

論文99-36S-5-10

폐색 영역을 고려한 밝기 기반 쌍방향 스테레오 정합 (Intensity-Based Bidirectional Stereo Matching with Occlusions)

朱在欽^{*}, 申洪澈^{**}, 姜昌淳^{***}, 李尙昱^{****},
南基坤^{**}

(Jae-Heum Joo, Hong-Chul Shin, Chang-Soon Kang, Sang-Wook Lee,
and Ki-Gon Nam)

요 약

스테레오 정합에서 가장 중요하고도 어려운 문제는 대응점 추출 문제와 폐색 영역에 대한 처리이다. 특히 폐색 영역의 점들은 대응점이 존재하지 않기 때문에 변이 정보 획득에 많은 어려움이 있다. 이러한 문제에 대한 효과적인 접근을 위해 본 논문에서는 쌍방향 정합 알고리즘을 기반으로 폐색 영역의 정합 정도를 향상시키는 방법을 제안한다. 즉 좌, 우 영상 각각의 기준에 대해 독립적인 변이 정보를 구하고, 이를 바탕으로 정합의 타당성 여부를 검토하여 그 결과를 다음 처리에서 반영하는 상호 보완적인 반복 처리 기법을 적용하였다. 이 과정에서 구해진 폐색 영역에 대한 변이 정보는 스테레오 영상 모델의 기하학적 구조를 적용하여 좌, 우측 기준 정합에 대해 그 좌, 우측 점들의 변이 정보들로 대체함으로써 불연속점들의 무더짐(blurring) 현상을 개선하였다. 한편, 실험 결과를 보다 객관적으로 비교하기 위해 정합율과 에러율이라는 파라미터를 정의하여 개선된 결과를 보였다.

Abstract

The important and difficult problems in stereo matching are how to find corresponding points and how to deal with occluded region. Especially, it is very difficult to obtain disparities in occluded regions because the pixels in them have no corresponding points. In order to resolve these problems effectively, this paper presents a method to improve matching quality in occluded regions based on bidirectional matching algorithm. In this algorithm, two matching processes(L to R and R to L) run independently and the disparities are acquired. After examining property of matching, the algorithm reflects the result in the next process in the form of cooperative bidirectional iteration method. The disparity information at occluded regions obtained in this process is updated using the geometry of stereo image model in order to prevent blurring at discontinuities, and Two kinds of algorithm are compared using the matching rate and error rate which are defined in this paper.

* 正會員, 智山大學 電子計算科
(Department of Computer Science, Jisan College)

** 正會員, 釜山大學校 電子工學科
(Department of Electronic Engineering, Pusan
National University)

*** 正會員, 東義工業大學 電子科

(Department of Electronic Engineering, Donggeui
Institute of Technology)

**** 正會員, 慶尙大學校 情報通信工學科
(Department of Information & Communication
Engineering, Gyeongsang National University)

接受日字:1998年12月4日, 수정완료일:1999年4月26日

I. 서 론

컴퓨터 비전 중에 스테레오 비전은 쌍안의 스테레오(binocular stereo)인 2-D 영상으로부터 정합점을 찾아 scene의 3차원 깊이(depth) 정보를 얻어내는 방법이다. 이러한 스테레오 정합 방법은 크게 영역 기반(area-based), 특징 기반(feature-based) 두 가지 부분으로 구별할 수가 있다.^[1,2] 특징 기반은 특징 부분을 이용하여 정합을 하므로 그 특징 부분에서는 매우 정확한 변이(Disparity) 정보를 얻을 수 있다. 그러나 영상의 전체 영역에 대한 변이 정보를 얻기 위하여 내삽 과정을 거쳐야 하는 단점이 있다. 그리고 영역 기반은 스테레오 이미지 쌍의 전 영역에 대해서 서로 다른 밝기에 대처하기 때문에 특징 기반보다는 조밀한 변이 정보를 얻을 수가 있다. 하지만 잡음에 매우 약한 단점이 있다.

