

信頼性とスループットを向上させる 交通情報配信プロトコルの組み合わせの検討

2017SE061 大地陽斗 2017SE067 佐口拓実 2017SE071 清水良

指導教員：沢田篤史

1 はじめに

緊急車両出動件数が増加している近年において、緊急車両経路情報をリアルタイムかつ正確に配信することの重要性が高まっている。緊急車両の走行を支援するために現場急行支援システム (FAST: Fast Emergency Preemption System) [1] が用いられている。このシステムでは、緊急車両を優先的に走行させるための信号制御等を行っている。一方で、緊急車両の接近や経路を一般車両へ直接通知をしていないので、緊急車両の現場急行を十分に支援しているとは言えない。車車間通信を用いてリアルタイムかつ正確に経路情報の配信を可能にすることで、さらに緊急車両の走行支援が期待できる。

既存の車車間通信プロトコルでは信頼性を十分に考慮しておらず、緊急車両の経路情報を配信するのには適していないものが多い。車車間通信を行うアプリケーションにはリアルタイム性が求められるので、UDP (User Datagram Protocol) をはじめとするコネクションレス型の通信プロトコルで情報配信を行っている。それらは信頼性が保証されていないので、緊急車両の情報配信に適した信頼性を確保した通信を提供しなくてはならない。

本研究の目的は緊急車両経路情報を伝播するための信頼性を考慮した車車間通信方法の提案である。リアルタイムかつ正確に情報配信を行うには、既存の車車間通信プロトコルの信頼性を確保する必要がある。それに基づき車車間通信方法の提案を行い、通信方法の妥当性を評価する。また、使用したプロトコル RMDP のパラメータを変化させたときの影響について調査した。

信頼性を考慮する車車間通信方法の提案にあたり、既存のプロトコルを組み合わせる手法をとる。本研究では、現実的な交通を十分に想定したモバイルアドホック通信プロトコルに高信頼性マルチキャストプロトコルを組み合わせ、信頼性を考慮した車車間通信方法を提案する。

2 車車間通信における

信頼性とスループット向上に関する課題

2.1 車車間通信の通信要件

緊急車両の車車間通信に、求められる通信要件が総務省から提示されている [2]。安全運転支援無線システムを想定したものは、79.7 m から最大 300 m 程度の通信距離が求められている。また、信頼性においては車両が 10 m 走行する間に累積したパケット到着率が 95% 以上となることが求められる。通信相手数は、交通量やアプリケーションの必要性に応じて最大 500 台程度に対応できるこ

とが求められている。遅延時間は、出来る限り小さくすることが求められている。車両速度については、車両が時速 70 km/h ですれ違うことを想定することが求められている。

2.2 既存の車車間通信プロトコル

既存の車車間通信のほとんどは UDP 上で実現されているので、信頼性を何らかの方法で確保しなくてはならない。UDP 上の通信では、CSMA/CA 等で信頼性を確保することが一般的である。これらは無通信時間を送信前に設定することでパケット衝突を回避するものである。しかし、車両密度が高い場合や通信頻度が高い場合、通信の確認に要する時間が増加する傾向にある [3]。したがって、緊急車両の車車間通信には適していない。

既存の車車間通信プロトコルでは 2.1 節の通信要件を満たす車車間通信を実現することが難しいので、新たに信頼性を考慮した車車間通信方法を提案する必要がある。

3 信頼性を考慮した車車間通信方法の設計

3.1 車車間通信方法の設計方針

本研究では、信頼性を考慮する車車間通信方法の提案にあたり、既存の車車間通信プロトコルに信頼性を確保するために用いられているプロトコルを組み合わせ 1 つの通信方法を定義する手法をとる。2.2 節で述べたように既存の車車間通信プロトコルは十分に信頼性を確保する手続きがないので、車車間通信プロトコルを十分に信頼性を考慮するように改良する必要がある。信頼性を考慮した車車間通信方法の提案にあたり、組み合わせたプロトコルは車車間通信プロトコルと信頼性を確保するプロトコルである。車車間通信プロトコルは情報散布感覚を変更させることで効率的な情報配信を可能にするプロトコルであり、SDRP, RMDP, CRCP を使用する。信頼性を確保するプロトコルは再送制御、フロー制御を行うことで信頼性を確保するプロトコルであり、AFDP, RMTP, SRM を使用する。これらを組み合わせることで複数の信頼性を考慮した車車間通信方法を提案し、適切な場面で切り替えていくことによって、より効率的に信頼性を考慮した車車間通信を可能にできると考える。

3.2 組み合わせの対象としたプロトコル

実験で使用した SDRP と RMDP について説明する。

1) SDRP [4]

