対数振幅スペクトル解析による画質評価を用いた 自動外観検査用照明の自動調整法*

古屋 雅章** 中 込 広 幸*** 布 施 嘉 裕*** 中 村 聖 名†
山 田 博 之† 阿 部 治† 渡 辺 寛 望†† 小 谷 信 司†††

Automatic Illumination Adjustment for Visual Inspection Device using Spectrum Analysis

Masaaki FURUYA, Hiroyuki NAKAGOMI, Yoshihiro FUSE, Masana NAKAMURA,
Hiroyuki YAMADA, Osamu ABE, Hiromi WATANABE and Shinji KOTANI

In the visual inspection automated by the image processing, the importance of the machine vision lighting technology have recently drawn attention among the users of the visual inspection device. The machine vision lighting technology provides methods of the selection and the adjustment of illuminations for the visual inspection appropriately. However, it is difficult for the users to study the machine vision lighting technology because it needs the knowledge and the experience. Moreover, a defective product has several defective features appeared or disappeared with the angle and the color. This paper proposes the system to adjust parameters of the illumination for the visual inspection. A non-defective product is captured by this system with modifying four parameters: light quantity of red, green and blue LEDs, and the angle of LEDs. Further, the appropriate parameters of the illumination are decided by the spectrum analysis used for the image quality evaluation. In the step of evaluation, three type of defective/non-defective products are used to evaluation. Parameters of the illumination are decided by our system using the non-defective product. All of appearance of defective-features are confirmed by the visual observation and binarizing images in all type of products using this evaluation.

Key words: visual inspection, automation, fourier transform, lighting

1. 緒 言

近年、ロボット工学・画像工学の生産現場への応用による生産ラインの自動化が積極的に進められており、製品の検査行程においても、従来目視にて行われていた検査を画像工学の技術を用いて自動化しようという動きが活発になっている。特に、検査行程では人間の五感・認識能力・学習能力を駆使して行われているため、目視検査時の人間の活動と情報処理を再現し、検査行程の自動化を行う研究が活発化してきている^{1)~3)}。

目視検査時の人間の活動として、検査対象である製品を手に取り、照明の色を変え、様々な方向に傾けながら不良品を探す行為が見られる。これは、不良品の持つ特徴が、照明光の角度・色によって出現・消失することに起因している。例えば、傷・打痕のような形状の変化を伴う不良は、照明に対して水平に近くなるほど濃淡が明確になり、不良の発見が容易になる。このような従来検査者が自然に行っていた照明の角度・色を調節する行為を自動検査装置に適応する研究を増村ら^{4)~6)}は立ち上げ、マシンビジョンライティングと呼ばれる分野として研究が進められている。マシンビジョンライティングでは、検査対象の材質・形状・色および、検出したい不良特徴に応じた照明の選定方法・設置方法について述べられたものであり、この

技術を習得した人材が、画像処理アプリケーションを利用した外観検査装置の導入に際して必要とされている。

しかし前述の通り、適切な照明調節にはマシンビジョンライティングに関する知識および経験が必要とされるため、ノウハウを持たないユーザーが実際に外観検査装置の照明を設定するためには学習と経験が必要となり、人件費および学習のための時間が必要となる。また、実際の外観検査時においては、良品のみしか与えられず、どのような不良が発生するか事前にわからないケースが多いため、既知の不良に対して検出能力を高めるよう照明を設定するマシンビジョンライティングの手法では、想定外の不良品が発生した場合対応できない。

上記問題を考慮して、発生する不良が既知でなくても、良品のみを用いて照明条件を自動的に決定できるシステムについて研究が行われており、照明条件を変えながら撮像した画像の画質を評価することで、照明条件の最適化を自動で行う手法が提案されている。例としては、高周波成分の積分値を用いて照明条件を求める方法が提案されており⁷⁾、撮像されたワークが持っている濃淡値の変化量を数値化し、濃淡差が最大となるような照明条件を出力することで、照明条件の自動調節および想定外の不良特徴の検出を試行している。しかし、梨地・表面の凹凸等により発生する統計ノイズのような高周波成分が高い割合で影響してくるため、S/N 比を考慮した最適化アルゴリズムが必要である。

