

車両の移動予測モデルに基づく 通信コスト最適な車両間情報共有システム

安達 佳明¹ 梅津 高朗² 山口 弘純¹ 東野 輝夫¹

概要：本論文では、車載カメラ等から生成されるリアルタイムでサイズの大きい映像・画像コンテンツを車両間で共有するシステムとプロトコルを提案する。提案システムはクラウドサーバと、車車間通信・携帯電話通信およびカメラを備えた車載器を搭載した車両群からなる。クラウドサーバはそれらの車両群が生成・保持するコンテンツのインデックス（生成位置と生成時間）を把握し、それらのコンテンツを必要とすると予想される車両群に対し、取得すべきコンテンツとその取得通信方法（携帯通信網あるいは車車間通信網）および取得タイミングを指示する。この際、クラウドサーバはコンテンツインデックスと同時に集約した車両の位置情報から車両の確率的な移動予測を行い、携帯電話網と比較して低コストで高速な車車間通信がなるべく活用されるよう取得方法を決定する。市街地を想定したシミュレーションのシナリオにおいて提案システムを評価し、車載器装備率が5%程度の環境においても、携帯電話網のみを利用した場合と比較し15%の通信量削減を達成できることを示した。

Optimizing Cost of Content Sharing among Vehicles Based on Traffic Estimation Model

YOSHIAKI ADACHI¹ TAKAAKI UMEDU² HIROZUMI YAMAGUCHI¹ TERUO HIGASHINO¹

1. はじめに

近年、リアルタイムな道路交通情報が注目されており、実際の道路状況を考慮することができる高度なカーナビゲーションサービスなども実用化されている。例えば、交通量情報や事故情報、駐車場情報などの状況によって変化する情報に関しては最新情報をドライバーやナビゲーションシステムに提供することで適切な経路選択を補助し、渋滞の回避や運転時間の短縮が行えると期待が集まっている。これに対し、最近ではドライブレコーダー等の車載カメラやカメラを備えたスマートフォンによるカーナビゲーションアプリが急速に普及しつつあることもあり、車載カメラで撮影した画像・映像情報をドライバー間で共有し、より

臨場感が高い渋滞・混雑状況を直感的に伝えるシステムの実現が現実味を帯び始めているため [1]、そのように情報量が大きくリアルタイム性が高いコンテンツを効率的に集約しドライバーへ提供するためのシステムや方法論が今後必要となる。

そのように場所を問わず広域に生成されるコンテンツの集約・配信には、3G/WiMAX/LTE等の広域通信デバイスを搭載した車載テレマティクス用通信モジュールを利用することが現実的である。広域通信網では通信カバーエリアが広いが、路側機などの既存インフラに依存せずリアルタイムデータ通信が行えるが、一方でユーザ数の増加、コンテンツサイズの増加による帯域逼迫の課題が挙げられる。例えば、ホンダが展開するインターナビでは3G回線を用いたリンクアップフリーにより、インターナビユーザは通信料無料で走行情報をセンターに送信し、それにより多数のカープローブ情報量を集積している。このような枠組みを双方向の大容量コンテンツに適用するためには、限られた広域通信網の帯域を有効に活用し、広域通信網のトラフィックを可能な限りオフロードする必要がある。その

¹ 大阪大学 大学院情報科学研究科 モバイルコンピューティング講座

Mobile Computing Laboratory Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

² 滋賀大学 経済学部 情報管理学科

Department of Information Processing and Management, Faculty of Economics, Shiga University

ための枠組みとして、従来より局所狭域通信である車車間通信が注目されており、センターレスプローブ情報システムなど、車車間通信を利用したトラフィックの分散化や削減を目指した事例なども報告されているが、それらはいわゆるセンター不在の環境でアドホックネットワーク上での情報拡散を目指したものであり、車車間通信対象車両が周辺に不在である場合にはデータ取得ができないなどの問題も生じる。

本研究では、車両が映像渋滞情報のような大容量コンテンツをリアルタイムに生成し、それを携帯電話通信網のような広域データ通信網と近隣車両間の車車間通信を併用し、車両間で共有するためのシステムアーキテクチャと通信プロトコルを提案する。提案手法では、車両の位置やコンテンツの生成・保持情報といったいわゆるコンテンツインデックスとコンテンツホルダーをセンターで一元的に管理し、その状況に応じてどの車両がどのコンテンツのアップロード・ダウンロードに対し、広域通信網と車車間通信網を使いわけのべきかのコンテンツ交換ポリシーを、車両の移動予測モデルを用いて動的に決定する。提案システムでは、車両が定期的に生成したコンテンツのメタ情報を車両情報とともにサーバに登録し、生成したコンテンツは車両が保持するか、サーバから指示があればサーバにアップロードする。各車両は移動先で過去一定時間内に生成されたコンテンツを必要とするものとする。サーバは集約された車両位置情報と、現状の大域的な車両混雑情報を基に各車の確率的な移動予測を行い、車両同士の遭遇タイミングを確率的に計算することで、各車両が車車間通信でダウンロードすべきコンテンツリスト、広域通信網を使ってサーバにアップロードまたはサーバからダウンロードすべきコンテンツリストを生成し、それを当該車両に通知する。また自車両が必要としないコンテンツでも、それを必要とする多数の他車両と遭遇する確率が高く、車車間通信により広域通信網の通信量を削減可能な場合は、それら他車両のためにサーバからダウンロードさせる。これにより各車両は広域通信網の通信量を削減しながら必要なコンテンツを確実に取得することができる。

離散事象シミュレータ Scenargie を用いてシミュレーションによる性能評価を行った。シミュレーションでは都市部を想定したシナリオを用いて、低い車載器普及率(5%程度)を想定した環境で評価を行った結果、携帯電話通信のみの時と比べて通信量を15%削減できたことを確認した。また、車車間通信のみの時と比べて情報の生成から取得までの時間が短く、必要な情報を多く集めることができた。加えて、予想を行った時とランダムに取得させたときでは携帯電話通信量が15%-20%程度削減できることを示した。

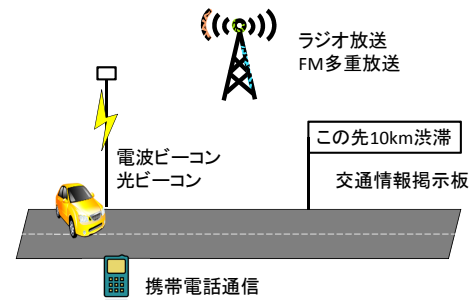


図1 道路交通情報の配信方法

2. 関連研究

現在の道路交通の情勢において、渋滞やそれに関わる遅延などは依然として重要な問題であり、対策が検討されている。例えば、渋滞情報や交通規制情報といった時間帯や状況に応じて変化するリアルタイムな道路交通情報をユーザに提供することで渋滞の回避や旅行時間の削減に繋げることが期待されている。このような情報は、道路上のトラフィックカウンタやカメラ、ドライバーからの通報などが道路交通センターでリアルタイムに処理され、道路交通情報としてドライバーへ提供されるものである。ここでは、道路交通情報の配信のためのいくつかの手法を示し、それに対する提案手法の意義を明らかにする。

2.1 道路交通情報配信の現状

現在、一般車への道路交通情報の配信にはいくつかの方法が存在し、運用されている [2]。図1にイメージを示す。まず、旧来より存在するものとして道路情報掲示板やラジオ放送が挙げられる。道路情報掲示板は、道路上やサービスエリアに設置され、文字や図形によって、近隣道路の交通量や交通規制情報、事故情報、所要時間などの情報をドライバーへ配信する。また、ラジオ放送では、現在の混雑度や事故情報をラジオ放送の音声放送によって配信する。ドライバーは道路情報掲示板やラジオ放送を確認することで視覚的、聴覚的に情報を取得するが、配信される情報は少なく、取得できるタイミングも限定的である。

