

# 정합영역의 유형분석에 의한 스테레오 변이 추정

## (Stereo Disparity Estimation by Analyzing the Type of Matched Regions)

김 성 현 <sup>†</sup> 이 중 재 <sup>\*\*</sup> 김 계 영 <sup>\*\*\*</sup> 최 형 일 <sup>\*\*\*\*</sup>

(Sung-Hun Kim) (Joong-Jae Lee) (Gye-Young Kim) (Hyung-Il Choi)

**요 약** 본 논문에서는 분할영역기반 스테레오 정합을 사용하여 영상의 변이를 추정하는 방법에 관하여 기술한다. 분할영역기반의 변이 추정은 분할된 영역단위로 변이값을 계산하는데 스테레오 정합단계의 정합요류뿐만 아니라 정합된 영역의 유형을 고려하지 않고 일률적인 방법으로 변이를 계산하기 때문에 부정확한 변이를 추정하게 되는 문제점을 가지고 있다. 이런 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 정합된 영역의 정합유형을 고려하여 변이를 추정하는 방법을 제안한다. 즉, 제안하는 방법은 스테레오 정합 수행 후 정합영역의 정합유형을 분석하여 유사정합, 비유사정합, 오정합, 비정합 영역으로 분류한 다음 분류된 정합영역별로 적절한 변이 추정 방법을 적용한다. 이 방법은 정합요류로 인한 잘못된 변이 추정을 최소화하며 정상적인 정합영역에 대해서도 변이의 정확도를 향상시킨다. 제안하는 방법의 성능을 평가하기 위하여 다양한 장면에 대해서 실험을 수행하였으며 실험결과 가상 영상과 실내 영상에서 정확도가 향상된 변이도를 얻을 수 있었다. 주목할 만한 결과는 기존의 연구에서 적용하기 힘들었던 복잡한 실외 영상에 대한 변이도 역시 정확도가 향상된 것이다.

**키워드** : 분할영역기반 스테레오 정합, 정합유형 분석, 변이 추정, 변이도

**Abstract** This paper describes an image disparity estimation method using a segmented-region based stereo matching. Segmented-region based disparity estimation yields a disparity map as the unit of segmented region. However, there is a problem that it estimates disparity imprecisely. The reason is that because it not only have matching errors but also apply an identical way to disparity estimation, which is not considered each type of matched regions. To solve this problem, we proposes a disparity estimation method which is considered the type of matched regions. That is, the proposed method classifies whole matched regions into similar-matched region, dissimilar-matched region, false-matched region and miss-matched region by analyzing the type of matched regions. We then performs proper disparity estimation for each type of matched regions. This method minimizes the error in estimating disparity which is caused by inaccurate matching and also improves the accuracy of disparity of the well-matched regions. For the purpose of performance evaluations, we perform tests on a variety of scenes for synthetic, indoor and outdoor images. As a result of tests, we can obtain a dense disparity map which has the improved accuracy. The remarkable result is that the accuracy of disparity is also improved considerably for complex outdoor images which are barely treatable in the previous methods.

**Key words** : Segmented-region based stereo matching, Analysis of type of matched regions, Disparity estimation, Disparity map

· 본 연구는 국방과학연구소 기초연구과제(과제번호 ADD-03-06-04) 지원으로 수행되었음

<sup>†</sup> 정 회 원 : 인지소프트 인식공학연구소  
hun@sendu.com  
<sup>\*\*</sup> 정 회 원 : 숭실대학교 정보미디어기술연구소 연구원  
arbitlee@vision.ssu.ac.kr  
<sup>\*\*\*</sup> 종신회원 : 숭실대학교 컴퓨터학과 교수  
gykim@computing.ssu.ac.kr  
<sup>\*\*\*\*</sup> 종신회원 : 숭실대학교 미디어학과 교수  
hic@computing.ssu.ac.kr  
논문접수 : 2005년 5월 13일  
심사완료 : 2005년 11월 19일

### 1. 서 론

컴퓨터 비전 및 카메라 기술이 발전하면서 사람의 시각 시스템을 컴퓨터로 구현하려는 스테레오 비전에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 스테레오 비전은 카메라에 투영된 영상을 해석해서 물체의 깊이나 형상 또는 거리등의 3차원 정보를 얻는 방법으로서 두 카메라로부터 획득된 좌우 영상으로부터 대응하는 점의 변이

를 구하고 이 변이에 간단한 삼각 측량법을 이용하여 3차원 정보를 검출할 수 있다[1]. 3차원 정보는 일반적으로 변이도(Disparity map)로 표현 할 수 있으며 스테레오 비전에 관한 대부분의 연구는 정확한 변이도를 얻는 것에 초점을 맞추고 있다[2,3]. 그리고 변이도를 얻기 위한 기존의 다양한 방법은 크게 영역기반 방법(area-based method)과 특징기반 방법(feature-based method)으로 나눌 수 있다.

영역기반 방법은 영상에서 정합될 단위 영역에 포함된 모든 화소를 전체를 정합하는 방법으로 영상의 밝기 값 자체를 특징으로 한다. 이러한 방법들은 전체 변이도를 한 번에 얻을 수 있는 반면 계산복잡도가 높은 단점이 있다. 영역기반 방법의 일반적인 처리 방법은 최대 상관도(Cross correlation)나 최소 SSD(Sum of squared difference)를 이용하는 것이다[4,5]. 이것은 지역적으로 작은 영상 영역을 정합시킴으로써 조밀한 변이도를 구할 수 있다. 그러나 정합시키는 영상 영역내의 모든 지점의 변이가 서로 유사하다는 가정이 필요하므로 경계부분에서 오차가 발생하며, 밝기값 분포가 균일하거나 텍스처 정보가 부족한 경우에는 정합의 정확도가 떨어지는 단점이 있다.

특징기반 방법은 영상의 특징을 찾고 그 특징간의 정합을 하는 방법으로 영역기반 방법처럼 영상의 전체 영역에 대한 조밀한 변이 추정은 불가능하지만 처리 속도가 빠르기 때문에 널리 사용되고 있다. 일반적으로 대부분의 특징기반 방법에서는 정합 요소로서 점(point)이나 에지(edge)를 사용하고 있다[6-8]. 하지만 점이나 에지간의 대응관계를 찾기 위한 특징이 부족하고 폐색(occlusion), 즉 한쪽 카메라에서는 보이지만 다른쪽 카메라에서는 보이지 않는 부분에 대해서는 비정합(mismatch)이 자주 발생된다. 이러한 단점은 분할영역(region)과 같은 정합 요소를 사용함으로써 극복할 수 있다[9-11].

분할영역에 대한 정합을 위해 가장 많이 사용하는 알고리즘은 분할영역간의 인접관계를 이용한 제약사항을 적용한 것이다[10,11]. 그러나 이 방법은 폐색된 부분에 대해서는 오정합(false match)을 만들고 특히 영상분할(image segmentation) 결과의 오류를 전혀 고려하지 않기 때문에 자연 영상과 같이 복잡한 영상에 대해서는 오정합과 비정합이 많이 발생한다. 또한 모든 정합영역에 대해서 일률적인 변이 추정을 하기 때문에 정합영역의 유형이 다른 영역에서는 변이의 정확도가 떨어진다는 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 보완하기 위해 스테레오 정합 결과를 분석하여 분석결과를 변이 추정을 위해 적용함으로써 정확한 변이도를 얻는 방법을 제안한

다. 스테레오 정합 결과로 얻어지는 정합영역을 유사정합, 비유사정합, 오정합, 비정합 영역으로 분류한 후 각 영역별로 효과적인 변이 추정 방법을 적용하여 정확한 변이도를 추출한다.

