

運転支援に向けた行動と環境認識の統合情報処理と意図推定の研究

Integrated Information Processing and Estimation of Driver's Intension for Driving Support

東京大学 大学院情報理工学系研究科 教授 國吉康夫
東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授 原田達也
Information Science and Technology, the University of Tokyo, Professor

Yasuo Kuniyoshi

Information Science and Technology, the University of Tokyo, Associate Professor

Tatsuya Harada

プロアクティブな安全機能の中核技術として、環境情報とドライバ行動および経験知識に基づく実時間のドライバ意図推定の実現が望まれる。従来、知識をトップダウンかつ明示的に記述し、論理的推論機構等で判断・予測を行うアプローチが取られてきたが、実世界の情報は明示的記述が困難であり、推論範囲が無限に広がるなど、記号接地問題やフレーム問題に起因する本質的困難により、進展が阻まれていた。そこで本研究では、身体と環境との間には、暗黙のうちに有用な情報構造が内在し、両者の相互作用の結果、それが顕在化する、という基本前提に立ち、この顕在化した情報構造を利用することが新たな知能処理となるという立場を取る。つまり、身体と環境の相互作用から創発される情報構造を引き出し、学習する仕組みを提案する。これをドライバ・自動車・環境の相互の関係性解明に適応することで、状況に応じたドライバの意図推定等の基盤技術の構築を目指す。

It is natural to think that there is an implicit but valuable information structure through the interaction between body and environment. In this research, we aim to extract this information structure emerged from the interaction between body and environment, and propose a framework to learn it. Also we aim to establish a basic technique to estimate driver's intension depending on the environment by applying the proposed framework to the analysis of the interaction among drivers, cars and environment. In order to achieve this goal, we set three subtasks, which are crucial for tackling this purpose. Three crucial subtasks are: 1) measurement and understanding of information of human body, 2) understanding of environment information, and 3) the interaction between body and environment.

1. 研究目的

身体と環境との間には、それらの相互作用の過程を経ることで、暗黙のうちに何らかの有用な情報構造が内在していると考えられる。本研究では、身体と環境の相互作用から創発される情報構造を引き出し、学習する仕組みを提案する。これをドライバ・自動車・環境の相互の関係性解明に適応することで、環境状況に応じたドライバの意図推定等の基盤技術の構築を目指す。

2. 研究経過

1章で述べた研究目的を達成するために、

本課題では3つの基礎となる要素に分割し進めてきた。一つ目は、人間の身体情報の計測と理解であり、二つ目が、環境情報の理解、三つ目が身体と環境との相互作用である。

人間の身体情報の計測と理解では、ドライバは常に座席に座り、ハンドルを握っている点に着目し、ドライバの動作のみならず、座面やハンドルといった環境との詳細な接触情報を計測し理解する研究を進めた。環境情報の理解では、ドライバは視覚情報のみならず聴覚情報も含めた複数のモダリティを活用して環境を認識している点に着目し、マルチモーダルデータを用いた行動認識技術の開発と

多種多様で極めて高次元かつ膨大なデータを高速かつ省メモリに検索可能な基礎技術の開発を行った。身体と環境との相互作用では、環境情報が原因となり、その結果としてドライバ行動が変化し、また、ドライバの行動が原因となり環境情報が変化する点に着目し、多次元の時系列間の因果関係を正確に発見する新規な数理的手法の構築を行った。

3. 研究成果

3-1. 人間の身体情報の計測と理解

本課題では人の運動情報と全身の触覚情報を同時に計測可能なシステムを提案・開発した。さらに、本システムを用いて得られる姿勢情報と触覚情報から人の運動を再構築する方法を提案した。この手法では触覚情報と姿勢情報から接触拘束条件を算出し、その接触拘束条件を満たす最適な姿勢を計算することにより運動の再構築を行なっている。接触拘束条件を算出する際には、ノイズを含め多くの情報を持つ触覚情報の中から接触拘束条件として利用できる静的拘束や動的拘束の情報を抽出することが重要となる。これを実現するために、本研究では触覚情報と姿勢情報を統合することで得られる情報から触覚クラスターを形成し、さらにクラスター間の関係性に着目することで触覚情報の分類を行った。さらに、提案した手法を用いて、実際に日常生活における運動や複数人の身体的インタラクションを伴う運動を計測し再構築を行った。また、いくつかの基本的な運動を計測、再構築し光学式システムと比較することで定量的評価も行った。図1に構築した全身に触覚センサを配置したモーションキャプチャスーツを示す。