스테레오 알고리즘은 정합 과정을 단순화시키고 정합 처리시 추가적인 정보를 제공하기 위해 유일성 제약 조건(uniqueness constraint), 평활화 제약 조건(smoothness constraint), 순서성 제약 조건(ordering constraint)과 같은 여러 제약 조건들을 이용한다.^[3] 그러나 폐색 영역에서는 좌, 우 영상의 점들 사이에 대응점이 존재하지 않기 때문에 이러한 제약 조건들을 적용할 수 없고 이로 인해 폐색 영역에서의 변이 정보 획득에는 많은 어려움이 있다. 뿐만 아니라 폐색 영역에서의 잘못 구해진 변이 정보는 주변의 변이 정보 획득시에도 부정적인 영향을 미치게 된다. 이러한 문제 해결을 위해 좌측과 우측 영상 각각에 대하여 정합 처리를 실행하고, 이들 각각의 정합 정보를 상호 활용하여 전체 정합 정도를 향상시키는 방법도 연구되었다.^[4,5] 이러한 쌍방향 정합 알고리즘을 기반으로 본 논문에서는 폐색 영역에서의 정합 정도를 향상시키는 방법을 알고리즘으로 구현하였다. 쌍방향 정합 알고리즘은 좌, 우 영상 각각의 기준에 대해 독립적인 변이 정보를 구하고 구해진 변이 정보의 정합 타당성 여부를 검토하여 그 결과를 다음 처리에 상호 보완적으로 반복 처리하는 것이다. 그러나 이 방법은 불연속점들에 무더짐(blurring) 현상이 발생한다. 이는 물체 표면의 변이 정보가 평활해야 한다는 전제 조건과 불연속 지점에서 발생하는 폐색 영역은 정합점이 존재하지 않음으로 인해 발생하게 된다. 이러한 현상을 보완하기 위해 좌·우 영상 각각의 기준에 의해

정합된 정보로부터 구해진 불연속 점들(폐색 영역)에 대한 변이값들을 강제로 할당하는 방법을 강구하였다. 즉, 좌측 영상에서의 폐색 영역은 우측 영상에서는 보이지 않는 부분으로, 스테레오 영상 모델의 기하학적 구조상 이 영역의 변이는 그 좌측 지점의 변이와 같을 확률이 높기 때문에 그 좌측 지점의 변이로 대체함으로써 불연속점들의 무더짐 현상이 개선되도록 하였다. 또한 전반적인 알고리즘의 성능을 높일 목적으로 정합 과정에 다중 계층 구조^[6]를 도입하였다.

II장에서 쌍방향 정합 알고리즘과, 폐색 영역의 추출 및 폐색 정보의 활용과 획득된 폐색 영역에 변이 정보의 설정등을 기술하며, III장은 도입된 다중 계층 구조에 대해 기술한다. 그리고, IV장서 제안된 알고리즘이 개선되었음을 실험을 통하여 보이고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 정합 알고리즘

에너지 비용 함수(energy cost function)를 기반으로 한 스테레오 정합에서 최소화 해야될 에너지 비용 함수는 다음과 같은 페널티 함수(penalty function, P(D))와 안정화 함수(stability function, S(D))로 정의할 수 있다.^[7,8]

$$U(D) = P(D) + \frac{1}{\lambda} S(D) \tag{1}$$

$$P(D) = \sum_{(x,y) \in B} (G_l(x,y) - G_r(x,y))^2$$

$$S(D) = \sum_{(x,y) \in B} (D(x,y) - \bar{D}(x,y))^2$$

여기서, D는 영상의 변이 정보이고 B는 영상의 전체 영역이며, x,은 x_r = x - D로 정합점을 의미한다. 그리고 G(x,y)와 G_r(x,y)는 좌, 우 영상의 밝기 정보를 의미한다.

$\bar{D}(x,y)$ 는 D(x,y)의 국부적 평균치로써 3×3 평균을 취한 것이다.

