事例紹介

サービス提供のためのネットワークロボット連携技術

Network Robot Collaboration Technology for Service Appliances

土井 美和子* 長谷川 哲夫* 上野 晃嗣* * (株) 東芝研究開発センター

Miwako Doi*, Tetsuo Hasegawa* and Kouji Ueno* *Corporate Research & Development Center, Toshiba Corporation

1. ネットワークロボットのサービス

ネットワークを介しロボット同士、あるいはロボットとヒト、環境が連携し、種々のサービスを提供することが期待されている。身体性を有するロボット（ここでは、ビジブルロボットと呼ぶ）には、どのようなサービスが期待されているのであろうか。表1は、愛知万博に出版されているあるいは出版予定のもの（NEDOの新聞発表をもとに）を中心に、現存のビジブルロボットを、用途と形状・移動性により分類したものである。用途としては、ヒトとの対話性が強いものを左に、自律性の強いものを右になるように並べてある。左から順に、家族・友人・パートナー、家事アシスト、受付接客、警備／案内、移動介助、屋内外労働補助、レスキュー、その他となっている。形状としては、人間の形状に近いものほど上に、無機質なもののほど下になるように並べてある。上から順に、アンドロイド型、純正ヒューマノイド型、変形ヒューマノイド型、動物・その他の生物型、車・車椅子型、道具型、その他となっている。それぞれに対し、非移動と移動とを表1(a)と(b)に分類している（ただし、車・車椅子型は移動のみ）。

表1には、全部で77件のビジブルロボットが記載されているが、非移動型は約1/4の18件である。当然のことながら、家事アシストとレスキューは移動が必須であるので、そこに分類されたビジブルロボットはない。移動介助では、Aware Homeやハイパーロボットのように部屋全体がロボット化することで、ビジブルロボット自体が移動することなく、介助することが可能となっている。

残りの3/4を占める移動型のビジブルロボットのうち、ヒトとの対話が必要なもののほど対角線より上側にあり、ヒューマノイドあるいは動物など生命ある形状になっている。逆に、移動介助では車・車椅子型のように、ヒトとの対話が不要で自律的に稼動できるもののほど対角線より下側にあり、用途に特化した形状になっている。

ヒトとの対話が少なく自律的なビジブルロボットでは、自律的に稼動するために環境の情報が必要となる。特に移動型では、経路上にある障害物などの情報をリアルタイムで獲得することが重要となる。同様に非移動型でも、部屋型では、内部に存在するヒトの情報をリアルタイムに取得することが必要となる。このような環境あるいはヒトの情報を、ビジブルロボット自身のセンサ以外に環境側のセンサなどからも取得する必要がある。このため、用途限定の自律的なビジブルロボットでは、ユビキタスネットワークあるいはセンサネットワークとの連携が重要となる。

一方、ヒトとの対話が主となるビジブルロボットでは、用途限定のビジブルロボットと同様に、対象となるヒトはもとより、ヒトのいる環境の情報獲得のために、センサネットワークあるいはユビキタスネットワークとの連携が必要なのはいうまでもない。さらに、ヒトと対話をするために、エージェントとの連携、さらにはWebサービスとの連携も必要となる。

2. ネットワークロボットにおけるサービスの実現

ヒトとの対話が中心となるビジブルロボットでは、サービス提供のために複数のロボット間、あるいはロボットとユビキタスネットワーク、センサネットワークとをつなぐことが必要となる。

サービスは以下の手順で実現できる。

- ・解釈：人間からのネットワークロボットに対する要求を、ネットワークロボット、ユビキタスネットワーク、センサネットワーク間で協調連携し、得られた状況に合わせて適切に解釈を行う。
- ・発見・検索：ネットワークロボットの位置や時間の制約、処理性能など、ロボットサービスの質を考慮して、解釈した要求に適合するロボットを探し出す。
- ・組織化：ネットワークロボット、ユビキタスネットワーク、センサネットワークからの情報を利用して、自動認識したヒトや環境の状況に適切なサービスとなるようネットワークロボットのサービスを組織化する。
- ・実施：ビジブルロボットがサービス提供場所まで物理的に移動する。ビジブルロボットの機能がネットワーク経

