通信と路車間通信を統合する MAC プロトコルの評価について," 情報処理学会研究会報告, 2004.03, pp.27-33, 2003.
- [24] K. FUJIMURA, T. HASEGAWA, "VRCP: A MAC Protocol for Integrated Inter-Vehicle and Road to Vehicle Communications," International Journal of ITS Research, Vol.3 No.1, pp.39-47, 2005.
- [25] Fan Yu, and Subir Biswas, "Impacts of Radio Access Protocols on the Performance of DSRC based ITS Applications," Telecommunications, ITST '07. 7th International Conference on ITS. 2007.
- [26] K. KURAMOTO, K. FUJIMURA, T. HASEGAWA, "The Multi-Class Zone ITS Communication Scheme for Real-Time Communications in Intersections," Proc. 10th IEEE Conf. on ITSC, Seattle, USA, pp. 431-435, 2007.
- [27] 萩藤裕一, 長谷川孝明, "マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式におけるマルチホップ通信の導入" 電子情報通信学会技術研究報告, ITS2008-56, pp.127-132, Feb. 2009.
- [28] 石其俊明, 長谷川孝明, 倉本圭太, "マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式における車車間通信の一検討," 電子情報通信学会研究報告, ITS2008-10, pp.13-18, 2008.
- [29] 石其俊明, 長谷川孝明, "マルチクラスゾーン ITS 情報通信方式における干渉の評価," 電子情報通信学会研究報告, (印刷待ち).
- [30] 金光寛幸, "ASV 情報交換型運転支援システムシステムコンセプトと技術的検討," 電子情報通信学会技術研究報告, ITS2005-40, Dec. 2005.