

1,000万ページのデータベースを対象とした実時間文書画像検索のための メモリ削減と安定性向上

竹田 一貴[†] 黄瀬 浩一^{††} 岩村 雅一^{††}

[†] 大阪府立大学工学部

^{††} 大阪府立大学大学院工学研究科

〒599-8531 大阪府堺市中区学園町1-1

E-mail: †takeda@m.cs.osakafu-u.ac.jp, ††{kise,masa}@cs.osakafu-u.co.jp

あらまし 本稿では、Locally Likely Arrangement Hashing (LLAH) を用いた実時間検索が可能な大規模文書画像検索法を提案する。LLAHは高いロバスト性を実現するために、必要メモリ量が多いという問題がある。また、大規模化に対処するには、特徴量の識別性・安定性が十分でないという問題もある。これらの問題点を解決するため、以下の3点の改良を施す。第1は、ハッシュに保存する特徴点をサンプリングすることによる必要メモリ量の削減である。第2は、特徴量の次元数を増加させることによる識別性向上である。第3は、特徴量の冗長な次元を削除することによる安定性向上である。実験により、これらの改善によって必要メモリ量が約50%削減されることが確認された。また、提案手法を用いて1,000万ページのデータベースを作成し実験を行ったところ、精度99.4%、処理時間38msで検索可能であることが確認された。

キーワード 文書画像検索, リアルタイム処理, LLAH, 大規模データベース

Memory Reduction and Stability Improvement for Real-Time Document Image Retrieval with a Database of 10 Million Pages

Kazutaka TAKEDA[†], Koichi KISE^{††}, and Masakazu IWAMURA^{††}

[†] School of Engineering, Osaka Prefecture University

^{††} Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University

Gakuentyo 1-1, Naka, Sakai, Tokyo, 599-8531 Japan

E-mail: †takeda@m.cs.osakafu-u.ac.jp, ††{kise,masa}@cs.osakafu-u.co.jp

Abstract In this paper, we propose a large-scale document image retrieval method which realizes real-time processing with Locally Likely Arrangement Hashing (LLAH). Although LLAH has high accuracy and robustness, it requires a large amount of memory. It is also required to increase the discrimination power and stability of features for scaling up the database. For these purposes, we introduce the following three improvements. The first one is reduction of the required amount of memory by sampling feature points stored in the database. The second improvement is to increase the discrimination power by increasing the dimension of features. The last one is advancement of stability by removing redundant dimensions of features. From the experimental results, we have confirmed that the proposed improvements help to realize accuracy of 99.4% and processing time of 38ms for the database of 10 million pages.

Key words Document image retrieval, Real-time 10 million pages processing, LLAH, Large-scale database

1. はじめに

近年、携帯電話の分野においてデジタルカメラの付属が一般的となっている。また、それら品質が著しく向上しており、通

常のデジタルカメラと比較して遜色ないものとなっている。これにより、一般の利用者が高品質なデジタルカメラを常に携帯するという状況が生じている。そこで、デジタルカメラで撮影された画像を用いた画像検索が注目を集めている。本研究では、

画像検索の中でも特に文書画像検索について考える。

文書画像検索とは、与えられた検索質問に対応する文書画像を、データベースから見つける処理である。その中でも、デジタルカメラを用いた文書画像検索は、デジタルカメラで撮影された文書画像を検索質問とするものである。このような形式の文書画像検索を用いれば、印刷文書を撮影・検索することでさまざまなサービスへの応用が可能になる。具体的には、学术论文の撮影による参考文献の取得や、関連 Web サイトへのアクセス等のサービスが考えられる。

撮影画像に対応する文書画像をデータベースから検索する手法として、Locally Likely Arrangement Hashing (LLAH) が提案されている [1]。LLAH とは、文書画像中の単語の重心を特徴点として、その配置から特徴量を求め、検索する手法である。LLAH の特徴として、現実的な利用において生じる撮影方向の変化や隠れ、紙面の湾曲などの外乱にロバストであるという点が挙げられる。また、単純な検索の繰り返しによりリアルタイム検索が実現できるほどの高速性を持つ。これは、特徴量計算の計算量が、検索対象の特徴点数 N に対して $O(N)$ であることに起因する [2]。これらの性質により、文書への拡張現実 [3] [4] や、カメラペンシステム [5] 等の応用がなされている。

