

## 動的計画法を用いた類似画像検索における検索効率の向上

濱岡圭<sup>†</sup> 上田和章<sup>†</sup> 中川祐治<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 愛媛大学大学院理工学研究科 〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番

<sup>††</sup> 愛媛大学総合情報メディアセンター 〒790-8577 愛媛県松山市文京町3番

E-mail: <sup>†</sup>{r847005x,p861002y}@mails.cc.ehime-u.ac.jp, <sup>††</sup>yuji@cite.ehime-u.ac.jp

**あらまし** 問合せ画像を検索キーとして類似した画像を画像データベースから検索するとき、登録画像数が増加するに従って検索時間は膨大なものになってしまう。その解決案として、初めに計算量の少ない粗い検索を行うことで候補画像を絞り込み、さらに細かい検索を行う二段階の絞り込みによる画像検索が考えられる。本研究では細かい検索を実現するための一手法として、画像間で対応するエッジの類似性に着目し動的計画法により対応付けを行い、その際、求められた最適経路の直線性を評価することで類似度を求める手法を開発した。さらに世襲境界の概念を導入することで、検索効率が向上した。

**キーワード** 画像データベース, 動的計画法, 世襲境界, 類似画像検索

## Improvement of Efficiency in Image Retrieval using Dynamic Programming

Kei HAMAOKA<sup>†</sup>, Kazuaki UEDA<sup>†</sup>, and Yuji NAKAGAWA<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Science and Engineering, Ehime University

3 Bunkyou-cho, Matsuyama, Ehime, 790-8577 Japan

<sup>††</sup> Center for Information Technology, Ehime university

3 Bunkyou-cho, Matsuyama, Ehime, 790-8577 Japan

E-mail: <sup>†</sup>{r847005x,p861002y}@mails.cc.ehime-u.ac.jp, <sup>††</sup>yuji@cite.ehime-u.ac.jp

**Abstract** In present day, the more we register lots of images in the database, the more it takes processing time to find the image similar to the query image in the database. As a solution, we perform the perfunctory search, and then we perform detail search. This paper presents the detail search method using dynamic programming, straightness of optimum path and the concept of hereditary boundary. As a result, we can improve of efficiency in image retrieval.

**Key words** Image database, Dynamic Programming, hereditary boundary, image retrieval

### 1. はじめに

本研究は、政府が推進する新世紀重点研究創世プラン (RR2002: Research Revolution 2002) [1] の環境分野における「人・自然・地球共生プロジェクト」[2] の一分野である。このプロジェクトには温暖化予測ミッションと水循環変動予測ミッションがあり、後者の水循環変動予測ミッションの「インドシナ半島における水環境の化学汚染実態の解明と汚染除去技術の開発」[3], [4], [5] におけるデータベース構築に関する研究の一部である。上記研究におけるアウトプットはデータベース化され、全世界に広く公開される。蓄積されるデータは数値データと画像データがあり、数値データについては Web 上で可視化を行い、画像データについては画像間検索を可能にするシステ

ムを構築する。本研究は、蓄積された画像データから類似画像検索を行うための基礎技術を提供するものである。

一般に画像の内容に依存した画像検索システムでは、対象画像群に対する検索の手がかり情報であるキーワードをあらかじめ作成しておき、キーワード検索によってユーザが要求する画像を提供するといった手法が主に用いられていた [6]。しかし、その手法では作成するキーワードの内容によって検索内容が変わってしまい、キーワードの内容によってはユーザの求める画像が得られない。さらに、通常人手によりキーワードが付加されるので、大量の画像を検索する場合、その作業には非常に労力、時間、費用を必要とするという欠点がある。そこで、大量の画像を有する画像データベースから類似画像を検索する場合、画像自身を検索キーとして、それぞれの特徴量を求め、特徴量

を元に画像を検索する手法が有効である。

しかし、画像自身を検索キーとして検索する場合、細かい検索をすべての画像に対し行くと、画像データベース上の登録画像数が増加するに従って処理時間が膨大なものになってしまう。この解決案として初めに計算量の少ない粗い検索を行い候補画像に絞り込み、さらに候補画像から細かい検索を行うことで対象となる問合せ画像に類似した画像を見つけるという二段階に分ける方法が考えられる (図 1)。