また、従来研究⁸⁾では、梨地等がもつ一様に広がる濃淡値変化を統計ノイズとして考えた S/N 比の評価を行い、照明の最適化を行っており、S/N 比の最大化には、X 線イメージングにおける画質評価^{9)~11)}、劣化画像の復元技術^{12)~14)}等に用いられ

* 原稿受付 平成 26 年 5 月 11 日

掲載決定 平成 26 年 9 月 16 日

** 正 会 員 山梨県富士工業技術センター（山梨県富士吉田市下吉田

6-16-2）（現、山梨県工業技術センター；山梨県甲府市大津町 2094）

*** 山梨県工業技術センター（山梨県甲府市大津町 2094）

† 山梨県富士工業技術センター（山梨県富士吉田市下吉田 6-16-2）

†† 山梨大学大学院（山梨県甲府市武田 4-3-11）

††† 正 会 員 山梨大学大学院（山梨県甲府市武田 4-3-11）

ているフーリエスペクトル解析に着目し、画像の先鋭度とノイズ量をスペクトルの直線性を用いて数値化することで照明の最適化を行っている。しかし、従来研究⁸⁾では先鋭度とノイズ量の評価のみであり、実際に自動外観検査に用いられる検査アルゴリズムには、しきい値処理による二値化を用いた不良特徴の検出法を実装することが多いため、濃淡値のダイナミックレンジに対する評価も考慮するべきである。

そこで本研究では、照明条件を変えながら撮像された良品画像の持つ先鋭度・ノイズ量・ダイナミックレンジを、画像の持つ1次元フーリエ対数スペクトルの直線近似により得られるパラメータを用いて数値化し、照明条件を決定するシステムの構築を行う。評価として、梨地・鏡面・色を持つ3種のワークについて良品・不良品を用意し、良品の画像を用いて求められた照明条件下において、複数の不良特徴を持つ不良品の撮像を行い、得られた画像の不良特徴を目視および画像処理を用いて二値化を行い、二値化により得られた領域の位置および面積を用いて不良検出率と誤検出率を算出し、評価することで、本システムの有効性の検証を行う。ただし、本研究の想定する検査対象の限定条件としては、従来研究⁸⁾と同じく検査面が平面であることを条件とする。これは、立体形状の場合、立体形状によって発生する影の影響や、光線のあたる面の高さや曲率によって、面に対する入射角が変化するため、本研究では、平面形状に限定して照明条件の自動化について検討する。

2. システム構成

外観検査における照明選定では、ワークに応じて、明視野・暗視野、RGB 光量調節を行っており、これに対応して、本研究では、明視野・暗視野の選択、および RGB 光量の調節を自動化することを目的としている。よって本研究で用いる装置は、明視野・暗視野の選択のために照明光の角度を調節でき、かつ配色の調節が可能な装置が必要となる。

ただし、外観検査における照明装置は、拡散照明やリング照明を用いることが多いが、拡散照明の場合、暗視野の観察が困難であり、リング照明は構造上、RGB 光源を同位置かつ同方向で照射することが難しい。よって本研究では、RGB 光源を同位置かつ同方向に照射可能であり、かつ配色の調節が可能である1方向照明(シーシーエス株式会社 HLV2-3M-RGB-3W)を採用し、アクチュエータにより角度を変更できる装置を構築する。

本システム構成を図1に示す。本システムはRGB3色のLEDの光量をそれぞれ任意に調整することが可能である。これは、3色LEDの電源電圧をそれぞれ制御することで実現される。また、照射角度についても任意に調整することが可能となっており、LEDに取り付けられたファイバヘッドを、4軸ロボットに固定することで、ファイバヘッド角度およびファイバヘッド-ワーク間の距離を調節する(図2)。照明の調節後、USBカメラを用いた撮像を行い、SONY製VAIO(Core i7, クロック 2.67GHz)で画像解析を行う。

