

논문 2015-52-8-8

# Fourier 변환 변이계수를 이용한 미디언 필터링 영상의 포렌식 판정

(Forensic Decision of Median Filtering Image Using a Coefficient of  
Variation of Fourier Transform)

이 강 현\*

(Kang Hyeon RHEE<sup>©</sup>)

## 요 약

디지털 영상의 배포에서, 위·변조자에 의해 영상이 변조되는 심각한 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 영상의 Fourier 변환 변이계수를 이용한 미디언 필터링 (Median Filtering: MF) 영상의 포렌식 판정 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘에서, 영상의 각 수평, 수직라인의 Fourier 변환 (Fourier Transform: FT)을 하고, 이웃 라인과의 변이계수를 기반으로 하여 MF 검출 (Median Filtering Detection: MFD)을 위한 10 Dim. 특징벡터를 정의한다. 이는 MF 검출기의 SVM (Support Vector Machine) 학습에 사용된다.

제안된 미디언 필터링 검출 스킴은 동일 10 Dim. 특징벡터의 MFR (Median Filter Residual)과 Rhee의 MF 검출 스킴과 비교하여 원영상, JPEG (QF=90), Down 스케일링 (0.9) 그리고 Up 스케일링 (1.1) 영상에서는 성능이 우수하며, Gaussian 필터링 (3×3) 영상에서는 성능이 일부 높았다. 제안된 알고리즘은 성능평가 전체항목에서 민감도 (Sensitivity; TP: True Positive rate)와 1-특이도 (1-Specificity; FP: False Positive rate)에 의한 AUC (Area Under ROC (Receiver Operating Characteristic) Curve)가 모두 1에 수렴하여 'Excellent (A)' 등급임을 확인하였다.

## Abstract

In a distribution of digital image, there is a serious problem that is the image alteration by a forger. For the problem solution, this paper proposes the forensic decision algorithm of a median filtering (MF) image using the feature vector based on a coefficient of variation (c.v.) of Fourier transform. In the proposed algorithm, we compute Fourier transform (FT) coefficients of row and column line respectively of an image first, then c.v. between neighboring lines is computed. Subsequently, 10 Dim. feature vector is defined for the MF detection.

On the experiment of MF detection, the proposed scheme is compared to MFR (Median Filter Residual) and Rhee's MF detection schemes that have the same 10 Dim. feature vector both. As a result, the performance is excellent at Unaltered, JPEG (QF=90), Down scaling (0.9) and Up scaling (1.1) images, and it showed good performance at Gaussian filtering (3×3) image. However, in the performance evaluation of all measured items of the proposed scheme, AUC (Area Under ROC (Receiver Operating Characteristic) Curve) by the sensitivity and 1-specificity approached to 1 thus, it is confirmed that the grade of the performance evaluation is rated as 'Excellent (A)'.

**Keywords:** Median Filtering Forensic, Median Filtering Detection, Median Filter Residual (MFR),  
Fourier transform, Coefficient of Variation (c.v.).

\* 평생회원, 조선대학교 전자공학과/창의공학디자인융합학과

(Chosun University, Dept. of Electronics Eng. /School of Design and Creative Eng.)

© Corresponding Author (E-mail: khrhee@chosun.ac.kr)

※ 이 논문은 2015년도 산업통상자원부의 '창의산업융합 특성화 인재양성사업'의 지원을 받아 연구되었음.

(과제번호 N0000717)

Received ; May 25, 2015

Revised ; June 26, 2015

Accepted ; July 24, 2015

## I. 서 론

인터넷 보급과 스마트 폰 사용의 급증으로 SNS (Social Network Service)를 통한 디지털 콘텐츠의 up-down 로드 및 배포도 증가하고 있다. 콘텐츠의 위·변조자는 제작 및 저작권자의 정보를 제거하고 불법배포를 시도하기 위해, 디지털 원 영상의 위·변조 방법으로 필터링, 영상압축, 회전, 모자이크 편집, 스케일링 등 다양한 방법들을 사용한다. 미디언 필터링 (Median Filtering: MF)은 원 영상의 에지정보가 보존되면서 잡음제거를 할 수 있어서, 영상의 위·변조자가 선호하는 변조방법이다<sup>[1~4]</sup>.

