

効率的な車両間情報共有のための V2X コンテンツ配送スケジューリング

安達 佳明^{1,a)} 梅津 高朗^{2,b)} 山口 弘純^{1,c)} 東野 輝夫^{1,d)}

概要: 本研究では車両が撮影した映像コンテンツを、車車間通信 (V2V) と携帯電話通信 (V2I) を用いて効率的に車両間で共有するためのコンテンツ配送のスケジューリングを提案する。提案手法では、車両とコンテンツの位置をサーバが管理し、車両の確率的な移動予測を基に車両間 (V2V) 及び車両・サーバ間 (V2I) でのコンテンツ交換をスケジュールする。このため、コンテンツ交換における通信の制約及びコンテンツ取得期限に関する制約を線形式で表現し、これを整数線形計画問題として定式化する。次に、これを効率良く解くためのスケジューリングアルゴリズムを提案する。ネットワークシミュレータ Scenargie を用い、3km×3km の領域に約 2000 台/時が存在するシナリオにおける評価を実施した結果、提案手法は従来の V2I のみを利用するシステムに比べ、同程度のコンテンツ配送率を満たしつつ、V2I によるコンテンツ取得数を 21%削減できることを確認した。

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 [2]、そのような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。

一般にコンテンツの集約・配信では携帯電話網を用いる

が、映像コンテンツはサイズが大きく、また、携帯電話網のトラフィックは増加傾向にあるため、今後のサービス参加車両の増加に対するスケーラビリティを具備する必要がある。例えば、ホンダが展開するインターナビ [1] 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 V2I の帯域を有効に活用しつつ、トラフィックを可能な限り狭域通信にオフロードする必要がある。これに対し、車車間通信を併用して近隣の車とローカルにコンテンツを共有することで、携帯電話網を介した情報の取得を減らすことができると考えられるが、車車間通信の通信容量も有限であり、かつ車両の移動によりコンテンツ交換の機会が限られるため目的とするコンテンツを決められた時間内に効率的に共有することは容易ではない。

そこで本研究では、車両が大容量コンテンツをリアルタイムに生成する状況で、それらを携帯電話通信と車車間通信を併用し効率的に車両間で共有するためのコンテンツ配送スケジューリングを提案する。想定するシステムでは、サーバが車両とコンテンツの位置を管理し、車両のコンテンツ保持状況に応じて、交換するコンテンツとそれを行う車両、時刻及び場所、通信方法 (V2V もしくは V2I) というコンテンツ交換スケジュールを、車両の移動予測より計算した遭遇確率を最適化問題を解くことで動的に決定する。これらのシステムを構築するために、まずコンテンツ交

¹ 大阪大学 大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

² 滋賀大学 経済学部
Faculty of Economics, Shiga University

a) y-adachi@ist.osaka-u.ac.jp

b) ta-umedu@biwako.shiga-u.ac.jp

c) h-yamagu@ist.osaka-u.ac.jp

d) higashino@ist.osaka-u.ac.jp

換における通信の制約及びコンテンツ取得期限に関する制約を線形式で表現し、コンテンツ交換のスケジューリングを整数線形計画問題で定式化する。実際のシステムではこの問題をリアルタイムに解く必要があるため、問題を効率よく解くためのアルゴリズムも提案する。スケジューリング問題の定式化では、車両間の遭遇予測、各車両の移動に伴うコンテンツ需要予測、V2V、V2Iのリンクの通信容量を入力とする。さらに、車両の需要の充足度を正の利益、通信を負の利益と定義した利益関数を設定し、各制約式のもとで利益を最大化する。なお、この定式化では、全てのコンテンツ交換を一度に決定するため、そのまま解を求めることは計算量の観点から得策ではない。そこで提案アルゴリズムでは、ある1コンテンツを対象とした部分問題の解を繰り返し求めることで求解速度を向上させ、かつ、入力の変更にも対応しやすくなるように工夫してある。スケジューリングするコンテンツはその時点で要求数が最も多いコンテンツを選択する。また、このスケジュールは移動確率ベースであるため、コンテンツスケジューリングの時間内であれば、配送率を高めるために他の経路も計算する。これにより、車車間通信の通信を効率的に利用し、携帯電話網のトラフィックが削減できると考えられる。