3軸ロボットは株式会社オリジナルマインド製3軸ロボットキットを、サーボ回転軸は、株式会社タミヤ製TP-S3003を使用する。コントローラとしてのPCはSONY製VAIO(Core i7, クロック 2.67GHz)を、マイコンはARM社製mbedを使用する。ファイバヘッドおよび1方向照明はシーシーエス株式会社HLV2-3M-RGB-3Wを、USBカメラは株式会社マイクロビジョン製MCM-4302LEDを使用する。また、画像処理には

Fig.1 Structure of system for automatic illumination adjustment

Fig.2 Driving direction of 4-axis robot

Fig.3 Relationship between angle of fiber-head and position of work

OpenCV2.2, 数値数式処理にはRを用いる。

3. 方法

3.1 実験条件

本システムでは、外観検査時における暗視野・明視野に対応して、サンプルに対する角度 θ (図3)を $20deg$, $45deg$, $60deg$ の3段階に変化させる。また、外観検査におけるRGBの配色に対応して、LEDに印加する電圧を、それぞれ V_r , V_g , V_b , とし、 $0V$, $1V$, $2V$, $3V$, $4V$, $5V$ の6段階で変化させる。よって、本実験条件では、 θ , V_r , V_g , V_b の4パラメータを用いて、

Fig.4 Protocol for conversion image captured with modifying four parameters into one dimensional spectrum

648 (3 × 6 × 6 × 6) 通りの画像を取り込む。

3.2 1次元フーリエスペクトルの取得

本節では画質評価を行うために、取得された画像の RGB チャンネルごとにフーリエ変換を行い、横軸が周波数、縦軸が振幅となる 1 次元フーリエスペクトルを計算する。

3.2.1 2次元配列の定式化

大きさ $N_1 \times N_2$ pixel の画像が持つ 2 次元配列を $f(n_1, n_2)$ と表す。ただし、フーリエ変換における定式化の便宜上、2 次元配列のインデックスを画像の中心が原点となるように $n_1 = -M_1, \dots, M_1$ および $n_2 = -M_2, \dots, M_2$ とし、 $N_1 = 2M_1 + 1$ および $N_2 = 2M_2 + 1$ とする。

3.2.2 窓関数による画像端の影響の低減

2 次元離散フーリエ変換は取り扱う画像が画像端で循環することを仮定しているため、画像両端の画素値が異なる場合、本来存在しないはずの不連続性が現れる。この不連続性の影響を低減するために、入力される画像 $f(n_1, n_2)$ に対してハンニング窓 $u(n_1, n_2)$ との乗算を行い画像端の連続化を行う。ハンニング窓は次式にて表される。

$$u(n_1, n_2) = \frac{1 + \cos(\frac{\pi n_1}{M_1})}{2} + \frac{1 + \cos(\frac{\pi n_2}{M_2})}{2} \quad (1)$$

ただし、

$$\sqrt{\frac{n_1^2}{M_1^2} + \frac{n_2^2}{M_2^2}} > 1 \quad (2)$$

となる場合、 $u(n_1, n_2)$ に 0 を代入する。

3.2.3 2次元離散フーリエ変換

続いて 2 次元離散フーリエ変換を行う。ハンニング窓の適用を行った 2 次元配列を $f'(n_1, n_2)$ 、2 次元離散フーリエ変換後の 2 次元配列を $F(k_1, k_2)$ として、2 次元離散フーリエ変換の式は次式のように表される。

$$F(k_1, k_2) = \sum_{n_1=-M_1}^{M_1} \sum_{n_2=-M_2}^{M_2} f'(n_1, n_2) W_{k_1, k_2}(n_1, n_2) \quad (3)$$

$$W_{k_1, k_2}(k_1, k_2) = e^{-i2\pi(\frac{k_1 n_1}{M_1} + \frac{k_2 n_2}{M_2})} \quad (4)$$

