

納得感を高める検索過程の可視化方式

橋本 歩[†] 小林 亜樹[†]

[†] 工学院大学大学院工学研究科 〒163-8677 東京都新宿区西新宿 1-24-2

[†] 工学院大学情報通信工学科 〒163-8677 東京都新宿区西新宿 1-24-2

E-mail: [†]cm10032@ns.kogakuin.ac.jp, ^{††}aki@cc.kogakuin.ac.jp

あらまし 情報検索に関する研究では、検索精度の向上を目的としていることが一般的である。検索精度の向上は、ユーザが良いと思える結果を提示する確率を高め、結果に対する満足感を高めることができ、ユーザの納得感を向上する方法の一つである。しかし、検索精度の向上には限界があることやそもそもシステムが持っているデータベース内にユーザが満足できるアイテムがない場合、ユーザの結果に対する満足感は必ずしも高められるとは限らない。

そこで、本研究では、結果の根拠の説明に対する満足感に着目した。たとえユーザの結果に対する満足感が低くても、その結果の根拠がユーザに対して明確であれば、納得感も高めることができるはずである。結果の根拠の説明に対する満足感を高める方針として、システムの検索過程を可視化し、システム及びユーザの検索の限界をユーザに示す。

本研究では、検索過程を可視化するにあたり、適合性フィードバックの検索モデルに焦点を当てた。適合性フィードバックにおけるシステムが繰り返しユーザにアイテムを提示する動作は、アイテムを表現する特徴によって張られる特徴量空間上で、提示するアイテムに対応する点が繰り返し移動していると表現できる。その移動経路を特徴量空間における検索領域として直観的にユーザに提示することで、システム及びユーザ自身がどれだけ検索を行ったか知ることができる。しかし、既存の適合性フィードバックでは、移動前と移動後の要素の特徴量空間上の距離が遠いと、検索領域として描写した移動経路と実際の検索領域に大きな差ができてしまうことから、移動前と移動後の要素間に位置するアイテムを適度に提示することで、その差を小さくした適合性フィードバックを提案する。

最後に、提案方式の有効性を確認するため、納得感の定量化を行った上で、提案手法を組み込んだ試作システムを被験者に使用してもらい、納得感の測定を行った。提案システムは検索過程を可視化しない比較システムに対して、高い納得感を得られることを示した。

キーワード 適合性フィードバック, 特徴量空間

Search process visualization to convince a user

Ayumu HASHIMOTO[†] and Aki KOBAYASHI[†]

[†] Graduate School of Engineering, Kogakuin University Nishishinjuku 1-24-2, Shinjuku-ku, Tokyo, 163-8677 Japan

[†] Faculty of Engineering, Kogakuin University Nishishinjuku 1-24-2, Shinjuku-ku, Tokyo, 163-8677 Japan
E-mail: [†]cm10032@ns.kogakuin.ac.jp, ^{††}aki@cc.kogakuin.ac.jp

1. はじめに

近年、膨大なコンテンツが Web 上に存在するため、ユーザは手間をかけずに目的のコンテンツまたは理想像に最も近いコンテンツ（以下、アイテム）を発見したいという欲求がある。情報検索の研究では、そのような欲求を叶えるべく、ユーザのクエリに対してユーザの目的とするアイテムを返す精度を高める研究が多い。検索精度が向上することで、ユーザはシステム上良い結果を得ることが出来る。

しかし、ユーザの納得感という観点から見ると、必ずしも精度の向上がユーザの納得感を高められるとは言えない。納得感についての具体的な定義は 2 章で述べるが、検索において、ユーザが納得して検索を終えることは重要である。ユーザを納得させるには、単にシステムが良いと思える検索結果を返すだけでは不十分である。例えば、システムがユーザに提示したアイテムがシステムの持つデータベース内で最も良い解であったとしても、ユーザはデータベース内の全てのアイテムを見てはならず、システムに提示されたアイテムしか見られないため、

ユーザは提示されたアイテムが最も良い解であるという確信は得られず、システムに対する不信感がユーザの納得感を低下させる。

そこで、ユーザが確信を得るための根拠となる情報を提示する必要がある。本研究では、その根拠となる情報として検索過程でのシステム側の動きを特徴量空間上に投影したものを取り上げる。これを検索過程を通じて可視化することで、納得感を高める方針をとる。ユーザは検索結果とそれに至る過程を合わせて提示されることで、システムがその取り扱う情報の範囲において、十分な検索処理を行ったことが分かり、システム側への不信感を払拭することができる。その結果、システムの返す検索結果への納得感が高まることが期待される。

本研究では、対象とする検索モデルとして適合性フィードバックを採用した。適合性フィードバックは、システムが繰り返しユーザにアイテムを提示することから、提示されるアイテムは、アイテムの特徴によって張られる特徴量空間上に次々に移動していると表現できる。この移動経路を検索過程であるとして、検索の進行に応じ逐次的にユーザに提示することで、ユーザの納得感の向上に繋げる。

本論文の構成は次の通りである。2章で納得感について定義し、3章で適合性フィードバックについて述べる。4章で提案する可視化手法を述べ、既存の適合性フィードバックと提案した可視化手法を組み合わせたことによる効果と問題点について議論する。5章では4章で挙げた問題点を解決する手法を提案する。6章で提案手法を組み込んだ試作システムについて述べ、7章で試作システムを用いて評価実験を行い、ユーザの納得感が向上したことを示す。

2. 納得感

納得感は、検索システムを利用する際の検索過程のある時点において、その検索を行っているユーザがどれだけ検索結果とそれまでの過程について納得できたかの度合いを表す。本研究では、この納得感を高めることを目的とする。この納得感は、結果に対する満足感と結果の根拠となる説明、また、その結果を引き出すにあたっての操作回数や時間を含む検索過程全体に対する満足感の2つの満足感による総合的に得られる感覚であると考えられる。

結果に対する満足感は、ユーザが結果によって得られた満足感を表す。この満足感は得られた結果に対してユーザから見て満足のいくものであると感じられれば高く、満足のいくものと感じられなければ低い。

