

논문 2016-53-2-6

# 디지털 영상 픽셀값의 경사도를 이용한 Downscaling Forgery 검출

## ( Downscaling Forgery Detection using Pixel Value's Gradients of Digital Image )

이 강 현\*

( Kang Hyeon RHEE<sup>Ⓢ</sup> )

## 요 약

스마트 기기와 소형 디스플레이에 사용되는 디지털 영상은 다운스케일링 (Downscaling)된 영상이 사용된다. 본 논문에서는 영상 픽셀값의 경사도에 따른 특징벡터를 이용한 다운스케일링 포저리 (Forgery) 영상 검출 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘에서, 원영상의 픽셀값 경사도로부터 자기회귀 (AR: Autoregressive) 계수를 계산한다. 이는 다운스케일링 포저리 영상 검출기의 SVM (Support Vector Machine) 분류를 위한 학습에 사용된다. 제안된 다운스케일링 검출 알고리즘은 동일 10-Dim. 특징벡터의 MFR (Median Filter Residual) 스킴과 686-Dim.의 SPAM (Subtractive Pixel Adjacency Matrix) 스킴과 비교하여 다운스케일링 90% 영상 포저리에서 성능이 우수하며, 평균필터링 (3×3) 영상과 미디언필터링 (3×3) 영상에서 높은 검출율을 보여 주었다. 특히, 평균필터링과 미디언필터링 영상에서는 성능평가 전체 항목에서 민감도 (Sensitivity; TP: True Positive rate)와 1-특이도 (1-Specificity; FP: False Positive rate)의 AUC (Area Under Curve)가 모두 1에 수렴하여 'Excellent (A)' 등급임을 확인하였다.

## Abstract

The used digital images in the smart device and small displayer has been a downscaled image. In this paper, the detection of the downscaling image forgery is proposed using the feature vector according to the pixel value's gradients. In the proposed algorithm, AR (Autoregressive) coefficients are computed from pixel value's gradients of the image. These coefficients as the feature vectors are used in the learning of a SVM (Support Vector Machine) classification for the downscaling image forgery detector. On the performance of the proposed algorithm, it is excellent at the downscaling 90% image forgery compare to MFR (Median Filter Residual) scheme that had the same 10-Dim. feature vectors and 686-Dim. SPAM (Subtractive Pixel Adjacency Matrix) scheme. In averaging filtering (3×3) and median filtering (3×3) images, it has a higher detection ratio. Especially, the measured performances of all items in averaging and median filtering (3×3), AUC (Area Under Curve) by the sensitivity and 1-specificity is approached to 1. Thus, it is confirmed that the grade evaluation of the proposed algorithm is 'Excellent (A)'.

**Keywords**: Downscaling forgery image, Digital image forensic, Pixel value's gradient, Downscaling forgery detection

\* 평생회원, 조선대학교 전자공학과 창의공학디자인융합학과(Chosun University, Dept. of Electronics Eng./ School of Design and Creative Eng.)

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

※ 본 논문은 조선대학교 2015 교비지원(322386)으로 수행되었습니다.

Received : November 18, 2015

Revised : December 16, 2015

Accepted : January 17, 2016

## I. 서 론

SNS (Social Network Service) 사이트에 접속하는 네티즌들이 자신의 스마트 폰 모바일 브라우저를 사용하는 이용률이 폭발적으로 확대하고 있으며, SNS 계정 생성 또한 증가하고 있다. SNS 콘텐츠 서비스 사용으

로 네티즌들 간에 주고받는 콘텐츠의 양도 증가하고 있는데, 이들 콘텐츠 중에서도 영상이 대부분을 차지하고 있으며, 악의적 영상변조가 위·변조자 (Forger)에 의해 시도되고 있다<sup>[1~4]</sup>. 이렇게 변조된 영상은 불법적으로 재배포가 이루어지며, 영상의 원 저작권자 및 제공사에게 재산권 침해 및 손해를 야기한다.

스마트폰에서 영상변조의 용이한 방법으로 소형 디스플레이와 제한된 내장의 영상메모리, JIT (Just In Time) 환경의 실행을 위하여 원영상의 downscaling 방법을 사용하는 영상의 위·변조 (Forgery image)가 선호되고 있다.

Xiangui Kang, Matthew C. Stamm, Anjie Peng과 K. J. Ray Liu<sup>[5]</sup>는 포렌식 영상 검출을 위하여, MFR (Median Filter Residual)의 통계적 특성을 AR (Autoregressive) 모델의 계수 10개를 특징벡터 10 Dim.으로 정의하였다. 그리고 Rhee<sup>[3]</sup>는 영상 픽셀의 주위 경사도를 AR 모델링으로 AR 계수를 특징벡터로 구성하였다. 이들 두 스킴은 현존하는 포렌식 영상 검출에서 가장 작은 길이의 특징벡터를 사용한다. Tomáš Pevný, Patrick Bas와 Jessica Fridrich<sup>[4]</sup>은 Steganalysis를 위하여 영상 픽셀의 주위값을 고려한 SPAM (Subtractive Pixel Adjacency Matrix) 686-Dim. 특징을 사용하였다.

본 논문에서는 영상의 다운스케일링 포저리를 검출할 수 있는 영상 포렌식 시스템을 구현한다. 다운스케일링 영상의 특징적 요소를 추출하고, 이를 SVM (Support Vector Machine)에서 학습-테스트 (Training-Test) 단계를 거쳐, 여러 변조방법에 의한 영상과 다운스케일링 영상을 분류 (Classification)한다.

원영상과 질의영상의 다운스케일링 분류에 의한 TP (True Positive)와 FN (False Negative)을 산출하여, 변조된 영상의 포렌식 판정을 한다. TP와 FN에 따른 영상의 포렌식 판정의 민감도 (Sensitivity)와 1-특이도 (1-Specificity)에 의한 AUC (Area Under ROC (Receiver Operating Characteristic) Curve)를 산출하여 제안된 다운스케일링 포저리 검출 스킴의 성능평가를 한다.

본 논문의 구성은 2장에서 AR 모델링과 SPAM의 이론적 배경을 간략하게 소개하고, 3장에서는 다운스케일링으로 변조된 영상 포저리의 검출을 위한 제안된 알고리즘을 기술한다. 그리고 4장에서 다운스케일링 영

상 포저리 검출의 실험결과 검토와 성능평가를 하고 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 이론적 배경

### 1. 픽셀 경사도와 AR 모델링

영상 픽셀 주위의 수평, 수직 경사도 (Gradient)<sup>[7]</sup>에 대한 자기회귀 모델의 AR 계수<sup>[5]</sup>를 구하기 위하여 영상픽셀의 수평, 수직의 경사도  $Gx(i,j)$ 와  $Gy(i,j)$ 는 식 (1)과 (2)로 산출되며 ( $i,j$ 는 픽셀좌표)

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

$$Gy(i,j) = y(i+1,j) - y(i,k) \quad (2)$$

이의 AR 계수는 ( $r,c$ 는 수평, 수직)

$$a_k^{(r)} = AR(\text{mean}(G_x)) \quad (3)$$

$$a_k^{(c)} = AR(\text{mean}(G_y)) \quad (4)$$

이다.

영상 포저리의 검출을 위한 특징벡터는 (3)과 (4)의 평균값

$$a_k = (a_k^{(r)} + a_k^{(c)})/2 \quad (5)$$

로부터 정의된다.

### 2. SPAM

영상의 미디언 필터 연산을 검출하기 위해 Steganalysis에서 개발된 SPAM<sup>[6]</sup>은 영상의 픽셀값의 차분포 (Difference Distributions)를  $n$ 차 Markov chain으로 다룬다. SPAM 검출기는 Markov chain 전이확률 (Transition Probabilities)을 특징벡터로 SVM에 사용한다. 전이확률은 8 방향  $\{\leftarrow, \rightarrow, \downarrow, \uparrow, \swarrow, \searrow, \swarrow, \searrow\}$ 으로 계산되며, 전이행렬은 4개의 수평( $h$ ), 수직( $v$ )행렬의 평균과 4개의 대각( $d$ )행렬 평균으로 특징벡터로 결합된다.

$$F = (F^{(h/v)}, F^{(d)}) \quad (6)$$

## III. 다운스케일링 영상 포저리 검출의 제안된 특징벡터와 알고리즘

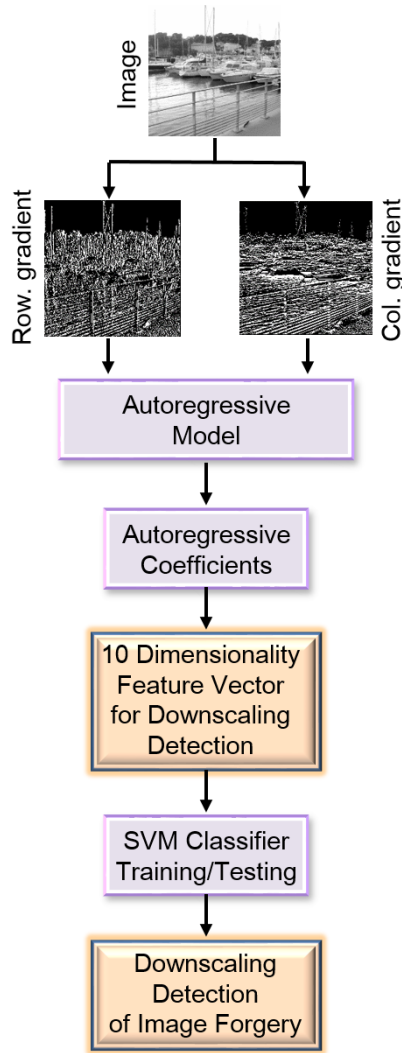


그림 1. 제안된 다운스케일링 포저리 검출 알고리즘의 플로우차트

Fig. 1. Flow-chart of the proposed downscaling forgery detection algorithm.

본 논문에서 제안한 다운스케일링 포저리 검출을 위한 특징벡터는 영상 픽셀값의 경사도를 AR 모델링으로부터  $k$ 는 0~9차까지의 AR 계수를 10-Dim.의 특징벡터로 구성한다. 알고리즘의 플로우차트는 그림 1과 같고 동작 설명은 다음과 같다.

- [Step 1] 원영상 픽셀값의 각 수평, 수직라인의 경사도  $G$ 를 구한다.
- [Step 2] 수평, 수직라인 경사도의 AR 모델링으로 AR 계수를 구한다.
- [Step 3] 수평, 수직의 AR 계수의 평균값에서 0~9차까지의 10-Dim.을 특징벡터로 정의한다.
- [Step 4] 특징벡터를 SVM 분류기에서 학습과 테스트에 사용한다.
- [Step 5] 영상의 다운스케일링 포저리 검출기가 구현

된다.

#### IV. 실험 및 성능평가

제안된 영상의 다운스케일링 포저리 검출의 알고리즘 성능평가를 위하여, UCID의 1,338개 영상<sup>[8]</sup>에 적용하여 실험하였다. 제안된 알고리즘의 성능평가를 위하여, 원영상 (ORI) DB의 전체에 대하여, 다운스케일링 (DN 90%, 60%와 30% size) 영상을 준비하고, 평균 필터링 (AVE 3×3), JPEG (QF=90), 가우시안 필터링 (GAU 3×3), 업스케일링 (UP 110% size) 그리고 미디언 필터링 (MF 3×3)의 영상을 각각 준비하였다.

본 논문의 제안 알고리즘 구성에 사용된 방법이 픽셀값의 경사도와 AR 모델링이므로, 실험결과와 성능 평가는 1) Residual 영상의 AR 모델링의 AR 계수를 사용한 MFR 스킴과 2) 영상의 픽셀주위 값을 고려한 SPAM 스킴과 비교한다.

그림 2, 3과 4는 다운스케일링 (a) 90%, (b) 60%, (c) 30% 영상이 ORI, AVE3, JPEG90, GUS3, UP1.1과 MF3에 대한 ROC (Receiver Operating Characteristic) 커브를 보여준다. 그리고 성능측정의 실험결과는 표 1과 같다.

MFR 스킴은 DN 30%에서 MF3 검출 성능이 있으며, SPAM 스킴은 DN 30%에서 ORI 검출, DN 30%와 60%에서 JPEG90 검출 그리고 DN 60%에서 UP 110%에 대하여 분류 검출 성능이 우수한 것으로 나타났으나, 제안된 다운스케일링 포저리 검출의 성능은 DN 90%에서 테스트 영상 6가지 모두에 대하여 우수하며, DN 60%에서는 ORI, AVE3, GAU3과 MF3에서 우수하며, DN 30%에서는 AVE3, GUS3과 UP1.1에서 성능이 각각 우수하다.

그리고 제안된 그림 4의 다운스케일링 포저리 검출의 ROC 커브에서, AVE3과 MF3의 2종류 테스트 영상의 EER (Equal Error Rate)이 FP=0에서 TP=1에 거의 위치되므로 1) AUC는 1에 수렴, 2) 다운스케일링 분류도 1에 수렴, 3) 성능 평가의 최소평균 판정 에러 (Minimal Average Decision Error)  $P_e$ 는 (6)으로부터 0에 수렴하였다.

$$P_e = \min\left(\frac{P_{fp} + 1 - P_{tp}}{2}\right) \quad (6)$$

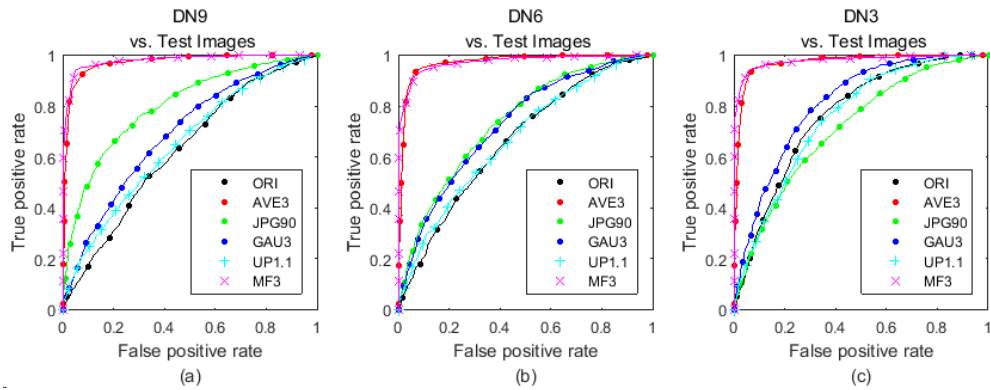
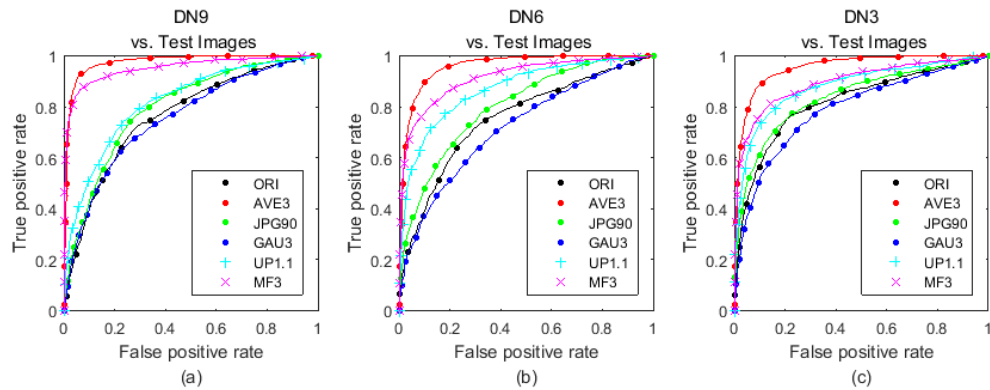
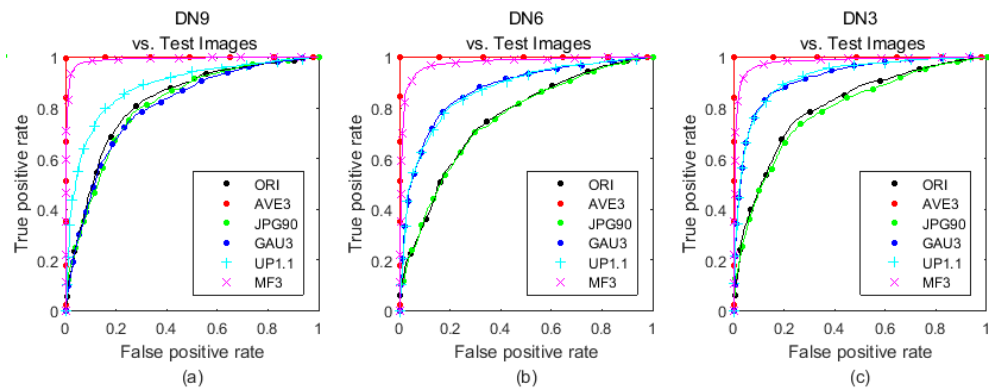
그림 2. MFR<sup>[5]</sup>의 ROC 커브Fig. 2. ROC curves of MFR<sup>[5]</sup>.그림 3. SPAM<sup>[6]</sup>의 ROC 커브Fig. 3. ROC curves of SPAM<sup>[6]</sup>.

그림 4. 제안된 알고리즘의 ROC 커브

Fig. 4. ROC curves of the proposed algorithm.

제안된 알고리즘의 분류 성능에서, TP와 FN의 측정 결과에 따라 민감도 (Sensitivity; TP: True Positive rate)와 1-특이도 (1-Specificity; FP: False Positive rate)에 따른 AUC (Area Under ROC Curve)가 AVE3와 MF3 영상에 대해서는 1에 수렴하여 'Excellent (A)' 등급임을 확인하였다.

제안된 10-Dim.의 특징벡터 길이는 MFR의 특징벡터와 동일하고, 686-Dim.의 SPAM의 1.5%에 불과하지만 테스트 영상 6가지의 다운스케일 90, 60, 30%에 대한 18개 영역에서 우수한 영역이 MFR에 비해서 13:1, SPAM에 비해서는 13:43의 검출율의 우수성을 보여 주었다.

표 1. 다운스케일링 검출 스킴의 실험결과 성능비교  
Table 1. The experimental results of the downscaling detection schemes.

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

DN Detec. Scheme	DN Scale		Test Image Types					
			ORI	AVE3	JPG90	GAU3	UPI.1	MF3
MFR [5]	DN9	A	0.63	0.97	0.80	0.69	0.65	0.98
		B	0.04	0.64	0.23	0.08	0.08	0.82
		C	0.37	0.06	0.24	0.32	0.35	0.05
	DN6	A	0.66	0.97	0.74	0.73	0.67	0.97
		B	0.06	0.57	0.13	0.09	0.07	<b>0.82</b>
		C	0.34	0.05	0.29	0.30	0.34	0.06
	DN3	A	0.76	0.97	0.71	0.81	0.75	<b>0.98</b>
		B	0.14	0.60	0.08	0.12	0.08	<b>0.86</b>
		C	0.25	0.05	0.31	0.23	0.27	<b>0.05</b>
SPAM [6]	DN9	A	0.76	0.97	0.80	0.75	0.82	0.95
		B	0.22	0.61	0.19	0.14	0.24	0.69
		C	0.25	0.06	0.24	0.27	0.22	0.08
	DN6	A	0.75	0.96	<b>0.80</b>	0.72	<b>0.87</b>	0.92
		B	0.29	0.50	<b>0.29</b>	0.22	<b>0.37</b>	0.53
		C	0.26	0.08	<b>0.24</b>	0.29	<b>0.18</b>	0.14
	DN3	A	<b>0.82</b>	0.95	<b>0.84</b>	0.79	0.88	0.90
		B	<b>0.38</b>	0.54	<b>0.43</b>	0.31	0.40	0.57
		C	<b>0.20</b>	0.09	<b>0.19</b>	0.23	0.16	0.14
Proposed Scheme	DN9	A	<b>0.82</b>	<b>1.00</b>	<b>0.81</b>	<b>0.81</b>	<b>0.88</b>	<b>0.99</b>
		B	<b>0.26</b>	<b>0.97</b>	<b>0.24</b>	<b>0.21</b>	<b>0.31</b>	<b>0.82</b>
		C	<b>0.20</b>	<b>0.00</b>	<b>0.22</b>	<b>0.23</b>	<b>0.16</b>	<b>0.03</b>
	DN6	A	<b>0.76</b>	<b>1.00</b>	0.75	<b>0.87</b>	0.87	<b>0.98</b>
		B	<b>0.32</b>	<b>1.00</b>	0.29	<b>0.33</b>	0.31	0.66
		C	<b>0.26</b>	<b>0.00</b>	0.27	<b>0.17</b>	0.18	<b>0.05</b>
	DN3	A	0.81	<b>1.00</b>	0.79	<b>0.92</b>	<b>0.92</b>	0.98
		B	0.35	<b>1.00</b>	0.34	<b>0.41</b>	<b>0.40</b>	0.70
		C	0.22	<b>0.00</b>	0.23	<b>0.13</b>	<b>0.13</b>	0.05

그리고 다운스케일링 영상 포저리 검출을 위하여 그림 5와 같이 Cut and Paste 영상에서, 제안된 알고리즘의 특징벡터를 32×32와 64×64 분할된 영상에 각각 적용하여, 포저리 검출을 실행하였다. 원영상의 일부를 cut하고 포저리 영상을 90% 다운스케일링하여 paste한 후, (a,b) JPEG (QF=90) 후처리 영상과 (c,d) 5° 회전한 영상에서 다운스케일링 90% (Positive alarm: Red color block) 부분과 기타 부분 (Negative alarm: Blue

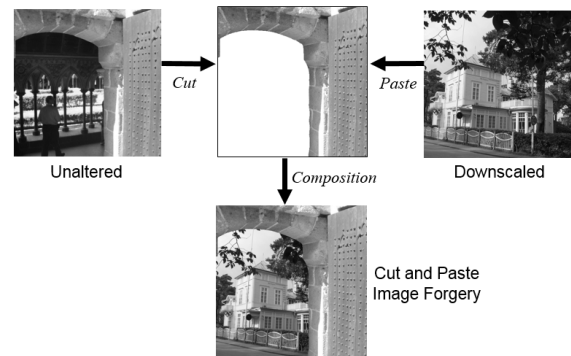


그림 5. Cut and Paste 영상 포저리  
Fig. 5. Cut and Paste image forgery.

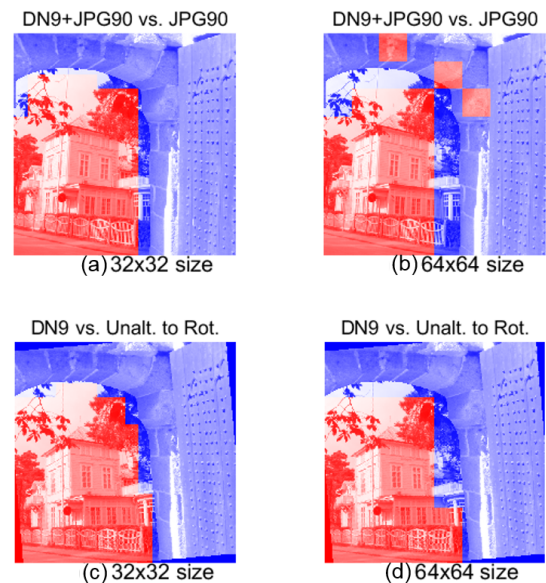


그림 6. 영상 포저리에서 다운스케일링 검출  
Fig. 6. Downscaling detection in the image forgery.

color block)의 각각 검출한 결과는 그림 6과 같다.

## V. 결 론

본 논문에서는 다운스케일링 영상 포저리 검출의 포렌식 관정을 위한 알고리즘이 제안되었다. 알고리즘 구현은 영상의 픽셀값의 경사도를 AR 모델에 의한 AR계수의 차수를 특징벡터로 정의하여 구성하였다.

제안된 알고리즘의 성능평가에서는 10-Dim.의 짧은 특징벡터 길이에도 불구하고, 다운스케일링 영상은 평균필터와 미디언필터링 영상에서 검출이 'Excellent (A)' 등급으로, SNS 환경의 다운스케일링 영상사이즈 샘플링이 주로 사용되는 배포영상에서 제안된 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, 2015.6.
- [4] Kang Hyeon RHEE, "Forensic Decision of Median Filtering Image Using a Coefficient of Variation of Fourier Transform," THE INSTITUTE OF ELECTRONICS AND INFORMATION ENGINEERS, *Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 52, No. 8, 2015.8.
- [5] 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.
- [6] Tomá's Pevný, "Steganalysis by Subtractive Pixel Adjacency Matrix," *Information Forensics and Security, IEEE Transactions on*, Vol. 5, pp. 215-224, 2010.
- [7] Kang Hyeon RHEE, "Median Filtering Detection Using Variation of Neighboring Line Pairs for Image Forensic," *The 5th IEEE ICCE-Berlin Sept. 6-9, 2015*, pp. 103-107, Sept. 2015
- [8] <http://homepages.lboro.ac.uk/~cogs/datasets/ucid/ucid.html> (2015.4.1)

---

## 저 자 소 개

이 강 현(평생회원)  
대한전자공학회 논문지  
제52권 제1호 참조.