

ヒューマンインフォマティクスの研究

國吉康夫 大津展之 土肥健純 中村仁彦 神崎亮平 山根克 高橋宏知
大武美穂子 深野亮

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し、これに基づき新たな情報処理手法を構築することが必要である。ヒューマンインフォマティクス研究グループでは、人間の知覚・行動・認知機能の計測・解析に基づくモデル化、実世界情報処理の数理的基礎、それらに基づく新たな認識・行動、コミュニケーション、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、身体動作の大域動力学構造の計算・計画手法、全身動作のための分布触覚センサ、身体像適応と道具使用のモデル、因果関係検出手法、ミメシス理論に基づく記号と運動の情報処理、バイオメカニクスと感覚情報の計算、ヒューマノイドロボットの機構と制御、生物機械融合システム、脳の書き換え技術、Computer Graphics 作成法を用いた Integral Videography の高画質化などの研究成果をあげたが、紙面の都合でその一部を抜粋して報告する。これらにより、実世界情報システムにおけるヒューマンインフォマティクス要素技術が高度化された。また、国際研究協力および融合研究の試みの成果についても報告する。

1. 人間行動の認識と遂行のための実世界知能情報学(國吉)

複雑、動的な実世界でロバストに目的を達成するためには、環境相互作用における、外乱等に対し不変な構造を捉え、それを目的に向けて「乗りこなす」タイプの新しい行動原理が必要である。それが含まれる例として、全身で環境と接触しつつダイナミックに動作する能力がある。これは、ヒューマノイドの行動能力拡大のために重要だが、未だ、体系的な方法論は確率していない。我々はすでに、人間の行動計測データを参照しつつ、特定の動作例(跳ね起き)

について、等身大ヒューマノイドロボットによる実験を達成したが、現在、より一般的な方法論とシステムの構築を進めている。

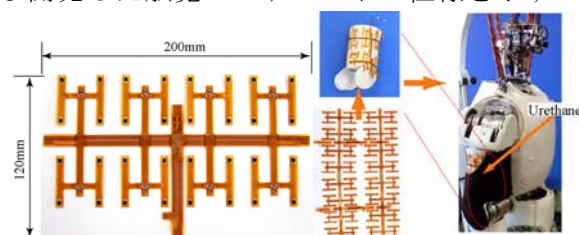
今年度は、ヒューマノイドの全身接触動作状態検知用のセンサ、ならびに、力学状態空間の大域的構造に基づく行動生成手法を構築した。

1.1 全身接触行動用触覚センサ

全身接触行動用の触覚センサには、次の仕様が必要となる。1) 曲面の多い全身に分散実装可能。2) 柔らかい表面と耐衝撃性。3) 実装を容易にする配線方式等。4) 実装部位ごとの感度とダイナミックレンジの変更可能性。5) 軽量・低消費電力。6) 実装・製作コストの低減。

これらをすべて満たし、全身接触行動状態の検知に使える触覚センサは現存しない。我々は、独自考案の基板形状、弾性体で覆う構造、通信回路、配線方式、切り貼りや折り曲げの許容、などにより、上記の仕様を満たすセンサを独自に開発した。単一の独自仕様体内 LAN に対し、6 万点以上の触覚点を設定可能である。

作成した触覚センサシートと「切り貼り実装」によってヒューマノイドの腕に適用した例、及び開発した触覚センサシートの仕様を示す。



サイズ	120mm×200mm
センサエレメント	32点
サンプリングレート	20000点/1sec
重量(ウレタン含まず)	1.7g(1枚)
ウレタン重量	200g/m ²
薄さ	74μm(折り曲げ部)
消費電流(定常)	10mA(3.3V)
消費電流(LED駆動)	最大200mA(3.3V)

図 1.1 開発した触覚センサ

1.2 力学構造に基づく行動の自動生成

本研究では目標を状態空間中の局所的な領域として表し、さらに陽なモデルを持たずにメモリベースで自身のダイナミクスを探索し、有限時間領域到達性を鍵に構造化して運動を生成できるモデルを提案した。

1.2.1 階層型有限時間到達性

複数のコントローラを切替えることで、有限時間到達領域は非常に広くなり、ある任意の領域と別の任意の領域を遷移できる可能性がある。これを階層型到達性 HFTR として定義した。

