

## 道路上の交通量変化に基づく効率のよい 渋滞動画像データの収集および配信方式

玉井 森彦<sup>†1</sup> 安本 慶一<sup>†1</sup>  
福倉 寿信<sup>†2</sup> 岩井 明史<sup>†2</sup>

VICS (Vehicle Information and Communication System) など既存の交通情報システムでは、テキストや図形を用いた渋滞状況の提示が一般的である。しかし、既存システムでは、渋滞度合いを数段階でしか区別できず、ドライバが、これらの情報から、実環境で生じる様々な渋滞度合いを正しく把握することは難しい。本稿では、ドライバに対し、より直接的に渋滞状況を提供するため、スマートフォンを用いたユーザ参加型センシングにより、渋滞地点の状況を動画で撮影し、それを収集、配信するためのシステムを提案する。動画データの送受信により 3G 回線の帯域を大きく消費するため、帯域制約を考慮したうえで、ドライバに対し可能な限り適切な動画を配信する必要がある。提案方式では、動画が示す渋滞度合いと、現時点での渋滞度合いとの違いや、動画の視聴要求送信から、動画が受信されるまでの経過時間などをもとに、ドライバが渋滞動画を見た際のメリットを効用関数として定義し、帯域制約のもとで、効用関数値を最大化することで、各車両に対し効率のよい動画の収集と配信を行う。

### Efficient Collection and Delivery of Video Data for Traffic Monitoring Utilizing Transition Rate of Congestion Situations

MORHIKO TAMAI,<sup>†1</sup> KEIICHI YASUMOTO,<sup>†1</sup>  
TOSHINOBU FUKUKURA<sup>†2</sup> and AKIHITO IWA<sup>†1</sup>

Existing Traffic Information Systems including VICS (Vehicle Information and Communication System) commonly provide traffic information of roads by means of simple texts or computer graphics. However, in these systems, the variety of congestion situations in real environments are represented using limited number of congestion levels. Thus, it is difficult for drivers to understand the actual traffic condition from such limited information. In this paper, for providing drivers more direct information about traffic conditions, we propose

a system for collection and delivery of video data on congested roads based on participatory sensing using smart phones. A large amount of bandwidth is consumed by sending video data over 3G networks, the system needs to deliver the most appropriate video data to the drivers by considering the constraints on 3G bandwidth. We define the utility function which models driver's benefit of viewing congestion videos based on the difference of congestion degrees between the delivered video and the current traffic condition, latency between the transmission time of the video request and received time of video data, etc. Our system maximizes the value of the utility function subject to the constraints on 3G bandwidth to achieve the efficient collection and delivery of congestion videos.

#### 1. はじめに

交通渋滞は、時間的、エネルギー的損失に加え、排気ガスによる環境や健康への悪影響など、多様な問題を引き起こしている。交通渋滞を緩和するための方法として、一般的に VICS (Vehicle Information and Communication System)<sup>1)</sup> が利用されている。VICS では、中央のセンターが収集した道路交通情報を、FM 多重放送や道路沿いに設置されているビーコン発信局から放送し、それを受信した車両は、渋滞の発生地点を VICS 対応カーナビゲーションなどの車載端末上に文字や図形等に表示する。ユーザはこの渋滞情報を利用して、渋滞を迂回する経路を選択するなどの行動をとることができる。

VICS は対応カーナビの急速な普及により、現在多くのユーザに利用されるに至っているが、提供される渋滞情報は限定的である。VICS によって提供される渋滞情報の表示方法として一般的なのは、混雑度合いに応じて三段階に色分けされた矢印型の図形が、地図上の渋滞の発生区間に表示されるというものである。しかし、これらの情報からドライバーは、渋滞区間において実際にどの程度の渋滞が発生しているのかを推測で判断するしかなく、その渋滞をなんとかしてでも回避すべきか、または許容範囲であるかを判定するために十分な情報が与えられているとは言い難い。VICS の情報からは、例えば、今後渋滞が悪化もしくは解消する方向のどちらに向かうのかという時間的変化量を知ることは困難である。また、実質的な渋滞の深刻度合いは、渋滞の発生地点における道路の特性や、その周辺の施設(例

<sup>†1</sup> 奈良先端科学技術大学院大学  
Nara Institute of Science and Technology

<sup>†2</sup> 株式会社デンソー  
DENSO CORPORATION

例えば、大型の商業施設など)の有無によって様々に変化することから、三段階程度の混雑度合いでは、そのような多様な渋滞状況の違いを表現することは困難である。

本研究では、ドライバーに対してより直感的な渋滞状況の把握を促すために、渋滞発生地点で撮影した動画による渋滞情報の配信を実現するシステムを提案する。渋滞発生地点の状況を動画で見ることにより、VICS で提供される間接的な渋滞情報に比べ、渋滞の時間的な変化の様子や、渋滞発生地点の車両の走行状況など、文字や図形のみでは伝えにくい情報を、より直接的に提供することが可能となる。

同様の観点から、画像による渋滞情報が取得可能なサービスとして、2011年から国土交通省により ITS スポット<sup>2)</sup> が開始されている。ITS スポットでは、VICS 同様、対応カーナビにより、専用の路側機から発信される情報を受信することでサービスを受ける仕組みとなっている。路側機の設置が必要なことから、現状では主に高速道路上でのみサービスが利用可能であり、一般道も含めた広範囲でのサービスの提供は膨大なコストを要するため困難であるという問題がある。広範囲かつ低コストでのサービスの実現のためには、路側への専用設備の設置が必要なく、ユーザ数の増加に対し、自動的にサービス規模を拡大できるような仕組みを有することが望ましい。

