

「先進的統合センシング技術」

平成 17 年度採択研究代表者

佐藤 知正

(東京大学大学院情報理工学系研究科 教授)

「安全・安心のための移動体センシング技術」

1. 研究実施の概要

本研究プロジェクトでは、機械の稼働や利用者の行動などのふるまい情報を計測・蓄積し、その特徴やくせを抽出する統合センシング技術し、この情報に基づいて個別適合したサービスとを実現する。以下の研究体制と研究成果を得た。

生活班：

日常部屋生活支援システムの開発に関し、マンション模擬室における移動・生活フェーズデータを計測・蓄積するシステムの開発を進めた。長期生活データ分析と、自動分類アルゴリズム・ビジュアライゼーションのためのデータ圧縮法・異常検知アルゴリズムの開発を進めた。また、高齢者異常検知システムの開発に関し、滞在部屋データを収集し支援へと接続するシステムの開発を進めた。さらに、センサネットワークデバイスの開発について、工事性と設定作業の煩雑さを解消する技術の開発を進めた。

人と物の流れ班：

対人事故予防安全のための人車間ネットワーク統合センシングシステムの構築、ネットワーク型オンデマンドバス運行制御システムの実証実験、紛失配送物発見用の PHS・UHF 発信器併用端末の開発、省電力スイッチ用形状記憶圧電アクチュエータの考案、振動による物流機器移動・停止判定アルゴリズムの考案を行った。

自動車班：

自動車班では、自動車運転支援における安全安心設計と個別適合のため、市街地運転時の運転行動を計測・蓄積して、普段の運転行動と危険行動の特徴や癖を抽出する統合センシング技術を開発し、予防安全技術の向上に向けた個人環境個別適合型運転支援サービスの設計基盤の構築を行った。

総括班:

有体物を前提とした現行の法体系では個人等の情報があらゆる機器に保存される社会において生じる問題に十分対応できない。「情報の安心・安全」のため、本研究で生じる具体的な問題を踏まえ情報倫理規定を策定した。また、以上のグループとの共用を目的にセンシングデータフォーマットを整理した。

2. 研究実施内容

生活班:

生活分野では、2006年度、特に下記の3つの開発を進めた。

1. 日常部屋生活支援システムの開発

ワンルームマンション模擬室内における人の移動データや生活フェーズデータを計測・蓄積するシステムの開発を進めた。物品の移動データも合わせて蓄積できるシステムに関して、非常にプリミティブなレベルではあるが、蓄積可能とするプロトタイプ手法を構築した。これを通じてデータフォーマットの可能性を広く探っている。高齢者異変検知システムの開発研究と関連し、Ground Truthデータのある焦電センサ配置下環境としてマンションの賃借を開始した。プロジェクト内公開に向け、ワンルームマンション模擬室データ、賃貸マンションデータ、高齢者異変検知システムデータのフォーマット整理を行った。長期生活データの分析、生活データの自動分類アルゴリズムの開発、解析におけるデータビジュアライゼーションのためのデータ圧縮法の開発、異変検知アルゴリズムの検討を進めた。

2. 高齢者異変検知システムの開発

高齢者の滞在部屋データや家電等の利用データを計測ステーションで収集して支援へと接続するシステムの開発を進め、班の他のシステムとのデータ整合を開始した。

3. センサネットワークデバイスの開発

各種センサを空間的に分散配置し、これに基づいて人を支援したり機器制御したりするシステムにおいて、無線ボードの小型化を進めるとともに、むしろ小型化を進めることとのトレードオフとなる工事性と設定作業の煩雑さの解消を行う技術について重点的にシステム開発を実施した。

人と物の流れ班(データマイニング公募を含む):

