

ビーチボールをするロボットと今後のロボット視覚

辰野 恭市・尾崎 文夫・小川 秀樹・福井 和広・谷口 恭弘

Beach Volleyball Playing Robot and Requested Future Robot Vision

Kyoichi TATSUNO, Fumio OZAKI, Hideki OGAWA, Kazuhiro FUKUI, Yasuhiro TANIGUCHI

This paper describes a beach-ball playing robot which picks up a ball and plays beach-ball with a stereo vision. This vision can measure a 3-D position of the ball in 1/60 s of the sampling time. Using the position data, robot approaches the ball under visual feedback.

Key words: robot, machine vision, visual feedback, 3D position measurement

家庭や病院などで人と一緒に活動し、人とコミュニケーションしながらロボットが作業するには、作業対象物を見て、位置を知ることは重要な視覚機能である。1997年3月の東芝技術展でビーチボールを拾い、人とビーチボールを打ち合うロボット¹⁾(図1)のデモンストレーションを行った。このロボットはボールの認識と位置計測、人の顔認識、手を振る動作の認識の機能をもっている²⁾。本稿では、ボールの認識と位置計測を用いたボール拾いと人とビーチボールを打ち合うときのロボットの動作を紹介する。また、今後開発されることを期待するロボット視覚の機能をあげる。

1. ロボットシステムの構成

図1に示すように、ロボットを吊り下げ、ロボットを移動させるための機構(Godアーム)、ラケットをもっている左アーム(左Angelアーム)、手が付いている右アーム(右Angelアーム)、顔に相当する雲台からなる。顔にはボールを認識・測定するための2台のカラーCCD(charge-coupled device)カメラがある。

2. ビーチボールの認識とボールの3次元位置計測

ボールの認識・位置計測の手順³⁾を、図2を用いて説明する。ボールは映像の中で、赤い円形の領域として認識している。

画像は奇数フィールド、偶数フィールドごとに処理して、1/60秒ごとにボールの位置計測ができるようにしている。1/60秒ごとに次の処理ができる前処理ボード(ラベリングボードと称する)を新たに製作した。

- 1) カラーカメラの赤・緑・青の信号(アナログの映像信号)をA/D変換し、赤かどうかを、赤、緑、青の信号

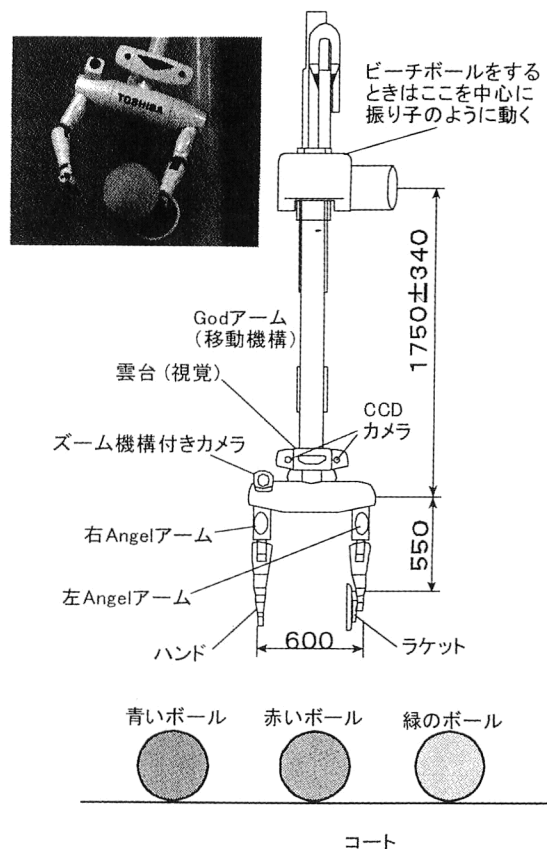


図1 ヒューマンフレンドリーロボット。

(株)東芝研究開発センター機械・システムラボラトリー (〒212-8582 川崎市幸区小向東芝町1番地) E-mail: kyoichi.tatsuno@toshiba.co.jp

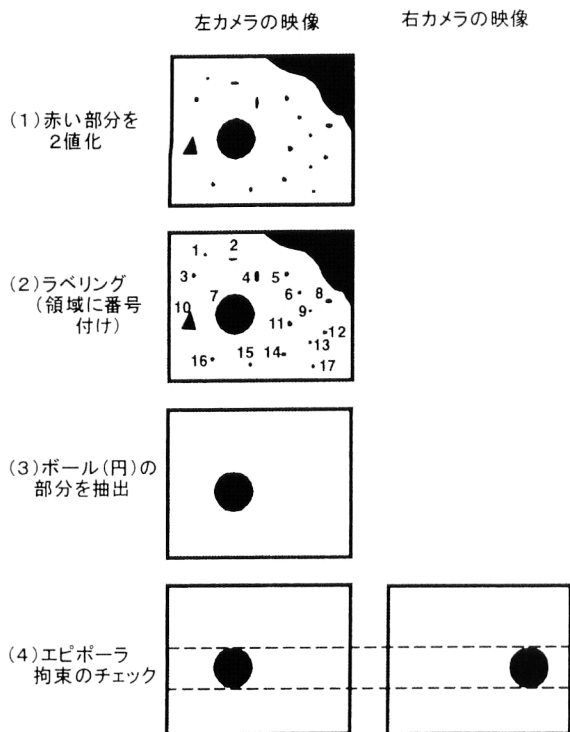


図2 ボールの認識のための画像処理.

