全方位視覚を用いた案内ロボットシステム

非会員 佐藤和也 (大阪大学)

非会員 山澤一誠 (奈良先端科学技術大学院大学)

非会員 八木康史 (大阪大学)

非会員 谷内田正彦 (大阪大学)

Autonomous Guidance Robot System with Omnidirectional Image Sensor

Kazuya Sato (Osaka University)

Kazumasa Yamazawa (Nara Institute of Science and Technology)

Yasushi Yagi (Osaka University)

Masahiko Yachida (Osaka University)

Described here is a guide mobile robot system for following a user and navigating the user to the desired position in the environment such as museum or exhibition. The system acquires an omnidirectional information around the robot, in real-time, with multiple sensors such as the omnidirectional image sensor HyperOmniVision, omnidirectional ultrasonic sensors, etc. Since HyperOmni Vision observes a 360 degree view around the robot, it can observe a global and precise azimuth information of features, however, it is difficult to estimate the precise location of a moving object (user) from azimuth information. On the other hand, The system has active sensors such as omnidirectional ultrasonic ranging sensors and obtains range data around the robot. However, the azimuth resolution is poor and it is not suitable for the object recognition. Therefore we integrate both sensors' merits. HyperOmni Vision identifies and tracking the user by using the azimuth and color information. Furthermore, the location of the robot is estimated by HyperOmni Vision. The robot follows and navigates the user with the constant distance between the user and the robot by using azimuth information (HyperOmni Vision) and range information (Ultrasonic Sensors).

キーワード： 全方位視覚, 超音波センサ, 案内ロボット, 位置推定, 意図理解

1. まえがき

ホームロボットや介護ロボット, 案内ロボットなど人間が生活する空間で人間と共存するロボットののための研究が盛んに行われている[1,2,3]。このような実世界を意識した場合, 環境内には, 構造物だけでなく人間が存在する。従って, 人間を含む環境内を対象とした移動ロボットは, 単に環境に対する位置関係を把握するだけではなく, 人間-環境-ロボット三者間の関係を考慮に入れた観測, 並びに人との協調行動を行わなくてはならない。

環境-ロボット間については, これまで多くの研究がなされてきた。特に静的環境を対象としたものは, 環境地図を利用した自己位置推定方法やランドマークを記憶する誘導方法など様々なロボット誘導方法が提案されている[4,5]。また静止環境だけでなく人間を含む動的な環境に対しても, 人間を移動障害物として扱うことで歩行者と衝突することなく移動できるロボットシステムや前方の人物を発見し追跡するシステムなど, 人間-ロボット間を扱った研究が行われている[6,7]。動的な環境を対

象とすることは, 実世界を移動するロボットための必要条件と言える。

しかし, 案内ロボットや介護ロボットなど人間とロボットのコミュニケーションが重要な要素となる場合, 人を移動物体として扱おうだけでなく, ロボットが人の意図を理解することが必要不可欠な機能として要求される[8]。ロボット(計算機)による人間の意図理解に関する研究としては, 視覚情報からの人のジェスチャ認識や表情認識や音声情報からの話者の行動理解に関する研究など[9,10,11]があるが, 実世界にロボットが使われることを考慮すると, 人間とロボット間の関係だけでなく。本来, 人間-環境-ロボット三者間の関係を考慮する必要がある。

本研究では, 人間-環境-ロボット三者間の関係に重点を置き, 人間と共にロボットが行動することで人間の意図をロボットの動作結果として理解する自律移動ロボットシステムの構築を目的とする。具体的には, 全方位視覚センサHyperOmni Visionを搭載した自立移動ロボットNomad200が, 美術館のような建物内に絵などのパネルが複数かかっている環境において, 人間とともに歩き回り,

ユーザの希望するパネルを推定する案内ロボットシステムを構築する[12]。

ロボットが自律的に行動するためには、周囲の環境と自己位置ならびに人間とロボット自身の位置関係（方位と距離）を把握する必要がある。そこで周囲環境の把握には、これまで我々が提案してきた全方位視覚センサHyperOmni Vision[13]を用い、環境マップと観測情報との照合によりロボットの誘導を行う[14]。さらに、ロボットのナビゲーションに人間の意図を考慮に入れるならば、ロボットの行動指針となる人間の行動を理解しなければならない。そこで、人間とのインタラクションでは、全方位視覚センサに全方位超音波距離センサ及び全方位赤外線近接センサを加えた複数のセンサ情報の統合によって、ロボットと人間の位置関係を推定し、ロボットが人間と共に行動することで、ロボットの行動を通して得られる人間の移動方向や歩行速度から人間の意図を読みとり案内を行う。

