

投影データに対する検索領域指定方法の提案

飛田 雄樹[†] 片山 薫[†]

[†] 首都大学東京システムデザイン学部 〒 191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6

E-mail: [†]hida-yuki@sd.tmu.ac.jp, ^{††}kaoru@tmu.ac.jp

あらまし 本稿では、X線撮影やCTスキャン等に利用される投影データによって構築されるデータベースからクエリデータを検索する際、検索領域を指定し検索を行う手法を提案する。我々の提案手法の特徴として、投影データを投影前の元データに復元せずに行えるという点が挙げられる。この手法を用いると、投影データ全体を調べることができる。クエリデータの有無を判断する手法として、位相限定相関法を利用した。

キーワード 投影データ, データ検索, 位相限定相関法

Yuki HIDA[†] and Kaoru KATAYAMA[†]

[†] Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University

6-6 Asahigaoka, Hino, Tokyo, 191-0065 Japan

E-mail: [†]hida-yuki@sd.tmu.ac.jp, ^{††}kaoru@tmu.ac.jp

1. はじめに

X線投影やCTスキャン等では、ラドン変換により得られる投影データを求め、投影データを逆変換することにより投影前の元データを再構成している。また、ラドン変換を用いたパターンマッチングや物体の姿勢検出は長谷川や坪井らにより提案されている。[1]～[5] これらは投影データでは、画像の回転角が平行移動に置き換わることを利用している。また長谷川の提案[3]による振幅限定対数ラドン変換により、拡大縮小量も垂直移動に置き換えられるようになった。これらの実験では対象物体以外の部分を0として実験を行なっている。これはラドン変換が様々な角度で線積分の投影を行うため、対象物体以外の情報が投影データに含まれてしまうためである。以上のことから、クエリデータ以外の情報が含まれた投影データ内部にクエリデータが存在するかどうかを回転を許容して検索をする場合、クエリデータが存在する部分のみの情報を抽出する必要がある。

以下クエリデータに対して、クエリデータとクエリデータ以外のデータで構成されるものを元データとし、元データの投影データを検索対象とする。ラドン変換によって得られる投影データはその性質上、検索体調のサイズとクエリデータのサイズが大きくなるにつれ、クエリデータ以外の情報が多く含まれてしまい、位相限定相関関数の相関値が低くなりデータ検索が不可能になってしまう。そのためこれまでの手法の多くは、クエリデータ以外が0のものを扱ってきたが、実際にはクエリデータ以外のデータを含む場合が多く、投影データを用いたクエリデータの検出が難しい。そこで、本研究では検索対象にク

エリデータ以外のデータが含まれたとしても、クエリデータの検索を回転を許容して行うための手法として、検索領域の限定を提案する。本手法では、検索領域に指定した範囲の投影を、データ検索が行える精度で抽出し、指定範囲にクエリデータが存在するかどうかを、回転を許容して検索することにより、データ検索を行えるようにした。

本論文では、まず、2章で関連研究について述べる。次に、3章では回転を許容してデータ検索を行える説明としてラドン変換の説明を、また検索データの有無判断する手法として位相限定相関法を紹介する。4章では我々の提案手法を紹介し、5章で実験結果について述べる。最後に6章で本研究により分かったことをまとめる。

2. 関連研究

本研究ではラドン変換により得られる投影データを利用して、回転を許容したデータ検索を行った。ここではラドン変換を使った、2データ間の回転角推定や拡大・縮小率推定の手法について紹介する。坪井ら[2]はラドン変換と次元位相限定相関を用いた対象物体の位置と姿勢を検出する手法を提案した。その手法を拡張させ、投影画像を動径に沿って次元フーリエ変換し、振幅成分を抽出し、投影画像を極座標平面で表すことにより、対象物体の平行移動を不変とし、対数を取ることで拡大・縮小を許容した検出法を長谷川ら[3]が提案した。また、長谷川らは振幅限定対数ラドン変換を用いた足跡画像の照合を行い、SIFT[9]など画像特徴点を検出し、回転、拡大縮小に不変な特徴量を算出する手法と比較している。[5] 二階堂らは

