

論文

X線を用いた食品中の異物混入検査

大平 倫宏^{*1)} 周 洪鈞^{*1)} 坂巻 佳壽美^{*1)}
 上村 久仁男^{*2)} 清水 英明^{*2)} 斉木 秀夫^{*2)}

X-ray Inspection of Foreign Bodies in Foods

Norihiro Ohira^{*1)}, Zhou Hongjun^{*1)}, Kazumi Sakamaki^{*1)}
 Kunio Kamimuura^{*2)}, Hideaki Shimizu^{*2)}, Hideo Saiki^{*2)}

X-ray inspection system of foreign bodies in foods has become necessary for our society in recent years, with the expectation that they could inspect not only metals but also other bodies like glass, rubber, nylon, etc. Calculation algorithms for X-ray inspection of foreign bodies in foods have been reported. In food inspection systems, it is important that inspection is high precision, with high speed that is as fast as conveyor belts.

Using Statistical methods, we construct a higher precision method than usual methods. We focused on Kittler's minimum error thresholding. In the usual Kittler's method, order n-squared calculations are required for distributed calculation, so it is not suitable for high speed food inspection. We find that using approximations of variances in Kittler's method is not too critical for practical use. Using it, we become able to inspect for foreign bodies that were not able to be inspected for so far.

キーワード：異物判定, 高精度, 統計的手法, しきい値選定

Keywords : Detecting foreign bodies, High precision, Statistical methods, Thresholding

1. はじめに

従来、X線センサによるベルトコンベア上の食品パック中の異物の検出において、金属の検出は比較的容易であったがガラス、ゴム、ナイロンなどの検出は困難な状況であった。ここで、「検出が困難であった」というのは、異物検出に計算時間をかければ検出可能な例も存在するが、実際に食品検査ラインで用いられるような毎分50m程度で移動するベルトコンベアの速度に遅れることなく検出可能な例が少ないことを指す。

本研究では、これらの従来では検出困難な微小かつX線透過率の小さな素材についても、検出を可能とするための研究を行った。特に異物判定処理を行うアルゴリズムを改良し、検出精度を向上させることを試みた。その結果、統計的な手法等を用い、さらに速度面での改良を進めることで、ガラス、ゴム、ナイロンなどの従来では検出し難かった異物の検出を行うことが可能なアルゴリズムを開発することができたので、以下に報告する。

2. 開発の背景

2.1 開発対象の概要 本研究で研究対象とするX線センサによるベルトコンベア上の食品パック中の異物検出装

置としては、図1のような装置を想定する。図では左から右に向かって、ベルトコンベアによって検査製品である食品が搬送されているとする。搬送途中で、上部のX線発生部より、X線を発生し、その透過X線画像をベルトコンベア下部のラインセンサカメラによって収集する。収集した画像はコンピュータに送り、検査対象に異物が混入されているか否かの判定計算を行い、異物があると判断された場合は選別アームに情報を送り、異物混入品の生産ラインからの除去を行う。

また、本研究においては、図2のように食品パックに業界標準の異物サンプルを取り付けたものを異物混入品として検査対象とする。良品としては異物サンプルを取り付けていないままの食品パックを検査対象とする。図2の異物サンプルは上から順番にナイロン、ゴム、ガラスであり、最小のサンプルは直径2mmの球となっている。図2の検査対象を図1のようなX線異物検査機に通して得られるX線透過画像は図3のようになる。

^{*1)}情報技術グループ
^{*2)}ニッカ電測株式会社

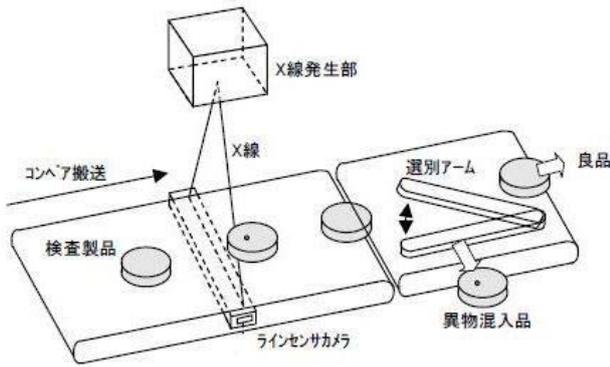


図1. X線による食品パック検査装置の概要



図2. 異物混入品の検査対象例(チーズ)

