

CCNに基づく車車間通信による 狭域道路・交通情報の効率的な収集方式の提案

中沢隆紀 小花貞夫 湯素華

概要：近年、車車間通信により、互いの位置や速度等の情報を頻繁に交換して衝突を防止する安全運転支援システムの実用化や、近い将来の自動運転のために走行中の車両が周辺の道路・交通情報を把握できるようにする技術の研究が注目されている。本稿では、車車間通信により要求・応答型（Pull 型）で効率よく道路・交通情報を収集可能するために、キャッシュ機能を用いて効率的な配信を可能とするコンテンツ指向ネットワーク（CCN）を車車間通信に適用した方式を提案する。まず、基本方式として、車両の移動環境を考慮した、1)コンテンツの名前付け（ネーミング）方法と 2)通信経路の制御（ルーティング）方法を検討し、ついで、キャッシュをより効率的に活用可能とするためにルーティング方法を拡張した方式（拡張方式）を検討した。シミュレーション評価の結果、基本方式はキャッシュのない Non-Cache 方式から Data（応答）パケットの平均ホップ数を最大 69%削減し、Interest（要求）パケットの発行に対するコンテンツ取得成功率をキャッシュのない Non-Cache 方式から最大 42%向上した。また、拡張方式では Data（応答）パケットの平均ホップ数を基本方式から最大 23%改善し、Interest パケットの発行に対するコンテンツ取得成功率を基本方式から最大 21%改善した。

Proposal of efficient collection of road and traffic information by CCN-based inter-vehicle communications

TAKANORI NAKAZAWA SADA O OBANA SUHUA TANG

1. はじめに

近年、車両間での通信（車車間通信）により、互いの位置や速度等の情報を頻繁に交換して衝突を防止する安全運転支援システムの実用化[1][2][3]や、近い将来の自動運転のために走行中の車両が周辺の道路・交通情報を把握できるようにする技術の研究[4]が注目されている。従来の車車間通信の研究[5][6][7]では、道路・交通情報の収集を Push 型の配信により行うことが多いが、緊急性が低くしかも車両により興味の異なる情報の場合には不必要な配信を防ぐために要求・応答型（Pull 型）の配信で行うのが望ましい。しかし、Pull 型の配信では、要求が増えるに従いネットワークの輻輳を引き起こす。

本稿では、車車間通信により Pull 型で効率よく道路・交通情報を収集するために、キャッシュ機能を用いて効率的な配信を可能とするコンテンツ指向ネットワーク（CCN）[8]を適用した方式を提案する。まず、基本方式として、車両の移動環境を考慮した、1)コンテンツの名前付け（ネーミング）方法と 2)通信経路の制御（ルーティング）方法を検討し、シミュレーションにより基本方式の有効性を検証する。ついで、キャッシュをより効率的に活用可能とするためにルーティング方法を拡張した方式（拡張方式）を検討

し、シミュレーションにより有効性を検証する。

以下、第 2 章では研究の背景、CCN を車車間通信に適用する際の課題を述べる。第 3 章では、CCN を車車間通信に適用するための基本的な方式（基本方式）を提案する。第 4 章では基本方式のシミュレーション評価と考察を述べる。第 5 章では拡張方式を提案する。第 6 章では拡張方式のシミュレーション評価と考察を述べる。第 7 章では結論と今後の課題を述べる。

2. 研究の背景

2.1 車車間通信と狭域道路・交通情報の配信

従来の車車間通信の研究では、情報を生成した車両が周辺の車両に情報を送信・中継する Push 型により情報を配信するケースが多い[5][6][7]。急ブレーキや緊急車両接近といったこれらの情報は、安全のために緊急に伝えるべき情報であり、どの車両にも共通の興味がある。一方、遠方交差点の混雑状況等の情報は緊急に伝える必要はない。さらに、その交差点を通る予定がない車両にとってはその情報は不要である。緊急に伝える必要のない情報は、車両によって興味が違うため、取捨選択されるべきものである。このような情報を Push 型で配信すると、多くの車両に必要な情報を送ることになり、非効率となる。

車両によって興味の異なるコンテンツに対する配信を効率よく行うために、Pull 型の配信が研究されている[9]。Pull

電気通信大学 大学院情報理工学研究科
Graduate School of Informatics and Engineering,
The University of Electro-Communications

型の配信は、情報を必要とする車両が、情報を持つ車両に問い合わせることにより情報を取得する。図 1 に示す様に、Pull 型では問い合わせが集中するとネットワークが輻輳するという問題が発生する。

