

# ロボットタウンの実現に向けて

## - 分散ビジョンによるロボットと人の行動計測 -

### Distributed vision system to measure behavior of robots and pedestrians in Robot Town Project

小船 博行 村上 剛司 倉爪 亮 長谷川 勉 (九大)

Hiroyuki KOBUNE, Kouji MURAKAMI, Ryo KURAZUME, and Tsutomu HASEGAWA (Kyushu University)  
{kobune, mkouji, kurazume, hasegawa}@irvs.is.kyushu-u.ac.jp

**Abstract**— This paper describes a new project named “ Robot Town ”, which aims at developing a common platform where robots can work within an ordinary environment for daily human life. To achieve autonomous robotic activities in such environment, sensors and RFID tags connected with a network are distributed in the environment. Real-time data from sensors and robots are integrated by the Town Management System together with GIS and other data-bases to measure behavior of robots and pedestrians.

**Key Words:** Intelligent Robot, Distributed Vision, RFIDTag, Daily Human Life Environment

## 1. はじめに

オフィスや病院、道路などの公共空間、あるいは住宅内で人間のために働くロボットの実現に向けた一つの有力なアプローチは環境情報構造化である。人間が共生する環境では、単体のロボットに実装した機能で多種多様な状況に適應して作業を行わせるのは当面困難であることから、環境側に多数の分散型センサやRFIDタグ、あるいはアクチュエータを埋め込んで、ロボットを支援しようというものである。

環境側にセンサを埋め込んで人間の行動を計測し、医療や福祉など種々の応用に用いようとの試みは少なくない[1]。しかし分解能の高い行動計測には高密度のセンサ配置が必要であるため、ほとんどが単一の部屋レベルの実装であり、屋内から屋外までの連続空間、あるいは街区にまで広げようとしたものは見あたらない。

本研究では、次世代ロボットが人間と共生して種々の作業を行うことを可能にするため、環境側にプログラムや情報、知識を埋め込んだ環境情報構造化プラットフォーム：ロボットタウンの研究開発をおこなう。

## 2. ロボットタウンのコンセプト

ロボットは我々の住む3次元空間において、物理的移動・操作を通じて有益な作業を行う。そのための基本となるのが、ロボット自身および作業対象、障害物の空間配置である。屋外であればGPSを利用してロボットは地球上での自己位置を正確に知ることができる。さらに地図情報を併用すれば、周囲の状況もある程度知ることができる。しかしそれだけでは人間社会に共生して種々の作業を行うには不十分である。人間の活動によりタウン内の物体配置や通路の状況は時々刻々と変化するからである。これらの変化をリアルタイムに認識・管理して、ロボットが必要とする情報を提供し、その活動を支援する機能を環境側に持たせようというのがロボットタウンの基本概念である。

研究開発目標の概念図をFig.1に示す。人間が日常生活をしている街区に、ビジョンカメラを分散配置する。街角ビジョンは視野内のロボットや歩行者などの移動体の位置や姿勢、運動方向を計測する。また、歩道路面や側壁面あるいは建物内部にはRFIDタグやセンサを分散配置する。街角カメラ、ロボット、センサはネットワークを通じて、タウンマネジメントシステムに接続されている。このマネジメントシステムがGIS等のデータベースを含め、すべての情報を統合・管理し、街中の人、ロボット等の移動体の状況をリアルタイムで認識・把握する。各ロボットはその周囲の移動体や障害物状況などの必要な情報をマネジメントセンタから供給され、その作業目的を達成することができる(Fig.2)。

センサやRFIDタグの配置は、できるだけスパースにしたい。計測範囲が広大であるので、システム構築の初期コストや運用・保守管理コスト面の実現可能性を保障しなければならないからである。またスパースな配置は、人間にとって自然で快適な生活環境の維持にもつながる。その反面、ロボットの行動に必要な空間的計測精度の確保が、一般的には難しくなる。これら