Xiangui Kang, Matthew C. Stamm, Anjie Peng과 K. J. Ray Liu<sup>[4]</sup>는 MF 포렌식에서, MFR (Median Filter Residual)의 통계적 특성을 얻기 위하여 AR (Autoregressive) 모델을 사용하여 AR 계수 10개를 특징벡터 10 Dim.으로 정의하였다. 그리고 Rhee<sup>[3]</sup>는 영상 픽셀의 주위 경사도를 AR 모델링으로 AR 계수를 특징벡터 6 Dim.으로 구성하고, 경사도를 Poisson 방정식의 해를 이용하여 재구성 영상을 만들어 원영상과의 차신호의 파라미터 일부를 특징벡터 4 Dim.으로 구성하여 MF 검출의 특징벡터를 10 Dim.으로 정의하였다. 이들 두 스킴은 현존하는 MF 검출에서 가장 작은 길이의 특징벡터를 사용한다.

본 논문에서는 [3]과 [4]의 MF 검출 특징벡터 길이와 같은 새로운 MF 검출의 알고리즘을 제안한다. 영상의 각 수평, 수직라인의 Fourier 변환 (Fourier Transform: FT)의 계수를 구하고 전체 수평, 수직성분의 변이계수 (Coefficient of Variation: c.v.)의 평균치에서 10 Dim.의 특징벡터를 정의하여 MF 분류의 SVM에서 학습이 된다. 원 영상과 질의영상의 MF 분류에 의한 TP (True Positive)와 FN (False Negative)을 산출하여, 변조된 영상의 MF 포렌식 판정을 한다. TP와 FN에 따른 영상의 MF 판정의 민감도 (Sensitivity)와 1-특이도 (1-Specificity)에 의한 AUC (Area Under ROC (Receiver Operating Characteristic) Curve)를 산출하여 제안된 MF 검출 스킴의 성능평가를 한다.

본 논문의 구성은 II장에서 MFR과 Rhee's MF 검출을 간략하게 소개하고, III장에서는 MF으로 변조된 영상의 포렌식 판정을 위한 제안된 알고리즘을 기술한다. 그리고 IV장에서 변조된 영상의 MF의 판정 실험결과

의 검토와 성능평가를 하고 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 이론적 배경

### 1. MFR

Xiangui Kang 등이 제안한 MFR<sup>[4]</sup>은 원 영상과 원 영상의 MF된 영상의 차신호를 자기회귀 (Autoregressive: AR) 모델로 AR 계수를 산출하고, 이를 MFR의 특징벡터로 사용한다.

식 (1)은 원영상  $y$ 와 원영상의 MF 영상  $z$ 의 차신호  $d$ 를 구한다.

$$d(i, j) = MF_w(y(i, j)) - y(i, j) = z(i, j) - y(i, j) \quad (1)$$

여기서  $(i, j)$ 는 영상의 픽셀좌표,  $w$ 는 MF의 윈도우 사이즈이다.

차영상  $d$ 는 수평 ( $r$ )의 평균과 수직 ( $c$ )의 평균값이 AR 계수  $a_k^{(r)}$ 과  $a_k^{(c)}$ 로 나타나는데

$$a_k^{(r)} = AR(\text{mean}(d^{(r)})) \quad (2)$$

$$a_k^{(c)} = AR(\text{mean}(d^{(c)})) \quad (3)$$

$$a_k = (a_k^{(r)} + a_k^{(c)})/2 \quad (4)$$

여기서  $k$ 는 AR 차수값으로  $1 \leq k \leq p$ 이며  $p$ 는 최대 차수이다.