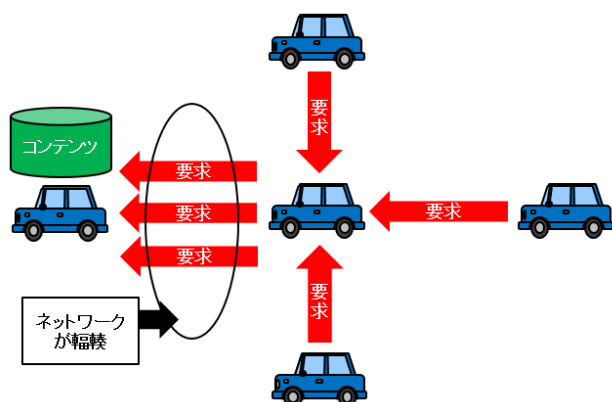


図 1 問い合わせの集中によるネットワークの輻輳

本稿では遠方交差点の混雑状況等の、車両ごとに興味の異なるコンテンツを対象とした情報配信を効率的に行えるようにするため、次に述べる CCN（コンテンツ指向ネットワーク）[10][11][12]の適応を検討する。

2.2 CCN（コンテンツ指向ネットワーク）の概要

図 2 に示す様に、コンテンツの要求者は、コンテンツ配信者（以下、配信者）のアドレスではなくコンテンツ名を指定した Interest パケットを発行する (①)。配信者からは要求されたコンテンツが Data パケットにより返送される (②)。その際、途中の中継ノードにコンテンツがキャッシュされ、同じコンテンツが要求された際に活用され (③、④)、配信の効率化が図られる。これらの機能を提供するため各ノードはキャッシュを格納する CS（Content Store）、Interest パケットを配信者に届けるためのルーティング情報 FIB（Forwarding Information Base）および Data パケット返送のための返送リスト PIT（Pending Interest Table）の 3 つのデータ構造を持つ。

CCN を車車間通信に適用する既存研究はいくつかの形態を持つ[13][14]。例えば、CCN を車車間通信上で実現するためのネーミング機構や、ルーティングのための FIB や PIT の管理方法や、キャッシュ配置の最適化が議論されている。既存研究ではネーミング、ルーティング、キャッシュが別々で議論されることが多いが、提案方式ではそれらを包括し、位置情報に基づく中継選択制御を主軸として、ネーミングとルーティングの機構を提案する。

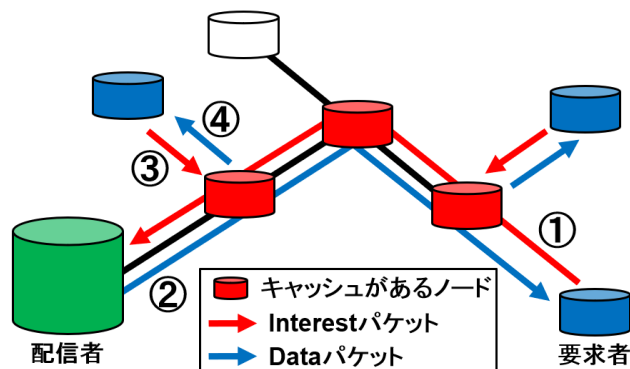


図 2 CCN の概要

2.3 車車間通信による Pull 型のコンテンツ配信に CCN を適用する際の課題

CCN の車車間通信への適用を考えるとときの課題を以下に述べる。ここでは、車両は CCN のノードに、また配信したい道路・交通情報がコンテンツに対応する。

(1) コンテンツの名前付け（ネーミング）

CCN でコンテンツを配信するためには、コンテンツはどの車両からも理解できる共通のネーミング機構が必要となる。コンテンツ名として指定する項目を統一しないと、指定のしようがないからである。よって、分かり易くかつ一意な道路・交通情報の名前付け・指定方法が必須となる。

(2) 通信経路制御（ルーティング）とキャッシング

CCN ではネットワークトポロジ（ノードの接続形態）が変化しないことが前提となっている。しかし、車車間通信では車両が移動するために、ネットワークトポロジが時々刻々と変化する。つまり、コンテンツの要求者、コンテンツの配信者ならびに中継ノードとなる車両が常に移動し、Interest パケットや Data パケットの送信相手が動的に変化する。この状況に対応するためのルーティングとコンテンツのキャッシングをどうするか、という課題がある。

3. 提案方式（基本方式）

3.1 コンテンツのネーミング

全ての車両から共通に、しかも容易に理解されるネーミングとするため、道路・交通情報を、(1) 道路・交通情報がマップ上のどこを指すかという地理情報と、(2) 道路・交通情報のどのような事象を表すかという情報からなるネーミングを提案する。

(1) 地理情報ネーミング

道路上の各交差点に名前を付与し、交差点名称に基づいて地理情報を示す。例えば図 3 で交差点 A 上に存在する車両が道路・交通情報を生成する際に地理情報のネーミングでコンテンツに A と名づけることにより、要求者からの A の指定を可能に

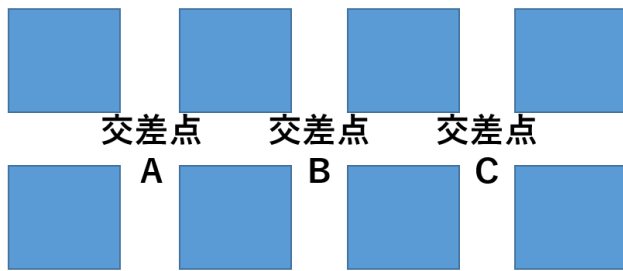


図 3 交差点名称によるネーミング

図 3 のようにネーミングを行うことで、車両は走行ルートを検索する際に必要になる交差点の情報を、交差点名称を指定して要求することができる。また、交差点だけでなく、交差点を結ぶ経路のリンクにネーミングをすることも可能である。交差点を結ぶ経路のリンクは 2 つの交差点名称を用いて表現する。

