

未校正カメラによる人間と複数ロボットの協調動作

松原 史明 佐藤 淳

名古屋工業大学 情報工学専攻

〒 466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町

matubara@hilbert.elcom.nitech.ac.jp, junsato@elcom.nitech.ac.jp

あらまし：ペットロボットや人型ロボットなどの自律型ロボットが数多く開発され、徐々に身近な存在となってきた今日において、複数台のロボットを協調的に動作させる事は非常に重要である。そこで本稿では、従来のロボット間のみであった協調動作を人間とロボットの間に拡張する。特に無限遠直線の投影像である消失線上に、人間と複数ロボットがなすフォーメーションが保存される事を利用して、未校正の任意視点カメラを用いて複数の未校正ロボットを人間に合わせて協調して動作させる協調動作を実現する方法を提案する。また、実験により協調動作が安定に実現可能であることを示す。

キーワード：視覚誘導，協調動作，消失線

Cooperative Motion of Uncalibrated Robots and Human from Uncalibrated Cameras

Fumiaki Matsubara Jun Sato

Nagoya Institute of Technology

Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya 466-8555, JAPAN

matubara@hilbert.elcom.nitech.ac.jp, junsato@elcom.nitech.ac.jp

Abstract : The cooperative motion control of robots is very important for cooperation of robots and human. In this paper, we propose a method for controlling many uncalibrated robots cooperatively with human motions by using uncalibrated cameras. In particular, we show that formations composed by robots and a human can be memorized as a set of vanishing points on a vanishing line in images. This enables us to control robots cooperatively with human motions from images without calibrating cameras and robots.

Keywords : visual navigation, cooperative motions, vanishing lines

1 はじめに

近年、ペット型ロボットや人型ロボットなどの自律型ロボットが数多く開発され、徐々に身近な存在になってきている。このようなことから、近い将来、人間と多数のロボットが互いに協力し合い、共存する社会の到来が期待されている。例えば、複数のロボットが人間と協力して物を運んだり、人間とロボットと一緒に1つのフィールドでスポーツをする等が考えられる。そこで重要となってくるのは人間と複数台のロボットの協調動作である。

これまでに、視覚誘導の研究として人間が設定した目的地に、単体のロボットを誘導する研究が多く行われてきた [2, 10]。そして近年、複数のロボットを同時に誘導する方法として協調動作が考えられている。日本でも開催されているロボカップで見られるように、サッカーというタスクを考えた上で、ゴールを決めるために複数のロボット間での協調動作が行われている [5, 6, 9]。特に小型ロボットリーグでは、壁などに固定したカメラを用いたグローバルビジョン方式を用いた高度な協調動作が行われている [8]。

しかしこの協調動作では協調している対象はロボットに限られていて人間は含まれていない。これからの社会の中で人間とロボットとの関係を考える上で、協調動作を人間とロボットの間にも拡張するという事は非常に重要であると考えられる。

そこで、本稿が提案するのは未校正の任意視点カメラを用いて複数のロボットを人間の動作に合わせて協調して動作させる協調動作である。特に、人間とロボットが構成しているフォーメーションを、常に保存するように人間に合わせて複数のロボットを協調動作させる方法について考える。このために本研究では、人間とロボットの構成するフォーメーションが無限遠直線の投影像である消失点の集合である消失線上に記憶される事を利用する。

以下、本研究で取り上げる協調動作について述べ、次に消失線を用いて複数ロボットの協調動作を用いて複数ロボットの協調動作のための目的地計算法を提案する。次に、求めた目的地に未校正ロボットを誘導する手法について述べる。示した理論を用いて、実際に協調動作の実験を行った結果を示し、さらにその安定性を評価を行い有効性を確認する。