以下、2章で移動ロボットの構成、3章で時系列差分と色情報を用いた人物の同定並びに追跡方法、さらに全方位視覚からの観測方位情報を基にした環境に対するロボットの自己位置同定方法、全方位視覚と超音波距離センサ情報の統合による人の行動推定方法、4章で実験と検討について報告する。

2. システム構成

<2・1>ハードウェア構成 本システムのハードウェア構成を図1に示す。本システムは、移動ロボットNomad200・RadioEthernetアンテナ等からなる移動ロボット部、全方位視覚センサHyperOmni Vision・画像送信機からなる全方位視覚部そして画像受信機・画像処理プロセッサ・ワークステーション等からなるデータ処理部から構成される。

図1 システム構成

Fig.1. System Configuration

図2 移動ロボットNomad200

Fig.2. Mobile Robot Nomad200

図3 全方位視覚センサHyperOmni Vision

Fig.3. Omnidirectional Image Sensor HyperOmni Vision

<2・2>移動ロボット部 図2に示す移動ロボットNomad200は、円筒の形状をしており上部に超音波センサ、下部に赤外線センサを各々16個持っており、ロボットの回りの距離情報を得ることができる。またロボットはRadioEthernetで遠隔接続されたワークステーション上の制御用プログラムNserverによって制御される。

<2・3>全方位視覚部 全方位視覚部は全方位視覚センサHyperOmni Visionと得られた画像をデータ処理部にUHF電波で送信する画像送信機とからなる。

全方位視覚センサHyperOmni Visionの外観図を図2-2に示す。HyperOmni Visionは鉛直下向きの双曲面ミラーと鉛直上向きのカメラから構成され、側方360度及び下方を一度に撮像できる。

従来我々が研究してきた円錐ミラーを利用した全方位視覚センサCOPISでは、図2-3のように環境内の垂直エッジ

は、画像中で画像中心から放射状に延びた線分として現われる[14]。この性質を利用することで、入力画像中で放射エッジを検出、そのエッジの角度を計算することで、対象物体の方位角 θ を推定することができる。例えば、垂直エッジ上の任意の点 $P(X_p, Y_p, Z_p)$ に対する画像面上の写像点を $p(x_p, y_p)$ とすると、次式の関係が成り立つことからわかる。

$$\tan \theta = Y_p / X_p = y_p / x_p \quad \cdots (1)$$

HyperOmni Visionは、この性質をそのまま受け継ぎ、さらに一般のカメラで撮蔵した画像に変換できるという特徴を持つ。またHyperOmni Visionでは、カラーカメラを搭載しており色情報を扱うことができる。詳細に関しては参考文献を参照されたい[13]。

図4 円錐投影
Fig.4. Conic Projection

<2・4>データ処理部 移動ロボットからUHF電波で送られた画像は、映像受信機で取り込まれ、画像処理装置ITIに送られデジタル画像に変換される。画像処理装置ITIはワークステーションによって制御され、入力画像から各種データを抽出する。得られたデータはワークステーション内で処理され、同じくワークステーション上で動作するロボット制御用プログラムNserverにより移動ロボットを制御する。

3. 案内ロボットシステム

人間とロボットの共存を考えた場合、人間-環境-ロボット間の関係を意識したロボットシステム造りが必要となる。本手法では、人間-環境-ロボット三者間の観測とロボットの動作結果からユーザの意図を理解する。具体的には、ユーザとロボット間の距離を一定に保った定間隔動作をロボットが能動的に行うことで、ユーザの行動をロボッ

トの行動として扱い、行動の変化からユーザが希望する説明内容を察知し、案内ロボットはその内容についての説明を行う。以下、実際に構築した案内ロボットシステムの詳細について述べる。

<3・1>前提条件 本研究では、環境、移動ロボット、ユーザに対して以下のような前提条件を置く。

- ロボットは床面が水平で壁や柱が垂直に立っている室内等の人工環境を移動する。
- ロボットは、予め環境内の垂直エッジ情報、サブゴール位置、ロボットの初期位置からなる環境地図を持っている。
- 初期状態で環境内に動物体は存在しない。ユーザは後から環境に入り、案内を受ける。

