

ぼけ情報を用いた定性的距離情報の獲得

津幡 靖宏 八木 康史 谷内田正彦

大阪大学基礎工学部システム工学科
大阪府豊中市待兼山町 1-1

あらまし

環境内の定性的距離情報獲得の手法としては単眼視からのぼけ情報の利用が考えられる。しかし単一画像のぼけ情報のみからでは、実際にはその光学的性質により得られる距離情報にあいまいさが存在する。そこで本研究では移動視からの時系列情報を利用してそのあいまいさを解決し定性的距離情報の獲得をはかり、有効性評価を行う。

Qualitative Depth from Blurring

Yasuhiro TSUBATA Yasushi YAGI Masahiko YACHIDA

Department of Systems Engineering, Osaka University
1-1 Machikaneyama-cho, Toyonaka, Osaka 560, Japan

Abstract

This paper proposes a method to estimate the qualitative depth of the environment from monocular image sequence, which is one of central problems for the study of computer vision. To estimate the qualitative depth, the method uses a relationship between depth and blurring. Features of different depths are discriminated by comparing difference in their blurring. However, in front and in rear of a focused plane, qualitative depth cannot be determined on blurring difference alone. Therefore, we solve the problem of this uncertainty by monitoring the type of blurring change such as increasing or decreasing while the camera moves. We present an experimental result on a simple actual scene data.

1 はじめに

我々人間が何らかの行動をとる場合、さまざまな感覚器官からの情報により環境の理解を行なっている。とりわけ環境の距離情報の獲得は視覚によるところが大きい。ここで距離情報と言っても行動内容により要求される内容が異なる。例えば、人が柱や他の人などに衝突することなく動き回るためには、物体までの正確な位置や運動の情報は必ずしも必要とはしない。一方、興味を持った対象に対しては、見やすい方向からその詳細な形状を観察したりする。即ち、人はその行動内容に合わせて、定量的また定性的距離を適時使い分けていると考えられる。

また人と同様に移動ロボットの制御においてもカメラからの画像入力は有力な情報源となる。この場合、人と同様に行動に応じ異なった内容がセンサ情報として要求される。

即ち、ロボットが環境内を移動する場合、必ずしも正確な距離情報を獲得する必要はなく、「ロボットの進行方向に障害物が存在するか否かを評価する」とか「環境構造物の前後関係がどのようになっているか」と言った定性的情報を実時間で計測できれば十分移動することは可能と言える。一方ランドマークの検出、不審物体や衝突危険物体の認識を行う場合など注視対象を発見、その詳細な構造を理解する時は、正確な定量的情報が必要なものとなる。本研究は、定性、定量的な両距離計測のうち、定性的距離情報の獲得方式を目指すものである。

従来より距離計測の方法としては、単眼視、移動視、両眼視など様々な方法がある。単眼視ではぼけからの距離情報獲得に関する研究が定量的情報を獲得する方法として研究されてきた。Depth from Focusと呼ぶ方法[1]では、鮮明な画像が得られる方向にピントを変化させ、レンズの公式 $1/f = 1/s + 1/s'$ (f : レンズの焦点距離、 s : レンズ・物体間の距離、 s' : レンズ・センサ間の距離) を用い、物体までの距離 s を定量的に求めるものである。またDepth from Defocus[1][2][3][4]では、奥行きの違いによるぼけの違いをモデル化して画像中のぼけの度合いなどを観察することで定量的距離情報を得る方法である。これらぼけを用いる方法は両眼視の様な対応付け問題や死角の問題がなく有効な計測方法である。しかし現在のセンサのダイナミックレンジ及び分解能では、両眼視など

の三角測量を用いる方法と比べるとぼけによる距離計測は観測誤差が多く、定量的観測には不向きと言える。

本研究では、ロボットの移動に伴う時系列画像からぼけ情報と移動視の関係を利用することで定性的距離情報(物体の前後関係)を獲得する方法について報告する。

ぼけ情報は、領域分割された画像内の各領域間で定性的な距離情報を獲得するために用いる。ここで言う「定性的情報」とは、例えば「AはBの前方(後方)に存在する」とか「AはBの影にかくれている」「AとBの間をCが移動している」といったことを意味する。単一画像のぼけ情報からは、実際にはその光学的性質から前後関係のあいまいさが残る。しかし、カメラ移動により得られる時系列画像でのぼけ情報を利用することで、上記の前後関係のあいまいさを解決することができる。

