

安全運転支援のためのオープンデータ収集に向けて

井村 龍哉[†] 森本 哲郎[†] 白浜 勝太[†] 秋山 豊和^{††} 西田 純二^{†††}
上善 恒雄[†]

[†] 大阪電気通信大学大学院総合情報学研究科 〒575-0063 大阪府四條畷市清滝 1130-70

^{††} 京都産業大学コンピュータ理工学部 〒603-8555 京都府京都市北区上賀茂本山

^{†††} 社会システム総合研究所 〒550-0002 大阪府大阪市西区江戸堀 1-22-4

E-mail: †{mw15a001,dt15a001,mw14a002,jozen}@oecu.jp, ††akiyama@cc.kyoto-su.ac.jp, †††nishida@jriss.jp

あらまし 高齢化が進む社会で安全な自動車運転に関わる要因を探るために、まずは公共交通であるバスを対象に、バス車両の走行状態と運転者の脈波などのデータを取得・蓄積し、その分析を通して危険を予測する仕組みづくりを進めている。本論文はこれらのデータを収集するための仕組みと、それらをオープンデータとして公開し相互利用を促進する基盤となるネットワークの計画について報告する。

キーワード オーバーレイネットワーク, センサネットワーク, オープンデータ

1. はじめに

1.1 背景

高齢化社会の進展をひとつの背景として、運転者の身体的・精神的な問題に起因する交通事故が増加しつつある。車両の不調を原因とする事故だけではなく、運転者の身体的・精神的なトラブルや身体能力に起因する事故は後を絶たない。我が国が急速に高齢化社会に突入していく中で、安全で安心な交通サービスの実現のために、車両と運転者の特性、走行する道路インフラの特性を多面的に解析し、安全・安心な運転を支援するためのサービスの開発は社会的に大きなテーマとなっている。警察庁の統計によれば、過去10年間に高齢者の運転免許保有者数の増加を背景に、高齢運転者の交通事故が増加しており、交通死亡事故では65歳以上が7割を超えていると報告されている。

一方でウェアラブルセンサ等のセンサ技術は急速な進歩を遂げ、運転中の運転者の身体的・精神的な状態をリアルタイムに把握することが可能となった。加えて、車両の状態を示す多くのデータがOn-Board Diagnostics (OBD) 端末から容易に取り出すことが可能となり、車両の運動状態の記録もスマートフォン等に実装されるGPSや各種センサにより容易に連続観測することが可能となっている。

さらに車両の前後等周辺映像や音の記録のために小型のドライブレコーダを搭載する車両も急増している。

このように車両に搭載されるセンサの高性能化・小型化による普及に比較し、これら多種多様なセンサから得られる情報を収集して解析し、またリアルタイムに事故防止につなげるためのシステムについては、大量かつ高速・短時間処理が可能な通信サービスの提供が行われていないことがハードルとなっており、いまだ実用化には至っていない状況にある。

1.2 目的

本研究開発ではこのような背景のもとで、

(1) 走行中車両からのセンサデータの取得と応答処理高速化のための階層化クラウド技術を応用した新たな通信システム

(2) 車両の中でのウェアラブルセンサ・車両センサ・車両運動センサ等の多種多様なセンサデータの収集のための車両内通信システムの研究開発を行う。さらに、これら通信システムの研究開発だけではなく、実用性の高い安全運転の支援を行うための研究開発として、

(3) 運転への影響の少ない非侵襲ウェアラブルセンサ技術の開発

(4) 安全運転支援システムの構築とその実証実験の4つの分野における研究開発を行うことを目的とする。

この目的に従って、運転者の状態を計測するセンサや車両センサを小型コンピュータと車両内でセンサネットワークを形成することで、運転状況を運転者と車両の総合的な観点で記録・解析する技術と、この車両内センサネットワークがセンターサーバと高速かつ効率的な通信を行うための階層化クラウド技術に関する研究開発を行う。また、運転者の状態を計測するために実用性の高い運転者用のウェアラブルセンサを開発し、OBDII車両データ、GPSプローブデータと共に、走行中の多種多様なセンサデータを解析するための解析システムの開発を行い、これらを援用して危険を察知した際に高速で車両車載機に通報して対策を要求する車載安全運転支援システムへ発展させることを目標としている。