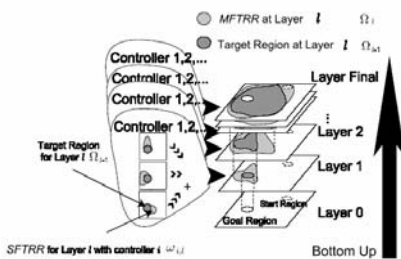


図 1.2 HFTR

1.2.2 実験

提案手法の有効性を確かめるため非線形性が支配的な振子の振り上げと二脚歩行のタスクを行った。振子で得られた構造を図 1.3 に示す。コントローラに応じた方策が自動的に獲得された二脚歩行では、ある程度の外乱を加えても大域的なフィードバックが働くので安定して歩行を続けることを示した。

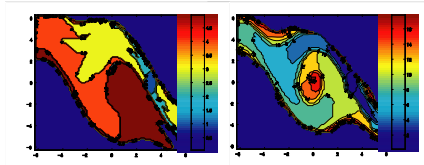


図 1.3 振子の振り上げの際の HFTR



図 1.4 二脚歩行

3.

2. 記号と運動をむすぶ脳型情報処理の研究 (中村, 山根)

2.1 ミメシス理論に基づく記号と運動の情報処理

連続的な身体運動を統計的情報処理によって

記号化する研究を 1998 年頃から開始している。一組の統計的パラメータがある運動パターンを表す記号と考え、統計的な運動認識や、モンテカルロ的な運動生成に利用した。またパラメータ組間に距離を定義することで、記号間に空間構造をもたらすことができた。本年度は、以下の成果を得た。

(1) 運動データの教師なし学習なし分節化法

HMM を用いて運動データの力学モデルを逐次アップデートして行き、それが変化するところを運動パターンの区切りとするものである。教師なし学習なしで、生の運動データのみを使いヒューリスティクスを用いないところが新規な点である。

(2) 部分観測からの運動データの認識と生成

観測データが運動データの全体を表していない場合に、条件付確率を用いて統計的に運動を認識することと、運動を生成する方法を与えた。

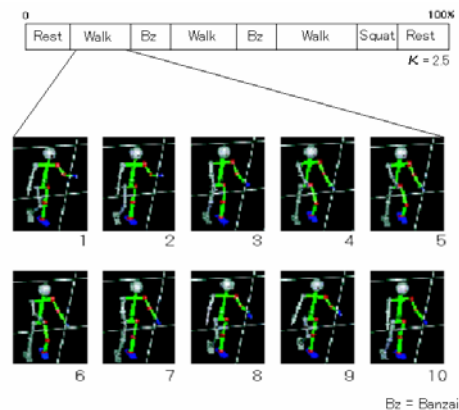


図 2.1 運動パターンの教師なし学習なし分節化法

(3) 関係性の記号化に基づいた人間とロボットのコミュニケーション理論

運動パターンを HMM で記号化した原始記号空間の上位階層としてさらに HMM の記号空間を作る。ロボットは下位の記号空間を用いて自分自身の運動と、目の前に居る人間の運動を認識する。その両方の結果、つまり自身と人間の運動を記号化したものを上位階層の HMM の入力とし、この階層で関係性の記号化を行う。もっとも単純なコミュニケーションの方法は関係性の認識結果を、そのままその後の行動規範として短絡させることである。このような考え方でヒューマノイドロボットと人間の長時間の格闘技を実現させた。実際の接触は行わず、両者は離れたと

