

構図に基づく類似画像検索のための類似度

山本 敦[†] 小早川 倫広[†]
星 守[†] 大森 匡[†]

本論文は、問合せ画像と構図（領域の構成）が似ている画像を検索するための新しい類似度を提案する。提案する類似度は集合間の類似度として知られている Jaccard 係数を基礎として考案した。提案する類似度の検索性能を評価するために、1,000 枚の領域分割画像を用いて検索実験を行った。検索性能の評価指標には、再現率とすべての正解画像を検索するために必要な検索枚数を正解画像数で割った値（完全検索倍率）を用いた。検索実験の結果によって、提案する類似度が領域分割に基づく検索に有効であることを示した。また、35,155 枚の自然画像に対して検索実験を行った。その結果、提案する類似度によって構図が似ている画像を検索できた。

Similarity Measures for Image Retrieval Based on Composition

ATSUSHI YAMAMOTO,[†] MICHIMIRO KOBAYAKAWA,[†] MAMORU HOSHI[†]
and TADASHI OHMORI[†]

This paper proposes new similarity measures to retrieve images with segmented regions similar to those of a query image. The proposed similarity measures are based on the Jaccard coefficient which measures a similarity between two sets. In order to evaluate the performance of the proposed similarity measures, we experimented on 1,000 region images which were made by segmenting natural images. The performance was evaluated by the recall ratio and the ratio of the number of retrieved images necessary to obtain all the images in the query group to the number of the images in the group. The results showed that the proposed similarity measures are effective for image retrieval based on segmented regions. And experiments on 35,155 natural images indicate that the proposed similarity measures are effective for retrieval based on composition.

1. はじめに

昨今の画像機器およびインターネットの発展と普及により、我々は膨大な枚数の画像を容易に手に入れることができるようになった。その一方、我々は画像の検索に膨大な時間を割かなければならなくなってしまった。そういった背景の下、計算機による画像検索の重要性は高まっている。しかし、画像を検索すると一言でいってもその目的、画像の種類、検索方法は様々であり、利用者のすべての要求に応えられる万能な検索方法というものはない。そのため、テキストによる検索に加えて、画像の内容による検索（色¹⁾、テクスチャ、スケッチ²⁾、レイアウト、構図³⁾⁻⁵⁾ など様々な検索方法が提案されている。

本論文では、画像の特徴としての構図に着目し、構図に基づく類似画像検索を提案する。構図という言葉

はよく耳にし、大まかな意味は分かるが、個人個人で“構図”の解釈は少しずつ異なる。辞書で「構図」を調べてみると、

構図 ① 構成された図形。② (composition) 絵画・写真などで芸術表現の要素をいろいろに組み合わせ、作品の美術的效果を出す手段。(新村 出編、広辞苑、第四版、岩波書店より抜粋)

構図 1 絵や絵画などの画面の、全体の構成。2 平面的な造形美術で、全体の効果を高めるための諸要素・諸部分。コンポジション。3 (比喩的に) 物事全体のすがた、かたち。(松村 明編、大辞林、第二版、三省堂より抜粋)

composition 1[U] the different parts which sth is made of; the way in which the different parts are organized (Oxford 現代英英辞典より抜粋) とある。辞書から共通していえる基本的なものは、「構図とは、構成している諸要素の配列・配置である」ということである。すなわち、画像の各領域の配列・配置が最もプリミティブな構図表現であり、配置されて

[†] 電気通信大学大学院情報システム学研究科
Graduate School of Information Systems, The University of Electro-Communications



図 1 構図は似ているが色は似ていない画像の例 (1)
Fig. 1 Images with similar composition (1).



図 2 構図は似ているが色は似ていない画像の例 (2)
Fig. 2 Images with similar composition (2).

いる各領域 (諸要素) に付加される色情報やテクスチャ情報などの情報は構図の二次的な特徴としてとらえることができる (絵画や写真などにおける構図については文献 6), 7) なども参照されたい). 本論文では, 最もプリミティブな構図表現である領域の配置, 配列, 形状, 大きさのみで構図を考え, 他の色情報, オブジェクトの属性などに関する類似性は考慮しない. たとえば, 図 1 (a) は, 画像の下半分が砂漠で上半分が空の画像で, 図 1 (b) は画像の下半分が海で上半分が空の画像である. 色とオブジェクト属性を取り除くと, 双方の画像とも水平線で画像の下半分の領域と上半分の領域に分かれている画像であり, 領域の配置, 大きさ, 形状が類似している. 図 2 (a) 「昼間のビルと空」と図 2 (b) 「夕方のビルと空」は同じビルを撮影時刻を変えて同じ場所から撮影した画像である. 領域の配置, 大きさ, 形状は類似している. 図 1 (a) から図 1 (b), 図 1 (b) から図 1 (a), 図 2 (a) から図 2 (b), 図 2 (b) から図 2 (a) を検索するためには, 領域の配置, 大きさ, 形状のみを利用しなければならない. 本研究では, 構図に基づく類似画像検索方法として, 画像を領域分割することで得られる領域の配置, 大きさ, 形状が似ている画像を検索する方法を提案する.

