

色検査について：

カラーマシンビジョンで検査結果は良くなるか？

マシンビジョンは、高速かつ信頼できる品質検査の手段として認知されるようになりました。多くの場合、マシンビジョンによる視覚検査は人間に比べるとはるかに早く正確で、しかも低コストです。しかし、マシンに色が「見える」のでしょうか？また、色を検査アルゴリズムに加えて、品質検査の役に立つのでしょうか？

マシンビジョンではシステムが検体画像をカメラで取得し、コンピュータ処理をし、検体の特性を分析、計測し、判定をします。代表的な特性が、検体の色です。以前は、色は光学検査ではあまり使われていませんでした。コストの問題と処理の負荷が高かったことが原因です。しかし、最近はコストが下がり、処理負荷も問題では無くなってきました。ソリューションプロバイダは、色をマシンビジョン光学検査システムに導入し、検査品質を向上させようとしています。

本稿では、カラーマシンビジョンの仕組みと、なぜ色を用いるとマシンビジョンのアプリケーションに有効かを論じます。

色が有ったほうが、良いと思いますが、いかがですか？

一般的に、色は白黒(モノクローム)より「進んでいる」と考えられています。よって、色が有るのは良いはずですが、しかし、この前提はマシンビジョン業界では常に正しいとは限りません。マシンビジョンのアプリケーションに多い「割れ」や「傷」の検出には、色を使う必要はありません。なぜなら、検査の目的は、検体表面の明度の違いを識別することにあるからです。

実際モノクロカメラのほうが、カラーカメラより優れている場合があります。解像度やスピードを例に取ると、モノクロカメラの方が高解像度、高スピードに対する選択肢があります。また、色を用

いてもモノクロカメラより高いメリットを出せない場合もあります。

例えば、

光学文字認識(OCR)や文字照合(OCV)、バーコード読取、測定ゲージなど、高解像度の空間情報に依存するアプリケーションがこれにあたります。

マシンはどうやって色を「見る」のか？

もちろん、マシンは実際には色が見えるわけではありません。マシンは人間の色検知を模した数理モデルを使用しています。マシンは人間の色への平均的の反応に対して較正することが可能です。よって、設定した内容で観察した色に対して一定の反応をするという形で「見る」ことが出来ます。この「較正された色」は、絵画、プラスチック、織物などの着色剤の測定や照合に有益です。これは、人間のように色を「見ている」わけではありません。マシンビジョンシステムが行なう相対的測定と、分光計などの装置でないとできない絶対的測定の差を押さえておくことが大切です。

人間の色覚は、照明や視野が様々に変化する中で見える物体の「材質」に関して、情報を相対的に抽出します。例えば、果物の色は、照明が様々に変化する中でも、熟しているか熟していないか、あるいは腐っているかを、確実に判定しなければなりません。人間の色覚は、照明や視野の変化があっても「必要な要素を取り出す」機構を持っています。我々はどうやって変化に対応しているのかは分からず、カラービジョンのマシンにそれを反映することはできません。人間の色覚は相対的なものです。近くに別の色があると、色の認識に影響があります。色自体の解像度は高くありません。(テレビの色を伝送する場合にごくわずかの帯域しか必要でないことから分かると思います。) また、人間には個人差があります。よって、人間は測定に向いているとは言えません。一方、マシンカラービジョンは、周辺の色の影響を受けません。高い解像度を持つことができ、マシンによる個体差がほとんどありません。よって、測定に向いていると言えます。

カラーマシンビジョンシステムの種類

カラーマシンビジョンシステムは、多くの場合、ハードウェアとソフトウェアを組み合わせて、様々な色を検出しています。点や斑点の色測定の場合、ハードウェア機器を使えば概ね解決します。高度なシステムの場合は、ソフトウェアの比重が高まり、設計者やエンドユーザがいろいろな操作ができるようになっていきます。マシンビジョンにおいて、カラーカメラは、大きく3CGD、トライリニア、ベイヤー配列に分かれます。3CGDは優れた色の再現性を持っており、非常に多くのアプリケーションに使うことができます。しかし、その設計が複雑であるため、コストが高くなります。トライリニアは高い性能を持ち、しかも低コストです。応用分野も、表面検査など多くのアプリケーションがあります。一方で、検体が回転したり、不規則に動く空間補正ができない場合があります。

3つ目のベイヤー配列カメラは、最も低コストです。もし、色の精度がアプリケーションで強く要求される場合は、お奨めしません。

色を使う場合

検査アプリケーションの中には、割れや傷の検出など、色を使う必要が必ずしもない場合があります。物体表面の明度の差を識別することが目的だからです。

物体の色を評価する必要があるアプリケーション以外でも、色を見ることで物体の識別が早くなる場合があります。例えば、自動車のヒューズ箱にあるヒューズの数を検査する場合があります。

