재보간의 특성을 이용한 디지털 이미지의 합성 영역 및 필터링 영역 검출

황민구^{*}, 하동환^{**}

요 약

디지털 합성 이미지는 이미지가 담고 있는 진정성을 왜곡하기 때문에 사회적인 문제가 되고 있다. 이러한 디지털 합성 이미지들은 인터넷, 잡지 또는 정치적 광고를 위한 이미지들에서 흔히 볼 수 있다. 이러한 왜곡된 매체들은 이미지가 담고 있는 정보에 대한 신뢰도를 떨어트릴 수 있다. 본 논문에서는 이와 같이 대중에게 전달되는 정보의 혼란을 예방하기 위한 연구로써 디지털 합성 이미지를 판독하는데 목적이 있다. 대부분의 합성 이미지들은 이미지 크기 조절 및 회전을 이용하는 방법을 사용하기 때문에 합성 영역에 보간(Interpolation)이 적용되게 된다. 본 논문은 보간의 흔적을 검출하는 연구로써 이미 보간이 적용된 영역과 그렇지 않은 영역에 재보간을 적용하여 두 영역간의 주파수 패턴을 검출하는 실험을 하였다. 이를 통해 합성에 사용된 보간 흔적을 검출하였으며 이미지 리터칭에 사용된 필터링 영역도 검출할 수 있었다.

Detection of Forged Regions and Filtering Regions of Digital Images Using the Characteristics of Re-interpolation

Min-Gu Hwang^{*}, Dong-Hwan Har^{**}

ABSTRACT

Digital image forgery is becoming a topic of great interest with regard to honesty in imaging. We can often see forged digital images in a variety of places, such as the internet, and magazines, and in images used in political ads, etc. These can reduce the reliability and factual basis of the information contained in image. Therefore, objectivity is needed to determine if the image is forged so as to prevent confusion in the viewing public. Most digital forgeries consist of image resizing, rotating including the following interpolations. To find evidence of interpolation in forged images, this paper proposes a new method for detecting digital image forgery using general interpolation factors analyzed through re-interpolation algorithm of the forged images in order to determine the differences in the patterns. Through the re-interpolation algorithm we could detect the forged region and filtering region used image retouching included to interpolation.

Key words: Digital image(디지털 이미지), Forged image(합성 사진), Image resize(이미지 크기 변형), Interpolation(보간), Re-interpolation(재보간), DFT(푸리에 주파수 변환)

※ 교신저자(Corresponding Author): 하동환, 주소: 서울시 동작구 흑석동 중앙대학교 221 아트센터 803호(156-756), 전화: 02)820-5749, FAX: 02)817-0979, E-mail: dhhar@cau.ac.kr

접수일: 2011년 8월 29일, 수정일: 2011년 10월 18일
완료일: 2011년 11월 22일

^{*} 준회원, 중앙대학교 첨단영상대학원
(E-mail: minku3607@nate.com)

^{**} 준회원, 중앙대학교 첨단영상대학원

※ 본 논문은 2011년도 중앙대학교 연구 장학기금 지원에 의한 것입니다.

1. 서 론

최근 디지털 이미지 편집 프로그램들이 발전 하면서 누구나 손쉽게 합성 이미지들을 다량으로 생산할 수 있게 되었다. 이 때문에 이를 이용한 인터넷, 신문 기사, 잡지 등의 매체에 합성 이미지들의 출현 빈도가 점차 증가하고 있는 추세이다. 하지만 현재 상황 속에서 위조를 바탕으로 하는 합성 이미지들에 대한 객관적인 검증 시스템이 제대로 구축되어 있지 않아 수용자에게 왜곡된 정보가 전달되고 있으며, 결국 개인적으로는 명예훼손, 초상권 침해 또 공적으로는 허위사실 유포, 공문서 위조 등과 같은 다양한 범죄가 발생하고 있다. 본 논문은 이와 같이 합성 이미지로 과생되는 문제점들을 효과적으로 해결할 수 있는 검증 방법을 제안하고자 시작되었다. 이러한 시도는 아래와 같이 기존 여러 연구를 통해 제안되고 있지만 아직까지 여러 문제점을 갖고 있다.

복제(Cloning)된 합성 영역 검출 방법[1-3]은 PCA(Principal Component Analysis)와 DCT(Discrete Cosine Transform)을 통해 복제된 영역을 검출하는 방법이지만 실제 합성된 디지털 이미지들은 서로 다른 이미지에서 필요한 부분만을 임의로 추출하여 사용하기 때문에 복제된 부분을 검출하는 방법은 효과적이지 않다. 또 합성된 영역의 접합(Splicing)부분을 검출하는 방법[4-6]은 접합된 합성 영역의 가장자리 정보의 변화를 분석하는 방법이다. 하지만 만약 합성된 영역이 이미지의 크기 변화 및 전처리 단계에서 데이터 변형이 일어나 흐림 현상(Blurring)이 나타나게 되면 접합 부분이 정확하게 검출되기 어려운 문제점이 있다. 이 외에 컬러 필터 어레이(Color Filter Array)를 이용한 방법[7], 카메라의 기중에 따

른 센서의 고정 패턴 노이즈(Fixed Pattern Noise)를 이용하는 방법[8-9], 렌즈의 색수차(Chromatic Aberrations)를 이용한 방법[10] 등이 있다. 그러나 이 방법들은 합성 이미지에 사용된 소스가 서로 다른 카메라의 메커니즘에 의해 만들어진 것이라는 전제 조건이 있기 때문에 동일 메커니즘을 이용한 소스들이 사용되었을 때는 분석이 불가능하다. 추가적으로 이미지에 나타난 빛의 방향을 분석하는 방법(Lighting Inconsistences)[11-13]은 이미지에 빛의 방향을 확인할 수 있는 단서가 없거나 복합 조명이 사용된 경우에는 판독이 불가능한 문제점이 있다.