그리고  $d$ 는 (5), (6)으로 재구성된다.

$$d(i, j) = - \sum_{q=1}^p a_k^{(r)} d(i, j-q) + \epsilon^{(r)}(i, j), \quad (5)$$

$$d(i, j) = - \sum_{q=1}^p a_k^{(c)} d(i-q, j) + \epsilon^{(c)}(i, j) \quad (6)$$

여기서  $\epsilon^{(r)}(i, j)$ 과  $\epsilon^{(c)}(i, j)$ 은 수평, 수직의 예측오차이다.

### 2. Rhee의 MF 검출 특징벡터

Rhee의 MF 검출<sup>[3]</sup>은 영상 픽셀 주위의 수평, 수직 경사도 (Gradient)에 대한 자기회귀 모델의 AR 계수를 구한다. 그리고 경사도는 Poisson 방정식 해를 이용하여 재구성 영상이 되고 재구성 영상  $z$ 와 원영상  $y$ 와의 차신호  $d$ 를 구한다. MF 검출을 위한 특징벡터는 AR

계수와 차신호로 구성된다.

영상픽셀의 수평, 수직의 경사도  $Gx(i,j)$ 와  $Gy(i,j)$ 는 식 (7)과 (8)로 산출되며

$$Gx(i,j) = y(i,j+1) - y(i,j), \quad (7)$$

$$Gy(i,j) = y(i+1,j) - y(i,k) \quad (8)$$

이의 AR 계수는

$$a_k^{(r)} = AR(mean(G_x)) \quad (9)$$

$$a_k^{(c)} = AR(mean(G_y)) \quad (10)$$

이다. 재구성 영상은

$$z = f(\nabla^2 \Phi) \cdot (G_x, G_y) \quad (11)$$

이며, 여기서  $f(\cdot)$ 은 Poisson 방정식의 해이고 차신호는

$$d = y - z \quad (12)$$

이다.

특징벡터는 (4)에 의한 (9)와 (10)의 평균값 (0차~5차의 AR 계수: 6 Dim.으로 구성)과 (12)의 파라미터 일부 (1차~4차의 4 Dim.으로 구성)로 정의된다.

### III. 영상 포렌식 판정의 제안된 특징벡터와 알고리즘

본 논문에서 제안하는 MF 검출 알고리즘의 특징벡터는 현존의 SoA (State of the Art)[4-8] 중에서 특징벡터의 수가 가장 작은 MFR[4]과 [3]과 같이 10 Dim.으로 정의한다. MF 영상은 필터링 윈도우 크기 범위의 중간 픽셀값이 윈도우의 중간 픽셀위치의 값으로 대체된다. 그러므로 각 수평, 수직 픽셀성분을 1차원 신호로 다루어서 그 변화값을 주파수 영역으로 처리할 수 있다.

영상  $I$ 의 각 수평  $r$ , 수직  $c$  라인의 Fourier 변환계수  $F_{coeff}$ 는 식 (13)과 (14)이다.

$$F_{coeff}^{(r)} = FT(I_r) \quad (13)$$

$$F_{coeff}^{(c)} = FT(I_c) \quad (14)$$

MF 영상의 각 픽셀  $(x,y)$ 는 주위픽셀  $x \pm \lfloor (w/2) \rfloor$ ,  $y \pm \lfloor (w/2) \rfloor$  ( $w$ 는 윈도우 크기)에서 중간값을 취하므로, 영상의 각 수평, 수직성분의 Fourier 계수의 변화값은 (15)와 (16)과 같이 이웃하는 수평, 수직성분과의 변이계수로 계산이 되며, 이들 수평, 수직의 변이계수 평균 (17)로부터 0~9차까지를 MF 검출의 특징벡터 10 Dim.으로 정의한다.

$$Var^{(r)} = abs((F_{coeff}^{(r-1)} - F_{coeff}^{(r)}) + (F_{coeff}^{(r+1)} - F_{coeff}^{(r)})) \quad (15)$$

$$Var^{(c)} = abs((F_{coeff}^{(c-1)} - F_{coeff}^{(c)}) + (F_{coeff}^{(c+1)} - F_{coeff}^{(c)})) \quad (16)$$

$$Feature Vector = (mean(\forall Var^{(r)}) + mean(\forall Var^{(c)}))/2 \quad (17)$$

본 논문에서 제안된 MF 검출 알고리즘 구현 흐름도는 그림 1과 같고, 동작 설명은 다음과 같다.