このような観点から、本研究では、近年普及が進むスマートフォンに注目する。スマートフォンは、GPS による位置測定、3G 回線によるデータ通信、カメラによる動画の撮影、ディスプレイ上での動画の再生と UI の表示が可能であり、動画による渋滞情報の収集、および配信のためのセンサと表示端末としての十分な機能を備えている。車内に設置されたスマートフォンを用いることで、路側への追加のインフラの設置がなくても、自然にサービス規模を拡大することができる。

しかしながら、動画の送受信には多くの通信帯域を消費するため、サービスの展開にあたっては、3G 回線へ与える負荷の大きさについて十分に配慮する必要がある。本研究では、3G 回線の利用可能帯域を制約として考慮したうえで、ユーザに対して可能な限り正確な渋滞状況を配信するための、効率のよい渋滞動画の収集と配信のための方式を提案する。提案方式では、渋滞動画の撮影時刻と視聴時刻との差や、動画視聴要求を送信してから実際に視聴までに要した遅延時間、さらには、視聴した動画の渋滞の程度とリアルタイムの渋滞の程度とのずれの大きさに基づき、ドライバーが渋滞動画を見た際のメリットを効用関数として定義する。そして、3G 回線の帯域制約のもとで、効用関数値を最大化できるような車両を選択することで、効率のよい渋滞動画の収集と配信を行う。

## 2. 安全・快適ドライビングのための情報配信基盤

クルマを取巻くキーワードには「安全・安心」「快適・便利」「環境」がある。本研究では、この中で、特に安全性と快適性に注目したサービスの提供を目指した情報配信基盤を設計する。

### 2.1 安全・快適ドライビングに求められるサービス

安全・快適な運転に役立つ既存サービスには、(1) 渋滞情報の配信(渋滞程度、通過時間などの快適性にかかわる情報)、(2) 道路状況の配信(事故、路面状況など、安全にかかわる情報)、(3) 口コミ情報の交換(安全、快適を含む様々な情報)などがある。また、これらサービスの提供方法には、(i) インフラ型、(ii) ユーザ参加型がある。

#### 2.1.1 インフラ型のサービス

(1) の渋滞情報に関する代表的なサービスは VICS<sup>1)</sup> であり、テキスト、図形、カーナビ上での地図表示などで渋滞状況を知らせる。しかし、渋滞の度合を数段階にしか区別しないため、現実の渋滞の度合をこの情報から把握するのは難しい。(1) の渋滞情報に加え(2) の道路状況を写真とテキストによる詳細情報として提供する ITS スポット<sup>2)</sup> が提供されている。このサービスでは、図 1 に示すように、気象急変時の路面状況や渋滞ポイント手前の交通状況をカーナビ画面に表示できるため、運転者は現場の状況をより直感的に把握できる。



提供箇所	提供タイミング	提供項目	表示イメージ
気象急変 直前手前	常時/ 事象発生時	気象情報 道路状況: 降雪量、雨量 路面状況: 凍結、濡滑、冠水、 積雪	
渋滞ポイント 手前	常時/ 事象発生時	交通状況 渋滞情報: 渋滞位置、渋滞長、 走行速度	

図 1 ITS スポットが配信する情報 ([http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/spot\\_dsrc/naiyou.html](http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/spot_dsrc/naiyou.html) より引用)

近年、スマートフォンや携帯電話を介した上記(1)、(2)を対象としたサービスも提供され始めた。日本道路交通情報センター(JARTIC)の交通情報を閲覧可能なスマートフォン向けウェブサイト ATIS<sup>3)</sup> や、主要道路の交通状況を閲覧可能な Yahoo! 口コミ<sup>4)</sup> などがある。道路の混雑状況動画を携帯電話に配信するライブ映像情報 Watcha と呼ばれる有料サービ

ス<sup>5)</sup>も存在する。

しかし、上記で述べたサービスは、いずれも道路上に設置されたセンサやカメラ、路側器など整備されたインフラの使用を前提としており、サービス対象は主要道路に限られているといった問題がある。

### 2.1.2 ユーザ参加型のサービス

近年、Participatory Sensing (ユーザ参加型センシング)<sup>6)</sup>に基づき、参加者が取得した情報をクラウドに収集し、他の参加者にフィードバックするサービスが急増している。上記(1) 渋滞情報に関して、会員の走行データから道路交通情報(プローブ交通情報)を生成し、それをもとに地図に存在しない新規道路をカーナビに表示したり渋滞回避経路の案内を行うサービス(Internavi<sup>7)</sup>、G-BOOK<sup>8)</sup>、CARWINGS<sup>9)</sup>、Smart Loop<sup>10)</sup>など)が各社から提供されている。また、上記(3) 口コミ情報交換に関して、ケンモ<sup>11)</sup>では、登録会員による交通情報に関する口コミ情報(渋滞、事故など)の登録、閲覧ができるサービスを提供している。しかし、現状ではテキスト情報のみに限定されている。

これら既存のユーザ参加型サービスは会員数の増加に伴って、主要道路に限定されず、より広域かつ詳細なサービスの提供が期待できる。しかし、収集する情報は車両の走行データ(位置情報の時系列)や場所情報を含むテキストデータのみであるため、運転者に対して写真などによる直感的な情報提示を行うことはできない。

