

웨이블릿 다해상도 분석에 의한 디지털 이미지 결점 검출 알고리즘

김경준 · 이창환 · 김주용[†]

송실대학교 유기신소재·파이버공학과

A Defect Inspection Algorithm Using Multi-Resolution Analysis based on Wavelet Transform

Kyungjoon Kim, Changhwan Lee and Jooyong Kim[†]

Department of Organic Materials and Fiber Engineering, Soongsil University

(Received: December 24, 2008/Revised: February 10, 2009/Accepted: February 18, 2009)

Abstract— A real-time inspection system has been developed by combining CCD based image processing algorithm and a standard lighting equipment. The system was tested for defective fabrics showing nozzle contact scratch marks, which were one of the frequently occurring defects. Multi-resolution analysis(MRA) algorithm were used and evaluated according to both their processing time and detection rate. Standard value for defective inspection was the mean of the non-defect image feature. Similarity was decided via comparing standard value with sample image feature value. Totally, we achieved defective inspection accuracy above 95%.

Keywords: Digital Textile Printing(DTP), inspection system, real-time image processing, multi-resolution analysis

1. 서 론

DTP(Digital Textile Printing)란 디지털 이미지를 섬유패션CAD로 활용하여 디자인을 한 후 종이에 인쇄하는 방식과 마찬가지로 다양한 특수 전처리가 된 섬유원단에 잉크화 된 프린팅 염료를 이용하여 섬유 전용프린터로 디지털화된 디자인 패턴을 출력하는 것을 의미한다. 디자인부터 출력까지 전체 공정을 컴퓨터로 처리하여 기존의 프린팅 공정을 획기적으로 단축한 시스템이다. 디자인을 바로 제품화 할 수 있어서 다품종 소량생산과 소비자의 욕구에 맞춘 신속 대응이 가능한 효율적인 프린팅 방식이다¹⁾. DTP를 이용한 디지털 날염의 결점은 크게 두 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 DTP를 이용한 직물 출력 시 프린터 자체적으로 검출 가능한 결점이고 두 번째는 프린터 자체적으로 검출이 불가능한 결점이다. 첫 번째 경우의 결점으로는 프린터의 노즐막힘 또는 잉크부족 등의 결점으로 프린터 자체적으로 경고 및 작동정지가 가능하다.

두 번째 경우의 결점으로는 Fig. 1과 같이 직물과 노즐의 부딪침, 염료의 번짐 또는 발색 불균일 등의 결점이다. 이러한 결점의 검출을 위하여 결점 검출 시스템이 필요하다. 기존의 제품의 검사는 실시간 육안 판정 방법이 사용되고 있다. 이러한 육안 판정 방법은 숙련된 검사자의 인건비에 의한 제조가의 상승을 야기하고, 주관적이며 시간이 많이 소비되어 실시간 반응이 어렵다²⁾. 이런 점을 개선하기 위하여 디지털 영상 처리를 이용한 결점 검출 알고리즘이 필요하다.

디지털 영상 처리를 이용하여 직물의 결점의 검출하기 위한 기존의 연구들로는 면의 잡물 평가⁵⁾, 염색품위 평가⁶⁾, 부직포의 균제도 평가⁷⁾ 및 직물의 결점검출³⁾ 등의 직물 자체의 결점이나 단색의 염색직물의 평가를 위한 방법이 있었고 형태학적 영상처리를 이용한 결점의 검출 알고리즘⁸⁾, NN(Neural Network) model을 이용한 결점 검출⁹⁾, 색상의 히스토그램을 이용한 결점 검출¹⁰⁾ 등이 연구되었다. 하지만 다양한 색상 및 패턴 표현능력을 가지는

[†]Corresponding author. Tel.: +82-2-820-0620; Fax.: +82-2-817-8346; e-mail: jykim@ssu.ac.kr