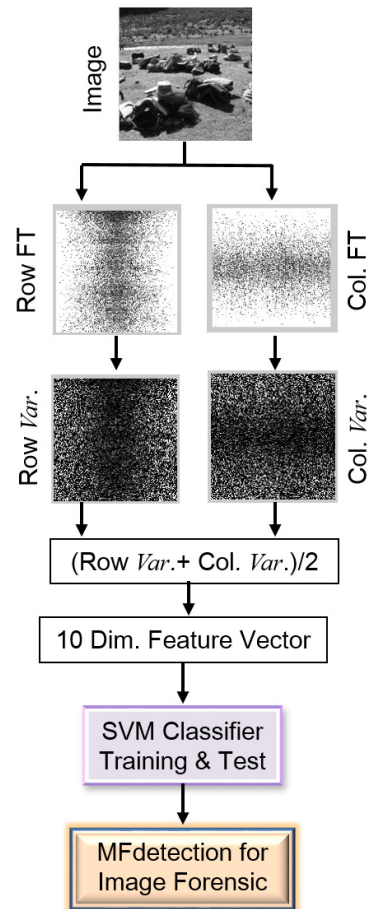


그림 1. 제안된 MF 검출 알고리즘  
Fig. 1. Proposed MF detection algorithm.

- [Step 1] 원영상의 각 수평, 수직라인의 Fourier 변환계수  $f_{coeff}$ 를 구한다.
- [Step 2] 수평, 수직 성분  $f_{coeff}$ 의  $(r-1, r, r+1)$ 와  $(c-1, c, c+1)$ 의 변이계수를 구한다.
- [Step 3] 수평, 수직의 변이계수의 평균값에서 0~9차까지의 10 Dim.을 특징벡터로 정의한다.
- [Step 4] 특징벡터를 SVM 분류기에서 학습과 테스트에 사용한다.
- [Step 5] 영상 포렌식을 위한 MF 검출기가 구현된다.

### IV. 실험 및 성능평가

제안된 MF 변조의 영상 포렌식 판정 알고리즘 성능평가를 위하여, BOWS2<sup>[9]</sup>의 10,000개 512×512 영상에 적용하여 실험하였다. 제안된 알고리즘의 성능평가를 위하여, 우선 원 영상 DB의 전체에 대하여, MF의 윈도우 크기  $w$ 는 3×3과 5×5의 MF3, MF5 영상을 각각 만들고, 영상 포렌식 실험의 확장을 위하여 JPEG (QF=90), Gaussian 필터 (3×3), 영상 사이즈의 Down (0.9) 및 Up (1.1) 스케일링의 테스트 영상도 준비하였다. [4]와 [3]은 본 논문의 제안 알고리즘과 같은 특징벡터 10 Dim.을 사용하였고, 본 논문의 MF 검출의 실험결과와 성능평가를 비교한다. BOWS2 10,000개 영상에서 임의의 8,000개는 SVM 분

류기 학습에 사용하며, 나머지 2,000개는 분류의 성능을 측정하는 테스트에 사용한다. 본 실험의 MF 검출 학습은 SoA의 동일한 조건에서 진행된다. 본 논문의 추출된 특징벡터는 Gaussian kernel의 C-SVM 분류기에서 5-fold cross validation 분할로 학습되며, grid-search의 Hyper-parameter  $C$ 와  $\gamma$ 는 다음과 같다.

