

隣接オブジェクトグループにおける 3 画像オブジェクト間の接続関係組合せによる 線分の 3 次元構造の推定

菊島公弘・青木恭太

宇都宮大学大学院工学研究科

〒321 栃木県宇都宮市石井町 2753

TEL : 028-689-6247 FAX : 028-689-6248

E-mail : {kikushim,kyota}@aok.infor.utsunomiya-u.ac.jp

2次元画像の理解のために、これを構成する境界と領域の両者を用いる。境界は線分として表現する。これらの情報を1つの単位オブジェクトとし、複数の単位オブジェクト間に存在する様々な接続関係に注目する。個々の接続関係がもたらす情報によるオブジェクトの3次元構造の推定は困難であるため、3オブジェクト間の接続関係組合せを用いた推定を試みる。画像からの3オブジェクトの選択は、隣接オブジェクトグループの構成によって行う。これは、複数オブジェクト間の接続関係組合せが爆発的に増加することを回避するために有効である。本報告では、隣接オブジェクトグループ中の任意の3オブジェクトの接続関係組合せの分布を用いて、線分の3次元世界における意味を推定する。

キーワード：3次元構造、隣接オブジェクトグループ、複合関係、線分オブジェクト、関係組合せ

Estimation of 3-D Structure of a Line Segment using the Distribution of the Combination of Relations among Three Image Objects in an Adjacent Group

Kimihiko KIKUSHIMA · Kyota AOKI

Graduate School of Engineering, Utsunomiya University

2753 Ishii-machi, Utsunomiya, 321 Japan

TEL : 81+28-689-6247 FAX : 81+28-689-6248

E-mail : {kikushim,kyota}@aok.infor.utsunomiya-u.ac.jp

We have used both of line segments and regions to understand 2-D images. We regard these objects as a basic object. We only use the relation among objects. It is difficult to estimate 3-D structure using the relations about an object. So we treat a combination of the relations among three objects around the object. For deciding objects around the object, we introduce 'adjacent group'. This also avoids the increase of the number of combinations of relations about an object. In this research, we show the method for estimating the 3-D meaning of a line segment using the distribution of the combinations of relations among three objects in an adjacent group.

keyword : 3-D structure, adjacent group, complex relation, line segment, combination of relations

1 はじめに

3次元の情景や物体を2次元の画像に投影した場合、物体の3次元性が失われるため、投影された物体がどのようなものであるかを全体的に把握することが困難になる。人の場合、この喪失した1次元分の情報を、蓄えられた知識で補うことにより、ある程度までの全体像の把握が可能である。[1]しかし、機械による2次元画像からの3次元世界の構築は知識の蓄積量及びその利用法において、人のそれに及ばない。3次元のシーンを画像から理解するには、シーンを構成する3次元オブジェクトを認識することが必要である。画像において境界として検出される部分に対応する3次元オブジェクトの部分の3次元シーンにおける意味を知ることが可能であれば、3次元オブジェクトを再構成して認識する大きな助けとなる。

我々は画像を領域と境界の両者を用いて記述し、これらのオブジェクトの相互間関係を用いて、3次元シーン中の境界に対応する部分の持つ意味を推定する。領域と領域、境界と領域および領域と境界の間の関係は、個々のオブジェクトの特徴量としては捉えられないものであり、オブジェクト間の関係から得られる情報は、これまでの画像オブジェクトの特徴量を用いた方法で得られる情報とは独立に得られるので、特徴量から得られる情報と合わせて利用することができる。我々は3個以上の領域および境界の間の関係の組合せを用いて、画像からのシーンの意味を推定できる可能性を示した。[3]

本報告では、複数のオブジェクト間の関係を観察することで、3次元シーンにおける境界に対応する部分が表示意味を推定する方法を示す。多数のオブジェクト間の関係を用いると、関係組合せの数が爆発的に増加し、取り扱いが困難になるという問題が生じる。基本オブジェクト間の関係に平行を含むので、多数のオブジェクトを対象としたオブジェクト間関係を用いると、注目する画像オブジェクトと遠い距離にある画像オブジェクトも関係組合せに含まれることになり、3次元シーン理解のためにあまり有益でない情報が多数存在するという問題もある。