以下、本手法の原理並びに有効性評価実験結果について報告する。

2 ぼけモデル

テレビカメラのレンズは一般に複数枚のレンズで構成されているが、ここでは一枚の厚みの小さいレンズとして考えレンズの公式が成り立つものとし、またレンズの収差は考えないことにする。

図1の様に奥行きが異なった点光源P1,P2,P3から発せられた光はおのおの点光源とレンズ間の距離に応じてp1,p2,p3の位置に像を結ぶ。P2から発せられた光は画像面上で焦点p2を結び、鮮明な像を得ることができる。ところがP1,P3の光線は各々画像面の前後で集光するため、画像面上では σ p1, σ p3の直径の光学的ぼけ(錯乱円)として現われる。一般に点光源Pから発せられた光がpに像を結んでいるとき、レンズ公式より次式の関係が成立する。

$$1/f = 1/s + 1/s' \quad \dots\dots (1)$$

s : レンズO・物体P間の距離

s' : レンズO・結像位置p間の距離

この時の錯乱円の直径 σ は次式となる。

$$\sigma = D \delta / s' = D \delta / (d \pm \delta) \quad \dots\dots (2)$$

D : レンズの有効径

d : レンズO・画像面間の距離

δ : 画像面・結像位置p間の距離

さらに、

$$1/f = 1/F + 1/d \quad \dots\dots (3)$$

F: レンズO・焦点位置間の距離

が成立する。従って、錯乱円 σ の大きさは(1)

(2) (3) より次式で表現される。

$$\sigma = D (K(1/F - 1/s))$$

$$(K = \pm 1/(1/f - 1/F)) \quad \dots\dots (4)$$

式(4)から錯乱円すなわち点光源のぼけはレンズ-物体間の距離 s に反比例することがわかる。また同式より錯乱円の大きさは画像中での位置には独立で、かつ対象の輝度値にも依存しない。従ってぼけの割合を評価することで奥行きを推定が可能と言える。

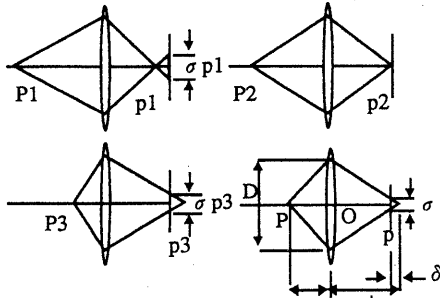


図1 錯乱円の発生

3 定性的距離獲得の原理

3.1 ぼけ情報の変化量の評価

前章より、奥行きを推定は、ぼけの割合を評価することで可能となる。しかし実際には式(4)からも分かる様に、焦点位置の前後には錯乱円の大きさが等しい場所が存在する。また図2に示す様に等価な錯乱円の大きさを持つ位置は、焦点位置をどこに合わせるかによって変化する。例えばカメラから無限遠にあるいは十分近くに固定した場合には、図2(a)(c)の様にはぼけと距離の間に単調減少ないし単調増加の関係が成立する。前後判別という観点からすると、ぼけの割合から距離情報が一意に決定され有用に思われるが、実際には単位距離変化当りのぼけの変化量が小さくなり前後関係の判別が困難となる。

ロボットの移動を目的とした場合、遠方の物体に対して奥行きを推定する必要はなく、ロボットの移動速度に合わせて観測を必要とする範囲は限定される。また注視物体が存在する場合には、注視対象の距離を基準にその周辺の他の物体の定性的距離情報が獲得できる。従って焦点位置は図2

(b)の様中間的位置(例えば1mあるいは2m)にピントを合わせ、固定する方が望ましい。

図2(b)の様中間的位置に焦点を合わせた場合、奥行きとぼけの間のあいまい性がおきる。例えば、図3の様な焦点位置をFとした観測系において、奥行き $P1$ と $P2$ に物体面が存在した場合を考える。各奥行き $P1, P2$ におけるぼけは各々 σ_{p1}, σ_{p2} となる。 σ_{p1}, σ_{p2} の錯乱円が発生する位置は、 $P1, P2$ 以外に $P1', P2'$ が存在する。従って位置関係としては $(P1, P2), (P1', P2), (P1, P2'), (P1', P2')$ の4通りの可能性が考えられ、前後関係に曖昧性がのこる。