図 4 に示すように、交差点 A から交差点 B へ抜ける経路のリンクは地理情報のネーミングから経路 AB と名づける。経路 AB 上に存在する車両が道路・交通情報を生成しネーミングを行う際に経路 AB と名づけることで、要求者からの経路 AB の指定を可能にする。これは、どちら向きの道路の情報かも区別できる。

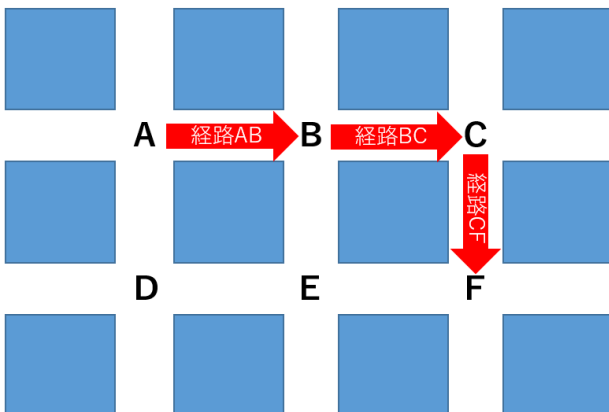


図 4 経路のリンクの連続した指定

図 4 では、交差点 A から交差点 F までの経路は複数通り存在する。交差点 A 上に存在する車両が単に交差点 F を指定して Interest パケットを送信した場合、後述するルーティング方法によって Interest パケットが交差点 F のコンテンツを持つ車両まで転送される。その際の途中経路はルーティング上の最適経路が選択される。しかし、指定経路上の全ての道路・交通情報が欲しい場合には、目的地までの経路を全て指定し、それぞれの要求を連続して行うことが可能である。経路 AB、経路 BC、経路 CF 上の道路・交通情報が全て欲しい旨を Interest パケットに含めて送信することで、パケットは指定経路を経由して中継される様になり、各コンテンツにヒットする度に Data パケットの応答を行う。

(2) 事象ネーミング

道路・交通情報の事象ごとの情報種類の名前とその値の例を表 1 に示す。車両に画像を撮影できるカメラが搭載されていれば、画像自体をコンテンツに追加可能である。事象のネーミングは車両に搭載される機器のセンシング機能が増えることにより、様々に追加可能とする。

表 1 道路・交通情報の事象ネーミング

情報種類の名前	値
通行可否状況	通行可, 通行不可
混雑状況	普通, やや混雑, 混雑
路面状態	普通, 凍結, 視界不良, 等

3.2 Interest/Data パケットのルーティング

車車間通信では、車両が頻繁に移動を繰り返すので、ネットワークトポロジの変化が激しい。CCN では、ネットワークトポロジが変化するたびに、FIB の情報を更新しなくてはならない。

そこで基本方式では表 2 に示す様に従来の CCN の定義を拡張し、中継選択制御により Interest パケットをコンテンツへ向けて転送することとする。その際に、今後の普及が予想される安全運転支援システム [1][2][3] における 700MHz 帯の電波を用いた車車間通信により周辺車両の位置情報は把握できているものとし、最遠車両が優先的に中継車両として選択される方式 [4] を組み込む。この方式は、情報の拡散を目的としているため、片方向の送信を想定している。提案方式では Interest パケットと Data パケットがそれぞれ片方向に送信されるものと解釈する。

表 2 従来の CCN と基本方式の CCN

	従来の CCN	基本方式の CCN
ネットワークトポロジ	固定	変化
送信方法	ユニキャスト	ブロードキャスト
要求時の転送先	FIB(Forwarding Information Base)に各ノードの接続情報とコンテンツ名が登録	FIBに目的地の場所情報(方向・交差点名)とコンテンツ名が登録
応答時の返送先	PIT(Pending Interest Table)に要求ノードの接続情報と要求コンテンツが登録	PITに要求した車両の場所情報(方向・交差点名)と要求コンテンツが登録
キャッシュ	Data パケットの経路となったノードの CS(Content Store)	Data パケットを受信した車両の CS

図 5 に示す中継車両選択制御では、最遠車両が優先的に中継する。基本方式では、ネクストホップとなる車両が N 台のとき、送信の待機時間として割り当てるバックオフのスロットを N 個設ける。パケットを受信した車両は、中継車両選択制御を行い、位置情報に基づいて送信権を競い合う。送信権を得られた車両は条件によって以下の (1) ~ (3) のいずれかの処理を行う。