SDRP は、速度に依存して散布間隔の範囲を決定し、決められた範囲内で散布間隔をランダムに変更するプロトコ

ルである．走行する車両の速度 v に応じたデータの散布間隔の上限値 $max(v)$ と下限値 $min(v)$ をあらかじめ定め、 $[min(v), max(v)]$ のランダムな時間間隔でデータの散布を行う．

本研究では先行研究 [4] より、高速時 (30 km/h 以上) の $max(v) = 1$ 、低速時 (30 km/h 未満) の $max(v) = 2$ とし、 $min(v) = max(v)/2$ とする．

2) RMDP [5]

RMDP は、情報散布間隔を過去の一定期間に受信したメッセージ数によって変更させるプロトコルである．情報散布間隔 T を過去の一定期間 t に受信したメッセージ数 γ の関数 $F(\gamma)$ として決定する．RMDP で使用されている関数 $F(\gamma)$ を式 (1) に示す．

$$T = F(\gamma) = \frac{\alpha}{1 - \beta \cdot \gamma} \quad (1)$$

塚本らは [4] の実験により、 $t = 30sec$ 、 $\alpha = 0.14$ 、 $\beta = 0.06$ とすることで受信データ量を最大にすることができる． γ は 30 秒間に受信したメッセージ数とする．

RMDP は情報散布間隔を一定期間に受信したメッセージ数に応じて決定することにより、パケット衝突率を減らすことが可能である．しかし、受信データ数がある一定以上になるとパケット衝突を防ぐために情報散布を中止してしまう．

3.3 信頼性とスループットを向上させる通信方法

我々は、3.1 節で挙げた 2 つの目的を持つそれぞれ 3 種類のプロトコルを組み合わせ、合計で 9 つの車車間通信プロトコルを検討した．信頼性を考慮した車車間通信方法の提案において、使用するプロトコルの特徴を表 1 まとめる．

表 1 車車間通信方法と使用され得る状況

使用したプロトコル	想定される状況
SDRP	AFDP 多少のパケット衝突が許され、エラー発生場所が受信者付近の場合
	RMTP 多少のパケット衝突が許され、受信者がとても多い場合
	SRM 多少のパケット衝突が許され、エラー発生場所が送信者付近の場合
RMDP	AFDP エラー発生場所が受信者付近であり、パケット衝突をどうしても抑えたい場合
	RMTP 受信者がとても多く、パケット衝突をどうしても抑えたい場合
	SRM エラー発生場所が送信者付近であり、パケット衝突をどうしても抑えたい場合
CRCP	AFDP 車両密度が低く、エラー発生場所が受信者付近の場合
	RMTP 車両密度が低く、受信者がとても多い場合
	SRM 車両密度が低く、エラー発生場所が送信者付近の場合

緊急車両の経路情報が特に必要である状況は、渋滞時であると考えられる．車両密度が高い場合は表から SDRP、RMDP と高信頼性マルチキャストプロトコルを組み合わせた車車間通信方法を用いるのが良いと考える．本研究で

は実際に想定される状況下で各通信方法がどの場面で有効であるかを検討する．

4 シミュレーションによる妥当性の評価

4.1 プロトコルの組み合わせと切り替えの効果について

4.1.1 シミュレーションの目的、方法

事前に設定したテストシナリオから算出した情報散布間隔に基づきシミュレーションを行う．言語は C++ で、ns-3[8] というネットワークシミュレータを用いた．本研究では、3.2 節で述べた車車間通信で用いる SDRP と RMDP の状況に応じた切り替えの有効性を検討する．シミュレーションでは車両速度と車両密度の変化によって SDRP と RMDP がもたらすスループットの大きさとパケット到着率で妥当性を評価する．車両密度を変化させてシミュレーションを行うために車両台数を固定し、車間距離を変化させる．

4.1.2 シミュレーションのシナリオ

本研究では、実際の交通で想定される主要道、一般道、住宅街、渋滞時の 4 種類の状況にそれぞれ車両密度の大、中、小の 3 種類の状況を想定し、実際の交通状況に沿ったシナリオを作成した．車両密度の設定は、車間距離を変化させることで実際の交通状況に近いものにした．シミュレーションに用いるテストシナリオを表 2 に示す．