一方、結果の根拠の説明に対する満足感は、結果が提示された理由、結果に至るまでの経緯、システムの検索の限界などで得られる満足感である。この満足感は結果の根拠となる説明がユーザに明確であるほど高く、不明確であるほど低い。

この2つの満足感と納得感の関係を模式的に図1に示す。納得感はどちらか一方の満足感が高ければ高く、両方の満足感が共に高ければ、さらに高い。逆に、どちらの満足感も低ければ、納得感も低い。

これまでの議論を踏まえると、納得感は次式のように示される。

$$\begin{aligned} (\text{納得感}) = & (\text{結果に対する満足感}) \\ & + & (1) \\ & (\text{結果の根拠の説明に 対する満足感}) \end{aligned}$$

情報検索に関する研究における主たる研究目的として、推薦

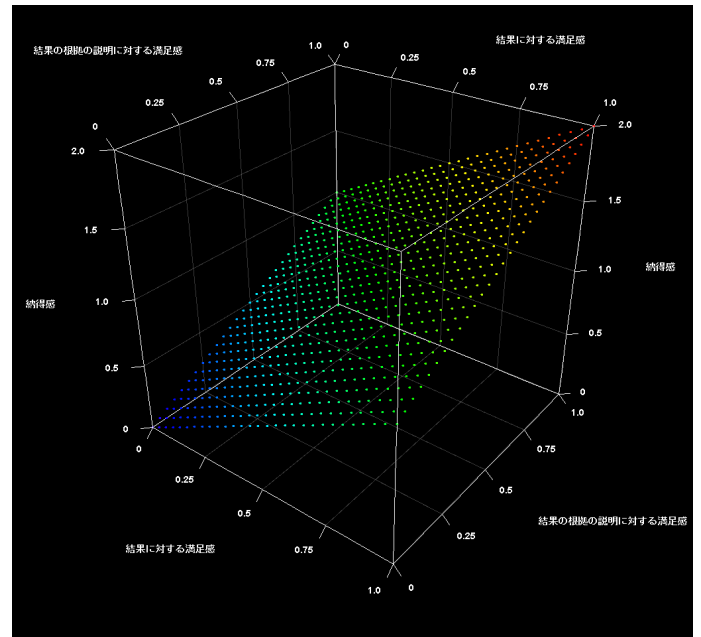


図1 納得感と2つの満足感との関係

精度の向上を目的としている研究は多い。これらの研究は、結果に対する満足感に着目しているといえる。検索精度の向上は、適合率、または再現率を高め、検索結果として適切な結果をユーザに提示することで、ユーザの結果に対する満足感を高め、納得感を向上している。

しかし、検索精度の向上には限界があることや、そもそもシステムが持っているデータベース内にユーザが満足できるアイテムがない場合、ユーザの結果に対する満足感は必ずしも向上できるとは限らない。すなわち、検索の文脈において、システムや検索意図に依存した結果に対する満足感の限界があるといえる。

したがって、そのような状況下では、異なる検索結果をもたらす検索アルゴリズムの差し替えだけでは、ユーザの満足感を引き上げることはできなくなる。しかし、この状況下においても、検索システムへの信頼感を含めたユーザの満足感を確保することは、そのシステムの継続的利用を促す面からも重要であるといえる。

そこで、本研究では、結果の根拠の説明に対する満足感に着目した。システムがユーザの満足のいく結果を提示できず、結果に対する満足感が低い状態であっても、結果の根拠の説明に対する満足感が高ければ納得感を向上することができると考えられる。さらに、結果に対する満足感が高い場合であっても、結果の根拠の説明に対する満足感が高ければ、さらに納得感を向上することができる。

本研究では、結果の根拠の説明に対する満足感を高める方法として、検索過程を可視化する方針を立てた。検索過程を可視化することで、ユーザはシステムが十分な検索を行ったことを知り、結果の根拠の説明に対する満足感を向上することができる。また、検索モデルとして、適合性フィードバックを用いた。その理由は3章で説明する。

3. 適合性フィードバック

複数のアイテムの中からユーザが自身の持つ理想像のアイテムに一番近いアイテムを強い確信を持って選び取る場合、全てのアイテムをユーザ自身が見る必要がある。しかし、ユーザが

見きれないほどの大量のアイテムが存在する場合、それは困難である。そのため、Web 上でアイテム（ここでは、欲しい情報が載っている Web サイト）を検索する際、一般に検索サイト [1] [2] が用いられているように、検索サービスの利用が現実的である。

ここで挙げた主要な検索サイト [1] [2] では、ユーザが目的とする情報に関連するキーワードを作成し、クエリとしてシステムに投入する。システムはそのキーワードに適合する順にアイテム（ここでは web ページ）を順位付けし、上位の複数のアイテムをユーザに提示する。ユーザは提示されたアイテムの中に理想とするアイテム像に近く、検索結果として納得できるアイテムが含まれていれば、検索目的を達成し検索を終えることができる。

しかし、ユーザはシステムに的確なクエリを投入しなければ、結果として満足のいくアイテムを取得できない。ユーザは必ずしも的確なクエリを生成できるとは限らず、その状況下ではこの検索方法は適さない。そのため、クエリ補完や適合性フィードバックが用いられる。このうち、クエリ補完は入力省力化と、ユーザ自身がクエリとして投入するものを認識できることが前提であり、それが担保されないようなより広い状況下では適合性フィードバックが適当である。

適合性フィードバックは、ユーザがシステムに的確なクエリを投入することができなくても、システムとユーザで何かしらのやり取りを繰り返し行うことで、システムがクエリを修正し、満足のいく結果に近づけることができる。

具体的な手順について述べる。システムから繰り返し提示されるアイテムに対してユーザは適合、不適合のフィードバックをシステムに返す。すると、システムはそのフィードバックをシステム独自のクエリ修正式に当てはめ、クエリの修正を行う。この修正されたクエリはユーザに示されるとは限らず、また、適当な形でユーザに示すことができないこともある。このようなクエリの修正を繰り返し行うことで、その検索結果はユーザの目的のアイテムに近づけていく。

