注意機構を備えた顔・手認識による視覚インタフェースの開発

非会員 本 郷 仁 志 (ソフトピアジャパンHOIP/科技団)
非会員 大 矢 光 範 (岐 阜 大 学 工 学 部)
非会員 渡 辺 博 己 (ソフトピアジャパンHOIP/科技団)
非会員 安 本 護 (ソフトピアジャパンHOIP/科技団)
正 員 山 本 和 彦 (岐 阜 大 学 工 学 部)

Hitoshi HONGO, Non-member (HOIP, Softopia Japan/JST), Mitsunori OHYA, Non-member (Gifu University), Hiroki WATANABE, Non-member, Mamoru YASUMOTO, Non-member (HOIP, Softopia Japan/JST), Kazuhiko YAMAMOTO, Member (Gifu University)

This paper discusses face and hand-sign recognition and its applications to a multi-camera system. We propose a vision-based interface that focuses on faces and hand for recognition. Using a stereo camera system, face and hand regions are detected by the referenced skin color method, and the distances of the targets are then estimated. The positions and sizes of targets are evaluated for tracking between consecutive frames. Two tracking cameras perform tracking of such targets as faces and hands, and also zoom in on the selected target to acquire an appropriately sized image for recognition. We experimented with a hierarchical linear discriminant analysis that distinguishes between faces and hands on the first step, and then recognizes face and hand-signs in each discriminant space by using four directional features. These experiments showed that our system could distinguish between faces and hands, as well as recognize face and hand-signs.

キーワード：顔認識，手サイン認識，ヒューマンインタフェース，マルチカメラ

Keywords: face recognition, hand-sign recognition, human interface, multiple cameras

1. はじめに

人間とコンピュータとの自然かつインタラクティブな対話を実現するために、コンピュータビジョンにより人間の動作や表情、視線、姿勢などの情報を検出し活用する研究^{(1)~(4)}が盛んに行われている。特に手振りや身振りなどの動作はユーザの意図を推察しやすい反面、個人によるばらつきが大きい。そこで、低解像度で認識することで個人差を吸収する方法⁽⁵⁾や、個人毎に作成したジェスチャモデルを用いる方法⁽⁶⁾が提案されている。実際に家庭やオフィスなどでこのようなジェスチャ認識によるインタフェースを複数の人が円滑に利用できるようにするためには、誰がどのようなジェスチャを行ったかを把握することが重要となる。

そのような中で、依田らは動きに着目して手前にある物を検出し、顔や手サイン、物体などを実時間で認識する方法⁽⁷⁾を提案している。手前にある複数領域を同時に認識させることでユーザの識別や行動などを推察することができ、計算機とのコミュニケーションが円滑になると期待される。

しかし、ユーザの移動許容範囲は前後方向に約 50 cm と制限されている。画像認識システムの多くは、認識精度が対象物を撮影した解像度に大きく依存することから、高認識率を維持するためにユーザの位置を制限している。大きさの変化に頑健な顔認識手法⁽⁸⁾⁽⁹⁾がいくつか提案されている。しかし、顔の大きさが 20 × 20 画素程度の低解像度での認識は困難と思われる。また、手サインなどの細かな形状を識別するためには高い解像度が必要と思われる。

本論文では、コンピュータに接続した複数のカメラを制御して、大域的な画像と注目領域の拡大画像を同時に獲得するマルチアクティブカメラシステムを構築する。このシステムを用いて、手と顔の連続的な位置情報を捉え、注目領域の顔と手サインを識別することでユーザの指示を理解する視覚インタフェースを提案する。

本システムでは、4 台のカメラを用いる。2 台のカメラでステレオビジョンを構成し、広範囲を撮影して顔や手領域を検出・追跡するのに用いる。顔と手領域の検出には色情報を用い、追跡にはステレオマッチングにより得た距離

図 1 システム構成図

Fig. 1. System configuration.

図 2 獲得画像例

Fig. 2. An example of an acquired image.