최근 연구에서는 이와 같은 문제점을 보완하기 위해서 JPEG 고스트(JPEG Ghost)를 이용한 방법[14]가 사용되기도 하였다. 이 연구는 합성된 이미지의 배경과 서로 다른 압축 방식 및 압축률을 가지고 있어야 하는 전제 조건이 있기 때문에 이 조건에 부합하지 않은 합성 이미지에서는 합성 영역이 검출되지 않는 문제점이 있다.

위에서 언급한 문제점들을 보완하기 위해서 가장 효과적인 검출 방법은 리샘플링(Re-sampling)검출 방법이다[15-21]. 합성 이미지를 만들기 위해 가장 많이 사용하는 방법으로는 이미지 크기를 조절하거나 회전하는 것이다. 이는 이미지의 전체적인 조화를 위해서 반드시 사용되는 기법으로 이미지 변형이 있을 때 그림 1과 같이 항상 보간(Interpolation)연산을 포함하는 리샘플링이 일어나게 된다. 결과적으로 이 연구들은 리샘플링이 일어난 보간의 흔적을 찾는 방법으로써 기존의 전제 조건이 없어 합성 이미지를 분석하는 방법으로 가장 효과적이라고 할 수 있다.

이러한 보간의 영역을 검출하기 위해서 다양한 방법들이 연구되고 있다. Popescu와 Farid[15-17]은 보

그림 1. 합성 이미지를 만들기 위한 보간 과정

간이 발생한 부분을 검출하기 위해서 EM(Expectation Maximization) 알고리즘을 활용하였다. 이 알고리즘은 보간이 발생한 부분을 찾아내는 속도는 다소 느리지만, 보간 발생 영역에 대한 추정치를 정확하게 검출할 수 있다. 그러나 제안된 이 방법은 1차 보간이 발생한 이미지의 변조에 대해서만 가능하며, 2차 이상의 보간이 발생한 영역에서는 분석이 어려운 단점이 있다. 또 Gallagher[18]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 이 알고리즘은 디지털 확대 이미지에서 일어난 보간 계수 검출은 가능하지만, 일부가 위조된 경우에는 영역을 검출하지 못하는 문제점이 있다. 그리고 Prasad와 Ramakrishnan[19]는 [18]이 제안한 알고리즘과 유사한 방법을 사용하여 보간 발생 여부를 증명하였다. 그러나 이 연구는 이진 영상 분석에만 적용됐다는 문제점이 있다. Mahdian과 Saic[20-21]은 보간 신호의 공분산 구조(Covariance Structure)에서 나타나는 이미지의 스케일링 계수, 또는 회전각에 대한 주기적 특성을 분석하였다. 이 연구는 보간 영역을 검출하기 위하여 128×128 픽셀의 윈도우 크기를 실험 이미지에 수평방향으로 중첩되지 않도록 적용하였다. 이 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. 결국 이와 같이 윈도우의 크기를 정해 검출을 하다 보면 최종 검출 맵이 정확하게 나타나지 않는다는 문제점이 있다. 이 때문에 검출된 합성 영역의 검출 맵은 그 효과가 현저히 떨어져 정확히 어느 부분을 합성이라고 판단하기 힘들다는 문제가 있었다. 지금까지 언급한 보간 검출의 문제점들을 정리하면 다음과 같다.

(1) 1차 이상의 보간이 일어난 합성 이미지에서는 정확한 합성 영역을 검출하기 힘들었다. 대부분의 합성된 이미지들은 출처를 알 수 없어 1차 보간 이외의 다양한 보간이 발생했을 가능성이 배제하기 어렵다. 이 때문에 기존의 보간 관련 연구로는 다양한 합성 이미지 분석이 불가능하다.

(2) 일부분이 합성된 이미지나 이진영상이 아닌 이미지에서의 합성 영역에 대한 판독이 불가능하다.

(3) 최종 검출맵이 1픽셀별로 스캐닝(Scanning)한 것이 아니기 때문에 최종 검출 맵이 정확하지 않는 문제점이 있다.