1장에서는 논문의 연구배경 및 목적에 대하여 논하였고 2장에서는 정합영역의 유형분석에 관하여 기술한다. 3장에서는 유형별 변이 추출방법을 설명한다. 4장에서는 실험결과 및 성능평가를 보인 후, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 정합영역의 유형 분석

분할영역기반 스테레오 정합은 두 영상에서 분할영역간의 유사도를 비교하여 대응관계를 결정함으로써 정합을 수행한다. 그리고 정합영역의 변이는 대응관계가 결정된 영역간의 모양정보를 이용하여 계산되며 전체 정합영역의 변이가 계산되면 영상전체의 변이도를 획득할 수 있다. 기존의 분할영역기반 스테레오 변이 추정방법의 문제점은 영상분할 결과에 따라서 변이도의 정확도가 민감하게 반응한다는 것이다. 즉, 두 스테레오 영상에 대하여 영상분할을 수행한 후 각각 좌우영상에서 대응가능성이 있는 분할된 영역들의 형태나 크기 등이 서로 유사하지 않다면 정합률이 낮아지는 원인이 되고 결국 정확한 변이도를 얻는 것이 어렵게 된다. 또한 기존 방법에서는 정합특성, 예를 들어 정합된 영역들의 모양과 크기 등을 고려하지 않고 일률적인 방법을 사용하여 변이를 계산함으로써 변이도의 정확도를 감소시키는 문제점이 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 보완하기 위해 스테레오 정합결과를 분석하여 정합영역을 유형별로 분류하고 각 유형에 따라서 적절한 변이 추정 방법을 적용함으로써 전체 변이도의 정확도를 향상시키는 방법을 제안한다.

그림 1은 본 논문에서 제안하는 정합영역의 유형분석을 이용한 스테레오영상의 변이 추정방법의 전체 개요도를 보여준다. 제안하는 방법은 분할된 영역들의 대응관계를 결정한 뒤에 수행되며 크게 두 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서는 정합영역을 정합유형에 따라 유사정합, 비유사정합, 오정합, 비정합 영역으로 분류한다. 두 번째 단계에서는 분류된 정합영역별로 효과적인 변이 추정 방법을 적용하여 정확한 변이도를 추출한다.

그림 2는 전체 정합영역을 유형별로 분류한 예를 보여주고 있다. 그림 2(a)와 (b)는 스테레오 영상에 대한 정합결과이며 정합에 성공한 왼쪽과 오른쪽 영역은 같은 번호가 부여되고 그렇지 않고 정합에 실패한 영역은 번호가 부여되지 않는다. 그림 2(c)는 유형별로 분류된 정합영역의 예를 보여준다. 전체 분할영역에 대한 스테레오 정합결과에서 가장 먼저 눈에 띄는 특징은 정합의

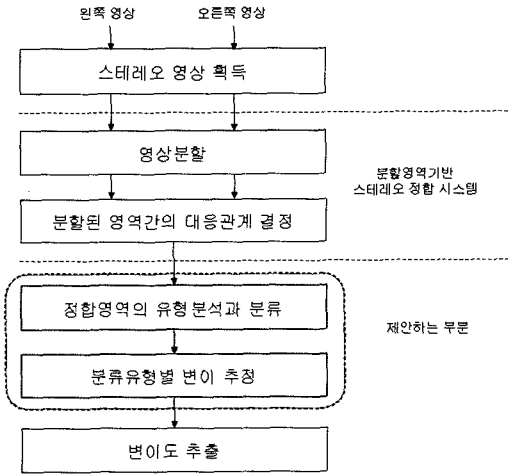
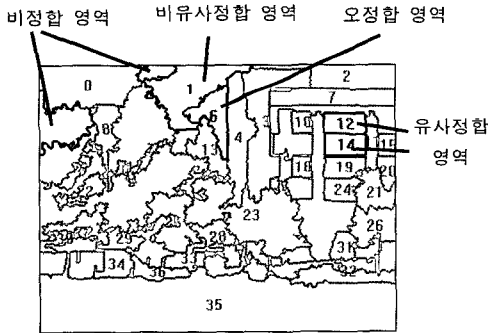
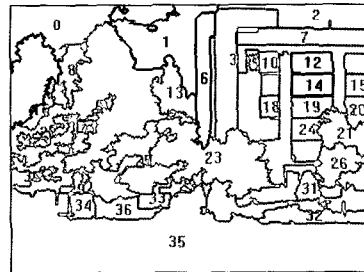


그림 1 정합영역의 유형분석을 이용한 스테레오영상의 변이 추정

성공유무이다. 즉 정합영역은 정합된 영역과 비정합된 영역으로 구분된다. 비정합 영역은 대응후보영역과 크기 차이가 크거나 대응후보영역이 존재하지 않기 때문에 정합에 실패한 영역이다. 그런데 정합된 영역에 대해서는 변이를 계산할 수 있지만 비정합 영역은 변이계산을 할 수 없다. 따라서 전체 정합영역에서 비정합 영역의 비율이 높다면 전체 영상에 대해 계산된 변이도의 정확도는 낮을 수밖에 없다. 그리고 정합된 영역을 더 자세하게 살펴보면 좌우 영상에서 동일한 영역과 대응관계를 가지는 경우와 그림 2(a)의 6번 영역처럼 그렇지 않은 경우를 볼 수 있다. 후자의 경우는 본 논문에서 오정합 영역이라고 정의하는데 오정합 영역은 변이 계산이 가능하지만 실제 그 결과는 정확하지 않다. 따라서 비정합 영역과 마찬가지로 전체 정합영역에서 오정합 영역의 비율이 높을수록 변이도의 정확도는 감소한다. 마지막으로 정합결과에서 비정합과 오정합 영역을 제외한



(a) 왼쪽 영상의 정합 결과



(b) 오른쪽 영상의 정합 결과

정합영역 영역유형	왼쪽 영상의 영역	오른쪽 영상의 영역	두 영역의 중첩과 영역중심 비교
비정합 영역		없음	비교대상 없음
오정합 영역			
비유사정합 영역			
유사정합 영역			

(c) 분류된 각 영역유형의 예

그림 2 정합영역의 유형분류의 예

나머지 영역을 살펴보면 또 한 가지의 변이 계산에 영향을 미칠 수 있는 요인이 존재함을 알 수 있다. 그림 2(a)에서 1번 영역처럼 두 정합 영역의 크기나 모양이 매우 다른 경우로서 본 논문에서는 비유사정합 영역이라고 정의한다. 비유사정합 영역에 대한 변이 추정 결과는 대응 영역의 크기나 모양에 민감한 결과를 보인다. 이것은 분할 영역 기반의 스테레오 변이 추정이 정합된 영역의 경계에 해당하는 대응점 간의 평균변이를 계산하기 때문이다.

앞서 설명한 것을 요약하여 본 논문에서는 전체 정합 영역  $R_U$ 을 식 (1)과 같이 네 가지 유형의 영역들에 대한 합집합으로 정의한다.

$$R_U = R_s \cup R_{us} \cup R_f \cup R_m \quad (1)$$

식 (1)에서  $R_s$ 는 대응관계가 정확한 유사정합 영역이고  $R_{us}$ 는 비유사정합 영역이다. 그리고  $R_f$ 는 오정합 영역,  $R_m$ 은 비정합 영역을 나타낸다. 이러한 각 정합영역의 유형별 특성 때문에 모든 정합영역에 대해 일률적인 변이 계산방법을 적용하면 정확한 변이도를 얻을 수 없다. 따라서 각 유형에 따라 적절한 방법을 사용하여 변이를 계산하여야 한다.

그림 3은 정합영역의 유형에 따라 적절한 변이 계산 방법을 사용하기 위해 필요한 정합영역의 유형분류 알고리즘을 보여주고 있다. 본 논문의 유형분류 알고리즘은 다음과 같이 세 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서는 정합영역을 정합의 성공유무에 따라 정합된 영역과 비정합 영역으로 분류한다. 이 때 영역의 정합 성공유무는 스테레오 정합 단계에서 결정된 영역간의 대응관계를 이용하여 알 수 있다. 그런데 비정합 영역들은 기준

영역이 후보영역과 모양, 크기가 현저하게 틀리기 때문에 대응영역을 찾을 수 없고 결국 정합에 실패한다는 특징이 있다. 이것은 두 영역의 모양정보를 주로 이용하는 분할영역기반 정합의 단점중의 하나이다. 또한 비정합영역이 나타나면 변이도의 정확도가 떨어지는데 특히 실내영상 보다도 실외의 복잡한 자연영상에서는 이러한 비정합영역이 더 많이 나타난다.