ころでお互いの運動を観測しながら技を繰り出すというものであった。この様子は愛知万博で開催されたプロトタイプロボット展で 10 日間にわたって実演された。

2.2 バイオメカニクスと感覚情報の計算

ロボティクスの運動学と動力学の計算法を高度化することで、大規模なメカニズムの計算

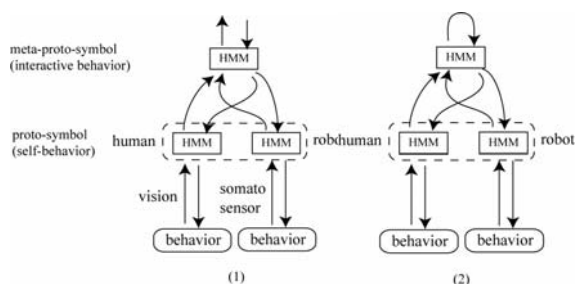


図 2.2 階層 HMM を用いたコミュニケーション理論

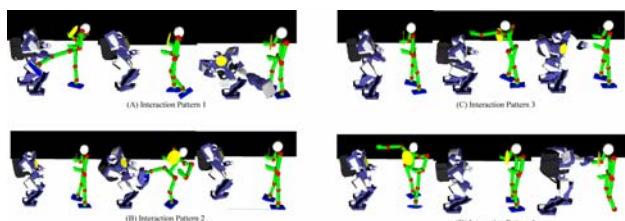


図 2.3 人間とヒューノイドの格闘技(愛知万博)

を行う技術を開発してきている。17 年度は、人間の筋肉のいくつかのパラメータを推定する方法、および関節の粘弾性パラメータを推定する方法を開発した。後者は、神経内科において運動性神経疾患の診断を医師の目視に頼っていたものを、客観的に運動データからの計算で行う方法への応用が期待されている。

2.3 ヒューノイドロボットの機構と制御

ヒューノイドロボットの機構と制御の研究では、UT- θ と呼ぶバックラッシュクラッチと二重球面股関節をもつヒューノイドロボットの制御法と、ヒューノイドの運動制御の理論についての成果をあげた。また、UT- μ 2:magnum という小型ヒューノイドの開発を行った。さらに、外装の意匠設計の自由度を高めるための小型ヒューノイドの設計法の研究を行い、UT- γ :guchida と呼ばれるロボットを構築した。

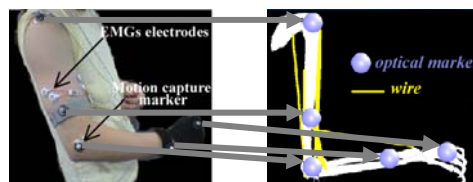


図 2.4 筋骨格力学計算を用いた筋パラメータ推定



図 2.5 タップダンスをする UT- μ :magnum (左)と、UT- γ :guchida (外装付および内部) (右)

3. 生物の適応能力と脳の可塑性 (神崎, 高橋)

3.1 生物機械融合システム

3.1.1 昆虫操縦型ロボット

本研究では、昆虫の環境適応能力を評価するために、昆虫の行動を計測しながら、行動出力を代行する昆虫操縦型ロボットを設計・試作・評価した(図 3.1 左)。行動計測部では、昆虫を背中で固定し、脚の動きによって回転するボールの回転量を検出することで実現した。また、昆虫の行動に基づいて 2 駆動輪の移動ロボットで行動出力を代行した。このロボットは昆虫の行動を 87%以上の高い精度で再現できた。

次に、このロボットを用いて昆虫の行動出力を意図的に操作する実験で、昆虫の環境適応能力を評価した。その結果、カイコガは制御の操作を補償するように行動を変化させた。この変化は、80 秒以上の時間を要することから、反射ではなく、中枢神経による適応行動であることが示唆される。今後、このような適応行動を、神経活動計測で評価し、適応行動の神経機構を明らかにする。

3.1.2 行動計測・視覚操作統合閉ループ実験系

自由行動下の昆虫から行動情報を取得するのは難しい。そこで、昆虫を固定したうえで視覚情

報を提示し、昆虫に実環境下にいると錯覚させる実験環境が有効である。

視覚情報操作と行動情報計測を統合した閉ループ実験システムを構築した (図 3.1 右). この実験系を用いて、昆虫の衝突回避行動を解析したところ、外乱のない仮想環境では、回避時の視野角は、高速移動時に減少する傾向があり、角速度はほぼ一定であることが示唆された。