2. 階層化クラウド型通信システム

クラウドシステムのストレージと計算系を階層化することで、システムの総合的なスループットを向上し、安全な交通システムをサポートするための通信基盤技術をオーバーレイネットワークならびにセンサネットワークを活用して開発する。

2.1 大規模運転事例データベースの階層化

本研究では、階層化されたストレージと大規模解析のための

計算系を用いる。多くの公共交通事業者や一般の道路利用者から生み出される交通情報と、運転者の生体情報は、そのデータ量とプライバシーや事業者機密情報などの観点から、分散処理が必然となる。扱うデータの性質から、この階層的データを以下のデータベースの段階として想定する。

- 生体及び車両を計測するセンサデバイス内の階層
- 個別車両のデータを統合する車両内ローカル階層
- 交通社局や路線、走行中道路などの車両グループ階層
- 交通システム管理者・道路管理者階層
- これらのデータをオープンデータとして総合的に応用する階層

目的や視点に応じて様々な階層・粒度での解析があり、それぞれにデータベースとデータ型、解析手法、通信パケット構成などの設計が必要になる。

図1に示すように、大規模運転事例データベースは、バス会社、タクシー会社、物流会社等の営業活動を行っている事業所、一般家庭等の自家用車両の運転者等から得られる運転事例と、交通情報、道路施設情報等のデータで構成される。個々の運転事例は、実際には多種多様なセンサノード群から得られる大量のセンサデータからなる。走行時はモバイル通信環境を用いることになるため、センサデータは車両内計算資源に蓄積し、バス営業所やタクシー車庫、物流拠点など、車両基地に帰還した際に同期するのが望ましい。

ここで、異なる事例から共通事例を抽出する際には、個々の事例におけるプライバシーに考慮して匿名化処理を行う必要があると考えられる。さらに、外部から提供される交通情報、道路情報の統合、適切なデータベースの階層化方式について検討する。また、階層化した大規模運転事例データベースへのアクセスは、次節で述べるオーバーレイネットワークによる階層化解析基盤によって実現する。

2.2 オーバーレイネットワークによるセンサデータ解析の階層化

2.1で定義されるデータベース群を用いて、様々な解析を高速に行うために、効率的なネットワーク通信と、解析を行う計算機資源の配分が必要になる。この仕組みをセンサネットワーク上に形成するオーバーレイネットワークとして、アプリケーションレベルでの資源検索・発見とルーティングを行えるように構築する。

- 車両から解析サーバへセンサデータを効率的に収集する。
- 解析サーバからの解析結果を高速にフィードバックする。
- 様々な解析手法を適切な場所で適用する。
- 生体センサの階層で脈波のカオス解析を行い、疲労度の指数とする。
- OBD から得られるデータから故障可能性の指数を得るなど。

本研究開発では、P2P 構造化オーバーレイネットワークとエージェント機構を組み込んだフレームワーク PIAX [2] を用いて階層化クラウドの研究開発を行う。計算資源はオーバーレ

イネットワーク上のピアとして、また、センサデータ解析プロセスはオーバーレイネットワーク上でのエージェントとして管理されることを想定する。車両内計算資源ならびにクラウドコンピューティング環境の解析サーバ上には PIAX のピアが稼働し、必要に応じてエージェントはピア間を移動して処理を行う。車両内計算資源上ではセンサデータをローカルストレージに保存すると同時に、解析サーバにデータを送信する。

このとき、例えばセンサデータをそのまま解析サーバに送信するのではなく、サンプリングすることで送信データ量が削減できる。

送信されたデータを用いて過去のセンサデータ履歴から現在の状況について危険度判定が行える。サンプリングレートを低下させることによりデータ送信量は削減できるが、現状を正確に把握することができない。また、車両内計算資源と解析サーバの通信は遅延が大きいと、判定結果のフィードバック時に遅延が生じる。そこで、解析サーバ上で現状の分析に必要な最低限の履歴を抽出し、解析用エージェントと共に車両内計算資源に移動することで、低遅延で分析結果を運転手にフィードバックできる。