表 2 テストシナリオ

simNo.	時間	速度	最低車間距離	車間距離	車両台数	現実で想定される状況
sim1	30.8sec.	70km/h	70m	70m	6台	主要道 (通常時)
sim2				90m		主要道 (微閉散時)
sim3				130m		主要道 (閉散時)
sim4	43.2sec.	50km/h	35m	35m		一般道 (車両:多)
sim5				50m		一般道 (車両:中)
sim6				70m		一般道 (車両:少)
sim7	72.0sec.	30km/h	15m	15m		住宅街 (車両:多)
sim8				30m		住宅街 (車両:中)
sim9				50m		住宅街 (車両:少)
sim10	108.0sec.	20km/h	10m	10m		渋滞時
sim11				20m		悪路・山道 (車両:中)
sim12				30m		悪路・山道 (車両:少)

速度は主要道、一般道、住宅街、渋滞時を想定し、それぞれ 70 km/h、50 km/h、30 km/h、20 km/h とした．

車間距離は実際の交通において安全に走行できる車間距離を下限值とし、残りの値は実際の交通状況を想定して間隔を空けて決定した．送信車両と受信車両の間隔が 600 m を開始位置とする．シミュレーションを開始すると送信車両と受信車両が対向する方向に設定した速度で近づいていく．再び受信車両と送信車両の間隔が 600 m となったときに計測を終了する．この間のスループット、パケット到着率を計測する．計測時間は速度に基づいて異なったものになっている．車両台数は簡略化のために送信車両、受信車両それぞれの前後に中継車両を 1 台ずつ配置し、全体として送信車両を 1 台、受信車両を 1 台、中継車両を 4 台の

合計車両台数を 6 台と設定した。

4.1.3 シミュレーションの結果

SDRP, RMDP をそれぞれ 12 種類のシナリオでスループットとパケット到着率を観測することで評価を行った。実行結果を表 3 に示す。表 3 から SDRP のパケット到

表 3 シミュレーション結果

simNo.	SDRP				RMDP			
	Received	Sent	Rate(%)	TH(kbps)	Received	Sent	Rate(%)	TH(kbps)
sim1	21	42	50.0	54.5	58	121	47.9	150.6
sim2	21	42	50.0	54.5	58	121	47.9	150.6
sim3	30	42	71.4	77.9	46	95	48.4	119.5
sim4	30	58	51.7	55.6	42	157	26.8	77.8
sim5	30	58	51.7	55.6	49	157	31.2	90.7
sim6	31	58	53.4	57.4	58	152	38.2	107.4
sim7	44	95	46.3	48.9	55	298	18.5	61.1
sim8	44	95	46.3	48.9	107	308	34.7	118.9
sim9	46	95	48.4	51.1	67	278	24.1	74.4
sim10	69	143	48.3	51.1	125	485	25.8	92.6
sim11	69	143	48.3	51.1	125	485	25.8	92.6
sim12	70	143	49.0	51.9	132	485	27.2	97.8

着率はほとんどの状況で 50% 前後となっている。平均スループットは、状況によってあまり変化が見られなかった。また、同速度域である sim1, 2, 3 を比較すると中継車両との車間距離の大きい sim3 がパケット到着率、平均スループットが大きくなっている。同様にそれぞれの速度域で中継車両との車間距離の大きい sim6, 9, 12 も同速度域の結果よりもパケット到着率、平均スループットが大きくなっている。このことから SDRP は同速度域の場合、中継車両との車間距離が大きい方がパケット到着率、平均スループットが大きくなる傾向がある。

RMDP は、車両速度が 70 km/h である sim1, 2, 3 は速度が 70 km/h 未満のシミュレーション結果と比較するとパケット到着率、平均スループットともに大きい傾向がある。

全体を比較するとパケット到着率は全てのシナリオにおいて SDRP のほうが大きくなっている。しかし、平均スループットは RMDP を用いたほうが大きくなっている。

4.2 RMDP のパラメータについて

4.2.1 シミュレーションの目的, 方法

RMDP の定数 α, β の増減が及ぼす影響を確認するために、 $\alpha = 0.14, \beta = 0.06$ を基準として実験を行う。 α, β ともに ± 0.03 の値と基準値に変化させて実験を行った。実験は車両速度、車両密度がそれぞれ α, β の影響に違いがあるかを確認した。

4.2.2 シミュレーションの結果

結果を表 4, 表 5 に示す。

表 4, 表 5 より、どのシミュレーションシナリオも $\alpha = 0.11, \beta = 0.03$ のときが最もスループットが大きいという結果になった。また、パケット到着率は多くのシミュレ

