

세부 묘사를 유지하는 타일 모자이크 - 두 층 타일 모자이크

강동완¹, 윤경현²
중앙대학교 컴퓨터공학과 ^{1 2}
{dongwann¹, khyoon²}@cglab.cse.cau.ac.kr

Tile Mosaics Preserving Details - 2 Layered Tile Mosaics

Dongwann Kang¹, Kyung Hyun Yoon²
CS&E, Chung-Ang University ^{1 2}

요약

최근, 컴퓨터 사이언스 분야에서 모자이크에 대한 다양한 연구들이 이뤄지고 있지만, 세부 묘사를 유지하려는 관점에서의 접근은 부족한 편이다. 본 논문은 원 영상의 세부 묘사를 유지하는 타일 모자이크 방법을 제안한다. 이 방법은 타일간의 빈 공간을 제거하기 위한 겹쳐진 타일의 사용을 통해 구현된다.

본 논문에서 제시한 방법은 다음 세 단계로 구성된다. 첫째, 에지 회피 기법이 적용된 무게중심 보로노이 다이어그램(CVD:Centroidal Voronoi Diagram)을 통해 메인 타일의 위치를 얻는다. 둘째, 메인 타일들의 위치에 델로니 삼각형화(Delaunay Triangulation)를 적용해 서브 타일의 위치를 계산한다. 셋째, 타일간의 관계를 고려해 타일의 크기와 방향성을 구한다.

위의 과정을 통해 타일 간의 빈 공간이 최소화되어 세부 묘사가 강화된 모자이크 영상을 얻는다.

Keyword : 모자이크 렌더링, 타일 모자이크, 겹쳐진 타일

1. 서론

모자이크는 돌, 유리조각, 도편 등의 타일들을 평면 위에 늘어놓고 모르타르나 석회, 시멘트 등으로 접착시켜 무늬나 그림모양 등을 표현하는 기법이다. 자신만의 고유한 속성을 지닌 각각의 타일들이 작품 전체에서 조화를 만들어내는 특징을 지닌 모자이크 기법은 고대 그리스로부터 현대에 이르기까지 많은 예술가들에게 관심의 대상이 되

어왔다.

현대의 컴퓨터 사이언스 학자들 역시 모자이크에 관한 연구를 활발히 진행하여 왔는데, 그 중에서 Silver 와 Hawley 의 포토 모자이크[1]는 특히 주목할 만한 가치가 있는 것으로 평가된다. <그림 1(b)>의 포토 모자이크 기법은 작은 이미지들의 조합으로 이루어진 격자화된 모자이크 영상을 만들어준다. 이미지 DB 안에서 격자내의 색상 정보

