

大規模自動車運転センシングデータ基盤の構築

上善 恒雄¹・森本 哲郎²・西田 純二³・秋山 豊和⁴

¹非会員 博士 (工学) 大阪電気通信大学教授 総合情報学部 (〒 575-0063 大阪府四条畷市清滝 1130-70)
E-mail: jozen@osakac.ac.jp

²非会員 大阪電気通信大学大学院総合情報学研究所 (〒 575-0063 大阪府四条畷市清滝 1130-70)
E-mail: dt15a001@oecu.jp

³正会員 株式会社社会システム総合研究所 (〒 550-0002 大阪市西区江戸堀 1-22-4-503)
E-mail: nishida@jriss.jp

⁴非会員 博士 (工学) 京都産業大学准教授 (〒 603-8555 京都府京都市北区上賀茂本山)
E-mail: akiyama@cc.kyoto-su.ac.jp

概要: 自動車交通の安全・安定化のために人工知能による自動運転や車車間・路車間通信など、ICT による自動車運転支援の研究が進められ、未来の理想的な道路像が見えつつある時代になってきた。しかし、現時点でバス交通が直面している運転手の高齢化・人材不足に起因する問題に対する対策の一つとして、筆者らは運転者の身体的・精神的状態と車両の走行状態をセンシングし、危険を予測する基礎データを蓄積する基盤を構築しつつある。このデータは様々な分野の専門性の観点からの解析を可能にするため、オープンな共有データとし、車両と道路と運転者の状態を総合的に分析することで、大局的な視点及び運転進行中の条件に依存する危険予知や警告につなげていこうとしている。本報告では、筆者らが構築中であるこのデータの蓄積と解析の基盤となる計算機資源の枠組みと、データ収集と解析の有効性を確認するための基礎実験について報告する。

Key Words : Safety driving, Open Data, Sensor network, Machine learning

1. 研究の目的と指針

少子高齢化が進むにつれ、自動車運転者も高齢化し、年々65歳以上の高齢運転者による自動車事故が激増している。この原因が必ずしも加齢による判断や操作に対するミスによる事故であるとは断言できないが、若者による無謀運転などとは異なる事由での危険は否めない。

運転者の体調をセンシングすることで、突然の運転者の問題による事故を未然に防ぐための研究や、プローブカーにより急ブレーキなどの運転状況による危険検出の研究はそれぞれ数多く取り組み事例がみられる。

突然の心臓発作などの疾患は危険であることは明白ではあるが、生死に関わるそのような状況は生体センシングにより顕著な事例として取り扱える。

しかし、現実的にはちょっとした緊張感の欠如、注意力散漫、居眠り、よそ見といった単独の行動だけでは直接事故に結びつかないまでも、それが速度超過や急ハンドル、ハンドルをとられるような強風や振動の大きい道路、急坂の下り、さらにはエンジンの不調などの車両状態も含めた悪条件が重なることで事故の危険が増すことが容易に想像できる。

また、これらの心理的な外乱は、例えば市街地での路線バスでは乗客への対応を余儀なくされる場合もあるだろうし、急な飛び出しに出くわした後や警察車両

や救急車両との関連でも不安定な心理状態に陥る可能性もある。

このように、高齢化にともなう運転者の体調不良による危険を察知するだけでなく、車両の状況や道路のパターンなどを総合的にデータ解析することで、状況に応じた危険回避をなるべく高い確度で行う可能性をさぐる目的で本テーマに取り組みを始めた。

この目的に向かった研究を進めるためには、複数種類のセンサ観測値

$$D = \{x_i\}_{i=1}^N \quad (1)$$

を取得し、そのデータ群から複合的なデータ解析に基づく危険運転の予測を行う手法を見出す必要がある。

ここで、センサの観測値は複数の要素からなり、基本的に多次元のベクトルで、画像である場合や、脈波などの時系列の部分系列を対象に処理する場合ため様々な観測値をひとまとめに x_i というベクトルとして一般化する表記を用いる。ここで添字の i はデータの系列を特定するインデックスであるが、一般的には時間スロットの順序になる。センサの各要素を記述するときは $\{x_{i,j}\}$, ($j = 1, \dots, V$) とし、ここに $V = \dim(x_i)$ で、センサ値などの入力データの個数とする。