一方、LLAH には高い精度とロバスト性を実現するために、大量のメモリを使用するという問題がある。具体的には、10,000 ページの文書画像がデータベースに登録されている場合に約 200MB、1,000 万ページの文書画像を登録するためには約 150GB のメモリが必要となる。このようなメモリ効率の悪さは、LLAH のスケーラビリティを制限するものである。また、データベースの登録ページ数の増加に伴い、類似した特徴点の配置を持つ文書が登録される可能性が高くなる。これにより、検索精度の低下を招くと考えられるため、大規模化を行うためには高い識別性を持つ特徴量が求められる。

本稿では、上記の問題を解決するための LLAH の改善方法を提案する。メモリ使用量の削減の基本的なアイデアは、データベースに保存する特徴点をサンプリングするというものである。また、特徴量の識別性を向上させるため、次元数を増加させる。しかし、単純に次元を増加させると、特徴量の安定性を損なうことになる [1]。そこで、特徴量の冗長な次元を削除する。これにより、情報の損失を防ぎつつ、特徴量の安定性向上を図る。10,000 ページの文書画像を登録したデータベースを用いて実験した結果、特徴点のサンプリングにより、メモリ使用量が約 70% 削減されることを確認した。また 1,000 万ページデータベースを用いた実験では、検索精度 99.4%、処理時間 38ms で検索可能であることを確認した。

2. LLAH による文書画像検索

まず、従来手法であるオリジナルの LLAH について説明する。

2.1 処理の概要

図 1 に LLAH による文書画像検索の処理の概要を示す。まず、特徴点抽出処理で文書画像は特徴点の集合に変換される。次に、特徴点は登録処理および検索処理に入力される。これらの処理は特徴量計算処理を共有している。登録処理では、各特

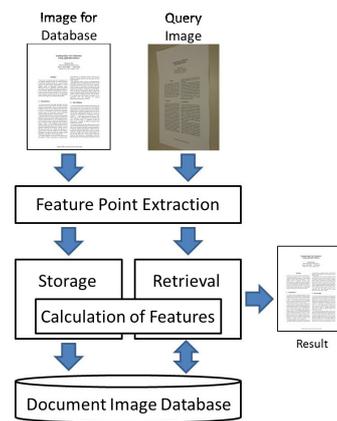


図 1 処理の流れ

徴点は独立に、その特徴量に基づいて文書画像データベースに登録される。つまり、文書画像は特徴点を用いてインデキシングされる。検索処理では、検索質問画像の特徴量を用いて文書画像データベースにアクセスし、投票処理で対応する文書画像を決定する。以下で各処理について説明する。

2.2 特徴点抽出処理

LLAH では特徴点の配置に基づいて文書画像のマッチングを行う。従って、特徴点抽出処理では、射影歪みやノイズが生じていたり、低解像度の場合でも同一の点を抽出する必要がある。そのため、単語領域の重心を特徴点として用いる。

特徴点抽出の手順を以下に示す。まず、入力画像を適応 2 値化し、2 値画像を得る。次に、2 値画像をガウシアンフィルタでぼかし、再度適応 2 値化を行うと、単語ごとに連結された画像が得られる。最後に連結成分の重心を計算して特徴点とする。

