

文脈自由文法モデルに基づく複数の軌跡を同時検出するアルゴリズムの検討

迫江, 博昭
九州大学大学院システム情報科学研究科知能システム学専攻

高橋, 伸弥
九州大学大学院システム情報科学研究科知能システム学専攻 : 博士後期課程

<https://doi.org/10.15017/1500397>

出版情報 : 九州大学大学院システム情報科学紀要. 4 (1), pp. 75-80, 1999-03-26. 九州大学大学院システム情報科学研究院
バージョン :
権利関係 :



文脈自由文法モデルに基づく複数の軌跡を 同時検出するアルゴリズムの検討

迫江博昭* ・ 高橋伸弥**

An Algorithm for Simultaneously Tracking Multiple Trajectories Based on Context Free Grammar Model

Hiroaki SAKOE and Shin'ya TAKAHASHI

(Received December 21, 1998)

Abstract: An algorithm for tracking multiple trajectories in a noisy image based on a context free grammar model is investigated. Individual target trajectories and their mutual relation are described in terms of a context free grammar to form a model of trajectories. A CYK based parsing algorithm is proposed and an acceleration technique with beam search is incorporated into the parsing process. A high performance and a high noise robustness of the algorithm were demonstrated by applying it to test images and the effectiveness of beam search were shown through experiments.

Keywords: Multiple trajectories, Context free grammar, CYK parsing, Noise robustness, Beam search

1. ま え が き

画像からの軌跡の検出は、各種医用画像処理²⁾³⁾、各種図面の自動認識⁴⁾⁵⁾等、多くの分野で問題となっている。それらは連続な軌跡が含まれた画像を扱っており、対象となる軌跡は時間あるいはそれに代わるインデックスで順序付けられている。本研究ではこのような軌跡を対象とし、共通の時間軸上に複数の軌跡が存在する多元軌跡を扱う。特に対象とする軌跡が1本の場合は単元軌跡と呼ぶ。

多元軌跡を検出する場合には、個々の軌跡の性質だけではなく軌跡相互間の関係を考慮することで、より高精度な軌跡の検出が可能になると考えられる。筆者らはこの考え方に基づいて、軌跡群の形状を正規文法(以下、RG)モデルで記述し、そのモデルに最も良く一致する軌跡群を動的計画法により検出するアルゴリズムを提案した¹⁾。

本論文では、文脈自由文法(以下、CFG)で記述される、より複雑な軌跡群の検出法を検討する。解析にはCYK法を用いることとし、解析テーブル上での枝刈りによる高速化を検討する。台形波近似した軌跡のモデルを用いて2本の正弦波の検出実験を行い、文献1)でのRGモデル化に対する相対的優位性を示した。また枝刈りによる計算量の低減効果を実験的に検討し、大幅な計算量の低減が可能であることを確認した。

2. 多元軌跡のモデル化

2.1 多元軌跡

Fig.1に多元軌跡を含む雑音画像の例を示す。この例は雑音に埋もれた2本の正弦曲線を人工的に生成し雑音を重畳したもので、Bunke⁶⁾が用いた例を2元軌跡に拡張したものである。Fig.1のように時間軸 t ($t = 1, \dots, T$)と空間座標軸 x ($x = 1, \dots, X$)を想定する。ここで、時刻 t 、位置 x における濃度値を $a(x, t)$ とする。この画像中に含まれる濃度の高い画素の連続としての k 本の軌跡 $\mathbf{x}(t) = (x_1(t), x_2(t), \dots, x_k(t))$ が求める軌跡群である(但し $x_i(t) \leq x_{i+1}(t)$ とする)。以下では、簡略化のため $k = 2$ すなわち2本の軌跡の場合について記述する。

2.2 基本動作の定義

多元軌跡をモデル化するために、個々の軌跡の振舞いと軌跡相互間の関係を用いて、軌跡群の1時刻あるいはその近傍の数時刻における基本動作を定義する。以下、個々の軌跡の局所的振舞いによって定義される軌跡の動

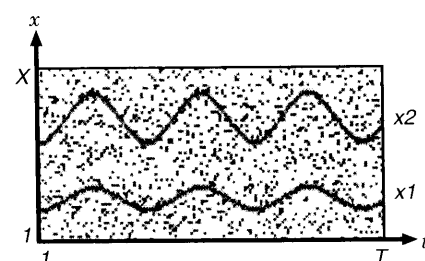


Fig.1 An image including multiple trajectories.