본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 합성 영역과 비합성 영역에 동일한 임의 값으로 재보간 함으로써 두 영역에서 발생하는 특정 패턴을 분석하여 최종 검출 맵으로 구현하고자 한다. 이 방법은 재보간을 통해 합성된 이미지 데이터의 주파수 성분을 강제로 훼손시킬 수 있어 처음부터 보간이 있었던 영역과 그렇지 않은 영역의 주파수 손실정도를 명확하게 구분할 수 있다. 이러한 주파수의 변화를 확인하기 위해서 본 논문에서는 이미지의 주파수 성분을 확인할 수 있는 DFT(Discrete Fourier Transform)를 사용하였다. 이 과정을 위해서 2장에서 이미지가 보간의 종류와 비율에 따라서 어떠한 패턴이 있는지를 DFT를 통해 확인한다. 3장에서는 앞서 나타난 패턴들이 합성 영역과 비합성 영역에 재보간을 적용하였을 때의 패턴을 분석한다. 4장에서는 도출된 패턴을 바탕으로 실제 합성이 이루어진 이미지에 재보간을 적용함으로써 최초의 합성 이미지와 차후 재보간을 적용한 이미지와의 차분 값을 이용한 최종 검출 맵을 구현한다. 또 5장에서는 기존의 연구의 문제점이 해결되었는지 성능 테스트를 하였으며, 마지막으로 본 알고리즘을 이용하여 합성에 많이 사용하는 각종 필터링 영역에 대한 검출 테스트를 진행하였다.

2. 보간 방법과 보간 비율에 따른 특성 분석

대부분 프로그램을 통해 합성하는 이미지들은 Adobe® Photoshop에서 제공하는 보간 방법을 사용한다. 이 보간은 최근접 이웃화소 보간법(Nearest Neighbor), 양선형 보간법(Bilinear), 고등차수 보간법(Bicubic)의 3가지로 방법으로 나누어진다. 최근접 이웃화소 보간법은 보간의 방법 중 가장 단순한 구조를 가진 보간법으로 원래 픽셀에서 가장 가까운 픽셀을 선택해서 보간하는 방법이다. 양선형 보간법은 가로, 세로방향으로 주위에 있는 4개의 픽셀을 선택해서 평균을 내는 방법이며, 마지막으로 고등차수 보간

그림 2. 각 보간 방법에 따른 패턴의 차이

법은 이보다 진보화 된 계산법을 사용하여 가로, 세로, 대각선 방향으로 샘플링하고 각 픽셀에 가중치를 부여하여 평균값을 적용한 보간법이다.

이러한 보간 방법들은 이미지에 따라서 그림 2와 같은 패턴을 만든다. 최근접 이웃화소 보간법과 같은 경우에는 새로운 픽셀 값을 계산하지 않고 이웃한 픽셀 값으로 대체하였기 때문에 각이진 형태의 패턴이 나타난다. 양선형 보간법은 새로운 픽셀 값을 계산하여 채워 넣었기 때문에 최근접 이웃화소 보간법 보다는 각진 형태가 완화된 스무딩(Smoothing)한 이미지를 얻을 수 있다. 마지막으로 고등차수 보간법은 더 많은 이웃 픽셀들을 참조하여 계산하였기 때문에 양선형 보간법 보다 더욱 스무딩한 결과물을 얻을 수 있다.

본 장에서는 각 보간법과 보간 비율에 따라서 DFT 변환시 주파수 특성이 어떻게 형성되는지 확인도록 하였다. 그 이유는 보간이 일어날수록 고주파성분이 사라지는 현상이 있기 때문으로, 위에서 설명한 보간 방법의 특성이 보간 비율이 변화하게 됨에 따라서 서로 다른 패턴을 만들 것 이라는 가설에서 시작되었다. DFT는 2차원으로 변환하였으며 식(1)과 (2)를 사용하였다. 실험에 사용된 이미지는 해상도 800×800 pixel에 TIFF파일로 저장된 원본 이미지이다. 원본 이미지는 $I(x, y)$ 로 표기하며 N 은 픽셀의 넓이, M 은 픽셀을 높이를 나타낸다. 원본이미지에 각 보간을 적용한 이미지들은 $I_E(x, y)$: 최근접 이웃화소 보간법, $I_L(x, y)$: 양선형 보간법, $I_C(x, y)$: 고등차수 보간법으로 표시하며, 보간을 하지 않은 이미지에 DFT를 적용한 결과는 $F_I(u, v)$, 각 보간이 적용된 결과물에 DFT를 적용한 결과물은 $F_E(u, v)$, $F_L(u, v)$, $F_C(u, v)$ 으로 표시한다.

$$F_E(u, v) = \frac{1}{NM} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{M-1} I_E(x, y) e^{-2\pi i \left(\frac{xu}{N} + \frac{yv}{M} \right)} \quad (1)$$

$$I_E(x, y) = \sum_{X=0}^{N-1} \sum_{Y=0}^{M-1} F_E(u, v) e^{2\pi i \left(\frac{xu}{N} + \frac{yv}{M} \right)} \quad (2)$$

그림 3과 같이 식 1, 2를 원본 이미지인 $I(x, y)$ 에 적용 시켰을 때 2차원 주파수 변환을 통해 고주파 성분과 저주파 성분으로 나누어진 맵이 형성된다. 고주파 성분은 검출 맵을 기준으로 가운데에 형성되며 저주파 성분은 맵의 가장자리 부분에 표현된다.

이러한 주파수 성분들이 보간 방법 및 비율에 따라서 어떻게 변화가 있는지 확인하기 위해서 그림 4와 같이 각 보간법에 따라서 10%에서 200%까지 이미지 보간 하였다. 그 결과 그림 5, 6, 7과 같이 보간법과 보간 비율에 따라서 서로 다른 패턴이 있는 이미지들을 얻을 수 있었다.

