

連想プロセッサによる LSIマスクパターン傷検出システム

藤森 隆洋 後藤 厚宏 田中 英彦 元岡 達
(東京大学 工学部)

1. はじめに

LSI集積技術の向上に伴ないLSIマスク自動傷検出の必要性が高まっている。傷検出の手法には、①マスクの二値パターンから独自に傷判定をする手法、②設計データと直接比較する手法、等がある。これらは連続するマスクに共通する傷も検出でき、有効である。

連想プロセッサDREAM-I^[1]の応用システムとして、①の手法(富士通研の傷検出方式^[2]を改良したもの)による傷検出システムを実装した。本報告では、傷検出システムの実装法と評価について述べる。

対象とする二値化されたマスクパターンは

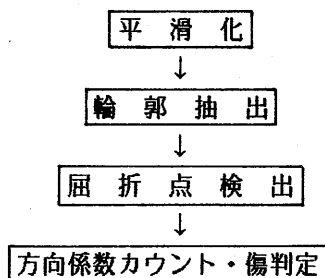
- ・最小線幅を9ビット以上
- ・パターンの輪郭は水平、垂直、45°方向の直線であるものとし、傷検出の範囲を次の様にした。
- ・最小線幅に対し1/3以上の傷を検出
- ・45°のパターン上の傷も検出

但し、検出光学系の走査方向とマスクパターン方向のずれによる段差がある程度生ずることを考慮した。

2. 傷検出手法

傷検出の流れを[図1]に示す。

- ・平滑化では、ノイズの除去及び光学系の走査方向とマスクパターン方向のずれによって生ずる段差の付近の乱れを平坦にする。処理は[図3]の8近傍点のうち、b, d, b', d'の4近傍を用いる。
- ・輪郭抽出では12近傍[図2]を用いて45°方向のパターンの輪郭を含め、凹部凸部の輪郭を忠実に抜き出す。輪郭をきれいに抽出することが傷検出上重要である。



[図1] 傷検出の流れ

・屈折点検出では8近傍処理を用いている。輪郭線の屈折部分が傷部分では多くなっている。これを傷判定に利用する。

各処理は次の論理式によって行なった。

(\oplus は 排他的論理和)

[平滑化]

$$x \leftarrow x \oplus \{ (b \oplus x) \cdot (b' \oplus x) + (d \oplus x) \cdot (d' \oplus x) \}$$

[輪郭抽出]

$$x \leftarrow x \cdot [b \cdot d \cdot b' \cdot d' + \{ (a \oplus c) \cdot a' \cdot c' + (a' \oplus c') \cdot a \cdot c \} \cdot e \cdot f \cdot e' \cdot f']$$

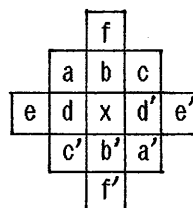
[屈折点検出]

$$x \leftarrow x \cdot [\{ (a \oplus a') + (b \oplus b') \} \cdot \{ (c \oplus c') + (d \oplus d') \} + (a \oplus a') \cdot (b \oplus b') + (c \oplus c') \cdot (d \oplus d')]$$

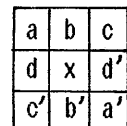
・方向係数カウント、傷判定

画面の端から8×8の窓で碁盤の目に区切る。最小線幅を9ビット以上としている為、8×8の窓内には輪郭線が多くとも一本しか含まれない。これがマスクパターンの直線部であれば屈折点はなく、屈曲部分であれば屈折点は1つ含まれる。傷部分では、屈折点は窓内に多く含まれるようになる。正常部分でも走査方向のずれによって生ずる段差が屈折点の近くにある場合は、[図5]のように8×8の窓内に3つの屈折点が生ずる。

8×8の窓の取り方に自由度がないので、傷部分が分割されることがある。これによる傷判定漏れを防ぐため、屈折点の連結状態を考慮する。屈折点Xに対して輪郭線の伸びる8方向に[図4]のような数字を対応させる。[図5]の例の場合、屈折点A,



[図2] 12近傍



[図3] 8近傍

B, Cに於ける輪郭線の連結方向は表のようになっている。8×8の窓内のすべての屈折点の連結状態を方向別に集計して方向係数を得る。傷を含む窓内では方向係数が増大する。

傷判定のスレッシュホールドは[図5]の場合を傷でないとして判断するように決定する必要がある。そこで傷判定、及びその表示を次のようにした。

傷判定の条件=“方向係数が2以上になる方向が2方向以上ある場合、8×8の窓内に傷有りとして判定する。”

傷の表示=“傷を含む8×8の窓内の屈折点を結果とする。”

以上のアルゴリズムによる傷検出結果を[写真1]に示す。

3. 傷検出時間

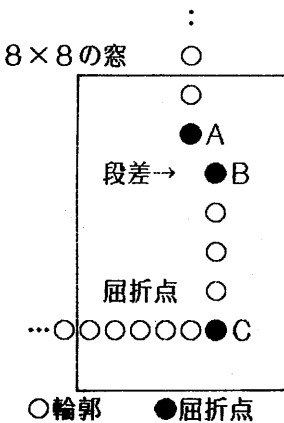
前述の手法による傷検出システムを、4モジュール構成の連想プロセッサDREAM-11上に実装した。傷検出時間は画面サイズ 256× 192 ([写真1])の場合

平滑化と輪郭抽出	52 ms (実測値)
屈折点検出と傷判定	85 ms (実測値)
計	137 ms

となった。

1	2	3
8	x	4
7	6	4

[図4] 方向



屈折点	連結方向
A	2, 5
B	1, 6
C	2, 8

集計結果

方向	1	2	3	4	5	6	7	8
方向係数	1	2	0	0	1	1	0	1

[図5] 段差と屈折点 および方向係数

但しDREAM-11の1マイクロ命令実行時間は333ns、ホスト計算機はFACOM U-300である。

DREAM-11ではホスト計算機とのデータの転送と処理をオーバーラップさせているが^[5]、傷検出処理の場合完全な処理ネックとなっている。モジュール数を28とした場合、転送時間と処理時間は整合し、画面サイズ 256× 192の場合19.6msで処理が可能となる。

本方式で更にパイプライン化を進め高速化を図ると、10mm角のマスクで最小線幅が3μmのものを対象にした時、1μm以上の傷を検出するのに要する時間が約6分になる。これは通常の汎用ミニコンを用いた場合の約1000分の1の検出時間である。

4. おわりに

本システムは連想プロセッサDREAM-11によって可能となり、高速傷検出の可能性が示された。また、二値図形の高速度処理の必要性が高まる中で連想プロセッサの有効性が確かめられた。プログラム作成の段階では内部レジスタの必要性が高いことが分かった。内部レジスタの増設によって、より複雑な処理に対する連想プロセッサの応用がより簡単になる。

<参考文献>

- [1]. 後藤、他：“多重モジュール構成連想プロセッサDREAM-11のハードウェア”、信学技報EC79-64
- [2]. 日経エレクトロニクス、1977、7-11、pp.34-37
- [3]. 後藤、他：“連想プロセッサDREAM-11の性能評価”、第23回情報大全



[写真1] 傷マスクと傷検出結果 (画面サイズ 256× 192)