人と物の流れ分野では、5つの課題について実施した。

1. 対人事故予防安全のための人・自動車ネットワーク統合センシング

見通しの悪い交差点等で、危険度の高い車・人の存在を検出し互いに通知して対人事故予防安全につなげるため、人・車の固有なふるまいを考慮した人ー自動車ネットワーク統合センシングシステムを構築することを目的としている。これまでに、人車間通信でネットワークを構成し、時々刻々の情報から危険度を判定し危険を通知するシステムのプロトタイプを開発した。そのために、まずは人対車両事故データを分析して交通状況のモデル化を行い、市街地の住宅地における

GPS 位置精度と人車間 P2P 通信のための無線 LAN 電波伝播特性を実地検証した。その結果、住宅地において現行最新機種 GPS では 1~6m の精度で位置測定可能であること、無線 LAN により走行車と見通し外の歩行者間である程度の距離において P2P 通信可能で、その通信遅延は 20ms 程度であり、500ms-1s 程度の FOMA と比較してかなり少ないこと、これらは場所による依存性があることが明らかになった。これにより、最適制御アルゴリズムは、通信可能距離を考慮し場所に依拠して FOMA と無線 LAN の通信切替を行うこと、位置精度誤差を考慮した危険度判定を行うこととした。また、危険度判定アルゴリズムのパラメータとして、事故分析の結果から見通し、天候、時刻、道路形状、幅員、信号有無など危険ファクターの選定を行った。

2. オンデマンドバス運行管理システム

時間制約のある利用目的にも対応できるオンデマンドバスを構築し、本年度は第4期、第5期の二回の実証実験によりその有効性を示した。具体的には独自に開発した運行スケジュール生成アルゴリズムを中心としたオンデマンドバス運行システムにより、時間が指定できかつ遅延無く運行できるシステムがサービスの満足度に最も大きく繋がっていることを示した。また、実用化を見据えて地域に最適なオンデマンドバス導入形態を求めるシミュレーション環境を整え、柏市北部で行ったケーススタディには妥当な結果を得た。一方、高齢者にも簡便な予約システムの構築という新しい課題が確認できた。これに対しては個別適合サービス予約提案システムにより解決を図る。データマイニング手法の適用により、ある乗客が何曜日の何時にどこからどこまで移動するかという行動パターンの抽出が行えることを確認した。この情報をもとに、顧客に次回乗車予約の提案をおこなうが、乗降地と時間をこちらから送信し、乗客はそれを承認するワンタッチ操作だけですむような半自動予約システムとした。以上より、現行のオンデマンドバスが持つこの問題点について解決策を講じ、実用化を見据えた今後の開発指針を示した。

3. 物流位置追跡システム

PHS 受信電界強度による位置計算方法について、電界強度の重み付き最小2乗法を考案し、通常の最小2乗法に比べ、2倍程度の高精度化の見込みを得た。また、紛失した配送物の発見のため、PHS 電界強度法と UHF 帯テレメトリ探索を併用した測位システムを開発した。通常時は PHS 公衆網により自動で概略位置を追跡し、異常時に UHF 発信機を起動して、手動で八木アンテナにより正確な位置に達するものである。プロトタイプを製作し、PHS 受信範囲であれば誤差ゼロで端末(紛失物)位置を得られることを確認した。

4. 物流振動デバイス

コンテナ等に設置した PHS やセンサの省電力化のため、移動時のみ電源を入れるスイッチ用アクチュエータの基本検討を行なった。圧電材料を電界インプリント制御することにより、形状記憶効果を持たせ、パルス電圧により、80 μ m の形状記憶駆動を確認した。また、振動を用いる発電機について、人体装着型とコンテナ装着型の基本検討を行なった。前者は3次元回転ロータを有するもので、ロータの運動解析を行い、安定限界を与える電磁ダンピングで実験値との一致を見た。また、直径約 10cm の発電機で 1W 以上の出力を得た。