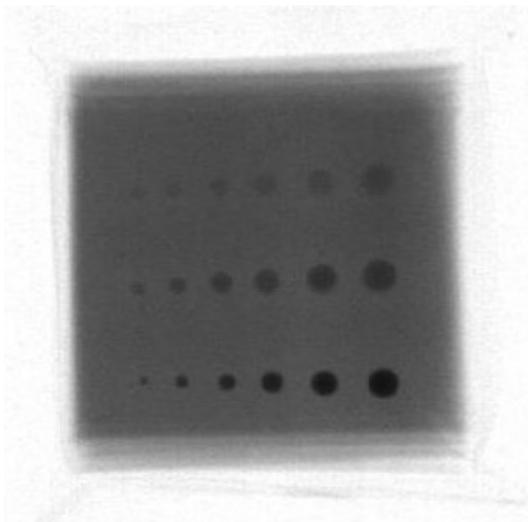


図3. 図2の検査対象例から得られるX線透過画像

2.2 従来法 従来、X線食品異物検査機業界では、検査方法として次のような方法等が用いられていた。

- (1) あらかじめ製品ごとにしきい値を定め、X線透過画像データにおけるしきい値以下の値を異物と判定する方法。
- (2) あらかじめ製品ごとにしきい値を定めておき、X線透過画像データに対して微分(差分)または二次微分(2次差分)を行いエッジの抽出をして、しきい値以上となった箇所を異物と判定する方法。

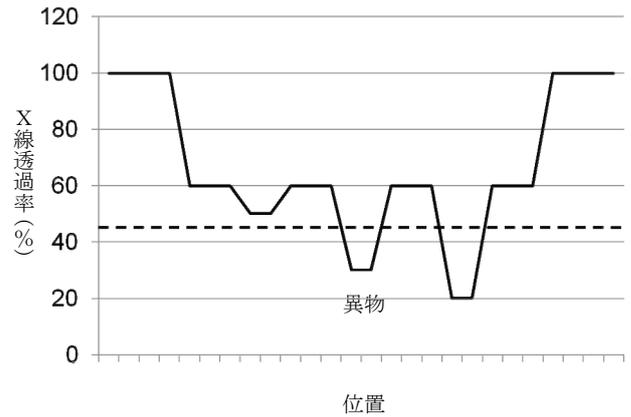


図4. 従来法の説明図(模式図)

これらの方法のうち、方法(1)を説明した図が図4である。また、実線はX線透過画での画素の位置とX線透過率の関係、破線はしきい値をそれぞれ表しており、しきい値より下の透過率を示す部分を異物と判定する。X線透過率が100の箇所は、X線がすべて通る、つまり検査対象が存在しないことを示しており、透過率60以下の3つの谷が種類の異なる3つの異物を表しているとする。このとき、破線のようなしきい値を設定した場合、右から2つの異物は異物として検出されるが、最も左に位置する異物は検出されない。もちろん、図4に対して、しきい値を製品の透過率である60に設定すれば完全に判定が可能である。しかし、この方法にはつぎのような問題点が存在する。

- (i) 検査対象ごとのばらつきとして、傾きや厚さの変化等が存在する。すなわち、模式図の図4では製品の透過率は60で一定であるが、検査対象が傾いていた場合には、左端の透過率は55で右端の透過率が65といったケースが存在する。しきい値を一律に60と決めてしまっていた場合、製品の左端部分が異物であると誤検出されてしまう。
- (ii) 上記(i)と関連して、製品の種類に応じて細かくしきい値を設定し直さなければならない。60などの極限の値に決めていた場合、微々たるノイズが載った場合でも誤って検出してしまう
- (iii) 異物の検出力が弱い。実際の問題として、図3に表わされるX線透過画像にこの判定法を適用した場合、左上に位置する直径2mmのナイロン球が異物として判

定できない。ここで「判定できない」というのは、判定できるようにしきい値を設定した場合、他の異物ではない部分が異物として誤検出されてしまうと言う意味である。特にこの問題は、人手を用いて人間が目を見ながら図3を見た場合には、直径2mmのナイロン球が判定できるため、実用上でも問題となる。

