

研究種目： 若手研究(B)  
 研究期間： 2008～2009  
 課題番号： 20700218  
 研究課題名(和文) ファジィ論理演算子・集約演算子を用いた画像類似度  
 研究課題名(英文) Image similarity generation using fuzzy logical operators and aggregation operators  
 研究代表者  
 吉田 真一 (YOSHIDA SHINICHI)  
 高知工科大学・工学部・講師  
 研究者番号： 30334519

## 研究成果の概要(和文)：

高性能携帯電話やデジタルカメラなどで撮影した大量のデジタル画像の整理、検索を行うための画像の類似性判定の仕組みを開発した。集約演算と呼ばれる新たな演算方式を活用することで、これまで難しかった人間の感覚による画像の類似性判定に近づけることができた。これを画像検索システムに応用し、これまでに比べ人間の要求する画像に近い画像を探し出せることを確認した。

## 研究成果の概要(英文)：

Recent development of digital camera technology have made the amount of image data quite large. We are difficult to classify and retrieve appropriate image data from the large image database. We develop the similarity function among images in order to improve the performance of conventional image retrieval technology. We also constructed the visual key image retrieval system using proposed similarity function and the experimental result shows the precision and recall of the retrieved image improve than those of conventional system.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,600,000	480,000	2,080,000
2009年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,100,000	630,000	2,730,000

## 研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：ファジィ理論

## 1. 研究開始当初の背景

高性能携帯電話やデジタルカメラの普及で、大量の画像情報が蓄積されるようになった。これらの画像情報を整理、分類し、必要な画像を必要な時に適切に取り出すこと

が強く求められるが、既存の手法では、人手で画像を分類するための情報を付加するか、または、色や形状など画像が持つ基本的な情報を用いて画像の間の類似度を算出し、画像の分類を行っていた。人手で画像が何を表しているかのメタ情報を付与する方式では、大

量の画像の増加に対応することが難しいため、色や形状などの画素情報を用いて類似度を設定する画像内容検索が用いられる。

画像内容検索における類似度の算出のためには、多くの画素情報から実数値を返す何らかの関数を設定する必要があるが、どのような関数を設定することが妥当であるかは明らかにされてこなかったため、人間の感覚に合った類似度の設定ができず、結果として画像内容検索の検索精度も低かった。

画像類似度の構築のために、複雑な関数を用いた類似度関数を設定する必要があるが、近年、*t-norm* や *t-conorm* などのファジィ論理演算、さらにそれを一般化した集約演算子をデータの統合に用いる研究がある。画像の類似度も、非線形性が高く複雑な関数をなすものと考えられ、種々のファジィ論理演算や集約演算子を用いた類似度関数を構築することで、より検索精度の高いシステムが構築できると考えた。

## 2. 研究の目的

ファジィ論理演算子や集約演算子を用いた新しい画像類似度の算出式を提案し、画像内容検索の検索精度向上へ応用する。

これまでの単純な荷重平均や線形和による情報の統合ではなく、集約演算子を用いることで、より一般的で非線形な関数を使って、より人間の感覚に近い類似度関数を生成することができる。ファジィ論理演算子 *t-norm* は、よく用いられている *Max* や *Min* だけでなく、これまで数十種類もの多くの演算子が提案されている。画像検索などのマルチメディア情報処理や、感性情報処理の分野へ応用は、これまであまり注目されて来なかった演算子の有用性の発見にもつながる。

本研究では、大量の画像に対して被験者実験を行い、特徴空間中に人間の感じる類似度を少数構築し、この構築した類似度に沿うように、特徴空間全体の類似度の関数の推定を行う。

推定した関数を用いて、大量の画像データの類似度を算出し、データをクラスタリングする。データをクラスタリングすることで、イメージデータベースに対するインデックスを構築でき、ビジュアルキー型画像検索への応用ができる。

本研究で構築した画像データの類似度関数の妥当性を、実際に画像検索を行った際の検索精度で確認する。

## 3. 研究の方法

まず、画像情報の特徴空間の構造を明らかにする。これは、画像データベース中の少数

の画像のサンプルを抜き出し、9名の被験者に対して類似しているか否かを判別させる。この被験者による類似性判定になるべく近い形で、ファジィ論理演算子および集約演算子の組み合わせを推定し、またパラメータ付きの演算子についてはそのパラメータの推定を行う。

