

A3-1 MOVIS による未知物体追跡およびパノラマ展開画像の縦エッジを用いた距離計測に関する研究

福井大学大学院 工学研究科 知能システム工学専攻 進化ロボット研究室
羽生 直矢 (指導教員：前田 陽一郎、高橋 泰岳)

1. 緒言

近年、自律移動ロボットの研究が盛んに行われている。特にサッカーを題材とした RoboCup 中型ロボットリーグでは、ロボットの全周の環境を認識するために全方位カメラが使われることがよくある。全方位カメラは単体で対象物体の方位を検出可能であるが、対象物体の高さが未知の場合に距離計測を行うことが難しい。

この問題を解決するために本研究室では3台の全方位カメラを水平に正三角形形状に配置し、全周にわたって物体の距離と方位を計測することができるマルチ全方位ビジョンシステム (Multiple Omnidirectional Vision System: MOVIS) を提案した [1]。このシステムは対象物体の方位角を2台の全方位視覚で得ることで距離計測を行うことが可能である。現在まで提案されている MOVIS を利用した物体検出方法では色情報を用いるため、色でコーディングされていない未知の物体の検出ができないという欠点がある。

そこで本研究では、MOVIS 上で出来るだけ事前知識を持たず未知物体を検出し、対象物体までの距離と方位を計測する手法を二種類提案する。ひとつは背景差分を用い、未知物体を検出し、対象物体までの距離と方位を計測する手法を提案である。さらに二つ目は MOVIS で取得したパノラマ画像から縦のエッジを検出し、2つのパノラマ画像中のエッジの照合を行い、ステレオ視の原理でエッジの距離計測を行うことで環境中の柱などの縦エッジを持つ物体の検出及び対象物体の方位と距離を測定する手法を提案である。提案手法の有効性を検証するため全方向移動機構と MOVIS を搭載した RoboCup 中型ロボットリーグ規格のサッカーロボットを用いて実験を行った。実験方法はまず、ロボットを静止させ、移動する未知物体の検出を行い、未知物体の検出及び物体までの距離・方位と測定できることを確認した。次に MOVIS で撮影した画像をパノラマ展開して縦のエッジを検出し、柱などの縦エッジを用する物体の検出及び距離・方位の測定が可能であることを確認した。

2. MOVIS

MOVIS は全方位カメラを3台使用し (Fig.1 参照)、それぞれのカメラを C_l 、 C_c 、 C_r とする。全方位カメラを移動ロボット上に床面と水平に正三角形形状に配置する。この時ロボットの重心と、3つの全方位カメラが作る正三角形の重心は、床面からの垂直方向に対し同一点に存在するようにセットする。全方位カメラがつくる正三角形の重心から各頂点に向けて、延長した線を考え3つの領域に分割し (エリア左右、エリア右中、エリア中左) し、各領域をそれぞれ対応した2台のカメラ

対 (Fig.1 の場合、エリア左右は C_l と C_r 、エリア右中は C_r と C_c 、エリア中左は C_c と C_l)、各領域をそれぞれ対応した2台のカメラ対を用いてステレオ視による三角測量を行う。