本論文の構成は, 次のとおりである. 2 章で関連研究について述べ, 3 章で提案する類似画像検索システムの構成を説明する. 4 章では画像間の類似度を提案する. 5 章で, 提案した画像間の類似度を用いて領域分割画像に対して検索実験を行い, その実験結果と検索結果に対する評価を行う. 6 章では, 自然画像に対して検索を行った検索結果を示し, 7 章で本論文をまとめる.

2. 関連研究

本章では, 構図に基づく類似画像検索の研究について説明する.

西山らは, ドローイング画像にアイコンを張りつけた画像を問合せに用いて絵画検索を行っている⁴⁾. 画像の色の塗り分けの分布, 画像中のオブジェクトの位置関係, そのオブジェクトの特徴を画像の特徴として提案している. 問合せには, 画像の色の塗り分けの分布を表すため領域をドローイングし, オブジェクトの位置関係を表すため, そのドローイングにアイコンを配置し, そのオブジェクトの特徴を表すためにアイコンに特徴を表す情報を張りつける.

Hachimura らは, オブジェクトの領域を 4 種類の小さな長方形とそれらのつながりを表すのりしろによって表現した画像を問合せに用いて絵画検索を行っている³⁾.

谷田川は, ドローイング画像によって類似画像検索を行っている. 谷田川は, 画像の特徴量として従来からある color signature に, 画像の領域の位置情報を反映させた, color-spatial signature を提案した. さらに, color signature に対して定義されていた Earth Mover's Distance¹⁾ を color-spatial signature に適用できるように修正し, color-spatial signature による類似画像検索を実現した⁵⁾.

これらの研究では, 構図を表現するために分割領域の配置とその分割領域が持つ色情報, オブジェクト属性, または形状情報などを用いている. 一方, 我々の提案は既存の領域分割手法 (その多くは色情報などを使用している) により領域分割を行うが, 検索するときには分割領域の色やテクスチャなどの属性情報を利用せずに, 構図表現における最も基本的な分割領域の配置, 大きさ, 形状のみを考慮に入れた類似度を用いて画像を検索するというものである. 本論文の意義は, 構図表現における最も基本的な領域の配置, 大きさ, 形状で検索を可能にすることにより多種多様な構図検索の土台を構築することである.

3. 検索システムの構成

本論文で提案する構図に基づく類似画像検索法の構成を図 3 に示す. また, その手順を図 4 に示す.

初めに画像データベースから領域画像データベースを作成する. 画像データベース内の画像 (I_i) を縮小し, 領域分割して領域画像 (\hat{I}_i) を作成する (表 1 参照). それらの領域画像をまとめて, 領域画像データベースを作成する. 画像を縮小するのは, 小さすぎる

領域は領域画像が似ているかどうかの判断にはそれほど影響しないためである．画像の領域分割手法として Deng ら⁸⁾ の *JSEG* を用いた．

検索方法は、入力された問合せ画像を画像データベース内の画像と同様に領域画像を生成し、その領域画像と領域画像データベース内の各領域画像との類似度を計算する．問合せ画像と領域画像データベース内の各領域画像との類似度の値に基づいて、画像データベース内の対応する画像を検索結果として出力する．

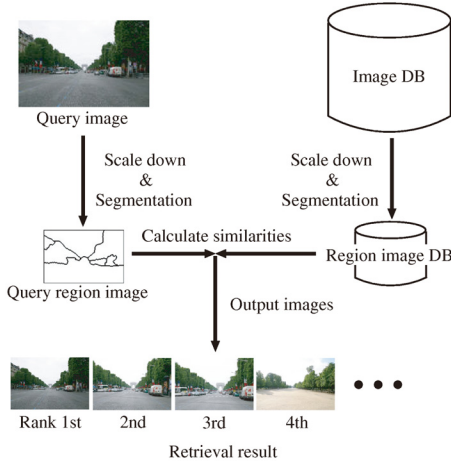


図3 構図に基づく類似画像検索法
Fig. 3 Scheme of our image retrieval system.

前処理	画像データベース内の画像を縮小し、その縮小画像に領域分割を行って領域画像データベースを作成する
手順 1	問合せ画像を入力する
手順 2	問合せ画像を縮小し、領域分割して領域画像を作成する
手順 3	問合せ領域画像と領域画像データベース内のすべての領域画像との類似度を計算する
手順 4	類似度の値の降順に画像データベース内の画像をソートする
手順 5	手順 4 でソートした順番に画像を出力する

図4 構図に基づく類似画像検索法の手順
Fig. 4 Procedure of our image retrieval system.