歯のレントゲンから歯の歪みやズレの位置合わせを行うために、画像をフーリエ変換した際に得られる振幅スペクトルを利用する手法を提案した [11] [12] また、回転角や拡大・縮小率推定には平行移動量を推定する手法が必要であり、本研究を含め、多くは位相限定相関法 [10] を用いている。

3. 準備

ここでは元データを投影データに変換するラドン変換と、回転角推定に用いる位相限定相関法について紹介する。

3.1 ラドン変換

ここでは2次元データに対するラドン変換について述べる。 x 軸、 y 軸を角度 θ だけ回転させた座標軸を

$$\begin{aligned} s &= x \cos \theta + y \sin \theta \\ t &= -x \sin \theta + y \cos \theta \end{aligned}$$

とすると、2次元データ $f(x, y)$ のラドン変換 $g(s, \theta)$ は

$$\begin{aligned} g(s, \theta) &= \int_{-\infty}^{\infty} f(s \cos \theta - t \sin \theta, s \sin \theta + t \cos \theta) dt \\ &= \int \int_{-\infty}^{\infty} f(x, y) \delta(s - x \cos \theta - y \sin \theta) dx dy \end{aligned}$$

により、求められる。本研究の実装では MATLAB を用いており、ラドン変換は図 1 のように各ピクセルを4つのサブピクセルに分割し、投影される検出器を計算し、検出を行った。また、投影は $(0^\circ \leq \theta < 180^\circ)$ を 1° 間隔で行った。

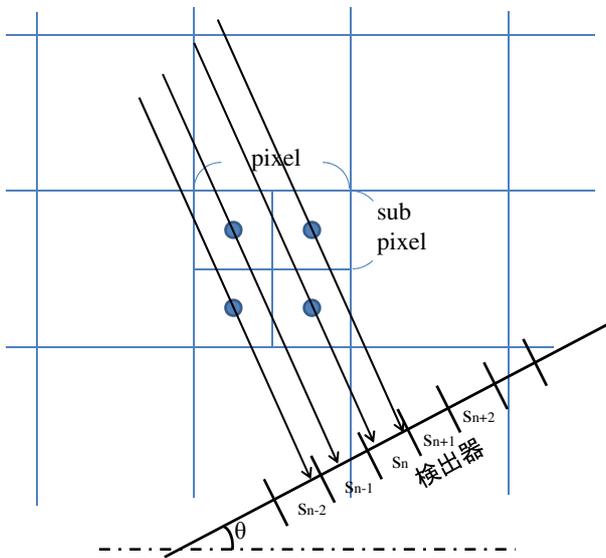


図 1 ラドン変換

3.2 位相限定相関法 [10]

ある2つの2次元データ $f_0(x, y)$, $f_1(x, y)$ が与えられたとき、それぞれの2次元フーリエ変換を

$$F_0(u, v) = |F_0(u, v)| e^{-\phi_0(u, v)}$$

$$F_1(u, v) = |F_1(u, v)| e^{-\phi_1(u, v)}$$

とする。ここで $|F_0(u, v)|$ は $F_0(u, v)$ の振幅スペクトルを表し、

$e^{-\phi_0(u, v)}$ は $F_0(u, v)$ の位相スペクトルを表している。

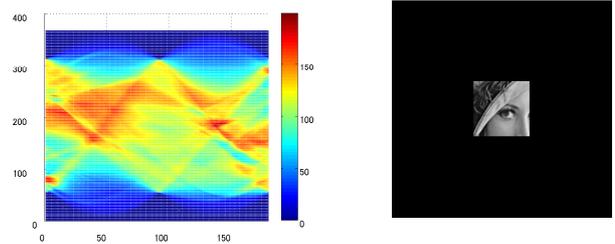
$F_0(x, y)$, $F_1(x, y)$ の相互相関を

$$\begin{aligned} C(u, v) &= \frac{F_1(u, v) F_0(u, v)^*}{|F_1(u, v) F_0(u, v)^*|} \\ &= e^{\phi_0(u, v) - \phi_1(u, v)} \end{aligned} \quad (1)$$