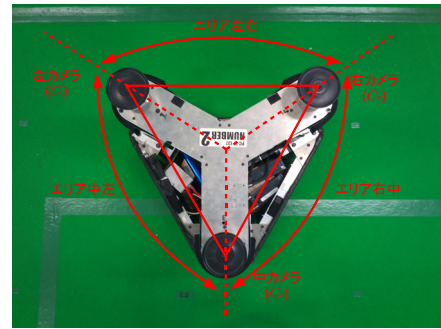


図 1: MOVIS の上面図

2.1 MOVIS による物体位置計測方法

MOVIS は対象物体の方位角 θ を用いて物体位置計測を行う。Fig.2 のようにエリア左右にある対象物体 $A(x_a, y_a)$ を全方位カメラ C_l, C_r を用いて三角測量を行う。MOVIS を配置した正三角形の重心 (G) をロボット座標系の原点とし、ロボット座標系で対象物体の位置を求める。 x 軸に水平にある $\overline{C_l, C_r}$ に対し、 C_l における対象物体 A の方位は $(\theta_l - \frac{\pi}{6})$ 、 C_r における対象物体 A の方位は $(\theta_r - \frac{5\pi}{6})$ である。 G から全方位カメラまでの距離を L とする。全方位カメラ C_l, C_r の中心座標は既知であるため、ロボット座標系における対象物体 A の位置 (x_a, y_a) は (1) 式、(2) 式で求まる。

$$x_a = \frac{\sqrt{3}}{2} L \cdot \frac{\tan(\theta_r - \frac{5\pi}{6}) + \tan(\theta_l - \frac{\pi}{6})}{\tan(\theta_r - \frac{5\pi}{6}) - \tan(\theta_l - \frac{\pi}{6})} \quad (1)$$

$$y_a = \frac{1}{2} + \sqrt{3} L \frac{\tan(\theta_r - \frac{5\pi}{6}) + \tan(\theta_l - \frac{\pi}{6})}{\tan(\theta_r - \frac{5\pi}{6}) - \tan(\theta_l - \frac{\pi}{6})} \quad (2)$$

3. MOVIS を用いた動的背景差分による物体検出と距離計測

ここでは MOVIS を用い、動的背景差分による移動物体の検出と距離計測について説明する。背景差分とは、移動物体が入っていない画像を背景画像とし、移動物体が入った入力画像から背景画像を差分し移動物体の領域を得る手法である [2]。まず MOVIS の3台の全方位カメラから画像を取得しパノラマ展開する。移動物体のない環境を背景画像として各画素ごとの輝度値の時間平均値 $\bar{I}_{(x,y)}$ を求める。次に移動物体が出現したら動的背景差分法で移動物体の検出を行う。各画

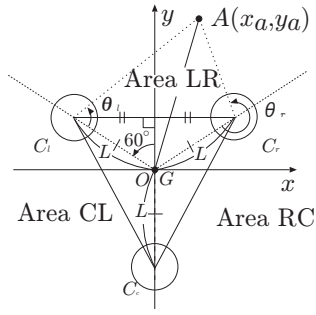


図2: MOVIS の物体位置計測 (文献 [1] より引用)

素ごとの輝度値が (3) 式の範囲に収まる場合はその画素は背景の画素、そうでない場合は物体の画素として検出を行う。 σ は輝度値の振幅、 ζ はカメラに依存したノイズである。この時、各カメラで出現した移動物体は同一のものと仮定して検出を行う。

背景と判定された画素は (4) 式、(5) 式に従い $\bar{I}_{(x,y)}$ 、 σ を更新する。これにより入力画像の背景領域で照明などによる微小な変化が起きても背景領域 $I_{(x,y)}$ が (3) 式の範囲内に収まるので背景と識別される。物体と判定された領域は (6) 式のように σ のみを更新する。これにより新たな静止物体が出現し静止し続けた場合、初めは物体と識別されるが、次第に σ が増加し、(3) 式の範囲内に収まるので背景と識別される。 n, m は更新パラメータである ($n \leq m$)。

そして各カメラから検出した物体の方位を求める。パノラマ画像中の x 座標は方位を表すので、移動物体の方位を求めることができる。各カメラから移動物体の方位を求め、MOVIS の物体位置計測法に従い、対象物体の距離を求める。

$$\bar{I}_{(x,y)} - \sigma - \zeta \leq I_{(x,y)} \leq \bar{I}_{(x,y)} + \sigma + \zeta \quad (3)$$

$$\bar{I}'_{(x,y)} = \bar{I}_{(x,y)}(n-1)/n + I/n \quad (4)$$

$$\sigma' = \sigma(n-1)/n + \sqrt{2(I_{(x,y)} - \bar{I}_{(x,y)})^2/n} \quad (5)$$

$$\sigma' = \sigma(m-1)/m + \sqrt{2(I_{(x,y)} - \bar{I}_{(x,y)})^2/n} \quad (6)$$

