

## 研究課題別評価

### 1. 研究課題名 知覚情報基盤における実世界情報の獲得と表現

### 2. 研究者氏名 :石黒 浩

### 3. 研究の狙い :

本研究では、知覚情報基盤における実世界情報の獲得と表現、特にその情報獲得に関わる基本問題を解決するとともに、プロトタイプシステムを開発することを目的とした。

知覚情報基盤とは、コンピュータネットワークにつながれた各コンピュータに、多数のセンサを備え付け、それらネットワークで結ばれた多数のセンサを介して得られる実時間の情報により、効果的に人間やロボット等、実世界で活動するエージェントの情報処理活動を支援するという次世代のコンピュータネットワークである。この知覚情報基盤の設計・開発・利用におけるコンセプトは次の通りである。

- (1)多数のカメラやマイクロフォンを環境に設置し、環境で起こる事象を実時間で解析しながら環境内で活動するエージェントを支援する。
- (2)センサの設置やネットワークの構成において、十分に柔軟なシステムを実現する。
- (3)センサは実時間で情報処理を可能とするために、それぞれ分散したコンピュータに接続され、ネットワークを介して情報交換を行う
- (4)センサから得られる情報は実世界の事象の構造を反映しながら、センサのネットワークを動的に組織化することによって、表現され利用される。

本研究では、上記のコンセプトの内、特に(1)と(2)について研究開発を行う。

知覚情報基盤の研究を展開する上で重要なのが、知覚を担うセンサである。このセンサとして研究者が開発した全方位カメラをそのキーデバイスとして用いる。全方位カメラは、その視野の広さから環境を十分に覆うのに便利であるだけでなく、視線の制約を持たないために、センサ自身の位置決めが容易となるという情報基盤には非常に有利な特徴を持つ。この全方位カメラを用いて知覚情報基盤のプロトタイプである分散全方位視覚システムを構築し、それをもとに、知覚情報基盤の基本問題に取り組む。

### 4. 研究結果 :

研究成果は、センサの同定と位置決めに関する基礎研究と、それを基に実現される分散全方位視覚システムによる人間の動作認識に大別される。それぞれについて概要を述べる。

#### 4.1 センサの同定と位置決めに関する基礎研究

分散全方位視覚システムと通常のカメラを用いたシステムとの違いは、視野の広い全方位カメラを用いることに加え、通常のカメラを用いたシステムが比較的狭い場所を多数のカメラで観測するのに対して、分散全方位視覚システムは、少ないカメラでより広い範囲をカバーすることである。具体的には以下の特徴を利用して、分散全方位視覚システムの特徴ある処理

を実現できる。

- a) 全方位カメラが比較的狭い場所に分布する場合、全方位カメラは互いに観測し合うことができる。
- b) 全方位カメラが小型で、互いの投影が小さい場合には、FOE 制約を用いて、相対的な位置決めが可能である。
- c) 環境中の動物体を複数の全方位カメラで同時に観測することができる。

このような特徴をもとに、センサの位置決めと同定に関して、以下の4つの基本アルゴリズムを考案した。これらのアルゴリズムは全てのカメラはコンピュータネットワークに結ばれており、任意のカメラ間での通信が可能であるという前提に基づいている。

1. カメラ同士の観測に基づく複数全方位カメラの同定と位置決め
2. 環境の観測に基づく複数全方位カメラの位置決め
3. 動物体の観測に基づく複数全方位カメラの同定と位置決め
4. 動物体の観測に基づく複数全方位カメラの同定と位置決め (定性的手法)

これら開発したアルゴリズムは、環境の状態に応じて使い分けたり、複数を組み合わせることで、実用的な利用が可能となる。特に、1はカメラを持つ多数のロボットの位置決め利用されている。また、4の定性的手法は、定性的な視覚情報から定性的な位置関係を導いた、純粹定性的な手法である。

