

# 人間研究グループ

國吉康夫 中村仁彦 岡田昌史 波多伸彦 土肥健純 岩原誠  
情報理工学系研究科知能機械情報学専攻

## 概要

実世界情報システムの中心課題である、人間との知的インタラクションを実現するためには、人間自身の知的インタラクションの能力を解明しモデル化することが必要である。人間研究グループでは、人間の知覚・行動・認知機能の計測・解析に基づくモデル化と、それに基づく新たなコミュニケーションや協調・介助機能の基本手法の構築を目的として研究を展開している。今年度は、全身ダイナミック行動生成、行為認識機能の学習モデル、力学的情報処理モジュールの階層化、人間への新たな情報フィードバックのためのめがねなし3Dディスプレイ、などの研究成果を報告する。

## 1 はじめに

実世界情報システムの研究目的は、人間と情報システムの新たな知的なインタラクションのあり方を具体的に提示することである。

真に有効なインタラクションは、プログラマの思い込みで天下り的に定めたやりとりを人間に強制するのでは実現し得ない。人間のインタラクション能力に関する深い理解に基づき、新たな原理と手法を探求することが重要である。

そのためにはまず、インタラクションの中で、人間が実世界の出来事をどのように知覚し、どのように行動を生成するかについての解明とモデル化が必要である。また、それを踏まえ、人間が他者と自然にインタラクトする際の基本原理の解明と、それを実現する識別・記憶・判断・学習等の認知機能のモデル化が必要である。

さらに、これらに基づき、新たなインタラクションのための情報インタフェースのあり方や、人間に合わせて柔軟にやり取りするための適応・学習機能等の研究も重要となる。

### 1.1 本年度の研究

上記の目的に向けて、人間の認識・行動原理の解明とモデル化に関しては、行為認識機能の学習型認知モデル、全身ダイナミック行動生成の研究、

環境に馴染んだ行動を生成しつつ学習を行なうシステム、力学系情報処理モジュールの階層化、また、新たなインタラクションチャネルを目指した、めがねなし3Dディスプレイ技術などの成果をあげた。

## 2. 行動の知覚、生成のモデル化

本サブテーマにおいては、(1)人間が他者の行為を認識し模倣しようとする際の注視点の位置とそこに含まれる画像特徴を抽出する新たな計測システムの構築と計測実験、(2)人間の注視点制御メカニズムの新たなモデルとして、注視点まわりの画像特徴の学習記憶機構を導入し、新奇な刺激に目を向ける機能を再現した研究、(3)ヒューマノイドのダイナミックな全身行動生成法の研究と実機制御システムの構築、などの成果をあげた。

本節では、そのうち、(3)について詳述する。

### 2.1 ヒューマノイド全身ダイナミック行動の解析と実験 (國吉)

環境との強い相互作用のあるダイナミックな動作の制御は、身体ダイナミクス活用のため、系への介入は、ダイナミクス境界における状態制御や制御則切り替えを主眼とすることになる。このような制御戦略は大域的には安定であり、多少の身体・環境状態の変動に対してロバストな、記号的性質を有すると考えられる。これはいわば、「コツ」に相当する概念であり、個体を超えて伝達可能な意味的情報といえる。従って、これはコミュニケーションや協調・介助において、行為概念記号や他者行動への介入点という、要になる情報構造を規定すると考えられる。

#### 起き上がり動作の解析

ダイナミックな全身動作の例として、図 2.1 に示すような、足を振り上げ、転がりながら起きる動作を取り上げ、解析と実験を行なった。

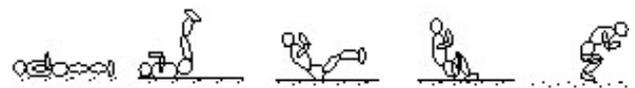


図 2.1 ダイナミックな起き上がり動作

解析は矢状面内で行い、動作の中で支持点の切り替えが何度か起こることに着目し、それによって区切られる区間ごとに運動方程式を求めた。そして、点支持期と、支持切り替え期に分けて、各々において起き上がり成功に必要な条件を求めた。

これらの解析から、尻→足の支持切り替え期が最もクリティカルであること、またその時点での身体の重心周り角速度が、想定したロボットパラメタの下では、 $3.5[\text{rad}/\text{sec}]$ を超える必要があることが判明した。

### 起き上がり動作の実験

以上の解析に基づき、起き上がり行動のシミュレーション実験を行なった。シミュレータには、OpenHRPを用い、ロボットモデルのパラメタは、形状、寸法、質量、慣性モーメント、モータ最大速度およびトルクに関して、本研究で使用予定のヒューマノイドロボットRDS-K1に一致させた。図 2.5 に示すように、足支持状態を超える運動を生成することができた。

