

フラットパネルディスプレイの画質検査アルゴリズム

Image Quality Inspection Algorithm for Flat Panel Displays and Image Sensors

大谷 哲也^{*1}
OOTANI Tetsuya

阿久津 実^{*1}
AKUTSU Minoru

岸 卓人^{*1}
KISHI Takato

小山 弘^{*2}
KOYAMA Hiroshi

藤木 憲英^{*3}
FUJIKI Norihide

山川 裕^{*3}
YAMAKAWA Yutaka

フラットパネルディスプレイ(液晶など)およびイメージセンサ(CCDなど)は、用途が多様化して生産量も急激に増大している。そのため、欠陥検査の中で、人の目視に頼らざるを得なかったシミやムラなどの画質検査の自動化が望まれている。従来の自動化は、点欠陥や線欠陥など簡単な演算処理で検出できるものに限られていた。今回は、より面積が大きいシミやムラなどの欠陥を、大きさと形状により分類して、それぞれに対応した検査アルゴリズムを開発した。各画質検査アルゴリズムは、共通の処理フローをもち、ノイズを除去して欠陥を強調する前処理部、2値化とラベリングによる不良候補抽出部、特徴量を計算して識別を行う判定部から構成されている。標準検査項目とお客様毎の要求に応じたカスタマイズ処理により、いくつかの導入実績があり、欠陥レベルの定量化による品質保証、測定ばらつき削減、検査コスト削減などの効果が得られている。

The production of flat panel displays and image sensors has been increasing rapidly by the recent diversification of their uses. For that reason, in the defect inspection of those image devices, the automation of image inspection has been expected, including the inspection of large scale defect called 'Simi (stain)' and 'Mura (uneven)', which has been achieved only by a person's visual inspection. So far the defect inspection has been limited to the point defect and line defect, which is detected by a simple calculation of image data. However, this time the defects such as 'Simi' and 'Mura' are categorized by size and shape, and the several standard inspection algorithms for each defect category have been developed.

These inspection algorithms are composed of common processing such as the pre-processing part which reduces the noise and then emphasizes the defect, the extraction part of defect candidates which is detected by labeling operation with image thresholding, and the judging part which measures the features of the defect candidates and then judge them true or false.

Using several standard inspection algorithms and customization approaches for customer's requirements, some inspection systems have been working and proved to be quite successful in such as the quality assurance by quantifying the defect level, the reduction of dispersion in measurement, and the reduction of inspection cost.

1. はじめに

近年、カメラ付き携帯電話や、プラズマディスプレイ、液晶テレビなどが急速に普及し始めたことに象徴されるように、フラットパネルディスプレイやイメージセンサ

は、用途が非常に多様化し、生産量も急激に増大している。フラットパネルディスプレイ、イメージセンサ共に複雑な半導体製造工程を経て生産されるため、不良の発生を無くすことは不可能であり、電気的な特性や画素欠陥などの検査が不可欠になっている。中でも、画像デバイス特有のシミやムラなどの画質検査は、人の目視による官能検査に頼らざるを得ない工程であったため、特に生産量の増大に伴い、自動化が望まれている。官能検査の自動化が実現すれば、欠陥レベルの定量化を可能とし、

*1 技術開発本部 ソリューション研究所 計測制御研究室

*2 技術開発本部 先端技術研究所 センシング研究室

*3 ATE事業本部 第2事業部 AOIセンター

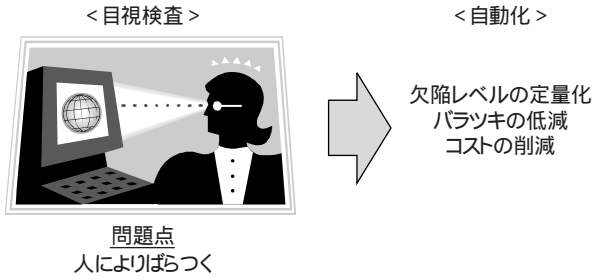


図1 官能検査の自動化

人によるばらつきを無くして品質の安定化に寄与できる。さらに、低コストで画質検査を行うことができるので、中間工程における画質検査を充実させて不良を早期に発見し、余分な製造コストの削減など多くのメリットがある(図1)。当社では、以前から画質検査装置を製造販売しているが、従来は点欠陥や線欠陥など簡単な演算処理で行える検査に限られていた。近年、これを人による目視に頼らざるを得なかったシミやムラなどの官能検査の領域まで広げている。本報告では、最新の画質検査装置で用いているフラットパネルディスプレイ、およびイメージセンサの画質検査アルゴリズムを紹介する。