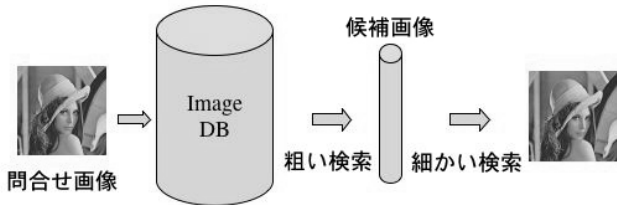


図 1 二段階の絞り込み画像検索

本研究では、検索の一手法として、動的計画法を用いた画像検索 [7] について述べる。その手法とは問合せ画像と比較画像間で対応するエッジの類似性に着目し、動的計画法により対応付けを行い、求められた最適経路の直線性を評価することで類似度を求める手法である。さらに、検索効率を向上させるために世襲境界 (*hereditary boundary*) [8] の概念を導入した。

## 2. 動的計画法とは

動的計画法 (*DP: Dynamic Programming*) [9] は、数理計画法の一手法であり、多段階の決定過程を必要とする最適問題を最適性の原理を利用し、一段階の決定過程のみを必要とする部分問題に分解する方法である。ここで、最適性の原理とはある方策が最適ならば、部分方策は対応する部分問題に対し、やはり最適になっているという性質であり、多くの最適問題に対して成立する。

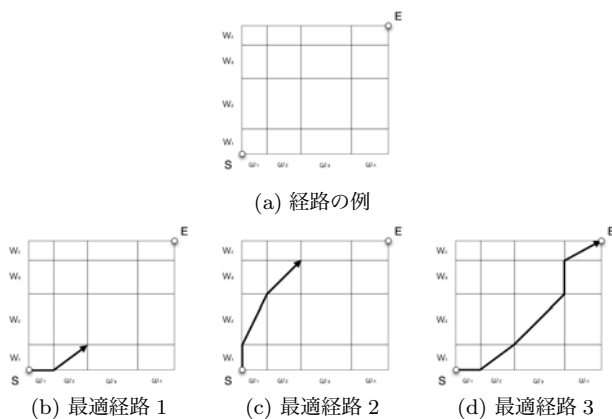


図 2 最適経路問題

ここで、動的計画法を用いる問題として次を考える。格子状の経路で通過するたびに有るコスト ( $w_i, W_i \mid i = 1, 2, 3, 4$ ) がかかる経路 (図 2-(a)) で、点 S から点 E までのコストの総和が最小となる経路 (最適経路) を求める。条件として、ある一つの

頂点からの遷移経路を縦、横、斜めの 3 方向としたとき、それぞれの頂点に対して、点 S からのコストの総和が最小となる経路を図 2-(b),(c),(d) のように順に求めることができ、条件の一つの頂点からの遷移経路が縦、横、斜めの 3 方向であることから漸化式 (1) を計算することにより、ある点における最小コストとなる最適経路を求めることができる。ここで、 $D(i, j)$  は点 S から  $(i, j)$  における最小のコストを表わし、 $d(i-1, j-1)$  は  $(i-1, j-1)$  から  $(i, j)$  の区間のコストを表わす。

$$D(0, 0) = 0,$$

$$D(i, j) = \min \begin{cases} d(i-1, j-1) + D(i-1, j-1) \\ d(i-1, j) + D(i-1, j) \\ d(i, j-1) + D(i, j-1) \end{cases} \quad (1)$$

