

이음매없는 모자이크 구성을 위한 단계적 잔여 움직임 추정

(Progressive Residual Motion Estimation for Constructing Seamless Mosaics)

이 청 우[†] 최 재 각^{**} 이 시 웅^{***}
 (Cheong Woo Lee) (Jae Gark Choi) (Si-Woong Lee)

요약 본 논문에서는 이음매없는 모자이크 구성을 위한 영상 정렬 방법을 제안한다. 모자이크 구성을 위한 전역 움직임 추정 후, 전역 움직임 계수를 이용하여 모자이크를 구성하려면, 정렬이 올바르게 수행되지 않은 국부 영역이 존재하게 되고, 이러한 국부 영역에서는 선분의 끊김, 흐려짐, 겹침 현상이 일어난다. 전역 움직임 계수에 의해서 정렬되지 않은 국부 영역을 정렬하기 위해서는 잔여 움직임 추정 알고리즘이 필요하다. 그러나, 잔여 움직임 추정을 위해서는 카메라의 초점 거리나 조도 변화와 관계된 변수를 추정해야 하고, 또한 이에따른 많은 계산량을 요구하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서, 본 논문에서는 추가적인 외부 변수의 추정 과정 없이 효율적으로 잔여 움직임을 추정할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 제안된 방법에서는 잔여 움직임 추정 과정에서 사용되는 측정 및 추정 윈도우의 크기를 효율적으로 설정함으로써 잔여 움직임 정보를 효과적으로 추정할 수 있다. 제안된 단계적 잔여 움직임 알고리즘을 적용하여 모자이크를 구성함으로써, 전역 움직임 계수에 의해서 정렬되지 않았던 국부 영역의 흐려짐, 겹침 현상을 해결할 수 있음을 실험적으로 확인하였다.

키워드 : 움직임추정, 영상모자이크, 영상보간, 움직임 보상, 디고스팅

Abstract In this paper an algorithm of image alignments for constructing seamless mosaics is proposed. After the global alignment has been run, there may still be localized mis-registrations present in the mosaic. Due to mis-registrations, there may be seams in the mosaic, such as breaking, blurring, and doubling of lines. To solve this problem, we need an algorithm of residual motion estimation, which minimizes mis-registrations. In the conventional algorithms of residual motion estimation, computational powers are too heavy and estimators of camera parameters are additionally needed such as focal lengths. In the proposed algorithm, residual motion vectors are estimated with the adequate size of estimation and measurement windows and with adjustment of initial vectors according to the established priority. By construction of mosaics with the proposed algorithm, we demonstrate the removal of seams by mis-registrations.

Key words : Motion estimation, Image mosaic, Interpolation, Motion compensation, Deghosting

1. 서론

정보의 대형화와 고속화의 흐름에서 영상처리 기술과 네트워크 기술의 발전은 대용량 멀티미디어 정보를 출현

하게 하였다. 비디오는 이러한 대용량 멀티미디어 정보 중 현재 가장 많이 다뤄지고 있는 매체이다. 비디오를 다루는데 있어, 과거의 영화 상영 방법(movie mode)으로 비디오 정보를 표현하게 되면 비디오에 담겨진 장면과 물체를 사용자 입장에서 편집, 재구성하는 일련의 행동에 많은 불편함을 겪게 된다. 이러한 불편함을 해결하기 위해, 비디오 요약(abstraction), 검색(retrieval), 편집(edition) 분야에서는 각각의 비디오 데이터 표현 방법들이 제안되고 있다. 모자이크는 비디오 데이터의 각 프레임에 산재되어 있는 배경 영역을 하나의 좌표계로 정렬시켜 배경전체를 하나의 영상으로 표현하는 영상장

· 이 논문은 2004학년도 동의대학교 교내연구비에 의하여 연구되었음
 2004AA158

† 비 회 원 : 삼성전자 시스템 LSI
 kittler@orgio.net

** 비 회 원 : 동의대학교 컴퓨터공학과 교수
 cijg@deu.ac.kr

*** 비 회 원 : 한밭대학교 정보통신컴퓨터공학부 교수
 swlee69@hanbat.ac.kr

논문접수 2004년 5월 13일
 심사완료 2005년 4월 7일

보의 표현 방법이다[1,2].

모자이크로 표현된 비디오의 배경영역 정보는 위에서 언급한 비디오 응용분야에서 유용하게 활용될 수 있다. 비디오 요약에 사용한다면, 사용자는 모든 프레임들의 검색과정 없이 모자이크를 통해, 한눈에 촬영된 장소에 대한 전체적인 가시정보를 얻을 수 있다. 또한 비디오 검색의 경우에도, 모자이크 좌표계 상에서 물체의 위치 정보를 표현해 주고, 원하는 프레임의 배경영역을 모자이크를 통해 복원한다면, 전경영역의 위치변화를 기술하고, 제한된 데이터 양으로 배경영역을 복원하는 관점에서 유용하게 사용할 수 있다. 그 밖의 다른 용도의 비디오 처리 과정에서도 모자이크는 유용하게 사용될 수 있다[3].

영상열에 산재해 있는 배경영역의 시각 정보를 하나의 좌표계에 정렬시키기 위해서는 프레임들의 전역 움직임 추정이 필요하다. 그러나 전역 움직임 추정에서 사용되는 움직임 모형의 한계와 영상의 잡음 때문에, 기준 좌표계에 대한 정렬 오차가 발생하여 구성된 모자이크의 국부 또는 전체 영역에 걸쳐 흐려짐 및 겹침 현상이 나타난다. 이러한 정렬 오차를 최소화하기 위한 방법은 크게 전역 움직임 계수에 의해 표현되지 않는 깊이(depth) 정보를 추정하여 프레임 정렬에 사용하는 방법[4,5]과 전체 영상에 대한 움직임 계수를 제한 조건으로 사용하여, 각각의 블록을 정렬시키는 방법[6,7]이 있다. 이러한 방법들은 전역 움직임에 의해서 정렬되지 않은 국부 영역을 정렬하기 위해 카메라의 초점 거리나 조도 변화와 관계된 변수를 추정해야하고 이에따른 많은 계산량을 요구하게 된다. 또한 추정된 잔여 움직임 정보 역시 제한된 크기의 측정 및 추정 원도우를 사용하기 때문에 신뢰성을 확보하기 어렵다.

본 논문에서는 추가적인 외부 변수의 추정 과정 없이 효율적으로 잔여 움직임을 추정할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 제안된 방법에서는 잔여 움직임 추정 과정에서 사용되는 측정 및 추정 원도우의 크기를 효율적으로 설정함으로써 잔여 움직임 정보를 효과적으로 추정할 수 있다. 측정 및 추정 원도우의 크기는 신뢰도에 따라 나누어지고 나누어진 신뢰도에 따라 단계적으로 잔여 움직임을 추정함으로써 모자이크의 주관적 화질을 크게 향상시킬 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2절에서 전역 움직임에 의해 정렬되지 않는 국부 오차의 원인과 이를 해결하기 위한 기존 방법들에 대해 기술하였다. 그리고 3절에서 이음매없는 모자이크 구성을 위한 단계적 잔여 움직임 추정 방법을 기술하였다. 4절에서는 실험결과를 나타내고 제안된 단계적 잔여 움직임 추정 알고리즘을 적용한 제안방법이 기존 방법에 비해 이음매없는 모자이크를 구성할 수 있음을 보인다. 마지막으로 5절에서

결론을 맺었다.