図5 処理の流れ

Fig.5. A Sequence of Guidance

<3・2>処理の流れ 本システムの処理の流れを図5に示す。当初、ロボットは初期位置で待機している。この状態でユーザとなる人間が環境内に入ってくると、入力画像と背景画像との差分を取る事により、人物を発見する。この発見された人物をユーザとして案内を行う。

本システムでは、環境-人-ロボットの三者間の関係を扱うことを特徴とする。具体的には、環境とロボットの関係は、予め与えられた環境マップと入力画像との対応付けを行うことで環境に対するロボットの自己位置の同定を行う。人とロボットの関係では、上記の発見されたユーザ領域を時系列間で追跡し、超音波センサから得られる距離情報と合わせることで、ユーザとロボット間の距離を一定に保った動作をロボットは行う。そして、定間隔行動を行うことで、人の行動をロボットの動作変化としてとらえる。

そして環境と人との関係は、上記の人-ロボット、環境-ロボットの両関係から、ロボットを介して記述することができる。例えば、あるパネルがある場所の近辺でユーザが立ち止まった場合、ロボットの移動速度の減少とパネル(環境)に対するロボットの位置関係から、ユーザがその

パネルに興味をしめしているのではないかという予測を行うことができる。以下、各処理内容について説明する。

<3・2・1>人物の発見 前提条件より、図6のように、未知移動物体のない初期状態の輝度画像を記録しておく、現在の輝度画像との差分を取る。人間が環境内に入ってくると、人物領域のみが差分の結果としてあらわれる。2値化して差分領域の重心を求めることで画像中での人物の位置を推定する。次に重心を中心とする人物領域の面積に比例した大きさの正方形領域について、輝度・色相・彩度の色情報を抽出する。

以上の処理をユーザが近づいてくる間、くり返し継続して行い、計測された各色情報を累積加算し、輝度・色相・彩度のヒストグラムを作成する。そして頻度の高い（所定のしきい値以上の）特徴をユーザを表す特徴として、人物追跡のため色テンプレートとする。

図6 人物の発見
Fig.6. User Identification

<3・2・2>人物の方位角抽出 移動中にロボットから見て人物がどの方位にいるかは、全方位視覚センサの特徴により、画像中で人物が中心からどの方位に見えるかを調べればよい。

具体的には、図7に示すように、前節で得られた色テンプレートにより入力画像を2値化し、方位角を求める。1つの要素ではノイズの影響を受けやすく、人物の方位を正

確に抽出することが困難である。そこで、色相・彩度の2要素をそれぞれについて2値化しANDを取る。こうすることで、ノイズを防ぐことが出来る。さらに、得られた2値化画像の中で面積がある程度以上の領域のみの重心点を求めて方位角の抽出を行うことで、確実に人物の重心点を求める。得られた画像の画像中心を原点とした重心点を (X_m, Y_m) とすると、全方位視覚の性質により、人物方向 θ は、

$$\tan \theta = \frac{Y_m}{X_m} \quad \dots (2)$$

で表わすことができる。

<3・2・3>環境に対する自己位置の同定 ロボットのエンコーダから大まかな移動量はわかるが正確にはわからない。そこで自己位置の同定には環境内の垂直エッジを用いる。予め作られた環境地図と観測された垂直エッジとを対応付けることで自己位置の同定を行う。

まず、あらかじめ与えられた環境マップと大まかな移動量から観測されるエッジ方位が予測できる。次に入力画像から得られるエッジの方位角と環境マップから得られた予想方位角との比較により対応位置を推定する。環境と対応付いたエッジからロボットの自己位置を同定する。また、対応が得られなかったエッジは未知物体として検出し環境マップに登録する。なお、詳細は参考文献を参照されたい[14]。

図7 人物方向の算出
Fig.7. Estimation of User Direction

<3・2・4> 人物追跡と協調動作-定間隔動作-
本手法では、全方位視覚HyperOmni Visionからの色情報並びに方位情報、超音波センサと赤外線センサからの距離情報を融合することで、人物の追跡を行う。