表1 記号表
Table 1 The notation of symbols.

記号	意味
I_i	画像データベース内の i 番目の原画像．
\hat{I}_i	原画像 I_i に画像の領域分割を行うことで得られる各画素に領域を表すラベルが割り振られている画像（領域画像とよぶ）．
R_{ip}	領域画像 \hat{I}_i 内の領域 p の画素の集合．
$ R $	領域 R の画素数（サイズとよぶ）．
$SimX()$	類似度 X ．
$SimX(\hat{I}_i, \hat{I}_j)$	\hat{I}_i は問合せ領域画像、 \hat{I}_j は画像データベース内の領域画像（被問合せ領域画像とよぶ）である．
$\hat{I}_i > \hat{I}_j$	領域画像 \hat{I}_j は領域画像 \hat{I}_i を細分した領域画像である．細分とは、領域画像内の任意の領域をさらに細かく分割することである．

4. 提案する類似度

以下で用いる記号を表1に示す．

4.1 類似度が満たすべき要件

領域画像が似ている画像を検索するために用いる類似度は次の3つの要件を満たす必要がある．

2枚の似ている領域画像を重ねると、一方の領域画像における領域が他方の領域画像における領域と重なり合う画素数が多くなる．これは、似ている領域画像を検索するうえで重要である．そこで次の要件を

要件1 類似度は、領域画像間の領域の重なり度合いを反映するとする．

次に問合せ画像 I_i の領域画像を \hat{I}_i (図5(a)参照)とし、 \hat{I}_i 中の隣接する2つの領域を併合した領域画像を \hat{I}_j とし、さらに \hat{I}_j 中の隣接する2つの領域を併合した領域画像を \hat{I}_k とする．つまり、 $\hat{I}_i < \hat{I}_j < \hat{I}_k$ という併合関係を満たすとき、 \hat{I}_j の方が \hat{I}_k よりも問合せ領域画像 \hat{I}_i に似ている (\hat{I}_j , \hat{I}_k の作成方法より明らか) ので、 \hat{I}_i と \hat{I}_j 間の類似度の値 $Sim(\hat{I}_i, \hat{I}_j)$ は \hat{I}_i と \hat{I}_k 間の類似度の値 $Sim(\hat{I}_i, \hat{I}_k)$ より大きな値でなければならない．そこで次の要件を

要件2 $\hat{I}_i < \hat{I}_j < \hat{I}_k$ を満たすとき、類似度は $Sim(\hat{I}_i, \hat{I}_j) > Sim(\hat{I}_i, \hat{I}_k)$ を満たすとする．

また、問合せ画像 I_i の領域画像を \hat{I}_i (図5(b)参照)とし、 \hat{I}_i 中のある領域を分割した領域画像を \hat{I}_j とし、さらに \hat{I}_j 中のある領域を分割した領域画像を \hat{I}_k とする．つまり、 $\hat{I}_i > \hat{I}_j > \hat{I}_k$ という細分関係を満たすとき、 \hat{I}_j の方が \hat{I}_k よりも問合せ領域画像 \hat{I}_i に似ているので、 \hat{I}_i と \hat{I}_j 間の類似度は \hat{I}_i と \hat{I}_k 間の類似度の値より大きな値でなければならない．そこで次の要件を

要件3 $\hat{I}_i > \hat{I}_j > \hat{I}_k$ を満たすとき、類似度は $Sim(\hat{I}_i, \hat{I}_j) > Sim(\hat{I}_i, \hat{I}_k)$ を満たすとする．

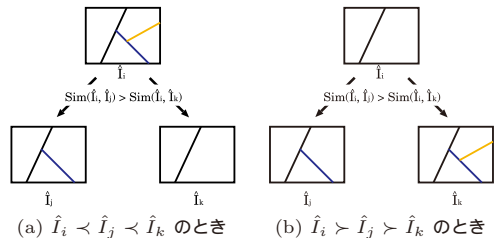


図5 類似度に必要な要件
Fig. 5 Requirements for similarity measure.

4.2 Jaccard 係数に基づく画像間の類似度

原画像から得られる領域画像が似ているかどうかを調べるには、領域画像どうしを重ね合わせることが最も単純で簡単な方法であり、領域画像の類似性を領域の重なり度合いによって表現することはごく自然なことである。そこで、領域の重なり度合いをどのように数値化するかが重要となる。本論文では、領域分割された各領域を位置情報が付加された画素の集合（部分領域）にとらえることにより、集合間類似度としてよく知られている Jaccard 係数を用いる。Jaccard 係数は、次式で定義される。

$$\text{Jaccard}(A, B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|},$$

ただし、 $|A|$ は集合 A の濃度である。

ここで、問合せ画像 \hat{I}_i の部分領域 R_{ip} と被問合せ画像 \hat{I}_j の部分領域 R_{jq} の間の類似度は Jaccard 係数で表され、すべての部分領域間の Jaccard 係数の総和

$$\text{SimA}(\hat{I}_i, \hat{I}_j) = \sum_{R_{ip} \in \hat{I}_i} \sum_{R_{jq} \in \hat{I}_j} \frac{|R_{ip} \cap R_{jq}|}{|R_{ip} \cup R_{jq}|} \quad (1)$$