つまり、この漸化式により多段階の計算を必要とする問題を一段階の決定過程の部分問題に分解できることがわかる。

## 3. 動的計画法を用いた画像検索

### 3.1 処理の流れ

動的計画法を用いた画像検索として図 3 に示される処理を行う。

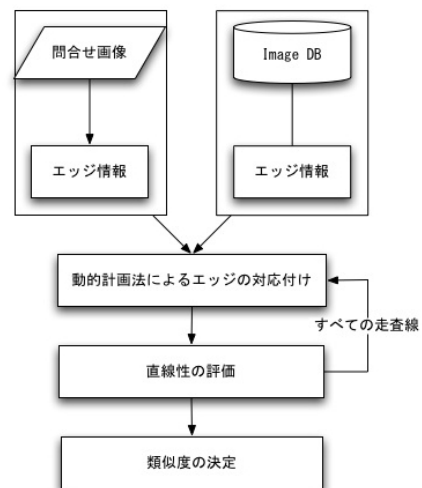


図 3 動的計画法を用いた画像検索の処理流れ

まず、問合せ画像に対しエッジの 2 値画像を作成する。比較画像においては予めデータベース上にエッジ情報を付加させておく。次に、問合せ画像、比較画像の同一走査線ごとにエッジ間の輝度値をコスト関数として、動的計画法を用いてエッジ間の対応を求め最適経路を求める。類似した画像では最適経路が直線に近くなるという性質から、最適経路の直線性を評価することによって走査線上の類似度を求めることとする。上記の操作を画像縦サイズまで繰り返す、走査線ごとの類似度の平均値を画像の類似度とする。ここで、画像の条件として画像縦サイズを同じにする。

### 3.2 入力画像の処理

候補画像から動的計画法を用いた細かい検索を行うために入

力画像に対して、以下の画像処理を行い、エッジの2値画像を作成する。

- (1) メディアンフィルタによるノイズ除去
- (2) ラプラシアンフィルタによるエッジ強調
- (3)  $p$ -タイル法による閾値処理

### 3.2.1 メディアンフィルタによるノイズ除去

ローパス・フィルタを使用すると、ノイズの低減と同時に原画像の高周波成分も失われる。従って、画像の本来のシャープさが失われてしまい、通常、ボケた画像画像になってしまう。この問題を解決するためにメディアンフィルタによるノイズ除去を行った。

### 3.2.2 ラプラシアンフィルタによるエッジ強調

メディアンフィルタによる処理で得られた画像に対して、更にエッジ情報を強調するために式(2)に示される8近傍のラプラシアンフィルタを行う。ラプラシアンフィルタとは注目画素  $(i, j)$  の輝度値に対して2次微分を行うフィルタをいう。

$$H_8 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

### 3.2.3 $p$ -タイル法による閾値処理

ある閾値  $T$  を境にして画像全体の濃淡レベルを0か1かに変換する処理が閾値処理である。入力画像を  $F$ 、出力画像を  $G$  とするとき、式(3)で示される演算で閾値処理を行う。

$$G_{ij} = \begin{cases} 1: & F_{ij} > T \text{ のとき} \\ 0: & F_{ij} \leq T \text{ のとき} \end{cases} \quad (3)$$

上記の閾値  $T$  を決定するために  $p$ -タイル法を用いる。 $p$ -タイル法とは2値化のための閾値を式(4)を満たす最小の  $T$  に設定するものである。 $p$ -タイル法では、画像に対して閾値を決定するので、ヒューリスティックに閾値を決める場合と違い、画像に対して最適な閾値処理ができる。

$$\frac{1}{N} \sum_{i=0}^T h(i) \geq P \quad (4)$$

ただし、 $N$  は画像の全ピクセル数を表わし、 $h(i)$  は画像中で輝度値  $i$  をもつピクセルの個数を表わす。また、 $P$  は全体に対しての輝度値の割合を表わし、値をユーザが決める。

### 3.3 探索空間の決定

探索空間とは、問合せ画像と比較画像の対応を動的計画法によって求めるための空間を呼ぶ。つまり、前述した最適経路問題における図(2-(a))のような空間である。

問合せ画像と比較画像を探索空間を求めるために、まず、問合せ画像、比較画像に対して同一走査線を抽出する。次に、探索空間として、 $width_1 \times width_2$  の領域を作る。ただし、問合せ画像の走査線長を  $width_1$ 、比較画像の走査線長を  $width_2$  とする。さらに、図4のように走査線上にある問合せ画像のエッジと比較画像のエッジを探索空間内に表わすと、エッジが格子状に現われる。ここで、エッジの交点による格子をノードと呼ぶ。

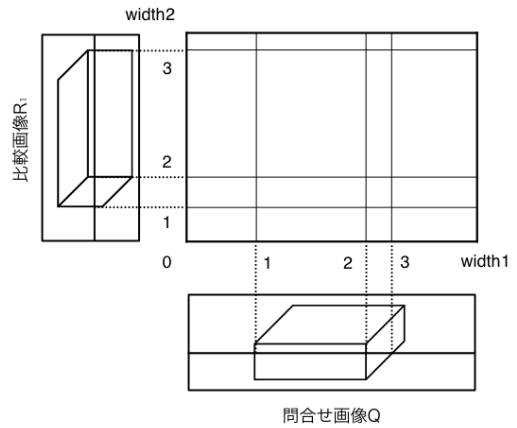


図4 探索空間の決定

### 3.4 コストの計算

同一走査線上の問合せ画像、比較画像それぞれのエッジ間の輝度値の分散をエッジ間のコスト評価関数とする。問合せ画像の平均値を  $\mu_q$ 、比較画像の平均値を  $\mu_r$  とし、分散値を  $\sigma^2$  とすると、コスト  $d$  は以下のように示される。