この前後関係の曖昧性に関しては、カメラ移動に伴うぼけの変化を観測することで解決する。つまりカメラ移動の前後ではぼけの広がりかどのように変化するか、即ちぼけ量が増加するか減少するかを観察することで、焦点位置に対し前か後かの判断が可能となる。具体的には、カメラが前進したときに錯乱円の大きさが増大したなら、焦点位置より手前となる。また錯乱円の大きさが減少したなら、焦点位置より遠方となる。例えば図3で示した場合には、錯乱円 σ_{P1}, σ_{P2} 共にカメラ移動に伴って増加する。さらに両錯乱円の大きさの関係は $\sigma_{P1} > \sigma_{P2}$ となり、手前から $P1, P2, F$ の並びであると言う関係が得られる。これは移動前後で焦点位置を固定しているためである。

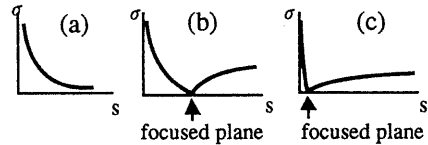


図2 焦点位置と錯乱円の関係

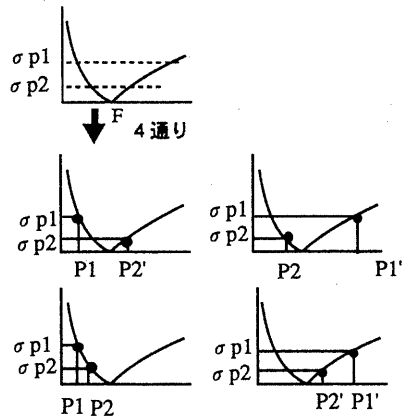


図3 前後関係の曖昧性

3. 2 領域のぼけの連続性評価

図4に示す様に2つの領域が存在し、手前に存在する面によって後方の面が隠され、遮蔽エッジが存在する場合、手前の面では輪郭エッジでのぼけは連続的に変化するが、後方の面の輪郭の様に遮蔽エッジを含む場合、ぼけは遮蔽エッジの部分で不連続な関係が生まれる。従って広がり方が連続的に変化している場合はその領域は隣接するどの領域よりも前（カメラに近い方）に存在すると予想される。この連続性の関係を利用し、順次手前の領域から面の前後関係を決定することができる。ただし、前述したようにぼけの広がり方が同じあるいは連続しているからといって果たして環境内でも実際に連続しているとは限らない。従って、そのあいまいさは先程と同様に移動視によるぼけの変化方向を利用することで解決する。

以上の方法により隣接した領域間の前後関係が推定でき、隣接しない領域間でも移動視とぼけの広がり方の大小比較により推定できる。そしてこのような前後関係をロボットが移動しながら獲得することで環境内の定性的環境マップが得られる。上記の前後関係の獲得に当たり、カメラの移動量は使わず、前進or後退と言った定性的情報のみを利用してはいる。

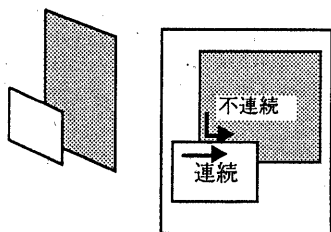


図4 ぼけの連続性

4 前後判別システム

上記3章の定性的距離獲得の原理を用いた前後判別システムを、計算機上に構築し、実データによりその有効性の評価を行う。以下、実験に当たって画像処理を簡単化するために4.1節の前提条件を置く。

4.1 前提条件

図5に示す様に観測対象は長方形の平面物体とし垂直に設置する。各面領域は均一な明るさの領域とする。カメラは水平に設置し、移動方向は水平面内を直進する。

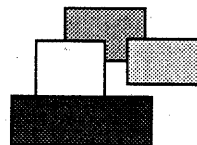


図5 観測対象

4.2 処理の流れ

図6に処理の流れを示す。処理は1) 面領域のセグメンテーション、2) ぼけの連続性評価、3) 輪郭エッジのセグメンテーションと前後判別、4) 移動視による前後関係の検証の4ステップからなる。