페널티 함수는 두 영상의 정합점의 밝기 정도가 유사해야한다는 조건이고, 안정화 함수는 물체 표면의 변이 정보가 평활(smoothness) 해야한다는 조건을 만족시키기 위한 것이다. 또한 λ는 위의 두 조건을 만족시키기 위한 가중치이다. 식(1)에서 에너지 비용 함수 U(D)=0인 해를 구하기는 불가능하다. 그러므로, U(D)를 최소화시키는 변이값 D가 구하고자하는 최적

의 해라 할 수 있다. 즉, $\min_D(U(D)) \Rightarrow \frac{\partial U(D)}{\partial D} = 0$ 와 같이 미분 방정식의 형태로 주어지고 이것을 풀고 반복법을 적용하면 다음과 같은 알고리즘을 얻을 수 있다.

$$D^{n+1}(x, y) = \overline{D^n}(x, y) + \lambda(G_I(x, y) - (G_r(x_r, y))G'_r(x_r, y)) \quad (2)$$

식(2)에서는 좌측 영상을 기준으로 하여 두 영상의 모든 점들에 대해 반복적으로 대응점을 찾음으로서 변이 정보를 얻을 수 있었다. 그러나 정합된 점들이 명확한 정합점이라는 보장이 없다. 이렇게 단방향 정합 알고리즘에서 발생하는 단점인 정합점의 정합 정도를 개선하기 위해 본 논문에서는 쌍방향 정합 알고리즘을 사용한다.

1. 쌍방향 정합 알고리즘

쌍방향 정합 알고리즘은 다음의 식(3)과 같이 좌, 우 영상 각각의 기준에 대한 에너지 비용 함수의 합을 최소화하는 해를 구함으로써 두 가지의 변이 정보(D_l, D_r)를 획득 할 수 있다. 이때 정합된 두 점에서의 변이는 같아야 함으로 반복 적용시 각각의 구해진 변이 정보를 상호 보완적으로 반영하게 된다.

$$\min_{D_l, D_r}(U_l(D_l) + U_r(D_r)) \quad (3)$$

여기서 D_l, D_r 은 좌, 우 영상 각각의 변이 정보이고 이때의 에너지 함수 $U_l(D_l)$ 과 $U_r(D_r)$ 은 각각 다음과 같이 구성할 수 있다. 첨자 s는 좌측(l) 혹은 우측(r)을 의미하며 본 논문 전체에 걸쳐 적용된다.

$$U_s(D_s) = P(D_s) + \frac{1}{\lambda} S(D_s) \quad (4)$$

$$P(D_s) = \sum_{(x, y) \in B} (G_I(x, y) - G_r(x_r, y))^2$$

$$S(D_s) = \sum_{(x, y) \in B} (D_s(x, y) - \overline{D_s}(x, y))^2$$

$$P(D_r) = \sum_{(x, y) \in B} (G_I(x_l, y) - G_r(x, y))^2$$

$$S(D_r) = \sum_{(x, y) \in B} (D_r(x, y) - \overline{D_r}(x, y))^2$$

이러한 스테레오 정합에서 각각의 에너지 비용 함수의 합이 0인 해를 구해야 하는데 실제로는 0의 값을 만족하기는 어렵다. 그러므로 각각의 에너지 비용 함수의 합을 최소화하는 변이값 D_s 를 구하기 위해 식(4)를 미분 방정식을 이용하여 풀고 반복법을 적용하면

다음과 같은 쌍방향 정합 알고리즘을 얻을 수 있다.

$$D_r^{n+1}(x, y) = \overline{D_r^n} + \lambda(G_r(x, y) - (G_l(x_l, y))G'_l(x_l, y)) \quad (5)$$

$$D_l^{n+1}(x, y) = \overline{D_l^n} + \lambda(G_l(x_l, y) - (G_r(x, y))G'_r(x, y)) \quad (6)$$

이때 $x_r = x - \overline{D_r^n}$, $x_l = x + \overline{D_r^n}$, $G'_s = \frac{\partial G_s(x, y)}{\partial x}$ 이다.