原稿受付 2005年5月30日

キーワード：Network Robot, Visible Robot, Web Service Match Making, Script, Flipcast

*〒212-8582 川崎市幸区小向東芝町1

*Saiwai-ku, Kawasaki-shi, Kanagawa

表 1 ビジブルロボットの分類

(a) 非移動型

用途 形状	家族・友人・ パートナー	家事アシ スト	受付接客	警備/案内	移動介護	屋内外労働補助	レスキ ュー	パフォー マンス	その他
アンドロイド			アクトロイ ド:アドバ ンテスト・ メディア他						
純正ヒュー マノイド	Infanoid:NIC IT					Robonauts :NASA		クーパー:吉 川機械製作 所他	
変形ヒュー マノイド	Pearl:CMU				HIRO:岐阜大 M.M.S.E:立命館 大				
動物、その他 の生物	パロ:産総研 Leonard:MIT							金の鯨ロボ ット:菱明技 研	
道具								パッティン グロボット: ONE:東大 広島大	TELEsarPH ONE:東大
部屋					ハイパーロボット: 東大 AwareHome:Go rgiaTech				
その他				ライフボッ ト:富士電機 システム	CAMRobot:埼玉 大	ピクチャーロボ ット:セラミ ックス ドクターインバク ト:岐阜 大他 HAL:筑波大			

(b) 移動型

用途 形状	家族・友 人・パート ナー	家事アシ スト	受付接客	警備/案内	移動介護	屋内外労働補助	レスキュー	パフォー マンス	その他
純正ヒ ューマ ノイド	Robovie- e- R:ATR SICO:J RI	ALBERT:Karls rue U	Wakamaru:三 菱重工業 D5:ニルバーナ ASIMO:ホンダ HUBO:KAIST 先行者:ハルビ ン大 ARMAR:Karls rue U	ミムジロー, T62K:テムザック		HRP:産総研		トヨタパートナ ーロボット、 Robovie-M:ATR, morph:ERATP、 HOAP1:富士通、 QRIO:ソニー、 Nuvo:ZMP、 TAEKWON- V:miniRobot	
変形ヒ ューマ ノイド		ApriAtenda東 芝ERRAND: 日立	ももっち:Rコン テンツグループ	ALSOKガードロ ボ:総合警備保障 機	SmartPal:安川電 機	HOSPI:松下電工	援電T-52:京大		
動物、 その他 の生物	AIBO: ソニー	聞き分けアブ リアルファ:東 芝MARON:富 士通			i-foot:トヨタ	WL-16R11J:早大他、 トリロバイト:東芝、 Roomba:irobot	ALBERT:Karls rue U MOURA: 神戸大 ACM- R5:東工大	恐竜ロボット:産 総研、 Hallucigenia:千 葉工大	MR-Type1:石川 島播磨
車・車 椅子					スーパー車椅子 ロボット:電通大、 チャリベえ:東北 大、次世代車イス ロッタ	スイッピー:松下電 工、RS1:富士重工業 T1:スバル、 ゆき太郎:にいがた 産業創造機構他 Mars:CMU	UMRS-NBCT: 国際レスキュー システム研究機 構		PAR04R:芝浦工 大 EconoVehicleD 号機:名城大
道具						WOODY-1:早大学 WallWalker:未来機 械他		AAR:産総研	ミューたん:立命 館大他、奴隷ロ ボット:岐阜県工 業会、OBK- SkyEye1:大田ビ ジネス創造協議 会他

由で移動して、新規の動作ができるようにする。

ネットワーク経由でダウンロードした新規動作、ネット
ワークロボット自身、ヒト自身などの正しさが認証できれ
ば実行される。ただし、連携している他のネットワークロ
ボットからの環境情報などに基づいて、安全性を監視しな

