

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

玉井 森彦¹ 尾上 佳久¹ 安本 慶一¹ 福倉 寿信² 岩井 明史²

概要: 近年, スマートフォンを使った参加型センシングシステムが注目を集めている. 本稿では, 車載スマートフォンにより撮影した渋滞動画をユーザ間で共有し, 渋滞経路の迂回などに役立てるシステムの実現を目指し, 渋滞区間の自動検出法と, 渋滞区間で撮影した動画のうち, より渋滞の程度を直感的に把握しやすいショート動画を切り出す画像処理に基づいた方法を提案する. スマートフォン用のドライブレコーダアプリを用いて, 様々な経路の走行情報を収集し, 提案手法を適用した結果, 渋滞区間の検出, 渋滞ショート動画の切り出しにおいて, 実用上十分な精度が実現できることを確認した.

An Image Processing-based Method for Efficient Collection and Sharing of Video Data about Conditions of Vehicular Traffic Congestion

MORIIHIKO TAMAI¹ YOSHIHISA ONOUE¹ KEIICHI YASUMOTO¹ TOSHINOBU FUKUKURA² AKIHITO IWAI²

Abstract: Recently, smart-phone based participatory sensing systems are attracting increasing attention. In this paper, we focus attention on the smartphone-based system which allows users to record and share videos of congested road segments so that they can avoid congestions and make a detour. To realize this system, we propose two techniques: (1) automatic identification of congested road segments from GPS logs and (2) automatic extraction of short videos which makes users intuitively recognize the degree of congestion, based on image processing. We have collected GPS and video data while driving along various roads with smartphone drive recorder applications and applied our techniques to those collected data. As a result, we confirmed that our techniques identified congested segments and extracted short videos showing intuitive congestion situation with reasonably good accuracy.

1. はじめに

近年, 参加型センシングシステムが注目を集めている. 参加型センシングシステムでは, 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といった運用がなされるため, 広域のエリアにおける様々な位置情報データをセンサを設置することなく, ユーザのモビリティを利用して低コストに収集できるメリットがある. 参加型センシングに基づいた主要なサービスとして, 道路上の渋滞情報の収集・提供が挙げられる. これらのサービスでは, 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. Internavi, G-BOOK, CARWINGS, Smart Loopなどのサービスが自動車メーカ, カーナビメーカなどから提供されている. しかし, 既存サービスでは, 参加者の車両により収集する情報は, 基本的に車両の走行データ(位置情報の時系列)に限定されており, 渋滞情報の提示はテキストや簡易な図形情報の地図画面への重畳表示にとどまっている. 何段階かに分けられた渋滞度と渋滞の長さが地図に重畳表示されるような従来の渋滞表示方法では, 実環境で生じる様々な渋滞の度合をドライバが正しく把握し, 当該区間を回避するかどうかの意思決定に役立てることが難しい場合がある. 渋滞区間を実際に撮影した動画を, 当該区間を走行予定のドライバに事前に提供できれば, 渋滞の度合いの直感的な把握に役立つと考えられる. 動画撮影にあたり, 車載カメラは全ての自動車に搭載されているわけ

¹ 奈良先端科学技術大学院大学
Nara Institute of Science and Technology

² 株式会社デンソー
DENSO CORPORATION

ではなく、また、外部のソフトウェアから利用するためのAPIなどの整備も進んでいない。一方、近年スマートフォンは急速に普及しており、車両に搭載するカーマウントホルダも多数販売されている。また、GPSや各種センサも搭載しており、渋滞の検出や動画の撮影の用途に適していると考えられる。

本稿では、車載スマートフォンにより撮影した渋滞動画をユーザ間で共有し、渋滞経路の迂回などに役立てるシステムの実現法についての提案を行う。著者らは、文献 [1] において、渋滞動画を参加型センシングに基づき撮影・共有する際に問題となるネットワーク帯域の圧迫を軽減する方式について、問題の定式化、プロトコルの提案、シミュレーションによる評価を行った。本稿では、本システムを具体的に実現するために必要となる次の二つの機能について検討を行い、実装・評価を行う。一つ目の機能は、スマートフォンによる渋滞区間の正確な推定、二つ目の機能は、渋滞区間における渋滞の程度が直感的に把握可能なショート動画の切出しである。

渋滞区間の推定のため、提案手法では、スマートフォンで計測した各区間での速度、VICSでの渋滞区分 [2] に基づき、区間を重度渋滞区間、準渋滞区間、非渋滞区間の3つに分ける。この時、速度のみでの分類では、一時的な速度の減速のため、誤って渋滞区間であると判定されるという問題が発生するため、あらかじめ設定された距離に基づく閾値を用いて解決を図る。

渋滞区間で撮影した動画のうち、渋滞の程度をより直感的に把握できるようにするため、画像処理に基づきショート動画を切り出す方法を提案する。提案手法では、渋滞区間中の信号機に着目し、信号機が映り込んでいる映像を切出す方式を採用する。信号機は静止しているため、信号機が映像に移っていることで車両の移動速度が把握しやすくなり、また、交差点に設置されているため、右折や左折の際の車両の停滞が映像に映りやすい。従って、提案手法では、まず、渋滞区間中の動画に画像処理を適用して信号機を検出し、信号機が検出された区間を含む10秒程度のショート動画を共有する渋滞動画として切り出すものとした。