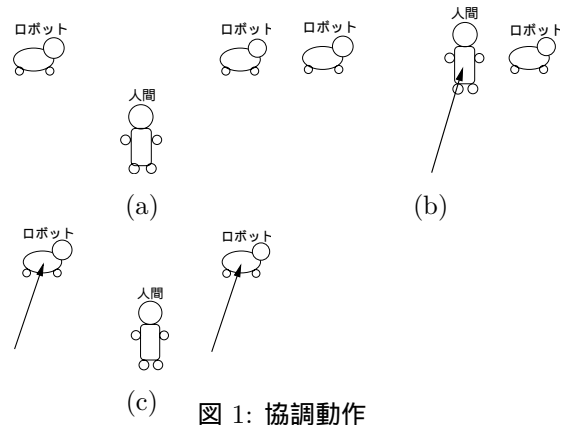


図 1: 協調動作

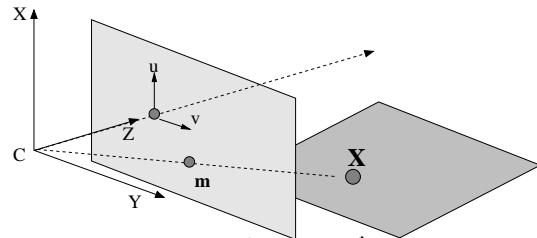


図 2: カメラモデル

2 未校正カメラとロボット協調動作

本稿では、サッカー等の団体スポーツにおいてよく発生する動きである、一定のフォーメーションを保つように複数で協調して動く協調動作を考える。つまり、図 1(a) に示すような人間と複数のロボットが作る任意のフォーメーションがある時に、人間が動く事で図 1(b) のようにフォーメーションは崩れてしまう。そこで複数のロボットが、元のフォーメーションを保つために、図 1(c) のように実平面上で人間と同じ方向に同じ距離動くという協調動作を実現する。

このような協調動作をカメラ画像を用いて実現するためには、通常、カメラと移動ロボットの校正を必要とするが、カメラや多くのロボットの内部パラメータを事前に求めるには大変な手間がかかる。そこで本稿では、カメラやロボットを個別に校正せずに、それでいて全体の協調動作が適切に行われる方法を提案する。

以下本稿では、図 2 に示すように人間と移動ロボットが動作する空間を 2 次元平面と考える。このような 2 次元空間における点 $X = [X, Y]^T$ から画像平面上の点 $m = [u, v]^T$ への投影は一般に次に示す平面射影変換により記述する事ができる。

$$\lambda \tilde{m} = H\tilde{X} \quad (1)$$

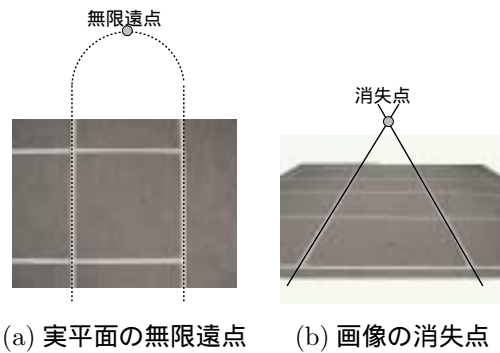


図 3: 無限遠点と消失点の対応

ここで H は以下に示す 3×3 行列である.

$$H = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & p_{13} \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} \end{bmatrix} \quad (2)$$

既知の点 X が画像に投影されていたり、カメラが校正されていれば H が求まるが、本稿では内部パラメータも外部パラメータも分からない未校正カメラを仮定するため、 H は未知である。

以下の節では消失線の性質をうまく用いることにより、未校正のカメラ画像から複数の協調動作のための目的地が計算でき、さらにその目的地へ戻るためのロボット制御量がロボットの制御量を校正せずに得られることを示す。

3 消失線を用いたロボット協調動作の実現

前節で述べたように、画像と実平面の関係がわからなければ協調動作を実現できない。そこで、本稿では消失線を用いて画像と実平面の対応関係を表し協調動作を実現する方法を提案する。

3.1 消失線による画像と実平面の対応

透視投影による射影的な歪みにより、実平面上で平行な 2 直線が交わる無限に遠い点 (無限遠点) は画像面上において、消失点に投影される (図 3 参照)。また、平面を投影すると多数の消失点が出現し、その集合は直線となる [1]。この直線を消失線と呼び、これが画像と実平面との間の幾何学的な関係を表している。

3.2 消失線による移動方向の計算

本稿で重要な点は人間の動きと平行な動きをロボットが行う事である。その上で必要となるのは、実平面上で平行な直線を、画像上で求める事である。すなわち、ロボットの実空間における移動目的