クエリの修正方法の一例には、特徴量空間上にユーザのクエリから生成したクエリベクトルとユーザのフィードバックから生成した修正ベクトルを足し合わせ、徐々にクエリベクトルをユーザの検索意図に適ったクエリベクトルへと修正していく手法が挙げられる。

適合性フィードバックの研究では、検索精度を向上させる研究 [3]-[8] やユーザのフィードバックの負担を軽減させる研究 [9]-[11] はあるが、納得感の向上に着目したものではない。

一方、三次元空間の特徴量空間上にアイテムを配置し、検索の過程を可視化する研究 [12] がある。これは、特徴量空間の中心に基準とするアイテムを配置し、その他の複数のアイテムを基準としたアイテムとの類似度よりユーザに直観的に把握できるように配置し、3D グラフィックを用いて表示するものである。ユーザは三次元空間上の配置を見ながらアイテムを繰り返し選択することで、満足のいく結果に近づけていく。これによりユーザはその時点でのシステムの判断基準を感じることができる。

しかし、基準とするアイテムが変われば全てのアイテムが再配置されるため、後々どのような検索過程を経たのかユーザは見る事が出来ず、結果の根拠の説明に対する満足感を高めるには不十分である。

ユーザにはその時点でのシステムの判断基準を提示すると共に、後々過去の検索過程においてどのような過程を経たのかを表示を残せるようにする方が、結果の根拠に対する満足感が高まると考えられる。ここで、適合性フィードバックは、システ

ムが繰り返しユーザに候補となるアイテムを提示する。これは、アイテムを表現する特徴によって張られる空間で、アイテムの分類、検索に用いる空間として利用している特徴量空間上において、提示するアイテムの位置は繰り返し移動している状態と表現できる。本研究では、この移動経路を特徴量空間における検索領域としてユーザに提示することで、システム及びユーザ自身がどれだけ検索を行ったか直観的に知ることができるようにする。このように、適合性フィードバックにおける移動経路を可視化することで結果の根拠の説明に対する満足感を高める。

4. 提案可視化方式

4.1 可視化にあたって

可視化するにあたって、次の事をユーザに直観的に把握させ、結果の説明の根拠に対する満足感を高める。

- システムがユーザに対して特徴量空間のどの領域のアイテムを提示したか
- どのような経路を辿って最終的な提示アイテムに移動してきたか

特徴量空間のどの領域にどのようなアイテムがあるか
ユーザはシステムがどの領域をどれだけ検索したか、検索領域を把握することで、システムが十分な検索を行ったか否かを見当を付けることができる。また、ユーザに提示されたアイテムを提示された順に特徴量空間上の位置を把握させることで、ユーザはどのように移動すると、結果として提示されたアイテム（群）にどのような変化が表れるかを見当を付けることができる。さらに、ユーザはどの辺りの領域にどのようなアイテムがあるか把握することで、自分の理想像に近いアイテムがある領域とない領域に見当を付けることができる。

4.2 特徴量空間の次元数

本研究で用いる特徴量空間は、軸に検索対象のアイテムを表現する特徴を用いる。ここでは全てのアイテムは共通の特徴を持っているものとし、また用いる特徴は連続な値を取るものとする。一般にアイテムは多数の特徴を持っており、特徴量空間のそれぞれの軸に全ての特徴を当てはめると、きわめて多次元の特徴量空間になる。しかし、特徴量空間の次元数が多くなればなるほど、人はその情報を認識が困難になると考えられる。実際に、三次元による情報は二次元での情報より認識するのに時間がかかるといった研究結果 [13] がある。

このことから、本研究では、提示するアイテムの特徴を二つに絞り、二つの特徴を軸とした二次元の特徴量空間としてユーザに提示する。特徴量空間を二次元とすることで、ユーザは直観的な特徴量空間の把握が可能になる。

ここで、複数ある特徴の内、二つの特徴に絞る際、ユーザにとって適切な特徴に絞ることで、ユーザは特徴量空間を把握しやすくなる。この二つの適切な特徴の選択は、主成分分析による研究などを用いることで可能であると考えられるため、その選び方については本研究では議論しない。

4.3 提案可視化手法

移動経路をユーザに見せる方法として、特徴量空間上の移動前の要素と移動後の要素を線で結ぶ。こうすることで、ユーザは検索開始から検索終了までに提示されたアイテムがどの領域のどのような順で提示されたか後々把握することができる。この線で描写された部分が移動経路であり、この移動経路をシステム及びユーザの検索領域としてユーザに提示する。

また、特徴量空間全体を表示画面に収めることで、ユーザは移動経路の全体像を見渡すことができ、特徴量空間上のどこを移動したのか直観的に把握することができる。

検索対象のアイテム $I_m (m = 1, 2, 3, \dots, M)$ がある。アイテ

ムはアイテム間で共通な N 個の特徴 $A_n (n = 1, 2, 3, \dots, N)$ を持っているものとし、それぞれのアイテムの特徴 $A_1 \sim A_N$ に対して特徴値 $V_1 \sim V_N$ によって 1 つのアイテムは表現されるとする。 $A_1 \sim A_N$ から二つの特徴を選択し、 A_x, A_y とする。 A_x を x 軸、 A_y を y 軸、アイテム $I_1 \sim I_M$ の x, y に対応する特徴値 V_x, V_y を表現させる座標 (V_x, V_y) を要素とした二次元平面の特徴量空間を可視化手法に用いる特徴量空間とする。ここで、同一座標上には複数のアイテムは存在しないものとする。

可視化表示の例を図 2 に示す。ここでは、横軸 x に特徴 A_x 、縦軸 y に特徴 A_y とし、それぞれの特徴の最小値と最大値を軸の最小値と最大値とする。ここでは、 x 軸、 y 軸それぞれに用いた特徴値の中心の値の要素を検索開始時に提示されたアイテムとした。システムからアイテムが提示される毎にそのアイテムが位置する地点と前に提示されたアイテムが位置する地点を線で移動経路を描写している。最終的に線が途切れている地点が検索終了直前に提示されたアイテムの特徴量空間上の位置である。ここでは、一度に一つのアイテムをユーザに提示しクエリ修正を行う検索モデルの適合性フィードバックとした。