がら実行することが必須である。

3. ネットワークロボットのサービス実現の特徴

前章で述べたサービス実行手順において、解釈、発見、
組織化、実施という手順は、通常のエージェントにおける

サービス実行と大きく変わらない。しかし、ネットワークロボットとエージェントには以下の差がある。

エージェントのサービスは情報空間の中での実行であり、実空間との直接の情報流通はない。また、エージェント自身は実空間に作用を及ぼすアクチュエータを持っていないので、サービス実行中においても実空間の状況を変化させることはない。

これに対し、ビジブルロボットは実空間に存在する。そして、実空間に作用を及ぼす腕や脚、顔などのアクチュエータも所有している。このため、ビジブルロボットは、サービス実行中において、実空間での位置や、所有しているアクチュエータを変化させる。このアクチュエータの作用により、ヒトや環境も変化する。

つまり、ネットワークロボットのサービス実行においては、アクチュエータによる実空間への作用と双方向性とはエージェントなど従来の情報空間でのサービス実行と大きく異なっている。これに伴い、実空間での安全性確保という新たな制約も加わる。

以上をまとめると、ネットワークロボットのサービス実現の特徴は以下のようになる。

- ・実空間へのアクチュエーション
- ・実空間と情報空間の双方向性
- ・安全確保のためのネットワークロボットの知性（アプリケーション層）、判断（ネットワーク層）、アクチュエーション（物理層）の上下層の役割分担と同期
- ・ローカリティ（局所優先）とユビキタス（遍在性）との両立

4. ネットワークロボットでのサービス連携の問題点

次に、ネットワークロボットのサービスを実現するのを阻む問題点は何かを考えたい。

4.1 問題点 1：サービスの共通概念化

表1で用途別にビジブルロボットの分類を行ったが、サービス自体の標準化はできていない。Foundation for Intelligent Physical Agents (FIPA) では、エージェントのサービス記述の標準化を行ったが、そこにはネットワークロボットのアクチュエーションに関するものはない。したがって、サービスとは何かという共通概念を作る必要がある。しかし、あまり厳密にサービスの共通概念を定義すると、定義にあてはまらない例外的なものが増え、かえって使えなくなってしまう。必要なのは、適度なバランスでの共通概念の作成である。

4.2 問題点 2：デバイス能力の不均一さ

エージェントの世界では、エージェントが稼動するデバイスは、PC から携帯電話、PDA など、CPU 能力の低いものに焦点が移りつつある。エージェントのモビリティが高まっているとはいえ、センサネットワークやユビキタス

ネットワークでは非常に CPU 能力が低く、エージェント稼動が見込めないデバイスもある。

エージェントやユビキタスネットワーク、センサネットワークに比較し、ネットワークロボットは CPU 能力も高く、ネットワークも従来の TCP/IP が使用できるなどデバイス能力としては高い。しかし、同じ受付接客というサービスに限定しても、表1に示したようにアンドロイドから動物型のものまで多種多様で、決して均一ではない。

以上のように、デバイス能力が不均一であるために、画一的な標準化を行うことはほぼ困難である。不均一性を前提として、サービスの解釈、発見・検索を行える最低限の情報流通を、ネットワークロボット、エージェント、ユビキタスネットワーク、センサネットワーク間で行えるようにする必要がある。

4.3 問題点 3：局所性とユビキタス性の両立

ネットワークロボットの四つの特徴のうち、「実空間へのアクチュエーション」「実空間と情報空間の双方向性」「安全確保のためのアプリケーション層、ネットワーク層、物理層の上下層の役割分担と同期」の三つの特徴はサービス実行手順の中の組織化と実施に関係するのみである。これに対し、「ローカリティ（局所優先）とユビキタス（遍在性）との両立」は、サービス解釈と発見・検索にも大いに関係する。したがって、これだけはサービス記述において明確にしておかないと、ネットワークロボットで扱うサービスの共通概念の明確化の意義がなくなってしまう。

5. ネットワークロボット連携の事例

5.1 ロボットサービスマッチメカ事例

サービスの解釈と発見・検索を行うに当たって、標準化されているビジブルロボット機能を利用し、ビジブルロボットごとの用語の違いも吸収できるようにするために、サービスをその名称やカテゴリーのみでなく意味を考慮して発見・検索を行う Web サービスマッチメカを用いて拡張する [1]。