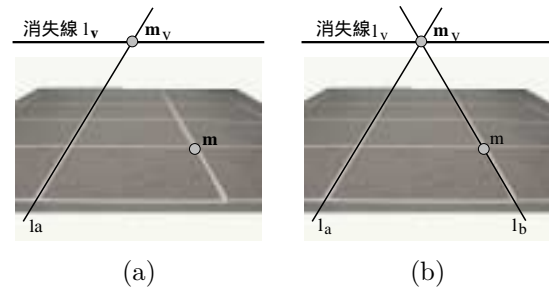


図 4: 消失線を利用した実平面上で平行な直線を引く方法

地がわからなくても常にロボットが人間と同じ量だけ動く事を保障しさえすれば良い。

一般に実平面上で平行な 2 直線は消失線上で交わるという性質を持つ。逆に言えば、消失線上で交わる 2 直線は、実平面上では平行な 2 直線である。これは消失線を用いることにより、実平面においてある直線に平行な直線を画像上で求められることを意味する。すなわち、図 4(a) に示すように点 m を通り、直線 l_a に平行な直線を求めたいとする。この時、消失線 l_v が得られていれば、 l_a と l_v との交点 m_v が求まる。すると図 4(b) に示すように、点 m_v と点 m を通る直線 l_b を求めれば、これが点 m を通るかつ直線 l_a に平行な直線となる。ここで直線 l_a を画像中での人間の移動方向、点 m をロボットの位置と考えると、上述の方法により求めた直線 l_b がロボットの移動すべき方向となる。本稿ではこの性質を利用することにより、人間と複数未校正ロボットの協調動作を未校正カメラにより実現する。

3.3 消失線による移動量の計算

このようにロボットの移動方向がわかると、次にこの方向にどれだけのロボットを移動させるかが問題となる。本協調動作ではロボットが実空間においてフォーメーションを保つように動作させることから、移動前において人間とロボットを結んだ直線と、移動後において人間とロボットを結んだ直線は実空間において互いに平行となる。したがって、このような平行性が保たれるように移動量を決定すれば良い事となる。すなわち、この場合には以下に示すように消失線を用いて移動量が求まる。

今図 5 に示すように、時刻 t において人間とロボットがそれぞれ m_h^1 , m_r^1 に存在していたとする。すると、 m_h^1 と m_r^1 を結ぶ直線が消失線と交わる点 m_v^s が求まる。次の時刻に、人間が m_h^2 に移動した

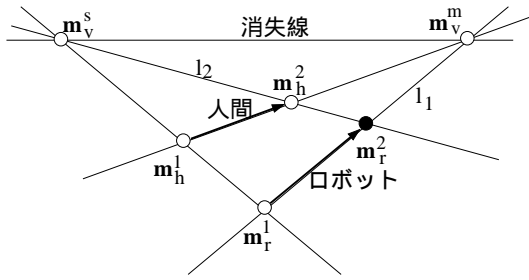


図 5: ロボット 1 台の目的地計算

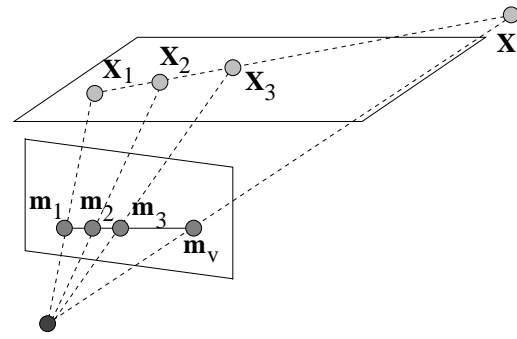


図 7: 一直線上の 4 点の投影

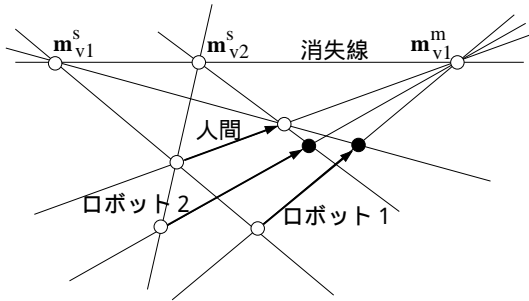


図 6: 複数ロボットの目的地計算

とする. すると移動後のロボットの位置は m_h^2 と m_v^m を通る直線 l_2 上のどこかに存在することになる. ここで l_1 を先に求めたロボットの動作方向とすると, 移動後のロボットの位置は l_1 と l_2 の交点 m_r^2 として求まる.