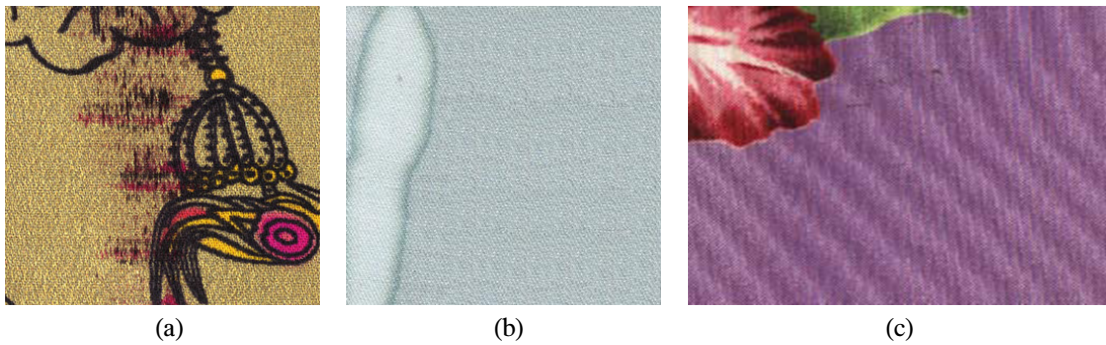


Fig. 1. Defects of DTP fabrics.

DTP 출력 직물의 결점을 검출하기 위해서는 다양한 색상과 패턴을 수용하면서 영상의 특징만을 추출할 수 있는 새로운 검출 알고리즘이 요구되며 관련된 연구가 필요한 실정이다. 따라서 디지털 영상처리 기술 중 웨이블릿 변환의 다해상도 분석을 이용하여 DTP 직물의 결점을 검출할 수 있는 알고리즘을 제시한다.

2. 이 론

2.1 CIELAB 색공간

1976년 국제조명위원회(CIE ; the Commission Internationale de l'Eclairage)는 당시 40여 개의 색차식이 사용되던 상황에 대해 표준 색차식으로서 CIE 1976 L*a*b*(약칭 CIELAB)를 색차식을 제안하였다¹¹⁾. 당시 기존의 산업이 Lab 타입의 색공간에 익숙해 왔기 때문에 섬유, 페인트 프린트 잉크 등의 여러 산업에 광범위하게 사용되었다. 카메라를 통해 수집된 색의 표시는 Red, Green, Blue의 RGB색 공간으로 표시하여 왔지만 이러한 색 공간에서는 인간이 느끼는 두 색 간의 계산된 수치로 나타내는 색차가 색상에 따라서 많은 차이를 보이는 반면 CIE LAB은 균일한 색 공간 좌표로서 눈과 매우 근사한 차이를 보여준다. 따라서 현재까지도 전 세계적으로 색물체를 측정하는데 있어서 모든 산업분야에서 CIELAB 표색계가 가장 보편적으로 사용되고 있다. CIELAB 표색계는 Fig. 2와 같이 L값은 명도값, a는 그린과 레드, b는 블루와 옐로우 값을 나타낸다. 카메라를 통해 수집된 GRB 영상을 CIELAB 색좌표로 변환하는 계산은 식(1), (2)와 같다.

2.2 웨이블릿 변환(Wavelet Transform)

먼저 신호를 분석하는 가장 일반적인 기법인 푸리에 변환(Fourier Transform)은 시간의 함수로 나

타난 값을 주파수의 함수로 바꾸어주는 기술이다.

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2.7689 & 1.7517 & 1.1302 \\ 1 & 4.5907 & 0.0601 \\ 0 & 0.0565 & 5.5943 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} R \\ G \\ B \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} L^* &= 116f(Y/Y_n) - 16 \\ a^* &= 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \\ b^* &= 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)] \end{aligned} \quad (2)$$

$$\text{where } f(t) = t^{1/3} \quad \text{if } t > 0.008856, \\ \text{otherwise } f(t) = 7.787t + 16/116$$

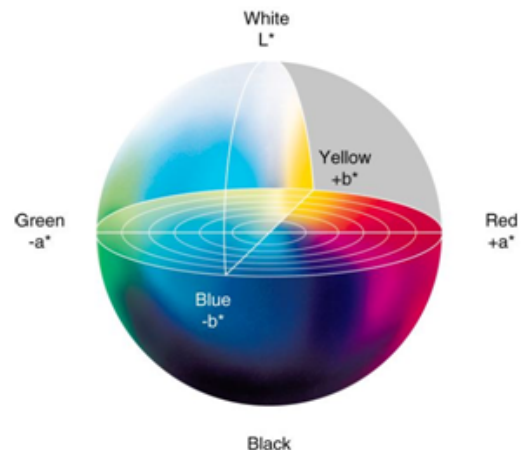


Fig. 2. CIELAB color space.