2. 이음매없는 모자이크를 구성하기 위한 기존의 기법들

모자이크 구성을 위해서는, 입력 영상열의 각 프레임들을 정렬시킬 수 있는 전역 움직임 추정 과정이 필요하다. 전역 움직임 모형은, 병진 운동에 대한 2계수 병진 모형(translational model), 평면에 대한 직교 투사 모형인 6계수 근사 모형(affine model), 평면의 일반 투사 모형인 8계수 평면 투사 모형(planar projective model)이 있다. 그 외의 12계수 이상의 움직임 모형은 평면이 아닌 대상에 대해 곡면 근사하여 특수한 경우에 사용하지만, 계수 추정의 수렴성을 확보하기 어려운 문제점을 가지고 있다. 모자이크 구성 과정에서는, 배경영역이 원거리에 놓여 있어서, 평면으로 근사화된다는 가정하에 6계수 근사 모형이나, 8계수 평면 투사 모형을 많이 사용한다[1,2].

카메라의 외부 변수(extrinsic parameters)와 내부 변수(intrinsic parameters)로 결정되는 배경영역의 움직임을 한정된 개수의 전역 움직임 계수로 정렬하는 것은 근본적으로 한계가 있다. 전역 움직임 계수만을 사용하여 구성된 모자이크는, 전역 움직임 계수의 정렬 한계에 의한 에지(edge) 영역의 흐려짐(blurring) 현상과 단일 선분이 중첩되어 나타나는 겹침(doubling) 현상을 보이게 된다. 전역 움직임 계수에 의해 정렬되지 않는 국부 영역이 나타나는 원인을 살펴보면 다음과 같다.

- 전역 움직임 계수 추정의 한계: 전역 움직임을 추정하는 경우, 비용 함수인 평균 밝기 차이를 최소화하도록 반복 과정을 통하여 전역 움직임 계수를 추정하게 된다. 이 때, 영상의 잡음 등으로 인해 국부 최소값(local minimum)에서 반복 과정이 중단되어 잘못된 움직임 추정이 이루어질 수 있다.
- 움직임 추정 모델의 부적합성: 움직임 모델에 많이 사용하는 2계수, 6계수, 8계수, 12계수는 모두 제한된 상황에 대해 적용할 수 있는 모델이다. 모자이크 구성에 널리 쓰이는 8계수의 경우는 배경영역이 실제 공간에서 평면이라는 가정을 둔 경우이고, 12계수는 평면이 아닌 배경영역을 근사적으로 기술한 경우이다. 배경영역이 3차원 공간 상의 평면이 아닌 경우, 일반적인 움직임 모델로 카메라의 움직임을 기술할 수 없고, 이러한 움직임 추정 모델의 한계는 국부 영역의 정렬 오차로 발생하게 된다[1].
- 영상 내의 잡음과 이동 물체 분할의 어려움: 전역 움직임을 추정하는 방법들은 대상으로 하는 영상이 동일한 내용을 담고 있다는 가정을 하고 있다. 만약 잡음에 의해서 두 영상에 담겨진 장면이 다르게 표현된

다면 잘못된 결과를 얻게 될 것이다. 또한 영상열에 등장하는 물체가 영역 분할 과정에 의해서 분할되지 않았다면, 물체 영역 역시 잡음과 마찬가지로 잘못된 결과를 얻는데 기여할 것이다. 영상열에서 물체 영역의 영역 분할 한계는, 물체가 등장하는 영상열의 움직임 추정 한계로 작용한다[2].

- 조도의 변화와 카메라의 노출 계수의 변화: 연속된 프레임 사이에 광원의 위치 또는 조도 변화에 의해서 영상 정보의 내용이 달라지면, 잘못된 움직임 추정 결과를 얻게 된다. 또한 카메라에 장착된 자동 노출 계수의 변화에 의해서도 영상 정보의 내용이 달라질 수 있다. 이러한 전역 밝기 차이를 보정하지 않는다면, 조도 변화와 노출 계수의 변화는 움직임 추정의 한계로 작용한다[1].
- 렌즈의 방사성 왜곡: 촬영에 사용되는 대부분의 카메라는 영상의 중앙 영역과 영상의 가장자리 영역의 공간 척도가 달라지는 방사성 왜곡을 겪게 된다. 따라서 이러한 방사성 왜곡을 보정하여 움직임 계수를 추정하여야 한다[3].

앞에서 기술한 것과 같은 원인에 의해서 전역 움직임 보상에 의해 정렬되지 않는 영역들을 보상하기 위하여 현재까지 진행되어 온 연구들을 크게 다음과 같은 방법이 있다.

- 패러랙스(parallax) 추정: 평면 투사 모델에 부합되지 않는 3차원 공간상에서 평면에 속하지 않는 점들의 잔여 움직임 벡터를 평면 시차(planar parallax)라고 정의하는데, 평면 시차로부터 상대적인 깊이를 나타내는 투사 깊이(projective depth)를 정의하여 카메라의 내부, 외부 변수 및 독립적인 깊이에 관한 수치를 추정하여 전역 움직임에 의해 정렬되지 않는 영역을 보상하는 방법이다[4,5,8]. 패러랙스 추정을 이용한 방법은 카메라의 초점 거리나 조도 변화와 관련된 변수를 추정해야 하고 이러한 변수 추정에 많은 계산량이 필요한 문제가 있다.
- 디고스팅(deghosting): 카메라의 병진 운동 성분이 작은 경우, 영상을 블럭단위로 구분하여 잔여 움직임 성분을 추정하고 전역 움직임에 의해 정렬되지 않는 영역을 보상하는 방법이다[6,7,9-11]. 이때 모자이크 구성에 사용되는 모든 프레임들의 각 블럭에 대한 대응 관계를 추정하고, 기준좌표계로 변환시킬 때 정렬 오차가 최소가 되도록 변환 계수를 추정하였다. 이러한 방법들은 잔여 움직임 추정시, 제한된 크기의 측정 및 추정 윈도우를 사용하기 때문에 추정된 잔여 움직임 벡터의 신뢰성을 확보하기 어려운 문제가 있다.

본 논문에서는, 모자이크를 구성하기 위하여 6계수, 8계수 평면 모형을 사용하여 전역 움직임을 추정하였을

때에 정렬되지 않는 국부 영역에 대해서, 평면 모형과 어긋나 있는 시차 정보의 특성과 밝기 변화 정보의 특성을 이용하여 정렬하는 효율적인 알고리즘을 제안한다. 다음 장에서는 제안된 알고리즘의 잔여 움직임 추정 방법과 계산량을 줄이기 위한 단계적 잔여 움직임 추정 방법에 대하여 자세하게 살펴본다.