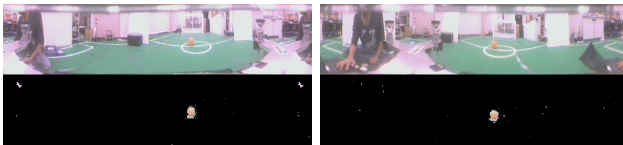


図3: 移動物体の検出 (左カメラ)

図4: 移動物体の検出 (右カメラ)

3.1 背景差分を用いた移動物体の検出と距離計測の検証実験

MOVIS の背景差分を用いた移動物体の検出と距離計測手法の検証実験を行った。本実験に使用するサッカーロボットを Fig.5 に示す。ロボットには MOVIS、ノートパソコン、全方向移動機構が搭載されている。

実験方法としてまず MOVIS を搭載したロボットを制止させ、Fig.6 のようにロボットから 1m 離れた 5 つ

の地点上にボールをバウンドさせて各地点ごとに距離計測を行った。Fig.7 に各地点ごとに移動物体の距離計測結果を記載する。Fig.7 の黒点は実際ボールをバウンドさせた位置を表す。

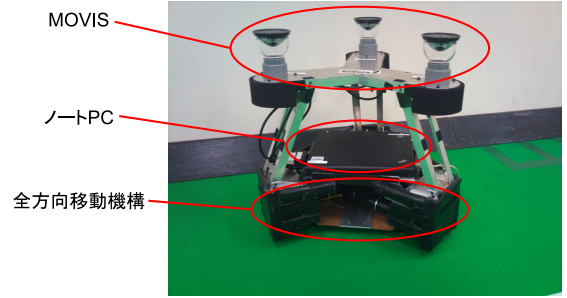


図5: 実験で使ったサッカーロボット

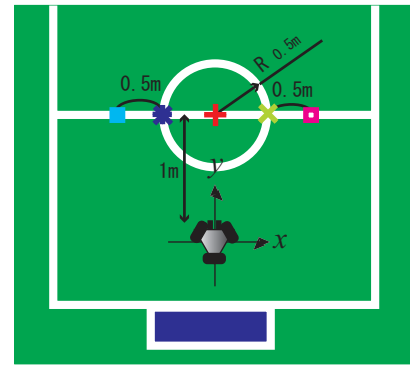


図6: 実験環境図

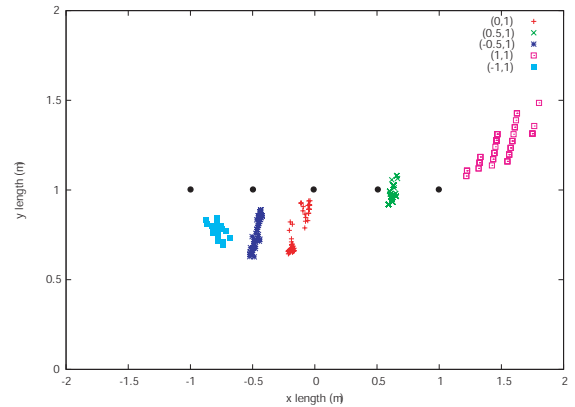


図7: 移動物体の距離計測結果

まず MOVIS で背景差分を用いた移動物体の検出は、Fig.3、4 のとおり移動物体の検出が可能であることを確認したが一部ノイズも含んでしまった。このノイズは環境中の照明などの微細な変化により、移動物体と認識したためである。ボールをバウンド (鉛直運動) させた結果については、 x 軸で最大 1.5m の誤差が、 y 軸で最大 1.5m の誤差が表れた。しかし移動物体が 3 次元的な動きをしても距離計測を行えることを確認した。全方位カメラでは、物体が地面上にあることを仮定し