즉, 시간에 따라 변화하는 신호를 주파수가 다른 여러개의 사인파가 중첩된 것으로 보고 각각의 사인파의 크기를 구하는 방법이다. 이 방법은 주파수가 다른 여러개의 사인파가 섞이는 전기신호를 분석하는데 특히 유용하며 신호 중에서 우리가 원하지 않는 주파수의 신호만 제거해서 노이즈를 줄이는데 사용된다. 웨이블릿은 좀 더 발전된 형태의 푸리에 변환라고 할 수 있다. 무한히 반복되는 사인파를 기본파형으로 이용하여 주파수만을 변화시키며 상관관계를 밝히는 푸리에 변환에 비해 웨이블릿 변환은 한 파장의 파형을 기본파형으로 하여

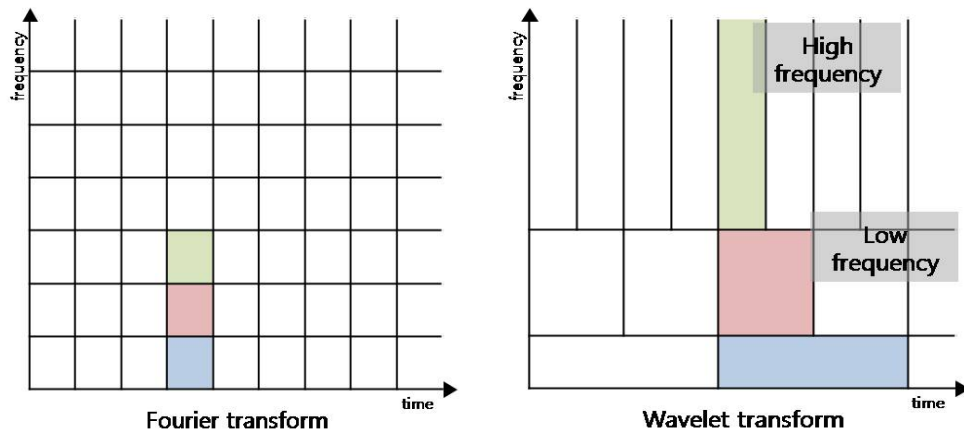


Fig. 3. Fourier transform and wavelet transform.

그 크기와 위치를 변화시켜가며 상관관계를 밝히는 기술이다. Fig. 3은 푸리에 변환과 웨이블릿 변환을 비교한 것이다.

3. 실험

3.1 측정기기

Toshiba Teli사의 FireDragon[®] CSFV36CC3(10 24x768, Color) CCD카메라를 이용하여 이미지를 수집하였다. 조명에 의한 수집된 이미지의 빛의 불균일을 최대한 제거하기 위하여 별도의 조명장치를 사용하였다. 조명에 사용된 광원은 Mecbeth사의 X-rite The Judge[®] II Viewing Booth(D65 light)이다. 측색은 Fig. 4와 같이 폭 200mm의 샘플에 광원을 위에서 45도 각도로 조사하고 수직으로 설치된 CCD카메라를 이용하여 이미지를 수집하였다⁸⁾. 디지털 영상 처리는 Core2Duo 2.4Ghz의 CPU, 2G ram, 200GB의 하드의 컴퓨터 환경에서 Mathwork사의 MATLAB[®]을 이용하였다.

3.2 실험방법

CCD 카메라를 통해 수집된 이미지는 Fig. 5와 같이 RGB 색공간을 가진다. 사람의 눈이 색을 인식할 때 어떤 색을 Red, Green, Blue의 함량이 얼마인지로 인식하지 않는다. 따라서 보다 쉽고 직관적인 디지털 영상처리를 위하여 수집된 영상의 색공간을 바꿀 필요가 있다. 또한 이미지의 결점 분석을 위해서는 알고리즘에 따라 색 수반 정보는 유지한 채 명도 이미지에 대한 다양한 이미지 분석 처리과정이 필요하다. 따라서 RGB색공간을 CIELAB 색공간으로 변환하여 명도 이미지를 추출한다.