2.3 特徴量計算

特徴量とは、文書画像の特徴点を表現する値であり、特徴点のマッチングは特徴量に基づいて行われる。正確な検索のためには、ロバストな特徴量が必要である。またカメラで撮影すると射影歪みが生じるため、射影歪みに対して不変となる幾何学的不変量の特徴量として用いる必要がある。そこで、ある特徴点 s の特徴量には、点 s の近傍の 4 点 $ABCD$ から、以下の式で求められる値を用いる。

$$\frac{P(A, C, D)}{P(A, B, C)} \quad (1)$$

ここで、 $P(A, B, C)$ は頂点 ABC からなる三角形の面積であり、この 2 つの三角形は必ず 1 辺を共有する。2 つの三角形の面積比である式 (1) はアフィン不変量であり、局所領域で射影不変量に近似できる値である。LLAH ではアフィン不変量を用いることで、射影歪みに対するロバスト性を実現している。

検索時に射影歪みが生じた場合は、近傍 4 点に異なるものが得られることがある。そこで、近傍 n 点のうち m 点までは共通のものが得られる可能性が高いと考えられることから、そのすべての組合せ nC_m 通りを調べることにする。すなわち、特徴点 1 つあたり nC_m 個の特徴量を計算する。この m 点からアフィン不変量の計算に必要な 4 点を選ぶ組合せは mC_4 通りある。すべての組合せからアフィン不変量を求め、それら mC_4

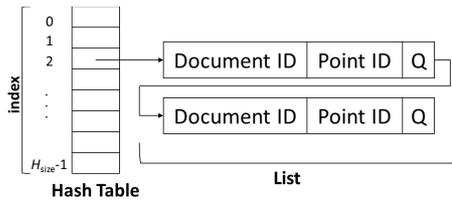


図 2 ハッシュ表の構成



図 3 特徴点のサンプリング

個の列 $(r_{(0)}, r_{(1)}, \dots, r_{(mC_4)})$ を特徴量とする。

また、上記で得られた特徴量に、特徴点抽出の過程で得られる連結成分の面積から得られる特徴量を追加する。まず、アフィン不変量の計算に用いた近傍 m 点の連結成分の面積を求める。次に、隣り合う連結成分の組に番号を与え、その連結成分の面積比を計算する。つまり、全部で m 個の連結成分の組が作られる。そして、面積比の大きさの順番で連結成分の組の番号を並べる。この数字の列を特徴量として、アフィン不変量ベクトルに追加する。したがって、 $(mC_4 + m)$ 次元の特徴量が得られることになる。

2.4 登録処理

登録処理では、各特徴点を特徴量に従ってハッシュに登録する。ハッシュ表のインデックス H_{index} は以下に示すハッシュ関数で計算される。

$$\left(\sum_{i=0}^{(mC_4+m)} r_{(i)} d^i \right) = QH_{\text{size}} + H_{\text{index}} \quad (2)$$

ここで $r_{(i)}$ は特徴量の各次元、 d は離散化レベル数、 H_{size} はハッシュ表のサイズである。商 Q は、すべての特徴量に対して一意に決定される。つまり、同一の特徴ベクトルからは、同一の H_{index} と Q が得られる。従って、検索では同じ H_{index} の特徴量に対して、特徴量の代わりに Q で比較することができる。そこで図 2 に示すように、文書 ID、点 ID、商 Q の組をハッシュ表に登録する。文書 ID とは文書の識別番号、点 ID とは特徴点の識別番号である。衝突が生じた場合は、リスト形式で追加する。リストの長さには制限値を設け、その制限値を超えた場合には、リスト全てをインデックスごと削除する。以降、削除されたインデックスは使用しないこととする。

2.5 検索処理

LLAH では、投票テーブルを用いた登録文書への投票を通じて検索を行う。まず、登録処理と同様に各特徴点に対し、ハッシュ表のインデックスを求める。得られたインデックスを用いて、図 2 に示されるリストを得る。リストの各項目について商 Q が一致するかを調べ、一致していたら投票テーブルの文書 ID の項目をインクリメントする。最後に、得票数が最大の文書を検索結果として出力する。

3. 提案手法

3.1 メモリ使用量の削減

LLAH では、特徴点抽出処理において得られたすべての特徴点をハッシュ表に保存する。そのため、メモリ使用量が多くなる。しかし、すべての特徴点を保存しなくとも、検索できる

