

〔非公開〕

TR-C-0072

2次元対象物の3次元化手法として
B S E 法の提案

伊庭 嘉仁
Yoshihito IBA

1 9 9 1 . 1 1 . 1 4

A T R 通信システム研究所

2次元対象物の3次元化手法としてBSE法の提案

A Proposal of a BSE Method as a Conversion Algorithm from a 2D Object to its 3D Model

ATR 通信システム研究所

知能処理研究室

伊庭 嘉仁

Abstract

This paper proposes a BSE (Basic Style Extraction) method as a conversion algorithm from a 2D object to its 3D model. A 2D object is lack of one-dimensional information ; namely depth , so it is necessary to compensate that on converting to its 3D model. The BSE method succeeds in acquiring the depth information by combining a feature extraction and a pattern recognition technique with an original knowledge-base. Moreover we can obtain a 3D model from only one 2D object by using this method. In this paper it describes with respect to the BSE method ; about its principle , basic concept , application to the concrete model , extensibility and correlation with a 3D model database.

目次

| | |
|---------------------|------|
| 1. はじめに | p.1 |
| 2. 3次元モデル化への可能性 | p.1 |
| 3. BSE法の基礎 | |
| 3.1 BSE法の原理 | p.2 |
| 3.2 BSE法のアルゴリズム | p.4 |
| 4. BSE法の応用 | |
| 4.1 BSE法の適用例 | p.4 |
| 4.2 より高度なモデルへの発展 | p.6 |
| 5. BSE法の拡張と検討 | |
| 5.1 パターン認識処理の導入 | p.7 |
| 5.2 パターン認識アルゴリズム | p.7 |
| 5.3 3次元モデルデータベースの構築 | p.8 |
| 5.4 3次元モデル主観評価実験 | p.8 |
| 6. おわりに | p.10 |

1. はじめに

仮想的な3次元空間の中で、人間どうしが高度なコミュニケーションを図る場として、臨場感通信会議が提唱されている [1]。現在、通信システムの高度化は単に情報のみの伝達だけでなく、意思や概念等、抽象的感覚の共有を実現しつつある。臨場感通信会議ではコンピュータにより高度な協調作業空間がシミュレートされ、遠隔地に分散した人々が、一同に介した感覚で意思の疎通を行なうことが可能である。このような場を創造するためには、よりユーザーフレンドリなヒューマンインターフェイス技術がなければならない。我々は、仮想空間に表示された作業対象物に対し、手で直接的に操作が可能なデータグローブTMによる仮想空間操作を既に実現している [1]。また臨場感通信会議においては、仮想的な協調作業空間へ種々の作業対象物をシミュレートにより表示する技術が重要である。このとき既存の2次元対象物の平面図1枚から、その3次元モデルを生成した後作業空間に表示し、部品単位でアクセスすると共に3次元モデルデータベースにも同時に登録できるというシステムがあれば、その有用性は極めて大きいと考えられる。

さて2次元対象物から3次元イメージを生成することに関する従来の研究例としては、佐藤らの画像融合についての研究がある [2]。彼らは、2次元対象物の奥行き情報を与えた $2 + \frac{1}{2}$ 次元というモデルを提案している。また堀越らは、超2次元関数を用いて3次元インデクシングによる画像変換について、新しいパラダイムを提唱した [3]。さらにCADの分野においては千田らが、3面図よりもとの立体の自動復元について研究している [4][5][6]。

これらの研究から明らかなように、一般に2次元対象物(本稿では平面図に限る)を3次元モデル化する場合、奥行き情報を如何に与えるかということが問題になる。本稿で提案するBSE(Basic Style Extraction)法は、

特徴抽出およびパターン認識処理と独自の知識ベースを組み合わせることによって、奥行き情報を得ている。また近似的ではあるが、3面図等を用いず、1枚の2次元平面図から3次元モデルを生成できるというのがこの手法の特徴でもある。以下では、まず2次元対象物の3次元化における可能性、BSE法の基礎からその応用、拡張性等について述べ、最後に3次元モデル化に対する基礎的な検討を行なう。なお、本研究は1991年10月7日より11月1日までの約1ヶ月間に、同志社大学工学部からの学外実習としてATR通信システム研究所で行なったものである。