を類似度 A とする。類似度 A は、要件 1 と要件 2 は満たしている。しかし、 $\hat{I}_i \succ \hat{I}_j \succ \hat{I}_k$ のとき、 $\text{SimA}(\hat{I}_i, \hat{I}_j) = \text{SimA}(\hat{I}_i, \hat{I}_k)$ となり、類似度 A は要件 3 を満たさない。

4.3 提案する画像間の類似度

本節では、要件 1～要件 3 のすべての要件を満たす新たな 3 つの類似度：1) 要件 3 を満たすよう類似度 A を改良した類似度 B、2) 類似度 B に問合せ画像の部分領域の大きさを反映させた類似度 C、3) 類似度 B に対称性を持たせた類似度 D、を提案する。類似度 B、類似度 C、類似度 D は、4.1 節の要件 1、要件 2、要件 3 のすべてを満たす（証明は文献 9）を参照）。これらの類似度間の関係を図 6 に示す。

類似度 B

類似度 B では、問合せ画像の領域 R_{ip} と被問合せ画像の領域 R_{jq} が重なっている部分 $R_{ip} \cap R_{jq}$ が問合せ画像の領域に占めている割合 $|R_{ip} \cap R_{jq}|/|R_{ip}|$ を重みとして類似度 A に与える。すなわち、次式のような類似度を考える。

$$\begin{aligned} \text{SimB}(\hat{I}_i, \hat{I}_j) &= \sum_{R_{ip} \in \hat{I}_i} \sum_{R_{jq} \in \hat{I}_j} \frac{|R_{ip} \cap R_{jq}|}{|R_{ip}|} \cdot \frac{|R_{ip} \cap R_{jq}|}{|R_{ip} \cup R_{jq}|} \\ &= \sum_{R_{ip} \in \hat{I}_i} \sum_{R_{jq} \in \hat{I}_j} \frac{|R_{ip} \cap R_{jq}|^2}{|R_{ip}| \cdot |R_{ip} \cup R_{jq}|}. \end{aligned} \quad (2)$$

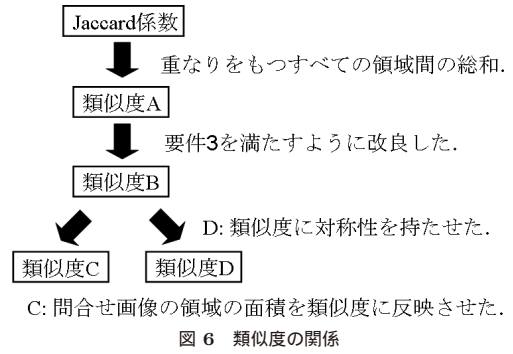


Fig. 6 Relations among similarities.

類似度 C

類似度 B では、問合せ画像内の各領域の大きさが類似度に反映されていない。画像内にある小さい領域よりも大きい領域が似ている方が領域分割も似ていると感ぜられるはずである。類似度 C では、問合せ画像中の領域のサイズを類似度に反映させるために、問合せ画像の領域が問合せ画像全体に対して占める割合 $|R_{ip}|/|\hat{I}_i|$ を類似度 B (式 (2)) に重みとして用いる。すなわち、次式のような類似度を考える。

$$\begin{aligned} \text{SimC}(\hat{I}_i, \hat{I}_j) &= \sum_{R_{ip} \in \hat{I}_i} \sum_{R_{jq} \in \hat{I}_j} \frac{|R_{ip}|}{|\hat{I}_i|} \cdot \frac{|R_{ip} \cap R_{jq}|^2}{|R_{ip}| \cdot |R_{ip} \cup R_{jq}|} \\ &= \frac{1}{|\hat{I}_i|} \sum_{R_{ip} \in \hat{I}_i} \sum_{R_{jq} \in \hat{I}_j} \frac{|R_{ip} \cap R_{jq}|^2}{|R_{ip} \cup R_{jq}|}. \end{aligned}$$

類似度 B と類似度 C は、問合せ画像から見て似ている画像を検索している。問合せ画像と被問合せ画像を入れ換えると、一般に類似度の値が異なるので、類似度 B と類似度 C は非対称である。