と考えられる。これは、検索に投票処理を用いているためである。そこで、特徴点のサンプリングを行い、ハッシュに保存するデータ量を削減することで、メモリ使用量の削減を図る。

特徴点をサンプリングする際に注意しなければならないのは、ハッシュに保存する特徴点の位置に偏りを出さないことである。特徴点の分布に疎密ができると、疎な部分では正解画像が十分な得票数を得ることができず、精度の低下を招くと考えられる。つまり、撮影範囲にロバストであるためには、サンプリングされる特徴点がある程度分散して分布していなければならない。また、サンプリングされる特徴点がある程度分散して分布していることも重要である。

そこで提案手法では、単語領域の面積に着目してサンプリングを行う。サンプリングの例を図 3 に示す。中心の“in”という単語に注目すると、周囲の単語領域より面積が小さいことがわかる。このような単語領域から抽出した特徴点をサンプリングする。これにより、位置に偏りのないサンプリングが行える。また、単語領域の面積が小さいということは、近傍点との距離が小さくなるということである。近傍点との距離が小さいほど、射影歪みの影響を受けにくく、安定した特徴量が得られると考えられる。しかし、これだけではハッシュに登録される特徴点数が少なすぎるため、サンプリングした特徴点の近傍 k 点もハッシュに登録する。提案手法では、登録する特徴点数が 1 文書あたり約 200 点となるよう、 k の値を設定する。従って、特徴点数が 200 点に満たない文書画像に対してはサンプリングせず、すべての特徴点を保存する。また、検索時にサンプリングの有無を判別することは困難であるため、撮影画像から得られた全ての特徴点についてハッシュを参照する。

3.2 特徴量の識別性・安定性向上

データベースの大規模化に伴い、ハッシュに保存される特徴量が膨大になるため、一般的に衝突回数が増加すると考えられる。そのため、誤投票が増加することになり、検索精度に影響が出ると考えられる。しかし、衝突回数を抑えるためにその制限値を低く設定すれば、削除されるデータが大量に出現すると考えられる。従って、検索に必要なデータまで削除されてしまい、検索精度が低下すると考えられる。以上のことから、特徴量の識別性を高め、衝突回数を抑制する必要がある。

識別性向上の基本的な考えは、特徴量の次元数を増加させることである。従来手法では、 $n = 7$ 、 $m = 6$ とすることで、21 次元の特徴量としている。従来手法では、登録するページ数を 10,000 程度としているため、この次元数でも十分な識別性を持つ。また、低次元の特徴量を使用することにより、安定性を高

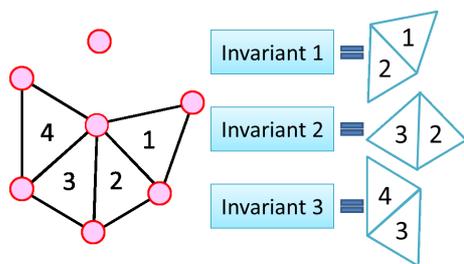


図 4 不変量の相関関係



図 5 登録文書画像



図 6 検索質問画像

めているとも考えられる．提案手法では， $n = 8$ ， $m = 7$ とすることにより，次元数を増加させる．具体的には，アフィン不変量ベクトルが ${}_7C_4 = 35$ 次元，面積比特徴量が 7 次元となり，合計 42 次元の特徴量を得ることができる．

ただし，単純に次元数を増加させることには問題がある． m が大きければ大きいほど，計算される不変量の数が多くなるため，同じ特徴量が偶然に現れる可能性は低くなる．しかし，特徴量が一致するためには，特徴量の不変量全てが一致する必要がある．そのため，誤差の影響で異なる不変量が計算される可能性が高くなる．以上のことから，次元を増加させると，識別性向上と引き換えに，安定性が低下する．