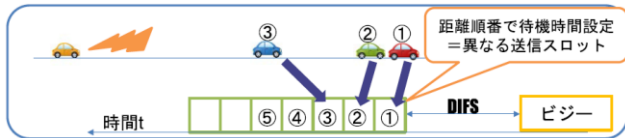


図 5 位置情報に基づく中継車両の選択方式（遠い車両ほど送信待ち時間を小さくして優先的に中継する方式）

(1) Interest パケットの中継（キャッシュヒット無し）

Interest パケットは「コンテンツ名」および「Interest パケット発行車両の情報」を含む。中継転送をする必要のある Interest パケットを受信した車両は、まず中継選択制御により、中継転送の優先順が算出され、それに応じた送信待機時間が設定される。送信待機時間が満了となった車両は、パケットを送信する。このとき、自車両および周辺車両の位置情報と Interest パケットに含まれるコンテンツの位置情報を比較して、自身が最もコンテンツの位置に近づく車両である場合、キャッシュが無いなら Interest パケットを中継する。その様子を図 6 に示す。Interest パケットの中継では、FIB に目的地の場所情報を登録し、PIT に Data パケットの戻り先の情報を登録する。

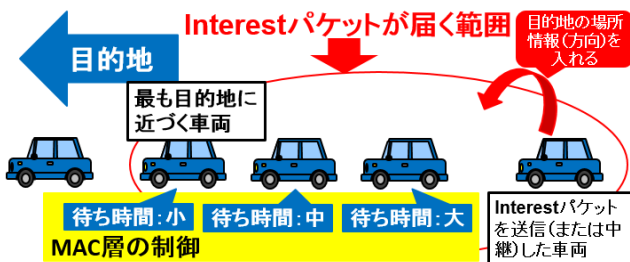


図 6 Interest パケット中継のルーティング

Interest パケットを中継するための送信待機中に、他の車両から当該パケットの転送を検知した場合には、当該パケットの中継を中止する。これにより、Interest パケットが届く範囲内でコンテンツに最も近づく車両以外の車両は中継しない。またブロードキャストのために、コンテンツに近づかない方向にも Interest パケットが送信されるが、Interest 受信車両は自身が Interest パケット発行車両もしくは前回 Interest パケットを中継した車両よりもコンテンツに近づかない場合は中継しない。Interest パケットは目的のコンテンツを持つ車両に届くと転送が行われなくなる。

(2) Data パケットの中継とキャッシュ

コンテンツを持つ配信車両が Interest パケットを発行した車両に Data パケットを返送する場合、図 7 に示すように、Interest パケットの中継と同じ仕組みでルーティングを行う。Data パケットの場合は PIT に登録されている、コンテンツを要求した車両の場所情報が使われる。Data パケットは要求されたコンテンツと、Interest パケット送信者の車

両情報を含む。Data パケットを中継する場合には、位置情報に基づく中継車両の順序付けによる中継転送方式により送信待機時間が設定され、最も Interest パケット送信者に近づく車両が中継する。Data パケットは Interest パケット送信者に届くと配信完了となる。

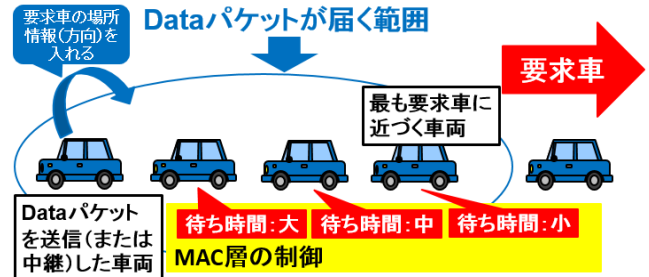


図 7 Data パケット中継のルーティング

Data パケットを受信した車両は、中継を担うか否かに関わらず次回以降の同じコンテンツを指定する Interest パケットを受信したときに自身が応答できるように、コンテンツを自身の CS にキャッシュする。

(3) Interest パケットの受信から Data パケットの送信

Interest パケットを受信した車両は、中継の送信処理に入る前に自身のキャッシュを確認し、キャッシュにヒットした場合は、図 8 に示すように、その時点で Data パケットを返送し、Interest パケットの中継を中止する。このとき同様に Interest パケットの中継を待機している他の車両は、Data パケットの送信を検知して中継を中止する。配信者に Interest パケットが届いた場合もキャッシュにヒットした場合と同様の処理を行う。

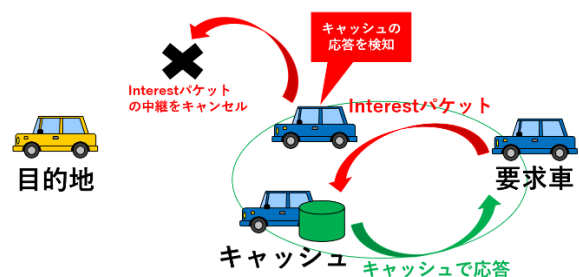


図 8 キャッシュによる応答

4. シミュレーション評価と考察（基本方式）

4.1 シミュレーション概要

ネットワークシミュレータの Scenargie[15]を用いて、建物による遮蔽などを模したシミュレーションを行った。シミュレーションで想定するシナリオでは、配置される全ての車両に車載器が搭載されている。今回はコンテンツを各交差点上の道路・交通情報とし、地理情報は交差点名称を

