

同心円特徴による類似形状検索

喜多伸之

電子技術総合研究所

あらまし 形状の類似度測定はパターン認識の古くからの課題であるだけでなく、画像からのシーン認識にとって非常に重要である。特に形の認識にとって相似変形(平面内での平行移動、回転、拡大縮小)に対する不変性は本質的であるので、これを備えた形状記述に基づく類似度測定法がいくつか提案されてきた。ところが、いずれもその性質を満たすために原理が複雑になっている。ここでは原理が単純で直感的に理解し易い形状記述を提案し、その記述空間上での単純な距離尺度を用いて類似度を測定する手法について述べる。この形状記述は、対象形状を包含する最小の円とその同心円における、円と形状との交叉数と、交叉部分の長さの総和を要素とする特徴ベクトルであり、相似不変性を備えている。本類似度測定法にしたがって、異なる方向から見たときの物体のシルエットや、形に個体差のある同種類の物体のシルエットを対象に類似検索を行ない、本類似度が物体のシルエット形状間の類似性を良く表すことを示す。さらに、アルファベット指文字のシルエットに適用することにより、柔らかい物体の自然な変形に対しても良い性質を持つことを示す。

Similar Shape Retrieval Based on Concentric Circular Features

Nobuyuki KITA

Electrotechnical Laboratory

abstract Similarity measurement between two dimensional shapes is important factor for automatic objects identification from their images. Every existing similarity measurements that are invariant for translation, rotation and dilatation, which are essential property for recognition of shapes, became complicated for satisfying it. This paper proposes a new shape similarity measurement which provides the invariant properties and whose definition is so simple that it can be intuitively understood. In order to testify the effectiveness of the measurement, several similar shape retrieval experiments are carried out. The results demonstrate that the measurement well represents the similarity among the silhouettes of three dimensional objects and finger characters.

1. はじめに

視覚情報において見えの形は非常に大きな割合を占めることから、輪郭形状、骨格形状、シルエット形状などを対象に多くの研究が行なわれてきた。特に、形状の類似度測定はパターン認識の古くからの課題であるだけでなく、画像からのシーン認識にとって重要である。ところが、形状の類似度に関して絶対的な評価基準はなく、目的、対象に依存して様々な手法が提案されてきた。一般にパターン認識、物体識別の立場から考えた場合、次のような形状の変形に対しては類似度が大きくなるのが好ましい。

- 相似変形(平面内での平行移動、回転、拡大縮小)
- 視点のずれによる物体の見えの変形
- 同種異形物体の見えの変形
- 柔らかい物体の状態変化による変形

形状の類似度は、形状を記述空間上に写像したあと、その記述空間上で定義された距離尺度により測定するのが一般的である。したがって、変形に柔軟な類似度測定を行なうためには形状から記述への写像が変形に対して良い性質を持つ必要がある。なかでも相似変形に対する不変性は本質的で、過去これを備えた形状の記述法、及び類似度測定法が多数提案されてきた^[1]。これらは、形状全体の特徴を抽出しそれにより記述する方法と、形状を単純な部分図形に分解しそれを要素として構造記述する方法とに大別される。

前者の代表的なものは、モーメントによる記述^[2]、フーリエ記述^[3,4]、複素自己回帰モデルに基づく記述^[5]などであるが、モーメント以外は形状の外側輪郭しか考慮しておらず、また、いずれも相似不変性を満たすために定義が複雑になっている。

後者は個体差や視点のずれによる見えの変形に対して良好な性質を示す^[6,7]が、形状からの記述の抽出、記述空間上の距離測定が複雑になっている。また類似度に大き

く影響する部分図形への分解は難しい問題である。

ここでは対象を3次元の物体の見えの形、目的を対象の大雑把な分類とした上で、原理が単純で直感的に理解し易い形状記述を提案し、その記述空間上で定義した簡単な距離尺度により類似度を測定する方法について述べる。また、本類似度測定法を用いて類似形状の検索実験を行ない、この類似度が変形に対して良好な性質を持つことを実証する。