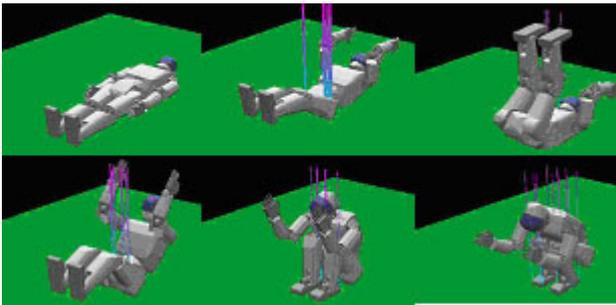


図 2.2 シミュレーション結果

### 実機でのダイナミック行動



実機での実験も進めている。左図のヒューマノイドロボットは、外形、自由度構成、関節可動範囲、モータ出力などの点で全身ダイナミック行動に適した設計である。実機埋め込みの専用通信制御系を用いて、全軸  $10\text{kHz}$  以上のサーボ周期を達成し、ダイナミック行動に必要な高応答、高出力の制御を実現した。実験は、座る状態までの遷移に成功しているが、足支持期への移行には失敗している。その主原因は、床との相互作用の影響でシミュレーションとの食い違いが出ていることである。今後、改善し、起き上がり動作全体の成功を目指す。

## 3. インタラクションの識別、記憶、学習

本研究では、行動を通じたインタラクションに焦点をあて、それがどのように選択的に生成され

制御されるか、またどのように学習されるかを探求する。ここで重要な課題は、行為時の感覚情報と運動情報から自己の行為をカテゴリ化する学習・認識機能と、他者の行為を自己の行為と対応づけ認識・識別し、相手に呼応した行為を生成する機構である。

同じ意味の行為でも状況や試行ごとに具体的な運動や感覚情報は異なるから、何をもって同じ行為とするかは重要な問題である。

本年度は、(1) 高次元空間中の代数曲線まわりに構成したアトラクタによって感覚運動パターンを記憶・想起するモジュールとそれを複数結合したモデル、(2) 数種の物体操作行為を繰り返し観察することで、行為のカテゴリを自律的に学習する自己組織化ネットワークモデル、(3) 対象に馴染む特性を有する多指ハンドで物体操作を試行することにより、物体の拘束条件を活用したスキルを獲得する研究、などを行った。以下では、(1)と(2)について詳述する。

### 3.1 力学系による感覚運動パターン識別 (中村、岡田)

ロボットが運動した際のセンサ情報と運動情報は各々、高次元の時系列パターンとなる。本研究では、高次元空間中の代数曲線の周りにベクトル場を設計することで軌道アトラクタを構成し、これによって感覚パターンと運動パターンを表現し、識別するモデルを構築した。軌道アトラクタの引き込み性により、外乱の加わった時系列パターンも識別することができる。

代数曲線は、入力時系列をもとに構成する。すなわち、入力データから学習することができる。ロボットの感覚情報と運動情報の各々に対応する軌道アトラクタモジュールを用意し、双方を結合することで、ロボットの運動情報とセンサ情報の時系列パターンを関連付け、センサパターンの認識に基づいて選択的に運動パターンを発生することができる。

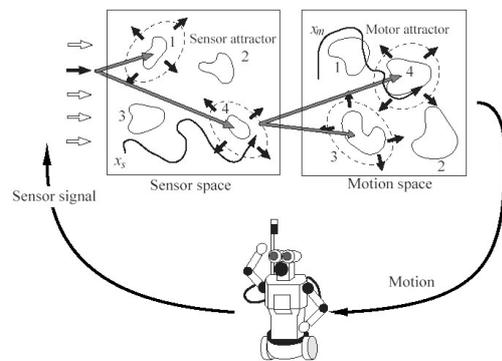


図 3.1 Overview of the System

### ロボットの運動生成

提案した力学系をヒューマノイドロボットへ実装し、運動の生成と遷移を実現する。ロボットの自由度は首に 3、肩に左右それぞれ 3、肘に左右それぞれ 1 の合計 11 自由度である。また、頭、肩、胸、上腕、下腕、手首に合計 16 個の接触センサ（オンオフのみ）と両眼としてのカラーNTSCカメラを持つ。カラーカメラからは画像中の赤、緑、青の占める割合を連続値で求めている。これより、センサ信号は 19 個となる。このロボットに対して 10 個の全身運動を設計した。その例として図 3.2 に運動例を示す。

ロボットの全身運動を 3 次元に低次元化し、この低次元化された空間の中で力学系を設計し、それを用いてロボットの運動生成と遷移を行った。ここでは、右肩→頭部右側→右腕の順番にタッチセンサの入力信号を加え、その時間タイミングを変化させて 2 回の行動生成を行った。生成された運動を図 3.3 に表す。センサ信号のタイミングが異なることにより、異なる運動が生成されている。これはセンサ空間、モータ空間における力学系の状態（内部状態）に依存した行動が生成されることを示している。