次に、情報技術の発展や道路交通情報の高度化により普及してきたものとして、路側機やFM多重放送を用いた情報のデータ配信サービスがある。日本で普及している既存のデータ配信サービスとして道路交通情報配信システム VICS (Vehicle Information and Communication System)[3] が挙げられる。VICSはFM多重放送、電波ビーコン、光ビーコンの3種類の方法を用いて、渋滞情報、所要時間、交通障害情報、交通規制情報、駐車場情報をエリア別に配信している。VICSの情報を利用するにはVICSに対応した車載器が必要であるが、道路交通情報通信システムセンターの平成23年度の発表によると、VICS車載器の累積出荷台

数は約 3100 万台であり、すでに多くの車に装備されている。まず、FM 多重放送は基幹局、中継局を合わせて 518 局存在し、5 分間に 2 回、広域交通情報の配信を行っている。路側機である電波ビーコンは高速道路上に約 3000 基、光ビーコンは主要道路上に約 33000 基が設置され、前方数百 km から数十 km の交通情報を提供する。しかし、路側機は基本的に主要な道路のみに設置されているため、細街路の情報の収集、配信は対応が難しい。また、路側機の設置間隔が広い場合、十分な情報の更新頻度を確保できずにリアルタイム性が失われ、実際の道路交通状況と配信された情報が一致しない状態が発生してしまう。

一方、携帯電話網の通信速度の向上や、利用料金の低下に伴い、高機能携帯電話端末(スマートフォン)の爆発的な普及や、携帯電話網を用いた道路交通情報の配信サービスの登場など、移動体通信を取り巻く環境は大きく進歩している。携帯電話網は、広域な領域で通信が可能であり、移動中の通信、特に双方向通信を利用できるため、任意のタイミングでの任意の情報の取得が可能である。GPS の位置情報や速度を交通情報の処理サーバ上で収集し、統計処理を行いリアルタイムな交通情報として各車に配信を行うサービスもすでに実用化されており、従来のカーナビゲーション用車載器やスマートフォンのアプリケーションを介して利用が出来る [4], [5], [6]。携帯電話網を利用した車載器型のサービスは、道路交通情報の配信だけでなく、ナビゲーション機器のインターフェース、周辺建物情報の提供、地図情報の更新にも使用され、高度な統合テレマティックサービスとなっている。一方で、カーナビゲーション機器でサービスを受ける場合には、対応する機器の設置が必要であり、新規に通信などの利用コストが必要な場合が多い。そこで、注目されているのがスマートフォン上のアプリケーションとしての提供である。スマートフォンのアプリケーションとしては、各道路の交通量のみを提供するものからカーナビゲーション機能をもつものまで様々なアプリケーションが登場しており、車載器の設置が不要ことから、より手軽にリアルタイム道路交通情報を得ることができる。このように、より高度かつ容易に利用可能な道路交通情報の配信サービスが展開されている。

2.2 車車間通信による情報の共有

車車間通信は車に搭載された車載器によって無線アドホック通信を行うことにより、車同士で情報の授受を行う通信である。情報を交換・共有することを目的とした車車間通信において重要となるのは、情報の送信プロトコルと情報の選択方法であり、情報の交換・共有の目的に応じた、効率的な情報の送信プロトコルや情報を選択する必要がある。

無線アドホックネットワークにおいては、様々な目的や環境に応じた、様々な通信プロトコルが提案されてい

る [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13]。本提案手法では情報の送信方法としては電波到達範囲内ブロードキャストを用い、無線通信の通信電波が到達する範囲に存在するノードのみ情報の送信を行う。マルチキャスト型の車車間通信プロトコルとして、例えば、GPS の位置情報を用いてマルチホップの経路選択を行うもの [7], [9] などが挙げられる。提案手法ではネットワーク層でのマルチホップ通信は特に用いないが、各端末は近隣端末から受信した交通情報をすでに持っていた情報と合わせ、その中から周辺ノードへと情報提供する仕組みであるため、結果として 2 ホップ以上離れたノードへも情報は伝播していく。また、スマートフォンを用いた通信基盤として文献 [22] が挙げられ、データセントリックな方式への転換の重要性も主張されている [14]。一方、近年では、ITS における通信プロトコルの規格化が行われており、DSRC/WAVE (Dedicated Short Range Communications / Wireless Access in Vehicular Environments) [15], [16] という通信プロトコルが提唱されている。WAVE は車車間通信、路車間通信に用いられる無線通信の上位層プロトコルの標準規格であり、IEEE1609.x として知られている。IEEE1609 はトランスポート層、ネットワーク層の 2 層の規格化が行われている。同じく、DSRC は車車間通信、路車間通信に用いられる無線通信のプロトコルセットの標準規格であり、その下位層 IEEE802.11p として標準化されている。米国では 5.9GHz 帯、欧州では 5.8GHz 帯の 10MHz が割り振られており、通信速度が 3Mbps から 27Mbps である。今後、DSRC/WAVE は ITS において標準的な規格となることが期待されている。本研究では、下位層プロトコルとして IEEE802.11p を想定する。

他車へ向けて送信する情報を効率的に選択することで、無駄な通信の増加を避け、有効な情報を共有するための手法も提案されている。本研究では近隣車両との情報共有に近隣情報優先選択手法 [17] を用いる。この手法は自車の現在位置から一定距離内の保持している情報を優先的に他車への送信情報として選択するものであり、その選択される範囲は交通量が多い場合、受信側から見ると情報を受け取れる機会が多いことに期待し、自車の情報選択範囲を拡大する。一方、交通量が少ない場合は、自車の選択範囲を縮小する。文献 [17] では、選択範囲の最大が自車を中心に 4km、最小が 1km の設定で、3 種類の交通量を想定したシミュレーションが行われている。シミュレーションは 20km 四方の一般的な道路網が想定され、この手法により評価範囲 7km 四方の情報について約 80% の把握率が得られることが分かっている。同文献では、通信帯域無限大という理想環境下において情報の授受を行う実験が行われており、その結果、車車間通信のみの場合、最大で約 90% の情報しか得られないことも分かっており、車車間通信のみでは実用的なサービスを提供することは難しく、何らかの方法で補完することが必要と考えられる。

2.3 公衆広域網を用いた交通情報サービス

公衆広域網とは、例えば、携帯電話網や WiMAX などの、インターネット接続可能な通信を意味する。2.1 節でも述べた通り、この公衆広域網を用いた交通情報配信サービスは既に始まっており、カーナビゲーション機器が携帯電話網を使うものとしては、トヨタ自動車株式会社の G-BOOK[4]、本田技研工業株式会社のインターナビ [5]、日産自動車株式会社の CARWINGS[6] がある。各サービスともに、渋滞情報、交通規制情報などといった交通情報はもちろん、周辺店舗情報、経路上の天気情報、ニュース情報なども配信されており、提供される情報は交通情報にとどまらない。また、これらのサービスでは情報の提供だけでなく、携帯電話網を用いた情報の収集も積極的に行われている。道路の混雑度推定では、各車が携帯電話網を用いて現在の位置や速度を交通管理用のサーバに送信する。サーバでは各車から送られてきた情報に基づき、走行中の経路の交通量を推定する。この方法はカーナビゲーションを搭載した車だけでなく、スマートフォンでも同様のことが行われている [18]。例えば、米 Google 社が提供する Google Maps[19] では、サービスを使用しているスマートフォンが現在位置情報や加速度情報を Google 社のサーバに送信する仕組みとなっており、これらの情報から道路の交通量を推定している。推定した交通量は Google Maps で確認できるほか、交通情報へアクセスする API も公開されている。また、渋滞情報を重要度に応じて限られた 3G 通信帯域を用いて必要とするユーザへと配信する方式 [20] や、スマートフォンを用いた交通情報の推定手法 [21] や情報流布基盤 [22] なども提案されている。

