



# 自律分散ロボットシステム及び空間知能化技術 による分散センシングとサービス応用

Distributed Sensing and Its Application to Services by Technology of Distributed Autonomous Robotic Systems and Ambient Intelligence

浅間 一

## 1. はじめに

近年、ロボット分野では、サービスロボットの実用化・事業化の動きが活発である。サービスロボットの需要は今後飛躍的に伸びることが予測されており<sup>(1)</sup>、我々の身の回りの生活環境において、ロボット技術が活用されることで、環境・エネルギー、少子高齢化などの社会的な問題を解決し、我々の生活の質を向上させることが期待されている。サービスロボットとは、一般に産業用ロボット以外のロボットを指す。メンテナンスや公共サービスなどで用いられるロボットや、医療・福祉・介護・案内・セキュリティ・災害対策・教育・エンターテインメント・アミューズメントなどのいわゆる対人サービスを用途とするロボットが含まれる。

ロボットの自律的動作において、移動環境や作業対象物などの環境情報の取得は必須であり、これまでも様々なセンサを用いた手法やアルゴリズムの研究開発が盛んに行われてきた。しかし、サービスロボットにおいては、人との共存環境下で動作することが求められたり、作業対象自体が人であるため、人の位置や動き（移動軌跡、移動速度）、属性（身長などの身体的特性、個人情報）、状態（生理情報）などの情報を収集することが必要となる。コンピュータビジョンの分野において、カメラやレーザレンジセンサなどを用い、画像処理によってこれらの情報を計測する手法が開発されている。その一方で、無線 LAN (WiFi を含む)、携帯・PHS、センサノード、RFID、ウェアラブルセンサなど、多様な手段を用い、電波強度や ToF (Time of Flight, 信号源から

出た信号が対象物で反射し、センサに届くまでの飛行時間を計測し、それから距離を推定する方法)、読取り成功率、基地局位置など、様々な手法によって、人を含む環境の計測、環境情報の取得を行う研究も活発になっている。ただし、これらはいずれも一長一短であり、環境に応じて使い分けたり、組み合わせることが重要である。

## 2. 自律分散システム及び空間知能化による情報収集

複数のセンサからの情報を融合する技術は、センサフュージョンと呼ばれ、その歴史は古い。複数のセンサを用いることによって、広域でのセンシング、精度の高いセンシングが可能になる。また、異なる性質を有するセンサを組み合わせることで、各センサの欠点を補うことができるだけでなく、異なる質・次元の情報を得ることが可能となる。更に、センサを搭載した移動ロボットを情報収集手段として利用することにより、固定センサによって得にくい、あるいは広域の環境情報を動的に獲得することが可能となる。このように、複数のロボットを協調させ、分散的に情報収集を行う技術は、自律分散ロボットシステム<sup>(2)</sup>と呼ばれる分野で開発が行われてきた。

複数のロボットで得られた情報を、ロボット間で共有しながら協調的かつ効率的に動作させる概念として、知的データキャリア (IDC: Intelligent Data Carrier) による空間知能化が挙げられる<sup>(3)</sup>。昆虫のケミカルトレイルや動物のマーキング行動による情報伝達からヒントを得たもので、各行動主体 (エージェント) が、情報を場所に残し、ほかの主体がそれを読み出すという、環境を介した間接的局所的通信によって情報共有が効率的に行われる。IDC は、局所的な非接触通信によって情報の書

浅間 一 正員 東京大学大学院工学系研究科精密機械工学専攻  
E-mail asama@robot.t.u-tokyo.ac.jp  
Hajime ASAMA, Member (School of Engineering, The University of Tokyo, Tokyo, 113-8656 Japan).  
電子情報通信学会誌 Vol.93 No.12 pp.1063-1065 2010年12月  
©電子情報通信学会 2010

込み、保存が可能な小型の電子デバイスであり、これを用いることで、人が生活したりロボットが動作する空間自体を情報化・知能化することが可能になる。

複数のロボットによる情報収集技術の応用は、米国では軍事・セキュリティが主流であるが、日本では被災者探索などが活発である。上記の IDC についても、被災者探索用システムが開発されている<sup>(4)</sup>。

一方、このような空間知能化は、モニタリングやサーベイランスなどでも、複数のカメラや分散的なセンサを部屋や家全体に、あるいはキャンパスや地域全体にセンサを配置することで実現された例が報告されている<sup>(5)</sup>。そのほかには、スマートルーム<sup>(6)</sup>、ロボティックルーム<sup>(7)</sup>、インテリジェントスペース<sup>(8)</sup>、空間知<sup>(9)</sup>、ユビキタスホーム<sup>(10)</sup>などの開発例がある。これらは、空間に分散的にセンサを設置し、空間を知能化することで、人の生理データや行動データなどを計測し、健康管理、安否確認、生活支援などのサービスに応用しようとする試みである。図1は、空間知能化によって、適応的にサービスを提供するサービスメディアの概念である。

