

# 人間行動の認識と遂行 のための実世界知能情報学

大津展之 國吉康夫  
情報理工学系研究科知能機械情報学専攻

## 概要

人間の振舞いを認識・理解し、それに呼応してタイミングよく適切に情報提供したり手助けする機能は、知能情報システムの一つの理想形であろう。その実現のためには、複雑・不確実な実世界中でも信頼性よく行動の認識・遂行ができる手法の確立が必要である。本研究では、統計的パターン認識、ニューラルネット、ヒューマノイド実験などのアプローチにより、新しい適応的行動認識・遂行手法の構築を進めている。

## 1 はじめに

行動認識機能の研究の歴史は決して新しいものではないが、近年、マルチモーダル対話システムの発展形として、人間の振舞いを視覚等で自動的に認識し適切な応答を行う **Perceptual User Interface** の研究や、セキュリティへのニーズの高まりに伴う知的監視システムの実用化などにおいて、急激にその重要性が高まっている。

一方、ヒューマノイドロボットの開発が急激な進歩を遂げ、実世界応用の研究も進展している。この中で、人間協調タスクは非常に重要な位置をしめており、人間の行動理解とそれに基づいてどのように協調、手助け行動を生成するかという問題は、重要性と現実性を増している。本研究では、実世界の中での行動認識と行動生成を、複雑、不確実な状況下で、動的な対象について信頼性よく安定に意味を抽出したり実現したりする問題として捉え、統計的パターン認識、適応ニューラルネット、ヒューマノイド全身行動実験などのアプローチから、新たな手法の確立を目指している。

## 2 時空間局所高次相関による動作認識

人間の全身動作認識に関して、近年、バイオメトリック認証の1つとして、近年は歩行から

個人を認証するという **Gait Recognition** が注目されてる。これに関する従来の研究では、人間の関節角度といった身体的構造に特化した手法を用いており、カメラの位置など環境変化に弱く、また、前処理として画像中での人間の形の認識と切り出しを必要とする。このため実用化は困難であると思われる。

本研究では、これと異なる発想で、ゲシュタルト心理学との関連で知られている **Biological Motion** に注目した。すなわち、全身に光点をつけた人間を暗闇中で見た場合 (**Point Light Display**)、静止時はランダムな点の集合としか見えないが、動作が始まると行動が明確に認知される。すなわち、身体構造は明示されなくとも行動が認識できることから、各点の運動の相関が動作認識に本質的と考えられる。

### 2.1 手法

本研究では、大津らが提案した高次局所自己相関特徴を立体に拡張した、「立体高次局所自己相関特徴」を提案し、これを用いて、時系列画像における時空間相関を同時にとる手法を構築した。

本手法は、その数学的形式から、位置不変性を有し、人物像切り出し不用である。計算も単純な積和で高速計算が可能である。加法性をもつので視野中に複数の動きがあっても分離が容易である、という特長がある。

構築したシステムは、ビデオカメラで人間が歩行や走行およびそれらの間の遷移をしている状況を撮影し、その時系列画像から「歩く」、「走る」などといった状態を識別する。

まず、カメラ画像に時間差分と2値化を施す。次に、時間方向に移動する時間窓の範囲の時系列画像に対し立体高次自己相関特徴を計算する。その結果に線形判別分析を適用し、各時刻の結果が指定した識別クラスのどれに近いかを判定する。

## 2.2 認識実験と結果

対象者は5人、識別クラスは「右歩き」「左歩き」「右走り」「左走り」の4クラス。全データ数は、時間窓の刻み数にして2000程度。

### 実験1

ランダムに全データの3分の1をテストデータ、残りを学習データとして識別を行い、100回繰り返して平均識別率を求めた。識別率は99.9%であった。

### 実験2

1人の動作をテストデータ、残り4人の動作を学習データとして識別を行った。結果は下表。

	人 1	人 2	人 3	人 4	人 5
識別率 (%)	72. 0	98 .5	9 8. 7	97 .2	1 0 0

### 実験3

以上の他に、下記の認識にも成功した。

- (1) 行動遷移：走り→歩きといった行動の遷移を識別
- (2) 複数対象：複数人の行動を同時に識別

## 2.3 結論

本研究では立体高次局所自己相関特徴を提案し、実験により人間行動の認識に対するその学習、識別能力、汎化性の高さを示した。人物切り出し不要であり、計算も単純で高速化が可能である。

対象構造に依存しないために、どんな物のどんな動作も認識可能であると考えられる。また、加法性を利用することで、従来は不可能であった複数対象の同時認識が可能となった。(小林匠)

## 3. 時空間文脈学習に基づく行為認識

行為認識は人間の最も重要な知的機能のひとつで、その仕組みの解明とモデル化は学術的にも工学的にも重要である。

振舞い認識に関する従来の研究では、もっぱら、腕動作や歩行動作等の動きのパターンの識別が扱われてきた。しかし、人間の行為とは、各時点の動作パターンのみではなく、過去発生した一連の事象やその周囲状況(=文脈)などの情報が統合されて始めて認識できるものである。

