表面欠陥検査と計算機による パターン認識技術*

舟久保 登**

Surface Defect Inspection and Pattern Recognition Technology by Computer /
Noboru FUNAKUBO

Key words: surface defect inspection, pattern recognition, image processing, expert system, segmentation

1. はじめに

欠陥検査を人間が行っている場合を考えると、対象を目により観察し頭で判断している状態が思い浮かぶ。そしてこの作業を機械化しようとするれば、それが計算機を使ったパターン認識技術の適用になるだろうことは十分予想される。実際計算機による欠陥検査を紹介した Chin らの調査論文¹⁾や興水の記事²⁾には、各々 300 件弱と約 200 編の文献引用がある。

しかしこれが表面欠陥検査ということになると、このような事例は必ずしも多くない³⁾。この分野では工学的手法として伝統的に光学技術が活用されてきた実績もあって、それと比較した場合現在の計算機によるパターン認識技術は、実用化するのに時期尚早というところであろう。けれどもその一方この技術について将来への期待は大きいようで、そこで以下ではこの際に考慮せねばならない問題点を指摘すると共に、それをある程度解決するのに有効と思われる、パターン認識に対するエキスパートシステムの枠組みという新しい趨勢を紹介する。

2. パターン認識技術の基本条件

人間が行っているような一般的なパターン認識ではなく、工学技術としてのそれを成している要件を、文字認識技術を例に整理してみる。文字認識の目的は入力された文字パターンの名前を決定することにあるが、そのためには名前を有する各カテゴリー（範疇）

に対して標準パターンを用意し、入力パターンが与えられるとこれらの中で最大の類似を示すものを見出し、そのカテゴリー名を認識結果として出力する。そこでこの過程が期待通りに動作し得る明確な標準パターンの存在が、第一に重要な要件となっている。

また文字認識の場合、認識したい入力パターンが一つずつ区切られた状態で認識処理部にもたらされる点も大切である。もしこの条件がないと機械は、その対象がどこにあるかを探す仕事もしなければならない。一般にこの処理を領域抽出（領域分割、セグメンテーション）と呼んでいるが、その要件もいろいろな意味でなかなか厄介な代物である。

更に文字は元来認識されるのを前提に存在しているので、白い紙の上に黒く書かれるなどコントラストの強いパターンに表現される。以上に加えて大量かつ高速に認識を行う場合を想定すると、紙媒体も非常に適切なものと言えるであろう。

3. 表面欠陥検査におけるパターン認識

3.1 標準パターンの問題

極端な話、欠陥検査のカテゴリーは「合格」「不合格」の二つと言える。しかしこうすると、それらに対応する標準パターンが多様なものから構成され、それを認識する識別関数は大層複雑化する。そこで現実には欠陥の種類ごとにカテゴリーを設け、各標準パターンを用意することになる。

ところで前記文献においても、計算機によるパターン認識を使った欠陥検査にはプリント配線基板などを対象とした分野が多く、その一つの理由は標準パター

* 原稿受付 昭和 62 年 6 月 29 日

** 東京都立科学技術大学（日野市旭が丘 6-6）

ヘゲ (Scab)

耳しわ (Edge Strain)

図1 鉄鋼の表面欠陥検査におけるパターン例⁴⁾

ンが明確な形としての規則的な配列により表現できることにあとと指摘している。そしてこの点に関し、表面欠陥検査では次の問題がある。それは図1に示すように、欠陥カテゴリーの名称が専門分野独得のかつ印象包括的なものであり、対象としている具体的なパターンとの関係が明確でないことである。これは別の観点からすると、標準パターンがその中に認識者の持つ知識を含んで決まっているのを意味するが、こうした状況は機械による取扱いを非常に困難とする。更にこの場合見えるパターン自体も形状では表されず、不定形なテクスチャ（模様）状の様相を呈しており、難しさは一層増大している。

3.2 領域抽出の問題

欠陥検査において欠陥部分はめったに現れない。また有ったとしても大きな画面のほんの小面積を占めるに過ぎず、端から順に一樣に調べるやり方では、能率が良い方法とは思えない。これに対し人間は全視野中のちょっとした違いにも敏感に気が付き、そこに関心を集中する能力を持っている。しかしこの素晴らしい機能の仕組みは分かっていない。結局最初は粗く観測し、疑いのある領域を次第に詳細に見るという階層的な方法を採用することが多いが、これでは元々微妙な表面欠陥は見逃されてしまう。この点で並列処理を行える光情報処理技術の適用が優れていると考えられ、光と電子技術を結合した新しい方式を検討する余地がある。

3.3 パターン観測の問題

欠陥パターンの中でも表面のそれは、観測しとらえるのが困難な対象である。物を観察するのに普通は反射光を利用する機会が多く、これは対象の反射率の差に基づいている。ところが表面欠陥は単一の材質の一部に生ずる微小な凹凸状の変化であるため、物質固有の反射率の違いに観測を依拠することは望めず、また簡単な正面からの照明ではパターンが鮮明に現れるのも珍しい。人間はこれに対処するのに、対象物を手で持ち上げいろいろな方向から光を当てて観測したり、無意識に視線を動かしていろんな角度から眺めることにより、必要なデータを得ているに違いない。そこで機械の照明・観測系にもこのような能動的操作の工夫があるべきだと、著者には思われる。