本システムの有効性を評価するために交通流シミュレータ Vissim と離散事象シミュレータ Scenargie を用い、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 3km×3km の市街地図を用いて、まず Vissim により 1 時間で約 13000 台の車両の交通流を生成した。次に、車両のシステム参加率を変化させ、提案手法を実装した Scenargie によって車車間通信による携帯電話通信の通信量削減効果を検証した。シミュレーションの結果、約 2000 台/時が存在する状況で同程度のコンテンツ配送率を保ちつつ、21%程度のコンテンツ取得数を車車間通信にオフロードできることを確認した。

2. 関連研究

近年、プローブカーデータやスマートフォンを用いて車両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が実用化されており、例えば、スマートフォンを用いた交通情報の推定手法 [7] などが提案されている。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、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。更に、最近では車両間でドライブレコーダの走行映像を共有するサービス [2] も登場しており、道路交通情報はより高度化している。一方で、サービス加入者の増加に対するスケーラビリティの確保が課題となっており、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 [6] も提案され

ている。

これらの課題を解決する方法として、車車間通信による DTN [3] を利用し、携帯電話網を介したコンテンツ取得をオフロードする方法が考えられる。車車間通信は WAVE/DSRC [4] による規格化も行われており、最近では自動運転のためのインフラとして再び脚光を浴びつつある。また、スマートフォンによるアドホック環境での情報流布基盤 [8] も提案されている。しかし、一般に車車間通信だけでは全体の情報を把握することは困難であることが分かっている [5]。また、目的のコンテンツを決められた時間内に特定の車両に確実に届けることは難しく、効率的な方法が必要である。

そこで車車間通信の効率を上げる方法として移動予測を用いる研究もある [9]。文献 [9] では、車車間通信だけを用いた環境において、離れた車両間の情報交換をなるべくホップ数が小さく、確実に行われるような経路を各車両が選択するアルゴリズムが提案されている。同文献では車両の移動軌跡より N 階マルコフ連鎖を用いて確率的な移動予測を算出し、その値を基に狭域通信で交換する情報を決定している。しかし、コンテンツの配送期限などの概念が導入されておらず、ライブコンテンツ交換には単純に適応できない。

これに対して、本研究では制限時間を加味した移動予測を基に V2V と V2I のハイブリッドによるコンテンツ交換の最適化問題を扱い、それをリアルタイムに解くことでスケジューリングを行う新しい方式を提案している。

3. システムのモデル化

3.1 システムアーキテクチャ

提案システムは車両が車載カメラなどによって生成した映像コンテンツを、車車間通信や携帯電話通信を利用し効率的に他車へ配送するシステムである。映像コンテンツとは画像や短い動画のことであり、走行中の道路状況や交通状況が撮影されたものを想定する。

まず、システムの構成を述べる。システムはサーバと車両群から成る。サーバはコンテンツの管理やコンテンツ配送の最適化を行い、車両群はコンテンツの生成、交換、保持を行う。車両は GPS 機能、車車間通信機能、携帯電話機能、カメラ機能を有した車載器を保持する。V2I は携帯電話通信を用いて常時可能であり、V2V は通信範囲内の車両のみと車車間通信を用いて通信可能とする。図 1 に本システムのアーキテクチャを示す。

次にシステムの動作概要を述べる (図 2)。まず、空間をグリッド状に N 個の正方セルに分割し、セル集合 G によって表現する。サーバではコンテンツをセル単位に管理し、コンテンツの生成位置をセルで記録する。サーバは車両の位置情報、車両により生成されたコンテンツのサイズや ID などのメタ情報であるインデックス情報、車両が現在保持