情報と検出領域の面積を用いる。残りの2台のカメラでは、パン・チルト・ズームを制御して注目領域の拡大画像を獲得する。対象物までの距離に基づいて拡大率を決定することにより、認識に最適な解像度の画像を獲得できる。

一方、顔および手サインの認識には、傾きや大きさの変動に強い4方向面特徴を線形判別分析で学習した判別空間を用いる。本システムでは、適切なサイズの画像を取得し傾きや大きさの変動に強い認識手法を適用することで、ユーザがシステムから離れた場所においても、安定した顔・手サイン認識が可能となる。

以降、2.ではシステム全体の概略について説明し、3.では顔と手領域の検出・追跡、および注目領域の拡大画像の獲得方法について述べる。4.では、顔・手サインの認識手法について述べ、本システムを用いた実験結果について述べる。そして、5.で本手法を用いて構築した応用システムについて述べる。

2. 視覚インタフェースの概要

〈2・1〉システム構成 本システムは、図1に示すようにビデオキャプチャボード (PowerCapture Pro, カノープス) を搭載した PC (Pentium-III 700MHz, WindowsNT4.0) と、パン、チルト、ズームを PC から制御できるアクティブカメラ (EVI-G20, SONY) 4 台と、各カメラ映像を1枚の画像に合成し PC に入力する4画面分割スイッチャ (YS-Q430, SONY) とから構成される。なお、各アクティブカメラは光軸を並行に揃え、図1中に示すように配置する。光軸の水平間隔は10 cm とした。

4台のカメラのうち、上2台を広範囲から対象領域を検出しステレオマッチングにより距離情報を獲得するステレオカメラ、下2台を注目領域の詳細な画像情報を獲得する追跡カメラとする。本システムにより獲得した画像の一例を図2に示す。上2つの画像がステレオカメラ画像で広範囲を捕らえている。下の2つの画像が2台の追跡カメラで獲得した拡大画像である。図2に示したように、各カメラ映像を1枚の画像に合成するので、PCには画像入力ポートが1つあればよい。また、広範囲を捉えた画像と注目領域を拡大した画像に対して同時に処理が可能である。

図 3 処理の流れ

Fig. 3. System flow.

〈2・2〉処理の流れ 本システムの大まかな処理の流れを図3に示す。まず、ステレオカメラで得られた画像から色情報を用いて顔・手候補領域を抽出し、ステレオマッチングにより得た各領域の空間位置座標と面積を用いて追跡を行う。次に、複数の領域が検出された場合、予め設定した優先順位に従い注目領域を決定し、その領域の拡大画像を獲得するように追跡カメラの方向・ズーム率を制御する。獲得した拡大画像に対して同様に色情報を用いて対象領域を抽出し顔・手サインの識別を行う。

3. 顔・手領域の注目機能

ステレオカメラ画像から顔と手領域を検出した後、位置情報と面積値を用いて各領域を追跡し、追跡カメラを制御して拡大画像を獲得する。まず、顔・手領域の検出方法および追跡方法について述べ、次に、拡大画像の獲得方法について述べる。

〈3・1〉肌色領域検出 筆者らはすでに個人差や環境変化にロバストな肌色領域検出方法⁽¹⁰⁾を提案している。この検出手法について簡単に説明する。CIE-L*u*v*表色系のuv値を用いて肌色領域抽出を行う。まず、入力画像より肌の取り得るuv値の範囲内で最も画素数の多いuv値を肌色基準値とし、肌色基準値と入力画像の各画素のuv値

との uv 平面上での距離を算出する。次に uv 平面上での距離ヒストグラムを作成し、判別分析法を用いて閾値以下を肌色領域とする。個人差や環境変化により肌色基準値が変動するが、肌色基準値からの色差を用いることで安定した肌色領域抽出が可能である。図 4(a) の入力画像に対する肌色抽出結果を図 4(b) に示す。

〈3・2〉 複数領域追跡 一点の視点から複数領域の追跡を行う場合、対象物の同定と遮蔽問題が発生する。本研究ではインタラクションを重視しているため、計算コストを減らしてリアルタイム性を目指した。よって、対象物の空間座標値は検出領域の重心座標値から算出し、対象物の同定は各領域の座標位置と面積値で行う。

検出領域の重心位置を用いた本システムでの距離推定結果を図 5 に示す。計測対象は、(a) 直径 2 cm の円形状のマーカー、(b) 人物が静止しているときの顔、(c) 頭部を左右に動かしている時の顔の 3 種類である。各 50 枚の画像を収集し、平均値と標準偏差を示す。図 5 より肌色重心値を用いても約 2 m 以内なら計測誤差は十分小さく、顔や手の位置追跡に使用できることが示された。

