

3次元探索空間を用いるインタラクティブな 画像検索システムとその検索特性

木 本 晴 夫[†]

本論文では、画像検索においてインタラクションと可視化技法を使用して、ユーザフレンドリーな検索を実現するためのモデルを提案する。そのモデルは、3次元空間において検索キー画像を中心に検索結果画像群を画像特徴に基づいて配置表示し、インタラクティブな検索を行いながら検索された画像群を再配置表示し、検索者は配置表示された画像の中から自分の検索意図にあった画像を次の検索キー画像として選択して、次々と検索を進めるものである。このモデルに基づく画像検索システムを実装し、その有効性を検証するために検索実験を行い、精度評価を行ったので報告する。提案するモデルでは、インタラクションの過程でつねに検索キー画像を3次元空間の中心に配置し、そのまわりに検索結果画像群を画像特徴の類似度順に配置表示している。本モデルでは3次元画像空間はインタラクションのたびにその中の画像配置を変える。これは、あたかも万華鏡を見ながら画像を検索するのに似ている。このことから本モデルを3次元万華鏡モデルと呼ぶ。検索精度評価の結果、3次元万華鏡モデルは画像検索のために有効なことが明らかになった。また、今後、どのような観点から本モデルのようなインタラクティブな検索モデルを評価してゆけばよいのかも明らかになった。

An Interactive Image Retrieval System Using a 3-D Search Space and Its Characteristics

HARUO KIMOTO[†]

This paper proposes an image retrieval model which allows user-friendly accesses to images in a database. This model uses visualization techniques as well as human computer interaction techniques. In this model, retrieved images are located in a 3-D space by their image feature values while the search key image is placed in the center of the 3-D space, and, in accordance with the interactive retrieval results, retrieved images are re-located. The user selects new search key image for the next retrieval from the images displayed in the 3-D space, thus the interactive retrieval goes on. An image retrieval system was implemented on this model. The evaluation of the system was made and described in this paper. In this model, the search key image is always located in the center of the 3-D space during the retrieval interactions, and retrieved images are located around the search key image in the similarity order of each of the image features. Thus, the retrieved images are re-located in the 3-D space in accordance with each user interaction. This mechanism likes looking into a kaleidoscope with interactions, so this model is called as the Kaleidoscope model. The evaluation result shows that the Kaleidoscope model works fine for image retrieval, and a couple of new evaluation schemes for the interactive information retrieval systems were clarified through the evaluation of the proposed model.

1. はじめに

近年、従来からのテキスト情報の検索に加えて、画像・ビデオ・音楽などのマルチメディア情報の検索に対する関心が高まっている。テキスト情報検索の研究開発は、古くは最初のコンピュータの開発と時を同じくして、その後、多くの研究開発と実用化がなさ

れてきた。また、多くのユーザの使用経験に基づいて、フリーキーワード方式や統制キーワード方式などの方式の分野別の使い分けも進んでいる。テキスト情報検索の技術としては、キーワードによる検索、全文検索、分類を使った検索など古くから種々の技術が広く使われている。さらに最近では、自然言語処理技術を応用して、語の意味、語と語の関連性などを利用した、いわゆる知的検索技術の研究が急速に進んでいて、住田ら¹⁾によるサーベイ報告もなされている。ユーザニーズについても、テキスト検索の場合は、新聞記事、特

[†] NTT サイバースペース研究所
NTT Cyber Space Laboratories

許、論文などで、それらを検索した結果がすぐにそのまま利用できる。また、使用される場面も、ビジネス利用、企業での技術開発への利用、大学などでの学術研究での利用など多くの場面があり、おのおの、利用目的も明白である。

一方、マルチメディア情報の検索については、いくつもの研究開発がなされ、Grosky²⁾によってそれらのサーベイ報告がされているが、実用のレベルに達しているものはテキスト情報検索に比べてまだまだ少なく、また、テキスト情報検索のような確立された方式はない。以下に、最近のマルチメディア情報検索の研究開発報告例について述べる。

画像検索の1つの方式として、検索に先だって、人が書誌情報や画像内容を記述した情報を画像に付与しておき、その情報を検索に利用する方式がいくつか報告されている。Ornager³⁾、Shakirら⁴⁾、Aslandoganら⁵⁾、Harmandasら⁶⁾などの研究がこれにあたる。特に、Harmandasは画像に対してリンク付けされたテキスト集合をクラスタ分けして検索に利用している。画像中のオブジェクトの形状・色情報など、画像の内容情報そのものを利用する、いわゆる内容検索も報告されている。Mehetreら^{7),8)}、Ravelaら⁹⁾などの研究がこれにあたる。次のものは、知的検索の手法を使用した報告である。Gudivadaら¹⁰⁾はユーザによる適合性フィードバック情報を使った手法を、Wuら¹¹⁾はファジー関数を使用した内容検索手法を、Fuhrら¹²⁾は論理型照合検索技術を報告している。

テキスト情報検索では、インタラクションによるユーザフレンドリーなアクセス方法の提案が多くなされている。Cuttingら^{13),14)}、Efthimiadis¹⁵⁾、Raoら¹⁶⁾、Kimoto¹⁷⁾、Hearstら¹⁸⁾、Losee¹⁹⁾、Lagergrenら²⁰⁾、Borlundら²¹⁾などの研究報告がこれにあたり、特に、Borlundらは、インタラクションを利用する検索システムの評価方法を提案しているが、この評価方法が普及するかどうかは提案されたばかりであり、議論の最中である。

検索のための情報の可視化技法はテキスト情報検索において近年、研究者の興味を集め、いくつもの報告がある。Fowlerら²²⁾、Lin²³⁾、Korfhage²⁴⁾、Chalmersら²⁵⁾、Hemmjeら²⁶⁾、Dubin²⁷⁾、Swan²⁸⁾などの研究がこれにあたる。Korfhage、Chalmersら、Hemmjeら、Dubinらの研究はともに、より多くの数のテキスト情報を見やすい分布をつくってユーザに見せることを目的としたものであり、情報可視化の研究の流れとしては盛り上がりを見せたが、検索の有効性が期待されたほど大きいものではなく、実用にはいたって

いない。文字・数値型データベースの検索のための可視化技法の研究報告としては、Williamsonら²⁹⁾、Shneiderman³⁰⁾、Plaisant³¹⁾などがある。これらの研究では検索対象は、不動産データベース、大学入学情報データベース、地域別発ガン率データベースなどであり、地図上での可視化を行って地図に特化したものになっている。

今までのところ、テキスト情報検索においてはインタラクションを使った情報検索や可視化技法についての研究開発が活発になされているが、画像検索や動画検索などのマルチメディア情報検索においてはこのような研究開発事例の報告は少ない。特に、2次元空間や3次元空間を使って画像群を可視化してインタラクティブに検索を進める研究報告は日本国内ではいまだになく、海外において2、3の報告事例があるのみである。それらの報告は、画像をドットとして2次元印象空間に配置してユーザが領域を指定することによって画像を検索するHirabayashiら³²⁾の報告、2次元平面上で検索キー画像の近傍に類似画像を配置して表示するHanら³³⁾の報告、画像をドットとして3次元空間上に配置してユーザが領域指定をするとその領域に含まれる画像が表示され、さらにユーザが画像を選択することによって画像が色、形状、テクスチャなどの特徴によって構成される特徴量空間に表示され、インタラクティブに検索を進めてゆくGuptaら³⁴⁾の報告などである。

本論文では、画像検索においてインタラクションと可視化技法を使用してユーザフレンドリーな検索を実現してその有効性を検証することを目的として、3次元空間に検索結果画像群を検索キー画像を中心にして画像特徴に基づいて配置表示し、インタラクティブな検索結果に基づいて画像群を再配置しつつ、検索者は配置の中から自分の検索意図にあった画像をあらたな検索キー画像として選択して、次々と検索を進める検索モデルを提案する。このモデルに基づく画像検索システムを実装し、検索に供してその検索精度評価をしたので報告する。実装したシステムをINMUL-Viewと名付けた。3次元空間を利用するインタラクティブな画像検索システムの研究の報告は、前記のGuptaら³⁴⁾の報告だけであるが、その報告ではシステムの実装を述べただけであり、検索精度評価は行っていない。本報告ではシステムの実装を行い、検索精度評価まで行って、システムの検索特性と検索の有効性を明らかにした点が新規である。

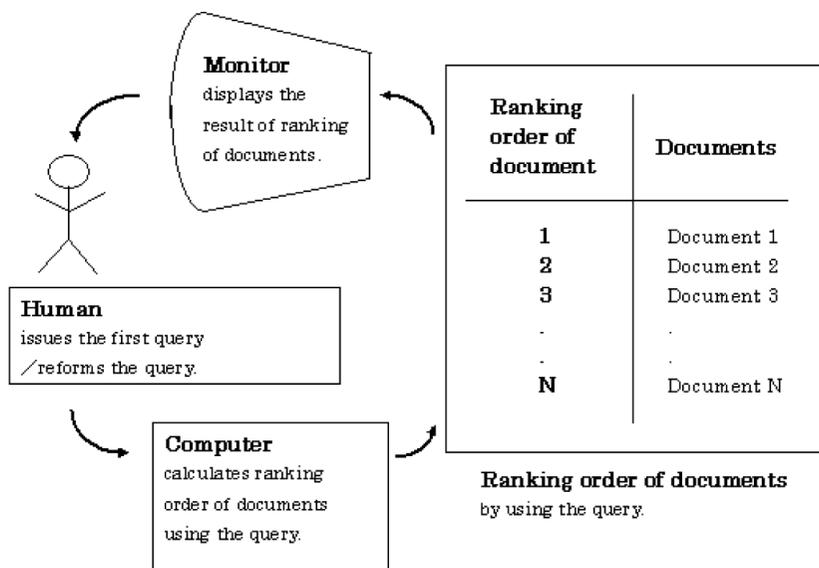


図 1 インタラクティブ手法を用いるテキスト情報検索モデルのブロックダイアグラム

Fig. 1 Operational block diagram of the basic traditional interactive document retrieval model.