提案手法を評価するため、スマートフォン用のドライブレコーダアプリを用いて、様々な経路の走行情報を収集し、提案手法を適用した。その結果、渋滞区間の検出、渋滞ショート動画の切り出しにおいて、実用上十分な精度が実現できることを確認した。

2. ユーザ参加型センシングによる渋滞動画の収集・共有システム

提案システムは、渋滞区間を経由して目的地に向かおうとしている自動車のドライバーが、当該区間の車両の流れを映す最新の動画を閲覧し、渋滞の程度や通過時間を直感的に把握・予想することで、迂回するかどうかの判断に役立

てることを目的とする。

以下では、本システムを実現するための課題および要件を明らかにし、要件を満たすための基本アイデアおよびシステム構成について述べる。

2.1 課題と要件

本システムはユーザ参加型のシステムであり、サービスの品質はシステムへの参加者数に依存する。そのため、本システムを誰もが手軽に導入できるスマートフォンを用いたアプリケーションとして実現することとする。

近年のスマートフォン搭載カメラの性能は向上しており、フルHDの解像度(1920 × 1080ドット, 30fps)で動画を撮影可能なものも多い。フルHD解像度動画のビットレートは約24Mbpsであり、渋滞区間が10分だった場合に、そのすべてを収めたビデオを撮影すると、その容量は1.8Gバイトにも及ぶ。そのため、多数の車両が渋滞区間の全てを撮影し、クラウドを経由して共有(アップロード及びダウンロード)することは、セルラー通信の帯域を圧迫する。この課題に対処するため、(要件1)渋滞区間全体の中で、ドライバーが特に知りたい地点付近の動画、また、渋滞程度をよく表している短い動画を適切に切り出し、共有する仕組みが求められる。

もう一つの課題は、スマートフォンによる渋滞区間の検出である。スマートフォンは一般的にGPSを備えており、位置および車速の算出が可能である。VICS [2] では、表1に示すように、道路種別(一般道、都市内高速道、都市間高速道)ごとに車両の平均速度に基づき渋滞度を3段階: 渋滞(赤)、混雑(橙)、順調(緑)で区別しており、本システムにおいてもこれに従うものとする。

表 1: VICS での渋滞度の区分

| 渋滞度 | 一般道路 | 都市内高速道路 | 都市間高速道路 |
|-------|-----------|-----------|-----------|
| 渋滞(赤) | 10km/h 以下 | 20km/h 以下 | 40km/h 以下 |
| 混雑(橙) | 10-20km/h | 20-40km/h | 40-60km/h |
| 順調(緑) | 20km/h 以上 | 40km/h 以上 | 60km/h 以上 |

道路を渋滞度別の区間に分類する際の問題として、赤信号や一時停止で停止した場合、または様々な要因で車速が一時的に減速した場合、その区間が渋滞または混雑区間と誤認識されてしまうことが挙げられる。この問題を解決し、(要件2)道路を渋滞度別の区間に適切に区切るための仕組みが求められる。

2.2 基本アイデア

要件1を実現するため、動画を画像解析し、その中から、渋滞の様子を表す適切な短時間の動画を切り出すための手法を提案する。予備実験の結果および動画の容量から渋滞

動画は 10 秒程度のショートビデオとすることとした．この場合，フル HD 解像度でも動画の容量は 80M バイト程度に抑えられ，3G/4G 回線およびクラウドを介した共有が可能であると考えられる．

要件 2 の渋滞度に応じた道路の区分けを実現するため，まず，GPS の時系列位置データから 1 秒ごとの車速を算出し，表 1 の各渋滞度タイプでラベル付けした後，予め設定した閾値に基づき，その閾値未満の長さの重度渋滞区間，もしくは準渋滞区間の連なりを，非渋滞区間に変更するといったフィルタリング処理を行う．この処理の詳細については，3 章で述べる．

要件 1 に関して，ドライバは各渋滞区間の開始地点と終了地点付近，および渋滞区間の中の動画に興味があると思われる．そのため，各渋滞区間の開始地点付近，および渋滞区間中の一定間隔の動画を無条件で抽出するとともに（終了地点付近の動画は，その次の非渋滞区間の開始地点を撮影することでカバーされる），渋滞区間の内部において，画像処理を用いて渋滞度を良く表す動画を抽出する．

動画中の渋滞度を良く表す指標として，前方を走行する複数の車両が映っており車間距離が分かること，または，動画に映っている静止物の流れる速度から車速が分かること，などが挙げられる．本研究では，後者の実現を目指し，画像処理のしやすさを考慮して信号機を静止物として検出し，信号機付近の動画を切出すこととする．信号機検出のための画像処理の詳細は 3 章で述べる．