一方で、PIAX の Agent API では、オーバーレイネットワークの維持において論理リンクごとに Keep Alive が必要な点、セキュリティ面で多くのポートアクセス許可が必要な点、認証、暗号化対応が別途必要な点など、低速、低品質ネットワークでの利用における課題も抱えている。PIAX が MQTT に対応することなどを考慮し、本研究では MQTT などの軽量なプロトコルでの伝送方式も含めて検証を進める予定である。

センサデータから運転手、車両、道路状態等を分析する方法は、文献 [1] などで提案されている。文献 [1] で提案されている手法では脈波のカオス解析を行い疲労度の指数としている。このとき、疲労度の指数は過去の履歴とは独立に判定できるため、上述の履歴を参照する分析とは異なり、車両内計算資源のみで分析が可能である。このように処理内容に応じて車両内計算資源とクラウド上の計算資源を適切に使分けられることになる。

本研究開発では高精度で低遅延なフィードバックを実現するエージェント機構の実現を目指す。

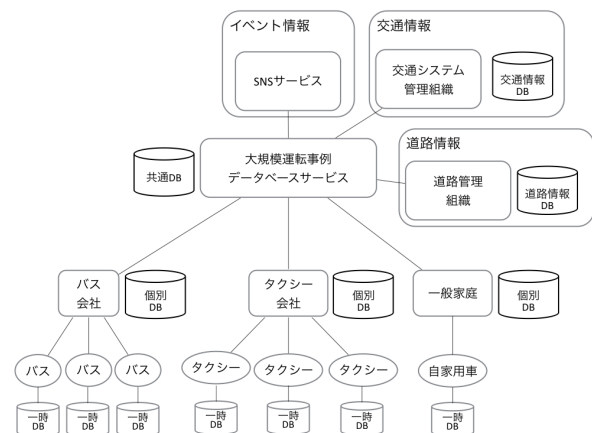


図1 階層化クラウド

3. 車両内センサノード通信システム

以下に例示するセンサノード群から車両内階層での効率的なセンサデータ収集と、基礎的解析を行うことにより上位階層でのアグリゲーションを効率化するための方式をセンサネットワークのネットワーク基盤を活用して開発と試作を行う。

- 活動センサ
- 脈波センサ
- 3D 深度センサ
- 眼電位センサ
- 車両センサ

使用したセンサデバイスの詳細は表2の通りである。これらのセンサデバイスは、Bluetooth Low Energy, Wi-Fi, Wi-SUNの通信モジュールを活用することで車内ワイヤレスネットワークを構成する。車両内センサノード通信システムは、デバイスの対応 OS, 通信方式, SDK の対応する OS を考慮すると図2になる。

走行中はモバイルワイヤレスサービスによりクラウドと接続し、車庫停車時にはバス内データベースから事業所内データベースへ同期する。

3.1 活動センサ

活動センサでは、加速度、ジャイロ、地磁気の各3軸成分と気圧の10項目を取得するが、これらのデータから、運転手の大まかな運転操作を含む動作に加えて車両の大まかな動きを得る。これにより運転手の運転操作に関するクセを日常的に取得しておき、運転はもちろん乗客対応や連続勤務などによる疲労などによる変化を観測し、危険につながる要因を探り出そうとしている。

3.2 脈波センサ

脈波センサでは運転手の体調を予測するため、脈拍とその揺らぎ、加えて脈の波形から加速度脈波やカオス解析でその手がかりを得る。既往研究により自律神経の活性度や緊張度、体組織の健康度を把握するにあたって脈波解析の有効性が観測されている。脈拍の周期はわずか数 Hz ではあるが、脈波波形1周期の細かい変動をどこまで捉えなければならないかは未知数の部分も多い。今回は脈拍変動、脈波のリアプノフ指数、加速度脈波を解析対象とし、脈波センサーとして反射光電式の200Hzのサンプリング性能を持っているものを採用した。