### 3. 分散システムにおける データ収集・管理・検索

分散的に収集された情報の共有に関しては、収集したデータをデータベースに集約・統合し、サーバが管理する方法が最も一般的である。代表的な例として、大都市大震災軽減化特別プロジェクトでは、様々なロボット、センサノード、レスキュー隊員などから集められた情報を GIS (Geographic Information System, 地理情報システム) データベースに統合して格納し、被災者探索やロボットのナビゲーションに活用するシステムが開発され

た<sup>(11)</sup>。

一般的に、サービスシステムを構築しようとする、環境や人に関する様々な情報の収集・保存・管理が必要となる。例えば、サービスロボットを考えた場合、情報管理すべき対象は、壁、障害物、地図などの静止オブジェクト、ハンドリングすべき対象物やドアなどの動き得る障害物などの可動オブジェクト、自ら移動機能を持つロボットや人などの移動オブジェクトに分類できる<sup>(12)</sup>。

これらの情報を収集するエージェントが多数存在するような分散システムにおいては、集中システムに比べ、格段に柔軟性や頑健性、適応性、拡張性が向上するものの、意味のある情報を検索するには、以下のような問題を考慮する必要がある。

- (1) 複数の情報収集エージェントが異なる場所に存在する場合、それぞれの位置のキャリブレーション、及び異なる座標系から取得した情報を統合するための座標変換が必要となる。
- (2) 分散システムの場合、情報収集エージェント間の時間は必ずしも同期していない。複数のエージェントが異なる時刻で計測する場合や通信のタイムラグが生じる場合などを考慮すると、オブジェクトの位置は、入手時刻に基づく信頼性を考慮する必要がある。
- (3) 同じオブジェクトを異なるエージェントが観測した場合、それが同一であることを対応付ける必要がある。理論的には同時刻に同じ位置に存在するオブジェクトは同一であるが、実際には計測誤差、時刻のずれなどが存在するために、オブジェクトの対応付けは必ずしも容易でない。

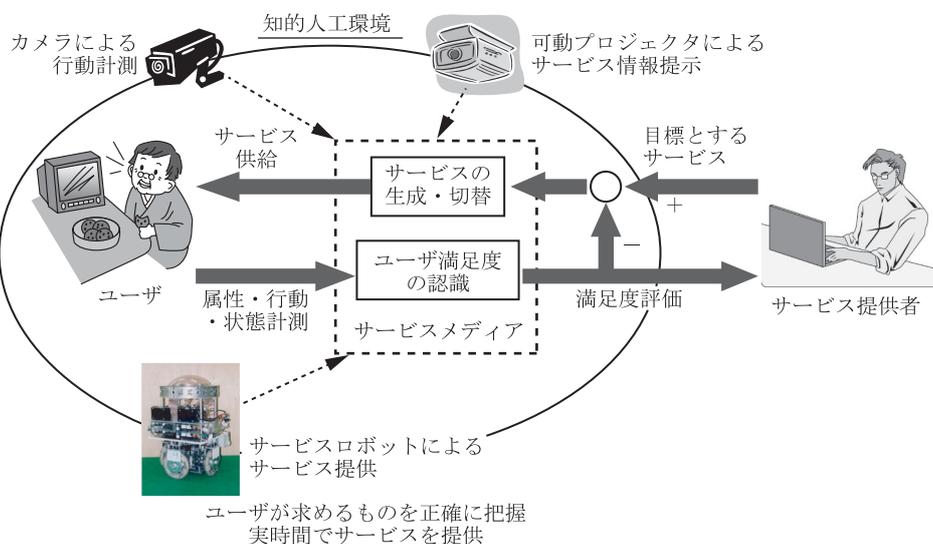


図1 サービスメディアの概念

#### 4. サービス応用のためのモデル化

サービス工学に関する研究において、適応機能（多様なサービス受容者の要望に対してサービスシステムが適合させる機能）、誘導機能（サービスシステムとのインタラクションによってユーザにとっての価値を導き出す機能）、実感機能（サービスシステムとのインタラクションにおいて、実際に触れ合う感覚を伴わせる機能）などの実現が重要である<sup>(13)</sup>。それらの機能を実現するには、人を知り、人をモデル化することが必須となる。必要となるモデルは、いかなるサービスを提供するかによって異なる。それは、体形などの形状や変形のモデル、動きのモデル（運動学的・動力的）、人の構造としての筋骨格モデル・脳神経系モデルなど、多様である。人の行動特性などは、統計的なモデルとして表されるであろうし、そこには人の認知モデルを考慮する必要もある。蓄積された大量のデータから有用なモデルを抽出するためのマイニングする技術が鍵を握ることになる。

