

## シヨートノート

手書き文字図形信号の  $n$  次予測差分符号化方式の性質†

小柳 津 育 郎\*\* 田 中 清 人\*\*  
山 口 利 和\*\* 高 橋 護\*\*

この報告はオンライン手書き入力信号の符号化に関するものである。時系列的に先行する  $n$  個の点の座標位置情報から次の点の座標値を補間法を用いて予測する「 $n$  次予測差分符号化方式」について、各種の手書き文字・図形に適用したときの予測次数と予測誤差の関係を実験により調べた。その結果、先行する 2 点の座標情報から次の点の座標値を予測する 2 次予測差分符号化が予測誤差最小となる結果を得た。

## 1. はじめに

ISDN の普及とディジタイザや表示機器の分解能の向上によって、高分解能なオンライン手書き入力装置を用いた描画像通信システムの開発が期待される。この報告は、このような描画像通信システムのオンライン手書き入力信号の予測符号化に関するものである。

周知のように予測符号化方式は過去の信号時系列から次の時点の信号値を予測して予測値と真値の差（予測誤差）を符号化するものであり、標本化周期一定の  $n$  次線形予測では、時系列的に先行する  $n$  個の標本値の加重和を求め、これにより次点を予測する。予測符号化方式の予測次数と予測誤差の関係についてこれまでいくつかの研究が行われている<sup>1), 2)</sup>。文献 1) では、ひら仮名の手書き入力信号を対象として、各予測次数における誤差最小となる加重係数を自己帰帰モデル<sup>3)</sup>を適用して求め、最適な予測次数として  $n=3$  が得られるとしている。しかし、このような予測方式は、標本値間の相関を調べて加重係数を決定するためにすべての入力信号に対して最適な加重係数を求めることは不可能なことから、様々な手書き信号が入力される描画像通信システムには向かないと考える。

一方、線形予測の加重係数を入力信号の統計的性質に依らないで固定的に求める一方法に補間法がある<sup>4)</sup>。文献 2) は、補間法による 1 次および 2 次予測について、1 ストロークが 6~12 標本点で構成される比較的分解能の手書き文字図形信号に適用した場合

の比較が行われている。

ここでは、文献 2) の予測方式をさらに高次まで拡張した「 $n$  次予測差分符号化」について、1 ストロークが 10~数十の標本点からなる高分解能な手書き文字図形信号に適用したときの予測次数と予測誤差の関係を実験により調べている。

2.  $n$  次予測差分符号化

## 2.1 定 義

ここで議論する  $n$  次予測差分符号化は、ディジタイザから検出されるペン先の  $n$  個の時系列点  $P_0, P_1, \dots, P_{n-1}$  の  $XY$  座標を通る関数を見つけて、点  $P_n$  の  $XY$  座標を予測し、この予測値と真値との差分を符号化する方式とする。

今、図 1 のように、時刻  $a, a+\Delta t, a+2\Delta t, \dots, a+(n-1)\Delta t$  で関数  $f^d(t)$  {ただし、 $d=x, y$ } と一致する  $(n-1)$  次の関数は、

$$\begin{aligned} g^{d, n-1}(t) = & f^d(a) + \frac{t-a}{\Delta t} \Delta f^d(a) \\ & + \frac{(t-a)(t-a-\Delta t)}{2! \Delta t^2} \Delta^2 f^d(a) + \dots \\ & + \frac{(t-a)(t-a-\Delta t) \dots (t-a-(n-2)\Delta t)}{(n-1)! \Delta t^{n-1}} \\ & \times \Delta^{n-1} f^d(a), \quad d=x, y. \quad (1) \end{aligned}$$

ここで  $\Delta$  は、となりどうしの差をつくる操作；

$$\begin{aligned} \Delta f^d(t) &= f^d(t+\Delta t) - f^d(t) \\ \Delta^2 f^d(t) &= \Delta(\Delta f^d(t)) \\ &= \Delta(f^d(t+\Delta t) - f^d(t)) \\ &= \{f^d(t+2\Delta t) - f^d(t+\Delta t)\} \\ &\quad - \{f^d(t+\Delta t) - f^d(t)\} \\ &\quad \vdots \end{aligned}$$

† Characteristics of  $n$ -th Order Prediction Coding for Handwritten Signals by IKURO OYAIZU, KIYOTO TANAKA, TOSHIKAZU YAMAGUCHI and MAMORU TAKAHASHI (NTT Communications and Information Processing Laboratories).