그림 3. 실험에 사용된 원본이미지(왼쪽)와 DFT 출력결과인 $F_I(u, v)$ 이미지(오른쪽)

그림 4. 각 보간 방법과 비율에 따른 원본이미지의 변환 및 DFT변환 과정

그림 5. 원본 이미지를 최근접 이웃화소 보간법을 이용하여 10% 단계로 확대하였을 때 DFT 결과

그림 6. 원본 이미지를 양선형 보간법을 이용하여 10% 단계로 확대하였을 때 DFT 결과

그림 7. 원본 이미지를 고등 차수 보간법을 이용하여 10% 단계로 확대하였을 때 DFT 결과

최근접 이웃화소 보간법을 사용한 $F_N(u, v)$ 에서는 그림 5와 같이 보간 비율이 30% 이상이 될 때 선명한 격자 패턴들이 발생하고 있었다. 이는 이웃한 픽셀을 채워가는 과정에서 고주파 성분과 저주파 성분이 분명하게 나누어지기 때문이며, 특히 50%씩 보간 비율이 증가할 때마다 이 격자 패턴들이 균일하게 확장되는 것을 알 수 있다. 하지만 그림 6, 7과 같이 양선형 보간법과 고등차수 보간법을 사용한 $F_L(u, v)$, $F_C(u, v)$ 의 이미지는 $F_N(u, v)$ 처럼 보간시에 이웃한 픽셀을 사용한 것이 아니라 새로운 픽셀을 생성하여 사용하였기 때문에 $F_N(u, v)$ 과 비교해 보았을 때 형태가 다른 패턴을 만들어 내고 있다. 하지만 비율과 보간법에 따른 두 결과물은 각 퍼센트에 따라서 서로 다른 결과물이 만들어지기 때문에 각 각의 특성을 확인할 수 있었다. 결과적으로 본 실험을 통해서 보간법 및 비율에 따른 특성을 파악할 수 있었으며 다음으로 이러한 특성에 임의의 재보간을 발생 시켰을 때 어떠한 변화가 있는지 확인하도록 하겠다.

3. 보간이 일어난 합성 영역 검출을 위한 재보간 알고리즘

본 장에서는 보간이 일어난 부분을 검출하기 위해서 원본이미지를 통해 그림 8과 같은 실험을 하였다. 즉, 합성 이미지를 만들기 위해서 원본이미지에 보간법에 따라서 $\square N$ 만큼의 보간 비율을 적용하였다. 또 재보간을 적용하기 위해서 보간이 일어난 이미지에 다시 $\square 1/N$ 만큼 이미지를 축소시킨 뒤 다시 $\square N$ 만큼 보간을 주어 재보간 하였다. 이렇게 되면 보간된 이미지는 재보간이 이루어진 상태이다. 이때 합성 이미지를 만들기 위한 첫 $\square N$ 만큼 적용한 이미지의 $DFT(A)$ 를 출력하고, 다음으로 $\square 1/N$ 과 다시 $\square N$ 만큼 재보간한 이미지의 $DFT(B)$ 를 출력한다. 여기서 마지막에 $\square N$ 만큼 보간한 이유는 이미지의 사이즈를 원본과 동일한 크기로 유지하기 위해서이다. 반대로 합성이 이루어지지 않은 영역에 재보간을 주기 위해서 원본이미지에 합성 영역과 같이 $\square 1/N$ 만큼 보간을 적용하고 다시 $\square N$ 만큼 보간을 준 후 결과 이미지를 $DFT(C)$ 로 출력한다. 다음 단계로 합성 영역에서 첫 보간 된 합성 이미지와 재보간 된 합성 이미지의 차이를 확인하기 위해서 $DFT(A)$ 와 $DFT(B)$ 차분 값을 구하고, 비합성 영역에서는 원본 이미

그림 8. 재보간을 통한 합성 영역과 비합성 영역 검출 알고리즘 흐름도

지의 DFT(O)와 재보간이 일어난 DFT(C)의 차분 값을 구한다. 마지막으로 재보간을 통해 완성된 합성된 영역과 비합성된 영역의 두 차분 값을 두 영역끼리 다시 차분 값으로 계산하면 합성 영역 검출 맵이 완성된다. 이렇게 되면 결과적으로 합성 영역이 포함된 장의 이미지에 재보간을 적용함으로써 재보간된 합성 영역과 비합성 영역으로 나누어 질 수 있기 때문에 최종 합성 영역 검출 맵이 구현될 수 있다.

이러한 테스트를 위해서 그림 4의 원본 이미지를 알고리즘에 적용하여 확인하였다. 이 때 N의 값은 임의로 2(100%)값으로 설정하였다. 또 각 보간법에 따라서 어떠한 변화가 있는지 확인하기 위해서 위에서 언급한 세 가지 보간법을 모두 테스트하였으며, 차분 값을 정확하게 판단하기 위해 3차원 픽셀 정보 그래프를 사용하였다.