類似度 D

対称性を持つ類似度が必要となる場合もある。類似度 D は、式 (2) の類似度 B に領域の共通部分が被問合せ画像の領域に対して占める割合 $|R_{ip} \cap R_{jq}|/|R_{jq}|$ を重みとしてかけた類似度、すなわち、次式で定義される問合せ画像と被問合せ画像に対称な類似度である。

$$\begin{aligned} \text{SimD}(\hat{I}_i, \hat{I}_j) &= \sum_{R_{ip} \in \hat{I}_i} \sum_{R_{jq} \in \hat{I}_j} \frac{|R_{ip} \cap R_{jq}|^2}{|R_{ip}| \cdot |R_{ip} \cup R_{jq}|} \cdot \frac{|R_{ip} \cap R_{jq}|}{|R_{jq}|} \\ &= \sum_{R_{ip} \in \hat{I}_i} \sum_{R_{jq} \in \hat{I}_j} \frac{|R_{ip} \cap R_{jq}|^3}{|R_{ip}| \cdot |R_{ip} \cup R_{jq}| \cdot |R_{jq}|}. \end{aligned}$$

5. 領域画像に対する類似画像検索

5.1 領域画像に対する検索実験

提案した類似度の類似領域画像検索に対する検索性

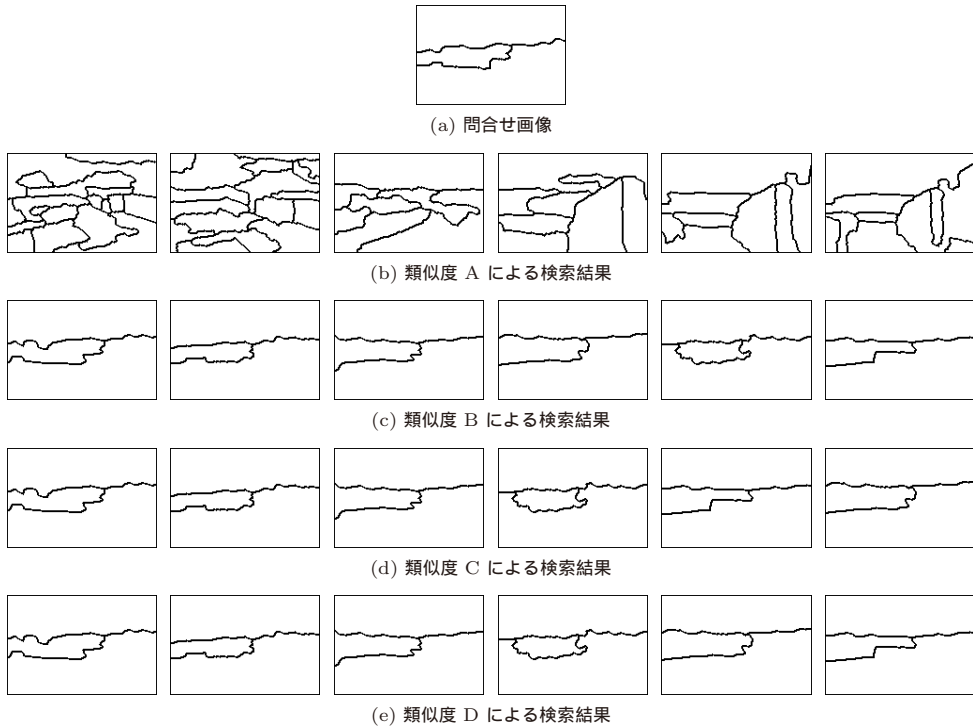


図 7 問合せ領域画像と検索結果

Fig. 7 A query region image and the retrieved region images.

表 2 被験者による領域画像の分類結果

Table 2 Results of the grouping by eight subjects.

	被験者							
	A	B	C	D	E	F	G	H
グループサイズが 2 以上のグループ数	174	192	281	189	233	199	237	161
グループサイズの最大値	33	30	11	40	28	22	16	34
グループサイズの平均値	4.67	4.26	3.39	4.62	4.12	4.46	3.76	6.12
問合せ領域画像数 (グループサイズが 2 以上の領域画像数)	812	818	952	874	959	887	891	986

能を評価するため、1,000 枚の $3,024 \times 2,048$ 画素の自然画像を 160×106 画素に縮小し、縮小画像それぞれに対して領域分割手法 JSEG を適用して得た領域画像を用いて検索実験を行った。

図 7 に問合せ領域画像の例とその検索結果を示す。図 7 の画像中の線は領域の境界線を表している。図 7 (a) は問合せ領域画像である。図 7 (b), (c), (d), (e) は、それぞれ類似度 A, 類似度 B, 類似度 C, 類似度 D による検索結果である。検索結果 1 位の画像はすべて問合せ画像自身となるので、1 位の画像を除いて検索結果 2 位から 7 位の領域画像を左から右に示した。