\*\* 日本電信電話(株) NTT 情報通信処理研究所

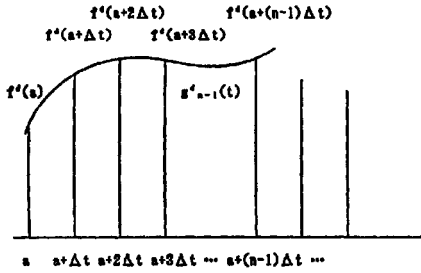


図1 第  $(n-1)$  次近似関数  $g^{d,n-1}(t)$   
Fig. 1  $(n-1)$ -th order approximate function  $g^{d,n-1}(t)$ .

$$\Delta^{n-1}f^d(t) = \Delta(\Delta^{n-2}f^d(t))$$

である。

点  $P_n$  の予測座標は、式(1)から、

$$\begin{aligned} g^{d,n-1}(a+n\Delta t) &= g^{d,n-1}(a+(n-1)\Delta t) \\ &+ \left\{ \Delta f^d(a) + \binom{n-2}{1} \Delta^2 f^d(a) \right. \\ &+ \binom{n-2}{2} \Delta^2 f^d(a) + \dots + \Delta^{n-1} f^d(a) \left. \right\} \\ &+ \left\{ \Delta^2 f^d(a) \binom{n-3}{1} \Delta^2 f^d(a) + \dots + \Delta^{n-1} f^d(a) \right. \\ &+ \left. \left\{ \Delta^3 f^d(a) + \dots + \Delta^{n-1} f^d(a) \right\} \right. \\ &\quad \vdots \\ &+ \left. \left\{ \Delta^{n-1} f^d(a) \right\}, \quad d=x, y. \quad (2) \right. \end{aligned}$$

により得る。

また、点  $P_n$  の実座標は、

$$g^{d,n}(a+n\Delta t) = g^{d,n-1}(a+n\Delta t) + \Delta^n f^d(a), \quad d=x, y. \quad (3)$$

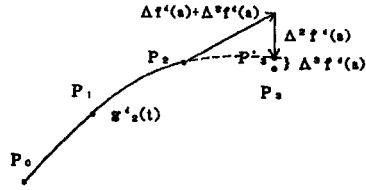
であるから、点  $P_n$  の実座標と予測点  $P'_n$  の座標との誤差は  $\Delta^n f^d(a)$  {ただし、 $d=x, y$ } である。

### 2.2 3次予測差分符号化の例

本予測方式による3次予測符号化の例を図2に示す。予測点  $P'_3$  の座標は、式(2)から、

$$\begin{aligned} g^{d,3}(a+3\Delta t) &= g^{d,2}(a+2\Delta t) + \left\{ \Delta f^d(a) + \Delta^2 f^d(a) + \Delta^3 f^d(a) \right\} \\ &= f^d(a) - 3f^d(a+\Delta t) + 3f^d(a+2\Delta t), \quad d=x, y. \quad (4) \end{aligned}$$

で求める。すなわち、 $P_3$  と  $P_1$  の標本値の差分 ( $P_3$  の速度成分) と  $P_2$  と  $P_1$  の速度成分の差分 ( $P_2$  の加速度成分) を加えて予測値が求められる。予測誤差は、式(3)から、 $\Delta^3 f^d(a)$ 、すなわち、 $P_3$  と  $P_2$  の加速度成分の差により求めることができる。



ただし、 $\Delta f'(a) + \Delta^2 f'(a) = f'(a+2\Delta t) - f'(a+\Delta t)$ ,  
 $\Delta^2 f'(a) = f'(a+2\Delta t) - f'(a+\Delta t) - \{f'(a+\Delta t) - f'(a)\}$ ,  
 $d=x, y$ .