3.1 알고리즘을 적용한 최근접 이웃화소 보간법 분석 결과

합성 영역에서 알고리즘을 적용한 최근접 이웃화소 보간법을 사용한 이미지는 그림 9와 같이 $\square N$ 만큼 보간한 A와 재보간을 준 B와의 픽셀 레벨 차이가 없다는 것을 알 수 있었다. 즉, 최근접 이웃화소 보간법을 사용한 합성이미지는 재보간시 이웃한 인접 픽셀을 이용하기 때문에 최초 $\square N$ 만큼 보간이 일어난 합성 이미지에 $\square 1/N$ 과 $\square N$ 만큼 재보간을 적용하게 되더라도 원래 상태인 N값으로 돌아오게 되고 결국 픽셀 레벨 값이 0인 흑색으로 표현되게 된다. 하지만 비합성 영역에서는 그림 10과 같이 원본에 재보간을 $\square 1/N$ 만큼 적용하여 원래 있던 정보를 손실 시켰기 때문에 다시 $\square N$ 만큼 보간을 하더라도 원상태로 복구되지 않아 특정한 레벨 값을 갖게 된다.

최종적으로 최근접 이웃화소 보간법을 이용하여 합

그림 9. Nearest Neighbor에서의 A와 B의 차분 값

그림 10. Nearest Neighbor에서의 O와 C의 차분 값

성한 이미지는 합성 영역에 검정색으로 표현되고 비합성 영역은 0보다 큰 값을 가진 레벨로 표현이 된다.

3.2 알고리즘을 적용한 양선형 보간법 분석 결과

합성 영역에 양선형 보간법을 사용한 이미지는 알고리즘을 적용하였을 때 그림 11과 같이 차분 값에서 최근접 이웃화소 보간법과 다르게 일정 수준의 레벨 값이 발생하는 것을 알 수 있었다. 이러한 원인은 위에서 언급한 것과 같이 양선형 보간 방법은 수직, 수평의 이웃 픽셀을 계산하여 새로운 픽셀을 만들기 때문으로 재보간을 적용하였을 때 최종적으로 세 번의 보간($\square N, \square 1/N, \square N$)에서 만들어진 새로운 픽셀들의 차이이다. 하지만 비합성 영역에서는 그림 12와 같이 $\square 1/N$ 과 $\square N$ 의 두 번의 보간이 일어났기 때문에 합성 영역에서와의 레벨 값 차이가 발생하게 된다. 최종적으로 양선형 보간법에서도 합성 영역과 비합성 영역과의 레벨 차이가 발생하여 재보간 알고리즘을 적용하였을 때 합성 영역을 검출해 낼 수 있다.

3.3 알고리즘을 적용한 고등차수 보간법 분석 결과

합성 영역에 고등차수 보간법을 사용한 이미지는

알고리즘을 적용하였을 때 그림 13과 같이 표현된다. 고등차수 보간법은 양선형 보간법보다 더 많은 계산을 통해서 새로운 픽셀들을 만들기 때문에 앞선 양선형 보간법에서의 차분 값의 결과 보다 더 많은 픽셀 값을 갖고 있는 것을 알 수 있다. 비합성 영역도 그림 14와 같이 위와 동일한 원리로써 보간에 따른 더 많은 새로운 픽셀의 생성으로 차분 값의 레벨이 변화하는 것을 알 수 있다.

본 실험을 통해 재보간 알고리즘을 적용하였을 때 합성 영역과 비합성 영역의 특성을 파악할 수 있었으며, 이를 통해 한 장의 이미지에 삽입된 합성 영역의 특성을 추출해 낼 수 있는 단서를 찾아 낼 수 있었다. 다음으로는 실제 합성된 이미지에 재보간 알고리즘을 적용하여 실제로 합성 영역을 검출할 수 있는 맵이 구현되는지 확인하도록 하겠다.

4. 합성 영역 검출

4.1 보간법에 따른 합성 영역 검출

본 장에서는 위에서 검증한 재보간 알고리즘의 특성을 이용하여 실제 합성된 이미지에 적용하고 최종

그림 11. Bilinear에서의 A와 B의 차분 값

그림 12. Bilinear에서의 O와 C의 차분 값

그림 13. Bicubic에서의 A와 B의 차분 값

그림 14. Bicubic에서의 O와 C의 차분 값

도출된 검출 맵의 특성을 확인하고자 한다. 즉, 합성된 한 장의 이미지를 재보간 하였을 때 3장의 결과와 같이 최초 보간이 들어간 영역의 패턴과 그렇지 않은 패턴이 레벨 값에서 서로 다른 결과를 얻기 때문이다. 이 테스트를 위해서는 그림 15와 같이 합성된 이미지를 $1/N$ 만큼 보간하고 다시 N 만큼 보간하여 결과물을 출력하였다. 다음으로 최초 합성된 이미지

와 재보간 알고리즘을 적용한 이미지의 차분 값을 통해 맵으로 구현하였다. 또한 각 보간법에 따라서 어떠한 결과가 나오는지 확인하기 위해서 동일한 장면을 세 가지의 보간법으로 합성하여 테스트하였다. 그 결과 그림 16과 같이 합성 영역이 없는 원본이미지에 재보간 알고리즘을 적용하였을 때 검출 맵에 특정 패턴이 없는 상태로 검출되었지만 그림 17과

그림 15. 재보간 알고리즘 적용을 위한 흐름도

그림 16. 합성되지 않은 원본이미지에 알고리즘 적용

그림 17. 특정 영역에 세 가지 보간법을 적용한 이미지를 본 알고리즘을 통해 도출된 결과

같이 보간법에 따라서 특정 부분에 보간을 발생시켰을 때 원본에서 나타나지 않는 특정 보간 영역이 검출되었다.