平成10年12月21日受付

* 知能システム学専攻

** 知能システム学専攻博士後期課程

Table 1 Examples of local behaviors of a single trajectory.

	local behavior of a single trajectory	constraint conditions ($\Delta \geq 0$)
$r1$	continuous (default)	$x - \Delta \leq y \leq x + \Delta$
$r2$	horizontal	$y = x$
$r3$	monotonically increasing	$x - \Delta \leq y \leq x$
$r4$	monotonically decreasing	$x \leq y \leq x + \Delta$

Table 2 Examples of local behaviors between two trajectories.

	local behavior between two trajectories	constraint conditions
$s \neq$	separate	blank exists between x_1 and x_2
$s =$	parallel	$y_2 - y_1 = x_2 - x_1$
$s <$	widening	$y_2 - y_1 < x_2 - x_1$
$s >$	narrowing	$y_2 - y_1 > x_2 - x_1$
$s \asymp$	symmetry	$x_1 - y_1 = y_2 - x_2$
$s \subset$	branch	$x_1 < x_2, y_1 = y_2 = y$
$s \supset$	merge	$x_1 = x_2 = x, y_1 < y_2$

Table 3 Examples of local behaviors of two trajectories.

symbol $v \in V_T$	the number of trajectories, k	local behavior of the trajectory x_1	local behavior of the trajectory x_2	local behavior between trajectories x_1 and x_2
a	2	$r3$	$r3$	$s =$ or $s <$
b	2	$r4$	$r4$	$s =$ or $s >$
c	2	$r2$	$r2$	—

Terminal symbols a, b and c stand for the following local behaviors of trajectories: A symbol “a” means the trajectory 1 and 2 are monotonically increasing and their relation is widening or parallel; A symbol “b” means the trajectory 1 and 2 are monotonically decreasing and their relation is narrowing or parallel; A symbol “c” means the trajectories 1 and 2 are horizontal.

作を単元基本動作, 2本の軌跡間の関係によって定義される動作を2元基本動作と呼ぶことにする. 単元基本動作と2元基本動作の例をそれぞれ **Table 1** および **Table 2** に示す. **Table 1** 中の制約条件は, 隣接する時刻の x 座標, $x = x(t)$ と $y = x(t-1)$ との間関係を与える. Δ は検出対象とする軌跡の最大傾斜である. また **Table 2** 中の制約条件は 2 本の軌跡の隣接する時刻における x 座標, $x_1 = x_1(t), x_2 = x_2(t)$ と $y_1 = x_1(t-1), y_2 = x_2(t-1)$ との間関係を与える.

多元軌跡としての各時刻の基本動作は, $k = 2$ の場合, 2本の軌跡に対する単元基本動作指定(**Table 1**)と2元基本動作指定(**Table 2**)の組で定義される. **Table 3** に基本動作の記述の例を示す. 表中の“—”は, 基本動作を特に指定しない場合, もしくは単元または2元基本動作により自明である場合を意味する.