被験者数については、広く募ることを当初考慮したが、幅広い感覚を持つ被験者の類似度は想像以上に多様であり、類似度関数の収束が逆に困難となった。そこで、9名ほどの被験者に対して20セットの画像の組に対して類似するか否かの判断をさせ、この結果に関数を収束されることとした。

被験者実験の結果で得られた特徴空間の構造から、41種のファジィ論理演算子、集約演算子を用いて画像特徴空間における類似度関数を遺伝的プログラミングで生成した。41種の演算子を選択した理由は、多くの演算子を用いた予備実験の結果から、演算結果が限界値(0または1)を取る場合が多い関数は、ローカルミニマムに収束しやすく、適切な類似度とは言い難い関数が生成されることが分かり、中間的な値を多く取る関数が有用であると判断したことにある。なお、遺伝的プログラミングのパラメータは、経験的に個体数50、世代数70、交叉確率0.75、逆位確率0.5、突然変異確率0.2と定めた。

## 4. 研究成果

本研究の最大の成果は、被験者実験と遺伝的アルゴリズムによって生成された類似度関数とその生成方法である。生成された関数は、表1に示す4つの演算子の組み合わせのみで表現されていた。

表1 生成された類似度関数に用いられた演算子

集約演算子	パラメータ $p$
<i>Einstein sum</i>	-
<i>Yager's t-norm</i>	$p = 10$
<i>Hamacher's t-conorm</i>	$p = 10$
<i>Schweizer and Sklar's t-conorm</i>	$p = 10$

$$a(x_1, x_2) = \frac{x_1 + x_2}{1 + x_1 x_2}$$

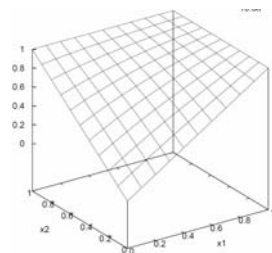


図1 Einstein sum の式・特性

$$a(x_1, x_2) = 1 - \min[1, \sqrt[p]{(1-x_1)^p + (1-x_2)^p}]$$

$p = 10$

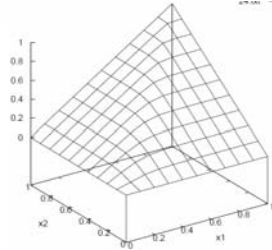


図2 Yager's t-norm の式・特性

$$a(x_1, x_2) = \frac{x_1 + x_2 - x_1 x_2 - (1-p)(x_1 x_2)}{1 - (1-p)x_1 x_2}$$

$p = 10$

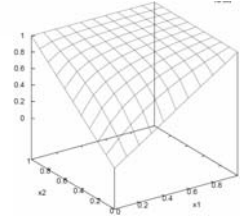


図3 Hamacher's t-conorm の式・特性

$$a(x_1, x_2) = 1 - \sqrt[p]{(1-x_1)^p + (1-x_2)^p - (1-x_1)^p (1-x_2)^p}$$

$p = 10$

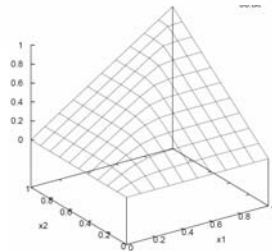


図4 Schweizer and Sklar's t-conorm の式・特性

4つの演算子の組み合わせは複雑で、5325項からなる式が生成された。この式で選択された画像の特徴は、表2の通りである。9つの色特徴、8つの形状特徴、8つのテクスチャ特徴を用いたが、表2の4つのみの特徴による画像類似度の関数が生成された。

表1 類似度に使われた画像特徴

	パラメータ
色モーメント法	Lチャンネルの $\mu$
	aチャンネルの $\gamma$
Texture Neighborhood	$d = 8$
8方向 Sobel フィルタ	$d = 8$

25次元の特徴量は当初より多いと考えていたので、少数の特徴量のみが選択されることは予想されたが、これまでの研究で重要視されていた色特徴だけでなく、2つの色特徴の他にテクスチャ特徴、形状特徴が1つずつ選択されたことは、人間の感覚による画像の類似性判断は、色のみでなく形状、テクスチャも重視されていることを示しているものと考えられる。