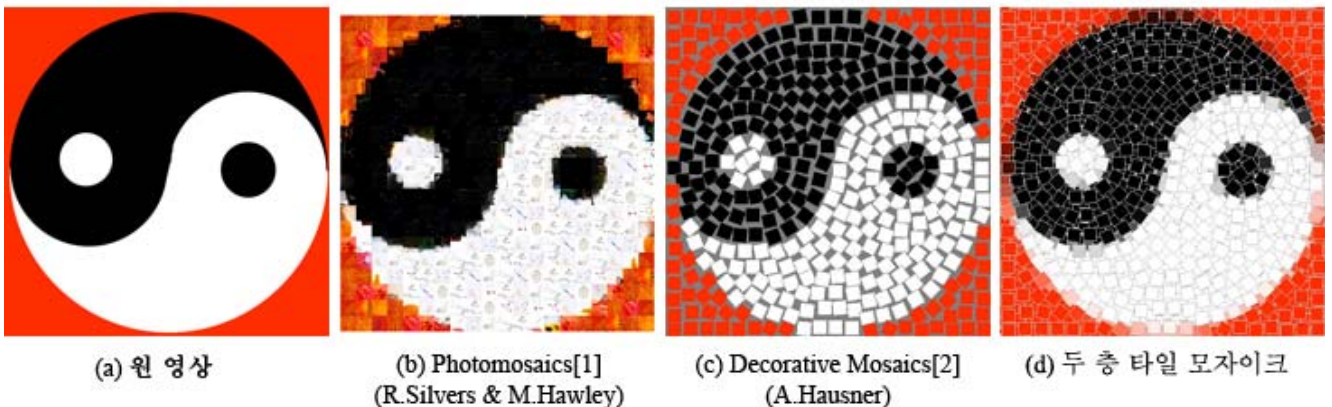


그림 1. 다양한 모자이크 알고리즘 비교

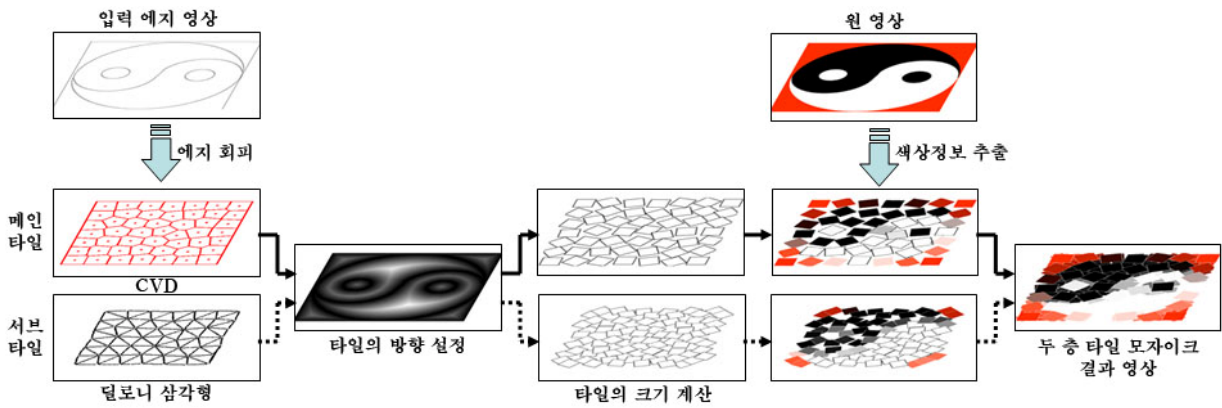


그림 2. 두 층 타일 모자이크의 생성 과정

와 가장 유사한 이미지가 각 격자의 이미지로 선택된다. 이 기법의 장점은 주어진 특정 이미지들을 빈틈없이 가지런히 배치하는 결과 영상을 만들 수 있다는 것이다. 포토 모자이크는 결과 영상이 이미지 DB에 의존한다는 특성을 갖는다. 이것은 세부적인 표현이 이루어지기를 원하는 어떤 정보들(이들테면 ‘중요한 에지’와 같은)의 표현이 보장되어질 수 없다는 단점을 야기한다.

타일 모자이크의 대표적인 연구인 <그림 1(c)>의 Simulating Decorative Mosaics[2]는 전통적인 타일 모자이크에 가까운 결과 영상을 얻게 해준다. 무게중심 보로노이 다이어그램(CVD: Centroidal Voronoi Diagram)과 에지 회피(Edge Avoid) 기법을 이용하여 중요한 에지들을 강조하는 타일 배치 방법이 사용되었다. 이는 에지의 표현을 보장할 수 없는 포토 모자이크의 단점을 보완해주지만, 비교적 많이 발생하는 타일간의 빈 공간은 세부 묘사 표현에 제약을 준다.



그림 3. The Coinage Project #1: “Time Is Money”[3]

컴퓨터 아트 분야의 박진완의 스택커블 모자이크[3] 기법은 기존의 연구들과 접근 방법이 다르다. 그는 그의 작품 “The Coinage Project #1: Time

Is Money”에서 여러 층으로 동전을 쌓는 모자이크를 제안하였으며, 동전과 동전의 틈새로 아래층의 동전이 보이게 하는 새로운 기법을 시도했다. 이 방법은 기존의 타일 모자이크 구현들이 지니고 있는 타일 간 빈 공간 발생으로 인한 세부 묘사의 표현 문제를 해결할 수 있는 방향을 제시하였다.

본 논문은 세부 묘사 표현에 있어서 매우 제한적이었던 기존의 방법들을 확장하여, 타일 사이의 빈 공간을 최소화 하는 새로운 타일 모자이크 기법을 제시하고자 한다. ‘두 층 타일 모자이크’라고 이름 붙인 이 기법에서는 두 층의 타일이 상호간의 빈 공간을 제거하도록 위치 지정을 하는 것이 핵심이 된다.