5. 物流位置データベース

移動時のみ PHS の電源を入れる、スイッチ制御アルゴリズムを開発した。加速度計で常時振動を計測し、1日ごとの最大加速度を記録しておき、また、1日1回の PHS 位置計測により、停止日の加速度は最大値を、移動日の加速度は最小値を更新し、両者の平均値を移動の閾値とするものである。以上により、機器に適合した閾値が自動的に設定される。台車に加速度計を載せ、5分間を1日とみなして実験し、有効性を確認した。本成果は、データマイニング (DM) アルゴリズム公募により得られた。

自動車班(データマイニング公募を含む):

自動車班では、車両、ドライバ、周囲環境データをセンシングして記録するドライブレコーダを開発し、個別適合サービスとして運転支援システムを開発することを目的としており、本年度は以下のことを実施した。

1. 常時記録型ドライブレコーダの開発

車両位置情報、車体速度、加速度、ペダル操作、ハンドル操作等を記録する統合センシングドライブレコーダを開発しつつあり、その試作システムを実験車に搭載し公道で走行することにより、通勤経路における普段の運転と急ぎ運転等の実験データを蓄積した。本年度は特に先行車への追従運転状況を中心としたデータ収集を行うため、自車の変数以外としては前車との車間距離を計測し、追従運転モデルを立ててそのパラメータを分析することにより危険度が評価できる見通しを得た。

2. 個別適合運転支援システムの開発

運転支援のための情報提示・警報・操作介入装置を備えた予防安全自動車に対して、個人の運転特性や道路環境特性データに基づく個別適合アルゴリズムを開発することを念頭に、特定の通勤経路を7個に区分し走行データを分析した。道路区分ごとに加減速のパターンを示した図1などによると、道路区分毎に個人の典型的な運転行動パターンや運転のくせが存在することが分かり、経路に依存する運転行動予測モデルを立てる上の知見を得た。また、先行車との車間距離を計測し、道路区分毎に個人の典型的な追従行動特性と道路区分毎の

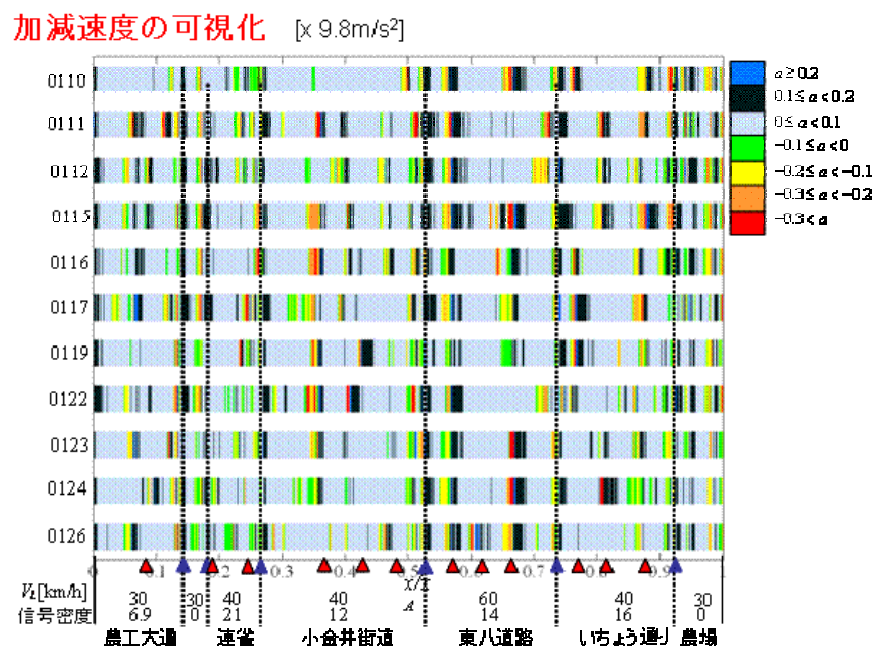


図1 経路沿いの加減速パターンの分析結果

追突危険度を評価しうることを示した。本年度は、その推定される追突危険度に応じて、個別適合運転支援システムとして情報提示装置、警報装置、ペダル操作機構の要素技術と、それらが効果的に作動するための種類やタイミングにかかわるアルゴリズムの基本概念を整理した。