ただし、 $k_1 = -M_1, \dots, M_1$ 、 $k_2 = -M_2, \dots, M_2$ である。

3.2.4 楕円形に沿ったサンプリングによる 1 次元化

得られた 2 次元離散フーリエスペクトルを、比較のために 1 次元離散フーリエスペクトルに変換する。式 (3) による 2 次元離散フーリエ変換は、取得画像から得られる 2 次元配列に、式 (4) にて表される正弦波および余弦波 (図 5) の周波数と角度を変えながら乗算を行い、乗算後の 2 次元配列の積分を行うことを意味している。乗算される正弦波および余弦波は k_1, k_2 の組み合わせごとに波長と角度が変化するが、波長 d は以下の式に

Fig.5 cosine wave used in fourier transform

よって表される

$$d = \frac{1}{\sqrt{\frac{k_1^2}{M_1^2} + \frac{k_2^2}{M_2^2}}} \quad (5)$$

(ただし、 d の単位は pixel である)。ここで、式 (5) を変形すると楕円方程式

$$\frac{k_1^2}{a^2} + \frac{k_2^2}{b^2} = 1 \quad (6)$$

$$a = \frac{M_1}{d} \quad (7)$$

$$b = \frac{M_2}{d} \quad (8)$$

が得られる。これは 2 次元スペクトル配列 $F(k_1, k_2)$ において、原点を中心とした横軸長さ M_1/d 、縦軸長さ M_2/d の楕円軌道にあるスペクトル値は、波長が同一であり角度が異なる正弦波および余弦波から求められたものであることを意味している。また、波長 d を周波数 f に変換すると、

$$a = M_1 f \quad (9)$$

$$b = M_2 f \quad (10)$$

となり、楕円長軸短軸の長さと周波数は比例関係となる ($f = 0, \dots, 1$)。

これを利用して、2 次元スペクトル配列に対して、波数 f 毎に、原点が 2 次元スペクトル配列の中心であり、横軸長さ $M_1 \times f$ pixel、縦軸長さ $M_2 \times f$ pixel となる楕円軌道を算出し、この楕円軌道上に沿ってサンプリングし、平均値を出力することで、2 次元スペクトルを 1 次元スペクトル (横軸：周波数、縦軸：振幅) に変換することができる。ただし、本システムでは 2 次元配列を扱っているため、画像高さ方向のサイズ N_2 に合わせ、 f の分解能は $1/M_2$ 、範囲は $0\text{Hz} \sim 1\text{Hz}$ とする。比較のため両軸は対数変換を行う。

3.3 画質評価に用いるパラメータ

事前実験として、テストイメージ (図 6 (a)) に対して 3 種の画質劣化操作 (先鋭度低下・統計ノイズ増加・ダイナミックレ

レンジ低下)を行い、スペクトルの変化を観察する。簡略化のためテストイメージにはモノクロ画像を用いる。

先鋭度低下に対するスペクトル変化の対応を観察するために、テストイメージに対してガウシアンフィルタを用いた平滑化処理を行い(図6(b)(c))、コントラストを低下させた際のスペクトルを比較する。結果、コントラストの低下に伴い高周波成分が低下する(図7)。

統計ノイズに対するスペクトルの対応を観察するために、ホワイトガウスノイズをボックスミュラー法により生成された正規分布を用いて生成し、正規分布の分散を変化させスペクトルを比較する。ホワイトガウスノイズは平均0、分散 σ^2 とした正規分布を生成し、1ピクセルごとに正規分布から得られる値をテスト画像に加算することで生成する(図6(d)(e))。結果、ノイズ量の増加に伴いスペクトルの高周波成分が増加し、テストパターンが本来持っていた波形が変形していることがわかる(図8)。