<그림 2>는 두 층 타일 모자이크가 생성되는 과정을 보여준다. 두 개의 타일층 중에서 윗층을 나타내는 메인 타일의 처리는 그림상의 실선으로, 아랫층을 나타내는 서브 타일은 점선으로 표시하였다. 각 타일은 에지 회피 CVD와 딜로니 삼각형화를 이용해 그 위치가 결정된 후, 에지에 맞추어 방향이 설정되며, 타일의 크기와 색상이 계산된 후, 두 층으로 배치된다.

이 과정 중 메인 타일에 대한 사항은 2장에서, 서브타일에 대한 사항은 3장에서 살펴보도록 한다.

2. 메인 타일의 속성 설정

2-1 메인 타일의 위치

본 논문은 동일한 모양과 크기의 메인 타일들을 사용한다. 따라서 메인 타일의 분포가 일정하지 않다면, 면적 대비 타일 수가 큰 부분은 타일이

서로 겹쳐지게 될 확률이 높다. 반대로 면적 대비 타일 수가 적은 부분은 타일간의 빈 공간 발생 빈도가 높아지게 된다. 따라서 메인 타일끼리 겹쳐지는 것이나 빈 공간이 발생하는 것을 줄이도록 하기 위해서 메인 타일이 고르게 분포되어야 한다. 본 논문은 이를 위해 CVD [4]를 사용했다.

CVD 는 점의 분포를 고르게 하기 위해 점묘화 구현에서도 주로 쓰이는 기법으로, 이를 이용해 고른 분포의 타일 위치를 얻는 방법은 유용하다. 하지만 우리는 타일의 위치 결정 과정에서 타일의 고른 분포뿐만 아니라 에지의 표현도 고려해야 한다.

일반적인 모자이크 작품에서 에지를 표현하는 방법은 크게 두 가지로 볼 수 있다. 한 가지는 에지를 기준으로 타일을 마주보게 위치시키는 방법이고, 다른 한 가지는 타일을 에지 상에 배치하는 방법이다. 전자의 표현 방법이 후자의 표현 방법을 포함하므로, 타일이 에지를 피해 위치할 수 있도록 해야 한다. 이는 Simulating Decorative Mosaics 에서 제시한 에지 회피 방법을 통해 구현된다.

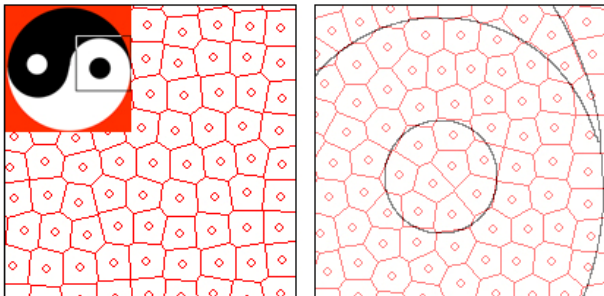


그림 4. CVD 와 에지 회피 기법

<그림 4(b)>와 같이 에지 회피 기법이 적용된 CVD 사이트들에 타일을 위치시키면 에지를 피해 고르게 분포하는 타일을 얻을 수 있다.

2-2 메인 타일의 방향

에지 회피 CVD 로 에지를 피하여 타일을 위치시키는 방법만으로 에지를 표현하는 것은 한계가 따른다. 에지를 기준으로 양쪽의 타일을 마주보게 위치시켜야 하는 작업이 남아있기 때문이다. 이를 위해 타일은 에지에 수직인 방향을 향하도록 위치되어야 한다. 본 논문에서는 Hoff 의 보로노이 다

이어그램을 이용한 방법[5]으로 에지 영상의 그래디언트를 얻었다.