두 번째 단계에서는 정합된 영역을 동일영역간 정합영역과 오정합 영역으로 분류한다. 여기서 두 영역을 분류하기 위해서는 정합된 두 영역의 무게중심을 중첩시켰을 때 두 무게중심을 잇는 선분의 기울기를 이용한다. 이것은 식 (2)와 같이 두 정합 영역의 형태가 비슷하고 y좌표의 위치도 크게 차이가 없는 정합영역에 대해서는 두 영역의 무게중심을 잇는 선분이 수평으로 형성되지만 그렇지 않은 경우에는 무게중심을 잇는 선분이 수평을 이루지 않는다는 특성을 이용한 것이다.

If  $S < Th_s$  then 동일영역간 정합영역  
else 오정합 영역

$$S = \left| \frac{y_b - y_a}{x_b - x_a} \right| \quad (2)$$

식 (2)에서  $S$ 는 기울기의 절대값이고  $Th_s$ 는 두 영역을 구분하는 기울기의 임계값이며 본 논문에서는 실험치로 0.5을 사용했다. 그리고  $a(x_a, y_a)$ ,  $b(x_b, y_b)$ 는 정합된 왼쪽과 오른쪽 영역의 무게중심을 나타낸다. 식 (2)로부터  $S$ 가  $Th_s$ 보다 작은 경우에는 수평에 가깝게 기울기가 형성되므로 동일영역간 정합 영역으로 분류됨을 알 수 있다. 반대로  $S$ 가  $Th_s$ 보다 크다면 오정합 영역으로 분류된다.

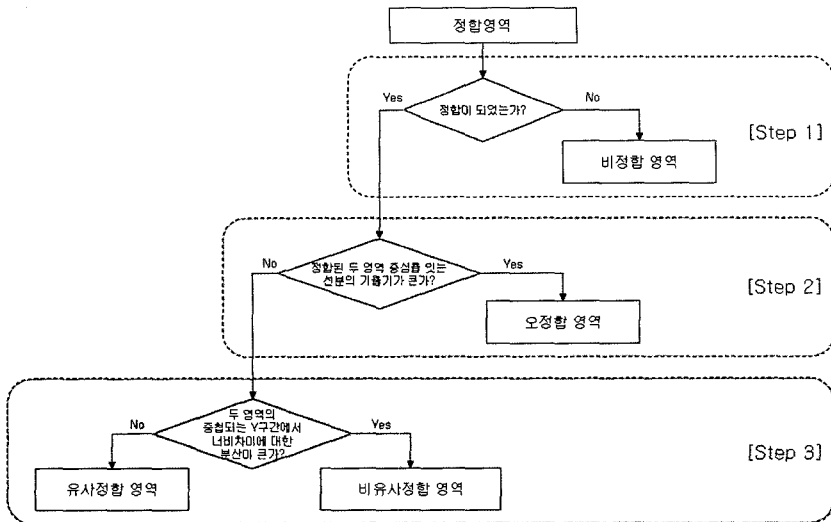


그림 3 정합영역의 유형분류 알고리즘

세 번째 단계에서는 동일영역간 정합 영역을 유사정합 영역과 비유사정합 영역으로 분류한다. 유사정합 영역과 비유사정합 영역을 분류하기 위해서는 두 정합영역의 중첩되는 Y구간에서 식 (3)에서와 같이 두 정합영역의 너비차이에 대한 분산값을 이용한다. 여기서 중첩되는 Y구간은 그림 4와 같이 두 정합 영역에서 y좌표가 겹치는 구간을 의미한다.

If  $\sigma_d < Th_\sigma$  then 유사정합 영역  
else 비유사정합 영역

$$\sigma_d = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\bar{w} - w_i)^2 \quad (3)$$

식 (3)에서  $\sigma_d$ 은 두 영역의 너비차이에 대한 분산이고  $Th_\sigma$ 는 두 영역을 분류하는 분산의 임계값을 나타내며 본 논문의 실험에서는 10을 사용한다.  $n$ 은 중첩된 Y구간의 간격을 나타내고,  $w_i = |w_i^A - w_i^B|$ ,  $\bar{w} = \sum_{i=1}^n w_i$ 이다. 그리고  $w_i^A$ 와  $w_i^B$ 는 각각 정합영역 A와 B의 중첩되는 Y구간내의  $i$ 번째 y좌표에서의 너비이다.

$\sigma_d$ 은 그림 5(a)와 같이 두 정합영역의 너비차이가 작을 경우에는 작은 값이 되며 그림 5(b)와 같이 두 정합영역의 너비차이가 큰 경우에는 큰 값이 된다. 따라서

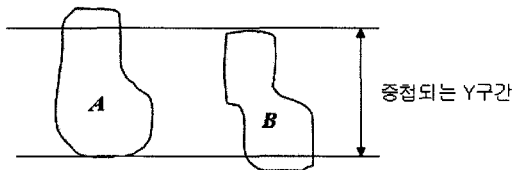
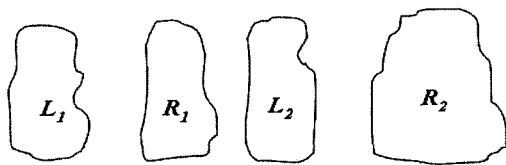


그림 4 두 정합영역의 중첩 Y구간



(a)  $\sigma_d$ 가 작은 경우      (b)  $\sigma_d$ 가 큰 경우

그림 5 두 정합영역의 너비차이에 따른  $\sigma_d$ 의 크기

$\sigma_d$ 값이  $Th_\sigma$ 보다 작은 경우에는 두 정합영역을 유사정합 영역으로 분류하고 반대의 경우에는 비유사정합 영역으로 분류한다.

### 3. 정합유형별 변이 추정

본 장에서는 유형분류 알고리즘을 사용하여 분류된 정합영역에 대해서 각 정합영역의 유형에 적절한 변이 추정 방법을 기술한다.

본 논문에서는 한 영역의 경계점에 대한 변이를 계산하기 위해서 정합된 영역의 대응되는 경계점을 찾아야 하는데 이때 대응점을 찾기 위해서 표 1의 대응점 탐색 제약사항을 사용한다.

그림 6은 대응점 탐색 제약사항을 이용하여 두 정합영역에서 대응되는 경계점을 찾는 예를 보여주며 각각  $P_1, P_2$ 가 대응되고  $P_3, P_4$ 가 대응된다.

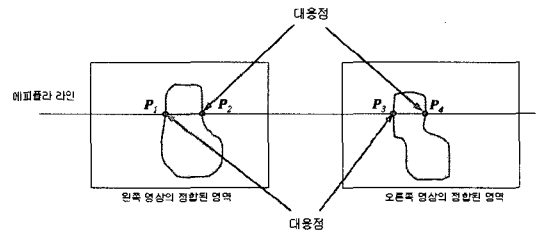


그림 6 정합영역의 대응점

#### 3.1 유사정합 영역

유사정합 영역은 네 개의 정합유형중 가장 잘 정합된 경우로서 이 경우에는 영역에 대한 변이를 계산하기 위해서 두 영역의 중첩된 Y구간에서 모든 경계점의 변이를 사용한다. 정합된 좌우 영역의  $k$ 번째 두 대응점의  $x$ 좌표를 각각  $x_k^L, x_k^R$ 이라고 하자. 유사정합 영역의 평균 변이  $D_s$ 는 식 (4)를 이용하여 계산한다.

$$D_s = \frac{1}{m} \sum_{k=1}^m (x_k^L - x_k^R) \quad (4)$$

#### 3.2 비유사정합 영역

비유사정합 영역은 동일영역간 정합에는 성공했지만 두 대응영역의 크기와 모양의 차이 때문에 정확한 변이

표 1 대응점 탐색 제약사항

제약사항	설명
영역경계 제약 (The boundary constraint)	대응관계를 맺기 위한 두 대응점은 영역의 경계에 포함된 점이어야 한다.
에피폴라 제약 (The epipolar constraint)	두 대응점은 같은 에피폴라 라인에 존재해야 한다[13].
정합순서 제약 (The ordering constraint)	하나의 점이 영역의 왼쪽경계에 해당한다면 그 점의 대응점도 왼쪽 경계에 해당되어야 한다. 오른쪽 경계에 해당하는 점도 이와 동일한 규칙을 적용한다[13].

