正会員 藤 野 雄 一[†], 小 倉 武[†]

A Real-Time Labeling with CAM

Yuichi Fujino[†] and Takeshi Ogura[†]

あらまし 有効な画像処理技術のひとつにラベリング処理があるが、テーブル検索処理を伴うためにその高速化が困難であった。本稿では、並列処理機能を持つ CAM を利用した実時間ラベリング処理法を提案し、その実時間処理性とハードウェア規模を評価した。

1. ま え が き

ラベリング処理は、対象物体の個数、面積、重心等、物体の特徴を抽出することが可能なため、2 値画像の認識処理等に多用されており、その高速化が望まれている。ビデオレート処理を実現するために、ラベル間の連結関係を示したテーブル検索に並列処理機能を持つ CAM(Content Addressable Memory)を用いた手法¹⁾(以下テーブル CAM 法)、同じく検索処理にグラフ理論を用い、パイプライン処理を組合せた手法²⁾(以下 PL 法)等の種々のラベリング手法が提案されている。これらの手法は、暫定ラベル数の制限、前処理の必要性、フレーム遅延の存在等の点で問題がある。本稿ではこれらを解決するため、CAM をラベル画像メモリとして使用したフレーム遅延のない実時間ラベリング処理法(以下ラベル画像 CAM 法)を提案し、その実時間性とハードウェア規模を評価する。

2. CAM を用いたラベリング処理

CAM は通常のメモリー(RAM)機能のほかに並列検索機能と検索により選択された複数ワードへの並列書き込み機能がある³⁾。テーブル CAM 法では連結関係テーブルに CAM を用いているために、ラベル画像を実ラベルに更新する際にフレーム遅延が生じる。一方、ラベル画像 CAM 法では画素毎のラベル番号を CAM に直接書込むことにより、連結するラベルを持つ画素の並列選択処理、選択された複数画素に対する

d	a	b
c	X	

X ; 注目画素
a - d ; 連結関係判定用画素

図 1 走査用マスク
Scanning mask.

表 1 マスク処理用論理テーブル
A logical table for mask processing.

No.	入力画像					X のラベル値	接続関係
	X	a	b	c	d		
1	1	1	*	*	*	A	B-D B-C
2	1	0	1	0	0	B	
3	1	0	1	0	1	min(B, D)	
4	1	0	1	1	*	min(B, C)	
5	1	0	0	1	*	C	
6	1	0	0	0	1	D	
7	1	0	0	0	0	NEW	
8	0	*	*	*	*	0	

ラベルの並列書換え処理が実現でき、フレーム遅延のない実時間ラベリング処理が可能となる。以下にラベル画像 CAM 法の処理概要を示す。

(1) 図 1 に示す走査用マスク(X ; 注目画素, a, b, c, d ; 連結関係判定用画素)を用いて 2 値画像を走

キーワード：画像処理, ラベリング処理, CAM, 実時間処理, 並列処理

1992 年 7 月, 1992 年テレビジョン学会年次大会で発表

1993 年 2 月 17 日受付, 1993 年 3 月 11 日再受付

[†] NTT LSI 研究所 (〒 243-01 厚木市森の里若宮 3-1, TEL 0462-40-2656)

[†] NTT LSI Laboratories (3-1, Morinosato Wakamiya, Atsugi-shi, Kanagawa 243-01, Japan)

```

      ***
      ***      ***
      ***      *****
*****  *****  *****
*****  *****  *****
*****  *****  *****
*****  *****  *****
*****  *****  *****

```

図 2 入力画像
Input image.

```

      111
      111      222
      111      22222
      333333  1111  22222
3333333 11111 22222
33333333*

```

図 3 ラベル画像(連結関係検出時)
Label image. (finding connecting relation)

```

      111
      111      222
      111      22222
      111111  1111  22222
1111111 11111 22222
111111111

```

図 4 ラベル画像(並列書き込み処理後)
Label image. (after parallel writing)