### 2.2 ユーザ参加型の動画収集配信サービス基盤

前節で述べたとおり、インフラ型のサービスではサービス対象が狭くなり、ユーザ参加型のサービスでは写真や動画を用いた直感的なサービスの提供が困難という問題があった。



図2 スマートフォンの車両への搭載

そこで、本研究では、図2に示すように、カメラ搭載スマートフォンがクレードルなどで車両のダッシュボードなどに固定されていることを想定し、任意の参加者が記録した動画を

クラウドに保存することによって、その動画を必要とする他の参加者が利用できるようにする動画収集配信基盤を提案する。

動画データはテキストベースの渋滞情報や写真データと比べサイズが大きいため、全車両が動画を常に記録しクラウドにアップロードすると、3G回線に多大な負荷を与えてしまう。そこで、提案する基盤では、3.1節で述べるように、本システムのために使用する3G通信の最大通信帯域幅を定め、その範囲内で、参加者が必要な動画を必要な時に適切な参加者が記録しクラウドにアップロードするユーザ参加型の仕組みを設計する。

具体的には、参加者が定期的にアップロードする位置情報をもとに渋滞区間を認識し、渋滞開始地点や終了地点付近、さらには、渋滞の程度の時間変化が大きい地点付近の車両が記録した動画を優先的にクラウドにアップロードする。

### 2.3 動画収集配信基盤の利用例と渋滞動画提示法

本節では、インタラクションデザインでよく用いられるデザインの要件定義手法であるペルソナ/シナリオ法を用いて、提案する渋滞動画収集配信基盤の利用例を示すとともに動画のドライバへの提示方法(インタフェース)についての検討を行う。

#### 2.3.1 利用シナリオ

まず、仮想のユーザ像(ペルソナ)として、図3に示すような「源さん」を想定した。

氏名	源 晋郎 (ニックネーム:げんさん、ゲンゴロウ)
年齢	42歳
住居	愛知県豊田市在住 一戸建て持家所有(ローン有り)
職業	自動車関連の企業に勤めるサラリーマン(車通勤、片道の00~00分、時間割により渋滞有り)
家族	妻、子供(小学生2人)
趣味	家族旅行
愛車	プリウスPHV(ナビ、スマホ渋滞ナビゲーター連携)

図3 ペルソナ/シナリオ法における仮想のユーザ像

源さんによるシステムの利用例として、通勤時の典型的なシナリオを表1に示す。

表1のシナリオ内でポイントとなるのは、以下の通りである。

- 出発前に、予定経路の渋滞情報の映像を確認し、余裕をもって行動可能(表1: a)
- ユーザー参加型センシングとして、自らも情報発信(表1: e, f)
- 渋滞状況を自動判定し、動画を送信(表1: e, f)
- 情報は、プライバシー対策を考慮(表1: f)
- 情報提供については、インセンティブあり(表1: g, k)
- 渋滞情報のPUSH配信(表1: i)

表 1 利用シナリオ (通勤編)

a.	源さんは、今日の朝に大事な会議があるので、朝食前にスマホの“渋滞ナビゲーター”でいつものように通勤経路の渋滞情報を確認した。	i.	こうして、バイパスを進んでいると、渋滞ナビゲーターから、約 5km 先に事故渋滞発生との通知があり、地図画面の 5km 先に「事故渋滞アイコン」が点滅していた。
b.	いつも渋滞する箇所が判っているので、その付近の渋滞情報の映像を見て、「今日もいつもと同じような車の流れだな。いつもと同じように家を出れば安心!」と思い朝食を摂った後、愛車に乗り込んだ。	j.	この「事故渋滞アイコン」をタッチすると、事故渋滞付近の映像がストリーミング再生された。スマホの画面では、小さくて見難かったので、ナビ転送ボタンを押して、ナビディスプレイで映像を見た。
c.	愛車に乗り込むといつもと、同じようにスマホをダッシュボード上のクレードルに固定し、渋滞ナビゲーターを起動して「いつもの通勤ルート」と設定して発車した。	k.	「これは、結構大きな事故だな。このままでは、渋滞に巻き込まれ、会社に間に合わないぞ。」と少し心配に思った。
c.	会社に行くには、もったいないくらい秋晴れの清々しい中、順調に車は進んでいた。	l.	ここで、源さんは、30 秒間の渋滞情報 (映像) を参照したので、渋滞ナビゲーターの「参照ポイント」が 30 渋滞秒差し引かれた。
e.	バイパスの入口付近は、いつものように車が 50m くらい連なっていて渋滞していたが「いつも、こんなふうだ。」と思いながら、ゆっくり走行している。渋滞ナビゲーターの地図画面がドライブレコーダーモードに切り換わり、前方方向の映像を撮りだした。	m.	そして、渋滞ナビゲーターは、直ぐに、バイパスの次の出口を出て、一般道へ迂回した方がよいと提案した。
f.	源さんは、渋滞ナビゲーターを自動モードにしているので、この映像は、位置・日時・車速情報などと共に、クラウドへ自動送信されている。クラウド上では、映像情報提供者、映像中の車両ナンバーなどの個人情報がマスク処理されているので、源さんは、特に気にすることなく、自動モードで使っているようだ。	n.	しかし、源さんは、そこからの迂回路に詳しくなく、会社まで時間に間に合うか不安に思いながら、渋滞ナビゲーターから「ナビへ迂回路探索内機能」を選択した。
g.	クラウドからは「渋滞情報提供ポイント」が加算され、ゴールドランク取得まで、あと、38 渋滞分だと伝えられた。		ナビは、渋滞ナビゲーターから目的地 (会社)、通過点 (次の出口)、迂回エリア (事故発生付近) の情報をもらい、最適ルートを探索し、案内開始した。この案内経路を見た源さんは「この道なら、何となく判るぞ。会社へも間に合いそうだ。」と安心して、迂回路へ進んでいった。
h.	やがて、バイパスの入口に近づくと、渋滞はなくなり、渋滞ナビゲーターは、ドライブレコーダーモードから地図画面モードへ変わった。		そうして、余裕で会社の駐車場に到着し、持ってきた缶コーヒーを車内で一服し、オフィスへ向かった。