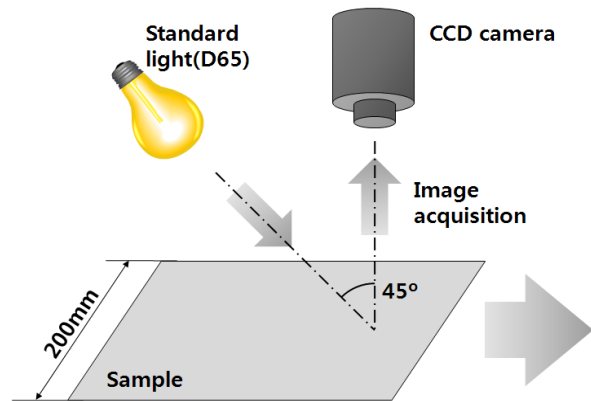


Fig. 4. Schematics of the measurement system used.

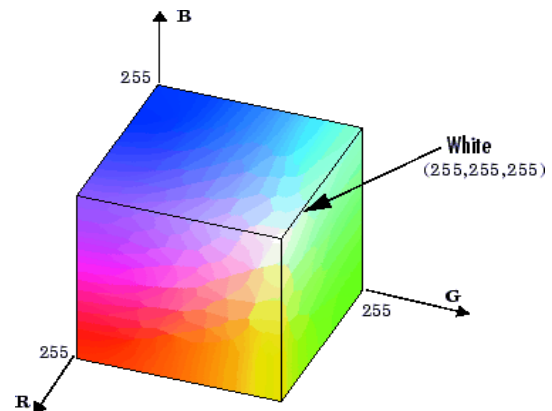


Fig. 5. RGB color space.

변환된 이미지에서 밝기 성분인 명도만을 추출하여 gray scale 이미지를 얻을 수 있다. 얻어진 gray scale 이미지는 히스토그램 평활화를 이용하여 조명에 의한 효과를 제거하였다.

웨이블릿 변환을 영상에 적용하면 영상을 다음의 approximate, horizon, vertical, diagonal 영상으로 분해된다.

Table 1. Energy of wavelet packet coefficients

0	350.8901	550.636	214.9255
57.6116	114.5062	37.46153	66.49161
102.8749	45.17975	231.2309	89.14194
19.97323	26.34177	24.8328	39.15247

영상을 다해상도 분석을 통하여 2레벨 분해를 하면 영상은 1레벨에서 네 개의 영상으로 분해되면서 각각 원 영상 해상도의 1/2 해상도를 가지는 네 개의 대역으로 분해되고 2레벨로 분해 시 1레벨에서 분해된 approximate 영상을 한 번 더 분해한다. 따라서 하나의 영상을 그 영상의 특징은 유지한 채 다양한 해상도로 분해하는 것을 다해상도 분석이라 한다.

전 처리 과정을 통과한 gray scale 영상을 웨이블릿 변환을 통해 다해상도 분해하였다.

본 실험에서는 웨이블릿 변환을 위하여 Daubechies 함수를 사용하여 4레벨까지 분해하였다. Fig. 6은 수집된 무결점 이미지를 웨이블릿 변환의 다해상도 분석을 통해 변환한 영상이다.

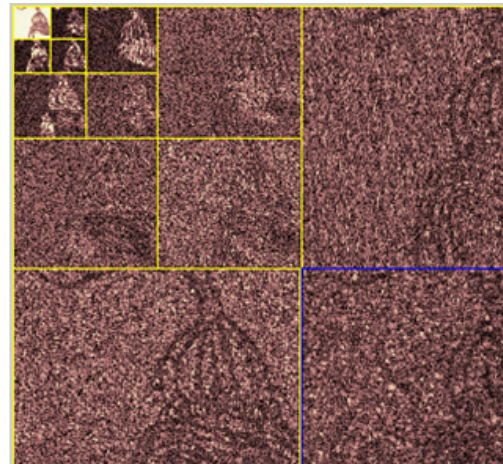


Fig. 6. Multi-resolution image of DTP fabric.