3. 단계적 잔여 움직임 추정

3.1 잔여 움직임 벡터 필드 추정

잔여 움직임 벡터 필드를 추정하기 위한 최선의 방법은 모자이크 좌표계 상의 모든 화소의 대응점을 추정하고, 추정된 대응 관계로부터 현재 프레임에 대한 연속 좌표계와 모자이크의 연속 좌표계 사이의 대응 관계를 계산하는 것이다. 그림 1은 기준 좌표계 상의 모자이크와 전역 움직임 계수에 의해 정렬된 현재 프레임 k 와의 대응 관계를 나타내고 있다.

그림 1에서 x_k 는 프레임 k 의 좌표를 나타내고, x_{ref} 는 기준 좌표계 상의 좌표를 나타낸다. 프레임 k 상의 인접하는 네 점 $x_{k,a}$, $x_{k,b}$, $x_{k,c}$, $x_{k,d}$ 에 대해서, 전역 움직임 계수만을 이용해서 찾은 대응되는 위치는 $x'_{ref,a}$, $x'_{ref,b}$, $x'_{ref,c}$, $x'_{ref,d}$ 이고, 전역 움직임 계수와 잔여 움직임 벡터를 모두 이용해서 찾은 대응되는 위치는 $x_{ref,a}$, $x_{ref,b}$, $x_{ref,c}$, $x_{ref,d}$ 이다. 이 때, 잔여 움직임 벡터는 블럭 정합 방법, 혹은 Lucas-Kanade 방법에 의해서 추정할 수 있다. 추정된 잔여 움직임 벡터는 올바른 대응 위치와 전역 움직임 계수에 의한 대응 위치의 차이로, 식 (1)에서 v 를 나타낸다.

$$v(x_{k,a}) = x_{ref,a} - x'_{ref,a} \quad (1)$$

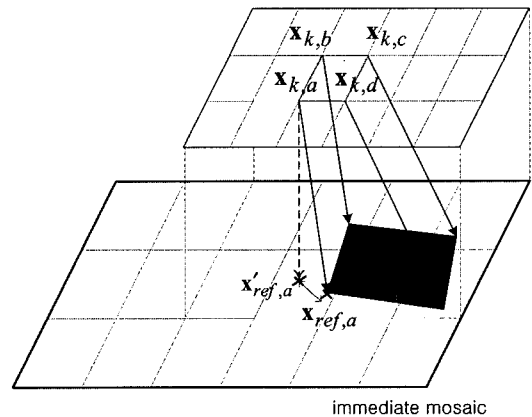


그림 1 기준 좌표계 상의 모자이크와 전역 움직임 계수에 의해 정렬된 현재 프레임과의 잔여 움직임 벡터

잔여 움직임 벡터를 추정할 때, 프레임 k 의 좌표에 대해 기준 좌표계 상의 대응 위치를 검색하게 된다. 그 이유는 입력 영상열의 밝기값이 여러 개의 프레임들로부터 합성된 모자이크 영상보다 신뢰할 수 있는 밝기 분포를 가지고 있기 때문이다. 그러나, 입력 영상열로부터 모자이크를 구성하기 위해서는, 기준 좌표계 상의 좌표에 대한 잔여 움직임 벡터 $\mathbf{v}(\mathbf{x}_{ref})$ 를 알고 있어야 한다. 이러한 이유로, 프레임 k 의 좌표에 대한 잔여 움직임 벡터로부터 기준 좌표계 상의 좌표에 대한 잔여 움직임 벡터를 계산해야 한다.

기준 좌표계 상의 좌표 \mathbf{x}_{ref} 의 잔여 움직임 벡터를 계산하기 위해서는, \mathbf{x}_{ref} 근처에 프레임 k 의 좌표와 대응되는 위치를 검색해야 한다. 그림 1에서 $\mathbf{x}_{ref,a}$, $\mathbf{x}_{ref,b}$, $\mathbf{x}_{ref,c}$, $\mathbf{x}_{ref,d}$ 로 이루어진 사각형 안에, $\mathbf{x}_{ref,a}$ 가 놓인 경우를 생각해 보자. 좌표 $\mathbf{x}_{ref,a}$ 근처에 프레임 k 의 좌표와 대응되는 위치가 $\mathbf{x}_{k,a}$, $\mathbf{x}_{k,b}$, $\mathbf{x}_{k,c}$, $\mathbf{x}_{k,d}$ 이기 때문에, $\mathbf{x}_{k,a}$, $\mathbf{x}_{k,b}$, $\mathbf{x}_{k,c}$, $\mathbf{x}_{k,d}$ 와의 8개의 미지수에 대한 좌표 변환 방정식을 구할 수 있다. 좌표 변환 방정식은 8계수의 좌표 변환 방정식과 같은 형태이고, 선형 방정식을 풀어서 4개의 대응점으로부터 미지수를 구할 수 있다. 이렇게 구한 좌표 변환으로부터, $\mathbf{x}_{ref,a}$ 의 대응점을 구할 수 있고, 대응점으로부터 식 (2)을 이용하여 기준 좌표계 상의 좌표에 대한 잔여 움직임 벡터를 계산할 수 있다.

$$\mathbf{v}(\mathbf{x}_{k,a}) = \mathbf{x}_{ref,a} - \mathbf{x}'_{ref,a} \quad (2)$$

위와 같이, 입력 영상열의 프레임 좌표에 대한 대응 위치를 찾고, 검색된 대응 위치를 이용하여 기준 좌표계 상의 모든 좌표에 대한 대응 위치를 계산하면, 모자이크 구성을 위한 잔여 움직임 벡터를 추정할 수 있다. 이렇게 잔여 움직임 벡터를 추정하는데, 성능을 좌우하는 가장 중요한 단계는 각 프레임 좌표에 대한 기준 좌표계 상의 대응점 검색 단계이다. 잘못된 대응 위치를 찾게 된다면, 기준 좌표계 상의 좌표에 대한 잔여 움직임 벡터는 잘못된 대응 위치로부터 정렬 오차가 누적된 결과를 얻게 될 것이다. 잔여 움직임 벡터 추정에서, 계산량을 가장 많이 요구하는 부분 또한 대응점 검색 단계이다. 결국 대응점 검색 단계는 잔여 움직임 벡터 추정에 있어서, 가장 정확성을 요구하는 부분이고 가장 많은 계산량을 요구하는 부분이다.

대응점 검색 단계에서 정확성과 계산량은 추정 윈도우(EW: Estimation Window)와 측정 윈도우(MW: Measurement Window)의 크기에 의존한다. 여기서 추정 윈도우는 대응점을 찾으려는 좌표, 즉 입력 프레임의 좌표에 놓이게 되고, 측정 윈도우는 기준 좌표계 상에 놓이게 된다. 그림 2는 추정 윈도우와 측정 윈도우를 나타내고 있다. 추정 윈도우와 측정 윈도우의 크기를 크게

한다면, 정확한 대응점을 찾을 수 있는 반면, 많은 계산량을 요구하게 된다. 반면, 추정 윈도우와 측정 윈도우의 크기를 작게 한다면, 계산량은 적은 대신, 잘못된 대응점을 찾는 경우가 발생할 것이다.