$$\begin{aligned} \mu_q &= \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K a_i, & \mu_r &= \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L b_j \\ \sigma^2 &= \frac{1}{2} \left| \left( \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K a_i^2 - \mu_q^2 \right) - \left( \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L b_j^2 - \mu_r^2 \right) \right| \\ d &= \sigma^2 \sqrt{K^2 + L^2} \end{aligned} \quad (5)$$

ここで、 $a_i$  は問合せ画像の輝度値、 $b_j$  は比較画像の輝度値を表わす。また、 $K, L$  はそれぞれ問合せ画像、比較画像のエッジ間のピクセル数を表わす。

### 3.5 最適経路の決定

前述のコスト計算によって求められたコスト  $d$  を用いて動的計画法によって、問合せ画像と比較画像間の最適なエッジの対応を求める。

#### 3.5.1 世襲境界の導入

新しい概念として世襲境界を導入する。区間  $\{(i, j); (u_1, v_1) \leq (i, j) \leq (u_2, v_2)\}$  の世襲境界とは、点  $(u_1, v_1)$  および点  $(u_2, v_2)$  を通過する任意の経路とただ一度、しかも、ただ一点でのみ交わるような境界である。図5に点  $A_1, A_2$  とを通る世襲境界の例をいくつか示す。

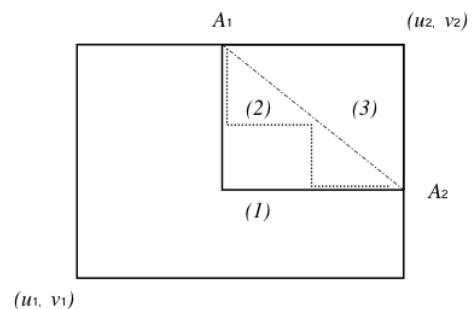


図5 世襲境界の例

### 3.5.2 世襲境界の大きさが1の場合

まず、あるノード  $(i, j)$  からの遷移経路を図 6-(a) で表わすような縦、横、斜めの3つの経路とする。この場合、移動できる領域がノード1つ分であるので、これを「世襲境界の大きさが1」と呼ぶことにする。前述した最適経路問題のようにコストの和が最小となる経路を求めるには漸化式 (1) を求めればよい。つまり、 $(i, j)$  の1つ前のノード  $(i-1, j)$ ,  $(i-1, j-1)$ ,  $(i, j-1)$  のコストに縦、横、斜めの遷移経路のコストを加え最小となるコストが  $(i, j)$  におけるコストとなる (図 6-(b))。走査線上の問合せ画像と比較画像のエッジが対応するノードを再帰的に計算することで最適経路を求めることができる。

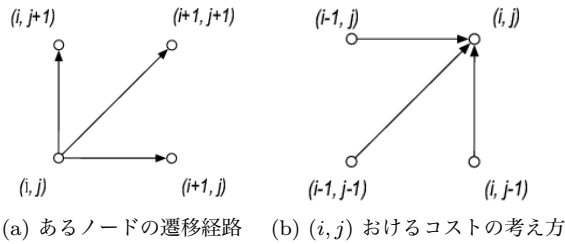


図 6 世襲境界の大きさが1の場合

### 3.5.3 世襲境界の大きさが2以上の場合

探索空間に表された格子にノイズや画像の背景によるエッジが含まれるので、世襲境界の大きさが1の場合ではこれらの影響をうける。そこで、世襲境界の大きさを前に述べたものより大きくすることで、この影響を軽減することができる。ここで、世襲境界の大きさを2に大きくするとは、あるノード  $(i, j)$  からの遷移経路を図 7 における8つに拡張することを表わす。