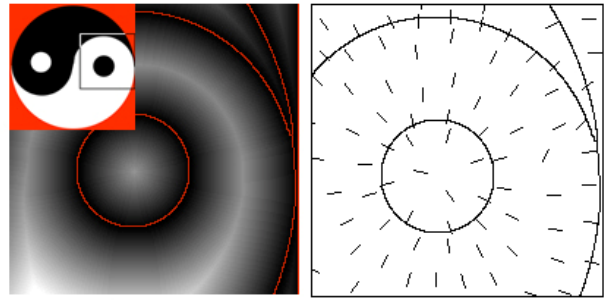


그림 5. 타일의 방향 필드

Hoff 의 보로노이 다이어그램은 에지에 보로노이 다이어그램을 적용시킨 것으로서, 그것으로부터 그래디언트에 수직인 방향을 추출할 수 있다. 그래디언트에 수직인 방향을 타일의 방향 필드로 사용하면 정사각형 타일이 에지의 방향을 향하도록 위치시킬 수 있다.

<그림 5>는 위 방법으로 타일의 방향을 구한 모습을 보여준다. <그림 5(a)>는 에지 영상에 Hoff 의 보로노이 다이어그램을 적용한 영상이고, <그림 5(b)>는 타일 위치에서 그래디언트에 수직인 방향을 표시한 것이다.

2-3 메인 타일의 크기

타일의 위치와 방향이 정해지면 타일의 크기를 결정하여야 한다. 타일의 크기는 빈 공간 및 겹쳐지는 영역과 밀접한 상관 관계를 갖는다. 타일의 크기가 작으면 타일 간의 겹쳐지는 부분이 발생할 확률은 낮지만, 타일 간의 빈 공간이 생길 확률은 높다. 반대로 타일의 크기가 크면 타일 간의 겹쳐지는 부분이 발생할 확률은 크지만, 타일 간의 빈 공간이 생길 확률은 낮다. Hausner 는 타일의 크기와 관련된 식(1)을 제안한 바 있다.

$$d = \delta \times \sqrt{\frac{S_c}{n}} (\delta \leq 1) \quad \text{식(1)}$$

d 는 타일의 크기, S_c 는 타일이 붙을 면의 총 면적, n 은 타일의 총 개수를 의미하며, 상수 δ 는 이들간의 관계를 조절해준다. 전체 면적을 타일의 개수로 나누어 타일 한 변의 크기를 구한 것이 $\delta=1$ 일 때의 d 이다. 하지만 방향성을 지닌

정사각형의 타일을 겹쳐짐과 빈 공간의 발생 없이 가득 채우는 것은 불가능하므로 상수 δ 는 1 이하의 값으로 주어져야 한다. Hausner 는 δ 의 값으로 0.8 을 제안하고 있고, 본 연구에서도 만족스러운 결과를 도출하였다.

2-4 메인 타일의 색상

타일의 위치와 방향 및 크기 결정을 통해 타일이 원 영상에서 차지하는 영역을 계산할 수 있다. 이 영역에서의 대표 색상을 타일의 색상으로 설정하여, 모자이크 결과 영상이 원 영상의 색상 정보를 반영하도록 해야 한다. 각 영역의 대표 색상은 그 영역의 평균 색상으로 하는 것이 일반적이다.

3. 서브 타일의 속성 설정

2-3 에서 hausner 가 제시한 방법으로 타일의 크기를 결정할 경우, 타일이 차지하는 총 면적 S_t 에 대해 식(2)와 같은 식을 유도할 수 있다.

$$S_t = \sum_1^n d^2 = \sum_1^n \left(\delta^2 \times \frac{S_c}{n} \right) = \delta^2 \times S_c \quad \text{식(2)}$$

타일이 차지하는 총 면적 S_t 는 각 타일들의 면적 d^2 의 총 합으로써, 타일이 붙을 면의 총 면적인 S_c 의 δ^2 배가 된다. Hausner 는 δ 의 값으로 0.8 을 제안하였으므로, 이 방법에 따르면 타일이 위치할 면의 면적 중 64%만이 타일로 채워지게 된다. 이는 원 영상 중 1/3 이상이 빈 공간으로 표현되어진다는 의미이다. 식(2)는 타일간의 겹쳐짐을 고려하지 않은 것이므로 실제 버려지는 정보는 그 이상이 된다.

본 논문은 버려지는 정보를 최소화하여 영상이 가진 정보를 효과적으로 유지하도록 서브 타일의 위치 및 제반 속성을 설정한다.