3.3 3D 深度センサ

RealSense F200 は、顔 78 点の特徴点のトラッキング、手 22 点のジョイントのトラッキングが可能である。Windows 8.1 64bit 以上の PC, USB 3.0, 第 4 世代以降の Intel CPU で動作する。Intel RealSense SDK を用いて、3D スキャン、顔検出、顔認識、特徴点、表情、心拍数、顔の向き、視線追跡が可能である。また、内臓マイクによる音声認識が可能で英語、日本語以外にも主要な言語をサポートしている。3D 深度センサでは、トラッキングポイントの座標と特徴量、RGB 画像、Depth 画像を蓄積する。このデバイスの利用は運転者の疲労や表情など、運転中の運転者の状態を記録するためには直接的な手段になり得ると期待している。

3.4 眼電位センサ

安全なバス運行のために運転者の疲労をリアルタイムで検知する手段として、ここまで様々なセンサの利用を考えてきたが、最近ウェアラブルデバイスとして効率的なトレーニングなどを目的とした様々な新しいセンシングデバイスが発表されてきた。その中でも JINS MEME は 3 点式眼電位センサにより目の動きやまばたきを補足することができ、運転者の居眠りを検知する手段として有望視している。

このデバイスは 1 分間に 1 回の通信を行うスタンダードモードと約 20Hz でデータを取得するリアルタイムモードがある。JINS MEME SDK ではリアルタイムモードのみ開発者向けに公開されている。iOS 8.0 以上のデバイスで取得する項目の詳細は表 1 の通りである。

表 1 リアルタイムモードで取得できるデータ

名前	説明
eyeMoveUp	視線が上に動いたかどうかを示す整数値 0: なし 1: 移動検知-小 2: 移動検知-中 3: 逆移動検知-大 4: 逆移動検知-特大
eyeMoveDown	視線が上に動いたかどうかを示す整数値 0: なし 1: 移動検知-小 2: 移動検知-中 3: 逆移動検知-大 4: 逆移動検知-特大
eyeMoveLeft	視線が上に動いたかどうかを示す整数値 0: なし 1: 移動検知-小 2: 移動検知-中 3: 逆移動検知-大 4: 逆移動検知-特大
eyeMoveRight	視線が上に動いたかどうかを示す整数値 0: なし 1: 移動検知-小 2: 移動検知-中 3: 逆移動検知-大 4: 逆移動検知-特大
blinkSpeed	まばたきのスピード (ミリ秒)
blinkStrength	まばたきの強さ
walking	かかとを地面に着いたかどうか、通常 0, 検出時 1
roll	姿勢を表す角度のうちのロール要素を示す度
pitch	姿勢を表す角度のうちのピッチ要素を示す度
yaw	姿勢を表す角度のうちのヨー要素を示す度
accX	加速度の X 軸の値, -128 ~ 127 の 1byte の整数値
accY	加速度の Y 軸の値, -128 ~ 127 の 1byte の整数値
accZ	加速度の Z 軸の値, -128 ~ 127 の 1byte の整数値
fitError	装着状態, 整数値 0: エラーなし 1: 左鼻パッドエラー 2: 右鼻パッドエラー 3: ブリッジエラー
powerLeft	電池残量, 整数値 0: 充電中 1: 低電圧 2: Lv2 3: Lv3 4: Lv4 5: 満充電

3.5 車両センサ

車両センサからは以下のデータ項目を収集する。

- 車両 ID, 運行路線情報, 運転者情報
- タイムスタンプ
- GPS 緯度経度, 誤差
- エンジン回転数, 車速
- 吸気温度, 外気温度, 冷却水温度, 油温度
- 大気圧, マニホールド絶対圧
- スロットル開度
- ECU 電圧
- 走行距離
- オドメータ, 電源投入時からの積算距離
- 速度計パルス, 電源投入時からの積算

表 2 使用したセンサデバイス

センサ (製品名)	取得項目	通信方式	会社
活動センサ (Sensor Medal)	加速度 3 軸 ジャイロ 3 軸 地磁気 3 軸 気圧	BLE	LAPIS Semiconductor
脈波センサ (未定)	脈波	BLE	Rohm
3D 深度センサ (RealSense F200)	顔分析 手指検出 ジェスチャ検出 音声認識など	USB 3.0	Intel
眼電位センサ (MEME ES)	眼電位 加速度 3 軸 ジャイロ 3 軸	BLE	JINS
車両センサ (未定)	GPS 車速 エンジン回転数など	Bluetooth USB	みなと観光バス