とする。 $F_0(u, v)^*$ は $F_0(u, v)$ の複素共役を表す。次に (1) 式を2次元逆フーリエ変換することにより位相限定相関関数 $c(x, y)$ を得る。 $f_1(x, y)$ が $f_0(x, y)$ を $(\Delta x, \Delta y)$ だけ平行移動させたデータであるならば、位相限定相関関数 $c(x, y)$ は $(x, y) = (\Delta x, \Delta y)$ でピーク値をとるデルタ関数に近い関数となる。そのため、 $c(x, y)$ がピーク値をとる座標を求めることにより、2つのデータ間の平行移動量が推定できる。

4. 提案手法

投影データのデータ検索を行う際に、問題となるのは、検索対象にはクエリデータの他に多くのデータが入っており、ラドン変換により様々な角度で線積分の投影が計算されるため、クエリデータのみ情報を抽出することが難しいことである。この問題点解説の例として検索対象の投影データを図 2(a)、クエリデータを図 2(b) とする。



(a) 検索対象の投影データ

(b) クエリデータ

図 2 例に用いた図

図 2(a) は図 3 の投影データであるため、クエリデータの投影 (図 4) の情報も含まれるが、それ以外の図 5(a) の投影データ図 5(b) もラドン変換により足し合わされているため、クエリデータの正しい検出が不可能である。



図 3 図 2(a) の元データ

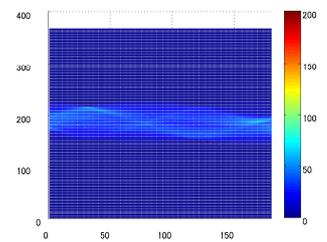
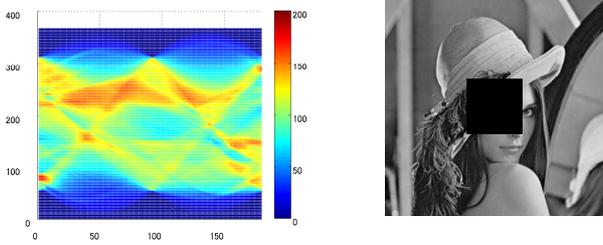


図 4 図 2(b) の投影



クエリデータ以外の部分 クエリデータ以外の部分の投影
 図 5 クエリデータ以外の部分とその部分の投影

実際に検索対象を図 2(a), また図 2(b) を 45° 回転させている図 6 をクエリデータとし, この 2 つのデータを対象にクエリデータの検出を行ったが, 図 7 と表 1 から位相限定相関関数のピークが立たず, 正しく検出が行われていないことがわかる.

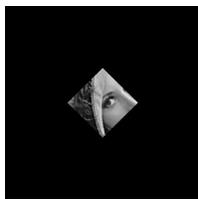


図 6 クエリデータ

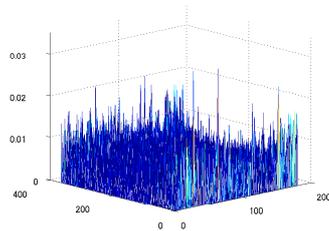


図 7 重み付けを行わずに検索を行った結果

表 1 相関値グラフ図 7 の詳細な数値

図 7	
回転角	相関値
27°	0.03216
63°	0.03149
152°	0.02436
34°	0.02359

そこで本論文では投影データを用いてデータ検索を行うために, 検索領域を限定する手法を提案する.