同様に, 複数のロボットについても図 6 のように簡単に拡張する事が可能である. このように一度消失線が求めれば, この消失線を用いてフォーメーションを保存する協調動作を行うための目的地を各ロボット毎に求める事ができる. この時, もしもロボットが N_s 台存在するとすると, 消失点 $m_{vi}^s (i = 1, \dots, N_s)$ が求まるが, これらは人間とロボットのフォーメーションを表している. すなわち, m_{vi}^s はフォーメーション固有の点であり, ロボットの動作によって変化しない点である. また, 人間が N_m 回移動したとすると, 消失点 $m_{vj}^m (j = 1, \dots, N_m)$ が求まるが, これらは人間やロボットの移動方向を表している. すなわち, m_{vj}^m はロボットの移動方向により変化するが, ロボットのフォーメーションの形によっては変化しない点である.

このように, フォーメーションが消失点の集合 $m_{vi}^s (i = 1, \dots, N_s)$ として記憶される事により, 常にあるフォーメーションを保存するような各ロボットの目的地を計算することが可能となる.

3.4 等速直線運動による消失点と消失線の導出

以上の方法は消失線が重要な役割を果たすが, この消失線は, 消失点 2 点以上から計算することができる. 消失線は直線上の等間隔な 3 点等から求まる事が知られている. 今, 図 7 に示すように実平面上で直線上等間隔に並んだ 3 点 X_1, X_2, X_3 と無限遠点 X_∞ が画像中でそれぞれ m_1, m_2, m_3, m_v に投影されているとする.

射影変換においては一直線上の 4 点による複比が射影不変量として変換の前後において不変であることから次式が得られる.

$$\frac{\overline{X_2 X_\infty} \overline{X_1 X_3}}{\overline{X_1 X_2} \overline{X_3 X_\infty}} = \frac{\overline{m_2 m_v} \overline{m_1 m_3}}{\overline{m_1 m_2} \overline{m_3 m_v}} \quad (3)$$

この式において $\overline{m_1 m_2}$ は点 $m_1 m_2$ 間の距離を表すものとする. 今, 点 X_1, X_2, X_3 は等間隔であるため, $2\overline{X_1 X_2} = \overline{X_1 X_3}$ でありさらに点 X_∞ は無限遠点なので $\overline{X_2 X_\infty} = \overline{X_3 X_\infty}$ となる. これにより式 (3) は,

$$\overline{m_3 m_v} = \frac{\overline{m_2 m_3} \overline{m_1 m_3}}{2\overline{m_1 m_2} - \overline{m_1 m_3}} \quad (4)$$

となる. 式 (4) より直線上等間隔の 3 点から消失点 m_v を求めることができることがわかる. これは未校正ロボットに 2 度同じ制御量を送り, 画像中で元々ロボットがあった点, 1 度移動させた点, 2 度移動させた点の等間隔の 3 点から消失点が求まる事を示している. さらに, 異なる方向を向いたロボットが 2 台以上存在すると, これらを 2 度移動させる事により消失点が 2 点以上求まり, これらの消失点を通る直線として消失線が求まる.

今 n 個の消失点 $m_{vi} = [u_i, v_i]^T (i = 1, \dots, n)$ が得られているとする. すると, これらの点より, 以

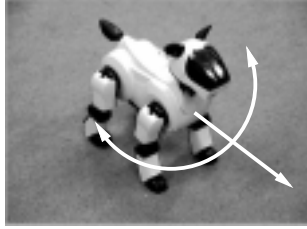


図 8: 未校正ロボット

下の式を解くことにより消失線が求まる.

$$\begin{bmatrix} u_1 & v_1 & 1 \\ u_2 & v_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ u_n & v_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

ここで $\tilde{\mathbf{I}} = [a, b, c]^T$ は消失線の斉次座標である.