図 4 ナビ画面への渋滞動画の表示

### 3. 帯域制約を考慮した動画の収集と配信

提案方式の目的は、動画による渋滞情報の受信を要求する車両に対し、できるだけ遅延が少なく、かつ渋滞地点の渋滞状況を正確に反映した動画を配信することである。理想的には、各渋滞情報の受信要求車両に対し、各々が要求する渋滞地点の動画を、要求後即座にクラウドへアップロードし、かつ、その動画を受信要求車両へ即座に配信することができれば、ドライバは渋滞地点におけるほぼリアルタイムの渋滞状況を把握することができる。しかし、動画の送受信には多くの通信帯域を消費し、かつ、スマートフォンが利用可能な 3G 回線の帯域は限られているため、このような即座の渋滞動画の配信を全車両に対して実現することは困難である。従って本研究では、3G 回線の帯域制約を考慮したうえで、可能な限り低遅延で、かつ、渋滞地点の状況を正確に反映した動画を配信するための方式を提案する。

以下では、まず、提案方式が対象とする問題設定について述べ、次にそれを解決するためのアルゴリズムについて述べる。

#### 3.1 問題設定

##### 3.1.1 道路網と車両モデル

本稿では、道路網を、道路セグメントの集合によって表現する。各道路セグメントは、道路上の任意の位置で分割された道路の一部であり、典型的には、交差点やカーブの直前などの位置を端点として分割される。道路セグメントの集合を  $E$ 、各道路セグメントの端点の集合を  $V$  とし、道路網をグラフ  $G = (V, E)$  で表現する。

全車両の集合を  $U$  とする。各車両は、スマートフォンが取得する GPS 情報により、自身の現在位置を定期的にクラウドへ送信するものとする。提案システムでは、時間経過を離散的に管理するものとし、単位時間間隔を  $t_u$  としたとき、タイムスロットの列  $t_i (i = 0, 1, 2, \dots)$  を考える。ここで、 $t_i = \{t \mid t_u \times i \leq t < t_u \times (i + 1)\}$  である。タイムスロット  $t_i$  内のいずれかの時刻で、車両  $u \in U$  の送信した GPS 情報がクラウドによって受信されたとする。

- 渋滞状況を動画で確認できるので、状況が判り易い (表 1: j)
- ナビゲーションシステムと連携 (表 1: j, l, m)

#### 2.3.2 動画提示法

上記のシナリオにもあるように、渋滞動画は、渋滞区間に入る前、すなわち、迂回路を選択可能な間に提供すべきである。また、ドライバが渋滞動画を閲覧しようとする時、目的地への経路が設定されている場合とそうでない場合がある。

案内経路が設定されている場合には、ナビの地図画面の上の案内経路に沿って、動画が利用可能な場所をアイコンで表示し、経路が設定されていない場合には、自車周辺 ( $N$ km の範囲、自車方向、地図画面の表示範囲も考慮) の動画のアイコンを表示し、ドライバに見たい場所のアイコンをクリックさせるといった方法が考えられる。アイコンをクリックされると、例えば、図 4 に示すように、地図上で吹き出しを表示してその中で動画を再生する。



クラウドでは、その GPS 座標にもっとも近い道路セグメントが  $e \in E$  であるとする、車両  $u$  がタイムスロット  $t_i$  において走行中の道路セグメントを  $e$  と推定することができる。これにより、各タイムスロット  $t_i$  において、各道路セグメント  $e$  に対し、 $e$  を走行中の車両の集合  $U_e(t_i)$  を求めることができる。

各車両は、クラウドに対し、自身がこれから向かう方面に発生中の渋滞に関して、渋滞動画の視聴要求を送信する。渋滞動画は、道路セグメント単位で撮影され、各車両は、どの道路セグメントの渋滞動画を視聴したいかを指定するものとする。渋滞の検出に関しては、例えば、各道路セグメントを通行する全車両における速度の平均値が、ある閾値を下回るかどうかに基づき実現することができる。また、信号による速度低下などを区別し、より高精度に渋滞を検出したい場合は、文献 12) の方法などが利用できる。各タイムスロット  $t_i$  において、道路セグメント  $e$  の渋滞状況を要求する車両の集合を、 $R_e(t_i)$  と表記する。各道路セグメントの渋滞動画のアップロード、またはダウンロードによって消費される帯域を、 $W$  (bps) と表記する。なお、1 つの渋滞動画のアップロードまたはダウンロードに要する時間は、高々 1 タイムスロット  $t_u$  とする。すなわち、渋滞動画 1 つの容量を  $L$  (bit) としたとき、渋滞動画 1 つをアップロード、またはダウンロードするのに要する時間は、 $L/W \leq t_u$  (sec) とする。

