

「先進的統合センシング技術」  
平成 18 年度採択研究代表者

戸辺 義人

東京電機大学未来科学部・教授

実世界検索に向けたネットワークセンシング基盤ソフトウェア OSOITE

## 1. 研究実施の概要

平成 20 年度は、実世界検索を実現するためのネットワークセンシング基盤ソフトウェアを構築に当たり、前年度までに確立した基本枠組みを元に研究開発を進めた。異種センサデータを統合するための内部データ構造、実世界検索入力インタフェース、センサインタフェース記述言語を開発した。微気象観測実験を本格的に進めるための準備として、センサノードの実装方法、無線特性を詳細に調査し、共同実験を進める自治体の実験プラットフォームを基本設計を行った。実世界検索のためのアプリケーションフレームワークとして快適ナビゲーションのアルゴリズムを開発し、携帯電話上で動作可能とする仕組みを完成させた。オーバレイネットワークで利用可能なデータベース管理システムとして TomuDB は、前年度に引き続き開発を進め、高速ドリルダウンクエリを可能とした。外部データベースとの連携の試みとして、Web からイベント地域情報を抽出する仕組みの検討を始めた。不審者検出情報生成に関わる物理センシングシステムの開発に関しては、これまでに不審者検出のために有効な手法として提案した差分ステレオ（以前は運動領域型小型ステレオカメラシステムと呼称）に関して、(a)PC レスで利用可能なカメラシステムの開発（現在製作中）、ならびに (b)差分ステレオを用いた移動人物検出アルゴリズムの開発を行った。(b)に関しては、10 名程度の人物の 3 次元運動のトラッキングを実現し、さらに個々の人物の分離が不可能な数十名から人物群に対するおおまかな人数の推定手法を構築した。安全・安心アプリケーションの Web API も定め、平成 21 年度の具体的な実証実験へと展開していく予定である。

## 2. 研究実施内容（文中にある参照番号は 4.(1)に対応する）

前年度に引き続き、実世界検索アーキテクチャ<sup>[4][11]</sup>を具現化するために、DBSN(データベースセンサネットワーク)、実空間安全・安心コンテキストのリアルタイム抽出、実世界検索アプリケーションフレームワーク、不審者検出情報生成に関わる物理センシングの技術要素に展開し、個々の技術要素開発を進めた。以下、各技術要素毎に、平成 20 年度の研究実施内容を述べる。

「東京電機大学グループ:DBSN オーバーレイネットワークプロトコルの設計」では、DBSN に関しては、TomuDB<sup>[5]</sup> を完成させ、分散ノード間で、空間解像度・時間解像度に応じたドリルダウンクエリを実現し、ソフトウェアの連携についてもプロトタイプを作成した<sup>[22]</sup>。発せられたクエリの要求する解像度に応じて、クエリがノード間で転送され、所望のセンサデータを応答として得ることが可能となった。今年度はレーザレンジファインダを用いて人の動きを取得する手法も検討した<sup>[20]</sup>。レーザレンジファインダのように向きを伴うセンサに対して、I-Tree というデータ構造を新たに開発することにより、ドリルダウンクエリを行う。また、TomuDB を実空間へ適用するに当たり、微気象観測から着手した。前年度より、メッシュの細かいネットワークにより微気象データを採取し、微気象と都市環境との相関を求めた<sup>[10][14]</sup>。

今年度新たに取り組み始めたのは Human Probe である。従来の考え方では、センサはインフラに設置するというものであったのに対し、Human Probe では、街中を歩行する「人」そのものがセンサとなり情報を発信する。今年度は予備的な実験をするに留まったが、次年度、本格的な展開へと結びつける予定である。