以下の章において、INMUL-View システムとその検索特性について述べる。2 章では、3 次元空間を利用するインタラクティブな検索モデルを提案する。3 章では、提案されたモデルに基づいて作成された INMUL-View システムを説明する。4 章では、検索精度評価のためのテストコレクションについて述べる。5 章では、INMUL-View システムについて、画像検索の検索精度評価結果とその分析結果である検索特性について述べる。6 章では、本論文のまとめを行うとともに、今回のモデルの考案と実装・評価をとおして明らかになった今後の研究課題について述べる。

2. 3 次元空間でのインタラクティブな画像検索のモデル

テキスト情報検索の分野では研究開発の歴史も古く、種々の研究開発が行われているが、その中でインタラクティブを利用する研究開発も行われてきた。レlevance フィードバック法、ハイパーテキストシステム、検索式再構成法 (Query reformulation) など³⁵⁾ はインタラクティブ手法を用いるテキスト情報検索の代表的な手法である。インタラクティブ手法を用いるテキスト情報検索とは、ユーザがある検索結果に基づいてシステムに対して次の検索のための新たな情報を与えて、検索を行うことをいう。ここで新たな情報とは、レlevance フィードバック法での検索キーワードの新たな重み情報や、ハイパーテキストシステムでのリンクの選択情報や、検索式再構成法における修正検索式

などである。インタラクティブ手法を用いるテキスト情報検索のモデルを図 1 に示す。このモデルでは検索タスクは、まず、システムから検索結果を得て、その検索結果に基づいて新しい情報をシステムに与えて次の検索を行う、というかたちで進められる。

本論文では、3 次元空間を用いたインタラクティブな画像検索のモデルを提案する。本モデルでは、検索キーはユーザが選択する画像であり、それは検索過程において 3 次元空間の中心に配置され、その検索キー画像を用いて検索された画像群は検索キー画像に対する HSI 特徴または RGB 特徴の類似度の順に 3 次元空間に配置表示される。ユーザは次の検索に使う検索キー画像を 3 次元空間に配置表示された画像の中から選択する。システムは選択された検索キー画像を使用して次の検索を行い、選択された検索キー画像を 3 次元空間の中心に配置するとともに、この検索キー画像を中心として、検索された画像群を前回の検索のときと同様の方法で 3 次元空間に配置する。このようにして、検索はインタラクティブに進められ、3 次元空間での検索結果画像群の配置は検索のたびごとに再構成される。

本モデルでは、検索結果の画像群を HSI 特徴または RGB 特徴に基づいて 3 次元空間に配置表示している。その理由は次のとおりである。画像はもともとこれらの特徴を持っているので、HSI 特徴や RGB 特徴のような 3 次元特徴の類似度に基づいて画像群を 3 次元空間に配置するのは自然な考え方であり、かつ、特徴量

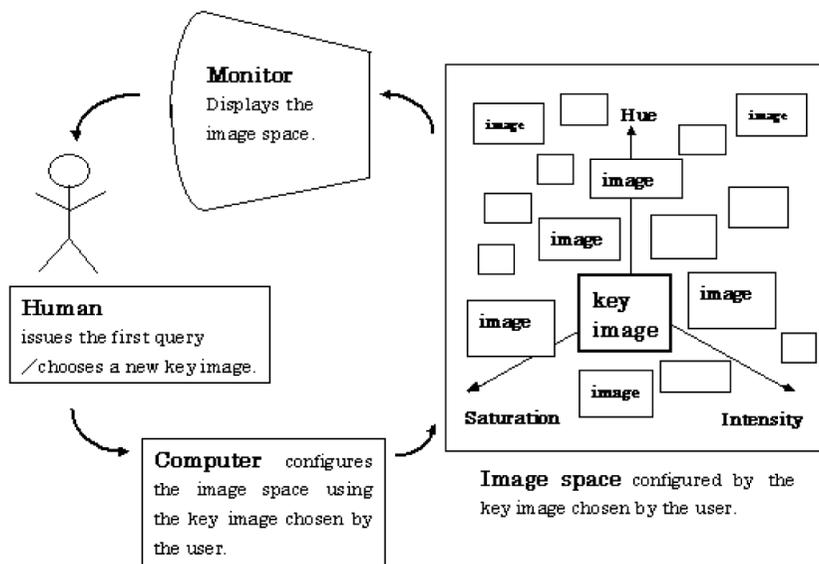


図2 3次元探索空間を用いるインタラクティブ画像検索モデルのブロックダイアグラム
Fig. 2 Operational block diagram of the interactive image retrieval model using a 3-D search space.

の類似する画像どうしが近傍に配置されると、ユーザは自分の欲しい画像を探すのに都合がよい。従来から研究開発されてきた画像検索システムでは、検索結果の画像群を1次元リストや、2次元配列として配置表示しているが、画像を1次元や2次元で配置する場合には3次元特徴を縮退せねばならず、次元縮退を行うとHSI特徴やRGB特徴などのような人間が自然に理解できる特徴から離れた特徴になってしまい、不自然で分かりにくくなり、ユーザが類似する画像を探すためには支障となっていた。さらに、画像を色情報に着目して検索する場合にはHSIなどの特徴を利用するのは自然なことである。

また、本モデルではインタラクティブな検索を提案しているが、その理由は次のとおりである。画像などのマルチメディア情報の検索では、1回の検索で所望の情報を得ることは、まず困難である。なぜなら、マルチメディア情報の検索では、一般のユーザが検索要求として、得たいと思っている画像の類似画像を正しく描いたり、楽曲に対する類似メロディーを正確に歌ったりすることは困難だからである。本論文で提案するモデルはインタラクションをとおして、順々に欲しい画像に近づいてゆくことから、ユーザに類似画像を描くなどの困難な負担を強いることがなく、マルチメディア情報の検索に適しているといえる。あわせて、マルチメディア情報の検索では類似度照合結果が100%一致している検索はないと考える。類似度照合

結果が100%一致している検索をするためには、得たい情報とまったく同じマルチメディア情報を検索者が検索要求として入力する必要があり、これができるのならば、あえて検索をする必要はない。

以上で、検索モデルの提案を行ったが、その特徴を整理すると次のとおりである。

- 3次元空間でのインタラクティブな画像検索であり、インタラクティブな検索結果に基づいて画像群の再配置を行う。画像群の再配置では、直近の検索に用いた検索キー画像を3次元空間の中心に置いて、類似画像を検索キー画像に対するHSIなどの各特徴の類似度に基づいて3次元空間に配置する。
- 最初のインタラクションでは感性語を検索キーワードとして使用して検索を行う。感性語はシステム内蔵辞書を用いて配色(色の組合せ)に変換され、言葉(言語)と色との間のクロスメディア検索を行う。
- 画像中でのオブジェクトの色情報を検索キーとして利用しており、内容検索である。
- 3次元空間での配置はHSI特徴などの画像特徴を座標軸に軸付けして行う。使用する特徴は実装さえ行えばどのような特徴でも使える。現在はHSI特徴とRGB特徴をシステムに実装して使用している。キーワードや分類も特徴として使用可能であり、キーワード軸と画像特徴軸を組み合わせた

3次元空間の軸付けも可能である。

● 検索された画像は動画による表示も可能である。
提案されたモデルを図2に示す。また、本モデルではインタラクションの過程でつねに検索キー画像を3次元空間の中心に配置し、そのまわりに検索結果画像群を画像特徴に基づいて類似度順に配置表示しているので、ユーザにとって見やすい表示となっていることも特徴の1つであり、筆者はこの特徴を人間中心型情報検索と呼ぶ。検索にもちいる3次元画像空間はインタラクションのたびにその中の画像群の配置を変える。これは、あたかも万華鏡を見ながら画像を検索するのに似ている。このことから本モデルを3次元万華鏡モデルと呼ぶ。

3. INMUL-View システム

3.1 INMUL-View システムの特徴と機能

前章で提案したモデルに基づいて INMUL-View システムを実装した。INMUL-View システムの特徴と実現された主な機能は次のとおりである、すなわち、(1) インタラクティブな検索を行う(2章で述べた)、(2) クロスメディア検索である(本節にて説明する)、(3) 内容検索である(本節にて説明する)、(4) 人間中心型の3次元画像空間での検索である(3.4.1項で説明する)、(5) 画像空間が方向性を持つ(3.4.2項で説明する)、(6) 人間とのインタラクションにあわせて画像空間は自己を再構成する(3.4.3項で説明する)、(7) 検索結果を効率良く表示するために画像を動的に表示する(3.4.4項で説明する)。本節では、INMUL-View システムでのクロスメディア検索と内容検索について説明する。

INMUL-View システムでのクロスメディア検索は次のように実現されている。最初の検索で用いられる検索キーワードはユーザによって指定される感性語である。感性語はシステムに内蔵されている配色辞書(3.2節にて説明する)によって対応する配色(色の組合せ)に変換される。その配色と、検索対象である画像からあらかじめ抽出された代表色との間で、それらのHSI特徴などのヒストグラム間のユークリッド距離が計算され、距離の小さい順に比例的に類似しているとして、類似度に基づいて画像が検索結果としてユーザに表示される。最初の検索キーワードが感性語であり、ユーザに表示される検索結果が画像であることから、INMUL-View システムはクロスメディア検索を実現している。

また、内容検索は次のようにして実現されている。上記のクロスメディア検索において、検索対象の画像

からあらかじめ選ばれた代表色が距離計算に使用される。代表色は、検索対象の各画像が色ごとのセグメントに分割され、色の中で大きな面積を有するものの上位5色がおのおのの画像の代表色となる。INMUL-View は検索対象の画像の代表色が検索に使用されているという意味において内容検索を実現している。

3.2 INMUL-View のシステム構成

INMUL-View システムの構成を図3に示す。

INMUL-View システムは4つの部分から構成される、つまり、画像のインデックスヒストグラム作成部(Index histogram module)、検索用ヒストグラム作成部(Query histogram module)、類似度計算部(Similarity calculation module)と結果表示と検索キー画像選択部(Display and selection module)である。

インデックスヒストグラム作成部では、個々の検索対象画像に対してインデックスを作成する。まず最初に、検索対象画像は同じ色を持つ連続した画素の領域としてセグメント化される。ある画像の中の色のうちでセグメント領域の面積の総和が最も大きい5色を、その画像の代表色として選ぶ。おのおのの検索対象画像について、この5色の代表色を1組としてHSIヒストグラムを作り、これを検索対象画像のインデックスヒストグラムと呼ぶ。その次元数は16次元としている。本節以降ではHSIヒストグラムについて述べる。RGBヒストグラムについても同様の方法で作成して利用している。

検索用ヒストグラム作成部では、まず最初にユーザによって検索キーワードとして感性語が入力される。感性語はたとえば「理知的な」、「かわいい」、「トロピカルな」のような雰囲気を表す語である。感性語はINMUL-View システムに内蔵された辞書を使って配色に変換される。辞書は180語の感性語からなり、配色としては3色配色と5色配色の2種類があって、おのおのの感性語は、3色配色と5色配色のおのおのについて10個の配色を持っている。それらの配色は感性語の持つ雰囲気を表す。辞書中では、感性語はその印象をもとにして、warm-cool軸とsoft-hard軸から構成される2次元平面上において、似たようなイメージの語は近くに、反対のイメージを持つ語は離れたところにくるように配置されている。実際に、感性語の配色をその2次元平面上に配置してみると類似イメージ色が近いところに配置されていることや反対イメージ色が離れて配置されていることがよく確認できる。この配色辞書³⁷⁾は、色彩の専門家が作成したものであり、すでにファッション、インテリア、民生