3. 自動車走行データベースの作成

試作したドライブレコーダにより車両の走行位置、走行速度、加減速度、および前車との車間距離等の走行データを取得し、通勤経路に沿った走行パターンとして、単独走行、前車追従走行、右折、左折、車線変更、停止行動のパターンを収得した。

なお本年度、危険な走行環境として湿潤路面の走行データを公開して、道路面の滑りやすさを効果的に推定可能とする多重モデル法(Interacting Multiple Model, IMM)によるアルゴリズムを得た。具体的には、実際に車両を走行させた状態で車両データを計測し、得られた車線変更時の走行データから多重モデル法による路面摩擦係数の推定の有効性を検証した。

4. 危険場面ドライビングシミュレータの開発

上記のドライブレコーダを用いて得られた危険場面を再現させるために、潜在的事故に至るドライバ・車両・道路環境の危険要因を分析した。凍結路面のような危険な走行場面において、ドライバの教育訓練や車両のデバイス設計に利用できるシステムとしての機器構成やシナリオ作成の目的を得た。

総括班:

本研究では、センサーによって記録・分析する研究協力者の動静に関するデータ(「センシングデータ」)は、無意識的かつ長期にわたって記録されるため、多くのプライバシー情報が含まれることとなる。そこで、研究者による収集や保有が過度なものとなってしまうよう指針等が必要である。また、漏洩等の事故に遭った場合には、情報提供者本人の不利益となるばかりではなく、センサーを用いたデータ収集とそれによる新しい物やサービスの研究開発という手法全般にまで悪影響が生じてしまうことも考えられる。そこで総括法情報倫理は、センシングデータの収集・保有・管理を適正なものにし、情報提供者の利益への配慮と研究効率及び研究成果の両者を調和させることが可能となる「ルール」の具体化を目指している。

このような問題について、現行法は、「個人情報保護法」や「不正アクセス禁止法」によって対応を図っているが、そもそも現行の法体系は、私有財産制の原則の下で物理的に管理可能な有体物をめぐる権利関係について、意思能力を有する個人がその意思に基づいて行う法律行為によって権利関係が変動することを基本原則としており、無体物たる電子情報を念頭においていない現行の法による対応には様々な点で限界がある。従って、本研究における「情報の安全・安心」を目指すためには、既存の法律や規定が有している限界を踏まえつつ、本研究が取り扱うセンシングデータの特特殊性に十分に着目する必要がある。

本年度の調査分析によって、センシングデータには、従来の個人情報(以下、単に個人情報という)とは異なる特殊性があることが明らかになった。

第1の特特殊性は、研究者自身が得られたセンシングデータからどのような情報の意味内容が読

み取れるのか事前には理解できない点である。センシングデータは、他の情報と併合させたり結合させたりすることや、良質なアルゴリズムによってデータマイニングすることで、疾病状況や自動車運転における事故の蓋然性などに関する個人の情報が認識可能となる場合があり、それが研究者および、実験協力者の予想を超えた範囲にまで及ぶことが考えられる。

第2の特殊性は、個人の特定の可否である。データが個人を特定するような情報を含んでいなくとも、データが十分な量がある場合はプロファイリングという技法等を用いて多くのコストをかければ高い確率で個人を特定することが可能であるということを踏まえれば、「個人情報」でないデータが遡及的に「個人情報」となるかわからないという可能性があるということを示唆しており、これは法的にもリスクマネジメントの観点からも不安定な状況が生じうることである。

以上の点を踏まえ、(a)リスク分析とルール・管理策の策定、(b)管理策の実施等、(c)評価・調査・監査、(d)改善及びルールの改定という一連のプロセスを継続的に行う「情報倫理規定」を、平成18年度に策定した。平成19年度は、研究プロジェクト内において生じる具体的な問題を踏まえつつ規定の改定を行うと同時に、無体物たる電子情報を中心とした法体系の検討を行う。