4.1 投影データのデータ検索アルゴリズム

検索対象となる投影データ g_0 に入力されたクエリデータ f_1 が含まれているかどうかを検索するための手法を *Algorithm1* にまとめる.

Algorithm 1 提案手法: 投影データのデータ検索アルゴリズム

Inputs: 検索対象 g_0 , クエリデータ f_1 , 検索範囲

Outputs: 相関値

- クエリデータの投影データ g_1 をとる
- 検索対象全体に 1 を置き, その投影をとり, それを 'A' とする
- 検索範囲に指定された部分に 1 を置き, 'B' を作成する
- $C = B/A$ を計算し, 重み 'C' を作成する
- 検索対象の投影 g_0 と 'C' を掛け合わせ, 'D' を作成する
- ここで 'D' と g_1 を 1 次元フーリエ変換により振幅成分を抽出する
- 振幅成分を抽出した 2 つのデータを用いてデータ検索を行う

4.2 検索領域を限定するための重み付け手法

ここでは *Algorithm1* の 2~6 について述べる. 例として図 8 のような 8×8 行列の投影データで構成された検索対象と 4×4 行列のクエリデータをあげる. ここで, 4×4 行列のクエリデータは検索対象の投影とサイズを合わせるために 0 を付加し, サイズをあわせている.

31	32	32	50	36	30	25	45
22	33	42	49	36	28	31	25
32	20	36	63	20	47	24	21
32	39	30	39	32	37	45	22
35	33	31	34	34	42	37	35
20	29	22	52	32	46	36	21
17	19	26	52	39	45	25	19
14	25	35	35	39	43	29	36

(a) 検索対象 (投影データ)

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	7	9	1	1	0	0
0	0	1	9	6	1	0	0
0	0	1	9	5	1	0	0
0	0	4	2	3	6	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

(b) クエリデータ

図 8 検索対象 (投影データ) とクエリデータ

図 9 は検索対象の元データであり, 中心の 4×4 行列にクエリデータがあることがわかる. 図 10 は図 8(b) の投影である.

1	2	1	6	7	5	5	8
6	4	8	1	9	2	1	2
1	3	7	9	1	1	5	4
9	2	1	9	6	1	1	5
3	4	1	9	5	1	2	9
8	6	4	2	3	6	4	9
1	7	1	5	2	8	6	7
2	4	9	9	3	6	1	1

図 9 図 8(a) の元データ

0	0	13	29	15	9	0	0
0	7	11	25	15	8	0	0
0	7	10	31	8	10	0	0
0	7	11	18	19	11	0	0
0	0	18	17	16	15	0	0
0	0	2	32	16	12	4	0
0	0	1	18	27	16	4	0
0	0	1	9	23	28	5	0

図 10 図 8(b) の投影

Algorithm1 STEP2, 3

次に検索対象全体に 1 を置いた行列 (図 11(a)) と, 検索範囲として指定する部分を 1 とした行列 (図 11(b)) を作成する.

1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1

(a) 検索対象全体に 1 を置いた行列

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	1	0	0
0	0	1	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

(b) 検索領域にのみ 1 を置いた行列

図 11 全体に対する検索領域の割合を求めるための行列

8	8	8	8	8	8	8	8
6	8	9	9	8	9	7	4
7	5	6	15	7	11	4	3
6	8	9	9	8	9	7	4
8	8	8	8	8	8	8	8
5	7	8	9	8	9	9	5
5	4	5	13	8	13	5	4
3	5	9	9	8	9	8	7

(a) 検索対象全体に 1 を置いた行列の投影

0	0	4	4	4	4	0	0
0	1	3	5	4	3	0	0
0	1	2	7	3	3	0	0
0	1	3	5	4	3	0	0
0	0	4	4	4	4	0	0
0	0	2	5	4	4	1	0
0	0	1	5	4	5	1	0
0	0	1	4	4	5	2	0