2.3 システム構成

本システムの構成を図 1 に示す．本システムは，車載スマートフォンとクラウド上のサーバで構成する．スマートフォンとサーバとの通信は 3G/4G 通信を想定する．図 1 下部に示すように，クライアント側ソフトウェアは，(c1) プローブ・渋滞度識別モジュール，(c2) 動画解析・切出しモジュール，(c3) 動画撮影モジュール，(c4) 表示モジュールより構成する．また，図 1 上部に示すように，サーバ側は，(s1) 渋滞度収集モジュール，(s2) 動画収集モジュール，(s3) 配信モジュール，および (d1) 渋滞区間 DB，(d2) 渋滞動画 DB により構成する．

(c1) プローブ・渋滞度識別モジュールは，GPS の時系列位置情報から平均車速を計算し，平均車速から，走行区間を渋滞度毎の区間に分け，(c5) 通信モジュールを介してサーバに送信する．(c3) 動画撮影モジュールは，(c1) からの情報に基づき，渋滞区間および必要に応じてその他の区間の動画を撮影しローカルに保存する．(c2) 動画解析・切出しモジュールは，(c1) の情報に基づき，(c3) で撮影した動画の解析および切り出しを行う．切り出されたショート動画は，通信モジュールを介してサーバに送付される．(c4) 表示モジュールは，当該ドライバが今後通過する予定の道路区間について，サーバの (s3) 配信モジュールから

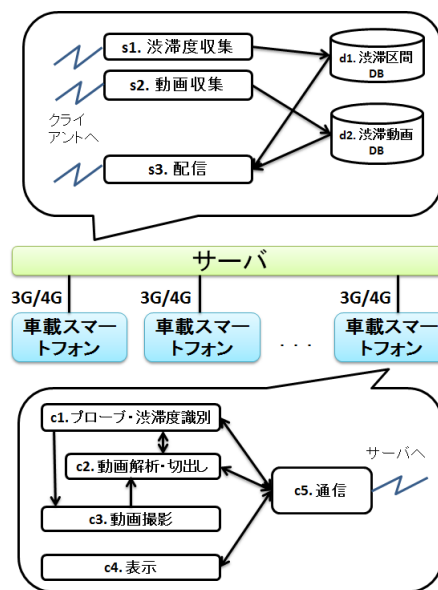


図 1: システムの構成

の渋滞度の情報および渋滞動画を受け取り地図上に表示する．(c1)，(c2)，(c4) のモジュール群は，(c5) 通信モジュールを介してサーバと通信する．ドライバへの渋滞度および渋滞動画の表示例を図 2 に示す．



図 2: ドライバへの渋滞度・動画の表示例

2.4 クライアント・サーバ間の通信における工夫

クライアント側のモジュール群 (c1)–(c3) においては，安定性，ロバスト性を考慮し，各走行区間の渋滞度の算出，動画の撮影，ショート動画の切出しは，当該車両が走行中に単独で取得した情報のみに基づき行う．

各車両は他と独立に渋滞度・動画を取得するため，同じ道路区間について取得された渋滞度とショート動画が複数の車両から異なるタイミングで送信される可能性がある．サーバ側の (s2) 動画収集モジュールでは，3G/4G 回線で使用される帯域を削減するため，全ての走行車両からの動画のアップロードを無作為に受け入れるのではなく，文献 [1] の方法を用いて，当該区間の渋滞度の変化度合い，需要，

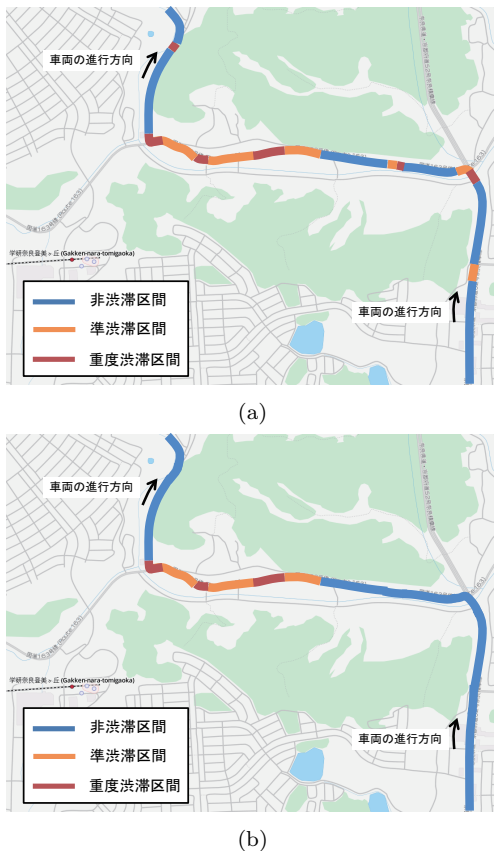


図 3: GPS ログに基づく渋滞区間の検出．(a) 渋滞区間距離閾値による補正前．(b) 渋滞区間距離閾値による補正後

必要になるまでの時間を考慮して、各時点で受け入れる動画の選別を行う．一方、(s1) 渋滞度収集モジュールは、全ての車両から渋滞度の情報を受け取り、渋滞度の変化度合いの算出などに活用する．