また、世襲境界の大きさが2の場合の最適経路の求め方は世襲境界の大きさが1の場合を拡張し、 $(i, j)$  におけるコストの和が最小となる経路を漸化式 (6) によって求めることが可能である。ここで、 $D(i, j)$  は点 S から  $(i, j)$  における最小コストを表わし、 $d(i-1, j-1)$  は  $(i-1, j-1)$  から  $(i, j)$  までの区間のコストを表わす。

$$D(0, 0) = 0,$$

$$D(i, j) = \min \begin{cases} d(i-2, j-2) + D(i-2, j-2) \\ d(i-2, j-1) + D(i-2, j-1) \\ d(i-2, j) + D(i-2, j) \\ d(i-1, j-2) + D(i-1, j-2) \\ d(i-1, j-1) + D(i-1, j-1) \\ d(i-1, j) + D(i-1, j) \\ d(i, j-2) + D(i, j-2) \\ d(i, j-1) + D(i, j-1) \end{cases} \quad (6)$$

### 3.6 直線の評価

問合せ画像と比較画像が同一画像の場合、図 8 に示されているように、対応している確からしさを表わす最適経路が直線となり、類似した画像では最適経路が直線に近くなる性質がある。

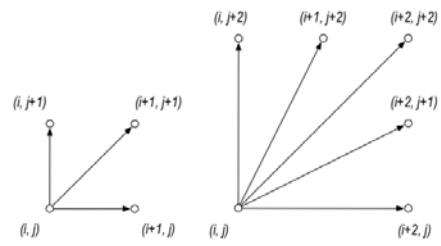


図 7 世襲境界の大きさが2の場合

また、類似していない画像は最適経路に凹凸がみられる。つまり、最適経路の直線性を評価することにより、問合せ画像と比較画像間の類似度を求めることができる。以下、直線の評価方法について述べる。

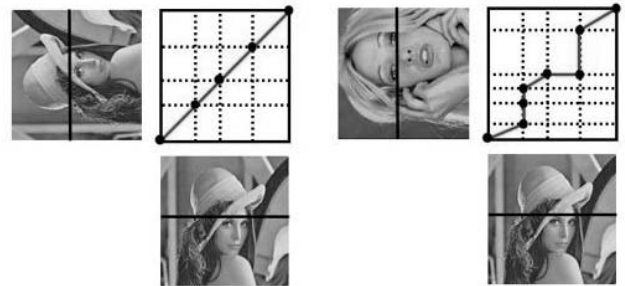


図 8 最適経路の性質

#### 3.6.1 DDA による直線性の評価

DDA (Digital Differential Analyzer) [10] は、生成したい線分や曲線を解とする微分方程式から差分方程式を導き、それを使って描画を行うアルゴリズムである。一般に、始点  $(x_a, y_a)$ 、終点  $(x_b, y_b)$  を結ぶ線分は以下の式で表わすことができる。

$$y = d_{xy}(x - x_a) + y_a, \quad d_{xy} = \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a} \quad (7)$$

ここで、 $x_a, y_a, x_b, y_b$  はどれも整数で、 $-1 \leq d_{xy} \leq 1$  であるとする。このとき、線分上の各画素の座標  $(x_i, y_i)$  は、 $x_i$  を  $x_a$  から  $x_b$  まで1ずつ増加 ( $x_a > x_b$  のときは1ずつ減少) させ、その  $x_i$  を式 (7) に代入して求めた  $y$  の値に最も近い整数  $y_i$  を以下の式で求めることで順次確定することが出来る。

$$y_i = [y + 0.5] = [d_{xy}(x_i - x_a) + y_a + 0.5] \quad (8)$$

ただし、 $[x]$  は実数  $x$  の整数部分をあらわすガウス記号である。例として始点  $(0, 0)$ 、終点  $(11, 4)$  を結ぶ線分の作成例を図 9 に示す。なお、 $|d_{xy}| > 1$  の場合は、 $x$  と  $y$  を役割交換することで同様に処理できる。

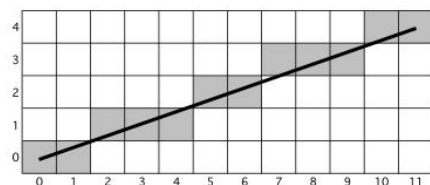


図 9 DDA の例

### 3.6.2 部分的直線の抽出

類似した画像の最適経路は直線に近くなることから、直線性を評価しつつ、直線とならないノードを除去し、部分的な直線に分解する。部分的直線の評価方法は、始点から終点を結ぶ直線を DDA で求め、始点から終点の間のノードがすべて、DDA で求められた点列に含まれれば直線と判定する。ただし、直線とならないノードを除去するため、条件としてノードが3点以上連続して縦、横となる場合は直線とみなさないとする。図 10 を例に用い  $a_S$  から  $a_E$  までの部分的直線の抽出を具体的に述べる。