用いてネーミングされる。道路・交通情報の種類に差異はないものとする。配置された全ての車両は、自身から離れた交差点のコンテンツを指定し、Interest パケットを発行する。

4.2 比較方式

シミュレーションでは 2 つの方式を比較する。1 つ目はキャッシュの機能を持たない Non-Cache 方式である。2 つ目は、基本方式である。

4.3 評価項目

シミュレーションでは、情報生成間隔をパラメータとする。パラメータを変化させた時の、Data パケットの平均ホップ数と、Interest パケット発行に対するコンテンツの取得成功率を評価項目とした。Data パケットの平均ホップ数は、Interest パケットが目的とするコンテンツ又はそのキャッシュを持つ車両へ届いたときに、Interest パケットを送信した車両へ向けての応答として送信される Data パケットのホップ数である。コンテンツ取得成功率は、Interest パケットを送信した車両に Data パケットが返ってきた割合である。つまり、Interest パケットの中継段階でのパケットロスや Data パケットの中継段階でのパケットロスはともにコンテンツ取得失敗となる。

4.4 シミュレーションシナリオと設定値

シミュレーションエリアの図と、シミュレーションの各設定値を図 9 と表 3 に示す。シミュレーションエリアは 400m グリッドを使用した。シミュレーションシナリオでは、ランダムに配置された車両が、自身から離れた交差点のコンテンツを指定し Interest パケットを発行する。Interest パケットの発行は一定間隔で行われる。

4.5 Data パケットの平均ホップ数

情報生成間隔をパラメータとした時の Data パケットの平均ホップ数を図 10 に示す。

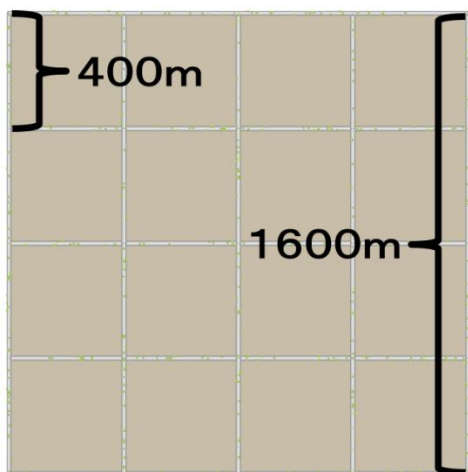


図 9 シミュレーションエリア (400m グリッド)

表 3 シミュレーション設定値

項目	値
ネットワークシミュレータ	Scenargie
フィールド	1600m × 1600m
道路間隔	400m(格子状)
車線数	2(片側 1 車線)
車両位置	ランダム(固定)
全車両台数(車間 80m)	500 台
実行回数	10 回
キャッシュ更新	LRU
通信方式	IEEE802.11p
伝送速度	3Mbps
パケットサイズ	Interest 256byte Data 512byte
電波伝搬モデル	ITU-RP.1411
情報生成間隔	1 秒,2 秒,4 秒,8 秒,16 秒/台
シミュレーション実行時間	45 秒

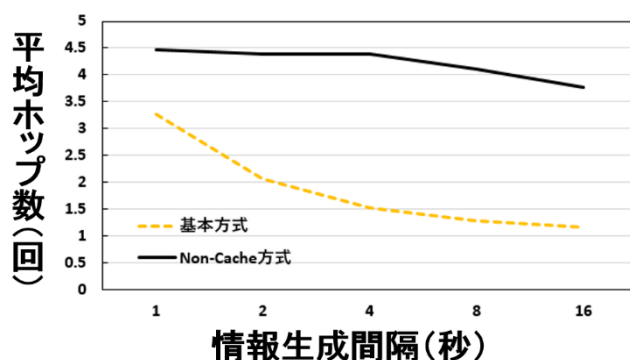


図 10 Data パケットの平均ホップ数（車両固定）

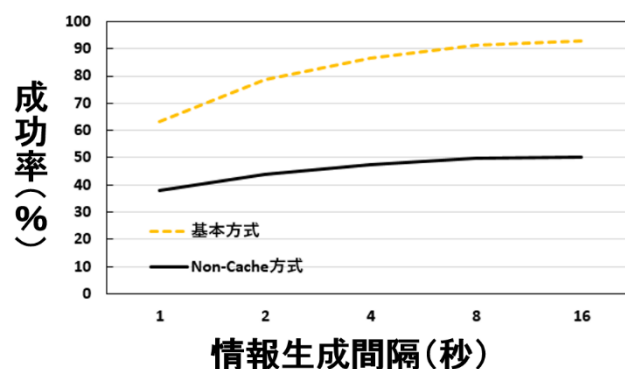


図 11 コンテンツ取得成功率（車両固定）

4.6 コンテンツ取得成功率

情報生成間隔をパラメータとした時のコンテンツ取得成功率を図 11 に示す。

4.7 基本方式の考察

基本方式はDataパケットの平均ホップ数をNon-Cache方式から、情報生成間隔が16秒のとき最大69.1%削減した。キャッシュ機能の効果によって、Dataパケットの平均ホップ数を大きく削減したと考えられる。