$$k(x,y) = \exp(-\gamma \|x - y\|_2^2), \quad \gamma > 0 \quad (18)$$

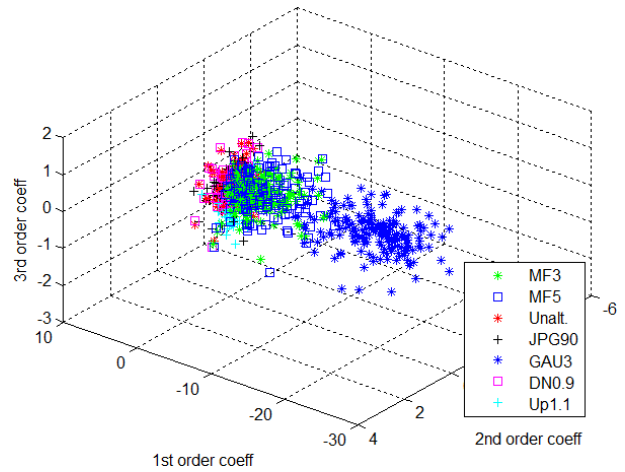


그림 3. 실험영상 타입의 1차~3차 특징벡터 분포  
Fig. 3. Distribution of 1<sup>st</sup>~3<sup>rd</sup> feature vectors of the experiment image types.

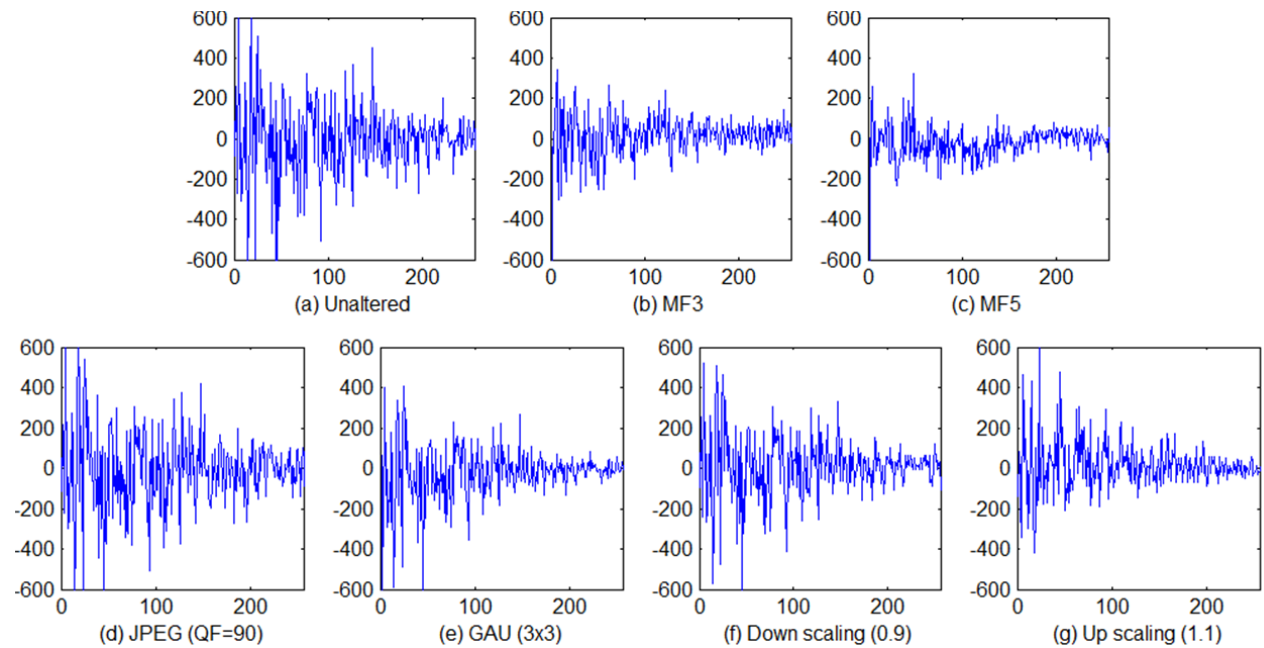


그림 2. 실험영상의 Fourier 변환의 변이계수  
Fig. 2. The coefficients of variations in Fourier transform of the experiment image.