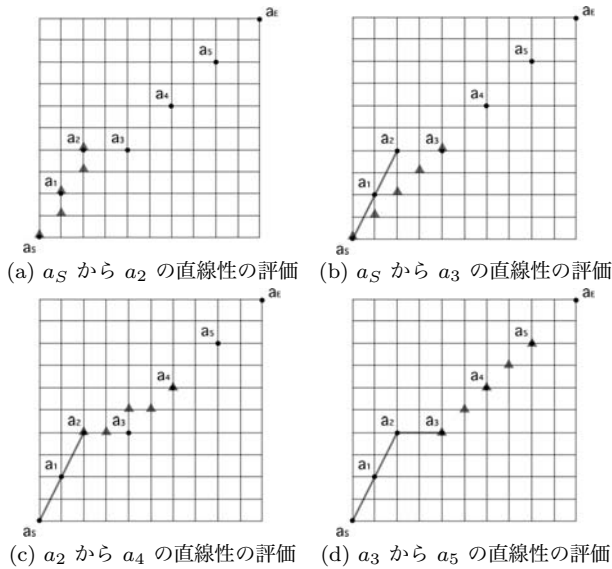


図 10 部分的直線の評価

まず、隣り合うノードは直線と考え、始点  $a_S$  から終点  $a_1$  の直線性は DDA では評価をせず、直線とする。次に、 $a_S$  から  $a_2$  までが直線であるかどうかを判定する (図 10-(a)). 始点  $a_S$ 、終点  $a_2$  を直線とみなし DDA で点列を求めると  $(0,0)$ ,  $(1,1)$ ,  $(1,2)$ ,  $(2,3)$ ,  $(2,4)$  の 5 点が得られる。  $a_S$  から  $a_2$  の区間内のノード  $a_1$  が DDA で求めた点列に含まれているので、 $a_S$  から  $a_2$  は直線と判定する。

次に、終点を  $a_2$  から  $a_3$  に変更し、 $a_S$  から  $a_3$  までの直線性を判定する (図 10-(b)). 始点  $a_S$ 、終点  $a_3$  を直線とみなし DDA で点列を求めると  $(0,0)$ ,  $(1,1)$ ,  $(2,2)$ ,  $(3,3)$ ,  $(4,4)$  の 5 点が得られる。  $a_S$  から  $a_3$  の区間内のノード  $a_1$ ,  $a_2$  が DDA で求めた点列にすべて含まれていれば直線と判定されるが、 $a_1$ ,  $a_2$  ともに一致していないため、 $a_S$  から  $a_3$  までは直線とは判定されない。

直線と評価されなかった場合、それ以前に直線と評価された終点  $a_2$  を始点とし、 $a_2$ ,  $a_4$  の直線性を考える (図 10-(c)). 始点  $a_2$ 、終点  $a_4$  を直線とみなし DDA で点列を求めると  $(2,4)$ ,  $(3,5)$ ,  $(4,5)$ ,  $(5,6)$ ,  $(6,6)$  の点が得られる。  $a_2$  から  $a_4$  の区間内のノード  $a_3$  が DDA で求めた点列に含まれていれば、直線と判定されるが、 $a_3$  は一致していないため、 $a_2$  から  $a_4$  までは直線と判定されない。この場合、隣り合う点は直線であるから  $a_2$ ,  $a_3$  を直線 (図 10-(d)) とし、 $a_3$  から  $a_5$  の直線性を評価

する。

以上をまとめると以下のようなアルゴリズムとして表される。  
 (1) 始点  $a_S$  と終点  $a_2$  を直線とみなし DDA で点列を求める。  
 (2) 区間内のノードの座標値が DDA の点列にすべて含まれるかのどれかを評価する。  
 (3) 区間内のノードのすべてが DDA の点列に含まれる場合、直線と評価し終点を次のノードに移す。  
 (4) (3) が満たされない場合、前回のノードまでを直線と評価し、それ以前に直線と判定された終点を次の始点とする。  
 (5) これらの処理を終点が  $a_E$  となるまで繰り返す。ただし、連続する点のうち3点以上が続いて縦、横となるような場合は直線とみなさない。