2. 画質検査における欠陥の分類

フラットパネルディスプレイやイメージセンサにおいて発生する画質欠陥の原因には、各種の膜やフィルタなどの厚さのムラ、塗布工程などで生じるキズ、組み立て時に混入するゴミなど様々なものがある。このような各種の原因にかかわらず、画質欠陥はその形状により、図2のように分類できる。一つは塊状のものであり、小さい点状のものから数画素～数十画素のシミ、さらに大きいムラなどがある。次に、縦線、横線、斜め線などの直線状のものと、それらが数画素～数十画素の幅をもった帯状のものがある。その他に、任意の曲線状のものと、ある領域全体に発生するザラ状のものがある。特殊な形状のものを除くと、おおよそこのように分類できる。

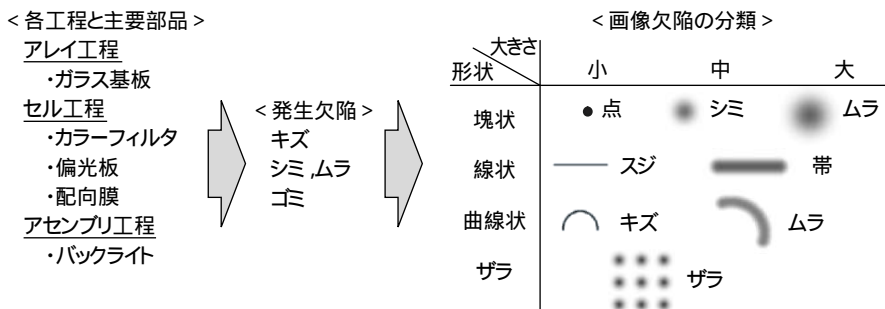


図2 フラットパネルディスプレイの欠陥の原因と分類

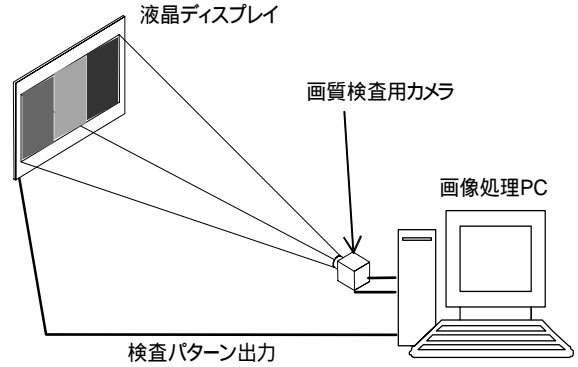


図3 画質検査システムの例(液晶ディスプレイ)

3. 画質検査システムの例

図3に、液晶ディスプレイの画質検査の実施例を示す。システムは、測定対象の液晶ディスプレイとその設置部、駆動回路、それに液晶画面を撮像するためのCCDカメラで構成される。カメラから送られてくる原画像をPCで処理することにより、画質検査を行う。一般には、液晶ディスプレイ1画素に対してCCDカメラ4画素となる光学系を用いて撮像を行っている。XGA(1024×768ドット)のディスプレイ装置の場合、400万画素のカメラを用いて撮像を行っている。

今回、画質検査を自動実行するソフトウェアプラットフォームを開発した。このプラットフォーム上に、画質検査アルゴリズムを検査項目毎に作成して登録する。図4は、オフライン実行用の画面例である。デバイスID、実行シーケンスなどを指定すると、複数デバイスに対して画質検査を連続実行することができ、実行状況のモニタ、検査結果の表示、ファイル出力などを行える。また、画像を取り込むユニットおよび検査結果を管理する上位コンピュータとの接続部分をカスタマイズすることにより、それぞれと同期をとりながらオンライン検査を行うシステムの構築が可能である。

