

# 車載スマートフォンにおけるプローブデータ圧縮方式

柿澤 浩仁<sup>1</sup> 中瀬 裕多<sup>1</sup> 北上 眞二<sup>2</sup> 寺島 美昭<sup>2</sup> 齋藤 正史<sup>2</sup> 清原 良三<sup>1</sup>

概要：スマートフォンの普及により，無料で利用できる通信機能を活用したカーナビゲーションシステムとしての利用が爆発的に増えることが想定される。即ち，携帯電話網を活用したテレマティクスサービスが爆発的に普及する。現在は通信費を気にせずに利用できる定額制が導入されているが，今後従量制なることも想定されるテレマティクスサービスにおいてはアップリンク，ダウンリンクともに大量のデータ送受信が行われる。コスト面を考えた場合，ユーザ，キャリア，サービス提供者のいずれかの負担が大きくなるためこれらのデータ通信量を如何に減らすかが重要な課題となる。通信回線に余裕があるときにはそれほどデータサイズを気にする必要はないが，多数のスマートフォン利用者が集中してデータ通信を行った場合に本研究の圧縮アルゴリズムに有用性があると評価できる。本論文では，アップリンクのデータ通信に着目し，その削減方式を提案した。

## Reduction of the Amount of Probe -Data with Smartphones in Telematics Services

HIROHITO KAKIZAWA<sup>1</sup> YUTA NAKASE<sup>1</sup> SHINJI KITAGAMI<sup>2</sup> YOSHIAKI TERASHIMA<sup>2</sup> MASASHI SAITO<sup>2</sup>  
RYOZO KIYOHARA<sup>1</sup>

### 1. はじめに

携帯端末を利用して自動車などをインターネットに接続することで受けられるサービスをテレマティクスサービスといい，自動車分野において情報技術を積極的に利用するという技術には ITS(高度道路交通システム) が挙げられる。ITS とテレマティクスサービスには重なる点が多く，テレマティクスサービスは ITS の概念の一部と考えることができる。実用化されたテレマティクスサービスにはトヨタ社の G-BOOK[1] や日産社のカーウィングス [2] やホンダ社のインターナビ [3] などがある。普段の生活で使用しているスマートフォン上で通信機能を活用したナビゲーションサービスが無料で利用できるアプリの登場により，テレマティクスサービスが爆発的に普及すると想定される [4]。

テレマティクスサービスの構成として車載機器からの情報を携帯電話網を経由してテレマティクスプロバイダ(TSP) に集め，各種情報を TSP が加工し，逆に各車載機器に情報を配布するサービスである。従来のカーナビゲ-

ーションシステムでは地図情報などの更新には通信が必要となり月額使用料などユーザの負担になっていた。交通情報を地図上に表示するには，道路交通情報システム [5] から発信される交通情報を運転手が知ることによって渋滞が起きていない経路の選択を行い，円滑な走行を支援するものが多い。

しかし，VICS には路車間のインフラ整備が必要なのでコスト的な問題があり，すべての道路で利用できるわけではない。従来の携帯電話網を利用する形態のテレマティクスサービス [1][2][3][6][7][8] では多くの場合，通信費の費用負担が発生することもあり，あまり普及は進んでいなかった。

スマートフォンの場合，普段使う携帯電話の通信費が定額制であり，地図データは常に最新版に更新され，電波の入るエリア内では常にサーバと通信できる利点がある。そのため，ユーザはコストを気にすることなく，最新の情報を得られるため，爆発的普及が想定される。また，スマートフォンで取得した情報のみからテレマティクスサービスのための情報を作成し，配信するという試みもある [9]。

しかし，普及すればするほど通信のトラフィックは増大し，従来は無視できたような多回数のアクセスなどがユー-

<sup>1</sup> 神奈川工科大学情報工学科

<sup>2</sup> 三菱電機(株)

ザやサービス側のコストに影響すると言われており通信量の削減は重要な課題と考える。現在はスマートフォンの通信は定額制になっているが今後従量制になることも考えられる。ユーザ側の負担を減らすためにもデータ量の削減は今後の大きな課題である。