物体までの距離を計算するため、物体が鉛直方向に移動した場合には対応できず 3 次元の運動を認識できないが、MOVIS では鉛直方向の運動に対応でき、物体の 3 次元的な運動を正しく認識できる。

4. MOVIS を用いた縦エッジを有する物体の検出と距離計測

ここでは環境中の柱など縦エッジを持つ物体の検出及び、対象物体の方位、距離を測定する手法について説明する。Fig.8 は MOVIS を用いた縦エッジを有する物体の検出と距離計測のフローチャートである。この手法は MOVIS の 3 つの全方位カメラからそれぞれ環境中の柱など縦エッジを持つ物体を検出し、各カメラから検出したエッジの照合を行いステレオ視の原理でエッジ距離計測を行う。MOVIS の左カメラ、右カメラを例として本手法の説明をする。

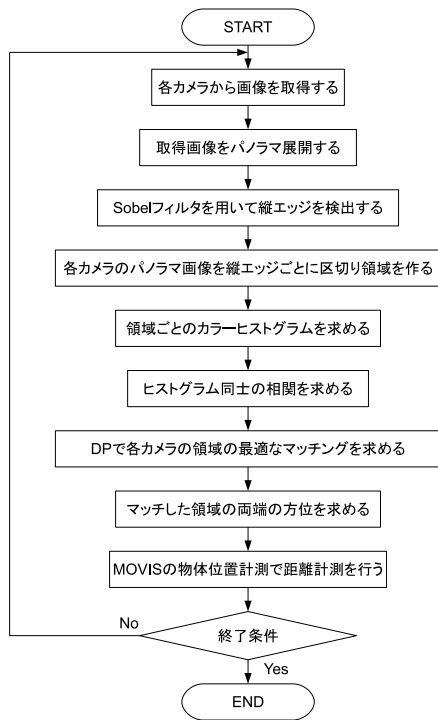


図 8: 縦エッジを用いた物体検出と距離計測のフローチャート

まず MOVIS の全方位カメラから画像を取得しパノラマ展開する。今回パノラマ展開する領域は Fig.9 中の赤色の領域で囲われている領域をパノラマ展開した。これはパノラマ画像中にロボットの一部が写りこむとオクルージョンとなり、縦エッジの検出、そしてこの後のエッジの照合に支障をきたすからである。

パノラマ展開画像に横方向の輝度勾配を検出する Sobel フィルタを施す。Sobel フィルタとは縦方向や横方向のエッジのみを抽出するときに用いられる微分フィルタである [3]。

Sobel フィルタで縦エッジを検出した後、ノイズ除去を行い、縦方向に対しエッジヒストグラムを求めガウス分布とのたたみ込み積分で平滑化する。

そしてガウス分布に変換したグラフから極大値を求

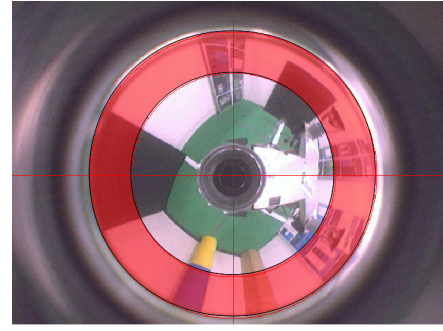


図 9: MOVIS の取得画像 (左カメラ)



図 10: パノラマ展開画像 (左カメラ)

め、極大値を縦エッジとして検出する。Fig.11、12 は MOVIS の左カメラと右カメラから取得した画像をパノラマ展開し (上段図)、Sobel フィルタを用いて縦エッジを検出 (中段図) した後に、縦方向に対しエッジヒストグラムを求めガウス分布でたたみ込み積分した (下段図) した図である。図中の赤線はガウス分布の極大点に引いた線である。