### 3.1.2 3G 回線モデル

システムが対象とするエリア内に存在する全ての 3G 基地局に対し、各 3G 基地局の通信可能範囲 (3G エリア) が与えられているものとする。3G エリアの集合を  $A$  と表記する。各 3G エリア  $a \in A$  に対し、3G エリア内の全ての道路セグメントの集合を  $E_a$  と表記する。各タイムスロット  $t_i$  において、3G エリア  $a$  内の全車両の集合を  $C_a(t_i)$  と表記する。 $C_a(t_i)$  は、 $C_a(t_i) = \bigcup_{e \in E_a} U_e(t_i)$  より求めることができる。各 3G エリア  $a$  に対し、 $a$  をカバーする基地局の利用可能帯域を考える。一般に、3G 基地局がサポートする無線通信方式 (HSPA (High Speed Packet Access) など) の上り方向と下り方向の通信速度は非対称であることを考慮し、上り方向と下り方向の利用可能帯域を個別に考え、それぞれ、 $B_a^{up}$  (bps),  $B_a^{down}$  (bps) と表記する。

以上で述べた表記に関して、その具体例を図 5 に示す。

### 3.1.3 ドライバの効用モデル

3G エリアの帯域制約により、渋滞動画を要求した全ての車両が、要求対象の道路セグメントにおける渋滞状況をリアルタイムに反映した動画を受信することは難しい。従って、一般的には、車両が受信する渋滞動画は、実際にそれが撮影された時刻から、一定の遅延を

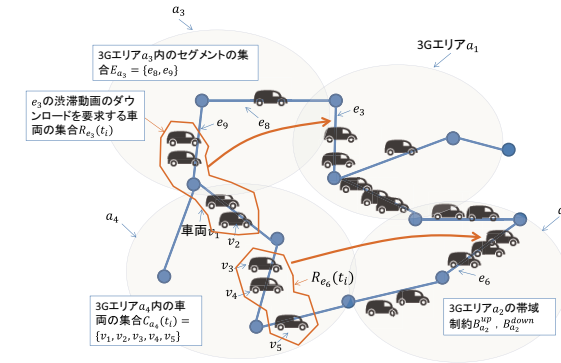


図 5 道路網の例

伴って受信されることになる。

ここで、遅延を伴って受信された動画が、ドライバーにとってどのような場合に不都合であるかについて考える。まず、(1) 撮影が行われた時刻と、それを視聴する時刻との違いが大きいほど不都合であると考えられる。例えば、撮影が行われた時間が夕刻であったとし、それを視聴した時刻が日没の後であったとすると、本来ならばもっと暗いはずが、実際よりも明るい時間帯の動画を視聴することになるため、ドライバーが違和感を感じる可能性がある。また、(2) 動画を要求してから、実際に動画を受信するまでの時間が長くなるほど不都合であると考えられる。例えば、渋滞地点の動画を見て、その渋滞地点を通るかどうかを判断しようとした場合、動画の受信が遅くなると、その渋滞地点の近くまで接近してしまい、渋滞地点を回避することが出来なくなってしまう可能性がある。なお、(1) で述べた「動画の撮影時刻」と、(2) で述べた「動画の要求時刻」とは、一般には異なる時刻となるため、(1) と (2) を別々に考える必要がある。例えば、車両  $u_1$  がタイムスロット  $t_i$  において道路セグメント  $e$  の動画を要求し、それに対応するため、同じくタイムスロット  $t_i$  において  $e$  の動画が撮影されたとする。この場合、動画の撮影時刻と要求時刻はともに  $t_i$  で一致するが、その後、タイムスロット  $t_j$  において別の車両  $u_2$  が  $e$  の動画を要求し、 $u_2$  に対して、 $u_1$  のときに撮影された動画を配信した場合、動画の撮影時刻  $t_i$  と要求時刻  $t_j$  は異なる値となる。

さらに、(3) 撮影が行われた時刻での渋滞の度合いと、それを視聴した時刻における、実際の渋滞の度合いとが異なることも不都合であると考えられる。例えば、撮影が行われた時刻での渋滞度合いが非常にひどい場合でも、それを視聴した時刻には、既に渋滞が解消している場合、動画を見たドライバーは渋滞の度合いが実際よりもひどい状態である、と誤っ

て判断してしまう。なお、ここでは、(1) で述べたような、時間の経過による不都合とは無関係に、渋滞の度合い自体が、実際の渋滞度合いとは異なることによる不都合について述べている。従って、例えば動画の撮影時刻が視聴時刻よりもはるか以前であったとしても、撮影時刻での渋滞度合いが、視聴時における実際の渋滞度合いとほぼ同等であるならば、ここで述べた不都合は生じないものとする。これは、渋滞動画を見るドライバーにとって、渋滞の程度さえ同等であれば、それが過去のいつに撮影されたものであろうと、リアルタイムの渋滞動画を見た場合と同等の情報を得られるだろうという考えに基づく。