カーナビゲーションシステムは大きく分けて3つのモデルがある。車両の出荷時から組み込まれている組み込み型タイプ、車両の購入後にユーザが自ら取り付ける後付け通信型カーナビタイプ、スマートフォンにアプリをインストールしてカーナビゲーションとして利用するタイプがある。今後スマートフォンをカーナビゲーションシステムとして使うタイプのモデルが主流になると考えている。従来の通信型カーナビゲーションシステムと比較してスマートフォンタイプのカーナビゲーションシステムは車両からのセンサ情報を受け取ることが難しく、今後、交通情報としての精度を高めるために車両からのセンサ情報が容易にスマートフォンでも処理できるようにすることも課題の1つである。

本論文では、第一にスマートフォンを利用したテレマティクスサービスに関してプローブデータ収集モデルを整理する。次にプローブデータの形式の標準を定義したISO22837[10]に関して述べ、この形式に基づいたアップロードするプローブデータの圧縮方式を提案する。その上で、整理したモデルに基づいて提案方式を定量的にシミュレーションにて評価し、その有用性を示す。

## 2. プローブデータ収集タイプ

テレマティクスサービスを実現するための各車両のプローブデータ情報を収集し、アップロードするモデルタイプは大きく以下に示す3種類に分けられる。

- (1) あらかじめ車両の出荷時点からカーナビとして組み込まれる組み込み型タイプ
- (2) 出荷後に、カーディーラーやユーザ自身が購入してカーナビとして取り付ける通信型カーナビゲーションタイプ
- (3) スマートフォンにテレマティクスサービス対応のソフトウェアをインストールして実行するスマートフォンタイプ

本論文では今後普及が進むスマートフォンタイプを対象とする。スマートフォンタイプとは無料でアプリが提供される場合も多く、常に通信をして地図などを表示する。そのため、通信量は多い。しかしながら、通信費用はユーザの契約する携帯電話の通信費になるため、普段から携帯電話を使ってデータ通信を行うユーザにとっては無料で使えるに等しい。また、車載ネットワークに接続できる場合もある。

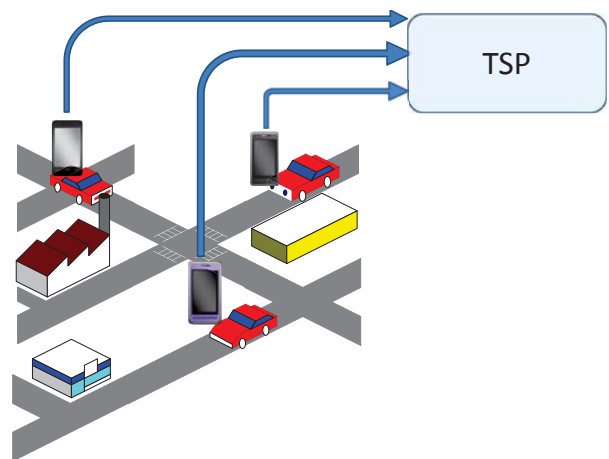


図1 プローブ収集モデル

表1 代表的なテレマティクスサービス向けプローブ情報

タイプ	位置	車速	天候	路面	加速度
車載器接続					
車載器非接続			×	×	

アプリを無料でユーザが利用でき、多くの人が保持しているため、スマートフォンタイプの利用が今後増大すると想定されている。ユーザは多くは通信量が定額制であるため通信費を無料感覚で送信できるため利用率は増大し、データ通信量が爆発的に多くなる。スマートフォンユーザが必ずしも車を運転するわけではないので、利益者負担の考え方も想定されるとすれば、この通信量を低く抑えることが重要となる。一方スマートフォンタイプは図1に示すように、車載ネットワークに接続するタイプと接続しないタイプがあるが、当初は接続しないものが普及すると考える。表1に整理するように、取得できる情報にかなりの差があるため、将来的にはクレイドル経由で車載ネットワークに安全に接続可能になることも考慮すべきと考え、これら双方の場合を想定してデータ削減方式を検討した。