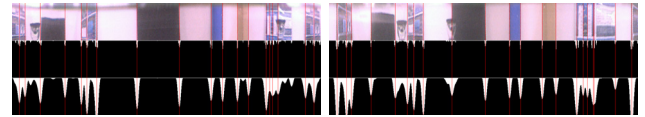


図 11: 縦エッジの検出 (左カメラ)

図 12: 縦エッジの検出 (右カメラ)

縦エッジを検出した後、パノラマ画像を縦エッジごとに区切りエッジごとの領域を作る。まず左カメラ、右カメラの各領域ごとに色ヒストグラムを求める。左カメラと右カメラの各領域ごとのカラーヒストグラムの相関をとり、ヒストグラムの類似度を求める。ここでヒストグラムの相関が正の相関に近いほど 2 つの領域の色合いが類似しているので、相関が高い領域同士がマッチしていると考えられることができる。(7) 式は 2 つのヒストグラム H_1 、 H_2 から相関 $d(H_1, H_2)$ を求める式である。N はヒストグラムのビン数である。

$$d(H_1, H_2) = \frac{\sum_I (H'_1(I) \cdot H'_2(I))}{\sqrt{\sum_I H'_1(I)^2 \cdot \sum_I H'_2(I)^2}} \quad (7)$$

$$H'_k(I) = \frac{H_k(I) - 1}{N \cdot \sum_J H_k(J)}$$

さらに動的計画法を用いて各領域の最適なマッチングを求める。動的計画法 (Dynamic Programming: DP と略す) とは探索問題の解法の 1 つで、異なる 2 つの連続データの最適な対応を求める手法 [4] である。DP は連続データとその評価値を用いるので、左カメラ、右カメラの各領域ごとの色ヒストグラムを連続データ i 、 j 、各領域の色ヒストグラムの相関を評価値 $e(i, j)$ として使用した。まず 2 つのデータの累積距離 $g(i, j)$ を

(8) 式に従い初期化する。次に各 i, j における累積距離 $g(i, j)$ を (9) 式を用いて求める。(9) 式はパスから最も特徴が似ているパスを選択しているため、同時に選択されたパスに対応したラベルを記憶する。そして $i = 1, j = 1$ を始点としてラベル付けされたルートを通り、マッチしているデータ i, j を求めていく。

$$\begin{aligned}
 g(I, J) &= 0 \\
 g(i, J) &= g(i+1, J) + e(i, 0) \quad (i=I-1, I-2, \dots, 1) \\
 g(I, j) &= g(I, j+1) + e(0, j) \quad (j=J-1, J-2, \dots, 1) \\
 g(i, j) &= e(i, j) + \min \begin{cases} g(i-1, j-(J-1)) + 2 \sum_{k=1}^{J-1} e(i, j-k) \\ \vdots \\ g(i-1, j-3) + 2 \sum_{k=1}^2 e(i, j-k) \\ g(i-1, j-2) + 2e(i, j-1) \\ g(i-1, j-1) + e(i, j) \\ g(i-2, j-1) + 2e(i-1, j) \\ g(i-3, j-1) + 2 \sum_{k=1}^2 e(i-k, j) \\ \vdots \\ g(i-(I-1), j-1) + 2 \sum_{k=1}^{I-1} e(i-k, j) \end{cases} \quad (9)
 \end{aligned}$$

ここで左カメラ、右カメラの領域はエッジごとに区切ったものなのでマッチした左カメラ、右カメラの各領域の両端はエッジであり、左カメラの領域の左端と右カメラの領域の左端同士と、左カメラの領域の左端と右カメラの領域の右端同士がマッチしていると考えることができ左カメラの領域の左端と右カメラの領域の左端同士と、左カメラの領域の左端と右カメラの領域の右端同士がマッチしていると考えることができ、パノラマ画像の x 座標は各カメラからの方位を表しているため、各カメラからエッジの方位を求めることができる。エッジの方位と MOVIS の物体位置計測方法を用いて、マッチした領域の両端のエッジの位置を測定する。