査し、表 1 に示す判定用論理テーブル(A, B, C, D は画素 a, b, c, d それぞれに付与されているラベル番号、* は 0 または 1) に基づき注目画素 X のラベルが決定されて、CAM に格納される。図 2 に入力画像、図 3 に走査途中のラベル画像(CAM の内容)の例を示す。

(2) 表 1 中の項目 3, 4 の場合に連結関係が検出される。検出された 2 つのラベルのうち CAM 中の大きいラベルを並列に選択し、これらを小さいラベルですべて並列に書換える。これらの処理はそれぞれ 1 サイクルで実現できる。図 4 に書き換えられたラベル画像を示す。

(3) 次の注目点に移動し同様に処理を繰り返す。画面の走査が終了した時点で CAM、すなわちラベル画像メモリーには実ラベルが付与されている。

3. 従来法との比較検討

3.1 演算時間の比較

従来のラベリング法として、巡回リスト⁴⁾(以下巡

表 2 メモリー容量評価結果
An estimation of memory capacity.

	巡回法	PL 法 (L 限定)	テーブル CAM 法	ラベル画像 CAM 法
フラグテーブル	2.2 G	2 M	—	—
接続関係テーブル	1 M	45 M	1 M	—
ルックアップテーブル	1 M	22 k	—	—
ラベル画像メモリー	4.2 M	2.9 M	4.2 M	4.2 M
トータル容量	2.2 G	50 M	5.2 M	4.2 M

回法)、PL 法などがあるが、演算量は両方ともに暫定ラベル数 L に依存する。 L の理論的最大値は $L =$ 実ラベル数のときであり、4 連結処理で処理対象画素数の $1/2$ 、8 連結処理で $1/4$ となる。連結関係判定処理における演算量は、巡回法では、1 つのラベル毎に巡回リストを最大 L 回検索するため、 L^2 に比例する。PL 法ではグラフ理論を用いて検索処理を行うため、最大で $6L$ に比例する。文献 4) では、連結関係判定処理を 10 MHz の MPU で実行すると仮定すると、巡回法では暫定ラベル数が 100 程度の場合、PL 法では約 3000 以下の場合、1/30 秒以下、すなわちビデオレートで処理可能としている。なお、PL 法では前処理(暫定ラベル数削減処理、連結関係テーブル作成処理)、後処理(実ラベル付与処理)を含めて数フレームの遅延を生じる。

テーブル CAM 法では、CAM は 20 MHz で動作すると報告されており、 512×512 画素での実時間処理が可能となるが、その後、実ラベル付与処理を必要とするために 1 フレーム遅延する。これに対してラベル画像 CAM 法では演算量は画素数に依存し、暫定ラベルを付与しながら、連結関係が検出された時点でラベルの並列書換えを行っているため、1 フレーム走査終了時には実ラベルが付与されており、フレーム遅延を生じない。 512×512 画素では 1 画素当り並列検索処理、並列書き込み処理の 2 ステップを必要とし、現状の LSI 技術で実現可能な 16 MHz のクロック周波数で理論的に最大の暫定ラベル数に対して実時間処理が可能となる。

3.2 メモリー容量の比較

必要なメモリー容量は処理する画素数に大きく依存する。表 2 に 512×512 画素における 8 連結ラベリング処理に必要なメモリー容量を評価した結果を示す。また、図 5 にメモリー容量の処理画素数に対する依存性を示す。なお、PL 法では $L = 2k$ に限定させた場合の容量を示している。ここで、フラグテーブルは重

図5 処理画素数(または最大暫定ラベル数)とメモリー容量の関係

A relation between processing pixels (or maximum temporary labels) and memory capacity.