그림 1에서 사용된 BOWS Image Database No. 4212의 원영상, MF3, MF5, JPEG (QF=90), GAU (3×3), Down 스케일링 (0.9) 그리고 Up 스케일링 (1.1)에 대한 식 (17)의 우항은 그림 2와 같으며, x축은 변위계수의 차수이며, y축은 변위값으로 변위값이 큰 저차의 일부 0~9 차까지가 10 Dim. 특징벡터로 정의되었다. 그리고 MF3와 MF5 영상 및 5 종류의 각 실험영상의 10 Dim. 특징벡터 중에서 1~3차의 특징벡터를 그림 3과 같이 공간분포에 플롯하여 각 테스트 영상 종류의 특징벡터 분포가 각각 상이한 분포의 특성을 보여준다.

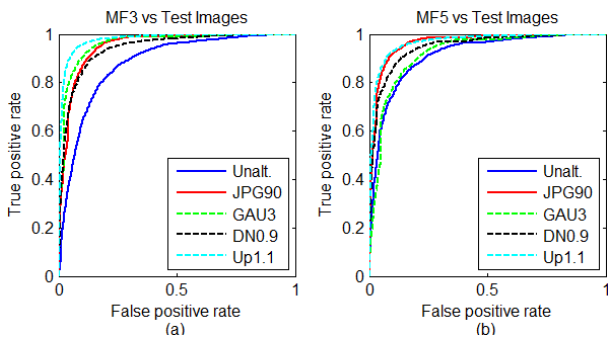


그림 4. MFR<sup>[4]</sup>의 ROC 커브  
Fig. 4. ROC curves of MFR<sup>[4]</sup>.

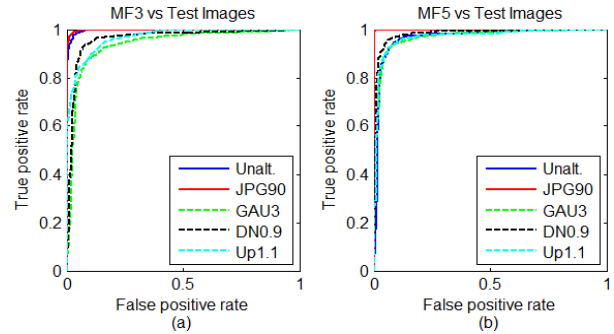


그림 5. Rhee [3]의 ROC 커브  
Fig. 5. ROC curves of [3].

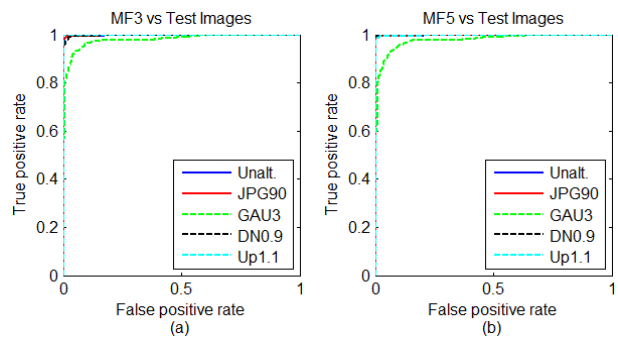


그림 6. 제안된 MF 검출 알고리즘의 ROC 커브  
Fig. 6. ROC curves of the proposed MF detection.

표 1. MF 검출 스킴의 실험결과 성능비교

Table 1. The experimental results of the performance comparison of the MF detection schemes.