HyperOmni Visionは、<3・2・1>節の方法により人物領域の色情報を切り出し、その色情報の領域を追跡することで、ロボットが移動しながらも、人物の方向を抽出することが容易に行えるが、HyperOmni Visionは通常の単眼カメラと同様に、観測対象とロボットが相対的に移動している場合、スケールファクタがないため、正確な距離の計測は困難である。一方、環境にも依存するが一般に、赤外線センサは近距離を測定するのに適しており、超音波センサは数メートルから10メートル程度の中距離を測定するのに適している。即ち、各々可観測範囲は異なるが超音波センサ、赤外線センサは能動的に対象までの距離情報を獲得できるため、相対運動する対象に対しても距離計測を行うことができるなどの利点がある。しかし、超音波センサ、赤外線センサ共、距離計測した対象が何であるかということは判らない。そこで、これらの複数のセンサを用い、それぞれのセンサの得意とする情報を統合することで、より確実に安定した人間の追跡を行う。つまり、視覚センサの色情報から人物の方位を抽出し、距離センサで人物までの距離や周囲環境の距離を測定し、これらのセンサ情報の統合により、人物の追跡を安定に行う。

具体的には、<3・2・2>節で求められた人物の方位角から、現在のロボットの進行方向との角度差を求める。次に、ロボットの進行方向に対し左右60度以内に人物が観測されるようにロボットは旋回動作を行う。この旋回動作時には、環境中の障害物との干渉チェックのためにロボットの回りの超音波、赤外線両センサの距離情報を利用する。特に、赤外線センサの値は非常に近い距離しか検出できないので、反応があれば衝突の危険があると判断し、回避動作を行う。以上の行動により、目標人物が進行方向に対して左右60度以内に観測できればロボットは人物方向に進み、一定間隔の動作に入る。

具体的には、Nomadの運動は、前進速度と回転速度により定義され、図8に示すように、前進速度は、最大ロボット移動速度に距離センサからの距離情報を0から1までに正規化したセンサ値と人物方位角と進行方向の角度差 θ とにより式(3)で定義する。また図9に示すように回転速度は、最大回転速度に人物方位角と進行方向の角度差 θ と距離センサの情報 α を掛け合わせた式(4)で表現する。速度がプラスなら左回り、マイナスなら右回りとなる。左右の距離センサの情報は、旋回時の衝突危険性の評価を行っている。

前進速度 = 最大速度 $\times \cos \theta \times$ センサ値 $\cdots (3)$

$$\text{回転速度} = \begin{cases} \theta < -15^\circ \text{なら右回りに最大速度} \\ \theta > 15^\circ \text{なら左回りに最大速度} \\ -15^\circ < \theta < 15^\circ \text{なら最大速度} \times \theta / 15^\circ \times \alpha \times \sin \theta \end{cases} \cdots (4)$$

以上の処理を行い、ロボットはユーザとの間隔を一定に保った定間隔動作を実現し、定間隔動作時のロボットの移動速度の変化を観測することで、ユーザの行動を理解する。

図8 ロボットの移動速度
Fig.8. Velocity of The Robot

図9 ロボットの回転速度
Fig.9. Angular Velocity of The Robot

<3・2・5> サブゴールの判断と説明 一般に、環境内で絵画等が展示されている場所では、人間は興味があれば立ち止まるし、興味がない場合は、通り過ぎる。即ち、人の歩き方の変化(減速、停止)は、人間の周囲環境に対する興味度を知るために手がかりとなる。本節では、人間と環境との観察の一例として、ロボットの速度変化を観測することで、人間の興味度が環境内のどの部分にあるのかを推定する方法について述べる。

本システムでは、ロボットと人物間の距離を一定に保った定間隔動作を行っている。従ってロボットが人物を追跡する際、人物に近づくにつれて両者の相対移動速度は小さくなり、最終的にはロボットは一定間隔を保ちながら人物を追跡しようとする。即ち、この定間隔動作は、安全距離を保った走行だけでなく、ロボットの移動速度が人間の移動速度となるので、人間の歩き方(ここでは歩行速度)の変化は、ロボットの移動速度の変化を観察することで知る

図 1 0 実験環境の環境マップ
Fig.10. Given Map of Experimental Environment

図 1 2 (a) 実験結果 (4 フレーム目)
Fig.12(a). Experimental Results (4th frame)

図 1 1 人の移動軌跡
Fig.11. Trajectory of User

図 1 2 (b) 実験結果 (15 フレーム目)
Fig.12(b). Experimental Results (15th frame)

