

単眼カメラを利用した自律型移動ロボットシステムの構築

著者	後藤 匡宏, 花島 直彦, 山下 光久, 疋田 弘光
雑誌名	サテライト・ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー年報
巻	6
ページ	72-75
発行年	2004
URL	http://hdl.handle.net/10258/339

単眼カメラを利用した自律型移動ロボットシステムの構築

著者	後藤 匡宏, 花島 直彦, 山下 光久, 疋田 弘光
雑誌名	サテライト・ベンチャー・ビジネス・ラボラトリー年報
巻	6
ページ	72-75
発行年	2004
URL	http://hdl.handle.net/10258/339

単眼カメラを利用した自律型移動ロボットシステムの構築

室蘭工業大学 機械システム工学科 後藤匡宏、花島直彦、山下光久、疋田弘光

1 はじめに

近年、ロボティクスの分野ではロボットビジョンなどの視覚システムの研究が活発に行われている³⁾。一般的に立体や奥行きを認識するためにはカメラを複数台使い、視差を利用することで距離を計算することが多い。しかし人間は片目であっても眼前に置かれた物体までの距離間をつかむことができる。それは物体の模様や輪郭、眼球周囲の筋肉の緊張度などの複雑な情報を脳が処理しているからだと考えられる。

同様にカメラでもレンズの位置を調節し、被写体までの距離に応じてピントを合わせるため、単眼カメラで距離を推定することは可能である。その方法として Depth From Focus と呼ばれる手法があり¹⁾²⁾、我々の実験環境で可能な範囲で実装し、ロボットビジョンシステムを構築した。さらに本研究では構築した同システムを実環境で検証するため、カメラの視野内に映る人物を推定し接近する、自律型移動ロボットシステムのプロトタイプを作成した⁴⁾⁵⁾。

2 概要

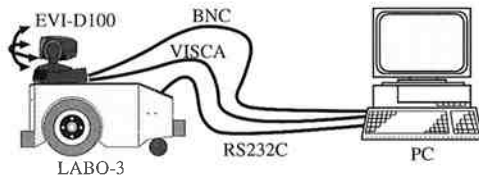


Fig. 1: Equipment configuration

今回作成した自律型移動ロボットシステムの概要を説明する。

本システムは動作を生成するための PC (Pentium 266MHz, Memory 96MByte, OS Windows NT4.0 Service Pack 6) とその対象となる二輪独立駆動型の移動ロボット (LABO-3, AAD)、そしてロボットの目となるパン・チルト・ズーム可能なカラービデオカメラ (EVI-D100, SONY) から構成される。PC には高速画像処理ボード (IP5005, 日立製作所) を搭載し、カメラから得られる画像を処理するために用いた。それぞれの機器は Fig.1 に示すように接続されており、次のような処理の流れで動作生成を行った。

まず、PC とカメラはシリアルケーブル (VISCA) によって接続され、相互で通信を行うことでカメラの動作を制

御することができるようになっている。カメラから BNC ケーブルを通じて画像が PC に送られ、画像中に映る人物 (以下、被験者) の推定、および被験者までの距離推定を PC によって行う (詳細は後述)。得られた情報をもとに、PC からシリアルケーブル (RS232C) を通じて移動ロボットに動作指令を送り、接近動作を行わせる。

3 輝度情報を利用した距離推定

単眼カメラによる距離推定法には Depth From Focus と呼ばれる手法がある¹⁾²⁾。これはカメラから得られる複数枚の画像からぼけ量を評価し、距離を推定するものである。レンズの性質から、レンズの位置と被写体の距離の間には次式のように一対一の関係が成立する。

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{u} + \frac{1}{v} \quad (1)$$

ここで f は焦点距離、 u 、 v はレンズから対象物までの距離、およびレンズから焦点までの距離である。

つまり f が既知である場合、合焦点となるフォーカスレンズの位置 v を決定することができれば、被写体までの距離 u を求めることができる。

3.1 合焦点の決定

合焦点の探索法としてオートフォーカスの原理を利用する。いくつか存在するオートフォーカスの原理のうち、本研究では TTL コントラスト方式と呼ばれる画像処理を用いた手法を利用する。

TTL コントラスト方式は画像のぼけによる濃淡の変化率を利用したものであり、任意の画像領域において、ぼけ量が増した画像では濃度変化率が小さくなり、逆にピントが合った状態で、最も濃度変化率が大きくなる (高コントラスト) ことを利用したものである。

つまり、カメラから得られる複数枚の画像の各コントラストを調べることで、合焦点を決定することができる。

実際にフォーカスレンズの位置を連続的に変えながら、サンプルを撮像した画像のコントラストを調べると Fig.2 のような結果を得ることができる。このコントラストが最も高くなるフォーカスレンズの位置が合焦点であり、ピントの合った状態となる。