3-1 서브 타일의 위치

서브 타일은 메인 타일의 사이에서 빈 공간을 줄이도록 위치해야 하므로 메인 타일과 다른 방식의 접근이 필요하다. 이를 위해 메인 타일의 위치와 빈 공간 발생에 관한 상관관계를 파악해야 한다.

메인 타일의 위치를 사이트로 하는 보로노이 다이어그램에서 폴리곤들이 서로 인접해있다는 것은 그 폴리곤에 해당하는 타일들이 서로 인접해있다는 것을 의미한다. 타일 간의 빈 공간은 메인 타일들이 인접한 부분에서 발생하므로, 보로노이 다이어그램의 폴리곤 경계 부분을 덮도록 서브타일의 위치를 결정해야 한다. 본 논문은 서브 타일의 위치 결정을 위해 딜로니 삼각형화를 이용하는 방법을 제안한다.

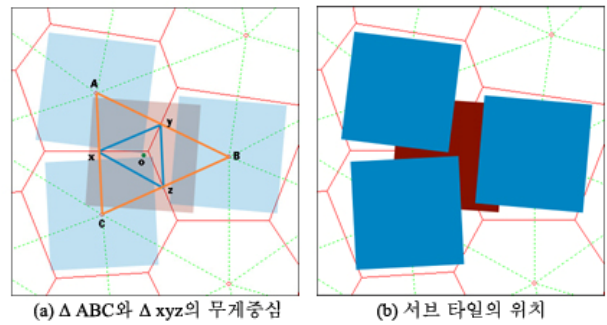
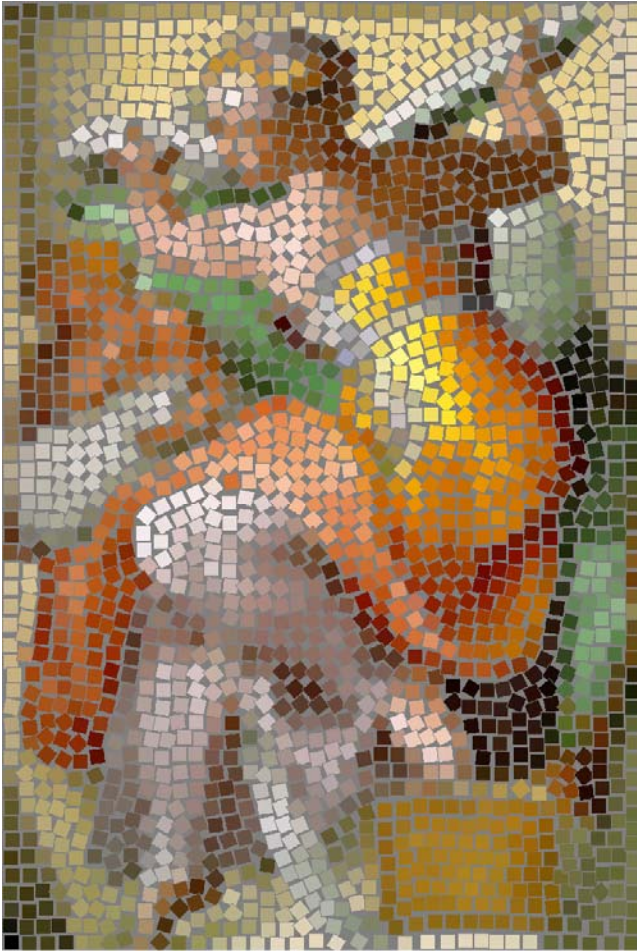


