

事例紹介

知的データキャリアによる環境との情報交換を利用したロボットシステム

Autonomous Robotic Systems that Communicate with their Environment by Intelligent Data Carriers

羽田 靖史^{*1} 倉林 大輔^{*2} 川端 邦明^{*1} 浅間 一^{*3}

^{*1}(独)理化学研究所 ^{*2}東京工業大学大学院 ^{*3}東京大学人工工学研究センター
 Yasushi Hada^{*1}, Daisuke Kurabayashi^{*2}, Kuniaki Kawabata^{*1} and Hajime Asama^{*3}
^{*1}RIKEN(The Institute of Physical and Chemical Research) ^{*2}Tokyo Institute of Technology
^{*3}Research into Artifacts, Center for Engineering, the University of Tokyo

1. はじめに

ロボット、もしくは情報システムと人間社会の共生が模索される今日、論理的な情報空間と実空間との間の対応関係をどのように頑健な形で維持するかは重要な課題である。また、携帯電話をはじめとする無線通信機器の普及は、利用可能な無線帯域の不足という形の問題を自律型移動ロボットシステムなどに突きつけている。

このような事象への対処法として、物や場所等に密着した形で情報を付加し、これと局所的に通信するという実体指向情報処理が考えられている。このような通信形態は、あえて通信距離を局所的なものに限定することで、(1)利用する無線資源を帯域だけでなく空間的に区分し、干渉を減少させる、(2)その物、その場所に接近することで、実空間と情報空間との整合性を物理的に解決するという長を有する。

例えば、食堂にデータキャリア(RF-ID, Radio Frequency Identification system [1])を導入した事例では、料理(皿)自体にその中身が何か、価格がいくらか、カロリーはどれほどか、という情報が記載されている。これを近接型アンテナで読み取ることにより、その物が一体何なのか、ということ複雑な処理なくして知ることができる。

広い意味での自律型ロボット、すなわち人間の直接操作によらず活動するロボットにおいて、周囲の環境や作業対象を正しく認識することは、実際問題として非常に難しいにもかかわらず、かつこの解決なくして行動不可能な問題である。このような問題に対して、生物はマーキング等により、環境側に情報を持たせることで解決の一助としてい

る[2][3]。本報では、筆者らが提案・開発してきた知的データキャリア(Intelligent Data Carrier, IDC)を中心に、局所無線通信デバイスを用いたロボット行動支援システムを紹介する。

2. 知的データキャリア IDC

IDCシステムは、無線による情報交換を行うRF-IDの一種である。環境に設置するIDCタグと、ロボットに搭載されるReader/Writerから構成される。このIDCを環境内の様々な場所(壁, 床, 荷物等)に設置することで、IDCを環境に対する情報蓄積機構として用いることができる。このIDCシステムを利用することで、ロボットは通信資源に負担をかけることなく、環境や搬送物から情報を得たり、逆に書き残したりすることができる。特定の局所領域について、環境を介した情報伝達が可能となるため、集中管理形態のように情報の内容と空間の位置との整合性を管理する必要がなく、情報管理の簡便化を図ることが可能となる(図1)。

個々のIDCは、CPUおよびメモリからなる情報処理部、通信部、電源を持つ。ロボットの処理系とReader/Writerはシリアル通信により接続される。試作型IDCシステムを図2に示す。IDCは、一般のデータキャリアシステムの持つデータ保持機能に加え、自身のCPUによるデータ処理能力、外部I/Oインタフェースによる信号入出力機能を有している点に特徴がある。図2のようなカバーを取り付け

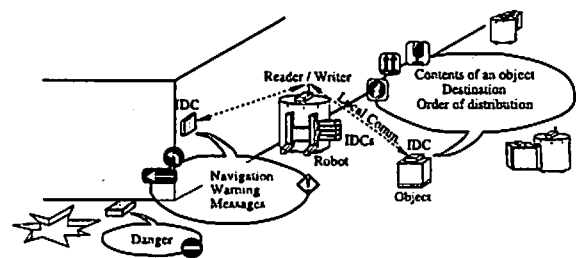


図1 Concept of IDC system

原稿受付 2005年6月29日

キーワード: Intelligent Data Carrier, RF-ID, Autonomous Robots, Blimp, Rescue Communicator