しかしながら、ズーム値を変えてコントラストの変化を調べると、広角になるほどコントラストの変化が隠微となり、合焦点を決定することが困難となった。この原因として、被写界深度の問題が考えられる。

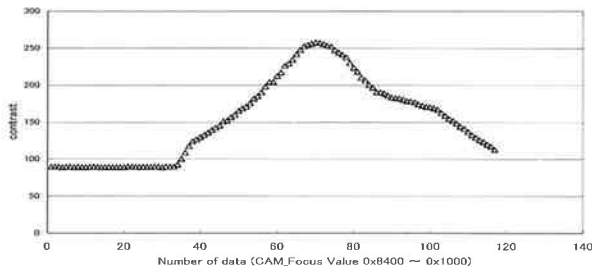


Fig. 2: Example of contrast's changing

被写界深度とはピントの合う範囲(深さ)のことであり、次のような性質を持つ。

Table 1: Property of depth field

被写界深度	浅い	深い
被写体までの距離	近い	遠い
焦点距離	長い(望遠)	短い(広角)
絞り	絞りを開く	絞りを絞る

被写界深度が深くなるほど広い範囲にピントが合った状態となるため、ぼけの変化が現れにくくなり、合焦点を見つけることが困難となる。そのため、距離推定を行う際には適切なズーム値の選択が必要である。

次に合焦点でのレンズの位置について説明する。

3.2 レンズの位置から距離への変換

レンズの位置 v を計測するためには特別なカメラを必要とし、我々の実験環境では直接計測することはできない。そこで次のような方法を用いて合焦点から推定距離を導くことにした。

実験で用いるカメラは、シリアル通信を用いることでメーカー提供の CAM_Focus という値をカメラから取得することができる。

$$0x1000 \leq \text{CAM_Focus} \leq 0x8400$$

そこで被写体をカメラから徐々に離しながら、各距離での CAM_Focus 値を計測した。その際、カメラ独自のオートフォーカス機能を用いて、フォーカスエリア内でピントを合わせる。CAM_Focus 値と対象物までの距離との関係を表したものを Fig. 3 に示す。

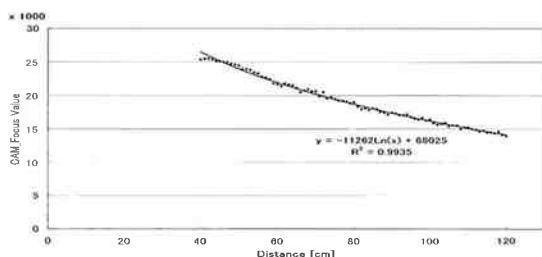


Fig. 3: Approximated curve

また、この CAM_Focus 値はズーム値を 0x3000 に固定したときの値である。これを近似して得られた次式を使って距離推定に用いることにした。

$$y = -11262 \ln(x) + 68025 \quad (2)$$

3.3 距離推定実験

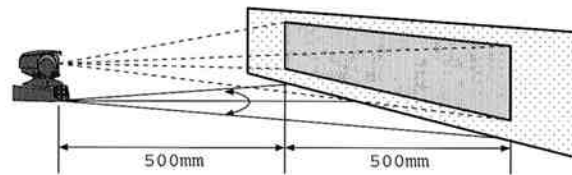


Fig. 4: Experimental environment

3.1の方法を用いて単眼カメラによる距離推定実験を行う。まず、カメラの前方に対象物を Fig. 4 に示すように斜めに配置する。そしてカメラ視野内の奥行き分布を計測するため、取得した画像を画像処理を用いて縦横 11×13 の領域に分割した (Table 2)。フォーカスを連続的に変化させて、各領域のコントラストが極大となるフォーカスレンズの位置 (CAM_Focus 値) を調べ、式 (2) により各領域までの距離を推定した。実験中は被写界深度を浅く保つため、ズームの値を 0x3000 で固定とした。

3.4 考察

Table 2: Error value [cm]

	5	8	6	9	5	7	8	10	10	14	17	22	26
	5	5	6	2	3	2	2	6	8	8	10	14	17
	4	2	3	3	0	0	2	5	6	6	3	18	20
	4	2	1	0	4	-1	-3	-1	-5	-1	3	14	11
	1	2	3	-1	-2	-2	2	-1	-3	-1	-2	7	3
	3	2	1	-1	0	-3	-3	-1	-5	-1	2	7	18
	4	2	-2	-4	-5	-2	2	3	-5	-1	3	7	11
	4	2	-4	0	-3	-7	5	-1	1	-1	3	7	11
	2	-1	3	-1	-3	-2	-1	-2	-5	-1	3	7	11
	5	2	2	-1	0	-2	2	1	6	-1	3	7	18
	5	2	6	4	4	4	3	5	6	6	10	14	22