즉, 각 보간법에 따라서 알고리즘을 적용한 결과 보간이 일어난 곳과 아닌 곳의 패턴의 차이가 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 특히 최근접 이웃화소 보간법을 사용한 이미지에서는 DFT실험과 같이 레벨 값이 0인 검정색으로 검출되었으며, 나머지 보간법에서도 합성 영역과 비합성된 영역과의 픽셀 레벨이 다른 패턴으로 표현되는 결과를 얻을 수 있었다. 결과적으로 본 실험을 통해 논문에서 제안한 알고리즘으로 합성 영역이 검출 가능하다는 것을 최종 검출 맵을 통해 확인할 수 있었다.

4.2 재보간 비율 $1/N$ 값에 따른 검출 맵 분석

지금까지의 결과물은 보간 비율인 N 값을 정확히 알고 있어야만 재보간 시 $\square 1/N$ 만큼 재보간할 수 있었다. 하지만 수많은 합성 이미지들의 보간 비율을 정확히 알고 있기에는 문제가 있기 때문에 N 값을 알 수 없는 상황 속에서 임의의 값을 대입하였을 때도 합성 영역이 검출되는지 확인할 필요가 있다. 이러한

실험을 위해서 합성 영역의 보간 값 N 이 2였을 때 재보간 비율 $1/N$ 을 1.4, 1.6, 1.8로 적용하여 테스트하였다. 그 결과 최근접 이웃화소 보간법에서는 그림 18과 같이 합성 영역은 레벨 값이 0인 흑색으로 표현되지 않고 격자 형태의 패턴으로 검출되었다. 이는 재보간시 보간 비율이 맞지 않아 이웃한 픽셀이 겹치면서 나타나는 패턴인 것을 확인할 수 있었다. 결국 재보간 비율 $1/N$ 이 동일하지 않는 최근접 이웃화소 보간법에서도 합성 영역을 검출할 수 있었다. 또한 그림 19, 20과 같이 양선형 보간법 및 고등차수 보간법에서도 검출 맵이 최초 재보간 비율을 정확하게 적용한 결과와 크게 차이는 없었지만 재보간 비율이 커지면 이미지에 대한 데이터양이 적어지게 되어 해상도에 영향이 있는 것을 발견하였다. 결과적으로 임의의 재보간 비율을 알고리즘에 적용하였을 때 역시 합성 영역의 보간의 특성으로 인하여 정확한 검출 맵을 구현할 수 있다는 것을 알 수 있었다.

5. 재보간 알고리즘 성능 테스트

본 논문에서는 각 보간법에 대한 특성과 재보간

그림 18. Nearest Neighbor 보간 비율 N 이 2였을 재보간 비율 $1/N$ 을 1.4, 1.6, 1.8로 적용한 검출 맵

그림 19. Bilinear 보간 비율 NO이 2였을 재보간 비율 1/N을 1.4, 1.6, 1.8로 적용한 검출 맵

그림 20. Bicubic 보간 비율 NO이 2였을 재보간 비율 1/N을 1.4, 1.6, 1.8로 적용한 검출 맵

알고리즘 적용에 따른 합성 영역과 비합성 영역의 특성을 분석하여 합성 영역을 검출하는 맵을 구현하였다. 다음으로는 본 논문에서 제시하는 알고리즘이 기존의 연구의 문제점을 해결할 수 있는가에 대한 성능 테스트가 필요하다. 이를 위해서 서론에 언급했던 3가지 문제점에 대한 비교 분석을 하였다.

(1) 1차 이상의 보간이 일어난 합성 이미지에서는 정확한 합성 영역을 검출하기 힘들었다. 대부분의 합성된 이미지들은 출처를 알 수 없어 1차 보간 이외의 다양한 보간이 발생했을 가능성이 배제하기 어렵다. 이 때문에 기존의 보간 관련 연구로는 다양한 합성 이미지 분석이 불가능하다. 이와 같은 문제점이 본 논문의 알고리즘으로 해결되었는지 확인하기 위해 합성된 이미지를 각 보간법에 따라서 0.7배, 1.2배, 0.8배로 보간 하여 3차 보간을 발생 시켰다. 테스트 결과 그림 21과 같이 각 보간법에 따라서도 모두 합성 영역을 검출할 수 있었다.

(2) 기존 연구에서는 일부분이 합성된 이미지나

이진영상이 아닌 이미지에서의 합성 영역에 대한 판독이 불가능하였다. 하지만 본 알고리즘을 적용하였을 때 이진영상이 아닌 컬러 영상을 사용하여 합성 영역을 검출하였으며, 일부분이 합성된 영역에서도 검출할 수 있었다.

(3) 최종 검출 맵이 1픽셀별로 스캐닝한 것이 아니기 때문에 최종 검출 맵이 정확하지 않은 문제점이 있다. 하지만 본 연구결과는 합성된 이미지를 재보간함으로써 픽셀을 1대1의 차분 값으로 계산하였기 때문에 기존 연구보다 정교한 합성 영역을 검출할 수 있었다. 이를 확인하기 위해 여러 가지 샘플을 통해 본 논문의 알고리즘을 적용하여 보았다. 그 결과 그림 22, 23, 24, 25, 26과 같은 합성 영역을 세밀하게 검출해 낼 수 있었다.