さらに、統合センシングデータベース構築方法について検討を開始した。平成 20 年度は全体の構成方法について検討をし、平成 21 年度以降、詳細設計を行っていく。

「東京大学グループ:実世界検索のための DBSN データベースアーキテクチャの構築」では、平成 20 年度は、都市において観測される異種センサデータの検索、統合手法に関する研究・開発を進めた。具体的には、気象データ、画像データ、音声データなど多種多様なセンサデータを統合管理するために、センサの観測領域と指向性を考慮した階層型データ構造を提案した。提案手法により、ユーザの要求に応じて、直接的かつ効率的に問合せ処理を実行することができる。一方、リアルタイムで変動するセンサデータを分散的に共有するために、P2P ネットワークを利用し、その検索とデータ更新の負荷を低減する手法を提案した<sup>[18]</sup>。また、センサデータの利用者が、センシングされた地理的位置に近い場所から検索される場合が多いと考えられるが、このような場合に適したセンサデータの格納方法・クエリ処理の方法を開発した<sup>[19]</sup>。さらに、都市の構造を考慮したデータの検索、統合、視覚化においては、観測点であるセンサノードの地理的な位置情報が不可欠である。このため、センサネットワークに位置情報を与える「ローカライゼーション」について様々な方式の検討を行った。具体的には、ノード間のホップ数に基づいたローカライゼーション手法<sup>[3],[8]</sup>、3次元空間に適した改良型重心法<sup>[12]</sup>、ノードにモビリティがある場合に有効な手法<sup>[16]</sup>等を開発した。Web には多くの情報が埋蔵され、地名に関する情報も同様である。しかし、Web での文書は書物や新聞のような完成度の高い文ではなく、ブログや掲示板などは口語調に近く、一つの文書だけではまとまった地名に関する情報を得る可能性が低い。そこで複数の Web 文書から地名に関する言い回しや、同じ Web 文書に書かれる互いに近い地名などを学習し、地名に関する情報を効率的に取得するアルゴリズム<sup>[15]</sup> を確立した。

研究課題「実空間安全・安心コンテキストのリアルタイム抽出(慶應大学担当)」では、研究開発計画の第 2 期(平成 20 年 4 月～平成 23 年 3 月)の目標を「高次コンテキスト抽出アルゴリズムの精緻化と実用化」とし、その初年度にあたる平成 20 年度は、以下の 2 つを研究実施項目として設定した。

(a) 群行動コンテキスト抽出アルゴリズムの開発

(b) パーソナルコンテキストを考慮した DBSN 問合せモデルの開発

「(a) 群行動コンテキスト抽出アルゴリズムの開発」でのゴールは、人(群れ)の移動情報に着目、実空間に設置された物理層センシングデバイスで取得される各種の低次データや、DBSN から取得可能な低次コンテキスト情報から、不審者の存在や不穏な状況等、エリアコンテキストに直接結びつく高次の群行動コンテキストをリアルタイムかつ効率的に抽出することにある。物理層センシングデバイスとして、平成 19 年度より継続して中央大学・梅田教授らのグループと共同開発中の「運動領域注視型ステレオカメラシステム」やレーザレンジファインダ等の人流センサを利用することを想定し、低次データのデータフォーマットを策定した。これらの低次データを効率的かつ相互補完的に利用することで、広範囲における複数人の三次元空間的な移動を連続的に観測可能とし、既存研究に見られる「単なる異常の検知」ではなく、人流、群流、群行動という新たな視点からの高次コンテキスト抽出を議論した。具体的には、街角の歩行者数が増加するに従い、計算量の問題から高次コンテキストのリアルタイム抽出は難しくなるため、前段で監視エリアの動的絞り込み(局所化)、監視エリアの優先順位付け等を行う多段推論機構を導入した<sup>[2]</sup>。同機構の後段では、昨年度より継続開発中の「TDBN: Timed Dynamic Bayesian Network」モデルを適用し、プロトタイプ構築、実時間確率推論アルゴリズムの有用性を検証した<sup>[17]</sup>。

「(b) パーソナルコンテキストを考慮した DBSN 問合せモデルの開発」では、昨年度からの継続課題として、実世界コンテキスト抽出の指標として利用されるパーソナルコンテキストの抽出アルゴリズムの精緻化と、パーソナルコンテキストを利用したユーザ指向型実世界コンテキスト抽出手法の詳細化を行った。本年度は、昨年度開発したプロトタイプを発展させ、ユーザが持つ情報端末上でユーザが身につけたセンサデータ(GPS 等による位置情報、生体センサによるバイタル情報、動きセンサによるアクティビティ情報を想定)を収集し、気分等の心理状態を含むパーソナルコンテキストを随時抽出するモジュールを開発した。併せて、このパーソナルコンテキストを実世界コンテキスト抽出の一次データとして活用するための手法として、ユーザがエリアコンテキストを要求する際に DBSN リクエスト側でユーザコンテキストをクエリに埋め込むことのできる問合せモデルの基礎的検討を行った。この発展形として DP(Dynamic Programming)を用いた検討も進めている<sup>[21]</sup>。