ダイナミックレンジに対するスペクトルの対応を観察するために、テストイメージのダイナミックレンジを縮小し(図6(f)(g))比較する。本研究では、画像の持つ画素値の最大値に対して最小値を減算した値をダイナミックレンジとし、原画像の画素値を s 、ダイナミックレンジ変換後の画素値を s' 、原画像の画素値の最大値を a 、最小値を b 、ダイナミックレンジを c として、 $s' = c \cdot (s - b) / (a - b)$ を画素ごとに算出することで、ダイナミックレンジの縮小を行う。結果としてダイナミックレンジの低下に伴い広い範囲で振幅が低下することがわかる(図9)。

複合条件として、テストイメージのもつ画素値の最大値が120, 30となるように画素値の変換を行い、かつフォトンショットノイズを付加した場合(図6(h)(i))のスペクトルの対応を観察する。フォトンショットノイズのシミュレーションでは画素値を平均値・分散値としたポアソン分布が用いられ、画素値が小さいほどS/N比が低下するという特徴を持つ。結果として、画素の最大値が低下するとスペクトル全体が低下するとともに、高周波成分が増加しテストパターンが本来持っていた波形が変形する(図10)。

上記事前実験を踏まえると、先鋭度が低い、もしくは一様ノイズ量が多い画像は直線性が失われていくことが分かる。よって本手法では、両軸対数変換を行ったスペクトルに対して直線近似を行い、近似直線算出後の残差平方和を直線性を表す数値として利用する。スペクトルの直線性が高い照明条件は、先鋭度が高くノイズ量の小さいワーク画像の撮像が可能となる照明条件として評価する(図11, parameter1)。また、ダイナミックレンジが狭い画像においては、広い範囲のスペクトルが低下するため、近似直線の積分値をダイナミックレンジを表す数値として利用する(図11, parameter2)。近似直線の積分値が高い場合、画像の持つダイナミックレンジが高い照明条件として評価する。

上記数値化をRGBそれぞれのスペクトルにおいて実行し、各パラメータごとに和をとる。1枚の画像ごとに得られた2パラメータ(図11)を、2次元グラフとしてプロットし、それぞれの最小値と最大値を用いて0~1の範囲に正規化する。正規化後グラフにおいて上限値である座標(1,1)に最も近い座標をとる照明条件を最適な照明条件として出力する。

Fig.6 Test images (a)original, (b)smoothed 11 * 11, (c)smoothed 31 * 31, (d) added white gauss noise($\sigma^2 = 30$), (e) added white gauss noise($\sigma^2 = 60$), (f)dynamic range 100, (g)dynamic range 50, (g) added poisson noise(max value = 120), (h) added poisson noise(max value = 30)

Fig.7 Spectrum comparison: original image vs smoothed images

4. 評価

4.1 評価に用いるワーク

評価に用いるワークとしては、本研究では照明の自動調節による画像の持つS/N比の改善を目的としているため、表面状態に合わせて照明が調節されるかどうかを評価できるワークを用意する必要がある。このため本研究で用いるワークには、鏡面(表面凹凸が少なく、不良検出に影響を与えにくい)、照明の直接光が映り込む場合がある)をもつワーク、および梨地(表面の凹凸が多く、不良検出に影響を与えやすい)を持つワークを選定する。

また、同様に本研究ではRGB配色調節の自動化を目的としているため、RGB配色調節の自動化が可能かどうかの検討のために、有色ワークを選定する。

上記目的を考慮して、本研究では表1に示す3種類のワークを用意した。ワークはそれぞれ、ウレタン系熱可塑性エラストマー材黒色ブロック¹⁵⁾、ポリプロピレン材赤色ブロック、スチール製白色金具を用いた。ワークの表面については、エラス