これらの問題は線分の3次元的な構造特徴を推定する上で大きな困難となる。そこで我々は、これらの問題を解消しつつ線分の3次元シーンにおける意味を推定するために、オブジェクトの接続関係に重点を置いた隣接オブジェクトグループを導入し、その中での3オブジェクト間の関係組合せの分布を用いることとする。これにより、関係組合せ数の爆発をおさえつつ、局所的な範囲の複数オブジェクト間の関係を扱うことが可能となり、線分の3次元性を突き詰めて探ることができるようになった。

以上のような局所的な範囲の複数オブジェクト間関係の組み合わせを用いる方法で、それぞれの線分の3次元的な意味の推定方法を検証する。

2 線分の3次元構造

2.1 3次元世界の捉え方

我々が普段見ている3次元世界は、多数の面のみによって構成され、それぞれの面の組合せによって表現されている。例えば直方体形状の物体であれば、高々3つの面とその背景となる面を組み合わせることによってその形状を表現することができる。3次元世界を2次元画像を通して把握する場合、3次元シーンの滑らかな広がりには領域として捉えることができ、また相異なる複数の3次元面の接触部分は、画素値の変動の大きな部分の連なりとして表現され、複数の領域の境界線として捉えることができる。本研究では、2次元画像の領域と境界を表現する線分の両者の間の関係を用いて、線分の両側に広がる3次元シーン中の面の関係を推定する。

2.2 線分の3次元的な意味

画像に映し出されているシーンを解釈するための、画像の基本となる構成要素は領域と線分である。[2]ここで、線分とは画像中の境界を表現したものであり、3次元シーンでは相異なる複数の面の接触部分であり得る。3次元シーンの線分に対応する部分の両側の表面は、3次元シーン中でどのような関係を持つ表面であるかを考える。具体的に図1

を用いて例を挙げる。図1中でAは1つの3次元オブジェクトの2つの表面の境界であり、Bは異なる3次元オブジェクトの2つの表面の境界、Cは1つの3次元オブジェクトの1つの面の影により分けられた2つの部分の境界である。A、B、Cは画像上では線分として扱われるが、3次元構造的には異なっている。線分に対応するこの3次元構造を正しく推定することができれば、3次元シーンの理解に大きな助けとなる。

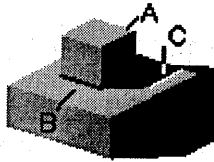


図1: 線分の3次元的な特徴

2.3 3次元構造ラベル

3次元世界の再構成を行うに当たり、3次元世界の2次元画像への投影のために生じる1次元分の情報の欠落を補わなければならない。3次元世界に存在する様々な面は、それぞれの組合せによって、物体の形状を表す稜や複数の物体間の境界を形成している。2次元画像では、この稜や境界を3次元の意味を持たない単なる線分として捉えているため、3次元特性を示す情報が必要である。そこで我々は2次元の線分情報を扱う場合、これが3次元のシーンの中でどのような意味を持つ要素であるかを見極め、その構造の特性を3次元構造ラベル[3]という形で表現する。画像から抽出された線分に対応する3次元シーンの部分の両側に存在する面の関係を、前節で述べた3種類の場合から更に細分して、3次元シーンの解釈に有用な5種類のラベルとして定義する。

edge+ 3次元物体の凸の稜に対応する線分に付加する。

edge- 3次元物体の凹の稜に対応する線分に付加する。

boundary 3次元物体と、背景もしくは他の3次元物体との境界に対応する線分に付加する。

crack 隣接する2つの3次元物体間に存在する溝に対応する線分に付加する。

on-face 3次元物体の面上に存在する模様や影に対応する線分に付加する。

*edge+*と*edge-*は、線分の両側の3次元シーンの面が同一の3次元オブジェクトの2つの表面である場合を2つの表面の成す角で2分している。*boundary*は、両側の表面が異なる3次元オブジェクトに属する場合である。*crack*は、異なった3次元オブジェクトの2表面が少し離れて存在するときに、それが1つの境界として捉えられた場合を表す。*on-face*は、両側の表面が1つの3次元オブジェクトの1つの表面である場合を表す。