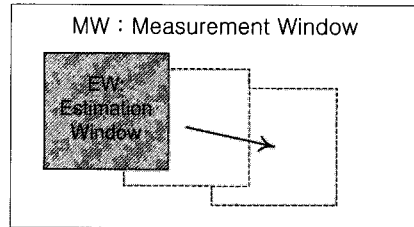


그림 2 기준 좌표계 상의 추정 윈도우와 측정 윈도우

한정된 계산량으로 정확한 대응점을 추정하기 위해서는 다음과 같은 두 가지 조건을 만족해야 한다.

- 효율적인 잔여 움직임 벡터 추정: 잔여 밝기 차이가 큰 화소에 대해 정확한 잔여 움직임 벡터를 추정한다. 잔여 밝기 차이가 작은 화소에 대해서는 추정된 잔여 움직임 벡터와의 거리 정보와 잔여 밝기 차이 정보를 이용하여 외삽(extrapolation) 과정을 수행한다.
- 신뢰할 수 있는 잔여 움직임 벡터 추정: 잔여 밝기 차이가 큰 화소에 대해서는 많은 계산량을 부과하여 정확한 잔여 움직임 벡터를 추정한다. 잔여 밝기 차이가 작은 화소는 주변의 신뢰도 높은 잔여 움직임 벡터에 근거하여 추정을 위한 초기 움직임 벡터값을 조정한다.

3.2 파급 과정(rippling)을 통한 잔여 움직임 추정

텍스처 변화가 큰 블록은 블록 정합 방법을 적용하여 움직임 벡터를 추정하는 경우, 주변 블록의 밝기 변화에 대해 현저한 차이를 나타내므로, 텍스처 변화가 작은 블록에 비해 정합 과정에서 발생할 수 있는 에퍼춰(aperture) 현상을 겪을 확률이 작다. 그리고, 텍스처 변화가 큰 블록은 추정된 전역 움직임에 의해서 정렬하였을 때, 정렬 오차에 의한 잔여 밝기 차이가 텍스처 변화가 작은 블록에 비해 크다. 이러한 이유로, 잔여 밝기 차이가 큰 영역에 추정 윈도우와 측정 윈도우의 크기를 늘려준다면 보다 정확한 잔여 움직임 벡터를 추정할 수 있다.

잔여 밝기 차이가 작은 영역에 대해서는, 근처의 잔여 밝기 차이가 큰 블록의 추정 결과를 이용하여 잔여 움직임 벡터의 초기값을 설정함으로써, 작은 크기의 측정 윈도우와 추정 윈도우를 사용하여도 정확한 잔여 움직임 벡터를 추정할 수 있다. 이러한 일련의 과정을 파급(rippling) 과정이라 정의하고, 아래에 자세히 기술한다.

현재 화소의 위치 \mathbf{x} 에서 움직임 벡터 $\mathbf{v}(t)$ 는 OFE(optical flow equation)에 의해 표현될 수 있다. OFE

의 애퍼취 문제를 극복하기 위해 Lucas-Kanade는 식 (3)와 같은 움직임 벡터 추정 방법을 제안하였다.

$$\begin{bmatrix} \dot{v}_1(t) \\ \dot{v}_2(t) \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \sum_{x \in B} \frac{\partial I(x)}{\partial x} \frac{\partial I(x)}{\partial x} & \sum_{x \in B} \frac{\partial I(x)}{\partial x} \frac{\partial I(x)}{\partial y} \\ \sum_{x \in B} \frac{\partial I(x)}{\partial x} \frac{\partial I(x)}{\partial y} & \sum_{x \in B} \frac{\partial I(x)}{\partial y} \frac{\partial I(x)}{\partial y} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum_{x \in B} \frac{\partial I(x)}{\partial x} \frac{\partial I(x)}{\partial t} \\ \sum_{x \in B} \frac{\partial I(x)}{\partial y} \frac{\partial I(x)}{\partial t} \end{bmatrix} \quad (3)$$

움직임 벡터는 식 (3)에 의하면 밝기 차이 항목과 밝기의 공간 기울기에 의해 표현되는 헤시안(Hessian) 항목에 비례함을 알 수 있다. 따라서 잔여 밝기 차이가 작은 화소들은 추정을 위한 움직임 벡터의 초기값을 근처의 신뢰도 높은 잔여 움직임 벡터값을 이용하였다. 즉, 잔여 밝기 차이의 비율에 따라 식 (4)와 같이 현재 움직임 벡터와 신뢰도 높은 움직임 벡터의 가중치 합으로 현재 화소의 움직임 벡터 초기값을 조정한다.

$$v_{R_n}(x_c) = (1-\alpha)v(x_c) + \alpha v(x_{R_n}) \quad (4)$$

여기서 x_c 는 현재 파급 과정을 수행하는 화소의 위치를 나타내고, x_{R_n} 은 x_c 를 중심으로 파급 윈도우 안에 존재하는 신뢰도 높은 잔여 움직임 벡터를 갖는 화소의 위치를 나타낸다. 식 (4)는 x_c 의 움직임 벡터 $v(x_c)$ 와 x_{R_n} 의 움직임 벡터 $v(x_{R_n})$ 의 가중치 합으로 x_c 에 대한 x_c 의 초기 움직임 벡터값을 보정하는 식이다. 또한 가중치 α 는 잔여 밝기 차이의 비율에 의해 결정된 가중치를 나타내고 식 (5)로 표현된다. 헤시안 항목은 연속적인 밝기의 기울기 값을 갖는 영역에서만 움직임 벡터 추정에 사용할 수 있는 항목이기 때문에, 텍스처가 큰 영역의 움직임 벡터를 고려하는 가중치 α 에 대해서는 헤시안 항목을 반영하지 않았다.

$$\alpha = \frac{|I_M(x_c) - I_k(x_c)|}{|I_M(x_{R_n}) - I_k(x_{R_n})|} \quad (5)$$

따라서 파급 윈도우 안에 존재하는 모든 신뢰도 높은 움직임 벡터를 고려하여 결정되는 x_c 의 움직임 벡터 초기값은 식 (6)와 같다.

$$v(x_c) = \frac{\sum_n v_{R_n}(x_c) / l_{R_n}}{\sum_n 1 / l_{R_n}} \quad (6)$$

여기서 n 은 파급 윈도우 안에 신뢰도 높은 움직임 벡터를 갖는 화소의 개수이며, l_{R_n} 은 x_c 와 x_{R_n} 의 거리를 나타낸다.

따라서 파급 과정을 통해 초기 움직임 벡터값을 보정하면, 잔여 밝기 차이가 큰 화소의 움직임 추정에 사용한 측정 및 추정 윈도우보다 작은 크기의 윈도우를 사

용하여, 잔여 밝기 차이가 작은 화소에 대해서도 신뢰도 높은 잔여 움직임 벡터를 추정할 수 있다.