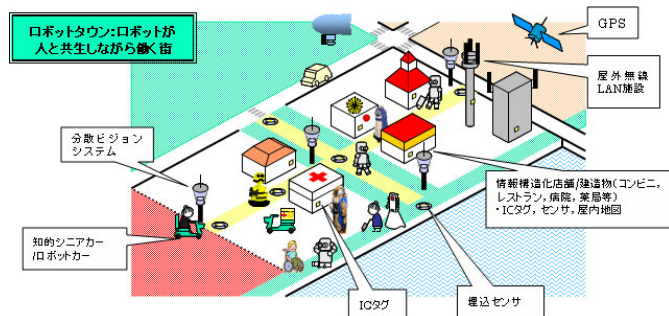


Fig.1 ロボットタウン概念図

のトレードオフを探ることも研究課題となる。しかし、環境内で行動するロボット自体にも内界センサによる自己運動計測機能や、レーザレンジセンサなどによる周囲状況計測機能があり、これらから得られる情報と環境分散配置センサから得られる情報とにより、必要な精度の確保は可能であると考えている。

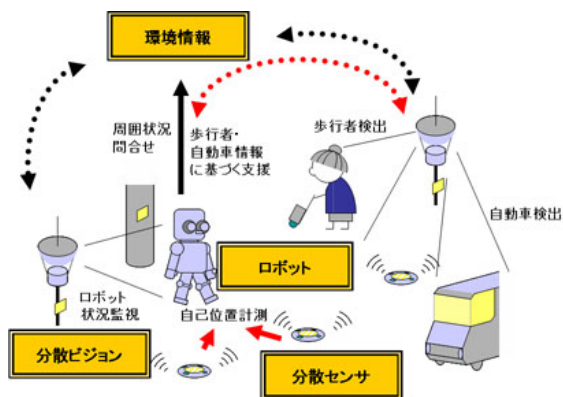


Fig.2 情報の流れ

### 3. 分散街角ビジョン

分散街角ビジョンには、単眼のテレビカメラを固定して用いる。差分画像処理と著者らにより開発された高速レベルセット法 [2] とを組み合わせたものをベースに、移動体の検出と位置計測を実時間で行う。屋外では、日照変化や風による草木の動きによる背景画像の変動の影響があるが、固定カメラであるので、カメラ毎に学習による適応 [3] や、対象エリアに関する知識などを導入することにより、頑健性を高めることができる。移動体が視野内に入ってきたときに、すでに他のビジョンシステムで計測された結果があれば、ネットワーク経由でタウンマネジメントシステムからその情報を得ることができるので、これを利用して画像計測処理の頑健性を高めることができる。また、レーザレンジセンサなどロボットに搭載されたセンサ情報をも統合して、全体として精度の向上と頑健性の確保をはかる。各ビジョンからの移動体に関する位置情報は、タウンマネジメントシステムに逐次送られ、ログとして過去の動作系列が保存される。

#### 3.1 分散カメラによる同一歩行者の追跡

分散配置されたカメラの相互連携による同一歩行者の継続的追跡の処理の流れを以下に示す。なお、すべてのカメラはワールド座標系  $W$  でカメラキャリブレーションされているものとする。

##### 1. 歩行者の輪郭線の抽出

カメラからの入力画像と背景画像との差分をとり、歩行者の候補領域を取得する。その後、高速レベルセット法を適用して歩行者の輪郭線を抽出する。

##### 2. 単眼カメラによる歩行者の位置計測

歩行者の輪郭線に対して、主成分分析を行うなどの処理を行い、画像座標系  $C$  での歩行者の位置を求める。歩行者の座標を画像座標系  $C$  からワールド座標系  $W$  へ変換し、ワールド座標系  $W$  における歩行者の位置を求める。