(b) 検索領域にのみ 1 を置いた投影

図 12 全体に対する検索領域の割合を求めるための投影

Algorithm1 STEP4, 5

検索領域を決めると、その領域は投影上ではどの部分にどの程度重みを持つかが計算できる。図 12(b) の例では、行列の数字が大きいほど、重みが大きい。これを利用し、検索領域に指定した範囲の内部にクエリデータが存在するかどうかを検索する。検索を行いたい領域の投影 (図 12(b)) を、全体に 1 を置いた投影 (図 12(a)) で割り、重み行列 (図 13) を算出する。重み行列を検索対象 (図 8(a)) に掛け合わせるにより、図 14 の行列を求めることができる。この行列とクエリデータの投影 (図 10) を用いて位相限定相関関数を求めることによりピークの検出が行えるため、データ検索が可能となる。この例では説明の分かりやすさのために、正解領域をそのまま検索領域としたが、実際は回転を許容したデータ検索を行うため、クエリデータのデータサイズより大きい値を検索領域に指定する。

.00	.00	.50	.50	.50	.00	.00
.00	.13	.33	.56	.50	.33	.00
.00	.20	.33	.47	.43	.27	.00
.00	.13	.33	.56	.50	.33	.00
.00	.00	.50	.50	.50	.00	.00
.00	.00	.25	.56	.50	.44	.11
.00	.00	.20	.38	.50	.38	.20
.00	.00	.11	.44	.56	.25	.00

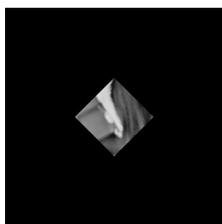
図 13 重み行列

0	0	16	25	18	15	0	0
0	4	14	27	18	9	0	0
0	4	12	29	9	13	0	0
0	5	10	22	16	12	0	0
0	0	16	17	17	21	0	0
0	0	6	29	16	20	4	0
0	0	5	20	20	17	5	0
0	0	4	16	20	24	7	0

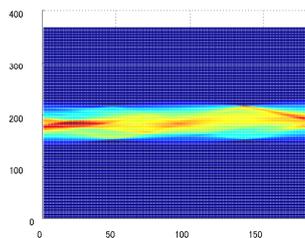
図 14 重みを掛け合わせた行列

Algorithm1 STEP6

ここでは、STEP6での一次元フーリエ変換について述べる。クエリデータを図 3 の (192, 192) から (256, 256) の 64×64[pixel] を切り取り 45° 回転させた図 15(a) とすると、投影は図 15(b) のようになる。しかし、実際にはクエリデータは図 3 上の中央ではなく右隅にあるため、図 16(a) のように、検索範囲を変更するたびに、投影を計算し直すのではなく、処理に多くの手間がかかってしまう。その処理を省くために、坪井ら [1] [2] により提案されているラドン変換によって得られた投影データを 1 次元フーリエ変換し、振幅成分を抽出する手法を用いた。これにより、クエリデータの平行移動量に不変になることを利用し、検索対象上に存在するクエリデータの平行移動量を無視できるため、検索範囲を変更するたびに、投影を計算し直す手間を省いた。実際にクエリデータを中央に置いた場合と、検索範囲に置いた場合の実験結果については 評価実験 5. に示す。



(a) クエリデータ

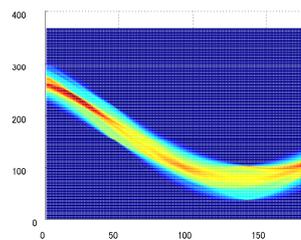


(b) 投影データ

図 15 クエリデータとその投影



(a) クエリデータが実際に存在している位置



(b) 投影データ

図 16 検索位置に移動させたクエリデータとその投影

5. 評価実験

ここでは、提案手法である投影データを用いたデータ検索アルゴリズムについての評価実験について述べる。本実験では、LENNA(図 3)256×256[pixel] を使用した。LENNA の全体をラドン変換により投影データに変換し、その投影データ (図 2(a)) を検索対象とした。また、図 3 の一部を切り取ったものをクエリデータとして様々な条件で実験を行った。