表 4 車両密度による α, β の比較

定数		sim1		sim2		sim3	
α	β	TH(kbps)	Rate(%)	TH(kbps)	Rate(%)	TH(kbps)	Rate(%)
0.14	0.03	166.2	50.0	166.2	50.0	150.6	53.2
	0.06	150.6	47.9	150.6	47.9	119.5	48.4
	0.09	140.3	48.2	140.3	48.2	62.3	33.8
0.11		155.8	44.1	155.8	44.1	145.5	47.1
0.14	0.06	150.6	47.9	150.6	47.9	119.5	48.4
0.17		132.5	51.5	132.5	51.5	62.3	35.3
0.11	0.03	189.6	47.4	192.2	48.1	184.4	49.0
0.14	0.06	150.6	47.9	150.6	47.9	119.5	48.4
0.17	0.09	116.9	48.4	116.9	48.4	129.9	53.8
0.11	0.09	116.9	37.8	116.9	37.8	83.1	35.6
0.14	0.06	150.6	47.9	150.6	47.9	119.5	48.4
0.17	0.03	140.3	50.9	140.3	50.9	114.3	51.8

表 5 車両速度による α, β の比較

定数		sim1		sim4		sim7		sim10	
α	β	TH(kbps)	Rate(%)	TH(kbps)	Rate(%)	TH(kbps)	Rate(%)	TH(kbps)	Rate(%)
0.14	0.03	166.2	50.0	87.0	29.2	108.9	28.6	107.4	28.8
	0.06	150.6	47.9	77.8	26.8	61.1	18.5	92.6	25.8
	0.09	140.3	48.2	66.7	25.0	57.8	19.8	66.7	20.4
0.11		155.8	44.1	77.8	23.1	108.9	23.8	93.3	22.4
0.14	0.06	150.6	47.9	77.8	26.8	61.1	18.5	92.6	25.8
0.17		132.5	51.5	75.9	31.5	76.7	26.8	80.0	27.7
0.11	0.03	189.6	47.4	138.9	32.9	125.6	25.4	131.9	27.8
0.14	0.06	150.6	47.9	77.8	26.8	61.1	18.5	92.6	25.8
0.17	0.09	116.9	48.4	59.3	26.9	50.0	18.8	60.7	22.4
0.11	0.09	116.9	37.8	37.0	12.8	73.3	17.9	93.3	22.4
0.14	0.06	150.6	47.9	77.8	26.8	61.1	18.5	92.6	25.8
0.17	0.03	140.3	50.9	83.3	31.7	92.2	28.7	103.0	31.8

ーションシナリオで $\alpha = 0.17, \beta = 0.03$ の時に最も大きいという結果になった。

5 考察

5.1 SDRP と RMDP の切り替えの有効性について

SDRP と RMDP の使用する状況を 3.3 節で記述したが、有効であると予想した状況とは異なるものになった。RMDP は式 (1) の α, β を道路状況に応じたものを定めなければならない。本研究のシミュレーションでは先行研究 [4][5] と同じ α, β の値で行ったので、効果が十分に反映されていない可能性があるが、シミュレーション結果の値をもとに切り替えの有効性についての考察を行う。

本研究では、再送回数 5 回以内に 2.1 章の要件であるパケット到着率 95% を目標にする。再送回数 5 回以内とは TCP のタイムアウトまでの再送回数のデフォルト値を採用した。再送回数 5 回以内でパケット到着率 95% に到達するために、式 (2) から 1 回の送信のパケット到着率を計算する。再送含めて 6 回の通信で 95% に到達するのに必要な 1 回の通信の最低パケット到着率を α とする。

$$100 - 100 \times (1 - \alpha)^6 = 95 \quad (2)$$

式 (2) から $\alpha = 0.3931$ となるので、再送回数 5 回以内で累積パケット到着率を 95% にするためには、1 回の通信のパケット到着率が 39.3% 以上でなければならない。

4.1.3 節で SDRP は中継車両との車間距離が大きいとパ

ケット到着率，平均スループット共に大きくなるという結果が出たが，車間距離を大きくしすぎると中継車両と通信ができなくなるので，ケット到着率，平均スループットともに小さくすると考える．

sim1, 2, 3 では SDRP と RMDP のどちらもケット到着率が 39.3% 以上となる．したがって，どちらのプロトコルも有効だと考えられるが，私たちはスループットが大きい RMDP がより良いと考えた．

sim4-sim12 では RMDP の方が SDRP より平均スループットが大きい，ケット到着率が 39.3% 未満となり，再送回数が 6 回以上になる．したがって，1 回の通信のケット到着率が 39.3% 以上となる SDRP が有効である．

このことより，RMDP は主要道や高速道路などで高速で走行する場合に有効であると考えられる．SDRP は速度が 50 km/h 以下で走行する一般道や住宅街などの中低速で走行する場合に用いることが有効であると考えられる．よって，SDRP と RMDP を道路状況に応じて切り替えることはシミュレーション結果から有効であることがわかった．