図2 第2次近似関数  $g^{d,2}(t)$  による  $P_3$  点の座標予測  
Fig. 2 Prediction of point  $P_3$  coordinates by 2nd-order approximate function  $g^{d,2}(t)$ .

本予測方式は、式(4)の例からも分かるように、各標本値の加重係数が予測次数によって決まり、標本値間の相関に依存しない常に一定の定数として決まる点の特徴である。

### 3. 予測誤差の算出

#### 3.1 入力文字図形データ

手書き文字図形信号の符号化方式、符号化効率を考える場合、ペンの移動速度、1ストロークあたりの標



図3(a) 漢字  
Fig. 3-(a) Chinese characters.

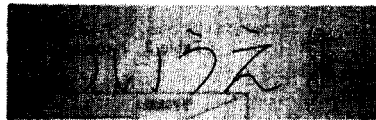


図3(b) ひらがな  
Fig. 3-(b) Hiragana.

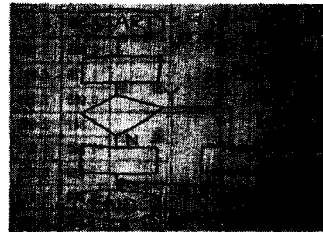


図3(c) 図形  
Fig. 3-(c) Graphics.

表 1 入力ディジタイザの仕様  
Table 1 Digitizer specifications.

検出方式	有効筆記寸法	分解能	標準化速度
電磁誘導方式	1,304×816 mm	0.83 mm	180 回/秒

表 2 入力データの特徴  
Table 2 Handwritten signal characteristics.

項目	入力者	漢字	ひらがな	図形
総標本点数	男性	1,648	401	2,661
	女性	2,270	743	3,357
ストローク数	男性	68	11	40
	女性	68	11	40
ストローク当り平均標本点数	男性	24.2	36.5	64.9
	女性	33.4	67.5	83.9
最高ペン速度 (m/秒)	男性	1.7	2.6	1.5
	女性	1.2	2.2	0.8

本点数などが重要なパラメータである<sup>2)</sup>。ここでは、これらのパラメータの主な変化要因である文字図形の種類と手書き入力者を変えた場合の実際の文字図形データを試料とした。すなわち、文字図形の種類は図 3 に示す漢字、平仮名および図形の 3 種類とし、同じ内容を男女 2 名が手書き入力した。ディジタイザは、表 1 に示す電子黒板形式のものを利用した。各試料の主要なパラメータを表 2 に示す。

### 3.2 予測誤差値の算出結果

表 2 の各試料について、各次数における全標本点の予測誤差を算出したものを統計処理し、平均と標準偏

差を求めた。結果を表 3 に示す。表 3 の予測誤差の平均は、正負方向が相殺された結果を示している。予測誤差の大きさを直感的に知るためには、予測誤差長の平均が分かりやすい。そこで、各標本点の予測誤差  $\Delta^* f^d(a)$  の  $X, Y$  成分の絶対値の平均

$$E(f^x) = (1/N) \sum_N |\Delta^* f^x(a)|$$

$$E(f^y) = (1/N) \sum_N |\Delta^* f^y(a)|$$

ただし、 $N$  は全標本点数。

を算出した。結果の一例を図 4 に示す。

図 5 は、1 次から 3 次予測までの予測誤差の確率密度を示した例である。

### 3.3 結果の考察

表 3 ならびに図 4 から、予測誤差の観点から先行する 2 標本点の値—ペン移動の等速度運動分—を用いる 2 次予測方式がもっとも優れており、93% の標本点が 1 バイトのデータ長を用いて PCM 符号化できることを示している。

従来、文献 2) で、3 次予測を行えば等加速度運動における予測誤差を 0 とすることができることから予測誤差をさらに小さくできると推定されていたが、本実験により 2 次予測方式が予測誤差最小になることが確かめられた。これは、手書き動作のペン移動速度が、図 6 に示すように数標本点程度の短い周期で変動することがみられており、本予測方式のように標本値間の相関を用いない方式では、このような人の動作特性 (速度変動) が次数を高くすればするほどそのまま予測誤差を大きくする結果につながったと考えることができる。

表 3 予測誤差の平均と標準偏差

Table 3 Expectation and standard deviation of prediction error.