実験では、人手で上記のラベルを付与する必要があるのでラベルの定義としては人に分かりやすい定義を用いている。

3 複合関係記述

3.1 基本オブジェクト

本研究では、を線分と領域の両者を用いて記述する。[2] これらをそれぞれ、線分オブジェクト、面オブジェクトと呼ぶ。この両者を基本オブジェクトと呼ぶ。[3] この基本オブジェクト1つ1つは画像のそれぞれの部分を表している。ここで、基本オブジェクトに対応する3次元シーン中の部分の3次元構造を推定するために、我々は基本オブジェクトの幾何学的特徴量は用いず、オブジェクト間の関係のみを用いる。

3.2 基本オブジェクト間関係

基本オブジェクトが複数個集まったときそこには3次元の構造状態を示す情報が含まれている。[3]そこでまず、基本オブジェクト相互間の関係を考える。基本オブジェクトとして示したものは、線分オブジェクトと面オブジェクトの2種類であるから、これらの組み合わせを考えると基本オブジェクト間の関係は次の3つに大別することができる。

- 線分オブジェクト相互間の関係
- 面オブジェクト相互間の関係
- 線分オブジェクトと面オブジェクトの関係

まず、線分オブジェクト相互間の関係について述べる。2つの線分オブジェクトの間に存在する関係は、まず接続関係であるか否かによって分けることができる。接続関係である場合は、一方の線分のどの部分が他方の線分のどの部分と接しているかによって4種類に分けることができる。また、2線分間の関係が非接続関係である場合は、平行関係と無関係の2種類に分けることができる。この分類の様子を図2に示す。

次に面オブジェクト相互間の関係について述べる。このカテゴリーでは、面相互間の関係が接続関係、包含関係もしくはそのどちらでもないという関係のいずれであるかによって分類する。この中で包含関係は、一方の面が他方の面を包含する場合と、一方の面が他方の面を包含しない場合の2通りに分ける。この分類の様子を図3に示す。

最後に、線分オブジェクトと面オブジェクトの関係について述べる。この関係は面が線分に完全に含まれる関係、面に線分の一部が含まれる関係、面に線分が含まれない関係の3つに分類する。この様子をそれぞれ図4、図5、図6に示す。また、それぞれの分類において、線分の端点の位置と面の境界との接触状況を用いて、それぞれのカテゴリーをさらに分別する。具体的には、面内に存在する線分の端点数、面の輪郭線上に存在する線分の端点数、線分が面の輪郭線に接するか否かという分類条件を用いる。

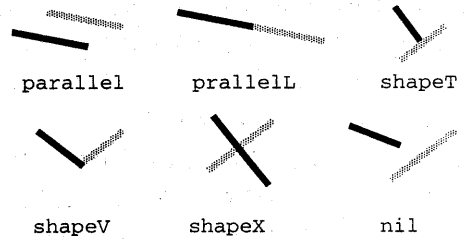


図2: 線分オブジェクト相互間の関係

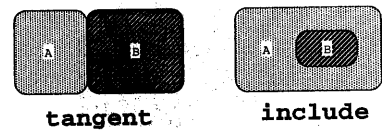


図3: 面オブジェクト相互間の関係

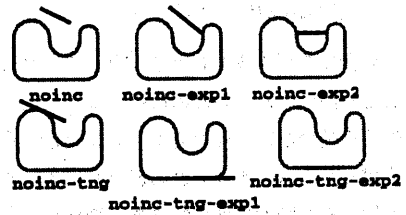


図4: 線分オブジェクトと面オブジェクトの関係 (線分が面に包含されない場合)

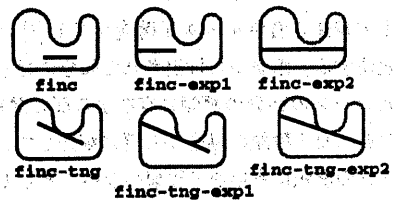


図5: 線分オブジェクトと面オブジェクトの関係 (線分のすべてが面に包含される場合)