를 계산하기 어려운 영역이다. 두 대응영역의 크기와 모양의 차이는 증첩된 Y구간내에서 영역너비차이에 대한 분산값을 크게 만들며 이에 따라 각 경계점들의 변이에 대한 차이도 크게 나타난다. 이것은 영역의 최종변이에 대한 정확도를 떨어뜨리게 된다. 따라서 본 논문에서는 이러한 두 대응영역의 차이에 대한 영향을 받지 않고 정확한 변이를 계산하기 위해서 그림 7과 같이 영역의 너비 크기가 비슷한 부분의 경계점에 대한 변이만을 사용한다. 그림 7에서 두 대응영역 L과 R의 너비크기가 비슷한 부분은 변이 계산에 사용되지만 너비크기가 큰 부분은 변이 계산에서 제외된다. 비유사정합 영역의 변이 계산은 표 2의 알고리즘을 따른다.

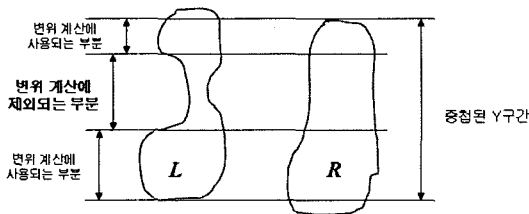


그림 7 변이 계산에 사용되는 구간의 구별

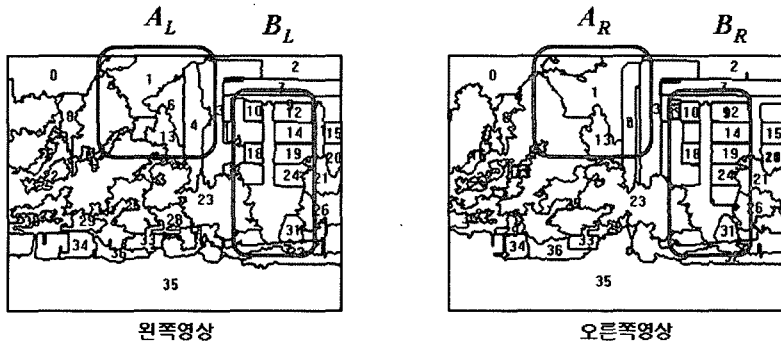
3.3 오정합 영역과 비정합 영역

오정합 영역은 정합에 성공했지만 정합된 두 대응영역은 실제 전혀 다른 영역이다. 따라서 오정합 영역에 대해서 계산된 변이는 잘못된 값을 갖기 때문에 최종 변이도 계산에서는 오정합영역에 대한 변이를 배제한 결과만을 사용하여야 한다. 또한 전체 정합영역에서 오

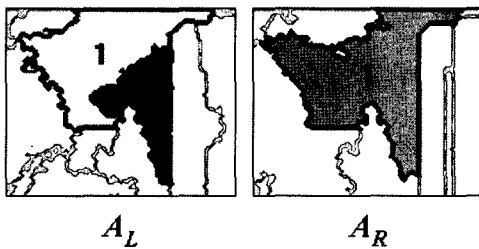
정합 영역의 비율이 높아진다면 최종 변이도에 사용되지 못하고 배제되는 변이값이 많아지게 되며 결국 오정합 영역의 비율이 일정비율을 넘는다면 최종 변이도는 사용이 불가능할 정도의 정확도를 갖게 된다. 최종 변이도의 정확도를 떨어뜨리는 또 하나의 정합영역으로는 비정합 영역이 있다. 비정합 영역은 정합단계에서 정합에 실패한 영역이다. 따라서 대응영역이 존재하지 않아 변이 계산이 불가능하기 때문에 비정합영역도 오정합영역과 마찬가지로 전체 변이도에 변이를 포함할 수 없다. 이러한 오정합과 비정합 영역이 발생하는 가장 큰 이유는 입력된 두 스테레오 영상의 특성, 두 카메라의 관찰 지점(view point)이 서로 조금씩 다르기 때문에 발생하는 부분 폐색(occlusion)과 두 카메라가 받는 조명의 차이 등, 이로 인한 두 영상의 차이가 영상분할 결과에서도 나타남으로써 기준영역에 대한 대응후보영역이 존재하지 않거나 기준영역과 대응후보영역의 크기와 모양이 현저하게 차이가 나기 때문이다. 이러한 이유로 인해서 오정합과 비정합 영역은 분할 영역기반 스테레오 정합에서 불가피하게 발생되고 특히 기존의 연구에서 자주 다루어져왔던 실내영상보다도 실외의 복잡한 영상에서 많이 발생한다. 결국 실외의 복잡한 영상에 대한 대부분의 변이도는 사용하기 어려운 정도의 정확도를 갖게 된다. 그런데 오정합과 비정합 영역을 자세히 살펴보면 그림 8(b)의 예처럼 왼쪽 영상의 영역 1번과 6번에 대응 가능한 오른쪽 영상의 영역은 1번 영역과 같이 통합된 형태로 존재하거나 그림 8(c)의 예처럼 왼쪽영상의 영역과 대응가능성이 있는 오른쪽 영역이 두

표 2 비유사정합 영역의 변이 계산 알고리즘

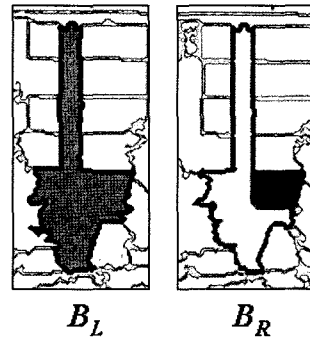
<비유사정합 영역의 변이 계산>	
<b>Step 1. 두 대응영역에서 유사한 너비 구간 탐색</b>	
1.1 두 정합영역이 증첩되는 Y구간 내에서 다음 조건을 만족하는 경계점을 찾는다.	$ w_i^L - w_i^R  < Th_w$ (5)
$w_i^L$ 과 $w_i^R$ 은 증첩되는 Y구간에서 i번째 y좌표의 각각 좌우 영역의 너비를 의미하고 $Th_w$ 는 변이 계산에 사용되는 너비 차이의 임계값이다.	
1.2 각각 $a(x_a, y_a)$ 와 $c(x_c, y_c)$ , $b(x_b, y_b)$ 와 $d(x_d, y_d)$ 를 대응점으로 결정하고 식 (6), (7)과 같이 좌우 경계점의 변이 $d_j^a$ 와 $d_j^b$ 를 계산한다.	
	$d_j^a = x_a - x_c$ (6)
	$d_j^b = x_b - x_d$ (7)
1.3. 1.1에서 1.2까지 증첩되는 Y구간을 반복한다.	
<b>Step 2. 비유사정합 영역의 평균변이 계산</b>	
2.1 비유사정합 영역의 평균변이 $D_{ds}$ 는 식 (8)로 계산된다.	
	$D_{ds} = \frac{1}{2p} \sum_{j=1}^p (d_j^a + d_j^b)$ (8)
식 (8)에서 p는 증첩된 Y구간내에서 변이 계산에 사용되는 y좌표의 개수이다.	



(a) 스테레오 정합 결과



(b) A부분의 예(통합)



(c) B부분의 예(분리)

그림 8 대응가능영역의 통합과 분리된 예

개 이상의 영역으로 분리된 형태로 존재하는 경우를 볼 수 있다. 이러한 경우의 영역들은 영역분할 및 병합을 통해서 기준영역과 정합될 수 있는 형태로 변형한 뒤 새로운 정합을 결정하고 변이를 추정할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 오정합과 비정합 영역에 대한 병합 및 분할(merge and split)방법을 사용하여 전체 정합영역에서 오정합과 비정합 영역의 비율을 최소화하여 최종 변이도의 정확도를 향상시킨다.

정합 영역에 대한 병합 및 분할 방법은 크게 두 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서는 오정합과 비정합 영역에서 병합이나 분할을 수행함으로써 새로운 정합이 결정될 가능성이 있는 영역을 탐색한다. 두 번째 단계에서는 탐색된 영역에 대해서 실제 분할 또는 병합을 수행하고 새로운 정합을 결정하여 변이를 추정한다. 정합 영역에 대한 병합 및 분할 방법을 사용한 오정합 영역과 비정합 영역의 변이 계산은 표 3의 알고리즘을 따른다. 표 3의 Step 2.1에서 영역분할과 병합은 표 4, 5의 알고리즘을 이용한다.