上段: X座標, 下段: Y座標

試料	子測次数	1		2		3		4		5	
		E	$\sigma$	E	$\sigma$	E	$\sigma$	E	$\sigma$	E	$\sigma$
男性	漢字	1.725	3.612	-0.012	1.682	-0.015	2.656	-0.015	4.849	-0.017	9.068
		-1.871	3.620	0.003	1.809	0.007	2.528	0.004	4.561	0.000	6.468
	ひらがな	2.397	6.371	0.005	1.667	-0.002	2.336	0.002	4.169	0.005	7.722
		-2.815	7.090	0.015	1.637	0.002	2.061	0.000	3.686	0.002	6.827
	図形	1.175	4.821	-0.000	0.918	0.001	1.517	0.004	2.782	0.010	5.252
		-0.669	2.389	0.000	1.096	-0.002	1.885	-0.001	3.491	0.000	6.585
女性	漢字	1.941	2.969	0.006	0.947	-0.001	1.428	0.001	2.602	-0.003	4.871
		-1.862	2.873	-0.004	1.119	0.003	1.782	-0.001	3.226	0.000	6.006
	ひらがな	1.628	5.525	-0.007	1.638	0.000	2.542	0.005	4.602	0.017	6.573
		-2.856	6.013	0.000	1.517	0.000	2.271	-0.005	4.104	-0.015	7.842
	図形	1.186	2.765	0.000	0.798	0.001	1.374	0.001	2.536	0.001	4.766
		-0.791	1.664	-0.001	1.049	-0.001	1.813	-0.002	3.323	-0.002	6.213

(注) E: 平均,  $\sigma$ : 標準偏差

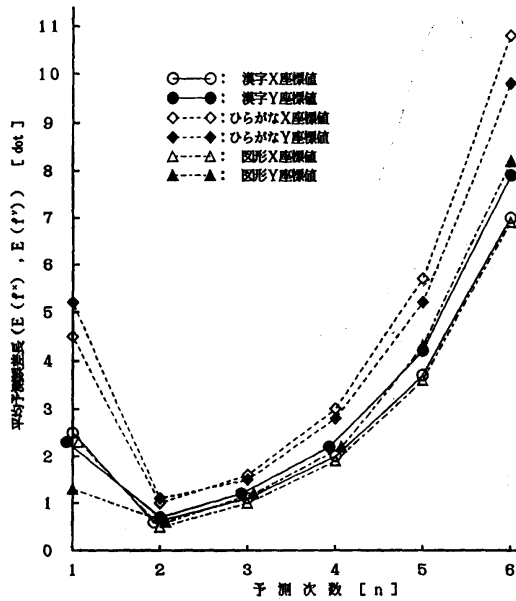


図4 予測次数と平均予測誤差長の関係 (試料: 女性の場合)  
 Fig. 4 Relationship between prediction order number and prediction error.

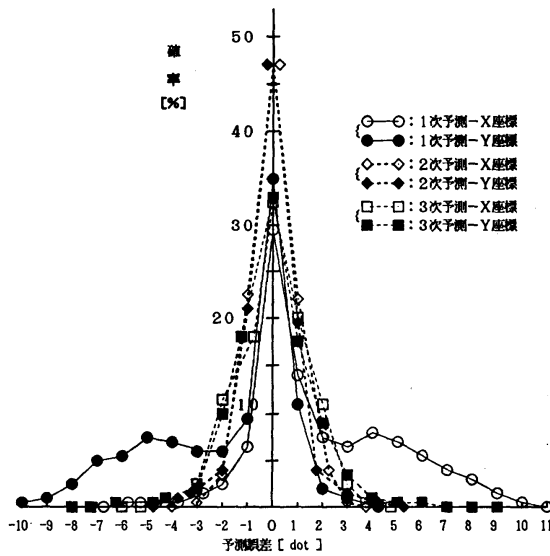


図5 予測誤差の確率密度 (試料: 女性-漢字の場合)  
 Fig. 5 Probability density of prediction error.