3.3 단계적 잔여 움직임 추정

앞서 설명한 파급 과정을 이용하여 단계적으로 잔여 움직임 벡터를 추정한다. 전역 움직임 계수에 의해서 정렬된 현재 프레임과 모자이크 영상과의 밝기 차이인 잔여 밝기 차이를 구하고, 그 값을 양자화한다. 잔여 밝기 차이가 가장 큰 양자화 수준(quantization level)부터 가장 작은 양자화 수준까지 다음의 잔여 움직임 추정 과정을 반복한다.

step 1. 양자화 수준 i 에 대응하는 추정 윈도우(estimation window), 측정 윈도우(measurement window), 파급 윈도우(rippling window)의 크기를 설정한다.

step 2. 양자화 수준 i 에 대응하는 화소의 잔여 움직임 벡터를 추정한다.

step 3. 양자화 수준이 i 보다 작은 화소들에 대해 양자화 수준 i 에 해당하는 화소의 잔여 움직임 벡터를 고려한 파급 과정을 수행한다.

step 4. i 가 1보다 큰 경우, 위의 과정을 반복한다.

그림 3은 파급 과정을 통한 단계적 잔여 움직임 추정 과정을 설명한 것이다. 본 논문에서는 양자화 수준을 4단계로 나누고, 가장 큰 양자화 수준에서는 측정 윈도우의 크기를 16×16 , 추정 윈도우는 33×33 , 파급 윈도우는 16×16 으로 설정하였다. 또한 양자화 수준이 작아짐에 따라, 측정 윈도우, 추정 윈도우, 파급 윈도우의 크기를 반으로 줄여 잔여 움직임 벡터를 추정하였다.

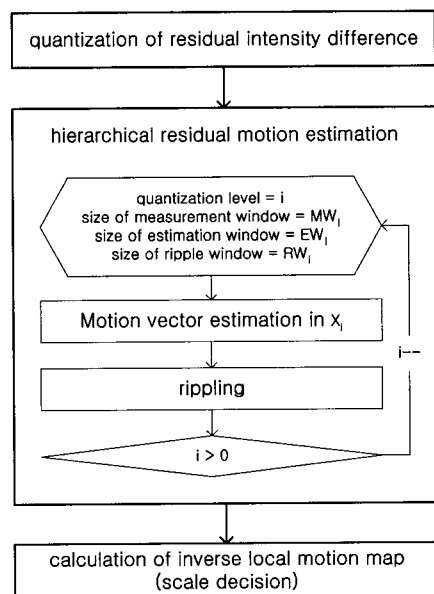


그림 3 단계적 잔여 움직임 추정 방법

3.4 역대응 잔여 움직임 벡터 계산

모자이크를 구성하기 위해서는 역대응 잔여 움직임 벡터 필드를 계산하여야 한다. 그림 1에서 $x_{k,a}$, $x_{k,b}$, $x_{k,c}$, $x_{k,d}$ 는 잔여 움직임 벡터가 추정된 프레임 k 좌표계 상의 위치이고, $x_{ref,a}$, $x_{ref,b}$, $x_{ref,c}$, $x_{ref,d}$ 는 잔여 움직임 벡터와 전역 움직임 계수에 의해 대응되는 기준 좌표계 상의 대응점 위치이다. 이 때, $x_{k,a}$, $x_{k,b}$, $x_{k,c}$, $x_{k,d}$ 와 $x_{ref,a}$, $x_{ref,b}$, $x_{ref,c}$, $x_{ref,d}$ 는 선형 변환 관계를 가지고 있다. 계산된 선형 변환 관계식으로부터, $x_{ref,a}$, $x_{ref,b}$, $x_{ref,c}$, $x_{ref,d}$ 로 이루어진 사각형 안에 포함된 $x_{ref,a}$, $x_{ref,b}$ 에 대한 역대응 잔여 움직임 벡터를 계산할 수 있다.

이렇게 기준 좌표계 상의 모든 화소에 대한 역대응 잔여 움직임 벡터를 계산한다. 전역 움직임 계수와 역대응 잔여 움직임 벡터를 이용하여 현재 프레임을 기준 좌표계에 정렬시킬 수 있다.

4. 모의 실험 및 성능분석

본 실험에 사용한 영상 시퀀스는 휴대용 카메라인 Sony TRV 900 을 이용하여 획득하였고, 352×288 크기의 CIF 영상이다. 실험 영상 시퀀스내에는 물체영역이 존재하지 않고 다양한 카메라 움직임만 존재하도록 하였다.

전역 움직임 계수는 투사 평면 모델인 8계수에 대해

반복 수행 과정을 이용하여 추정하였고[1,3,4,12,13], 제안된 단계적 잔여 움직임 벡터 추정 방법을 사용하였다. 잔여 밝기 차이의 양자화는 밝기 차이에 대한 문턱값 25, 75, 100을 적용하여 4개의 수준으로 구분하였다. 추정 윈도우의 크기는 양자화 수준에 따라 16×16, 8×8, 4×4, 2×2로 결정하였고, 추정 윈도우의 크기는 33×33, 17×17, 9×9, 5×5로 결정하였다. 또한, 파급 윈도우의 크기는 16×16, 8×8, 4×4, 2×2로 결정하였다. 대응점의 정합을 위하여, 이진 트리 블록 정합 방법을 사용하였다. 합성 과정에서 좌표계 변환에 의한 밝기값 계산은 쌍일차 내삽법(bilinear interpolation)을 이용하여 평균치 합성을 수행하였다. 그리고 제안방법과 참고문헌 [11]를 비교하였다.

실험영상은 다양한 카메라 움직임이 존재하는 영상열에 대해 모자이크를 구성하였는데, 먼저 카메라의 병진 및 패닝 움직임이 큰 영상열에 대해 실험하였고, 다음으로 카메라의 병진 및 장면 확대 움직임이 있는 영상열에 대해 실험하였다.

4.1 카메라의 병진 운동 성분과 패닝 성분이 지배적인 경우

그림 4는 카메라의 병진 운동 성분과 패닝 성분이 지배적인 경우에 대해 촬영한 테스트 영상열(test video sequence)이다. 그림 5는 순차적 정렬 방법에 의해 그

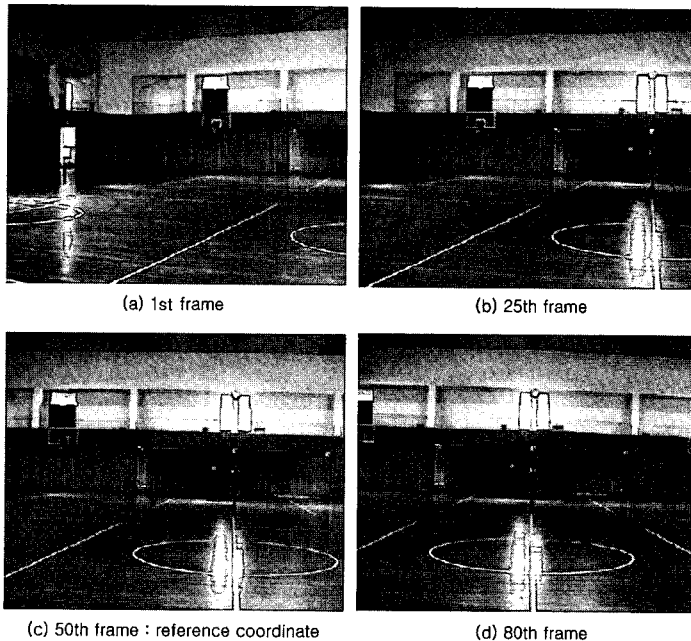


그림 4 카메라의 병진운동과 패닝 성분이 지배적인 첫번째 입력영상열 (a) 1번째 프레임 (b) 25번째 프레임 (c) 50번째 프레임 (d) 80번째 프레임

