

平成21年 5月 15日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19700160

研究課題名（和文） 信号処理技術を応用した低コストな繊維生産・検査技術の開発

研究課題名（英文） Low cost fabric inspection system based on digital signal processing

研究代表者

福間 慎治（FUKUMA SHINJI）

福井大学・大学院工学研究科・講師

研究者番号：50313565

研究成果の概要：

本研究では信号処理技術を応用した繊維製品の検査技術の開発について検討を行った。繊維をデジタルカメラにより画像へ変換し、これをガボール変換することで、繊維の特徴である糸の間隔や交差角を局所領域で検査し、設計仕様を満たさない箇所を強調することで、製造欠陥を調べることができた。変換に必要なパラメータは理論的に導いた。また、確率モデルを用いた欠陥の自動判別方法を開発した。そして検査技法のハードウェア化についても検討を行った。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,200,000	0	1,200,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,300,000	330,000	2,630,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学，知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：①画像情報処理，②繊維

## 1. 研究開始当初の背景

かつて繊維工業は日本の花形産業の一つであり、福井県においても有力な地場産業の一つであった。しかしながら、人件費の増大や繊維製品全般の低価格化に伴い、日本国内における繊維産業はもはや国際的競争力を失いつつある。世界市場で日本の繊維産業が競争力を維持するためには、高い付加価値や機能を持つ繊維製品を開発するだけでなく、その生産をも低いコストで実現することが重要である。

例えば、高機能繊維の一つである電磁波遮蔽用繊維の場合、遮蔽能力が基準値を満たすためには、繊維を構成する縦糸・横糸の間隔や交差角が、繊維上のいずれの位置でも設計

仕様を厳密に満たしている必要がある。その検査は低コストで行われることが望ましい。また、このような繊維は電化製品や防護服などさまざまな用途に应用が期待されており、生産コストを削減するには、できるだけサイズの大きな繊維を生産し、それを切り出して加工する必要がある。そのためには、大きなサイズの繊維であっても高速に検査可能な技術が不可欠である。

糸欠け、穴あきなどの繊維製品の一般的な欠陥の検査は、従来、人間の目による拡大鏡を用いた目視検査により行われてきた。近年、カメラやスキャナを用いて繊維のデジタル画像を取得し、画像処理・デジタル信号処理技術を応用して自動的に欠陥検査を行

う方法が提案されている．しかしながら，従来の信号処理的手法では，欠陥の有無については可視化できているものの，糸間隔や交差角といった繊維の設計仕様を繊維上のすべての位置で満たしているかどうか，という検査を自動で行うところまでは至っていない．また，製品の自動合否判定についても実現されていない．さらに，これらの処理の高速化についてはまったく検討されていない．

## 2. 研究の目的

本研究の目的は以下の通り：

- (1) 電磁波遮蔽繊維の数学的モデル化による問題の定式化
- (2) 繊維上のすべての位置における設計仕様検査・合否判定技術の開発
- (3) 検査処理の高速化技術の開発

## 3. 研究の方法

目的(1)について，繊維画像の場合，2次元周期的パルスや正弦波でモデル化が可能である．信号処理技術であるウェーブレット変換やガボール変換を用い，その変換結果を加工・処理するが，(1)のモデルを用いて仕様検査のための特別な変換基底を設計する．検査と判定については，(1)によるモデルを用い，繊維検査におけるガボール変換係数の確率密度分布を推定し，その結果を活用する．(3)については，ハードウェア記述言語とプログラム可能な論理デバイスの一つである FPGA を用いて処理のハードウェア実現を行い，検査処理の低コスト化と高速化を図る．

## 4. 研究成果

### (1) 変換基底の設計

ガボール変換を用いる場合，縦糸検査，横糸検査に分けて基底を設計する．このとき変換は1次元となり，

$$g(x, \Omega) = e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} e^{j\Omega x} / \sqrt{2\pi\sigma^2}$$

で与えられる．基底の設計パラメータは中心周波数 $\Omega$ のみとする．欠陥および正常領域に関する係数振幅は，矩形モデルについて，

$$m_R \approx k \cdot \left| \frac{1}{2} + \frac{1}{\pi} S_i \left( \frac{a}{2} \left( \frac{W}{2} + \Omega - \Omega_0 \right) \right) \right|$$

$$m_B \approx \begin{cases} k \cdot \left( 1 - \frac{A}{\pi} \right), & \Omega > \Omega_0 - W/2 \\ k \cdot \frac{A}{\pi}, & \Omega < \Omega_0 - W/2 \end{cases}$$