ここでは詳しくは述べないが、方法(2)に対しても、同様の問題点が存在する。実際に、方法(1)を図3に適用した例が図5である。左上の直径2mmのナイロン球が検出されるよりも先に、製品部分の右の領域が異物として誤検出されてしまう。これは製品の傾きもしくは厚さのばらつきによるものだと考えられる

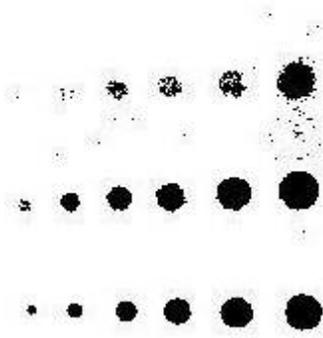


図5. 図3に対して従来法を適用した結果

3. 開発の内容

3.1 提案法 本研究では従来法の問題点を解決するために、X線透過画像を小領域に分割し、それぞれの領域に対して統計的手法を用いて自動的にしきい値を設定する方法を用いることにした。まずX線透過画像から、濃度ヒストグラムを作成する。図6は図3を縦横5×5分割を行って25個の領域に分けたもののうち、左上の直径2mmのナイロン球を含む領域に対する濃度ヒストグラムである。

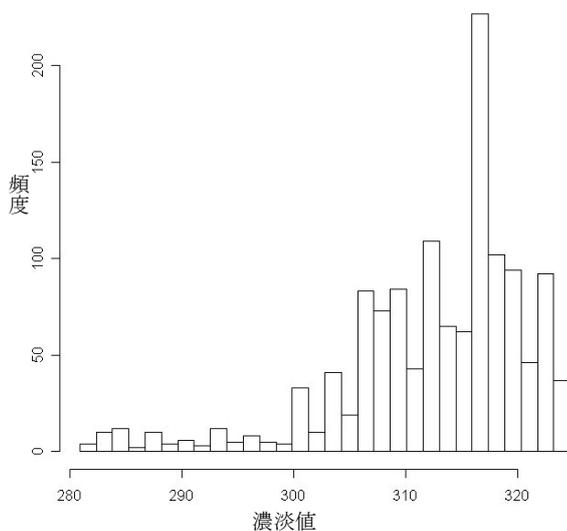


図6. 濃度ヒストグラム

ここで、横軸は各画素の濃淡値であり、今回扱っている10bitの画像データであった場合には0から1023の値を取ることとなる。縦軸は頻度で、対象とする画像領域全体で各濃淡値が出現する画素の累計数となっている。図6からだけでは異物の判定は難しそうだが、他の計測結果と照らし合わせるとおよそ295辺り以上の濃度値を示しているのが製品部分と考えられ、それ以下の部分が異物であると考えられる。つまり、選定されるしきい値が295の近辺であればその左側が異物と判定され、良いしきい値であると言うことが可能であろう。

しきい値を自動的に定めるために、微小な異物に対しても検出力がある程度確認されているKittler法⁽¹⁾を元にして速度面での改良を試みた方法を開発して、しきい値の選定を行った。Kittler法は、濃度ヒストグラムに異物と製品の2つの正規分布の「山」があると仮定し、それら「山」の間である確率が最も高いと思われる濃度値をしきい値として選定する方法である。具体的には平均誤識別率に基づく評価式を最小とするしきい値を確率統計的に求めている。しかし、Kittler法では計算途中に分散の計算が存在するために、画素の濃淡値の最大の値をLとすると全体の計算オーダーが L^2 となってしまう、ベルトコンベアの速度に対して判定速度が間に合わなくなってしまう。そこで本研究ではKittler法の改良方法として、分散の計算を近似式による計算に取り換え、全体の計算オーダーをLとした。

このように改良を施し、図6の濃度ヒストグラムに対して、しきい値の自動選定を行った場合、しきい値を297と選定し、概ね目的のしきい値が得られている。ちなみにKittler法をそのまま用いた場合、しきい値は323と選定され、すべての部分が異物と判定されてしまうため判定不能であった(Kittler法は与えられたデータに対して必ず値を返し、判定不能な場合は両端の値が選定されるかノイズ等の影響から両端に近い値が選定される)。現在までに得られている経験からは、このようなことが起こることは稀であるが、少なくともこの場合においては、改良法の方が良い結果を算定しているようである。