さらに，再送制御やフロー制御を行う信頼性を考慮したプロトコルも組み合わせることでさらに信頼性を確保した車車間通信が実現できる．信頼性を確保するプロトコルには適用できるグループの規模が異なることや適応できるエラー発生場所が異なるという特徴がある [7]．これらも切り替えることでより状況に適した車車間通信が可能になると考える．

本研究では実装まで至らなかったが，車車間通信プロトコルの CRCP も使用することで対応できる幅が広がることも考える．

5.2 RMDP の定数 α , β について

本研究で行った実験では，どのシミュレーションシナリオも $\alpha = 0.11$, $\beta = 0.03$ のときが最もスループットが大きいという結果になった．これは， α を小さくすることで情報散布間隔の最小値を小さくし，多くのメッセージを送信することが可能になる．また， β を小さくすることで受信メッセージ数が大きくても情報散布を中止しないのでスループットが大きくなると考える．ケット到着率は多くのシミュレーションシナリオで $\alpha = 0.17$, $\beta = 0.03$ の時に最も大きいという結果になった．これは α を大きく設定することで情報散布間隔の最低値を大きくし，受信できない状況に多くのケットを送信することを防ぐことが可能であるからだと考える．

6 おわりに

本研究では，緊急車両経路情報を伝播するための信頼性を考慮した車車間通信方法の提案を行った．総務省から提示されている通信要件に基づき，到達目標を累積ケット到着率 95% 以上，車両の速度は 70 km/h の通信の達成とした．既存の車車間通信プロトコルは信頼性が十分に考慮されていないので，それらに信頼性を確保するプロトコル

を組み合わせ 1 つの通信方法を定義する手法をとった．これらの通信方法を適切な場面で切り替えることで，より効率良く情報配信行えると考えた．ns-3 を用いて車両速度，車間距離を変更した 12 種類のシナリオに沿って車車間通信プロトコルの SDRP, RMDP それぞれのケット到着率と平均スループットを観測し，提案した車車間通信方法の切り替えの妥当性を評価した．また，RMDP のパラメータを変化させた影響を観測し，どのような設定でスループット，ケット到着率が大きくなるかを調査した．

シミュレーションを行った結果，通信方法を状況によって切り替えることの有効性を確認できた．今後は，提案した車車間通信方法についてさらに詳しく調査を行い，どのようなコンテキストに基づいて切り替えればより効率よく，信頼できる通信が行えるかの条件を調査していく必要がある．プロトコルを動的に変化させるためのアーキテクチャ設計について考えていく必要がある．アーキテクチャを設計する際には，できる限り切り替え時のオーバーヘッドを小さくする必要がある．

参考文献

- [1] 警察庁，“UTMS サブシステム”，
https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/seibi2/annzen-shisetu/utms/utms_sub.html .
(Accessed 2021.1.6)
- [2] 総務省，“第 4 章 ITS 安全運転支援無線システムの通信要件”，pp. 38-47, https://www.soumu.go.jp/main_content/000025426.pdf . (Accessed 2021.1.6)
- [3] 田中祐一，北野裕太，屋代智之，“車車間通信時における優先送信権を考慮した CSMA/CA の提案”，情報処理学会研究報告高度交通システム (ITS), Vol. 2008, No. 57, pp. 7-14, 2008 .
- [4] 斎藤正史，船井麻祐子，梅津高朗，東野輝夫，“アドホック通信に基づく先行経路の道路情報取得プロトコルの開発”，情報処理学会研究報告，高度情報交通システム (ITS), Vol. 2004, No. 19, pp. 49-56, 2004 .
- [5] 塚本淳，斎藤正史，梅津高朗，東野輝夫，“行先道路情報取得プロトコル RMDP の評価と車車間・路車間通信混在環境への適応”，情報処理学会研究報告，高度情報交通システム (ITS), Vol. 2004, No. 114, pp. 149-156, 2004 .
- [6] 藤木健之，桐村昌行，梅津高朗，東野輝夫，“車車間通信とクエリを併用した効率的な道路情報取得手法の提案とその評価”，マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集，Vol. 2006, No. 15, pp. 43-48, 2006 .
- [7] 柴田賢介，岡村耕二，荒木啓二郎，“プロトコル選択方式による高信頼性マルチキャスト通信の評価”，情報処理学会論文誌，Vol. 42, No. 12, pp. 3102-3111, 2001 .
- [8] 銭飛，“ns3 によるネットワークシミュレーション”，森北出版 (2014) .