2. 3次元モデル化への可能性

2次元対象物のただ1枚の平面図から、その完全な3次元モデルを復元することは一般的に困難である。ただし3次元モデル化する際、適当な条件を仮定するなら、可能な場合がある。Fig 1は平行移動系で、2次元対象物を単純に前後どちらかへ掃引することにより厚みを持たせ、3次元化するイメージを表したもので、厚みが一定であるオブジェクトに対して有効である。またこの他にもFig 2のように、2次元対象物を回転させて3次元化する手法(回転系)がある。特にCADなどの分野では、平行移動系や回転系などにより得られたプリミティブに対して集合演算を施し、より複雑な3次元モデルの合成を行なっている。



Fig. 1 Sample of parallel - movement system

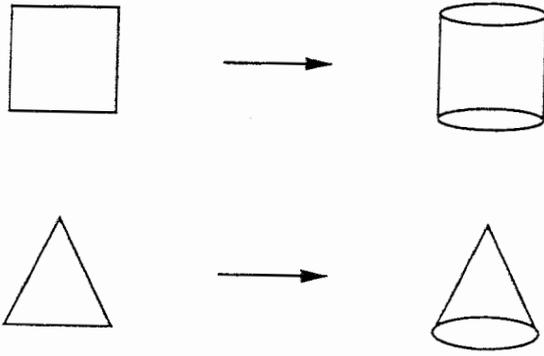


Fig. 2 Sample of rotation

直接的な奥行き情報がなくとも、幾何学的変換によって、ある程度の3次元化は可能である。いま2次元対象物の3次元モデル化が、ある特定の幾何学的対応関係に従うものとする。例えば、2次元の三角形、四角形を、それぞれ3次元の(正)四角錐、直方体(立方体)に対応させる。このときFig 3左に示す「家」の2次元平面図を3次元化するには、いったんこの家を幾何学的に同じ特徴を有する部分(この場合、三角形の「屋根」と四角形の「部屋」)に分解し各々について先の対応に従って3次元化したのち、その結果生成されたプリミティブを再合成すればよい。すなわち2次元対象物をこのような幾何学的特徴を有する部分に分解することができるなら、3次元モデル化への可能性は、さらに拡がるといえる。換言するなら3次元モデルを幾何学的基本要素集合体としてとらえるわけである。このことは、1枚の2次元図面から3次元モデルを復元する手法として本稿で提案するBSE法の基礎原理となっている。

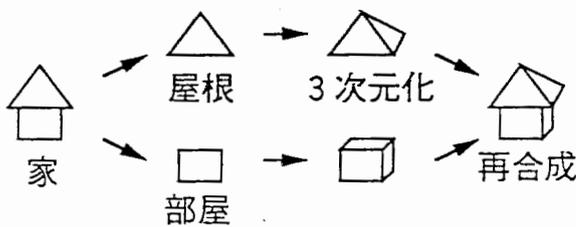


Fig. 3 Sample of 3D conversion algorithm

3. BSE法の基礎

3.1 BSE法の原理

BSE(Basic Style Extraction)法とは、その名が示すように2次元対象物から基本的特徴を抽出することによって3次元モデル化しようという一連の手法である。これをFig 4の寺社建造物(法隆寺金堂)を例にとりて説明しよう。2章でも述べたように、2次元対象物の1枚の平面図から、その完全な3次元モデルを復元することは、一般的に困難である。ところがよく考えてみると、我々人間は、2次元図面よりその3次元モデルを容易に推測あるいはイメージできる場合が多い。これは何故かという人間は、常識や過去の経験というものを総括した膨大な知識データベースをもっているからである。さらに人間の場合、形状的特徴を理解する力、すなわちパターン認識能力については、コンピュータに比べ、はるかに優れている。しかしこのことは逆に、そのような人間の知識処理をコンピュータに実行させることができれば、シミュレーションにより3次元モデル化が可能であることを示唆している。これがBSE法の原理である。つまり、人間の常識や経験といったものを知識ベースとしてコンピュータに与え、2次元図面の奥行き部分を推測しようというわけである。そのときBSE法では、始めに対象物をセグメントに分割し、その基本的特徴を抽出するとともに、各々のセグメントに知識ベースを適用して(例えば4面対象であるという情報を与えて)3次元変換する。そして生成された3次元プリミティブを再合成して3次元モデルを得るわけである。ここで問題となるのが、セグメント化の方法、特徴抽出法、知識ベースの利用方法であり、以下でBSE法におけるそれらの原理を示す。(但し2次元対象物のイメージはスキャナ等でコンピュータに取り込まれ、スクリーン上に表示されているものとする。)