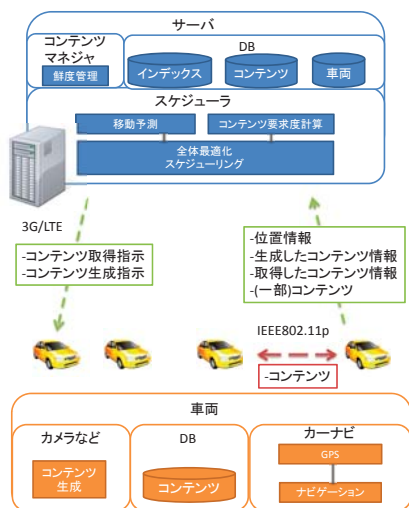


図 1 システムアーキテクチャ

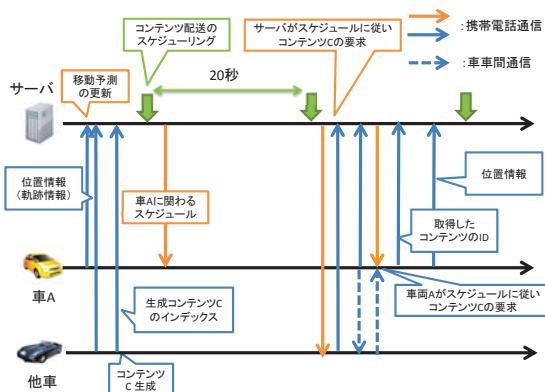


図 2 システムの流れ

しているコンテンツの情報を収集する。各情報は携帯電話網を経由して車両からサーバに送信される。車両の位置情報は 30 秒ごとに、インデックス情報はコンテンツを生成した時に、コンテンツの保持情報はコンテンツを取得した時に送信される。車両の位置情報はサーバが移動予測を行う際に用い、インデックス情報はコンテンツ管理に、保持情報はスケジュールを決定するために用いる。サーバは車両の位置情報を受信すると、その情報を基に位置情報を送信した車両について 150 秒程度の移動予測を行う。

また、交換するコンテンツの生成は、情報を取得したい地点の近隣車両に対しサーバが生成指示を送信し、対応する車両が車載カメラなどを用いて生成する。生成されたコンテンツはその車両に一旦保存され、車両はサーバにコンテンツの ID、コンテンツが生成された位置や時刻を記したインデックス情報だけを送信する。

次にサーバはインデックス情報と車両の移動予測より、車両がどのコンテンツをいつまでに必要とするかのコンテンツ需要予測を行う。一般的に車両にとって将来到達すると予測されるセルに存在するコンテンツの利用価値が最も

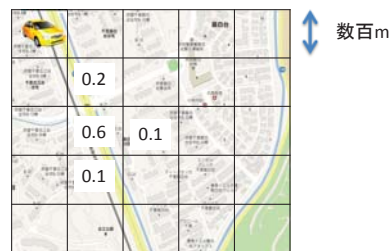


図 3 グリッド分割と存在確率 (セル内の数値が $p(i, g, t)$ の値)

高いと考えられる。その為、車両の需要モデルを、車両が将来到達すると予測されるセルのコンテンツを必要とするものと定める。コンテンツが存在するセルに車両が到達する 30 秒前までにその車両にコンテンツを配送するものとする。需要のあるコンテンツについて 20 秒に 1 度、その車両と他車の需要やコンテンツの保持情報より、サーバがネットワーク資源を削減しつつ必要なコンテンツをより多く車両に配送できるように、コンテンツ交換の時刻と場所、通信方法を決定する。本研究ではこれをスケジューリングと呼ぶ。スケジューリング後、サーバは車両に対しその車両が関連するスケジュールを携帯電話網を介して送信する。その後サーバと車両はスケジュールに基づき、それぞれコンテンツを要求する。また、車両はコンテンツ交換により新たなコンテンツを取得した場合は、取得したコンテンツ ID をサーバに通知し、サーバはその車両の保持情報を更新する。

この際、サーバはコンテンツ配送にかかる通信トラフィックを抑えるようにスケジューリングを行い、より多くのコンテンツ交換を実現する。

3.2 車両の移動予測

本研究における車両の移動予測とは、将来時刻 t に対して車両 i がセル g に存在する確率 $p(i, g, t)$ を計算することを指す。この存在確率関数 $p(i, g, t)$ は式 (1) を満たすものとする。

$$\sum_{g \in G} p(i, g, t) = 1 \quad (1)$$

この予測は車両が自車位置を送信してきた時に、サーバ上で更新する。グリッドと予測についての例を図 3 に示す。

次に、これらを用いて各車両のセルに対する到達確率とそのセルへの到達時間の期待値を算出する。車両へのコンテンツの配送は車両がセルに到達する以前に完了する必要がある。セル g に対して、車両 i は各時間において確率 $p(i, g, t)$ で遷移すると考えると、平均到達時間 $T_{app}(i, g)$ は式 (2) になる。

$$T_{app}(i, g) = \frac{\sum_{t=t_s}^{t_e} (t - t_s) \times p(i, g, t)}{\sum_{t=t_s}^{t_e} p(i, g, t)} \quad (2)$$