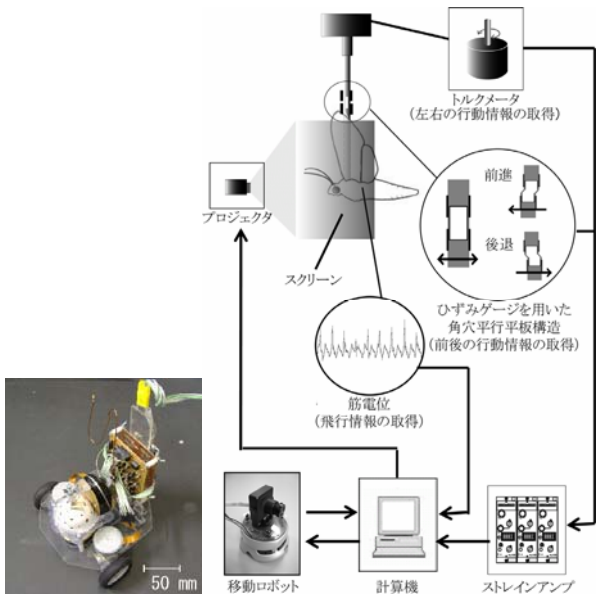


図 3.1 昆虫操縦型ロボット (左), 行動計測・視覚操作統合閉ループ実験系 (右)

3.1.3 定位行動の複数感覚情報統合アルゴリズム

カイコガの定位行動における視覚刺激の影響を調べるために、直進とターン時にビジュアルフローが定位行動に与える影響を調べた。次に、直進とターン時に、ビジュアルフローの影響を加味したモデルを構築し、シミュレーションで定位の成功率を調べた。その結果、ターンでフローに逆らう方向に回転するモデルは、他のモデルに比べ、高い成功率を得た。カイコガはターンの段階において視覚情報を利用し、定位の成功率を上昇させている可能性を示唆する。

3.2 脳の書換え技術

3.2.1 微小電気刺激による脳の書換え

脳の神経回路を書き換えるために、シナプス入力直後に電気刺激でシナプス後細胞を発火させ、シナプス強度を強める手法を pairing, 逆に、シナプス入力直前に電気刺激を与え、シナプス強度を弱める手法を anti-pairing と呼ぶ。聴覚野の神経細胞について、電気刺激で特徴周

波数を任意に変化させることを試みた。その結果、興奮性シナプスの pairing は、刺激に用いた純音に対する反応を増強させ、逆に、興奮性シナプスの anti-pairing と抑制性シナプスの pairing は反応を減弱させた。さらに、これらの刺激条件を適当に組み合わせ、一次聴覚野 AI の神経細胞の特徴周波数を任意に変化させられた。

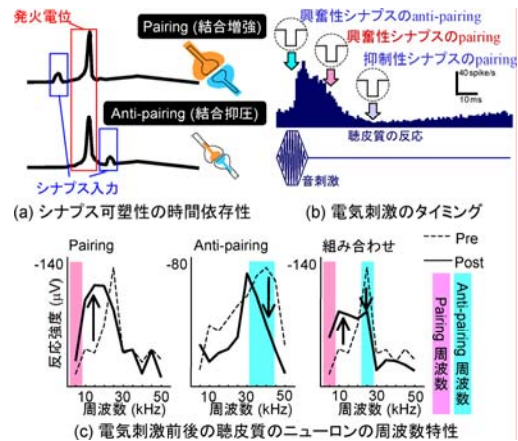


図 3.2 微小電気刺激による脳の書換え

3.2.2 学習による脳の状況依存的書換え

本研究では、ラットの聴覚野をモデルとして、一次感覚野、二次感覚野が、状況依存的な可塑性を持つかを検証した。その結果は、一次聴覚野、腹聴覚野の情報表現が、状況に応じてそれぞれ、空間的、時間的に変化することを示唆する。また、聴覚野の各領野には、物事の捉え方において、異なる役割があることを示唆する。

3.2.3 時空間的神経活動の翻訳アルゴリズム

微小電極アレイで計測した聴皮質の時空間的神経活動パターンを入力とし、それを誘発した音刺激の周波数の情報を教師情報として、ニューラルネットワークを構築した。このネットワークを用いて、聴皮質での時空間的な神経活動パターンから、そのパターンを誘発した音刺激情報の再構成 (翻訳) を試み、聴皮質のダイナミックな情報表現方法を考察した。また、スパイク電位と局所電場電位 (Local Field Potential, LFP) の性質を検証するため、両神経活動を用いてネットワーク学習を試みた。