本システムでは平行ステレオカメラを採用しており、カメラの視差に対して対象物とカメラが充分離れていることから、左右画像間で対象領域の位置関係は入れ替わらず、面積もあまり変わらない。このことから、検出領域の垂直座標値と面積を用いてステレオ画像の対応探索問題を解いた。但し、候補が複数ある場合、または左右の画像間で検出領域数が異なる場合は、上記条件に加え水平座標値の距離が最も近いものが対応するとした。

追跡には、評価式 (1) に示すように時刻 t における領域の空間座標値 $P_t(x_t, y_t, z_t)$ と面積 S_t を用いて前フレーム $t-1$ での検出結果と差が最小となる組合せを追跡結果とする。 w_p, w_s は空間位置と面積に対する重みで、ここでは 1:1 とした。

$$E = w_p \|P_{t-1} - P_t\| + w_s |S_{t-1} - S_t| \dots\dots\dots (1)$$

本研究では、ユーザが自然なジェスチャによりコンピュータを操作することを目的としている。従って、顔と手の遮蔽や素早い複雑な手の動きを理解するのではない。しかし、重なりが生じる直前の位置関係から遮蔽関係を推測する。また、後述する顔と手の識別による認識結果を用いることで遮蔽問題を回避することもできる。これらの問題は今後の課題としたい。

〈3・3〉 拡大画像獲得方法 本システムでは、ステレオカメラで得られた注目領域の空間座標値から追跡カメラの方向とズーム率を制御して、拡大画像を獲得する。また、追跡カメラを 2 台備えているので、同時に 2 つの領域の拡大画像を得ることができる。以下に拡大画像の獲得方法について述べる。

まず、ステレオカメラにより、注目領域（本研究では顔または手となる）の空間座標値を求める。次に、追跡カメラが注目領域を撮影するようにカメラ方向を制御する。ズーム

図 4 顔領域検出結果例

Fig. 4. Face detection.

図 5 距離推定結果

Fig. 5. Estimated distance.

率は、注目領域が 1m 相当で撮像されたようにシステムからの距離から算出する。なお、注目領域の距離が 1m 以下の場合、ステレオカメラと同じ倍率 1 とし、3m 以上の場合、最大倍率の 3 倍とした。更に、ノイズなどによる検出領域の揺らぎに対して、追跡カメラが敏感に反応しないようにカメラ方向とズーム率にそれぞれ許容範囲 Th_{dir}, Th_{zoom} を設け、算出したカメラのパン・チルト移動量およびズーム率が許容範囲内ならば制御しないようにした。

このようなカメラ制御をするシステムにおいては、処理時間やカメラ制御の遅延などから高速に移動する物体の追従が困難となる。例えば、手の動きは速く、カメラを追従させ続けるのは困難である。先にも述べたように、本研究の目的はユーザの指示を理解する点にあり、絶えず手の動きを追跡することではない。この観点から見ると、手を動かしている間の手の形状はあまり重要でなく、むしろ動作が停止した後の手の形状を、つまり手サインを捉えるのが有効である。

そこで、本システムでは、注目領域が停止した時点でカメラを制御する。今回、動きの判定にはフレーム間差分を用いて対象領域内の差分量があらかじめ設定した閾値より小さい場合を停止と判定した。

本システムは、2 台の追跡カメラを備えているので、同時に 2 つの領域を追跡することができ、効率良く拡大画像を獲得できるように、以下の規則で注目領域の優先順位を制御する。

- (1) 動領域を優先する。
- (2) 領域の大きさ順に優先度を付ける。
- (3) 拡大画像を獲得した領域は優先順位を下げる。

本稿ではここに示した優先順位に従い、注目領域を選出

図6 顔手追跡結果

Fig. 6. Result of the face and hand tracking.

図7 顔と手の抽出結果例

Fig. 7. Examples of the zoomed images.