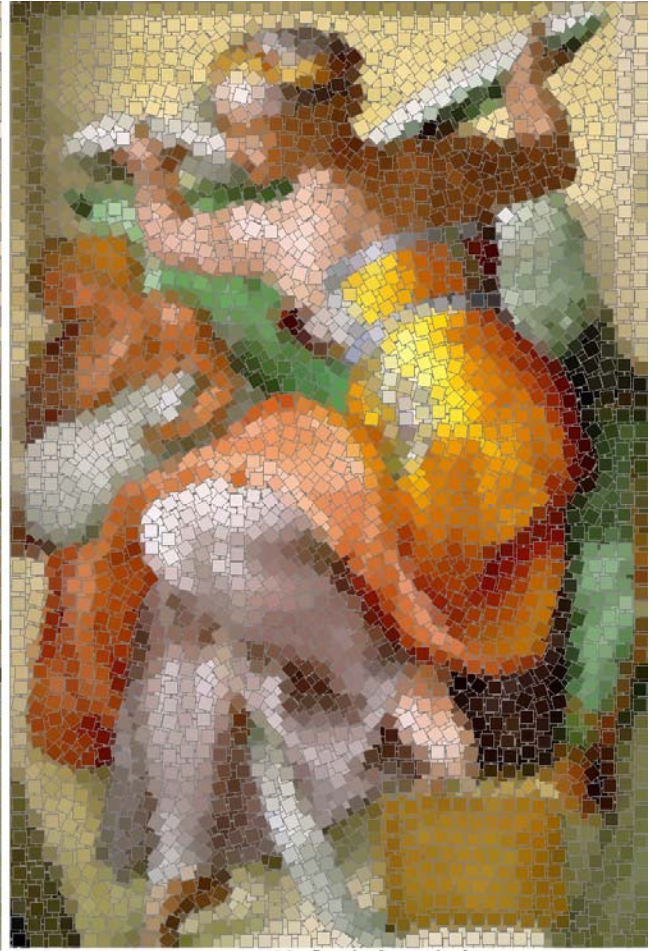
그림 6. 서브타일의 위치 결정

<그림 6(a)>의 점 A, B, C 는 CVD 에서 서로 인접한 세 폴리곤의 사이트이다. 이 위치에 그림 상에서 푸른 사각형으로 보이는 메인 타일들이 배치된다. 그림에도 보이듯이 인접한 세 폴리곤들의 경계선 부분에서 타일간의 빈 공간이 나타난다. 이 경계선들 각각을 이분하는 점인 x, y, z 는 빈 공간이 발생하는 영역을 함축하고 있다. 이 점들을 꼭지점으로 하는 삼각형 $\triangle xyz$ 의 무게중심 o 에 서브 타일(그림상의 붉은 사각형)을 위치시키면 3 개의 메인 타일 사이에 존재했던 빈 공간들이 서브 타일로 인해 메워지게 된다.

이때 그림에서도 확인할 수 있듯이 $\triangle xyz$ 의 무게중심 o 는 CVD 의 각 사이트들을 이용해 만든 딜로니 삼각형 $\triangle ABC$ 의 무게중심과 일치하는 특성을 갖는다. 따라서 각 사이트들에 대한 딜로니 삼각형의 무게중심을 서브 타일의 위치로 사용 가능하다. 딜로니 삼각형은 보로노이 다이어그램과 구조적으로 동일한 특성을 갖기 때문에, 보로노이 다이어그램에서 딜로니 삼각형을 얻거나 반대로 딜로니 삼각형에서 보로노이 다이어그램을 얻는 것이 가능하다. 그러므로 메인 타일들의 위치를 이용해 서브 타일의 위치를 쉽게 계산할 수 있다.



(a) Simulating Decorative Mosaics [2]
(A.Housner)



(b) 두 층 타일 모자이크

그림 7. 미켈란젤로의 Libyan Sibyl 에 대한 모자이크 적용 결과

3-2 서브 타일의 기타 속성들

서브 타일의 방향과 크기, 색상 등은 메인 타일과 유사한 방법들로 적용 가능하다. 예컨대, 서브 타일의 방향은 메인 타일과 동일한 방법으로 에지의 그래디언트 방향에 수직한 방향을 구함으로써 얻을 수 있다. 또한 서브 타일의 크기는 타일이 위치할 면적과 전체 서브 타일의 수를 앞에서 제시한 식(1)에 적용하여 계산한다.

서브 타일의 색상은 메인 타일의 색상 추출방법에 약간의 수정을 가하여 사용할 수 있다. 서브 타일은 메인 타일의 아래층에 위치 한다. 그러므로 메인 타일처럼 평균 색상을 얻으면, 메인 타일에 겹쳐져 겉으로 노출되지 않는 부분도 색상 평균에 영향을 미친다. 본 논문은 서브타일의 색상을 결정함에 있어서 서브 타일이 위치할 영역 중, 메인 타일에 의해 가려지지 않는 영역들의 평균 색상을 얻는 방법을 사용하였다.

