

車載スマートフォンにおけるプローブデータの圧縮方式

柿澤浩仁^{†1} 大植達也^{†1} 加藤 翼^{†1} 清原 良三^{†1}

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、その際のパケット量の削減方式を提案した。

Data Compression of Probe-Data for Smartphones As On-Vehicle Information Devices

HIROHITO KAKIZAWA^{†1} TATSUYA OUE^{†1} TSUBASA KATO^{†1}
RYOZO KIYOHARA^{†1}

With the increased availability of free telematics smartphone applications, it is predicted that many more consumers will use them. These telematics services require that servers and consumer devices, such as smartphones and car navigation terminals, transmit large amounts of small data by uplink. Finding methods to decrease the data size that is transmitted is one of the most significant issues in this field because of the cost of transmission for consumers and service providers. In this paper, we propose a new data compression method for application with telematics technology, which deletes redundant data and applies an appropriate compression method for a given situation. We evaluated the proposed method and report positive results.

1. はじめに

携帯端末や車載機器を利用して図1に示すように自動車などをインターネットに接続し、個々の車両をセンサと利用して種々のデータをアップロードすることで、サーバ側は大量のデータを受信し、分析した結果の渋滞などの情報を逆に自動車に送るようなサービスをテレマティクスサービスという。

自動車分野において、快適性や安全性に関する情報を提供するための技術としてITS(高度道路交通システム)が挙げられる。テレマティクスサービスは携帯電話網を利用することと、自動車そのものをセンサに利用するという特徴を持つITSの概念の一部である。

快適なドライブを目指すサービスとして最も使われる機能の一つに渋滞情報表示がある。交通情報を地図上に表示するために、道路交通情報システム(VICS)[1]から発信される交通情報を運転手に地図に重畳表示すること知らせ、運転者に渋滞が起きていない経路の選択を行わせ、円滑な

走行を支援するものが多い。

しかし、VICSには路側にインフラ整備が必要で、すべての道路で利用できるわけではないため、すべての渋滞情報がわかるわけではない。これに比べ車両をセンサに利用す

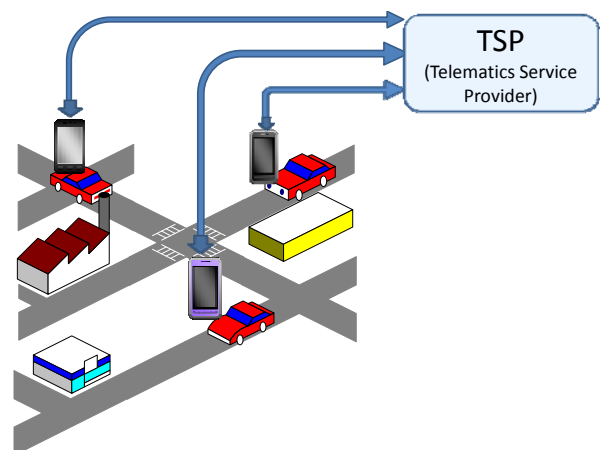


図1 テレマティクスサービス

^{†1} 神奈川工科大学
Kanagawa Institute of Technology

る方式では自動車を通る道すべてが対象となるため、より役立つ渋滞情報などが提供できると期待できる。

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[2]や日産社のカーウィングス[3]やホンダ社のインターナビ[4] 他などがある[5][6][7]。どのサービスも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。このモデルでは携帯電話網を利用した通信が必要なためこの形態のテレマティクスサービスでは多くの場合、通信費の費用負担が発生することもあり、あまり普及はそれほど進んでいなかった。

一方、最近では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している。しかし、スマートフォンの画面は運転をしながら見るには小さく、操作もしにくいという欠点があった。しかし、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というメリットがある。

そこで、最近では図2に示すようなスマートフォンの画面のみ大きく表示するとともに、音楽を車載のスピーカーから聞くことができる“Display Audio”という製品が登場してきている。

こういった機器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予測できる[8]。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



図2 ディスプレイオーディオの例
(CEATEC Panasonic ブースにて)

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。とくに、地図データや交通情報はダウンロードであり、帯域も十分に確保されているケースが多いと考えるが、携帯電話をセンサとしたデータは、小さなデータではあるが大量に帯域がそれほど十分でないアップリンクを通してアップロードされるためデータの削減は重要であると考ええる。

また、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可能性もある。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。

そこで本論文ではデータの特性を整理した上で、データ量削減する方式に関して提案し、シミュレーションによって評価、有用性を示す。

2. プローブ収集タイプ

2.1 プローブデータ収集モデル

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 カーディーラーやユーザー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対応のソフトウェアをインストールし実行するスマートフォンタイプ