し、できるだけ移動量が少ない追跡待ちのカメラで追跡を行う。なお、この優先順位のルールを変えることで、例えば手前にある物に注目させたり、高い位置にある物に注目させるなど、目的に応じてシステムをカスタマイズすることは容易である。

〈3・4〉顔手検出・追跡実験 本システムを用いて顔と手の検出および追跡実験を行った。室内で一人の人物が手を動かしている状況を撮影した。被験者は5名である。

図6(a)は、被験者が本システムの前方向約1.5 m、左側約35 cmの位置に立ち、右手を伸ばして手前、右横、上、手前と振ったときの顔と手の検出結果の一例である。そのときの顔と手の軌跡を図6(b)に示す。被験者の身長は172 cm、肩から掌までの長さは約65 cmである。図6(b)の追跡結果は、顔と手の両方をほぼ正しく追跡できたことを示している。顔は静止しているにもかかわらず推定位置に多少ばらつきが現れた。これは手の動きによる顔への照明変化が原因と思われる。

手サインを任意の位置に提示し、システムが手領域の拡大画像を獲得するまでに要する時間を計測した。被験者5名について10回計測した結果、平均2.3秒要した。図7に追跡カメラで獲得した一例を示す。高速化を図るために、動き判定方法の調整が必要と思われる。

図8 4方向面特徴

Fig. 8. Four directional features.

4. 顔・手サイン認識

依田らは、顔と手サインを識別するにあたり、まず顔と手のカテゴリを分離した後、顔の識別、手サインの識別を行う階層化を図ることで最終的な識別率が向上することを示した⁽⁷⁾。本研究においてもリアルタイム性および認識精度向上の観点から、同様な階層化による識別を試みる。

〈4・1〉顔・手サイン認識手法 顔・手サイン認識には、4方向面特徴量⁽¹⁰⁾を線形判別分析⁽¹¹⁾で学習した判別空間を用いる。4方向面特徴とは、Prewittオペレータで各画素のエッジ方向を求め、その方向から、水平、垂直、右斜め、左斜めの4方向に分解した4方向面画像をガウシアンフィルタに通して低解像度化した特徴量である。4方向面特徴は解像度を低下させてもエッジ方向情報を保持しているため、エッジの形状変動に対してロバストになる。更に計算コストを削減することができ高速化が図れる。図8に低解像度化する前の4方向面画像の一例を示す。

本研究では、肌色領域から4方向面画像を生成し、解像度を8×8に正規化することによって256次元の特徴量とする。この特徴を元に線形判別分析法を用いて判別空間を作成する。識別は、この判別空間内で学習した各クラスの平均ベクトルとの距離が最小となるクラスを結果とする。

〈4・2〉認識実験 データ構成を表1に示す。学習データとして、カメラを中心に9つの視標(3×3、15度間隔)を設置し、各視標に顔を向けて見ているときの顔画像を各人100枚、計900枚を5人分収集した。手サインは、11種類のサインをカメラに対して正面に向け、各100枚を5人分収集した。

未知データとして、学習データで収集した5名に新たに3名を加え8名の正面顔画像を各100枚、計800枚を学習データと同じ環境で収集した。手サインには学習データの3名に新たに3名を加え6名分のサイン11種類を同様に収集した。顔、手サイン画像のサンプル画像を図9に示す。

表1 実験データ構成

Table 1. Experimental data set.

	Category	Person	Kind	Sample	Total
Training data	Face	5	9	100	4,500
	Hand-sign	5	11	100	5,500
Unknown data	Face	5+3*	1	100	800
	Hand-sign	3+3*	11	100	6,600

(* number of unregistered person)

図 9 顔画像・手サイン画像例

Fig. 9. Example images of the faces and hand-signs.

下記に示した辞書構成により比較実験を行った。

辞書 1： 顔と手サインを同等に扱い全て 1 つの判別空間を作成する。

辞書 2： 顔と手の 2 つのカテゴリに大分類し、次に各カテゴリ中で個々に識別する 2 段階に階層化された判別空間を作成する。

表 2 に認識実験結果を示す。括弧内の数値は学習データに含まれない被験者に対する認識結果である。辞書 2 による顔と手の大分類は、登録者に対しては顔と手共に 100% を得た。未登録者に対しても顔の識別率は 99% と高く、複数人の多様な方向を見た顔画像を学習させることで、顔の個人差を吸収する判別空間が生成されていると思われる。

辞書 2 の顔・手サインの認識率は、大分類が正しくなされたものとして実験した結果である。辞書 1 に比較して、顔と手サイン共に判別空間を階層化した辞書 2 の方が認識率が向上した。これは、特徴量は異なるが、依田らの実験⁽⁷⁾と同様な結果である。

今回、未登録者の手サインの認識率が悪いことから、手サインは個人により大きく異なることが示唆された。よって、手サインを個人毎に登録できるシステムが有効であると思われる。

〈4・3〉 距離変化を伴う認識実験 本システムを用いて、被験者とシステムとの距離を変化させたときの顔と手サインの認識実験を行った。拡大画像の有効性を評価するために、ズーム率 1 で固定のステレオカメラで得た画像に対して比較実験する。

学習データは、先の認識実験で作成した辞書 2 を用いた。未知データとして、被験者をシステムから 1, 1.5, 2, 2.5, 3 m と距離を変化させたときに追跡カメラで得た顔画像 50

図 10 認識実験結果

Fig. 10. Examples of the candidates.