モバイルコンテンツが高度化されていく一方で、現在、モバイル通信パケットの急激な増加による通信帯域の圧迫が問題となっている。総務省が大手携帯電話キャリアの通信状況をまとめた発表によると、2011 年 9 月のモバイル通信によるトラフィック量は前年同月比の約 2 倍に増加している。更に、文献 [23] の試算によると、2007 年から 2017 年のモバイル通信パケット増加数は約 222 倍になると予測される。これに伴い、大手携帯電話キャリアは対策を求められており、通信帯域の制限やパケット通信料金の従量制導入が検討されている。同様に、米国では 2014 年の通信帯域の不足が予測されており、通信機器の増設や周波数の分配が急務となっている [24]。また、米 AT&T 社や Verizon 社では既に、パケット増加への対策としてパケット通信料金の定額制廃止が行われている。

2.4 提案手法の位置付け

携帯電話網の利用状況は携帯電話の高機能化やコンテンツの高度化に伴い急激に増加しており、これを改善するためには無駄を極力排除した通信が求められている。そこで、車車間通信と携帯電話通信を併用することによって、携帯

電話網を利用した通信コストの高い従来の情報取得に対して、通信コストを抑えた情報取得を実現する。尚且つ、車車間通信のみでは実現できなかった周辺道路交通情報の高い割合での把握を目指す。その上で問題となるのは、道路交通情報を高い割合で把握するために、どれだけの情報が車車間通信で取得できるかと期待できるかを正確に見積もり、携帯網の利用を適切に控えることでいかに携帯電話通信のパケット数を削減できるかである。

車車間通信は周辺の車両数が増えることによって情報の取得性能が変化する。例えば、周辺の車両数が少なければ得られる情報量は少なくなり、車両数が増えれば得られる情報量は大きくなる。これにより、周辺情報の把握率を高く保ちつつ、効率的な通信携帯電話通信を行うためには、状況ごとの車車間通信の性能を考慮した携帯電話通信の使用率の決定が必要となる。そこで本研究では、交通量などの状況に注目した、車車間通信と携帯電話通信の効率的な使用分配を決定する手法を提案する。

3. システムの概要

本システムは情報管理を行うサーバとコンテンツの生成、交換、消費を行う車両から成る。本システムのアーキテクチャを図 2 に示す。サーバではコンテンツの管理だけでなく、車両の位置情報の管理や車両が授受するコンテンツの決定も行う。車両は主に車車間通信や携帯電話通信によりコンテンツの交換を行う。また、本論文で使用する記号を表 1 にまとめる。

本システムが対象とする道路網は交差点と交差点を結ぶ有向リンク (リンク) によって構成され、交差点集合 S とリンク集合 L によって表現される。各車両は本道路上を走行し、システムはその目的地を把握しないものとする。更に、各車両は GPS やカメラを搭載しており、移動中においてコンテンツを生成し、他車両が生成したコンテンツを自車両の位置とコンテンツの生成位置に応じて要求する。要求方法は以降に述べる。それらのコンテンツは車車間通信あるいは間接的にサーバを介した携帯電話通信により他車両と交換を行う。

また、各リンクの旅行時間分布関数 $\gamma(l, t)$ 、任意の 2 リンク間の旅行時間分布関数 $\gamma(l, l', t)$ 、リンクからリンクへの遷移確率関数 $q(l, l')$ は統計情報から与えられるものと仮定する。

コンテンツは写真や映像などを想定し、車載カメラなどにより生成される。コンテンツの生成は適当なタイミングで行われ、生成されたコンテンツはサーバ側でインデックス情報 (表 2) を用いて管理する。

各車両により定期的に生成された全てのコンテンツはその位置情報とインデックス情報がサーバに送信される。サーバはこれらコンテンツの生成座標情報からそれに対応するリンクを求め、それも合わせて保持する。

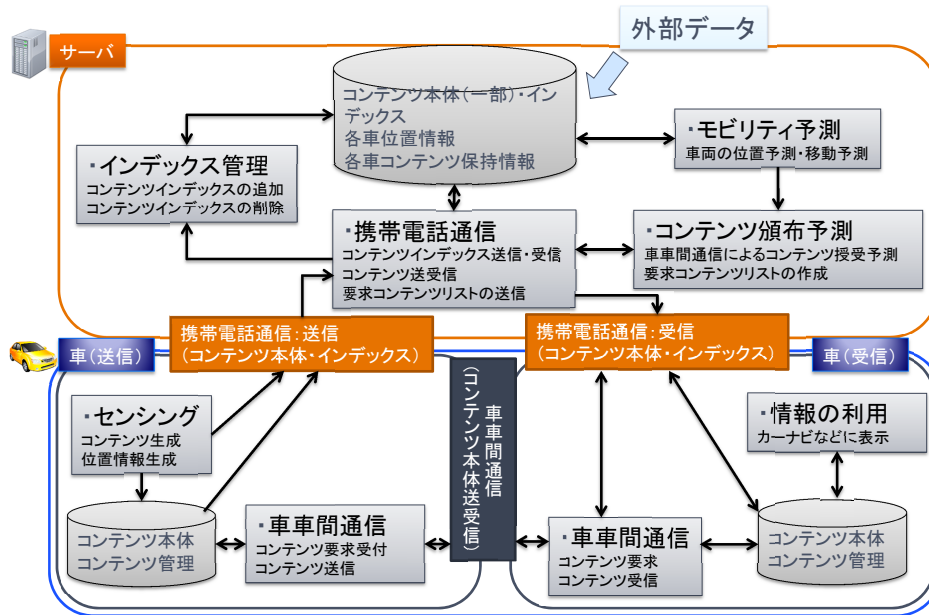


図 2 システムアーキテクチャ

表 1 記号の定義

記号	属性	説明
移動に関する定数および変数		
S		交差点集合
L		リンク集合
V		車両集合
$\mathcal{L}(v, t)$	$\mathcal{L} : V \times T \rightarrow L$	車両 v が時刻 t に走行しているリンク
$\gamma(l, h)$	$\gamma : L \times R \rightarrow [0, 1]$	リンク l への進入から退出までの旅行時間が h である確率 (R は実数集合)
$\gamma(l, l', h)$	$\gamma : L \times L \times R \rightarrow [0, 1]$	リンク l への進入からリンク l' からの退出までの旅行時間が h である確率
$p(v, l, t)$	$p : V \times L \times T \rightarrow [0, 1]$	車両 v が時刻 t にリンク l を走行している確率
$q(l, l')$	$q : L \times L \rightarrow [0, 1]$	リンク l を走行した車両がその後リンク l' を走行する確率
$P(v, l, t)$	$P : V \times L \times T \rightarrow [0, 1]$	車両 v がリンク l 上を走行している確率の時刻 t から時刻 $t + T_{slot}$ の間の期待値
コンテンツに関する定数および変数		
C		コンテンツ集合
$\mathcal{C}(l)$	$\mathcal{C} : L \rightarrow 2^C$	リンク l で生成されたコンテンツ集合
$\zeta(l)$	$\zeta : L \rightarrow 2^L$	リンク l を走行する車両が要求するコンテンツが生成されるリンクの集合
$C_{sub}(l)$	$C_{sub} : L \times 2^C$	リンク l を走行する車両が要求するコンテンツの集合
コンテンツ授受計算に関する定数および変数 (タイムスロット T_{slot} 単位)		
T_{slot}	定数	サーバによるスケジュール計算のタイミングインターバル
$\mathcal{H}(v)$	$\mathcal{H} : V \rightarrow 2^C$	車両 v が (タイムスロット開始時に) 保持しているコンテンツ集合
$C_{sub}(v, l)$	$C_{sub} : V \times L \rightarrow 2^C$	車両 v がリンク l 上で要求するコンテンツ集合
$C_{pub}(v, l)$	$C_{pub} : V \times L \rightarrow 2^{\mathcal{C}(l)}$	車両がリンク l 上で要求するコンテンツのうち、車両 v が保持するコンテンツの集合
$P_{sub}(c, v, l)$	$P_{sub} : C \times V \times L \rightarrow [0, 1]$	車両 v がリンク l 上でコンテンツ c を要求する確率
$P_{sub}(c, l)$	$P_{sub} : C \times L \rightarrow [0, 1]$	少なくとも一車両がリンク l 上でコンテンツ c を要求する確率
$P_{pub}(c, v, l)$	$P_{pub} : C \times V \times L \rightarrow [0, 1]$	車両 v がリンク l 上でコンテンツ c を保持している確率
$P_{pub}(c, l)$	$P_{recv} : C \times L \rightarrow [0, 1]$	少なくとも一車両がリンク l 上でコンテンツ c を保持している確率
$P_{recv}(c, v, l)$	$P_{recv} : C \times V \times L \rightarrow [0, 1]$	車両 v がリンク l 上でコンテンツ c を要求し、かつ受信できる確率
$P_{recv}(c, v, l)$	$P_{recv} : C \times V \times L \rightarrow [0, 1]$	車両 v がリンク l 上でコンテンツ c を要求し、かつ受信できない確率
$P_{send}(c, l)$	$P_{send} : C \times L \rightarrow [0, 1]$	リンク l 上でコンテンツ c が要求され、かつそのときにどの車両も保持しない確率

次に車両によるコンテンツの要求モデルを説明する。自車位置を送信してきた車両に対し、サーバーはその位置を

中心に半径 r [m] の範囲に生成されていたコンテンツが配送されるように、各車両の送信スケジュールを計算する。

表 2 コンテンツのインデックス情報

項目
コンテンツ ID
サイズ
生成日時
生成位置 (座標, 進行方向)
生成車両 ID

サーバでは各車両の移動を予測し、各車両に配信するコンテンツを決定するために要求リンク集合 ζ_l と要求コンテンツ集合 $C_{sub}(l)$ を定める。要求リンク集合とは、あるリンク上から各車両がコンテンツを要求する半径 r [m] に一部でも含まれるリンクの集合 (式 (1)) である。また、要求コンテンツ集合とは、あるリンク上において各車両が要求するコンテンツの集合 (式 (2)) である。要求リンク集合は地理情報から静的に決定でき、要求コンテンツ集合はコンテンツの生成状況に応じて動的に決定される。これらの集合より、サーバは車両に、その車両または他の車両が要求するコンテンツのリストを送信する。

$$\zeta_l = \{h : l \text{ から半径 } r \text{ に一部含まれるリンク} \} \quad (1)$$

$$C_{sub}(l) = \bigcup_{h \in \zeta_l} C(h) \quad (2)$$

3.1 移動予測のモデル

本システムでは、各車両の走行を予測し、コンテンツ交換スケジュール決定に用いることで、車車間通信によるコンテンツ交換が効率的に行われるようにし、携帯電話通信の通信量を削減する。車両の位置予測はサーバが行い、車両とコンテンツごと、車車間通信、携帯電話通信のいずれで取得するか、またコンテンツを携帯電話通信でアップロードするか否か、を決定する。

次に本移動予測モデルの概要を説明する。本システムは車両のリンク上での存在確率を予測として使用する。車両の移動は予測モデルを構築する。予測に用いる情報は、車両がコンテンツの生成時に定期的に送信する位置情報を主に用いる。また、前述の通り、リンク l の旅行時間分布関数 $\gamma(l, h)$ 、リンク l からリンク l' への旅行時間分布関数 $\gamma(l, l', h)$ 、リンク l からリンク l' への移動確率関数 $q(l, l')$ は統計情報より既知であるとする。

車両 v から現在位置情報を受信すると、サーバは車両 v が存在するリンク l_0 、ならびに l_0 への進入時間 t_0 を計算する。最終的に、車両 v のグローバル時刻 t におけるあるリンク l 上での存在確率関数を式 (3) として定める。なお、 $\delta(t) = t - t_0$ である。

$$p(v, l_0, t) = 1 - \int \gamma(l, \delta(t)) dt$$

$$p(v, l, t) = p(l_0, l) \cdot \left(1 - \int \gamma(l_0, l, \delta(t)) dt \right) \cdot \int \int \gamma(l, \delta(\tau)) \gamma(l_0, l, \delta(t - \tau)) d\tau dt \quad (3)$$

(ただし $l \neq l_0$)

これにより、車両 v の時刻 t におけるリンク l 上での存在確率が得られ、これを移動予測に用いる。なお、これは位置情報が車両から送信される毎に計算する。

3.2 車車間通信によるコンテンツ授受のスケジュール決定アルゴリズム

本システムでは車両間のコンテンツ要求の予測を行い、コンテンツ授受のスケジュールリングを行うことでコンテンツ交換を効率的に行う。ここで、スケジュールとは、規定の時間 (タイムスロット) T_{slot} 内に、各車両が各コンテンツを要求すべき確率および、その要求方法 (車車間通信あるいは携帯電話通信) である。3.1 節で示した各車両の移動予測を用い、各リンク上でどのコンテンツが必要とされるかを計算することで実現する。

車両 v が一タイムスロット期間にリンク l に存在する確率 $P(v, l)$ は、 t から $t + T_{slot}$ までの各時刻における車両 v のリンク l での存在確率の総和の平均として式 (4) で得られる。

$$P(v, l) = \frac{1}{T_{slot}} \int_0^{T_{slot}} p(v, l, t + x) dx \quad (4)$$

次に、車両 v がリンク l 上に存在する場合に要求するコンテンツの集合 $C_{sub}(v, l)$ は、リンク l において車両が要求する既知のコンテンツ集合 $C_{sub}(l)$ から、車両 v が保持するコンテンツ集合 $H(v)$ を除外することで得られる (式 (5))。

$$C_{sub}(v, l) = C_{sub}(l) - H(v) \quad (5)$$

更に、コンテンツ c がリンク l において車両 v に要求される確率 $P_{sub}(c, v, l)$ は $P(v, l)$ を用いて式 (6) で表せる。

$$P_{sub}(c, v, l) = \begin{cases} 0 & (c \notin C_{sub}(v, l)) \\ P(v, l) & (c \in C_{sub}(v, l)) \end{cases} \quad (6)$$

したがって、コンテンツ c がリンク l 上でいずれかの車両に要求される確率 $P_{sub}(c, l)$ は式 (7) で表せる。

$$P_{sub}(c, l) = 1 - \prod_v (1 - P_{sub}(c, v, l)) \quad (7)$$

次に、車車間通信で送信可能なコンテンツの決定方法について述べる。提案手法では、対向車両への車車間通信を想定する。あるリンク l の対向リンクを \bar{l} で表すとし、 \bar{l} を通行する車両が要求するコンテンツのうち、車両 v が保持するコンテンツ集合 $C_{pub}(v, \bar{l})$ は式 (8) で表現できる。

$$C_{pub}(v, \bar{l}) = C_{sub}(\bar{l}) \cap H(v) \quad (8)$$

次に、車両 v がリンク l でコンテンツ c を保持する確率は

式 (8) で表現できる.

$$P_{pub}(c, v, l) = \begin{cases} 0 & (c \notin C_{sub}(v, l)) \\ P(v, l) & (c \in C_{sub}(v, l)) \end{cases} \quad (9)$$

コンテンツ $c \in C_{sub}(\bar{l})$ がリンク l 上で少なくとも 1 台に保持されている確率 $P_{pub}(c, l)$ は式 (10) で与えられる.

$$P_{pub}(c, l) = 1 - \prod_v (1 - P_{pub}(c, v, l)) \quad (10)$$

この確率が高いほど, コンテンツ c がリンク l 上で取得できる確率が高いことを表す.

最後にこれらを用いたコンテンツ授受スケジュールの決定方法を説明する. まず, 車車間通信で要求させるコンテンツの決定方法を述べる. そのために, ある車両が高い確率で要求し, 他の車両が高い確率で保持するコンテンツを求める. 具体的には, ある車両 v がリンク l 上でコンテンツ c を要求する確率 $P_{sub}(c, v, l)$, および対向リンク \bar{l} 上で c がいずれかの車両に保持される確率 $P_{pub}(c, \bar{l})$ をすべてのリンクについて計算する. 次に, リンク l 上において車両 v がコンテンツ c を取得できる確率 $P_{recv}(c, v, l)$ は式 (11) で計算できる.

$$P_{recv}(c, v, l) = P_{sub}(c, v, l) \times P_{pub}(c, \bar{l}) \quad (11)$$

この値を最大化するコンテンツを, 車両 v がこのタイムスロットにおいて車車間通信で取得するコンテンツとする.

次に, 携帯電話通信で要求させるコンテンツの決定方法を説明する. 車両 v が携帯電話通信で取得すべきコンテンツは, その車両が要求するコンテンツのみならず, 他車両の車車間通信に供するコンテンツも含まれる. まず, 自車両が要求するコンテンツの決定方法を述べる. ここではある車両が高確率で要求し, 他車両が提供することが難しいコンテンツを求める. 具体的には車車間通信で要求させるコンテンツの決定方法と同様に, あるコンテンツの要求確率 $P_{sub}(c, v, l)$ と送信確率 $P_{pub}(c, \bar{l})$ からある車両 v がリンク l 上でコンテンツ c が受信できない確率を式 (12) で計算する.

$$P_{recv}(c, v, l) = P_{sub}(c, v, l) \times (1 - P_{pub}(c, \bar{l})) \quad (12)$$

この中から値が大きいコンテンツを選択し, それらを車両 v が次のタイムスロットにおいて携帯電話通信で取得するコンテンツとする.

2 番目に, 他車両のために取得するコンテンツについて記述する. ここでは高確率で他車両が要求し, 自車両が携帯電話通信を用いて取得した場合に高確率で送信可能なコンテンツを求める. 具体的にはまず, あるリンク l においてコンテンツ c を送信できる確率 $P_{pub}(c, l)$ 及びあるリンク \bar{l} 上でコンテンツ c が要求される確率 $P_{sub}(c, \bar{l})$ を全リンク分計算する. 次に, あるコンテンツ c についてリンク \bar{l} 上で要求され, リンク l 上で送信できない確率を式 (13) で

計算する.

$$P_{send}(c, l) = P_{sub}(c, \bar{l}) \times (1 - P_{pub}(c, l)) \quad (13)$$

この中から, 車両 v のあるリンク l 上の存在確率を考慮し, 車両 v が他車両のために取得すべきコンテンツ c_g を式 (14) で決定する.

$$c_g = \arg \max_{c, l} \{P(v, l) \times P_{sub}(c, l)\} \quad (14)$$

ただし, もし車両 v が既に c_g を保持していた場合は, このコンテンツについて携帯電話通信による取得は行わない.

4. プロトコル

4.1 プロトコル概要

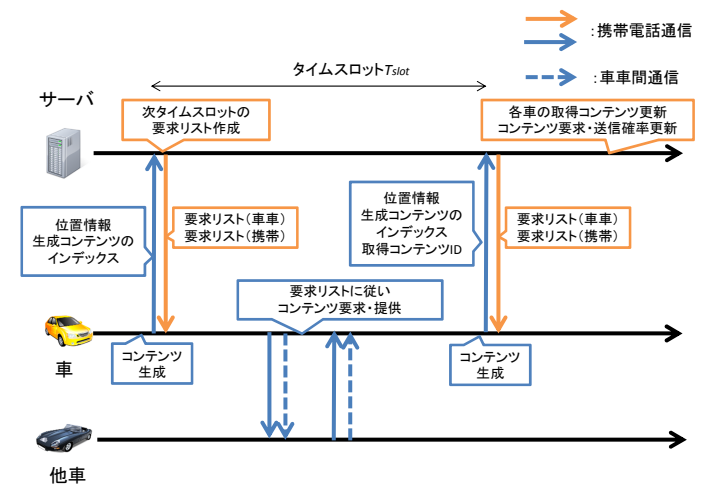


図 3 本システムのタイミングチャート

本システムのプロトコル概要を説明する. また, 本システムのタイミングチャートを図 3 に示す. 本システムではまず, 車によってコンテンツの生成が行われる. コンテンツ生成後, 車は自車の位置情報と生成コンテンツのインデックス情報を携帯電話通信を用いてサーバに送信する. この際, サーバではその車に向かって, 次のタイムスロットでその車が取得すべきコンテンツのインデックスリストを携帯電話通信を用いて送信する. この取得すべきコンテンツのインデックスリストは 3.2 節で計算したもので, 車車間通信で取得すべきリストと携帯電話通信で取得すべきリストの 2 である. 車は次のタイムスロット内においてこれらコンテンツの取得を試みる. 車車間通信では, 走行中, 車車間通信を用いて他車に対して情報の要求が行われる. 携帯電話通信では, 携帯電話通信を用いてサーバや他車に対して情報の要求が行われる. タイムスロットが終了すると, 車は本タイムスロット内で取得したコンテンツのインデックス ID リストを作成する. そして車では再度コンテンツ生成が行われ, 生成コンテンツのインデックス情報送信時に取得したコンテンツのインデックス ID リストも同

時に送信する。サーバでは送信されたインデックス ID リストを用いてリンクごとのコンテンツ送信確率を更新する。

4.2 サーバのプロトコル

本システムにおいてサーバはコンテンツや車両を管理し、効率的な通信を実現する。サーバの主な機能はコンテンツインデックスの管理、車両の移動予測、コンテンツの授受スケジュールの決定、コンテンツの交換である。

- コンテンツインデックスの管理
コンテンツインデックスの管理では生成されたコンテンツの保存、追加、破棄を行う。まず、各車によって生成されたコンテンツは携帯電話通信を用いてそのインデックス情報がサーバに送信される。そのコンテンツインデックスはサーバによって車の位置情報からリンクに関連付けられ、サーバのストレージに新規追加される。この際、リンク上のコンテンツ数が一定数以上ならば最も古いコンテンツインデックスを破棄する。これらコンテンツインデックスはコンテンツの授受スケジュールの決定などで利用される。モデルでは $C(l)$ の更新を行うことに相当する。
- 車両の移動予測
車両の移動予測では各車の位置や速度より、次のタイムスロット間に車があるリンク上に存在する確率を 3.1 節に示した方法により計算する。移動予測は、車両がサーバに定期生成コンテンツの送信を行った際に、サーバにおいて次タイムスロット間の予測がまとめて計算される。具体的には存在確率関数 $p(v, l, t)$ を更新する。
- コンテンツの授受スケジュールの決定
コンテンツの授受スケジュールの決定では、次のタイムスロット間に車が車車間通信もしくは携帯電話通信で交換すべきコンテンツの決定が行われる。3.2 節に示した方法を用いて、車両の移動予測後に授受スケジュールが決定される。最終的に、サーバは決定に基づき作成した車車間通信で取得するコンテンツ ID のリストと携帯電話通信で取得するコンテンツ ID のリストを車に送信する。車はリストにそれぞれの方法でコンテンツの取得を試みる。
- コンテンツの交換
コンテンツの交換は、タイムスロット内において行われる。コンテンツの交換には 3 種類あり、車車間通信による車両同士の交換、携帯電話通信による車両間の交換、携帯電話通信によるサーバ車両間の交換である。サーバは、車両間で携帯電話通信によるコンテンツの交換が行われる際に、通信経路としてサーバを経由することで、そのコンテンツをサーバ内に保存する。再度、そのコンテンツが他車に必要な際にはサーバから提供する。これにより、通信コストを減らすこ

とができる。

4.3 車両のプロトコル

本システムにおいて車はコンテンツの生成者もしくはコンテンツの消費者である。車両の主な機能はコンテンツの生成、コンテンツの交換、ドライバーへのコンテンツ提供である。

- コンテンツの生成
コンテンツは車両に取り付けられたカメラなどによって定期的に生成される。車両は生成したコンテンツのインデックス情報 (表 2) を携帯電話通信によりサーバに送信する。この際に、サーバでの管理のためにコンテンツ生成時の位置情報や時刻情報を付加する。
- コンテンツの交換
コンテンツの交換では他車とのコンテンツの授受を行う。まず、サーバより要求すべきコンテンツの ID リストを受信する。リストは 2 つあり、車車間通信で要求するコンテンツ ID リストと携帯電話通信で要求するコンテンツ ID リストである。車はこのリストに従い、タイムスロット間、他車に対して要求を行う。車車間通信の場合、車は要求するコンテンツの ID をブロードキャストにより送信する。車車間通信には車両間の通信で一般的に用いられる IEEE802.11p を想定する。他車と遭遇すると、他車は要求されたコンテンツを持つ場合にそのコンテンツを送信する。また、他車から要求を受け、自車がそのコンテンツを持っている場合にはそのコンテンツを送信する。携帯電話通信の場合、車は要求するコンテンツの ID をサーバまたはリストに記載された他車に送信する。要求を受信したサーバまたは他車はコンテンツを携帯電話通信を用いて送信する。これにより、コンテンツの交換を行う。また、タイムスロットが終了すると、タイムスロット内で取得したコンテンツ ID のリストをサーバに送信する。
- コンテンツの提供
コンテンツはカーナビなどを通してドライバーに提供される。本システムでは写真などを想定しているため、カーナビの道路上にその写真を表示する。これにより、ドライバーはよりの確に道路状況を把握できる。

5. シミュレーション

本システムを評価するために、離散事象シミュレータ Scenargie を用いた性能評価を行った。本章ではシミュレーション環境とその結果について述べる。

5.1 シミュレーション環境

5.1.1 環境設定

初めに、シミュレーションの方法について説明する。シ

シミュレーションには離散事象シミュレータ Scenargie と ITS Extension モジュールを用いた。まず、図 4 に示すような市街地を想定したマップに対して、Mates を用いて車両の交通流を発生させた。次に、Scenargie を用いて車両間の無線通信シミュレーションを行った。

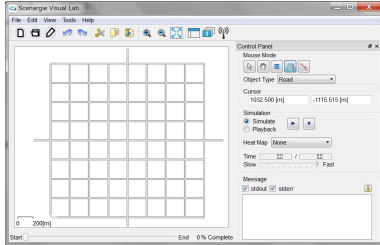


図 4 市街地マップ

シミュレーションに用いた市街地の大きさは 2km×2km で、1 リンクの長さが 250m である。マップ上には 4 箇所の流入点と流出点があり、車両は流入点から発生し、異なる位置にある流出点に向けて走行する。その際、経路はなるべく短い経路を通るが、道中の経路選択は自由であり、その経路は Mates によってランダムに設定される。また、シミュレーション時間は 1 時間行い、流入点から合計 1127 台の車両を発生させた。この発生車両数は同マップにおいて渋滞が発生せず、スムーズな交通が行える車両数である。

続いて車両の装備と設定について説明する。シミュレーションでは、一部の車両に車車間通信機、携帯電話通信機、GPS 機器、その他センサー機器を装備させた。これらを装備する車は本システムに参加する車両であり、発生車両の中から一定の割合でランダムに選択されるように設定した。本評価では装備車両の割合は現実的な車載器の装備率を考慮し 5%、10%、15%、20% の 4 通りでシミュレーションを行った。GPS 機器は位置情報を取得するために用い、誤差がない理想的な状態であると仮定する。また携帯電話通信はマップ上のどこでもサーバや他車との通信が可能であり、通信速度が 500kbps であること以外は常に通信が成功する理想的な通信であると仮定した。ただし車車間通信はシミュレーション上でのパケットの衝突を考慮し、通信帯域も設定した。車車間通信の詳細な設定は表 3 に示す。車車間通信には車両間通信で一般的な IEEE802.11p を想定しており、車両同士の通信はコンテンツを欲しい車がマルチホップなしの定周期ブロードキャストを行い、そのコンテンツを保持する車が返信する形で通信を行う。この時、各車が要求するコンテンツはサーバが決定し、携帯電話通信でその一覧が送信される。

最後に、本システムの想定について説明する。コンテンツの生成は車両が行い、30 秒に一度生成されるようにタイムスロットを設定した。生成されるコンテンツの大きさは 10kBytes 程度、100kBytes 程度、1000kBytes 程度の 3 種

表 3 車車間通信の設定

設定項目	設定値
通信形態	プル型
情報要求間隔 [ms]	500
通信プロトコル	IEEE802.11p
周波数帯域	5.9GHz
帯域幅	10MHz
最大ビットレート	3Mbps
最大通信範囲	300m

類の設定を用いた。コンテンツの生存時間は設定せず、同リンク上に 5 つ以上コンテンツが生成された場合に古いコンテンツを削除する。また車両は自転車から半径 750m のリンク上に存在するコンテンツを要求すると仮定した。その為、車両に要求させるコンテンツの一覧はこの中から選出され、選出する個数は 1 タイムスロットで最大車車間通信用 6 つ、携帯電話通信用 4 つである。加えて、この際に発生する車両とサーバ間の通信は 30 秒間あたりおおむね数十 Bytes から百数十 Bytes 程度であった。車両の移動予測では各リンクに長さとし走行速度から算出した正規分布を仮定し、交差点での分岐確率はリンク長と角度から一意に定義した。

5.1.2 評価対象

本システムを評価するために比較シミュレーションを行った。比較対象のシステムはサーバ・クライアント方式のランダム選択プロトコル(ランダムシステムと呼ぶ)を用いた。このプロトコルは提案システム同様、車両が 30 秒に 1 度コンテンツを生成し、サーバでコンテンツのインデックス管理、車両でコンテンツの管理を行うものである。ただし、車両の移動予測は行わず、車車間通信で取得するコンテンツリストと携帯電話通信で取得するコンテンツリストをランダムに決定する。

評価項目は以下のものを用いた。

- 1 コンテンツあたりの携帯電話送受信量

これはある車が 1 コンテンツを取得するためにどの程度の通信を要したかを評価する項目である。この項目は値が低いほど性能がよいことを示す。1 コンテンツあたりの携帯電話送受信量を S とすると、式 (15) で記述できる。

$$S = \frac{\text{平均送受信量 [Bytes]}}{\text{平均コンテンツ取得数}} \quad (15)$$

- 車車間通信と携帯電話通信の使用比

これは車車間通信と携帯電話通信をどの程度の配分で使用したかを評価する項目である。この値は式 16 のように定義し、値が高いほど車車間通信を良く使用し、性能がよいことを示す。取得総数はコンテンツの取得総数を表す。

$$(\text{使用比}) = \frac{\text{車車間通信による取得総数}}{\text{携帯電話通信による取得総数}} \quad (16)$$

● 削減率

これはどの程度通信量を削減できたかを評価するために使用する。削減率は式 (17) で記述できる。

$$(\text{削減率}) = 1 - \frac{\text{比較対象の通信量}}{\text{評価対象の通信量}} \quad (17)$$

5.2 シミュレーション結果

5.2.1 コンテンツ取得数とコンテンツあたりの携帯電話通信量

一般的に、携帯電話通信を用いたコンテンツ取得ではその通信量はコンテンツを取得した数に応じて増加する。その為、性能比較では車両が取得した1コンテンツあたりの携帯電話通信量を比較する。ここで携帯電話通信量は送信と受信の通信量を合わせた通信量をいい、コンテンツ取得数は車車間通信と携帯電話通信で取得した数を合計している。本節では提案システムとランダムシステムについてコンテンツ取得数と1コンテンツあたりの携帯電話通信量の比較を行う。