4. Computer Graphics 作成法を用いた Integral Videography の高画質化に関する研究 (土肥)

人間へのリアルな情報提示技術、特に、医療応

用において人体関連情報を人間に視覚提示する新しい技術として、Integral Videography(IV)の開発に取り組んでいる。今年度は、その高画質化に関する成果を挙げた。

Integral Videography(IV)とは、レンズアレイと各レンズ背面用に計算された平面画像群を組み合わせることで、裸眼でかつ個人差の無い正確な立体像を観察者に提示可能な三次元像表示方法である。今回、この画質が不十分であったが、IV用平面画像群作成アルゴリズムに、従来の光線探索法に取って代わる画素分配法を用い、Computer Graphics(CG)レンダリング技術を活用した、IV像の大幅な高画質化に成功した。

画素分配法は、各視点から観察者によって観察されるべき全ての画像を視点側から先に取得しておく。そして、各々の画像の画素について記録されるべき特定のレンズ背面の特定の位置を計算する。その後、計算された位置に全ての画素を分配することによって全体としてレンズアレイ背面に入るべき平面画像群を作成する(Fig. 1)。

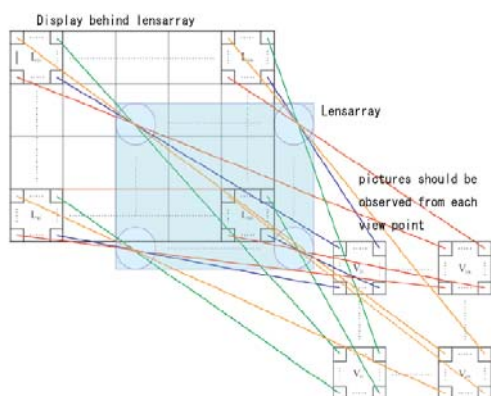


図 4.1 画素分配法

CG 内で IV 化したいモデル、仮定の視域とレンズアレイ面を作成し、設定した視域内の視点から CG のレンダリング画像を取得した。その後、各々の画像を一画素ずつ、対応するレンズの背面の対応する画素位置に分配し、全体として IV 用平面画像群を作成した。

観察者側からみたオブジェクトの画像を分配処理することで、陰面処理を行わずして IV 用平面画像を計算可能であるということから、この方法では従来の方法で不可能であった IV 用平面画像への汎用 3D-CG の導入が可能であるということの意味する。

観察したい三次元像の平面画像を取得する段階で汎用の 3D-CG を利用すれば、3D-CG の半透明・反射・独特な表面材質などの高度な表現を、生成する IV 像に直接活かせることになる。

5. 100 時間ワークショップ (大武, 佐藤他)

100 時間ワークショップとは、プロジェクトベースラーニング(PBL)の一種で、100 時間という制約の中で、異なるバックグラウンドの研究者がチームを組み、新技術のプロトタイプを開発するものである。

本 COE 内における融合技術の開発を目的として、実世界情報処理サブプロジェクトが提唱し、2005 年 7 月から 9 月にかけて実施した。参加者は、自分で問題を発見し、これをチームで解決するスキルを身につけることができる。採択チームは、近未来の情報システム環境を想定し、これを実現するために必要な要素技術を組み合わせたデモンストレーションを開発する。

電子情報学専攻・近山田浦研究室 (COE 大域ディペンダブル情報基盤サブプロジェクト)、コンピュータ科学専攻・米澤研究室 (COE 大域ディペンダブル情報基盤サブプロジェクト)、知能機械情報学専攻・大津國吉研究室 (COE 実世界情報システムサブプロジェクト) の大学院生 13 名が参加し、共同で、認識技術と並列計算技術が融合した新技術の開発に成功した。

5.1 研究成果

参加者は、特徴チーム、リアルタイムチームの 2 チームに分かれ、研究開発に取り組んだ。いずれも、実世界情報システムサブプロジェクトの HI グループ所属の大津教授が考案した「立体高次局所自己相関 (CHLAC)」手法を用いた動作認識技術を、大域ディペンダブルサブプロジェクトが開発した分散並列処理技術と融合することにより、計算の大規模化と高速実行を可能とすることを目的とした。