運転操作を邪魔するのは本末転倒である。そのため運転者の動作に極大影響を与えないセンサを使用する必要がある。例えば脈波センサでは、指尖容積脈波は自律神経機能の状況を捉えるのに有効とされているが、運転中の運転手の指をセンサで覆うわけにはいかないため、同様のデータ（生体振動）を採取できる適当なセンサの選択が必要である。表 2 の脈波センサは、光学式なので体表面に直接接触させる必要がある。センサが離れると測定不能になるのでウェアも密着性を考慮したものを検討しなければならない。何回かの基礎実験から測定誤差を軽減するために、密着性の高いコンプレッションウェアを使用し、センサの取付位置と個数は、活動センサ 2 つを両上腕部の肘近くと脈波センサ 1 つを頸椎の棘突起側を用いることになった。

5. ま と め

本論文では、バス車両情報と運転者の生体情報などのデータを収集するための仕組みとして、車両センサ・各種生体センサを用いた車両内ノード通信システムと、オープンデータとして公開し相互利用を促進するための階層化クラウド通信システムについて報告した。現在、これらの安全運転支援システムの構築を進めるとともに、バス会社にご協力いただいて、実際に運行されているバスを使って車両・運転者を対象に走行実験を行う準備を進めている。また運転への影響の少ない非侵襲ウェアラブルセンサの開発も同時に進めており、本論文を公開するまでには走行実験を終了しているスケジュールであるので、発表ではこれらの結果について公表できる予定である。

今回の実験は阪神間の観光バスと路線バスを運行している「みなと観光バス株式会社」のご協力で実験を進めるが、将来的にはこの仕組みを公開し、全国規模でのバス、タクシー、長距離トラックなどにセンシングと警告のための安全運転支援システムを簡便にご利用いただけるようにパッケージ化し、道路・運転情報を収集して大規模運転事例データベース構築、オープンデータとして共有・公開することで運転に関するデータ解析手法の研究を促進する一助となるようにしたい。

6. 謝 辞

本研究の一部は総務省の「戦略的情報通信研究開発推進事業 (SCOPE)」(受付番号: 150201013) の支援を受けて実施された。

文 献

- [1] 原田 隆郎, 横山 功一 “生体脈波を用いた道路の乗り心地評価に関する基礎的研究” 土木学会論文集 F4 (建設マネジメント), Vol. 68, No. 1, pp.40-51, 2012
- [2] 国立研究開発法人情報通信研究機構 “PIAX の概要” <http://www.piax.org/?About> 2016.01.01 現在
- [3] 吉田, 奥田, 寺西, 春本, 下條 “マルチオーバレイと分散エージェントの機構を統合した P2P プラットフォーム PIAX” 情報処理学会論文誌, Vol. 49, No. 1, pp.402-413, Jan. 2008
- [4] Banks, A., and R. Gupta. “MQTT Version 3.1.1.” OASIS Standard (2014). <http://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/os/mqtt-v3.1.1-os.pdf>

4. 非侵襲ウェアラブルセンサ

装着により運転者の運転への影響を最小限にするセンサの研究開発を行う。脈波、脈拍をサンプルとして技術開発対象とし、必要に応じて視線、脳波、体温、筋電なども計測対象として検討することを含めて、実用可能な形状について機能を研究する。運転者の健康状態把握のために脈波などのセンシングを行うが、

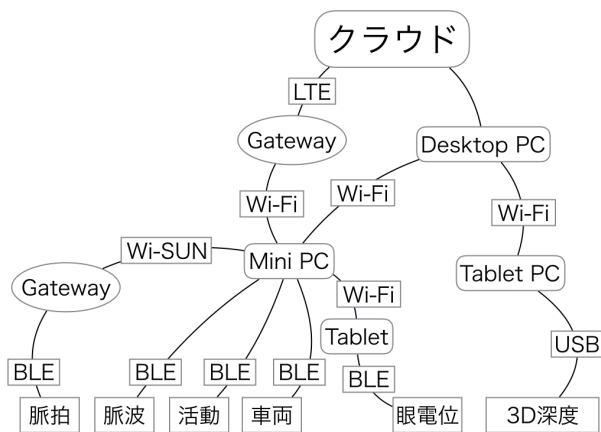


図 2 センサノード