図 1 3 ロボットの移動軌跡
Fig.13. Robot Trajectory obtained by Internal Encoder

図 1 2 (c) 実験結果 (27 フレーム目)
Fig.12(c). Experimental Results (27th frame)

ことができる。例えば、サブゴールの近辺で人物が立ち止まっていれば、そのサブゴールに対し、興味を示していると推察し、ロボットは音声で、サブゴール（絵）の説明を行う。

4. 実験結果及び検討

案内ロボットシステムの機能を実際に検討するために、実験を行った。ロボットには図10の様な環境地図を与える。□印は垂直エッジ位置を表わし、濃い○印はロボットの初期位置、薄い○印はサブゴールの位置を表わす。

ユーザは初期状態でロボットが静止している環境に進出し、図11の様な軌跡でサブゴールであるパネルの元に移動した。ユーザの移動速度は約10cm/secである。

ロボットが自己位置を同定しながら追跡の様子を図12に示す。図中の太い□印は与えられた垂直エッジの内で、現フレームで自己位置の同定に使用しているものであり、細い□印は使用していないものである。濃い○印はロボットの現在位置を、薄い○印はサブゴールの位置を示している。また、実際のロボットが移動した軌跡を図15に示す。ロボットの最大移動速度は15inch/sec、最大回転速度は100deg/secである。また、画像のサンプリング周期はロボット移動時1frame/sec、その場回転時4frame/secである。人間とロボットは約50cmの間隔を保つように設定した。

図12(c)と図13からロボットは、大まかではあるが、人を追跡し、サブゴールに到達したことを同定することができた。しかし実際の人間の行動軌跡との比較においては、図11のように人は大きく蛇行しながら移動したのに対して、ロボットの移動軌跡は人の移動軌跡にくらべ滑らかであった。この原因としては、人物の方位推定では、最初に抽出した色テンプレートと同じ色領域を抽出し、その色領域の重心位置から求めているため、照明条件などに影響されやすいためと思われる。濃淡またカラーテンプレートマッチングなどの方法で領域としての対応位置を見つければ、より安定した方位推定ができ、今後改良する予定である。

ところで、図11と図13からもわかるようにロボットの移動軌跡の方が滑らかであり、両者の移動軌跡に差があるが、移動方向のみに着目すれば、同様の変化をしている。このことから、人がどのような行動をとるかは、程度の違いはあるが、ロボットの行動軌跡からも推察できるものと考えることができる。

次にロボットの自己位置推定に関しては、対応付けの誤りなどにより推定誤差が現れた。観測のサンプリング周期を短くすることでより密に観測を行えば、誤差を軽減することができるが、図12(c)と図13からもわかるように案内ロボットの目的からすると十分な精度と言える。

5. おわりに

本研究では、環境一人一ロボット三者の関係をロボットの観測を通し獲得し、人間と協調的に行動する自律移動ロボットシステム、特に美術館のような建物内に絵などのパ

ネルが複数かかっている環境において、人間とともに歩き回り説明をする案内ロボットシステムを実現した。人のロボット間の関係表現では、全方位視覚センサHyperOmini Visionと全方位超音波距離センサ及び全方位赤外線近接センサを加えた3つのセンサ情報の統合により、人の位置推定を行った。そして、ロボットとユーザ間の距離を一定に保つ定期行動を行うことで、ユーザの行動をロボットの動作結果により表現した。

今後はより安定した人物の追跡のための改良を行い、人物のジェスチャの認識などより密なコミュニケーションを通したシステムを実現したいと考える。

また、実際に案内ロボットを構築しようとした場合、ロボットの周囲には、多くの人が存在し、それらの人を同時に観測する必要が生まれる。特に、このような状況では、今回の3つの全方位センサをシステムの利用価値が高いものと考えられる。今回は、環境一人一ロボット三者の關係に重きをおいていたが、今後は、複数の人が混在する場合へ発展させ、全方位センサ情報統合の方法について深く検討したいと考える。