4 未校正ロボットの協調動作

以上の方法により, 複数ロボットの画像中における目的地が計算できる. しかし, 本研究ではロボットが未校正であると仮定していることから, 画像中の目的地がわかっていてもその目的地に対するロボットの制御量がこのままではわからない. そこで, 以下ではロボットの制御量を単位に目的地の位置を求める事により, 未校正ロボットを目的地に誘導する方法を提案する.

4.1 未校正ロボット

本稿で用いるロボットは図 8 のような 2 次元平面上を自由度 1 の並進運動と自由度 1 の回転運動で移動する未校正ロボットである. このような移動ロボットに 1 単位の制御量を送ったときに 1 単位の運動が起こると仮定する. また, 複数のロボット全てにおいて, 1 単位の制御量を送った時の 1 単位の運動の大きさは同じであると仮定する.

ロボットの校正とは 1 単位の制御量を送ったときに, 実平面においてどれだけの大きさの運動をするかを明らかにすることであるが, ロボットの校正を正確に行うことは非常に難しく, また校正した後何らかの要因で制御量に対して, 実際に運動する量が変わってしまうことは良くあることである. そこで本稿では, ロボットを校正せずに協調動作を行うことを考える.

4.2 目的地と制御量の関係の直接校正法

今ロボットが 3 台以上あり, それらのロボットに 2 度同じ制御量を送り, 直線上等間隔の 3 点が 3 組以上得られたとする. そして図 9 に示すよう

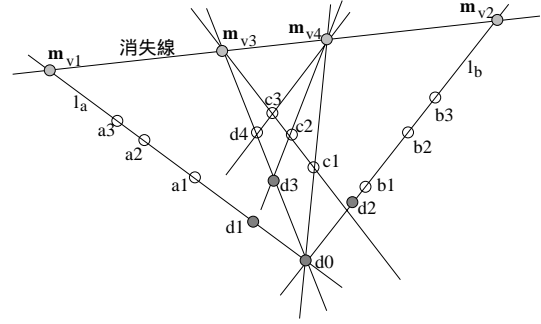


図 9: 目的地と制御量の直接校正法

に, 画像中において直線上等距離の 3 点の像が 3 組 $\{a_1, a_2, a_3\}, \{b_1, b_2, b_3\}, \{c_1, c_2, c_3\}$ 得られたとする. するとこれらの点より 3 つの消失点 m_{v1}, m_{v2}, m_{v3} が求まり, 消失点を通る消失線が求まる. ここで実平面における点間の距離は 3 つとも同じ r とする. 次に, 直線 l_a と l_b の交点を d_0 とする. そして, d_0 から実平面において距離直線 l_a, l_b 上で r 離れた画像中の点をそれぞれ d_1, d_2 とする. これらの点は, 実平面における距離 r がわからなくても式 (3) を用いる事で画像より直接求まる. 次に c_1 が d_0 と重なるように実平面中で c_1, c_2, c_3 を平行移動させる. この時の移動後の c_2, c_3 の点を d_3, d_4 とする. このような平行移動は消失線を用いる事により, 人間の動きからロボットの目的地を求めた方法と同じ方法により実現できる.

ここで, d_0 から d_1, d_2, d_3 , までの実平面上での距離は等しく r なので, 実平面上では d_1, d_2, d_3 の 3 点は点 d_0 を中心とする円上に存在することがわかる. そこで, 点 d_0 が円の中心で 3 点 d_1, d_2, d_3 が円上の点となるように変換を行う射影変換 \mathbf{H} を求める. このような射影変換 \mathbf{H} は次のようにして求めることができる.

まず, 射影ゆがみを取り除く次のような射影変換 \mathbf{H}_1 を求める.

$$\mathbf{H}_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ \alpha & \beta & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

この \mathbf{H}_1 は 2 つの消失点より求める事ができる. このようにして射影歪みを取り除くと, d_1, d_2, d_3 が d_0 を中心とする楕円上の 3 点となるような, アフィン歪みのみが残った状態となる. そこで次に d_1, d_2, d_3 が d_0 を中心とする単位円上の 3 点となるように変換するアフィン変換 \mathbf{H}_2 を求める. このようなアフィン変換 \mathbf{H}_2 は, d_0 を中心として d_1, d_2, d_3 を通