複関係を排除するためのテーブルであり、その容量は $L \cdot L/2$ となる。接続関係テーブルは PL 法の場合には $L \cdot L \cdot W$ (ここで、 W は最大暫定ラベルのビット数)、巡回法では $L \cdot W$ が必要となり、ルックアップテーブルでは両者共に $L \cdot W$ の容量を必要とする。なお、実機上のメモリー容量は容量削減のための対処が施されているために表2よりも少ないものと思われる。表2より巡回法ではギガビットオーダ、PL 法では 50 Mb、テーブル CAM 法では 5 Mb のメモリーが必要となる。

一方、ラベル画像 CAM 法では暫定ラベル数の制限なしで 4 Mb が必要となり、メモリー容量の削減効果があることがわかる。CAM はその並列処理機能等のために RAM と比較してハードウェア量が数倍程度大きくなるが、それを考慮した上でも巡回法、PL 法と比較してハードウェアの削減効果がある。現在までに種々の容量の CAM が報告されており⁶⁾、4 Mb の容量は複数 CAM チップを使用することにより実現可能である。なお、テーブル CAM 法では接続関係テーブルにのみ CAM を使用しているため、ハードウェア量ではラベル画像 CAM 法より有利となる。

4. 人物頭部追跡処理への適用

テレビ電話用人物頭部追跡処理におけるラベリング処理⁶⁾では、原画像をブロック化し、ブロック化した画像を矩形領域で切り出した範囲にラベリングすることを想定している。例えば、704×480 画素を 8×8 画

素でブロック化し、32×32 ブロックで切り出す。この領域内でらせん状にラベリング処理を実施し、ラベル番号1の領域の重心点を求め、この重心点を次のフレームのらせん状ラベリング処理の開始点として処理を繰り返す。重心点を連続的に求めることによりフレーム間にわたる物体の追跡を行う。この場合、32×32 のブロック化した画素を扱うために、使用する CAM の容量は図5より 8 kb(ワード数は 32×32=1 k ワード、ビット数は最大ラベル数が 1024/4=256 のため 8 ビット)となり、現状の LSI 技術で実現可能である。

5. む す び

実時間ラベリング処理を実現するために CAM の並列検索、並列書き込み機能を使用した実時間ラベリング処理法を提案し、その実時間性とハードウェア規模を評価した。その結果、現状の LSI 技術で CAM を用いた実時間ラベリング処理が可能なること、そのメモリー容量も従来手法と比較して削減効果があることを示した。今後、本手法の、テレビ電話用人物頭部領域追跡処理への適用について検討を進め、オンチップ CAM LSI 構成法、LSI 周辺ハードウェア構成法について検討を行う。

〔参 考 文 献〕

- 1) Y. Shin, R. Sridhar, V. Demajenenko, P. W. Palumbo and S. N. Srihari: "A Special-Purpose Content Addressable Memory Chip for Real-Time Image Processing", IEEE Journal of SC, 27, 5 (May 1992)
- 2) 後藤, 太田, 吉田, 白井: "パイプライン型高速ラベル付けアルゴリズム", 情報学 CV 研資, CV43-1 (1986)
- 3) 長沼, 小倉: "機能メモリを用いた計算機アーキテクチャ", 情報処理, 32, 12, pp. 1249-1259 (Dec. 1991)
- 4) 白井, 杉原: "連結領域を求める手法とそのハードウェア", 信学技報, IE78-9 (1978)
- 5) 山田, 木村, 榎本: "集積回路技術からみた機能メモリの現状と展望", 情報処理, 32, 12, pp. 1239-1248 (Dec. 1991)
- 6) 藤野: "ローカルらせん状ラベリング処理を用いた動物体追跡法", 平4 信学春季全大, 7-120 (1992)

ふじの ゆういち
藤野 雄一 昭和58年、北海道大学工学部大学院修士課程修了。同年、NTTに入社。以来、テレビ会議端末の研究実用化、画像処理技術に応用したテレビ会議端末の研究、画像処理 LSI の研究開発に従事。現在、NTT LSI 研究所主任研究員。正会員。

おぐら たけし
小倉 武 昭和53年、大阪大学工学部大学院修士課程修了。同年、NTTに入社。以来、連想メモリー LSI およびそれに応用した情報処理装置の研究に従事。現在、NTT LSI 研究所主幹研究員。工学博士。