図 2 からユーザは次の事を把握することができる。

- 検索を開始してから徐々に特徴 A_x は増加し、特徴 A_y は減少した値を取るアイテムが提示された。
 - その後、特徴 A_y は変わらず、特徴 A_x が減少した値を取るアイテムが提示された。
 - 最後に、特徴 A_x と特徴 A_y が共に低い値を取るアイテムが細かく提示された。
 - また、提示される毎に目的に近いアイテムに近づいていると過程すると、理想に近いアイテムは特徴 A_x と特徴 A_y が共に低い値を取る領域に多く存在することが予想できる。
 - さらに、特徴 A_y の値が大きい領域は移動経路がないことから、その領域のアイテムは提示されていないことが分かる。
- このように、ユーザが可視化表示を見て、検索領域の直観的な把握を可能とするアルゴリズムを提案する。

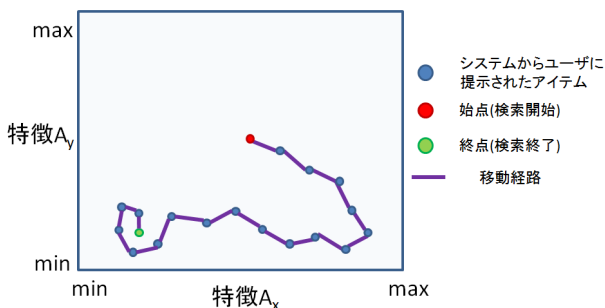


図 2 提案可視化表示

4.4 本可視化方式と既存の適合性フィードバックの組み合わせ問題と解決策

ここで、一度に一つのアイテムをユーザに提示しクエリ修正を行う検索モデルの適合性フィードバックを想定する。本可視化手法を用い、提示された順にアイテムを線で繋ぎ、図 3 のような描写になったとする。

本手法では、ユーザに移動経路を検索領域として線で描写して提示しているが、実際に見た領域が各点の近傍のみであるとすると、線で描写された領域とに大きな差があることが分かる。

ある地点のアイテムの近い位置には似通ったアイテムがあると仮定すると、ある程度表示による検索領域と実際に見た領域とに差があっても良いと思われるが、図 3 のような大きな差が生じてしまうと、ユーザに偽りの情報を与えることになり、好ましくない。そのため、表示による検索領域と実際検索領域の差を小さくする必要がある。

そこで、その差を小さくする適合性フィードバック手法を提案し、提案可視化手法とを組み合わせることで解決する手法を提案する。

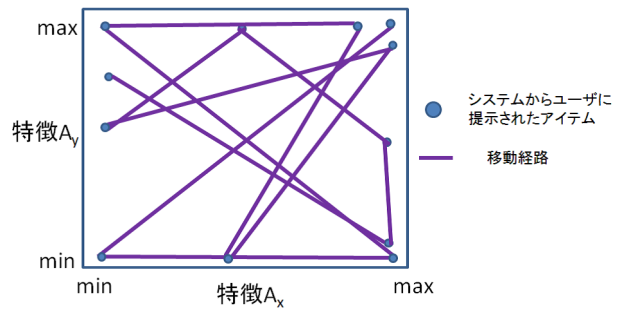


図 3 既存の適合性による移動経路

5. 提案適合性フィードバック

5.1 本手法の検索モデル

提案する適合性フィードバックでは、あるアイテムの特徴量空間上の位置を基準点とし、この近傍のアイテムを検索結果候補として複数提示する。この候補群中に目的とする理想像のアイテムと合致するようなアイテムが存在しなくとも、ユーザに理想像に近いアイテムを指摘させ、その結果をシステムに通知させる。システムは通知された結果を用いて、基準点を算出するための計算式におけるパラメータを更新し、新たな基準点を定める。これを繰り返すことで最も理想像に近いアイテムへと基準点を近づけていく。ユーザに提示するアイテムを移動先候補アイテムと呼ぶ。

ここで、必ずしも移動先候補アイテムの中にユーザの理想像に近いアイテムがあるとは限らない。そこで、ユーザが提示された移動先候補アイテムを選択することで、どのように特徴量空間上の位置を指定したことになるかを示す必要がある。そのため、ユーザは提示された移動先候補アイテムが特徴量空間上のどの方向に位置しているのかを把握できるようにする。これによって、ユーザは提示するアイテムの位置を現在提示されているアイテムの位置からどのように変化するかをシステムにフィードバックすることで、ユーザ自身で特徴量空間表示を見ながら、理想像に近いアイテムを捉えられるようにする。システムはユーザのフィードバックを受けて、基準点を算出し直し、提示するアイテムを変更し、再度ユーザにアイテムを提示する。ユーザは提示されたアイテムに理想像に近いアイテムが含まれるまでこのフィードバックを繰り返す。

5.2 移動先候補アイテム

ユーザに基準点から近い距離にある理想像に近いアイテムを発見させ、これを繰り返すことで最も理想像に近いアイテムを発見させるため、システムは極力ユーザに理想像に近いアイテムを提示する必要があるが、理想像に近いアイテムが特徴量空間

間上のどこに位置するかは、基準点のアイテムがユーザにとって妥当か否かで次のように異なることが予想される。ここでの妥当とは、ユーザが理想像とするアイテムに近いと感じられることである。

- 基準点のアイテムが妥当な場合は、さらに妥当なアイテムが基準点の近くに位置することが予想される。
- 基準点のアイテムが妥当でない場合、妥当なアイテムは基準点から遠くに位置することが予想される。

妥当である場合、移動先候補アイテムとして適したアイテムがある領域はある程度限定できるが、妥当でない場合は領域を限定しづらい。そこで、ユーザの負担にならない程度の数に移動先候補アイテムを絞り、且つ特徴量空間をユーザが自在に把握できる方法を提案する。