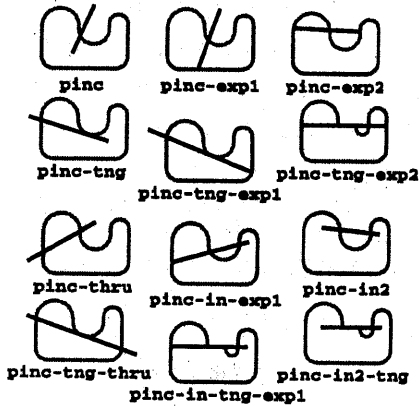


図 6: 線分オブジェクトと面オブジェクトの関係(線分が一部が面に包含される場合)

3.3 複合関係記述

線分の3次元構造の特性を調べるためには複数の基本オブジェクトがどのように組み合せて画像を構成しているかを観察することが重要である。そこで、前節で述べた基本オブジェクト間関係を複数用いた複合関係を定義する。

定義1 複合関係

オブジェクト間関係を形成するために、その要素となる基本オブジェクトの数を n とする。オブジェクト間の関係は2つの基本オブジェクトの間に形成されるので $n > 2$ である。オブジェクト数 n の複合関係は、 n 個の基本オブジェクトの内の任意の2個のオブジェクトの間に存在する基本関係の重複組合せである。

ここで、 n 個の基本オブジェクトがあるとき、形成し得る基本オブジェクト間の関係数は ${}_n C_2$ によって表される。これは、基本オブジェクト間関係を構成するために必要なオブジェクト数が2であり、これを n 個のオブジェクト中から選んでいるためである。

3.4 複合関係を用いる理由

2つの基本オブジェクト間に存在する基本関係の分布では、注目している画像オブジェクトの周囲の状況を記述する方法がなく、線分の3次元構造の推定は困難である。個々の画像オブジェクト間の基本関係をすべて記述すれば、その記述から我々が定義した複合関係を含む注目画像オブジェクトの周囲の状況を記述することは可能である。複数の画像オブジェクトの基本関係の順列は、組み合わせる画像オブジェクトの数の増加に伴い爆発的に増加し、取り扱いが困難である。複合関係から画像オブジェクトの意味を推定可能であることは知られており、基本関係の重複組み合わせである複合関係は基本関係の順列ほどには爆発的に増大せず、我々の保有する計算資源で取り扱い可能である。これらの理由から我々は、複合関係を1つの画像オブジェクトの周囲に存在する基本関係の組合せを表現する方法として用いる。

3.5 基本オブジェクト数3の複合関係

本研究では3つの基本オブジェクトによる組み合わせでできる複合関係を扱う。[4] これは現在の計算機の性能等による制約のため、これ以上の複合関係を扱うことが困難なためである。また、基本オブジェクト数が2の場合は、単に基本オブジェクト間関係を扱っているにすぎない。

基本オブジェクト数3における複合関係は、基本オブジェクトが3個となるため、基本オブジェクト間関係を3個組み合わせたものとなる。具体的には、線分オブジェクト、面オブジェクトの数の構成により4種類に分類できる。

4 隣接オブジェクトグループ

4.1 物体の3次元再構成に有効な複合関係の形成

これまでの我々の研究では、基本オブジェクト数が3と4の場合の複合関係の分布状況の調査を画像のすべての基本オブジェクトを対象として行った。

3つもしくは4つの基本オブジェクトの選択は、基本オブジェクトの位置と無関係に行っていたため、近距離と遠距離の基本オブジェクト間の関係を同じ重みで扱っていたことになる。また2線分オブジェクト間の関係には平行という関係があり、これは遠距離の2オブジェクト間でも成立するので、関係数が爆発的に増加するという不都合な点があった。そこで、局所的な範囲で物体の3次元再構成に有効な複合関係を定めるために、隣接オブジェクトグループを導入した。[4]

4.2 基準オブジェクトと隣接オブジェクト

ここでは隣接オブジェクトグループについて述べる。ある1つの基本オブジェクトに注目し、これを基準オブジェクトと呼ぶことにする。すると、この基準オブジェクトの周囲には、複数の基本オブジェクトが存在することになる。この複数のオブジェクトのうち、基準オブジェクトとn回の接続関係で結ばれている基本オブジェクトをn隣接オブジェクトと呼ぶ。ここでいうn回の接続関係とは、基準オブジェクトから、接続関係にあるオブジェクトを辿ることで最低n番目に到達する基本オブジェクトのことをいう。また、 $\forall m < n$ なるすべてのm隣接オブジェクトと基準オブジェクトを合わせてn隣接オブジェクトグループと呼ぶことにする。