また、人間はそのような処理機構を成長に伴って後天的に獲得していると考えられる。その学習に際して外部から脳内に直接教師信号や報酬を与えることはできない。従って、システム全体が自己組織的な学習を行っていると考えられる。

現在、行為認識能力の獲得過程に関する情報処理モデルは存在しない。

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。

### 3.1 システムの構造

本研究で提案するシステムの概要を図3.1に示す。行為認識は個々の“イベント”の処理、およびそれらの時間的関連性として表現される文脈の処理に分けられる。

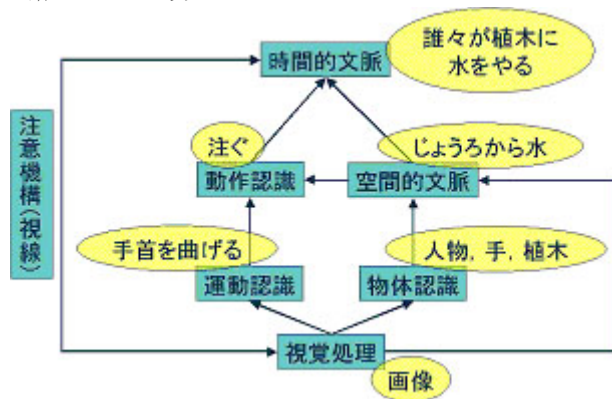


図 3.1 行為認識処理の構造

イベントには、物体運動、物体識別(=形状・色彩)、視野内の複数物体の位置関係があり、各々個別のNNが、視覚システムからの情報をもとに学習・認識し、自己組織化したシンボル情報として上位モジュールに出力する。得られたイベントシンボルは時系列データとして動作認識モジュールおよび時間的文脈モジュールに与えられる。これらは、シンボル時系列の学習を行い、形成された記憶と新たな入力系列との照合により行為認識を行う。

### 3.2 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の基本構造は、入力層と競合層からなる。各ニューロンは時間ダイナミクスに従い、また、非単調出力関数を有する。競合層では、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、競合を発生させる(図3.2)。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、空間的文脈など、各時点での状態の自己組織シンボル化がなされる。また、競合層から入力層へのフィードバック結合を付加することにより、シンボル時系列の学習・記憶ができる。これにより、時間文脈モジュールが構成される。

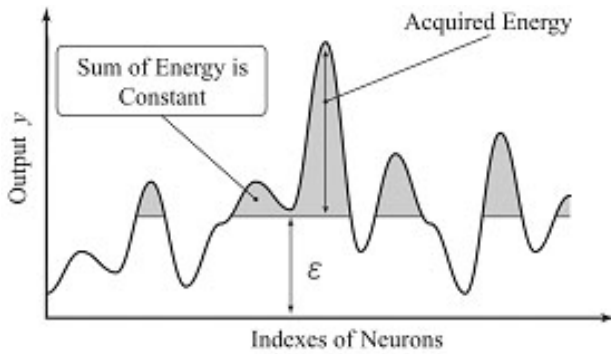


図 3.2 エネルギー分配による競合

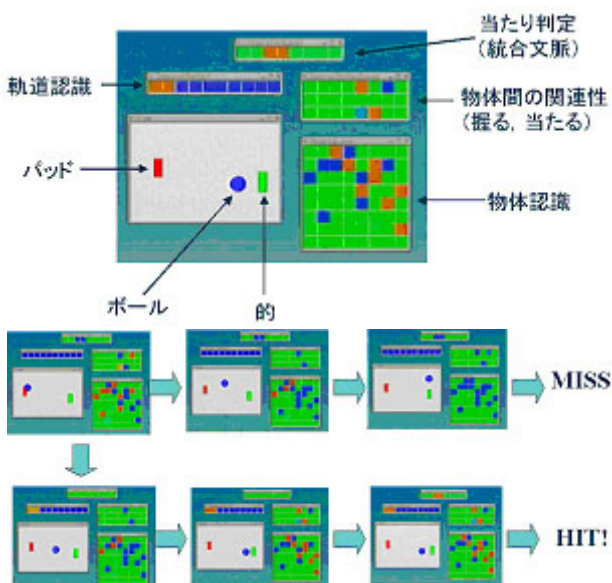
### 3.3 学習・認識実験

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）」、「ボールが的にに向かって運動した」、「ボールが的に接触した（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。

図 3.3 認識実験

学習過程では、ボールが的にあつた場合と



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ンの識別を学習した。(下崎守朗)