3. 渋滞区間の識別と画像処理に基づく渋滞動画の取得

本章では、2章で述べた渋滞の程度を表す適切な動画の切り出し方法、および渋滞区間の識別方法について、その詳細を述べる．

3.1 GPS ログに基づく渋滞区間の検出

車両の走行中に、ドライバの所有するスマートフォン（以下、「ユーザ端末」と呼ぶ）では、車速に基づいた渋滞区間を検出するため、GPS ログが定期的に取得される．ユーザ端末上で取得されるGPS ログは、各々、経度、緯度、および速度を含むものとする．また、各GPS ログは、例えば1秒に一回のように、一定の周期で定期的に取得されるものとする．なお、速度については、単位時間当たりの移動距離として算出するか、もしくはスマートフォンの開発環境が用意しているAPI [3] を用いて取得する．

渋滞区間の検出において、単純な方法として考えられるのは、速度が一定値以下の状態で走行した区間を渋滞区間

とみなす方法である．しかし、赤信号や一時停止の標識による停止、もしくは、様々な要因に基づく一時的な減速など、渋滞以外の原因での速度低下も発生しうるため、そのような場合には渋滞区間として検出するのは不適切である．

この問題に対処するため、提案方式では、速度が一定値以下の状態で、かつ、一定以上の距離を走行した場合に渋滞区間とみなす方法を採用する．ここで、速度がどの程度まで低下したら渋滞であると判断するかについては、VICISでの渋滞区分(表1)に基づき決定する．すなわち、一般道路において、時速10km以下を重度渋滞区間、時速10km～20kmを準渋滞区間、時速20km以上を非渋滞区間とする．なお、以下では、重度渋滞区間、もしくは準渋滞区間である区間のことを、単に「渋滞区間」と呼ぶものとする．

また、速度が低下した状態でどの程度の距離以上を走行したら渋滞区間とみなすかについては、実環境上で発生する様々な渋滞区間のデータを参考に、それらを渋滞として検出するのに必要最小限な距離とする．本稿では、例えば100m程度を考える．この距離のことを、以下、「渋滞区間距離閾値」と呼ぶ．以上で述べた基準に基づき、具体的に渋滞区間を検出する手順について述べる．

まず、各GPSログについて、ある地点で取得したもの(L_n とする)と、その地点の一つ前に取得したもの(L_{n-1} とする)について、2つの速度の平均値を求め、そして、 L_{n-1} と L_n の両取得地点を結ぶ線分を、VICISの渋滞区分に基づき分類する．あるGPSログの取得系列について、この分類を行った結果の例を、図3(a)に示す．

次に、非渋滞区間に囲まれた区間、すなわち、準渋滞区間、または重度渋滞区間がそれぞれ任意の個数連続する区間を検出する．そのような各区間について、その区間の距離を求め、その距離が、渋滞区間距離閾値を下回る場合、その区間を非渋滞区間に修正する．図3(a)の例に対し、この処理を行った結果を図3(b)に示す．以上の手順により、信号など、短い距離の間に発生した速度低下を無視しつつ、渋滞区間の検出を行うことができる．

3.2 渋滞動画の撮影とショート動画の切り出し方法

提案システムでは、前節の方法により検出された渋滞区間内において、ユーザ端末に搭載されるカメラにより、フロントガラス越しに渋滞の様子を撮影し、撮影された動画データから、いくつかのショート動画を切り出す．ユーザ端末は、図1のプロープ・渋滞度識別モジュールが渋滞区間を検出するとすぐに動画の撮影を開始する．渋滞区間(重度渋滞区間と準渋滞区間を合わせた区間)の全体で動画を撮影し、その後、渋滞区間距離閾値以上の非渋滞区間を検出すると、渋滞終了地点のショート動画の切り出しに十分な時間を待った後撮影を終了する．

ショート動画を切り出す地点として、まず、渋滞のきっかけ、もしくは解消の原因を特定できる可能性があることか

ら、各渋滞区間の開始地点と終了地点を選択する。また、渋滞区間内部の様子が知りたいという要求も存在するため、渋滞区間で一定距離進むごとに、その地点のショート動画を切出すものとする。以下、この距離のことを「動画撮影距離」と呼ぶ。さらに、渋滞区間内部において信号が存在する場合、2章で述べたように、渋滞の状態を表すのに適切な動画である可能性が高いため、信号が検出された地点でのショート動画を切出す。なお、画像処理に基づく信号検出方式については、後の節で詳述する。

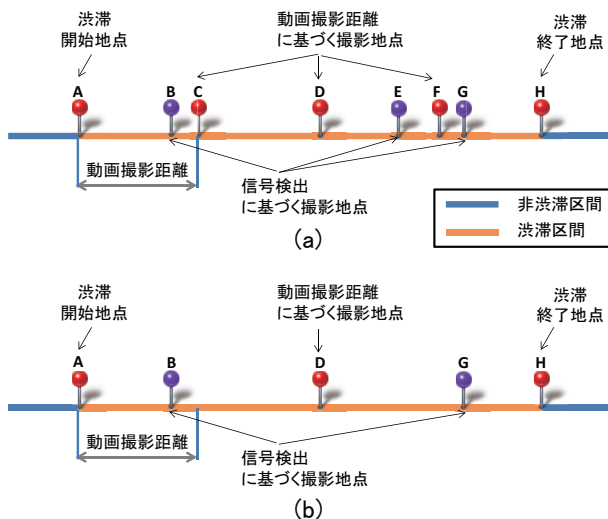


図 4: ショート動画の切出し地点に対する間引き処理の適用例。(a) 間引き前。(b) 間引いた後

以上で述べたショート動画の切出し方法では、検出された信号の数が多い場合、渋滞区間において多数の動画が切り出されてしまう。それらの全てをサーバへのアップロード対象とするのは非効率である。そこで、動画の切出し地点のいくつかを間引く処理を行う。