2.3 CFG による軌跡群のモデル化

以上の基本動作を用いて, 検出対象となる軌跡群を CFG $\mu = (S, V_N, V_T, P)$ によりモデル化する. ここで, V_N, V_T, P はそれぞれ非終端記号, 終端記号, 書換え規則の集合であり, $S \in V_N$ は開始記号である. 以下, 英大文字は非終端記号, 英小文字は終端記号を表すこととする.

$$\begin{aligned}
\mu &= \{S, V_N, V_T, P\} \\
V_N &= \{A, B, C, D, E, F, G, Q, U, V, W, X, Y, Z, S\} \\
V_T &= \{a, b, c\} \\
P &= \{ \begin{array}{lll} S \rightarrow QV, & S \rightarrow XY, & S \rightarrow XV, \\ V \rightarrow YU, & V \rightarrow YZ, & V \rightarrow YX, \\ U \rightarrow XV, & U \rightarrow XW, & U \rightarrow XY, \\ Q \rightarrow ZX, & X \rightarrow AC, & Y \rightarrow BF, \\ C \rightarrow DB, & D \rightarrow AC, & D \rightarrow GG, \\ E \rightarrow BF, & E \rightarrow GG, & F \rightarrow EA, \\ G \rightarrow GG, & Z \rightarrow ZZ, & W \rightarrow WW, \\ A \rightarrow a, & B \rightarrow b, & G \rightarrow c, \\ Z \rightarrow a, & W \rightarrow b & \end{array} \}
\end{aligned}$$

Fig.2 An example of CFG model.

開始記号は $t = 1$ から $t = T$ に至る軌跡群の全体構造に対応し, 非終端記号は画像中の 2 時刻間の部分構造に対応する. 終端記号は前節で定義した軌跡群の基本動作に対応する. 書換え規則はチョムスキー標準形 ($U \rightarrow VW$ or $U \rightarrow v$) とする. これらの書換え規則には, 便宜上, あらかじめ $p = 1, \dots, |P|$ の番号を割り当てておく.

例として **Fig.2** に 2 本の台形波を生成する CFG モデルを示す. 正弦曲線の近似モデルとして, 4.

の実験でこのモデルを使用する。終端記号には、Table 3で定義したa,b,cが対応する。このモデルは、 $a^*(a^{m_1}c^*b^{m_1})(b^{m_2}c^*a^{m_2})\dots(a^{m_i}c^*b^{m_i})\dots$ という記号列を生成する。 a^* は終端記号aの任意個数の接続を示し、 a^m は m 個の接続を示す。この記号列は、“単調増加”、“水平”、“単調減少”、“水平”を繰り返す2本の台形波軌跡を表している。CFGの能力限界により周期性を表現することは不可能だが、Fig.2のモデルは、各周期内で各軌跡が対称となることが保証される点で、文献1)で用いたRGモデルに比して、正弦曲線のより精密な近似となっている。

3. CYK 法に基づく検出アルゴリズム

以上で定義したモデルと一致する軌跡群のうち、軌跡上の画素の濃度値の和が最大となるものを探索するCYK法に基づくアルゴリズムを構築する。

基本的な考え方は、画像中の2時刻間に仮定される部分軌跡の濃度値の和を評価値として、解析テーブル上で統合評価を行い、終端記号でラベル付けされた軌跡の解析木をボトムアップに構成するというものである。

3.1 解析テーブル

Fig.3に示すような三角行列状の解析テーブルを用意する。図の縦軸、横軸はそれぞれ画像中に仮定される軌跡群の始点時刻 t_s 、終点時刻 t_e に対応する($0 \leq t_s < t_e \leq T$)。各(t_s, t_e)の行列要素は、以下に定義する $g(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_e, t_s, t_e | U)$ および $bp(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_e, t_s, t_e | U)$ を格納するための配列 $(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_e, U)$ である。

- $g(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_e, t_s, t_e | U)$: 半開区間 $(t_s, t_e]$ に、時刻 t_s の座標が $\mathbf{x}_s = (sx_1, sx_2)$ 、時刻 t_e の座標が $\mathbf{x}_e = (ex_1, ex_2)$ であり、非終端記号Uに対応する部