図5に、画質検査データの一例を示す。Aはシミ状の欠陥の原画像、Bはフィルタによる強調画像、Cは2値画像、Dは検出結果画像を示している。演算時間は、現状の最速PCとしてPentium4 3.06 GHzのCPUを用いた場合で、CCD撮像画像100万画素当たり、シミ検査で400ミリ秒～1秒である。なお、通常の画像処理演算は16ビットあるいは32ビット整数演算を行っている。また、高いスループット



図4 画質検査の実行画面例

トを要求される場合には、前処理は最低限の縮小処理および強調処理で済ませて、不良候補に対する特徴量計算で工夫したり、不良候補数を最小限に抑えたり、また、演算負荷が高いメディアンフィルタの代わりに、演算負荷が低い点補間処理を行うなどの手法を取ることできる。

4. 画質検査アルゴリズム

画質検査は、図2に示した形状および大きさの欠陥毎の検査項目で構成するが、各検査項目とも共通に、図6のようなフローになっている。

(1) 前処理部

前処理部では、最終的に周辺との輝度差あるいは輝度勾配を求めるために、原画像に対して複数のフィルタ処理を行う。最初に、面積が大きな欠陥を検出する場合には、欠陥の大きさとフィルタサイズを合わせるために、縮小処理を行う。これにより、演算

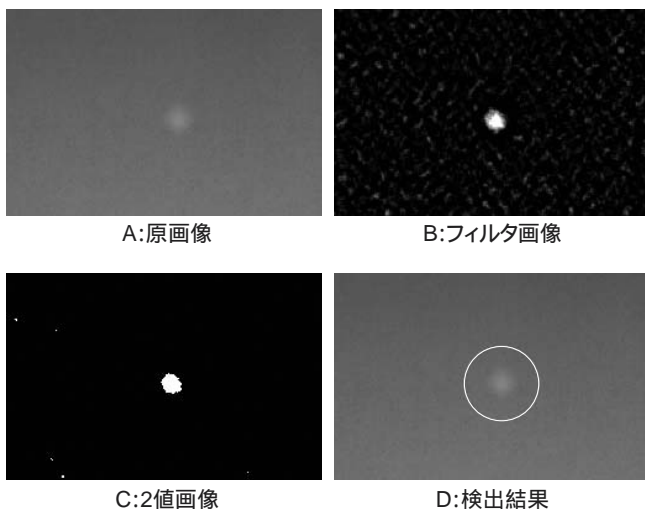


図5 画質検査の実施例(シミ)

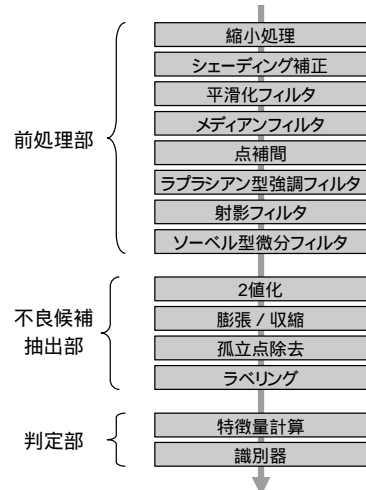


図6 検査の流れ

時間を節約できる。次に、光学特性により、画像の中心部と周辺部の輝度が変わるシェーディングの影響を補正する。続いて、高周波ノイズを削減することを目的として、平滑化フィルタやメディアンフィルタをかける。但し、メディアンフィルタでは重要な信号も消してしまうことがあるので、その場合には、面積の小さな欠陥などの欠陥部分を、周辺平均輝度で埋める補間処理を行うことがある。以上のようにしてノイズ成分を除去した後に、シミに対してはラプラシアン型の強調フィルタをかけて、より鮮明にし、さらに線欠陥に対しては、射影フィルタにより強調する。また、ソーベル型の微分フィルタを使用して輝度勾配を求めて、輝度勾配が強い部分を欠陥とする検出方法もある(図7)。