図 4 (a) に、ある渋滞区間において、間引く処理を行う以前での各動画の切出し地点の例を示す。図では、A 地点と H 地点がそれぞれ渋滞の開始と終了地点であり、渋滞区間内部において、動画撮影距離に従って C, D, F 地点について動画が切出される。また、信号検出を行った地点が B, E, G 地点であり、これらについても動画が切出される。

動画の切出し地点の間引き処理では、動画撮影距離を d としたとき、動画撮影距離に基づく撮影地点の各々において、各地点 (p_i とする) から前後 $d/2$ の範囲 (すなわち、区間 $[-d/2 + p_i, p_i + d/2]$) 内の信号検出地点について、それらの中で最も距離の近い信号検出地点を選択し、それ以外の動画の切出し地点 (p_i も含む) を削除する。ただし、 p_i の前後に信号検出地点が存在しない場合は、 p_i をそのまま動画切出し地点とする。なお、以下では区間 $[-d/2 + p_i, p_i + d/2]$ を、地点 p_i の「信号検出区間」と呼ぶ。

図 4 (a) に対しこの間引き処理を適用した後の各動画切出し地点を図 4 (b) に示す。地点 C については、信号検出

区間で C に最も近い信号検出地点が B であるため、B を残して C を削除する。地点 D については、信号検出区間に信号が存在しないため、そのまま残す。地点 F については、その前後の E 地点と G 地点で信号が検出されているが、G 地点の方が近いので、G を残して E と F を削除する。

上記の方法では、各地点 p_i について、信号検出区間で検出された最も近い信号を残す場合を述べたが、各交差点の重要度 (例えば、主要道路が接続する交差点) の情報が利用できる場合には、最も重要度の高い信号を残すようにすることも可能である

次に、ショート動画の切出し処理をいつ行うかという問題について考える。単純な方法としては、渋滞区間を抜けた後に、渋滞区間で撮影し続けていた動画全体を対象に信号検出を行い、上で述べた切出し地点の間引き処理を行った後、各切出し地点に対し切出し処理を行うことが考えられる。しかし、渋滞区間がどれだけの時間継続するかを事前に知ることはできないため、場合によっては長時間の動画を撮影してユーザ端末のストレージに保存しておく必要があり、ストレージの容量を大きく消費してしまう。また、ショート動画のアップロードを渋滞区間終了後に行っても、他のユーザが動画を見るのには遅すぎるという可能性もある。

そこで、動画撮影距離に基づく撮影地点の各々において、各地点 p_i に対する信号検出区間の終了地点を通過した直後、すぐに p_i の信号検出区間を対象として信号検出処理と間引き処理、およびショート動画の切出し処理を行い、動画の切出し後、信号検出区間内の動画は必要なくなるため、その動画をストレージから削除するようにする。この場合、高々一つの信号検出区間で撮影される動画を保存するのに十分なストレージがあればよい。また、渋滞区間の終了を待たずに、各地点 p_i 付近で撮影された動画をアップロードできる。

3.3 信号機検出方式

渋滞区間で撮影された動画のフレームに対して信号機を手がかりに信号機を検出する。そして、動画中の複数枚のフレームに対して信号機検出を行うことで、検出率の向上、誤検出率の低減を図る。

画像内の信号機を検出する手法として、信号機の色、形状に注目した手法が提案されている [4], [5], [6]。これらの手法は、スマートフォンのカメラにも応用が可能であるため、本研究ではこれらの手法に基づいた信号機検出手法を開発する。

3.3.1 信号機検出方式

本手法では、図 5 に示す順番に処理を行い信号機の検出を行う。信号機検出処理においては、まず入力画像の RGB で表現された各画素を HSV 表色系に変換する。次に、入

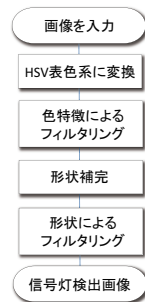


図 5: 画像処理に基づく信号検出の手順

力画像の対象領域内の各画素に対して事前に定義した各色の信号灯が取りうる色相, 彩度, 明度を基にフィルタリングを行い, 信号灯候補画素を白色に, それ以外の画素を黒色にした二値画像を作成する. 色特徴によるフィルタリングによって, 実際は信号灯が写っている領域が複数の信号灯光領域に分割されることがある. 本手法では, 後の手順において輪郭の形状を基に信号灯を検出するため, 分割された領域を結合する必要がある. このため, 各領域を膨張させ, 隣接する領域を結合する. なお, 信号の形状を正確に現している領域は, 膨張させても形状が保たれる. そして最後に, 欠損を補完した二値画像に含まれる信号灯候補領域の輪郭の円形度, 面積に関してフィルタリングし信号灯を検出する.