또한 보간 발생 여부만을 증명한 [21]의 연구를 응용하여 보간에 의해 합성된 영역을 보간 연산 과정을 통해 픽셀 패턴 검출 알고리즘을 제안한 [22], [23]과 본 알고리즘의 비교를 통해 검출맵에 대한 성능을 테스트 하였다. 이 연구들은 앞에서 언급했던 문제점

그림 21. 합성된 이미지를 3차 보간을 발생 시키기 위해서 0.7, 1.2, 0.8배로 다시 보간하였을 때 알고리즘 적용 결과 맵 (Nearest Neighbor, Bilinear, Bicubic 순)

그림 22. Nearest 84% 합성

그림 23. Bilinear 53% 합성

그림 24. Bicubic 30% 합성

그림 25. Nearest Neighbor 45% 합성

들을 보완하기 위해 설계된 최근 연구이다. 하지만 패턴 검출에 있어 블록 스캔을 사용하고 있기 때문에 합성 영역을 명확하게 구분해 내는데 문제가 있다.

그 결과 500×500 pixel에 TIFF로 저장된 코발소 합성 이미지를 분석한 최종 결과 맵에서 본 알고리즘

을 적용하였을 때 기존 연구 보다 합성 영역을 명확하게 구분해 낼 수 있었다. 이는 블록 스캔을 사용하지 않고 1픽셀 별로 차분값을 구한 것이기 때문에 검출 맵의 효과가 증대되었다고 할 수 있다.

그림 26. Bicubic 76% 합성

그림 27. [22], [23]의 결과물(중)과 본연구의 결과물(우) 비교

6. 필터링 된 이미지 영역 검출

Adobe® Photoshop에서 많이 사용하는 필터들은 Gaussian Blur, Sharpen, Add Noise, Despeckle, Median 필터들이 있다. 이 필터들은 이미지 조작에 많이 사용하는 필터들로 피사체의 디테일을 조정하거나 합성한 부분을 자연스럽게 하기 위해서 많이 사용된다. 각 필터들은 보간 연산에 의한 리샘플링 과정을 거치기 때문에 본 논문의 재보간 알고리즘이 적용 하였을 때 보간 영역 검출이 가능하다. 이러한 실험을 위해 각 보간법에 따라서 위의 5가지의 필터들을 원본 그림 28에 적용하여 테스트 하였다. 그 결과 아래 그림과 같이 각 필터들과 보간법에 따라서 배경의 레벨과 다른 패턴의 보간 영역이 명확하게 검출되는 것을 알 수 있었다.

결과적으로 그림 34와 같이 피사체의 특정 부분에 필터링을 적용한 이미지에 대해서 본 논문의 재보간 알고리즘을 통해 보간 영역을 검출할 수 있었다.

이는 이미지에 있는 인물의 조작 여부를 명확히 판별할 수 있으며 그 외의 필터링 작업이 이루어진 합성 이미지를 판독하는데 중요한 단서가 된다. 단 예로

그림 28. 실험에 사용된 원본 이미지

그림 29. Gaussian Blur를 적용한 이미지 검출 맵(Nearest Neighbor, Bilinear, Bicubic 순)

그림 30. Sharpen 필터를 적용한 이미지 검출 맵(Nearest Neighbor, Bilinear, Bicubic 순)

그림 31. Add Noise 필터를 적용한 이미지 검출 맵(Nearest Neighbor, Bilinear, Bicubic 순)

그림 32. Despeckle 필터를 적용한 이미지 검출 맵(Nearest Neighbor, Bilinear, Bicubic 순)

그림 33. Median 필터를 적용한 이미지 검출 맵(Nearest Neighbor, Bilinear, Bicubic 순)

그림 34. 임의의 얼굴 특정 부분에 필터링을 하였을 때 검출 맵(Gaussian Blur필터 적용 검출 맵, Gaussian Blur + Add Noise 필터 적용 맵 순)

그림 35, 36과 같이 인터넷에 있는 합성 이미지를 본 알고리즘으로 분석하였을 때 유사한 레벨 값을 지닌 피부톤에서 상이한 레벨 패턴이 눈, 코, 입 주변으로 존재하는 것을 확인할 수 있었다.

그림 35. 인물 합성 사진의 분석 결과 1

그림 36. 인물 합성 사진의 분석 결과 2

7. 결 론

합성 이미지는 18세기부터 정치적 이용수단으로 사용되었으며 전문가의 기술로만 이루어졌던 생산 수단이 현재에는 디지털 기술의 발달로 인해 누구든지 손쉽게 합성 이미지를 만들 수 있게 되었다. 이 때문에 현재에는 다량의 합성 이미지들이 유포되고 있어 이를 검증할 수 있는 수단이 필요한 시점이다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결할 수 있는 하나의 연구과정으로써 재보간 알고리즘을 제안하였다. 그 과정을 정리하면 보간 방법과 비율에 따른 DFT의 특성을 분석하였으며, 재보간 발생되었을 때 합성 영역과 비합성 영역과의 DFT 변화를 확인하였다. 또 최종적으로 합성 영역의 검출 맵의 구현을 위해서 두 영역간의 차분 값을 맵에 구현한 합성 영역 검출 맵을 완성하였다. 또 보간이 발생하는 필터링된 이미지에 본 논문의 알고리즘을 적용 시켜 필터링 영역을 검출하는데 성공하였다.