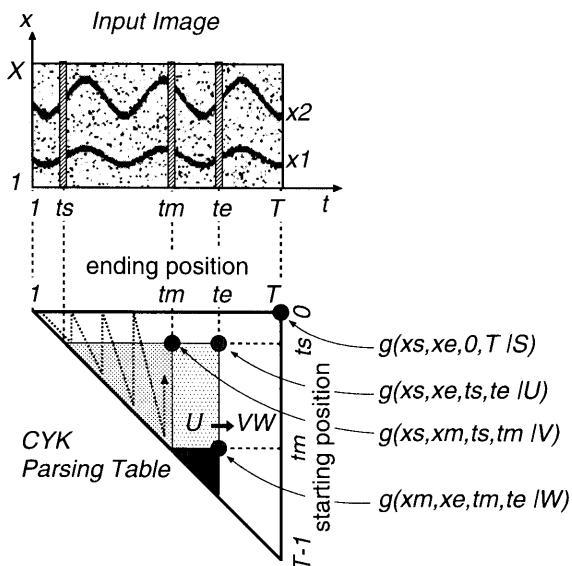


Fig.3 Organization of CYK parsing table.

分軌跡を仮定した時の、Uを根記号とする部分木のとり方と、それに対応する区間 $(t_s, t_e]$ の分割とに関して最大化される累積評価値を格納する。

- $bp(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_e, t_s, t_e | U)$: 上記 $g(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_e, t_s, t_e | U)$ に対応し、最大累積評価値を与えるパラメータとして、書換え規則の番号 p を格納する。さらに、 $U \rightarrow VW$ の形の手換え規則に対しては、V,Wの境界の時刻 t_m と座標 $\mathbf{x}_m = (mx_1, mx_2)$ も格納する。

3.2 解析アルゴリズム

以下の式(1),(2)を用いて、Fig.3の解析テーブルの各要素をボトムアップに評価する。

Fig.3の解析テーブル上の対角要素 $(t-1, t)$ ($1 \leq t \leq T$)に対しては、 $U \rightarrow v$ の形式の手換え規則で表される各時刻での基本動作が、式(1)によって評価される。具体的には、各時刻 t における2本の軌跡の位置の組 $\mathbf{x} = (x_1, x_2)$ と、隣接する時刻 $t-1$ での2本の軌跡の位置の組 $\mathbf{y} = (y_1, y_2)$ の位置関係により、終端記号との対応づけがなされる。

$$g(\mathbf{y}, \mathbf{x}, t-1, t | U) = \begin{cases} a(x_1, t) + a(x_2, t) & \text{if } (\mathbf{y}, \mathbf{x}) \text{ satisfy the constraints of } v \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

解析テーブル上の $t_e - t_s \geq 2$ であるような非対角要素に対しては、 $U \rightarrow VW$ の形式の手換え規則で表される部分軌跡が、式(2)によって評価される。非終端記号Uの始点時刻 t_s における座標を $\mathbf{x}_s = (sx_1, sx_2)$ とし、終点時刻 t_e における座標を $\mathbf{x}_e = (ex_1, ex_2)$ として、始点終点間に時刻 t_m での中継点 $\mathbf{x}_m = (mx_1, mx_2)$ を仮定した時の、時刻 t_s, t_m 間におけるVと時刻 t_m, t_e 間におけるWが統合評価される。

$$g(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_e, t_s, t_e | U) = \max_{\substack{U \rightarrow VW \\ \mathbf{x}_m, t_m}} \left[g(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_m, t_s, t_m | V) + g(\mathbf{x}_m, \mathbf{x}_e, t_m, t_e | W) \right] \quad (2)$$

以上の式を各(t_s, t_e)に対して計算し、 $t_s = 0, t_e = T$ までの解析が終了した時点で、

$$(\hat{\mathbf{x}}_s, \hat{\mathbf{x}}_e) = \operatorname{argmax}_{\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_e} [g(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_e, 0, T | S)] \quad (3)$$

によって、最大累積評価値を与える軌跡の始点終点の座標 $\hat{\mathbf{x}}_s, \hat{\mathbf{x}}_e$ を決定する。

解析テーブル上の $(\hat{\mathbf{x}}_s, \hat{\mathbf{x}}_e, 0, T | S)$ からバックポイントを参照してバックトラックを行うことにより、求める軌跡を検出し解析木および軌跡の各部に対する終端記号