図 7 において、類似度 A によって検索された領域画像は問合せ領域画像と似ていない。類似度 B, 類似度 C, 類似度 D によって検索された領域画像は問合せ

領域画像と似ており、領域の大きさと形状とその配置が似ている領域画像が検索されている。

5.2 提案した類似度の検索性能

領域画像に対する類似度の検索性能を評価するために、正解画像のグループを作成した。正解画像のグループは 8 人の各被験者に図 7 で示したような境界線のみが描かれている 1,000 枚の領域画像を似ている画像ごとにグループ分けして正解画像のグループを作成してもらった。被験者は、それぞれの基準によって領域画像を分類しており、各被験者ごとの分類の違いが見て取れる (表 2)。

したがって、被験者の分類から得られる検索結果の評価を単純に平均することは適切でないので、被験者ごとに検索性能を評価した。問合せ領域画像と同じグループに属している画像を問合せに対する正解画像と

して検索性能を評価した．また，問合せには正解画像のグループサイズ（グループに属している画像の枚数）が 2 以上の領域画像を用いた．

検索結果の評価には再現率と適合率がよく用いられているが，以下のことに注意しなければならない．

- グループサイズが検索した枚数より小さいときには，すべての正解画像を検索できたとしても，適合率は 1 より小さい．
- グループサイズが検索した枚数より大きいときには，検索したすべての画像が正解画像であったとしても，再現率は 1 より小さい．

被験者のグループサイズの平均値が 3.39 ~ 6.12 (表 2 より) であったので，適合率を用いて評価するためには検索出力を 6 枚以下にしなければならない．しかし，検索出力が 6 枚以下の検索システムは実際的ではないので，我々は検索性能の評価に適合率は用いなかった．

すべての被験者のグループサイズの中で最も大きなグループサイズは 40 (表 2 より) であったので，我々は検索出力が 40 枚のときの再現率 ($Top-40$ 再現率) を用いて検索性能を評価した．この評価基準は，たとえば Google などの画像検索システムの検索出力のように 1 ページに 20 枚程度の画像が表示されるとして，利用者に 2 ページ程度の検索出力を示した際に，求めている画像がどれだけ得られるかを表す指標とも考えられる．

また，すべての正解画像を得るためには，何枚の画像を出力しなければならないのかという指標も検索性能の評価のためには重要である．本論文では，すべての正解画像を得るのに必要な検索出力枚数を正解画像のグループサイズで割った値（完全検索倍率とよぶ）を用いた評価も行った．

5.3 検索性能の評価

図 8 に被験者 A の $Top-40$ 再現率の累積（相対頻度）分布を示す．縦軸は問合せ領域画像の累積分布を表し，横軸は $Top-40$ 再現率を表している．図 8 は，類似度 B，類似度 C，類似度 D の検索性能が類似度 A よりも良いことを示している．類似度 B，類似度 C，類似度 D では，70% 以上の問合せ画像で $Top-40$ 枚の画像中に，すべての正解画像が得られた．40 枚の出力画像で，正解画像の 75% 以上を検索できた問合せ画像は 80% 以上であった．

図 9 に被験者 A の完全検索倍率の累積分布を示す．縦軸は問合せ画像の累積分布を表し，横軸は完全検索倍率を表している．図 9 は，類似度 B，類似度 C，類似度 D の検索性能が類似度 A よりも良いことを示している．類似度 B，類似度 C，類似度 D では，正解

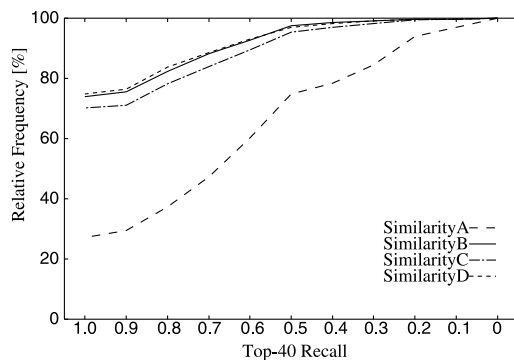


図 8 被験者 A の $Top-40$ 再現率の累積分布

Fig. 8 The cumulative distribution of the top-40 recall for subject A.

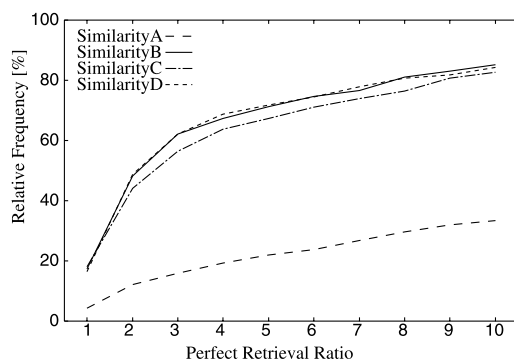


図 9 被験者 A の完全検索倍率の累積分布

Fig. 9 The cumulative distribution of the perfect retrieval ratio for subject A.