研究課題「不審者検出情報生成に関わる物理センシングシステムの開発(中央大学担当)」に関しては、(a)差分ステレオカメラシステム(以前は運動領域型小型ステレオカメラシステム<sup>[17]</sup>と呼称)の開発ならびに(b)ステレオカメラによる移動人物検出アルゴリズム<sup>[6][13]</sup>の開発を行った。(a)に関しては、我々が提案している差分ステレオアルゴリズムを、FPGA を用いて PC レスで実現するカメラシステムを製作した。また、(b)に関して、今年度は十分な成果を挙げる事ができた。まず、差分ステレオアルゴリズムにより、10 名程度の歩行者がいるシーンからそれぞれの歩行者を抽出し、カルマンフィルタでトラッキングして各々の人物の 3 次元運動を計測することに成功した(図 1 参照)。人物が交差などしてもトラッキングを続けられること、また通常の監視カメラでは不可能な横からの視点からでも 3 次元運動のトラッキングを行うことができることを示した。さらに、個々の人物の分離が不可能な数十名から人物群に対して、面積情報を用いておおまかな人数を推定

可能であることを示した（図 2 参照）。

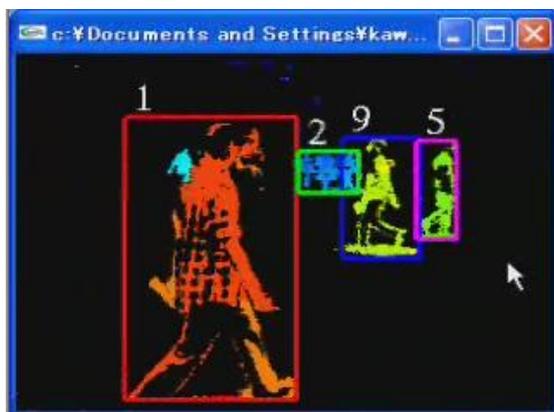


図 1 カルマンフィルタを用いた差分ステレオによる複数人物トラッキング  
(数字は人物の ID を示す。また、領域の色は距離情報を示す。)

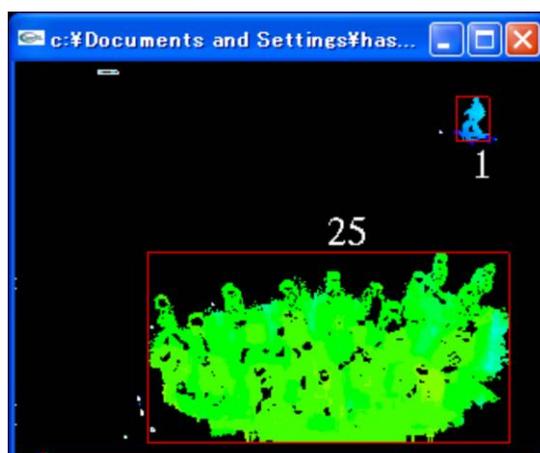


図 2 差分ステレオによる人物群の人数推定 (数字は推定された人数を示す。)

研究課題「実世界アプリケーションフレームワークの研究開発(フィックスターズ担当)」では、ネットワークセンシング基盤ソフトウェア OSOITE の実世界検索 API、およびセンサデータを利用したアプリケーションを開発するための「フレームワーク」の研究開発、および開発したフレームワークを用いて「安心・安全アプリケーション」を開発し、都市センシングによる安心・安全を提供する基盤研究開発を目的としている。本年度は、アプリケーションフレームワークの開発と熱中症アラートアプリケーションの開発を行った。街中のセンサデータを利用することを想定しており、携帯電話で動作可能なアプリケーションを開発するうえで必要となるデータベース操作、地図情報取得などの API を実装した<sup>[1]</sup>。このフレームワークを用いて熱中症アラートアプリケーションを開発した。ユーザが出発地と目的地を入力することで地図情報を取得し、その地域のセンサデータと道路情報から最適経路計算を行いユーザに快適な経路情報を提供することが可能となった。また、安心・安全アプリケーションの情報源のひとつと考えられる Web 上のブログから情報検索するためのアプリケ