(1) セグメント化

セグメント化とは、2次元対象物を幾何学的に同じ特徴を有する部分に分割することで、現段階では(3)で述べるオープンカテゴリに従って人間(ユーザ)が行なう。Fig 5にFig 4の金堂をセグメント化した結果を示した。

(2) 特徴抽出

これには2つの方法がある。1つは、オープンカテゴリにより得られた情報を検索キーとして、特徴DBよりセグメントの特徴を間接的に抽出し、そのサイズは、人間がポインティングデバイス等で検出するという方法、そしてもう1つは、パターン認識処理を用いてコンピュータが自動的に特徴を抽出するという方法である。後者については、5章で取り扱う。

(3) 知識ベースの利用

知識ベースは、パーツDBと特徴DBより構成されており、その概要をFig 6に示す。BSE法のもつ知識ベースは、オープンカテゴリという概念に基づいて、一部ユーザに公開されるのが特徴である。いま階層化されているパーツDBの各層を、最上層からそれぞれレベル1,2,3..と対応づけるとき、パーツDBの上層部(レベル2まで)をオープンにし、2次元対象物に対して改じめコンピュータがもっているパーツカテゴリをユーザに呈示する、というのがオープンカテゴリという概念である。この概念に従うと、対象物はカテゴリ単位でセグメント化される。その結果、それ以降の処理においてコンピュータが、機能的に分割されたセグメントに対して、さらに詳しく知識ベースを検索できるようになるし、また5章で述べる3次元モデルデータベースの構築を強力に支援することが可能である。次に特徴DBには、抽出された各セグメントを3次元化するための様々な情報が入っている。例えば、特徴DBに'対象物は4面对称である'という情報が入っているとすると、3次元化は比較的容易で、三角形なら四角錐に変換すればよい。ただしBSE法では、特徴を抽出して3次元モデルを作成するので、細部の形状や附属物については無視している。

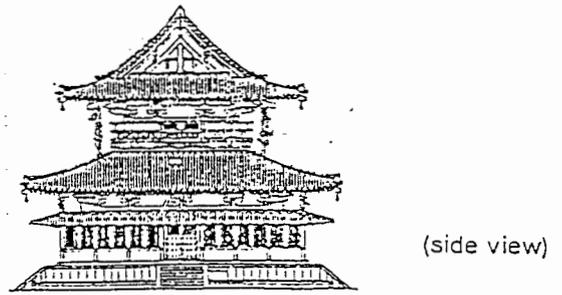


Fig. 4 Sample of 2D object (KONDOU)

