

「先進的統合センシング技術」

平成 17 年度採択研究代表者

車谷 浩一

独立行政法人 産業技術総合研究所 情報技術研究部門
マルチエージェントグループ長

安全と利便性を両立した空間見守りシステム

1. 研究実施の概要

本研究は、環境・人のセンシングによって得られるデータを統合的に解析することによって、社会の安全・安心感を提供するような情報サービスを、日常時において利便性を提供している情報通信インフラストラクチャー上において提供する「空間見守りシステム」の実現を目標とする。具体的な空間としてショッピングモール・展示会場・美術館・街角のような公共空間を想定し、センサー情報の統合的解析結果を用いて屋内空間におけるユーザの位置・移動軌跡・移動状態の推定、通常時の道案内、緊急時の避難誘導を実現する「屋内自律型ナビゲーション」システムの実現を目指す。H19 年度においては、屋内自律型ナビゲーションを実現するための基盤となる「屋内自律型測位システム」を開発し、横浜ランドマークプラザにおいて実稼働させ、動作検証を行った。

2. 研究実施内容

(文中にある参照番号は 4. (1) に対応する)

屋内自律型ナビゲーションシステムの実現に向けて、H19 年度においては以下の項目の研究開発を実施した。

1) 微弱無線センサーネットシステム ComPass

屋内空間におけるユーザの測位や環境の状態を計測するセンサーネットワークを構成するための、微弱無線を用いた低消費電力のセンサーネットシステムの研究開発。

2) スマートフォン向け屋内自律型測位システムの開発

環境内に設置された無線ビーコンデバイスから発信されるビーコン信号を受信し、ユー

ザの位置・移動軌跡を確率的に推定するシステムの研究開発，ならびにセンサー情報を統合的に処理するためのシステムの研究開発 [1] [2].

3) 人の行動・環境状態の見守りサービス

屋内自律型ナビゲーションのサポートシステムとなる，人の行動・環境状態の見守りを実現する技術の研究開発，特に携帯型のセンシングデバイスであるモバイルセンシングボックス (MSB) の研究開発 [3].

本研究では，これらの技術を統合することにより最終的には「屋内自律型ナビゲーション」を実現することを目標としているが，H19 年度においてはその基盤となる「屋内自律型測位システム」を開発し，横浜ランドマークプラザにおいて稼働させ，その動作を確認した。

屋内自律型測位システムとは，屋内に設置した無線ビーコン装置と携帯情報端末だけを用いて人の屋内での位置・移動軌跡を計測するシステムであり，その動作原理は屋内環境に設置された無線ビーコン装置からの信号を携帯情報端末の上で確率統計的に解析し，サーバーとの通信なしで高速に動作するものである。その特徴は以下の通りである。

A) 確率統計推論を用いた測位エンジン

複数の無線ビーコンの信号を確率統計推論によって処理し，屋内でのユーザ位置と時系列に沿った移動軌跡とを同時に推定する測位エンジンを開発した。確率統計推論を用いることにより，測位の精度の向上・ビーコン信号の一時的な欠落や雑音に対する信頼性の向上を図ることが可能となった。

B) 携帯電話で動作可能

測位エンジンは携帯電話に搭載された MPU 程度の情報処理能力で動作可能であり，サーバーとの通信なしに自律的に測位を実行可能である。よって通信の遅延の影響を受けない分だけ高速な測位が可能となった。

C) 混雑した環境でも動作可能

無線ビーコン信号として VHF 帯の電波を使用することにより，人が多く集まる混雑した環境でも測位の性能の低下を抑えることが可能となった。

D) 低消費電力

無線ビーコン信号は低電力の微弱無線を利用しており，無線ビーコン装置は乾電池でも動作可能な省エネルギーな設計となっている。実際，横浜ランドマークプラザに実装されたシステムのビーコン装置は乾電池を電力源として動作している。