2. 形状の記述法

ここで提案する記述法は、穴のある形状や、複数の塊状の形状も扱うことができる。

まず、形状を包含する最小の円を求めその半径 r を均等に n 個に分割する同心円のセットを (C_1, C_2, \dots, C_n) とする(図1a)。次に各同心円 C_i 上において、次のふたつの特徴を抽出する。ひとつは円と形状との交叉数 k_i であり、もうひとつは円と形状の交叉部分の長さの総和であるが、形状の拡大縮小に不変になるよう最小包含円の半径 r で正規化した値 l_i とする(図1b)。各同心円 C_i 上において求めたこれらの特徴を要素とする $2n$ 次元のベクトル、

$$F = (k_1, k_2, \dots, k_n, l_1, l_2, \dots, l_n)$$

がここでの形状記述である。この定義より記述の相似変形に対する不変性は明らかである。

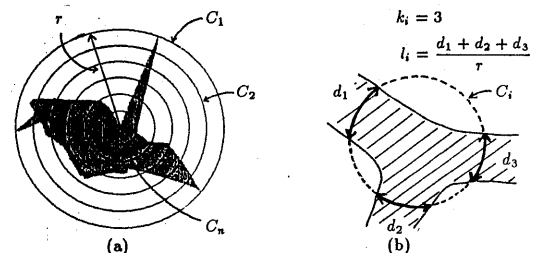


図1. 同心円特徴

3. 記述空間上の距離尺度

前章で述べたように記述自身が相似不変であるので、記述空間上のいかなる距離尺度も相似不変性を満たす。そこでここでは原理の明解性を損なわぬよう、もっとも直感的に理解し易いユークリッド距離を類似度として採用する。ただし、交叉数と交叉長さという異種の特徴を考慮するため次式を用いる。

$$D(p, q) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (k_i^p - k_i^q)^2 + \sum_{j=1}^n \{\alpha(l_j^p - l_j^q)\}^2}$$

α : constants

一般に交叉数と交叉長さが同等に評価されるよう、定数 α は多種多様な形状の集合における交叉数 k_i の分散と交叉長さ l_i の分散をほぼ等しくする値に設定する。

4. 類似形状検索実験と考察

提案した類似度の性質を調べるためにいくつか類似形状検索実験を行なったので、その結果を示し考察する。以下の実験ではいずれも同心円数 n は6、 α は5.0とした。

4.1 机上物体のシルエット形状の類似検索

同じ物体を異なる方向から見たときや、同種であるが形が違う物体を見たときの見えの形の変形に対する本類似度の性質を調べるために、はさみ、クリップなど10種14個の物体を異なる方向から見たときのシルエットを対象に類似検索を行なった。

実際にはサンプルは、机上に置いた物体の像をTVカメラにより15方向から入力した後、単純2値化処理して得た。サンプル名は例えば“scissors1-2”のように記述し、1番目のはさみを第2方向から見たシルエットであることを示している。ここで第1から第11方向までは決まった方向(図2)であり、第12方向以降は任意に選ばれた方向である。

[実験1] 見る方向のずれによる変形に対する性質を調べる。

各種1個、計10個の物体の固定方向から得たシルエット110枚(図3)を対象に、同じ物体の任意方向から得たシルエットを標本

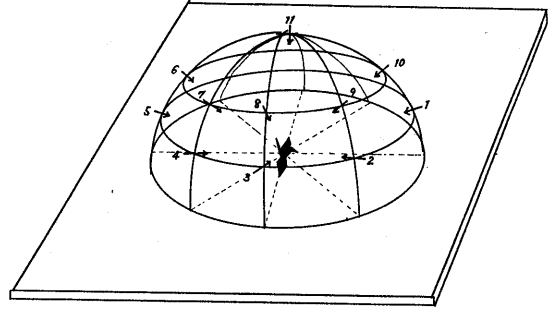


図2. カメラの固定方向

として類似形状を検索した。図4に結果の一部を示す。各段、左端が標本で、右に検索結果を類似度の高い順から7個表示している。下欄はサンプル名と記述空間上での標本との距離である。