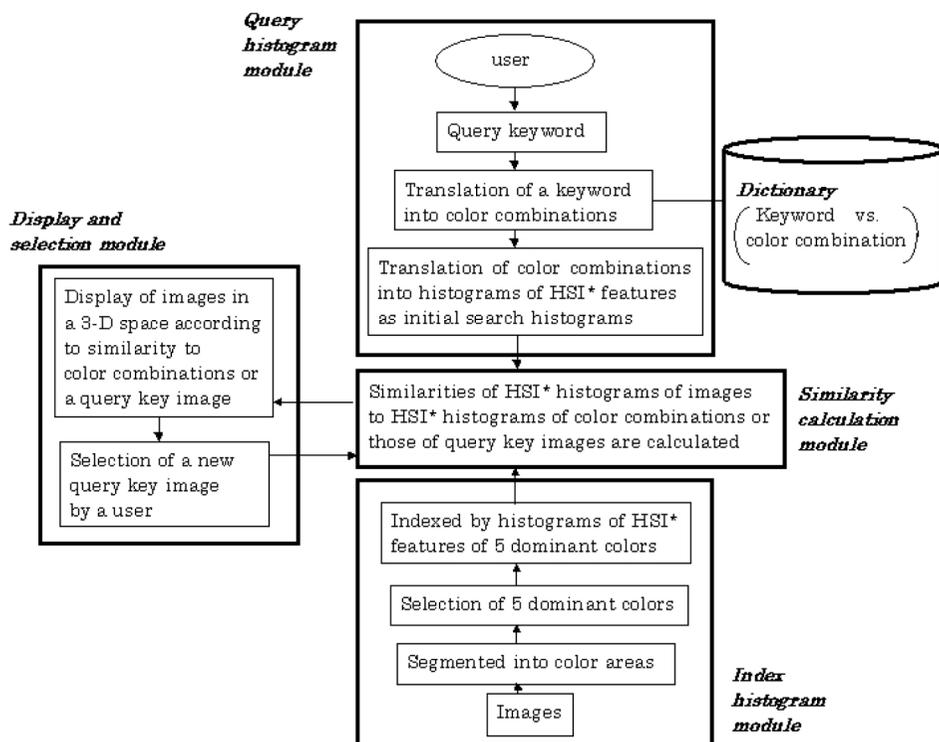


図3 INMUL-Viewシステムの構成
Fig. 3 The architecture of the INMUL-View system.

品、印刷などの分野で利用されていて実績があり信頼性がある。辞書としては180語を持っているが、システムでは10語を使用可能なように実装した。また、INMUL-Viewシステムでは5色配色を使って検索を行うことにしている。各感性語は10個の配色を持っている、つまり5色組合せの配色が10パターンあるが、1つ1つのパターンについてHSIヒストグラムを作成した。その結果、1つの感性語は10個のHSIヒストグラムを持っている。ここで、H、S、Iの個々のヒストグラムの次元数は、すべて16次元である。このようにして作成されたヒストグラムを感性語対応の初期検索用ヒストグラム(Initial search histograms)と呼ぶ。INMUL-Viewシステムでは、2回目以降の検索では検索キー画像をユーザが指定して使用するが、このときは検索キー画像のインデックスヒストグラムが検索用ヒストグラムとして使用される。

類似度計算部では、検索用ヒストグラム(16次元)と個々の検索対象画像のインデックスヒストグラム(16次元)の間のユークリッド距離が計算される。

結果表示と検索キー画像選択部では、3次元空間に検索結果画像群が表示され、それらの中からユーザが次の検索のための検索キー画像を選択する。3次元空

間の原点には、最初は、検索に使われた感性語に対応する検索用ヒストグラムが対応付けられ、2番目以降の検索では検索キー画像のインデックスヒストグラムが検索用ヒストグラムとして原点に対応付けされる。原点に表示されるものは対応する画像または配色である。各検索対象画像は類似度計算部で計算されたヒストグラム間のユークリッド距離に基づいて原点を中心として3次元空間に配置される。

3.3 類似検索とその結果の3次元空間への配置

類似検索を行うために、感性語と画像の特徴量としてH、S、I特徴のヒストグラムを作成する。3.2節で述べたとおり、インデックスヒストグラム作成部で、感性語対応の初期検索用ヒストグラムと検索キー画像のインデックスヒストグラムが作成される。

初期検索用ヒストグラムは、以下のようにして作成される。各感性語は10個の5色配色を持っているが、そのうちの1つの5色配色について次のことを行う。残りの9個の5色配色についても同様のことを行う。5色配色の個々の色のR、G、B値を取り出す。5色から取り出すので、R、G、B値が5組取り出される。R、G、B値をHSI変換³⁶⁾を用いてH、S、I値に変換する。5組のR、G、B値から5組のH、S、I値が

得られる．H 値の値域は，0 から 2π であり，これを 16 個の区間に均等に分割する．H 値は 5 個得られているので，その値によって，値が含まれる区間にそれらを振り分ける．個々の区間は振り分けられた H 値の個数をその区間の値とする．以上の操作によって，連続した 16 個の区間が個々に値を持つことになるので，16 区間のヒストグラムが作成される． J 番目の区間 ($J = 1, \dots, 16$) の値 (ヒストグラムの高さ) を $Q1h_j$ と表記する．S 値, I 値についても同様に 16 区間のヒストグラムを作成する．このとき, S 値, I 値の値域は 0 から 1 として正規化しておく． J 番目の区間 ($J = 1, \dots, 16$) の値 (ヒストグラムの高さ) を同様に, それぞれ $Q1s_j, Q1i_j$ と表記する．本節で述べるヒストグラムはすべて, 各区間の値の総合計が 1 となるように正規化を行う．正規化を行うにあたっては区間の値はすべて同一の比例係数によって縮小される．

検索キー画像のインデックスヒストグラムは次のようにして作成される．検索キー画像は検索対象画像の中からユーザが選択するものなので, 個々の検索対象画像に対してインデックスヒストグラムをあらかじめ作成しておき, 画像が検索キー画像として選択されたときに, その画像のインデックスヒストグラムを検索キー画像のインデックスヒストグラムとして使用する．個々の検索対象画像のインデックスヒストグラムを作成するために, 3.2 節のインデックスヒストグラム作成部の説明で述べた方法によって, 画像から 5 色の代表色を抽出する．この 5 色の代表色の個々の色の R, G, B 特徴量を抽出して, それらを使って初期検索用ヒストグラムを作成したときと同じ方法によって, H, S, I ヒストグラムを作成する．それぞれのヒストグラムは均等な値域の 16 区間に分割されており, それぞれの J 番目の区間 ($J = 1, \dots, 16$) の値 (ヒストグラムの高さ) を Ph_j, Ps_j, Pi_j と表記する．また, これらの検索対象画像のヒストグラムが検索キー画像のインデックスヒストグラムとして使用されるときは, それぞれの J 番目の区間 ($J = 1, \dots, 16$) の値 (ヒストグラムの高さ) を Qh_j, Qs_j, Qi_j と表記する．

次に, ユーザの指定する感性語や検索用キー画像によって類似検索が行われる．一番最初の検索は, 感性語を用いて行われるので, 感性語に対応するヒストグラム (各感性語ごとに 10 個ある) が検索用として使用される．まず, 上記で述べた, あらかじめ作成した検索対象画像のインデックスヒストグラムと初期検索用ヒストグラムの区間の値を用いて下記の式 (1)~(3) と式 (4) の値を計算する．このとき, 初期検索用ヒス

トグラムは 10 個の配色の 1 つ 1 つに対して, H, S, I ヒストグラムを 1 組として対応しているので 10 組のヒストグラムがあるが, おおのこの組のヒストグラムについて計算を行い, 式 (4) の Dist の値が最小になる組のものを最終的に初期検索用ヒストグラムとし, 下記の式の計算結果は, 式 (4) の Dist の値が最小になる初期検索用ヒストグラムを用いたときの値を使用する．

$$h1 = \sqrt{\sum_{j=1}^{16} (Ph_j - Q1h_j)^2} \quad (1)$$

$$s1 = \sqrt{\sum_{j=1}^{16} (Ps_j - Q1s_j)^2} \quad (2)$$

$$i1 = \sqrt{\sum_{j=1}^{16} (Pi_j - Q1i_j)^2} \quad (3)$$

$$\text{Dist} = h1 + s1 + i1 \quad (4)$$

検索対象画像は本論文で述べたシステムでは, 100 画像であり, システムはこれらの 100 画像のすべてを対象として, 式 (1)~(3) と式 (4) の計算を行う．式 (4) の Dist を感性語と検索対象画像との類似度とする．このとき, Dist の値が小さいほど, 類似度が高いとする．これは, Dist がヒストグラム間の距離を表していて, 距離が小さいほどヒストグラム間の類似度が高いからである．システムは類似検索の結果として類似度の高いものから順に 20 画像を HSI 座標系の 3 次元特徴空間へ配置する．配置するときには, 上記で計算した $h1, s1, i1$ をそれぞれ HSI 座標系の 3 次元特徴空間での h, s, i 座標として配置する．

2 回目以降の検索では, ユーザによって選択された画像が検索用キー画像として使用されるので, 選択された画像のインデックスヒストグラムが類似度計算のために使用される．以下の式を計算して, 再度, Dist が算出される．

$$h = \sqrt{\sum_{j=1}^{16} (Ph_j - Qh_j)^2} \quad (5)$$

$$s = \sqrt{\sum_{j=1}^{16} (Ps_j - Qs_j)^2} \quad (6)$$

$$i = \sqrt{\sum_{j=1}^{16} (Pi_j - Qi_j)^2} \quad (7)$$

$$\text{Dist} = h + s + i \quad (8)$$

感性語を使ったときと同様に 100 画像を対象として

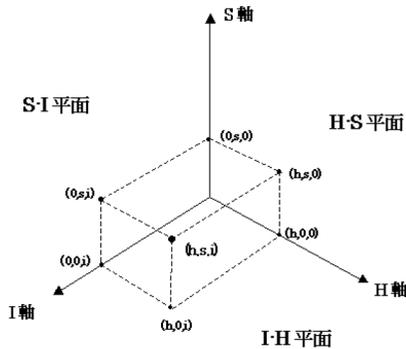


図4 HSI座標系の3次元特徴空間

Fig. 4 3-D feature space using HSI features.

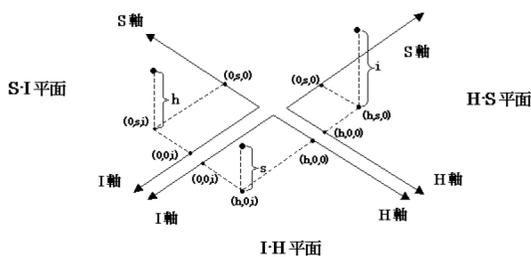


図5 検索結果画像の配置用3次元空間(配置用空間)の3次元構造

Fig. 5 3-D space structure of the space for locating images.