基本方式はコンテンツ取得成功率をNon-Cache方式から、情報生成間隔が16秒のとき最大42.7%向上させた。キャッシュ機能の効果によって、ホップ数を削減することができ、パケットロスの発生回数を抑えることができたと考えられる。

4.8 最遠の車両がキャッシュを持っていない場合

基本方式は車両が移動しないことを前提に提案したため、車両が移動するシナリオでは性能が劣悪になる。ここで、車両が移動する際の解決すべき課題を挙げる。

車両が移動することにより、InterestパケットとDataパケットが経由する車両が時々刻々と変化する。図12に示す車両の入れ替わりにより、Interestパケット受信範囲内の車両が持つキャッシュが活かされなくなるという問題が発生する。

車両の移動により、Interestパケットの受信範囲内で最も遠方に新たな車両が別の経路から割り込んできた場合を想定する。この時、割り込んできた車両はキャッシュを持っていないためInterestパケットの中継処理をすることになる。これにより、Interestパケットを傍受した車両はパケットの送信権を得られなくなるため、キャッシュを持つ車両のDataパケットの返送は行われなくなりキャッシュが生かされない結果となる。

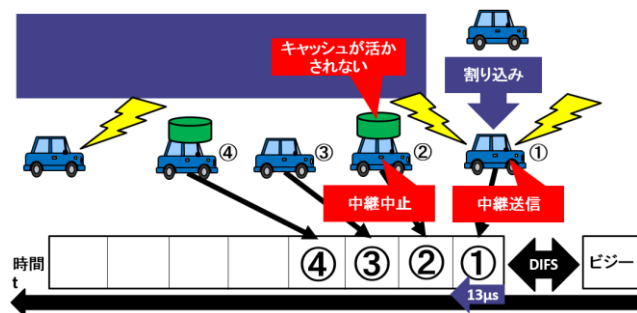


図 12 最遠の車両がキャッシュを持っていない場合

5. 提案方式（拡張方式）

5.1 車両の移動への対応

車両を移動させた場合に、基本方式では4.8で述べた最遠の車両がキャッシュを持っていない場合にキャッシュの機能が有効に働かない。この問題を解決するため、基本方式を拡張する。

5.2 キャッシュ優先方式

送信の待機時間として割り当てるバックオフのスロット

をInterestパケット送信用のスロットとDataパケット送信用のスロットの2つに分離する。基本方式では、待ち時間が満了となった車両から順に、キャッシュがあるならDataパケット送信、キャッシュがないならInterestパケット送信を行っていたため、InterestパケットとDataパケットによるスロットの区別はなかった。これは、同一経路上の車両はみなキャッシュを持つことを想定していたためである。スロットを明確に区別し、Dataパケットのスロットを、分離したときの待ち時間が少ない方のスロットに割り当て、Interestパケットのスロットを、待ち時間が多い方のスロットに割り当てることで、Dataパケットの先行処理を可能とする。ここで注意すべきことは、どの車両がキャッシュを持っていて、どの車両がキャッシュを持っていないのかは、その車両が処理を始めるまでは他車両にとっては不明であるということである。つまり、キャッシュを持っている車両だけDataパケットのスロットに割り当て、キャッシュを持っていない車両をInterestパケットのスロットに割り当てる、という方法を取ることは出来ない。そこで、拡張方式では図13に示す様にInterestパケットの受信範囲内のそれぞれの車両について、DataパケットのスロットとInterestパケットのスロットの両方を割り当てる。Interestパケットの受信範囲内の車両数からDataパケットのスロットのために必要な遅延時間を計算し、その遅延時間よりも後のスロットからInterestパケット用のスロットとする。Dataパケット用のスロットは、キャッシュによるDataパケットの送信がInterestパケットの送信車両により近い車両から待ち時間が少なくなるようにする。これは近い車両ほど通信の信頼性が高いためである。Interestパケットの場合はホップ数の抑制を重視するために最遠車両を最初に割り当てるが、Dataパケットの場合はInterestパケットよりも容量の大きいコンテンツの送信が行われるので信頼性を重視する。スロットの数は前方の車両数によって変化するが、今回のシミュレーション設定では、車両距離が80mとなるように車両を配置するので、遅延を防止するために上限を車両10台分とした。