る楕円 $\tilde{m}^T C \tilde{m} = 0$ を求め、この C より次式を満たす H_2 を求めればよい。

$$C = H_2^T \Lambda H_2 \quad (7)$$

ここで Λ は次に示す 3×3 行列である。

$$\Lambda = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

このようにして求めた H_1, H_2 より射影変換 H が次のように求まる。

$$H = H_2 H_1 \quad (9)$$

このような射影変換 H により、先に求めたロボットの画像中での目的地を変換する事により、制御平面におけるロボットの目的地が求まり、ロボットにどれだけの制御量を送れば目的地に到着するのかを求める事ができる。

ただし、目的地方向への回転の大きさが不明であるため、目的地への制御量にある一定のゲインを掛け、ビジュアルフィードバックにより並進と回転を繰り返すことにより、目的地にロボットを制御する。

5 実験

次に提案法の有効性を示すために、人間と複数未校正ロボットとの協調動作の実験を行う。本実験では図 10 に示すように 1 台のグローバルカメラに人間と複数ロボットを映す形で行う。

本実験では人間と複数ロボットの画像中における位置は人間の足やロボットに付けたマーカの検出により行った。検出されたマーカの画像中での重心位置を、人間とそれぞれのロボットの位置とした。また姿勢の認識については、ロボットを前進させることにより行った。前進前の位置から前進後の位置へのベクトルがロボットの姿勢、つまり進行方向である。

以下では協調動作を 2 つに分けて実験する。1 つは人間の動きから複数ロボットの目的地を計算する部分、そしてもう 1 つは求めた目的地に複数ロボットを誘導する部分である。

5.1 複数ロボットの目的地の計算実験方法

まず前節で示した理論を用いて行った複数ロボットの目的地計算実験について示す。実平面上において直線上等間隔の 3 点から消失点を 2 点求めて消



図 10: 実験のシステム

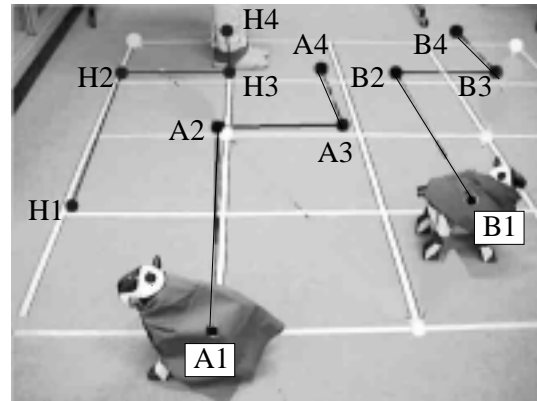


図 11: 目的地計算

失線を計算し、その消失線の性質を利用して人間の動きから複数ロボットの目的地を求めた。

複数ロボットの目的地の計算結果を図 11 に示す。 H_1, A_1, B_1 は、人間と複数ロボット (ロボット A 及びロボット B) が、始めに認識された位置である。この状態において人間が H_1 から H_2 に移動したとき、消失線を利用してロボット A 及び B の目的地を求めた結果がそれぞれ A_2 、及び B_2 であった。同様にして人間が H_3, H_4 と移動した時のロボット A 及び B の目的地が A_3, B_3, A_4, B_4 であった。この図の下に引かれている白線は実平面において正方形なので、この線から目的地の計算結果を考えると、ほぼ正しく人間の動きに合わせて目的地が計算されていることがわかる。

5.2 複数ロボットの誘導実験方法

次に前節で示したビジュアルフィードバック制御を利用した目的地への複数ロボットの誘導実験について示す。

人間が移動した時の実際の複数ロボットの移動軌跡を図 12 に示した。図における H_1, A_1, B_1 は人間とロボットが始めにあった位置を表している。また人間が H_1 から H_2 へ移動したために A_1, B_1 が