A: AUC, B: Classification ratio and C:  $P_e$

| MF Detection Schemes           | MF  | Test Image Types |               |               |               |               |               |
|--------------------------------|-----|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                                |     | Unalt.           | JPG90         | GAU3          | DN0.9         | UP1.1         |               |
| MFR Scheme [4]                 | MF3 | A                | 0.8786        | 0.9501        | 0.9593        | 0.9408        | 0.9771        |
|                                |     | B                | 0.8436        | 0.9139        | <b>0.9245</b> | 0.8918        | 0.9367        |
|                                |     | C                | 0.1877        | 0.1088        | 0.0959        | 0.1195        | 0.0665        |
|                                | MF5 | A                | 0.9128        | 0.9628        | 0.9187        | 0.9458        | 0.9664        |
|                                |     | B                | 0.8433        | 0.9255        | 0.8788        | 0.8806        | 0.9130        |
|                                |     | C                | 0.1574        | 0.0895        | 0.1479        | 0.1164        | 0.0826        |
| Rhee's MF Detection Scheme [3] | MF3 | A                | 0.9933        | <b>0.9987</b> | 0.9370        | 0.9593        | 0.9649        |
|                                |     | B                | 0.9780        | 0.9830        | 0.8800        | 0.9270        | 0.8610        |
|                                |     | C                | 0.0260        | 0.0185        | 0.1065        | 0.0695        | 0.1040        |
|                                | MF5 | A                | 0.9659        | <b>0.9986</b> | 0.9664        | 0.9793        | 0.9669        |
|                                |     | B                | 0.9380        | <b>0.9970</b> | <b>0.9230</b> | 0.9460        | 0.9280        |
|                                |     | C                | 0.0690        | <b>0.0050</b> | 0.0705        | 0.0515        | 0.0690        |
| Proposed MF Detection Scheme   | MF3 | A                | <b>0.9981</b> | 0.9985        | <b>0.9796</b> | <b>0.9973</b> | <b>0.9999</b> |
|                                |     | B                | <b>0.9830</b> | <b>0.9840</b> | 0.9180        | <b>0.9780</b> | <b>0.9970</b> |
|                                |     | C                | <b>0.0100</b> | <b>0.0100</b> | <b>0.0605</b> | <b>0.0175</b> | <b>0.0005</b> |
|                                | MF5 | A                | <b>0.9983</b> | 0.9983        | <b>0.9773</b> | <b>0.9989</b> | <b>0.9981</b> |
|                                |     | B                | <b>0.9870</b> | 0.9880        | 0.8950        | <b>0.9890</b> | <b>0.9860</b> |
|                                |     | C                | <b>0.0085</b> | 0.0080        | <b>0.0655</b> | <b>0.0075</b> | <b>0.0100</b> |

TP와 FN의 측정결과에 따라 민감도 (Sensitivity; TP: True Positive rate)와 1-특이도 (1-Specificity; FP: False Positive rate)에 따른 MFR, Rhee's과 MF 검출, 본 논문의 제안된 MF 검출의 ROC 커브는 그림 4, 5, 6과 같으며, 성능측정의 실험결과는 표 1과 같다.

특히, 그림 6의 제안된 MF 검출의 ROC 커브는 GUS3 을 제외한 Unalt., JPG90, DN0.9와 UP1.1 4종류 테스트 영상의 EER (Equal Error Rate)이 FP=0에서 TP=1에 거의 위치되므로 1) AUC는 1에 수렴, 2) MF와의 분류도 1에 수렴, 3) 성능 평가의 최소평균 판정 에러 (Minimal Average Decision Error)  $P_e$ 는 (19)로부터 0에 수렴하였다.

$$P_e = \min\left(\frac{P_{fp} + 1 - P_{tp}}{2}\right) \quad (19)$$

이들 4종류 테스트 영상의 3가지 항목의 성능평가값은 표 1의 제안된 MF 검출의 'A', 'B' 그리고 'C' 항의 음영 부분과 같다.  $P_e$ 는 [4]와 비교하여 평균 83.1%, [3]과 비교하여 66.4% 감소되었다.

제안된 MF 검출 스킴은 동일 10 Dim. 특징벡터의 MFR과 Rhee의 MF 검출 스킴과 비교하여 원영상, JPEG (QF=90) 영상, Down 스케일링 (0.9) 그리고 Up 스케일링 (1.1)에서는 성능이 우수하며, Gaussian 필터링 (3×3) 영상에서는 성능의 일부가 우수하였다.