移動先候補アイテムを選出アルゴリズムを次に示す。

基準点の座標を (x, y) とする。

周辺距離を定める定数 r を考える。周辺領域 (u, v) は

$$(u, v) := d(x, y, u, v) \leq r \quad (2)$$

$$d(x, y, u, v) = \sqrt{(x - u)^2 + (y - v)^2} \quad (3)$$

とし、周辺領域内に位置するアイテムは全てユーザに提示する。ただし、 r は一度に提示するアイテム数がユーザの負担にならないよう別に設定する定数である。

また、遠方距離 R (但し、 $r \leq R$)、基準点からの角度 θ ($0 \leq \theta \leq 2\pi$, x 軸の正の方向を $\theta = 0$ とし、反時計回りに増加するものとする)、アイテム間隔 h ($0 \leq h \leq R$, h は固定値) とする。基準点から角度 θ の方向上、距離 r の点と距離 R の点を結んだ線を線分 l とする。線分 l 上において、幅 h 間隔でアイテムを提示する。さらに、線分 l の垂直二等分線で、長さが l と等しく、同様に交点が中点となる線分を線分 m とする。 h 間隔で線分 m 上のアイテムをユーザに提示する (図 4)。ただし、 h は一度に提示するアイテム数がユーザの負担にならないよう別に設定する (図 5) 定数である。また、ユーザは随時 R と θ の変更をシステムに通知できるものとする (図 6)。これらのアイテムの領域を遠方領域とする。

周辺領域のアイテムと遠方領域のアイテムを合わせて移動候補アイテムとし、ユーザに提示する。

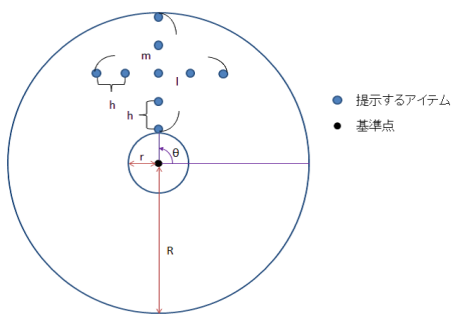


図 4 基準点が妥当でない場合の適した提示アイテム

5.3 検索手順

提案適合性フィードバックの検索手順を次に示す。

- 0 システムは基準点の初期値 (x, y) 及び、固定値 r, h 、さらに、 R, θ の初期値を設定
- 1 システムはユーザに移動先候補アイテムを提示
- 2 ユーザは移動先候補アイテムを見る

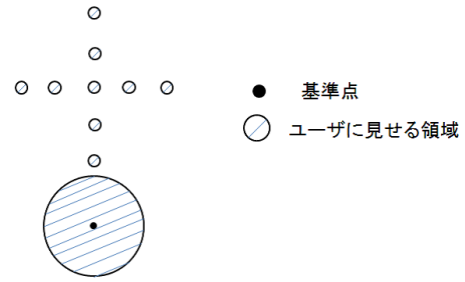


図 5 ユーザに見せるアイテム領域

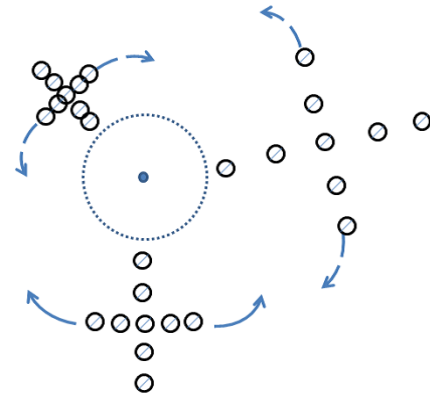


図 6 ユーザによる操作

if (妥当なアイテムがある) ユーザはそのアイテムをシステムに通知 ... 3 へ

if (妥当なアイテムがない) 特徴量空間表示上の移動候補アイテムの位置を見て、 R または θ をどのように変化させるかをシステムに通知 ... 4 へ

3 システムに通知されたアイテムの位置を新たな基準点とする ... 1 へ

4 R または θ の値をユーザの通知に合わせて変更 ... 1 へ

手順 2 で妥当なアイテムを発見した際、そのアイテムが現時点での一番理想像に近い場合、そのアイテムを暫定アイテムとする。また、手順 2 で提示されたアイテムに妥当なアイテムがなく、暫定アイテムより理想像に近いアイテムがこれ以上探しても見つからないとユーザ自身が感じた時点で、暫定アイテムを最終決定アイテムとし、最終決定アイテムがこの検索におけるユーザにとっての検索結果となる。

6. 試作システム

提案手法を組み込んだ試作システム (以下、提案システム) を作成した (図 7)。

6.1 検索アイテムとその特徴値

本提案システムで検索対象とするアイテムに画像を用いた。アイテムの特徴には当該画像の彩度 S と輝度 L を用いた。それぞれのアイテムの特徴値は、画像の各ピクセルの RGB 値を、 HLS 値に変換した後、全ピクセルの色の算術平均値を算出し、小数第一位を四捨五入した。今回用いた RGB から彩度 S と輝度 L の変換式を次に示す。

$$C_{\max} = \max(R, G, B) \quad (4)$$

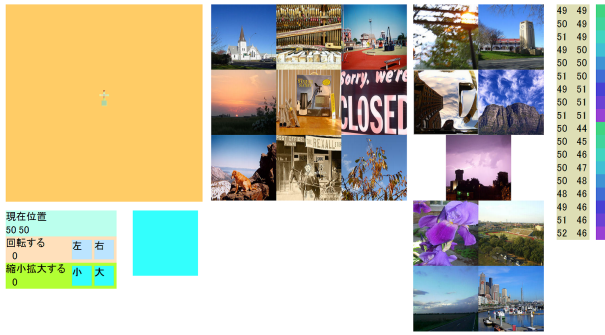


図 7 試作システム

$$C_{\min} = \min(R, G, B) \quad (5)$$

$$L = \frac{C_{\max} + C_{\min}}{2} \quad (6)$$

$C_{\max} = C_{\min}$ の場合

$$S = 0 \quad (7)$$

$C_{\max} \neq C_{\min}$ の場合

$$S = \begin{cases} \frac{C_{\max} - C_{\min}}{C_{\max} + C_{\min}} & (L = 0.5 \text{ のとき}) \\ \frac{C_{\max} - C_{\min}}{2 - C_{\max} - C_{\min}} & (L \neq 0.5 \text{ のとき}) \end{cases} \quad (8)$$