Fig.8 Spectrum comparison: original image vs images added white gauss noise

Fig.9 Spectrum comparison: original image vs images modified dynamic range

Fig.10 Spectrum comparison: original image vs images added poisson noise

トマー材黒色ブロックは梨地、ポリプロピレン材赤色プラスチックブロックは鏡面、スチール製白色金具は梨地となっている。また、サンプルには良品、不良品(キズ、変形、汚れ)を用意し、良品画像のみを用いて照明条件を求める。得られた照明条件下において不良品を撮像し、不良品のもつ特徴(キズ、変形、汚れ)が得られているかの評価を行う。

4.2 評価方法

各ワークにおける良品に対して、提案手法により算出された照明条件・従来法⁸⁾より算出された照明条件・固定パラメータ($\theta = 45deg, V_r = 2V, V_g = 2V, V_b = 2V$)をとる照明条件にて、不良品の撮像を行い、撮像された画像の二値化を行うことで照明条件の性能を評価する。

二値化画像は、目視により不良領域を手動で指定された二値

Fig.11 Parameters for evaluation quality of image

Table1 Classification table about works using evaluation

work	surface feature	defective features
elastomer block	satin(black)	scratch, deformation
red polypropylene block	mirror(red)	dirt(red, green, blue)
steel fitting	satin(white)	scratch, dent, dirt

Table2 Value of evaluation in deformed elastomer block

parameter	proposed	conventional	fixed
$S_{1,2}/S_1$	0.207677	0.213006	0.207903
$N_{1,2}/N_1$	0.004627	0.012299	0

Table3 Value of evaluation in scratched elastomer block

parameter	proposed	conventional	fixed
$S_{1,2}/S_1$	0.206275	0.200784	0.200784
$N_{1,2}/N_1$	0.000903	0.001652	0.051699

Table4 Value of evaluation in red polypropylene block

parameter	proposed	conventional	fixed
$S_{1,2}/S_1$	0.250145	—	0.230161
$N_{1,2}/N_1$	0.048206	—	0.013526

Table5 Value of evaluation in metal parts

parameter	proposed	conventional	fixed
$S_{1,2}/S_1$	0.240539	0.346254	0.206067
$N_{1,2}/N_1$	0.005138	0.001199	0.021820

Table6 Processing speed

process	sec
modification of illumination and capturing picture	336
conversion 1-direction spectrum	142
spectrum analysis and output parameter of illumination	71

化画像(手動二値化画像)、および、画像処理により二値化画像(自動二値化画像)を作成する。これら二値化画像では、傷・ムラ・汚れ等の不良がある領域を白色、それ以外の領域を黒色としている。

手動二値化画像は不良特徴が正しく二値化された場合の二値化画像として用いる。また、自動二値化画像は、照明条件の不

良特徴の強調性能・ノイズ除去性能が反映された二値化画像として用いる。

目視・画像処理によって得られた二値化画像を比較することで不良特徴が正しく検出された割合（不良検出率）と、誤検出された割合（誤検出率）を算出し、照明条件の評価を行う。

不良品検出率は、目視二値化画像における不良領域 s_1 における面積を S_1 、画像処理により求められた不良領域 s_2 を S_2 として $s_1 \cap s_2$ となる領域の面積 $S_{1,2}$ を算出し、 $S_{1,2}/S_1$ を不良検出率として数値化し評価する。

誤検出率は、目視二値化画像における非不良領域 n_1 における面積を N_1 、画像処理により求められた不良領域 n_2 における面積を N_2 として $n_1 \cap n_2$ となる領域の面積 $N_{1,2}$ を算出し、 $N_{1,2}/N_1$ 各照明条件間で比較を行う。

4.3 画像処理パラメータの自動決定方法

本評価で利用する画像処理手順は、前処理として、原画像に対して $m \times m$ の平滑化を行った画像（狭範囲平滑化画像）、原画像に対して $n \times n$ （ただし $m > n$ ）の平滑化を行った画像画像（広範囲平滑化画像）を作成し、狭範囲平滑化画像から広範囲平滑化画像を減算を行い、各画素ごとに絶対値をとり、閾値 l を用いて 2 値化を行う。