40標本についての検索実験結果の内、30例については方向のずれがあるにも関わらず同一物体のシルエットが第1位に選ばれている。他の10標本の検索結果については、同一物体が類似度の2番目に高い物体であったのが5例、3番目が3例、4番目が2例であった。非常に粗い間隔を持つ方向から入力したシルエットを検索対象としたが、類似度の高いほうから3番目の物体までに同一物体が選ばれた確率が95%であったということは、本類似度が物体識別の候補選択手法として適していることを示している。

次に比較のために、Dudaniらが飛行機の識別に用いた3次までのモーメントに基づく形状記述⁸⁾(12次元のベクトル)を使って同様に類似検索を行なった(図5)。

40標本についての検索実験結果の内、27例で同一物体のシルエットが第1位に選ばれ、他の13標本については、同一物体が類似度の2番目に高い物体であったのが3例、3番目が4例、4番目以降だったものが6例であった。類似度の高いほうから3番目の物体までに同一物体が選ばれた確率は85%である。

この結果より、ここで提案した類似度の方が、見る方向のずれによるシルエットの

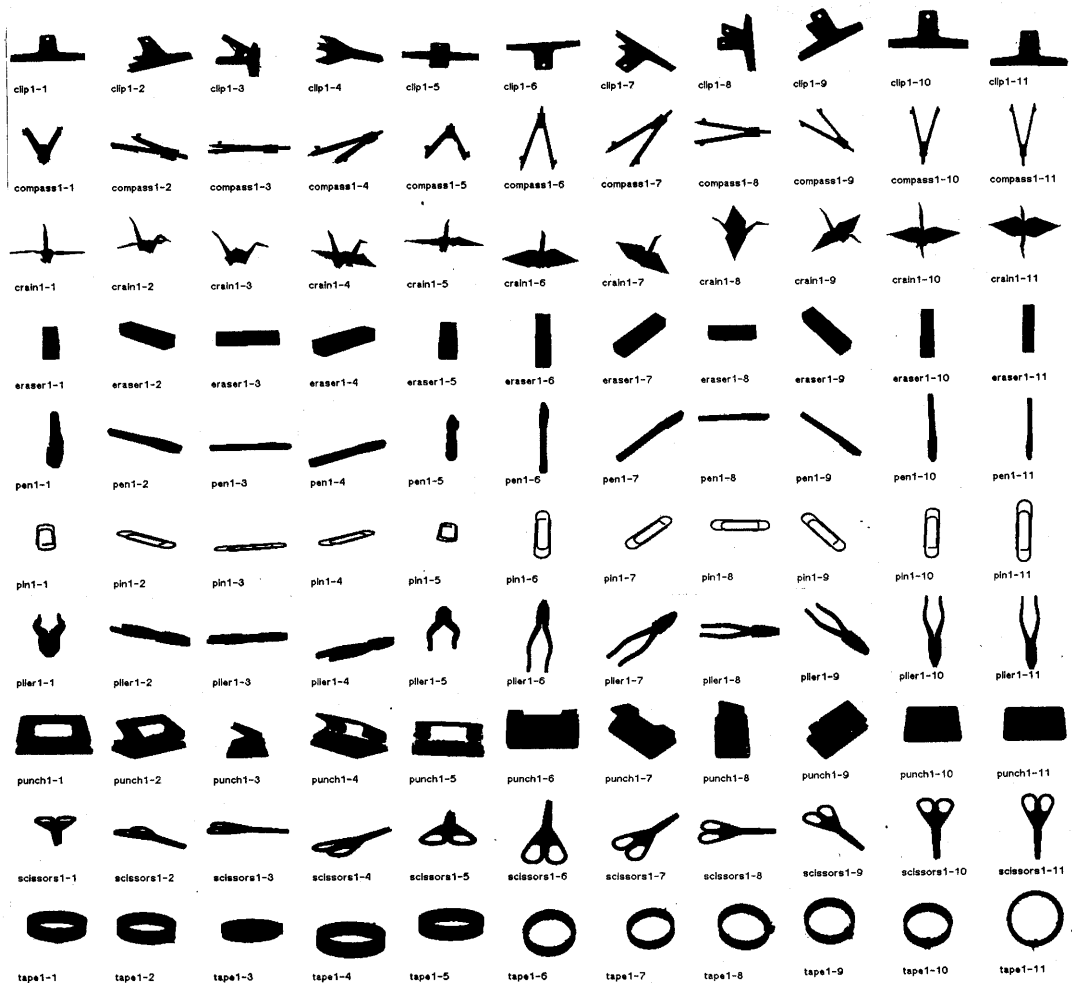


図3. 固定方向から得たシルエット

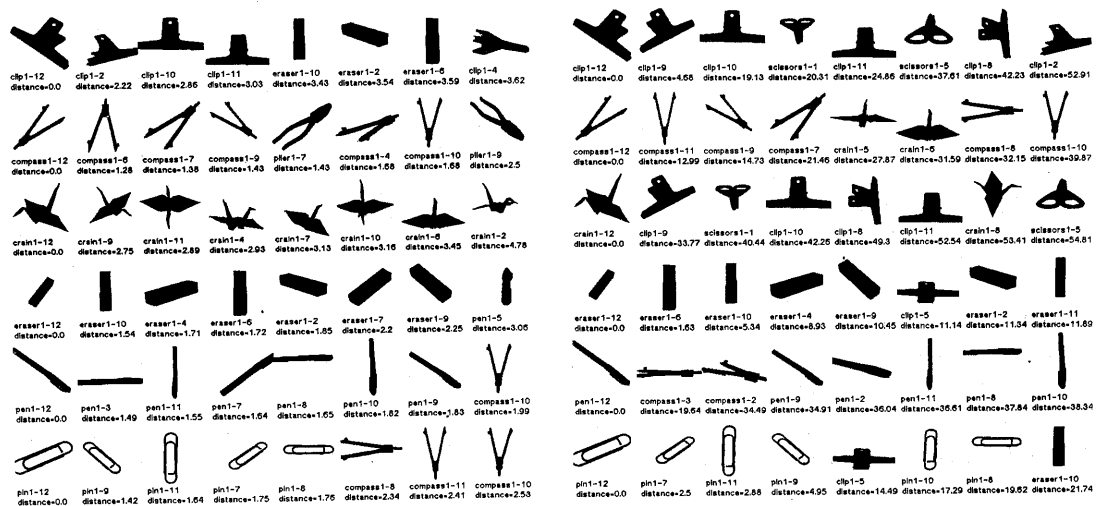


図4. 実験1の結果の一部(次頁につづく)

図5. モーメント記述による検索結果の一部(次頁につづく)

変形の類似性をよく捉えていることがわかる。この性質は任意の姿勢に置かれた物体の識別のためのモデルの数を削減するために有効である。

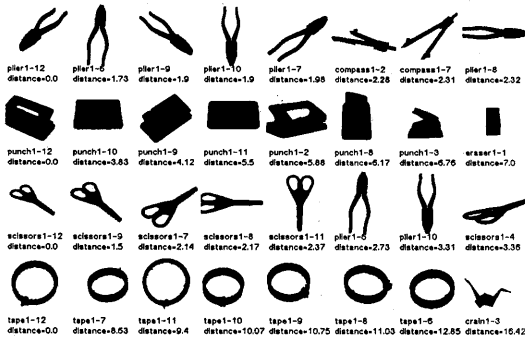


図4. 実験1の結果の一部(つづき)