遺伝的プログラミングにおいて、世代数 G と類似度生成評価関数値 H の関係を表したものが図5である。

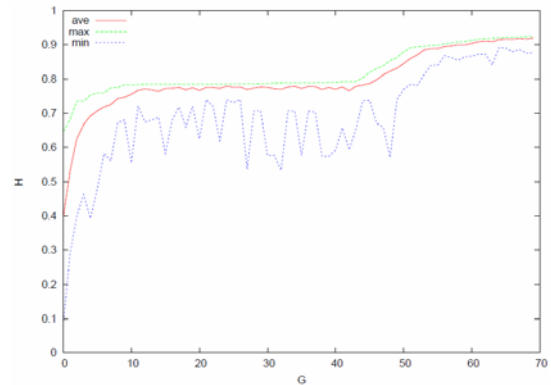


図5 世代進化に対する類似度関数生成の評価値変化

平均的には、10世代程度で目的の式に近い類似度が生成されることが分かった。40世代以降で評価値の上昇が見られることから、計算機の性能が高ければ、さらに高い評価値の高い類似度関数を生成することもできると考えられる。

次に、ビジュアルキー型画像検索システムを構築した(図6)。このシステムは、Webサーバ上にPHPおよびデータベースMySQLにて構築された画像検索システムである。

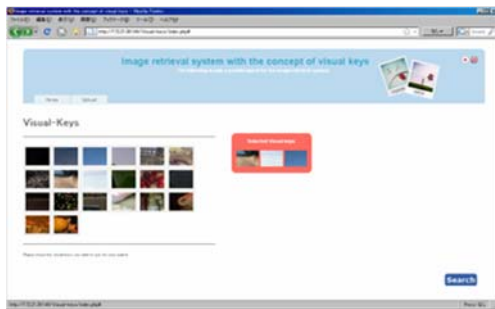


図6 ビジュアルキー型画像検索システム

遺伝的プログラミングで生成した類似度関数をこのシステムに適合させ、ユーザのクエリに対して検索結果の適合率と再現率を調べた。被験者実験に用いた画像群を図7に示す。風景画像、スナップ画像、高照度、低照度、テキストチャなど、多様な画像を用いて実験を行った。画像データベースは、Art Explosion イメージデータより10カテゴリ200枚の画像を用いた。

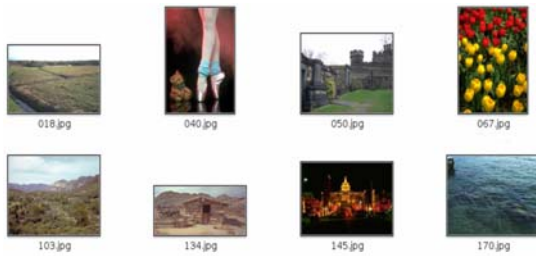


図7 被験者実験に用いた画像

図8と図9に結果を示す。このグラフから、提案した画像類似度関数は、適合率大幅に向上させていることが示された。しかし、再現率がわずかに減少しており、より多くの画像を適合画像として類似度が高いと判断する傾向がある。

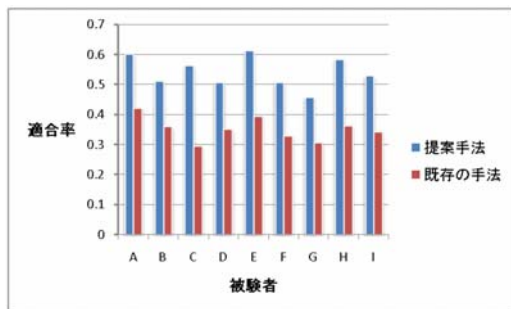


図8 画像検索結果の適合率

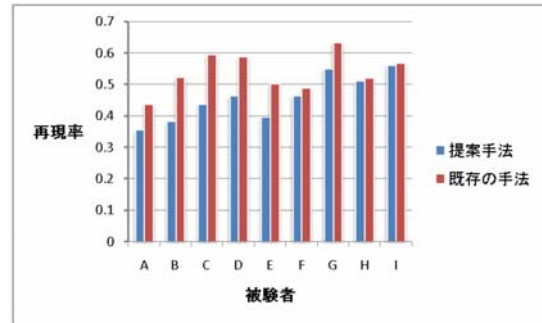


図9 画像検索結果の再現率

なお、適合率と再現率のF値（両者の調和平均）は、既存の手法（Serata[1]）に比べて、2~10ポイント程度向上した。

これらの研究結果を総括すると、ファジィ論理演算子および集約演算子を用いた画像の類似度関数は、これまでの荷重平均関数や線形和の関数よりも豊かな表現性を持っていることが確認できた。人間の感覚は、強い非線形性を持っているが、この非線形性を模倣し人間の感覚に類似したシステムを構築することが広く研究されているが、多項式関数や指数関数を用いる方法に比べ、集約演算子を用いる方法は、微分不可能であることなども含め、より強い非線形性を有しており、この特性は人間の類似性の模倣の一助になっていると考えられる。今後の研究においては、より多様な関数の適用と、他の非線形関数との融合により、より高い類似性の模倣が可能になると予想される。また、これらの関数の生成および解析は、人間の感覚の解明にも道筋を与えるものと期待する。