##### 3. 複数台カメラの視野間をまたいで移動する歩行者の追跡

複数のカメラに写る歩行者が同一であるかを、ワールド座標系  $W$  における位置と速度が近いかどうかで判定する。

背景差分法では、入力画像と背景画像の間で対応する画素の輝度値の差分をとることにより、差分画像を生成する。入力画像において動物体が存在しない画素の輝度値は背景画像中の対応する画素の輝度値と一致するはずであるが、環境内の照明などの影響によりわずかに異なることがある。背景差分法においては、この輝度値の微小変化が差分画像上にノイズとして現れる。このため、入力画像における輝度の勾配および差分画像における差分値の勾配を利用した高速レベルセット法を用いることで、ノイズに対して頑強な歩行者の輪郭線抽出を行う (図 3)。



Fig.3 Level Set Method による歩行者の抽出

人物輪郭線に対して主成分分析を行い、その第 1 主成分を歩行者の中心軸として、中心軸と人物輪郭線から歩行者の足下位置と身長を求める。足下の位置および身長の計測は、カメラに歩行者の全身が映る場合、身体下部が切れて映る場合、身体上部が切れて映る場合の 3 つに分けて行った。全身が写っている場合には、頭頂部位置を中心軸と人物輪郭線の交点として求める。さらに人物輪郭線の両足下端部を結んだ線分を凸包問題の解として求め、この線分と中心軸との交点として足下の位置を求める。頭頂部位置と足下位置から身長を求める。身体下部が切れて映る場合には、中心軸と人物輪郭線の交点を頭頂部位置として、その垂直下方へ身長長さだけ移動した位置を足下位置とする。身体上部が切れて映る場合は、中心軸と、人物輪郭線の両足下端部を結んだ線分交点を足下位置とした。カメラに身体上下部が切れて写っているかどうかは、抽出した人物輪郭線がカメラ画像の上端、下端に接しているかで判定した。

街角ビジョンシステムのコストを抑えるため、歩行者の位置  $(X, Y, Z)$  の計測は単眼カメラで行う。しかし、単眼カメラによる画像座標系  $C$  からワールド座標系  $W$  への座標変換では、2 次元座標  $(x, y)$  から 3 次元座標  $(X, Y, Z)$  を求める問題となるため解を一意に決定できない。そこで、歩行者は同じ高さの平面上を移動するものと仮定し、 $Z = \text{定数}$  を拘束条件とした。

歩行者が複数台カメラの視野間をまたいで移動する際には、ワールド座標系  $W$  における歩行者の位置と速度をもとに継続的な追跡を行う。歩行者があるカメラ  $A$  の視野内から別のカメラ  $B$  の視野内へ移動する場合、カメラ  $A$  で計測した歩行者の位置  $(X_A, Y_A, Z_A)$  とカ

カメラ B で計測した歩行者の位置 ( $X_B, Y_B, Z_B$ ) が近く、かつ歩行者の速度が近いときに同一歩行者であると判定して、同一歩行者の継続的追跡を行った。この判定は、歩行者が「カメラの視野内に入る」、「カメラの視野内を移動する」、「カメラの視野内から出る」という 3 つのパターンに分けて行う。

### 3.2 歩行者追跡実験

2 台のカメラで歩行者 2 名の追跡実験を行った。実験環境を Fig.4 に示す。幅 6[m]、長さ 8[m] の部屋に、2 台のカメラ A、B をともに 2.5[m] の高さに設置し、カメラ間の間隔は 2[m] とした。ワールド座標系  $W$  の基準点  $O$  はカメラ B のほぼ真下で、床平面と同じ高さにとった。X および Y 軸は実空間上の地面と平行、Z 軸は地面と垂直である。カメラは Point Grey Research Inc. の Bumblebee (BB-COL-60) を 2 台使い、ワールド座標系に対してキャリブレーションを行った。Bumblebee は IEEE1394 インターフェイスで接続される 2 眼ステレオカメラであるが、本研究では片方のカメラは用いず単眼カメラとして利用した。また、使用した Bumblebee の水平画角は 50[degree] であり、解像度は 320 × 240 を用いた。