[実験2] 同種異形の物体の見えの変形に対する性質を調べる。

各種1個、計10個の物体の固定方向から得たシルエット110枚(図3)を対象に、そこ

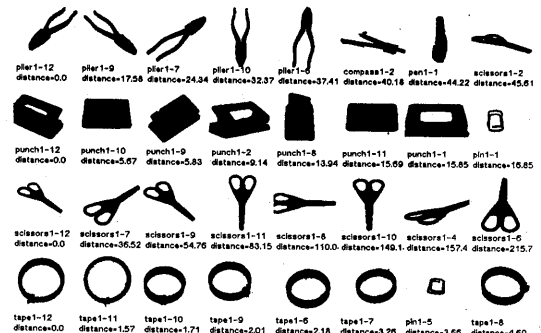


図5. モーメント記述による検索結果の一部(つづき)

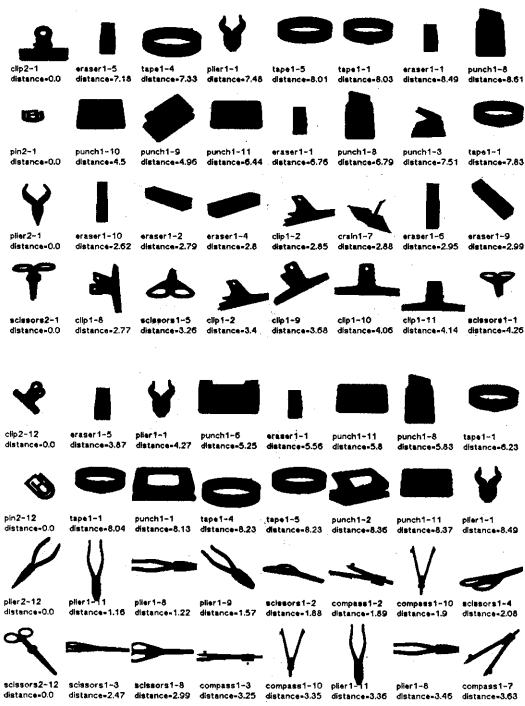


図6. 実験2の結果の一部

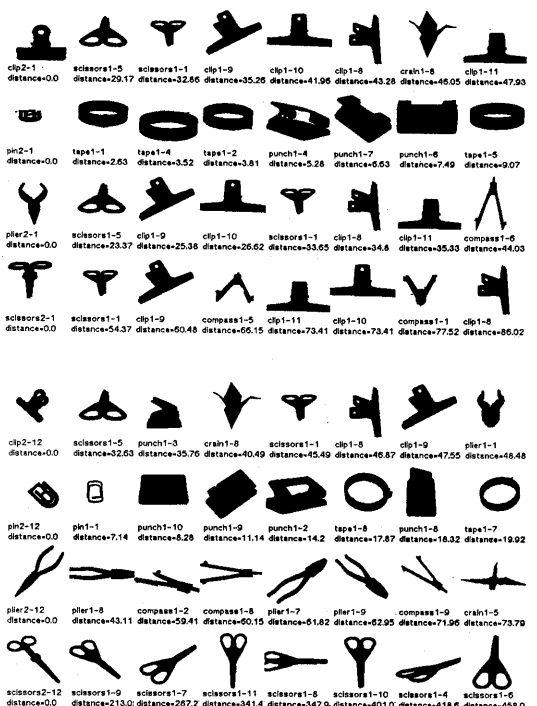


図7. モーメント記述による検索結果の一部

に含まれる物体とは同種異形の物体のシルエットを標本として類似形状を検索した。図6に結果の一部を示す。各段、左端が標本で、右に検索結果を類似度の高い順から7個表示している。下欄はサンプル名と記述空間上での標本との距離である。

60標本についての検索実験結果の内、同種物体のシルエットが第1位に選ばれたのはわずか21例であった。他の39標本の検索結果については、同種物体が類似度の2番目に高い物体に選ばれたのが9例、3番目が4例、4番目以降が26例であった。類似度の高いほうから3番目の物体までに同種物体が選ばれた確率は約57%であった。ただ、“plier2”、“scissors2”に関してだけ見れば、90%以上で類似度の高い3番目の物体までに同種物体が選ばれた。