以上の考察をもとに、遅延を伴って配信される動画を視聴することでドライバーが受ける効用について検討する。まず、上記 (1) を考慮するため、動画の撮影時刻と視聴時刻との差を  $\tau$  とし、 $\tau = 0$  のとき  $f(\tau) = 1$ 、かつ、 $\tau$  が大きくなるにつれ、 $f(\tau)$  が減少するような関数  $f(\tau) \geq 0$  を考える。このような関数は様々考えられるが、例えば、 $\tau$  の最大値を  $\tau_{max}$  とし、 $f(\tau) = 1 - \tau/\tau_{max}$  を用いることができる。上記 (2) についても、(1) と同様に考えることができる。すなわち、動画の要求時刻と視聴時刻との差を  $\lambda$  とし、 $\lambda = 0$  のとき  $g(\lambda) = 1$ 、かつ、 $\lambda$  が大きくなるにつれ、 $g(\lambda)$  が減少するような関数  $g(\lambda) \geq 0$  を考える。また、上記 (3) を考慮するため、動画の撮影時刻での渋滞度合いと、動画の視聴時刻における実際の渋滞度合いとの差を  $\delta$  とし、 $\delta = 0$  のとき  $h(\delta) = 1$ 、かつ、 $\delta$  が大きくなるにつれ、 $h(\delta)$  が減少するような関数  $h(\delta) \geq 0$  を考える。ここで、 $\delta$  を計算するためには、渋滞度合いを定量化する必要がある。これは、例えば、渋滞地点の道路セグメントを走行する車両の集合に対し、それらの車両の平均速度を求めることにより定量化することができる。以上の検討をもとに、ドライバーの効用関数  $S(\tau, \lambda, \delta)$  を、

$$S(\tau, \lambda, \delta) = f(\tau) \cdot g(\lambda) \cdot h(\delta) \quad (1)$$

と定式化することができる。この効用関数は、0 以上 1 以下の値をとり、値が大きいくほど、ドライバーが適切な動画を視聴できたことを意味する。

### 3.1.4 最適化問題

以上に基づき、提案方式が対象とする最適化問題を定式化する。

タイムスロット  $t_i$  において、道路セグメント  $e$  の渋滞動画がクラウドへアップロードされたか否かを表す関数を  $u_e(t_i)$  とする。 $u_e(t_i)$  は、渋滞動画がアップロードされた場合に 1 で、さもなければ 0 となる。同様に、タイムスロット  $t_i$  において、道路セグメント  $e$  の渋滞動画が車両  $u \in U$  によってダウンロードされたか否かを表す関数を  $d_{e,u}(t_i)$  とする。 $d_{e,u}(t_i)$  は、渋滞動画がダウンロードされた場合に 1 で、さもなければ 0 となる。

タイムスロット  $t_i$  において、各 3G エリア  $a \in A$  で消費される上り帯域  $L_a^{up}(t_i)$ 、およ

び、下り帯域  $L_a^{down}(t_i)$  はそれぞれ次のように計算できる：

$$L_a^{up}(t_i) = \sum_{e \in E_a} W \cdot u_e(t_i) \quad (2)$$

$$L_a^{down}(t_i) = \sum_{e \in E} \sum_{u \in C_a(t_i) \cap R_e(t_i)} W \cdot d_{e,u}(t_i) \quad (3)$$

タイムスロット  $t_i$  において、車両  $u$  に乗車するドライバーが道路セグメント  $e$  の渋滞動画を見た場合の、式 (1) に基づく効用関数の値を  $S_{e,u}(t_i)$  と表記する。各タイムスロット  $t_i$  において、各 3G エリアの上りと下りの帯域制約を満たしつつ、全タイムスロットに渡って、ドライバーの効用関数の値の全車両に対する総和を最大化することが提案方式の目的である：

$$\text{maximize } \sum_i \sum_{e \in E} \sum_{u \in R_e(t_i)} S_{e,u}(t_i) \cdot d_{e,u}(t_i) \quad (4)$$

$$\text{subject to } L_a^{up}(t_i) \leq B_a^{up}, \quad \forall i, \forall a \in A \quad (5)$$

$$L_a^{down}(t_i) \leq B_a^{down}, \quad \forall i, \forall a \in A \quad (6)$$

なお、以上で定義した問題では、対象とする時間の範囲を、全タイムスロットに渡って考慮するものとしたが、実際には、タイムスロット  $t_i$  において、 $t_i$  より未来のタイムスロットにおける車両の位置や渋滞動画の要求の発生状況などを正確に知ることはできない。そのため、実用上は、タイムスロット  $t_i$  において、それ以降の数タイムスロット先 ( $t_j (i \leq j)$  とする) までの状況を統計的手法などを用いて予測<sup>13)</sup> し、それをもとに、 $j - i + 1$  個分のタイムスロットで上記の最適化問題を解くことを繰り返す、という手法をとることが考えられる。ただし本稿では、このような予測に基づく複数タイムスロット分の範囲で最適化問題を解くことについては今後の課題とし、以降では、各タイムスロット毎に独立したものとし、各々のタイムスロット毎に上記の最適化問題を個別に解く (すなわち  $i = j$ )、という場合について考えるものとする。

### 3.2 アルゴリズム

提案アルゴリズムの目的は、タイムスロット  $t_i$  において、制約 (式 (5), (6)) のもとで、目的関数 (式 (4)) を最大化するような、 $u_e(t_i)$  と  $d_{e,u}(t_i)$  に対する 0 か 1 の割り当てを見つけることである。

アルゴリズムの設計にあたって、次の点を考慮する。アップロードに関しては、各 3G エリア  $a \in A$  において、どの道路セグメント  $e \in E_a$  の動画を優先的にアップロードするかについて、選択の余地がある。3.1.3 項で述べたように、過去のタイムスロットにおいてアップロードされた動画における渋滞の程度が、現在の実際の渋滞の程度と同程度であれば、現在のタイムスロットにおいて、あえて動画をアップロードする必要性は少ない。従って、 $a$  内の各道路セグメント  $e$  において、 $e$  の動画を要求している全ての車両が動画をダウンロードできるものと仮定したうえで、過去にアップロードされた動画をダウンロードする場合の