3.3.2 複数枚フレームに対する信号灯検出の実施

信号灯が写ったショート動画を切り出すためには, 渋滞動画内の信号灯が写っている時刻を特定する必要がある. よって渋滞動画の始まりから 1 秒間隔に動画からフレームを切り出して信号灯検出を行う. そして, 動画撮影距離の半分を走行するまでに実験的に求めた閾値以上の枚数のフレームで信号灯が検出された場合, 最初に信号灯が検出されたフレームを信号灯を初めて検出したフレームとみなす. そして, その時刻を基準にショート動画を切り出す.

3.4 実装の詳細

提案システムについて, 実環境で運用するにあたって実用上問題ない性能を達成可能かどうかを調査するため, ユーザ端末として iPhone 4S を用いて提案方式の実装を行った. 本節では, その実装の詳細について述べる.

GPS ログの取得については, Core Location フレームワーク [3] を用いて行った. Core Location フレームワークでは, コールバックをあらかじめ登録しておくことにより, 新しい GPS ログの取得が行われた際, その通知を受けることができる. どの程度の頻度で通知を受け取るかについて, その具体的な秒数を直接指定することはできない. 代わりに, GPS ログのおおまかな精度を指定することが可能であり, この精度をもっとも高い値 `kCLLocationAccuracyBest` に指定することで, 車両の走行中など, 十分な速度で移動中の場合, 約 1 秒の周期で定期的に GPS ログを取得可能

であることを確認している.

ユーザ端末とサーバ間の通信は, WebSocket [7] を用いて実現した. これには, HTTP との親和性が高く, かつ通常の TCP ソケットを用いる場合と同様, 1 本のコネクション上で, 任意のタイミングで双方向通信可能であることより, プログラミングが比較的容易であるという利点がある. サーバ側のプログラムは, JavaScript を用いたサーバサイドプログラミングが可能であることから, Node.js [8] を用いて実装を行った. また, サーバ側の WebSocket 用のライブラリとして, ws [9] を用いて実装を行った. 一方, ユーザ端末側では, WebSocket 用のライブラリとして, SocketRocket [10] を用いて実装を行った. 以上のソフトウェア構成により, ユーザ端末からサーバ (Linux) に対し, 3G 回線を用いて 1 秒間隔で GPS ログ (一つあたり約 150 バイト) の定期送信を行ったところ, 大きな遅延なく, サーバ側でも, 約 1 秒間隔で GPS ログの受信が可能であることを確認した.

4. 有効性評価のための予備実験

本章では, ユーザ参加型センシングによる渋滞動画の収集・共有システムの有効性を評価するために行った予備実験について述べる. 実験では, 信号機検出精度と, 動画視聴に基づく渋滞程度推測の正確さの評価を行った.

4.1 信号機検出精度の評価

信号灯が写ったショート動画を切り出せることを確認するため, 信号機検出精度を評価した. 評価には, 3 種類の走行データ (異なる日時, 天候, 場所でスマートフォンのドライブレコーダ・アプリで記録した GPS ログおよび動画) を用いた. 信号機検出の判定には, 動画中の連続する 5 枚のフレームを用いた. そして, 画像内の信号灯検出領域は信号灯が映らないと思われる下半分と左右 2 割を除いた部分とした. 以上の条件で, 渋滞区間内の全信号機のうち, 検出出来た数, 検出漏れした数, また誤検出数を求めた.

表 2: 信号機検出結果

| | 信号機の数 | 検出数 | 検出漏れ数 | 誤検出数 |
|---------|-------|-----|-------|------|
| 走行データ 1 | 4 | 3 | 1 | 0 |
| 走行データ 2 | 4 | 3 | 1 | 0 |
| 走行データ 3 | 5 | 3 | 1 | 1 |

実験の結果を表 2 に示す. 信号機の数 13 に対し検出数が 9 となり, 全体での信号機検出精度は約 69% となった.

紅葉した葉を信号灯として検出するという誤検出が 1 件発生した. その原因は, 紅葉した葉などの色特徴は信号灯に似ているが, 形状特徴は信号灯に似ていない物体が, 信号灯候補領域を補完することで形状的に信号灯に類似した

ためである．今後アルゴリズムの改良により対処する予定である．

また検出漏れが3件発生した．この原因の1つは、渋滞区間では車間が狭まるため、前方車両の背が高い場合は視界が遮られ、信号機を撮影できる機会が少なくなったためと考えられる．また、提案手法は渋滞区間でのみ信号機の検出を試みるが、信号機の直前から渋滞区間が始まることで、信号機が写った画像を十分に撮影できないことが原因で検出漏れが発生したケースもあった．これらの検出漏れについては、提案システムは複数の車両により動画を撮影し、渋滞開始区間での動画も撮影するため、実運用上は問題とはならないと考えられる．