のラベルを得る。

3.3 アルゴリズムの計算量と効率化

入力画像のサイズを $X \times T$ とした時の本手法の計算量を考察する。2本の軌跡を検出する場合、解析テーブル上の各 (t_s, t_e) において、 $|P|$ 個の書換え規則および軌跡の始点、中点、終点の座標を評価するため、各 (t_s, t_e) での計算量は、 $O(|P|(X^3)^2)$ となる。さらに各始点、終点時刻における軌跡の統合評価の計算量は、 $O(T^3)$ となることから、本手法の計算量は全体で $O(|P|X^6T^3)$ となる。また記憶量は、非終端記号数を $|V_N|$ とすれば $O(|V_N|X^4T^2)$ となる。 k 本の軌跡を検出する場合には、計算量は $O(|P|X^{3k}T^3)$ 、記憶量は $O(|V_N|X^{2k}T^2)$ となる。

これらの計算量を低減するために、ビームサーチ¹⁾を導入することを考える。ビームサーチは、最適解として可能性の低いものを以後の計算から除外するという枝刈りを行うことにより、計算量を大幅に低減し探索の効率化を図る手法である。

本論文では、解析テーブル上の各 (t_s, t_e) において、累積評価値 g の高いものから R 個の最適候補を残すという枝刈りを行う。以下、 R をビーム幅と呼ぶ。また式(1)の計算を効率良く行うために、しきい値として正定数 θ を用意し、 θ 以上の濃度値を持つ画素のみを対象として、式(1)の計算を行うものとする。以上の効率化により、解析テーブル上の各 (t_s, t_e) に対して $O(R^2)$ の計算量に抑えることができるため、全体の計算量は $O(R^2T^3)$ 、記憶量は $O(RT^2)$ となり、概算にして $R^2/(|P|X^{3k})$ 倍の高速化が望める。ビーム幅 R および、しきい値 θ の値は対象画像の品質や与えられるモデルによって異なるため、最適な値を実験的に求める必要がある。

3.4 ビームサーチを導入したアルゴリズム

ビームサーチを導入したアルゴリズムを説明する。まず、3.1で定義した $g(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_e, t_s, t_e | U)$ および $bp(\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_e, t_s, t_e | U)$ の代わりに、以下の $g_e(t_s, t_e, n)$ 、 $bp_e(t_s, t_e, n)$ 、 $B(t_s, t_e, n)$ を用意する。

- $g_e(t_s, t_e, n)$: 半開区間 $(t_s, t_e]$ における部分軌跡のうち、 n ($n = 1, \dots, R$) 番目の最適候補の累積評価値を格納する。
- $bp_e(t_s, t_e, n)$: 上記 $g_e(t_s, t_e, n)$ に対応し、 n 番目の累積評価値を与えるパラメータとして、書換え規則の番号 p を格納する。さらに、 $U \rightarrow VW$ の形の書換え規則に対しては、以上のパラメータに加え、 V, W の境界の時刻 t_m と座標 $\mathbf{x}_m$ も格納する。
- $B(t_s, t_e, n)$: 解析テーブル上の (t_s, t_e) におけるインデックス n の示す始点終点の座標 $\mathbf{x}_s, \mathbf{x}_e$ と、対応する非終端記号 U のセット、 $\langle \mathbf{x}_s, \mathbf{x}_e, U \rangle$ を保持する。

以上を用いて、式(1)、(2)と同様の処理を行う。Fig.3の解析テーブル上の対角要素 $(t-1, t)$ に対しては、 $a(x_k, t) \geq \theta$ ($k = 1, 2$) を満たす $\mathbf{x}$ と、基本動作の制約条件に従う $\mathbf{y}$ の組を持つ $B(t-1, t, n) = \langle \mathbf{y}, \mathbf{x}, U \rangle$ の n に対して、 $U \rightarrow v$ の形式の書換え規則で表される基本動作が、次式により評価される。

