

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26330295

研究課題名(和文) 能動的な実環境相互作用循環に基づく人Contextの推定

研究課題名(英文) Estimation of Pedestrian Context based on Interaction of circulation with active real environment

研究代表者

湧田 雄基 (Wakuda, Yuki)

東京大学・大学院情報学環・特任助教

研究者番号：00377847

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人の状況や行動をContextと呼ぶこととし、歩行者の移動を対象課題として、人のContext推定について取り組んだ。人の動作(歩行、階段昇降、匍匐前進、障害物の乗り越え動作)を観測したセンサデータを元に、これらの各動作の推定を行い、人の行動を示す情報の連鎖をContextとして推定した。提案手法については、実験により、人の動作を三軸加速度・三軸角速度・三軸地磁気・気圧のデータを1kHzサンプリングにて取得したデータを用い、評価を行った。また、Contextの遷移をモデリングすることで、次の行動およびその進行方向や移動先を推定する人のIntent(意図)を推定するモデルを構築した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we call human's situation and actions as Context, and with regard to the movement of pedestrians as a subject, This research tackled human's Context estimation. Based on the sensor data that observed human motion (walking, stair climbing up and down, forward traveling, overtaking of obstacles), It is estimated each of these motions and estimate the chain of information indicating human behavior as Context. With respect to the proposed method, experiments have been conducted by using experimental data on data obtained from 1-kHz sampling of 3-axis acceleration, triaxial angular velocity, triaxial geomagnetism, and pressure data for human motion. Moreover, by modeling the transition of Context, this research built a model that estimates the next action and the Intention of the person who estimates the direction and destination of movement.

研究分野：ユビキタスコンピューティング

キーワード：学習 概念獲得 コンテキストウェア モデリング 測位 ナビゲーション

1. 研究開始当初の背景

申請者は、人の Context を認識し、Context に応じたナビゲーションサービス（歩行者のナビゲーションや場所情報提示等）を提供するシステム構築に関する研究を行ってきた。

また、申請者は、人の Context 認識手法の一つとして、映像によって観測したシーンを様々なセンサ等の情報から、「何が(主体)」、「何を(相互作用対象)」、「どうしている(行為)」といった SVO 構造に似たシンプルな抽象概念構造（以降、Context トリプルと呼ぶ）でシーンを解釈・表現する研究を行ってきた。この概念構造は、Cognitive Ontology（コグニティブオントロジ）と呼んでおり、これまでの研究で、ロボットビジョンを用いた映像シーンアナリシスによる静的シーンの解釈/表現/記述を実現したほか、現在の Context から次の Context に遷移する動的シーンを認識し、実環境の中で動作して映像を集めながら概念構造を構築する研究を行った。

一方、多量のデータを集約し取り扱える時代となり、世間ではビッグデータという用語を目にする時代になったが、実はビッグデータから特定のルールを動的に抽出するといった研究は発展途上で、まだ十分に為されておらず、ビッグデータからいかに情報を取り出し、動的に実生活に活用するかといった課題は非常に注目されている分野であった。

この難しさは、情報の量の大きさによって、処理側のシステムがスケールする設計/実装とする必要がある事のほか、実環境から得た情報を数量化（記号化）する事であった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、人が置かれている状況や行動（以降、Context という）を精度よく認識し適切な生活支援を行う実用的な自動機械を実現することである。具体的には、人を観測した多次元の時系列センサデータを取得/処理し、あいまい性を含む時系列情報群の中から記号化されたルールを抽出した上で Context の因果関係（以降、因果律という）を学習し、人の生活支援に役立てる技術を実現することである。

前述の目的達成のための主要な研究課題として、「Context の認識と抽象的記述方法」、「あいまい性を含むデータ群から学習（因果律を見つけ出し構造化して蓄積）する方法」、「実環境とのインタラクションによって学習を効率化する方法」の3つがある。これらの課題解決において、Context の抽象的記述および因果律の構造化については、申請者の従来研究を応用した設計/実装を行った。

本研究実施により実環境とのインタラクションによって Context 認識を行う機械を構築し、「Context 観測～Context 推定～因果律構築」のループを通じて多次元データからルールを抽出するシステムの構築と評価を行った。また、研究成果を具体的なアプリ