つまり、 D は $\dim(x_i) \times N$ のテンソルとして表現される。一般的にはこの観測値は、車両や道路、人などの観測対象、その中でも車両であれば車速やエンジン回転数、道路であれば場所・傾斜・道幅・表面状態、人

であれば脈波・心電・血圧・発汗・視線など様々な観測データとして得られる。

さらにこれらの原始データから、データ圧縮や解析の前処理を目的としてデータに応じた特徴量 $y_j = f(x_i)$, ($j = 1, \dots, M$) に変換する。 f は蓄積された経験的データから求められるある種の写像の集合 F_s の要素 ($f \in F_s$) として、通常は x_i の次元を低減する方向で用いる。このとき原則的に $\dim(y_j) \leq \dim(x_i)$, $M \leq N$ とする。

さらに過去の状況による影響を考慮するために次のようにモデルを拡張する。

$$D' = f(D), f \in F_t \quad (2)$$

ここで、写像 f が属する関数系を、後の説明のために区別して、時間スロット内での写像を F_s 、時間の広がりのある写像を F_t で表すことにする。最終的には式 (3) のように、センサから得られる値の集合から D 現在の状態をいくつかのクラス $w_c \in W$, $c = 0, \dots, Q$ に確率的に分類する問題と考えられる。

$$P(w_c|D) = \prod_k f_k : D, f_k \in (F_s \cup F_t) \quad (3)$$

W の要素となる w_c を具体的に言うと、運転者が疲れていて急カーブを切り損ねるかもしれないというクラス、長時間運転などのために緊張すべき交差点で運転者の注意力が鈍っているというクラス、あるいは運転者の調子は良くてもより高速道路でのスピードが出ているがエンジンの調子は悪いというクラスなど、様々な状態が考えられる。実際の安全運転のために必要とされるクラスにどのようなものがあるかは現時点で特定することは難しいが、本研究ではそのようなクラスの特定についても多くの経験値とデータを元に解析をすすめられるようなプラットフォームの開発を目指している。

以上をまとめると、本研究目的の指針として、データ解析のために段階的に以下の課題を設定する。

1. 各 x_i についての異常値の判断基準を発見する。
2. センサ値 $\{x_{i,j}\}$ 相互の関連性を発見する。
3. 関数系 F_s を用いて安全・危険の基準で運転評価し $P(w_c|D)$ を計算する。
4. 関数系 F_t を用いて安全・危険の基準で運転評価し $P(w_c|D)$ を計算する。
5. 多くの事例から関数系 F_s や F_t を機械学習により生成する。
6. F_s, F_t として運転者・車両による個別別基準による関数系を学習する。
7. F_s, F_t として個体によらない一般化された基準を設定する。

このように、収集したデータを元に運転の状況についての判断材料としてどのように利用するかについて Section 4. で述べる。このデータ解析を実際に可能にするためのシステムの全体像について Section 3. で述べる。そして、具体的に車両内や運転者に設置・装着するセンサの種類や設置方法を検討するために行った試験走行の概要と、それによって明らかになった課題について Section 5. で触れる。本研究テーマはできるかぎり多くの事例を収集し、様々なケースについて、運転に関する評価やその解析方法を検討する必要がある。その基本となるデータは現時点では容易に収集できるものでないため、目標に向けたデータ収集をなるべく簡便に行い、得られたデータを蓄積して、同様の目的に進む研究者や事業者で共有する枠組みを作ることにある。最後に Section 6. で具体的な応用のため展開についてまとめる。

2. 関連研究

自動車運転の危険回避などを目的とした運転者の生体センシングについては数多くの報告がある。その多くは運転者の疲労や居眠り、意識低下、ストレスなどをセンシング対象としており、脈波データ^{2),3)}、まばたき¹²⁾、顔面温度の差分¹³⁾ など様々な方法で研究が行われている。このように、実験室や試験走行の場面で運転者を対象とした生体センシングは数多くの実績があり、ともすれば一見容易なように見えるが、現実問題としては例えばバス事業者が運転者にセンサの装着を指示するのは容易なことではない。組合問題やセンシングすることで安全に支障をきたす不安が皆無とは言えないためである。