図 1 に屋内自律型測位システムの測位結果の様子を示す。携帯情報端末の画面中央の赤丸がユーザー位置を表示したものであり，例 1 → 例 2 → 例 3 と時間の経過とともにユーザーが移動しており，計測されたユーザーの位置情報が更新されている様子が見て取れる。この画面の上部に横浜ランドマークプラザ 4 F のフロア全体図が表示されており，画面中央には，詳細図 (4 F の東側部分) が表示されている。

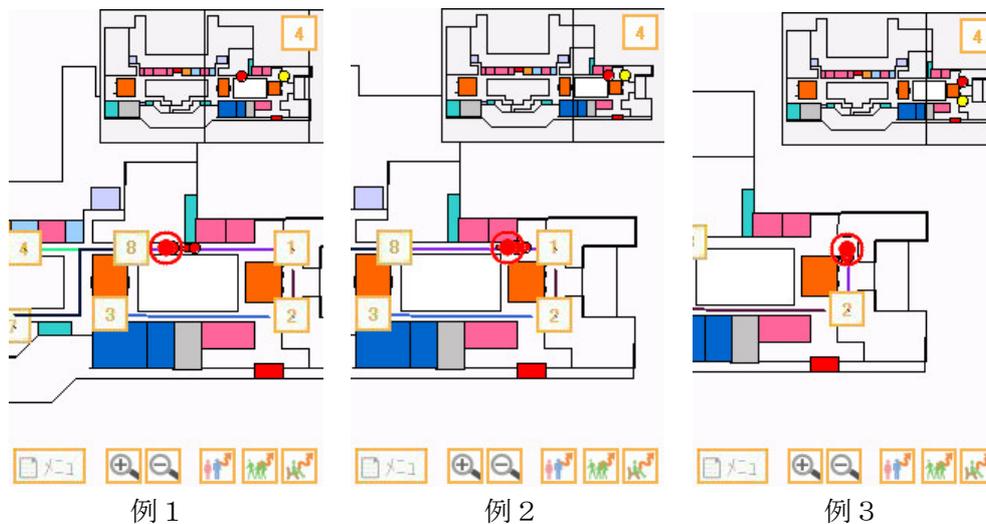


図1. 横浜ランドマークプラザにおける屋内自律型測位システムの動作結果

屋内自律型ナビゲーションシステムにおける経路生成・選択のための方法として、多くのユーザを同時に、かつ混雑をできるだけ低減させるようなアルゴリズムの研究開発を実施した。本年度は、テーマパーク問題と例として、多数の群ユーザの同時ナビゲーションに関する実用的な理論の開発へ向けて、user-in-the-loop forecasting と呼ばれるユーザ間の情報共有による混雑情報の予測・配信の仕組みに関する基礎的アルゴリズムと、その混雑情報配信を利用しダイクストラ法とローカルサーチ法を組み合わせた最適化法によるユーザのアトラクション訪問順序最適化アルゴリズムを開発した（図2）[4]。これによって、各ユーザの行動予定と未来の混雑情報予測が配信され、各ユーザが自分の満足ゆく行動を追求していると同時に、全体として混雑を減少させる方向へと挙動を誘導することが可能となった。また、どのような状況にどのような性質の混雑が発生するかといったシステム全体の性質としていくつか検討を行い、ネットワーク構造と混雑の関係について明らかにした。具体的には、現実のテーマパークを模したテーマパーク型ネットワークと、高速道路網を模したハイウェイ型ネットワークにおける混雑の発生、および開発したuser-in-the-loop forecasting の性能評価を行った[5][6]。多数の車両の同時ナビゲーションにおいて、各車両の移動予定経路の情報を共有することにより、各車両の移動効用を低下させることなく全体としての移動効率の向上を実現する「協調カーナビ」アルゴリズムの設計と解析を行った[7]。

また、テーマパーク問題に関して、ユーザの巡回行動を誘導調整するアルゴリズムの有効性を複雑系ネットワークを用いて検証を進め、コスト優先アルゴリズムの開発等を行った。さらにこれまでに、実世界における行動結果との検証がなされてきた例がないことから、動物園における来場者群の行動観察を通して、来場者行動モデルの構築を行った。具