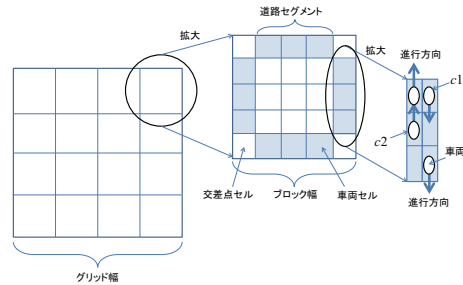


図 6 セル空間の例

効用の総和と、新たにアップロードされた動画をダウンロードする場合の効用の総和との差分を計算し、その差分が大きい道路セグメントから優先的に動画のアップロードを行うものとする。

次に、ダウンロードに関しては、各 3G エリア  $a \in A$  において、 $a$  内の道路セグメントを通る各車両  $u \in C_a(t_i)$  と、 $u \in R_e(t_i)$  を満たす道路セグメント  $e$  との各組  $(u, e)$  に対し、どの組  $(u, e)$  が優先的に動画をダウンロード（すなわち、 $u$  が  $e$  の動画をダウンロード）するかについて、選択の余地がある。これに関しては、単純に、効用の値が大きいものから順にダウンロードを行うものとする。

#### 4. 評価方法

今後、提案アルゴリズムによる全車両に対する効用の値の総和が、単純なアルゴリズムに比べてどの程度向上できるかについて調べるため、計算機シミュレーションによる評価実験を行う予定である。以下では、その評価方法について述べる。

本シミュレーションでは、車両の動きについて、セルオートマトン<sup>14)</sup>によるモデルを利用する。図 6 に示すように、セル空間は、グリッド幅  $N$  とブロック幅  $M$  の 2 つのパラメータに基づき構成される。図 6 は、 $N = 4$ 、 $M = 5$  の場合のセル空間の例である。例では、ブロック幅に基づき、 $5 \times 5$  のセル行列が構成され、さらに、グリッド幅に基づき、 $4 \times 4$  個のセル行列が構成されている。セル行列一つに対し、真ん中の  $M - 1 \times M - 1$  のセル行列と、4 隅のセル（交差点セルとよぶ）を除いた部分のセル（図では、色のついたセル）が、車両の存在できるセル（車両セルとよぶ）である。縦方向、もしくは横方向の車両セルの連なりは、それぞれ 1 つの道路セグメントを構成する。各車両セルには、最大 2 台の車両が存在でき、それぞれは、逆向きの進行方向を持つ。図 6 の例では、縦方向の道路セグ

メント内の 3 つの車両セルのそれぞれにおいて、上方向と下方向の進行方向があることが図示されている。各進行方向において、車両が最大 1 つまで存在できる。また、各車両は、次のタイムスロットにおいて、自身の進行方向のセルが空いている場合に限り、前進することができる。例えば、図 6 の例では、車両  $c_1$  は次のタイムスロットにおいて必ず前進できるが、車両  $c_2$  は、その前の車両が先に移動した場合に限り、前進できる。なお、各タイムスロットにおいて、どの車両から先に移動させるかについては、そのタイムスロットでまだ移動を行っていない車両の中から一台をランダムに選択する、という操作を繰り返すことで決定する。各車両は、次の進行先が交差点セルの場合、次のタイムスロットにおいて、交差点に隣接する道路セグメントの中で、現在自身が属す道路セグメント以外の任意の道路セグメントを一樣乱数で選択し、その道路セグメントの車両セルに進行する。

各 3G エリアは、グリッド全体を等分割する単位で設置する。例えば、図 6 の  $4 \times 4$  のグリッドに対し、 $2 \times 2$  のグリッド単位で各 3G エリアを設置する。各 3G エリア内に属す道路セグメントは、同一の帯域制約を共有する。3G エリアの境界に属す道路セグメントについては、2 つの 3G エリアに同時に属すため、それぞれのエリアの帯域を、それぞれの制約の範囲内で利用可能とする。

比較対象として、次の単純なアルゴリズムを対象とする：3.2 節のアルゴリズムにおいて、各 3G エリア  $a \in A$  内のどの道路セグメント  $e \in E_a$  の動画を優先的にアップロードするかについての判定の際に、常に最新の動画をダウンロードするものとして、 $e$  の動画を要求している全ての車両での効用の総和が大きい道路セグメントから優先的に動画のアップロードを行う。

#### 5. 関連研究

文献 12)、15)–18) において、スマートフォンなどの携帯端末を利用した、ユーザ参加型センシングに基づく交通情報の収集とその利用のための方式が提案されている。以下では、その中から特に本研究と関連の強いもの 2 点について述べる。

ユーザ参加型センシングによる交通情報の収集と配信の実現を容易化するため、文献 15) では、CarTel と呼ばれるミドルウェアが提案されている。CarTel は、主に、ICEDB と呼ばれるセンシング情報の蓄積のためのデータベースと、各車両と中央サーバ間の断続的な通信をサポートするための CafNet と呼ばれる DTN (Delay Tolerant Network) 用のネットワークスタックから構成される。ICEDB は、中央サーバ上の主データベースである ICEDB サーバと、各車両上のローカルの副データベースである ICEDB リモートにより構成され