성능평가 전체 항목에서 제안된 MF 검출 스킴은 민감도와 1-특이도의 AUC가 모두 1에 수렴하여 'Excellent (A)' 등급임을 확인하였다.

## V. 결 론

본 논문에서는 MF 영상의 포렌식 판정을 위한 MF 검출 알고리즘이 제안되었다. 알고리즘 구현은 영상의 각 수평, 수직 라인들의 Fourier 변환 계수를 구하고, 이웃하는 수평, 수직성분의 변이계수를 특징벡터로 정의하였으며, 현존하는 MF 검출기의 가장 작은 특징벡터 길이 10 Dim.으로 구성하였다.

제안된 MF 검출 스킴의 성능을 평가하는 AUC는 모든 항목에서 1에 수렴되어 'Excellent (A)' 등급으로 확인되었다. 그리고 MF 분류 성능은 GAU3 에서는 일부 우수함이 있었지만, Unalt.와 DN0.9, 및 UP1.1 검출은 완벽하여, SNS 환경의 사이즈 스케일 샘플링이 주로 사용되는

배포영상에서 제안된 MF 검출 알고리즘의 응용이 기대된다.

앞으로의 연구는 다양한 위·변조 영상을 효율적으로 추정할 수 있는 영상 포렌식 판정을 위한 특징벡터 개발의 연구가 진행되어야 한다.

## REFERENCES

- [1] Kang Hyeon RHEE, "Median Filtering Detection using Latent Growth Modeling," THE INSTITUTE OF ELECTRONICS AND INFORMATION ENGINEERS, *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 52, No. 1, pp. 61-68, 2015.1.
- [2] Kang Hyeon RHEE, "Image Forensic Decision Algorithm using Edge Energy Information of Forgery Image," THE INSTITUTE OF ELECTRONICS AND INFORMATION ENGINEERS, *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 51, No. 3, pp. 75-81, 2014.3.
- [3] Kang Hyeon RHEE, "Forensic Decision of Median Filtering by Pixel Value's Gradients of Digital Image," THE INSTITUTE OF ELECTRONICS AND INFORMATION ENGINEERS, *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 52, No. 6, pp. 79-84, 2015.5.
- [4] Xiangui Kang, Matthew C. Stamm, Anjie Peng, and K. J. Ray Liu, "Robust Median Filtering Forensics Using an Autoregressive Model," *IEEE Trans. on Information Forensics and Security*, vol. 8, no. 9, pp. 1456-1468, Sept. 2013.
- [5] Chenglong Chen, Jiangqun Ni and Jiwu Huang, "Blind Detection of Median Filtering in Digital Images: A Difference Domain Based Approach," *Image Processing, IEEE Transactions on*, Vol. 22, pp. 4699-4710, 2013.
- [6] H. Yuan, "Blind forensics of edianfiltering in digital images," *IEEE Trans. Inf. Forensics Security*, vol. 6, no. 4, pp. 1335 - 1345, Dec. 2011.
- [7] Tomáš Pevný, "Steganalysis by Subtractive Pixel Adjacency Matrix," *Information Forensics and Security, IEEE Transactions on*, Vol. 5, pp. 215-224, 2010.
- [8] Yujin Zhang, Shenghong Li, Shilin Wang and Yun Qing Shi, "Revealing the Traces of Median

Filtering Using High-Order Local Ternary Patterns,” *Signal Processing Letters, IEEE*, Vol. 21, pp. 275-279, 2014.

[9] <http://bows2.ec-lille.fr/> (2015.4.22)

[10] Kang Hyeon RHEE, “Framework of multimedia forensic system,” *Computing and Convergence Technology (ICCCT), 2012 7th International Conferenceon, IEEE Conf. Pub.*, pp.1084-1087, 2012.

---

저 자 소 개

이 강 현(평생회원)  
대한전자공학회 논문지  
제52권6호 (2015. 06) 참조