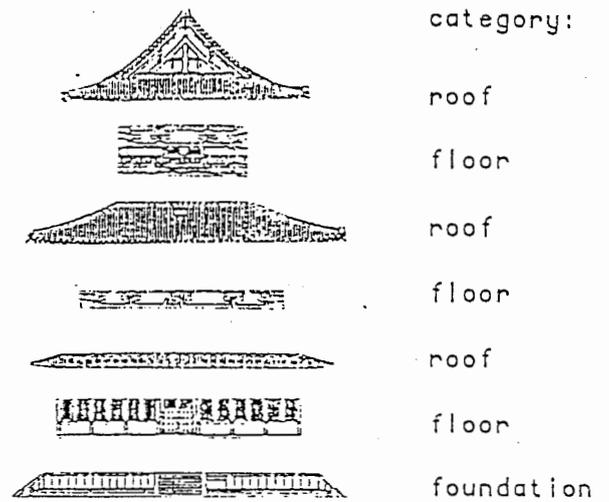


Fig. 5 Segmentation referring to open category

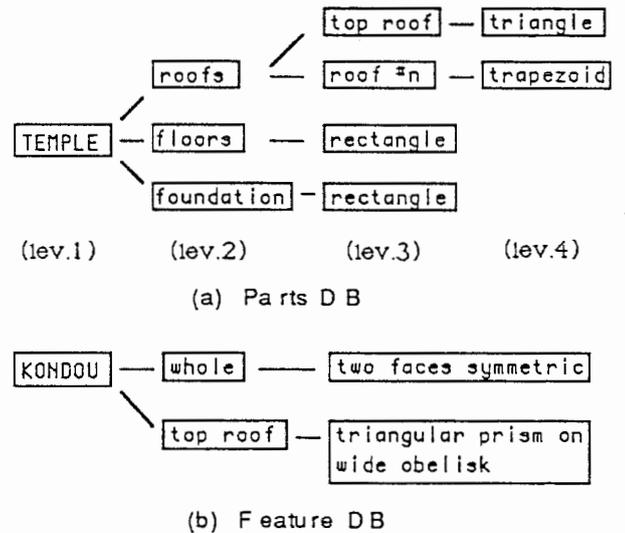


Fig. 6 Contents of knowledge-base

3.2 BSE 法のアルゴリズム

BSE 法のアルゴリズムは、入力セッション、知識処理セッション、出力セッションという 3 つのセッションに分かれている。原理については 3.1 節で述べたから、ここでは、その原理に基づいた一連の手法を、論理的にどう結合させればよいかについて以下に示した。また、このアルゴリズムに従って BSE 法を実行するためのシステム構成を Fig 7 に示した。

入力セッション

1. スキャナ等により 2 次元図面を入力
2. 対象物の名称と一般的カテゴリを入力
3. その情報に従ってパーツ DB 検索
4. オープンカテゴリによりレベル 2 までを表示
5. それに従ってユーザがセグメント化
6. 同時に各セグメントのカテゴリ入力

知識処理セッション

7. コンピュータは 2 次元図面よりパターン認識処理で各セグメントの基本スタイル抽出
8. 各セグメント情報より特徴 DB 検索
9. (7) のスタイル情報と (8) の知識より 3 次元プリミティブ生成 (全てのセグメントについて)

出力セッション

10. 生成された各 3 次元プリミティブを再構成し 3 次元モデル作成
11. 3 次元仮想空間に表示
12. 必要なら 3 次元モデルデータベースに登録

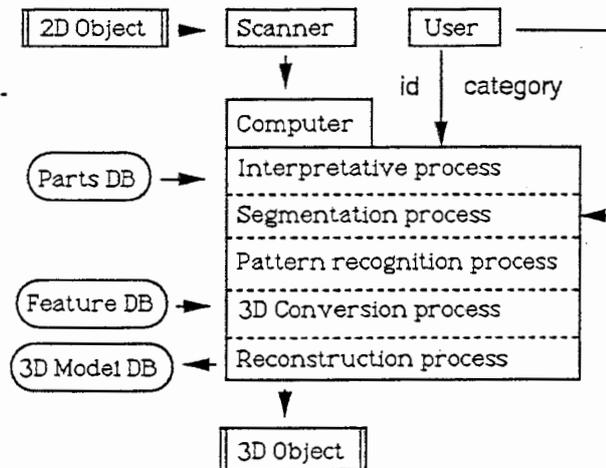


Fig. 7 BSE system diagram

4. BSE 法の応用

4.1 BSE 法の適用例

(a) 法隆寺金堂への適用

法隆寺金堂の 2 次元イメージは Fig 4 に既に示したが、これに BSE 法を適用し、3 次元モデル化する。始めに 3.2 節で示したアルゴリズムで入力セッションの 2-4 を処理する Interpretative Process の実行結果を Fig 8 に示す。(言語は C、マシンは SUN4)

Fig 8において' : 'の右側がユーザの入力である。ユーザが対象物の名称とカテゴリを入力すると、オープンカテゴリにより基本構成要素が示される。これに従ってセグメント化した結果がFig 5である。これより基本的特徴を抽出し、3次元プリミティブを生成して3次元モデル化した結果をFig 9,10に示す。但し、特徴DBの内容として4面对称を仮定した。このことはFig 9の上面図に反映されている。

