キーワード

ロボット、エンターテインメント、自律性、ペット、ロボカップ

藤 田 雅 博

ソニー(株)

1. はじめに

1999年5月、我々は世界初の4脚歩行をする家庭用エンターテインメントロボット AIBO ERS-110 の商品化を発表した。日本、アメリカでインターネットでのみの受注による販売であったが、日本ではスタートして20分、アメリカでは4日でそれぞれ3,000体と2,000体の予定数の受注を完了した。以来、各種のメディアでペット型ロボットとして取り上げられ、人々のエンターテインメントロボットあるいはペット型ロボットという新しい商品に対する期待の大きさを確認することができた。

我々は、新しくロボットエンターテインメントと呼ぶ産業を築くべく、1994年よりエンターテインメント応用に研究開発を集中して AIBO の開発を行ってきた⁽¹⁾。

エンターテインメントは従来の自律型ロボット研究の目標とは違い、その信頼性や安全性において実用化への障壁が低い。そのため、介護ロボットや危険作業ロボットなどのような応用に比べて、短期間で実用化が可能であると考えた。また、コンシューマー市場が期待できるため、大量生産による低価格化の可能性が期待できる。AIBO ERS-110 の主な構成を図1に示す。

同図は機構系として4脚のロボットであり、頭部と尻尾部がついている。各脚は3自由度で構成されて、頭部にも4自由度、尻尾部には2自由度を配置し、全部で18自由度という多くのアクチュエータを用いて表現豊かな動作が可能である。なお、頭部の4自由度のうち一つは口を動かすものである。それぞれの関節はDCギアドモータとサーボ制御のICで制御されている。モータ以外の効果器としては、スピーカとLEDがそれぞれ頭部に装備されており、スピーカを用いて音声やその他の音を出すことや、“目”のような形状の赤や緑のLEDを用いて、“怒り”や“喜び”などの情動表現をすることができる。

一方、センサは超小型のカラー CCD カメラ、ステレオマイクロホンのほかに、赤外線距離センサ、胴体部に姿勢制御用の加速度センサとジャイロセンサ、頭頂部には感圧センサ、各足先に小型のスイッチによる接触センサを搭載している。

バッテリーは7.2V、2,900mAhのリチウムイオンバッテリーであり、通常動作で90分連続動作が可能である。

これらのセンサからの入力を実体部にある64ビットのRISC CPUで処理をし、前述の非常に多くの自由度をもつ関節、スピーカ、LEDを用いて出力することで、人間や環境とインタラクションを行う。更にリムーバブルなメモリーカード（メモリースティック）を書き換えることでいろいろなプログラムを動作させることが可能である。我々は、アプリケーションプログラムとしてペット型ロボット、サッカー型ロボットなどを想定している。今後どのようなソフトウェアが出てくるかを予想することは難しいが、いろいろなアプリケーションに応じてその形状や構成を変更できる Reconfigurable Robot Platform などの可能性もある。

この論文では、ペット型自律ロボット、および、我々が提案するロボットエンターテインメントシステム用 Reconfigurable Robot Platform のアーキテクチャ OPEN-R について簡単に紹介する。また、自律型サッカーの競技大会 RoboCup に関しても述べる。

(1) ペット型自律ロボット

エンターテインメント応用の自律型ロボットという研究開発において我々が最初に選んだアプリケーションはペット型ロボットであった。また、4脚型ロボットという形状もペットとして代表的な哺乳類動物を参考にしている面が多い。図2に、1997年に発表したペット型ロボットの試作機を示す⁽²⁾。

この試作機は AIBO ERS-110 と同じく各足3自由度であるが、口の自由度と尻尾の横方向の自由度を持っており

図1 AIBO ERS-110 の構成

図 2 ペット型ロボットの試作機

ず全部で 16 自由度の構成である。アクチュエータとしては AIBO 同様 DC ギアドモータをサーボ制御用の IC をもちいて制御している。センサも CCD カメラ、ステレオマイクロホン、加速度センサなど AIBO とほぼ同様の機能をもつハードウェアを搭載している。この試作機では、はじめてマルチチップモジュール技術をもちいて超小型の CCD カラーカメラを開発し、それを搭載している。

また CPU は 32 bit RISC CPU を二つ使用している。一つは、画像処理用、もう一つは音響信号や制御のために使用している。二つの 2 CPU はシリアルバスを用いて通信をしており、トラッキングしている色や位置情報、トラッキングして欲しい色などをやり取りする。

この試作機のデザインコンセプトは次のようなものである。

- ・人の住んでいる実世界で動作可能であること
- ・バッテリー、CPU などをすべて搭載したスタンドアロンシステムであること
- ・柔軟で複雑な動き、行動をすること