算出した彩度 S と輝度 L 両方の値が重複した画像については、どちらか一方の画像を取り除いた。

6.2 特徴量空間の軸

特徴量空間の x 軸に彩度 S 、 y 軸に輝度 L を用いた。彩度と輝度はそれぞれ 0% ~ 100% の値を取ることから、それぞれの軸の最小値を 0%，最大値を 100% に対応させ、それぞれの軸の目盛の間隔を 1% とした。

図 7 では、画面の左上に特徴量空間全体を表示している。横軸を x 、縦軸 y とし、特徴量空間表示の左上を座標 (0, 0) とし右下を座標 (100, 100) とした。

6.3 移動候補アイテム

ここで、基準点を (V_x, V_y) 、周辺距離を $r = 1$ とし、 (V_x, V_y) から 8 方向に隣接する $(V_x - 1, V_y - 1)$ 、 $(V_x, V_y - 1)$ 、 $(V_x + 1, V_y - 1)$ 、 $(V_x - 1, V_y)$ 、 $(V_x + 1, V_y)$ 、 $(V_x - 1, V_y + 1)$ 、 $(V_x, V_y + 1)$ 、 $(V_x + 1, V_y + 1)$ に位置するアイテムをユーザに提示する (図 8)。

今回は、遠方領域として初期値 $R = 6$ 、 $\theta = \frac{1}{2}\pi\text{rad}$ 、 $h = 1$ として 9 個のアイテムを提示する。回転方向は $\frac{1}{4}\pi\text{rad}$ 単位で回転できるように 8 方向とした。縮小拡大は基準点から一番近い距離のアイテムの位置は変えずに、隣り合うアイテムの距離間隔を 0 ~ 7 まで 8 段階に変化できるように設定した。

図 9 は縮小拡大番号 0 番時における回転番号 0 番 ~ 7 番の提示アイテムを示し、図 10 は回転番号 0 番での縮小拡大番号 1 と回転番号 4 番での縮小拡大番号 2 番の提示アイテムを示す。

図 8、図 9 及び、図 10 の表の枠内の番号はユーザに提示する際の提案システム上の表示位置の枠の番号を表しており、図 11 の対応する番号が書かれた枠に表示されることを示している。また、図 7 の左端の数値は、上から提示されている画像 1 ~ 18 の位置座標 (横、縦) を表している。

6.4 操作方法

提案システムの使い方を説明する。

まず、ユーザは提示されている画像群 (画像番号 1 ~ 18) を見

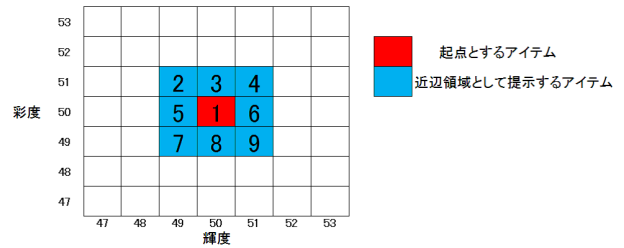


図 8 周辺領域として提示するアイテム

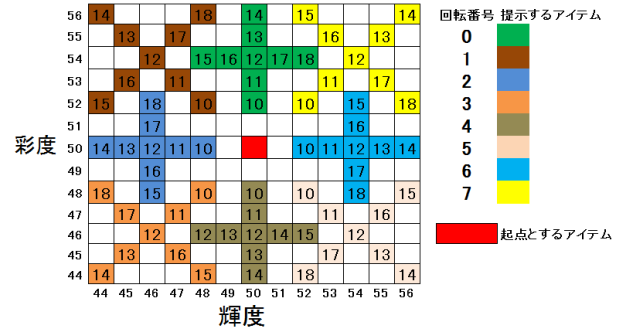


図 9 各回転時に遠方領域として提示するアイテム

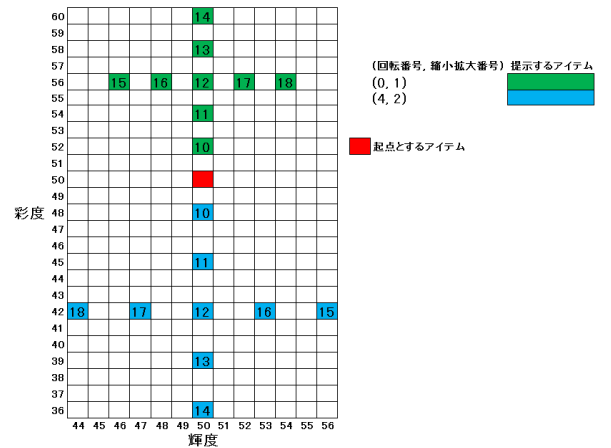


図 10 ある回転時のある縮小拡大時に遠方領域として提示するアイテム

る。その画像群の中に検索目的のアイテムに近い画像があれば、その画像をクリックする。すると、特徴量空間上での基準点がクリックしたアイテムの位置となり、移動前の基準点と移動後の基準点が移動経路となり、移動経路が線で描写される。また、基準点が変わった事で、別の画像群が提示される。