ケーションに落とし込み、研究成果の実用性検証・精度評価を行うことで、概念獲得及びユーザインタフェースに関する知見獲得を目指した。

3. 研究の方法

前述の研究目的を達成するため、本研究では、次に挙げる1～5の5つの研究課題に分け、平成26～29年度において計画的に研究を進める。また、これらの研究課題によって実現するシステムを実装し、センサ及びサーバと連携させて動作させることで、具体的なアプリケーションに基づいた実用性実証及び評価として、研究課題6に取り組んだ。

[研究課題1] 人の Context の推定と Context トリプルによる自動記述

[研究課題2] 環境知識の構築

[研究課題3] Causality の構築

[研究課題4] 注意対象コントロールによる次の Context 推定

[研究課題5] Service の提供による実環境インタラクションと人の Intent の推定

4. 研究成果

平成26年度では、人 Context の推定手段として、「センサデータ統合インタフェースサーバの設計と構築」を行い、年度上期にて、人の観測を行うセンサデータ収集環境ならびに、携帯端末操作等の情報を統合するデータベースの構築を試行した。

センサは、人に装着可能なウェアラブル型のセンサを用い、加速度、ジャイロ、地磁気、気圧等のセンシングを可能とした。また、環境側に設置するセンサとして、カメラによる映像取得を検討した。これらのモバイルネットワークを通じて Internet 経由でサーバにて集約し、

また、センサデータ処理による Context 情報の推定のため、データの処理と特徴量評価の設計と実装を検討した。過去の自身の先行研究内容をベースに、入力される時系列データの処理と特徴抽出を実装した。Context 推定は、入力時系列データパターンを統計的指標に変換し数値指標化を行った。

次に、成果の実証評価のためのデータである地理空間情報の編集環境として、QuantumGIS（以降、QGIS という）を選定し、編集環境を構築した。これにより、複数のレイヤに分割した地物データの取り込み、編集や変換が可能となった。そのほかにも、データの効率的な変換と可視化においては、Google Earth プラグインと Mathworks MATLAB を使ったデータ変換環境を構築した。

平成27年度では、主に「研究課題2 環境知識の構築」および「研究課題3 Causality の構築」に関して、研究を進めた。

環境知識の構築では、対象物の環境情報や現在の状態についてのデータ化を行った。位

置情報を利用する場合には、対象物の環境情報についての計測値等を GIS データとして作成するとともに、対象物との距離や包含関係を評価するためのデータ加工および GIS 演算機能を作成した。Causality の構築に関しては、事象間の因果関係（厳密には、相関関係を含む）を推定するためのモデル構築を検討し、コンテキスト情報及び環境情報のデータを入力データとした場合の Context 推定エンジンの構築と評価を行った。

コンテキスト情報としては、表形式データに加え、画像データを統計量に変換し、これを表形式に変換したデータを入力として用いた。

この場合、コンテキストデータは、数量ではなく質的データとなる場合を含む。従って場合に、特徴量によりカテゴリ化され文字列で表現されたカテゴリカルデータ（非数量データ）を扱うために、データの数量化を行い機械学習に取り込むための機能開発を行った。これにより、数量データとカテゴリカルデータを含むデータに対する推定エンジン構築と評価を行った。推定においては、決定木、SVM（Support Vector Machine）、重回帰分析を用い、推定精度の比較評価を行った。

各手法の学習と評価においては、n-fold Cross Validation（n=5）を用いた。

対象課題については、構造物の状態を観測したセンサデータおよび画像データを用い、これを表形式に独自に整形したデータを用いた。元データについては、CAD 形式（DWG 形式）のデータも含まれていたため、これを DXF のテキスト形式に変換した上で、含まれる状態量を抽出し、表形式のデータとなるよう整形を行った。

抽出においては、対象構造物の面を 1m 四方サイズのメッシュに区分し、各データが含まれるか否かにより 2 値のフラグデータテーブルを作成する手法を適用した。

なお、SVM のハイパーパラメータとしては、分類誤りのコスト c と決定境界の複雑さを決定する γ との 2 つの調整を行った。評価基準値は、AUROC（Area under ROC curve: ROC 曲線の下部面積）とし、探索範囲を $c=2^{-10} \sim 2^{14}$ 、 $\gamma=2^{-10} \sim 2^{14}$ とするグリッドサーチを行った。