ーション開発を行った。ブログの記事をもとに言語解析を行い、その結果から教師あり機械学習を用いて検索情報を学習し、多々存在するブログの記事判別の土台となるアプリケーションを開発した。

### 3. 研究実施体制

#### (1)「東京電機大学」グループ

① 研究分担グループ長: 戸辺 義人(東京電機大学 教授)

② 研究項目

(a) DBSN オーバレイプロトコルの設計

(b) DBSN プロトタイプの構築

#### (2)「東京大学」グループ

① 研究分担グループ長: 白石 陽(東京大学 助教)

② 研究項目

実世界検索のための DBSN データベースアーキテクチャの構築

#### (3)「慶應義塾大学」グループ

① 研究分担グループ長: 高汐 一紀(慶應義塾大学 准教授)

② 研究項目

(a) 群行動コンテキスト抽出アルゴリズムの開発

(b) パーソナルコンテキストを考慮した DBSN 問合せモデルの開発

#### (4)「中央大学」グループ

① 研究分担グループ長: 梅田 和昇(中央大学 教授)

② 研究項目

不審者検出情報生成に関わる物理センシングシステムの開発

#### (5)「フィックスターズ」グループ

① 研究分担グループ長: 田村 陽介(株式会社フィックスターズ 取締役)

② 研究項目

・実世界検索 API を利用したアプリケーション開発のための「フレームワーク」の研究開発

・フレームワークを用いた「安心・安全アプリケーション」の開発

### 4. 研究成果の発表等

#### (1) 論文発表 (原著論文)

1. Tatsuro Endo, Ayumi Banno and Yosuke Tamura: Research of Sensor Networks by Utilizing Web API - Urban Navigation System with Data of Sensor Networks

- , International Conference on Networked Sensing Systems (INSS 2008), June 2008
2. Kei Suzuki, Kazunori Takashio, Hideyuki Tokuda, Masaki Wada, Yusuke Matsuki, Kazunori Umeda, "Toward Real-Time Extraction of Pedestrian Contexts with Stereo Camera", Fifth International Conference on Networked Sensing Systems (INSS 2008), Kanazawa Japan, June 2008.
  3. Hongyang Chen, Kaoru Sezaki, Ping Deng, and H.C.So, "An improved DV-hop localization algorithm for wireless sensor networks," The Conference on Industrial Electronics and Applications (ICIEA 2008), pp.1557-1561, Singapore, June 2008.
  4. Niwat Thepvilojanapong, Masayuki Iwai, Koichi Yamada, Yoh Shiraishi, Kazunori Takashio, Kazunori Umeda, Yosuke Tamura, and Yoshito Tobe, "OSOITE: Towards Real-World Search," The 17th IASTED International Conference on Applied Simulation and Modelling (ASM 2008), Corfu, Greece, June 2008.
  5. Niwat Thepvilojanapong and Yoshito Tobe, "TomuDB: Heterogeneous and multi-resolution database for urban sensor information," GeoWeb 2008 Conference, Vancouver, Canada, July 2008.
  6. Yuuki Hashimoto, Yusuke Matsuki, Tatsuya Nakanishi, Kazunori Umeda, Kei Suzuki, and Kazunori Takashio: "Detection of pedestrians using subtraction stereo", 2nd International Workshop on SensorWebs, Databases and Mining in Networked Sensing Systems (SWDMNSS 2008) (International Symposium on Applications and the Internet (SAINT 2008)), pp.165-168, Turku, Finland, July 2008.
  7. Naoya Namatame, Jin Nakazawa, Kazunori Takashio, Hideyuki Tokuda, "Life2Guard: A Physical Disorder Detection in Private Rooms", International Workshop on SensorWebs, Databases and Mining in Networked Sensing Systems (SWDMNSS) on SAINT 2008, Turku, Finland, July 2008.
  8. Hongyang Chen, Kaoru Sezaki, Ping Deng, and Hing Cheung So, "An improved DV-hop localization algorithm with reduced node location error for wireless sensor networks," IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol.E91-A, No.8, pp.2232-2236, 2008.
  9. Yasunori Yakiyama, Oru Mihirogi, Niwat Thepvilojanapong, Kazunori Umeda, and Yoshito Tobe, "SPAL: A Sensor of Physical-World Attention using Laser Scanning," The 14th IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications (RTCSA 2008), pp.20-23, Taiwan, August, 2008.
  10. Niwat Thepvilojanapong, Takahiro Ono, and Yoshito Tobe: "Time Series Analysis on Sensor Database," The 7th International Conference on ASIA GIS 2008, Busan, South Korea, September 2008.
  11. Yoh Shiraishi and Yoshito Tobe, "OSOITE: developing database architecture for urban sensing and real-world search," The 7th International Conference on ASIA GIS 2008, Busan, South Korea, September 2008.
  12. Hongyang Chen, Pei Huang, Marcelo.H.T.Martins, Hing Cheung So, and Kaoru Sezaki,