前述のとおりではあるが、このような目標を達成するため、試作したロボットの特徴をまとめると以下のようである。

- (i) 雑音や妨害の多い実環境でも動作する認識手法の採用
- (ii) 組込み型のシステムでも十分動作する実時間処理可能な認識手法の採用
- (iii) 柔軟で複雑な動き、行動のために 4 脚ロボットという構成と 16 自由度という多自由度構成

特に、実世界実時間のための認識手法として以下に特徴をもつ方法を採用した。

- ・音処理は、雑音や妨害（人の話し声）に弱い音声認識を避け、トーン信号（音楽）を用いてコミュニケーションする方法を採用した。トーン信号は、Time-Frequency 領域で見たときに、時間軸方向に一定時間定常的な信号であるため、人の話し声などの分離が容易である。
- ・画像処理は実時間処理を考慮して、画素ごとの色空間でしきい値判断をする色処理を基本とする方法を採用

図 3 様々な行動を示すペット型ロボット

した。

更に前述の複雑さを増すため、反応や行動のきっかけ、あるいはモチベーションを多く、並列に持たせ、それらを競合協調させる、という手段を取った。それらのモチベーションは以下のように分類される。

- (1) 反射行動と熟考行動といった反応時間の速いモチベーションと遅いモチベーション

- (2) 本能、情動といったモチベーション

以上はロボット全体に対するモチベーションであるが、それ以外にも組合せ的な複雑度を増すべく、以下のような工夫もしている。

- (3) 首、体、尻尾といったロボットの部分にも独立なモチベーションをもたせる。すなわち、ロボット全体のもっているモチベーションとは独立に、首は首部分のもっているモチベーションで動作し、尻尾は尻尾部分のもっているモチベーションで動作する。

これらは概念としては Behavior-Based Architecture (文献(2)) と同じ考えであるが、従来の Behavior-Based Architecture は車輪型ロボットを基にしており、ロボット全体に関するモチベーションを並列に考えていた。それに対し、我々が提案した上記の方法は、関節型ロボット特有の首、尻尾、体全体といった部分へ Behavior-Based Architecture の考え方を拡張していると考えられる事ができる。図 3 に上記をもとに様々な行動をしている様子を示す。

2. Reconfigurable Robot Platform

ペット型ロボットという応用はロボットエンターテインメントという領域において、代表的でかつ重要なアプリケーションと考えることができる。一方、その他にもスピードを重視するような競争用タイヤ型ロボットや、人間のようには振る舞う 2 脚型ロボットなど、ロボットの形状は 4 脚以外にもいろいろと考えられる。またこの例のように、応用により脚型よりタイヤ型が必要なこともあるであろう。

システム構成としても必ずしもスタンドアロンタイプで

はなく、リモコンやレグジスタンスなどのように有線や無線により信号や制御コマンドをロボット外部と通信するシステムや、インターネットにつないだようなシステム構成も必要である。

これらの事実を考慮すると、拡張性があり、ロボットの構成を容易に変更でき、ロボット間あるいはロボット以外のシステムと通信できるシステムアーキテクチャの重要性が明確になってくる。我々は、OPEN-R というロボットエンターテインメントシステムのためのシステムアーキテクチャを提案している⁽¹⁾。

OPEN-R はコンピュータのオープンアーキテクチャへの要求事項である、(1) 拡張性、(2) ポータビリティ、(3) インターオペラビリティ、(4) スケーラビリティの四つの要求事項と、前述のロボット固有の要求事項、(5) スタイルフレキシビリティを加えた要求事項をみだすものとして検討されている。

ここで、ポータビリティとスタイルフレキシビリティという要求は、ソフトウェアが様々な構成なロボットで動作する、というものであり、従来のコンピュータでは考慮しなくてよかった問題である。

OPEN-R のアプローチはハードウェアとソフトウェアの部品化と、部品間インタフェースの統一というオーソドックスなものである。ポータビリティとスタイルフレキシビリティに対しては、構成依存と構成非依存なソフトウェアに階層化し、ハードウェア部品に記憶されているダイナミクスやセンサの機能記述の構造体を解析することで構成依存のソフトウェアを交換する、という方法で解決する。

この考えに基づく reconfigurable robot platform の試作機を図 4 に示す⁽³⁾。

同図のように、頭部+胴体、脚部、尻尾部それとタイヤベース部の OPEN-R 部品を試作し、それを用いて 4 脚ロボット構成とタイヤ型ロボットの構成を作ることができる。部品間インタフェースはワンタッチで着脱可能である。また、オレンジボールを見つけ、それを前足 (4 脚)

あるいは前の手 (タイヤベース) で蹴る、というソフトウェアを作り、ハードのコンフィグレーションを CPU が判断して自動的に歩行モジュールとタイヤ制御モジュールを入れ替えるソフトも試作した。

