

論文

食品異物検査装置のユーザビリティ向上のためのアルゴリズム開発

大平 倫宏*¹⁾ 山口 隆志*¹⁾ 大原 衛*¹⁾清水 英明*²⁾ 上村 久仁男*²⁾ 斉木 秀夫*²⁾

Usability improvement of X-ray food inspection equipment

Norihiro Ohira*¹⁾, Takashi Yamaguchi*¹⁾, Mamoru Ohara*¹⁾,
Hideaki Shimizu*²⁾, Kunio Kamimura*²⁾, Hideo Saiki*²⁾

To properly set up X-ray inspection equipment of foreign bodies in foods properly has become more and more complicated and time-consuming, because digital image processing used in it has more parameters for more precise inspecting. In this paper, it is reported some methods to lighten the work load of workers who set up the parameters. Using Statistical methods, we construct an auto setting lookup table for adjusting contrast and parameters of inspection algorithm. With the former we confirmed an expansion of a range of grey levels that include domain of foreign bodies in sample data. Furthermore, with we constructed in our former research, we can set automatically limit of parameters that judge input product's image to be not including foreign bodies. It is suitable for food inspection system, since users prefer severely inspecting of foreign products.

キーワード：異物検査，画像処理，ルックアップテーブル，パラメータ，自動設定

Keywords：inspecting foreign bodies, image processing, look-up table, parameters, auto setting

1. まえがき

食品工場で生産される食品パック中にガラス，樹脂，金属など異物が混入し重大事故になる場合があり，画像処理を用いた食品異物検査装置が導入されている。しかし，従来では，検査開始前に食品の種類ごとに複雑な設定を行うことが必要で，生産性を損ねていた。本研究では，前年度までに行った異物判定の画像処理アルゴリズムの研究に引き続き，異物検査装置に事前に1度だけ製品のデータを取らせ自動的に検査の設定を行う機能についての研究を行った。

2. 構成方法

2.1 食品異物検査装置 本研究では，図1のような食品中の異物検査機について研究を行った。検査機では，ベルトコンベアを用いて検査対象食品を流し，X線を照射してその像をラインセンサカメラで撮像する。取得した濃淡画像を画像処理ユニットへ送信して異物の有無の判断を行い，異物が存在した場合には選別アームでベルトコンベア上から除去する。画像処理部ユニットでは，濃淡画像を対象として，ルックアップテーブル（以下，LUTとする）を参照して濃度値の変換を行い，異物判定処理を行う。

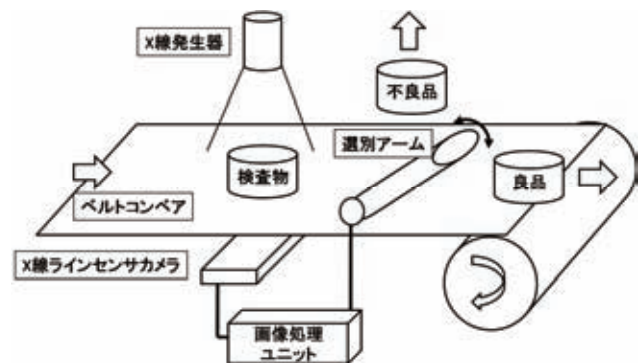


図1. 異物検査機の外観

2.2 画像処理アルゴリズム 画像処理の流れとしては，以下のようなになる。最初に取得した良品の画像をもとに，自動でLUTの設定値を決める（L1-L6）とともに，異物判定アルゴリズム用のパラメータの設定値を自動で設定をする（A1-A5）。一旦，設定値が決定された後は，検査対象製品に対して，LUTを用いた後に異物判定アルゴリズム（I1-I6）を適用することで実際の異物検査を行う。それぞれのアルゴリズムの詳細は以下のようなになる。