また、応用面でも携帯型マルチメディアデバイスはさらに広く普及してきており、画像だけでなく、音楽や動画といったより多くのデータの取り扱いに対して、本研究での成果は、情報の分類、整理、検索に活用できるものと考えている。

[1] Manabu Serata, et al. Designing Image Retrieval System with the Concept of Visual Keys, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol. 10 No. 2, 2006

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計1件)

①岡本一志, 董芳艶, 吉田真一, 廣田薫, 離散コサイン変換領域の特徴に基づいた画像索引作成法, 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌), Vol.21 No.6, pp.1092-1102, 2009, 査読有

[学会発表] (計11件)

①岡本一志, 董芳艶, 吉田真一, 廣田薫, Dubois t-norm と Hamacher t-norm に基づいたヒストグラム交差法の提案と類似画像検索への応用, 日本感性工学会 感性フォーラム札幌 2010 講演論文集プログラム, 2010年1月30日, 札幌市立大学サテライトキャンパス, 北海道

② Akinori Moriki, Shinichi Yoshida, Document Clustering using Formal Concept Analysis, International Workshop on Information Technology (IWIT) 2009, (pp.84-88), 16 September 2009, Jilin University Changchun China

③ Makoto Ohigashi, Shinichi Yoshida, Evaluation of corporation using qualitative information and quantitative information, International Workshop on Information Technology (IWIT) 2009, (pp.89-92), 16 September 2009, Jilin University Changchun China

④ Hiromi Tachibana, Kazushi Okamoto, Shinichi Yoshida, Proposal of Low Dimensional Color Feature and Key Presentation Method for Visual-Key Image Retrieval, International Workshop on Information Technology (IWIT) 2009, (pp.93-96), 16 September 2009, Jilin University Changchun China

⑤岡本一志, 董芳艶, 吉田真一, 廣田薫, 離散コサイン変換領域の特徴に基づいた画像索引作成法, 第25回ファジィシステムシンポジウム, 2009年7月15日, 筑波大学, 茨城

⑥岡本一志, 董芳艶, 吉田真一, 廣田薫, DCT領域におけるテクスチャ特徴抽出法, 第33回ファジィ・ワークショップ, 2009年3月16日, 東海大学湘南キャンパス, 神奈川

⑦ Kazuya Komatsu, Yoshimasa Kimura, Shinichi Yoshida, Character feature analysis for handwritten Japanese character recognition, International Conference on Next Era Information Networking (NEINE08) pp.157-161, 23 December 2008, Kochi University of Technology, Kochi, Japan

⑧Yusuke Shiozaki, Shinichi Yoshida, An Attentional Region Detection Method for Extracting Visual Keys in Visual Key Image Retrieval, International Conference on Next Era Information Networking pp.231-234, 23 December 2008, Kochi University of Technology, Kochi, Japan

⑨Akinori Moriki, Shinichi Yoshida, A Proposal of Text Classification using Formal Concept Analysis, International Conference on Next Era Information Networking (NEINE08) pp.167-171, 23 December 2008, Kochi University of Technology, Kochi, Japan

⑩塩崎裕介, 吉田真一, ビジュアルキー型画像検索のための注目領域抽出法, 電子情報通信学会第23回信号処理シンポジウム, 2008年11月14日

⑪岡本一志, 董芳艶, 吉田真一, 廣田薫, DCT領域の特徴を用いた携帯端末向け画像検索, 第31回ファジィ・ワークショップ, 2008年8月1日, 法政大学多摩キャンパス, 東京

[その他]  
解説記事

吉田真一, トロピカル代数, 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌), Vol.21 No.3, p.370, 2009

吉田真一, 補間型ファジィ推論法, 知能と情報 (日本知能情報ファジィ学会誌), Vol.20 No.3, p.335, 2008

## 6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 真一 (YOSHIDA SHINICHI)

高知工科大学・工学部・講師

研究者番号: 30334519

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者