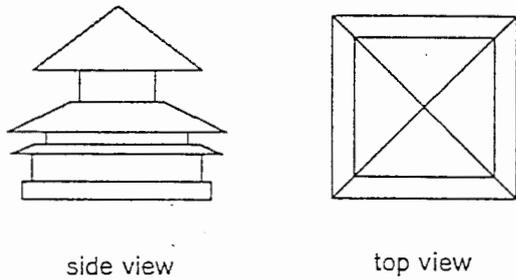


Fig. 9 Sample of 3D model (KONDOU)



Fig. 10 Texture added general view

(b) 法隆寺五重の塔への適用

今度は法隆寺五重の塔へBSE法を適用する。五重の塔の2次元イメージをFig 11に、BSE法を適用した結果をFig 12,13に示す。これら3次元モデルが、もとの2次元モデルに対しどの程度の再現性を有するのか、ということについては、5.4節の主観評価実験のところで検討する。

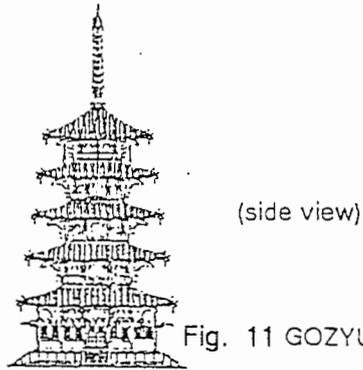


Fig. 11 GOZYUNOTOU as 2D object

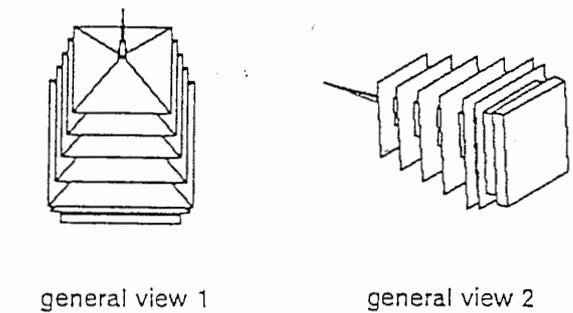
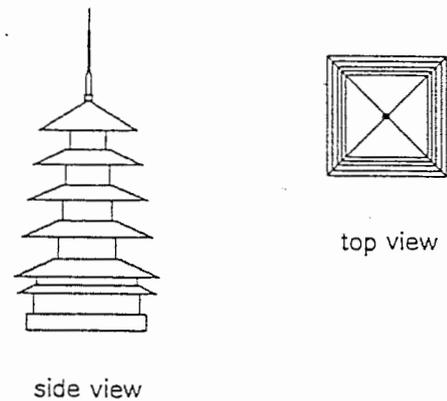
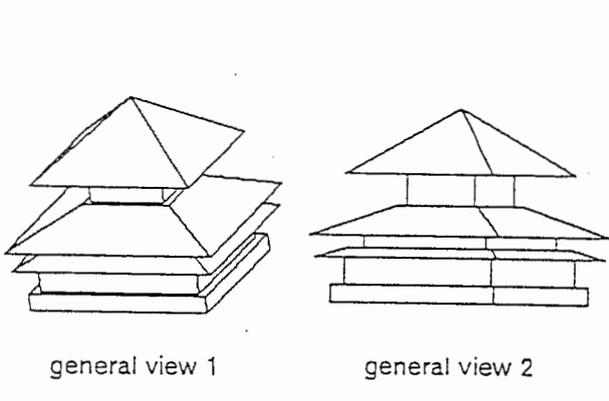


Fig. 12 Sample of 3D model (GOZYUNOTOU)



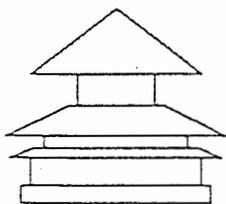
Fig. 13 Texture added general view

これらCGの表示には、FAMOTIK社のHOOPSTMというCGソフトウェアを用いている。具体的には、このソフトウェアを使用してFig 7に示す3D Conversion ProcessとReconstruction Processを著者が開発しBSEシステムに組み込んでいる。