我々もまずは運転者の疲労を示す指標として脈波のカオス解析^{1),3)}を頼りに実験をはじめたが、Section 5. に述べるように運転者の指先や耳朶に脈波センサを装着するのは容易でなく、運転に支障無く、かつ精度よく脈波センサを装着するための試行錯誤から始めた。本稿では頸椎の最下部での脈波計測が今の所良い結果が出ているということを確認し報告する。

自動車運転より過酷と思われる歩行中での計測に関する報告⁶⁾や自転車走行中の心拍を肌着の上から高い精度での計測が可能な容量型ウェアラブル心拍計についての報告⁵⁾もある。自動車運転の際には服として着用する必要は無く、座面にこのタイプのシートを設置することで効果があるか今後我々も実験に適用する予定をしている。

脈波の解析については RR 間隔を指標として用いる方法が数多く報告されている^{3),10),11)}。我々もまずは RR 間隔とその周波数分析からデータ解析を始めている

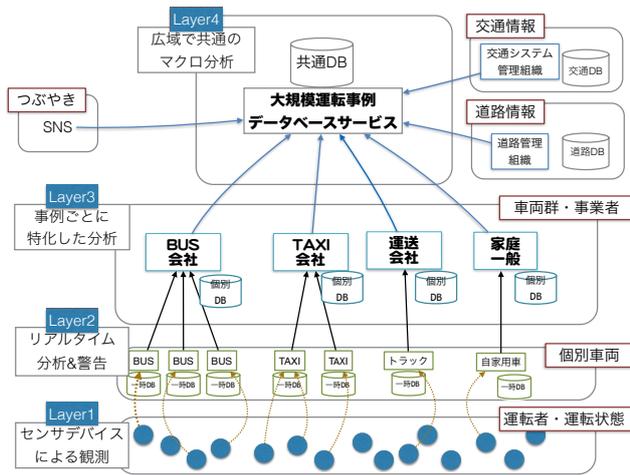


図-1 階層化クラウドデータベースの全体像

が、そのカオス解析により脳波などよりも早期入眠予兆現象が捉えられるという報告⁴⁾もあるため、今後もカオス解析を進めていく。

一方、プローブカーによる危険箇所の分析についても非常に多くの事例があり、急ブレーキなどのイベントを地図上にマッピングすることで危険箇所を発見する研究など数多く見受けられる。

我々の研究は運転者の状態に加えて、ハンドリングなど運転の質を活動量センサで計測し、車両から車速やエンジン回転数などと合わせて新しい知見を得る試みを行っている。この複合的な解析はまだ始めたばかりで解析手法として新規性のある発見はできていないが、今後この方面の研究を広く進めるためのデータ解析プラットフォームの開発に現在注力している。

3. 階層化クラウドシステムの概要

(1) 階層的なデータ管理と計算処理

Section1. で定義した枠組みで具体的にデータ解析するために、 F_s, F_t の関数系により低次元化する特徴量算出処理を行う単位を以下のように段階的に設定する。

- 個別の車両と運転者という単位と、
- 異なる車両や運転者を複合的に取り扱い、事業者などの特定の観測対象集合で取りまとめて処理する単位、
- さらには観測対象集合から得られた観測値間の関係を汎化する単位

この関係を示した概念図を図-1 に示す。この図で示す階層と上記のそれぞれの処理粒度をもつ段階を Layer と呼び、多くのデータを効率的に分散処理するため、Layer 間での処理の分担と Layer 内での分散化のための負荷分散・計算処理の委譲 (Agent) 機構を定義する。

(2) Layer 毎の役割

ここでは扱うデータと処理に着目して、便宜上各 Layer を以下のように定義する。

Layer1 センサデバイスを指す。生体や車両から raw data を観測する。電池で駆動できる規模の超小型コンピュータを想定し、基本的に情報量を保存するために、なるべく冗長性低減程度の処理のみ行うが、省電力と BLE などの小通信帯域に対応するため、劇的なデータ圧縮としての特徴量抽出処理を行う場合もある。

Layer2 車両に搭載する小型コンピュータで処理できる計算処理と記憶領域を前提とする。Layer1 の raw data や基本的な特徴量から数秒から数分程度の短い時間間隔を単位とした異常検知処理のための計算処理を行う。1 日以上長い時間幅の統計計算は上位の Layer に委譲し、結果のみ上位 Layer から受信して異常検知の基準値として利用する。