## 4. ダイナミック行動のためのヒューマノイド運動制御システムの構築

### 5. ヒューマノイド全身ダイナミック行動の解析と実験

ヒューマノイドロボットの行動実現の研究は急速に進展しており、二足歩行にとどまらず様々な作業状況での行動実験がなされている。しかし、従来の行動生成法は、立位のバランスを崩さないような安定な状態を接続して作られる、いわば準静的な軌道である。このため、動作全体の速度が制限される、瞬間的に大きな力を発生することが難しいなどの問題がある。

一方、人間は身体や操作物体のダイナミクスを活用した行動スキルを有しており、不安定な領域も積極的に利用しつつ、高速な運動や、大きな力を要するタスクをこなすことができる。

本研究の目的の一つは、そのようなスキルをヒューマノイドロボット上に実現し、その行動能力を拡大しようとするものである。

身体や操作対象物のダイナミクスを利用するという事は、それを認識・同定し、それに合わせた適切な制御則を適用することを意味する。実世界中のタスクは複雑で、身体や物体の状態は刻々と変化し、それらのダイナミクスも変化する。従って、ダイナミクスの切り替わり、すなわち境界とその次に存在するダイナミクスの同定が必要となる。また、系の状態は不確定性を有するので、適切な制御則とは、従来型のように系の状態軌道を完全に規定するのではなく、系本来のダイナミクスを破壊せずその安定性や発散的方向性を利用するため、必要以外の時には系に介入しないことを意味する。

このことから、系への介入は疎であり、ダイナミクス境界における状態制御（新たなダイナミクス成立のため）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の情報といえる。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。

これらの内容を具体的に明らかにすることが本研究のもうひとつの目的である。

### 5.1 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 5.1 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。

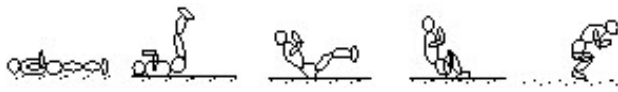
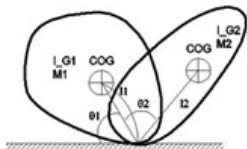


図 5.1 ダイナミックな起き上がり動作

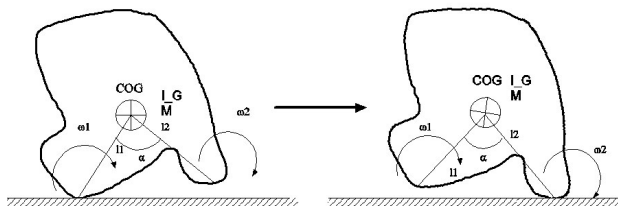
この動作の特徴は、身体のダイナミクスに完全に任せて運動する期間（足を振りおろしながら回転）がある、背面、尻、足など多点で様々に変化する接触状態を含む、などである。

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（図 5.2）と、支持切り替え期（図 5.3）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。主要部分を以下の図に示す。



$$(I_1 + I_2) \ddot{\theta}_1 = -M_1 g l_1 \cos \theta_1 - M_2 g l_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) - I_2 \ddot{\theta}_2$$

図 5.2 尻支持期の運動方程式



$$\frac{\omega_2^{after}}{\omega_1^{before}} = \frac{I_G + M l_1 l_2 \cos \alpha}{I_G + M l_2^2} = \eta$$

図 5.3 支持切り替え期（尻→足）の条件

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[rad/sec]を超える必要があることが判明した（図 5.4）。

### 5.2 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 を使い、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ノイドロボット RDS-K1 に一致させた。図 5.5 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。

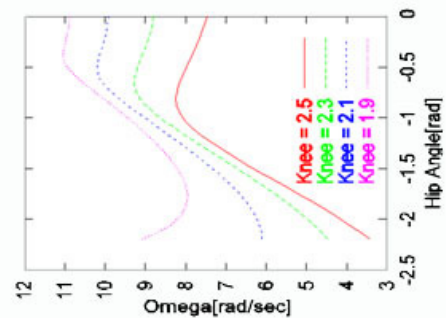


図 5.4 支持切り替え期の角速度条件

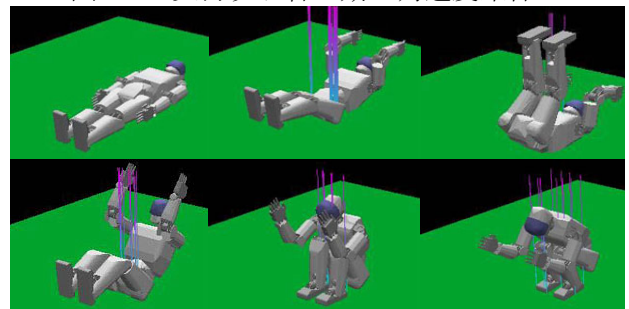


図 5.5 シミュレーション結果

### 6. おわりに

実世界の認識と行動において、ロバストな情報の抽出と利用を行なう手法について、