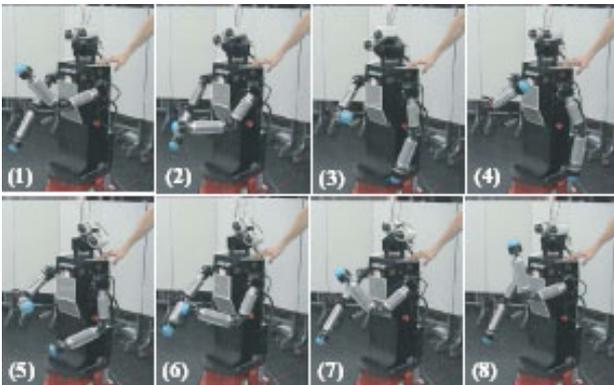


図 3.2 ロボットの運動パタンの例

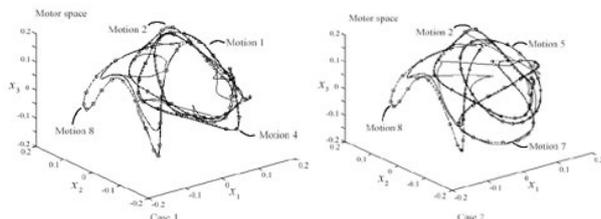


図 3.3 生成された運動の例

### 3.2 観察に基づく行為概念自己組織化（國吉）

本研究では、文脈に基づいた行為認識の基本機能を自己組織化ニューラルネットワーク（NN）を用いてモデル化し、認識実験を行った。

#### システムの構造

本研究で提案するシステムの概要を図 3.4 に示

す。行為認識は物体間の関係を表す空間的文脈、物体の運動パターン、それらの時間的文脈の中での統合、という構造を持ち、それに対応した構造を自己組織化ニューラルネットワークにより構成した。図の太い枠（青色）が自己組織化ネットワークである。

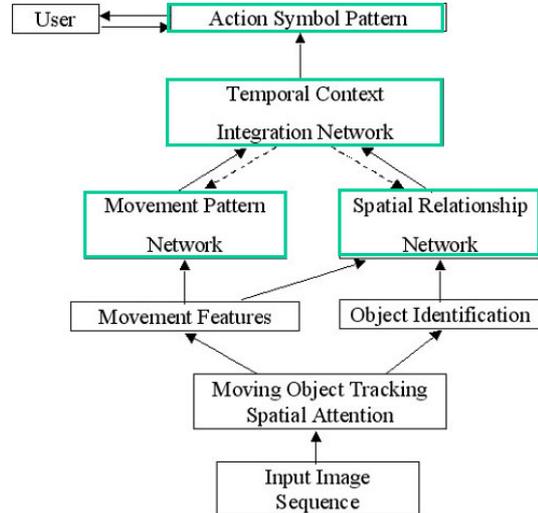


図 3.4 行為認識学習システム  
自己組織化ネットワーク

本システムを構成する自己組織化ネットワークは、非単調出力関数を有する Hopfield ネットワークに競合ダイナミクスを導入したものである。前者は、高次元の長い時系列についても安定な軌道アトラクタを形成することにより学習・想起が可能な特性を有する。

競合は、各ニューロンの活性度に応じて、総量一定のエネルギーを奪い合うダイナミクスを設定することにより発生させる。この結果、カテゴリ形成が起こる。1 個のカテゴリに対応する発火パターンをシンボルベクトルとみなし、これを上位モジュールに出力する。これにより、時間文脈のカテゴリ自己組織化が可能となる。なお、ネットワーク内の回帰結合をなくしたものを空間的文脈の自己組織化に用いる。

### 3.3 学習・認識実験

2 次元平面上で、パッドがボールを「投げ」、それが的に向かって動き、的に当たる、という状況について、学習・認識実験を行った。

この課題においては、「パッドとボールが接触しながら運動した（投げた）」、「ボールが的に向かって運動した」、「ボールが的と接触した（当たった）」という一連の事象を認識し、かつそれらが正しい時間順序で起こったことを認識しなければ、「パッドがボールを的にあてた」という認識は成立しない。

学習過程では、ボールが的に当たった場合と当たらなかった場合のアニメーションをランダムな順序で数十回システムに見る。システムは自動的に、パッドとボールの位置関係やボールの運動パターンなどのバリエーションのカテゴリを自己組織化学習していき、最終的にそれらの時間的順序のパターンの識別を学習した。