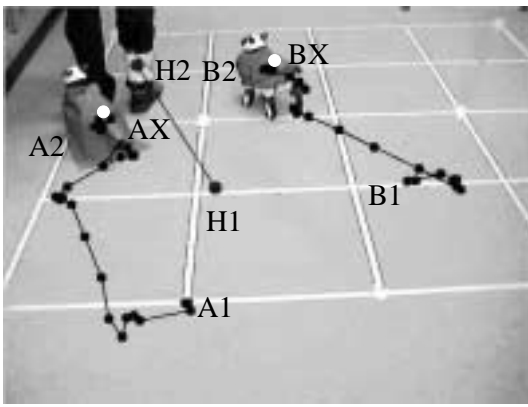


図 12: 複数ロボットの軌跡

らの目的地がそれぞれ A_X, B_X と計算された。そして、ロボットがビジュアルフィードバック制御により動いた軌跡が A_1 から A_2 と B_1 から B_2 までの黒い点である。

図 12 により、提案法によりフォーメーションを保つような複数ロボットの目的地までの誘導が可能であることが確認できる。以上の 2 つの実験より、提案法を用いることで未校正カメラによる人間と複数未校正ロボットの協調動作が実現可能であることがわかる。

6 安定性評価

次に提案法による協調動作の安定性を評価する。評価は画像にノイズを乗せて目的地計算を行い、その不確定領域の大きさを比較することにより行う。

6.1 消失点数と目的地計算の安定性

まず、利用する消失点数の違いによるロボットの目的地計算の安定性評価を行う。

評価は画像に標準偏差 2 ピクセルのノイズをのせてロボットの目的地点を 100 回計算し、結果から求まる目的地の 3σ の不確定領域の大きさを比較することにより行う。消失点を 2 点, 5 点, 10 点使用した時の不確定領域をそれぞれ図 13(a), (b), (c) に示す。中心の点はノイズを乗せていない時の理論的値を示し、また図中の楕円は目的地の 3σ の不確定領域を表す。この図全体は 640×480 の画像を表す。

図 13 に示すように使用する消失点数が多いほどロボットの目的地計算が安定している事が分かる。

6.2 消失点間の距離と目的地計算の安定性

次に 2 点の消失点を利用する時にその消失点間の距離の違いによるロボットの目的地計算の安定性の評価を行う。

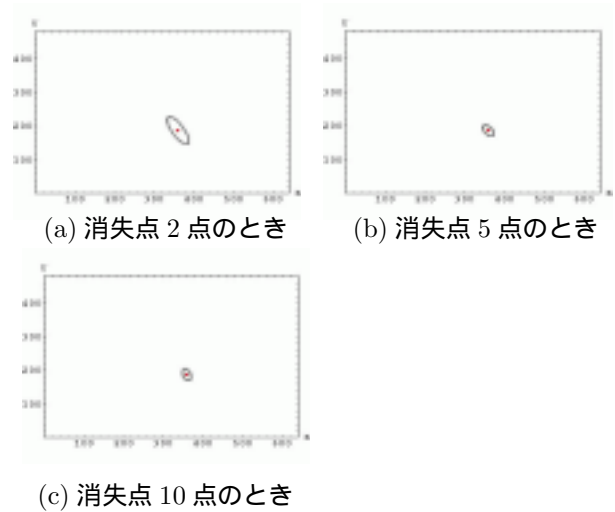


図 13: 使用する消失点数の違いによる目的地計算の安定性評価

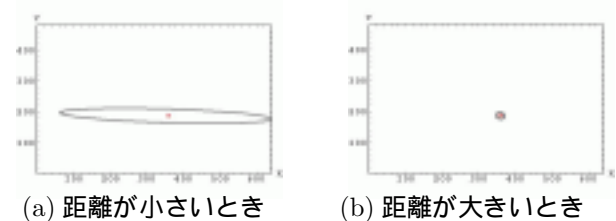


図 14: 消失点間の距離の違いによる安定性の評価

先ほどと同様に画像にノイズをのせた時に得られるロボットの目的地の 3σ の不確定領域の大きさを計算した。

図 14(a) は消失点間の距離が約 40 ピクセルの場合の結果であり、図 14(b) は消失点間の距離が約 1300 ピクセルの場合の結果である。

図 14 より使用する消失点間の距離がの大きさが、ロボットの目的地計算の安定性に大きく影響を与えることがわかる。

6.3 目的地を求める 2 直線が重なる場合の目的地計算の安定性

次に、人間の動作する方向にロボットがあるときの安定性評価を行う。

今回のロボットの目的地計算は、動作の向きの直線と動作の距離の直線の 2 種類の交点から、ロボットの目的地を計算している。このときにこの 2 直線が重なる場合を考えておく必要がある。直線同士が完全に重なってしまう場合には、目的地が定まらない事が考えられる。また、このような状態に近い場合には、目的地が安定に求まらない事が考えられる。そこで、このような場合の安定性を評価する。評価は先ほどと同様に、ノイズをのせた時に