합성 이미지들이 만들어지는 과정은 사용자의 속

런도와 프로그램의 선택 및 기타 여러 가지 변수가 존재한다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 국내외에서 다양한 연구가 진행되고 있다. 본 논문 또한 이를 뒷받침하기 위한 하나의 연구였으며, 지속적인 연구를 통해 보다 효과적인 합성 영역 검출 방법을 연구하고자한다.

참 고 문 헌

- [1] J. Fridrich, D. Soukal, and J. Luk'a's, "Detection of Copy-Move Forgery in Digital Images," *Proceedings of Digital Forensic Research Workshop August*, pp. 90-105, 2003.
- [2] A.C. Popescu and H. Farid, "Exposing Digital Forgeries by Detecting Duplicated Image Regions," *Department of Computer Science. Dartmouth College*, Tech. Rep. TR2004-515, 2004.
- [3] B. Mahdian and S. Saic, "Detection of Copy-Move Forgery using a Method Based on Blur Moment Invariants," *Forensic Science International*, Vol.171, No.2-3, pp. 180-189, 2007.
- [4] H. Farid, "Detecting Digital Forgeries using Bispectral Analysis," *AL Lab, Massachusetts Institute of Technology*, Tech. Rep. AIM-1657, 1999.
- [5] T.T. Ng, S.F. Chang and Q. Sun, "Blind Detection of Photomontage using Higher Order Statistics," *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, Vol.5, pp. 688-691, 2004.
- [6] T.T. Ng and S.F. Chang, "A Model for Image Splicing," *IEEE International Conference on Image Processing*, Vol.2, pp. 1169-1172, 2004.
- [7] H. Farid, "Exposing Digital Forgeries in Color Filter Array Interpolated Images," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol.53, No.10, pp. 3948-3959, 2005.
- [8] J. Luk'a's, J. Fridrich, and M. Goljan, "Detecting Digital Image Forgeries using Sensor Pattern Noise," *Proceedings of the SPIE*, Vol. 6072, 1-11, 2006.

- [9] H. Gou, A. Swaminathan, and M. Wu, "Noise Features for Image Tampering Detection and Steganalysis," *Proceedings of IEEE International Conference Imaging Processing*, Vol.6, pp. 97-100, 2007.
- [10] M.K. Johnson and H. Farid, "Exposing Digital Forgeries Through Chromatic Aberration," *ACM Multimedia and Security Workshop*, pp. 48-55, 2006.
- [11] H. Farid, "Exposing Digital Forgeries in Complex Lighting Environments," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, Vol.2, No.3, pp. 450-461, 2007.
- [12] M.K. Johnson and H. Farid, "Exposing Digital Forgeries Through Specular Highlights on the Eye," *The 9th International Workshop on Information Hiding*, pp. 311-325, 2007.
- [13] M.K. Johnson and H. Farid, "Exposing Digital Forgeries by Detecting Inconsistencies in Lighting," *Proceedings of ACM Multimedia and Security Workshop*, pp. 1-10, 2005.
- [14] A.C. Popescu and H. Farid, "Exposing Digital Forgeries from JPEG Ghosts," *IEEE Transactions on Information Forensic and Security*, Vol.4, No.1, pp. 154-160, 2009.
- [15] A.C. 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.
- [16] M. Kirchner and T. Gloe, "On Sampling Detection in Re-Compressed Images," *Proceedings of IEEE International Workshop on Information Forensics and Security*, pp. 21-25, 2009.
- [17] A.C. Popescu and H. Farid, "Statistical Tools for Digital Forensic," *The 6th International Workshop on Information Hiding*, pp. 128-147, 2004.
- [18] A.C. Gallafher, "Detection of Linear and Cubic Interpolation in JPEG Compressed Images," *The 2nd Canadian Conference on Computer and Robot Vision*, pp. 65-72, 2005.
- [19] S. Prasad and K.R. Ramakrishnan, "One-Sampling Detection and Its Application to Image Tampering," *Proceeding of the IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, pp. 1325-1328, 2006.
- [20] B. Mahdian and S. Saic, "Blind Authentication using Periodic Properties of Interpolation," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, Vol.3, No.3, pp. 529-538, 2008.
- [21] B. Mahdian and S. Saic, "Blind Methods for Detecting Image Fakery," *IEEE International Carnahan Conference on Security Technology*, pp. 280-286, 2008.
- [22] G.S. Song, Y.I. Yun, and W.H. Lee, "Analysis on Digital Image Composite Using Interpolation," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol.13, No.3, pp. 457-466, 2010.
- [23] G.S. Song, Y.I. Yun, and W.H. Lee, "Detection of Digital Forgeries for the Filtering Images," *AURA: The Society of Korean Photography*, Vol.22, pp. 37-45, 2010.

황민구

2007년 2월 수원대학교 건축공학과 학사
2009년 8월 상명대학교 문화예술대학원 디지털이미지학과 석사
2009년 9월~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상학과

박사과정

관심분야: 과학 사진, 디지털 영상 분석

하동환

1993년 Brooks Institute of photography, Industrial/Scientific Photography 학사
1994년 Ohio University, Visual Communication 석사
2005년 : 한양대학교 교육대학원

박사(Ph.D)

1999년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 교수
관심분야: 과학사진, 특수영상