枚と図 9 に示した手サイン各 10 枚を収集した。同時にステレオカメラの右画像からも同様に収集した。被験者は学習データに含まれる 3 名である。

実験結果を図 10 に示す。ズーム率 1 の画像では、距離が 2 m 以上になると認識率が低下した。手サインにおいては急激に低下していることから、顔識別より高い解像度が必要であることが示された。顔識別に関しては、1.5 m 以内の大きさの変化に対して認識率が高く頑健な認識手法であることが示唆された。追跡カメラで得た画像に対しては、どの距離においても安定した高い認識率を得ることができ、本システムの有効性が示された。

5. 視覚インタフェースの応用例

手サイン認識システムを実用化するための課題として、認識精度の他にコマンド以外の手の動作の排除、複数人からの利用者の抽出などが挙げられる。そこで、本システムをベースとして、〈3.3〉で述べた注目領域の優先順位を変更するだけで可能な応用例を提示する。

手サインをコンピュータに送る際に、手を挙げて伝えるのは自然な動作と考える。そこで、優先順位を検出領域の位置が最も高い領域を認識対象として、手サインを識別する。これにより手サイン以外の手の動作を排除でき誤動作を減らすことができる。図 11(a) は、奥にいる人が手を挙げてサインを示しているシーンである。優先順位に従い、奥にいる人の手と顔に注目し拡大画像を獲得している。更に

図 11 応用システム例

Fig. 11. Examples of application systems.

表 2 認識実験結果 (%)

Table 2. Experimental result(%).

	Discrimination Category		Classification	
	Face	Hand-sign	Face	Hand-sign
DS-1	-	-	94.0	92.4 (56.5)
DS-2	100 (99.0)	100 (92.0)	96.6	93.6 (55.8)

(* unregistered person)

手サインの近辺を対象に顔検出を行い個人識別することで、他人または子供による誤動作を防ぐアクセスコントロール機能を実現できる。なお、顔と手の人物同定方法として各領域の相対距離で判断したが、本来は人物全体を検出し手と顔の関係を明らかにする必要がある。この課題は姿勢推定の研究⁽¹⁾⁽³⁾に期待したい。その他には、図 11(b)に示すように顔と手の分類結果を利用して顔領域に注目するようにすれば、拡大された顔画像を収集することができ、セキュリティシステムへの応用も考えられる。

6. むすび

本論文では、PCに接続した複数のカメラを制御して、大域的な領域と注目領域の拡大画像を同時に獲得するマルチアクティブカメラシステムを構築し、注目領域の顔と手サインを識別することでユーザの指示を理解する視覚インタフェースを提案した。

本システムは、ステレオカメラで顔や手領域を検出・追跡し、2台のパン・チルト・ズームカメラを制御して距離に応じた注目領域の拡大画像を獲得することができる。また、検出領域の空間座標位置と面積を用いて追跡を行う簡便な方法で安定した複数領域の追跡を実現した。

顔・手サイン認識は、変動に強い4方向面特徴を線形判別分析で学習し、顔と手を分類する判別空間と、顔と手サインをそれぞれ識別する階層的な判別空間を構築し認識率向上を確認した。更に追跡カメラで得た拡大画像により、ユーザの距離によらず安定した顔・手サイン認識が可能となった。応用システムとして、手を高く挙げた人の手サインを認識するシステムを構築し、複数の人がいても利用できる可能性を示した。

今後は、システムの高速化、および個々の手サインを組合せたジェスチャ認識や視線検出を組み込むことでさらなる視覚インタフェースの向上を目指す。

(平成 12 年 9 月 25 日受付, 同 13 年 3 月 12 日再受付)