$$g_e(t-1, t, n) = a(x_1, t) + a(x_2, t) \quad (4)$$

解析テーブル上の非対角要素 (t_s, t_e) に対しては、 $B(t_s, t_e, n) = \langle \mathbf{x}_s, \mathbf{x}_e, U \rangle$ 、 $B(t_s, t_m, n_l) = \langle \mathbf{x}_s, \mathbf{x}_m, V \rangle$ 、 $B(t_m, t_e, n_r) = \langle \mathbf{x}_m, \mathbf{x}_e, W \rangle$ であるような n, n_l, n_r に対して、 $U \rightarrow VW$ の形式の書換え規則で表される部分軌跡が次式により評価される。

$$g_e(t_s, t_e, n) = \max_{n_l, n_r, t_m} [g_e(t_s, t_m, n_l) + g_e(t_m, t_e, n_r)] \quad (5)$$

以上の2式を $t_s = 0, t_e = T$ まで計算した後、

$$\hat{n} = \operatorname{argmax}_n [g_e(0, T, n)] \quad (6)$$

によって、最大累積評価値を与える $\hat{n}$ を決定し、 $bp_e(0, T, \hat{n})$ からバックポイントを参照してバックトラックを行うことにより、求める軌跡を検出する。

4. 評価実験および考察

以下の実験では、人工的に生成した2本の正弦曲線に雑音を重畳した256階調の濃淡画像をテスト画像とした。実験に使用した計算機のCPUは、Alpha 21164A (500MHz) (SPECint95: 15.4, SPECfp95: 21.1) である。実験結果の評価には、検出軌跡と真の軌跡との一致座標の割合を示す検出率(Tracking Rate)、および検出軌跡と真の軌跡との間の平均2乗誤差(MSE)を用いた。

4.1 ビームサーチの効果

サイズ $X = 10, T = 20$ のテスト画像に対してビームサーチの効果に関する実験を行った。テスト画像として、濃度値一定(255)の軌跡を含むFig.4(a)の画像に2値(0, 255)の雑音を重畳した画像(以下、2値雑音画像)と、256階調の雑音を重畳した画像(以下、多値雑音画像)の2種類をそれぞれ100枚ずつ使用した。テスト画像の例をFig.4(b),(c)に示す。モデルには、Table 1の最大傾斜を $\Delta = 1$ として、Fig.2に示した台形波のCFGモデルを使用した。また、ここでは、しきい値を $\theta = 0$ とした。

ビーム幅 R が小さすぎる場合、解析テーブルの $(0, T)$ に開始記号 S が生成されず、軌跡の検出に失敗する場合は生

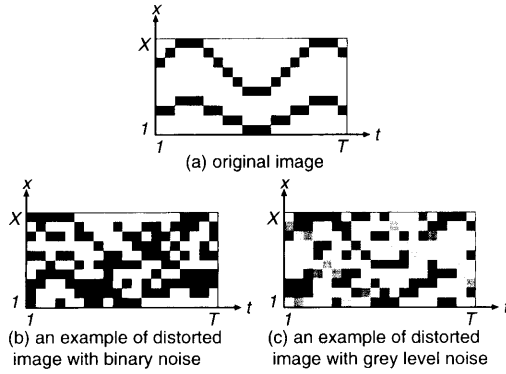


Fig.4 Test images.

じる。開始記号Sで表される軌跡が検出できた画像の割合を解析率として、それぞれの画像に対する解析率と R の関係調べた。結果をTable 4に示す。

2値雑音画像と多値雑音画像に対する検出率および検出時間とビーム幅 R との関係をそれぞれFig.5, Fig.6に示す。図の縦軸には平均検出率および平均実行時間を示し、横軸には R を示す。グラフ右端の $R = \infty$ は、ビームサーチを用いない場合に相当する。検出に失敗した場合の検出率は0%として、平均検出率を計算した。ビームサーチを用いない場合($R = \infty$)の平均実行時間は、どちらの画像でも約 2.2×10^4 秒であった。2値雑音画像に対しては、

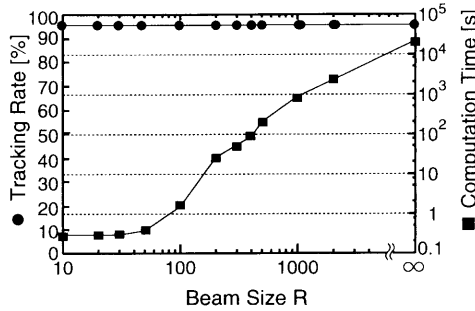


Fig.5 Beam search effect for test images with binary noise (b).