4.2 動画視聴に基づく渋滞程度推測の正確さ

渋滞度を直感的に把握するのに、信号機が参考になるのかどうかを調査するための実験を行った．実験では、6人の被験者が、渋滞区間のショート動画を視聴し、動画内の走行速度を推測して3択で回答する．

表 3: 推測した渋滞程度の正答率

| 渋滞程度 | 走行速度 (km/h) | 信号機の有無 | 動画数 | 平均正答率 (%) |
|------|----------------|--------|-----|--------------|
| 重度渋滞 | 0~5 | 有 | 5 | 60 |
| | | 無 | 6 | 83 |
| | 5~10 | 有 | 2 | 50 |
| | | 無 | 12 | 28 |
| 準渋滞 | 10~20 | 有 | 9 | 72 |
| | | 無 | 10 | 43 |
| 全体 | - | 有 | 16 | 65.5 |
| | | 無 | 28 | 45.1 |

利用したショート動画の種類と、その正答率を表3に示す．全体では、信号機有の動画の正答率が65.5%となり、信号機無の動画の正答率45.1%を上回った．この結果から、信号機が映っているショート動画の切出しが、渋滞度のより正確な推測に効果があることが分かった．速度別では、5~10km/h、10~20km/hの場合、信号機有の動画による正答率が信号機無の場合を大きく上回った．一方で、速度が0~5km/hの場合では、信号機無の方が正答率が高いという結果となった．これは、低速の場合、前方の車両など、より近くのもの速度判断の参考となったためであると考えられる．

5. 関連研究

本章では、関連研究として、参加型センシングにより交通状況等を収集・共有するもの、画像処理に基づき交通状況を検知するものに分けて既存研究を概説する．

5.1 参加型センシングによる交通状況等の収集・共有

参加型センシングにより、様々な情報を収集する方法が提案されている．

GreenGPS [11] は、OBD-II デバイスを車両に接続し、様々な走行車両から収集した計測情報（位置、燃費、車速など）を用いて、任意の目的地への燃費最小の経路を案内するシステムである．GPS 未搭載車両が多い発展途上国における低コストでの渋滞検知のため、路側に設置した複数の音センサにより、走行車両から発せられるクラクション音をセンシングし、そのドップラー効果を解析することで車速を推測する方法 [12] が提案されている．ParkNet[13] は、GPS と超音波レンジファインダを備えた複数車両により、都市における各駐車場の駐車スペースの占有状況をセンシングし共有するシステムである．Nericell[14] は、道路上の穴や凹凸、旧ブレーキ・クラクションがあった場所を、スマートフォンのセンサを使用してセンシングし共有するシステムである．上記のような様々な参加型センシングアプリケーションを容易に開発できるようにする基盤システム CarTel[15] も提案されている．

参加型センシングによる交通状況予測に関して、多数の研究が実施されている．文献 [16] は、過去の車両の走行データから道路セグメント毎の特徴を抽出しておき、現在走行中の車両の走行データに照らし合わせて、各道路セグメントの最新の交通状況（通常より混雑しているかどうか等）を推測する方法を提案している．イタリア OCTOTelematics 社により提供されているフローティングカーデータシステム（FCD-System）により、過去の GPS 時系列位置情報データと多数の走行車両から実時間で送られるデータを用いて、向こう 15~30 分の道路セグメント毎の実時間交通状況の予測が可能であることが報告されている [17]．また、タクシーの乗客が、現在地から目的地への料金と乗車時間の予測を知り乗車の計画に使用できる実時間通行時間予測するシステム [18] も提案されている．

上記で述べたような参加型センシングにおいて、ユーザが位置情報提供によりプライバシーが漏えいしてしまう問題に対処するため、例として、時系列位置情報の更新をアップロードする地点を限定することでプライバシーの漏えいを防ぐ Virtual Trip Lines [19] が提案されている．

これまで述べたとおり、スマートフォンや車載センサを用いて、道路の通行状況や路面の状況等を収集し共有するシステムは多数提案されている．しかし、車両のドライバが走行中に検出した渋滞区間の動画を実時間で撮影・共有するシステムは著者らが調べた限りでは提案されていない．また、動画を共有する場合、セルラ通信網の帯域を圧迫することが予想されるが、既存の参加型センシングは位置情報やセンサの数値データなど比較的軽量のデータを対象としているものが多く、センサデータ収集時にセルラ通信網の使用帯域をうまく軽減する方法は提案されていない．

5.2 画像処理に基づく交通状況検知と応用

車載カメラで撮影した動画を画像処理して、交通状況の取得やナビゲーションに役立てる研究が幾つかなされている。ここでは、本研究でも使用している、画像処理により信号機の検出を行っている既存研究について述べる。

文献 [6] では、市販のビデオカメラを用いて撮影した動画から、信号機を検出する方式を実装、評価している。文献 [5] では、車載カメラを用いて撮影した画像に、様々なフィルタリング処理を施すことにより、実際の走行中の車両から撮影された画像から効率よくまた頑健に信号機の検出を行う方式が提案されている。文献 [4] では、普及カメラを用いる際に生じやすい、色飽和が生じている画像から安定して信号機を検出する方式が提案されている。