文 献

- (1) 高橋, 坂口, 大谷: 実時間非接触非装着型 3 次元人物姿勢推定法に関する一考察, 信学論 D-II, J83-D-II, 5, pp.1305-1314, (2000)
- (2) 安倍, 斎藤, 小沢: 手指の姿勢及び位置を入力とする 3 次元描画システム, MIRU2000 論文集 II, pp.85-90, (2000)
- (3) Azarbayejani and A. Pentland: Real-Time Self-Calibrating Stereo Person Tracking Using 3-D Shape Estimation from Blob Features, Proc. of ICPR96, pp.627-632, (1996)
- (4) H. Hongo, M. Ohya, M. Yasumoto, K. Yamamoto: Focus of Attention for Face and Hand Gesture Recognition Using Multiple Cameras, Proc. of FG00, pp.156-161, (2000)
- (5) 西村, 向井, 野崎, 岡: 低解像度特徴を用いた複数人物によるジェスチャの単一画像からのスポッティング認識, 信学論 D-II, J80-D-II, 6, pp.1563-1570, (1997)
- (6) 渡辺, 榎原, 谷内田: インタラクティブモデル構築による複雑環境下での実時間ジェスチャ認識, 電学論 D, 119, 1, pp.21-29, (1999)
- (7) 依田, 坂上: 3 次元動き情報を利用した複数対象物の抽出とその実時間認識, 信学論 D-II, Vol. J81-D-II No.9, pp.2043-2051, (1998)
- (8) 小杉: 個人識別のための多重ピラミッドを用いたシーン中の顔の探索・位置決め, 信学論 D-II, Vol. J77-D-II No.4, pp.672-681, (1994)
- (9) 栗田, 堀田, 三島: Log-Polar 画像の高次元局所自己相関特徴を用い

た大きさに不変な顔画像の認識, 信学論 D-II, Vol. J80-D-II No.8, pp.2209-2217, (1997)

(10) 本郷, 山本: 動領域内の肌色推定による顔領域および顔部品抽出, 映像情報メディア学会誌, Vol.52, No.12, pp.1840-1847 (1998)

(11) 大津, 栗田, 関田: パターン認識-理論と応用-, 朝倉書店, (1996)

本郷 仁 志 (非会員) 1985 年京都工芸繊維大学機械工学科卒。

1985 年三洋電機 (株) 入社。1990 年 ATR 視聴覚機構研究所に出向。1993 年出向元に復帰。1999 年岐阜大学院工学研究科電子情報システム工学専攻後期課程修了。博士 (工学)。現在, ソフトピアジャパン地域結集型共同研究推進室に出向。視覚インタフェースに関する研究に従事。電子情報通信学会, 映像情報メディア学会, IEEE, 各会員。

大矢 光 範 (非会員) 1999 年 3 月岐阜大学工学部電子情報工

学科卒業。2001 年 3 月, 岐阜大学大学院工学研究科電子情報工学専攻前期課程修了。現在, シャープ株式会社情報システム事業本部液晶ディスプレイ事業部技術部に勤務。

渡辺 博 己 (非会員) 1992 年 3 月岐阜大学工学部電子情報工

学科卒業。1994 年岐阜県金属試験場入庁。1997 年岐阜大学大学院工学研究科電子情報システム工学専攻前期課程修了。修士 (工学)。現在, 岐阜県生産情報技術研究所勤務。視覚インタフェース技術に関する研究に従事。電子情報通信学会, 映像情報メディア学会, 日本バーチャルリアリティ学会会員。

安本 護 (非会員) 1982 年神戸大学工学部電子工学科卒業。

1984 年同大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。1998 年岐阜大学大学院工学研究科電子情報システム工学専攻博士課程修了。博士 (工学)。1984 年三洋電機 (株) 入社。現在, ソフトピアジャパン地域結集型共同研究推進室に出向。視覚インタフェース技術に関する研究に従事。電子情報通信学会, 情報処理学会, 日本顔学会, 各会員。

山本 和 彦 (正員) 1971 年東京電大大学院修士課程了。同年

電子技術総合研究所入所。手書き文字認識の研究に従事。1979 年～1980 年, 米国メリーランド大学コンピュータビジョン研究所で並列分散処理による画像理解の研究。1986 年～1994 年, 電子技術総合研究所知能情報部画像研究室室長。現在, 岐阜大学工学部応用情報学科教授。人工知能, パターン認識の研究に従事。工博。