2. 폐색 영역의 추출

스테레오 정합에서 폐색 영역(occlusion region)은 한 영상에서는 보이는데 다른 영상에서는 가려져 있거나 보이지 않을 때 발생하고 이 부분에 대한 처리는 현재 많은 연구가 진행되고 있다.^[9,10]

한편, 스테레오 정합에서는 문제를 단순화하고 문제 해결을 위한 추가적인 정보를 획득하기 위해 여러 가지의 제약 조건(constraint condition)을 사용하게 된다. 그러나 폐색 영역에서는 이러한 제약 조건들이 적용되어 질 수 없기 때문에 변이 정보를 추출하는데 많은 어려움이 따른다. 본 논문에서는 쌍방향 정합 알고리즘을 적용했을 때 얻은 변이 정보를 이용하여 좌우 영상 각각의 기준에 대한 폐색도 O_l 과 O_r 을 구하고 이 정보를 다시 변이 정보 추출에 활용한다. 스테레오 영상 모델의 기하학적 해석에 의하면 한 쪽 영상의 폐색 영역은 다른 영상의 변이 정보의 불연속점에 대응하게 된다. 이런 사실을 이용하여 별도의 불연속점 고려없이도 불연속점에 대한 변이 정보를 보다 정확하게 추출할 수 있다. 한 쪽 영상의 한 점이 다른 쪽 영상의 어느 점과도 정합이 이루어지지 않을 때, 이러한 영역을 폐색 영역이라 하고 폐색도(occlusion map) 상에서는 $O_s(x, y) = 1$ 로 표시한다($s=l$ or r). 한편 정합 영역은 폐색도 상에서 $O_s(x, y) = 0$ 으로 표시한다.

폐색 영역은 이미 구해진 변이 정보를 이용하여 좌우 영상에서의 정합 여부를 판단하여 결정한다. 좌측 영상에 대한 폐색 영역 $O_l(x, y)$ 은 우측 영상을 기준으로 구해진 변이 정보 $D_r(x, y)$ 을 이용하여 구한다. 즉 우측 영상에서 한 점의 좌표(x, y)에 대해 좌측 영상에 한 점의 좌표(x_l, y)는 정합점이므로 $O_l(x_l, y) = 0$ 로 지정하고, 이러한 정합점이 없는 경우에는 $O_l(x_l, y) = 1$ 로 표시한다. 또한 $O_r(x_r, y)$ 도 위와 같은 방법으로 구할 수 있다. 이때 우측 영상의 한 점의 좌표(x, y)에 대해 좌측 영상의 정합점인 좌표(x_l, y)에서 x_l 은 연

속적인 값이므로 이산적인 영상 좌표에 대해 앞의 방법과 같이 바로 적용할 수 없다. 따라서, 본 논문에서는 연속적인 값인 정합 좌표 (x_i, y) 에 대해 그림 1과 같이 이웃한 두 개의 이산적인 좌표 $(\lfloor x_i \rfloor, y)$ 와 $(\lfloor x_i \rfloor + 1, y)$ 까지의 거리에 반비례하는 요소 f_1, f_2 를 정의하여 매회 반복시 각각의 좌표에 누적한다.

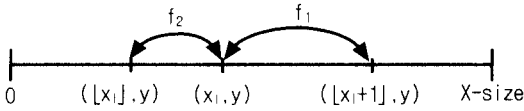


그림 1. factor 값 설정
Fig. 1. The estimation of factor value.

이때 누적된 값이 임계값(=0.65) 이상이면 정합되었다고 판단하고 $O_i(x_i, y) = 0$ 로 지정하고, 그 미만일 경우 정합점이 없다고 판단하여 $O_i(x_i, y) = 1$ 로 정하여 전체 폐색 영역을 구한다. $O_r(x_r, y)$ 도 같은 방법으로 구할 수 있다.