応用研究として、スマートフォンのカメラを用いて信号の検出を行い、赤信号から青信号に代わるタイミングを検出し、車両間で共有することにより、赤信号で停止することの無いルートや速度調整を案内するスマートフォン用アプリ SignalGuru[20] が開発されている。

以上述べたように、車両の走行中に撮影した画像から信号機の検出を行っている研究は多数存在する。しかし、本研究は、共有する動画の長さを短くする、渋滞度を直感的かつ正確に判断できるようにするという目的のため信号機の検出を用いており、応用法が従来と大きく異なっている。

6. まとめ

本稿では、車載スマートフォンによるユーザ参加型センシングアプリケーションとして、渋滞区間および渋滞動画の収集・共有システムを提案した。提案システムでは、各車両に搭載したスマートフォンが、走行経路上で GPS により計測した時系列位置データから車速を計算し、渋滞度別の道路区間を抽出するとともに、渋滞区間の動画を撮影する。動画の共有によるセルラー網の帯域の圧迫を軽減するため、各渋滞区間を撮影した動画のうち、より渋滞の程度の把握に貢献する 10 秒程度の短い動画を、渋滞区間中の相対位置および信号機の有無から判定し切り出す方法を考案した。また、iOS 端末を対象として、提案システムのプロトタイプ的设计・開発を行った。

市販のスマートフォン用ドライブレコーダを用いて収集した走行情報および動画に提案手法を適用し、信号機の抽出精度、切出した動画の適切さ(ユーザによる渋滞度の判定がどの程度正確であったか)に関する評価を行った。結果、信号機検出精度は約 70%と実用上十分であり、また、信号機を映すショート動画により、信号機が無い場合より 20%以上高い走行速度正答率を達成できることが分かった。

今後、アプリの開発を進め、実走行を通したより詳細な評価実験を行う予定である。また、今回は渋滞情報共有への適用を提案しているが、今後渋滞情報以外の他のサービスへの応用も方向性の一つとして検討したい。

参考文献

- [1] 玉井森彦, 安本慶一, 福倉寿信, 岩井明史: “道路上の交通量変化に基づく効率のよい渋滞動画データ収集および配信方式,” 情報処理学会研究報告, Vol. 2012-MBL-61, No. 29, pp. 1-8, 2012.
- [2] VICS Web Site (提供サービス), <http://www.vics.or.jp/service/index.html>.
- [3] Location Awareness Programming Guide, <http://developer.apple.com/library/ios/#documentation/UserExperience/Conceptual/LocationAwarenessPG/>.
- [4] 木村文香, 高橋友和, 目加田慶人, 井手一郎, 村瀬洋: “安全運転支援のための多様な撮影環境における信号認識,” 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2006) 講演予稿集, IS1-52, pp. 618-623, 2006.
- [5] C. Wang, T. Jin, M. Yang, and B. Wang: “Robust and Real-Time Traffic Lights Recognition in Complex Urban Environments,” *Int'l Journal of Computational Intelligence Systems*, Vol. 4, No. 6, pp. 1383-1390, 2011.
- [6] 森裕奨, 江口一彦: “家庭用ビデオカメラ動画からの道路交通信号検出,” 愛知工業大学研究報告, No. 45, pp. 109-114, 2010.
- [7] I. Fette and A. Melnikov: “The WebSocket Protocol,” *RFC 6455*, 2011.
- [8] Node.js, <http://nodejs.org/>.
- [9] ws: a node.js websocket implementation, <http://einaros.github.com/ws/>.
- [10] SocketRocket, <https://github.com/square/SocketRocket>.
- [11] R. K. Ganti, N. Pham, H. Ahmadi, S. Nangia, and T. F. Abdelzaher: “GreenGPS: A Participatory Sensing Fuel-Efficient Maps Application,” In *Proc. of MobiSys'10*, pp. 151-164, 2010.
- [12] R. Sen, B. Raman, and P. Sharma: “Horn-Ok-Please,” In *Proc. of MobiSys'10*, pp. 137-150, 2010.
- [13] S. Mathur, T. Jin, N. Kasturirangan, J. Chandrashekharan, W. Xue, M. Gruteser, and W. Trappe: “ParkNet: Drive-by Sensing of Road-Side Parking Statistics,” In *Proc. of MobiSys'10*, pp. 123-136, 2010.
- [14] 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.
- [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] J. Yoon, B. Noble, and M. Liu: “Surface Street Traffic Estimation,” In *Proc. of MobiSys'07*, pp. 220-232, 2007.
- [17] 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.
- [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.
- [19] B. Hoh, M. Gruteser, R. Herring, J. Ban, D. Work, J.-C. Herrera, A. M. Bayen, M. Annamaram, and Q. Jacobson: “Virtual Trip Lines for Distributed Privacy-Preserving Traffic Monitoring,” In *Proc. of MobiSys'08*, pp. 15-28, 2008.
- [20] E. Koukoumidis, L.-S. Peh, and M. Martonosi: “SignalGuru: Leveraging Mobile Phones for Collaborative Traffic Signal Schedule Advisory,” In *Proc. of MobiSys'11*, pp. 127-140, 2011.