ちなみに、Dudaniのモーメントに基づく記述による類似検索結果(図7)では、25例で同種物体のシルエットが第1位に選ばれている。また他の35標本については、同種物体が類似度の2番目に高い物体であったのが17例、3番目が4例、4番目以降が14例であった。類似度の高いほうから3番目の物体までに同種物体が選ばれた確率は約77%であった。本類似度で非常に検索確率の低かった“clip2”、“pin2”に関しても60%以上であった。

この結果、同種異形の物体の見え方の変形に対しては全体としてあまり良い性質が得られなかった。しかし、物体形状の変形は多種多様であり、特定の変形に対しては良い結果が得られていることから、実験物体を増やして、物体の形状と本類似度の関係をさらに調べる必要がある。

4.2 指文字シルエット形状の類似検索

柔らかい物体の変形に対する性質を調べるために、指文字のシルエット形状を対象に類似検索を行なった。本実験ではまず被験者にアルファベット指文字(図8)^[9]を2ないし3シリーズ作るよう指示し、それを正面からTVカメラにより入力し、単純2値化処理によって得た形状をサンプルとした(図9)。サンプル名は“finger-nk1-A”のように記

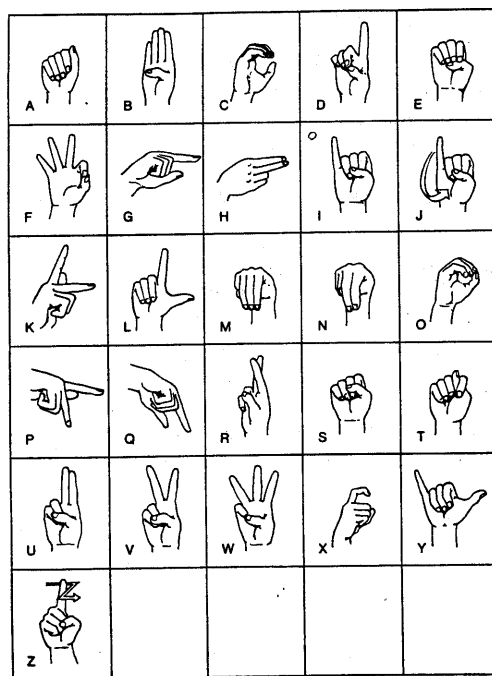


図8. アルファベット指文字

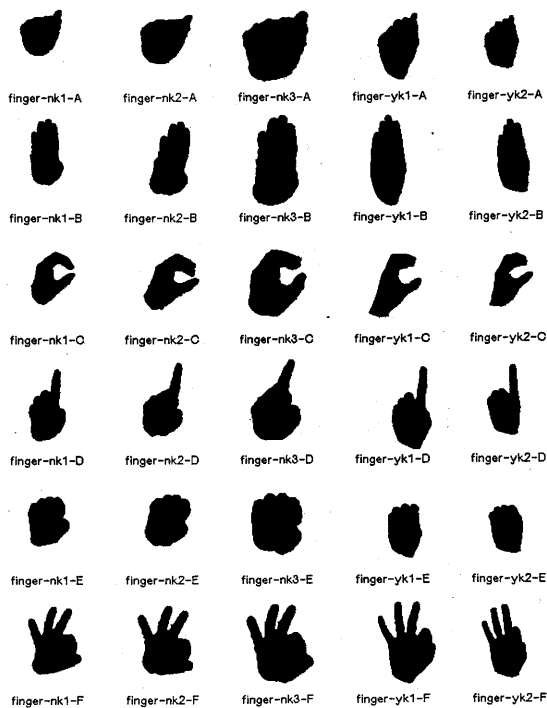


図9. 指文字シルエットの一部

し、これが被験者“nk”の第1シリーズ中のAであることを示している。JとZは各々IとDの型に指の動きを加えたものなのでここでは除いた。また、GとQは45度、KとPは90度回転したもの、HとUは鏡影後90度回転したものなので、相似不変の記述空間上では本来同じ点に写像される。

[実験3] 同一人物の指文字を検索対象とする場合。

“nk”の第3シリーズを標本として、同じ“nk”の第1、2シリーズから類似形状を検索した。図10に検索結果の一部を示す。各段、左端が標本で、右に検索結果を類似度の高い順に7個表示している。下欄は識別名と記述