#### 4.2 分散全方位視覚システムによる人間の動作認識

人間の動作認識に関しては以下の研究成果を得た。

1. N眼ステレオ視による実時間人間追跡システムの開発
2. 複数のコンピュータをネットワーク状に結合した16台のカメラを用いた実時間人間追跡システムの開発
3. VAMBAMによる位置や方位に依存しないジェスチャ認識システムの開発
4. ジェスチャ認識システムの障害物のある状況や複数人行動への拡張
5. ジェスチャ認識に基づく情報提示システムの開発

1のN眼ステレオ視は、分散全方位視覚システムの基本となる認識アルゴリズムであり、対象を観測可能なすべてのカメラを用いたステレオ視である。多数のカメラからの情報を用いることで、個々のカメラにおいて抽出すべき特徴は、背景差分程度の単純なものにとどめることができ、故に、実時間で安定した人間追跡が可能となった。このシステムは幼児の社会行動実験等にも利用している。

3のジェスチャ認識システムは、1の人間追跡システム上に実装されるものである。そこで用いた、VAMBAMは見え方に基づく全方位のアスペクトモデルという独自に考案したもので、人間のジェスチャに関して全方位からの見え方をモデル化している。故に、1のシステムと組み合わせることによって、位置や方位に依存しないジェスチャ認識が可能となった。また、そのモデルの単純さから4の複数人間による動作の認識にまで対応させることができた。

## 5. 自己評価：

3年間の研究の目標は、知覚情報基盤の基礎技術を構築することにあった。この知覚情報基盤に関して、当初イメージしていたものは、環境が人間の行動を見ながら逐次情報提供し、それに人間が反応するという知的な情報基盤である。センサ情報処理の問題においても、多数のセンサを用いることで認識の問題が容易に解決できるという見通しを持っていた。しかしながら、情報基盤と人間の相互作用において知的と感じられるものを作ることの難しさを痛感したというのが、全体的な反省である。この難しさは以下の問題に起因すると考えている。

1. センサの数の少なさ
2. センサによる人間行動理解の難しさ

本研究では、カメラは最大 24 台まで用いた。既存のコンピュータと組み合わせて用いた数としては多いが、センサ情報処理の手法を根本から変える数としては少なすぎた。既存のコンピュータの枠を離れて独自にセンサネットワークのハードウェアを考案し、さらに一桁二桁多い数のセンサを扱う必要があったと反省している。

2つ目の反省点は、最初に認識システムを手がけたことである。ロバストな認識システムを作ることが、人間と相互作用可能な知覚情報基盤実現への早道と考えたが、その結果、人間に情報を提供する出力デバイスの研究に着手する時間がなくなった。人間行動をモデル化することが多数のカメラを用いても予想以上に難しく、またそこから読みとれる情報にも限りがある。簡単な相互作用から、視覚認識を含んだより複雑な相互作用へとくみ上げていくアプローチが必要であったと考えている。現在、センサの数を増やし、後者のアプローチの可能性を引き続き探求している。

一方で、カメラや対象物の位置決めと同定問題に関して一連のアルゴリズムを考案したことと、古典的手法の延長ではあるが、多数のカメラを用いた実時間人間追跡システム、さらに、全方位のジェスチャモデルに基づく位置や方位に依存しないジェスチャ認識システムを完成させたことは、コンピュータビジョン研究、カメラネットワーク研究を前進させるものであったと確信している。一連の位置決めと同定問題に関するアルゴリズムは、多数カメラシステムの基本アルゴリズムであり、また、ジェスチャ認識システムにおいても、広範囲をカバーするジェスチャ認識システムとしてはこれまでにないパフォーマンスを示すことができたと考えている。

本研究の成果は、知覚情報基盤の一つの形態である多数カメラシステムに関して、新しい情報基盤構築に役立つものである。

## 6. 研究総括の見解：

多数のセンサを持つコンピュータネットワークである知覚情報基盤の研究は、次世代の情報基盤として必要不可欠かつ重要なものである。本研究は其中で特に今後実用化が期待される多数カメラシステムの問題を扱っており、得られた研究成果は、今後の多数カメラシステムの研究開発、さらには未来社会で重要になると考えられる知覚情報基盤の研究開発に貢献するものと考えられる。