Fig. 7는 변환된 이미지의 각각 해상도에 따른 계수를 주파수로 나타낸 것이다. 이 계수를 비교할 수 있는 수치 데이터로 나타내기 위하여 주파수의 에너지 값을 다음의 식(3)에 따라 구하였다.

$$E(s_j) = -s_j^2 \log(s_j^2) \quad (3)$$

이때 s 는 각각 계수의 signal 이고 j 는 분해 레벨이다. Table 1은 각각 분해된 이미지들의 계수의 에너지 값을 나타낸 것이다.

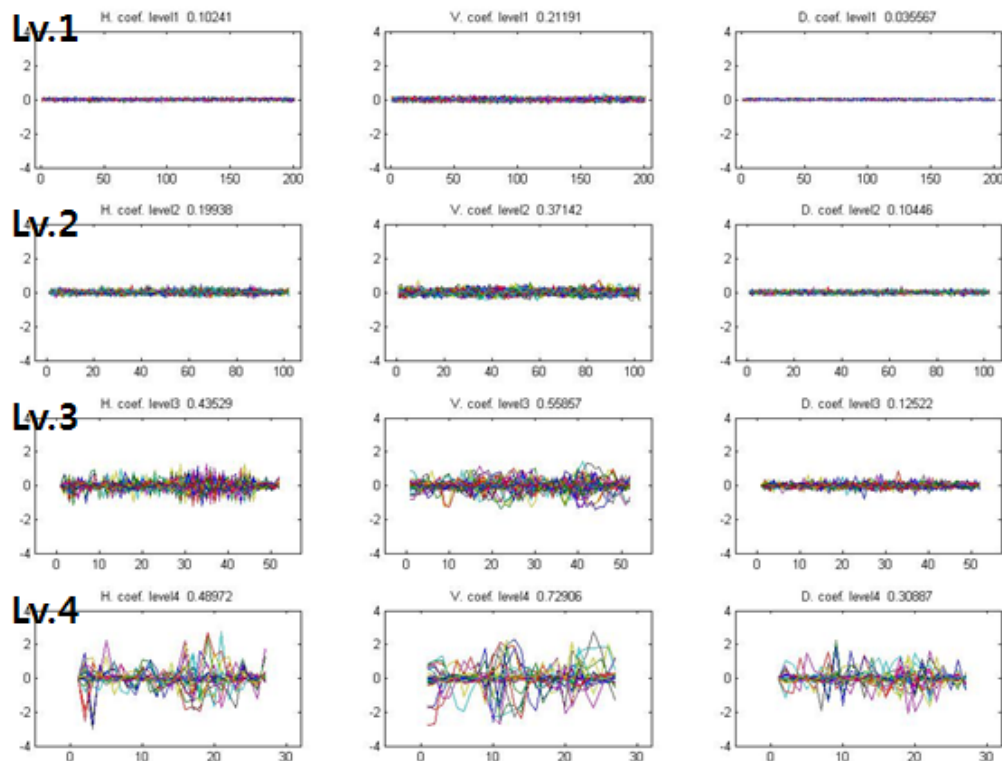


Fig. 7. Coefficients of MRA image.