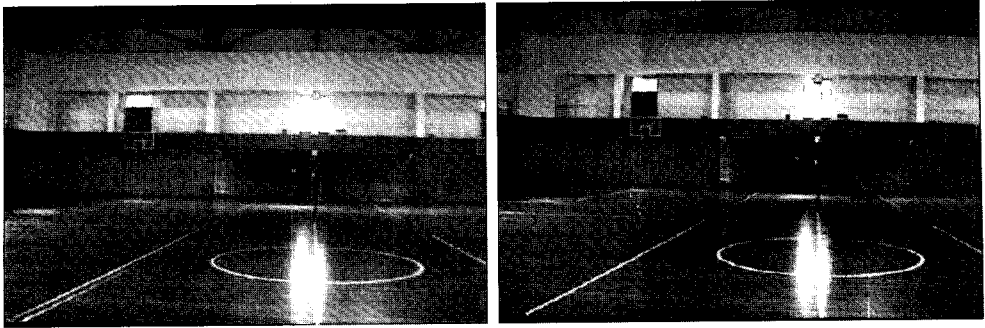
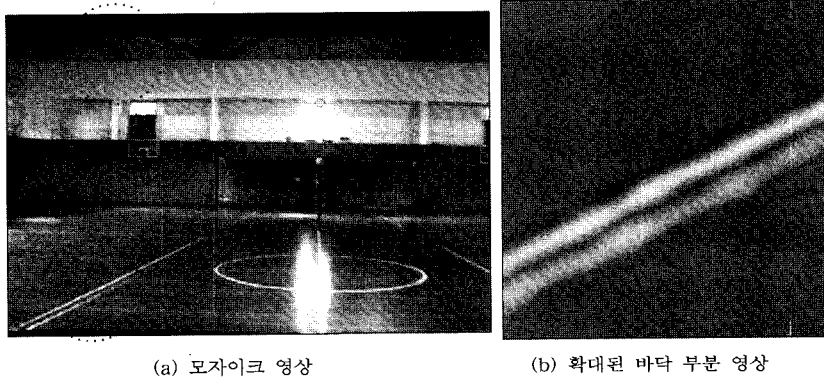
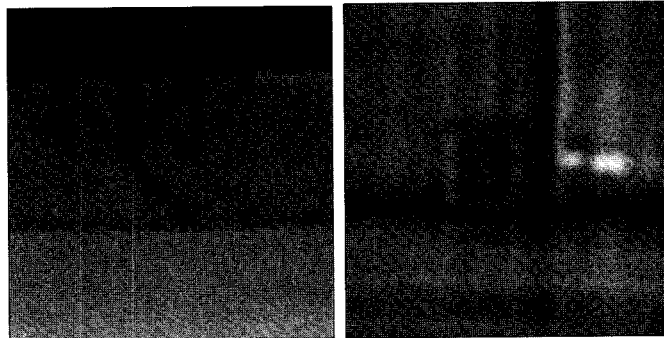


그림 5 첫번째 영상열로 구성된 모자이크 영상 (a) 참고문헌[11]에 의해 합성된 모자이크 영상 (b) 제안방법에 의해 합성된 모자이크 영상



(a) 모자이크 영상

(b) 확대된 바닥 부분 영상



(c) 확대된 천장 부분 영상

(d) 확대된 히터 부분 영상

그림 6 참고문헌[11]에 의해 합성된 모자이크 영상 (a) 모자이크 영상 (b) 확대된 바닥 부분 영상 (c) 확대된 천장 부분 영상 (d) 확대된 히터 부분 영상

림 4의 영상열을 모자이크 좌표계로 변환하여 평균치 합성을 통해 구성된 모자이크이다. 여기서 그림 5(a)는 참고문헌[11]를 이용하여 구성된 모자이크이고, 그림 5(b)는 제안방법을 사용하여 모자이크를 구성한 영상이다. 그림 5(a) 및 (b)는 모두 50번째 프레임의 좌표계를 기준 좌표계로 설정하여 모자이크를 구성하였다.

모자이크된 영상의 화질열화를 확인하기 위해 그림 5(a) 및 (b)의 일부분을 확대한 영상이 각각 그림 6 및

그림 7이다. 그림 6로부터 바닥 부분에 그어져 있는 선 주위에 나타나는 겹침 현상을 확인할 수 있다. 또한 천장 부분의 구조물에 대해서도 겹침 현상을 뚜렷이 확인할 수 있다. 바닥에 놓여 있는 히터 부분에서는 흐려짐 현상을 확인할 수 있다. 즉, 렌즈 왜곡을 보정하기 위한 파라미터 추정이 부정확한 영역에서 모자이크의 겹침, 흐려짐 현상을 확인할 수 있다.

그림 7은 제안된 단계적 잔여 움직임 벡터 추정을 통

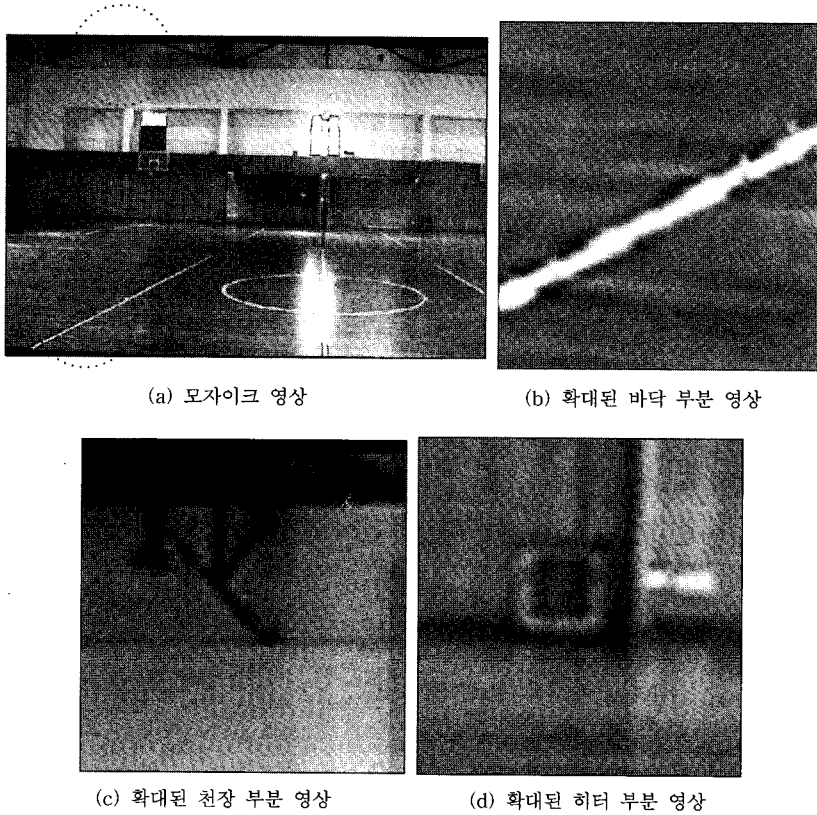


그림 7 제안방법에 의해 합성된 모자이크 영상 (a) 모자이크 영상 (b) 확대된 바닥 부분 영상 (c) 확대된 천장 부분 영상 (d) 확대된 히터 부분 영상

하여 모자이크 영상의 겹침, 흐려짐 현상을 제거한 경우이다. 바닥 부분에 그어져 있는 선 주위의 겹침 현상, 천장 부분의 구조물 영역에 대한 겹침 현상, 바닥에 놓여 있는 히터 부분의 흐려짐 현상이 제거되었음을 확인할 수 있다. 단계적 잔여 움직임 벡터 추정에 의해 프레임간의 올바른 정렬이 이루어졌음을 결과 영상을 통하여 확인할 수 있다.