ただし、上記画像処理ではパラメータ m, n, l が存在し、パラメータの設定値が二値化領域に反映されるため、各照明条件ごとに自動決定されたパラメータを用いなければならない。本評価では、 m, n, l を独立に変化させ、 $S_{1,2}/S_1 > 0.2$ かつ $N_{1,2}/N_1 < 0.2$ となる範囲において、 $(S_{1,2}/S_1)/(N_{1,2}/N_1)$ が最大値をとる自動二値化画像を評価に用いた。

4.4 結果

各ワークの良品画像をスペクトル解析することで得られた正規化 2 次元グラフを図 12・図 14・図 16 に表し、算出された照明条件をとる座標を（赤点：提案法、緑点：従来法、青点：固定パラメータ）にて表示する。また、各照明条件を算出した画像を図 13・図 15・図 17 に表す。

エラストマー材黒色ブロックの場合、変形によって発生した不良特徴は、提案手法、従来法、固定パラメータすべての二値化画像にて検出できた。傷特徴は、固定パラメータの場合、照明条件における角度が大きいため、傷特徴と背景の梨地とのコントラストが低く、背景の梨地が誤検出されており、過検出率を見ても、他の条件に対して高い値となっている（表 3）。対して、提案手法と従来法では照明条件に浅い角度が選択されたため、二値化による傷検出が可能となっている。

ポリプロピレン赤色プラスチックブロックの場合、青緑赤の汚れ特徴のうち、従来法はダイナミックレンジに対して考慮されていない為、濃淡値が得られない条件を算出しており、自動二値化画像の設定上、二値化画像の出力は不可能だった。また、固定パラメータでは、青色および緑色の汚れに対しては高いコントラストを持っているが、赤色汚れと背景色の濃淡差が小さいため、赤色汚れ部分について検出を失敗している。提案手法は、誤検出率が固定パラメータと比べて高いが（表 4）、赤色含をむすべての汚れに対して背景との良好なコントラストを得ることが可能であった（図 15）。

スチール製白色金具の場合、固定パラメータの場合、打痕・汚れに対しては検出が可能であったが、照明の角度が大きいため反射が強く、梨地からの反射によって傷特徴と背景の分離が困難となっている（図 17）。提案手法および従来手法では、

Fig.12 Relationship between normalized parameter1 and normalized parameter2 for evaluation of image quality in elastomer block

Fig.13 Images of elastomer resin composition block

傷・汚れ・打痕を二値化による検出を行うことが可能であり（図 17）、梨地による反射が抑えられているため、不良検出率も固定パラメータと比べて小さい値になっている（表 5）。

4.5 処理時間

本システムの処理時間を求める為に、例として、取り込み画像サイズを縦 500×横 500 とした場合の最適な照明条件算出までの処理時間を計測した（表 6）。本システムの処理時間としては、648 通りの画像取込に 5 分 36 秒、取り込まれた画像に対して 1 次元フーリエスペクトルを求める処理に 2 分 22 秒、スペクトル解析により最適な照明条件を求める処理に 1 分 11 秒となり、画像処理とロボットコントロールの処理を 1 台の PC で行っても、10 分以内に最適な照明条件の出力が可能であった。

5. 結 言

角度、波長、光量の照明条件を変化させたサンプル画像に対して、対数スペクトルの解析を行い、先鋭度・ノイズ量・ダイナミックレンジを数値化することで、外観検査に適した照明条

Fig.14 Relationship between normalized parameter1 and normalized parameter2 for evaluation of image quality in red polypropylene block

Fig.15 Images of red polypropylene block

Fig.16 Relationship between normalized parameter1 and normalized parameter2 for evaluation of image quality in metal parts