強度の比から識別し、赤い領域を1、その他を0と2値化する。連続した1つの領域に番号を付ける(ラベリング)(図2(1), (2))

- 2) 番号付けされた赤い領域のうち、ボールの大きさに比べて大きいもの小さいものを除去し、円形(ボールの形)をしているもののみを取り出す(図2(3))
- 3) 左右のカメラの画像を以上のように処理し、円形の領域の重心位置を求め、それぞれの位置から三角測量の原理で3次元位置³⁾を算出している

以上のようにしてボールを認識し、位置計測を行いながら、左カメラの中心にボールがくるように雲台を制御し、ボールを追跡している。

このようにして計測されたボールの3次元位置は時刻とともにメモリーに貯えられ、アーム制御系はこの位置データを参照して、ビジュアルフィードバックをしたり、ボールの打点・打刻を推定したりする。

3. ビーチボールを拾う

ボールを拾うときのシステムの動作⁴⁾を、以下箇条書きにする。

- 1) 「赤いボールをとれ」とマイクから音声で指示すると音声認識⁵⁾し、各アーム制御系に以下の運動を指示する
- 2) 雲台(顔)を振って、コート上の赤いボールを探すボールは2章で述べたように色で識別し、位置を計測

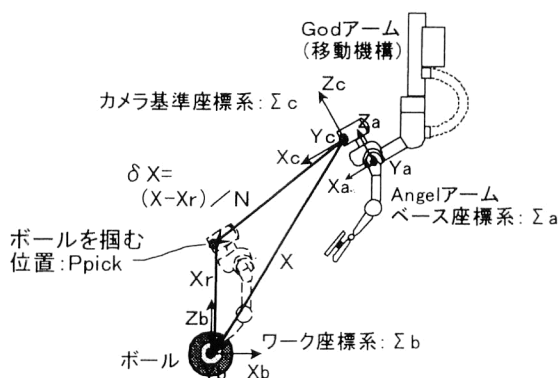


図3 ビジュアルフィードバック.

する

- 3) ボールを拾うための位置へ、次のようにビジュアルフィードバックで移動

図3に示すように、カメラからみたボールの位置を X 、拾うための位置、すなわち目標値を X_r とする。ボールの位置 X は2章で説明したように計測されている。ロボットの姿勢は、あらかじめ決めた拾うための姿勢をとっている。ロボットを移動させるGodアームの関節角(第1, 2, 3関節)を θ とすると、

$$\delta X = J \cdot \delta \theta \quad (1)$$

で表される。ここで $\delta X = (X - X_r) / N$ (N は線分 $X - X_r$ を細分する分割数)、 J は $\delta \theta$ と δX との関係を示すヤコビアンである。したがって、式(1)の逆、

$$\delta \theta = J^{-1} \delta X \quad (2)$$

を用いて、1/60秒ごとに式(2)より $\delta \theta$ を計算しながら $\delta X (= (X - X_r))$ がゼロになるように θ を制御する。このようにして、ロボットがボールを拾う位置 X_r にくるように制御する。

- 4) 左右Angelアームでボールを左右から挟む動作を行い、拾う

このようにカメラでボールとの相対位置を測定すると、ボールがどこにあっても、ロボットの可動範囲であるなら移動してボールを拾える。

4. 人とビーチボールを打ち合う

人とビーチボールを打ち合う手順⁶⁾を、以下に箇条書きにする。ボールを拾う場合と異なる点は、ボールに対して直接位置合わせをするのではなく、ボールが飛んできて、ボールを打つ位置、時刻を予測し、その時刻にその位置にロボットが到達するように移動軌道を生成する点である。

- 1) カメラからみたボールの位置をGodアームの基準座標に設定した座標系からみた位置に変換。座標系は図4を参照のこと
- 2) その時点までに得られたすべての測定点を用いてボ