*1 〒351-0198 和光市広沢 2-1

*2 〒152-8550 品川区大岡山 2-12-1

*3 〒272-8568 柏市柏の葉 5-1-5

*1 Wako-shi, Saitama

*2 Meguro-ku, Tokyo

*3 Kashiwa-shi, Chiba

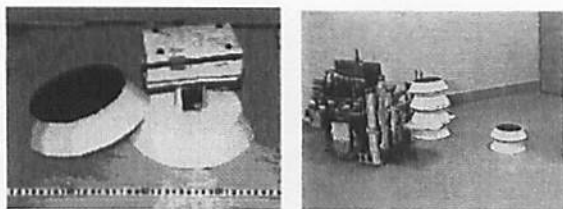


図2 Prototype IDC

ることにより、ロボットが IDC を運ぶことも可能である。

3. IDC による行動支援

普及著しいカーナビゲーションシステムの例をとるまでもなく、どのような「地図」も現実とは厳密には一致しない。自律移動ロボットにとって、自己と周囲の環境・物体との関係を現実的に即して知り、効率の良い行動判断を行うことは非常に重要である。

IDC を特定の物体に取り付けると、ロボットや人間によりその物体に意味づけを与えたり、他者との情報伝達を効率的に行うことができる。例えば、ロボットが自己位置の認識能力を持っていれば、IDC を取り付けた物体の自分からの相対位置を計測することで、その物体の位置情報を現状に即した形で記録することができる。また、物体という物理的なマーカーを介して IDC の情報を読み・書きすることで、大域的な情報管理を行うことなく複数ロボットの自律的な協調が実現できる [4]。このような手法は、集中管理による手法 (例えば文献 [5]) に比べ、計算量や実装の面で現実的・効率的であるといえる。

逆に、IDC 内に世界座標系における位置情報を格納しておき、その IDC との相対位置情報を計測することで自己位置を同定する [6] といった、自律分散システムにおける効率的なローカリゼーションを行うことも可能である。

また、環境の分岐点等に IDC を置き、行動判断に必要な情報を、それを必要とする場所そのものに付加することで、ロボットもしくは人間のローカリゼーションの負荷を減らし、現実的に即した判断を行うことができる。さらに進めて、IDC の情報処理能力を用いて統計計算などを行うことで、行動決定自体をロボットではなく「環境」に行わせることができ、ロボットの負荷軽減と行動の頑健性を高めることができる [7]~[9]。

4. 外部入出力機能の発展

4.1 IDC を用いた環境センシング

IDC が通常の RF-ID と大きく異なる点は、自己の CPU を持つこと、外部との入出力が可能なことである。特に、IDC 自体にセンシング機能と知的処理機能を付加することで、ロボットが読み書きするデータを保持するだけでなく IDC が積極的に環境からデータを生成し、ロボットシステ

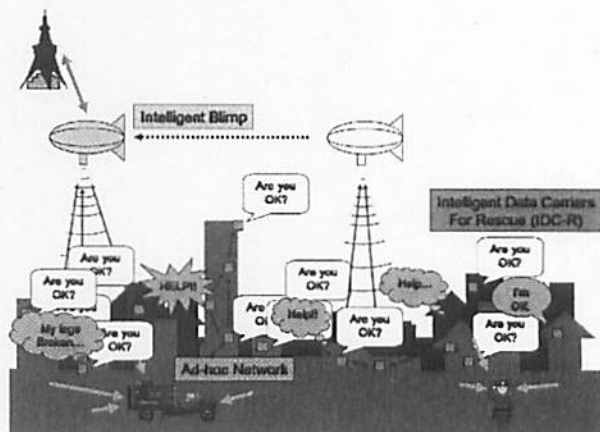


図3 Victims search system using IDCs for Rescue

ムや人間に有益なサービスを資することができる [10]。特に環境の情報収集を IDC とロボットが相補的に行うことで、システムのセンサとモビリティを分割し、詳細な情報収集と効率的な環境内移動を両立させることが可能となる。ここではその応用開発について紹介する。