適応的なサービスを実現しようとする、上記のモデルを用い、特定の人を判別する技術が重要となる。案内ロボットの場合、検出した人が、案内すべき来訪者かそうでないかを判定する必要があるが、「うろうろする」など、来訪者特有の行動のモデル化を行うことによって、その判別が可能となる<sup>(14)</sup>。また、適応的にサービスを提供するには、人の行動を予測する技術も重要となる。

#### 5. おわりに

ロボット技術・空間知能化技術なども含めた分散システムによる情報収集・管理とそのサービスへの活用について述べた。サービスシステムの設計においては、いかなるデータをどのような手段で取得し、それをどのように活用するかといったシステム設計論的議論が欠かせない。特に、有用な情報を得るためには能動性が重要である。移動知研究<sup>(15)</sup>では、能動的に移動・運動・行動することによって、豊富な情報や動的な情報を獲得し、それを実時間で利用することが、適応的な機能の生成に必要であることを示唆している。サービスシステムにおいて必要となる情報は、必ずしも情報源から受動的に収集

するだけで、十分得られるとは限らない。能動的に動作し、人間に働きかけながら情報収集・動作するメカニズムを組み込むことが肝要である。

#### 文 献

- (1) 2007年度RTによる産業波及効果と市場分析, 日本ロボット工業会, 機械振興協会, 2008.
- (2) Distributed Autonomous Robotic Systems 8, H. Asama, H. Kurokawa, J. Ota, and K. Sekiyama, eds., Springer, 2009.
- (3) 藤井輝夫, 浅間 一, “群ロボットシステムにおける創発の実現,” 計測制御, vol. 35, no. 7, pp. 545-549, July 1996.
- (4) 川端邦明, 羽田靖史, 嘉悦早人, 浅間 一, “被災者探索のための知的データキャリアの設計・開発,” 設計工学, vol. 42, no. 10, pp. 589-594, 2007.
- (5) T. Kanade, R. Collins, and A. Lipton, “Advances in cooperative multi-sensor video surveillance,” in Proc. of DARPA Image Understanding Workshop, vol. 1, pp. 3-24, 1998.
- (6) <http://vismod.media.mit.edu/vismod/demos/smartroom/>
- (7) T. Sato, Y. Nishida, and H. Mizoguchi, “Robotic room: Symbiosis with human through behavior media,” Robot. Auton. Syst., vol. 18, pp. 185-194, 1996.
- (8) J.-H. Lee and H. Hashimoto, “Intelligent space-concept and contents,” Adv. Robot., vol. 16, no. 3, pp. 265-280, 2002.
- (9) 水川 真, 山口 亨, “空間知能化デザインに関する研究,” 第7回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会講演論文集, pp. 534-537, 2006.
- (10) <http://kansai-robot.net/project/023.html>
- (11) Rescue Robotics, S. Tadokoro, ed., Springer, London, 2009.
- (12) 河 寅勇, 田村雄介, 森下壮一郎, 浅間 一, 野田五十樹, 羽田靖史, 岡本浩幸, “知能化環境構築のための位置管理モジュール及び環境サーバの設計,” 第26回日本ロボット学会学術講演会予稿集, no. RSJ2008AC1F2-08, 神戸, Sept. 2008.
- (13) 浅間 一, “サービス工学,” 精密工学会誌, vol. 75, no. 1, pp. 146-147, 2009.
- (14) H. Asama, A. Morimoto, K. Kawabata, and Y. Hada, “A human behavior discrimination method based on motion trajectory measurement for indoor guiding services,” Intelligent Autonomous Systems 9, T. Arai, R. Pfeifer, T. Bulch, and H. Yokoi, eds., pp. 891-900, IOS Press, 2006.
- (15) 移動知—適応行動生成のメカニズム, 移動知シリーズ第1巻, 浅間 一, 矢野雅文, 石黒章夫, 大須賀公一(編), オーム社, 東京, 2010.

(平成22年7月30日受付 平成22年8月27日最終受付)



あさま はじめ  
浅間 一 (正員)

昭59東大大学院工学系研究科精密機械工学専攻修士課程了。昭61理化学研究所研究員補。同研究所副主任研究員を経て、平14東大人工物工学研究センター教授。サービスロボティクス、空間知能化、移動知などの研究に従事。現在、東大大学院工学系研究科教授、日本機械学会フェロー、日本ロボット学会フェロー。工博。