そこで，この問題を解決するため，冗長な次元を削除する．特徴量の計算では，図 4 で示すように，異なる不変量の計算に同一の三角形を重複して使用する．このような不変量は関連があるといえる．図 4 の不変量 2 は不変量 1，不変量 3 と関連が高く，冗長性があると考えられる．この不変量 2 のような次元を削除することにより，情報の損失を抑えつつ特徴量の安定性向上を図る．これにより，特徴量はアフィン不変量ベクトル 17 次元，面積比特徴量 7 次元の計 24 次元となる．

4. 実験

4.1 実験 1：提案手法の効果

3.1 で述べられたメモリ削減と，3.2 で述べられた識別性・安定性向上の効果を確認するため，以下の 3 つのバージョンの LLAH を作成した．

- (1) 従来手法
- (2) メモリ削減版
- (3) メモリ削減，識別性・安定性向上版

(3) が本稿における提案手法である．

実験で用いたデータベースの登録ページ数は 10,000 である．登録文書画像は，主に予稿集の CD-ROM から集められた，1 段組および 2 段組の英語論文の PDF ファイルを 200dpi で画像に変換したものである．登録文書画像の例を図 5 に示す．検索質問としては，印刷文書を紙面に対して斜め方向 (約 60°) から文書全体を撮影した画像を 1003 枚用意した．撮影には，1200 万画素のデジタルカメラを用いた．検索質問画像の例を図 6 に示す．登録画像と検索質問の撮影角度は異なるため，これらを用いた実験によって，手法の射影歪みに対するロバスト性を示すことができる．ハッシュ表のサイズは $2^{30} - 1$ である．実験に用いた計算機は，CPU が AMD Opteron 2.8GHz，メモリ

表 1 手法の比較

	使用メモリ [MB]	精度 [%]	処理時間 [ms]	正投票率 [%]
従来手法	184	99.6	13.4	12.7
メモリ削減版	55.0	99.6	13.3	10.2
提案手法	65.0	99.6	16.2	30.5

が 128GB のものである．

結果を表 1 に示す．ここで，使用メモリはハッシュ表に格納するデータ量を表し，ハッシュ表のサイズは含まれていない．また正投票率は，検索で見つかった対応点数のうち，正解画像に対応したものの割合を表す．正投票率の割合が高いほど，識別性・安定性が高いことを示す．

メモリ削減版は従来手法と比較して，約 70% のメモリ削減を実現した．これは，従来手法でハッシュに登録していた特徴点数の約 70% を削除したことと同義である．これだけの特徴点を削除したにも関わらず，精度には全く影響がなかった．その理由の一つとして，本実験で用いた検索質問が，文書全体を撮影したものであるということが挙げられる．そこで，撮影範囲の違いによる精度への影響を検証する必要があるが，これについては 4.3 で述べる．

次に，メモリ削減版と提案手法を比較すると，メモリ使用量が 10MB 増加している．これは n の値を変えることにより，1 つの特徴点から得られる特徴量が増加するためである．また，誤投票が約 20% 低下していることから，特徴量の識別性が向上していると考えられる．さらに，精度には全く影響がないことから，特徴量の安定性も確保できていると考えられる．処理時間が 3ms 増加しているが，これは 1 つの特徴量で計算される不変量が増加するためである．

以上のことから，提案手法によって，精度を低下させることなくメモリ削減と特徴量の識別性・安定性向上を実現したと考えられる．

4.2 実験 2：スケーラビリティ

データベースの大規模化に対する提案手法のスケーラビリティを検証した．登録ページ数を 1 万，10 万，100 万，1,000 万とした 4 つの異なるデータベースを作成し，登録ページ数と必要メモリ量，検索精度，処理時間の関係をそれぞれ調べた．比較手法として従来手法の結果を併記した．検索質問は実験 1 と同じものを使用した．ハッシュ表のサイズは $2^{30} - 1$ である．