実験では、歩行者 A が先に歩いており、その少し後を歩行者 B がついて歩くという状況下で追跡を行った。歩行者 A が床面上  $X = 386[\text{cm}]$  の直線上を、歩行者 B が床面上  $X = 295[\text{cm}]$  の直線上を、カメラ A の視野外からカメラ A の視野内、カメラ B の視野内、カメラ B の視野外へと歩いた。また、身長は歩行者 A が 152[cm] で、歩行者 B が 166[cm] である。歩行者の身長が計測できない場合に用いる仮の身長は、2 人の身長平均である 159[cm] とした。人間の肩幅が 30 ~ 40[cm] 程度であることから、2 つのカメラに写る歩行者の距離が 30[cm] 以内のとき、その歩行者は同一人物であるとした。

追跡実験の結果を Fig.5 に示す。図中では、歩行者ごとに輪郭線の色を変えて表示している。このとき、1 フレームの処理に要した時間は、Intel® Celeron® Processor 2.8GHz の PC において 32[ms] であった。

計測した歩行者の位置と身長を Fig.6 と Fig.7 にそれぞれ示す。Y = 1500, 4000[mm] 近辺での位置誤差が大きい。この領域はカメラの撮像境界がある領域であり、歩行者の上部あるいは下部が切れてカメラに写るため、誤差が出やすい。また、歩行者の足下に影が出る場合は影の輪郭線も抽出するため、計測した足下の位置に大きな誤差が生じる。なお、歩行者が 2 つのカメラで同時に写る場合には、2 つのカメラでそれぞれ得られる歩行者位置の最新の方の値で更新をかけており、歩行者位置の統合処理などは現状では行っていない。また、特に歩行者の身長の計測値で大きな誤差が生じている。これは、歩行者の頭部の抽出ミス、主成分分析法により取得した中心軸が実際の中心方向よりも傾くなどが原因である。これらの問題の解決が課題である。

## 4. RFID タグによる環境情報構造化

屋外通路や建物内部床面には、RFID タグを埋込配置し、環境情報構造化をはかる。また住宅内什器やオ

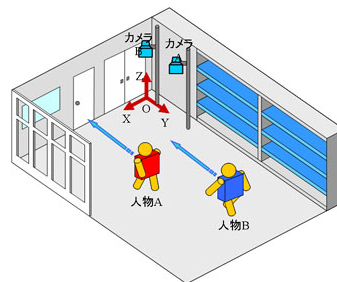
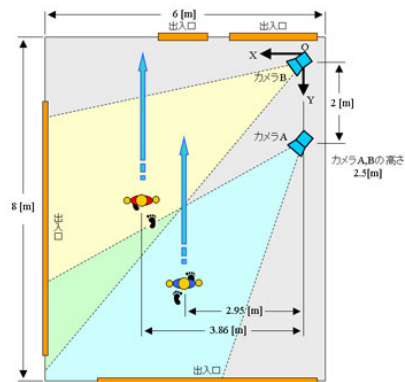