(2) 不良候補抽出部

不良候補抽出部では、前処理部から出力されるフィルタ画像を用いて、不良候補をリストアップする。

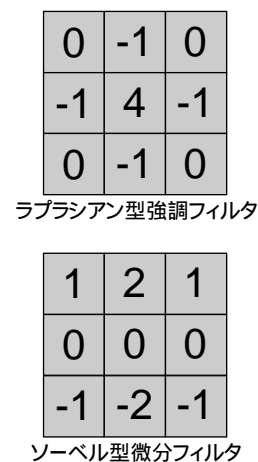


図7 フィルタ

強調処理あるいは微分処理を行った画像は、絶対値が大きい部分が不良を示すので、閾値処理により正常部と異常部に2値化する。但し、前処理を行っても高周波ノイズが完全に消えるわけではないので、小さな異常部が無数に発生したり、あるいは一つの欠陥が複数の異常部に分かれたりしてしまうことがある。このように小さい領域を除いたり、分断された領域を結合したりするために、膨張/収縮処理や孤立点除去処理などを行う。最後に連結した領域を一つの不良候補として、番号を振っていくラベリング処理を行う。

(3) 判定部

判定部では、まず、各不良候補に対して特徴量を求める。代表的な特徴量としては、面積、体積、コントラスト、フィルタ最大値、輝度勾配、長軸長さ、短軸長さ、離心率などがあるが、特徴量は検査項目により使い分ける。最後に、複数の特徴量に上限あるいは下限閾値を設定して、それらを同時に(AND)満たすもの、あるいはいずれか(OR)を満たすものを不良と判定する。

(4) 標準検査項目

現在、点検査、シミ検査、縦線検査、横線検査、曲線検査、ザラ検査は、標準の画質検査項目としての検査アルゴリズムを用意している。点検査では、原画像に対してラプラシアン型のフィルタを用いて強調して、2値化後に、各候補に対して輝度レベルを計算し、最後に、輝度レベルと許容個数に対する規格による判定を行う。シミ検査では、点検査と同じラプラシアン型のフィルタを用いるが、その前に、シミの大きさに合わせた縮小処理を行う。また、画像の周辺部分では、ラプラシアン型のフィルタをかけることができないので、特殊なフィルタ処理を行っている。縦線や横線については、メディアンフィルタにより点欠陥などを除去した後に、射影処理により強調して検出している。なお、S/N特性により射影幅は広い方が薄い線まで検出できるが、線が短い場合には逆に射影した値が小さくなってしまふ。両者のトレードオフから、最適な射影幅を決めている。曲線検査では、複数の角度のスジを強調した後に論理和演算を行う処理を行っている。最後に、ザラ検査は、画面を複数の領域に分けて領域毎にある周波数成分の大きさを測定することにより、ザラ状の強度を定量化して判定を行っている。

標準検査では、縮小率やフィルタサイズ、メディアンフィルタの実行フラグなど主に前処理で使われるパラメータがあり、それにより検査条件を変更することができる。また、特徴量の上下限閾値パラメータを変更することによって、良/不良判定レベルを調整することができる。

(5) カスタマイズ検査

カスタマイズ検査には2種類ある。一つ目は、標準検査項目を、ユーザのニーズに合わせて修正する場合である。特に測定対象そのものの特性あるいは測定系の影響により、シェーディング特性やノイズ成分にある決まったパターンが見られる場合に、それを補正する前処理部分を追加することにより、効果的に不良を検出することができる。また、不良の検出領域を画面のある部分に指定したり、標準検査項目の点検査にあるように、不良のレベルや個数に対する規格が存在する場合に、判定処理を追加したりすることができる。

二つ目は、ある決まった演算処理結果で判定する場合である。例えば、画面左半分と右半分の平均輝度の差、全画面の輝度値に対する最大輝度と最小輝度の差、ばらつきなど、単純な計算により特徴量を求めて、その値が閾値以上あるいは以下の場合に不良とする。

5. おわりに

官能検査の領域まで自動化することを狙った最新の画質検査アルゴリズムを、液晶ディスプレイの例で紹介したが、CCDあるいはC-MOSイメージセンサの品質検査にも適用できる。CCDあるいはC-MOSイメージセンサの場合は、均一光源を検査対象のイメージセンサで撮像し、AD変換後にPCに取り込み、画質検査の演算を行う。

本アルゴリズムは既にいくつかの導入実績があり、自動化によるコスト削減、品質の安定化など多くの効果が得られている。今後は、液晶ディスプレイやCCDあるいはC-MOSイメージセンサだけでなく、有機EL、PDPなど、あらゆる種類の画像デバイスの画質検査装置へと展開していく。

参考文献

- (1) 画像処理標準テキストブック編集委員会, “画像処理標準テキストブック イメージプロセッシング”, 画像情報教育振興協会, 1997, 361p.