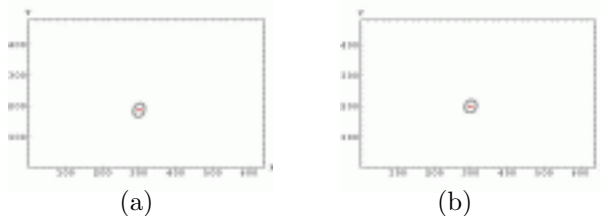


図 15: 目的地を求める 2 直線が重なる場合の安定性の評価

得られるロボットの目的地の 3σ の不確定領域を計算した。ロボットの位置が人間の動作する直線上に完全に一致するときを図 15(a) に表し, 完全に一致せず, ロボットの位置が動作直線から 10 ピクセル離れたところあるときを図 15(b) に表す。

図 15 に示すように, 2 直線が重なる場合においても, 画像ノイズにより, 2 直線が完全に一致せず, 安定に目的地が計算できていることがわかる。

7 まとめ

本稿では, 未校正カメラを用いた人間と複数未校正ロボットの協調動作を行う手法を提案した。

まず直線上等距離の 3 点から複比を利用して消失点を求め, 画像と実平面の対応を表す消失線を用いることにより, カメラを校正することなく, 実平面での平行な直線を, 画像上で求めることが可能であることを示した。さらにその性質を利用する事で, 実平面において人間と平行で同じ距離の動きの目的地を求めることが可能になり, 未校正カメラによる人間と複数ロボットの協調動作が実現できることを示した。

また, 3 台以上のロボットを同じ制御量で 2 回動かす事により得た点を用いて, 射影変換行列を求める事により, 制御量と目的地の関係を直接求める事が可能である事を示した。

シミュレーションと実際に協調動作の実験を行うことで, この手法が有効であることを確認した。今後の課題としては, 協調の対象に複数人間やボールなどを含めることにより, よりインタラクティブ性の高い協調動作を実現することが今後の課題である。

謝辞

日頃ご指導頂いている名古屋工業大学佐藤幸男教授に感謝する。

参考文献

[1] 佐藤 淳. コンピュータビジョン - 視覚の幾何学 -. コロナ社, 1999.

[2] 清水 康人, 佐藤 淳, 未校正ステレオポイントによる視覚誘導, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J84-D-II, No.12, pages 2556-2564, 2001 年

[3] 木下 敬介, Uncalibrated stereo と視覚サーボによるロボットの制御. In 画像の認識理解シンポジウム, pp.187-192, 1996.

[4] P.Beardsley, I.D.Reud, A.Zisserman, and D.W.Murray, Active visual navigation using non-metric structure. In Proc. 5th International Conference on Computer Vision, pp 58-64, Cambridge, USA, 1999.

[5] ロボカップホームページ, <http://www.robocup.or.jp/>

[6] 内部 英治, 中村 理輝, 浅田 稔. 共進化による協調—ロボカップにおける協調行動の獲得—. 第 12 回人工知能学会全国大会予稿集, pp.96-97, 1998.

[7] 森永 英文, 佐藤 淳, 任意視点カメラによる複数未校正ロボットの協調的視覚誘導. 平成 13 年度 名古屋工業大学卒業論文

[8] R.D'Andrea, T.K.Nagy, P.Ganguly and M.Babish: "The Cornell RoboCap Team," In RoboCap2000: Robot SoccerWorld Cup IV. pp41-51, Springer-Varlag, Berlin, 2001.

[9] 小型ロボットリーグチーム OMNI ホームページ, <http://robotics.me.es.osaka-u.ac.jp/OMNI/>

[10] 今井 康介, 八木 康史, 谷内田 正彦, 全方位画像列の記憶に基づくロボット誘導, トランザクション「コンピュータビジョンとイメージメディア」Vol.43 No.SIG11