(1) 自動LUT設定機能 濃淡画像における異物検出の画像処理では，異物が含まれる可能性のある濃度値の範囲が拡大されるほど，その後の異物判定精度が向上すると考え

*¹⁾ 情報技術グループ
*²⁾ ニッカ電測株式会社

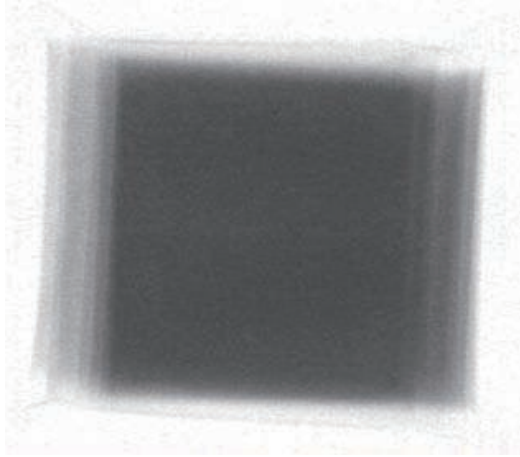


図 2. 良品画像

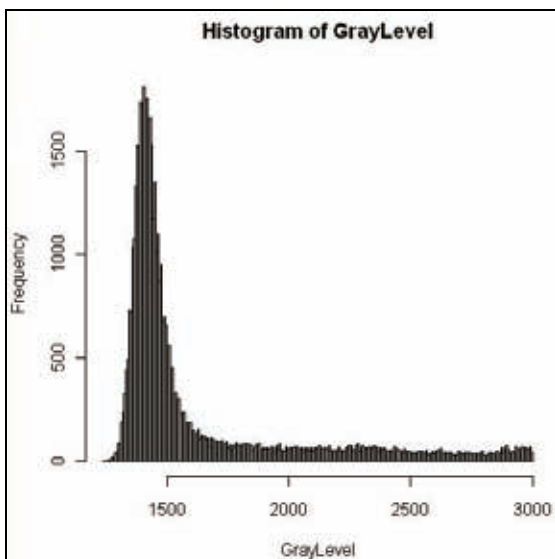


図 3. 図 2 の良品画像のヒストグラム

られる。従来の検査機では被検査製品ごとに手動で 2 点を指定する折れ線型 LUT によるコントラスト設定を行っていた。しかし、手動で行う方法では手間がかかることなどが問題視されていた。そこで、統計データを用いて自動で LUT 設定計算を行う機能についての研究を行った。方法としては良品の統計データから、確率・統計的な手法を用いて折れ線型 LUT の設定を行った。

例としてチーズ製品の良品の 12bit 濃淡画像を図 2 に示す。図 3 は、図 2 の画素値の濃度ヒストグラムであり、横軸が濃度値、縦軸が出現頻度である。ヒストグラムでは、濃度値 1428 付近に大きな山があり、この周辺の濃度が製品画像濃度と考えられる。濃度値 1500 以上の領域は、製品は存在しないがラインセンサの設定により最大値 4095 ではない濃度値が振られた部分であると考えられる。

ここでは、12bit の濃度値から 10bit の濃度値へ、2 点を指定して (0, 0) から (x_1, y_1) , (x_2, y_2) , (1023, 4095) までを結ぶ折れ線型の直線に変換する LUT (図 4) を取り上げる。このような折れ線型の LUT に対し、LUT の自動設定のアルゴリズム

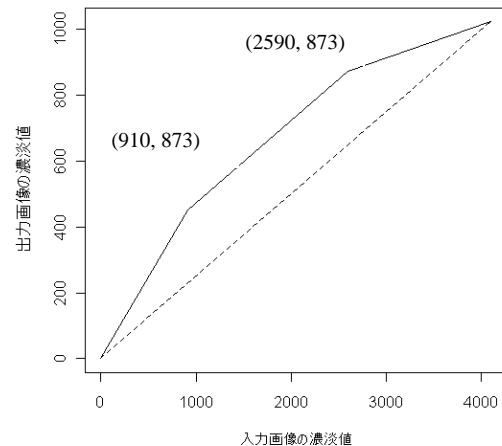


図 4. 2 点指定折れ線型 LUT

点線：変換をかけず、2 ビット分縮小した際の濃度値

実線： $x_1=910$, $y_1=453$, $x_2=2590$, $y_2=873$ とした濃度値

を作成した。このアルゴリズムは、

1. 製品部分の濃度値の平均値と標準偏差を求める。
2. モードを中心に、製品の濃度値の 95.4% を占める 2 シグマの範囲を 2 ビット分縮小する。
3. 2 より高い濃度値の部分を 2 ビット分以上縮小する。

という操作により、異物が含まれる可能性の高い 2 シグマより低い濃度値の範囲を拡大するものである。

LUT 自動設定アルゴリズム：

- (L1) 製品部分以外の濃度値を除くために、最大濃度値付近の画素及び濃度値が一定値以上となる点を除外する。
- (L2) ヒストグラムの山の頂点の濃度値 (モード) を探索する。
- (L3) モードを中心とする上下 2 つの濃度値で、全面積の 70% を超えて、最もモードからの差の少ない濃度値を探索する。
- (L4) (L3) の範囲に含まれる画素の集合に対して、濃度値の平均値 M を求める。
- (L5) (L4) で求めた平均値から、(L3) の画素の集合中で濃度値がモード以下の値となる部分集合に対する標準偏差 S を求める。
- (L6) 2 点の折れ線 LUT に用いる点をそれぞれ、 $x_1 = M - 2S$, $x_2 = M + 2S$, $y_2 = 1023 - (4095 - x_2)/10$, $y_1 = y_2 - (x_2 - x_1)/4$ とする。