図1：全身に触覚センサを持つモーションキャプチャスーツ

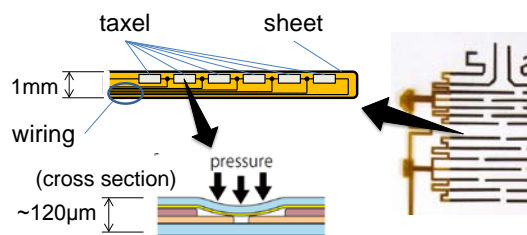


図2：任意曲面に実装可能な触覚センサ

また、ドライバはハンドルや方向指示器などの手指による機器の操作を常に行っておりこの触覚情報を含めた運動を計測することは重要である。しかしながら上記のモーションキャプチャスーツだけでは、手指については計測できていないために、本研究ではさらに手指に実装可能な柔軟小型の触覚センサエレメントを提案し実現した。先行研究として半導体技術を応用した高感度・高分解能なものが提案されているが、ここでは柔軟性を特に重視するため、フレキシブル基板上に触覚センサを実装することとした。フレキシブル基板はポリイミドフィルムの耐久性、耐熱性、寸法安定性により、ファインピッチの配線が可能な柔軟配線基板である。これまでにPETフィルムと印刷技術を用いた分布圧力センサが実用化されているが、高分解能のために用いられているマトリクス配線は、形状が平板となり曲面実装に向かない、抵抗体を上下から挟み込む構造のため厚く、屈曲による圧力変化に敏感であるという問題があった。これに対し、我々はモジュール化により任意曲面に実装可能な触覚センサを提案した。通信機能、エレメント切断、曲面適応により、任意曲面の任意領域に実装可能とする技術であるが、センサエレメントのサイズやセンサを半田づけすることで耐久性、柔軟性を損なう点が問題であった。そこで、新たにラミネートによって小型・薄型の複数の柔軟触覚センサを一括で製作する方法を提案し、細帯状の基板に高分解能で実装することで、図2に示すような人の手につける触覚センサ基板を実現した。この際、既存プロセスや装置で製作可能とすることを目標とした。

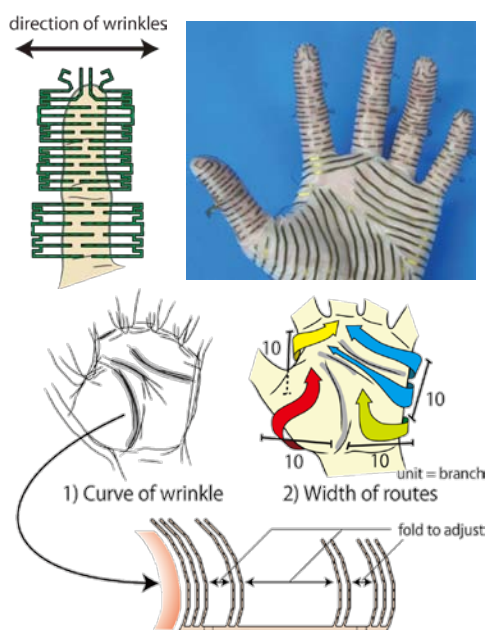


図 3：触覚計測グローブ

制作した柔軟で高密度の触覚センサを用いて手指の触覚情報を計測可能なセンサグローブを作成した。このセンサグローブを実現するには、上記の全身触覚モーションキャプチャスーツと比較して手指は高い自由度と高い触覚性能をもつため、その自然な接触動作計測は極めて困難である。関連する接触計測グローブの従来研究としては、機械式スイッチを用いたものや、感圧導電ゴムシートを用いたもの、ハンド用圧力分布センサなどがある。しかし、センサ素子が固い、グローブが分厚い、面状のセンサシートに伸縮性がないなどの理由から、いずれにおいても装着者が外界をあまり触知できず、自然な触覚フィードバックが観察できない。また伸縮性のないセンサシートを用いると、関節付近に無視できない不感帯ができてしまうという問題がある。そこで本研究では、人間の日常生活の計測・解析が可能なレベルを目指して、手の皮膚に追従しながら高い接触センシング性能を実現した新しい触覚センサグローブの構成法を提案した。具体的には、グローブ装着時の手指の可動性を確保するための枝状触覚センサシート的设计法、およびセンサの耐久性確保と装着者の触感性を両立するための柔軟グローブ外装構築法を示した。グローブの構成を図3に示す。センサシートは柔軟なグローブ外装に封入し、着脱可能な耐久性を確保した。

センシング領域としては、物体操作に利用される頻度の少ないと考えられる手の背面を除くこととした。計測回路は、他の部位の接触計測と干渉しないよう手の甲に収め、かつ運動を妨げないようにフラットに配置した。実験により、シート形状の工夫による可動性の明らかな向上が定量的に確かめられた。最後に提案したグローブによる初期的な計測データを示した。