学習結果により得られる推定器の性能評価では、AUROC と Precision, Recall を評価指標として用いた。Precision, Recall 算出における判別閾値決定については、TPR（True Positive Rate）0.8 となる値を閾値として選定した。

このときの分析手法毎の性能評価結果を Table 1 に示す。今回の結果では、二次モデルによる判別分析が AUROC において最も良い結果を示している。

また、ROC 曲線の例として、判別分析（二次）の場合の結果を図 1 に示す。

表 1 評価性能の比較結果

Method	AUROC	Precision	Recall
Discriminant analysis(Linear)	0.685	0.224	0.771
Discriminant analysis(Quad.)	0.686	0.232	0.747
Decision Tree	0.563	0.170	0.666
SVM	0.629	0.188	0.798

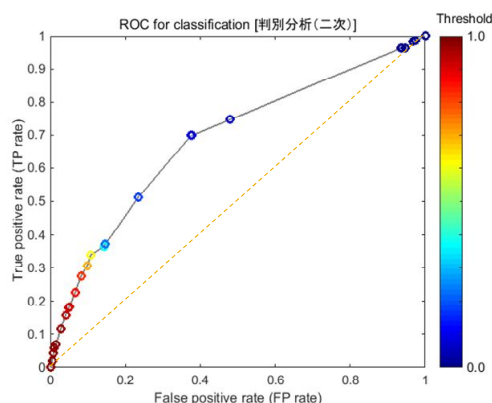


図 1 判別分析（二次）結果における ROC 曲線の評価結果

平成 28 年度で、主に「Causality の構築」および「Context 推定」についての研究を進めた。これらの研究推進に於いては、実験にて獲得したデータを対象に、センサデータパターンによる事象の表現と、事象間の遷移モデルによる Causality の構築を実施した。

実験では、8 人の被験者を対象に、人の動作を計測するためのセンサ（三軸角速度、三軸加速度、三軸地磁気、気圧）を脚部に装着し、複数の動作（歩行、階段昇降、匍匐前進、障害物の乗り越え動作）を実施し、その際のセンサデータを取得した。取得したデータに対し、動作の判定を行い、正解データ値を付与するとともに、Context の推定適用による評価を行った。Context 推定処理として、センサ信号より、統計量（平均、分散等）やフィルタ処理による特徴量抽出を行った上で入力とし、判別分析、SVM、決定木分析を適用した。学習により、観測データからの Context 抽出を行い、Causality DB に対する登録を行った。

次に、入力されるデータに基づき、Context 遷移の推定を行い、次のデータパタンの処理対象を絞り込むことで、処理対象領域の絞り込み機構（注意機構）を適用した。提案時研究計画内容において、H27 年度後半～H28 年度で予定していた「Context の推定」および「Intent の推定」に関して、H28 年度に実施した類似研究調査をふまえ、当初予定

していなかった推定等に用いるデータモデリング手法の拡充と改修（非線形型の手法への対応）等を行ったほか、評価のためのシステム構成や実装に関する変更を行った。

平成 29 年度では、センサデータおよび画像データの処理による Context 認識について、研究を進めた。一つには、歩行者行動の認識に関する応用実験の評価について研究を進めた。

人の動作（歩行、階段昇降、匍匐前進、障害物の乗り越え動作）をセンサにより観測し、その際の実験結果のセンサデータを対象に、これらの各動作の推定のため、データ中の特徴量抽出の前処理および動作モデル構築を行った。センサデータについては、三軸加速度・三軸角速度・三軸地磁気・気圧のデータを 1kHz サンプリングにて取得したデータを用いた。

ここで、時系列信号を用いた行動や状態（Context）の推定に関するモデリング手法には、センサ信号の統計量（平均、分散等）やフィルタ処理による特徴量抽出を行った上で入力とし、平成 28 年度と同様に、線形標準判別分析、SVM、決定木分析を適用したほか、平成 29 年度に新たに深層学習の適用を試行した。もう一つには、前述の深層学習の結果をふまえ、画像データを対象とし、CNN（Convolutional Neural Networks）を適用したパタン認識による対象状態の認識についての試行を行った。この試行では、本研究の主たる成果の展開として、UAV（Unmanned aerial vehicle）で撮影した画像を対象とした状態認識を試行した。