4.2 카메라의 병진 운동과 장면 확대 성분이 지배적인 경우

그림 8은 카메라의 병진 운동 성분과 장면 확대 성분이 지배적인 경우에 대해 촬영한 테스트 영상열이다. 그림 9는 그림 8의 영상열을 순차적 정렬 방법을 사용하여 정렬한 후, 평균치 합성을 통해 구성한 모자이크 영상이다. 여기서 그림 9(a)는 참고문헌[11]에 의해 합성된 모자이크 영상이고, 그림 9(b)는 제안방법에 의해 합성된 모자이크 영상이다. 그림 9(a) 및 (b)는 모두 첫번째 프레임의 좌표계를 기준 좌표계로 설정하여 모자이크를 구성하였다.

모자이크된 영상의 화질열화를 확인하기 위해 그림

9(a) 및 (b)의 일부분을 확대한 영상이 각각 그림 10 및 그림 11이다. 그림 10을 통하여 바닥 부분에 그어져 있는 선의 일부가 잘못 정합된 것을 확인할 수 있다. 또한 기둥이 놓여 있는 두 영역에 대해서도, 정렬 오차에 의해 직선으로 이루어진 기둥이 어긋나 있는 것을 확인할 수 있다. 반면 그림 11은 단계적 잔여 움직임 벡터 추정을 통하여 모자이크의 겹침, 흐려짐 현상을 제거한 경우이다. 바닥 부분에 그어져 있는 선이 올바르게 직선으로 표현되고 있고, 두 개의 기둥도 어긋나지 않고 올바른 형태를 보여주고 있음을 확인할 수 있다. 단계적 잔여 움직임 벡터 추정에 의해 프레임간의 올바른 정렬이 이루어졌음을 모자이크를 통하여 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 전역 움직임 계수에 의해 정렬되지 않는 영역들을 단계적 잔여 움직임 추정을 이용하여 정렬하는 방법을 제안하였다. 기존의 깊이 정보를 추정하거나, 화소별 잔여 움직임을 추정하는 작업은 장면에 대한 분석으로는 용이하게 사용될 수 있으나, 수십 개 이상의

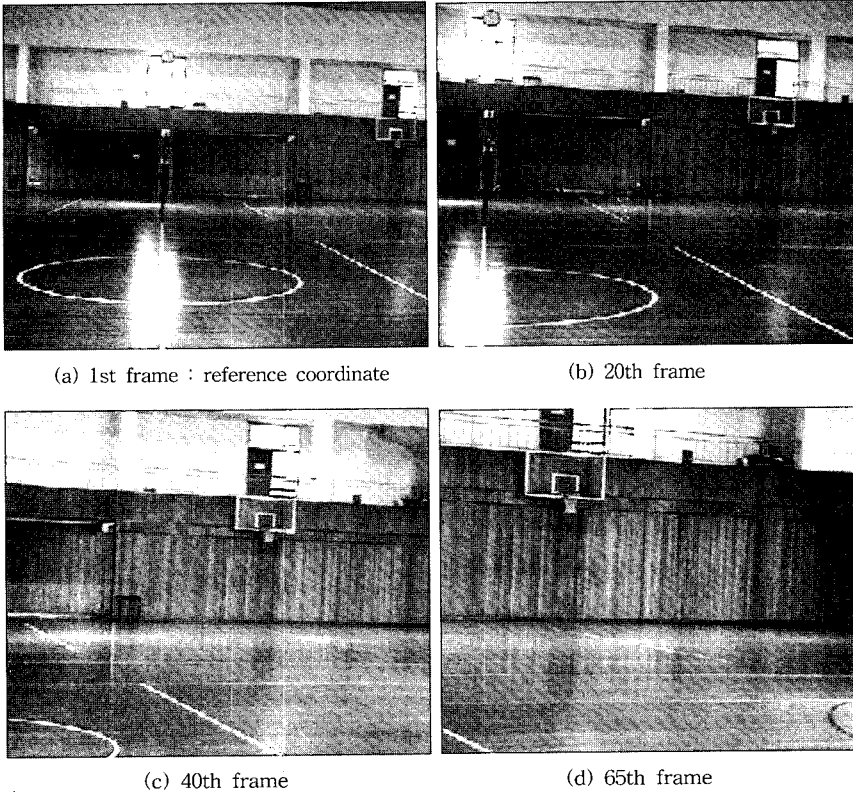


그림 8 카메라의 병진 운동 성분과 장면 확대 성분이 지배적인 두 번째 입력영상열 (a) 1번째 프레임 (b) 20번째 프레임 (c) 40번째 프레임 (d) 65번째 프레임

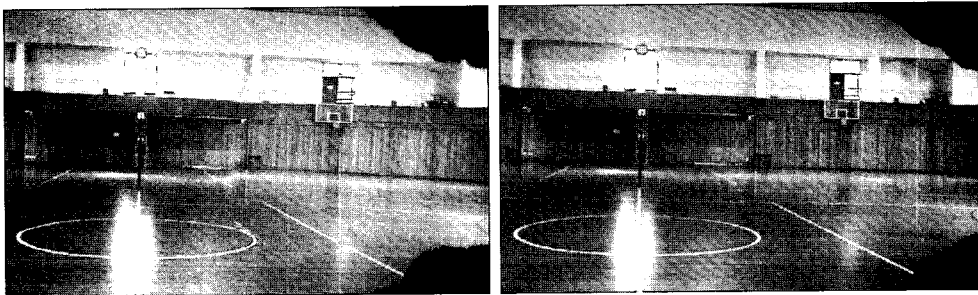
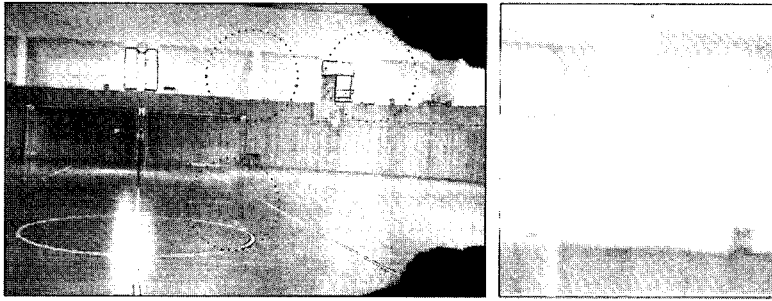


그림 9 두 번째 입력 영상열로 구성된 모자이크 영상 (a) 기존방법에 의해 합성된 모자이크 영상 (b) 제안방법에 의해 합성된 모자이크 영상

프레임을 처리해야 하는 모자이크 구성 단계에서는 많은 계산량 때문에 적용하기 어렵다. 또한 추정된 잔여 움직임 정보 역시, 제한된 크기의 측정 및 추정 윈도우를 사용하기 때문에 신뢰성을 확보하기 어렵다. 본 논문에서 제안된 잔여 움직임 추정 방법은 신뢰도에 따라 나누어진 화소에 대해 단계적으로 잔여 움직임을 추정함으로써, 모자이크의 주관적 화질을 향상시킬 수 있었다.