5 隣接オブジェクトグループにおける複合関係分布による線分の3次元構造推定

1隣接オブジェクトグループと3オブジェクトの複合関係を組み合わせ、線分を基準オブジェクトとする1隣接オブジェクトに含まれる画像オブジェクト間の複合関係分布を用いて、線分の3次元構造の推定を行う。

線分の1隣接オブジェクトグループに含まれる画像オブジェクトの数は基本オブジェクトである線分の長さに依存して大きく変動するので、複合関係分布は、その割合を利用する。

5.1 線分の3次元構造推定

学習データにおける各ラベルごとの隣接オブジェクトグループにおける複合関係数の割合を用いて線分の3次元構造推定を、以下のように行った。

$$E(l, L) = \sum_{c \in C} (r(c, l) \times S(c, L)) \quad (1)$$

但し、式中の変数は以下に示すものとする。

l	線分
L	3次元構造ラベル
C	すべての複合関係
$r(c, l)$	線分 l の1隣接オブジェクトグループ中の複合関係 c の割合
$S(c, L)$	学習データの基本オブジェクトのラベル L の有無と基準オブジェクトが存在する隣接オブジェクトグループ中の複合関係 c の割合の相関係数
$E(l, L)$	線分 l がラベル L を持つ度合の推定値

まず、線分 l によってできる1隣接オブジェクトグループ中の複合関係 c の割合 $r(c, l)$ を求める。また、学習データ中の基本オブジェクトのラベル L の有無と基準オブジェクトが存在する隣接オブジェクトグループ中の複合関係 c の割合の両者の相関係数 $S(c, L)$ を求めておく。さらに、上記2つの変数の積の総和を求めることにより、線分 l がラベル L を持つ度合の推定値を算出している。線分 l に対する $E(l, edge+)$ 、 $E(l, edge-)$ 、 $E(l, boundary)$ 、 $E(l, crack)$ 、 $E(l, on - face)$ を求め、最大の値を持つ3次元構造ラベルを予測ラベルとする。変数 $S(c, L)$ における、基本オブジェクトのラベル L の有無は、1と-1の2つの値を用いて数値として表現する。推定値と数値化したラベルの例を表1に示す。

求めた線分 l がラベル L を持つ度合の推定値は、ラベルを1と-1の2つの値で表したため、-1から1までの範囲の値をとる。推定値は大きいほどラベルである可能性が大きいことを示している。

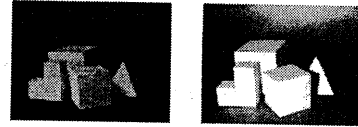
表 1: 数値化した正解ラベルと算出した相関の例

	label	line67	line68	line69	...
ラベル	b	1	-1	1	...
	ep	-1	-1	-1	...
	on	-1	1	-1	...
推測値 (×100)	b	6.559	-18.5	16.2	...
	ep	-6.35	-28.8	-17.7	...
	on	-30.3	38.96	-22.5	...
推測 順位	b	0	1	0	...
	ep	1	2	1	...
	on	2	0	2	...
推測 結果	b	1	0	1	...
	ep	0	0	0	...
	on	0	1	0	...

5.2 実験結果

我々は前節までに述べた方法で、図 7 に示す実験画像について線分の 3 次元構造推定を行った。3 枚の実験画像からは合計 238 本の線分オブジェクトを抽出することができ、このそれぞれを基準オブジェクトとした隣接オブジェクトグループを作成した。また、線分オブジェクト 238 本中 168 本にラベル boundary を、53 本にラベル edge+ を、そして残りの 17 本にはラベル on-face を付加した。表 2 に、抽出した基本オブジェクトの数を示す。表 3 は、各画像の線分に対し付加した 3 次元構造ラベルの数を示している。物体の境界を示すラベル boundary が最も多く、影を示すラベル on-face はわずかに取れた程度だった。また、ラベル edge- と crack については、該当する線分を抽出することができなかった。表 4 には、ラベル別の各隣接オブジェクトグループごとの複合関係数を示す。これにより 1 つの隣接オブジェクトグループにおける複合関係の平均個数が見える。