上記の $Dist$ が計算され、類似度の高い順に 20 画像が HSI 座標系の 3 次元特徴空間に配置される。このときも、上記で計算された h, s, i の値を HSI 座標系の 3 次元特徴空間での配置のための座標とする。

システム作成の初期は、図 4 に示すような HSI 座標系の 3 次元特徴空間へ検索結果を配置表示していた。しかし、ユーザから、使用していて表示が分かりにくいとの意見があった。このために、画像の位置を分かりやすくするために、HSI 空間における各基準平面を、原点を中心にして図 5 に示すように展開して、各基準平面上ごとに画像を表示した。このように各基準平面を同じ水平面上に置いて、基準を同一にしたことにより、画像の位置関係が分かりやすくなった。図 5 の空間を配置用空間と呼ぶ。

3.4 画像検索のための INMUL-View システムのユーザインタフェース

以下の項では INMUL-View システムで実現されたユーザインタフェースについて述べる。

3.4.1 人間中心型 3 次元画像空間インタフェース

INMUL-View システムは人間中心型 3 次元空間インタフェースを提供する。このインタフェースは物理

的な意味においても、論理的な意味においても、人間中心型である。物理的に人間中心であるとは、検索者が選択した検索キー画像がつねに 3 次元空間の中心に配置されることを意味する。論理的に人間中心であるとは、検索結果画像群がつねに検索キー画像を中心として、検索において使用される特徴に基づいて類似度の順に配置され、これらの特徴をもとにして、次の検索キー画像を選択するのが容易に行えることである。図 6 は 3 次元空間の中心に配置された検索キー画像を示す。

3.4.2 3 次元空間での方向性

多数の画像の中から 1 つの画像を見つけたことは、ジャングルの中で出口を求めてさまよった状況に似ている。人はジャングルの中でさまよったら、光がさしてきたり、暖かい風が吹いてきたり、良い臭いがするなどの、なんらかの手がかりのある方向に向かって進むに違いない。ジャングルの中でもどんなに迷っても、どこかにとるべき方向はある。INMUL-View システムは多数の画像の検索において、ユーザに検索の方向を示唆する。システムが示唆する方向は、現在実装されているものは画像の HSI 成分や RGB 成分の度合いである。ほかにもいろいろな方向が考えられる。キーワードによる方向、分類による方向などが考えられ、これらによる方向の軸付けは特徴量の類似度計算さえ可能であれば実装可能である。たとえばキーワード特徴の類似度計算は、あらかじめ画像にインデックスとしてのキーワードとその重みを付与しておけば、他の画像との類似度計算は可能である。1 つの軸が 1 つのキーワードに対応することや、1 つの軸を複数のキーワードに対応させて、その軸の特徴量は複数キーワードによって形成されるベクトル空間上のベクトル距離やベクトル間の角度に対応させることも可能である。

図 7 は配置用空間において特徴軸に沿って配置された検索結果の画像群を示す。図 7 において、下部の平面、中段の左側および右側の平面は、おのおの、画像の HSI 特徴を使用する 3 次元特徴空間での I-H 平面、S-I 平面、H-S 平面であり、検索された画像群はそれぞれの平面の上で、中段の中央の平面に配置された検索キー画像に対して類似度の順に配置されている。

また、3 次元空間上では、ウォークスルー機能やサンプル選択機能が有効であり、これらの機能も実装されており、3 次元空間上でのインタラクションとして利用可能である。これらの機能の必要性和有効性は次のとおりである。表示する画像の数が多い場合には、すべての画像を、見て理解できる大きさで一度に画面

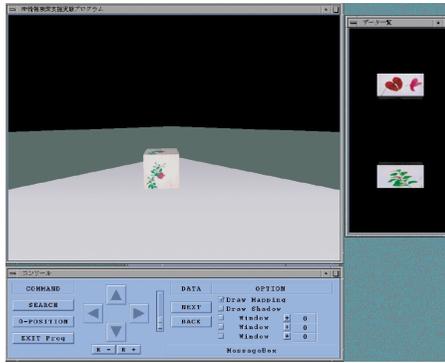


図 6 3次元空間の中心に配置された検索キー画像
 Fig. 6 A search key image at the center of the 3-D space.

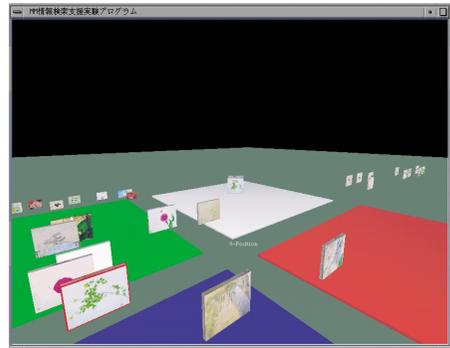


図 8 3次元空間の中から選択された検索キー画像（画面の左下部で赤枠に囲まれた画像）
 Fig. 8 Selection of the next search key (as shown surrounded by the red frame at the left-bottom of this figure).

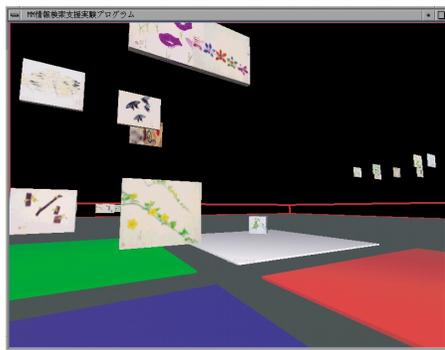


図 7 配置用空間で各特徴軸に沿って配置された検索結果画像群
 Fig. 7 An image retrieval result shown in a 3-D feature space.

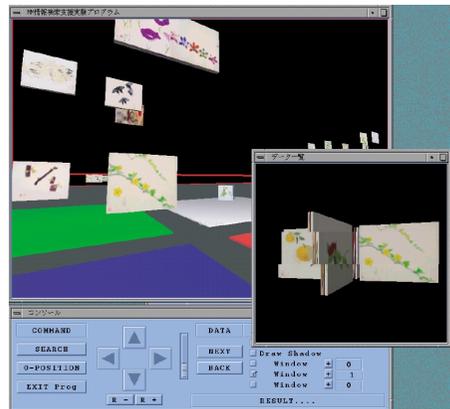


図 9 動きによる画像表示（中段右側のウィンドウ）
 Fig. 9 Animation of images in the middle right window.

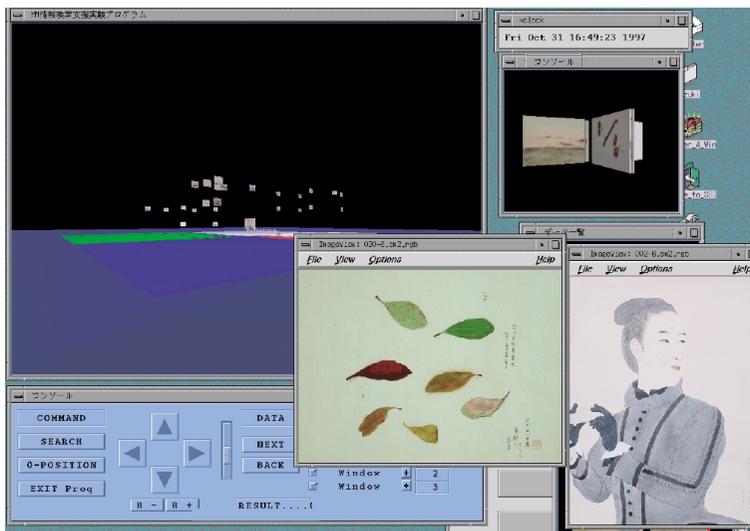


図 10 INMUL-View システムのすべての表示画面
 Fig. 10 Total views of the INMUL-View system.

上に表示するのは困難であり、ユーザは3次元空間をウォークスルーして画像を順々に見てゆくことが必要となり、このような場合にウォークスルー機能が有効である。ユーザとシステムとのインタラクションにおいては、検索用のキー画像を選択することが必要であるが、サンプル選択機能を用いて、選択したい画像をマウスでクリックすることによって、この操作が容易に行える。

3.4.3 人間とのインタラクションによる3次元画像空間の再構成

画像検索において、人とコンピュータのインタラクションは次のようにして進められる。ユーザは直前の検索結果、つまり、システムが検索結果としてユーザに提示した3次元画像空間の中から、新しい検索キー画像を選ぶ。次の検索はこの新しい検索キー画像を使って実行される。そして、その検索結果としての新しい画像群が3次元画像空間に提示される。すなわち3次元画像空間が再構成されて表示される。

図8は、次の検索で用いられる検索キー画像がユーザによって3次元画像空間上で選択されたところを示す。画面の左下側において赤枠で囲まれた画像が、次の検索のために選択された画像である。この画像を検索キー画像として検索が実行されるとともに、この画像は中央の平面に3次元空間の原点として配置される。これらの検索・配置のプロセスを著者は人間とコンピュータとのインタラクションによる仮想世界の再構成と呼ぶ。ここで、仮想世界とはシステムによってユーザに提示される3次元画像空間である。この3次元空間には選択された検索キー画像が中央に配置され、そのまわりに検索結果が表示されている。

このようにして、検索を繰り返すことにより、再帰的な検索が遂行される。そして、この再帰的な検索過程の間に、ユーザは自分の検索イメージにあった仮想世界を見いだしたり、自分の求めている画像を探しだせるチャンスがある。なおかつ、ユーザは自分も考えてもいなかったが、自分にとって素晴らしい仮想世界に遭遇する可能性もある。ユーザは次から次へ、仮想世界を旅することができる、それは、人が美しいものを見つけようとして万華鏡を回すのに似ている。

3.4.4 動きによる画像表示

画像数が大きいときは、すべての画像を同時に表示することは困難である。このような場合はINMUL-Viewシステムはユーザがすべての画像を見られるように画像を順々に動かしながら表示する。図9の中段右側のウィンドウでは検索結果の画像を順々に動かしながら見せている様子を示す。動かしながら表示して

いる最中に、ユーザは自分が欲しい画像をスクリーン上でマウスクリックすることによって選択できる。

インターネットのサーチエンジンを使った検索では多くの場合は、膨大な検索結果リストの中から自分の欲しい情報を探さねばならない。INNUL-Viewシステムでは、検索結果を動かしながら表示してユーザは動くものの中から選ぶという新しい検索インタフェースを導入した。このインタフェースの目的はユーザからシステムへのアクセス数を減少させることである。この手法の評価は現在は検討中である。

図10はINMUL-Viewシステムでのおおのの検索過程でのすべての表示画面を示す。左側上部に検索結果画像群が表示され、動きによる画像表示が右上部である。そして、最終的にユーザが得た画像が図10の中央と右側下部に表示されている。

4. テストコレクション

INMUL-Viewシステムを評価するためにテストコレクションを作成した。テストコレクションは、検索対象画像集合と、検索要求と、個々の検索要求についてその正解画像の情報から構成される。

検索対象画像集合は100枚の花画像である。システムはインタラクティブな画像検索法の評価のためのプロトタイプシステムなので100枚の画像による評価とした。一般的には評価のためにはより多くの画像数が必要と考えられるが、たとえば、服飾制作、図案制作などの現場では、参考とする画像数が多すぎると制作イメージがかえって発散してしまうので、100枚程度の規模の画像を検索して利用するので十分である、という事例も実際には多い。このことから、100枚規模の画像を使った評価も有効であると考えられる。検索要求として感性語を使用する。感性語の数は10個である。それらの感性語は、“intellectual(理知的な)”、“pretty(かわいい)”、“tropical(トロピカルな)”、“neat(さっぱりした)”、“fashionable(しゃれた)”、“charming(可憐な)”、“innocent(ういいういしい)”、“cheerful(ほがらかな)”、“elegant(エレガントな)”、“heavy&deep(重厚な)”である。

おおのの検索要求について適合性判定(正解判定のことである)を行った。個々の検索要求について、検索対象の画像すべてに対して適合性判定を行った。おおのの検索要求に対して10人の判定者が同じ画像に対して適合性判定を行った。この10人の判定者は、5人が男性であり、5人が女性である。そして年齢は20歳前半から40歳後半まで一様に分布している。感性は性別や年齢によって異なるので、判定者は

表 1 適合性評価と適合性判定
Table 1 Relevancy assessments and judgements.