표 3, 4, 5의 알고리즘에서 영역  $r$ 의 위치자  $l$ 과  $r$ 은 각각 왼쪽 영상의 영역과 오른쪽 영상의 영역을 나타낸다. 또한 알고리즘은 왼쪽 영상을 기준으로 변이 계산을 수행할 수 있도록 기술하였다. 따라서 표 4, 5의 분할과

병합 알고리즘을 수행함으로써 변형되는 영역은 오른쪽 영역이 된다.

표 3의 알고리즘에서는 병합 및 분할 수행이 가능한 영역을 탐색하기 위해 기준 영역의 MER과의 중첩 면적이 가장 큰 영역을 사용한다. 이것은 병합 및 분할을 수행함으로써 새로 대응될 가능성이 가장 높은 영역이 기준 영역과 가장 비슷한 위치에 존재하기 때문이다. 그리고 새로 정합된 두 영역은 병합 및 분할을 수행함으로써 영역의 변형이 발생하였으므로 대부분 비유사정합 영역과 유사하다. 따라서 변이를 계산하기 위해 비유사정합 영역의 변이계산 방법을 사용한다.

표 4의 영역 분할과 표 5의 영역 병합 알고리즘에서는 영역의 개념을 픽셀(pixel)들의 집합으로 본다. 따라서 '-'와 '+'연산자는 각각 영역내의 픽셀들에 대한 차집합과 합집합을 나타낸다. 표 4의 영역 분할 알고리즘은 두 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서는 왼쪽영상의 기준영역과 대응될 오른쪽영상의 영역을 분할하고 새로운 대응관계를 결정한다. 두 번째 단계에서는 오른쪽영상의 분할되고 남은 부분에 대한 대응관계를 결정하기 위해 왼쪽 영상의 영역을 탐색하고 탐색된 영역과 대응관계를 결정한다. 이때 오른쪽 영상의 영역과 대응되는 왼쪽 영상의 영역을 선택하기 위해 좌우 영상의 영역에

표 3 정합 영역에 대한 병합 및 분할 방법을 사용한 오정합과 비정합 영역의 변이 계산

<b>&lt;오정합 영역과 비정합 영역의 변이 계산&gt;</b>	
<b>Step 1. 오정합과 비정합 영역에서 병합 및 분할 수행 가능한 영역 탐색</b>	
1.1 입의의 오정합과 비정합 영역 $r_i^l$ 를 선택	
$r_i^l \in (R_l \cup R_m), i = 1, \dots, n$	(9)
1.2 $r_i^l$ 의 MER(Minimum Enclosed Rectangle)추출	
1.3 오른쪽 영상에서 동일한 위치의 MER과 중첩되는 영역 집합 $R_{MER}^r$ 를 구함	
1.4 식 (10)을 이용하여 $R_{MER}^r$ 내의 영역 중에서 최대면적을 갖는 영역 $r_i^r$ 를 선택	
$r_i^r = \max_{j \in R_{MER}^r} (Overlapped\_Area(r_i^r, r_j^r))$	(10)
식 (10)의 $a$ 와 $b$ 의 중첩된 면적을 계산한다.	
1.5 <i>If</i> $HasbeenMatched(r_i^r)$ <i>is true</i> <i>then goto step 1.1</i> <i>else goto step 2.1</i>	
$HasbeenMatched(a) \begin{cases} true, & \text{if 정합단계에서 정합에 성공} \\ false, & \text{if 정합단계에서 정합에 실패} \end{cases}$	
<b>Step 2. 병합 및 분할을 수행 후 새로 정합된 영역의 변이 계산</b>	
2.1 <i>If</i> $Area(r_i^l) < Area(r_i^r)$ <i>then</i> 영역분할 수행 <i>else</i> 영역병합 수행	
2.2 새로 정합된 영역의 변이 계산은 비유사정합 영역의 변이 계산 방법을 사용	
2.3 모든 오정합과 비정합 영역에 대해서 1.1에서 2.2까지 반복 수행	

표 4 영역 분할 알고리즘

<b>&lt;영역 분할&gt;</b>	
<b>Step 1. 왼쪽 기준영역과 새로 대응될 오른쪽 영상의 영역분할과 대응관계 결정</b>	
1.1 $r_{diff} = r_j^r - r_i^l$	
1.2 $r_{\neq w1}^r = r_j^r - r_{diff}$	
1.3 $r_i^l$ 과 $r_{\neq w1}^r$ 을 새로운 대응영역으로 결정	
<b>Step 2. 분할되고 남은 오른쪽 영상의 영역에 대한 대응관계 결정</b>	
2.1 $r_{\neq w2}^r = r_j^r - r_{\neq w1}^r = r_{diff}$	
2.2 식 (11)을 이용하여 $r_{\neq w2}^r$ 와 가장 유사한 면적과 영역중심을 가지는 $r_k^l$ 를 탐색	
$r_k^l = \min_{k \in (R_l \cup R_m)} (\alpha D_e(Center(r_{\neq w2}^r), Center(r_k^l)) + \beta  Area(r_{\neq w2}^r) - Area(r_k^l) )$	(11)
$Center(a)$ 는 영역 $a$ 의 무게중심을 계산하고 $D_e(b, c)$ 는 두 점 $b(x_b, y_b)$ 와 $c(x_c, y_c)$ 의 유클리드 거리를 계산한다.	
2.3 $r_{\neq w2}^r$ 과 $r_k^l$ 을 새로운 대응영역으로 결정	

대한 면적과 영역 중심을 비교하며 그 차이가 최소가 되는 왼쪽 영상의 영역을 선택한다. 표 5의 영역 병합 알고리즘도 두 단계로 구성된다. 첫 번째 단계에서는 현재 오른쪽 영상의 영역과 병합될 영역을 탐색한다. 두 번째 단계에서는 두 영역을 병합하고 왼쪽 기준영역과 새로운 정합을 결정한다.

#### 4. 실험결과

본 장에서는 본 논문에서 제안하는 방법을 다양한 환경의 스테레오 영상에 적용하여 실험한 결과에 대해 기술한다. 기존의 대부분의 연구에서는 조명의 변화가 없고 비교적 단순한 실내 영상에 대해서 실험이 이루어졌



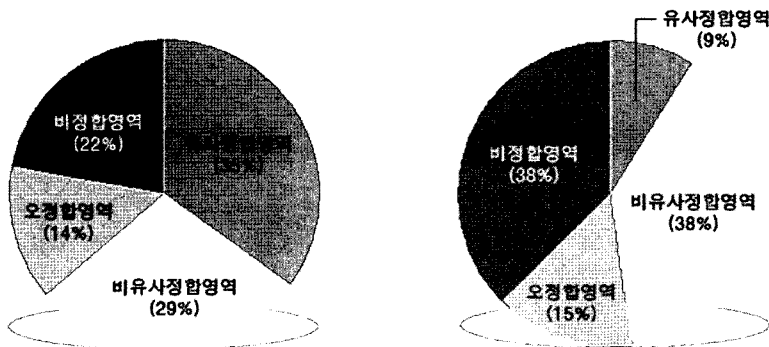
표 5 영역 병합 알고리즘

<영역 병합>	
<b>Step 1. 병합될 오른쪽 영역 탐색</b>	
1.1 $r_{diff} = r_i^l - r_j^r$	
1.2 $r_{diff}$ 와 가장 비슷한 위치의 영역 $r_k^r$ 을 식 (12)을 이용하여 탐색	
$r_k^r = \min_{k \in U_R} D_e(\text{Center}(r_{diff}), \text{Center}(r_k^r))$	(12)
<b>Step 2. 영역병합과 대응영역 결정</b>	
2.1 $r_{\neq w}^r = r_j^r + r_k^r$	
2.2 $r_i^l$ 과 $r_{\neq w}^r$ 을 새로운 대응영역으로 결정	