스테레오 영상 모델의 기하학적 특성에 의해 폐색 영역은 다른 쪽 영상의 변이정보의 불연속점에 대응하고 그 자체의 변이 정보는 존재하지 않는다. 한편, 식 (5)에서 오른쪽 두 번째 항은 정합 되었을 경우에 대한 두 정합점 사이의 밝기 차이 값을 의미한다. 그러나, 폐색 영역에서는 정합점이 존재하지 않으므로 이 항이 더 이상 의미가 없을 뿐만 아니라 변이 정보 획득시 오히려 더 나쁜 영향을 미치게 될 가능성이 높다. 그러므로 폐색 영역에서는 이 항이 반영되지 않도록 식(5)과 (6)를 다음과 같이 수정한다. 이것은 쌍방향 정합 알고리즘의 안정성을 향상시키기 위한 것이다.

$$D_l^{n+1}(x, y) = \overline{D_l^{n+1}} + \lambda(1 - O_l^n)(G_l(x, y) - (G_r(x_r^+, y))G'_r(x_r^+, y)) \quad (7)$$

$$D_r^{n+1}(x, y) = \overline{D_r^{n+1}} + \lambda(1 - O_r^n)(G_r(x_l^+, y) - (G_l(x, y))G'_l(x_l^+, y)) \quad (8)$$

여기서 $x_r^+ = x - \overline{D_l^n}$, $x_l^+ = x + \overline{D_r^n}$ 이고

$$\overline{D_l^{n+1}}(x, y) = \frac{\overline{D_l^n}(x, y) + \overline{D_r^n}(x_r, y)(1 - O_r^n(x_r, y))}{1 + (1 - O_r^n(x_r, y))} \quad (9)$$

$$\overline{D_r^{n+1}}(x, y) = \frac{\overline{D_r^n}(x, y) + \overline{D_l^n}(x_l, y)(1 - O_l^n(x_l, y))}{1 + (1 - O_l^n(x_l, y))} \quad (10)$$

이다.

식(9), (10)에서 정합 영역 즉, $O_s(x, y) = 0$ 일 경우에는 정합쌍의 변이가 같아지도록 조정하는 역할을 하게되고, 폐색 영역 즉, $O_s(x, y) = 1$ 일 경우에는 정합점이 없으므로 부득이 주위 점들의 변이 값을 취하게 된다.

3. 폐색 영역의 변이 값 설정

쌍방향 알고리즘에서 폐색 영역의 변이 값들은 식 (7)과 (8)로부터 $D_s^{n+1}(x, y) = \overline{D_s^n}$ 의 형태에 의해 결정된다. 이것은 폐색 영역에서의 정합점 부재로 인한 식(6)의 오른쪽 두 번째 항이 적용될 수 없었기 때문에 발생한 현상으로 안정화 함수만 적용된 형태이다. 이 경우 안정화 함수의 특성에 의해 불연속 지점에서 무더짐 현상이 발생한다. 이러한 현상의 보안을 위해 폐색 영역의 변이 값들은 스테레오 영상 모델의 기하학적 특성을 이용하여 다음과 같이 수정하였다.

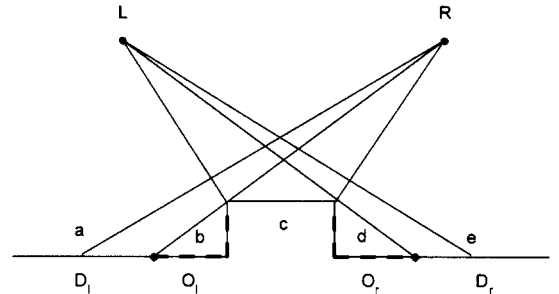


그림 2. 왼쪽 영상과 오른쪽 영상의 폐색 영역 발생 과정
Fig. 2. Occlusion occurrence in left and right image.