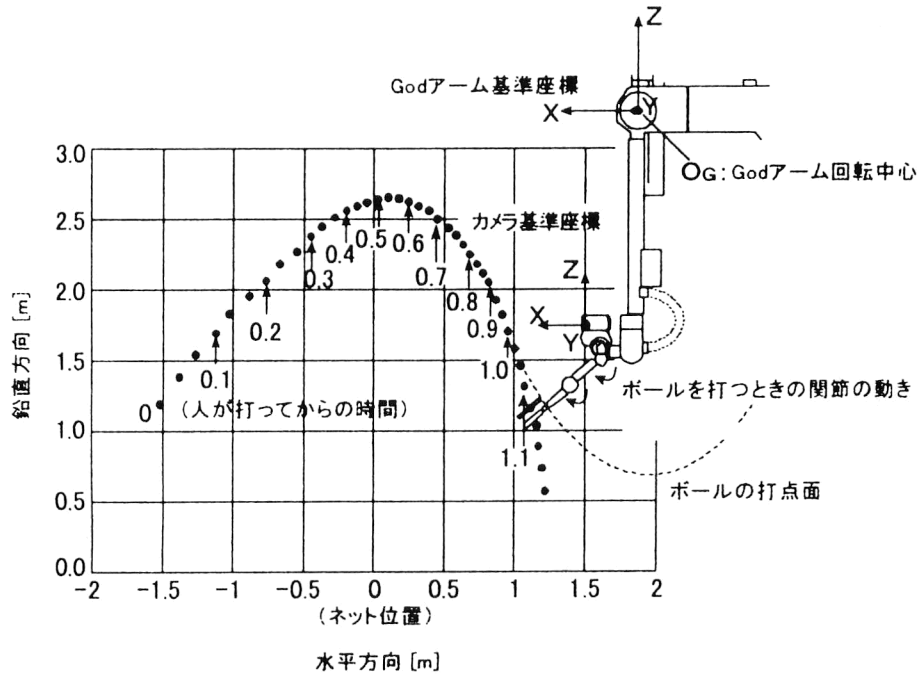


図4 ビーチボールの軌跡。

ールの飛行軌道を予測し、最終打点と打刻を推定。ロボットはGodアーム基本座標の原点 O_G (図4参照)を中心に振り子のように移動する。したがって、ラケットの移動する面は O_G を中心とした球面で、最終打点はボールの軌跡とこの球面の交点である。推定された最終打刻の0.2秒前に打点に到達できるようにGodアームの軌道を生成し、移動する。0.2秒前に打点に到達し、左Angelアームを振ってボールを打つ。ボールの打ち方は肩を始点にアンダーハンドで打つ

3) 上記の処理をラリーが続くまで繰り返す

5. 今後のロボット視覚への期待

家庭や病院などで移動しながら、人とコミュニケーションしつつ、ロボットが作業する場面を想定すると、ロボット視覚には次の機能が欲しい。

- 1) 作業対象物を認識する
- 2) その位置・形状を測定する

作業は、作業対象物に対してアームや工具を動かすことである。視野空間で作業対象物に対してアーム・工具を位置合わせするビジュアルフィードバックは、ぜひ獲得したい技術である。

- 3) 個人を認識²⁾し、個人に合わせて動作したり、情報を提示したりする
- 4) 人の動作を認識する。たとえば、倒れているのか、手を振って²⁾「さようなら」をしているのか等を認識する

ロボットが移動し、いろいろな作業をするためには、視覚はなくてはならない機能である。ビデオキャプチャーボードも1万円前後で購入できるようになった現在、上にあげたロボット視覚の機能を獲得する研究が、ますます盛んになることを期待する。

文 献

- 1) 辰野恭市：“人とビーチボールを打ち合うロボット”，日本ロボット学会誌，18 (2000) 721-729.
- 2) 辰野恭市：“人とビーチボールを打つロボット”，電気学会雑誌，118 (1998) 17-20.
- 3) 井口征士，佐藤宏介：三次元画像計測 (昭晃堂，1990) pp. 20-64.
- 4) 尾崎文夫，大明準治，植之原道宏，小川秀樹，吉見 卓，浅利幸生，佐藤広和，辰野恭市，中井宏章，谷口恭弘：“ビーチボールロボット—ビジュアルフィードバックによるビーチボール拾い”，第15回日本ロボット学会学術講演会予稿集 (1997) pp. 131-132.
- 5) 館森三慶，金澤博史，坪井宏之：“複数の座標系による特徴表現を用いたHMM音声認識”，日本音響学会春季全国大会講演論文集 (1990) pp. 95-96.
- 6) 小川秀樹，大明準治，吉見 卓，植之原道宏，尾崎文夫，佐藤広和，辰野恭市：“ビーチボールロボットの「ボール打ち合い」動作制御システム”，第15回日本ロボット学会学術講演会予稿集 (1997) pp. 377-378.
- 7) 福井和広，山口 修，鈴木 薫，前田賢一：“制約相互部分空間法を用いた環境変化にロバストな顔画像認識—照明変動を抑える制約部分空間の学習”，電子情報通信学会論文誌 (D-II)，J82-D-II (1999) 613-620.

(2001年6月21日受理)