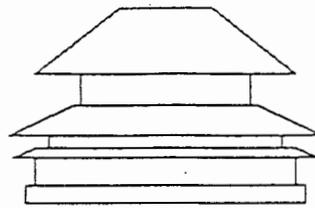
4.2 より高度なモデルへの発展

知識ベースにどのような情報をもたせるかということが、生成される3次元モデルを決定する重要な要因となっている。4.1節では対象物の構造として4面对称を仮定した。しかし、特に金堂の場合、Fig 4の側面図では分からないが、4面对称ではない。前後と左右が対称な2面对称である。そこで、知識ベースを付加し、より現実感のある3次元モデルを生成するための最適化手法について検討した。

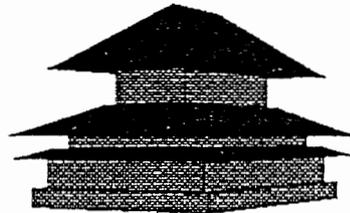
はじめに、適当な奥行きを仮定し、2面对称構造であるという知識を与えた場合の結果をFig 14に示す。



side view



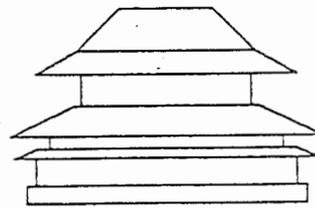
front view



general view

Fig. 14 Assuming two faces symmetry

これで全体の概形は良くなってきたが、1番上の屋根の部分が、直線近値により少しかたぐるしい感がある。そこで、これをさらに2つのセグメントに分割しモデル化しなおしたのが、Fig 15である。



front view



general view

Fig. 15 Modifying the top roof

Fig 15で屋根の部分がある程度改善された。しかし、Fig 4をよく見てみると、屋根の上部はFig 15のように傾いていないことが分かる。そのことを知識ベースに与え、最終的に最適化された3次元モデルをFig 16に示した。このように、知識ベースを付加し改善していくことにより、3次元モデルがよりリアルなものへ発展していくのである。

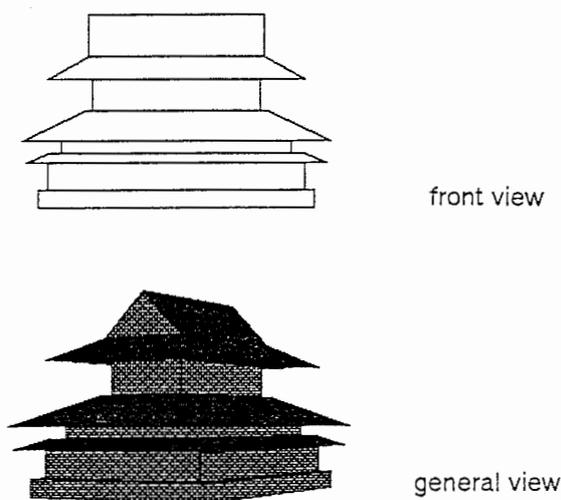


Fig. 16 Optimized 3D model

5. BSE法の拡張と検討

5.1 パターン認識処理の導入

いままでセグメントの形状に関する情報はパーツデータベースより得ていたが、パターン認識処理によって、コンピュータがオブジェクトごとに特徴抽出できるようになれば柔軟で高速、効率化したシステムが実現されよう。しかしながらパターン認識処理とはコンピュータにとって、現在最も難しい処理のひとつであり、未だ完全な理論は、確立されていない。そこで今回は、一般に寺社をセグメント化したときその概形は、三角形か四角形か台形か

のいずれかにほぼ近似できることを考慮し、それら3つの図形に限ってパターン認識を行なう。

5.2 パターン認識アルゴリズム

はじめに対象物を2値化する。(Fig 17)そして2値化イメージをセグメントに分割し、さらに広義の2値化を行なう。広義の2値化とは、ビットイメージを8ビットを単位として表現しなおすことである。水平方向へ(8ビット画素/1ブロック)ごとに走査していき、ブロック内に1ビットでもHigh Value "1"があれば、そのブロックは"1"、全くなければ"0"とする。次にこのようにして得られた概形のヒストグラムをサンプリングにより抽出する。このヒストグラムは単純に対象物の基準面(底辺)からの高さを示すものである。ここまでくれば、後はヒストグラムにおいて最大値の個数を数え、しきい値と照らし合わせて認識すればよい。ここでは、認識パラメータとして以下に示す3つのしきい値を用意している。