## 3. 関連研究

### 3.1 汎用的圧縮

データ量の削減に関しては様々な観点から研究されているが、大きくは以下の2種類に分けられる。

- (1) 送信するデータそのものを圧縮する方式
 

送信するデータそのものを圧縮する場合は、汎用的な圧縮方式を使うケースが多い。例えば、ZIP圧縮等であり理論限界に近い圧縮性能を実現することができる[11]。この圧縮の手法は一般的に小さなファイルが大量にあるときのアーカイブとしては適切ではない。ZIPアーカイブフォーマットでは、個々のエントリに関する情報を持つメタデータは圧縮しない。これ

は、特に個々のエントリのサイズを小さくして、そのエントリ向けのメタデータのサイズを扱うようにアーカイブ可能な最大圧縮比率を設けて制限されているためである。

連長圧縮は連続したデータをそのデータ1つ分と連続した長さで表現することで圧縮している。しかし、この圧縮の欠点は連続していないデータの場合、符号化後のデータが元のデータよりも膨らんでしまうという点である。本論文ではこれらの圧縮をよりデータの特徴を考慮して圧縮することを提案している。

(2) データの中で推測可能なものは推測できる形で送信する方式

推測可能なものは推測できる形で送信する方式は、(1)よりもさらに送る情報そのものを削減することを目指しており、様々な研究が行われている。これらの利用には、路車間通信や車車間通信などをうまく利用することによって、データ量を削減する試みも多い。

### 3.2 車群形成を用いた路車間通信量削減方式

この車群形成を用いた通信量削減方式は自分の周辺の車両と車車間通信により車群を形成して、その中でまとめて路側に情報を送信するという方法を提案している [12]。

すべての車両が通信するわけではないため、通信データ量の削減につながるが、路車間、車車間通信を利用するため、道路の設備が必ずあり、また車車間通信のできる機器を搭載した車でないと群形成できないため、スマートフォンの普及によるデータ通信量の削減には現実的に適用は難しい [13]。

また多数の車が存在する場合は、すべての車が情報を送信しなくても渋滞情報などはある程度の車の動きだけを送信すれば把握できるとし、シミュレーションを行い、少ないデータで渋滞を予測し正確な情報を劣化させずにどこまでサイズダウンできるかその限界値をシミュレーションした研究の報告もある [14]。

しかし、これらの研究は渋滞情報という単独のサービスに対応する場合だけに有効であって、様々なサービスを想定した場合はあまり現実的ではなく、スマートフォンが勝手にデータを送信することにおいて対処するのは難しい。

### 3.3 ビーコンの双方向通信を利用した研究

ビーコンの双方向通信を利用した研究では、通過時に最低限のコアデータを送出するための圧縮方式が提案されている [15]。

位置情報と時刻情報を空間データと時間的データに分け、空間的データは等間隔で計測したデータであることを利用して、常に送る位置情報を元のいた位置からの角度情報のみをプローブデータで送れば良いと提案している。

また、等間隔で通過する時間的なデータは、差分情報で表現し、空間データと時間データを合わせた後、ハフマン符号化を行うことによって圧縮している。しかしながら、等間隔で配置する路側の設備が必須であり、そのまま適用することはできない。この研究の検討課題としてあげられているのは、高圧縮率・低歪誤差に向けたアルゴリズムの改善、活用目的の精査と複数の活用目的を想定した部分的な圧縮率変更に関する検討、プローブデータを用いた交通情報の試作と交通管理システムへの応用などが挙げられている。

このように、様々なプローブデータのデータ量削減を目的とした手法が提案されているが、スマートフォンで携帯電話網を利用したプローブデータのデータ量削減に関しては適用することができないものが多い。

一方、カーナビゲーション端末を前提に、テレマティクスサービスにおけるプローブデータの形式の標準を規定したISO22837[10]。を前提とした圧縮方式の提案もある [16]。

しかしながら、これはスマートフォンを前提としたものでなく、またテレマティクスのサービスごとにデータが代わることを前提にしており、今後普及すると思われるスマートフォンでのサービスにそのまま適用はできない。そこで本研究では、スマートフォン単独でデータ量を削減する方式に関して、ISO22837のフォーマットを前提として文献 [16] の方式をスマートフォン向けに改善することとした。

## 4. ISO22837 とは

ISO22837 はテレマティクスサービスにおいて、複数のプロバイダ、複数の車載機器でデータを共有するなどして情報の精度を上げることを目的にISOにて標準化している仕様であり、その例を表 2, 図 2 に示す。

しかしながら、プライバシーに関する情報や、個々の車両によって異なると想定される仕様に関しては省かれているため、実際にはこの仕様を元にした各社拡張した仕様でプローブデータを収集すると想定する。しかしながら、基

表 2 プローブデータ構成要素

名称	データの値	内容
周辺温度	2 桁符号付整数	周辺温度
ワイパ情報	1 桁整数	ワイパ動作, 動作速度
雨量	3 桁整数	1 時間あたりの雨量
明るさ	1 桁整数	明るさ 7 段階
車速	2 桁整数	秒速
他者, 障害物の有無	ブーリアン	道路前方車両, 障害物
他者, 障害物の距離	3 桁整数	10cm 単位
他者, 障害物の方向	2 桁符号付き整数	角度
ABS 作動状態	ブーリアン	道路の滑り易さ情報
横滑防止装置状態	ブーリアン	道路の滑り易さ情報

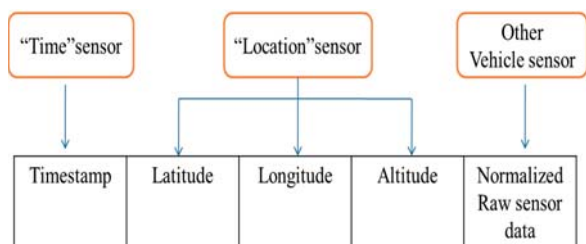


図 2 ISO22837 で定義されているコアデータのデータフォーマット

本的に必要なデータは含まれているため、この仕様を元にデータ量の削減を考えることとした。

## 5. 提案方式

本論文では、プローブデータの特性に応じて、以下の3つに情報を分類し、それぞれに応じた情報圧縮方式を採用することを提案する。

- (1) プローブデータ収集時間間隔ごとに変化しやすい情報。  
例えば、速度、位置情報、回転数、ブレーキング情報などがこれにあたる。ISO22837 のコアデータにあたる部分である。
- (2) プローブデータ収集時間間隔に比べ、変化が少ない情報。  
例えば、ワイパー動作情報、温度センサ情報、ガソリン残量メータ等がこれにあたる。ISO22837 のコアデータ以外の部分にあたる。
- (3) 基本的には決まったデータを示すだけで、異常な場合だけ情報が変わる情報。  
例えば、ABS の動作情報や、横滑り防止装置の動作情報、エアバッグの動作情報などがこれにあたる。これも ISO22837 のコアデータ以外の部分にあたる。

### 5.1 基本方式

これらそれぞれのデータの特性に応じたデータの圧縮を考える必要がある。そこで、通常は (1) のコアデータにあたる部分のみを送信する。(2) にあたる部分はデフォルト値あるいは以前の状態と変わった時のみ情報を示す ID とともに送信する。たとえば、ワイパーは動作していないことがデフォルト値であり、温度は 20 をデフォルト値にしておく。そうすることにより、最初の 1 回は多くの場合、全情報を ID とともに送信することとなるが、それ以外の時は送信しないことによりデータ量削減につながる。また、(3) のデータは基本的にその状態が発生した場合に (1)、(2) のデータとは非同期に通信すべきもので、差分な

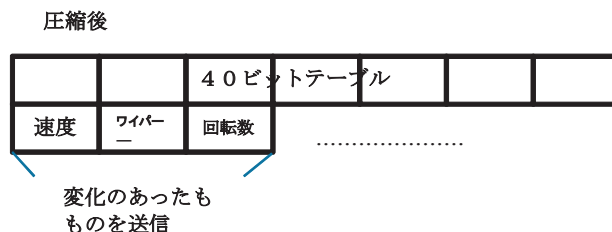


図 3 センシングデータにおける差分表現

どで表現するものではないとする。

図 3 示すように、ISO で定義されている項目が 40 個あるとすると、はじめの一回はすべての項目の初回設定データを送ることとなる。しかし、40 項目すべて毎秒変化するものではないため、初回設定データから変化があった項目のみのデータ差分を送ればよいと考えている。