5.1 重み付けを行ったデータ検索

クエリデータを図 6 とし、クエリデータのサイズは、64×64[pixel] である。このクエリデータは図 3 の (96, 96) から (160, 160) の部分を切り取ったものである。また、クエリデータは元データに対して 45° 回転させている。

検索範囲に指定する範囲サイズは 72×72[pixel] とした。表 2 の図は重み付けを行いまた検索範囲として正解データを含む範囲で実験を行った結果、図は重み付けを行いまた検索範囲として正解データを含まない範囲で実験を行った結果である。

表 2 相関値グラフの詳細な数値

図 17		図 18	
回転角	相関値	回転角	相関値
45°	0.03726	36°	0.02233
34°	0.02281	162°	0.02152
135°	0.01979	115°	0.02127
29°	0.01876	41°	0.02111

表 2 を見ると、正しい回転角は検出されていないことがわかる。また、相関値のグラフを見てもピークが立っておらず、正しくクエリデータを検出できていないことがわかる。次に、以下にクエリデータを含む範囲を検索範囲とした場合と、クエリデータを含まない範囲を検索範囲とした場合についてまとめる。

表 2 と相関値の図から正しい検索範囲を指定すると、正しい回転角が推定されており、鋭いピークが検出されるため、クエリデータが存在していると判断できる。逆に、正しくない検索範囲を指定すると、正しい回転角が推定できず、ピークも検出されていないことから、クエリデータは存在しないと判断できる。