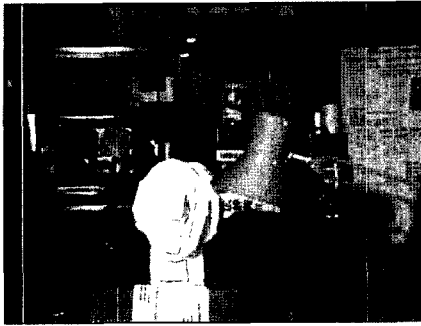
다. 그런데 그림 9에서 보는 바와 같이 본 논문의 정합 영역의 분류 방법을 이용하여 다양한 실내영상과 실외 영상들의 정합 영역을 분류한 결과를 보면 실외영상에 대한 결과는 실내영상에서 보다 비정합 영역과 오정합 영역, 그리고 비유사 정합 영역의 비율이 현저하게 높다는 것을 알 수 있다. 이것은 실외환경이 실내환경보다 조명의 변화가 다양하고 따라서 더 복잡한 영상을 만들기 때문이다. 그러므로 본 논문의 실험에서는 제안하는 방법의 성능을 평가하기 위하여 실내영상으로 국한하지 않고 다양한 환경에서 획득한 실외영상과 복잡도가 높은 영상 등을 사용하여 실험을 하였다. 실험을 위해서 Pentium IV 1.8GHz의 CPU와 256M의 메모리를 갖는 컴퓨터를 사용하였고 프로그래밍 언어는 MS Visual C++ 6.0을 사용하였다. 그리고 분할영역기반 스테레오 정합을 위해 영상분할 방법으로는 평균이동영상분할(Mean Shift Segmentation) 알고리즘을[12] 사용하였고 스테레오 정합 방법은 RPC(Relative Position Constraint)기반 알고리즘[14]을 사용하였다.

4.1 실내영상에 대한 실험결과

본 절에서는 그림 10의 실내영상을 사용하여 본 논문의 제안한 방법을 실내환경에서 적용하였을 때의 실험 과정을 보여준다. 본 논문의 실험에서는 제안하는 방법의 결과에 대한 비교 평가를 하기 위해서 일반적으로 사용되는 영역기반 스테레오 알고리즘인 AC(Adjacency constraint)[10]기반 알고리즘을 기존 방법으로 이용한다. 그림 11은 그림 10에 대한 영상분할 결과를 보여준다. 그림 12에서는 그림 10의 분할된 영역들을 이용한 기존의 스테레오 정합 결과를 보여주고 그림 13은 본 논문에서 제안하는 방법을 사용한 정합 결과를 보여준다. 정합은 왼쪽 영상을 기준으로 오른쪽 영상으로 수행되었고 정합된 두 영역은 좌우 영상에서 같은 번호로 분류되었다. 그림 13(b)의 정합 결과는 오정합과 비정합 영역에 대해 분할 및 병합 알고리즘을 사용하여 개선된 정합 결과를 보여준다. 그림 14에서는 기존 방법과 제안한 방법에 의한 최종 변이도를 비교한다. 변이도는 왼쪽 영상을 기준으로 하였고 0-255의 값을 가지며 값이 작을수록 카메라와 멀리 떨어져 있는 것이고 값이 클수록 카메라와 가까운 영역을 의미한다. 또한 변이를 계산하



(a) 실내영상 (b) 실외영상  
그림 9 실내영상과 실외영상에 대한 정합 영역 분류 결과 비교

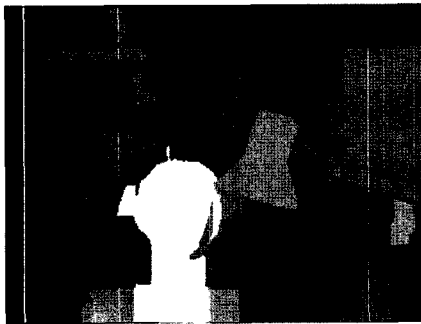


(a) 왼쪽 영상

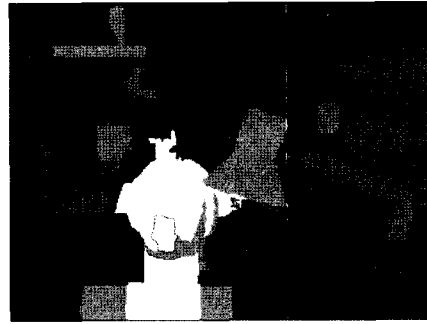


(b) 오른쪽 영상

그림 10 실내 스테레오 입력영상

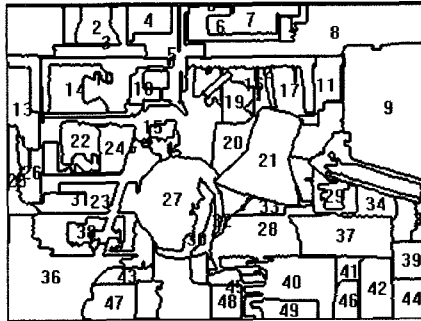


(a) 왼쪽 영상

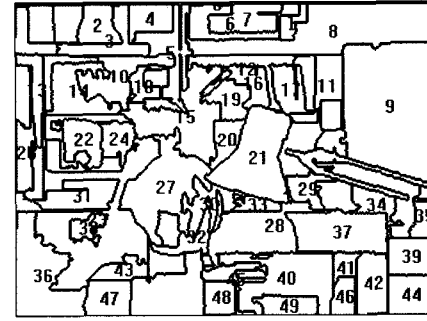


(b) 오른쪽 영상

그림 11 그림 10에 대한 영상분할 결과

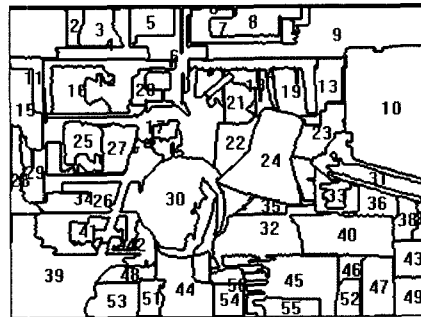


(a) 왼쪽 영상

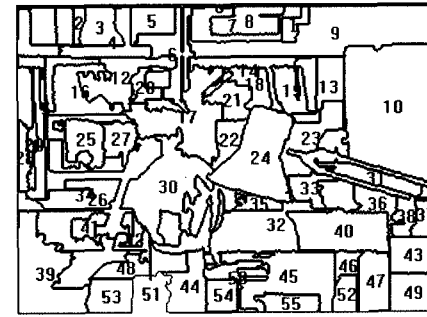


(b) 오른쪽 영상

그림 12 그림 10에 대한 제안한 방법의 적용 전 스테레오 정합 결과



(a) 왼쪽 영상



(b) 오른쪽 영상

그림 13 그림 10에 대한 제안한 방법의 적용 후 스테레오 정합 결과

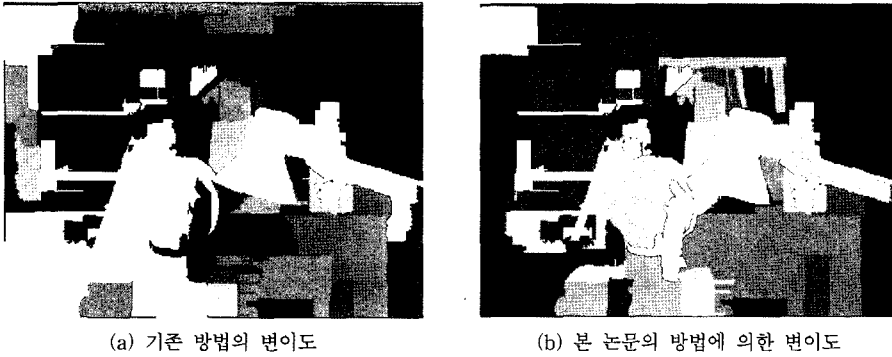


그림 14 그림 10에 대한 변이도 비교

지 못한 영역은 255값을 갖는다. 그림 14(a)에서는 정합되지 못하여 변이를 추정할 수 없는 영역이 많이 보이지만 그림 14(b)에서는 그러한 영역들이 현저하게 줄어들었으며 기존의 잘못된 변이값들이 보정된 것을 알 수 있다. 표 6은 그림 14에 대한 변이값의 정확도를 정리한 것이다. 분류된 각 유형의 정합 영역에 따라서 기존방법의 결과와 본 논문의 방법을 사용한 결과를 비교한다. 정확도 판단은 계산된 영역의 변이값과 실제 영상에서 스테레오영상 전문가(human expert)가 예상한 변이를 비교하여 두 값의 차이가 클 경우에 정확하지 않은 영역으로 판단한다. 표 6에서 기존 방법의 정확도가 58.5%인 것에 비해 제안한 방법은 81.5%로 정확도를 향상시켰다. 특히 오정합과 비정합 영역은 기존 방법에

서 단 한 개의 영역도 전체 변이도에 변이를 포함할 수 없었지만 제안하는 방법을 통해 각각 3개와 9개의 영역에 대한 변이를 전체 변이도에 포함할 수 있었다.