但し、移動予測の期間を $[t_s, t_e]$ とする。

セル g に対して、車両 i が平均到達時間 $T_{app}(i, g)$ までに到達する確率は式 (3) となり、この値を元にスケジューリングを決定する。

$$P_{app}(i, g) = \sum_{t=t_s}^{t_e} \prod_{t'=t}^{t-1} (1 - p(i, g, t')) \times p(i, g, t) \quad (3)$$

3.3 問題の定式化

本研究における問題の定式化で利用する定数、集合、変数を表 1 に列挙する。

以下の定数を導入する。車両 i のコンテンツ c を充足させるために、コンテンツの需要を 0-1 整数定数 $R(i, c)$ と、コンテンツ配送期限 (時刻) を整数定数 $D(i, c)$ で表す。需要 $R(i, c)$ は $P_{app}(i, g)$ をある閾値で 2 値化したものを用いる。コンテンツ配送期限 $D(i, c)$ は現在時刻と $T_{app}(i, g)$ より設定する。また、時刻 t 、セル g における車両 i と j の遭遇予測を 0-1 整数定数 $M(i, j, g, t)$ で表す。遭遇予測 $M(i, j, g, t)$ は閾値を持つ 2 値化関数 k を用いて式 (4) で設定する。

$$M(i, j, g, t) = k(p(i, g, t) \times p(j, g, t)) \quad (4)$$

加えて、時刻 t 、セル g における V2V の通信容量をコンテンツ数で指定するものとし、整数定数 $W(g, t)$ で表す。同様に V2I の通信容量を整数定数 $W(g, t)^{up}$ として、I2V の通信容量を整数定数 $W(g, t)^{down}$ で表す。

次にスケジューリング問題の目的は、できるだけコンテンツ需要を充足し、かつコンテンツ転送コスト (携帯通信網を用いたコンテンツ転送回数) を下げることである。したがって目的関数は、システム全体でのコンテンツ需要充足数と、システム全体でのコンテンツ転送コストを負数にしたものの重み付き和として定義する。ここで、コンテンツ c と車両 i に対し、システムが定める時刻までに i が c を取得できた場合に 1、そうでない場合に 0 である 0-1 整数変数 $z(i, c)$ を導入すると、コンテンツ需要の充足数は

$$\sum_{R(i, c) > 0 | i \in V, c \in C} z(i, c) \quad (5)$$

として定義される (ただし V は車両集合、 C はコンテンツ集合である)。また、セル g において時刻 t にノード (サーバまたは車両) j からノード i へのコンテンツ転送が行われた場合に 1、そうでない場合に 0 である 0-1 整数変数 $t(j, i, c, g, t)$ ならびにノード i から j の単位データ量あたりの通信コスト $w_{i, j}$ を導入すると、コンテンツ転送コストは

$$\sum_{i, j \in V^+, i \neq j, c \in C, t \in [t_s, t_e]} w_{i, j} \times t(j, i, c, g, t) \quad (6)$$

(ただし $V^+ = V \cup \{s\}$ (s はサーバ)) で表される。 w_s 、 w_t を充足数とコストの目的関数への寄与度と考え、これらを用いた重み付き和である式 (7) で目的関数を与える。

$$\max w_s \sum_{R(i, c) > 0 | i \in V, c \in C} z(i, c) - w_t \sum_{i, j \in V^+, i \neq j, c \in C, t \in [t_s, t_e]} w_{i, j} \times t(j, i, c, g, t) \quad (7)$$

次に、目的関数に対する制約式を示す。まず、充足に関する制約を説明する。充足されるためにはノードがコンテンツを配送期限までに保持しておかなければならない為、式 (8) が成り立つ必要がある。

$$\sum_{t_s \leq t \leq D(i, c)} h(i, c, t) \geq z(i, c) \quad (8)$$

次に、コンテンツの保持に関する制約を説明する。コンテンツ c を時刻 t で保持しているには、事前に生成もしくは他のノードから取得する必要がある。加えて、1 度保持したコンテンツを保持し続ける必要があるため、式 (9) が成り立つ必要がある。

$$\begin{cases} \sum_{t' \leq t} (f(i, c, t') + \sum_{j \in V^+} t(j, i, c, g, t')) \geq h(i, c, t) \\ h(i, c, t) \geq h(i, c, t') \quad (t' \leq t) \end{cases} \quad (9)$$