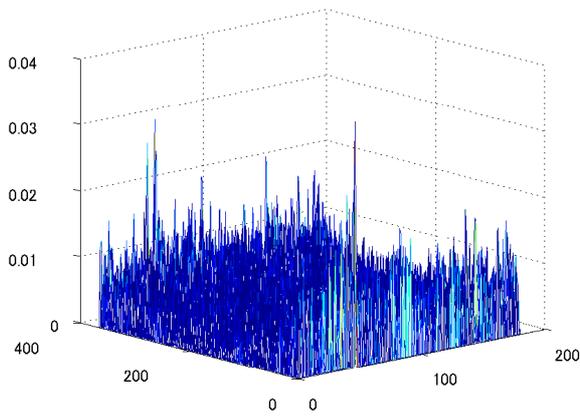


図 17 検索範囲にクエリデータを含む場合

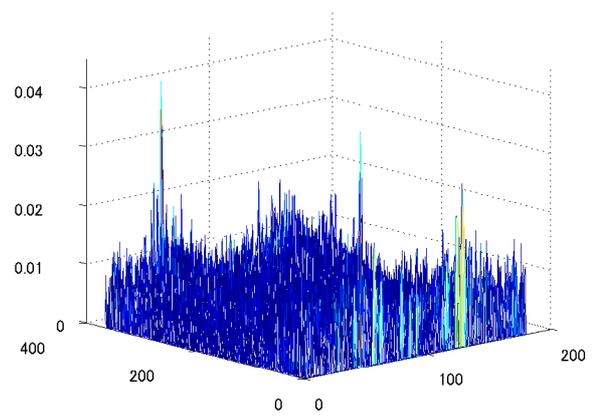


図 20 図 16(a) を検索した場合の相関値

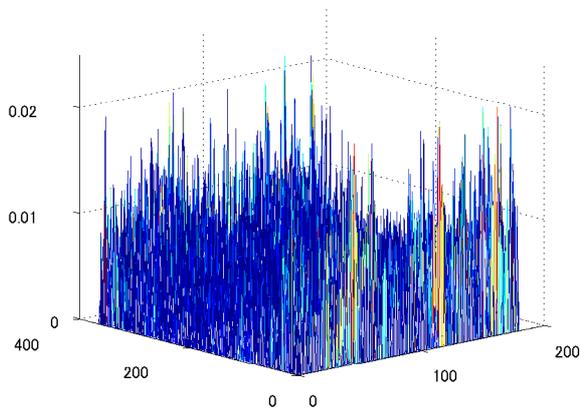


図 18 検索範囲にクエリデータを含まない場合

5.2 平行移動量不変に関する評価実験

ここでは、Algorithm1 STEP6 で、振幅成分を抽出し、平行移動量に不変としていることに関する評価実験について述べる。検索位置を変更する度にクエリデータの投影をとりなおさなくても結果に影響はないということが図 19、図 20、表 3 からわかる。

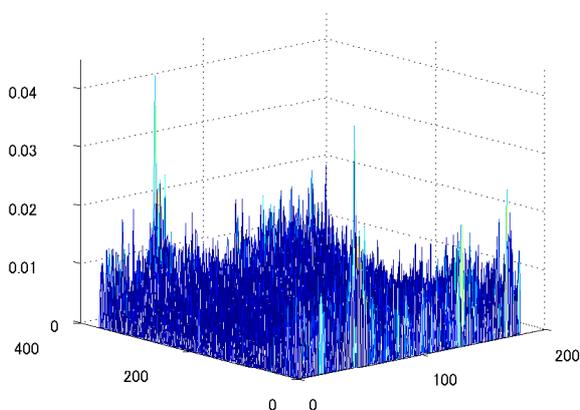


図 19 図 15(a) を検索した場合の相関値

表 3 相関値グラフの詳細な数値

図 19		図 20	
回転角	相関値	回転角	相関値
45°	0.04113	45°	0.04008
46°	0.02594	46°	0.03230
168°	0.02504	44°	0.03181
53°	0.02375	127°	0.02804

5.3 検索範囲サイズ

ここでは、検索範囲に指定するサイズの限界についての評価実験について述べる。実験には同様に検索対象として図 2(a)、クエリデータとして図 6 を用いた。実験は検索範囲を 66×66 、 72×72 、 80×80 、 90×90 、 100×100 、 110×110 と変更し、相関値を比べた。相関値をまとめたものを表 4 に示す。

表 4 検索範囲による相関値の変動

66 × 66		72 × 72		80 × 80	
回転角	相関値	回転角	相関値	回転角	相関値
45°	0.05094	45°	0.03726	45°	0.02860
40°	0.04611	46°	0.02980	44°	0.02811
39°	0.03985	40°	0.02643	40°	0.02793
38°	0.03430	34°	0.02281	135°	0.02551
90 × 90		100 × 100		110 × 110	
回転角	相関値	回転角	相関値	回転角	相関値
45°	0.03149	35°	0.02656	52°	0.02564
106°	0.02795	19°	0.02503	46°	0.02311
40°	0.02484	7°	0.02359	169°	0.02297
52°	0.02283	12°	0.02290	55°	0.02262

表 4 から、検索範囲はクエリデータにより近いサイズのほうが相関値の値が高く、より正解データに近い答えが得られることがわかる。検索範囲が大きくなってしまふと、クエリデータ以外の情報が多く入ってしまうため、正しい答えを得ることができず、データの検索が難しくなってしまう。

5.4 検索範囲にクエリデータが含まれる割合

ここでは、指定した検索範囲にクエリデータがどの程度含まれていれば検索可能となるかについて述べる。実験として、 80×80 という検索範囲にクエリデータが 95%, 90%, 85%, 80% の割合で含まれている場合の相関値を表 5 に示す。

表 5 検索範囲による相関値の変動

95%		90%	
回転角	相関値	回転角	相関値
45°	0.03026	45°	0.02765
44°	0.02498	135°	0.01965
17°	0.02419	137°	0.01908
111°	0.02061	119°	0.01898
85%		80%	
回転角	相関値	回転角	相関値
45°	0.02390	137°	0.02589
44°	0.02155	45°	0.02343
141°	0.02131	109°	0.02267
119°	0.02124	44°	0.02223