3. 研究実施体制

(1) 生活班

①研究分担グループ長：森 武俊（東京大学大学院 助教授）

②研究項目

- ・日常部屋生活支援システムの開発
- ・高齢者異変検知システムの開発
- ・センサネットワークデバイスの開発

(2) 人と物の流れ班(人と物の流れの DM 班を含む)

①研究分担グループ長：大和 裕幸（東京大学大学院 教授）

②研究項目

- ・対人事故予防安全のための人・自動車ネットワーク統合センシング
- ・オンデマンドバス運行管理システム
- ・物流位置追跡システム
- ・物流振動デバイス
- ・物流位置データベース

(3) 自動車班(自動車の DM 班を含む)

①研究分担グループ長：永井 正夫（東京農工大学大学院 教授）

②研究項目

- ・ドライブレコーダの開発
- ・危険場面ドライビングシミュレータの開発

- ・自動車走行データベースの作成
- ・個別適合運転支援システムの開発

(4) 総括班

① 研究者名

佐藤 知正(東京大学大学院 教授)

② 研究項目

- ・本プロジェクトの推進フォーメーションならびに研究推進計画の策定
- ・推進会議、研究会、ならびに年度末報告会の計画・実施
- ・法・情報倫理上の問題点の調査・検討
- ・情報倫理規定の策定
- ・データベースの研究

4. 研究成果の発表等

(1) 論文発表(原著論文)

生活班

<国内>

- 森武俊(東大):センシングルームによる環境型人間計測・支援, 日本機械学会誌, Vol.109, No.1048, pp.192-193, (2006.3)
- 森 武俊, 野口 博史, 佐藤 知正(東大):センサネットワークと生活行動, 電子情報通信学会誌, Vol. 89, No.5, pp.430-435, (2006.5)
- 森 武俊(東大):センシングルームによる人間支援, 日本機械学会誌, Vol.109, No.1056, pp.11-14, (2006.11)
- 森武俊, 祢次金佑, 下坂正倫, 佐藤知正(東大):日常動作の概念関係と隠れマルコフモデルを利用した動作のオンライン分節化, 日本ロボット学会誌, Vol.25, No.1, pp.130-137, (2007)

<国際>

- Taketoshi MORI, Hiroshi NOGUCHI, Tomomasa SATO (Univ. of Tokyo): Sensing Room Environment: Distributed Sensor Space for Measurement of Human Daily Behavior, Transaction of SICE, Vol. E-S-1, No.1, pp.97-103, (2006)
- Tatsuya HARADA, Takaharu NAGAI, Taketoshi MORI, Tomomasa SATO (Univ. of Tokyo): Realization of Bluetooth-equipped Device for Wireless Sensor Network, Transaction of SICE, Vol. E-S-1, No.1, pp.2-10, (2006)

人物流れ班

<国際>

- Takeshi MORITA, Yoichi KADOTA and Hiroshi HOSAKA (Univ. of Tokyo): Shape memory

piezoelectric actuator, Appl. Phys. Lett., vol. 90, 082909, (2007)

- Akito KAWAMATA, Hiroshi HOSAKA and Takeshi MORITA (Univ. of Tokyo): Non-hysteresis and perfect linear piezoelectric performance of a multilayered lithium niobate actuator, Sensors and Actuators, (www available)

自動車班

<国内>

- 永井正夫(農工大) : ドライブレコーダによる運転特性の分析技術, 日本機械学会誌, Vol.109, No.1056, pp.889-891, (2006. 11)

総括班

<国内>

- 佐藤知正(東大):メカトロニクスにおける常時センシングと個別適合技術, 日本機械学会誌, Vol.109, No.1056, pp.5-7, (2006. 11)

(2)特許出願

平成 18年度特許出願:4件(CREST 研究期間累積件数:4件)