(2) 異物判定アルゴリズムのパラメータの自動設定
異物の判定精度は、判定アルゴリズムのパラメータの設定に大きく左右される。前年度までに作成したアルゴリズム⁽¹⁾では、パラメータが 10 種類ほどと多く、一見しただけでは

分かり難いパラメータも存在した。そのため、パラメータの設定に非常に手間がかかる場合が存在する。異物が存在する場合には、濃度ヒストグラムが異物と製品の2つの山を持つことになる。この双峰性に注目して、2つの山の間の谷の部分を閾値として設定するアルゴリズムとなっている。

異物判定アルゴリズム：

- (I1) 製品部分の画像を取り出す。
- (I2) 縦横 25 分割～縦横 81 分割の分割方法より、複数の分割方法を選択して、選択した方法により画像を分割する。
- (I3) エッジ領域(端に位置する領域)に濃度値に対しては、一定値以下となる点を操作の対象とする。それ以外の領域は、各分割方法に対して長方形領域に分割し、各領域に対してヒストグラムの双峰性から閾値を決定する。
- (I4) 定められた閾値が真に製品と異物を分割する値となっているかの真偽を判断するため後処理を行う。後処理として、(I4a) 分割領域の周上の点の濃度値が一定の割合以上で閾値より低かった場合は偽とする処理、(I4b) 閾値が一定値以上である場合に偽とする処理を行う。
- (I5) (I4) の後処理で真と判断された点が製品と異物を分割する点である場合、閾値以下の濃度値を持つ点を異物候補点とする。
- (I6) 各分割方法に対する異物候補点を集計し、集計した値が一定数以上となった点の平均値を求めて、その値が一定の閾値以下である場合について異物とする。

このアルゴリズムに対して、以下のような良品画像からパラメータ自動設定を行うアルゴリズムを作成した。

異物判定アルゴリズム用パラメータ自動設定アルゴリズム：

- (A1) あらかじめ固定するパラメータとして、分割方法としては縦横 25 分割，36 分割，49 分割，64 分割，81 分割の 5 つの分割方法全てを使用する。また、後処理 (I4a) のパラメータはエッジ部分については 25%，それ以外の部分については 50%とする。孤立点除去フィルタについては周辺に 3 点以上の点があった場合にその点を残すようなフィルタとする。
- (A2) (1) の LUT 自動設定アルゴリズムと同様に平均 M 、標準偏差 S を計算する。
- (A3) エッジに対する閾値を $M - S$ とする。
- (A4) 後処理 (I4b) で参照する閾値を $M - 2S$ とする。
- (A5) (I6) の閾値について、異物が出ないような最大の値を探索してその値を設定する。

このアルゴリズムでは、(A5) の処理により、良品画像に対して、異物を誤検出しないようになっている。いくつかのパラメータを固定した後、順次に統計量を用いてパラメータを設定して行き、(A5) の処理により、良品画像に対して、異物を誤検出しない最大の閾値を設定するようになっている。

3. 適用結果

3.1 画像処理結果 以下の適用結果で入力画像として用いている画像(図 2, 図 5, 図 7)は、作成した異物検査装置の試作機から実際に取得した X 線による濃淡画像である。

(1) 自動 LUT 設定機能 図 2 の良品画像を用いて 2.2 (1) のアルゴリズムで自動設定した LUT を、図 5 (前年度までに取得したデータである⁽¹⁾) の異物を含んだ製品画像に適用した結果の画像が図 6 である。製品部分の濃度が薄くなり、それに比較して異物部分が強調されているのがわかる。また、表 1 は単純に 12bit から 10bit へと画像を変換した場合と LUT を使用した場合との異物が含まれる濃度範囲の数値の比較である。LUT を使用した場合の方が、異物が含まれる濃度範囲が拡大していることがわかる。

(2) 異物判定アルゴリズムのパラメータの自動設定 図 2 の良品画像を用いて、2.2 (2) の方法で異物判定パラメータの自動設定を行い、図 7 の画像に対して異物判定アルゴリズムで異物判定処理を行った結果が図 8 である。また、図 9 は、図 7 に対して異物判定アルゴリズムを適用する際に、他のパラメータは自動設定の値で固定し、(I6)の最終的な異物判定閾値の値だけを変化させた場合の異物判定数の変化である。横軸がパラメータの値、縦軸が異物と判定された点の数となっている。自動設定ではパラメータとして 1138 が選択される。その結果 269 個の異物点を検出している。