どのマシンビジョン・アプリケーションの色を使わないといけないのでしょうか？ そのようなことはありません。カラーカメラよりモノクロカメラの方が優れている場合もあるからです。解像度やスピードを例にとると、モノクロカメラのほうが高解像度やハイスピード製品があります。また、マシンビジョンの課題解決において、モノクロ画像に比べて、カラー画像のメリットが無い場合も少なくありません。

もしカラーカメラを使うべきか迷いが生じた場合は、次のような点を考えてみて下さい：

・ 御社製品を検査する上で、色の精度と同一性が重要な要素で

しょうか？

・ 検体の色により、御社製品の品質の良し悪しが相対的に分かりますか？
・ 色を見ることで、検体の検知度が高まりますか？
もし、これらの質問で御社に該当するものがあれば、マシンビジョンのカラー製品を真剣に検討されると宜しいかと思えます。

各種アプリケーション

それでは、実際のアプリケーションを幾つか見てみましょう。御社アプリケーションの色を検査項目に加えるかどうかを考えるうえで、参考になればと思います。

食品は、誰もが有効と考える応用分野だろうと思います。誰も食品を買うときは、品質に異常がないか確認します。果物ならば、色で熟しているか、等級通りの品質になっているか確認できます。（誰も、シミが付いたオレンジや、黄ばんだライムを買いたくはないでしょう。）穀物や野菜の場合は、製品が一定速度で流れている中でも、色により等級を判断したり、異物を見つけることができます。

食肉加工では、色を使って腐食を見つけたり、脂肪、骨、軟骨などの部位識別をし、それらを自動的に抽出したりします。カラーマシンビジョンが冷凍ピザの出来栄を検査するのに使われている理由は注目に値します。もし、モノクロ画像を使っていたらどうでしょうか？材料の密度が適正かは分かるだろうと思います。（材料が充分載っているか？ピザ面にうまく広がっているか？など）しかし、包丁で切った材料の差を識別するのは容易ではありません。例えば、オレンジ、赤、緑などのペッパーの色はモノクロでは大変ですが、カラーであれば簡単に識別できます。

自動車検査でも、カラーマシンビジョンが使われています。多くの方が、車の塗料の検査にマシンビジョンが使われていると思うのではないでしょうか。実際、ドライバーが使う操作インターフェースには非常に多くの工数をかけて詳細な外観検査が行われています。例えば、メーターパネルが同じように作られているかをマシンビジョンで確認しています。これは大切な検査です。集合

計器やダッシュボード全体の品質は、長い目で見ると、運転手が車の品質に対して持つ印象に影響を与えます。

他にも、色を必要とするアプリケーションは沢山あります。例えば、印刷検査(品質と登録)、薬の検査(ラベルの照合)、部品の有無と検出、PCBアセンブリ(部品の有無、検証、配置)。また、木材、繊維、セラミックタイル、などに対する品質や格付けなどを行なうアプリケーションは沢山あります。

カラーマシンビジョンにはどのような種類があり、それぞれどう違うのか？

マシンビジョンのアプリケーションで使われるカラーカメラの種類は、3CCD、トライリニア、ベイヤー配列のカメラに分かれます。それぞれエリアカメラの場合とラインカメラの場合があり、内蔵する色の種類によって分かれます。

カメラの種類	エリアスキャン	ラインスキャン
3CCDプリズムカメラ	共通	共通
トライリニア	適用不可	共通
ベイヤー配列カメラ	共通	適用不可

3CCDは、すぐれた色の再現性を持っており、非常に多くのアプリケーションに適用することができます。しかし、設計上の理由で高コストです。3CCDのカラーカメラでは、カラーは、プリズムを使用したインターフェースフィルタを使って選びます。これにより、入射光を、赤(R)、緑(G)、青(B)の3原色に分けます。この3つの色は、それぞれのCCDで検出され、3枚のCCDからの出力を組み合わせ再構成します。3つのカラー画像は、検体の同一地点を同一時刻にキャプチャされます。

トライリニアは、高性能でありながら、低コストであるという点が利点です。100%印刷検査など多くの検査に使われます。しかし、回転や不規則運動をするアプリケーションでは、空間補正ができずうまく使うことができません。トライリニアのカラーカメラでは、3本の線上配列が、1つのダイのうえに実装されて、RGBのカラーフィルタでコーティングされています。これらは染料や色素を使

った吸収フィルターです。トライリニアカメラでは、3つの線状配列がそれぞれ少しずつ異なる視野角(FOV)を持っているため、カラー画像を再構成するためには画像を補正する必要があります。