### 3.7 各走査線の評価

前述した部分的直線を求める処理を行い、部分的直線に対して評価を行う。各走査線の評価  $S_{ith}$  を以下の式によって得る。

$$S_{ith} = (1 - \alpha)S_{ith-line} + \alpha S_{ith-length}, \quad (9)$$

$$0 \leq \alpha \leq 1$$

ただし、 $S_{ith-line}$ ,  $S_{ith-length}$  はそれぞれ、部分的直線の直線性による評価、長さによる評価を表す。各走査線の評価  $S_{ith}$  は、1 になるほどその走査線におけるエッジの対応が最適であることを表す。

#### 3.7.1 複数の部分的直線の直線性による評価

複数の部分的直線の直線性を DDA により評価をする。第  $i$  番目の走査線で図 11 のように部分的直線が 2 つに分解されている場合、それぞれの部分的直線の始点  $a_S$ ,  $a_6$  終点  $a_2$ ,  $a_E$  において DDA により始点、終点の区間内の座標の直線性を評価し、それぞれの評価値  $S_1$ ,  $S_2$  の平均をこの走査線に対する評価値  $S_{ith-line}$  とする (式 (10)).

$$S_{ith-line} = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^N S_i \quad (10)$$

ここで、 $N$  は部分的直線の数を表す。また、 $S_{ith-line}$  は問合せ画像と比較画像が同一画像の場合は 1 となる。

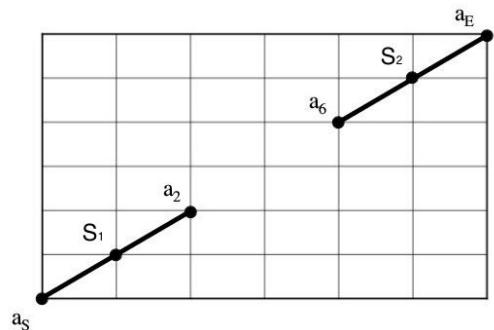


図 11 複数の部分的直線の直線性の評価

#### 3.7.2 部分的直線の長さによる評価

部分的直線の長さによる評価である  $S_{ith-length}$  を式 (11) によって定義する。

$$S_{ith-length} = \frac{L_{SE} - |L_{SE} - l|}{L_{SE}} \quad (11)$$

ここで、 $L_{SE}$  を始点  $S$ 、終点  $E$  としたときの DDA により求められる点列の数とし、 $l$  は最も長い部分的直線のノード数とする。また、 $S_{ith-length}$  は問合せ画像と比較画像が同一画像の場合は 1 となる。

### 3.8 類似度

画像の類似度  $S$  を以下のように定義する。

$$S = \frac{1}{height} \sum_{i=0}^{height} S_{ith} \quad (12)$$

つまり、画像の類似度として各行における評価を行い、平均を求めることと同義である。ここで、 $height$  は問合せ画像、比較画像の画像縦サイズを表わす。画像における類似度  $S$  の値の範囲は  $0 \leq S \leq 1$  であり、 $S$  の値が 1 に近いほど問合せ画像、比較画像が類似していることを表わしている。

## 4. 実 験

この実験では  $256 \times 256$  の SIDBA 画像 12 枚を用いた。コンピュータは PowerPC G4 の 1.2GHz を使用した。まず、画像検索アルゴリズムが有効であることを確認するために SIDBA 画像から任意の一つの画像を抽出し、世襲境界の大きさが 1 の場合の画像検索を行った。ここでは、問合せ画像 LENA に対しての実験結果を表示する (図 12)。比較画像において同じ画像の LENA における類似度は 1 であり、類似していない画像での類似度の平均は 0.32 である。問合せ画像と一つの比較画像の類似度を求めるための検索時間の平均は 0.13 秒であった。