4.2 IDC-R を用いた被災者探索システム

6,433 人の命を奪い 10 万戸以上の家屋を全壊させた阪神大震災においては、行方不明者、要救助者の有無および所在の確定を行うことが非常に重要かつ困難な問題であった。このような震災や津波などの災害時には、現状では人間や犬などが被災環境をくまなく走査することで探索を行うが、道路網が寸断され、電気や電話網などの社会インフラが断絶した被災環境では探索者の負担が極めて大きくなる。このため、文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト (大大特プロ) では災害時の人体探索・情報収集・配信を行うレスキューシステムの研究開発が行われている。

筆者らは、大大特プロの一環としてセンシング能力を持つレスキュー用 IDC タグ (IDC for Rescue, IDC-R) [11] を開発し、これを各家庭にあらかじめ事前に設置、または震災後にばら撒くことで、被災環境自体に知能を持たせ、自律分散的に瓦礫内の要救助者の有無および所在の確定を行い、この情報を飛行船や移動ロボット、レスキュー隊員等が回収するシステムを開発した [12]。このシステムにより従来より広域において詳細な要救助者情報を迅速に収集することが可能となる。このシステムの概要を図 3 に、開発した IDC-R を図 4 に示す。なお本研究は (財) 日本産業デザイン振興会より 2002 年度グッドデザイン賞新領域デザイン部門を授与された [13]。

IDC-R はあらかじめ建築物内に取り付けておき、地震の振動検出、防災無線、飛行船からの起動シグナルなどを受信することで起動する。起動した IDC-R は、一定間隔で「誰かいますか? いたら返事をしてください」というメッ

セージを内蔵するスピーカから放送する。メッセージ放送後、4秒の間の音声の内蔵されたマイクで録音し蓄積し続ける。

IDC-R 起動後、救助隊は情報を回収する飛行船、ロボットなどのエージェントを被災地に送り込む。これは精密な探索能力を持つ必要がなく、単純に IDC-R と交信を行いながら環境を走査 [14] し、被災者の情報を回収するとともに位置を特定すればよい。IDC-R よりもたらされた被災者情報は随時救助隊本体に無線送信され、救助隊の活動を支援する。

起動中に情報回収エージェントの信号を受信した IDC-R は、自分の中に音声データがあればそれをエージェントへ無線伝送する。通信は局所的に行われるため、情報回収エージェントは IDC-R のおおまかな位置を知ることができる。さらに情報回収エージェントは音声情報を IDC-R の位置情報と合わせて救助隊に無線伝送する。音声情報を得た救助隊は、そのデータに「人間の声」が含まれているかを判断し、そうであれば救助部隊の派遣を決定する [15]。

図 5 では模擬瓦礫内に埋れた要救助者の音声を自律飛行船ロボットが収集している。瓦礫内の IDC-R は音声を収集し上空の飛行船に情報提供を行い、飛行船は瓦礫内を直接観測することはできないが、瓦礫形状によらず空中移動が可能である。

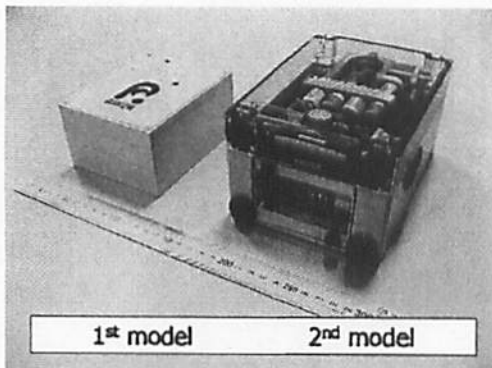


図 4 Intelligent Data Carrier for Rescue



図 5 Experimental system of victims search system using IDC-R

5. レスキュー・コミュニケータ

現在筆者らは IDC-R システムを発展させ、平常時から非常時を通して人間やロボットに対してサービスを行う、レスキュー・コミュニケータの開発を行っている (図 6)。[16] このデバイスは IDC-R の持つ音声録音などのセンシング機能と、無線 LAN、有線 LAN、モデム、赤外線等の多様な通信機能を持ち、インターネットや家電などの多様な機器と接続が可能である。特に無線 LAN に関してはアドホック無線通信機能を持ち、他のコミュニケータと相互接続することでメッシュネットワークを構成しデータの転送が可能である。