4.2.1 必要メモリ量

登録ページ数と必要メモリ量の関係を図 7 に示す．ここで必要メモリ量は，検索するために必要なすべてのメモリ使用量を

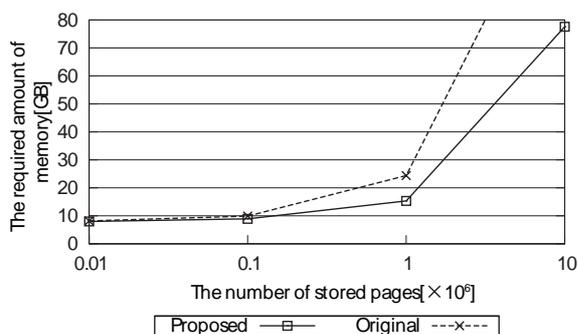


図 7 登録ページ数と必要メモリ量の関係

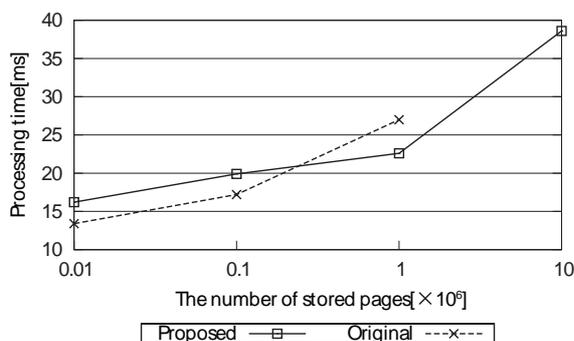


図 10 登録ページ数と処理時間の関係

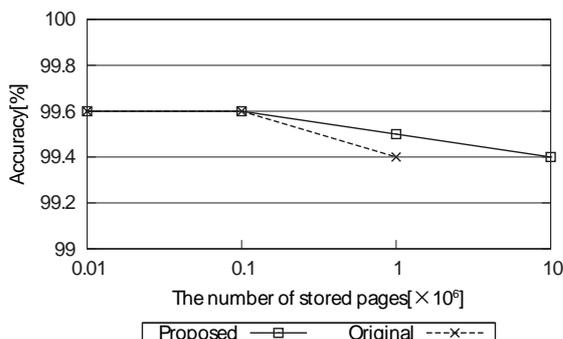


図 8 登録ページ数と検索精度の関係

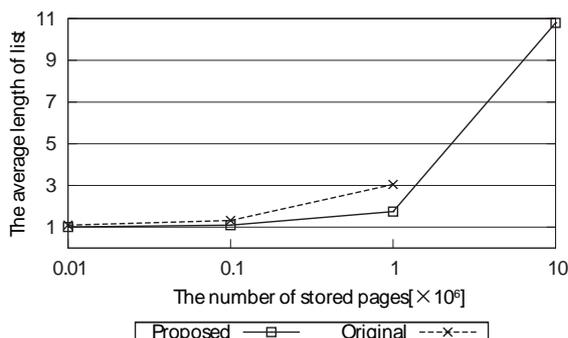


図 11 登録ページ数と平均リスト長の関係

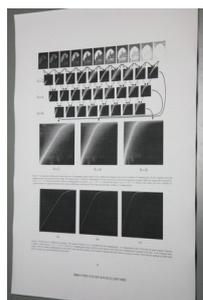


図 9 検索失敗例

表す。また、ハッシュ表を確保するためにメモリを 8GB 使用している。従来手法では 1,000 万ページのデータベースは作成不可能なため、100 万から 1,000 万までは推定値を表す。どちらの手法も、登録ページ数が増加するに伴い、必要メモリ量も増加した。ただし、従来手法と比較して、提案手法の必要メモリ量は約 50% 程度となっていることがわかる。

4.2.2 検索精度

登録ページ数と検索精度の関係を図 8 に示す。提案手法は従来手法よりも高い性能を示した。また、提案手法では 1,000 万ページ DB において 99.4% という高い精度で検索可能であることが確認された。これより、改良された特徴量は、大規模化に耐え得る高い識別性と安定性を備えていると考えられる。しかし、登録ページ数の増加に伴い、検索精度が低下した。大規模化に伴い検索に失敗した例を図 9 に示す。この画像のように、ページの大部分を図表が占め、テキストの量が少ない検索質問で検索に失敗した。これは、得られる特徴点の数が少ないため、正解の文書が十分な得票数を得られないことが原因であると考えられる。