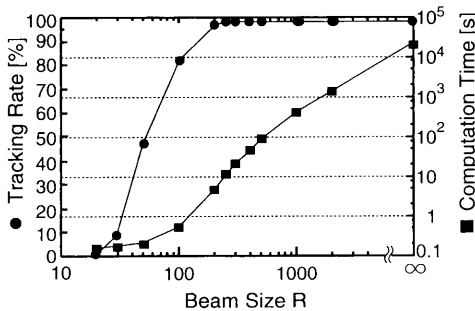


Fig.6 Beam search effect for test images with grey level noise (c).

Table 4 The rate of the successfully tracked images (%).

noise type of test images	beam size R					
	10	20	50	100	200	250
binary noise (b)	100	100	100	100	100	100
grey level noise (c)	0	1	48	84	99	100

Table 5 Beam search effect for the number of the elements in the parsing table.

noise type of test images	with beam search	without beam search
binary noise (b)	4.5×10^3 ($R = 10$)	1.2×10^6
grey level noise (c)	5.1×10^4 ($R = 250$)	1.2×10^6

検出率の劣化のない $R = 10$ で平均実行時間が約 0.3 秒であり、ビームサーチを用いない場合に比して約5桁の高速化となった。多値雑音画像に対しては、検出率の劣化のない $R = 250$ で平均実行時間が約 12 秒であり、ビームサーチを用いない場合に比して約3桁の高速化となった。

Table 5に、解析テーブル上に格納される要素数に対するビームサーチの効果を示す。この要素数にほぼ比例する量が必要な記憶量となる。ビームサーチを用いない場合と比較して、2値雑音画像に対して3桁、多値雑音画像に対して2桁の記憶量の効率化となった。

以上の結果から、ビームサーチによる大幅な計算量、記憶量の低減が可能であることが確認できた。

4.2 RG モデルとの比較

Fig.7(a) の3種類のテスト画像(サイズ: $X = 64, T = 128$)を用いて、RGモデルを用いる文献1)の手法に対する検出能力の比較実験を行った。Image1, Image2には一様分布に従う雑音を重畳し、Image3には濃度値一定の変調波を重畳した。

これらのテスト画像に対する、検出結果の軌跡をFig.7に示す。(b)はビームサーチを用いた本手法による検出軌跡である。モデルには、4.1と同じCFGモデルを使用した。ただし軌跡の最大傾斜は $\Delta = 2$ とした。(c)は文献1)のアルゴリズムによる検出軌跡である。モデルには、 $\{a^*c^*b^*c^*\}^*$ という記号列を生成するRGモデルを使用した。各記号は、Table 3の記号と同様である。検出率(TR)、平均2乗誤差(MSE)を各検出結果の下に示す。

Fig.7(b)の検出に要した実行時間は、Image1, Image2, Image3 に対して、それぞれ 5.1×10^2 秒 ($R = 30, \theta = 100$), 1.1×10^4 秒 ($R = 50, \theta = 100$),