FLOWER IMAGES											Average Score	Judgement
Assessor	Female 1	Female 2	Female 3	Female 4	Female 5	Male 1	Male 2	Male 3	Male 4	Male 5		
IMAGE 1	○	×	×	—	○	×	—	○	×	⊙	1	○
IMAGE 2	×	—	×	—	○	—	○	—	×	○	1	○
IMAGE 3	×	—	—	×	○	—	×	×	×	×	-5	×
IMAGE 4	○	—	○	—	○	—	×	—	○	⊙	5	○
IMAGE 5	○	○	—	×	○	—	×	—	—	⊙	3	○
IMAGE 6	○	⊙	⊙	×	○	○	○	⊙	×	○	9	○
IMAGE 7	×	×	×	×	—	—	×	○	○	○	-2	×
IMAGE 8	⊙	○	⊙	⊙	○	○	—	○	×	○	10	○
IMAGE 9	—	○	○	×	○	○	×	○	×	⊙	4	○
IMAGE 10	—	—	○	×	—	⊙	×	—	×	○	1	○

⊙ : Relevant (score=2)
○ : Partially relevant (score=1)
— : Even (score=0)
× : Not relevant (score=-1)

できるだけ多種多様な人々を選んだ。性別、年齢別において、より多くの判定者を揃えて適合性判定を行い、かつ、対象の画像数も増加させて、テストコレクションの信頼度を向上させることは今後の課題である。

判定者による適合性の判定レベルは4段階であり、それらは“relevant(適合している)”, “partially relevant(どちらかといえば適合している)”, “even(どちらともいえない)”, “not relevant(適合していない)”である。そして、統計処理のために、これらのレベルに順に、2, 1, 0, -1, というスコアを与えた。ある検索要求に対して、ある画像について各判定者の判定に対応するスコアの平均を算出し、それをスコア平均と呼ぶ。スコア平均が0以上の場合に、その画像は、検索要求に対して適合していて、そうでない場合は適合していないとして、これを全判定者によるその画像についての最終的な判定とした。

上記の適合性判定の基本方針として、画像全体として見て、適合していないもの、または、どちらともいえないものは適合していないとし、それ以外のもの、つまり、少しでも適合している部分があるもの、あるいは少しでも適合しているという印象を与えるものは適合していると判断するのが妥当と考えた。この基本方針に基づいて、スコア平均が0より大きいものは少しでも適合していると考え、適合とし、0以下は適合でないとした。表1に今回のテストコレクションの適合性判定結果の一部を示す。この表では検索要求は、“elegant(エレガントな)”であり、10個の画像についての適合性判定結果が示されている。

ただし、適合性判定については今後さらに検討が必要である。つまり、感性語に対する画像の適合性の判定は、もともと、人ごとにその判定基準が異なると考えられ、問題はそのバラツキが大きい場合である。

表1においては、個々の判定について見てゆけば、1人の人が適合していると判定して、別の人が適合していないと判定している場合がいくつか見受けられる。しかし、全体としてマクロ的に見た場合には、平均をとることによって、適合している、適合していないが平均化されて、判定者全体として一定の傾向が出ていると考える。今回のテストコレクションでは、平均をとることによって、バラツキの影響をおさえていると考えられるが、バラツキが顕著な場合は、判定のスコアの標準偏差を計算して、標準偏差が大きい場合には、その画像を評価用として使用しないなどの対処をするべきであると考えられる。

5. INMUL-View システムの評価

INMUL-View システムをテストコレクションを使用して評価した。評価は3つの観点から行われた。すなわち、インタラクティブな検索の結果が検索者依存であるかどうかという観点、インタラクティブな検索の検索特性という観点と、検索における特徴軸の有効性の観点からである。検索特性は、個々になされたインタラクティブな検索結果について分析をしてその結果をベースラインインプローブメント(Baseline improvement)の方法(次節において説明する)によってまとめた。評価のための検索実験ではHSI特徴を使用して検索を行った。本章では、検索精度評価法、インタラクティブ検索の検索者依存性、INMUL-View システムの検索特性、検索における特徴軸の有効性について順に述べる。

5.1 検索精度評価法

検索精度評価のために評価尺度として、テキスト情報検索の評価尺度として広く利用されている再現率・適合率³⁵⁾を使用した。再現率は、検索結果の中で正

表 2 検索キーワード “tropical” を使ったときの再現率適合率表, searcher = Ki
Table 2 Precision-recall table for search keyword “tropical”, searcher = Ki.

Search Keyword: Tropical		Search DB: Flower										Searcher: Ki
Recall	Precision											
	Interaction											
	Init	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th	7th	8th	9th	10th	
0.0	0.1444	0.5000	0.6667	0.7500	0.7500	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	
0.1	0.1444	0.5000	0.6667	0.7500	0.7500	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.6667	0.5000	
0.2	0.1444	0.1591	0.3000	0.7500	0.7500	0.7500	0.7500	0.6000	0.6000	0.4286	0.3846	
0.3	0.1444	0.1591	0.2500	0.2941	0.3846	0.3571	0.3103	0.3182	0.3182	0.3571	0.3846	
0.4	0.1444	0.1591	0.2500	0.2414	0.2609	0.2500	0.3103	0.3182	0.3182	0.3333	0.3333	
0.5	0.1444	0.1591	0.2500	0.2414	0.2059	0.2432	0.3103	0.3182	0.3182	0.3333	0.3333	
0.6	0.1444	0.1463	0.1525	0.1667	0.1837	0.2432	0.3103	0.2903	0.3103	0.3214	0.3333	
0.7	0.1444	0.1463	0.1519	0.1558	0.1667	0.1961	0.2500	0.2564	0.2632	0.2778	0.3125	
0.8	0.1444	0.1463	0.1519	0.1558	0.1667	0.1795	0.1846	0.1846	0.1875	0.1905	0.1905	
0.9	0.1444	0.1443	0.1443	0.1443	0.1556	0.1795	0.1781	0.1795	0.1795	0.1795	0.1781	
1.0	0.1443	0.1443	0.1443	0.1443	0.1556	0.1795	0.1707	0.1795	0.1795	0.1795	0.1772	
11 points average	0.144	0.215	0.284	0.345	0.357	0.416	0.434	0.422	0.425	0.388	0.375	
Baseline improvement(%)	0	49.24544	97.49577	139.5133	148.0736	189.0258	201.4399	193.2366	195.1087	169.4258	160.5748	

解のものの数の検索対象の中の全正解数に対する比率であり、全正解をどの程度まで再現しているかを表し、適合率は検索結果の中で正解のものの数の検索結果の全数に対する比率であり、検索結果の中での正解のものの比率を表す。再現率と適合率はテキスト情報検索の評価において使用されているが、上記のように正解の再現性と、検索結果集合の中での正解のものの割合を示すものであり、テキスト情報検索固有のものではなく一般的な評価尺度であるので、今回の画像検索の検索精度評価尺度として使用することにした。

さらに、インタラクティブな検索の評価を行うために、最初の検索結果に対して2回目以降の検索において、最初の検索結果に対して検索精度をどの程度改善したかを示すベースラインインブループメントを使用した。ベースラインインブループメントについて、表2を例として使って説明する。表2は5.2節にて説明するが、検索実験の被験者Kiが検索キーワードとして“tropical”を使ったときの検索精度評価をまとめた再現率適合率表である。この表では各列は1回1回のインタラクションに対応して、再現率(Recall)が0.0から1.0の間で0.1間隔で変わること、それぞれの再現率に対応する適合率(Precision)を示したものである。再現率を0.1ずつ変えて、おのおのに対応する適合率と組をつくることは以下に述べる検索結果データ処理に対応する。つまり、検索結果は一般的に検索要求に対する類似度の順に上位から並べられるが、類似度の上位n位までを検索結果とするとして、nを1から順々に1ずつ増加させて、1ずつ増加させるごとにその場合の再現率・適合率を算出して、n組の再現率・適合率を計算し、評価のためのポイントとして、再現率が、0.0から1.0の間での0.1ごとの合計

11ポイントで再現率と適合率の組を取り出して、これらの組で全体の評価を行う。nは検索結果の全数であり、今回のシステムでは検索対象画像を類似度順に全数出力するので、n = 100である。なお、再現率・適合率の計算方法について詳しくは情報検索の草分けであるSaltonらの文献³⁵⁾を参照されたい。これらの11ポイントの適合率の平均値をとったものが、表2で下から2行目に示された11 points average値である。表の最下行に示されたベースラインインブループメント(baseline improvement)値は11 points average値について、検索の各インタラクションに応じて最初のもの(表の中でInitの欄に示されたもの)に対してどれくらい改良されたかを百分率値で計算したものである。このベースラインインブループメント値をインタラクションの順にプロットしてグラフ化したものがベースラインインブループメントグラフであり、この例は図11, 12, 13などである。

5.2 インタラクティブ検索の検索者依存性

インタラクティブな検索の結果は、個々の検索者がたどった検索の経過に依存する。情報検索システムに対する重要な要求条件の1つは、システムは検索者に依存しないで、良い検索結果を出すことである。つまり、検索者の検索要求が同じであれば、検索の経過は検索者によって異なっても、最終的に得る検索結果は同じか、近いものであることが要求される。

この節では、3人の検索者のインタラクティブな画像検索の結果について述べる。これらの検索者は本システムの使用経験は今回の実験前にはなかった。4章で述べたテストコレクションが検索結果の比較のために使用された。おのおのの検索者は3つの同じ検索キーワードを使用して検索を行った。検索キーワード

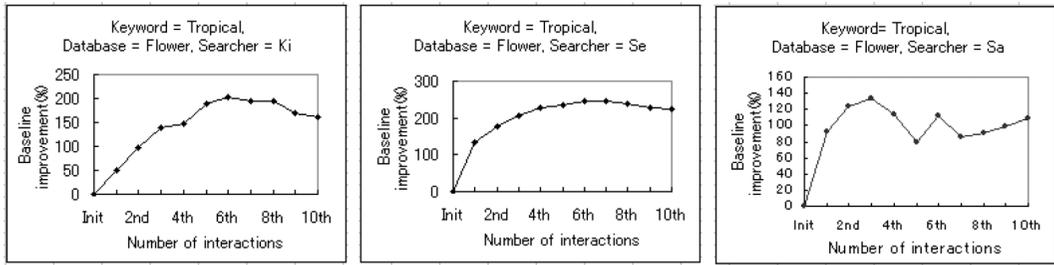


図 11 検索キーワード “tropical” を使ったときの 3 人の検索者のベースラインインプルーブメントグラフ

Fig. 11 Baseline improvement graphs of three searchers for the search keyword “tropical”.