ここで、移動先のアイテムが現時点で暫定アイテムとしてふさわしい場合、その画像をダブルクリックすることで、中央下の枠に表示保存される (図 12)。

もし、現在提示されている画像がどれも理想像のアイテムに近いアイテムとして適さないと感じたら、遠方領域を変化する

システムがユーザに高い納得感を与えることを証明する。

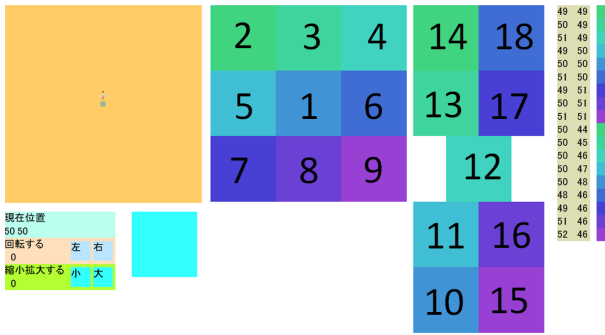


図 11 提示されるアイテムの枠番号

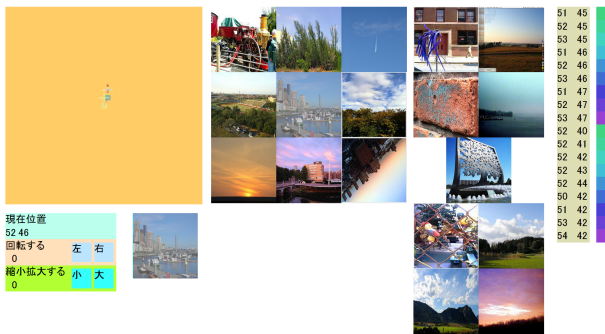


図 12 暫定アイテムを保存した時の画面表示

必要がある。そこで、ユーザは回転ボタンや縮小拡大ボタンを押すことで、遠方領域が変化し、異なるアイテムが提示される。ここでの回転操作が本適合性フィードバックにおける検索モデルでの遠方領域を決定する角度 θ の変更にあたり、縮小拡大操作が遠方距離 R の変更にあたる。

特徴量空間上には移動経路だけでなく、一度見た画像の位置を見失わないように異なる色で表示されたり、現在提示されているアイテムが特徴量空間上のどこに位置するか分かるように異なる色で表示される。

ユーザは特徴量空間上の移動経路を見て、十分検索をしたと感じるまで検索を行い、これ以上検索を続けても暫定アイテムより理想像に近いアイテムが見つからなさそうだと感じたら、暫定アイテムを最終決定アイテムとして検索を終了する。

7. 評価実験

提案システムを用いることで、検索におけるユーザの納得感を高められることを示す。

7.1 納得感の定量化

納得感を定量化した模式的な図を図 13 に示す。横軸を検索における操作回数及び検索時間とし、縦軸をユーザが得た納得感とする。ユーザは検索を終えるためには、ある程度の納得感を得る必要があると考えられる。この納得感の閾値は、操作回数及び検索時間が増加するとともに減少することが予想されることから、早い時点でこの納得感に達することができれば、ユーザに高い納得感を与えたことになる。

そこで、本研究では、ユーザがある時点で最も理想像に近いアイテムを暫定解として選択してから、そのアイテムを最終的な解とし検索を終えるまでの時間を計測する。提案システムの方が比較システムよりその時間が短いことを示すことで、提案

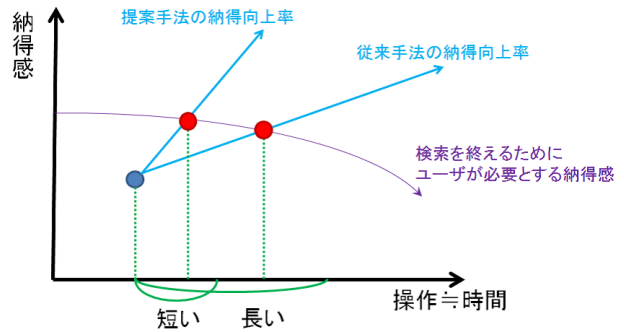


図 13 納得感の定量化

7.2 比較システム

今回は、特徴量空間の表示によりユーザの納得感が高まったことを示す。そこで、比較システムは提案システムから特徴量空間の表示を除外したものとする(図 14)。比較システムでは、特徴量空間の表示がないため、被験者はどのように提示されたアイテムを選んでいけば目的のアイテムに近づけるか分かりづらく、回転や縮小拡大操作もどのように行えば良いのか分かりづらい。そこで、被験者には次の手順に従って検索を行ってもらった。ここで、手順内の A は基準点と周辺領域のアイテムであり、B は遠方領域のアイテムを示す。

ステップ 1 A を見る。ステップ 2 へ。

ステップ 2 A に目的に近い画像がある場合→その画像をクリックし、ステップ 4 へ。A に目的に近い画像がない場合→B を見る。ステップ 3 へ。

ステップ 3 B に目的に近い画像がある場合→その画像をクリックし、ステップ 4 へ。B に目的に近い画像がない場合→回転、拡大縮小ボタンを押す、ステップ 3 へ。

ステップ 4 選択した画像と暫定アイテムを比較し、選択画像の方が目的のアイテムに近い場合→暫定アイテムを選択画像に取り換える。ステップ 1 へ。暫定アイテムの方が目的のアイテムに近い場合→暫定アイテムを変更しない。ステップ 1 へ。ただし、暫定アイテムが選択されていない場合→選択画像を暫定アイテムとする。

7.3 実験準備

被験者に対して、最も『今にも雨が降りそうな風景画像』を検索目的と定め、暫定アイテムとした画像よりも目的に近い画像がなさそうだと感じた時点で検索を終えるように指示した。

それぞれ 3 人ずつの別々の被験者に各システムを使って検索してもらい、その検索時間を測定した。

画像は Flickr [14] を使い、『weather』『rain』『sky』などの天候に関するキーワードで取得した 7113 枚の画像を用いた。

7.4 実験結果と考察

各システム毎の被験者が検索にかかった時間の平均値を算出した(表 2)。

各被験者毎の測定結果を表 1 に示す。

実験結果より、提案システムの方が比較システムより妥協にかけた時間が短いことが分かる。これより、特徴量空間を見せた提案システムは特徴量空間を表示しない比較システムよりもユーザの納得感を向上させることを示した。

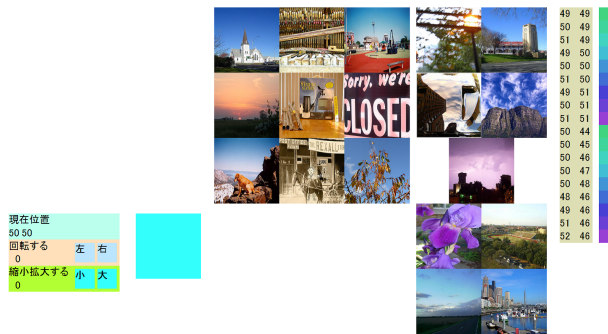


図 14 比較システム

表 1 被験者毎の検索時間 [s]