Web サービスの検索では、サービス内容や入力引数と返答結果に関するサービス呼び出しインターフェースなどの静的な情報に基づいて検索を行っている。Web サービスでは、エージェントを扱うことが可能である。エージェントは情報空間でバーチャルに自律的に稼動するので、バーチャルロボットとして考えると、Web サービスマッチメカを拡張することで、バーチャルロボットとビジブルロボットの双方を同様に扱うことが可能である。

Web サービスに比較して、ビジブルロボットでは、以下の動的情報が必須である。

(1) 位置：Web サービスは情報空間に閉じているのに対し、ビジブルロボットでは実空間で作用する。したがって、ビジブルロボットはどこにいるかが重要である。

(2) 負荷：Web サービスでは同時に多数の要求を受け付けるが、ビジブルロボットはアクチュエータを伴うため、同時にこなせる要求に限界がある。

以上の動的情報を、サービス提供主体の内部状態として扱う。ビジブルロボットの構成はロボットごとに異なるので、内部状態の抽象化方法も異なる。表 1 にあるように、一つのサービスに限定しても形状も多様であるので、内部状態の名前のつけ方もメーカーや業界によって異なる。

我々は、内部状態を抽象化するのではなく、プリミティブな状態変数の集合同士を比較する方法をとった。ここでいう状態変数とは、例えば現在位置やスイッチのオンオフ、車輪の数などである。このような状態変数というプリミティブなレベルでは、どのビジブルロボットでも類似の項目をもっていると考えられる。

この状態変数の集合同士を比較する方法は、具体的には以下のようになる。

- ・プリミティブな状態変数を記述論理のアトミックコンセプトとして定義する。
- ・状態変数の集合を記述論理のコンセプトに変換する。
- ・記述論理の包摂関係の判定により、現在のビジブルロボットの状態がサービスを呼び出す際の条件を満たしているか判定する。

状態変数集合の比較方法としては、ほかにルールベース推論、一階術語論理、ベイジアンネットワーク、ニューラルネットワークなどがある。

ここでは、以下の理由により記述論理を採用している。推論処理時間に関しては、一階術語論理では NP-hard または決定不能となる場合があるのに比べ、記述論理では多項式オーダーで収まることが知られている。判定の確実性に関しては、ベイジアンネットやニューラルネットワークが 100% の確実性が得がたいのに比べ、記述論理では確実性が高い。論理的に確実であって、さらにルールベース推論に比べ記述論理では、ルール間の整合性維持が比較的容易である。オントロジーによって知識構造が可視化され、記述容易性、保守性が高い。構成は図 1 のようになる。

図 1 ネットワークロボットアーキテクチャ

5.2 Flipcast によるロボットリモート制御の事例 [2]

商店街や地下街などでロボットが協調してナビゲーションなどを行っている環境において、必ずしもロボットが環境変化をすべて認識できるわけではない。環境変化に感じられないような場合など、人間が携帯電話などを用いてリモートでロボットに制御指示を行う必要がある。ロボットサービスマッチメーカーによるロボット間協調技術を用いて、人間にとって容易なりモート制御を実行するため、サービス呼び出し手順が書かれた簡単なプログラム（以下、スクリプト）により、対象プラットフォーム（携帯電話、ロボットなど）間を繋いでサービスを実行するのがリモート制御スクリプト技術 Flipcast である。既存の分散システム開発・実行環境が持つアプリケーション開発・デバッグ・変更の難度を下げ、時間を短縮できるというメリットを有する。Flipcast は、ビジブルロボットや組み込み機器のネットワーク連携に特化した特徴を持つ（図 2）。

(1) 極小フットプリントサイズ：携帯電話アプリ版では、スクリプトの解釈実行部と条件判断部などの必須サービス 38 種を 11.2[kb] で実装した。ネットワーク、データ保存、携帯上グラフィックなどを加え、ターゲットとして設定した機種のアプリ最大容量 50[kb] 以下で実現した。