体的には、来場者の自由巡回行動と選好優先巡回行動を GPS を用いて巡回の様子を記録にとり、自由行動に共通する巡回傾向を仮説として抽出し、現在位置から最短距離にある未訪問アトラクションを選好と待ち時間を考慮しつつ選択する行動モデルの構築を行った。この行動モデルに基づくシミュレーション結果は実世界における自由巡回結果と同様の結果を示すことが確認された (図 3)。またこのモデルは、隣接アトラクションへ移動することが優位な構造をもったテーマパーク構造に対しては選好優先アルゴリズムよりも有効であることも確認され、行動モデルが対象となるテーマパーク構造に依存し、変化しうることを示唆された [8]。

空間内において特定の種類の音声を検出し、緊急信号を発信するようなシステムの実現に向けて、ベクトル型マイクロフォンアレーを用いた特定音の自動検出システムのためのアルゴリズムを開発した [9]。

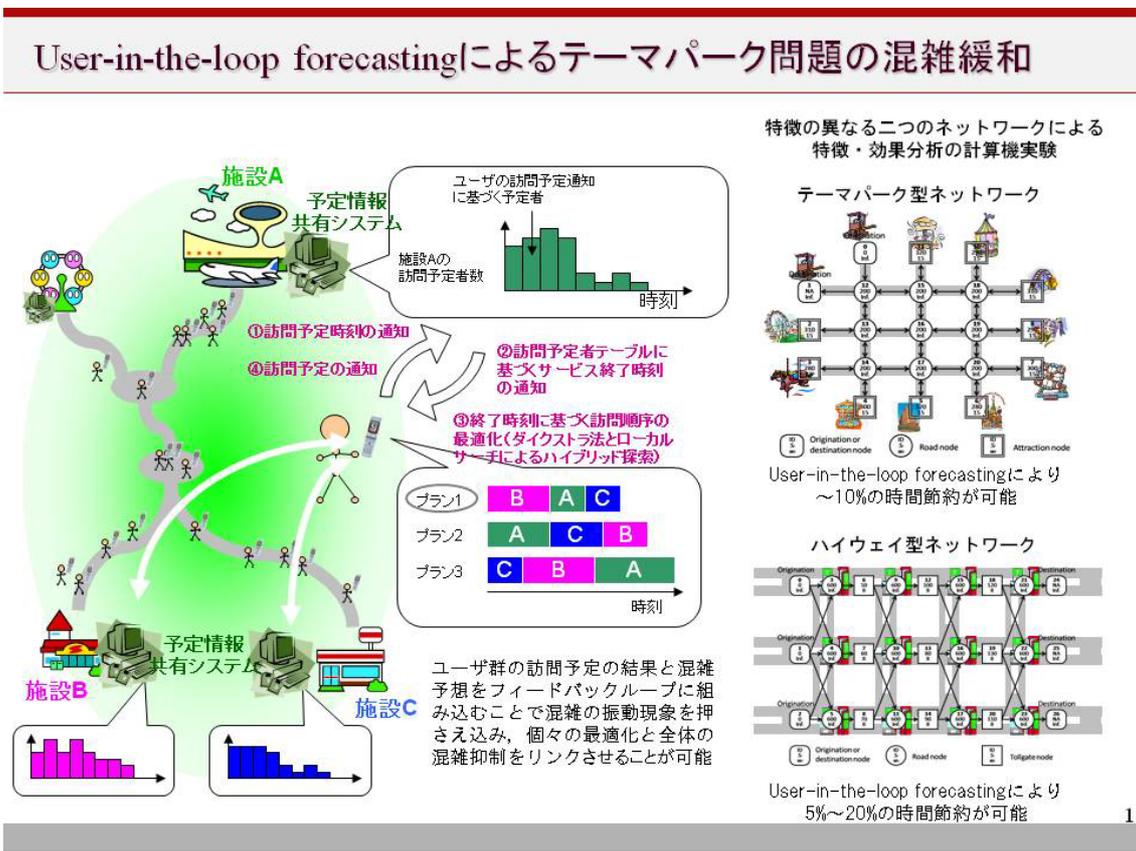


図 2. User-in-the-loop forecasting によるテーマパーク問題の混雑緩和

実世界巡回行動観察に基づくテーマパーク行動モデルの構築

複雑ネットワークモデル比較実験

- 目的:
 - グラフ構造が調整アルゴリズムに及ぼす影響、要因の分析
 - 調整アルゴリズムの開発・評価を行う基盤となるグラフモデルの導出
- 5つの複雑ネットワークモデルの比較実験
 - 完全グラフ
 - レギュラーグラフ
 - スモールワールドネットワーク
 - ランダムグラフ
 - スケールフリーネットワーク
- 問題設定
 - ノード数: $N = 10 \sim 70 (10, 20, \dots, 70)$
 - エッジ(道路)の総数: $M = 2N$
 - サービス時間: 正規分布
 - キャパシティ、エッジエント数: 均一
 - 調整アルゴリズム: 複雑回避アルゴリズム

調整アルゴリズムの比較実験

- 目的:
 - 各複雑ネットワークモデルにおいて、どのような調整アルゴリズムが効率的かつ汎用的に来場者の混雑度を調整できるのか?
 - 定性的な環境で、調整アルゴリズムの性能を評価
- 比較実験に用いるアルゴリズム
 - 関連研究で用いられたアルゴリズム
 - 複雑回避アルゴリズム
 - 選択優先アルゴリズム
 - 本研究で提案したアルゴリズム
 - 優先度重視アルゴリズム
 - コスト優先アルゴリズム
- 問題設定
 - 各複雑ネットワークモデル
 - ノード数: $N = 10$ (定性的な環境と仮定する)

スモールワールド・ネットワーク
スケールフリー・ネットワーク

調整アルゴリズムの比較実験
シミュレーション終了時間の平均

被験者にGPS端末を携帯させ、2つの行動戦略を実行するグループに分けて、園内の全施設を訪問させて、その行動軌跡を観測
 ・Aグループ (自由行動)