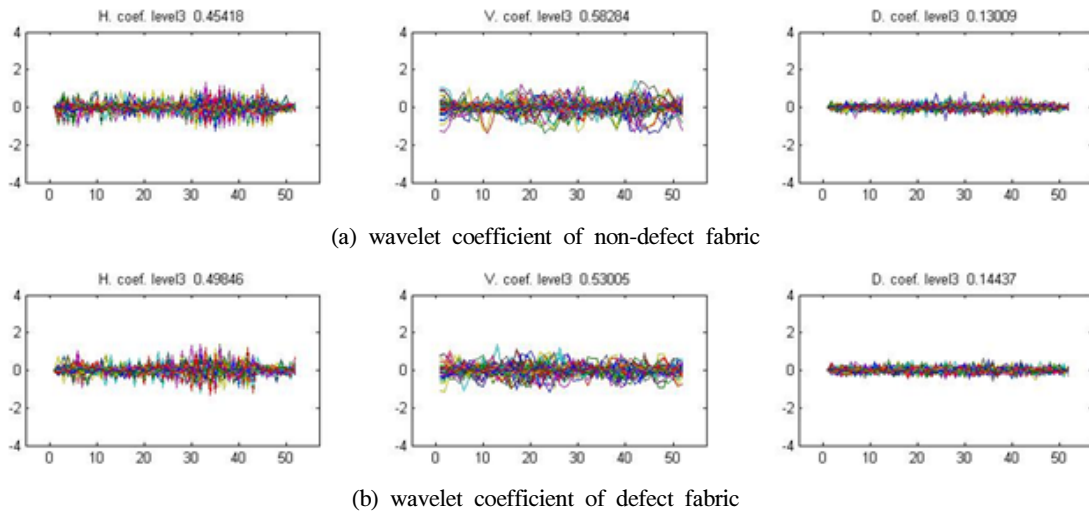


Fig. 8. Three level coefficients of MRA.

4. 결 과

수집된 직물 영상간의 유사성 평가를 위한 기준 값을 구하기 위하여 다해상도 분석을 통해 20개의 무결점 직물의 영상의 특징 값의 평균을 구하였다. 구해진 평가 기준 값과 샘플 직물의 수집된 영상의 특징 값을 식(4)를 이용하여 구한다. 여기서 I_0 은 무결점 이미지에서 구한 평가 기준 값이고, I 는 샘플 직물의 영상의 특징 값이다.

$$Similarity = \left(1 - \left(\frac{|I_0 - I|}{I_0} \right) \right) \times 100 \quad (4)$$

결점이 없는 샘플 직물에서 수집된 영상의 특징 값과의 유사성 평가를 각 결점 검출 알고리즘 당 20회 반복 실시하여 결점을 평가하는 유사성의 기준을 결정하였다.

다해상도 분석을 통해 4레벨로 영상을 분해했을 경우 영상의 특징이 가장 잘 나타나는 3레벨의 horizon, vertical, diagonal 값을 결점 검출에 사용하였다. 평가 기준 값은 Table 2와 같고 무결점 직물 영상을 이용하여 20회 반복하여 유사성 평가를 실시한 결과 95% 이하일 경우 결점 영상으로 판정하였다. Fig. 8은 샘플 직물로부터 수집된 무결점 영상과 결점 영상의 계수 중 3레벨만을 나타낸 것

Table 2. Standard value of MRA algorithm

	horizon	vertical	diagonal
Values	0.43529	0.55857	0.12522

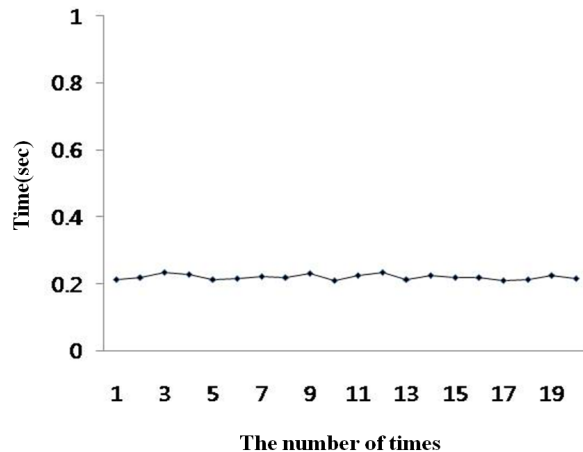


Fig. 9. Measurement speed.

이다. 이 두 샘플을 이용하여 유사성을 분석한 결과는 Table 2와 같다. horizon, vertical, diagonal 세 값 모두 평가 기준인 95%에서 결점이 검출 가능함을 볼 수 있다.

DTP 출력 직물의 결점 검출을 위한 시스템의 구현을 위해서는 DTP의 특성인 빠른 생산 속도와 신속대응을 위하여 빠른 검출 속도가 요구된다. 따라서 위에서 제시된 다해상도 분석 알고리즘의 1회 검출 속도를 측정하였다. 이에 Fig. 9와 같이 알고리즘의 측정 속도는 0.5초 이하의 빠른 속도를 보여주었다.