4.2 실외영상에 대한 실험 결과

본 논문에서 제안하는 방법은 실내영상 뿐만 아니라 그림 15의 실외영상에 대해서도 실험을 하였다. 그림 15는 실내영상과는 달리 영상내에 나무의 수풀이 포함된 복잡한 영상이다. 그림 16에서 19는 각각 영상분할 결과, 기존의 스테레오 정합 결과, 본 논문에서 제안하는 방법에 의한 정합 결과 그리고 최종 변이도를 보여준다. 여기서 주목할 만한 것은 그림 18(b)에서 오른쪽 중간에 있는 14번 영역은 영역병합을 통해 새로 정합된 영역이며 가운데 위에 보이는 2번과 7번 영역은 영역분할

표 6 그림 14에 대한 변이의 정확도 비교 (실내영상)

영역 유형	영역 개수	변이의 정확도	
		기존 방법[AC기반]	제안하는 방법
유사정합 영역	19 (29.2%)	19	19
비유사정합 영역	25 (38.5%)	19	22
오정합 영역	6 (9.2%)	0	3
비정합 영역	15 (23.1%)	0	9
합계	65 (100%)	38 (58.5%)	46 (81.5%)

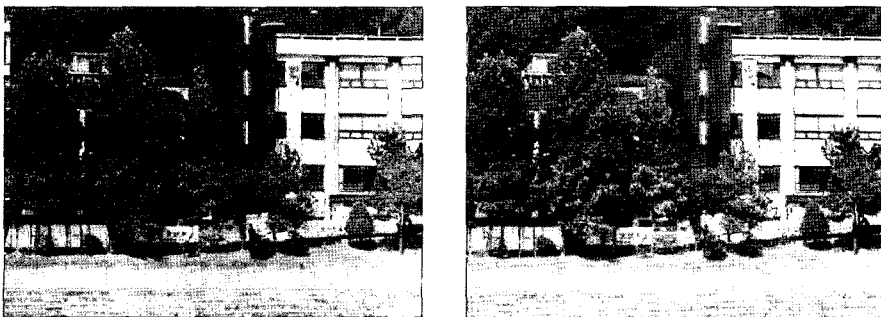


그림 15 실외 스테레오 입력영상

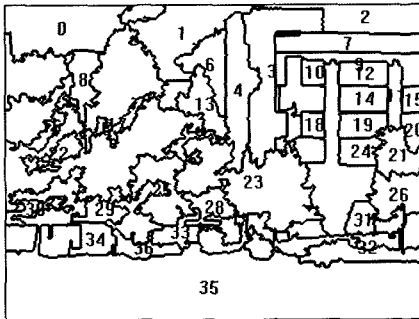


(a) 왼쪽 영상의 영상분할 결과

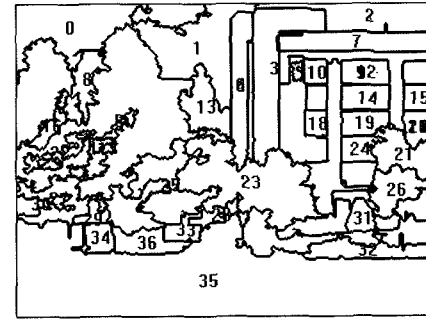


(b) 오른쪽 영상의 영상분할 결과

그림 16 그림 15에 대한 영상분할 결과

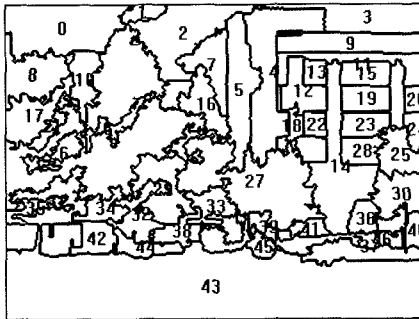


(a) 왼쪽 영상의 정합 결과

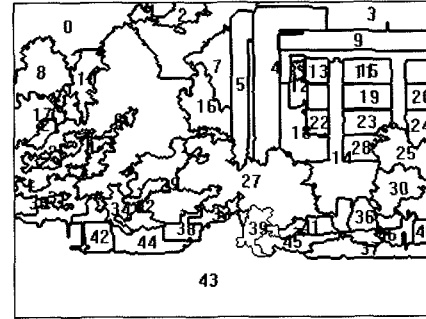


(b) 오른쪽 영상의 정합 결과

그림 17 그림 15에 대한 제안한 방법의 적용 전 스테레오 정합 결과

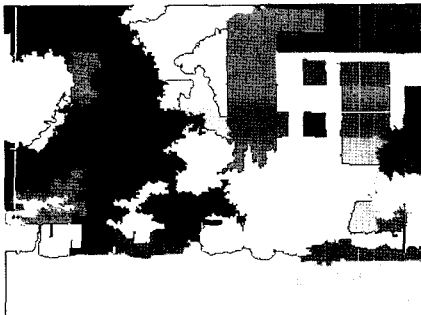


(a) 왼쪽 영상의 정합 결과



(b) 오른쪽 영상의 정합 결과

그림 18 그림 15에 대한 제안한 방법의 적용 후 스테레오 정합 결과



(a) 기존 방법의 변이도

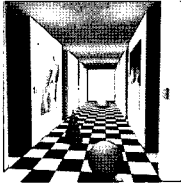


(b) 본 논문의 방법에 의한 변이도

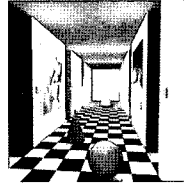
그림 19 그림 15에 대한 변이도 비교

표 7 그림 19에 대한 변이의 정확도 비교 (실외영상)

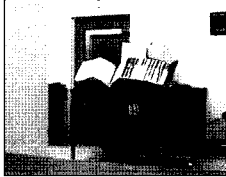
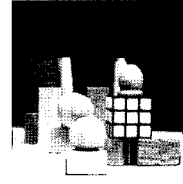
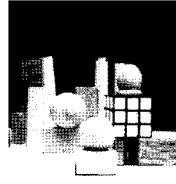
영역 유형	영역 개수	변이의 정확도	
		기존 방법[AC기반]	제안하는 방법
유사정합 영역	11 (19.3%)	9	9
비유사정합 영역	21 (36.8%)	12	19
오정합 영역	5 (8.8%)	0	2
비정합 영역	20 (35.1%)	0	11
합 계	57 (100%)	21 (36.8%)	41 (71.9%)



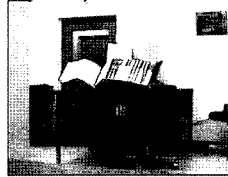
(a) 가상 영상



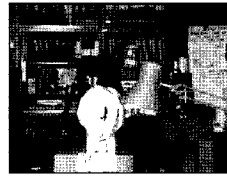
(b) 실내 영상 1



(c) 실내 영상 2



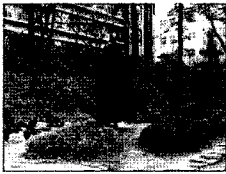
(d) 실내 영상 3



(e) 실외 영상 1



(f) 실외 영상 2



(g) 실외 영상 3



(h) 실외 영상 4



(i) 실외 영상 5



(j) 실외 영상 6

그림 20 실험 영상의 구성

을 통해 새로 정합됨으로써 전체 변이도의 정확도를 향상시킨 것이다. 그림 19에서는 본 논문의 방법에 의한 변이도가 기존 방법의 변이도보다 눈에 띄게 개선된 것을 볼 수 있다. 그림 19에 대한 변이도의 정확도를 정리한 표 7에서는 기존 방법의 정확도가 36.8%였지만 본

논문의 제안하는 방법에 의한 변이도의 정확도는 71.9%로 향상된 것을 볼 수 있다.