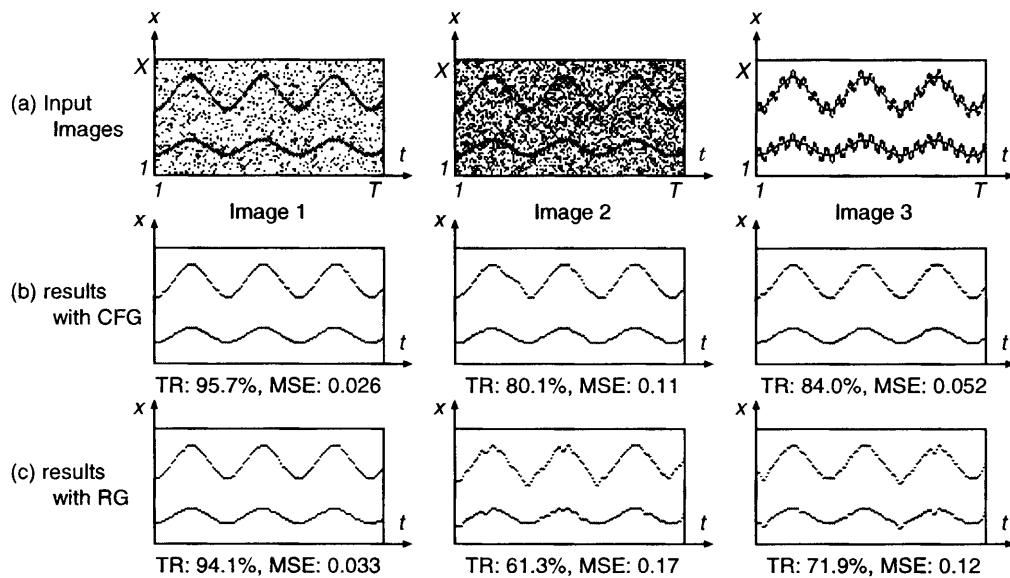


Fig.7 Test images and detected trajectories.

5.4×10^2 秒($R = 10, \theta = 200$)となった。括弧内に示したビームサーチのパラメータは予備実験によって決定した。文献1)のアルゴリズムを用いてFig.7(c)の検出に要した実行時間は、Image 1,2,3とも約7秒であった。

RGモデルを用いた(c)の結果では、雑音の影響が顕著であるのに比べ、CFGモデルを用いた(b)の結果では、より高精度に軌跡が検出されていることがわかる。これは、RGよりも高度な記述能力を持つCFGを用いたことで、軌跡の検出能力が高くなったことを示している。

以上により、CFGモデルに基づく本手法が、RGモデルに基づく文献1)の手法よりも高い軌跡検出能力を有することが確認できた。

5. む す び

本論文では、複数の軌跡群の形状と相互関係を文脈自由文法で記述し、雑音画像中からそのモデルと最も良く一致する軌跡群を検出するCYK型アルゴリズムに関して検討した。計算量の低減のため解析テーブル上でのビームサーチを導入し、実験により大幅な計算量の低減が可能であることを確認した。また、比較実験によりCFGモ

デルを用いる本手法が、RGモデルを用いる文献1)の手法と比較して高い軌跡検出能力を有することを確認した。

参 考 文 献

- 1) 高橋伸弥, 迫江博昭, “雑音画像中の多元信号軌跡の解析,” 信学論 (D-II), vol.J80-DII, no. 11, pp. 3011-3019, 1997.
- 2) H. Yamada, C. Merritt and T. Kasvand, “Recognition of kidney glomerulus by dynamic programming matching method,” *IEEE Trans. PAMI*, vol. 10, no. 5, pp.731-737, 1988.
- 3) 佐藤宏明, 金井活, 中鉢憲賢, “ダイナミックプログラミングを用いた心臓壁運動のトラッキングによる心臓壁の微小な振動計測,” 音響誌, vol. 50, no. 1, pp. 11-21, 1994.
- 4) U. Montanari, “On the optimal detection of curves in noisy pictures,” *Commun. ACM*, vol. 14, pp. 335-345, 1971.
- 5) H. Ney, “Dynamic programming as a technique for pattern recognition” *Proc. ICPR'82*, pp. 1119-1125 (1982).
- 6) H. Bunke and D. Parsche, “A new syntactic parsing method and its application to the tracking of noisy contours in image,” *Signal Processing IV: Theory and Applications*, North-Holland, Elsevier Science Publishers B.V., pp. 1201-1204, 1988.