図5, 6, 7は提案システムとランダムシステムの平均コンテンツ取得数と1コンテンツ取得に要した携帯電話通信量の比較を、それぞれのコンテンツサイズのもと行ったも

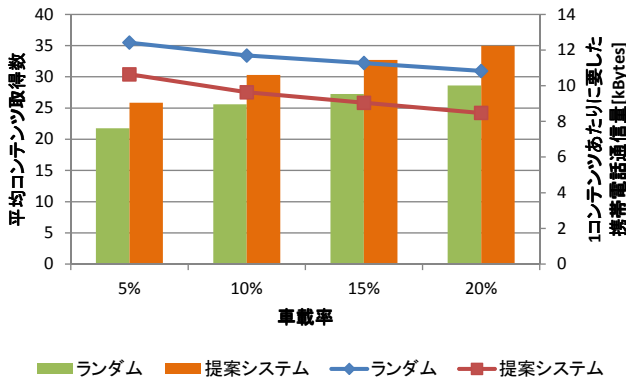


図5 コンテンツ取得数とコンテンツあたりの携帯電話通信量
コンテンツサイズ 10kBytes

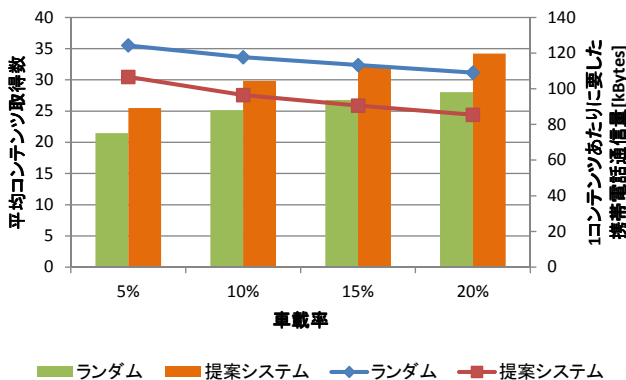


図6 コンテンツ取得数とコンテンツあたりの携帯電話通信量
コンテンツサイズ 100kBytes

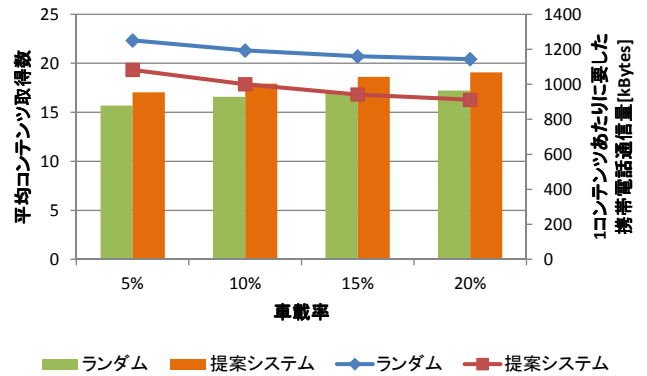


図7 コンテンツ取得数とコンテンツあたりの携帯電話通信量
コンテンツサイズ 1000kBytes

のである。棒グラフが平均コンテンツ取得数を表し、折れ線グラフが1コンテンツあたりの携帯電話通信量を表す。1コンテンツあたりの携帯電話通信量は低い方が良い結果である。

図を見ると、どの車載率、コンテンツサイズでも提案システムはコンテンツを多く取得し、1コンテンツあたりに要した携帯電話通信量はランダムシステムに比べて良い結果になっている。これは5.2.2節でも後述するが、車車間通信が効果的に働いたためである。また、車載率が上がると1コンテンツあたりの通信量は下がることが分かった。これは車車間通信による情報共有が多くなるためであると考えられる。ただ、図7をみると、コンテンツサイズが1000kBytes程度の時、提案システム、ランダムシステム共に他の場合と比べコンテンツ取得数が下がっている。携帯電話通信の通信速度は500kbpsに設定しているため、コンテンツサイズが大きすぎてサーバが指示した内容全てを取得しきれなかったものと推察できる。

5.2.2 車車間通信と携帯電話通信の使用比

本節では車車間通信と携帯電話通信の使用比を検証する。本研究の目的は携帯電話通信をなるべく使用せずに車にコンテンツを届けることである。その為には車車間通信を効率的に活用し、携帯電話通信を控えることができる場合は控える必要がある。そこで、本節においてその使用比を検討する。

図8, 9, 10は提案システムとランダムシステムの車車間通信と携帯電話通信の使用比を、車載率、コンテンツサイズごとに比較したものである。

図より、どの車載率、コンテンツサイズにおいても、提案システムではランダムシステムに比べて車車間通信を効果的に利用できていることが分かる。また、車載率が上がると両システムとも線形的に車車間通信を多く利用するようになるが、その差が大きくなることが分かった。これは、車載器の搭載車数が増えたことにより、提案システムではコンテンツ授受確率の計算が精度良く行えるようになった

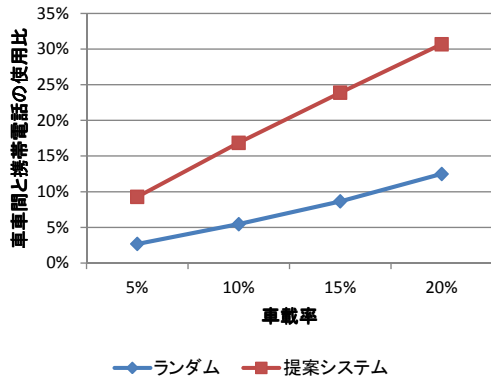


図 8 車車間通信対携帯電話通信の使用比
コンテンツサイズ 10kBytes

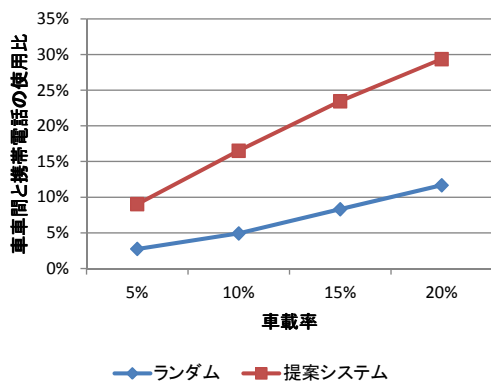


図 9 車車間通信対携帯電話通信の使用比
コンテンツサイズ 100kBytes

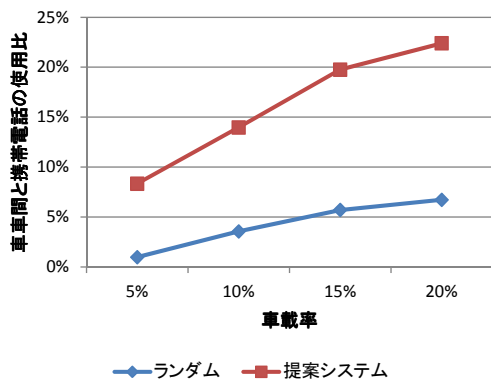


図 10 車車間通信対携帯電話通信の使用比
コンテンツサイズ 1000kBytes

ため、更に効率的に車車間通信を活用できるからである。また、コンテンツサイズが 1000kBytes 程度の図 10 は途中から両システムともに線形になっていない。コンテンツサイズが大きい場合、車載率が増えても、車車間通信の通信帯域が圧迫され、輻輳が発生するためこのような結果になると考えられる。

5.2.3 削減率

本節では本研究の目的である携帯電話通信をどの程度削減できたかを評価する。現在、一般的にこのような参加型

システムにおいてコンテンツの授受には携帯電話通信が用いられる。車が生成したコンテンツを携帯電話通信を用いてサーバに送信し、必要なタイミングで携帯電話通信を用いてサーバから受信する形である。そこで本節では提案システムの有効性を示すために、一般的な携帯電話通信のみを利用したシステム(携帯システム、図中では携帯)と携帯電話通信量の比較を行い、どの程度通信量が削減できたかを示す。

図 11, 12, 13 は、各搭載率とコンテンツサイズにおけるシステム間の削減率を示したものである。図より、どの場合においても提案システムは通信量を削減できた。対携帯システムでは約 15%から 30%程度、対ランダムシステムでは 15%から 20%程度の削減率を達成した。