### 4.3 영상의 복잡도에 따른 변이도의 정확도

마지막으로 영상의 복잡도에 따른 변이도에 대한 정확도를 기존방법과 제안한 방법의 결과를 비교평가 한

표 8 그림 20의 실험영상에 대한 영상의 복잡도

실험영상	영상의 복잡도	실험영상	영상의 복잡도
(a)	0.444	(f)	0.286
(b)	0.532	(g)	0.219
(c)	0.506	(h)	0.435
(d)	0.224	(i)	0.149
(e)	0.334	(j)	0.314

다. 본 논문에서는 영상전체의 복잡도를 계산하기 위해 영역 균일성(region uniformity)[15] 기반 방법을 사용하였다. 영상의 복잡도  $U_G$ 는 식 (13)으로 계산한다.

$$U_G = 1 - \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u_{jG} \times 100 \right) \quad (13)$$

$$u_{jG} = A_j \sigma_j^2 / A_G \sigma_G^2$$

식 (13)에서  $u_{jG}$ 는  $j$ 번째 영역에 대한 영역 균일성을 나타내며,  $A_j$ 와  $\sigma_j^2$ 는 각각  $j$ 번째 영역에 대한 면적과 밝기값의 분산이다. 그리고  $A_G$ 와  $\sigma_G^2$ 는 각각 영상전체에 대한 면적과 밝기값의 분산을 나타낸다. 실험을 위한 데이터는 그림 20에서 보여지는 10쌍의 스테레오 영상을 이용하였다.

표 8은 그림 20의 각 영상에 대해서 영상의 복잡도를 계산한 것이다. 그림 21은 복잡도에 따라 정렬된 각 영상에 대해서 기존 방법과 제안한 방법에 대한 변이의 정확도를 비교한 결과를 보여준다. 모든 영상에 대해서 기존 방법에 비해 제안한 방법의 정확도가 향상되었음을 확인 할 수 있었다. 또한 영상의 복잡도가 높은 경우에도 제안한 방법에 의한 정확도는 크게 떨어지지 않음을 확인할 수 있었다.

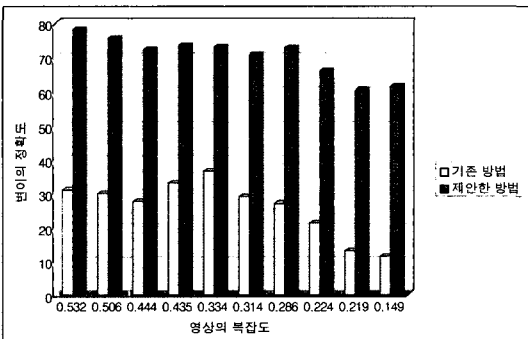


그림 21 영상의 복잡도에 따른 변이의 정확도

### 5. 결론

본 논문에서는 분할영역기반 스테레오 정합에서 변이 추정 방법에 관하여 기술하였다. 정확한 변이도를 얻기 위해 정합영역의 유형을 분석하였고 정합영역의 유형은

크게 네 종류로 분류하여 유형별로 다른 변이 추정 방법을 적용하였다. 특히 오정합과 비정합으로 분류된 영역들은 분할 및 합병 알고리즘을 통해 새롭게 정합될 수 있었다. 다양한 영상에서 변이도의 정확도가 향상되었으며 특히 자연영상과 같은 복잡한 영상에 대한 변이도의 정확도는 기존의 방법보다 그 향상정도가 뚜렷하게 나타났다.

향후 연구 과제로는 본 연구에서 추출된 변이도를 사용하여 영상에 가상객체를 삽입할 때 발생하는 폐색문제를 해결하기 위한 연구에 적용할 예정이다.

### 참고 문헌

- [1] Dhond, U.R., Aggarwal, J.K., "Structure from stereo - a review," IEEE Trans. Syst. Man Cybernet. 19 (6), 1489-1510, 1989.
- [2] Park, C.S., Park, H.W., "A robust stereo disparity estimation using adaptive window search and dynamic programming search," Pattern Recognition 34, 2573-2576, 2001.
- [3] Lu, C., An, P., Zhang, Z., "Efficient stereo Disparity Estimation for Intermediate View Synthesis," The 47th IEEE International Midwest Symposium on Circuits and Systems, 2004.
- [4] R.C. Gonzalez, R.E. Woods, Digital Image Processing, Addison-Wesley, 1993.
- [5] M. Okutomi, T. Kanade, "A Multiple-BaseLine Stereo," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol. 15, No. 4, pp. 353-363, 1993.
- [6] R. Horaud, Th. Skordas, "Stereo correspondence through feature grouping and maximal cliques," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 11 (11) (1989) 1168-1180.
- [7] N.M Nasrabadi, "A stereo vision technique using curve segments and relaxation matching," IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 14 (5) (1992) 566-572.
- [8] Barnard, S.T., Thomson, W.B., "Disparity analysis of images," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell. 2 (4), 333-340, 1980.
- [9] Buvry, M., Zagrouba, E., Krey, C.j., "A rule-based system for region segmentation improvement in stereovision," In:IST-SPIE International Technical Conference of San Jose(California USA), Image and Video Processing II, Vol. 2182. pp.357-367, 1994.

- [10] Vezien, J.-M., Tarel, J.-P., "A generic approach for planar patches stereo reconstruction," Rapport de recherche No. 2507, INRIA, 1995.
- [11] Zagrouba, E., Krey, C., "Region matching by adjacency propagation in stereo vision," In: Proc. Second International Conference on Automation, Robotics and Computer Vision(ICARCV'92), Hyatt Regency, Singapore, pp. CV.8.5.1-CV.8.5.5, 1992.
- [12] D. Comaniciu and P. Meer, "Mean Shift: A Robust Approach Toward Feature Space Analysis," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.24, No.5, May 2002.
- [13] A. Rojas, A. Calvo, J. Munoz, "A dense disparity map of stereo images," Pattern Recognition Letters 18 (1997) 385-393.
- [14] M. El Ansari, L. Masmoudi, L. Radouane, "A new region matching method for stereoscopic images," Pattern Recognition Letters 21 (2000) 283-294.
- [15] M. D. Levine, M. N. Nazif, "Dynamic measurement of computer generated image segmentations," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., vol. PAMI-7, No. 2, pp. 155-164, 1985.



최형일

1979년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1982년 6월 미시간대학교 전산공학과 졸업(공학석사). 1987년 6월 미시간대학교 전산공학과 졸업(공학박사). 1987년 9월~현재 숭실대학교 미디어학부 교수. 관심분야는 컴퓨터비전, 패턴인식, 퍼지이론, 비디오검색, 인터페이스 에이전트 등



김성현

2003년 2월 경남대학교 컴퓨터공학과 졸업(공학사). 2005년 2월 숭실대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(공학석사). 관심분야는 컴퓨터 비전, 증강현실, 패턴인식 등



이중재

1999년 2월 숭실대학교 전자계산학과 졸업(공학사). 2001년 2월 숭실대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(공학석사). 2005년 2월 숭실대학교 대학원 컴퓨터학과 졸업(공학박사). 2005년 9월~현재 숭실대학교 정보미디어기술연구소(연구교수). 관심분야는 컴퓨터 비전, 증강현실, 의료영상처리 등



김계영

1990년 2월 숭실대학교 전자계산학과 졸업(공학사). 1992년 2월 숭실대학교대학원 컴퓨터학과 졸업(공학석사). 1996년 2월 숭실대학교대학원 컴퓨터학과 졸업(공학박사). 1996년 3월~1997년 11월 한국전자통신연구원 (Post Doc.). 1997년 12월~2001년 2월 한국전력공사 전력연구원(선임연구원). 2001년 3월~현재 숭실대학교 컴퓨터학부(조교수). 관심분야는 컴퓨터비전, 형태인식, 생체인식, 증강현실, 영상 및 신호처리 등