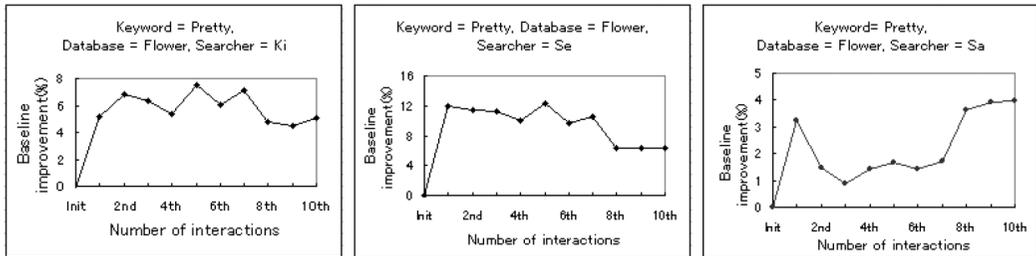


図 12 検索キーワード “pretty” を使ったときの 3 人の検索者のベースラインインプルーブメントグラフ

Fig. 12 Baseline improvement graphs of three searchers for the search keyword “pretty”

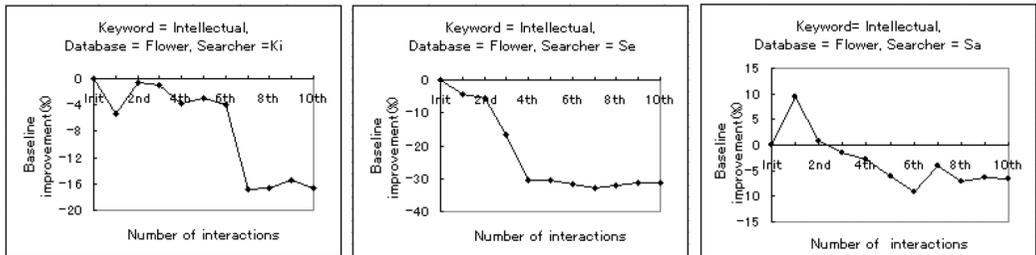


図 13 検索キーワード “intellectual” を使ったときの 3 人の検索者のベースラインインプルーブメントグラフ

Fig. 13 Baseline improvement graphs of three searchers for the search keyword “intellectual”.

として使われた感性語は，“tropical”，“pretty”，“intellectual”である．個々の検索においては，検索者は感性語を第 1 回目の検索に使用し，INMUL-View システムは検索された画像を 3 次元空間に最初の検索結果として表示する．次に，検索者は 3 次元空間に表示された画像の中から次の検索キーとして適切であると考えられる画像を選ぶ．そして，INMUL-View システムは選ばれた画像を検索キーとして 2 回目の検索を行う．検索者とシステムの間インタラクションは，システムが検索結果として表示した画像の中から検索者が次の検索のための画像を選ぶことである．おのこの検索においてインタラクションは 10 回ずつ行われた．

おのこの検索に対して，検索結果の評価がなされた．その評価結果を再現率適合率表として表 2，表 3，表 4 に，ベースラインインプルーブメントグラフと

して図 11，12，13 に示す．

表 2，3，4 は検索キーワード “tropical” を使った検索に対して作られたものであり，表 2 は検索者 Ki に，表 3 は検索者 Sa に，表 4 は検索者 Se に対応している．

これらの表 2，3，4 からベースラインインプルーブメントグラフを作成し，それらを図 11 としてまとめた．図 11 では左から，検索者 Ki，Se，Sa の順に対応して，おのこの示されている．

図 12 と図 13 に示されたグラフは，おのこの，検索キーワードとして “pretty” と “intellectual” を使ったときの実験に対して，検索キーワード “tropical” を使ったときと同様の方法で作られたものである．

これらのグラフは，検索者間でベースラインインプルーブメントグラフの傾向は，ほぼ同じであることを示している．この結果，INMUL-View システムは異

表3 検索キーワード“tropical”を使ったときの再現率適合率表, searcher = Sa
Table 3 Precision-recall table for search keyword “tropical”, searcher = Sa.

Search Keyword: Tropical Search DB: Flower Searcher: Sa

Recall	Precision										
	Init	1st	2nd	3rd	Interaction		6th	7th	8th	9th	10th
0.0	0.1444	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.5000	1.0000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
0.1	0.1444	0.5000	1.0000	1.0000	0.6667	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
0.2	0.1444	0.2727	0.3000	0.2308	0.2308	0.2500	0.2500	0.2500	0.2593	0.2857	0.3182
0.3	0.1444	0.1852	0.1607	0.2000	0.2041	0.2381	0.2333	0.2500	0.2593	0.2857	0.3182
0.4	0.1444	0.1587	0.1607	0.2000	0.2041	0.2258	0.2333	0.2500	0.2593	0.2857	0.3182
0.5	0.1444	0.1587	0.1607	0.2000	0.2041	0.2258	0.2333	0.2500	0.2593	0.2727	0.3182
0.6	0.1444	0.1587	0.1607	0.2000	0.2041	0.2143	0.2308	0.2368	0.2500	0.2727	0.2727
0.7	0.1444	0.1587	0.1587	0.2000	0.2041	0.1923	0.1852	0.2083	0.2128	0.2381	0.2381
0.8	0.1444	0.1529	0.1519	0.1714	0.1739	0.1765	0.1765	0.1765	0.1831	0.1806	0.2034
0.9	0.1444	0.1529	0.1512	0.1529	0.1605	0.1646	0.1711	0.1757	0.1831	0.1806	0.1781
1.0	0.1443	0.1443	0.1443	0.1443	0.1443	0.1458	0.1458	0.1458	0.1458	0.1458	0.1458
11 points average	0.144	0.2766	0.3226	0.3363	0.3088	0.2576	0.3054	0.2676	0.2738	0.2861	0.3010
Baseline improvement(%)	0	92.11145	124.0517	133.5523	114.4305	78.86126	112.0777	85.80524	90.141	98.71447	109.0186

表4 検索キーワード“tropical”を使ったときの再現率適合率表, searcher = Se
Table 4 Precision-recall table for search keyword “tropical”, searcher = Se.

Search Keyword: Tropical Search DB: Flower Searcher: Se

Recall	Precision										
	Init	1st	2nd	3rd	Interaction		6th	7th	8th	9th	10th
0.0	0.1444	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.1	0.1444	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.2	0.1444	0.3750	0.7500	0.7500	0.7500	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
0.3	0.1444	0.1935	0.3333	0.6250	0.7143	0.6250	0.6667	0.6667	0.6250	0.5556	0.5000
0.4	0.1444	0.1935	0.2414	0.4286	0.6667	0.5455	0.6667	0.6667	0.6000	0.5455	0.4615
0.5	0.1444	0.1750	0.2414	0.2258	0.1892	0.2593	0.2500	0.2414	0.2500	0.2121	0.2188
0.6	0.1444	0.1519	0.1667	0.1625	0.1728	0.1733	0.1875	0.1875	0.2000	0.1957	0.2093
0.7	0.1444	0.1519	0.1667	0.1625	0.1728	0.1733	0.1795	0.1750	0.1772	0.1750	0.1795
0.8	0.1444	0.1519	0.1667	0.1625	0.1728	0.1733	0.1795	0.1750	0.1772	0.1750	0.1795
0.9	0.1444	0.1443	0.1585	0.1625	0.1728	0.1733	0.1795	0.1750	0.1772	0.1750	0.1795
1.0	0.1443	0.1443	0.1443	0.1505	0.1728	0.1687	0.1795	0.1750	0.1772	0.1750	0.1795
11 points average	0.144	0.335	0.397	0.439	0.471	0.481	0.499	0.497	0.489	0.474	0.464
Baseline improvement(%)	0	132.4149	175.8181	204.9189	227.2941	234.0733	246.514	244.8367	239.8902	228.8373	222.4457

なる検索者に対して、同じ傾向の検索結果を出すと考えられる。

5.3 INMUL-View システムの検索特性

INMUL-View システムの検索特性を調べるために検索実験を行った。検索実験の回数は全部で 27 回である。検索者 Ki は花画像データベースを検索対象として、検索キーワード “tropical”, “pretty”, “heavy & deep”, “intellectual” を使って 4 回の検索を行った。検索者 Sa は同じく花画像データベースを検索対象として “tropical”, “pretty”, “intellectual” を検索キーワードとして 3 回の検索を行った。検索者 Se はブラシペイント画像データベースと花画像データベースをそれぞれ同じ 10 個の検索キーワードを使って検索した。つまり、20 回の検索を行った。それらの 10 個の検索キーワードは “tropical”, “pretty”, “heavy & deep”, “elegant”, “neat”, “cheerful”, “fashionable”, “in-

nocent”, “charming”, “intellectual” である。

これらのすべての実験検索について、ベースラインインブループメントグラフを作成した。1 回の実験検索に対して 1 つのベースラインインブループメントグラフができるので、27 個のグラフができた。これら 27 個のグラフは類似するグラフ形状を持つ 5 つのグループに分類できた。分類のための分類基準は以降に続くパラグラフで述べる。これらの 5 つの各グループの平均ベースラインインブループメントグラフ(各グループに属するすべてのベースラインインブループメントグラフについて、それらの対応する項目のデータの平均値を求めて、それらの平均値を用いてグラフを作ったもの)を図 14 に示す。

これらの 5 分類はそれらの平均ベースラインインブループメントグラフの特徴から以下のように名前を付けた。つまり、“Gained and high plateau(高ゲイ

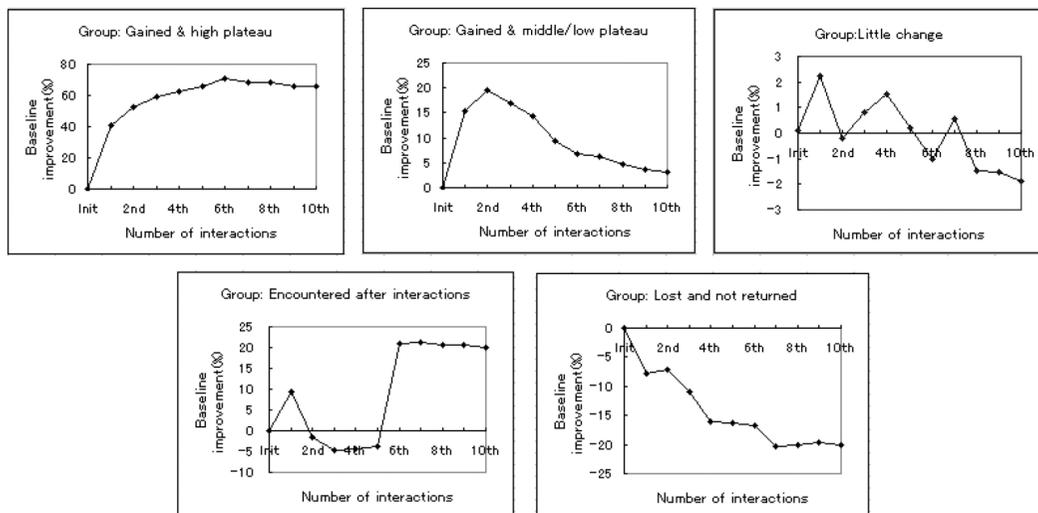


図 14 5 分類されたベースラインインプローブメントグラフ

Fig. 14 Baseline improvement graphs of 5 Groups.