最後にコンテンツの転送に関する制約を説明する。コンテンツ c をノード j からノード i に送信する場合、受信ノード i は受信後コンテンツを保持すること、送信ノード j がコンテンツを保持していること、2 ノードが 1 つのセルで遭遇していること、そして、通信容量制約を満足することが必要となる。したがって、式 (10) が成り立つ必要がある。但し s はサーバを表す。

$$\begin{cases} h(i, c, t'') \geq t(j, i, c, g, t) & (t \leq t'') \\ h(j, c, t) \geq t(j, i, c, g, t) \\ M(i, j, g, t) \geq t(j, i, c, g, t) \\ W(g, t) \geq \sum_{i, j \in V, c \in C} t(j, i, c, g, t) \\ W(g, t)^{up} \geq \sum_{j \in V, c \in C} t(j, s, c, g, t) \\ W(g, t)^{down} \geq \sum_{i \in V, c \in C} t(s, i, c, g, t) \end{cases} \quad (10)$$

4. スケジューリングアルゴリズム

4.1 時分割によるコンテンツ単位のスケジューリング

提案システムでは 3.3 節で定式化した問題をリアルタイムに解き、スケジューリングを決定する必要がある。しかし、定式化した問題は整数線形計画問題であり、提案手法が想定する規模 (車両数やコンテンツ数) において最適解を数秒程度で計算することは困難であると考えられる。そこで、計算時間を削減し、リアルタイム性を実現する。提案手法ではこの問題を各コンテンツに対し、順次スケジューリングを行うことで計算の高速化を実現する。

異なるコンテンツ間の依存関係は各セルの通信容量に関してのみであり、個別にコンテンツ配送をスケジューリングしても解の最適性に大きく影響しないと考えられるためである。スケジューリングの適用順は、要求集合から要求

表 1 定数, 集合, 変数の一覧

集合名	値	意味	制約/定義式
V	-	車両の集合	-
V^+	-	ノード (車両とサーバ s) の集合 $V^+ = V \cup \{s\}$	-
C	-	コンテンツの集合	-
定数名	値	意味	制約/定義式
$w_{i,j}$	-	単位データ量あたりの通信コスト	-
$R(i, c)$	0-1 整数	車両 i のコンテンツ c の要求 (移動予測より決定される)	-
$D(i, c)$	整数	車両 i のコンテンツ c のデッドライン (移動予測より決定される)	-
$W(g, t)$	整数	時刻 t において, 車車間でセル g で交換できるコンテンツ数	-
$W(g, t)^{up}$	整数	携帯電話通信でサーバにアップロードできるコンテンツ数	-
$W(g, t)^{down}$	整数	携帯電話通信でサーバからダウンロードできるコンテンツ数	-
$M(i, j, g, t)$	0-1 整数	時刻 t において, ノード i が j とセル g で遭遇	式 (4)
変数名	値	意味	制約/定義式
$z(i, c)$	0-1 整数	$R(i, c) = 1$ であるノード i , コンテンツ c に対して, i が c を充足	式 (8)
$f(i, c, t)$	0-1 整数	時刻 t において, ノード i がコンテンツ c を生成	-
$h(i, c, t)$	0-1 整数	時刻 t において, i がコンテンツ c を保持	式 (9)
$t(i, j, c, g, t)$	0-1 整数	時刻 t , セル g において, ノード i が j へコンテンツ c を転送	式 (10)

の総数が最も多いコンテンツを優先するものとする。

また, 車車間通信で中継するコンテンツのホップ数を 2 ホップに限定し, また線形計画問題ソルバ (LP ソルバ) の計算時間に上限を設ける方法なども併せて用いている。計算時間はマシン性能や問題規模に依存するが数秒程度に設定している。サーバはその解を元にスケジュールを作成する。

あるコンテンツのスケジュールが決定すると, サーバはコンテンツを要求すべき車両に, コンテンツ ID, 車両 ID, 時刻, 場所を送信する。また, サーバはこのスケジュール結果より通信容量 $W(g, t), W(g, t)^{up}, W(g, t)^{down}$ を更新する。更に, 車両の要求集合からスケジュールしたコンテンツに関する要求を削除する。