4.2.3 処理時間

登録ページ数と処理時間の関係を図 10 に示す。登録ページ数の増加と比較して、処理時間の増加は抑制されている。これは、ハッシュを用いて検索することによる効果であると考えられる。また、1,000 万ページ DB において 38ms で検索可能であることが確認された。従って、改良された LLAH は、1,000 万ページ DB において実時間検索が可能であるといえる。

大規模化に伴い、従来手法と提案手法で処理時間の逆転が起こった。登録ページ数が少ない場合、従来手法の方が処理時間が短い、これは特徴点あたりの特徴量数と、特徴量あたりの不変量数の相違による。従来手法では、 ${}_{7}C_{6} = 7$ 個の特徴量と、特徴量あたり ${}_{6}C_{4} = 15$ 個の不変量を計算する。提案手法では、 ${}_{8}C_{7} = 8$ 個の特徴量と、24 個の不変量を計算する。このように、従来手法の方が計算量が少ないため、処理時間が短くなったと考えられる。

しかし、登録ページ数の増加に伴い、提案手法の方が高い性能を示した。これは、ハッシュ表におけるリスト長の違いが原因であると考えられる。ここで、ハッシュ表においてリスト長が 0 でないもののリスト長の平均を図 11 に示す。登録ページ数の増加に伴って、平均リスト長が増加していることがわかる。特に、100 万ページデータベースにおいて、従来手法が提案手法に比べて約 2 倍のリスト長となっている。リスト長が大きくなると、リストをだどる処理時間が増加するため、従来手法ではその部分でより多くの時間がかかる。そのため、処理時間の逆転が起こったと考えられる。以上のことから、登録ページ数が増加すればするほど、提案手法の方が処理時間が短くなると考えられる。

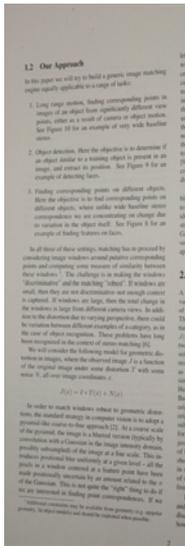


図 12 撮影範囲 : 1/2

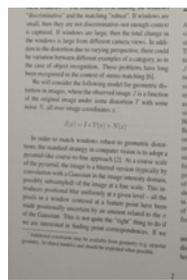


図 13 撮影範囲 : 1/4

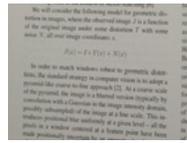


図 14 撮影範囲 : 1/8

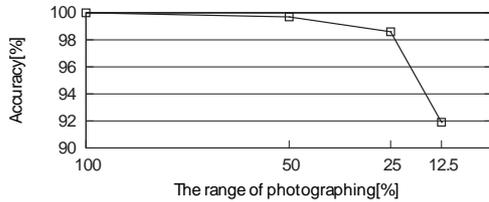


図 15 撮影範囲による検索精度の違い

4.3 実験 3 : 部分撮影への耐性

4.1 で述べたように、提案手法で高い検索精度となっている理由の 1 つとして、検索質問が文書全体を写していることが挙げられる。文書全体を撮影することにより、参照する特徴点数が増加し、正解画像が多くの得票数を得ることができるためである。文書の一部分が撮影された検索質問では特徴点数が減少するため、精度が低下すると考えられる。そこで、部分撮影した検索質問を作成し、部分撮影への耐性を検証した。

実験で用いるデータベースには、1,000 万ページの文書画像が登録されている。まず、実験 1, 2 で用いた検索質問から、図表が大半を占めるものを除いた 989 枚を選択した。次に、それらの検索質問から文章が写っている部分を切り抜き、疑似的な部分撮影クエリを作成した。撮影範囲の大きさとして、全体の 1/2, 1/4, 1/8 の 3 パターンを用意した。撮影範囲の例を、それぞれ図 12, 13, 14 に示す。