### 5.2 データ表現

プローブデータ収集時間間隔ごとに変化しやすい情報はその前の状態との差分で表現する。例えば、位置情報の中でも経度の情報を考える。経度の情報は、テレマティクスサービスにとって必要とされる位置精度が、道路の車線を区別できる程度であるとする、数 10cm 程度ということが出来る。この場合、経度の差は赤道上を仮定し、地球の赤道上の周囲を 40000km とした場合において、経度の 1/256 秒あたりの距離が 12cm 程度であることから 1/256 秒の精度が必要である。すなわち、バイト単位で考えると 4 バイトは必要であることがわかる。ISO22837 では実数で扱い 8 バイトとしているが、本論文では表 3 に示すように 4 バイトとして扱う。

### 5.3 差分表現

表 4 で示すような差分で表現する場合、例えば時速 180km で走る車の最大移動量は、赤道上で考えると 1 秒間

表 3 コアデータにおけるデータフォーマット

	時刻	緯度	経度	車両情報
0 秒	4byte	4byte	4byte	4byte
1 秒	4byte	4byte	4byte	4byte
2 秒	4byte	4byte	4byte	4byte
3 秒	4byte	4byte	4byte	4byte

表 4 差分表現後データフォーマット

	時刻	緯度	経度	車両情報
0 秒	4byte	4byte	4byte	4byte
1 秒	1byte	1byte	1byte	1byte
2 秒	1byte	1byte	1byte	1byte
3 秒	1byte	1byte	1byte	1byte



で50m程度となり、経度での2秒程度が差分ということになる。これが1分であるならば経度での2分が差分ということになる。つまり、1分ごとにデータを取得するのであれば、2バイトの差分は必要である。1秒ごとの差分の場合は多くの場合において1バイトあれば十分ということができる。

しかし、これらの精度は緯度によって変わる。緯度に応じた精度情報をテレマティクスサービスを送受信する際にネゴシエーションすることにより、赤道上と同じ情報量でやりとりできると考える。精度は緯度経度に依存してくるため、プローブデータの収集間隔に対して変化することができる。ほとんどない情報である。

#### 5.4 差分データ整理

位置情報に関しては固定長のデータ幅1バイトあれば十分と述べているが[17]、実際には1バイトも必要のない情報もある。例えば、速度情報では渋滞時にはあまり速度変化がなく、3ビットから4ビット程度で差分を表現することができる。仮に1バイトの速度情報が必要な場合はかなりの速度を出さないと1バイトも必要がないので、このような条件時は車両の台数も少ないはずで、各車両からあげられるプローブデータのデータサイズが多少大きくても通信路に対する負荷が少なくと予想されるため、データサイズをあまり気にせずにアップロードすることができる。

渋滞している場合は、一定地帯の道路に車両が密集していることが想定され、なわちスマートフォンからプローブデータをアップロードする台数が多い場合には、圧縮せずにプローブデータを送信した場合には通信路に対する負荷が大きくなる。このような条件時に差分を用いた圧縮方式を適用することでデータサイズを最小限にすることが出来るのではないかと考える。

各項目1バイトのデータ幅で送る場合のデータフォーマットを図4に示す。初回0秒は差分表現することができないのでそのまま送信する。この場合は、初回データ(16byte) + 1秒(4byte) + .....etc のようなかたちで表現される。

差分の平均値から算出した適切なデータ幅で送る場合は、停車時などでは位置情報や速度に変化はなく、その場合は1ビットの継続情報を付加することで情報圧縮につながる。図4の場合は、位置情報4ビット+付加情報1ビット+速度4ビット+付加情報1ビット+車両情報(可変長)というようなレコードとなる。

図4の方式で送信する場合においても基本は初回データは差分ではないものとし、この場合は、初回データ(16byte) + 1秒(12bit+2bit+符号bit+車両情報)のような表現となる。即ち、1秒間分のデータはこの場合2~3バイト程度になる。