Layer3 Layer2 から収集するデータを元に、データのフィルタリングと統計処理を行う。具体例としてはバス事業者やタクシー事業者を単位として、運転者の労務管理、運転技術管理などの事業者独自の指標計算やプライバシー情報の除去処理などを行い、匿名化と危険検知のための汎化されたデータを上位 Layer に送信する。

Layer4 Layer3 から得られた匿名化データと統計指標を長期間かつ広範囲に蓄積し、気候や季節変化、長期的動向、地域的傾向などの運転に関する危険兆候の大局的な解析を行う。

(3) Layer 内でのエージェント処理

2 に Layer 内に論理的あるいは物理的に分散した様々な計算サービスを行うエージェントとよばれる処理単位で動的にジョブの割り当てを行うイメージを示した。これは構造化オーバーレイネットワークと呼ばれる技術で分散処理を実現する PIAX というプラットフォームを活用している。

2 の例では、下位の Layer などから Pub/Sub 基盤を通して受信したデータを前処理としてデータ系列の特徴量を抽出し、さらにその結果を機械学習を行うエージェントや危険検知を行うエージェントに流している様子を表現している。

同様の処理を行う複数のエージェント群に対して、PIAX へのジョブ投入エージェントを介して PIAX の動的ディスパッチ機構により、その時点で高速処理が可能な適切なエージェントに対してデータを割り当てその経路制御を行う、そのあと機械学習モジュールで事例を学習するエージェント群に向かうデータの経路を割り当てている。

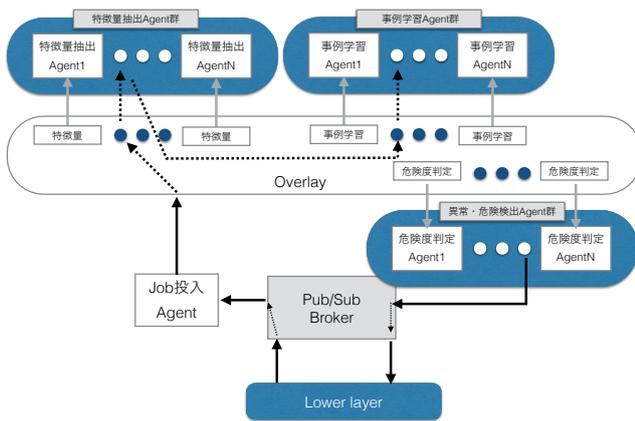


図-2 PIAX でのエージェント処理

ここで Pub/Sub 基盤とは Publisher と Subscriber の意味で、データ供給者側とそのデータを利用したい需要を動的に結びつける仕組みで Broker はその仲介を行う処理を指す。

危険を検知した場合、その事実を伝えるために Pub/Sub 基盤により警告を表示したり、アラームを鳴らしたり、場合によっては自動的に制動をかけるトリガを発信したりする処理への橋渡しを行う。

(4) 実験用ネットワークシステム

本研究では Layer2 および Layer3 での処理をセンサネットワークのための大規模オープンテストベッドとして情報通信研究機構 (NICT) が提供する JOSE⁹⁾ を利用し、オーバーレイネットワークのプラットフォームとして PIAX^{7),8)} を用いて動的な分散処理機構を構築している。

Layer1 としては確定的ではないが Raspberry PI, OpenBlocks, Android/Windows Tablet, iPad などを処理内容や Layer0 で用いるデバイスの特性により使い分けているが、今後は Intel 社の WIND River など IoT Gateway の位置付けでセンサと広域ネットワーク通信の仲立ちをするタイプのプラットフォームが普及すると見込まれ、センサデータの処理デバイスとしてより効率的で柔軟なシステム構成が期待出来る。

4. データ解析の指針

(1) センシングデータ

Section2. で述べて来たように、本研究では、まず主に脈波の解析を対象としているが、後に Section5. で述べるように、心拍数センサ, 3D 深度センサ, 活動量 10 軸センサ, 眼電位センサ, 車両センサなどでデータを取得している。