面領域のセグメンテーションは各領域の明るさが均一なため図7に示す様に濃度値ヒストグラムをとり、頻度が所定値以下のところを分割の閾値として設定する。

ぼけの度合を評価するためにはまずエッジ方向を求め、次にそのエッジ方向に直交する方向の濃度変化を観察する。2章で述べた様にぼけの度合は輝度値に依存せず、カメラ-物体間の距離にのみ依存する。従って図8に示す様に本研究では、エッジの両側の本来の輝度値まで到達するまでの幅をぼけ度合いとして定義する。しかし実際には量子化誤差等の影響により特に輝度の最大値max、最小値minの近傍では誤差の影響がある。そこで実際には最大値と最小値の差に応じて次式で示す領域をとり、不等式を満たすような濃度値をもつ画素数を計数することでぼけの幅とした。

$$\begin{aligned} \min + (\max - \min) * \alpha &\leq (\text{濃度値}) \\ &\leq \max - (\max - \min) * \alpha \quad \dots\dots (4) \\ \alpha &: \text{定数 } (0 < \alpha < 1) \end{aligned}$$

各領域は光軸に垂直としているので、同一面上のエッジは同じぼけ度合いとなる。そこで輪郭エッジを直線近似し、さらにぼけ度合いが一定の範囲を1つの線分領域として分割する。各々の線分はその線分上でのぼけの平均値によりラベルづけされる。そしてある領域に関してすべてのエッジ線分のラベルが均等であればその領域は隣接する領域よりも前方に存在すると予想する。得られた前後関係に対し、3章で述べた移動視により物体の

前後関係の検証を行う。

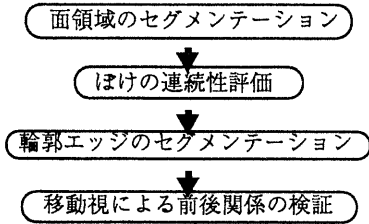


図6 処理の流れ

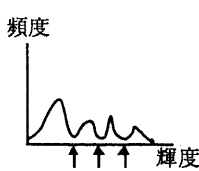


図7 領域分割

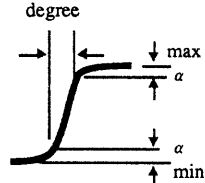


図8 ぼけの評価

4.3 実験結果

図9に示す様に実験環境は50,80,120,175cmのところに4つの物体を置き、モノクロのビジコンカメラを用いて400x400画素各点8bitの画像(図10)を撮像した。焦点距離は100cmに固定し、カメラは15cm後退した。

図11に濃度値ヒストグラム、図12に領域分割した結果を示す。さらにエッジの方向とぼけの度合いによりエッジ線分を抽出した結果を図13に示す。各エッジ線分上では $\alpha=0.1$ としてぼけの評価を行い、その平均値をそのエッジ線分のぼけの代表値とした。

図14は、ぼけの度合いに対するエッジのヒストグラムで、領域のR3とR4が焦点位置をはさんで同一のぼけ度合いになりその分離ができていない。しかし図15の様にカメラ移動によりこれらの領域はぼけの変化方向が異なり、別の領域として識別された。図16が最終結果である。