これらの機器を以下に整理する

(1) 組み込み型機器タイプ

例えば Controller Area Network(CAN)のような車載ネットワークに接続し、車両に搭載された Electronic Control Unit (ECU)の状態の情報や、車載ネットワーク上を流れる情報を収集し、自動車制御、GPS 衛星、カスタマ・サービスセンタと通信を行ってドライバにテレマティクス機能を提供する Telematics Control Unit(TCU)を経由して TSP に送信される。通信費はユーザ負担の場合と、カーメーカーや TSP 負担の場合があるが、カーメーカーや TSP 負担の場合は、制約があることが多い。自身の携帯電話を経由する場合は、その携帯電話を利用する場合とは別に定額を支払うことが多い。これらの車載ネットワークから情報を収集することにより、滑り止め防止装置の作動状況から路面の状況を推測するなど様々なサービスが考えられる。

(2) 後付け通信型カーナビタイプ

多くの後付け通信型カーナビタイプの場合は車載ネットワークに接続せずに車両の情報を送るタイプである。

車載ネットワークに接続しないため、車両の情報が取得できず、車両に搭載したアンテナを利用できないことも多い。すなわち送信するデータ量は少ないと考える。通信費用は、組み込み型機器と同じである。また、車載ネットワークと接続する場合もある。この場合は組み込み型機器タイプとまったく同じである。

(3) スマートフォンタイプ

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。

この中でもスマートフォンタイプは、MirrorLink[10]やMiracast[11]といったプロトコルを用い、"Display Audio"とスマートフォンと接続することで従来のカーナビゲーションシステムとなんら変わらないナビゲーションサービスを受けることができる。それだけでなくスマートフォンに専用アプリをインストールすることでtwitterのタイムラインやFaceBookの確認を行ったり、保存されている音楽ファイルを再生することも可能である。また、Display Audioは車載機器あらかじめ接続されれば、従来の出荷前の組み込み型と同等の機能の実現も期待できる。

即ち、スマートフォンモデルが主になっても組み込み型の機種と同様の情報がアップリンクを経由してサーバにアップロードされる場合を想定しておく必要がある。

プローブデータ特性 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が、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。

プローブデータはその特性に応じて、以下の3種類に分類できる。

- ① プローブデータ収集間隔時間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。
- 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。
- 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。

ほとんどのデータは、はじめの一回を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、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。

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と、数10cm程度とすることができる。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。そこで、本論文では4バイトとして扱う。

2.2 極小データのオーバーヘッド

プローブデータは最少構成であればたかだか32バイトのデータが一定時間分あるだけであり、携帯電話網のパケットサイズ、またデータの付加されるオーバーヘッドなどの関係でデータ量削減で効果があるかどうか微妙である。

以下、一定時間間隔でセンシングされるデータで構成される情報をレコードと呼ぶ。レコードは例えば時刻、位置情報、速度といった情報からなる。携帯電話のネットワークを利用して伝送されるデータをプローブデータとよび、プローブデータは複数のレコードで構成される。ここで、Pをプローブデータのサイズ(バイト)とし、r(t)を時刻tにおけるレコードのサイズ(バイト)とする。また、Tをレコード数とすると、以下の式(1)が成立する。

$$P = \sum_{t=0}^T r(t) \quad \dots \quad (1)$$

例えば、プローブデータ収集時間ごとに変化しやすいデータをこのフォーマットであてはめ、5分間のデータを収集した場合で、時間間隔を1秒、プローブデータを5分ごとに送信するとした場合、5分=300秒、即ちプローブデータレコード300で構成される。

また、1秒間に収集されるデータは速度・緯度・経度とし、各4バイトの計12バイトとする。

しかし、初回データは車体データや認証データを含むため多めに枠をとり32バイトとする。

つまり299秒(収集時間)×12バイト(データ量)+32バイト(初期データ)となる。

よって、5分間に送られるデータの数は

$$P = 3620$$

となる。

ここで、第3世代携帯電話以降で一般的に使われるTCP/IPを利用した通信であることを前提に考える。送信するデータは欠損すべきでなく、信頼性が必要であるとともに、リアルタイム性も必要であるが、リアルタイム性に関しては分のオーダー程度であるため、TCP/IPが適切であると考える。

ここで TCP ヘッダー (20 バイト), IP ヘッダー (20 バイト), MAC フレーム (14 バイト + FCS 4 バイト) を加えると

$$P = 3620 + 58 = 3678$$

このデータをパケット (/128 バイト) として分解していくと

$$\frac{3678}{128} = 28.7 \dots$$

28.7 パケット = 29 パケットとなる.