加えて、商用サービスが始まっている音声のゆらぎによる感情分析を参考として、実施している。

さらに、本番の環境では Wi-Fi のパケットセンシングにより、スマートフォン所持者をベースに乗客数の大まかな推定値もセンシング対象とする。

これらのデータは単独でもその特徴量から重要な情報を得ることができることは関連研究の様々な成果からも明らかであるが、さらに複合的なデータ解析を行うために、これらのデータについて Section1. で定義した特徴量抽出などの低次元化とクラス分類を行う。

(2) 特徴量の抽出

現在、脈波からの基礎的な特徴量として、脈波ピーク間隔 (RR 間隔) のばらつきが疲労度に密接に関連しているという先行研究を頼りに、RR 間隔とその周波数解析を進めている。

また、現実的に手軽で装着に支障がなさそうな腕時計型の脈拍数センサから、脈拍数と眠気の実験的に確かめたところ、脈拍数が 60 未満になった運転区間には、運転者も眠気を感じていたことが実験後のインタビューなどから明らかになった。

ストレス指標について周波数解析からの知見を応用する方針であるが、その信憑性の確認はまだできていない。

脈波に比べて脈拍数だけでは情報量が欠落しているため、複雑な生体情報は得られないと思われるが、現実的な方式として捨てがたい選択肢であるため、現在、脈拍数のみから擬似的な RR 間隔のパラッキ (分散) として、時間粒度は荒くなるものの脈拍数の逆数をもとにこの特徴量の抽出を試みている。

今回用いた腕時計型脈拍数計では 4 秒間脈拍を 1 秒単位にスライドしてサンプリングする。そのため擬似 RR 間隔は 1 秒単位ということになる。その分散の計算についても時間間隔 (ウィンドウ) を設定して、ウィンドウを秒単位でスライドして分散を計算する方法を考案し、実験データで現在解析を進めている。その結果については本研究会の他発表で報告する。

その他の特徴量としては、活動量 10 軸センサのデータを各軸について積分するなどの精緻な解析を施したとしても有用なデータを得るのは困難が予想されるため、変動の絶対値、カオス解析などにより大枠の運転 (ハンドリング) の荒さ・穏やかさを把握する方針である。

3D 深度センサによる表情解析については、今の所、目の縦と横の大きさ比率により正規化したデータを元に、目の開閉度を類推し、その時間間隔とあわせて眠そうかどうかの判断基準を探している。

眼電位センサは製品に付属している SDK により、明確にまばたきが取れるようだが、メガネ型のこのセン

サは装着の仕方や人によってはおそらく顔の形状や皮膚の条件のせいか計測精度が大きく異なることが確認できた。

(3) 異常値・危険検出

運転中に異常値が検出された場合は、まずは危険を疑うべきである。しかし本来正常であるものを誤報してしまう偽陽性率を抑え、本来異常であるものを正しく異常と判断する異常網羅率はそれより重要で 1 に近いものでなくてはならない。

この調整がどこまでできるかは、大量のデータを元に調整を繰り返すことになるが、上述のように多くのセンサを抱えてはいるものの、各時間スロットごとの異常検出の概念としては、ある程度の特徴量抽出と低次元化を n 回行った $D^{(n)}$ の集合から基礎的な多変量正規分布とマハラノビス距離を計算し、レアケースを異常として警告するモデルや k -近傍法などから始めることになる。

(4) 複合的分析

具体的なデータによる複合的な分析にはまだ至っていないが、生体データに合わせて、車両速度、ハンドリングの傾向、路線、乗客数なども含めた上述の特徴量の組みから、機械学習アルゴリズムを適用して、関連性の発見、クラスタリングを行う予定である。

これらのデータから、結果として事故に結びつく確率は計算しがたい。教師あり学習を実際の運転から行うことはサンプル数確保の面からも倫理的な面からも不可能に近いため、次の段階としてビデオゲームのプレイ時に同様の生体センシングを行うことでシミュレーションによるデータ収集を行う準備を進めている。

5. 計測実験とセンサの選定

(1) 実証実験の概要

本稿で取り扱っているプロジェクトでは、バス事業者¹の多大な協力を頂き、今回想定している枠組みとセンシングの実現性を把握するために、マイクロバスで 2 回、大型観光バスで 1 回の走行実験を行った。マイクロバスではバス会社の本社がある神戸市の埋め立て地周辺を 1 時間とトンネルや広域無線の不感地帯を含めた山間部で 3 時間の走行を行い。大型観光バスでは高速道路を使って片道 3 時間ほどの本格的な試験走行を行った。