また、本研究は招待講演も多く、その研究内容や研究者本人は広く認知されている。研究

者としての独立を支援することが、さきがけ研究の目的でもあるが、その意味において、本研究者は有効にこのさきがけ研究の枠組みを利用できたと考える。

## 7. 主な論文等：

### 7.1 主な招待講演

1999年10月15日	分散視覚認知,情報処理学会知能と複雑系研究会,情報処理学会
2000年1月24日	環境知能,異分野研究者交流ワークショップ,科学技術振興事業団 主催
2000年3月9日	分散全方位視覚システムによる知覚情報基盤,第1回動画処理実 利用化ワークショップ,精密工学会
2000年5月26日	知覚情報基盤による情報発信,メディアフォーラム京都2000(主催: 京都市,京都高度情報化推進委員会,NHK 京都放送局,京都新聞社)
2000年7月11日	知覚情報基盤にむけて,情報統合(SIG-CII)研究会,人工知能学会
2000年9月27日	相互依存構造,未来開拓プロジェクト「インタラクションによる相乗効 果を用いた感性想像世界の構築」,日本学術振興会
2001年2月19日	分散全方位視覚の研究,コンピュータビジョンとイメージメディア研究 会,情報処理学会
2001年8月11日	Studies on distributed omnidirectional vision, Advanced Science Institute 2001 "New Frontiers of Intelligent Robotics", Organized by Japan Society for the Promotion of Science and Association of International Education

### 7.2 主な解説 論文 国際会議 本

1. 石黒浩,ロボットビジョンのための視覚システム,光学,Vol. 30, pp 720-724, 2001.
2. 十河卓司,石黒浩,分散全方位視覚の研究,情報処理学会論文誌コンピュータビジョンとイメージメディア, 2001. Vol. 42, No. SIG 13 (CVIM 3), pp. 33-40, 2001.
3. 西村拓一,十河卓司,小木しのぶ,岡隆一,石黒浩,動き変化に基づく view-based aspect model による動作認識,電子情報通信学会論文誌,D-II, Vol. J84-D-II, No.10, pp. 2212-2223, 2001.
4. 十河卓司,石黒浩,M. Trivedi, 複数の全方位センサによる実時間人間追跡システム電子情報通信学会論文誌, Vol. J83-D-II, No. 12, pp.2567-2577, 2000.
5. H. Ishiguro, T. Nishimura, VAMBAM: View and motion based aspect models for distributed omnidirectional vision systems, Proc. Int. J. Conf. Artificial Intelligence, pp. 1375-1380, 2001.
6. K. Kato, H. Ishiguro, Matthew Barth, Town digitizing: Recording of street views by using omnidirectional vision sensors, Proc. Int. Conf. Industrial Electronics, Control and Instrumentation, pp.2571-2576, 2000.

7. T. Sogo, H. Ishiguro, M. Trivedi, Real-time target localization and tracking by N-ocular stereo, Proc. IEEE Workshop on Omnidirectional Vision (OMNIVIS'00), pp. 153-160, 2000.
8. T. Nishimura, T. Sogo, R. Oka, H. Ishiguro, Recognition of human motion behaviors using multiple omni-directional vision sensors, Proc. Int. Conf. Industrial Electronics, Control and Instrumentation, pp.2553-2558, 2000.
9. T. Nakamura, A. Ebina, M. Imai, T. Ogasawara, H. Ishiguro, Real-time identifying spatial configuration between multiple robots by triangle and enumeration constraints, Proc. Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, pp.2048-2054, 2000.
10. T. Sogo, H. Ishiguro, M. Trivedi, N-ocular stereo for real-time human tracking, In Ryad Benosman and Sing Bing Kang Eds., Panoramic Vision: Sensors, Theory and Applications, Springer-Verlag, Berlin, 2001.
11. H. Ishiguro, K. Kato, M. Barth, Identification and localization of multiple omnidirectional vision sensors, In Ryad Benosman and Sing Bing Kang Eds., Panoramic Vision: Sensors, Theory and Applications, Springer-Verlag, Berlin, 2001.