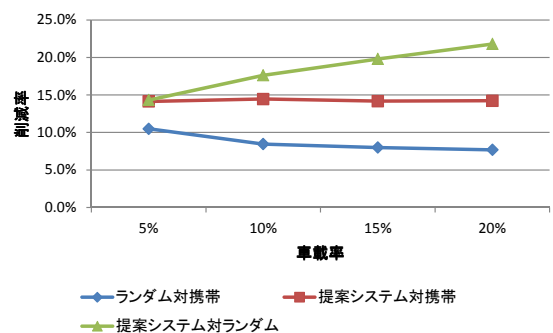


図 11 携帯電話通信量の削減率
コンテンツサイズ 10kBytes

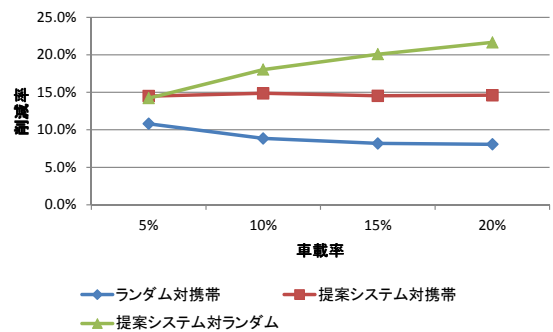


図 12 携帯電話通信量の削減率
コンテンツサイズ 100kBytes

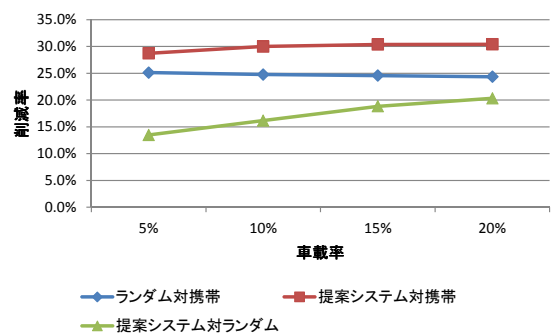


図 13 携帯電話通信量の削減率
コンテンツサイズ 1000kBytes

6. おわりに

本稿では車載カメラ等から生成されるリアルタイムでサイズの大きい映像・画像コンテンツを車両間で共有するシステムを提案した。提案システムでは車両が定期的にコンテンツを生成し、そのコンテンツのインデックス情報と車両情報をサーバで管理する。サーバは車両の移動位置を確率的に予測することで、コンテンツの授受確率を計算し、車両が車車間通信または携帯電話通信を用いて取得すべきコンテンツのリストを決定する。車両はサーバが決定したコンテンツのリストを基に車車間通信と携帯電話通信を用いてコンテンツの授受を行う。このように各車両の位置からコンテンツの授受確率を計算し、授受するコンテンツを決定することで携帯電話通信や車車間通信による取得を効果的にし、携帯電話通信の通信コストを抑えることを図った。また、シミュレーション結果より、車載器搭載率が低い環境下においても携帯電話通信だけを用いたシステムや予測を行わないシステムに比べ、通信量を削減できることを確認した。

今後の課題は、提案システムのみ現実的な検証として、実際の走行軌跡に対し本システムを適用した場合にどの程度通信量の削減を行えるか検証することが挙げられる。また、より複雑な道路環境に対して統計情報を活用することでどの程度の予測精度が得られるかも検証したい。

参考文献

- [1] 玉井森彦, 尾上佳久, 安本慶一, 福倉寿信, 岩井明史: 画像処理に基づいた効率のよい渋滞動画の収集・共有方式, 情報処理学会研究報告, Vol.2012-MBL-65, No.36, pp. 1-8, 2013
- [2] 安達俊郎, 渡辺泰男, 川見篤史: 高速道路交通管制システムの現状とこれから, 東芝レビュー, Vol.57, No.12, pp.15-18, 2002
- [3] 財団法人 道路交通情報通信システムセンター: VICS, <http://www.vics.or.jp/index1.html>
- [4] トヨタ自動車株式会社: G-BOOK, <http://g-book.com/pc/default.asp>
- [5] 本田技研工業株式会社: INTERNAVI, <http://www.honda.co.jp/internavi/>
- [6] 日産自動車株式会社: CARWINGS, <http://drive.nissan-carwings.com/WEB/index.htm>
- [7] G.Korkmaz, E.Ekici, F.Ozguner and U.Ozguner: Urban Multi-Hop Broadcast Protocol for Inter-Vehicle Communication System, Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Vehicular Ad hoc Networks pp.76-85, 2004
- [8] M.Rudack, M.Meinke and M.Lott: On the Dynamics of Ad-hoc Networks for Inter Vehicle Communication, 2002
- [9] Tamer Nadeem, Sasan Dashtinezhad and Chunyuan Liao: TrafficView: Traffic Data Dissemination using Car-to-Car Communication, ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review, Vol.8, No.3, pp.6-19, 2004
- [10] J.Zhao and G.Cao: VADD: Vehicle-assisted Data Delivery in Vehicular Ad-hoc Networks, IEEE Infocom vol.6, pp.1-12, 2006
- [11] Masashi Saito, Mayuko Funai, Takaaki Umedu and Teruo Higashino: Inter-Vehicle Ad-hoc Communication Protocol for Acquiring Local Traffic Information, Proc. of 11th World Congress on ITS, 2004
- [12] C.Schwingschogl and T.Kosch: Geocast Enhancements of AODV for Vehicular Networks, Mobile Computing and Communications Review, Vol.6, No.3, pp.96-97, 2002
- [13] Q. Zhang and J. H. Zhao: "A Model for Automatic Collection and Dynamic Transmission of Traffic Information Based on VANET", Proc. of 15th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems(ITSC2012), pp. 373-378, 2012.
- [14] T. Gaugel, F. Schmidt-Eisenlohr, J. Mittag and H. Hartenstein: "A Change in Perspective: Information-Centric Modeling of Inter-Vehicle Communication", Proc. of the Eighth ACM International Workshop on Vehicular Inter-Networking 2011(VANET '11), pp. 61-66, 2011.
- [15] R Uzcategui and G.Acosta-Marum: WAVE: A Tutorial, IEEE Communications Magazine, Vol.47, No.5, pp.126-133, 2009
- [16] G.Grau, D.Pusceddu, S.Rea, O.Brickley, M.Koubek and D.Pesch: Vehicle-2-Vehicle Communication Channel Evaluation using the CVIS Platform, Communication Systems Networks and Digital Signal Processing (CSNDSP), Proceedings of the 7th International Symposium, pp.449-453, 2010
- [17] Takeshi Fujiki, Masayuki Kirimura, Takaaki Umedu and Teruo Higashino: Efficient Acquisition of Local Traffic Information using Inter-Vehicle Communication with Queries, Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC' 07), pp. 241-246, 2007
- [18] G.Leduc: Road Traffic Data: Collection Methods and Applications, JRC Technical Notes, pp.5-8, 2008
- [19] Google: Google Maps, <http://maps.google.co.jp>
- [20] 玉井森彦, 安本慶一, 福倉寿信, 岩井明史: "ユーザ参加型センシングに基づく動画渋滞情報の効率よい収集および配信方式", 情報処理学会研究報告 高度交通システム (ITS), Vol.2012-ITS-50, No.12, 2012.
- [21] P. Mohan, V. N. Padmanabhan, and R. Ramjee: "Nericell: Rich Monitoring of Road and Traffic Conditions using Mobile Smartphones", proc. of SenSys'08, pp. 323-336, 2008.
- [22] 澤田暖, 佐藤雅明, 植原啓介, 村井純: "iDANS: スマートフォンを用いた車両間アドホックネットワークにおける位置情報に即した情報流布基盤", 情報処理学会研究報告 高度交通システム (ITS), Vol. 2011-ITS-44(9), 1-8, 2011.
- [23] 情報通信審議会 情報通信技術分科会: 携帯電話等周波数有効利用方策委員会報告, 2008
- [24] Federal Communications Commission: Mobile Broadband: The Benefits of Additional Spectrum, 2010