그림 2은 폐색 영역이 발생하는 형태를 나타낸 것이다. 여기서 a, c, e는 정합점이 양쪽 영상에서 존재하는 경우이지만 영역 b는 좌측 영상에서는 보이지만 우측 영상에서는 보이지 않는 부분으로 좌측 영상에서의 폐색 영역이다. 스테레오 영상 모델의 특성에 의해 좌측 영상에서 폐색 영역 b의 변이 값들은 폐색 영역이 아닌 최초의 좌측 지점의 변이 값과 같을 확률이 높으므로 이 값을 영역 b에서의 변이 값으로 취한다. 우측 영상에서 폐색 영역 d는 반대의 개념으로 적용하였고 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$O_l(x, y) = 1 \text{ 이면 } D_l(x, y) = D_l(x - 1, y) \quad (11)$$

$$O_r(x, y) = 1 \text{ 이면 } D_r(x, y) = D_r(x + 1, y) \quad (12)$$

위 식에서 폐색 영역 $O_s(x, y)$ 을 1로 나타낸 것은 좌, 우 영상에 폐색 영역이 발생했다는 것을 의미한다.

다음의 그림 3은 pentagon 영상을 각각의 알고리즘으로 수행했을 경우 얻어지는 변이 정보에서 일부분을 표현하였다. 여기서 (a)는 단방향 정합 알고리즘을 수행했을 경우 얻어지는 변이 정보이고, (b)는 쌍방향 정합 알고리즘을 기반으로 하여 좌, 우 폐색 영역에 변이 정보를 대체했을 경우 얻어지는 변이 정보이다. 이런 결과를 통해 좌, 우 폐색 영역에 변이 정보를 대체할 경우 불연속 부분에서 발생하는 무더짐 현상이 보완된 것을 알 수 있다.

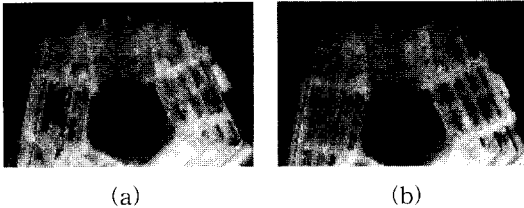


그림 3. 스테레오 결과 영상의 일부분 (a) 단방향 정합 알고리즘을 적용한 결과 (b) 쌍방향 정합 알고리즘을 적용한 결과

Fig. 3. One division of stereo result image. (a) One-directional stereo matching image. (b) Bidirectional stereo matching image.

III. 다중 계층 구조

스테레오 정합시 반복법(Iteration)의 형태로 처리할 경우에 있어서, 좌·우 영상의 일치점에 대한 변이값이 너무 크면 반복법의 특징상 정확한 일치점을 찾지 못하고 중간에 적당한 값에 대해 일치점으로 판단할 가능성이 있다. 이와 같은 오류를 줄이기 위해 본 연구에서는 다중 계층 구조^[6]를 도입하였다. 이러한 형태는 반복 알고리즘의 계산 비용을 줄이는 효과도 있다.

원 영상에서의 고주파 성분을 제거하기 위해 2×2 평균 필터를 순차적으로 사용하여 다수의 상위 레벨 영상을 만든다. 최상위 레벨 영상은 16×16 로 제한하였다. 최상위 레벨의 영상으로부터 쌍방향 알고리즘을 적용하여 변이 정보와 폐색 정보를 구하고 이들 정보를 다음 하위 레벨의 초기값으로 전달하는 형태를 반복하여 최하위 레벨인 원 영상에 적용한다. 이때 변이 정보와 폐색 정보의 전달은 다음 식과 같은 형태로

보간하여 취한다.

$$D_{s,t}(x, y) = D_{s,(t+1)}\left(\frac{x}{2}, \frac{y}{2}\right) \times 2 \quad (13)$$

$$O_{s,t}(x, y) = O_{s,(t+1)}\left(\frac{x}{2}, \frac{y}{2}\right) \times 2 \quad (14)$$

여기서 t 는 영상의 레벨을 표시하고, t 의 값이 클수록 상위 레벨을 의미한다.