4.2 コンテンツ配送率向上のための工夫

本システムでは移動予測を用いていることから, スケジュールリングしたコンテンツ交換が失敗する可能性もある。これに対ではし, 同一コンテンツの問題を複数回繰り返し解くことによって, 1 台の要求車に対して複数の配送経路によるコンテンツ配送をスケジュールすることで, コンテンツ配送率の向上を図ることもできる。ここで, 配送率とは, 2 車の遭遇確率を基にコンテンツの配送の予測値である。

求解は, 計算回数が一定以上, もしくは, 配送率が一定以上に達した場合に終了する。i 回目のスケジュールリングで配送率 ϵ_i の配送経路をスケジュールしたとすると, コンテンツが配送率 $delivery$ は式 (11) となる。

$$delivery = 1 - \prod_i (1 - \epsilon_i) \quad (11)$$

この配送率が設定した一定以上になるまで経路の算出を

行う。

5. シミュレーションによる評価

本章では本システムについて評価を行う。評価はネットワークシミュレーションを用いて行う。

5.1 評価方法

初めにシミュレーションの方法の概要について説明する。シミュレーションには交通流シミュレータ Vissim[10], 離散事象シミュレータ Scenargie[11], 線形計画問題のソルバ CPLEX を用いた。まず, 市街地を想定した, 1 リンクが 200m, 交差点数 15×15 の格子状の道路が通る地図に対して Vissim を用いて 1 時間あたり 13094 車両の交通流を発生させた。次に, この車両の中から一定の割合でランダムに抽出した車両をシステム参加車と想定し, Scenargie を用いてコンテンツ交換の無線通信シミュレーションを行った。電波伝搬モデルには都市部に沿った電波伝搬が必要なため, 建物に干渉し道路形状に沿った伝搬を行う ITU-R.P.1411[12] を用いた。また, Scenargie には CPLEX のモジュールを利用したスケジューラを実装し, 実際にスケジュールリングを行いながらシミュレーションを行った。

次に, 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, システム参加車両は車車間通信機, 携帯電話通信機, GPS 機器, 車載カメラを持つ。本評価では参加率を 1%, 5%, 10%, 15% 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した。また携帯電話通信はマップ上のどこでもサーバと通信が可能であり, 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

表 2 車車間通信の設定

設定項目	設定値
通信形態	プル型
ビーコン間隔 [ms]	300
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

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 2 に示す。車車間通信は IEEE802.11p を想定しており、車両同士の通信はコンテンツの要求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ことで通信を行う。この時、車両が要求するコンテンツはジュールに従い、このスケジュールはサーバが作成する。最後に、本システムの設定について説明する。扱うコンテンツの大きさは 1M バイトとし、コンテンツの生存(需要予測される時間)を 5 分とした。本システムがするグリッドの 1 セルの大きさは 200m 四方とした。

評価で用いる要求は、携帯電話網のみを用いたシステムと比較するために明示的に与え、将来通る経路上のコンテンツを要求するものとする。移動予測は走行距離に対する誤差を含むが、一定の精度を持つと仮定する。その走行軌跡に対してランダムな方向に、走行距離に対応した差を持つ誤差モデルを想定する。このモデルでは、真らざらした点を頂点とする 2 次の正規分布を仮定し、分布よりセルへの移動確率を計算する。また、本稿で携帯電話網のみを用いたシステムと充足率を同等にした評価を行う為、生成したコンテンツはすぐにサーバへアップロードするようにスケジュールを行う。

5.2 評価項目

本システムを評価するために携帯電話網のみを用いた情報を交換するシステムと本システムで比較シミュレーションによる評価を行った。

評価項目は以下の 4 項目を用いた。

- コンテンツ充足数：
コンテンツ充足数とは、車両が要求したコンテンツ配送期限までに取得できたコンテンツの数。
- コンテンツ充足率：
要求したコンテンツ総数に対する、充足したコンテンツ総数の比。要求したコンテンツがどの程度取得できたかを表す。
- 通信コスト：
1 コンテンツあたりの携帯電話通信の通信量。この通信量にはアップロードとダウンロードを含む。
- 削減率