4. 表面欠陥検査システムの一つの枠組み

パターン認識技術を使用した完全な表面欠陥検査システムを実現するには、いくつかの問題のあることが分かった。しかしそれは急に解決する課題だけでもなく、またそうであるからといって計算機の導入が完全に無意味なわけではない。必要な場合には人間の介入を積極的に仰ぐことで、機械の持つ高速性や再現性の利点を生かすべきであろう。

4.1 表面欠陥検査エキスパートシステム

処理対象や内容のあいまいさ、多様性を扱う新しいシステムに、最近における知識工学の成果に基づくエキスパートシステムがある。いま表面欠陥検査の機能をこのようなシステムへ組み入れた場合の概念図を図2に挙げる。左上にあるセンサを使った通常の検出情報を入力する以外に、専門家（エキスパート）の知識による表面欠陥検査のための諸規則が右から入り、これら二つの情報に従って認識・検査は達成される。それには右下に示すように、関連する専門家の知識・ノ

図2 表面欠陥検査エキスパートシステムの概念

図3 システムの構成⁵⁾

ウハウを計算機に適した様式で集める機構を備えねばならない。またこの種の判断を伴う複雑なシステムには、使用者の要求があれば結果を導いた過程を説明する機能も必須とされている。

実際にこのシステムを実現しようとする、他分野のエキスパートシステムとは異なる問題を解決せねばならない。それは後者のシステムが言語化（記号化）された知識だけを扱っていれば十分であったのに対し、表面欠陥検査の場合はパターンの取扱いを避けられないという事情に原因する。明示的な専門知識は言語型記述を持ち、しかも探索・推論などの人工知能技法がこの表現を前提に作られている現状を考慮すれば、両者（言語とパターン）の操作の接点は、(1) 言語処理側からサブルーチンと呼び出すこととし、パターン処理はそのサブルーチン内で実行する、(2) パターン処理側ではその過程をある程度の認識段階まで進め、その結果得られた数値や記号を言語処理に送る、という辺りが順当な所であろう。そして現実はこの種のシステムが開発され始めている。

4.2 パターンを扱うエキスパートシステム例

最後に領域抽出に対するエキスパートシステム⁵⁾を紹介する。領域抽出は前述したように厄介な過程であり、したがって画像処理・認識の専門家が有する知識を利用するシステムが研究された。

図3に示すように、システムは8つの部分から構成されている。入力パターンは左側の書換え可能な短期記憶中に入る。また大きさと向きを持つ入力の微分パターン、整理した情報から成る領域マップ（領域の色彩データの平均と分散、位置、面積、周囲長、境界線リスト、他との位置関係）や線マップ（線の色彩、断面の微分値、位置、平均傾き量、長さなど、また他の線や領域に対する位置関係）が処理の進行と共に作成され、ここに蓄えられる。そして最終的な領域抽出結

果もこの記憶中に出来上がり、最後に取り出す。

一方、専門家の知識は読み出し専用の長期記憶に保存されている。知識の形式は条件-実行型のプロダクションルールであり、条件部が満足される（真）と、実行部が起動する。規則は、

ルール（1504）

もし (1) 線の終端が切れている

(2) 線の微分値が非常に小さくはない

(3) 前方の線との間が非常に大きくはない

(4) 二つの線は左に同じ領域を持っている

(5) 二つの線は右に同じ領域を持っている

ならば、(1) 前方に延長し、二線を連結する

のようである。これはある線に注目し、それが境界線であるかに関する知識の1つを成す。このようなルールが線について数十あり、ほかに領域や面（面とは大きく滑らかな領域、複数の領域と線から成るテクスチャ面などを指し、領域抽出の結果あるラベルが付けられる対象）に対しても用意されている。

それらの規則を使うようシステムは下のように働く。全体の動作はスケジューラが制御しており、また注視点器は一般に次の処理部分を選ぶ。そこでどのような種類の処理を画面のどの部分に適用するかが決まり、あるルールが選択される。多くのルールにおいては、その条件が満たされているか否かを、短期記憶中のパターンやマップを参照し検査する。そしてその結果が真であれば実行部に記されている解析器の動作が起動し、所定の処理を行った後、処理データは領域および線マップなどを更新して再び短期記憶中に記憶される。

これらの過程の繰返しの後最後に得られるものは、各面が唯一のカテゴリー名を持つ形で完全に画面全体を表現するパターンである。そしてこれが最終的な領域抽出結果となる。

参 考 文 献

- 1) R. T. Chin and C. A. Harlow: Automated Visual Inspection: A Survey, IEEE, **PAMI-4**, 6, (1982) 557.
- 2) 奥水大和: 産業応用からみた画像処理アルゴリズムの動向, **O plus E**, 70 (1985) 107.
- 3) ナノテクノロジー時代の表面欠陥検査, 精密工学会・ナノテクノロジー時代の表面欠陥検査に関する調査研究分科会報告書 (1987).
- 4) 上記分科会における益子委員の提出資料による.
- 5) A. M. Nazif and M. D. Levine: Low Level Image Segmentation: An Expert System, IEEE, **PAMI-6**, 5, (1984) 555.