画像のグループサイズと同じ枚数の出力（完全検索倍率 = 1）で，すべての正解画像が得られた問合せ画像は 16.4% であった．また，類似度 B，類似度 C，類似度 D では，正解画像のグループサイズの 10 倍以下の出力枚数で，すべての正解画像が得られた問合せ画像が 80% 以上であった．再現率，完全検索倍率とも他の被験者でもほぼ同様の結果が得られた．

$Top-40$ 再現率と完全検索倍率による評価から，類似度 B，類似度 C，類似度 D が領域分割の似ている領域画像を検索するための類似度として有効であることが分かった．

6. 自然画像に対する類似画像検索

構図に基づく類似画像検索の実験として 35,155 枚の自然画像に対して検索実験を行った．画像検索の手順は図 4 に示したとおりである．図 10 と図 11 に検索結果の例を示す．図 7 と同様に，図 (a) には問合せ画像，図 (b), (c), (d), (e) には類似度 A，類似度 B，類似度 C，類似度 D による検索結果を示す．

図 10 では，上中下に 3 つの領域に分割された画像



図 10 問合せ画像と検索結果 (1)

Fig. 10 A query image and the retrieved images (1).

を問合せ画像としたときの検索結果を示している．検索結果 1 位の画像はすべて問合せ画像自身となるので図 10 からは除き，図 10 には検索結果 2 位から 7 位までの画像が示してある．類似度 A による検索では，問合せ画像とは似ていない画像が検索された．類似度 B，類似度 C，類似度 D では，問合せ画像と同様な 3 つの領域で構成された画像が検索された．検索された画像は，問合せ画像と同じ場所でカメラの画角を変えて撮影した画像と異なった場所で撮影されたものである．

問合せ画像 (図 11 (a)) は，道が一直線に画像中央に向かって通り，道の左右に塀や街路樹があり，その奥には空がのぞいているものである．写真の構図としてよく使われる画像である．図 11 (b) ~ 図 11 (e) は，画像 (図 11 (a)) を問合せ画像としたときの検索結果を示している．

類似度 B，類似度 C，類似度 D を用いた検索では，図 11 (c) の左から 4 番目と 5 番目の画像 (検索結果の順位で 5 位と 6 位) を除いて，

- (1) 問合せ画像と画角を変えて撮影された画像，
 - (2) 問合せ画像とは異なる場所で撮影された画像であるが構図が似ている画像，
- が検索された．問合せ画像の分割領域の数は 7 であ

るのに対して，検索結果中の画角を変えて撮影された画像の分割画像の数は，5 と 8 である．画角を変化させることによって，領域分割の結果に影響があっても，分割領域の重なり度合いが大きければ，検索が可能であることを示している．また，問合せ画像とは異なる場所で撮影された画像であるが構図が似ている画像が検索できたということは，領域の配置をもとに問合せ画像と似た構図の画像を検索することができたことを示している．ここで，一見似ていないと思われる図 11 (c) の左から 4 番目と 5 番目の分割画像を詳しく観察する．まず，図 11 (c) の左から 4 番目の画像の領域分割と問合せ画像の領域について観察する．図 11 (c) の左から 4 番目の画像の下半分の領域は，問合せ画像の下半分と重なっている．問合せ画像と図 11 (c) の左から 4 番目の画像の右上の領域は重なる．このように問合せ画像と図 11 (c) の左から 4 番目の画像の分割領域をそれぞれ対応させると，そう悪い結果であるとはいえない．次に，図 11 (c) の左から 5 番目の画像の領域分割と問合せ画像の領域について観察する．問合せ画像の下半分の領域は 1 つであるのに対して，図 11 (c) の左から 5 番目の画像の下半分の領域は複数となっていて，その多くは問合せ画像の下半分の領域の細分である．しかし，対応の付かない



図 11 問合せ画像と検索結果 (2)

Fig. 11 A query image and the retrieved images (2).

領域も存在し、検索結果としては良くない例である。

次に、類似度 B、類似度 C、類似度 D を用いた検索結果の違いについて観察する。類似度 B、類似度 C、類似度 D を用いた検索結果の大きな違いは、類似度 B を用いた検索結果に図 11 (c) の左から 4 番目と 5 番目の画像が出力されているが、類似度 C、類似度 D を用いた検索結果の上位には、これらの画像が出力されていないことである。類似度 C では、問合せ画像の領域が画像全体に占める面積の割合を反映させたことで、似ている領域が小さいときに類似度の値への寄与を小さくすることができたためである。また、類似度 D では、被問合せ画像の領域と共通部分との割合を反映させることによって、問合せ画像から見ても被問合せ画像から見ても重なり度合いが大きい画像を検索できたからである。類似度 C、類似度 D を用いた検索で出力される画像は、類似度 B を用いた検索で出力される画像よりもより人の主観に近い構図の画像であった。