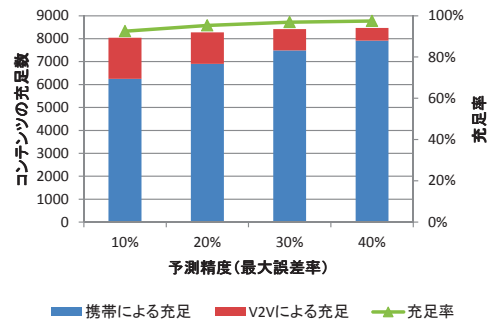


図 4 予測精度に対する充足数と充足率

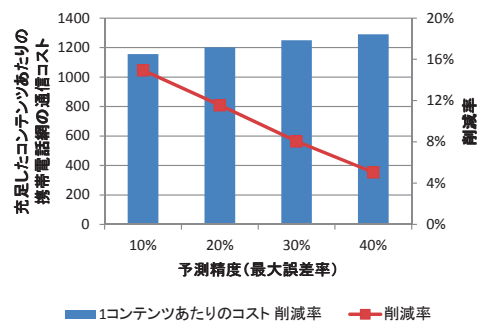


図 5 予測精度に対する通信コストと削減率

削減率は携帯電話網のみを利用した時に対する通信コストがどの程度削減されたかを示す。この指標は式 (12) で表す

$$(\text{削減率}) = 1 - \frac{\text{提案手法の通信コスト}}{\text{携帯のみの通信コスト}} \quad (12)$$

5.3 シミュレーション結果

本節では前節で挙げた項目についてのシミュレーションによる評価結果を示す。シミュレーションの設定は特筆しない限り、評価環境で示した設定を用いる。

5.3.1 移動予測に関する評価

まず最初に、移動予測の精度を変化させたときの評価を行った。移動予測の最大誤差率を 10%, 20%, 30%, 40% と変化させた時の各評価項目の結果を図 4, 5 に示す。この時、要求総数は 8680 回であり、遭遇確率の閾値は常に 0.2 とした。

図 4 より、予測の精度が向上すると車車間通信を経由して充足するコンテンツ数が増えることが分かる。想定する移動予測は車両の移動をセル単位に確率的に算出しており、予測の精度が悪い場合、出力される予測は車両の存在確率が広範囲に低い確率で分布する形となる。本研究では、スケジュールに用いる車両の遭遇を 2 車の遭遇確率に対して閾値を設けることで決定しており、この確率が低い場合は車車間通信によるコンテンツ交換をスケジュールされない。その為、移動予測の精度が悪くなるに従い、閾値を下回る遭遇が多くなり車車間通信による交換スケジュールは

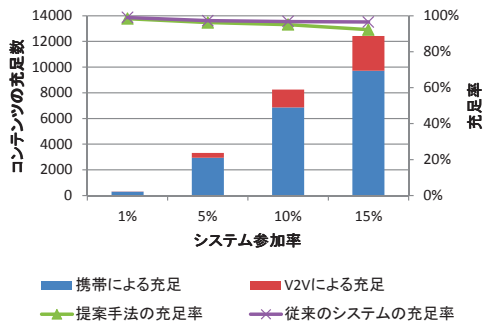


図 6 システムへの参加車両に対する充足数と充足率

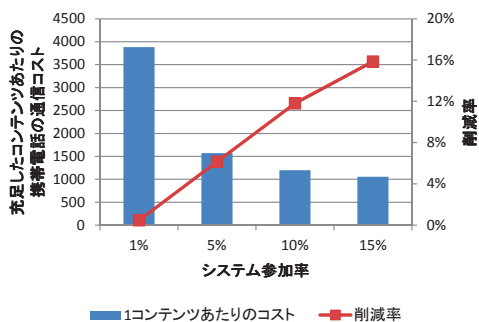


図 7 システムへの参加車両に対する通信コストと削減率

少なくなることから、図のような結果になったと考えられる。一方、車車間通信でスケジュールされなかったコンテンツは携帯電話網を利用して取得するようにスケジュールするので、車車間通信による取得を待つことなく携帯電話網を介して取得を行うので充足するコンテンツ数は増加したと考えられる。なお、図 4 の精度 20% の場合において、車車間による充足数が全体の約 16.5% に対して、図 5 では通信コストの削減率が約 12% になっているのは、通信コストにアップロードの通信コストも含むためである。しかし、アップロードは複数回ある同じコンテンツの要求に対して 1 回のみであり、また、コンテンツの生成タイミングはサーバが管理するのでアップロードは制限しやすい。その為、頻繁にアップロードが発生する状況でない限り、携帯電話網を圧迫する可能性はないと考えられ、実際には図 4 のオフロード率が有効であると考えられる。