Table 2左図は実験中にカメラから撮影した画像であり、右表は左図に対応した各領域における推定距離の誤差である。

実験結果ではレンズ中心付近で、誤差 ± 3 cm という結果が得られた。しかし、誤差はレンズ中心部から離れるほど、また対象物の距離が遠くほど大きくなっている。前者の誤差はレンズの歪み・収差によるものだと考えられ、後者の誤差は被写界深度によるものだと考えられる。

実験結果を勘案すると、奥行き分布をロボットビジョンに用いるには誤差の大きさが気になる。また、コントラストの計算を画像全体で行うとどうしても処理時間が多くなり、リアルタイムで距離推定を行うことは困難である。

そこでそれらを解決するために、画像全体の奥行き分布を計測せず、画像内に映る被写体をロボットに検出させることにした。そしてカメラの向きをパン・チルトで調整し、常に視野中心に被写体を捕らえることで、レンズ中心部からの距離推定を行うことにする。また、フォーカス処理をカメラ独自のオートフォーカス機能に切り替えることで、PC側の処理を軽減する。

以下、人を被写体とする推定方法を説明する。

4 色差情報を利用した人物の検出と追従

4.1 人物の検出

カメラから得られる画像には各画素における輝度情報(Y)、および色差情報(U,V)が含まれる。それぞれ明るさと色合いを表し、画像処理ボード上において256階調の信号として扱う。

カメラの視野内に映る人物をロボットに認識させるため、色差情報をもとに画像中の肌色領域を抽出することにした。まず一般的な日本人の肌色に合わせ、輝度、および色差に次のような閾値を設けた。

$$1 \leq Y \leq 255, \quad 140 \leq U \leq 160, \quad 100 \leq V \leq 120$$

カメラから得られるカラー画像に対して上記の閾値で二値化処理を行い、肌色領域を白、その他の領域を黒とする二値画像を得る (Fig.5)。

しかし、この二値化処理で被験者の肌色領域のみを抽出できることは稀であり、被験者の背景に映る肌色に近い物体も二値化されてしまうため、被写体が雑音に埋もれてしまう可能性も有りうる。そこで、二値画像中に散在する各肌色領域(白い領域)を区別するため、さらに面積フィルタ処理、およびラベリング処理を行う。この処理では肌色領域を面積順にソートし、その後さらにラベリングを行い、面積が大きい順に1,2,3...と仮番号を付ける。こうして仮番号をつけることで、それぞれの肌色領域に重要度を設け、仮番号を1とする最も面積の大きい肌色領域を、被写体としてロボットに認識させることにした。

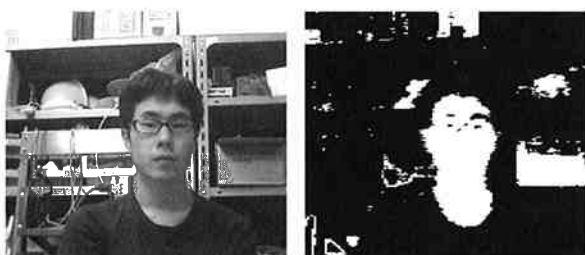


Fig. 5: Binarizing process

4.2 人物への追従

上記のように認識させた被写体に対して、カメラの向きをパン・チルト動作により被験者に追従させる。

カメラからPCに入力された画像は画像処理ボードによって幅256pixel、高さ220pixelで処理される。つまりカメラレンズ中心部の座標は $(x, y) = (128, 110)$ となる (Fig.6)。そこで前述の仮番号を1とする肌色領域の重心座標を求め、レンズ中心部の座標と比較し、両座標が一致するようにカメラの向きを補正する。そうすることで動く被写体に対しても、常に視野内に収まるようにカメラを追従させることができる。

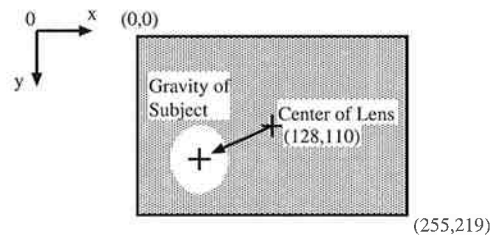


Fig. 6: Follow method of camera

5 単眼カメラを用いた移動ロボットの誘導実験

構築したロボットビジョンシステムを移動ロボットに実装し、実環境での検証を行う。

5.1 方法

まず、被験者の前方2mの位置に単眼カメラを搭載した移動ロボットを配置する。カメラのズームを0x0000(広角側)にセットし、2秒間被験者の検出、および追従を行わせる。その後ズームを0x3000にセットし、カメラに被験者を追従させつつ接近動作を行わせる。ここで、ロボットの進行方向が被験者の方向から逸れてしまった場合、つまりカメラの向きが大きく横を向いてしまった場合は、その場で移動ロボットに旋回させ、方向を修正させる (Fig.7)。そしてロボットが被験者に対して45cmまで接近した時点でロボットを停止させる。