4.1 MOVIS を用いた縦エッジを有する物体の検出と距離計測法の検証実験

ここでは、エッジを用いたマッチングを様々な環境で使用した結果について述べる。実験を行った場所は、廊下、部屋のコーナーである。ここでは DP マッチングを用いて縦エッジのマッチングを行った。

Fig.13 は廊下で実験を行った時の実験風景である。周囲には縦エッジが出やすい物体（パネル、ドア、ポスターなど）を展示した。実験を行った廊下の幅は 1.8m である。サッカーロボットのハードウェアの都合上、ロボットより高い位置にある物体はカメラに写らないので、台の上にロボットを乗せて行った。Fig.14 は検出された縦エッジの距離計測結果である。Fig.14 に記載されている番号はそれぞれ Fig.15 に記載しているエッジの番号と対応している。

この縦エッジを用いた物体認識は Fig.13 のように縦エッジが取得しやすい物体（パネル、扉、ポスターなど）があるほど縦エッジを有する物体を計測できるので実験環境図である廊下の形状を一部再現できた。だが

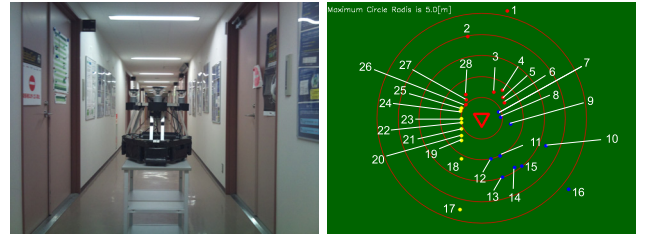


図 13: 実験風景

図 14: エッジのプロット図

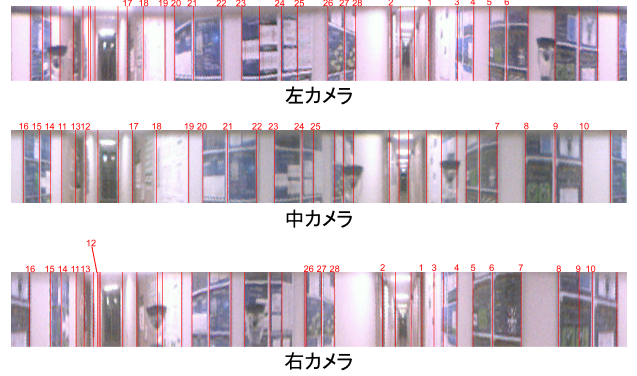


図 15: 各カメラのエッジの検出結果

Fig.15 のエッジ 10、14、15、16 のは検出したエッジがミスマッチしているため距離計測の結果に誤差が出た。

5. 結言

本研究では、MOVIS で背景差分を用いた移動物体の検出と距離計測法、縦エッジを有する物体の検出と距離計測法を提案した。背景差分を用いることで移動物体の検出と距離計測ができることを確認した。縦エッジを用いた物体検出と距離計測については、縦エッジを有する物体を検出し距離計測を行えることを確認した。

参考文献

- [1] Y.Maeda and D.Idou, Multiple Omnidirectional Vision System and Its Self-Localization Experiment, *Proc. of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems CD-ROM* (2007).
- [2] 森田真司、山澤一誠、寺沢征彦、横矢直和、全方位画像センサを用いたネットワーク対応型遠隔監視システム、電子情報通信学会論文誌 (D-II)、Vol. J88-D-II、No. 5 (2005).
- [3] 近藤啓介、杜下淳次、桂川茂彦、土井邦雄、ソーベルフィルタによるエッジ強調画像を用いた胸部単純 X 線写真に対する患者自動認識の精度の向上、電子情報通信学会技術研究報告、MI、医用画像、Vol. 101、No. 581 (2002).
- [4] H. Sakoe and S. Chiba, Dynamic programming algorithm optimization for spoken word recognition, *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, No. 1, pp. 43–49 (1978).