この処理プロセスについて、図 2 に示す。

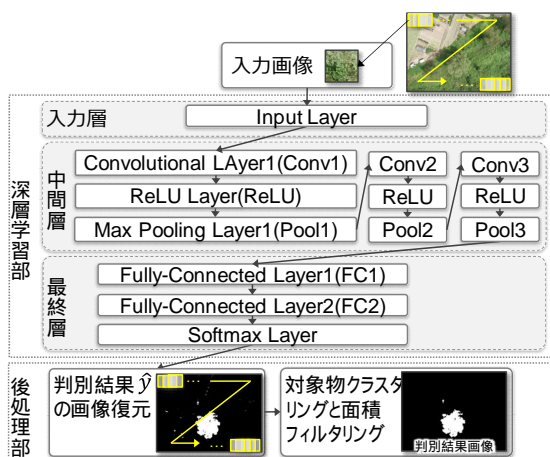


図 2 画像データを対象とした CNN 処理のプロセス

なお、試行において用いた CNN のレイヤ構成は次のとおりである。

表 2 試行した CNN のレイヤ構成

Layer	Type	Size	Number of filters	Filter Size	Stride	Padding	With ReLU
Input	Input Layer	100×100×3	-	-	-	-	-
Conv1	Convolutional	96×96×3	32	5×5	1	2	Yes
Pool1	Maxpooling	47×47×47	-	3×3	2	-	-
Conv2	Convolutional	43×43×3	32	5×5	1	2	Yes
Pool2	Maxpooling	20×20×3	-	3×3	2	-	-
Conv3	Convolutional	16×16×3	64	5×5	1	-	-
Pool3	Maxpooling	7×7×3	-	3×3	2	2	Yes
FC1	Fully connected	64	-	-	-	-	Yes
FC2	Fully connected	2	-	-	-	-	-
Softmax	Softmax	-	-	-	-	-	-

また、性能評価結果に関しては、表 3 のとおりであった。

表 3 画像判別の性能評価結果

全画像に対する統計量	Precision	Recall	F 値
全画像平均	0.579	0.830	0.672
全画像最高	0.863	0.932	0.893
全画像最低	0.220	0.520	0.339
全画像標準偏差	0.167	0.109	0.147

以上のとおり構築した手法を組み込み、対象物の状態となる Context を識別するモデルの構築を行った。また、この Context の連なりをモデル化し、これを歩行者等の行動・状態の変遷の推定を行った。これにより、観測対象とする状態の変遷のモデル化を試行した。

具体の応用例として、歩行者移動をターゲットとした実験データを用い、次の行動および次の移動先位置を推定する意図の推定とその評価を実施した。

以上の研究実施全期間の結果に基づき、アプリケーションとして歩行者の行動・位置認識と、環境状態のパターン認識、構造物の状態変化を取扱い、データ分析により、状態および状態の変遷についてモデル化する手法に基づいて、予測モデルの構築に関する知見を得たほか、技術の応用展開としてセンサデータ処理や画像データ処理の手法を活用し、UAV による撮影画像データへの適用等について、環境状態認識の適用に関する試行結果の知見を得た。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

[1] 齋藤正徳, 湧田雄基, 市川健, 天谷香織, 那須野新, 大石哲也, 池内幸司, and 石川雄章, "UAV 及び深層学習を用いた植生の自動判別による河道維持管理手法の開発." 土木学会論文集 B1(水工学), 74(4), I_829-I_834, 2018. 【査読有り】

〔学会発表〕(計 1 件)

[1] 湧田 雄基, 木村 信隆, 小林 克久, 市川 暢之, 広瀬 剛, 長内 圭太, 松坂 敏博, 石川 雄章, “点検データ分析による高速道路床版の変状状態推定”, 電子情報通信学会, 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア(CVIM), (15), 1-2., 2015.

〔図書〕(計0件)

なし

〔産業財産権〕

なし

出願状況(計0件)

なし

取得状況(計0件)

なし

〔その他〕

なし

6. 研究組織

(1)研究代表者

湧田 雄基 (Wakuda, Yuki)

東京大学・大学院情報学環・特任助教

研究者番号: 00377847

(2)研究分担者

なし

(3)連携研究者

なし

(4)研究協力者

なし