レスキュー・コミュニケータは平常時においては情報家電などのホームネットワークやロボットネットワークの一部としてルータや IP 電話として利用可能である。特に例えばガス漏れや火災検知器などと一体化することにより、平常時より防災・防犯を行う環境知能化デバイスとして利用することが可能である。非常時には震災の振動を検出、もしくは外部信号を受信することで自動起動し、音声による被災者への問いかけと返答の録音蓄積を定期的に行い、アドホック無線通信を用いて他のコミュニケータまたはエージェントに送信することができる。またレスキュー隊員にコミュニケータを持たせ、瓦礫内のコミュニケータと双方向通信することによって、トランシーバのように瓦礫内被災者と音声による意思疎通を行うことも可能である。

このレスキュー・コミュニケータは理化学研究所、東京大学、産業技術総合研究所、情報通信研究機構、東北大学などが大大特プロにおいて震災用社会インフラ研究の共通プラットフォームとして開発し、現在様々な研究に用いられている [17]。

6. おわりに

本報では、自律ロボット群が環境と情報交換を行う装置として、知的データキャリア (IDC) について述べ、環境との情報交換による行動支援手法、環境知能化による災害

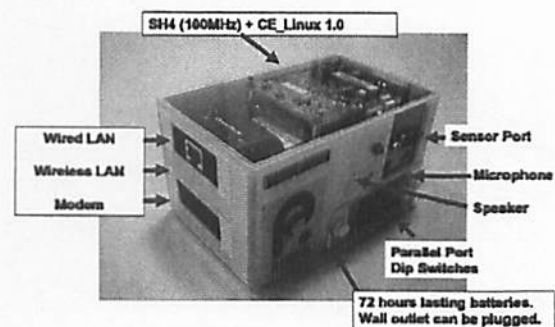


図 6 Rescue Communicator

救助支援情報システム「IDC-R」、アドホック・ネットワークとの統合化システム「レスキューコミュニケータ」について示した。今後、IDCなどによる環境との情報交換をより高度に応用するためには、それが局所的であるがゆえに、大域的な通信網とのリンク、誤情報の抽出、ルーティングを考慮した高効率アドホックネットワーク構成手法などへの拡張が望まれる。これらが完成したとき、ネットワーク上のソフトウェアエージェントと、実環境におけるロボット、すなわちハードウェアエージェントが相補的な存在となり、知的情報処理を新たな段階に押し上げるものと期待する。