- (1) 最大値しきい値
- (2) 三角形しきい値
- (3) 四角形しきい値

(1)は、どの程度の高さがあれば最大値とみなすかというしきい値で、特に対象物の上部概形が複雑な時重要となるファクタである。また(2)は、最大値の個数が何個以下なら三角形とみなすかというしきい値であり、(3)は最大値の個数が何個以上なら長方形とみなすかというしきい値である。これら3つは比率で与えており、(1)は切りとったセグメント枠組の高さに対する比、(2)(3)は対象物の水平方向サンプリング総数(横のビット数/8)に対する比である。

このアルゴリズムに基づき、パターン認識処理を行なった結果をFig 18に示す。特に最初の例については認識パラメータを変化させ誤った認識処理をする結果についても表示した。Fig 18よりパターン認識が、かなり正確に行なわれていることが理解されよう。

定される。Fig 20 の実験資料はランダムに見せ、原画と3次元モデルとの間で評価してもらった。また被験者は、総数6名で内女性2名であった。

(2) 実験に用いた資料

Fig 21 に示すような実験用資料 (カード形式) を作成し実験を行なった。

(3) 実験結果

Fig 22 に実験対象とした4つのモデルと、それぞれの評価パラメータに対する評価値 (平均値) を示す。

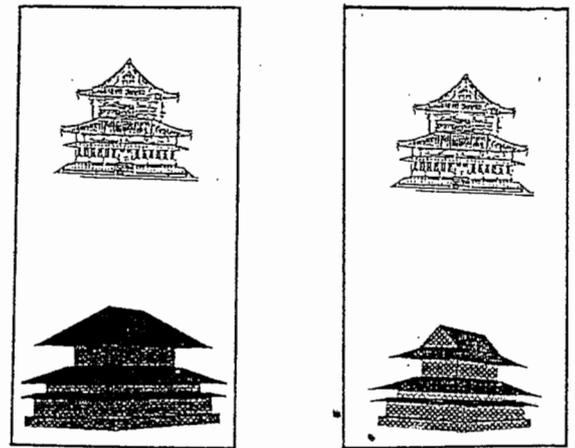


Fig. 21 Tools for experiment

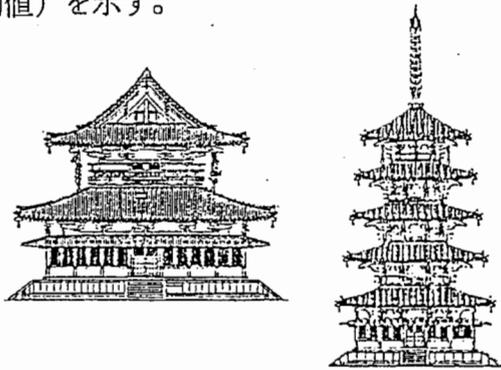


Fig. 20 Original 2D images

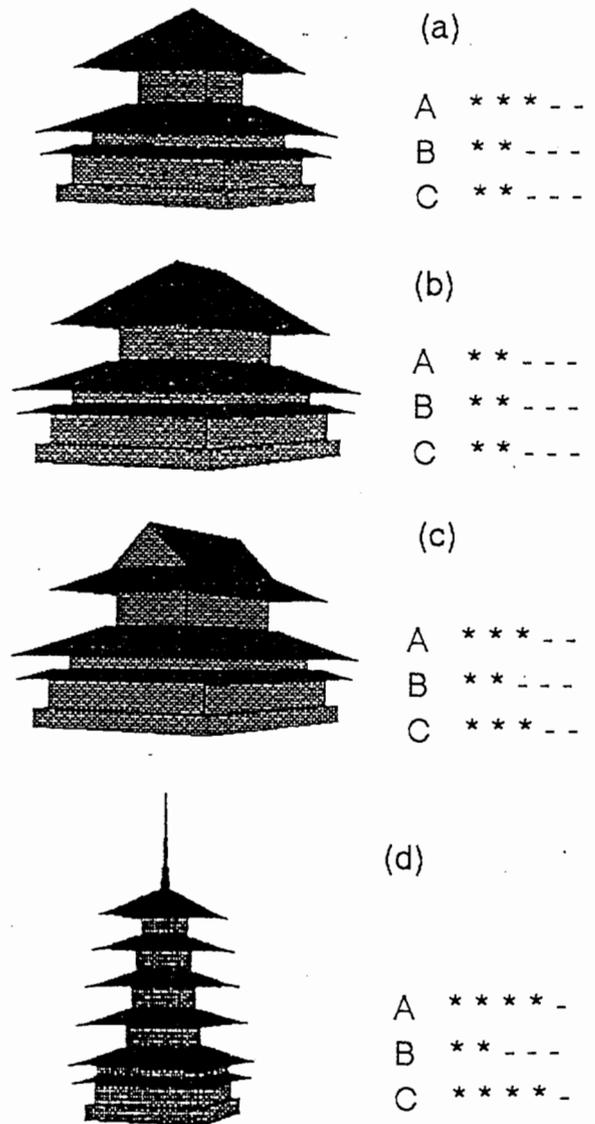


Fig. 22 Results of experiment

(4) 考察

実験結果から金堂より五重の塔の方が相対的に良く評価されていることが分かる。この理由を何人かの被験者に尋ねてみたところ、五重の塔はきれいな対称性を有し、幾何学的にも明確な構造となっているからというのが大多数であった。これは、心理的効化の反映といえる。また、五重の塔については感覚的にも良く知っている人が多く、豊富な情報やイメージが各人の知識ベース（脳裏）に蓄えられているというのも大きな原因の1つである。Fig 22 の金堂の (a) と (b) では、(a) の方が構造的再現度が良かった。これも (a) が、より美しい対称性を有するからであろう。(c) では評価は向上したものの (d) ほどではなかった。また B のパラメータについては、いずれも 2 の評価であることから、特徴抽出だけでは機能的再現が難しいということが分かった。この実験により、対象物が幾何学的に明確な構造をしていて対称性を有するならば、BSE 法により 3 次元モデルをかなり再現できるということが確認された。