結果を表 15 に示す。撮影範囲が狭くなるに伴い、検索精度が低下することがわかる。これは、得られる特徴点数が少なく、正解の文書が十分な得票数を得られないことが原因であると考えられる。検索失敗した例を図 16 に示す。このように、文書中に「。」や「」」が多く分布していると、検索に失敗する傾向があった。これは、それらがノイズとなって、安定した特徴点を抽出することが困難であるためである。図 17 にその例を示す。左に検索質問、右に登録文書画像を表す。(a) のように「」」が単語領域から離れて新たな特徴点となったり、(b) のように「。」が特徴点として抽出されないということが生じた。これは、特徴点抽出処理における適応二値化による影響であると

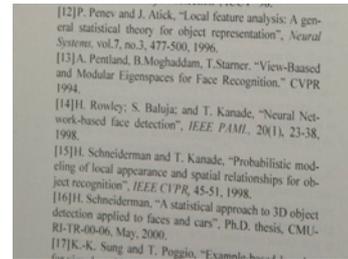
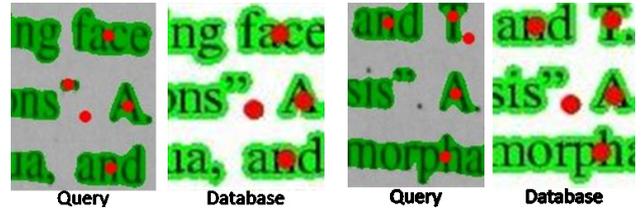


図 16 部分撮影での検索失敗例



(a) 特徴点の出現 (b) 特徴点の消失
図 17 特徴点の変動

考えられる。これについては、特徴点抽出に新たな処理を追加する等、改良が必要である。

5. まとめ

本稿では、大規模文書画像検索を実現するために、必要メモリ量の削減と、特徴量の識別性・安定性向上を行った。その結果、1,000 万ページデータベースにおいて精度 99.4%、処理時間 38ms で検索可能であることが確かめられた。以上のことから、LLAH のスケーラビリティが向上したといえる。

今後の課題としては、今回以上の大規模化を行うために、さらに必要メモリ量を削減することが挙げられる。また、LLAH を用いてこれ以上大規模化することは困難であると考えられるので、より省メモリな特徴量を考案することも必要である。

謝 辞

本研究を遂行する上で、東北大学大町真一郎教授、九州大学内田誠一教授から有益なコメントを頂いた。本研究の一部は、科学技術振興機構 CREST、ならびに日本学術振興会科学研究費補助金基盤研究 (B) (22300062) の補助による。

文 献

- [1] 中居友弘, 黄瀬浩一, 岩村雅一, “デジタルカメラを用いた高速文書画像検索におけるアフィン不変量および相似不変量の利用,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol.105, no.PRMU-614, pp.25-30, Feb. 2006.
- [2] 中居友弘, 黄瀬浩一, 岩村雅一, “特徴点の局所的配置に基づくデジタルカメラを用いた高速文書画像検索,” 電子情報通信学会論文誌 D, vol.J89-D, no.9, pp.2045-2054, Sept. 2006.
- [3] R.T. Azuma, “A survey of augmented reality,” Presence, vol.6, no.4, pp.355-385, 1997.
- [4] 中居友弘, 黄瀬浩一, 岩村雅一, “特徴点の局所的配置に基づくリアルタイム文書画像検索とその拡張現実への応用,” 電子情報通信学会技術研究報告, vol.106, no.PRMU-229, pp.41-48, Sept. 2006.
- [5] 近野 恵, 岩田和将, 黄瀬浩一, 岩村雅一, 内田誠一, 大町真一郎, “カメラペンシステムにおける射影歪みを考慮した文書画像検索の精度向上法,” 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU2010) 論文集, pp.239-246, July 2010.