となることを導いた．ここで $\Omega_0$ は糸ピッチ周波数である．図1に解析結果を示す．

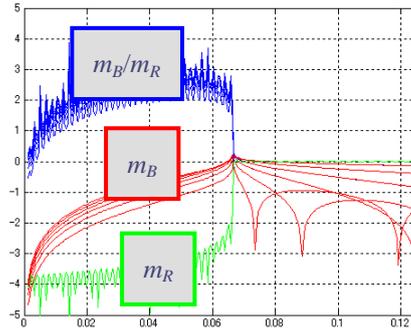


図1 中心周波数 $\Omega$ -係数振幅特性

図1より，振幅比 $m_B/m_R$ をできるだけ大きくするためには，フィルタリング後の正常領域スペクトラムが十分減衰する周波数を中心周波数 $\Omega$ に選ぶべきであることが分かる．フィルタ通過後の正常領域振幅が $D[\text{dB}]$ となる中心周波数は

$$\Omega = \Omega_0 \cdot \left( 1 - \frac{\sqrt{-2 \ln 10}^{D/20}}{\sqrt{-2 \ln 10}^{D/20} + \sqrt{\frac{v^2}{8 \ln 10^{3/2}}}} \right)$$

となる．例えば $v=5\pi$ ， $D=-30[\text{dB}]$ ， $\Omega_0=\pi/4$ のとき， $\Omega=0.468\Omega_0$ を得る．よって，ガボール変換基底の中心周波数は，ピッチ周波数の約1/2に設定するとき，最も欠陥を強調し可視化しやすくすることが導かれた．図2に実際の繊維画像に対する実験結果を示す．

(2) 確率密度関数の推定と検査への応用  
ガボール変換により得られた係数をしきい値処理し，2値化し，欠陥の自動判別を行う．係数振幅値はライス分布に従う．しかし，中心周波数の増加に伴いガウス分布

$$f_G(x_i, \mu, \sigma^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2}}$$

に，減少に伴いレイリー分布

$$f_R(x_i, \sigma^2) = \frac{x_i}{\sigma^2} e^{-\frac{x_i^2}{2\sigma^2}}$$

に近似する．このとき尤度関数は，それぞれ

$$LL_G = -\sum_{i=1}^n \frac{(x_i - \mu)^2}{2\sigma^2} + \log \frac{n}{\sqrt{2\pi\sigma^2}}$$

$$LL_R = -\sum_{i=1}^n \frac{x_i^2}{2\sigma^2} + \sum_{i=1}^n \log \frac{x_i}{\sigma^2}$$

となる．AIC

$AIC(M) = -2 \times MLL(M) + 2 \times k$   
 を用いたモデル判別の結果, (1) で設計したパラメータ  $\Omega = 0.5 \Omega_0$  の場合, レイリー分布で十分近似できることが分かった (図 3, 4 参照). こうして分布関数  $p(x)$  を決定後, 欠陥が生起する期待値を計算し, 2 値化のためのしきい値  $\alpha_L, \alpha_R$  を

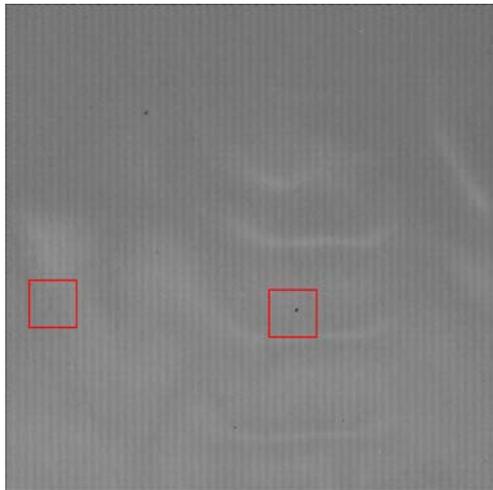
$$\int_{-\infty}^{\alpha_L} p(x) dx > \frac{1}{N}$$