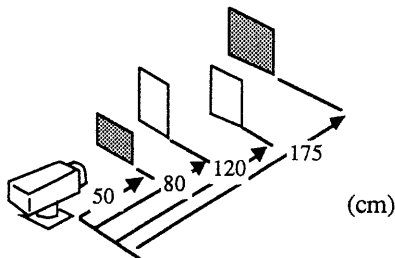


図9 実験環境

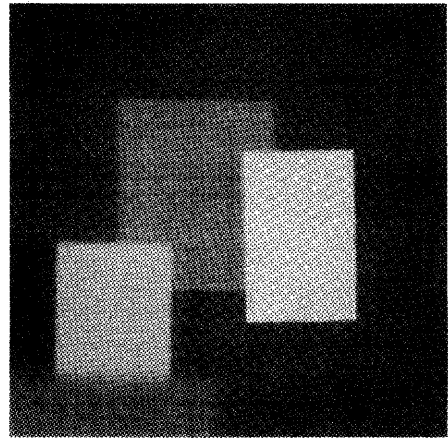


図10 入力画像

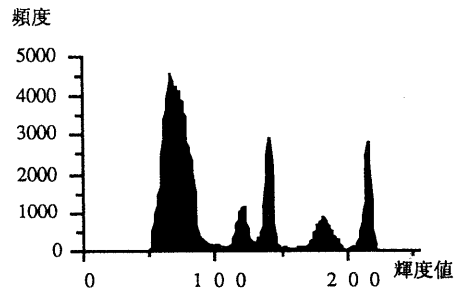


図11 濃度値ヒストグラム

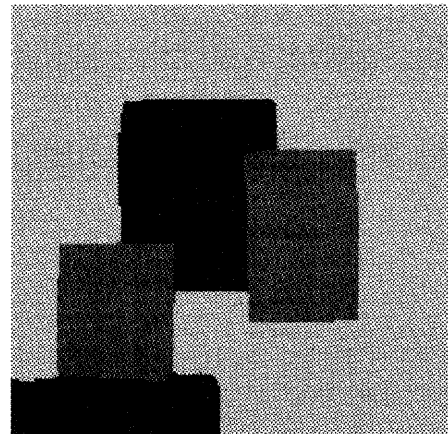


図12 領域分割結果

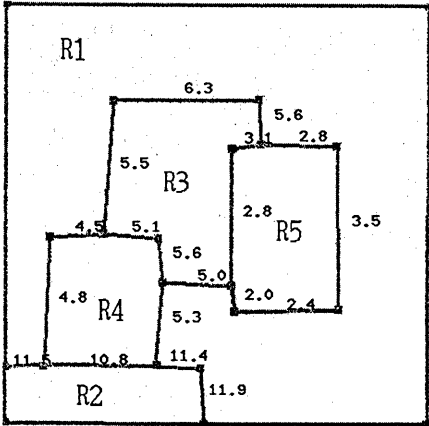


図1.3 抽出されたエッジ線分

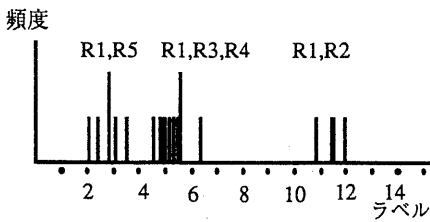


図1.4 エッジ線分の分類

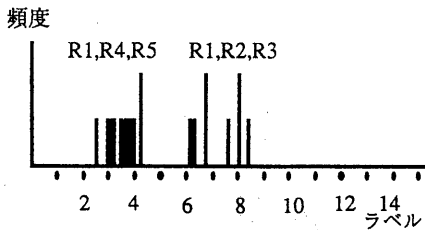


図1.5 移動後のエッジ線分の分類

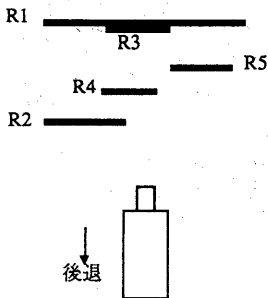


図1.6 最終結果

5 結論

単眼視からぼけを利用し、静止物体の定性的距離情報の獲得する方法を提案した。本手法ではカメラが前進/後退したといった定性的な情報のみで物体の前後関係を記述することができた。今後はより一般的な環境に対応できる様に検討する予定である。また定性情報と定量情報の融合による効率的な距離獲得に関しても検討する。

参考文献

- [1]Yalin Xiong,Steven A.Shafer:"Depth from Focusing and Defocusing",proceedings CVPR, 1993,New York City
- [2]Alex Paul Pentland:"A New Sense for Depth of Field", IEEE Vol. PAMI-9,No.4,1987
- [3]P. Grossman: "Depth from focus",Pattern Recognition Letters 5 (1987)
- [4]John Ens,Peter Lawrence:"An Investigation of Methods for Determining Depth from Focus",IEEE Vol. PAMI-15,No.9,1993