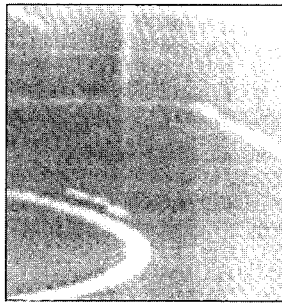
참 고 문 헌.

[1] S. Mann and R. W. Picard, "Virtual bellows: Constructing high-quality images from video," ICIP, Vol.1, pp. 363-367, Nov. 1994.
 [2] R. Szeliski, "Video mosaics for virtual environments," IEEE Computer Graphics and Applications, pp. 22-30, March 1996.

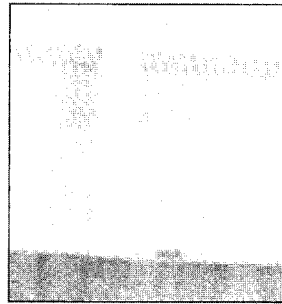


(a) 모자이크 영상

(b) 확대된 옆문 부분 영상

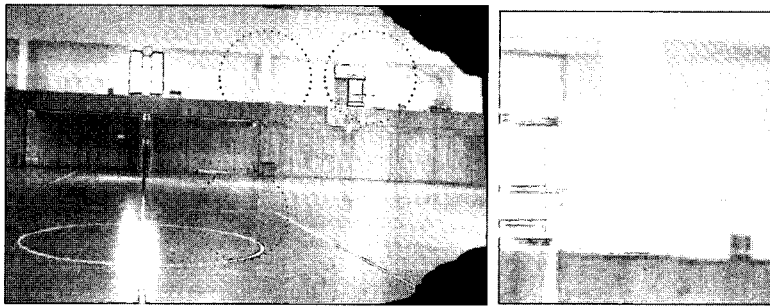


(c) 확대된 바닥 부분 영상



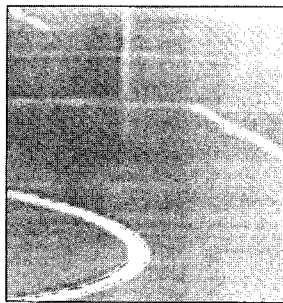
(d) 확대된 기둥 부분 영상

그림 10 참고문헌[11]에 의해 합성된 모자이크 영상 (a) 모자이크 영상 (b) 확대된 옆문 부분 영상 (c) 확대된 바닥 부분 영상 (d) 확대된 기둥 부분 영상

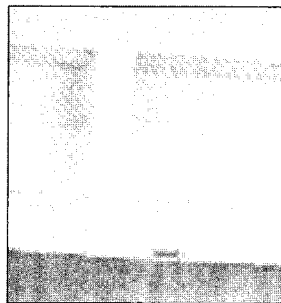


(a) 모자이크 영상

(b) 확대된 옆문 부분 영상



(c) 확대된 바닥 부분 영상



(d) 확대된 기둥 부분 영상

그림 11 제안방법에 의해 합성된 모자이크 영상 (a) 모자이크 영상 (b) 확대된 옆문 부분 영상 (c) 확대된 바닥 부분 영상 (d) 확대된 기둥 부분 영상

- [3] H. S. Sawhney, R. Kumar, "True multi-image alignment and its application to mosaicing and lens distortion correction," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, No. 5, pp. 235-243, March 1999.
- [4] R. Kumar, P. Anandan, Keith Hanna, "Direct recovery of shape from multiple views: a parallax based approach," *ICPR*, pp. 685-688, 1994.
- [5] H. S. Sawhney, "3D Geometry from planar parallax", *CVIP*, Vol. 1, pp. 929-934, June 1994.
- [6] Eun-Young Kang, I. Cohen, G. Medioni, "A graph-based global registration for 2D mosaics," pp. 257-260, *ICPR*, 2000.
- [7] R. Szeliski, P. Anandan, S. Baker, "From 2D images to 2.5D sprites: a layered approach to modeling 3D scenes," *Multimedia Computing and Systems*, 1999. *IEEE International Conference on*, Vol. 1, pp. 44-50, 1999.
- [8] Amnon Shashua, "Projective depth: A geometric invariant for 3D reconstruction from two perspective/orthographic views and for visual recognition," *ICCV*, pp. 583-590, 1993.
- [9] H. Y. Shum, R. Szeliski, "Construction and refinement of panoramic mosaics with global and local alignment," *ICCV*, pp. 953-956, 1998.
- [10] R. Szeliski, H. Y. Shum, "Creating full view panoramic image mosaics and texture-mapped models," *SIGGRAPH'97*, pp. 251-258, August 1997.
- [11] H. S. Sawhney, R. Kumar, "True Multi-Image Alignment and its Application to Mosaicing and Lens Distortion Correction," *IEEE Trans. on PAMI* Vol. 21, No.3, pp. 235-243, March 1999.
- [12] W.H. Press, B. P. Flannery, S. A. Teukolsky, W. T. Vetterling, *Numerical Recipes in C: The Art of Scientific Computing*, Cambridge University Press, Cambridge, England, 2nd edition, 1992.
- [13] J. R. Bergen, P. Anandan, K. J. Hanna, R. Hingorani, "Hierarchical model-based motion estimation," *ECCV*, pp. 237-252, 1992.



최재각

1980년 3월~1984년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1985년 3월~1987년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(공학석사). 1992년 3월~1997년 8월 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(공학박사). 1987년 2월~1998년 2월 한국전자통신연구원 선임연구원. 1998년 3월~2001년 8월 경일대학교 제어계측공학과 조교수. 2001년 9월~현재 동의대학교 컴퓨터공학과 부교수. 관심분야는 영상처리, 영상 및 멀티미디어 통신, 워터마킹 등



이시웅

1991년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1993년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(공학석사). 1997년 8월 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업(공학박사). 1995년 5월~2000년 3월 삼성전자반도체. 2000년 4월~현재 한밭대학교 부교수. 관심분야는 영상처리, 영상압축, 컴퓨터비전



이청우

1994년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 졸업. 1997년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사과정 졸업. 2004년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사과정 졸업. 2004년 4월~현재 삼성전자 시스템 LSI. 관심분야는 영상처리, 움직임추정, MPEG

영상처리, 움직임추정, MPEG