ン持続型)”, “Gained and middle/low plateau (中小ゲイン持続型)”, “Little change (微少変化型)”, “Encountered after interactions (インタラクション後遭遇型)”, “Lost and not returned (損失型) ” である。

これらの 5 分類の分類基準は次のとおりである。なお、各分類における個々の分類基準は (A-1) などの項番を付している。

- (A) Gained and high plateau (高ゲイン持続型) の分類基準
 - (A-1) 5 回目のインタラクションまで、グラフの Baseline improvement 値 (以下、BLI 値と呼ぶ) が、おおむね単調に増加していること。
 - (A-2) 6 回目以降のインタラクションで BLI 値が 20 以上をおおむね保持していること。
 - (A-3) 特に BLI 値が 100 を超す場合は、多少の増減があっても、この分類に入れる。
- (B) Gained and middle/low plateau (中小ゲイン持続型) の分類基準
 - (B-1) おおむね 1~2 回目のインタラクションまでに、BLI 値が増加していること。
 - (B-2) その後の数回のインタラクションの間で BLI 値がおおむね減少していること。
 - (B-3) 減少の後、その後のインタラクションで BLI 値がおおむね一定であるか、または減少していないこと。
- (C) Little change (微少変化型) の分類基準

(C-1) BLI 値が ± 10 以内であること。

(C-2) BLI 値が正の場合と負の場合があって、BLI 値が正負に振れていること。

- (D) Encountered after interactions (インタラクション後遭遇型) の分類基準

(D-1) おおむね 5 回目以降のインタラクションで BLI 値が 1 回のインタラクションで急激に上昇して、以降のインタラクションでは、その上昇が保持されていること。

- (E) Lost and not returned (損失型) の分類基準

(E-1) BLI 値が単調に減少しているもの。
 おおむねの分類について平均ベースラインインプローブメントグラフ (以下では ABLI グラフと呼ぶ) の特徴を以下に説明する。

- “Gained and high plateau (高ゲイン持続型) ” では、ABLI グラフは検索インタラクションにともなって、検索精度が向上してゆき、ある一定回数を超すと精度向上はなくなるが、検索精度は良くなったままで推移する。
- “Gained and middle/low plateau (中小ゲイン持続型) ” では、ABLI グラフは最初は検索精度が向上するが、数回のインタラクションの後には、検索精度は低下してゆき、インタラクションを重ねるに従って、精度向上値 (ベースラインインプローブメント値) は 0 に近くなり、最初の検索の精度に近くなる。
- “Little change (微少変化型) ” では、ABLI グラフはインタラクションを続けても、検索精度はや

表5 ベースラインインブループメントグラフによるインタラクティブな検索結果の分類結果
Table 5 Grouping of the interactive search results by baseline improvement graphs.

Interaction results	Tropical	Heavy & deep	Pretty	Elegant	Neat	Fashionable	Cheerful	Innocent	Charming	Intellectual
Gained and high plateau	(Flw,Se) (Flw,Ki) (Bru,Se) (Flw,Sa)	(Flw,Ki) (Bru,Se)	(Bru,Se) (Bru,Se)							
Gained and middle/low plateau	(Bru,Se)	(Flw,Se)	(Flw,Se) (Flw,Ki) (Flw,Sa)	(Flw,Se)	(Bru,Se)	(Flw,Se)				
Little change						(Flw,Se)	(Flw,Se)	(Bru,Se)	(Flw,Sa)	
Encountered after interactions						(Bru,Se)		(Flw,Se)		
Lost and not returned				(Flw,Se)					(Bru,Se) (Flw,Ki) (Flw,Se)	

や低下傾向ではあるが、ほぼ一定のままである。

- “Encountered after interactions(インタラクション後遭遇型)” では、ABLI グラフは数回のインタラクションの後に、突然、検索精度が向上する。これは数回の試行錯誤を繰り返すうちに、検索キーとして適切な画像を見つけることができ、その後はこの画像に類似する画像を検索して、それらを順々に使って、精度の高い検索結果を持続しているケースである。
- “Lost and not returned (損失型)” では、ABLI グラフは検索しても、精度は単調的に悪くなってゆくばかりである。

これらの5つの特徴は INMUL-View システムを使ったインタラクティブな画像検索において典型的なものと考えられる。

27 回の検索実験の結果を表5に分類して示す。表5での行は上記の5分類に対応し、列は検索に使われた検索キーワードに対応している。表5において個々の検索実験の結果は (Flw, Se) のような括弧で囲まれた対として表現され、表の中のおおのこの分類枠に入れている。この括弧の中の1番目の項目は検索対象データベースを表していて、Flw は花画像データベースを示し、Bru はブラシペイント画像データベースを示す。2番目の項目は検索者を表している。Se, Ki, Sa は検索者を識別するための略記号である。

表5から分かるとおり、検索キーワード “tropical (トロピカルな)”, “pretty (かわいい)”, “heavy & deep (重厚な)”, “elegant (エレガントな)”, “neat (さっぱりした)” を使った検索は、“Gained and high plateau (高ゲイン持続型)” グループと “Gained and

middle/low plateau (中小ゲイン持続型)” グループを形成している。これらの検索キーワードは他の検索キーワードに比べて意味の解釈のしかたが明快であり、おのおのの検索者に、同じような印象を与えるか、あるいは同じ意味を持つと解釈されると考えられることから良い検索結果になっている。

“intellectual (知的な)” は “Lost and not returned (損失型)” グループを形成している主な検索キーワードである。花画像とブラシペイント画像の検索においては検索キーワード “intellectual” の解釈は難解であり、検索者や、正解作成者の間でも異なるか、あるいは解釈が十分にはできない者もいて、そのために検索結果は良くない。

検索キーワード “cheerful (ほがらかな)”, “fashionable (しゃれた)”, “innocent (ういいういしい)” を使った検索は、“Gained and middle/low plateau (中小ゲイン持続型)” グループと “Little change (微少変化型)” グループとを形成している。これらの検索キーワードは前記の2種類の検索キーワードの中間的な存在であり、おのおのの検索者にとって、これらの語の解釈は同じとまではゆかないが、しかし、解釈が大きく異なることもなく、また、解釈不能でもない。検索結果としては、良い場合から良くない場合まで幅広い。

表5および図14は種々の検索キーワードとそれらを用いたインタラクティブな検索結果の関係を表している。すなわち、INMUL-View システムの検索特性をあらわしている。一般に、検索者や正解判定者が検索キーワードの意味を解釈するときに、解釈が問題な

くでき、解釈をする人の間で意味の解釈の差が小さいときには良い検索結果が得られている。INMUL-View システムを使った検索によって、検索キーワードによるこのような差異が明らかになった。

5.4 検索における特徴軸の有効性ならびに適合性フィードバック法との関連

3次元画像空間では特徴軸に HSI 特徴などの画像特徴を軸付けして画像配置のために使用している。INMUL-View システムでは、この特徴軸がどのように有効に働いているかが大きなポイントである。今回の検索実験ではこの特徴軸の有効性を示すデータは収集していない。その理由は、まずは検索精度評価データを収集整理して、特徴軸に関するデータまではとれなかったためである。しかし、検索者にアンケート調査を行ったところ、検索を開始して最初のころのインタラクションでは、いろいろの特徴軸に着目して検索してゆくが、検索の方向が分かってくると、ある特定の特徴軸のみに着目して検索を行うようになる、という意見を全検索者が回答した。これは定量的な評価ではないが、このアンケート回答に基づく特徴軸は頻繁に利用されていて、特徴軸が検索において重要な役割を担っていると考えられる。特徴軸の有効性の定量的評価は今後の課題である。

なお、特徴軸の有効性について定性的に述べると次のとおりである。本論文で述べたシステムでは、特徴軸として H, S, I や R, G, B などの、画像の持つ一次的な特徴量を使用している。本節の前半で述べたように、アンケートでは検索のプロセスにおいて、どれかの特徴量が有効に機能することが報告されている。しかし実装してはいないが、特徴量としては、上記の H, S, I や R, G, B の他に、これらの組合せなども考えられる。たとえば、彩度 (S) と明度 (I) の組合せであるトーンのような軸があればトーンをもとにした検索が可能になる。HSI 座標系や RGB 座標系でなく H, トーン, イメージ語 (キーワード) のような新しい座標系を使って検索するのはイメージに基づく検索において有効であろうと考えられる。RGB 座標系は、色そのものに着目した検索に有効である。H, S, I 特徴量や R, G, B 特徴量から離れて、たとえば、服飾デザインの画像 DB の検索において 3次元特徴量を利用する場合は、服の材質、形、イメージなどを特徴軸として検索を行うと有効であろう。また、視点を変えて論じると、インタラクションのプロセスにおいて、あまり利用されなかった特徴軸を取り出して、次の検索からはこの特徴軸を別の特徴軸に置き換えることで 3次元空間を使った検索の有効性を高めることが

可能になる。たとえば、明度軸と彩度軸が交互によく使用されるのであれば、これらを統一して、トーン軸にするなどの方法は有効である。以上のように、検索対象となるデータベースに応じて使用する特徴量を使い分けたり、あるいは、変えたりすることによって効果的な検索が実現できるようになる。

また、本論文で述べた検索方法では、検索キーを毎回変えていることから、検索方法としての適合性フィードバック法と関連があると考えられる。その関連性について述べる。適合性フィードバック法は、検索結果 (画像検索システムでは検索された画像である) に対してユーザが、検索に対する適合度をシステムに与えて、システムはその適合度をもとにして、検索式におけるキーワードの重みパラメータなどを変えて、その後、再度、検索を行う方法である。本論文で述べたシステムでは、検索用のサンプルを変えてゆくだけであるので、適合性フィードバック方法とは厳密な意味では異なる。しかし、ユーザの指定によってサンプルを変えて、それをそのまま検索用のキー画像として使っているため、このことは、検索式 (検索用キー画像) をユーザの指定によって変えていることに当たるので、広義の意味ではユーザからの適合性フィードバックを行っているといえる。

6. まとめと今後の課題

本論文では、3次元空間を使用するインタラクティブな画像検索モデルを提案した。そのモデルを 3次元万華鏡モデルと名付けた。このモデルに基づいて INMUL-View システムを実装した。INMUL-View システムは提案されたモデルを評価することを目的とするプロトタイプシステムである。評価のために画像検索のテストコレクションを作成した。テストコレクションの作成に際しては、多様な年齢、異なる性別から構成される 10人の正解判定者によって検索要求に対する適合性判定を行って判定の客観性・正確性を高めた。

INMUL-View システムについて 3つの観点からその評価を行った。1番目の観点は、インタラクティブな検索システムの検索結果の検索者依存性についてであるが、評価の結果、INMUL-View システムは個々の検索者に対して同じ検索キーワードが使われたときには同様な検索結果になる傾向であることが判明した。このことから INMUL-View システムは個々の検索者への依存性は少ないと考えられる。