3678 バイト (29 パケット) を仮に 3584 バイトまで圧縮 (約 4% 圧縮) することができれば 5 分間におけるデータ量を 1 パケット減らすことができる. 本論文ではこの 1 パケットでも圧縮できることを目的に進めていく.

3. 関連研究

データの量の削減には大きく分けて以下の 2 つの方式がある.

- (1) 送信するデータを圧縮し, 送信先で復元する方式
- (2) 送信するデータ量を間引き, 送信先で, 予測しながら復元する方式

現状のテレマティクスサービスでは, プローブデータをアップロードする車両が少ないため, 後者の方式は必要ないが, 現状のプローブデータ量でもある程度の精度でのサービスが実現できていることを考えると, 一定量の情報を超えた場合に間引く方式が提案されている[12].

前者の場合は, 連続して出現する頻度に応じ, 頻度の高い物を短いデータ列に置き換えることで圧縮を行うものであり[13], 連続していないデータの場合圧縮後のデータ量が元のデータより膨らんでしまうという点がある. データ圧縮に関しては限度があり, プローブデータのような大量の小さなデータを圧縮するには不向きである.

また, 従来の方式として差分表現を用いた情報圧縮がある[14]. 収集されるデータを 3 つに分類し, それぞれの特徴に応じた情報圧縮を行うものである. ただしこれは固定長のものであり, データの内容によっては無駄が生じてしまう場合がある.

本論文ではこれらの圧縮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.

4. 提案方式

4.1 従来の方式

特性ごとに 3 つに分類されたデータそれぞれに応じた情報圧縮方式である.

- ① プローブデータ収集間隔時間ごとに変化しやすい情報.
- 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.

表 1 差分表現後の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

報.

- 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.

①に関しては前回の収集時との差分表現された速度・位置情報などを送信する.

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°C 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, 差分などで表現するものではないとする.

4.1.1 差分表現

表 1 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えることができる.

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ほとんどない情報である.

4.1.2 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[14], 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いと予想されるため、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。

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考案した。

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。

初回データは以下のような形で表現できる。

(16 バイト) + 1 秒 (4 バイト) + ... etc

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ことを考えた。その場合は、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。

このフォーマットは 1 分間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、4 ビットのデータ幅で圧縮した場合は 1 分間のデータ量が非圧縮時よりも約 8 割程度圧縮することができることがわかっている [14]

4.2 従来方式の改良案

今回はさらにデータの長さ情報フィールドを含まない可変長のフィールドを有する新たなデータフォーマットを提案する。

図 4 はこのデータフォーマットを表す図である。情報それぞれは 4~8 ビットで表され、最上位ビット (MSB) は 0 で開始される。図 4 の最初の MSB の 0 は緯度フィールドの開始を表す。緯度は最上位ビット 0 と緯度情報 3 ビットの計 4 ビット (MSB+3 ビット) で表される。情報が 4 ビット以上となる場合連続フィールドを表す 1 が MSB に入ることとなる。MSB が 0 の場合そのフィールドは次のフィールドを表し、図 4 では経度情報になる。

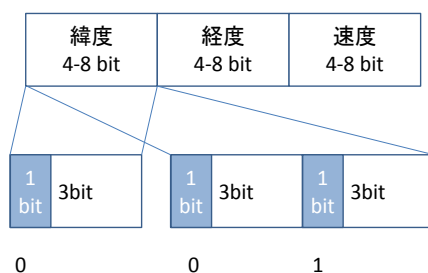


図 4 可変長のデータフォーマット

提案方式はスマートフォンを持っている車の密度にもとづいている。以下のように定義する。

$n = 1$ エリア内における車両の総数

$d = 1$ エリア内における車両の密度

$PaS(i)$ = 各車両のプローブデータのサイズ

このような場合プローブデータの総量 $PdTotalSize$ を (2) のように示せる

$$PdTotalSize = \sum_i^n PaS(i) \quad (2)$$

車両密度についての特徴を以下の 2 つ上げる

- (1) 1 エリア内における車両密度が高い場合
 d が大きい場合そこには多くの車両がある。つまり n が非常におおきくなる。それは道路は混雑状況であり、エリア内の車両の移動する距離は小さい。したがってアップロードされるデータ量は多く $PdTotalSize$ を小さくする必要がある。
- (2) 1 エリア内における車両密度が低い場合
 d が小さい場合、エリア内の車両は少なく n も非常に小さい。つまり道路は混んでおらず 1 エリア内での車両の移動距離が大きい。この場合はアップロードされるデータ自体が少ないので多少データ量が大きくとも問題がないため $PdTotalSize$ を考慮する必要はない。