AIBO ERS-110 では、ハードウェアのモジュール化を実現してはいないが、ソフトウェアの部品化とそのオブジェクト管理の方法などは、簡単にソフト部品を入れ替えられるような仕組みを実装している。

3. RoboCup Legged Robot League

1997 年に、チェスの人間のチャンピオンにディープブルーと呼ばれるコンピュータ上の人工知能ソフトが勝利する、という事件があった。コンピュータチェスは人工知能の標準的な問題であったが、コンピュータの処理能力は人間がチェスでとっているような戦略ではなく、別の超高速な探索の戦略を用いることによってこの問題を人間より“強い”方法で解くことに成功した。同じ年に、RoboCup と呼ばれる活動が日本人研究者を中心にスタートした。これは、自律型ロボットにサッカーをやらせる、というものである⁽⁴⁾。RoboCup の目標は 2050 年までに FIFA のルールに従って、ワールドカップチャンピオンに勝利する、というものである。

我々は、1997 年、第 1 回の RoboCup Nagoya 大会において、図 2 のロボットにラジコンの受信機をつけることにより、人間がコントロールしてロボットにサッカーをやらせる、というデモンストレーションを行った。翌 1998 年、RoboCup Paris 大会において、エラー！参照元が見つかりません。に示す 4 脚ロボットを三つの大学 [CMU (米国)、大阪大 (日本)、LRP (仏国)] に貸し出しを行い、彼らが開発した自律サッカーロボットにより Exhibition Game を行った。更に、翌 1999 年 RoboCup Stockholm 大会では、RoboCup Legged Robot League と呼ばれる正式リーグとして承認を受け、前回の 3 校を含む 9 校により予選リーグと決勝トーナメントを行った (図 5)。

RoboCup Legged Robot League では、280×128 cm の

図 4 Reconfigurable robot platform

図 5 RoboCup-99 Stockholm

フィールド内の重要な物体、ゴール、ボールなどをそれぞれ決められた色を配色し、ロボットはその色をもとに自分の行動を決定する。なお、フィールドの周りに6本のポールを設置し、そのポールに2色の色を配色することでロボットが複数のポールの位置をもとに自分のフィールド内の位置を推定することができる。これにより、ロボットはどの方向にボールを動かすべきか、などを決定できる。

RoboCup-99の全体のレベルはその前年より上がっている。例えば、色識別のパラメータの頑強性、ゴールキーパーのボールをクリアする行動などをいくつかのチームが実現していること、フィールド内の位置推定とそれを利用して行動を制御するチームなどが出てきている。しかし、ロボットは単体の行動であり、パスなどのチーム行動はまだ実現できていない。

RoboCupは現在、教育の目的として、またロボティクスや認識、人工知能などの非常に幅広い技術の向上に役立っている。RoboCupでのゲームが本当のサッカーゲームのように楽しめる日がくることを期待する。

4. おわりに

ロボットエンターテインメントと呼ぶ新しい産業を築くという動機ではじめた我々の活動のいくつかを紹介した。AIBOの商品化によりその第1歩を踏み出したといえよう。AIBOは我々の期待以上にペット型ロボットとしての利用がなされているようである。インターネットでは私設のAIBOのホームページがいくつも開かれ、どのようにAIBOを育てているとか、こういう行動をした、といった様々な情報交換が行われている。1999年の11月にERS-

111というモデルには1万台の募集に対して13万を超える応募があり、エンターテインメントロボットへの期待と興味が非常に高いことを証明した。

21世紀は自律型ロボットが人間と共存する時代がくるといわれている。ロボットエンターテインメントというアプローチが、その時代を切り開く原動力となることを期待する。

(平成12年3月10日受付)

文 献

- (1) Masahiro Fujita and Koji Kageyama: "An Open Architecture for Robot Entertainment", Proceeding of the 1st International Conference on Autonomous Agents, 435~440 (1997)
- (2) Masahiro Fujita and Hiroaki Kitano: Development of an Autonomous Quadruped Robot for Robot Entertainment.
- (3) Masahiro Fujita, Hiroaki Kitano, and Koji Kageyama: "Reconfigurable Physical Agents" Proceedings of the 2nd International Conference on Autonomous Agents, 54~61 (1998)
- (4) Hiroaki Kitano, et al: "Sony Legged Robot for RoboCup Challenge", ICRA-98, 2006~2618 (1998)

藤 田 雅 博 (非会員) 1959年神奈川県生, 81年早稲田大学理工学部電子通信科卒業。同年ソニー(株)入社。89年よりUniversity of California, IrvineよりMSEE(修士)を取得, その後, ソニー(株)の研究所以て視覚, 聴覚情報処理および学習の研究に従事。後, エンターテインメント用の自律型ロボットの研究開発に従事, 99年AIBOを商品化。