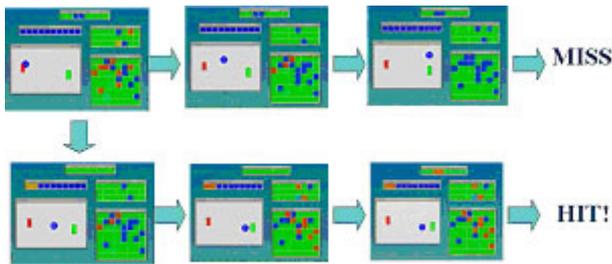


図 3.5 認識実験結果

#### 4. 新たなインタラクションチャネル

従来のマン・マシンインタラクションでは、入出力は2次元画像、音声、キーボード等の標準デバイスで、などを介して行われてきた。

最近、これらとは異なる新たなインタフェースチャネルとして、人間の様々な生理データ、脳活動データ、行動計測データ等を入力とし、脳活動状態のリアルタイム提示、ロボット動作による人間への働きかけ、人体への直接信号フィードバックなどを出力とするなど、様々な提案がなされている。

本研究グループでは、人間の行動や認知の精密な計測に基づくモデル化とそれに基づく新たなインタラクションの構築を目指している。その中で、上記の様々な新しい手法は、人間解析手段としての役割と、新たなインタラクションチャネルとしての役割の双方を担うと考える。

研究計画の中で、今後、体性感覚処理系、筋骨格系や運動制御、行為認知などを軸に人間の知覚・認知・行動の精密なモデル化を行ない、新たなインタフェースにつなげていく。

本年度は、解析手段としてもインタフェース手段としても有用な新たな情報提示法として、眼鏡なし3Dディスプレイ開発の成果を報告する。

##### 4.1 眼鏡なし3Dディスプレイ (土肥、波多、岩原)

3Dディスプレイは様々な研究されてきているが、表示精度、リアルタイム性、多人数や移動視点からの視認性などの問題があった。本研究では、形状・寸法・位置等を正確にリアルタイム表示可能で、多人数や移動視点からの裸眼観察も可能にする究極の三次元画像表示技術の確立を目指す。

本研究のIntegral Videographyの原理を図4.1に

示した。表示はマイクロ凸レンズ二次元アレイの焦点面に高解像度の二次元ディスプレイを組み合わせて行う。観察者からはレンズアレイの各凸レンズが1画素として観察される。「各凸レンズの背面には10×10画素～100×100画素程度の画像が表示されており、ある方向からはそのうちの1画素が凸レンズサイズに拡大されて見え、見る方向が異なれば、異なる画素が拡大されて見える。」という原理で、特殊な眼鏡なしで右目と左目には異なる画像が観察され、視点移動にも対応した三次元画像が表示される。

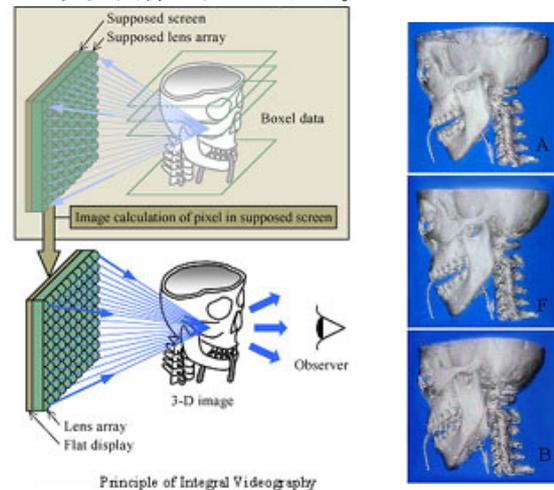


図 4.1 システム概念図

原理は簡単であるが、マイクロ凸レンズ二次元アレイの各レンズが1画素となるので、実用化のために、レンズ数最大化と、レンズピッチ最小化が重要である。また、レンズ背面の二次元ディスプレイにはレンズ数より2桁～4桁多い画素数と、レンズ寸法より1桁～2桁小さい画素ピッチが要求される。

これまでに、高性能で大型化も容易なレンズアレイの製法を確立し、マルチプロジェクションによる超高解像度ディスプレイを実現した。今後は、さらに小型化と高性能化を目指す。

#### 5. おわりに

人間と機械の新たな知的インタラクション創出のための原理的理解と新手法の提供をミッションとして、人間の行動的インタラクションに関するモデル化と、人間解析およびインタフェースのための新たな要素技術の研究を進めた。

行為認識機能の学習型認知モデル、全身ダイナミック行動生成、力学系情報処理モジュールの階層化、眼鏡なし3Dディスプレイ技術などの成果を報告した。これ以外にも多くの研究を進めており、その展開と成果については今後報告していく。