参考文献

- [1] K. Finkenzerler (ソフト工学研究所訳): RFID ハンドブック. 日刊工業新聞社, 2001.
- [2] R. Beckers, et al.: "Trails and U-turns in the selection of a path by the ant *Lasius niger*," *Journal of Theoretical Biology*, vol.159, pp.397-415, 1992.
- [3] J.L. Deneubourg and N. Franks: "Collective control without explicit coding: the case of communal nest excavation," *Journal of Insect Behavior*, vol.8, pp.417-432, 1995.
- [4] 藤井, 他: "知的データキャリアによる群ロボットの機能創発", *日本ロボット学会誌*, vol.17, no.6, pp.848-854, 1999.
- [5] D. Kurabayashi, et al.: "Cooperative Sweeping by Multiple Mobile Robots with Relocating Movable Obstacles," *Proc. Int. Conf. Intelligent Robots and Systems*, pp.1472-1477, 1996.
- [6] 新井, 他: "環境埋め込み情報に基づく自律移動ロボットの自己位置固定", *日本機械学会論文集 (C 編)*, vol.64, no.619, pp.945-950, 1998.
- [7] 倉林, 他: "知的データキャリアを用いた誘導情報の自律的獲得による自律分散型移動ロボットの繰り返し搬送作業", *日本機械学会論文集 C 編*, vol.65, no.640, pp.4744-4749, 1999.
- [8] 倉林, 他: "環境中の局所誘導情報に対する自律移動ロボットの繰り返し搬送の作業効率評価", *計測自動制御学会論文誌*, vol.35, no.9, pp.1213-1219, 1999.
- [9] 小西, 他: "自律移動ロボットの動作環境整備のための分散型情報管理システム配置設計", *電気学会論文誌, C 部門*, vol.120, no.5, pp.641-647, 2000.
- [10] H. Asama: "Towards Emergence in Distributed Autonomous Robotic Systems—Intelligent Data Carrier for Cooperative Organization of Mobile Robots and Their Operating Environment—," *Proc. 3rd Int. Conf. on Field and Service Robotics*, pp.9-14, 2001.
- [11] D. Kurabayashi, et al.: "Information Assistance in Rescue using Intelligent Data Carriers," *Proc. IEEE Int. Conf. Intelligent Robots and Systems*, pp.2294-2299, 2001.
- [12] 羽田, 他: "被災者探索用知的データキャリアの開発", 第9回ロボティクス・シンポジウム予稿集, pp.270-275, 2004.
- [13] 被災者探索レスキュー用データキャリア: グッドデザイン賞新領域デザイン部門, 受賞番号 02D14032, 2002.
- [14] D. Kurabayashi, et al.: "Information Assistance for Victim Search in Rescue by Intelligent Data Carriers and a Data Retrieval Blimp," *Journal of Robotics and Mechatronics*, vol.15, no.5, pp.521-527, 2003.
- [15] D. Kurabayashi, et al.: "Motion algorithm for autonomous rescue agents based on information assistance system," *Proc. IEEE Int. Symp. Computational Intelligence in Robotics and Automation*, pp.1132-1137, 2003.
- [16] 羽田, 他: "社会インフラ研究プラットフォーム「レスキュー・コミュニケータ」の開発", *日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2005 (ROBOMECH2005) 予稿集*, 2P1-S-092, 2005.
- [17] H. Asama, et al.: "Introduction of Task Force for Rescue System Infrastructure in Special Project for Earthquake Disaster Mitigation in Urban Areas," *IEEE Int. Conf. on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, 2004.



羽田靖史 (Yasushi Hada)

1973年生。2003年筑波大学大学院博士課程工学研究科修了, 博士(工学)。同年より理化学研究所特定協力研究員。知能ロボット, レスキュー工学, 自律分散システム, サービス工学に関する研究に従事。日本機械学会等の会員。
(日本ロボット学会正会員)



川端邦明 (Kuniaki Kawabata)

1970年生。1997年法政大学大学院博士課程修了, 博士(工学)。同年より理化学研究所基礎科学特別研究員, 2000年より, 理化学研究所工学基盤研究部基盤技術開発室研究員。2005年より独立行政法人理化学研究所分散適応ロボティクス研究ユニットリーダー。自律分散ロボットシステム, 環境知能化技術に関する研究に従事。計測自動制御学会, 日本機械学会, IEEE等の会員。
(日本ロボット学会正会員)



倉林大輔 (Daisuke Kurabayashi)

1970年生。1998年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了(精密機械工学専攻)。同年より理化学研究所基礎科学特別研究員。2001年東京工業大学大学院講師, 2003年同助教。マルチエージェントシステム, ネットワークシステム等の動作計画・制御の研究に従事。博士(工学)。日本機械学会, 計測自動制御学会, 精密工学会, IEEE等の会員。
(日本ロボット学会正会員)



浅間 一 (Hajime Asama)

1959年生。1984年3月東京大学大学院修士課程修了, 1986年9月理化学研究所, 2002年11月東京大学教授, 2001年日本機械学会ロボメカ部門学術業績賞等受賞, 工学博士。ロボティクス, 自律分散システム, サービス工学に関する研究に従事。
(日本ロボット学会正会員)