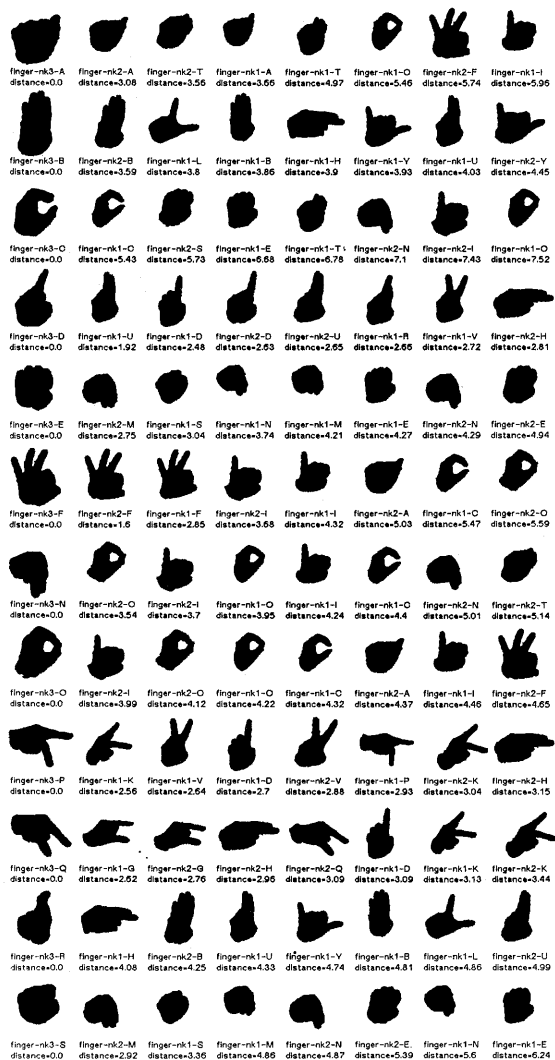


図10. 実験3の結果の一部

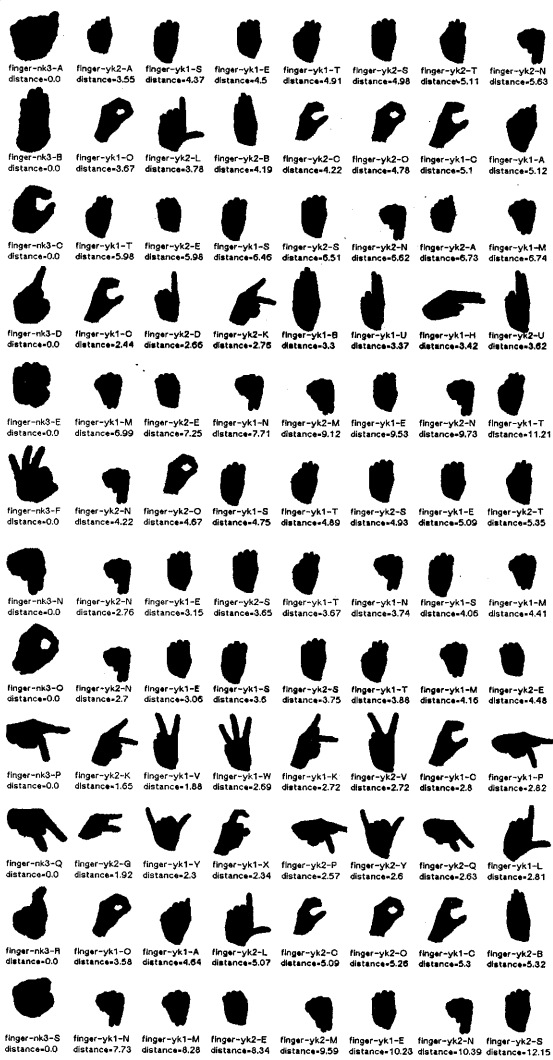


図11. 実験4の結果の一部

空間上での標本との距離である。

24文字の内、11文字で同じ文字の指文字が第1位に選ばれた。また、HPQについては各々相似形であるUKGの指文字が第1位に選ばれている。またEMNTSについては指文字自身の型が互いに良く似ているため記述空間上の接近した位置に写像されるものと思われる。したがって、GQ、HU、PK、EMNSTを同じ型の文字と考えると、24標本中18文字で同じ型の文字の指文字が1位に選ばれ、2位までだと21文字で選ばれている。指文字に不慣れな被験者の変形の大きい指文字に対してもかなりの精度で検索が行なえた。

[実験4] 異なる人物の指文字を検索対象とする場合。

“nk”の第3シリーズを標本として、“yk”の第1、2シリーズから類似形状を検索した。図11に検索結果の一部を示す。各段、左端が標本で、右に検索結果を類似度の高い順に7個表示している。下欄は識別名と記述空間上での標本との距離である。

24文字の内、同じ文字の指文字が第1位に選ばれたのはわずか5文字であった。実験1のときと同様に同じ型の文字について考えても、1位に選ばれたのは12文字、2位までに選ばれたのが13文字であった。この実験結果より本手法上での、異なる被験者の指文字の形状の差は文字間の形状の差と同等に大きいことがわかる。

5. おわりに

同心円状の特徴に基づく形状記述を提案し、その記述空間上で類似度を測定する方法について述べた。さらに、机上物体のシルエットを対象に類似検索実験を行ない、3次元物体の識別に必要な分類能力及び変形に対する柔軟性を備えていることを示した。また、指文字のシルエットの検索実験からは、本人の指文字をモデルとして用いれば本手法により指文字の識別が可能なが示された。

この手法は原理が非常に単純であると同時に、形状記述の抽出、記述間の距離算出

共に容易で、高速に行なえる。ただし、必ずしも記述空間上での距離が人間の感覚と一致しているとはいえないため、大規模データベースからの類似形状粗検索、物体認識のための大分類などに適した手法であるといえる。

[謝辞] 研究の機会を与えて頂いた弓場知能システム部長、有益な討論をして頂いた藤村対話システム室長をはじめとする研究室の皆様へ感謝致します。