これらの方式はあくまで混雑時の通信トラフィックの増大を防ぐための提案であり、通常走行時、道が空いている場合は考慮していない。

5.2 評価

p = 平均圧縮率

パケットサイズ = 128 バイト

とした場合、 p の値を下記の数式 (39) を用いて表すことができる。

$$\frac{P_{total} + 58}{128} - \frac{p * P_{total} + 58}{128} > 1 \quad (3)$$

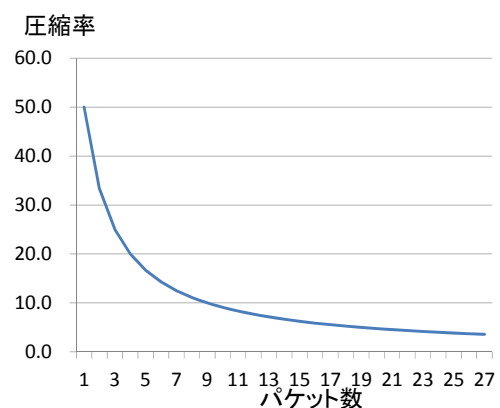


図 5 パケット数に応じた有効な圧縮率

$$P_{total} - p * P_{total} > 128 \quad (4)$$

式(5)は圧縮が 129 バイト以上のデータサイズを減らすべきであることを示す。最低限有効である圧縮率とパケット数との関係を図 5 に示す。圧縮率はこの図に示す線よりも大きいものであれば提案方式は有用であることが示せる。

(1) エリア内における車両密度が高い場合

プローブデータの種類が多い場合 PdTotalSize の値は非常に大きくなる。多くの場合ほとんどのデータは前回の検出時と変更が少ないと考える。非圧縮時のデータ量が多いため、圧縮率は非常に高い。プローブデータの種類を限定した場合 PdTotalSize は非常に小さくなる。たとえばレコードサイズを 16 バイトとし、プローブデータレコード 300 で構成（1 秒間隔で収集、5 分ごとに送信）する場合 PdTotalSize は 4800 バイトである。明らかに 128 バイト以上（1 パケット以上）の削減ができています。

(2) エリアにおける車両密度が低い場合

この場合、収集されたデータの多くが前回の検出時より変更が多いと想定される。したがって、提案方式では圧縮率を 1 以上かそれを超える恐れがある。しかしエリア内の車両数が少ないということはアップロードされるデータ量自体も少ないためデータサイズを考慮する必要はないものと判断する。

よって提案方式の有用性は混雑時に十分あるものだと示すことができる。

6. 今後の課題

これよりは、実際に走行している車両にスマートフォンを搭載し実測値を収集し、再度提案方式の有用性を検討する。また、スマートフォンで収集できるデータだけでなく将来ディスプレイオーディオ側で拾得し携帯端末から送信されるであろうデータの収集も行い提案方式で送信する場合の圧縮率の算出が必要である。

実測値を用いた具体的な数字で今回行っていなかった Zip 圧縮との圧縮率の差の比較が可能となるので検証したい。

また、データ圧縮以外のトラフィック増大を防止する方法の検証として送信回数の制限についても考慮したい。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 25330119 の助成を受けたものです

参考文献

- 1) (財)道路情報通信システムセンター：
<http://www.vics.or.jp/index1.html>
- 2) G-Book: <http://g-book.com>
- 3) 日産カーウイングス：
<http://drive.nissan-carwings.com/WEB/index.htm>
- 4) インターナビ: <http://www.honda.co.jp/internavi/>

5) スマートループ :

<https://www.smartloop.jp/smartloop/index.html>

6) OnStar: <http://www.onstar.com>

7) Mbrace: <http://www.mbusa.com>

8) 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

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) CARCONNECTIVITY: <http://www.mirrorlink.com/>

11) Wi-Fi CERTIFIED Miracast:
<http://www.wi-fi.org/wi-fi-certified-miracast%E2%84%A2>

12) Kiyohara R., Kakizawa H., Kitagami S., Terashima Y., Saito M., Reducing Probe Data in Telematics Services Using Space and Time Models, International Workshop on Informatics (IWIN), Session 1, No. 2, 2013

13) Debra A. Lelewer, Daniel S. Hirschberg: Data Compression, ACM Computing Surveys, Vol. 19, issue 3, pp. 261-296, 1987

14) Nakase Y., Hiei T., Saito M., Kambe H., Kiyohara R.: Reduction of the Amount of Probe -Data in Telematics Services, IEEE International Conference on Consumer Electronics, 4. 6-3, 2013