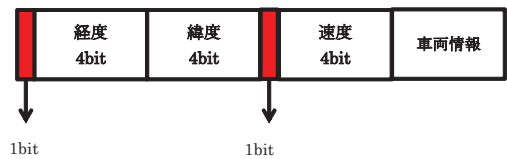


図4 継続情報を付加したプローブデータフォーマット

## 6. 評価

交通流シミュレータSUMO(Simulation of Urban Mobility)[18]を使ってシミュレートすることとした。車両を1台毎に動かすマイクロシミュレータの中でSUMOは実績があり、研究等で使用されているため今回はSUMOを使ってシミュレートをした。神奈川県厚木市の荻野新宿の交差点を再現して擬似的に車両を動かし、走行中に得られる情報を収集することとした。本実験の目的は差分で情報を表現する際に、交通の流れが良い時、渋滞しているときにおいて位置情報や速度などの走行時に得られるプローブデータのデータサイズに変化があることを確認し、圧縮せずに情報を送信した場合と差分を用いて圧縮した場合を比較し、データサイズを固定長にした場合と差分を表現できる最小値に設定した場合との比較を行い本論文の有用性を評価した。

### 6.1 前提条件

データの取得間隔は一定の時間間隔で取得するものとする。プローブデータは情報のセンシングと集めた情報の送信との2段階に分けることができる。今回はISO22837で定義されているコアデータにあたる部分の圧縮を行うこととする。また、ISO22837で定義されているように、データの内容によってデータ長は異なり、また項目によっても可変長になる。そこで、実際にシミュレーションを行って差分データのデータ長の適切な値を結果から示すこととする。

速度の差分情報を表現するためには平均3ビット程度あれば表現できることとする。また、急加速、急減速などの場合も想定しても8ビットあれば十分表現できるとする。

位置情報については秒までを取得することとし、緯度で示すならば36.3361は36度33分61秒のようになる。経度においても同様である。位置情報における差分の平均値は約0.008973であった。位置情報の差分情報を表現するには2ビットから3ビットあれば表現することが分かった。

### 6.2 実験方法

5.4で述べたように渋滞時における場合のプローブデータと渋滞していない場合のプローブデータを収集して本研

究の圧縮方式を適用した場合に効果を示すことができるのかを評価する。

収集した情報を差分を求めるプログラムを利用して1分間分のプローブデータをどの程度圧縮できるのかを検証する。なお、今回は位置情報と速度のデータを圧縮することとし、本論文の圧縮方式を適用した結果を示す。

### 6.3 実験結果

1バイトのデータ幅で圧縮した場合は1分間分のデータ量が非圧縮時よりも約7割程度のデータ圧縮をすることができた。4ビットのデータ幅で圧縮した場合は1分間分のデータ量が非圧縮時よりも約8割程度のデータ圧縮をすることができた。また、非渋滞時と渋滞時におけるプローブデータサイズは今回のシミュレートでは改良提案方式による圧縮結果と変わらなかった。

### 6.4 考察と課題

初めの1分は初回データが含まれているため、情報量が多いものの、その後においては一定量の割合で情報量の削減が出来ている。固定長で圧縮した場合と改良提案方式による圧縮の場合を比較すると、今回のシミュレートでは改良提案方式のアルゴリズムを適用して圧縮したところ各項目1バイトを超えるデータはなかったため、データの特性に合わせたデータ長で圧縮することができた。

今回のシミュレートでは通常の走行状態であり、高速道路などでシミュレートをした場合などのデータは取っていない。おそらく、高速道路などでプローブデータを収集したところでルートは限られており、交通情報としての有用性についてもあまり必要ないものと考えている。

また速度や位置情報のデータ幅も大きくなると想定されるので本提案方式は一般道を走行している車両に対して有効的であると考えている。特に非圧縮時に比べて8割近く圧縮されているので車両台数が多くなったとき、すなわちプローブデータの送信件数が多い時に効果が最も発揮されるのではないかと考える。

また課題として同じような条件で走行している車両が複数台存在している場合には、車車間通信などを利用した場合には送信台数が減るので通信路に対する負荷が少なくなるのではないかと推測する。しかし、スマートフォン間で車車間通信を行うのは難しく、専用車載機を通してのやり取りになると考えられるのでコスト問題や、専用車載機の搭載率に関係してくるので、万人が利用するスマートフォンを生かしたプローブデータの通信には不向きであることが分かる。