[参考文献]

- [1] Pavlidis, T. : “Algorithm for shape analysis of contours and waveforms”, IE³ Trans. Pattern Anal. & Machine Intelli., PAMI-2,4, pp.301-312(1980).
- [2] Teague, M.R. : “Image analysis via the general theory of moments”, J. Opt. Soc. Am., vol.70, no.8, pp.920-930(1980).
- [3] Zahn, C.T. and Roskies, R.Z. : “Fourier descriptors for plane closed curves”, IE³ Trans. Computers, vol.C-21, no.3, pp.269-281(1972).
- [4] 宮武孝文, 松山隆, 長尾真 : “フーリエ記述子を用いたアフィン変換に不変な曲線の認識について”, 情報処理学会論文誌, vol.24, no.1, pp.64-71(1983).
- [5] 栗田多喜夫, 関田巖, 大津展之 : “複素自己同帰モデルに基づく輪郭形状間の距離”, 電子情報通信学会論文誌 D-2, vol.J73-D-2, no.9, pp.1493-1503(1990).
- [6] 伊藤幸俊, 阿部圭一, Arcelli, C. : “2値画像の形状記述のための部分構造への分解の手法”, 画像理解の高度化と高速化シンポジウム予稿集, pp.191-196(1989).
- [7] 守田了, 川嶋稔夫, 青木由直 : “輪郭線形状の階層的記述によるマッチング”, 電子情報通信学会論文誌 D-2, vol.J73-D-2, no.5, pp.717-727(1990).
- [8] Dudani, S.A., Breeding, K.J. and McGhee, R.B. : “Aircraft Identification by moment invariants”, IE³ Trans. Computers, vol.C-26, no.1, pp.39-46(1977).
- [9] 神田和幸 : “指文字の研究”, 光星館(1986).