 ・Bグループ (選択優先行動)

提案する来場者の行動戦略モデル

- ① 現在地から最短距離に位置する未訪問アトラクションを目的地とする。
- ② 目的地に到達したら、選好と待ち行列と回転率の訪問判断基準値 W を計算する。

$$W_i = \frac{\text{選好値}}{(\text{待ち行列数} + 1)} \times \frac{\text{キャパシティ}}{\text{サービスタイム}} \times 100$$
- ③ 平均訪問判断基準値を W_0 とし、確率 W_i / W_0 で訪問・未訪問の意思決定を行う。

$$W_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{\text{選好値}}{(\text{待ち行列数} + 1)} \times \frac{\text{キャパシティ}}{\text{サービスタイム}} \times 100$$

来場者モデルによるシミュレーション結果

■ 訪問順序
 □ $E_0 \rightarrow A_5 \rightarrow A_4 \rightarrow A_3 \rightarrow A_2 \rightarrow A_1$
 □ $A_{10} \rightarrow A_9 \rightarrow A_8 \rightarrow A_7 \rightarrow E_x$

■ 隣接アトラクションを優先的に訪問している

実世界傾向と同等の結果

図3. 実世界巡回行動観察に基づくテーマパーク問題の行動モデルの構築

3. 研究実施体制

(1)「産総研」グループ

- ① 研究分担グループ長: 車谷 浩一 (産業技術総合研究所、マルチエージェントグループ長)
- ② 研究項目
 - ・安全と利便性を両立した空間見守りシステムアーキテクチャ

(2)「北大」グループ

- ① 研究分担グループ長: 大内 東 (北海道大学大学院、教授)
- ② 研究項目
 - ・空間見守りを実現するナビゲーション理論の研究

(3)「未来大」グループ

①研究分担グループ長:鈴木 恵二 (はこだて未来大学、教授)

②研究項目

・ローカルサポートとグローバルサポートの自律協調機構の研究

4. 研究成果の発表等

(1) 論文発表(原著論文)

[1] Akio Sashima, Takeshi Ikeda, Yutaka Inoue, Koichi Kurumatani. SENSOR/Stat: Combining Sensor Middleware with a Statistical Computing Environment. In the Proc. of the Fifth International Conference on Networked Sensing Systems (INSS 2008), accepted, 2008.