6. おわりに

本稿において、1 枚の 2 次元対称物平面図から 3 次元モデルを生成する手法として BSE 法を提案し、3 次元変換について基礎的な検討を加えた。その結果、複雑な 2 次元対称物であってもパターン認識処理でその基本的な特徴をとり出し、知識ベースを利用することによってある程度の 3 次元化は可能であるということが判明した。しかしながら、BSE 法では細部の形状を無視しており、対象物に明確な幾何学的特徴がない場合、一般的な 3 次元化の実現は困難である。従ってこれからの課題としては、BSE 法を階層的に適用することによって細部形状復元への試み、曲面形状についての対応、複雑な対象物に対するセグメント化手法、等があり、さらなる検討が望まれる。今後、臨場感通信会議等において仮想空間上に 3 次元作業対象物を表示し、これ

をアクセスして協調作業を実現するという状況の中で、手元の 2 次元平面図 1 枚から 3 次元モデルを比較的高速自動的に生成し、3 次元モデルデータベースを構築できる BSE 法は、有力なツールになると考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、日頃御指導頂く ATR 通信システム研究所葉原耕平会長、寺島信義社長、岸野室長に対し、深く感謝いたします。また、終始指導に御尽力いただいた望月主任研究員、いつも温かく励まして下さった知能処理研究室の皆様にも、心から感謝の念を表します。

<参考文献>

- 1) 岸野：“臨場感通信会議”，IE89-35, 1989
- 2) 佐藤、井口：“2D-3D 画像の融合”，International Symposium “Computer World '90”，pp146-152, 1990
- 3) 堀越、笠原：“画像データベースにおける 3 次元インデクシング”，IE88-111, pp33-40, 1988
- 4) 千田：“さまざまなモデリング手法”，PIXEL No.107, pp98-104, 1991
- 5) 千田：“信頼性を高める工夫”，PIXEL No.108, pp46-51, 1991
- 6) 千田：“ソリッドモデルの入力と基本機能”，PIXEL No.109, pp125-132, 1991
- 7) 望月、岸野：“言語と画像メディアを統合した 3 次元対象物モデル世界生成システムの提案”，HC91-20, 1991
- 8) 木内：“SCIENCE AND TECHNOLOGY 画像認識のはなし”，日刊工業新聞社, pp1-43, 1984
- 9) 中川：“日本建築みどころ事典”，東京堂出版, 1990