計測したデータと運転の状況との関連を事後に確認するために、前方を向けたアクションカメラと 360 度全方位ビデオカメラで車内も含めたドライブ状況の記

録を収めた。

なお、これらのデータ解析については本稿執筆時点まで行った部分について、他の発表で報告する。ここでは実験方法の概要についてのみ述べる。

(2) 生体センサ

常勤の運転者に眼電位センサ (JINS 社の MEME)、活動量 10 軸センサ (加速度・角速度・地磁気それぞれ 3 軸と気圧) を両腕に、脈波センサを頸椎の最下部である第 7 頸椎に装着頂いて走行実験を行った。第 7 頸椎は隆椎とも呼ばれ、他の頸椎より飛び出ている、これより上の頸椎はちょっとした動作でもよく動くため脈波センサがずれて観測信号が乱れやすい。しかし第 7 頸椎あたりは動きもほとんど無く、実験によって指先や耳朶にひけをとらない安定した脈波を計測できた。

脈波計測の精度検証用に、頸椎とは別に腕時計型の脈拍センサも装着してもらった。

また、INTEL 社の RealSense(F200) とその SDK を利用して、顔の特徴点 78 点を抽出し、運転者の表情や顔の向き、まばたきをコンパクトに記録した。RealSense は可視光の CCD カメラに加えて赤外線による 3D 深度センサにより表情を計測するため、画像のみによる方式より高い精度での認識が可能になる。

商用サービスが始まっている音声のゆらぎによる感情分析を適用するため、運転者の音声データの記録も行った。

(3) 車両内通信

活動量 10 軸センサと脈波センサは運転者に装着するため、運転に支障がないように無線接続した。

活動量 10 軸センサ 3 個は 20Hz のサンプリングレートで、脈波センサも 200Hz のサンプリングレートであり、双方とも通信量が大きいため Bluetooth 3.0 ベースのペアリングによるデータ転送を用いている。

腕時計型の脈拍センサは 4 秒間の脈拍サンプル計測から 1 秒ごとにその数値だけを発信するもので、通信量が小さいため Bluetooth LE でデータをアドバタイズすることができた。

今回、車両内無線によるセンサ接続はこの 5 つのデバイスだったが、他の Wi-Fi 機器や環境の 2.4GHz 帯電波の干渉のせいか、通信が不安定な場面も見られた。そのため、実用環境においてはなるべく 2.4GHz 帯は使用せず、有線による接続が可能なものについては極力有線接続が望ましく、無線接続を余儀無くされる場合は Sub GHz 帯 (920MHz, 700MHz) や 5GHz の利用を考えるべきであるという結論になった。

¹ みなと観光バス株式会社 (神戸市)

(4) 車両センサ

車両の情報としては、車体番号、GPS による位置情報（緯度経度）、車速、エンジン回転数、吸気温度、外気温度、冷却水温度などを常時毎秒計測し、UDP でサーバにアップロードした。さらにハンドル操作を記録するためにハンドルの中央部に 10 軸センサを取り付けた。

(5) 通信テスト

これらの予備実験では、基礎データを保全するために、基本的には車両内のローカルストレージにデータを保存したが、LTE などの広域無線接続でのサーバシステムへのデータアップロード性能も、想定される通信量の倍以上の負荷をかけて確認した。

センシングしたデータはリアルタイムで JOSE に設定した上位 Layer のサーバにアップロードする仕組みを設定している。よりよい通信方法を探るために UDP(fluentd) か TCP ベースのセンサネットワーク用のプロトコル (MQTT) で比較実験を行った。LTE 接続可能区間でのパケットロスはこちらのプロトコルでも皆無であったが、山間部の電波不感地帯では物理的接続が不可のため当然のことながら如何なるプロトコルを用いようとも通信は途切れる。LTE 接続不能区間を抜けたあとは MQTT では再接続が行われ、バッファリングされていたデータが再送された。UDP による通信ではアプリケーションプログラムで制御しない限り失われたパケットは再送されないが、断続的に LTE 通信が接続するような電波の不安定な場所では UDP では隙間を縫うようにデータ送信を行い、TCP では再接続の余裕が無くその場では接続に失敗し、電波が安定してから再送に頼ることになった。つまりは電波が不安定な区間ではトータルで UDP の方がリアルタイムでの転送効率は良い区間も見られた。