CHLAC は、特徴抽出手法の一つで、人物の動作認識をロバストに行うために有用な性質を持つが、非常に計算量が多いという問題点がある。特徴チームは、セキュリティ応用に重要な、「高精度」な Gai(歩容)認識を実現した。高精度化のために、より高次元な特徴空間や多重解像度への適応などについて研究した。階段を昇り降りする動作に対して認識プログラムを並列に実

行し、人物のスケールが変化する点で困難な課題であるにも拘わらず、従来手法より高精度に達成できた。従来、7,140分（約5日間）かかっていた計算が、並列化によって194.9分（約3時間）で完了した。また、従来方式では約85.0%であった認識率が、特徴抽出処理の多重解像度化によって、最大約97.7%まで向上した。

一方リアルタイムチームは、動作認識システムを、カメラにつながリアルタイムで作動させオンラインで提示する技術を開発した。大規模クラスタを用いた並列分散処理により計算を高速化した。クラスタ内でリング状のネットワークを構成し、画像データをパイプライン処理することで、ネットワークの負荷を小さくした。並列化には、近山田浦研究室が開発したグリッドプログラミングツールGXPとMPICHを用いた。四つの識別器を用意し、多数決を行うことで、従来方式では約58%であった認識率が、80%まで向上した。全ての認識処理の所要時間は最大で64msであった。（詳細は別途報告書）

6. 国際連携活動（中村）

6.1 Khatib 教授招聘

Oussama Khatib 博士は、スタンフォード大学コンピュータ科学科の教授を務め、その研究分野はヒューマンセンタード・ロボティクス、人間の動作生成、ヒューマノイドロボット、力学シミュレーション、ハプティック・インタラクション、ヒューマンフレンドリ・ロボットデザインなど広い。25年間に200編を超える論文を発表し、この分野の世界的な第一人者である。今回、COE事業の一環として東京大学に招聘し、2006年3月8日のCOEセミナーにおいて、ヒューマノイドロボットに関する講演を実施した。また3月6日に広島大学で、本COE事業と広島大学のCOE事業（ハイパーヒューマン技術）との連携についての打ち合わせと技術情報の交換に出席していただき、アドバイスを受けた。招聘日程：平成18年3月5日 日曜日～10日 金曜日（6日間）

6.2 コンテンポラリロボットデザイン・ワークショップ

5大学の21世紀COEプログラムの共催で「コンテンポラリ・ロボットデザイン・ワークショップ」が2005年9月18日に弥生講堂一条ホールにて東大本郷キャンパス（東京都文京区）で

開催された。メーリングリストでの告知が主だったが、新しいロボットデザインの潮流に関心をもつ学生、技術者、研究者90名（外国人を多数含む）が参加した。

IEEEのRobotics&Automation Society主催で2005年9月18～23日に開催された「International School of Robotics Science 2005」に合わせて開催されたもの。

21世紀COEプログラム主催 コンテンポラリ・ロボットデザイン・ワークショップではコンテンポラリ・ロボットデザインに焦点を当てた。世界の著名大学で教育にたずさわりの研究やビジネスでコンテンポラリ・ロボットデザインを実践する5名の研究者が講演者を行った。講演者：マーク・カトコスキー教授（スタンフォード大学）、浅田春比古教授（MIT）、ジャンピエール・メルレー博士（フランス情報・制御国立研究所）ウィリアム・タウンSEND博士（バレットテクノロジー社）、ウッサマ・カティーブ教授（スタンフォード大学）

7. 結論

人の振舞いの生成と認識に関わる新しい情報処理原理の構築について、ロボティクス、脳科学、情報数理の融合したアプローチを推進し、要素技術の高度化が大きく進んだ。

また、100時間WSなどのCOE内融合の試みにより、これまでに構築してきた技術要素の具体的統合例を構築し、実験による有効性の提示がなされた。

さらに、実世界情報システム分野における世界的権威の研究者の招聘や、それらを講師陣とする先端ロボット教育セミナー（コンテンポラリ・ロボットデザイン・ワークショップ）の開催などにより、国際連携ならびに国際貢献も活発に推進した。

以上。