また、これらのデータをもとに評価式 1 による線分の 3 次元構造推定を行った結果を表 5 に示す。



(a) box02

(b) box03



(c) box05

図 7: 実験画像

表 2: 基本オブジェクトの抽出

imageID	線分数	領域数
box02	66	11
box03	99	21
box05	73	29

表 3: 各画像におけるラベル数

imageID	boundary	edge+	on-face	total
box02	56	10	0	66
box03	58	35	6	99
box05	54	8	11	73
total	168	53	17	238

表 4: 各隣接オブジェクトグループごとの複合関係数

	boundary	edge+	on-face
ラベル数	168	53	17
複合関係の総数	35953	21641	3468
各隣接オブジェクトグループごとの複合関係数	214.01	408.32	204.00

表5: 隣接オブジェクトグループにおける複合関係による線分の3次元構造推定

ラベル	ラベル数	ラベルの平均正解順位
boundary	168	0.017
edge+	53	0.188
on-face	17	0.058
total	238	0.058

5.3 推定の評価と考察

3枚の簡単な画像より抽出された238本の線分オブジェクトには、それぞれ表3に示すような3次元構造ラベルの付加を行い、これを評価式1によって推測した。推定の結果は、推定の正誤ではなく正しい3次元構造ラベルが得られた順位で行った。これは、誤りの程度を示す指標となる。その結果、表5に示すような、3次元構造ラベルの推測における結果の正解順位を得ることができた。この値は0を基準としているので、正解順位の値が0であれば確実に正しいラベルを推測することを示している。また、値の増加に従い、ラベルの推測に誤りが生じる可能性が高くなることを示している。これによると、物体の輪郭の情報となるラベル boundaryが、かなりの確率で1位となっていることが分かる。また、他の2つのラベルについても良い結果が得られており、精度の高さが伺える。得られた全般のデータに目を向けると、ほとんどの場合が1番目に正解のラベルを推測しており、ごく稀に正解ラベルの順位が2位、3位となる程度である。そして、全体の平均で0.058の値をとることから、かなりの確率で1番目に正しいラベルを見つけ出すことができることを示している。よって、本報告で提案した隣接オブジェクトグループにおける複合関係分布を用いた線分の3次元構造推定方式は、3次元構造を正しく推定できることが明かとなった。

6 おわりに

本報告では、画像の境界と領域の両者の関係の組合せの隣接オブジェクトグループ中における分布を用いて、隣接オブジェクトグループを構成する基準となった線分の3次元構造を推定する方法を示した。

本方式では、画像オブジェクト間の関係のみを用いており、個々の画像オブジェクトの特徴量は一切利用していない。そのため、本方式で得られた結果は、画像オブジェクトの特徴に基づくシーン解釈方式と組み合わせて利用することでシーンを理解する大きな助けとなる。

本報告で提案した方式が、自然画像においてどの程度の能力を持つかは定かでないが、画像オブジェクトの特徴量に基づく各種のシーン解釈方式と組み合わせることでより良いシーン理解方式を実現する一助となる。

隣接オブジェクトグループと画像オブジェクト間関係の組合せを用いての領域に関する3次元構造の推定などが今後の課題である。

参考文献

- [1] 白井良明, "パターン理解", オーム社, 1987年
- [2] 尾崎弘, 谷口敬治, 小川秀夫, "画像処理: その基礎から応用まで", 共立出版, 1983年
- [3] Atushi SATO, Kyota AOKI, "Description of Middle Level knowledge of Image using Complex Relations", ICARCV '94, pp.1178-1182, 1994
- [4] Kyota AOKI, Masahiko KAMOGAWA, Hiroki AOSHIMA, Kimihiro KIKUSHIMA, "Relations Between Complex Relations of 2-D Objects and 3-D Lines in Real Images", PROCESSING OF ROVPIA '96 pp.45-50, 1996