また、ただ単に画像を領域に分けてしきい値選定を行うのではなく、各種の前処理、後処理を施した。前処理としては、画像処理で画像の平滑化のために用いられるメディアンフィルタ、平均化フィルタなどを用いることとした。また、後処理としては、誤検出を減少させるために、検査領域の周の部分において一定数以上の異物の候補が存在するときにはその領域には異物がないと判定する方法や極端なしきい値(例えば、図6において右の「山」の右の方のすそ野にしきい値を選定した場合などを指す)を選定した場合にはその領域には異物がないと判断する方法を考案しそれらを用いた。

さらに、検査精度を向上させるために画像を領域に分割する方法も、3×3分割、4×4分割、5×5分割といったようにいくつか用意して異物検出処理を行い、それぞれの画素についての異物の候補の総和を取り、一定値を超えた場合

にその部分に異物があると判断するようにした。

4. 結果と考察

提案法を Visual Studio 2005 で実装し、実験を行った。環境は OS が Windows XP、CPU が Pentium 4 3.2GHz、メモリが 1.0GB である。提案法を図 3 に対して適用すると、図 7 のような結果が得られる。

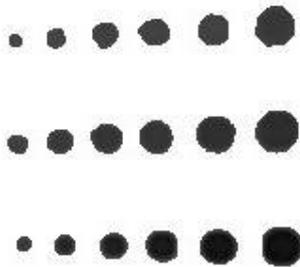


図 7. 図 3 に対して提案法を適用した結果

この結果が得られるのにかかった計算時間はおよそ 200m 秒であり、ベルトコンベアの速度とほぼ同じ速度である。従来法の図 5 と比べると、検出し難かった直径 2mm のナイロン球についても検出されている。また、従来法で述べた問題点についても、

- (i) 領域に分割し、それぞれの領域についてしきい値を決定しているため、全体的な傾きの影響は従来法に比べ少なくなっている。
- (ii) 従来法では図 3 の製品の右側の部分に出てきた誤検出が図 7 では確認されず、誤検出が少なくなっている。
- (iii) 従来法では検出できなかった直径 2mm のナイロン球についても検出されており、確かに検出能力が高くなっている。

のように、それぞれ改善がなされている。ここでは詳しくは紹介しないが、これらの傾向は他の検査対象例についても確認でき、良好な結果が得られたと言える。

また、提案法では Kittler 法を改良して用いていたが、そのまま用いた場合とも比べてみることにする。他の条件は同一で、Kittler 法だけを改良せずに用いると、図 8 のような結果が得られる。この結果が得られるのにかかった計算時間はおよそ 1740m 秒であり、高速化を工夫してもベルトコンベアの速度には追い付くのは困難である。また、図 7 と比べても結果はさほど変化していないのが見て取れる。このように、実用に即しては、現状では提案法を用いる方が良いと言える。

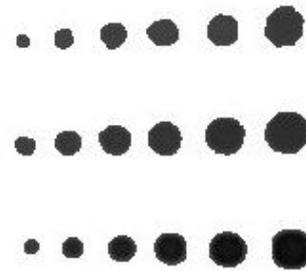


図 8. 図 3 に対して Kittler 法をそのまま適用した結果

5. まとめ

昨今、食の安全性への関心の高まりが社会で大きく取りざたされている。本研究ではそれらの社会的な要請に対応するため、従来よりも高精度な異物検出アルゴリズムの開発を行った。従来は用いられていなかった統計的な手法を用いて、アルゴリズムを設計し、実験段階としてはソフトウェアで実装して実験を行った。現状では、ベルトコンベアの速度とほぼ同じ速度で異物判定が可能であり、従来よりも高精度に判定が行える。製品化の際には安定性が求められる為、速度面でのさらなる改良が必要である。本研究で提案するアルゴリズムは、画像を領域に分割しそれぞれについて計算を行うという性質上、並列化に極めて向いている。今後は、並列化やハードウェア化などを行い、実用化へ向けての研究を行う予定である。

(平成 20 年 7 月 7 日受付, 平成 20 年 8 月 26 日再受付)

文 献

- (1) 大津展之, 栗田多喜夫, 関田巖:「パターン認識」, 朝倉書店