Fig.4 実験環境



Fig.5 2 台のカメラによる歩行者の追跡

フィス・病院内でロボットが操作対象とする物品にも RFID タグを添付して、それらの認識・移動管理に用いる。これらにより移動ロボットの自己位置確認、あ



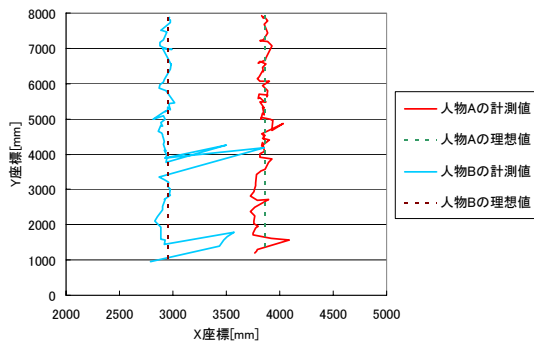


Fig.6 歩行者 A, B の移動軌跡

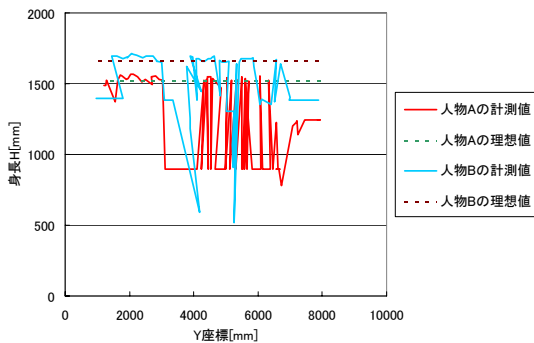


Fig.7 歩行者 A, B の身長

|             | 歩行者 A | 歩行者 B |
|-------------|-------|-------|
| 最大誤差 [mm]   | 232   | 901   |
| RMS 誤差 [mm] | 68    | 190   |

Table 1 移動軌跡の最大誤差および RMS 誤差

|             | 歩行者 A | 歩行者 B |
|-------------|-------|-------|
| 最大誤差 [mm]   | 738   | 1141  |
| RMS 誤差 [mm] | 418   | 257   |

Table 2 身長の最大誤差および RMS 誤差

るいはマニピュレーション作業支援がなされる。内蔵電源を持たないパッシブタグについて、実環境使用状況下での、確実な読みとり動作条件、移動ロボット位置姿勢計測精度など、性能確認をおこなった。

## 5. タウンマネジメントシステム

宅内、オフィスや病院など建物単位、およびそれらの集合としての街区単位でタウンマネジメントシステムは管理区域内の人やロボットなどの移動体の位置・姿勢および運動を計測し、個々のロボットの動作および作業を支援する。通常の GIS にくわえ、街角ビジョンシステムの配置と視野範囲、RFID タグの設置状況、ロボット形状データなどを基本データベースとして装備する。ビジョンシステムに対しては、観測されるはずのロボットの形状や位置情報を渡して、ビジョン処理を容易にするとともに、その処理結果の検証を支援する。またビジョンやロボットからの位置情報を統合し、認識処理や一計測結果の一貫性を維持管理する。実証

実験シナリオの設定と、その中での構成要素間のインタラクションのチェックを繰り返しながら、プロトコルの定義と拡張をすすめている。

## 6. 実証プラットフォーム

ロボットを用いたモデル住宅における生活支援、病院内での移動支援の実証実験をおこなう。福岡市の博多湾埋め立て地「アイランドシティ」内の中央公園一角にあるレンガ住宅 (Fig.8, 9) の内部および周辺領域を対象に環境情報構造化を行い、住宅内部でのロボットによる生活支援、周辺地域での通行者とロボットとのインタラクション支援をおこなうための環境整備を行った。またプラットフォームとしてのオープン化、標準化をはかるため、ハードウェアのインターフェース、通信インフラ等検討を進めている。



Fig.8 レンガ住宅正面図



Fig.9 レンガ住宅と歩道

また、九州大学病院において、病院内の環境情報構造化を行い、模擬患者を乗せた知的車いすによる行動支援を行う。

## 7. むすび

次世代ロボットが人間と共生して種々の作業を行うことを可能にするための研究開発プロジェクトについて述べた。これは、環境側にプログラムや情報、知識を埋め込んだ環境情報構造化プラットフォーム:「ロボットタウン」の実現をめざすもので、その概略とこれまでの成果の一部を紹介した。

### 参考文献

- [1] 佐藤知正、森武俊、原田達也，“ロボティックルームの知能 - ユービキタス知能 -”，日本ロボット学会誌，vol.20, no.5, pp.482-486, Jul. 2002.
- [2] 倉爪亮、由井俊太郎、辻徳生、岩下友美、原健二、長谷川勉，“Fast Level Set Method の提案とビデオ画像の移動物体のリアルタイム追跡”，情処論，vol.44, No.8, pp.2244-2254, 2003.
- [3] 関真規人、和田俊和、藤原秀人、鷲見和彦，“情景変化の共起性に基づく背景差分”，情処論，vol.44, no.SIG5(CVIM6), pp.54-63, Apr.2003.