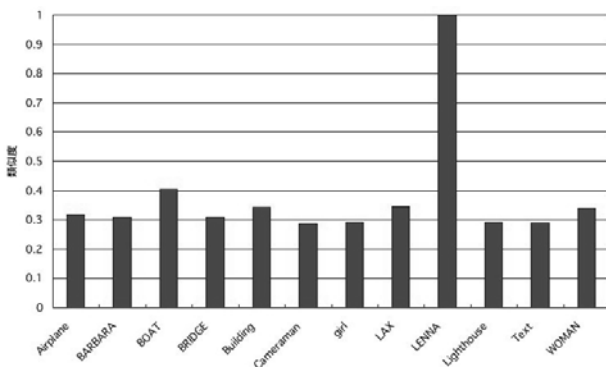


図 12 実験結果

次に、今回導入した世襲境界の大きさという概念を用いて問合せ画像と比較画像との類似度を求める。この実験では問合せ画像 LENA に対して世襲境界の大きさが 1 の場合と世襲境界の大きさが 2 に対して比較実験を行っている。ここで、世襲境界の大きさが 1 の場合と世襲境界の大きさが 2 の場合の類似度をそれぞれ表わした結果を図 13 に表わす。類似していない画像での類似度の平均は 0.32 から 0.23 に減少した。問合せ画像と類似した画像と類似していない画像の類似度の差が大きくなっている。このことにより、類似している画像と類似していない画像との差別化が行われており、画像間の検索効率は向上

された。一方、世襲境界の大きさを大きくすることに伴い、計算量が増加し、問合せ画像と一つの比較画像を検索するための検索時間が平均して 0.13 秒から 0.19 秒と 50% 増加した。

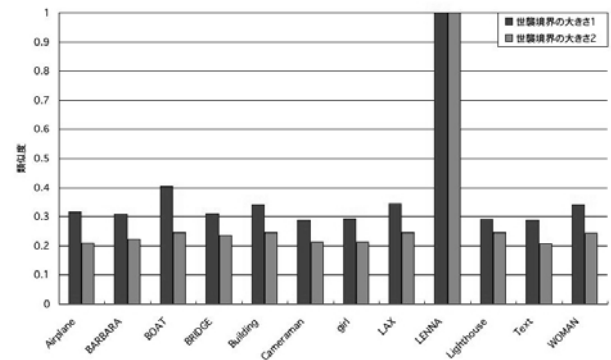


図 13 実験結果

## 5. 考察・展望

問合せ画像と比較画像との類似度を求める手法に動的計画法の世襲境界の大きさを変化させることを導入した。その結果、今回の実験では世襲境界の大きさを大きくすることでより類似している画像とそうでない画像との類似度との差別化が行われ検索効率を向上させることができた。また、今回は問合せ画像と比較画像に対して同一走査線についてエッジの対応を行い、類似度を求めたが、同一走査線上に同じ物体がなければ検索できないという欠点を持っている。そこで、同走査線上のみならず、動的計画法の探索空間を 3次元に拡張することで画像の縦方向の連続性に着目した画像検索に拡張する予定である。

なお、本研究の一部は、文部科学省「人・自然・地球共生プロジェクト」の水循環予測ミッションによる。

### 文 献

- [1] 新世紀重点研究創成プラン  
<http://kyousei.aesto.or.jp/doc/plan.html>
- [2] 人・自然・地球共生プロジェクト  
<http://kyousei.aesto.or.jp/index.html>
- [3] 鈴木聡他: インドシナ半島における水環境の化学汚染実態の解明と汚染除去技術の開発平成 15 年度研究成果報告書, 文部科学省研究開発局, pp.1-71, 2004
- [4] 鈴木聡他: インドシナ半島における水環境の化学汚染実態の解明と汚染除去技術の開発平成 16 年度研究成果報告書, 文部科学省研究開発局, pp.1-91, 2005
- [5] 鈴木聡他: インドシナ半島における水環境の化学汚染実態の解明と汚染除去技術の開発平成 17 年度研究成果報告書, 文部科学省研究開発局, pp.1-85, 2006
- [6] Image google  
<http://image.google.com>
- [7] 濱岡圭, 上田和章, 中川祐治: 動的計画法を用いた類似画像検索, 平成 17 年度電子関係学会四国支部連合大会講演論文集, pp.208, Sep.2005
- [8] 磯道義典, 小川辰男: 動的計画法によるパターン・マッチング, 情報処理学会論文誌, vol.16 No.1, pp.15-22, Jan.1975
- [9] ベルマン, 小田中敏男訳他: ダイナミック・プログラミング, 東京図書, 1973
- [10] 高木幹雄, 下田陽久: 新編 画像解析ハンドブック, 東京大学出版会, 2005