$$\int_{\alpha_R}^{\infty} p(x) dx < \frac{1}{N}$$

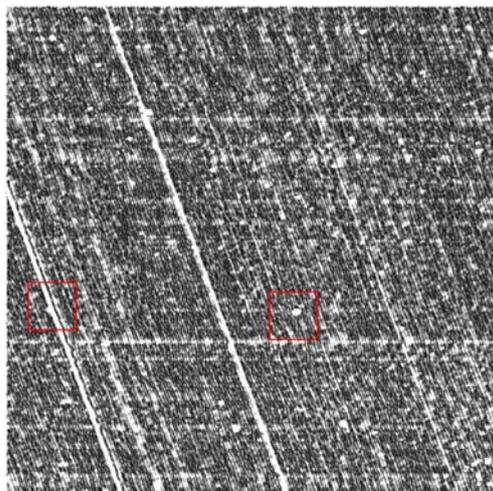
により求める. これにより

$$B(x) = \begin{cases} 1, & \alpha_L < \alpha_N(x) < \alpha_R \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

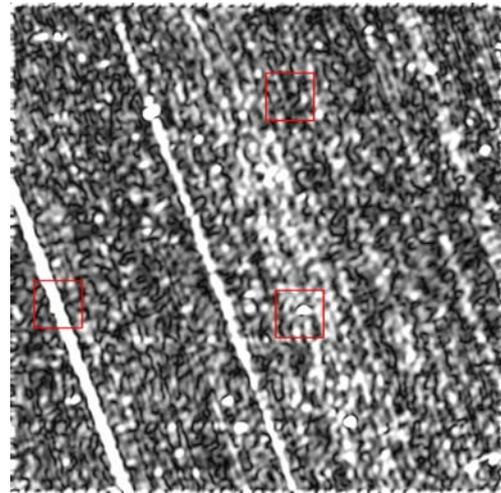
として欠陥検出を行う. 図 5 にしきい値処理結果を示す.



(a)  $\Omega = \Omega_0$



(b)  $\Omega = 0.5 \Omega_0$



(c)  $\Omega = 0.25 \Omega_0$

図 2 欠陥領域の可視化

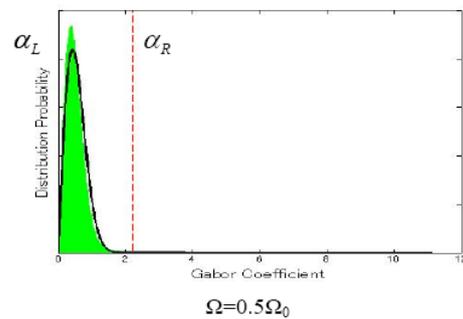
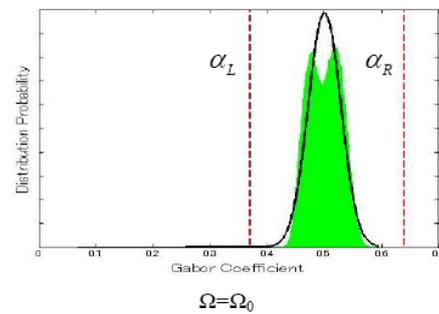