	被験者	検索開始～暫定アイテムを決定	暫定アイテムを決定～検索終了	検索時間全体
提案	A	120	120	240
提案	B	278	7	285
提案	C	440	5	445
比較	D	530	5	535
比較	E	20	224	244
比較	F	420	90	510

表 2 各システム毎の被験者の検索時間の平均値 [s]

	検索開始～暫定アイテムを決定	暫定アイテムを決定～検索終了	検索時間全体
提案	279	44	323
比較	453	106	559

また、全体の検索時間においても、提案システムの方が短い時間で検索を終えていることが分かる。今回、検索目的が『今にも雨が降りそうな画像を検索する』だったことから、被験者は曇っているような画像を探したはずである。曇っている画像は暗く、灰色が強いと予想され、軸として用いた特徴の彩度と輝度の値がともに低い領域に目的のアイテムがあることが考えられる。実際、被験者が最終決定アイテムとして選んだ画像は、その領域に位置するものが多かった。

提案システムでは、現時点で表示されている画像はどの領域に位置するものが特徴量空間の表示により一目で分かるため、目的の画像が多く位置する領域を早い段階で見当をつけることができたと考えられる。対して、比較システムでは、現時点で提示されている画像がどの領域にあるか分からないため、より目的に近い画像を選んでいっても、なかなか目的の画像が多い領域に辿り着くことができるとは限らず、ユーザの意図したアイテムが提示されないため検索時間が大幅にかかったと考えられる。

比較システムでの被験者の検索では、何度も同じ画像がユーザに提示されていたことが観測された。これは、比較システムでは、提示されたアイテムから近そうなアイテムを選んで目的のアイテムに近づいていくので、移動を繰り返し結果、前に見た領域に戻ってきてしまったと考えられる。対して、提案システムでは、一度見た画像が位置する領域は特徴量空間の表示上に表示されるため、もう一度その領域に移動することがなく、検索時間を削減することができたと考えられる。

8. おわりに

本研究では、情報検索におけるユーザの納得感を向上させることを目的とした。納得感は結果に対する満足感と結果の根拠の説明に対する満足感の2つの満足感による総合的に得られる

感覚であるとした。検索精度を向上する研究は前者の満足感に着目しているとし、本研究では後者の満足感に着目した。結果の根拠の説明に対する満足感を向上させるため、検索過程を可視化する方針を立てた。可視化にあたり、適合性フィードバックの検索モデルに焦点をあて、適合性フィードバックの検索過程を、アイテムを表現する特徴によって張られる特徴量空間上の移動と表現し、その移動経路をユーザが直観的な把握を可能とする表示手法を提案した。提案手法を組み込んだ試作システムを作成し、それを用いて納得感の定量化をした上で、評価実験を行ったところ、ユーザの納得感が向上したことを示す結果が得られた。

今後の課題として、特徴量空間の周辺領域を基準点を中心とした距離 r の領域としたが、特徴量空間によってはアイテムの分布が密な領域と疎な領域があることが考えられ、そのような場合、領域の取り方を単に円ではなく工夫する必要がある。また、本試作システムでのアイテムは画像を使用したがる、他のジャンルのアイテム、または他の特徴による特徴量空間を用いても納得感が向上するかを測定する必要がある。

謝 辞

本研究の一部は科学技術研究費（基盤（A））No. 23240110による。

文 献

- [1] Google, “Google”, <http://www.google.co.jp/>, 参照 Jan. 29, 2012
- [2] ヤフー株式会社, “Yahoo!”, <http://www.yahoo.co.jp/>, 参照 Jan. 29, 2012
- [3] 杉山裕樹, 加藤誠, 大島裕明, 田中克己, “画像とテキスト双方の特徴空間に対する相互適合性フィードバック”, DEIM Forum 2010, F1-1, 2010
- [4] 杉山裕樹, 加藤誠, 大島裕明, 田中克己, “クロスメディア適合性フィードバック: 特徴空間を横断する適合性フィードバックとそのレシビデータへの応用”, DEIM Forum 2011, A6-5, 2011
- [5] 大橋剛介, 久森隆史, 望月圭太, “適合性フィードバックを用いたスケッチ画像検索システム”, 日本ファジィ学会誌, Vol.19, No.5, pp.537-545, 2007
- [6] 柘植寛, 獅々堀正幹, 黒岩眞吾, 北研二, “サポートベクターマシンによる適合性フィードバックを用いた情報検索”, 情報処理, Vol.44, No.1, pp.59-67, 2003
- [7] 木下幸裕, 新田直子, 馬場口登, “適合性フィードバックを用いた映像パケットのインタラクティブクラスタリング”, 信学論 D-II, Vol.J88-D-II, No.8, pp.1702-1711, 2005
- [8] 江越裕紀, 片上大輔, 新田克己, “判例の構造を利用した判例文書検索”, 情報処理, Vol.DD-48, No.1, pp.1-8, 2005
- [9] 市川哲彦, 管伊織, 立野正浩, 菊政勲, “画像類似度でのクラスタリングによる適合性フィードバックを利用した Web 画像検索”, DEIM Forum 2006, 5B-o2, 2006
- [10] 湯木野高幸, 松下大輔, 平澤茂一, “クラスタに基づいた適合性フィードバック手法”, FIT2005, Vol.4(2), No.D-044, pp.103-104, 2005
- [11] 杉山一成, 波多野賢治, 吉川正俊, 植村俊亮, “ユーザからの負担なく構築したプロフィールに基づく適応的 Web 情報検索”, 信学論 D-I, Vol.J87-D-I, No.11, pp.975-990, 2004
- [12] 木本晴夫, “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”, 情報処理, Vol.41, No.3, pp.638-657, 2000
- [13] Marti A. Hearst, “情報検索のためのユーザインタフェース”, 共立出版株式会社 (2011-04)
- [14] Yahoo!, “flickr”, <http://www.flickr.com/>, 参照 Dec. 01, 2012