なお、本研究の一部は、文部省科学研究費重点領域研究（代表 谷内田）、基盤研究A（代表 谷内田）並びに奨励研究A（代表 八木）の補助を受けた。

（平成9年2月27日受付、平成9年6月2日再受付）

文 献

- [1] 特集”人間と共存するロボットの新技术、人にサービスする新機械—マシナサビエンスをめざして”計測と制御,34,4 (1995)
- [2] 特集”医療福祉とロボティクス”,日本ロボット学会誌, vol.14, no.5 (1996)
- [3] 安西祐一郎:”多重知覚情報の相互関連モデルの研究”, 科研重点領域報告書「感知情報処理の情報学・心理学的研究」, pp.9-12, 平成7年1月
- [4] M. Yachida, Ichinose and S. Tsuji, Model-Guided Monitoring of a Building Environment by a Mobile Robot, IJCAI, vol.2 1125-1127 (1983)
- [5] 石黒, 前田, 辻, 全方位画像記憶に基づくロボットの誘導, ロボットシンポジウム, 139-144 (1995)
- [6] 柴田, 坂井, 松本, 稲邑, 稲葉, 井上: Hyper Scooterの研究—視覚情報に基づいた前方を走行するユーザの追跡走行—, ロボティクスシンポジウム, 23-28 (1996)
- [7] 石川繁樹, 浅香俊一: 移動障害物を含むような動的変化を伴う走行環境における自律移動ロボットの走行誘導方式, 日本ロボット学会誌, 11, 6, 856-867 (1993)
- [8] 佐藤, 西田, 市川, 畑村, 溝口: ロボットによる人間の意図の能動的理解機能, 日本ロボット学会誌, vol.13, no.4, 545-552 (1995)
- [9] Y. Cui, D. L. Swets and J. J. Weng, Learning-Based Hand Sign Recognition Using SHOSLIF-M, Int Conf.

Computer Vision (1995)

- [10] R. Chellappa, C. L. Wilson and Saad Sirohey, Human and Machine Recognition of Faces: A Survey, Proc. The IEEE, 83, 5, 705-740 (1995)
- [11] 中村裕一, 太田友一:話者行動理解のための動作解析システム, 第2回重点領域研究「知能ロボット」シンポジウム, 123-126 (1996)
- [12] 佐藤和也, 八木康史, 谷内田正彦: 全方位視覚を用いた案内ロボットシステム, ロボティクスシンポジア, 35-40 (1996)
- [13] K. Yamazawa, Y. Yagi and M. Yachida, "Omnidirectional Imaging with Hyperboloidal Projection", Proceedings IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, vol.2, pp.1029-1034 (1993)
- [14] Yasushi Yagi, Yoshimitsu Nishizawa, Masahiko Yachida, "Map-Based Navigation for a Mobile Robot with Omnidirectional Image Sensor COPIS, IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol11, no.5, pp.634-648 (Oct.1995)

佐藤 和也 (非会員) 1971年4月21日生。1994年大阪大学基礎工学部制御工学科卒業。1996年同大学院博士前期課程修了。同年キャノン入社。工学修士。日本ロボット学会会員。

山澤 一誠 (非会員) 1970年3月12日生。1992年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。1994年同大学院博士前期課程修了。1996年同大学院博士後期課程中退。同年奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科助手。現在に至る。平成8年度電子情報通信学会論文賞, ロボットビジョン, バーチャルリアリティの研究に従事。工学修士。電子情報通信学会会員。

八木 康史 (非会員) 1959年9月27日生。1983年大阪大学基礎工学部制御工学科卒業。1985年同大学院修士課程修了。同年三菱電機(株)入社。同社産業システム研究所にてロボットビジョンの研究に従事。1990年大阪大学基礎工学部情報工学科助手。1993年同学部システム工学科講師。現在同学科助教授。1995年～1996年英国オックスフォード大学客員研究員, 平成8年度電子情報通信学会論文賞, IEEE, 電子情報通信学会, 情報処理学会, 日本ロボット学会, システム制御情報学会等各会員。

主として全方位視覚に関する研究を行っている。工学博士。

谷内田 正彦 (非会員) 1945年9月4日生。1971年大阪大学大学院工学研究科修士課程修了。同年同大基礎工学部制御工学科助手。同助教授を経て同学部情報工学科教授。1993年同学部システム工学科教授。現在に至る。1967～1968年デンマーク原子力研究所留学。1972～1973年米イリノイ大学にてResearch Associate。1980～1981年西独ハンブルグ大学Research Fellow。1982年ミネソタ大学CDC Professor。平成8年度電子情報通信学会論文賞, 情報処理学会, ロボット学会, 人工知能学会等会員。著書ロボットビジョン(昭晃堂)、コンピュータビジョン(丸善、編著)等。コンピュータ・ビジョン、人工知能、移動ロボットなどの研究を行なっている。工学博士。