表 5 から正しくピーク値が検出されるためには、クエリデータの 85% 以上が検索範囲に入っている必要があることがわかる。クエリデータがより検索範囲に含まれているほど、相関値が高くなることがわかる。

6. ま と め

本論文では、投影データで構成された検索対象となるデータベース内部にクエリデータを含むかどうかを回転を許容して検索するための手法として、検索領域指定方法のアルゴリズムを提案した。この手法では検索対象にクエリデータ以外のデータが存在している場合でも、回転を許容してデータ検索を行えるようになった。また、データ検索には検索対象の元データを必要とせず、投影データを逆変換する処理を減らすことができる。しかし、実験によっては位相限定相関関数の相関値がそれほど高くなく、他の相関値に埋もれてしまい、正しくデータ検索が行われているかどうか判別しづらい実験結果もある。この問題を解消するには、クエリの画素値などを考慮した重み付けのアルゴリズムを今後研究する必要がある。

文 献

- [1] Tsuboi, T., Masubuchi, A., Hirai, S., Yamamoto, S., Ohnishi, K., and Arimoto, S., "Video-frame Rate Detection of Position and Orientation of Planar Motion Objects using One-sided Radon Transform", Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Vol. 2, pp.1233-1238, Seoul, May, 2001
- [2] 坪井 辰彦, 平井 慎一 "ラドン変換と一次元位相限定相関を用いた複数物体の平面移動検出", 電子情報通信学会論文誌 D-

- Vol.J87-D- No.10 pp1963-1972 2004
- [3] M.Hasegawa, "Proposal of pattern matching using log autocorrelation on Radon transform" Proc.International Symposium on Communication and Information Technologies(ISCIT2007), Oct. 2007
- [4] 長谷川 誠 "パターンマッチングにおける振幅限定対数ラドン変換法の提案", 電子情報通信学会論文誌 D Vol.J92-D No.10 pp1720-1722 2009
- [5] 長谷川 誠, 金指 正和, 田中 一基, 片岡 隆之 "振幅限定対数ラドン変換を用いた足跡画像の照合", 電子情報通信学会論文誌 D Vol.J93-D No.11 pp2483-2494 2010
- [6] 大西 弘之, 鈴木 寿, 有本 卓, "ハフおよびフーリエ変換を用いた回転と平行移動の検出", 電子情報通信学会論文誌, D- , 情報・システム, -情報処理, J80-D-2(7), pp.1668-1675, 1997
- [7] 大西 弘之, 鈴木 寿, 有本 卓, "ハフおよびフーリエ変換を用いた拡大・回転・平行移動検出法の部品位置決めへの応用", 日本ロボット学会誌, Vol.16, No.2, pp.232-240, 1998
- [8] 伊藤 康一, 青木 孝文, 中島 寛, 小林 孝次, 樋口 龍雄 "位相限定相関法を用いた掌紋認証アルゴリズム", MIRU2006
- [9] D.Lowe, "Object recognition from local scale invariant features", Proc.ICCV, pp1150-1157, 1999.
- [10] C.D.Kuglin and D.C.Hines, "The phase correlation image alignment method" Proc.Int Conf. Cybernetics and Society, pp.163-165, 1975.
- [11] 二階堂 旭, 伊藤 康一, 青木 孝文, 小菅 栄子, 川股 亮太 "位相限定相関法に基づく歯科 X 線写真の高精度位置合わせアルゴリズム", 第 22 回 信号処理シンポジウム, 2007
- [12] A.Nikaido, K.Ito, T.Aoki, E.Kosuge, R.Kawamata "A Dental Radiograph Registration Algorithm Using Phase-Based Image Matching for Human Identification", ISPADS 2006