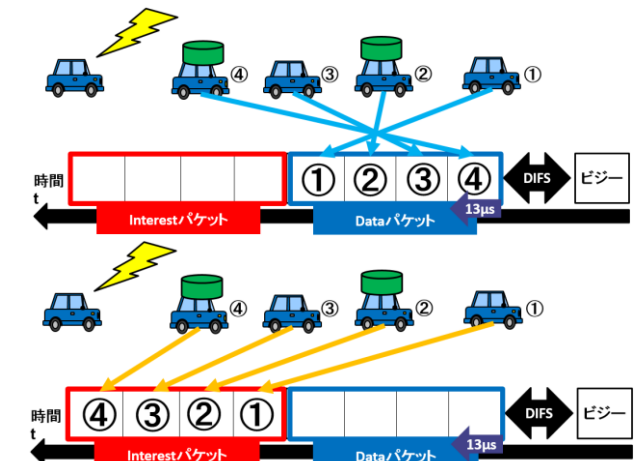


図 13 キャッシュ優先方式

6. シミュレーション評価と考察（拡張方式）

6.1 シミュレーション概要

シミュレーション概要は4.1で述べた内容と同様である。

拡張方式の評価のために用いる比較方式は、現状最高の性能となる車両固定時の基本方式と、車両の移動に対応しない車両移動時の基本方式と、キャッシュの機能を持たないNon-Cache方式とした。

評価項目は4.3で述べた内容と同様である。

シミュレーションシナリオと設定値は、車両がランダム方向、時速20～30 km、信号機なしで移動すること以外は4.4で示した図9や表3と同様である。

6.2 Dataパケットの平均ホップ数

情報生成間隔をパラメータとした時のDataパケットの平均ホップ数を図14に示す。

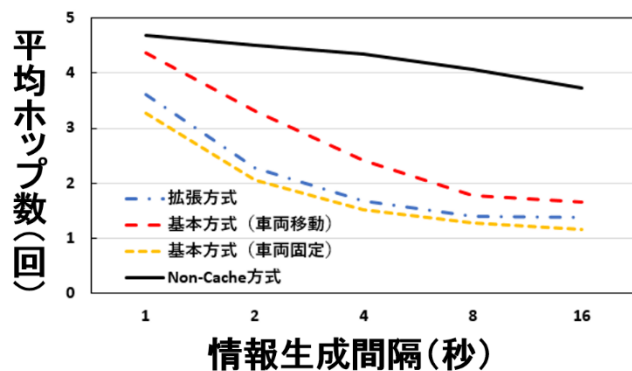


図14 Dataパケットの平均ホップ数

6.3 コンテンツ取得成功率

情報生成間隔をパラメータとした時のコンテンツ取得成功率を図15に示す。

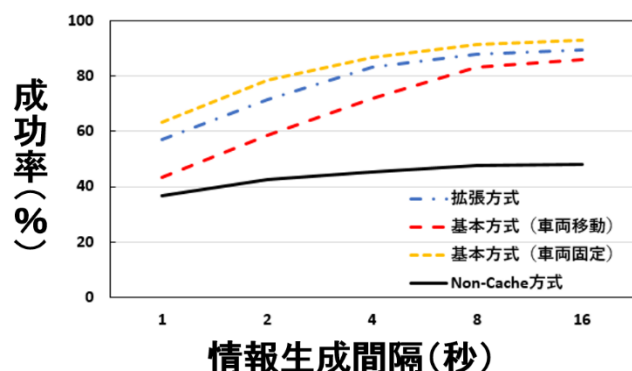


図15 コンテンツ取得成功率

6.4 拡張方式の考察

車両が固定されている場合は、Interestパケットが経由したノードがDataパケット返送時にも同じ場所に存在するため、返送時のルーティングが容易であり、Interestパケットの平均ホップ数とDataパケットの平均ホップ数はほぼ

一致する。車両が移動する場合には、Interestパケットが経由した車両が移動し、Dataパケットの返送経路が変わる可能性があり、Interestパケットの平均ホップ数とDataパケットの平均ホップ数は一致しない。基本方式はシミュレーションの結果、車両が移動する場合のDataパケットの平均ホップ数が、車両が固定されている場合のDataパケットの平均ホップ数よりも大きくなった。拡張方式では、車両が移動する場合の平均ホップ数を、車両が固定されている場合の平均ホップ数に近づけることを目的としている。車両が移動した際に、拡張方式と基本方式（車両移動）の差は情報生成間隔が小さくなるほど大きくなり、拡張方式の効果がみられる。情報生成間隔が小さくなると、チャンネルが混雑になり改善の効果が影響を与えやすくなる。

グリッドが400m間隔で情報生成間隔が1秒のとき、基本方式（車両固定）のDataパケットの平均ホップ数を100%とすると、基本方式（車両移動）のDataパケットの平均ホップ数は133.7%となった。これに対して、拡張方式のDataパケットの平均ホップ数は110.2%となり、基本方式（車両移動）から23.5%改善した。

車両が固定されている場合は、Interestパケットが目的のコンテンツ又はそのキャッシュを持つ車両に届いた場合、Dataパケットの返送時にもInterestパケットが経由した車両が存在するため、コンテンツ取得成功率は高くなる。一方、車両が移動する場合には、Interestパケットが目的のコンテンツ又はそのキャッシュを持つ車両に届いた場合でも、返送時には返送経路上に車両が存在しない可能性があるため、コンテンツ取得成功率は下がる。基本方式はシミュレーションの結果、車両が移動する場合のコンテンツ取得成功率が、車両が固定されている場合のコンテンツ取得成功率よりも小さくなった。拡張方式では、車両が移動する場合のコンテンツ取得成功率を、車両が固定されている場合のコンテンツ取得成功率に近づけることを目的としている。車両が移動した際に、拡張方式と基本方式（車両移動）の差は情報生成間隔が小さくなるほど大きくなり、拡張方式の効果がみられる。情報生成間隔が小さくなると、チャンネルが混雑になり改善の効果が影響を与えやすくなる。