る。車両と中央サーバ間は、帯域に制約があり、かつ、断続的な通信断が発生する無線通信網により接続されるため、各車両のセンシング情報は、一度各車両の ICEDB リモートに保持され、中央サーバとの通信が可能になった場合に、できるだけ効率的に ICEDB サーバへ送信される。このため、ICEDB では、通常の SQL 文を拡張し、センシング情報に対し、各種の優先度付きのフィルタリング処理を施した上で、重要度の高い情報を優先的に ICEDB サーバへ送信できるようにしている。

文献 12) では、3G 回線を利用した各車両からの定期的な GPS 情報の収集により、各道路セグメント上における渋滞を高精度に検知するための方式が提案されている。単純な方法では、各車両から集めた GPS 情報により、各道路セグメント上での車両の平均速度を求め、平均速度が特定の閾値を下回る場合、渋滞発生とみなすことができる。しかし、平均速度の低下は赤信号による停止を原因とする場合もあるため、赤信号による停止と、真の渋滞とを区別する必要がある。そのため、提案方式では、時間的な平均速度に加え、空間的な平均速度（すなわち、道路セグメントを一定区間に分割し、各区間ごとの速度を、全ての区間に対して平均化した値）を利用する。赤信号による停止は、特定の区間における速度を低下させるだけであり、その他の多くの区間において通常の速度で走行できている場合、空間的な平均速度は、通常（非渋滞時の）の走行速度から大きく低下することはない。一方、渋滞の発生時では、道路セグメント上の多数の区間で停車と発進を繰り返すため、空間的な平均速度は、通常の走行速度に対し大きく低下する。これにより、渋滞による速度低下と信号による速度低下とを区別し、高精度に渋滞を検知している。

これら既存研究では、車両から収集、配信する情報として、主に GPS 情報など容量の小さいデータを想定しており、本研究のように、動画を主な対象としたものではない。本稿で述べたような、3G 回線の帯域制約を考慮したうえで、可能な限り正確な渋滞状況を配信するための方式は、既存研究では提案されていない。

## 6. おわりに

本稿では、ドライバに対する渋滞情報の配信に関して、VICS など従来型のテキストや図形による提示ではなく、より直接的な動画による状況の把握を実現するために、3G 回線の帯域制約を考慮したうえで、可能な限りリアルタイムの渋滞度合いと近い品質の動画を効率よく収集、配信するための方式を提案した。提案方式では、ある渋滞地点で撮影された動画が、必ずしもリアルタイムに撮影されたものではない場合でも、最新の渋滞の状況と同程度の渋滞状況を表している場合、ドライバにとって、現場の渋滞状況の把握のために十分な情

報を備えていることに着目し、そのような場合には渋滞動画の頻繁な更新を控えることで、3G 回線の消費帯域を抑える。今後、シミュレーションによる評価実験により、常に最新の渋滞動画を収集、配信するような方式に比べ、提案方式によってドライバの効用関数の値をどの程度向上できるかについて調査する予定である。

## 参 考 文 献

- 1) VICS, <http://www.vics.or.jp/>.
- 2) ITS Spot, [http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/spot\\_ds/src/](http://www.mlit.go.jp/road/ITS/j-html/spot_ds/src/).
- 3) ATIS 交通情報サービス, <http://www.atis.co.jp/>.
- 4) Yahoo!ロコ, <http://loco.yahoo.co.jp/>.
- 5) ライブ映像情報 Watcha, <http://m-tv.jp/person/watcha/>.
- 6) J. Burke, D. Estrin, M. Hansen, A. Parker, N. Ramanathan, S. Reddy, and M. Srivastava: "Participatory Sensing," In *Proc. of World Sensor Web Workshop*, 2006.
- 7) インターナビ - Honda, <http://www.honda.co.jp/internavi/>.
- 8) G-BOOK, <http://g-book.com/>.
- 9) 日産カーウイングス, <http://drive.nissan-carwings.com/WEB/>.
- 10) スマートループ, <https://www.smartloop.jp/>.
- 11) ケンモ, <http://www.kmmo.jp/>.
- 12) J. Yoon, B. Noble, and M. Liu: "Surface Street Traffic Estimation," In *Proc. of MobiSys'07*, pp.220-232, 2007.
- 13) C. de Fabritiis, R. Ragona, and G. Valenti: "Traffic Estimation And Prediction Based On Real Time Floating Car Data," In *Proc. of ITSC'08*, pp.197-203, 2008.
- 14) S. Wolfram: "Theory and Applications of Cellular Automata," *World Scientific*, 1986.
- 15) B. Hull, V. Bychkovsky, Y. Zhang, K. Chen, M. Goraczko, A. Miu, E. Shih, H. Balakrishnan, and S. Madden: "CarTel: A Distributed Mobile Sensor Computing System," In *Proc. of SenSys'06*, pp.125-138, 2006.
- 16) B. Hoh, M. Gruteser, R. Herring, J. Ban, D. Work, J.-C. Herrera, A. M. Bayen, M. Annavaram, and Q. Jacobson: "Virtual Trip Lines for Distributed Privacy-Preserving Traffic Monitoring," In *Proc. of MobiSys'08*, pp.15-28, 2008.
- 17) P. Mohan, V. N. Padmanabhan, and R. Ramjee: "Nericell: Rich Monitoring of Road and Traffic Conditions using Mobile Smartphones," In *Proc. of SenSys'08*, pp.323-336, 2008.
- 18) R. K. Balan, N. X. Khoa, and L. Jiang: "Real-Time Trip Information Service for a Large Taxi Fleet," In *Proc. of MobiSys'11*, pp.99-112, 2011.