3-2. 環境情報の理解

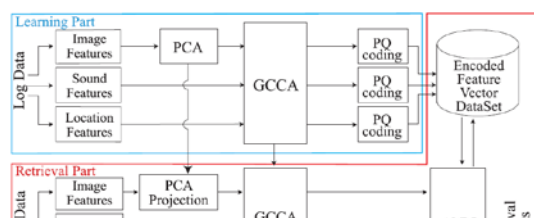


図 4：マルチモーダルデータを扱える高速なデータ検索手法

本課題の目標は、視触覚を含むドライバが受け取っているマルチモーダルデータのログから効率的に類似データ検索する、大規模化に対応できるスケーラビリティをそなえたシステムの実現である。このシステムの実現により、現在の情報に意味的に最も近いデータを検索することで環境理解が可能になると考えられる。このような大規模マルチモーダルデータの検索は、環境情報の理解のみならず、情報の閲覧のための候補提示や記憶支援・生活支援などに役立つと考えられる。数年間に渡るような大規模なデータは人手によるラベル付けが困難なため、見た目の類似性ではなく内容に基づいた高速な検索ができる手法の開発は重要な問題である。そこで本研究では大規模類似画像検索における特徴量と圧縮表現をもとにし、従来手法におけるコンテンツの識別に重要な情報の圧縮時の欠損を緩和するために他のモダリティを弱教師として学習に利用する正準相関分析を用いることにより、音声および位置情報を利用したスケーラブルな類似データ検索システムを提案し（図4参照）、実験によりその有効性を示した。

3-3. 身体と環境との相互作用

身体と環境との相互作用を解明するためには、身体運動と環境との大量のデータを収集

しこれらの関係性を解析する必要がある。収集したデータは一般的に膨大かつ多様であるが、この蓄えられたデータを適切に利用するために、相互作用解明の観点からデータの性質やデータ間の関係性を理解することが求められている。特に時系列データの解析では、データの変動を予測・制御するために、データ間の因果関係を発見することが必要とされている。時系列データ間の因果性を解析する場合、因果指標と呼ばれる時系列データ間の因果性を定量化するための手法を用いている研究と、2つの時系列データを時間方向にずらしてから相関係数などで相関の強さを測っている研究がある。本研究ではまず、それぞれの手法の定性的な相違や関係性について、情報理論や統計学の知識を用いて議論・解釈を行った。次に、従来から様々な因果指標が提案されてきたが、多次元時系列にも適用可能な因果指標を情報理論に基づいて統一的に定式化した。もっとも単純な線形な因果性を定量化する指標の定式化を行い、その定式化を基に非線形拡張を行った指標の定式化を行った。これによって、従来から提案されてきた様々な因果指標を情報理論に基づいたエントロピーの形で表現できるようになった。そして、解釈および定式化を行った因果指標について、人工データを用いた実験によって因果性を測る因果指標と相関性を測る指標が持つ性質を検証した。さらに、因果指標の実データへの適用実験によって、因果指標の実用性を示した。

4. 今後の課題と発展

今後は本研究課題で開発した要素技術を統合したマルチモーダルセンサスーツを用いた運転行動計測と、ドライバの意図推定による危険予知などの運転行動支援を開発する予定である。

5. 発表論文リスト

- [1] Takashi Sagisaka, Yoshiyuki Ohmura, Yasuo Kuniyoshi, Akihiko Nagakubo and Kazuyuki Ozaki. Development and applications of High-Density Tactile Sensing Glove, EuroHaptics2012, pp.445-456, 2012.
- [2] 大村吉幸, 國吉康夫. 分布姿勢センサによる手の運動計測システム, 日本ロボット学会第30回記念学術講演会, 3L1-3, 2012.
- [3] 金崎朝子, 稲葉翔, 牛久祥孝, 山下裕也, 村岡宏是, 原田達也, 國吉康夫. 大規模画像データセットを用いたマルチクラス物体検出器の同時学習 物体毎に特化した負例クラスの導入, パターン認識・メディア理解研究会 (PRMU), pp.105-112, 2012.
- [4] Takashi Shibuya, Tatsuya Harada and Yasuo Kuniyoshi. Reliable index for measuring information flow, Physical Review E, Vol.84, No.6, pp.061109, 2011.
- [5] 鷺坂隆志, 大村吉幸, 國吉康夫, 森平智久. 手探りによる複数物体からの目標物探索, 第16回ロボティクスシンポジウム, pp.347-352, 2011.
- [6] Takashi Sagisaka, Yoshiyuki Ohmura, Akihiko Nagakubo, Yasuo Kuniyoshi. High-density conformable tactile sensing glove, 11th IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots (Humanoids2011), pp.537-542, 2011.
- [7] Jun Imura, Teppei Fujisawa, Tatsuya Harada, Yasuo Kuniyoshi. Efficient Multi-modal Retrieval in Conceptual Space, ACM Multimedia 2011, pp.1085-1088, 2011.
- [8] 大村吉幸, 鷺坂隆志, 長久保晶彦, 國吉康夫, 尾崎和行. フレキシブル基板に埋め込まれた小型・柔軟触覚センサ, 第29回日本ロボット学会学術講演会, 3L2-2, 2011.
- [9] 鷺坂隆志, 大村吉幸, 長久保晶彦, 國吉康夫, 尾崎和行. 皮膚の変形に追従する高密度触覚センサグローブの開発, 第29回日本ロボット学会学術講演会, 3L2-3, 2011.
- [10] 渋谷崇, 原田達也, 國吉康夫. 因果指標のベイズ理論に基づく統一的な安定指式化, 情報処理学会第72回全国大会, pp.389-390, 2010.