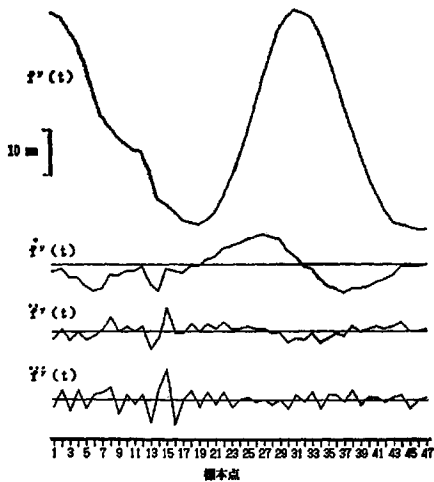


図6 手書き入力信号の例(試料: 男性-「あ」の第3ストローク)

Fig. 6 Example of handwritten signals.

#### 4. おわりに

オンライン手書き信号の $n$ 次予測差分符号化方式を各種の手書き文字や図形に適用し、その予測次数と予測誤差の関係性を調べ、2次予測差分符号化が予測誤差最小となることを示した。

この結果は1種類のディジタイザによる入力データを用いて得られたものである。さらに一般的な結論とするために入力用のディジタイザの大きさ、分解能、標本化速度等を変えて、ペン速度、1ストロークの標本点数が異なる場合についても同様な結果が得られるか検証していく予定である。

謝辞 有益なご助言を頂いた徳島大学工学部木内陽介教授に感謝します。また、日頃、ご指導・ご鞭撻頂く当研究所研究企画部長松永俊雄部長に感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) Yasuhara, M.: *Identification and Decomposition of Fast Handwriting System*, IEEE Trans. on Circuits and Systems, Vol. CAS-30, No. 11, pp. 828-832 (1983).
- 2) 佐藤, 中村: 描画像信号の予測符号化方式, 信学論 (B), Vol. J65-B, No. 2, pp. 215-222 (1982).

3) 添田, 中溝, 大松: 信号処理の基礎と応用, 日新出版, pp. 135-149, 東京 (1979).

4) 遠山: 数学入門 (下), 岩波書店, pp. 147-151, 東京 (1960).

(平成2年8月20日受付)

(平成3年4月9日採録)



小柳淳育郎 (正会員)

1968年名古屋大学工学部電気学科卒業, 1970年同大学院工学研究科修士課程修了。同年日本電信電話公社(現 NTT)に入社。現在 NTT 情報通信処理研究所第三プロジェクトチームにおいて ISDN を利用したマルチメディア通信システムの研究に従事。主幹研究員(プロジェクトチームリーダー)。電子情報通信学会会員。



田中 清人 (正会員)

1975年徳島大学工学部電気工学科卒業, 1977年同大学院工学研究科電気工学専攻課程修了。同年日本電信電話公社(現 NTT)に入社。現在 NTT 情報通信処理研究所第三プロジェクトチームにおいて、通信会議システムの研究開発に従事。主任研究員。電子情報通信学会会員。



山口 利和 (正会員)

1981年名古屋工業大学工学部電子工学科卒業, 1983年名古屋大学大学院工学研究科修士課程修了。同年日本電信電話公社(現 NTT)に入社。現在 NTT 情報通信処理研究所第三プロジェクトチームにおいて通信会議システムの研究開発に従事。主任研究員。電子情報通信学会会員。



高橋 謙

1982年日本理工情報専門学校電子工学科卒業, 1981年日本電信電話公社(現 NTT)に入社。主に NTT 社内情報システムの開発に従事。現在 NTT 情報通信処理研究所第三プロジェクトチームにおいて通信会議システムの研究開発に従事。