6. 今後の展開

本稿の冒頭で述べたように、安全な自動車運転のために車両・道路・運転者について複合的な危険を検知・予測するという本研究の目的に向かうためには、多くのデータを収集して、それらの観測データについて相互の関連を見出す必要がある。

本研究では、勿論その一部でも発見をして実用につなげる目的も含まれてはいるが、そのためのデータは現時点では容易に収集できるものでないため、目標に向けたデータ収集をなるべく簡便に行い、得られたデータを蓄積して、同様の目的に進む研究者や事業者で共有する枠組みを作ることにある。

本稿で報告した実験システムをもとに、路線バス 30 台規模で本格的に計測実験を行い、センサの実装方法

をはじめとした実装方法の簡便化をすすめて、実用性を高めるとともに、運転データに関する知見を深め、階層化したサーバシステムを開放してデータの蓄積と利用が可能になるようにシステム構築を進めていく方針である。

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制度 (SCOPE)」(受付番号 150201013) の支援を受けて実施された。

参考文献

- 1) 今西明, 雄山真弓: "指尖容積脈波から得られる脈拍情報とリアプノフ指数との関係-シミュレーションおよび実験による検討-", 人間工学, Vol.44, No.Supplement, pp.250-251, 2008.
- 2) 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.
- 3) 宮澤拓未, 福本一朗: "生理指標を用いた居眠り防止システム構築の基礎検討" 日本人間工学会第 49 回大会, 2011.
- 4) 藤田悦則, 小倉由美, 落合直輝, 苗鉄軍, 清水俊行, 亀井勉, 村田幸治, 上野義雪, 金子成彦: "指尖容積脈波情報を用いた入眠予兆現象計測法の開発", 人間工学, Vol.41, No.4, pp.203-212, 2005.
- 5) 植野彰規, 東大介, 吉田俊哉, 宮下収: "容量型ウェアラブル心拍計の開発と電動自転車アシストモード自動切替への応用", 東京電機大学総合研究所年報第 30 号, 2010.
- 6) 前田祐佳, 関根正樹, 田村俊世, 鈴木琢治, 亀山研一: "歩行中の光電脈波計に関する計測部位と計測光の比較", 生体医工学 49(1), 132-138, 2011.
- 7) Yuuichi Teranishi: "PIAX: Toward a Framework for Sensor Overlay Network", In Proc. of CCNC 2009, pp.1-5, Jan. 2009.
- 8) 吉田幹, 奥田剛, 寺西裕一, 春本要, 下條真司: "マルチオーバー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.
- 9) 国立研究開発法人 情報通信研究機構 (NICT): "大規模オープンテストベッド JOSE", <http://www.nict.go.jp/nrh/nwgn/jose.html>
- 10) 高田晴子, 高田幹夫, 金山愛: 心拍変動周波数解析の LF 成分・HF 成分と心拍変動係数の意義: 加速度脈波測定システムによる自律神経機能評価: 総合健診, Vol.32, No.6, pp.504-512, 2005.
- 11) 土川奏, 岩倉成志, 安藤章: "心拍間隔指標を用いた長距離運転時のストレス計測実験と解析 AHS の需要予測にむけて", 土木学会土木計画学研究 講演集 Vol.26 CD-ROM, 2002 年 11 月.
- 12) 足立和正, 濱田尊裕, 中野倫明, 山本新: "ドライバの意識低下検知のための動画像処理によるまばたき計測", 電気学会論文誌 C(電子・情報・システム部門誌)Vol. 124 (2004) No. 3 P 776-783.
- 13) 山越健弘, 松村健太, 小林寛幸, 後藤雄二郎, 廣瀬元: "差分顔面皮膚放射温度を用いた運転ストレス評価の試み-単調運転ストレス負荷による基礎的検討-", 生体医工学, 48(2):163-174, 2010.

VENUS project: Toward a large scale open database for safety driving

Tsuneo JOZEN, Tetsuro MORIMOTO, Junji NISHIDA, Toyokazu AKIYAMA