ロボットには次の2種類の接近パターンを用意し、実験を行った。

- a) 一定の低速度で被験者に接近する動作
- b) ロボットが被験者に対して接近するほど、速度を減じるとような動作

5.2 結果・考察

Fig.8およびFig.9は実験中の推定距離をプロットしたものであり、それぞれFig.8はa)の、そしてFig.9はb)

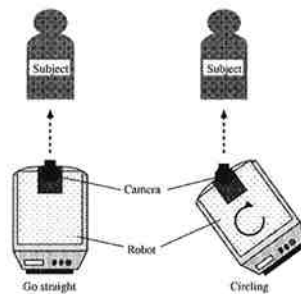


Fig. 7: Robot's motion

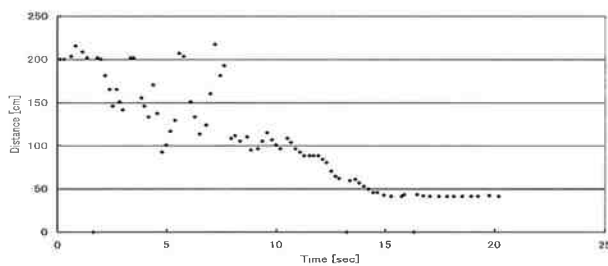


Fig. 8: Estimated result[a) constant velocity]

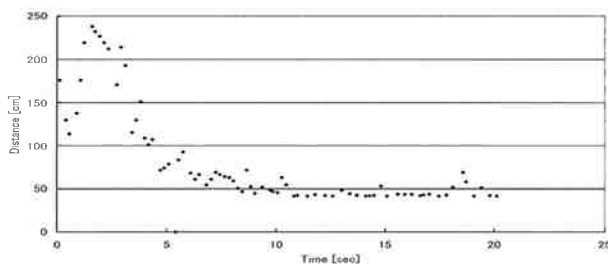


Fig. 9: Estimated result[b) variable velocity]

のパターンで接近させたときの結果である。

a)の実験結果を見ると、ロボットは2mの位置からスタートし、徐々に被験者に対して接近して、15秒後に目標値45cmの位置で停止していることがわかる。

b)の結果を見てみると最終的に目標値でロボットは停止しているものの、実験開始直後では推定距離がばらついている。また、a)の実験中3~7秒付近にも同様のばらつきが見られる。これらはロボットの初動作と共にカメラに振動が伝わってしまったため、距離推定に誤差が生じたのだと考えられる。しかしカメラはその向きを常に補正し、被写体を追従し続けているため、その後も距離を推定し続けながら被験者に対して接近動作を行った。また両者(Fig.8、Fig.9)を比較してみても、推定距離に応じた速度調整を行えていることがわかる。

しかしながら実験を通して次のような問題点も浮かび上がった。

距離推定を行う際は被写界深度を浅く保つためにズームを行っているが、対象物が近く、また早く動く場合にはカメラが追従しきれず、距離推定に失敗してしまうケースがあった。

また肌色に近く、大きな物体が背景に映ると、ロボットが被写体を誤認してしまうことがあった。

これらは今後の課題となる。

6 おわりに

本研究では単眼カメラを使ったロボットビジョンシステムを構築した。また、それを移動ロボットに応用し、実験を通して自律的な動作を生成させることでその有用性を示した。

参考文献

- [1] M.Subbarao, Jenn-Kwei Tyan, "Selecting the Optimal Focus Measure for Autofocusing and Depth-From-Focus", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machin Intelligence, Vol.20 No.8 pp864-870 (1998)
- [2] 工藤朋之、三池秀敏,"カメラフォーカスを連続変化させた動画を用いた奥行き分布検出", 情報処理学会コンピュータビジョン, 98-2,pp7-12(1996)
- [3] 笹原,"視線情報を利用する卓上作業支援マニピュレータに関する研究", 室蘭工業大学大学院修士学位論文(2003)
- [4] 後藤, 花島, 山下, 疋田,"単眼カメラによる距離情報獲得 -ロボット対人接近動作への応用-", 第37回計測自動制御学会北海道支部学術講演会論文集, pp19-22 (2005)
- [5] 後藤,"単眼カメラによる距離情報取得とその活用に関する研究", 室蘭工業大学大学院修士学位論文(2005)