図 3 係数振幅分布

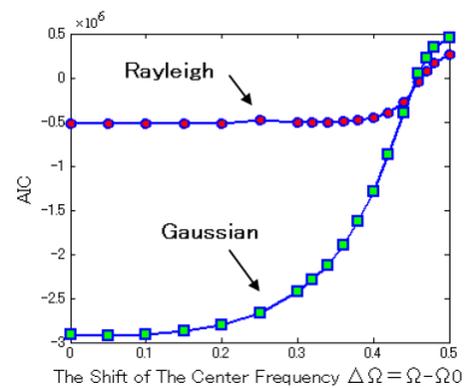


図 4 AIC を用いたモデル判別

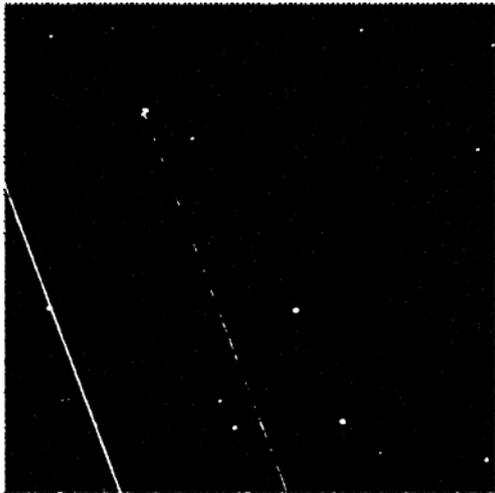


図5 2値化

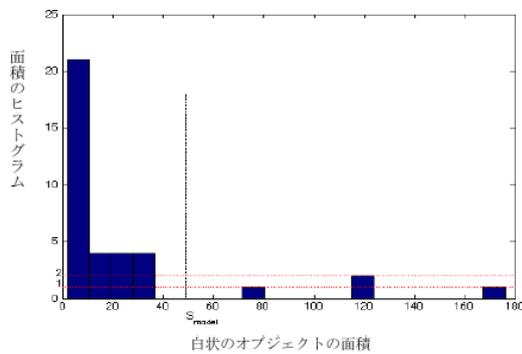


図6 面積による欠陥分類

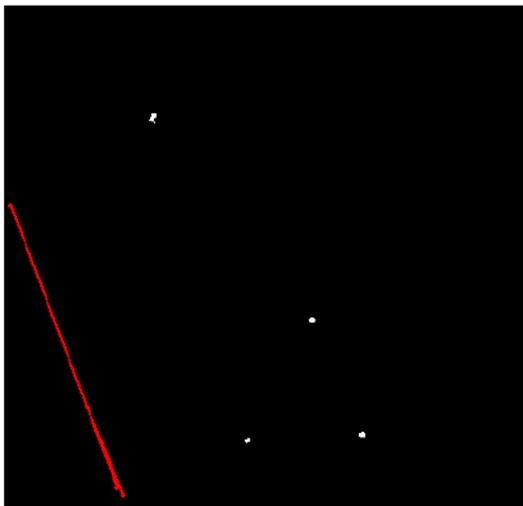


図7 欠陥判別結果

さらに、2値化結果を膨張および細線化処理し、面積により欠陥の種類（糸ずれまたは穴あき）を自動的に識別する手法を提案した（図6参照）。図7に検出例を示す。赤線が検出した糸ずれ欠陥を示す。白点は穴あき欠陥である。

(3) 検査処理のハードウェア化

ガボール変換を空間領域で直接ハードウェア実現するよりも、高速フーリエ変換を応用し、周波数領域で実現する方がより高速に実行可能である。そこで、汎用の小セルサイズのFPGAでも動作するコンパクトな高速フーリエ変換（FFT）モジュールおよびディスプレイ表示モジュールを開発した（図8参照）。また、FPGAへの汎用的な画像入力を可能にするJTAGモジュールの開発を行った。

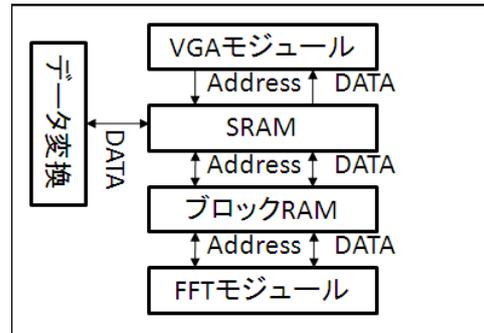


図8 設計モジュールのブロック図

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔学会発表〕（計4件）

①福間慎治, Gabor変換を用いたメッシュ繊維の欠陥検査, ふくいITフォーラム2008, 2008/10/23, 福井市

②近藤弘侑, 福間慎治, FFTを用いたメッシュ素材検査装置のディスプレイ表示回路の設計, 平成19年度北陸地区学生による研究発表会, 2008/3/8, 鯖江市

③Wu Di, Shinji Fukuma, et. al., Binarization Technique of Gabor Coefficient for Mesh Material inspection, International Workshop on Advanced Image Technology 2008, 2008/1/8, Taiwan

④Wu Di, Shinji Fukuma, et. al., Recognition of Mesh Material Defects Based on Gabor Transform, 第22回信号処理シンポジウム, 2007/11/7

6. 研究組織

(1) 研究代表者

福間 慎治 (FUKUMA SHINJI)  
福井大学・大学院工学研究科・講師  
研究者番号：50313565

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし