

보간을 이용한 디지털 이미지 합성 분석

송근실[†], 윤용인^{**}, 이원형^{***}

요 약

본 논문에서는 디지털 합성 이미지에서 보간이 발생한 영역을 검출할 수 있는 새로운 디지털 위변조 검출 알고리즘을 제안한다. 첫 번째 알고리즘에서는 차분 방정식을 이용하여 각 수평, 수직, 그리고 대각선 방향에 대하여 이미지의 확대 또는 축소의 보간 여부를 증명할 수 있는 보간 계수를 측정하였다. 두 번째 알고리즘에서는 보간이 발생한 영역의 위치를 검출하기 위하여 64×64 픽셀 크기의 마스크 블록을 각 방향에 대하여 적용하였고, 각 블록에서 측정된 보간 계수의 크기를 색상별로 분류하여 위변조 검출 맵을 구성하였다. 위변조 검출 맵은 디지털 위조 이미지로부터 보간 영역을 판별할 수 있는 검출 도구로 사용되었다. 제안 알고리즘은 디지털 합성 이미지를 대상으로 실험하였고, 실험 결과 보간 연산이 발생한 영역과 그렇지 않은 영역을 정확하게 검출할 수 있었다.

Analysis on Digital Image Composite Using Interpolation

Geun Sil Song[†], Yong In Yun^{**}, Won Hyung Lee^{***}

ABSTRACT

In this paper, we propose a new method for detecting digital forgery that identify interpolated region between digital composited images. For detecting the interpolation factor and the tampered regions, we perform two algorithms: The first algorithm is to estimate the interpolation factors using the differential equation for forgery image along the horizontal, vertical, and diagonal directions, respectively; The second algorithm is to scan the interpolation factors along each direction for detection areas as the mask of the optical window size(64×64) in order to find out the forgery region. A detection map of the forgery is classified with the magnitude of estimated interpolation factors into colors. This detection map can be used to find out interpolated regions from the tampered image. Experimental results demonstrate the proposed algorithms are proven on several examples. We also show the proposed approach is to accurately detect interpolated regions from digital composite images.

Key words: Digital Forgery(디지털 위변조), Interpolation(보간법), Re-sampling(재샘플링), Differential equation(차분 방정식), DFT(푸리에 주파수 변환)

1. 서 론

최근 IT 기술이 발전하고 정보화 사회로 변화하면서 더불어 컴퓨터 관련 범죄들도 늘어나고 있다. 점

※ 교신저자(Corresponding Author) : 윤용인, 주소 : 서울시 동작구 흑석동 221(156-756), 전화 : 02)820-5772, FAX : 02)820-5404, E-mail : yoonyi@imagelab.cau.ac.kr
접수일 : 2009년 5월 14일, 수정일 : 2009년 7월 23일
완료일 : 2009년 12월 14일

[†] 준회원, 중앙대학교 첨단영상대학원 박사과정
(E-mail : gssong@wm.cau.ac.kr)

점 지능화 되고 있는 컴퓨터, PDA, 휴대폰 등을 이용한 범죄 문제를 해결하기 위하여 법정 제출용 디지털 증거를 수집하여 분석하기 위한 디지털 포렌식(digital forensic) 기술이 검찰, 경찰 등의 국가 수사

^{**} 정회원, 중앙대학교 첨단영상대학원 연구교수

^{***} 중앙대학교 첨단영상대학원 부교수
(E-mail : whlee@cau.ac.kr)

※ 본 연구는 서울시 산학연협력사업으로 구축된 서울 미래형콘텐츠컨버전스 클러스터, 2단계 BK21 지원으로 수행되었음

기관, 기업체 및 금융회사 등의 민간 분야에서 광범위하게 그 필요성이 증대되고 있다. 어도비 포토샵과 같은 사진 편집 소프트웨어를 사용하여 누구나 쉽게 원본과 동일한 복제 작업을 무제한으로 할 수 있게 되었으며 원본과 복제본의 구별도 매우 어려워지면서 법정에서 조작 여부, 증거 획득 절차의 적법성 등이 문제시 되고 있다. 본 논문에서는 디지털 데이터의 무결성, 신뢰성, 그리고 원본성 문제를 증명하기 위하여 보간 연산에 의한 재샘플링(re-sampling)의 흔적을 찾아내는데 그 목적이 있다.

최근 몇 년 동안 디지털 이미지 위변조를 검출하기 위한 다양한 방법들이 연구되고 있다. Popescu와 Farid [1, 2]는 보간이 발생한 부분을 검출하기 위하여 EM(Expectation Maximization) 알고리즘을 이용하였다. EM 알고리즘은 보간이 발생한 부분을 찾아내는 수렴 속도는 느리지만, 보간 발생 영역에 대한 추정치를 정확하게 검출할 수 있다. 그러나 Popescu와 Farid가 제안한 방법은 단지 1차 보간이 발생한 이미지의 변조에 대해서만 실험하였고, 2차 또는 3차 보간이 발생한 영역은 분석할 수 없다는 단점이 있다. Gallagher [3]은 디지털 확대 이미지에서 이차 미분의 분산 함수를 이용하여 선형(linear)과 입방형(cubic) 보간법의 신호 주기성을 검출하여 보간 여부를 판별하였다. 이 주기성은 이차 미분으로부터 계산된 평균 신호의 주파수 변환을 통하여 추출되어진다. 그러나 [3]의 알고리즘은 디지털 확대 이미지에서 일어난 보간 계수 검출은 가능하지만, 디지털 합성 이미지의 일부만이 위조된 경우에서는 위조 영역을 검출하지 못하는 문제점이 있다. 그리고 Prasad와 Ramakrishnan [4]는 위의 [3]이 제안한 알고리즘과 유사한 방법을 사용하여 보간 발생 여부를 증명하였다. 그들의 연구도 보간된 신호의 이차 미분을 통하여 보간 발생 여부를 판별 가능한 주기적 특성으로 만들어졌다. 그러나 [4]의 방법은 이진 영상 분석에만 적용됐다는 문제점이 있다. Mahdian과 Saic [5, 6]은 보간 신호의 공분산 구조(covariance structure)에서 나타나는 이미지의 스케일링 계수, 또는 회전각에 대한 주기적 특성을 분석하였다. 그들의 연구에서는 보간 영역을 검출하기 위하여 128×128 픽셀의 윈도우 크기를 실험 이미지에 수평방향으로 중첩되지 않도록 적용하였다. 그들의 연구에서는 실험 이미지에서 보간이 발생한 영역이 윈도우 크기보다 작거나

또는 128×128 픽셀의 윈도우 크기 내에 일부분만이 존재하는 경우에는 보간 발생 영역을 정확하게 검출하기 어렵다는 단점이 있다.

본 논문에서는 디지털 합성 이미지 내에서 보간 연산에 의해 이미지의 일부분에서 확대(up-sampling), 축소(down-sampling)의 크기 변환으로 보간이 발생한 영역을 명확하게 검출할 수 있는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 첫 번째 알고리즘에서는 디지털 이미지의 차분 방정식을 이용하여 이미지 합성 과정에서 발생하는 확대 또는 축소에 따른 보간 연산의 주기적 특성을 분석하여 보간 계수를 측정하였다. 두 번째 알고리즘에서는 디지털 합성 이미지내의 변조된 영역을 검출하기 위하여 64×64 픽셀의 마스크 스캐닝(mask scanning) 과정을 위변조 검출 단계에 적용하였다. 첫 번째 알고리즘 순서에 따라 DFT(discrete Fourier Transform) 신호의 주기적 특성을 분석하여 디지털 이미지 합성 과정에서 발생한 이미지의 확대 또는 축소 변환의 특성과 보간 계수를 측정하여 위변조 검출 맵을 구성하였다. 시각적으로 누구나 보간 발생 영역 확인이 가능한 위변조 검출 맵을 이용하여 합성 이미지에서 보간이 발생한 영역과 발생하지 않은 영역의 차이를 증명하였다.

2. 제안된 알고리즘

본 논문에서 제안하는 디지털 이미지의 위변조 검출 알고리즘은 합성된 이미지를 분석하기 위하여 보간이 발생한 영역을 찾아내는 것이다. 디지털 이미지의 보간 발생 여부를 분석한 예는 Gallagher의 연구 결과가 선행되어져 있다. 그의 연구에서는 디지털 확대 이미지에서 발생한 보간 여부만을 증명하였을 뿐, 인터넷을 통해 배포하기 위하여 크기 변형에 의하여 새로운 이미지가 삽입되는 디지털 합성 이미지의 경우에는 신뢰성 있는 위변조 검출이 불가능하였다. 따라서 본 연구에서는 디지털 합성 이미지 생성과정에서 보간이 발생한 부분을 검출할 수 있는 방법에 관하여 연구하였다. 512×512 크기의 이미지를 사용하여 보간 연산에 의한 픽셀 패턴을 분석하여 확대 보간이 발생한 이미지와 축소 보간이 발생한 이미지의 차이를 증명하여 위변조 검출의 분석 도구로 활용하였다.

제안한 알고리즘에서는 Gallagher의 연구에서 소

개된 이론을 기반으로 디지털 이미지에서 픽셀 패턴의 주기적 특성을 나타내는 보간 계수를 알고리즘 1에서 측정하여 시각적으로 보간 발생 영역을 확인할 수 있는 위변조 검출 맵을 알고리즘 2에서 구성하여 디지털 합성 이미지의 위변조를 분석하였다.

2.1 알고리즘 1: 확대, 축소의 크기 변형에 의한 주기적 특성 분석

알고리즘 1에서는 보간법을 기반으로 하는 디지털 이미지의 재샘플링 특성을 증명하기 위하여 차분 방정식을 이용하여 실험 이미지의 이웃한 픽셀들의 주기적 패턴 특성을 DFT 주파수 영역에서 분석하여 보간 계수의 크기를 측정하고 이미지 크기 변환에 따른 축소 또는 확대의 보간 여부를 판별하였다. 제안한 알고리즘 1의 순서는 다음과 같다.

알고리즘 1. 확대, 축소의 크기 변형에 의한 보간 계수

입력 : 입력 이미지 $Y(i, j)$, 이미지 세로와 가로 크기 r, c
 2x2 Low-Pass Filter H , Low-Pass Filter 이미지 $\tilde{Y}(i, j)$
 수평, 수직, 대각선 방향 마스크 M_h, M_v, M_d
 수평, 수직, 대각선 방향 차분 방정식 $D_h(i, j), D_v(i, j), D_d(i, j)$
 수평, 수직, 대각선 방향 평균 V_h, V_v, V_d

출력 : 수평 방향 DFT 스펙트럼과 보간 계수 $DFT[V_h(j)], P_h$
 수직 방향 DFT 스펙트럼과 보간 계수 $DFT[V_v(j)], P_v$
 대각선 방향 DFT 스펙트럼과 보간 계수 $DFT[V_d(j)], P_d$

```

1:  $\tilde{Y}(i, j) = Y(i, j) \times H$ 
2: For i = 2 to r
3:   For j = 2 to c
4:      $D_{nh}(i, j) = \tilde{Y}(i, j) \times M_h$ 
5:      $D_{nv}(i, j) = \tilde{Y}(i, j) \times M_v$ 
6:      $D_{nd}(i, j) = \tilde{Y}(i, j) \times M_d$ 
7:   End for
8: End for
9:  $V_h(j) = \sum_{i=0}^r |D_{nh}(i, j)|$ 
10:  $V_v(i) = \sum_{j=0}^c |D_{nv}(i, j)|$ 
11:  $V_d(j) = \sum_{i=0}^r |D_{nd}(i, j)|$ 
12:  $P_h = DFT[V_h(j)]$ 
13:  $P_v = DFT[V_v(i)]$ 
14:  $P_d = DFT[V_d(i)]$ 
    
```

2.1.1 전처리 과정

디지털 위변조 검출 알고리즘에 사용되는 입력 이미지를 $Y(i, j)$ 로 정의한다. 입력 이미지 $Y(i, j)$ 는 2x2 크기의 Low-Pass Filter, H 을 통과하여 $\tilde{Y}(i, j)$ 로 식 (1)과 같이 처리한다:

$$\tilde{Y}(i, j) = Y(i, j) \times H \tag{1}$$

2.1.2 차분 방정식 계산

이 단계에서는 확대 또는 축소 보간 연산에 의하여 이미지의 픽셀이 삽입되거나 또는 삭제되면서 반복적으로 발생하는 픽셀의 주기적 패턴을 분석한다. 전처리 과정을 거친 이미지 $\tilde{Y}(i, j)$ 는 수평, 수직, 그리고 대각선 방향에 대하여 마스크를 이용한 차분 방정식이 수행된다. 수평 방향에는 $[-1, 0, 1]$ 의 1x3 크기의 마스크 M_h 가, 수직 방향에는 $[-1; 0; 1]$ 의 3x1 크기의 마스크 M_v 가, 그리고 대각선 방향으로는 3×3 크기의 $[1, 0, -1; 0, 0, 0; -1, 0, 1]$ 의 마스크 M_d 가 식 (2)과 같이 처리된다:

$$\begin{aligned} D_{nh}(i, j) &= \tilde{Y}(i, j) \times M_h \\ D_{nv}(i, j) &= \tilde{Y}(i, j) \times M_v \\ D_{nd}(i, j) &= \tilde{Y}(i, j) \times M_d \end{aligned} \tag{2}$$

2.1.3 평균 계산

수평, 수직, 그리고 대각선 방향에 대하여 계산된 각각의 차분 방정식의 절대 값의 평균을 식 (3)과 같이 계산한다:

$$\begin{aligned} V_h(j) &= \sum_{i=0}^r |D_{nh}(i, j)| \\ V_v(i) &= \sum_{j=0}^c |D_{nv}(i, j)| \\ V_d(j) &= \sum_{i=0}^r |D_{nd}(i, j)| \end{aligned} \tag{3}$$

2.1.4 DFT 크기(magnitude) 분석

디지털 이미지에서 보간 연산에 의하여 크기 변환이 발생하게 되면 반복적으로 일정한 형태의 픽셀 패턴이 이미지에 포함된다. 이 픽셀 패턴이 이미지의 재샘플링 특성을 나타내는 주기성이 된다. 이 단계에서 계산된 각 방향의 평균값을 이용하여 Fourier 주파수 변환(DFT)을 통하여 확대 또는 축소의 보간 특성을 결정지을 수 있는 주기적 특성을 계산한다:

$$\begin{aligned} &DFT[V_h(j)] \\ &DFT[V_v(i)] \\ &DFT[V_d(i)] \end{aligned} \tag{4}$$

주파수 변환 영역에서 DFT 크기는 스펙트럼으로 표현하고 DFT의 위상(phase)은 무시한다.

2.1.5 보간 계수 측정

만약 이미지에서 임의의 크기로 재샘플링이 일어났다면 주파수 영역에서 DFT의 신호 크기는 뚜렷한 주기적 특성을 나타내게 되고, 재샘플링이 일어나지 않았다면 주파수 영역에서 어떠한 주기적 특성도 나타나지 않는다. 이 DFT 신호 크기의 주기적 특성을 분석하여 주파수 영역의 스펙트럼들 중에서 가장 큰 DFT 신호 크기를 측정하여 보간 계수로 결정하고, 알고리즘 2의 위변조 검출 맵의 요소로 사용한다.

2.2 알고리즘 2: 디지털 합성 이미지에서 보간 발생 영역 검출

알고리즘 2에서는 합성 이미지에서 보간이 발생한 영역과 발생하지 않은 영역의 위치를 정확하게 검출하는데 그 목표가 있으며 보간이 발생한 영역의 위치를 찾아내기 위하여 $N \times N$ 픽셀 크기의 스캐닝 마스크를 검출 단계에 적용하였다. 각 $N \times N$ 픽셀 크기의 마스크 블록에서는 알고리즘 1의 처리 순서에 따라 주파수 영역에서 측정된 보간 계수의 크기를 색상별로 분류하여 위변조 검출 맵을 생성한다. 이 위변조 검출 맵은 이미지 합성 과정에서 삽입되는 피사체의 확대 또는 축소의 크기 변형이 발생한 영역과 발생하지 않은 영역의 위치를 정확하게 검출하기 위한 분석 도구로 사용된다. 또한 공간영역에서 측정된 픽셀의 패턴과 제안한 알고리즘 2의 위변조 검출 맵을 비교 분석하여 보간 발생이 의심되는 영역을 M_1 으로, 그렇지 않은 영역을 M_2 로 분류한다. 각 나눠진 M_1 과 M_2 영역의 주기적 특성과 보간 계수를 측정하여 제안한 알고리즘의 검출 성능을 향상시켰다. 다음은 알고리즘 2의 처리 과정을 기술한 것이다.

알고리즘 2. 디지털 합성 이미지에서 보간이 발생한 영역 검출

입력 : 입력 이미지 $Y(i,j)$, 이미지 세로와 가로 크기 r, c
 2×2 Low-Pass Filter H , Low-Pass Filter 이미지 $\tilde{Y}(i,j)$
 $N \times N$ 마스크 블록, 블록 크기 $B(i,j)$, $blocksize$, 세로와 가로 크기 h, w , 스캐닝 픽셀 간격 n
 수평, 수직, 대각선 방향 마스크 M_h, M_v, M_d
 수평, 수직, 대각선 방향 차분 방정식 $D_h(i,j), D_v(i,j), D_d(i,j)$
 수평, 수직, 대각선 방향 평균 V_h, V_v, V_d

출력 : 수평 방향 DFT 스펙트럼과 보간 계수 $DFT[V_h(j)], P_h(k)$
 수직 방향 DFT 스펙트럼과 보간 계수 $DFT[V_v(j)], P_v(k)$
 대각선 방향 DFT 스펙트럼과 보간 계수 $DFT[V_d(j)], P_d(k)$
 수평, 수직, 대각선 방향 위변조 검출 맵 $map_h(i,j), map_v(i,j), map_d(i,j)$
 평균 위변조 검출 맵 $map(i,j)$, 공간 영역의 픽셀 패턴 맵 $Smap(i,j)$

```

1:  $\tilde{Y}(i,j) = Y(i,j) \times H$ 
2: For a = 0 to r step n
3:   For b = 0 to c step n
4:     For i = 1 to h
5:       For j = 1 to w
6:          $B(i,j) = \tilde{Y}(i,j)$ 
7:       End for
8:     End for
9:   For i = 1 to n
10:    For i = 1 to n
11:       $D_{nh}(i,j) = B(i,j) \times M_h$ 
12:       $D_{nv}(i,j) = B(i,j) \times M_v$ 
13:       $D_{nd}(i,j) = B(i,j) \times M_d$ 
14:    End for
15:    End for
16:     $V_h(j) = \sum_{i=0}^r |D_{nh}(i,j)|$ 
17:     $V_v(i) = \sum_{j=0}^c |D_{nv}(i,j)|$ 
18:     $V_d(j) = \sum_{i=0}^r |D_{nd}(i,j)|$ 
19:     $P_h = \max(DFT[V_h(j)])$ 
20:     $P_v = \max(DFT[V_v(i)])$ 
21:     $P_d = \max(DFT[V_d(i)])$ 
22:     $map_h(i,j) = P_h$ 
23:     $map_v(i,j) = P_v$ 
24:     $map_d(i,j) = P_d$ 
25:  End for
26: End for
27: For i = 1 to height size of map
28:   For j = 1 to width size of map
29:     Compare the position value of  $map_h(i,j)$ 
30:     If ( $map_h(i,j) = map_v(i,j) = map_d(i,j)$ ) then
31:        $map(i,j) = map_h(i,j)$ 
32:     Else if ( $map_h(i,j) = map_v(i,j)$ ) or
33:       ( $map_h(i,j) = map_d(i,j)$ ) then
34:        $map(i,j) = map_h(i,j)$ 
35:     Else if ( $map_v(i,j) = map_h(i,j)$ ) then
36:        $map(i,j) = map_v(i,j)$ 
37:     Else
38:        $map(i,j) = map_d(i,j)$ 
39:   End if
40: End if
41: End if
42: End for
43: End for
44: Compare  $map(i,j)$  and  $Smap(i,j)$ 
45: Divide  $M_1$  and  $M_2$ 
46: Each  $M_1$  and  $M_2$  to detect interpolation factor return go to 9: from 26:
    
```

2.2.1 전처리 과정

디지털 위변조 분석 알고리즘에 사용되는 합성 이미지는 알고리즘 1의 전처리 과정 식 (1)과 같은 방법으로 처리된다.

2.2.2 $N \times N$ 픽셀 크기의 마스크 스캐닝 과정

전처리 과정을 거친 이미지는 $N \times N$ 픽셀 크기의 마스크 블록을 이용하여 이미지의 왼쪽 상단에서 시작하여 오른쪽 하단까지 각 블록이 중첩되지 않도록 순차적으로 스캐닝 처리를 수행한다. 블록 마스크 스캐닝 과정은 이미지 크기의 가로 방향으로 n 픽셀 간격으로 반복 수행한다. 각 $N \times N$ 픽셀 크기의 마스크 블록에서는 제안한 알고리즘 1에서와 같은 방법으로 수평, 수직, 그리고 대각선 방향에 대하여 각각 차분 방정식을 계산한 다음 각 방향에 대한 평균값을 계산한다. 각 방향의 평균값을 이용하여 DFT 주파수 변환을 통하여 보간 연산의 특성을 결정지을 수 있는 DFT 신호 특성을 분석하여 보간 계수를 산출한다.

2.2.3 위변조 검출 맵 구성

이 단계에서는 각 $N \times N$ 픽셀 크기의 마스크 블록을 이용하여 각 수평, 수직, 그리고 대각선 방향에 대하여 측정된 보간 계수들로 이루어진 위변조 검출 맵을 구성한다. 각 마스크 블록의 수평, 수직, 그리고 대각선의 세 방향에서 측정된 보간 계수의 크기들을 비교하여 두 개의 방향에서 같은 크기의 보간 계수가 측정되었다면 그 마스크 블록의 보간 계수 값으로 결정한다. 만약 세 개의 방향에서 측정된 보간 계수의 크기가 모두 같지 않은 경우에는 대각선 방향에서 측정된 보간 계수의 크기를 그 마스크 블록의 보간 계수 값으로 결정한다. 이렇게 구성된 위변조 검출 맵의 보간 계수는 크기에 따라 색상별로 표현된다. 그러므로 위변조 검출 맵에서 이웃한 블록들 사이의 색상을 이용한 비교 분석이 가능하기 때문에 누구나 시각적으로 보간이 발생한 영역과 그렇지 않은 영역을 쉽게 판별할 수 있다.

2.2.4 합성 이미지의 보간 발생 영역판별

이전의 연구들에서 사용한 공간 영역의 픽셀 패턴 분석과 본 논문에서 제안한 보간 계수의 크기를 색상별로 표현한 위변조 검출 맵을 비교하여 보간 발생이

의심되는 영역을 M_1 으로, 그렇지 않은 영역을 M_2 로 분류한다. M_1 과 M_2 로 나뉜 각 영역에서 DFT 신호의 주기적 특성과 보간 계수의 크기를 측정하여 디지털 합성 이미지에서 발생한 확대 또는 축소의 보간 영역의 위치를 검출한다.

3. 실험 및 분석 결과

본 연구에서 정의하는 위변조가 발생한 디지털 이미지는 합성 과정에서 보간이 발생한 이미지이며, 위변조된 디지털 이미지의 경우 이미지 삽입과정에서 보간이 발생하였을 경우를 1차 보간 이미지, 합성이 끝난 다음 이미지에 추가적인 크기 변형이 발생하는 경우를 2차 보간 이미지로 정의한다. 실험에 사용되는 이미지들은 포토샵 프로그램에서 입방형 보간법을 이용하여 제작되었고, 모든 실험들은 Matlab 프로그램을 이용하여 구현되었다.

3.1 확대, 축소의 크기 변형에 의한 보간 연산의 주기적 특성 분석

이 절에서는 보간법을 기반으로 하는 디지털 이미지의 확대 또는 축소 여부를 판별하기 위하여 다음과 같은 실험을 진행하였다. 디지털 카메라로 촬영된 이미지에 입방형 보간법을 이용하여 다양한 크기의 확대와 축소 변형을 적용하였다.

그림 1(a)의 실험에 사용된 이미지는 512×512 크기로 구성되어지며, (b)와 (c), 그리고 (d)는 각각 수평, 수직, 그리고 대각선 방향에 대하여 이미지의 DFT 신호 크기를 분석한 것이다. 분석 결과 그림 1의 (b)의 수평 방향과 (c)의 수직 방향, 그리고 (d)의 대각선의 모든 방향에서 실험 이미지의 주파수 영역에서 스펙트럼이 뚜렷한 특징을 나타내고 있지 않기 때문에 보간에 의한 크기 변형이 일어나지 않은 원본 이미지라는 것을 관찰할 수 있었다.

그림 2의 실험은 그림 1(a)의 이미지를 확대 변형하여 각각 수직, 수평, 대각선 방향에 대하여 DFT의 신호 크기를 분석한 결과이다. 일반적으로 이미지에 임의의 크기로 L 배 확대 보간 연산을 적용하면 $L-1$ 개의 픽셀이 반복적으로 이미지 내에 삽입된다. 이 반복적인 패턴들은 주파수 영역에서 뚜렷한 크기의 피크(peaks)를 그림 2와 같이 나타내게 된다. 이 피크

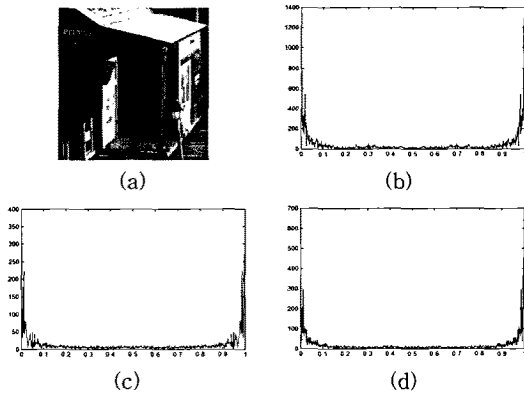


그림 1. 이미지의 주기적 특성 분석. (a) 입방형 보간법을 이용한 512×512 크기의 이미지, (b) 수평 방향에 대한 DFT 신호 크기, (c) 수직 방향에 대한 DFT 신호 크기, (d) 대각선 방향에 대한 DFT 신호 크기.

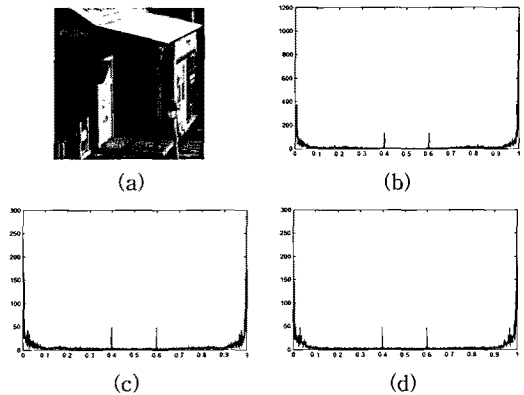


그림 2. 확대 보간이 적용된 이미지의 주기적 특성 분석. (a) 512×512 크기의 이미지, (b) 2.5배 확대 이미지의 수평 방향에 대한 DFT 신호 크기, (c) 2.5배 확대 이미지의 수직 방향에 대한 DFT 신호 크기, (d) 2.5배 확대 이미지의 대각선 방향에 대한 DFT 신호 크기

가 바로 확대 이미지의 주기적 특성이 되는 것이다. 피크가 표시되는 주파수 f 의 위치에서 보간 계수 \tilde{n} 을 측정한다. 보간 계수 \tilde{n} 은 $\frac{1}{f}$ 로 계산되어진다. 그림 2의 (a)와 (b), 그리고 (c)에서는 각각 수평, 수직, 대각선 방향의 주파수 0.4 위치에서 뚜렷한 크기의 피크를 나타내고 있기 때문에 2.5배 확대 보간된 이미지라는 것을 확인할 수 있었다.

그림 3의 실험 결과는 대각선 방향에서 DFT 신호의 크기를 분석한 결과이다. 확대 보간의 결과와는 다르게 축소 보간이 적용된 이미지에서는 보간 크기 만큼 이미지의 픽셀들이 삭제되면서 나타나는 엘리어싱(aliasing) 왜곡 현상이 주파수 영역에서 관찰되

었으며 주파수 스펙트럼이 오른쪽 방향으로 이동되는 것을 확인할 수 있었다. 그림 3의 (a)에서는 스펙트럼 상에서 뚜렷한 크기의 피크와 엘리어싱 왜곡이 관찰되지 않았기 때문에 보간이 발생하지 않은 이미지라는 것을 관찰할 수 있었다. 반면에 그림 3의 (b)와 (c), 그리고 (d)에서는 빨간색 점선으로 표시되는 부분에서 스펙트럼의 모양이 계곡 모양으로 변하는 것을 확인할 수 있는데 이것은 이미지의 픽셀이 삭제되면서 나타나는 엘리어싱 왜곡 현상으로 이미지에 축소 보간이 적용되었음을 확인할 수 있었다. 그리고 주파수 스펙트럼이 약간씩 오른쪽 방향으로 확장되는 것이 관찰되었다. 이 스펙트럼의 확장은 보간 계수 크기만큼 이동되는데, 그림 3의 초록색 실선 부분에서 축소 보간의 크기를 측정할 수 있었다. 그림 3의 (b)와 (c), 그리고 (d)에서는 주파수 상의 왼쪽 AC 성분을 기준으로 DC 성분의 두 번째 스펙트럼의 위치가 주파수 0.05의 위치로부터 오른쪽으로 확장된 거리를 추정하여 축소 보간의 크기를 계산하였다. 그림 3(a)는 초록색 실선 영역의 두 번째 스펙트럼이 0.05 위치에 있으므로 보간이 일어나지 않은 이미지이고, (b)는 두 번째 스펙트럼이 0.06 위치에 있으므로 0.1배 크기로 축소된 이미지이며, (c)는 0.07 위치에 스펙트럼이 있기 때문에 0.2배 크기로, 그리고 (d)는 스펙트럼이 0.1 위치에 있기 때문에 0.5배 축소된 이미지라는 것을 추정할 수 있었다.

이상에서와 같이 이미지의 크기를 변경하여 주파

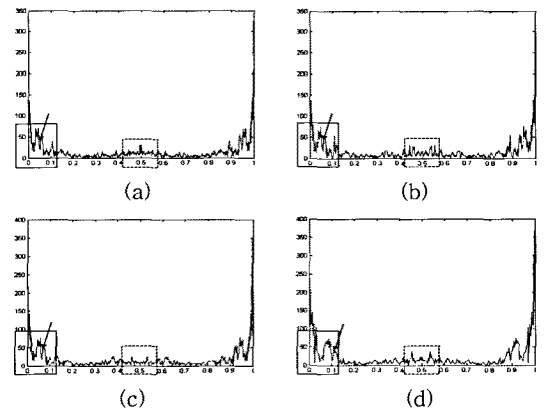


그림 3. 축소 보간이 적용된 이미지의 대각선 방향에 대한 주기적 특성 분석. (a) 보간이 일어나지 않은 이미지의 DFT 신호 크기, (b) 0.1배 축소 이미지의 DFT 신호 크기, (c) 0.2배 축소 이미지의 DFT 신호 크기, (d) 0.5배 축소 이미지의 DFT 신호 크기

수 영역에서 DFT 신호 크기를 분석한 결과 확대와 축소 보간이 발생한 이미지에서는 주파수 스펙트럼에서 육안으로 확인 가능한 주기적 특성이 나타나는 것을 확인할 수 있었고, 이 특성들이 이미지에서 발생한 보간 여부를 판별하는 도구로 사용될 수 있다는 사실을 실험을 통하여 증명하였다.

3.2 합성에 의한 보간 이미지 분석

이 절에서는 디지털 합성 이미지에서 보간이 발생한 영역과 보간이 발생하지 않은 영역을 시각적으로 확인 가능한 위변조 검출 맵을 구성하였다. 제안한 알고리즘의 위변조 검출 맵이 디지털 이미지 위변조 판별의 중요한 도구로 사용되기 때문에 실험을 통하여 얻어진 위변조 검출 맵의 결과가 본 연구의 신뢰성에 영향을 미치게 된다. 위변조 검출 맵은 64×64 크기의 마스크 스캐닝을 통하여 측정된 보간 계수들로 구성되며, 다음과 같은 실험들을 진행하였다.

그림 4의 (a)는 보간이 발생하지 않은 512×512 크기의 디지털 이미지이며 그림 4의 (b)는 제안 알고리즘을 이용하여 실험 이미지의 DFT 신호 크기를 분석하여 보간 계수의 크기에 따라 각 블록에서 검출된 보간 계수를 색상별로 분류하여 위변조 검출 맵을 구성하였다. 위변조 검출 맵은 64×64 크기의 마스크 블록을 그림 4(a)의 실험 이미지를 수평방향으로 8픽셀의 간격 차이를 두고 전체적으로 반복 스캐닝 처리하여 얻은 결과이다. 그림 4(b)의 위변조 검출 맵에서 인접한 블록들 사이의 보간 계수 크기를 비교해 본 결과, 보간에 의한 이미지의 크기 변환을 추정할 수 있는 어떠한 특성도 나타나지 않았다. 그러므로 그림 4의 (a)는 보간이 발생하지 않은 디지털 이미지라는 것을 추정할 수 있었다. 그림 4의 (c)는 기존의 연구에서 사용되었던 공간 영역에서의 이미지 픽셀 패턴

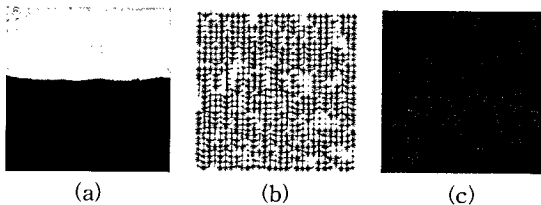


그림 4. 보간이 발생하지 않은 이미지 분석. (a) 512×512 크기의 실험 이미지, (b) 8픽셀 간격으로 스캐닝을 적용한 위변조 검출 맵, (c) 공간영역에서의 픽셀 패턴 분석

을 분석한 결과로 제안한 알고리즘과의 검출 성능을 비교하기 위하여 분석하였다.

그림 5의 (a)는 디지털 이미지 합성 과정에서 보간 연산이 적용되지 않은 배경 이미지에 남자 아이의 이미지가 2배 크기로 확대되어 삽입된 디지털 합성 이미지이다. 이 합성 이미지에 제안한 위변조 검출 알고리즘을 적용시킨 결과 보간이 발생한 영역과 발생하지 않은 영역 사이에는 시각적으로 위변조 확인이 가능한 분명한 차이가 있다는 것을 관찰할 수 있었다. 그림 5의 (b)에서 분석한 보간 계수의 DFT 신호 크기를 색상별로 나누어 분석해본 결과, 검정색 실선으로 표시되는 영역을 인접한 블록들과 비교해 볼 때 보간 연산이 발생한 블록의 보간 계수 검출에서는 집중적으로 파란색으로 보간 계수가 표시되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 파란색 영역의 모양이 그림 5(a)의 남자 아이의 모습과 비슷한 형태를 나타내기 때문에 이 영역에서 보간이 발생하였다고 추정할 수 있다. 또한 시각을 이용한 위변조 분석 측면을 고려하여 그림 5의 (b)와 (c)를 비교해 보면 (b)의 분석 결과에서 보간 발생 여부를 명확하게 증명할 수 있었다. 또한 보간이 발생한 영역의 위치를 검출한 다음, 검출 영역에서 발생한 보간 계수 값 측정과 검출 영역에서 확대, 또는 축소 보간의 크기 변환이 발생하였는지를 분석하기 위하여 그림 5(c)에서 보이는 것처럼 보간 발생이 일어난 영역을 M_1 으로, 발생하지 않은 영역을 M_2 로 나누어 그림 5에서 분석하였다.

그림 6의 (a)에서는 DFT 주파수 영역 0.5 위치에서 뚜렷한 크기의 피크가 나타나기 때문에 보간 계수 측정 결과 디지털 이미지 합성 과정에서 소년의 이미지가 2배 크기로 확대되어 삽입되었다는 사실을 확인할 수 있었다. 그림 6의 (b)에서 검출된 DFT 신호

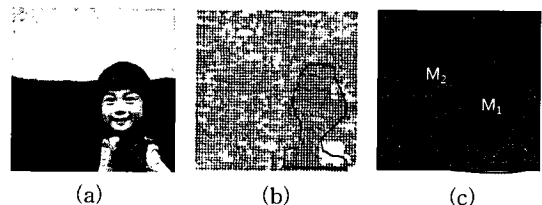


그림 5. 2배 확대 보간이 발생한 재샘플링 이미지 분석. (a) 512×512 크기의 디지털 합성 이미지, (b) 8픽셀 간격으로 스캐닝을 적용한 위변조 검출 맵, (c) 공간영역에서의 픽셀 패턴 분석

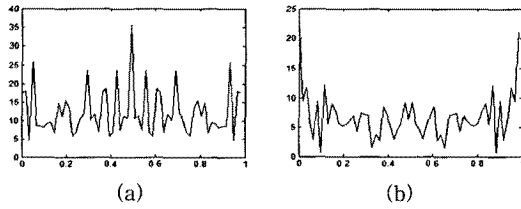


그림 6. 보간 발생이 의심되는 영역과 의심되지 않는 영역의 계수 분석. (a) 보간 발생이 의심되는 M_1 영역의 보간 계수 검출, (b) 보간 발생이 의심되지 않는 M_2 영역의 보간 계수 검출

크기 분석에서는 눈에 띄게 드러나는 어떠한 특성도 검출하기 어렵기 때문에 이 영역에서는 보간이 발생하지 않았다고 추정할 수 있다.

그림 7의 (a)는 디지털 이미지 합성 과정에서 보간이 발생하지 않은 배경 이미지에 그림 5와 반대로, 남자 아이의 이미지가 2배 크기로 축소되어 삽입된 합성 이미지이다. 그림 7의 (b)에서 분석한 보간 계수의 DFT 신호 크기 색상을 그림 7(b)의 결과와 비교해보면 검정색 실선으로 표시되는 영역에서 인접한 블록들과 다르게 축소 보간이 적용된 블록에서 검출된 보간 계수가 집중적으로 갈색으로 표시되는 것을 확인할 수 있었다. 갈색으로 표시되는 모양이 그림 7(a)의 남자 아이의 모습과 비슷한 형태를 유지하기 때문에 이 영역에서 보간이 발생하였다는 것을 관찰할 수 있었다. 확대 보간이 적용된 그림 5의 실험 결과와 다르게 축소 보간이 적용된 실험 이미지에서는 시각을 이용한 위변조 분석에서 명확한 위변조 판별에는 약간의 어려움이 있었다. 이는 축소 보간에서 발생되는 픽셀 패턴의 삭제로 인하여 주파수 변환 영역에서 스펙트럼의 확장 현상이 나타나기 때문이다. 이러한 단점은 그림 8의 분석을 통하여 보완될 수 있다. 그림 8(a)의 주파수 영역 분석에서는 축소 보간으로 인하여 주파수 스펙트럼이 겹쳐지면서 초

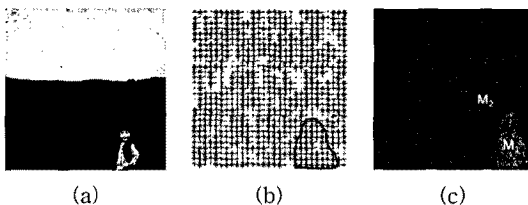


그림 7. 2배 축소 보간이 발생한 재생플링 이미지 분석. (a) 512×512 크기의 디지털 합성 이미지, (b) 8픽셀 간격으로 스케닝을 적용한 위변조 검출 맵, (c) 공간 영역에서의 픽셀 패턴 분석

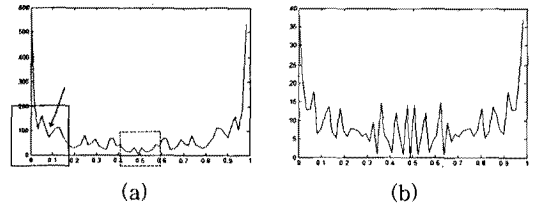


그림 8. 보간 발생이 의심되는 영역과 의심되지 않는 영역의 계수 분석. (a) 보간 발생이 의심되는 M_1 영역의 보간 계수 검출, (b) 보간 발생이 의심되지 않는 M_2 영역의 보간 계수 검출

래되는 엘리어싱 왜곡 현상이 나타나는 것을 빨간색 점선 영역에서 확인할 수 있었다. 축소 보간이 발생한 이미지에서의 보간 계수 측정은 스펙트럼의 확장으로 오른쪽 방향으로 약간씩 이동되는 DC 성분의 위치 계산으로 얻어진다. 그림 8의 (a)에서 DC 성분의 두 번째 피크가 주파수 0.1의 위치에 존재하기 때문에 0.05를 기준으로 해서 1/2배 크기로 축소 보간이 발생했다는 사실을 검출할 수 있었다. 그림 8의 (b)에서도 마찬가지로 시각적으로 확인할 수 있는 어떠한 주기적 특성도 나타내지 않기 때문에 보간이 발생하지 않은 영역이라고 단언할 수 있다.

3.3 디지털 합성 이미지에 2차 보간이 적용된 이미지 분석

본 연구에서는 2차, 3차적으로 크기 변환의 보간이 적용된 합성 이미지에 대하여 제안한 알고리즘을 적용하여 위변조 검출 여부를 증명하였다. 그림 9의 (a)는 1024×1024 크기의 디지털 합성 이미지에 2차 보간 실험을 위하여 512×512로 축소 보간한 이미지이다. 이전의 실험들에서 관찰된 결과와 마찬가지로 2차 보간이 발생한 디지털 합성 이미지에서도 1차 보간에 의한 보간 계수의 주기적 특성이 그대로 적용되고 있기 때문에 그림 9의 (b)에서 보이는 것처럼 합성 영역의 위치를 검출할 수 있었다.

또한 디지털 합성 이미지의 크기가 다시 확대되는 경우를 분석하기 위하여 그림 10에서는 그림 9(a)의 이미지를 다시 1024×1024 크기로 확대 처리한 3차 보간 이미지를 실험 대상으로 선정하여 분석하였다. 그림 10의 (a)는 다시 확대 보간이 적용된 3차 보간 이미지이며 그림 10(b)의 분석 결과에서도 그림 9(b)와 마찬가지로 매우 비슷한 결과를 관찰할 수 있었다.

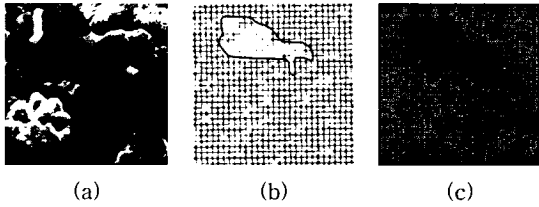


그림 9. 2차 보간이 적용된 디지털 합성 이미지 분석. (a) 1024×1024 이미지를 512×512로 축소한 이미지, (b) 8픽셀 간격으로 스캐닝을 적용한 위변조 검출 맵, (c) 공간영역에서의 픽셀 패턴 분석

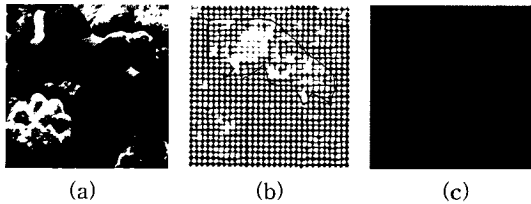


그림 10. 3차 보간이 적용된 디지털 합성 이미지 분석. (a) 512×512 이미지를 1024×1024로 확대한 이미지, (b) 8픽셀 간격으로 스캐닝을 적용한 위변조 검출 맵, (c) 공간영역에서의 픽셀 패턴 분석

이를 근거로 하여 디지털 이미지에서 발생한 보간 영역의 검출이 가능하다면 합성 이미지가 생성되어진 다음 이미지의 크기에 변형이 다시 발생하더라도 위변조 분석이 가능하다는 사실을 위의 실험들을 통하여 확인할 수 있었다.

4. 결 론

본 논문에서는 디지털 이미지의 합성 과정에서 확대 또는 축소의 크기 변환에 의하여 보간이 발생한 영역을 검출할 수 있는 새로운 디지털 이미지 위변조 검출 알고리즘을 제안하였다. 디지털 이미지 합성 과정에서 보간이 발생한 영역과 발생하지 않은 영역의 픽셀의 주기적 특성을 DFT 신호 크기로 분석하여 보간 계수 크기를 색상별로 분류하여 위변조 검출 맵을 구성하였으며, 위변조 검출 맵의 인접한 블록들 사이에서 보간 계수의 색상 비교를 통하여 육안을 이용한 위변조 발생 여부를 쉽게 판별할 수 있었다. 또한 보간 계수 검출 단계에서는 디지털 이미지 합성 과정에서 적용되어지는 이미지 크기 변환에 따른 주

기적 신호 특성을 검출하여 확대 또는 축소에 의한 위변조 여부도 증명할 수 있었다. 보간을 기반으로 하는 이미지의 위변조를 분석하기 위하여 본 연구에서 제안된 알고리즘과 이전의 Prasad와 Ramakrishnan이 제안하였던 방법과 비교하여 볼 때 디지털 이미지 합성 과정에서 발생하는 보간 여부 검출은 물론 합성된 후 인터넷에 배포하기 위하여 다시 보간이 발생한 디지털 이미지에서도 보간이 발생한 영역과 발생하지 않은 영역을 매우 정확하게 검출할 수 있었다. 그러므로 제안된 디지털 합성 이미지의 위변조 분석 프로그램은 향후 위변조된 디지털 이미지를 분석하기 위한 도구로 사용될 수 있을 것이라 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] A. Popescu and H. Farid, "Exposing digital forgeries by detecting traces of re-sampling," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol.53, No.2, pp.758-767, 2005.
- [2] A. Popescu and H. Farid, "Statistical tools for digital forensics," in 6th International Workshop on Information Hiding, pp.128-147, 2004.
- [3] A. C. Gallagher, "Detection of linear and cubic interpolation in JPEG compressed images," *The 2nd Canadian Conference on Computer and Robot Vision*, pp.65-72, 2005.
- [4] S. Prasad and K. R. Ramakrishnan, "On re-sampling detection and its application to image tampering," in *Proceedings of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, pp.1325-1328, 2006.
- [5] B. Mahdian and S. Saic, "Blind authentication using periodic properties of interpolation," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, Vol.3, pp.529-538, 2008.
- [6] B. Mahdian and S. Saic, "Blind methods for detecting image fakery," in *IEEE International Carnahan Conference on Security Technology*, pp.280-286, 2008.



송 근 실

1992년 3월~1996년 2월 호원대
학교 전자계산학과 학사
1996년 3월~1998년 8월 수원대
학교 전산교육전공 석사
2001년 9월~현재 중앙대학교 첨
단영상대학원 영상학과
박사과정

관심분야 : 영상처리, 디지털 콘텐츠 보호, 정보보호 등



이 원 형

2001년 3월~현재 중앙대학교 첨
단영상대학원 영상학과
부교수
관심분야 : 디지털 콘텐츠 보호,
컴퓨터게임, 인공지능
등



윤 용 인

1982년 3월~1986년 2월 중앙대
학교 전자공학과 학사
1986년 3월~1988년 3월 중앙대
전자공학과 석사
1999년 3월~2003년 8월 중앙대
첨단영상대학원 영상학
과 박사

2006년 7월~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상학
과 연구교수

관심분야 : 신호처리, 컴퓨터 비전, 증강현실, 영상처리 등