5.3.2 携帯通信のみを用いたシステムとの比較

本節では提案手法と従来のシステムに対し、システムへの参加車両を変えて評価を行った。シミュレーションでは全車両 (13094 台) の走行軌跡に対して、システムへの参加車両を 1%, 5%, 10%, 15% と変化させた。充足率を同程度にした時の提案手法の各評価項目の結果を図 6, 7 に示す。この時、提案システムは予測精度は最大誤差率 20%、遭遇確率の閾値は常に 0.2 でシミュレーションを行った。

図 6 より、提案手法と従来のシステムの充足率が同程度であることが分かる。この時、システムへの参加車両が

10% (1300 台ほど) なら全体の 16.5% 程度のコンテンツを、参加車両が 15% (1900 台ほど) なら 21% 程度のコンテンツを車車間通信で取得出来ていることが分かる。また、図 7 は提案手法の 1 コンテンツあたりの携帯電話の通信コストと従来システムからの削減率を示したグラフである。同様に、携帯電話通信の通信コストを参加車両が 15% 程度の場合、通信量を 16% 程度削減できることが分かった。

6. おわりに

本稿では、携帯電話通信と車車間通信を効率的に用いた情報共有のためのコンテンツ配送スケジューリングを提案した。提案手法では、車両から送信された位置情報を基に車両の移動予測を実施し、この予測に基づきコンテンツ交換のスケジューリングを行う。この問題を整数線形計画問題として定式化し、コンテンツ単位に求解することで高速にスケジュールを決定する。

Scenargie を用いた無線通信シミュレーションによる評価では、都市部を想定した格子状の道路を含む 3km×3km の市街地シナリオにおいて、従来のシステムに比べ 20% の車載率で提案手法では同程度の要求を満たしつつ、約 21% のコンテンツ取得数を車車間通信で実施できることを確認した。

今後の課題として、実際の状況に近い環境での評価を行う必要がある。本稿では格子状の道路網を利用していたが、実際の環境は交通流に偏りがあり、コンテンツの広がり方が異なる可能性があるため、そのような環境での評価が必要である。またコンテンツ交換には車車間通信だけでなく、路車間通信を用いることも有効であると考えられる。その為、モデルに路車間通信も含めた定式化を行い、より効率的な通信をスケジュールすることも考えたい。

参考文献

- [1] 本田技研工業株式会社: INTERNAVI, <http://www.honda.co.jp/internavi/>
- [2] パイオニア: cybernavi, <http://pioneer.jp/carrozzeria/cybernavi/>
- [3] Cheng, Pei-Chun and Weng, Jui-Ting and Tung, Lung-Chih and Lee, Kevin C and Gerla, Mario and Haerri, Jerome: "GeoDTN+ Nav: a hybrid geographic and DTN routing with navigation assistance in urban vehicular networks" *Proceedings of the 1st International Symposium on Vehicular Computing Systems (ISVCS'08)*, 2008.
- [4] R Uzcategui and G.Acosta-Marum: "WAVE: A Tutorial", *IEEE Communications Magazine*, vol.47, no.5, pp.126-133, 2009.
- [5] Takeshi Fujiki, Masayuki Kirimura, Takaaki Umedu and Teruo Higashino: "Efficient Acquisition of Local Traffic Information using Inter-Vehicle Communication with Queries", *Proc. 10th IEEE International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC' 07)*, pp. 241-246, 2007.
- [6] 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.

- [7] P. Mohan, V. N. Padmanabhan, and R. Ramjee: “Nericell: Rich Monitoring of Road and Traffic Conditions using Mobile Smartphones”, *Proc. 6th ACM conference on Embedded network sensor systems*, pp. 323-336, 2008.
- [8] 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, no.9, pp.1-8, 2011.
- [9] Yuchen Wu, Yanmin Zhu and Bo Li: “Trajectory improves data delivery in vehicular networks”, *Proc. IEEE INFOCOM*, pp.2183-2191, April 2011.
- [10] Fellendorf, Martin and Vortisch, Peter: “Microscopic traffic flow simulator VISSIM”, in “Fundamentals of Traffic simulation” International Series in Operations Research and Management Science, 2010.
- [11] 大和田 泰伯: “Scenargie を用いた ITS シミュレーション”, 情報処理学会シンポジウム論文集, vol.2008, no.14, pp.233-234, 2008.
- [12] ITU-R: “Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz” ,RECOMMENDATION ITU-R P.1411-5, 2009.