IV. 실험 및 결과

다중 계층 구조를 가지는 쌍방향 정합 알고리즘을 이용한 스테레오 정합 실험은 256×256 의 다양한 스테레오 영상에 적용하였다. 최상위 단계의 변이도와 폐색도는 0으로 초기화하였다. 실험은 단방향 정합 알고리즘과 각각의 폐색 영역에 변이 정보를 대체한 쌍방향 정합 알고리즘의 수행 결과를 비교하였다. 객관적 비교를 위해 가중치 λ 는 모든 영상에 대해 0.0002의 값으로 주었고, 반복 횟수는 최하위 단계에서 30번을 하고 다음 상위 단계로 넘어 갈 때마다 $2t$ 배씩 반복 횟수를 늘였다. 이때 t 는 각 단계 표시이다. 쌍방향 정합 알고리즘 수행은 펜티엄150Mhz의 시스템에서 하였고, 각 알고리즘 수행시 소요된 시간은 단방향 정합 알고리즘이 1분이고, 쌍방향 정합 알고리즘은 2분 40초였다. 그림 4, 5에서 사용된 스테레오 영상은 스테레오 정합시 일반적으로 사용해 왔던 영상이고 그림 6, 7에서 사용된 스테레오 영상은 다음 조건으로 획득하였다. 기준선(base-line)은 15mm로 하였고, 그림 6의 경우 카메라와 물체와의 거리는 2m, 배경의 위치는 4m이고, 그림 7은 카메라와 물체와의 거리는 각각 2m, 3m, 4m이고 배경의 위치는 10m로 하였다. 각 그림에서 (a)와 (b)는 스테레오 원 영상이고 (c)는 단방향 정합알고리즘 수행시 얻은 변이도이고 (d)는 쌍방향 정합 알고리즘 수행시 얻은 변이도이다. 그리고 (e)와 (f)는 좌, 우 폐색도이다. 여기서, 쌍방향 정합 알고리즘은 좌, 우 변이 정보가 일관되게 나타나기 때문에 좌, 우 변이도 중에 하나의 결과만 나타내었다.

그림 4에서 단방향 정합 알고리즘은 폐색 영역에 대한 고려가 없기 때문에 물체의 좌측면에 부분적으로 에러가 발생함을 볼 수 있다.

그러나, 물체의 좌측면에 발생하는 폐색 영역을 고려한 쌍방향 정합 알고리즘을 적용하면 앞에서 발생한 에러에 대한 개선된 결과를 볼 수 있다. 그림5, 6, 7에

서는 물체의 불연속점에서 폐색 영역이 발생하게 되고 이런 폐색 영역을 고려하지 않을 경우에는 불연속부분에 무더짐 현상이 발생한다.

이러한 현상을 보완하기 위하여 폐색 영역을 고려한 쌍방향 정합 알고리즘을 적용시켜 개선된 결과를 볼 수 있었다.

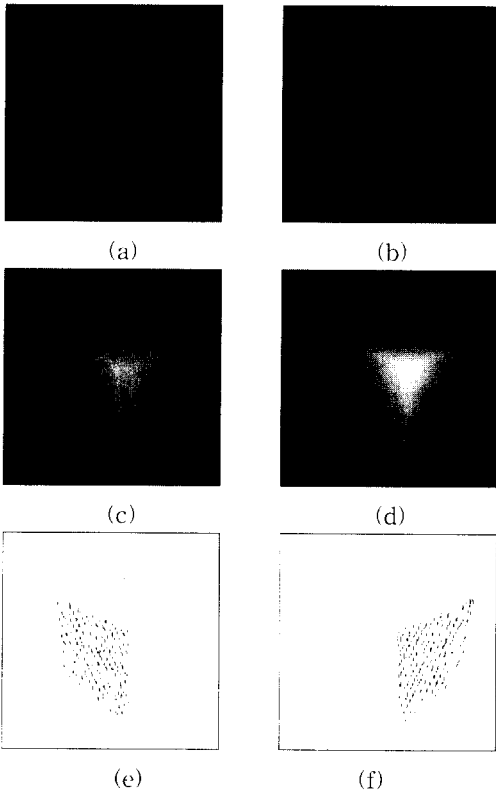


그림 4. Cube 스테레오 영상에 대한 결과 (a),(b) 좌, 우 원 영상 (c) 단방향 정합 알고리즘을 적용한 결과 영상 (d) 쌍방향 정합 알고리즘을 적용한 결과 영상 (e),(f) 좌, 우 폐색도

Fig. 4. Result image of toy image. (a),(b) Left and right image. (c) One directional stereo matching algorithm. (d) Bidirectional stereo matching algorithm. (e),(f) Left and right occlusion map.