[2] Takeshi Ikeda, Yutaka Inoue, Akio Sashima, Koichi Kurumatani. Handling Spatio-temporal Sensor Data in Global Geographical Context with SENSOR. In the Proc. of 4th International Symposium on Ubiquitous Computing Systems (UCS 2007), Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 4836, Springer, pp. 33-44, 2007.

[3] Akio Sashima, Yutaka Inoue, Takeshi Ikeda, Tomohisa Yamashita, Masayuki Ohta, Koichi Kurumatani. Toward Mobile Healthcare Services By Using Everyday Mobile Phones. In the Proc. of International Conference on Health Informatics (Healthinf 2008), Vol.1, pp.242-245, 2008.

[4] 川村 秀憲, 大内 東: プレミアム固定型顧客主導予約調整メカニズムとその効果検証, 電子情報通信学会和文論文誌 D, Vol. J90-D, No. 9, pp. 2432-2443 (2007).

[5] 松村 有祐, 川村 秀憲, 大内 東: 待ち行列ネットワークにおける待ち時間を最小化する構造設計, 情報処理学会論文誌, Vol. 48, No. 6, pp. 2097-2105 (2007).

[6] Yusuke Matsumura, Hidenori Kawamura, Koichi Kurumatani, Azuma Ohuchi: Relations Between Structure of Networks and Effectiveness of Mass-User Support System, In the Proc. of International Conference on Economic Science with Heterogeneous Interacting Agents 2007, CD-ROM (2007).

[7] 山下倫央, 車谷浩一, 中島秀之: 交通流の円滑化に向けた協調カーナビの提案, 情報処理学会論文誌(ジャーナル), 第49巻, 第1号, pp.177-188, 2008.

[8] Y.Yanagita, K.Suzuki: Evaluation of Mass User Support Strategies in Theme Park Problem, Proc. of International Workshop on Agent-based Approaches in Economic and Social Complex Systems, AESCS'07, pp. 25-36 (2007).

[9] Mitsuru Kawamoto, Futoshi Asano, Hideki Asoh, Kiyoshi Yamamoto, Particle Filtering Algorithms for Tracking Multiple Sound Sources Using Microphone Arrays,

In the Proc. of IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)
2007, Vol. I, pp. 129-132, 2007.

(2) その他

① 新聞報道

◆ 2007年12月14日(金)掲載

日本経済新聞 (朝刊 15面 12版)

「現在の確認 屋内でも可能 - 産総研、携帯用システム」

日刊工業新聞 (朝刊 22面 14版)

「携帯利用の測位システム

屋内無線ビーコン信号を高密度解析 SC案内や避難誘導に - JSTと産総研」

フジサンケイビジネスアイ (朝刊 9面 11版)

「屋内で使用できる測位システム開発 - JSTと産総研」

神奈川新聞 (朝刊 11面 A版)

「屋内の位置・移動 携帯端末で測定 - JSTと産総研 開発」

◆ 2007年12月17日(月)掲載

電経新聞 (2面)

「携帯向け屋内でも測位 - JSTと産総研が開発」

◆ 2007年12月21日(金)掲載

科学新聞 (1面)

「携帯情報端末屋内測位システム 産総研開発 無線ビーコンだけで計測」

◆ 2007年12月27日(木)掲載

朝日新聞 (朝刊 33面 14版)

「建物の中 ケータイがナビ - 入り口から行きたい店まで

- 産総研、3年以内実用化めざす」

◆ 2008年1月1日(火)掲載

日本情報産業新聞 (朝刊 2面)

「屋内で位置計測 - ナビシステムなどに適用」