Fig.17 Images of steal parts

件を算出するシステムの構築を行った。

3種類のワーク良品に対して、本システムを用いて照明条件を求め、得られた照明条件下において不良品画像に対して提案手法で処理を行い、二値化処理を行い、3種類すべてのワークに対して不良特徴の検出が可能であったことから、本システムの有効性を確認した。本システムの処理時間としては、画像処理とロボットコントロールの処理を1台のPCで行っても、10分以内で最適な照明条件の出力が可能であった。

今後の課題としては、1) 検査範囲を任意に限定可能な照明調整システムの検討、2) 回路基板のような立体構造を持つサンプルへの対応、3) 拡散光照明等の追加、について検討を行う。また、本研究では照明条件の設定のための手法についてのみ検討したが、今後は、照明条件を求める際に得られるスペクトルを利用した不良品の検出システムの検討を行う。

参考文献

- 青木公也, 舟橋琢磨, 奥水大和, 三和田靖彦: 周辺視と固視微動に学ぶ「傷の気付き」アルゴリズム, 精密工学会誌, **79**, 11(2013-11), 1045.
- 青木公也, 奥水大和: 人に学ぶ画像検査機械開発, 非破壊検査協会, 非破壊検査, **63**, 1(2014-1), 3
- 生田 剛一, 田中 健一, 久間 和生: 外観検査における欠陥特徴の自動学習 (映像・マルチメディア処理及び一般), 電子情報通信学会技術研

究報告, MVE, マルチメディア・仮想環境基礎, **106**, 157(2006-07-06), 43.

- 増村茂樹: マシンビジョンライティング 基礎編 第3版, 日本インダストリアルイメージング協会 (2010-03).
- 増村茂樹: マシンビジョンライティング 応用編 第1版, 日本インダストリアルイメージング協会 (2010-07).
- 増村茂樹: マシンビジョン・画像処理システムにおける新しい照明技術: 一画像処理システムにおける照明の役割と設計の基礎, およびその規格化一, 精密工学会誌 **79**, 11(2013), 1003.
- 古屋 雅章, 吉村 千秋, 山田 博之, 阿部 治, 布施 嘉裕, 小谷 信司, 渡辺 寛望: 画像処理に用いる照明の調整方法に関する研究, 動的画像処理実利用化ワークショップ, DIA2013(2013), 272.
- 古屋 雅章, 中村 聖名, 山田 博之, 阿部 治, 中込 広幸, 布施 嘉裕, 小谷 信司, 渡辺 寛望: 対数スペクトル解析を用いた外観検査における照明パラメータの自動調整法, 動的画像処理実利用化ワークショップ, DIA2014(2014), 121.
- 橋本 雄幸, 篠原 広行: MRI とフーリエ変換, 医療科学社 (2012).
- 篠原 広行, 橋本 雄幸: MRI 画像再構成の基礎, 医療科学社 (2007).
- 橋本 雄幸, 篠原 広行: C 言語による画像再構成の基礎 (画像再構成シリーズ), 医療科学社 (2006).
- D.B.Genny: Determination of optical transfer function by inspection of frequency-domain plot, Journal of Optical Society of America, **63**, 12, (1973), 1571.
- 坂野 盛彦, 末竹 規哲, 内野 英治: 焦点ずれ PSF の推定とその画像復元への応用, ファジィシンポジウム講演論文集, **21**, (2005) 564.
- 坂野 盛彦, 末竹 規哲, 内野 英治: 対数振幅スペクトル上の輝度こう配ベクトル分布を利用したノイズに頑健な焦点ずれ PSF 推定 (画像・映像処理), 電子情報通信学会論文誌, **j90-D**, 10, (2007) 2848.
- 寺澤 章裕, 山田 博之, 阿部 治, 西村 通喜: プラスチック射出成形におけるガス成分付着による外観不良対策の研究 (第一報), 山梨県富士工業技術センター 平成 23 年度業務・研究報告, (2011) 66.