最後に、ベイヤー配列カメラは混合品で、最も低コストです。このカメラはローエンド製品向けであり、3CCDやトライリニアのカメラと比べると色の精度が低くなっています。しかし、ベイヤー配列は一般に広く知られています。色の再現性能を最適化するアルゴリズムは世の中にたくさん存在します。

DALSAは、Genie, Trillium, Piranha カラーカメラをマシンビジョン向けに出しており、様々なカラー画像技術に基づいています。ベイヤーカラーフィルタ配列、ビームスプリッタープリズムやトライリニアセンサなどがあります。

色検出は、ハードウェア(カメラ)から見て、どのように作用するか？

3CCD カラーカメラでは、色はプリズムベースのフィルターを使って選択されます。入射光は、赤(R)、緑(G)、青(B)の3原色に分光されます。3原色はそれぞれのCCDによって検出され、3つのCCDからの出力を組み合わせ、最終画像として再構成されます。3つのカラー画像は、同じ場所を同じ時刻でキャプチャします。トライリニアカラーカメラでは、3本の線状配列は1つのダイ上に実装され、RGBのカラーフィルタでコーティングされています。フィルタは染料や色素を使った吸収フィルターです。トライリニアカメラでは、3本の線状配列は、個々異なる視野角(FOV)を持っており、カラー画像を再構成するためには、空間補正が必要です。

色検出では、ソフトウェアはどのような役割を果たしているか？

カラーマシンビジョンシステムは、ハードウェア(カメラ、色空間変換、など)と、ソフトウェアを組み合わせ、色を検出しています。点またはスポットの色を測定する場合は、ハードウェアだけでうまくいきます。高度な検出システムにはソフトウェアが使われ、設計者は自由に操作することができます。ハードウェアとソフトウェアが一番違うのは、色を検出する「色分類」の仕組みにあります。

色分類は、色を持った画素の集合を、「合格」または「不良」といったクラスに割り当てます。良い色分類は、輝度の変化に対して一定の耐性(堅牢性)があり、すばやく学習し・実行し、画素を正しいクラスに割り当てます。「色分類」は継続的に開発を進めている分野であり、ベンダー間で競争になっています。

カラーマシンビジョンの将来

米国AIA(Automated Imaging Association)の市場調査によると、2005年から2006年にかけて販売されたカメラの4分の1がカラーカメラであり、4分の3がモノクロです。一般的な傾向として、カラーカメラは増えており、色を使うことでマシンビジョンの利用が広がると考えているエンジニアが多いようです。カラーは、モノクロのグレースケールよりも視覚的情報を詳細まで伝えられると考えているようです。実際の分析データに新しく軸を加える形になります。

例えば、色による検査は、紙幣検査のアプリケーションでスキャンおよび画像処理用に急速に使われています。アジアの国の中には、政府が色検査を必要としているケースがあります。これは人々が小切手を発行する際に署名より印鑑を使用することが多いからです。印鑑は通常は朱のインクが使われ、モノクロ画像システムでは十分なコントラストが出ません。銀行が認証のためにカラーレポートを必要とするのが一般的です。

プリント回路基板(PCB)検査も、カラーカメラが使用されるアプリケーションの例です。モノクロ画像システムでは区別が難しい酸化銅の線の識別に使用されます。新技術として、ダルサは3CGDとトライリニアを両方用いて製品開発をしており、高性能のカラーカメラを供給して成功しています。色の再現性に低コストと使い易さが、市場を活性化させる要因です。現在開発中の技術が近い将来、これらのニーズを具現化し、製品として市場の需要に応えることを期待します。

著者について

ロバート・ホウィソン氏は、DALSA社(ケベック州モントリオール)のプロジェクトリーダー(OEMカスタムプロジェクト)です。ホウィ

ソン氏は、エコール・ド・テクノロジー・スペリウール校の、エンジニアリングの学士および修士です。マシンビジョンアプリケーションに関しては12年を超える経験を持っています。

ダルサ社(www.dalsa.com)は、先進的な画像の取得、処理、分析用ハードウェアおよびソフトウェアを、顧客に提供しています。製品は、製造工程を通して、品質管理、生産性向上と競争優位のために設計されています。

(注)

・本文書の原題は、「Evaluating Color Inspection: Can Color Machine Vision Improve Results?」です。

原文をご覧になりたい方は、下記Teledyne Dalsa Inc.のウェブサイトにございます。

<http://www.teledynedalsa.com/en/learn/white-papers/>

・2013年10月に執筆されました。内容および著者の情報(所属、役職等)に関しては、当時の内容となっていることをご了承ください。

・当社(エーディーエステック)が、2018年4月に、日本語に訳しました。内容に関してのご質問は、下記までお願い致します。

(株)エーディーエステック イメージング部

TEL: 047-495-9070

E-mail: sales@ads-tec.co.jp