4. 결과

<그림 7>은 미켈란젤로의 Libyan Sibyl 에 Hasner의 Simulating Decorative Mosaics 와 본 논문이 제시한 두 층 타일 모자이크를 적용한 결과이다. <그림 7(a)>에는 약 2000 여 개의 타일이 사용되었고, <그림 7(b)>에는 2000 여 개의 메인 타일과 4000 여 개의 서브타일이 사용되었다. 그림에서 보이는 것과 같이 <그림 7(a)>에서 회색으로 표현된 타일 간의 빈 공간들이 <그림 7(b)>에서는 대부분 사라졌음을 알 수 있다. 그로 인해 색상 표현에 있어서 상대적으로 원 영상에 더 가깝고 자연스러운 결과를 얻었다.

<그림 8>은 부채춤을 찍은 사진에 두 층 타일 모자이크를 적용한 결과이다. 사진에 모자이크를 적용한 이 결과에서도 자연스러운 색상 표현을 얻을 수 있었다. 특히 얼굴 표정부분은 사용자 입력이 없었음에도 비교적 표현이 잘 되었는데, 기존

의 Simulating Decorative Mosaics 기법으로는 표현되어지기 어려운 부분이다.



그림 8. 부채춤 사진에 대한 결과 영상

5. 결론

본 논문은 원 영상의 세부 묘사를 유지하는 새로운 모자이크 기법을 제안했다. 2 개의 타일 층을 사용한 두 층 타일 모자이크는 타일간의 빈 공간을 줄여, 타일 표현이 이뤄지지 않아 버려지는 정보들을 줄인다. 그 결과, 회색으로 표현되어졌던 빈 공간들이 타일로 덮이면서 자연스러운 색상 표현이 가능하다. 이로써 세부 묘사라는 측면에서 기존의 연구보다 효과적인 결과 영상을 제공한다.

두 층 타일 모자이크는 단색의 타일을 사용함으로써 단순한 느낌의 결과를 얻게 된다는 단점이 있다. 이를 보완하기 위해 이미지 타일을 사용하면 타일 내부의 정보들을 보다 효과적으로 표현할 수 있을 것이다.

또한 동일한 크기의 타일 역시 시각적으로 지루한 느낌을 줄 수 있다. 향후에 이루어질 연구는 타일 사이즈를 다양화 시킬 수 있는 일련의 방법

들에 관한 것이다. 모자이크 기법의 또 다른 종류인 색종이 모자이크[6]를 구현함에 있어서 타일 사이즈를 자동으로 다양화시키는 시도[7]들이 존재했다. 쿼드 트리를 사용해 타일 사이즈를 다양화 시켰던 아이디어는 향후의 연구에서도 적절히 활용되어질 수 있을 것이다. 또한 가중치가 부여된 보로노이 다이어그램[5]도 다양한 사이즈를 갖는 타일들의 위치를 결정하는데 도움을 줄 것으로 본다.



그림 9. 다양한 결과 영상

6. 참고 문헌

1. R.Silvers and M.Hawley, Photomosaics, Henry Holt, 1997
2. A.Hausner, “Simulating Decorative Mosaics”, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2001, pp.573-580, 2001
3. J.Park, “Mosaic for Stackable Objects”, Proceedings of ACM SIGGRAPH 2004 Sketch, LA, 2004
4. S.Lloyd, “Least Square Quantization in PCM”, IEEE Transactions on Information Theory, 28(1982), pp.129-137, 1982
5. K.Hoff et al., “Fast Computation of Generalized Voronoi Diagrams Using Graphics Hardware”, Proceedings of ACM SIGGRAPH 99, pp.277-286, 1999
6. 서상현 외 4 인, “Colored Paper Mosaics Rendering”, In SIGGRAPH 2001 Abstracts and Applications, p.156, 2001
7. 서상현 외 3 인, “영역 분할에 기반한 자동화된 색종이 모자이크 렌더링”, 한국 컴퓨터 그래픽스 학회 2001 년 하계학술대회 논문집, pp.27-34, 2001