- “Novel centroid localization algorithm for three-dimensional wireless sensor networks,”  
The 4th IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and  
Mobile Computing (WiCOM 2008), October 2008
13. Tatsuya Nakanishi, Kazunori Umeda: “Mouth Motion Recognition for Intelligent Room  
Using DP Matching,” Proc. Int. Conf. on Machine Automation ICMA2008, pp.207-210,  
2008.9.
  14. Takahiro Ono, Keisuke Kanai, Hiroki Ishizuka, Niwat Thepvilojanapong, Masayuki Iwai,  
and Yoshito Tobe: “Analysis of Fine-Grained Urban Temperature Collected with A  
Sensor Network,” The 7th IEEE Conference on Sensors (IEEE SENSORS 2008),  
pp.712-715, Lecce, Italy, October 2008.
  15. 山下 長義, 森山 甲一, 栗原 聡, 沼尾 正行, “リンク構造に基づいた WWW からのトピック  
抽出”, 情報処理学会論文誌, 数理モデル化と応用, 2008 年 12 月
  16. Hong yang Chen, Marcelo.H.T.Martins, Pei Huang, Hing Cheung So, and Kaoru Sezaki,  
“Cooperative node localization for mobile sensor networks,” The IEEE/IFIP  
International Conference On Embedded and Ubiquitous Computing (EUC 2008), vol.I,  
pp.302-308, Shanghai, China, December 2008.
  17. Kazunori Umeda, Tatsuya Nakanishi, Yuuki Hashimoto, Kota Irie, and Kenji Terabayashi:  
“Subtraction Stereo -A Stereo Camera System That Focuses On Moving Regions -,”  
Proc. of SPIE Vol.7239 3D Imaging Metrology, 2009.1.
  18. 関根 理敏, 瀬崎 薫, ピアツープアネットワークにおけるデータの更新およびクエリアクセ  
スの頻度を考慮した適応的センサデータ管理法, 電子情報通信学会和文論文誌 B,  
Vol.J92-B, No.2, pp.400-412, February 2009.
  19. Tadanobu Tsunoda, and Kaoru Sezaki, “Efficient discovery technique of distributed KML  
data in mobile ad hoc network,” The 11th International Conference on Advanced  
Communication Technology (ICACT2009), Vol.1, pp.751-756, Pyeongchang county  
Gangwon-do, Korea, February 2009.
  20. Yasunori Yakiyama, Niwat Thepvilojanapong, Masayuki Iwai, Oru Mihirogi, Kazunori  
Umeda, and Yoshito Tobe, “Observing Real-World Attention by a Laser Scanner”, 情報  
処理学会論文誌コンピューティングシステム(ACS), 3 月, 2009 年.
  21. 中西達也, 寺林賢司, 梅田和昇:  
”インテリジェントルームのための DP マッチングを用いた口唇動作認識”, 電気学会論文誌  
C, Vol.129-C, No.5, 2009.5.
  22. 岩井 将行, 戸辺義人, 徳田英幸  
”A Flexible Modeling Engine enabling Inter-Service Management”  
情報処理学会論文誌特集号「柔らかなサービスを支えるインターネット技術/分散システム  
運用・管理技術」, 2009 年発行予定

(2) 特許出願

平成 20 年度 国内特許出願件数 : 0 件 (CREST 研究期間累積件数 : 2 件)