5. 결 론

본 실험에서는 DTP에서 출력되는 직물의 결점을 실시간으로 검출하기 위한 결점 검출 알고리즘의 개발을 위하여 웨이블릿 변환의 다해상도 분석

알고리즘을 제시하였다. 직물의 영상을 받아들이는 특성상 권취 시 장력에 의해 똑같은 패턴이라도 약간의 늘어짐이나 틀어짐이 발생할 수 있기 때문에 수집된 직물 영상에 약간의 오차가 발생할 수 있다. DTP를 위한 결점 검출 알고리즘은 이런 영상의 오차에 대한 관용성을 가지면서도 직물에 출력된 패턴의 결점에 대해서는 민감하게 검출이 가능해야 한다. 따라서 영상의 특징을 유지하면서 세밀하게 분해하는 웨이블릿 변환을 이용한 다해상도 분석 결점 검출 알고리즘을 사용하였다.

다해상도 분석을 이용한 결점 검출 알고리즘은 영상의 이미지를 다해상도의 approximate, horizon, vertical, diagonal의 네 가지의 영상으로 분해함으로써 95%의 이미지 유사성을 기준으로 결점을 검출할 수 있었다. 그리고 상당히 빠른 처리속도를 가졌다. 이에 본 연구의 목표로 하는 DTP 출력 직물의 결점 검출에 알맞은 알고리즘으로 판단된다.

본 실험에서 제시한 DTP 결점 검출 알고리즘 뛰어난 결점 검출 성능을 보여주었다. 웨이블릿을 이용한 다해상도 분석 알고리즘은 정확하고 빠른 검출 능력을 보여주었다. 이러한 검출 능력은 DTP 직물뿐만이 아닌 일반 염색 직물의 품위 평가 및 결점 검출에도 응용 가능할 것이다.

감사의 글

본 연구는 숭실대학교 교내연구비 지원으로 이루어졌다.

참고문헌

1. Eom Kyoung Hee, A Study on the Development Plan for Textile Fashion Industry Through DTP, *Journal of the Korean Society of Design Culture*, **12**(4), 118-130(2006).
2. Sung Hoon Jeong, Hyung Taek Choi, and Cheol Jae Hong, Detecting Fabric Defects Using Image Processing(I), *Journal of Korean Fiber Society*, **37**(1), 34-43(2000).
3. B. Xu, C. Fang, and R. Huang, Chromatic image analysis for cotton trash and color measurements, *Textile Research Journal*, **67**(12), 881-890(1997).
4. Jong Jun Kim, A Study on the Evaluation of Appearance of Solid-shade Fabrics, *Journal of Korean Fiber Society*, **32**(11), 1047-1055(1995).
5. Sung Hoon Jeong, Si Hwan Kim, A Study on the Evaluation of Evenness of the Areal Density of Nonwoven Fabrics(II), *Journal of Korean Fiber Society*, **35**(11), 702-708(1998).
6. D. Heggie, R. H. Wardman, M. R. Luo, A comparison of the colour-differences computed using the CIE94, CMC(l:c) and BFD(l:c) formula, *Journal of the Society of Dyers and Colourists*, **112**, 264-268(1996).
7. Sun-Kyoo Hwang, Whoi-Yul Kim, An Efficient Computation Method of Zernike Moments Using Symmetries of the Basis Function, *The Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, **31**(5), 563-569(2004).
8. Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods and Steven L. Eddins, "Digital Image Processing using MATLAB", Prentice-Hall, 2003.
9. Byeong-Mook Chung, Che-Seung Cho, and Moo-Tin Park, 2004 IEEE International Conference on Industrial Technology, pp.1100-1105, 2004.
10. J. Luo, Z. Zhang, Automatic colour printing inspection by image processing, *Journal of Materials Processing Technology*, **139**, 373-378(2003).
11. "Colorimetry", 2nd Eds, CIE Publication No. 15-2 (Paris, Central Bureau of CIE), 1986.