特集 ファジィ思考によるヒューマンフレンドリシステムへの挑戦

—LIFE 6 年間の活動を終えて—

人間と協調作業をする分散ロボット[†]

畝見 達夫*

1. はじめに

LIFE 知的ロボットプロジェクトでは、92 年 4 月から 95 年 3 月までの後半 3 年間、「人間と共生する自律分散ロボットシステム」をテーマにかかげ、その基礎技術の確立と、コンピュータシミュレーションおよびミニチュアの実機ロボットをもちいた実証試験システムの作成を目標に研究を行った。自律移動ロボットの研究に直接携わった経験のまったくない、ある意味で素人の研究チームが、最終的には、人間と自律分散移動ロボットの協調作業という他に例のないテーマに対して、1 つのプロトタイプを作り上げることができた。研究成果については、FUZZ-IEEE/IFES'95 の論文[1~5]を参照いただくことにして、ここでは、3 年間を振り返り、その足跡について紹介しよう。

2. テーマ決定までの道のり

LIFE には前半の 3 年間にもロボットプロジェクトがあり、実時間ファジィ制御システムの作成ツールである FRASH の開発と応用や、移動ロボット単体でのナビゲーションと視覚を用いた人の認識を例題に、ファジィアルゴリズムやマクロ判断の応用を試み、HERO-2000 を用いた実機での

実験を行なった。後半 3 年間のプロジェクトも、当然ながら、その成果をふまえた上で考え出されたものである。

しかし、実際のテーマ設定は、そうそんなり決まったわけではなかった。まず、自律分散ロボットシステムを 1 つのキーワードにしようという方向性は、前半のプロジェクトの最後、つまり 92 年 3 月に「来年度の研究計画」を作成した際に既に決められていた。ロボットプロジェクトのメンバーも前半と後半でほぼ交代となり、プロジェクト開始から 2 カ月ほどは、前半のプロジェクトが残した計画書を前に研究計画を具体化すべく頭をかかえることになった。自律分散ロボットは、今もホットな研究テーマである。これを掲げるのは結構なことだとしても、どこにファジィ技術を生かすかが問題である。もう 1 つ前半のプロジェクトから引き継いだテーマは、未来の一般家庭で日常的に使われるロボットを実現するための基礎技術の確立という点であった。ファジィ技術を生かせる「家庭で使う自律分散ロボットシステム」構築のための基礎技術の模索、これが我々に課せられた最初の課題であった。

その頃、多くの新人研究員は寺野所長のつぎの言葉に頭を悩ませていた。すなわち「ファジィでもできるというのではだめだ。ファジィだからできたというものを作って欲しい。」この指針自体はファジィを名前に掲げる研究所としては当然のことではある。しかし、知能化技術の 1 つとしてしかファジィを捉えていなかった者にとって、これはなかなかの難問であった。ファジィの本質につ

[†] A Distributed Robot System That Makes Cooperative Works with Human

* Tatsuo UNEMI

創価大学工学部情報システム学科
Department of Information Systems Science, Soka University

いて考え、ファジィ以外の枠組みにはない部分がキーとなるような応用を考えなければならない。ファジィ技術の本質はなにかという議論をここで始めるには紙面が足りない。特にファジィを専門とする方々には様々な意見があろうが、1つの見方として、知的ロボットプロジェクトでは、人間と機械の間を取り持つ道具としてファジィ技術を考えることにした。単に自律分散ロボットの研究というだけではファジィ「でも」できる程度のことしかできまい。我々は「人間との共同作業」をタスクとして想定することにより、ファジィの特徴を十分に生かせると思った。

3. 人間とロボットの関係について考える

人間と共同作業をするロボットと一口に言っても、両者の関係としては様々な形態が考えられる。道具としての機械という立場からは、ロボットは知的であるよりも単純で分かりやすく、容易に制御可能であるほうがよい。「知的」ロボットの研究としては、分かりやすいが高機能であることが必要である。

テーマのキーワードの1つは「共生」である。これが我々のプロジェクトで前提とされた人間と機械の関係である。この考え方は、プロジェクトのアドバイザーであった福田敏男先生の提案によるものだった。本来、異なる生物種間の生態学的関係を表現するこの言葉を、生物ではないロボットとの関係に持ち込むことは、いわゆるカテゴリーミスマッチである。あえてこれを許すには「生きる」という言葉の意味を生物学的な意味からかなり拡張しなければならない。実際のところ、その時点ではこのやっかいな問題は後で考えることにして、昨今の地球環境問題への社会的関心の高まりと同時に時代のキーワードともなりつつある「共生」を、とりあえずはプロジェクトのキーワードとして拝借することにした。

具体的に研究を始めるに当たり、最も重要な要素は例題として何を持ってくるかである。LIFEは特定の問題についての解決策を研究するところ

ではない。機械の知能化のための要素技術の1つであるファジィ技術について、その基礎と応用分野の拡大を図ろうというわけだから、例題の設定自身が研究の対象でもあるわけだ。

もう一人のアドバイザーであった廣田薫先生の案でサッカーのようなチームプレーを必要とする対戦ゲームも考えられたが、知的ロボットプロジェクトに期待されるもう1つの重要な使命、すなわち、最終的な研究成果の総まとめとなる国際会議 IFES'95 で、一種のショウ的な要素のあるデモンストレーションを実施したいということを考えると、観客が見て面白がるようなロボットサッカーを実現することは、ファジィとは別の部分でかなりの労力を必要とすると考えられることから、結局、とりやめになった。

そこで、代替案として出てきたのが机と椅子の並び変え作業である。机・椅子・ロボットの大きさや個数を適当に調整することで、問題の複雑さを適当に変化させることができる。しかも、作業の内容は誰にでも理解できる。机と椅子という2種類の対象物を想定した理由は、机は2人で運び、椅子は1人で運ぶという仮定を設けることで、協調が必要な作業と不要な作業を混在させるためである。期限付のプロジェクトで最終的な成果をきちんとまとまった形で出そうとするなら、研究の目標を、少なくとも達成すべきレベルと理想的な(欲張りな)レベルとの間に複数の目標レベルを段階的に設定しておくのが妥当であろう。研究というものはいつまでにどこまでできるかなどということを事前に宣言することの難しい仕事である。これまでにないものを作り出そうというのだから当然ではあるが、かといって何ができるか分からないというのでも困る。我々は、理想的なレベルとして自律ロボット4台と人間が操縦するロボット1台、合計5台のロボットで机を5台と椅子を10台の設定で、目標配置を協調的に達成することを仮定した。これは理想的な目標である。実際、研究を進めるに従って、我々は作業スペースの混雑具合について甘く考えすぎていたことが、シミュレーションなどを通して徐々に明らかとなり、

最終的にはそれぞれの数を削減せざるをえなくなった。

机・椅子の並べ替え作業を人間とロボットが協調的に行おうとするとき、ロボットは人間に対してどのような態度で臨むのが理想的だろうか。自然言語を用いた対話については知的インタフェースプロジェクトが協調的な対話を行うコンサルテーションシステムについて研究を行った。対話と共同作業との違いは、物理空間での非同期的な動作を伴うか否かにある。また、我々が対象としたのは複数のロボットとの協調である。エージェントの数が2の場合と3以上の場合とでは事情がかなり違う。2なら相手は一意に決まるが、3以上になると対話の相手を決める手続きが必要になる。あるいは、エージェントは必ずしも対話に参加する必要がない。共同作業の場合には、あるエージェントがまったく作業をやらなくても他のエージェントによって全体のタスクは達成されるならば、それでもよい。さらに、作業の遂行の最中にあまりおしゃべりが多いのは考えものである。作業の効率と参加する人間の充実感を考えると、言葉で情報をやり取りするよりも、互いに相手の動作から意図をくみ取れば、コミュニケーションのための負荷をかなり軽減することができる。つまり、「行動に基づく意図推論」である。

再び、共生について考えてみよう。これまで、アシモフのロボット3原則を挙げるまでもなく、ロボットは人間に奉仕すべき機械として考えられてきた。人間の共生の相手としてロボットをとらえるということは、この枠組みを壊すことでもある。つまり、ロボットから人間への一方的な奉仕ではなく、人間もロボットも互いに奉仕し合おうというわけである。ロボットに奉仕するとはどういうことか。生物の場合、その個体あるいは遺伝子を増やし種を維持することが唯一の目的である。今のところロボットは自己増殖しない。ロボットの目的は、とりあえず、与えられたタスクを遂行することであると考えことにしよう。共生の概念を拡張し、互いに、他の目的を達成するために協力し合うこととすれば、ロボットと人間の共生

も可能になる。ロボットは人間の奴隷ではなく、対等な立場まで引き上げられる。つまり、ロボットは人間からの指令通りに動くのではなく、自身の信念に従って行動する。そして、人間の指令を受け入れない場合もあれば、必要と判断すれば人間に指令を出すこともありうる。もちろん、共生というからには、人間にとっても快適な相手である必要はある。つまり作業仲間としてのロボットである。

4. 研究の分担と統合

プロジェクト開始時点での研究員の数は、プロジェクトリーダを含め、4名であった。その後、1名が加わることになるが、とにかく、各々の研究員が個々のテーマで論文を書けるぐらいの適当なサブテーマを設定する必要があった。全体の研究テーマを達成するための部分作業としての過不足の無い分担と、それぞれの研究員が、それまでに大学あるいは出向元企業で行ってきた研究の背景を生かすという、2つの点を考慮したテーマ設定が必要である。

サブテーマとして、「行動からの意図推論」と「自律移動ロボットによる協調作業」の研究は当然必要である。前者は稲垣康弘研究員が担当し、後者は腕ロボットのハードウェアについて経験のあった杉江弘研究員の担当とした。もう1つのテーマとして、これらをロボットシステムの上で実現し統合するためのプログラミングと計算のアーキテクチャの設計を掲げることにした。これは当プロジェクトで唯一ファジィに関わる研究の経験者である愛須英之研究員の研究テーマとなった。その後加わった小野修一郎研究員には、今後重要になると思われるロボット学習を研究テーマとした。もう1つシステム全体を統合するための通信に関する部分の実現についても経験を生かして小野研究員の担当とした。プロジェクトの開始早々には、ファジィプロトコルなるものをでっち上げ、あいまいな通信などというものが役に立つ可能性がないか考えたこともあったが、結局、通信にあいま

い性を導入することはとりやめた。通信の部分は実証システム構築のための開発ということで、単独の論文になるような研究テーマにはならなかった。

これらのサブテーマは本来は、全体のシステムとして完全に統合されることが理想であったが、残念ながら個々の研究員の仕事をそのまま統合するという結果にはならなかった。1つには個々の研究の完成と、それがシステムの一部として組み込まれることの妥当性が必ずしも両立しないこと、そして、統合のために必要とされる、全体の統合的なアーキテクチャの設計が遅れたことに原因がある。ロボット、パソコン、ワークステーションといった複数の異なるハードウェア上で動作するサブシステムを統合するには、特に通信プロトコルや、実時間でも動作を確実にする同期のための機構もあわせて、初期の段階に設計しておかなければならないが、特に後者についての設計が甘かったことが最終的な統合までこぎつけなかったことの原因であろう。通信については、ある種のブラックボードモデルを設計し、それを用いて部分的には統合することができた。

結局、最終的なデモンストレーションでは、杉江研究員のシステムをベースに、稲垣研究員がシミュレーションで実現した「行動からの意図推論」のルールをプログラムに書き直して埋め込んだ。動的なプランニングと制御のアーキテクチャ、および、強化学習についてもハードウェアでの実験を試みたが、全体システムの一部として埋め込むまでには至らなかった。

5. ハードウェアのこと

幸いにしてハードウェア経験のある杉江研究員と、アルバイト学生の橋本智己君という強力なコンビネーションによって、最終の IFES'95 におけるデモンストレーションを成功裏に終えることができた。ロボットでなくともハードウェアの研究には、それなりに手先の器用さが要求される。どんなすばらしいアイディアも実機で動くかどうか

でかなり説得力が違ってくる。シミュレーションだけでは不十分であったり、シミュレーションが困難な領域も多く存在する。ましてや、デモの効果を考えるならば、コンピュータの画面に映るだけよりは実機が動くほうが格段に説得力が違う。

LIFE の所内の 5 m 四方程式の実験室で 4、5 台の移動ロボットを動き回らせるためには、ロボットのサイズがそれなりに小さくなければならない。理想的には人間と対等に付き合えるような大きさの人間程度のロボットが共生のプロトタイプとして適切であろうが、残念ながらそれは実験環境の制約から物理的に困難であった。もっとも、実験室が十分広くても技術的にははるかに難しくなりそうなことは容易に予想がつく。我々は人間が直接、作業に加わるのではなく、人間が操縦するリモコンロボットを 1 台用意し、代役をやらせることにした。

研究員の数から言って、所内ですべてを設計、制作するほどの余裕もない。そこで、競技用のマイクロマウスに目をつけた。大きさもちょうどいいし、市販品も何種類か存在する。競技会での優勝実績のあるマシンが手ごろな値段で手に入ったので、センサやモデムの拡張をおこない、自律ロボットと、人間の代役であるリモコンロボットを作成した。16 ビット CPU と左右両輪を独立に駆動するステッピングモータ、前後輪の向きを変えるための DC サーボモータを備え、オプションでワイヤレスモデムもつく。これをまず 2 台購入。試用の結果、十分我々の目的に合うと判断したので予備もいれて合計 6 台を購入した。ロボット上の CPU で全ての計算を行なうにはメモリと計算速度の面で難があるのでワークステーション上での推論結果をパソコンに接続したワイヤレスモデムを通して送信することで制御することにした。ただし、一台はリモコンロボット、つまり、パソコンに備え付けたジョイスティックの操作に従って制御される人間の代役である。

大きな問題の 1 つは、それぞれのロボットと物体の位置と姿勢を計測する方法である。理想的には各々のロボットが独自の視覚を持ち、それぞれ

にパターン認識を行なわせることで、相対的な位置関係を把握する機能をもたせたい。しかし、このミニチュアロボットでそれを実現することは、かなりの困難を伴うと考えられるため、我々は作業スペースの天井に CCD カメラを備え付け、全体の各物体の絶対位置と向きを得ることにした。ただし、カメラと画像処理装置から得られる ± 5 cm の精度と 0.5 秒間隔のサンプリングレートでは、ロボットを十分な精度と速度で制御することはできない。これには、ロボットに搭載した振動子ジャイロとステッピングモータによるデッドレコニング、および、赤外線距離センサとタッチセンサを併用することで対応した。

IFES'91 のときのデモにともなう苦勞話を聞いていた我々は、稲垣研究員がその唯一の経験者だったが、IFES'95 でも、数日の泊まり込みを覚悟していた。しかし実際やってみると、思ったよりすんなりと動作した。他のハードウェアのデモが隣接していなかったことも多分好都合だったにちがいない。当初の目標よりは若干縮小されたものの、2 台の自律移動ロボットと、1 台の人間が操縦するロボットとの協調作業によって、3 台の机と 3 台の椅子を並び変える作業を実演することができた。

6. おわりに

1 つ残念なことは、これで、この研究自身には続きがないことである。欲を言えば、まだまだやり残した研究課題はたくさんある。プロジェクトは解散してしまったが、どこかで、我々の研究成果が未来の技術の参考になれば幸いである。

以下に、課題のいくつかを挙げておこう。

自律分散と称しながら、天井カメラというグローバルな認識システムを使うことは、ある意味で反則である。複数の自律移動ロボットの局所的相対的なセンサ情報だけから協調作業に必要な外界の情報を得ること自体が、重要かつ困難な研究課題である。

我々はあえて言葉によるコミュニケーションを

排除した。実際に人間同士が共同作業を行なう場合には、知識情報の交換だけではなく、掛け声のような動作の同期や注意の喚起のために音声を用いることがある。人間と共同作業をするロボットにもこのような音声による情報交換の機能は必須であろうと考えられる。

最後に、知的な機械、人間と対等な機械を研究・設計・普及すること自身が人間の社会にとって価値のあることなのかどうか。また、そのような機械が社会的に受け入れられるものなのかどうかという問題も残されている。新しい科学技術は、たえず多少の反対意見を残しながらも、発達、普及してきたという歴史があるが、新技術導入の前に、それによってもたらされる負の面についても十分気を配る必要があることは言うまでもない。

謝 辞

この研究プロジェクトに様々な形で関わった全ての方々に感謝致します。

参 考 文 献

- [1] T. Unemi, Y. Inagaki, S. Ono, H. Aisu, H. Sugie: On the Relation between Human and Robots in the future—a perspective from Fuzzy Engineering and Artificial Life, Proc. of the Intl. Joint Conf. of the Fourth Intl. Conf. on Fuzzy Systems and the Second Intl. Fuzzy Engineering Symposium, 1689-1694, 1995.
- [2] Y. Inagaki, S. Ono, H. Aisu, H. Sugie, T. Unemi: Behavior-based Intention Inference for Intelligent Robots cooperating with Human, Proc. of the Intl. Joint Conf. of the Fourth Intl. Conf. on Fuzzy Systems and the Second Intl. Fuzzy Engineering Symposium, 1695-1700, 1995.
- [3] H. Aisu, Y. Inagaki, S. Ono, H. Sugie, T. Unemi: A Robust Planning and Control System Handling Fuzziness, Proc. of the Intl. Joint Conf. of the Fourth Intl. Conf. on Fuzzy Systems and the Second Intl. Fuzzy Engineering Symposium, 1701-1704, 1995.

- [4] H. Sugie, Y. Inagaki, S. Ono, H. Aisu, T. Unemi: Cooperation among Multiple Mobile Robots Using Intention Inference, Proc. of the Intl. Joint Conf. of the Fourth Intl. Conf. on Fuzzy Systems and the Second Intl. Fuzzy Engineering Symposium, 1707-1712, 1995.
- [5] S. Ono, Y. Inagaki, H. Aisu, H. Sugie, T. Unemi: Fast and Feasible Reinforcement Learning Algorithm, Proc. of the Intl. Joint Conf. of the Fourth Intl. Conf. on Fuzzy Systems and the Second Intl. Fuzzy Engineering Symposium, 1713-1718, 1995.

(1995年 7 月26日 受付)

[問い合わせ先]

〒192 東京都八王子市丹木町 1-236

創価大学工学部

畝見 達夫

TEL: 0426-91-9429

FAX: 0426-91-9312

E-mail: unemi@iss.soka.ac.jp

—— 著 者 紹 介 ——

畝見 達夫 (うねみ たつお)

創価大学工学部

1981年 東京工業大学大学院システム科学専攻博士課程を中退し同専攻助手、1987年 長岡技術科学大学講師、1992年 創価大学工学部講師、1995年 同助教授現在に至る。1992年4月から1995年3月まで国際ファジィ工学研究所客員研究員。1994年博士(工学)。人工知能学会、情報処理学会、日本ファジィ学会等会員。