7. ま と め

本論文では、構図に基づく類似画像検索を提案した。本論文では構図を「画像を構成している諸要素の配列・配置である」としてとらえ、問合せ画像内の領域の配

置、大きさ、形状が似ている被問合せ画像を検索するという構図に基づく検索であるとした。

次に、領域の配置、大きさ、形状が似ているかどうかを測る尺度として、3 種類の新しい画像間の類似度を提案した。提案した類似度の導出の基本的なアイデアは、画像間の類似性を領域の重なり度合いを求めるというものであった。そこで、領域分割された各領域を位置情報が付加された画素の集合（部分領域）ととらえることにより、集合間類似度としてよく知られている Jaccard 係数を用いた。すなわち、提案した 3 種類の新しい類似度は、構図に基づく類似画像検索のために設計された重み付き Jaccard 係数である。

提案した類似度を評価するため、初めに、領域画像に対する検索実験を 1,000 枚の領域画像を用いて行った。8 人の被験者に、分割画像の領域の境界に線を引いた境界線の画像を用い、それらの画像を似ている画像ごとにグループ分けしてもらい、正解画像のグループを作成した。1,000 枚の領域画像データベースに対して、正解画像のグループが 2 枚以上の領域画像を問合せ画像として検索を行い、検索評価を行った。類似度の検索性能の評価指標として、類似画像検索でよく用いられている再現率とすべての正解画像を得るためには何枚の画像を出力しなければならないのかという

指標である完全検索倍率の2つの指標を用いた．評価実験から，提案した類似度が似ている領域によって構成された領域画像を検索するのに有効であることを示した．

また，自然画像に対する検索結果を調べるため，35,155枚の自然画像を用いて検索実験を行った．その結果，提案した構図に基づく類似画像検索が有効であることが分かった．

謝辞 画像を提供していただいた水谷祥彦氏に感謝致します．

参 考 文 献

- 1) Rubner, Y., Tomasi, C. and Guibas, L.J.: The earth mover's distance as a metric for image retrieval, *International Journal of Computer Vision*, Vol.40, No.2, pp.99–121 (2000).
- 2) 小早川倫広，星 守，大森 匡，照井武彦：ウェブレット変換を用いた対話的類似画像検索と民俗資料データベースへの適用，*情報処理学会論文誌*，Vol.40, No.3, pp.899–911 (1999).
- 3) Hachimura, K. and Tojima, A.: Image retrieval based on compositional features and interactive query specification, *International Conference of Pattern Recognition*, pp.262–266 (2000).
- 4) 西山晴彦，松下 温：画像の構図を用いた絵画検索システム，*情報処理学会論文誌*，Vol.37, No.1, pp.101–109 (1996).
- 5) 谷田川英二：色と構図に基づく画像検索ブラウザの提案，修士論文，東京大学大学院工学系研究科 (2002). <http://www.simplex.t.u-tokyo.ac.jp/theses/2001m-yatagawa-eiji.pdf>
- 6) 視覚デザイン研究所（編）：構図エッセンス，株式会社視覚デザイン研究所 (1983).
- 7) 山口高志：完璧な構図決定—2週間でマスターする風景写真の基本構図，学習研究社 (2001).
- 8) Deng, Y. and Manjunath, B.S.: Unsupervised segmentation of color-texture regions in images and video, *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.23, pp.800–810 (2001).
- 9) 山本 敦：画像の領域分割に基づく類似画像検索，修士論文，電気通信大学大学院情報システム学研究科 (2006).

(平成 19 年 3 月 20 日受付)

(平成 19 年 7 月 18 日採録)

(担当編集委員 金子 邦彦)



山本 敦

2006年3月電気通信大学大学院情報システム学研究科博士前期課程修了，現在，同大学院情報システム学研究科博士後期課程在学中．2007年4月科学警察研究所入所．画像検索，文字の筆者識別に関心がある．



小早川倫広

2001年3月電気通信大学大学院情報システム学研究科博士後期課程修了，現在，電気通信大学大学院情報システム学研究科助教．マルチメディアデータ検索，データ工学，データ圧縮に関心を持つ．IEEE Computer Society, Association for Computing Machinery, 電子情報通信学会各会員．



星 守 (正会員)

1970年3月東京大学大学院工学系研究科修士課程修了，同年4月電子技術総合研究所入所，その後千葉大学工学部をへて，1992年4月より電気通信大学大学院情報システム学研究科教授，現在に至る．アルゴリズムとデータ構造（特に探索法のための），多変量データ解析，情報理論に関心がある．IEEE Computer Society, IEEE Information Theory Society, Association for Computing Machinery, 電子情報通信学会，情報理論とその応用学会，日本行動計量学会，日本分類学会各会員．



大森 匡 (正会員)

1994年4月から電気通信大学大学院情報システム学研究科助教授，現在，准教授．1990年東京大学大学院情報工学専攻博士課程修了，工学博士．関係データベースシステムの高性能化，高機能化，トランザクション処理技術の研究に従事．信学会，IEEE，ACM 各会員．