表 1. LUT による濃度値範囲の拡大例

	LUT 未使用時(図 5)	LUT 使用時(図 6)
異物濃度値の範囲	0~69	0~164

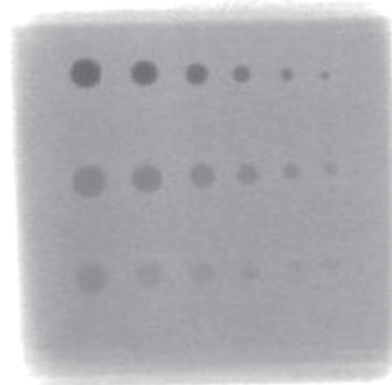


図 5. 異物を含んだ製品画像

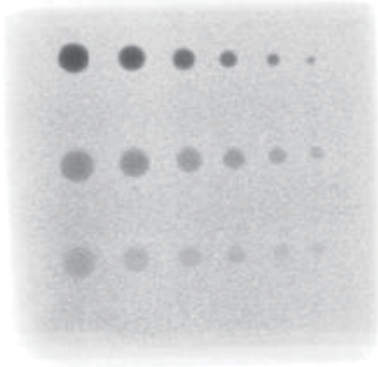


図 6. 図 5 の LUT 通過後の画像

対象としたデータでは，異物点数は約 280 個であり，例えばパラメータの値を 1170 に設定すると異物点数は 306 であり，誤検出が発生する。



図 7. 異物を含んだ製品画像

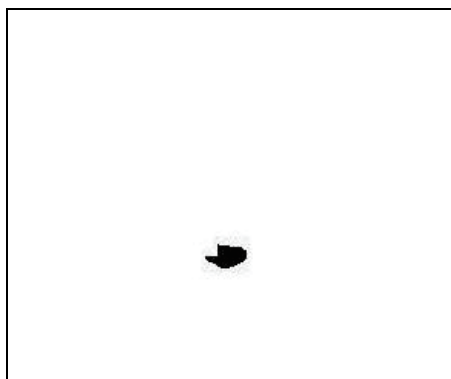


図 8. 異物判定処理後の二値化画像

4. 考察

LUT の使用による画像処理についてはよく知られてお

り，良好な画像処理結果が得られる例は多い。今回開発した自動 LUT 設定においても，表 1 のように手動と同様，異物が含まれる濃度の範囲は拡大した。自動 LUT 設定の有効性が確認できた。

異物判定アルゴリズムのパラメータの自動設定では，良品画像に対して異物が誤検出されないようになっている。図 7 から図 9 に示すように，異物を誤検出しない最大の値が設定されるため，異物の検出もれが少なくなることが想定される。実際の異物検査においては，安全性を高くするため，異物の誤検出が多少あったとしても検出もれがない状態が望まれることが多い。この点で今回開発した自動設定機能は優れていると言える。

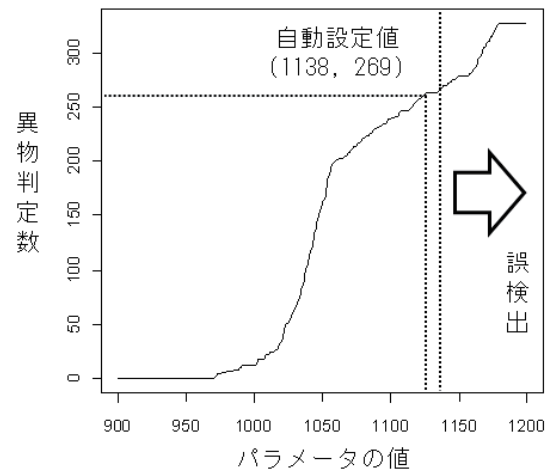


図 9. 図 7 における異物判定数の変化

5. まとめ

前年度に異物判定アルゴリズムについて研究開発を行った X 線異物検査機において，実用化へ向けたユーザビリティ向上のための研究開発を行った。実際に使用する際に検査員の手間を省く機能として，自動 LUT 設定機能と異物判定アルゴリズムのパラメータの自動設定機能を開発し，良好な実験結果を得た。検査員の手間は従来よりも大幅に軽減されることが期待できる。本開発によるアルゴリズムを実装した付加価値の高い異物検査機を開発する予定である。

(平成 22 年 6 月 30 日受付，平成 22 年 8 月 20 日再受付)

文 献

- (1) 大平倫宏，周 洪鈞，坂巻 佳壽美，上村 久仁男，清水 英明，齊木 秀夫：「X 線を用いた食品中の異物混入検査」，東京都立産業技術研究センター研究報告，No. 3, pp. 18-21 (2008)