コアデータ以外にあたるセンシングデータと呼ばれるものがISO22837で定義されている。これらにはワイパーの動作情報やABSの動作情報、気温などの情報がある。これらのセンサ情報は今回の実験では検証はしなかったが今後

これらについても圧縮することを考えている。現状でもセンサ情報は車両1台に対して多量の情報があり、将来的には今以上のセンサ情報が車両に対して加わることが想定される。そうした場合にセンシングデータの量が今以上に大きなものになることが予想され、現状のデータフォーマットでは対処できなくなる可能性も考えられる。

## 7. おわりに

本論文ではシミュレーションから取得したデータに対して提案方式を適用し、データ圧縮を行った結果を評価した。その結果、非圧縮の時と比較して1バイト固定長で圧縮した場合は約70%のデータ量削減を行うことができた。差分の平均値から算出した適切なデータ幅4ビットの場合は約80%のデータ量削減を行うことができた。これらは車両の走行条件によって変化があり、今回の実験では複数のパターンをシミュレートすることは行っていないので今後複数のパターンのシミュレートを試みる必要がある。また、実際の車両からスマートフォンのナビゲーションシステムを利用して、プローブデータの収集を行い本提案方式が実際に有用であるかどうか検証することも必要である。

### 参考文献

- [1] G-Book: <http://g-book.com>
- [2] 日産カーウイングス: <http://drive.nissan-carwings.com/WEB/index.htm>
- [3] インターナビ: <http://www.honda.co.jp/internavi/>
- [4] M. Maekawa, T. Fujita, A. Satou, and S. Kimura, "Usage of M2M Service Platform in ITS," NEC Technical Journal, Vol.6. No.4, pp.43-47
- [5] (財)道路情報通信システムセンター: <http://www.vics.or.jp/index1.html>
- [6] スマートループ: <https://www.smartloop.jp/smartloop/index.html>
- [7] OnStar: <http://www.onstar.com>
- [8] Mbrace: <http://www.mbusa.com>
- [9] 佐藤雅明, 和泉順子, 松井加奈恵, 上田憲道, 上原啓介, 村井純: スマートフォンを活用したプローブ情報システムの構築, ソフトウェア学会第12回インターネットテクノロジーワークショップ(2011)
- [10] ISO 22837, "Vehicle probe data for wide area communications," International Standard,(2009)
- [11] Debra A. Lelewer, Daniel S. Hirschberg: Data Compression, ACM Computing Surveys, Vol.19, issue 3, pp.261-296,1987
- [12] 成田干城, 朝倉啓充, 屋代智之, 重野寛, 岡田謙一: 車群形成を用いた路車間通信量の削減方法, 情報処理学会研究報告, 2004-ITS-17,2004-5-28(2004)
- [13] T. Hung, H. Ikeda, K. Kuribayashi, and Nikolaos Voigtatzis, "Reducing the Network Load in CREPEnvironment," Journal of Information Processing, Vol.19, pp.12-24(2011)
- [14] 田島隆行, 若松公威, 佐藤龍哉ほか: インターネット ITSにおけるプローブデータ通信量の削減, 電子情報通信学会技術研究報告, ITS 102(695),pp61-67,(2003)
- [15] 足立晋哉, 新倉聡, 田島昭幸: プローブデータの圧縮方式の研究: プローブデータのロッシー圧縮アルゴリズム, 電子情報通信学会技術研究報告, ITS 104(762),13-18,2005-03-22

(2005)

- [16] 清原良三, 伊藤一彦, 齋藤正史, 小塚宏: テレマティクスサービス向け情報圧縮方式, 情報処理学会研究報告, Vol.2011-MBL-60 No.16, pp.1-8(2011)
- [17] 中瀬裕多, 日江井太郎, 清原良三, 齋藤正史, 神戸英利: 車載スマートフォンにおけるプローブデータ圧縮方式, 情報処理学会研究報告 Vol.2012-ITS-50 No.10
- [18] Simulation of Urban Mobility:  
<http://sumo.sourceforge.net/>