(2) スクリプト移動：同期処理によるスクリプト開発難易度上昇とアプリケーションプラットフォームの肥大化を防ぐために、単一のスクリプトが処理の進行に応じて実行中に自由に他機器に移動できるようにした。移動時に実行状態の情報とダイナミックに保持しているデータもあわせて転送する。移動先のプラットフォームでは、これらの情報を参照して移動前の機器での処理の続きから解釈実行を行える。

ホームロボット ApriAlpha™ から出発したネットワークスクリプト Flipcast がインターネット上のサーバから最新ニュースを取得し、ApriAlpha に戻って、ニュースを音声合成で読み上げるというビジブルロボットとバーチャロボットの連携デモを実現し、TEPIA（機械産業記念館）で開催された「ロボットと近未来ホーム展」にて 2003 年に公開した。

- ・携帯端末に組み込み可能な極小サイズ
- ・エンドユーザのモバイル環境を自在・簡単に拡張可能
 - 携帯電話で書けば、その場でロボットに指令を出せる
 - プラットフォーム間で移動可能
 - サーバサイドで豊富な機能を使う

図 2 ネットワークスクリプト言語「Flipcast」の特徴

5.3 ロボット間協調言語の事例

ロボットサービスマッチメーカーと Flipcast によりビジュアルロボットとバーチャルロボットの連携は実現できた。自律性を有するビジュアルロボット間の連携では、互いが認識している状況や所有している機能に応じた交渉が必要である。我々は、このロボット間連携を、FIPA で定められたエージェント間が意図を伝え合う信念モデル (BDI) に基づく協調技術 ACL (Agent Communication Language) と IP (Interaction Protocol) により実現する [3]。開発済みの FIPA エージェント仕様にに基づく Bee-gent をベースに、ネットワークロボット用協調言語としてプロファイル化を予定している。

6. お わ り に

本稿では、ヒトとの円滑な対話や家事アシストなどのサービス実現のために、ネットワークロボットがエージェントやユビキタスネットワーク、センサネットワークと連携することの重要性とその特徴を明らかにした。

さらに、その特徴に重点をおいたサービスマッチメーカーによるロボット間協調や、Flipcast によるロボットリモート制御の開発事例を紹介した。最終的には、これらをエージェントやユビキタスネットワーク、センサネットワークと連携させ、新たなサービスを創出していきたい。

謝 辞 本研究は総務省の研究委託により実施した。

参 考 文 献

- [1] 長谷川哲夫, 川村隆浩, 上野晃嗣, 大須賀昭彦, 土井美和子: “ネットワークロボットの実現に向けて—ビジュアルロボットとバーチャルロボットの連携技術—”, 第 1 回電子情報通信学会ネットワークロボット時限研究会, 2005.
- [2] K. Ueno, T. Kawamura, T. Hasegawa, A. Ohsuga and M. Doi: “Development of Ubiquitous and Multi-Robot Applications Using Mobile Script Technology,” Workshop on Network Robot Systems, 2005 IEEE International Conference on Robotics & Automation (ICRA), 2005.
- [3] T. Kawamura, T. Hasegawa, A. Ohsuga, M. Paolucci and K. Sycara: “Web Services Lookup: A Matchmaker Experiment,” IEEE IT Professional, vol.7, no.2, pp.36–41, March/April, 2005.

土井美和子 (Miwako Doi)

1979 年東京大学修士修了。VR, 道案内サービス, ネットワークロボットの研究開発に従事。総務省情報通信審議会委員など多数務める。全国発明表彰など受賞。博士 (工学)。

長谷川哲夫 (Tetsuo Hasegawa)

1987 年早稲田大学修士課程修了。同年株式会社東芝入社。自律分散システム, エージェントシステムの研究開発に従事。情報処理学会, 電気学会各会員。

上野晃嗣 (Kouji Ueno)

2000 年東京工業大学修士課程修了。同年株式会社東芝入社。移動エージェントシステムの研究開発に従事。情報処理学会会員。