グリッドが400m間隔で情報生成間隔が1秒のとき、基本方式（車両固定）のコンテンツ取得成功率を100%とすると、基本方式（車両移動）のコンテンツ取得成功率は68.4%となった。これに対して、拡張方式のコンテンツ取得成功率は90.3%となり、基本方式（車両移動）から21.9%改善した。

拡張方式ではネクストホップの候補となる車両の台数が多いと、その分だけDataパケットのスロットを多く用意しなくてはならないので、用意するスロットの数に制限があった方がよい。制限数を小さくすると遅延時間の短縮が期待できる。

7. おわりに

本稿では、遠方交差点の混雑状況等の道路・交通情報を要求・応答型（Pull 型）の配信によって効率的に収集するために、CCN を車車間通信に適用した道路・交通情報の収集を行う基本方式を提案した。シミュレーション評価の結果、基本方式はキャッシュのない Non-Cache 方式から Data パケットの平均ホップ数を最大 69%削減し、Interest パケットの発行に対するコンテンツ取得成功率を最大 42%向上した。基本方式に加えて、車両の移動に伴い発生する問題に対応した拡張方式を提案した。車両が移動する際に、キャッシュを持っていない車両がキャッシュを持っている車両付近に割り込んできた場合にも、キャッシュを持っている車両の応答が優先されるように、車両の位置情報だけでなく、キャッシュの有無で処理順序が制御できる方式へ拡張した。シミュレーション評価の結果、拡張方式は基本方式に比べ、Data パケットの平均ホップ数を最大 23%改善し、Interest パケットの発行に対するコンテンツ取得成功率を最大 21%改善した。

今後は、方式の性能改善を図るとともに、画像情報等のサイズが大きいコンテンツを扱う場合への対応などを検討する。

参考文献

- [1] 内閣府高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部「官民 ITS 構想・ロードマップ 2016」(2016.5.20)
- [2] 内閣府「内閣府戦略的イノベーション創造プログラム 自動走行システム 研究開発計画」(2016.6.28)
- [3] 総務省「700MHz 帯安全運転支援システム構築のためのセキュリティガイドライン」(2015.7.9)
- [4] 吉川 潤, 湯 素華, 小花 貞夫, 狭域交通情報共有のための車車間通信における車両位置情報に基づく効率的な中継転送方式の提案, 情報処理学会論文誌, 57(1), 43-53, 2016.
- [5] B. Williams and T. Camp, “Comparison of Broadcasting Techniques for Mobile Ad Hoc Networks,” *Proc. MobiHoc’02*, pp.194–205, 2002.
- [6] S. Panichpapiboon and W. Pattara-Atikom, “A Review of Information Dissemination Protocols for Vehicular Ad Hoc Networks,” *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol.14, no.3, pp.784-798, 2012.
- [7] A. Tahmasbi-Sarvestani, Y. P. Fallah, and V. Kulathumani, “Network-aware double-layer distance-dependent broadcast protocol for VANETs,” *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol.64, no.12, pp.5536-5546, 2015.
- [8] V. Jacobson, D.K. Smetters, J.D. Thornton, M.F. Plasee, N. Briggs and R. Braynard, “Networking named content,” *Proceedings of ACM CoNEXT*, Rome, Italy, pp.1-12, 2009.
- [9] Louiza Mansour and Samira Moussaoui, “A New Framework for Request-driven Data Harvesting in Vehicular Sensor Networks,” *Network Protocols and Algorithms*, ISSN 1943-3581, Vol. 5, No. 4, 2013.
- [10] E. Paik, P. Mahadevan, M. Jang, and E. Cho, “Benefits and Research Challenges of Content-Centric Networking,” *Internet-draft-paik-icn-challenges-00*, January 2013.
- [11] G. Xylomenos, C. N. Ververidis, and V. A. Siris, “A Survey of Information-Centric Networking Research,” *IEEE Communications & Surveys*, vol. 16, no. 2, pp. 1024-1049, 2014.
- [12] S. S. Adhatarao, J. Chen, M. Arumaithurai, X. Fu, and K. K. Ramakrishnan, “Comparison of naming schema in ICN,” *In IEEE LANMAN*, pp.1-6, 2016.
- [13] IanChao Liu, Dongliang Xie, Siyu Wang, and zhen Zhang, “CCN-based Cooperative Caching in VANET,” *International Conference on Connected Vehicles and Expo (ICCVE)*, pp.198-203, 2015.
- [14] Marica Amadeo, Claudia Campolo and Antonella Molinaro, “Information-Centric Networking for Connected Vehicles: A Survey and Future Perspectives,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 2, pp. 98-104, 2016
- [15] Scenargie, Space-Time Engineering,
<https://www.spacetime-eng.com/en/>