2番目の観点は、3次元空間を利用するインタラクティブな画像検索システムの検索特性を明らかにすることであるが、種々の検索キーワードを用いて繰り返

し検索実験を行った結果、検索結果でのベースラインインブループメントグラフが5つのタイプに分類できることが分かった。そして検索キーワードの意味解釈と5つのタイプ分類の関係について考察した。考察の結果、受ける印象が人によってほとんど異なる検索キーワードを使った検索では検索精度はインタラクションにともなって向上するが、“intellectual(知的な)”のように人が受ける印象が一定でない、あるいは、印象として認知するのが難しい検索キーワードの場合はインタラクションを重ねても検索精度は全般的に低いままか、もしくは、さらに悪化する傾向であることが判明した。このことから、検索精度は検索キーワードの意味解釈の差異に依存するが、このことは同時に、INMUL-View システムがそのような意味解釈の差異をそのまま反映していて、検索システムとしてはバイアスをかけていないことを示している。

3番目の観点は、3次元画像空間の特徴軸の有効性についてであるが、アンケート調査の結果、全検索者が特徴軸を頻繁に利用したと回答し、特徴軸は検索において大きな役割を果たしていることが分かった。

従来の研究報告では、3次元空間を利用する画像検索システムの実装の報告³⁴⁾はあったが、検索精度評価までした報告はなく、本論文は検索精度評価をしてシステムの検索特性と検索の有効性を明らかにした点が新規である。

本論文では画像検索のための3次元万華鏡モデルの提案を行った。その実装・評価を行う過程で得られた今後の研究課題を以下に示す。

- 現在、3次元空間の座標軸に画像特徴として軸付けが実装されているのは、HSI 特徴と RGB 特徴であるが、今後はキーワード特徴、分類特徴などの特徴も実装して検索の有効性を検証する。キーワードや分類特徴の使用方法としては、たとえば、色彩のトーンは明度と彩度の組合せによってできるが、トーン(2次元)とキーワードや分類(1次元)の組合せで検索をすることもあるので、このような組合せによる3次元空間での検索も有効性があると考えられ、実装して検索における効果を検証する。
- 3次元空間では特徴軸に基づいて特徴の類似度の順に画像を配置表示して検索に利用しているが、このような特徴軸の有効性を定量的に明らかにする必要があるため、今後、実験をとおして明らかにする。今回行った実験では、ユーザは検索時には特徴軸は非常によく使用していたことがアンケート調査によって定性的にはあるが確認でき

たが、有効性を示すためのデータ収集分析はできていなかった。また、検索過程において3次元画像空間が順々に再構築され表示されるが、3次元空間の構成そのものがユーザの意図にあっていないかの検証も重要である。

- INMUL-View システムの検索精度評価の信頼度を高めるために、多様で、多数の正解判定者によって、多数の画像の正解判定を行って、より規模の大きいテストコレクションを作り、システムの評価を行う必要がある。かつ、検索画像の適合性判定方法についても、より客観性があり、納得のゆくものにするための議論が必要である。検索精度の評価とあわせて、所望の画像を得るまでのインタラクション回数の評価も必要である。すなわち、いかに少ないインタラクション数で満足する画像を得られるかという評価を行う。
- 画面表示された画像をより見やすくしたり、より多くの画像を集積的に見せたりするために、次のような機能が有効であると考えられるので実装を検討する。それらの機能は、(1) 3次元空間において、ある領域をクローズアップしてユーザに見せるために光線を利用して領域を照らし出す機能、(2) 画像群を別の視点から眺めるために、視点生成や視点切り替えをする機能、(3) より多くの画像を見せるために、画像中の輪郭を抽出して、複数画像の輪郭を重ね合わせて表示する機能などである。
- INMUL-View システムの応用として、ファッション・デザインの出発点となるイメージ画像(コンセプト画像とも呼ばれている)の検索に使用して、実用面からの評価を行う必要がある。

今後はこれらの課題について研究を進め、インタラクションや仮想世界などを利用して人間の検索時の志向を解明しつつ、より満足感のある検索モデルの解明や、そのためのコンピュータによる情報提示手法の研究を進める予定である。

参 考 文 献

- 1) 住田一男, 三池誠司: 知的情報検索の動向, 人工知能学会誌, Vol.11, No.1, pp.10-16 (1996).
- 2) Grosky, W.I.: Managing multimedia information in database systems, *Comm. ACM*, Vol.40, No.12, pp.73-80 (1997).
- 3) Ornager, S.: The newspaper image database: Empirical supported analysis of user's typology and word association clusters, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on*

- research and development in information retrieval*, pp.212–218 (1995).
- 4) Shakir, H.S. and Nagao, M.: Context-sensitive processing of semantic queries in an image database system, *Information Processing & Management*, Vol.32, No.5, pp.573–600 (1996).
 - 5) Aslandogan, Y.A., Thier, C., Yu, C., T., Zou, J. and Rishe, N.: Using semantic contents and WordNet in image retrieval, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, pp.286–295 (1997).
 - 6) Harmandas, V., Sanderson, M. and Dunlop, M.D.: Image retrieval by hypertext links, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, pp.296–303 (1997).
 - 7) Mehtre, B.M., Kankanhalli, M.S. and Lee, W.F.: Shape measures for content based image retrieval: A comparison, *Information Processing & Management*, Vol.33, No.3, pp.319–337 (1997).
 - 8) Mehtre, B.M., Kankanhalli, M.S. and Lee, W.F.: Content-based image retrieval using a composite color-shape approach, *Information Processing & Management*, Vol.34, No.1, pp.109–120 (1998).
 - 9) Ravela, S. and Manmatha, R.: Image retrieval by appearance, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, pp.278–285 (1997).
 - 10) Gudivada, V.N. and Raghavan, V.V.: Modeling and retrieving images by content, *Information Processing & Management*, Vol.33, No.4, pp.427–452 (1997).
 - 11) Wu, J.K. and Narasimhalu, D.: Fuzzy content-based retrieval in image databases, *Information Processing & Management*, Vol.34, No.5, pp.513–534 (1998).
 - 12) Fuhr, N., Govert, N. and Rolleke, T.: DOLORES: A system for logic-based retrieval of multimedia objects, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, pp.257–265 (1998).
 - 13) Cutting, D.R., Karger, D.R., Pedersen, J.O. and Tukey, J.W.: Scatter/Gather: A cluster-based approach to browsing large document collections, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, pp.318–329 (1992).
 - 14) Cutting, D.R., Karger, D.R. and Pedersen, J.O.: Constant interaction-time Scatter/Gather browsing of very large document collections, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, pp.126–134 (1993).
 - 15) Efthimiadis, E.N.: A user-centred evaluation of ranking algorithms for interactive query expansion, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, pp.146–159 (1993).
 - 16) Rao, R., Pedersen, J.O., Hearst, M.A., Mackinlay, J.D., Card, S.K., Masinter, L. and Halvorsen, P.: Rich interaction in the digital library, *Comm. ACM*, Vol.38, No.4, pp.29–39 (1995).
 - 17) Kimoto, H.: The interactive multi-directional information displaying system, *Proc. FADIVA3, an international workshop sponsored and organized by the Esprit working group 8422 "FADIVA"*, Gubbio, Italy, pp.47–55 (1996).
 - 18) Hearst, M.A. and Karadi, C.: Cat-a-Cone: An interactive interface for specifying searches and viewing retrieval results using a large category hierarchy, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, pp.246–255 (1997).
 - 19) Losee, R.M.: Browsing document collections: Automatically organizing digital libraries and hypermedia using the gray code, *Information Processing & Management*, Vol.33, No.2, pp.175–192 (1997).
 - 20) Lagergren, E. and Over, P.: Comparing interactive information retrieval systems across sites: The TREC-6 interactive track matrix experiment, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, pp.164–172 (1998).
 - 21) Borlund, P. and Ingwersen, P.: Measures of relative relevance and ranked half-life: Performance indicators for interactive IR, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, pp.324–331 (1998).
 - 22) Fowler, R.H., Fowler, A.L. and Wilson, B.A.: Integrating query, thesaurus and documents through a common visual representation, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, pp.142–151 (1991).
 - 23) Lin, X.: A self-organizing semantic map for information retrieval, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, pp.262–269 (1991).
 - 24) Korfhage, R.R.: To see, or Not to see – Is that

- the query?, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, pp.134–141 (1991).
- 25) Chalmers, M. and Chitson, P.: Bead: Explorations in information visualization, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, pp.330–337 (1992).
- 26) Hemmje, M., Kunkel, C. and Willett, A.: LyberWorld – A visualization user interface supporting fulltext retrieval, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, pp.249–259 (1994).
- 27) Dubin, D.: Document analysis for visualization, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, pp.199–204 (1995).
- 28) Swan, R.C. and Allan, J.: Aspect windows, 3-D visualizations, and indirect comparisons of information retrieval systems, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, pp.173–182 (1998).
- 29) Williamson, C. and Shneiderman, B.: The dynamic HomeFinder: Evaluating dynamic queries in a real-estate information exploration system, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, pp.338–346 (1992).
- 30) Shneiderman, B.: Dynamic queries for visual information seeking, *IEEE Software*, Vol.11, No.6, pp.70–77 (1994).
- 31) Plaisant, C.: Dynamic queries and visual information seeking interfaces, *Proc. international symposium “Info-Tech ’94”*, pp.26–32 (1994).
- 32) Hirabayashi, F., Matoba, H. and Kasahara, Y.: Information retrieval using impression of documents as a clue, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, pp.233–244 (1988).
- 33) Han, K. and Myaeng, S.: Image organization and retrieval with automatically constructed feature vectors, *Proc. annual international ACM SIGIR conference on research and development in information retrieval*, pp.157–165 (1996).
- 34) Gupta, A., Santini, S. and Jain, R.: In search of information in visual media, *Comm. ACM*, Vol.40, No.12, pp.35–42 (1997).
- 35) Salton, G. and McGill, M.J.: *Introduction to modern information retrieval*, McGraw-Hill (1983).
- 36) 高木幹雄, 下田陽久 (監修): 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会 (1998).
- 37) 小林重順: カラーイメージスケール, 講談社 (1990).

(平成 11 年 8 月 31 日受付)

(平成 12 年 2 月 4 日採録)



木本 晴夫 (正会員)

1949 年生。1973 年大阪大学基礎工学部制御工学科卒業。1975 年同大学院基礎工学研究科物理系専攻修士課程修了。同年日本電信電話公社 (現 NTT) 入社。以来、電気通信設備の計画・設計業務、光ファイバケーブル接続技術、自動索引技術、情報検索技術、マルチメディア DB 検索技術、情報可視化技術、感性検索技術の研究開発に従事。現在、NTT サイバースペース研究所主幹研究員。博士 (工学)。情報処理学会情報学基礎研究会主査、情報処理学会論文誌編集委員、ACM/SIGIR95, 96, 97, 98 プログラム委員, 47th FID 国際会議プログラム委員, 1993~1996 年情報処理学会データベースシステム研究会情報検索システム評価用データベース構築ワーキンググループグループリーダー。情報処理学会平成 10 年度山下記念研究賞受賞。電子情報通信学会, 人工知能学会, 日本色彩学会, 日本感性工学会, ACM 各会員。