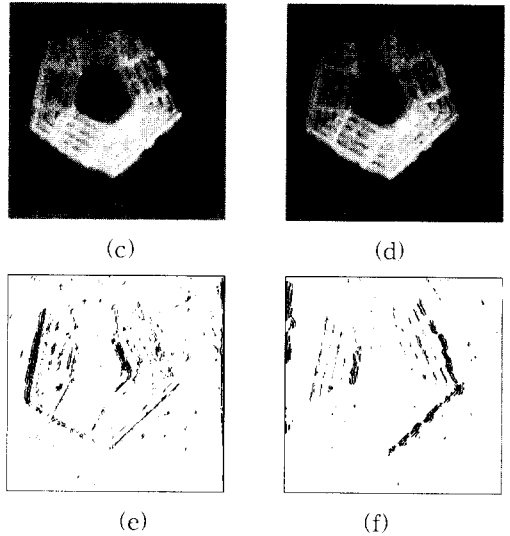
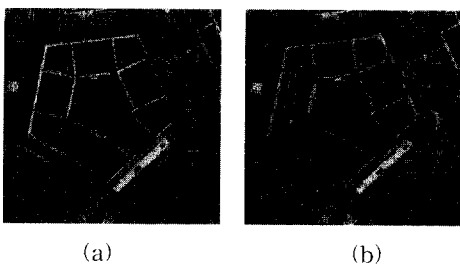


그림 5. Pentagon 스테레오 영상에 대한 결과 (a),(b) 좌, 우 원 영상 (c) 단방향 정합 알고리즘을 적용한 결과 영상 (d) 쌍방향 정합 알고리즘을 적용한 결과 영상 (e),(f) 좌, 우 폐색도

Fig. 5. Result image of Pentagon image. (a),(b) Left and right image. (c) One-directional stereo matching algorithm. (d) Bidirectional stereo matching algorithm. (e),(f) Left and right occlusion map.

표 1. 정합율과 에러율에 의한 알고리즘의 성능 비교

Table 1. Comparison of two algorithms in matching rate and error rate.

영상	내용	단방향 정합 알고리즘		쌍방향 정합 알고리즘	
		정합율	에러율	정합율	에러율
Pentagon		61.5%	6.09%	70.5%	4.73%
Cube		80.0%	4.02%	92.2%	1.01%
Ball		84.5%	3.08%	91.2%	2.29%
Cans		84.3%	3.06%	91.1%	2.03%

실험 결과를 보다 객관적으로 비교하기 위해 정합율과 에러율을 정의하여 표 1과 같이 비교하였다. 이때 정합율(m)은 전체 영상에 대한 정합된 좌 우 두 점의 밝기차가 5%(12이내인 정합쌍의 비율로서 나타내었고 에러율(e)은 각 정합쌍의 밝기차이를 모두 합한것을 최대 밝기에 대한 비율로 나타내었으며, 다음과 같이 표현하였다.

$$m = \left(\frac{\text{밝기차가 12이내인 정합쌍의 수}}{X \times Y} \right) \times 100$$

$$e = \left(\frac{\sum_{(x,y) \in B} |(G(x,y) - G_r(x_r,y))|}{X \times Y \times G_m} \right) \times 100$$

여기서, G_m 은 영상의 최대 밝기 값을 의미한다. 그리고 X, Y 는 스테레오 영상의 X -size, Y -size이다.

표 1에서와 같이 수치상의 비교에서도 개선된 결과를 확인할 수 있었다.

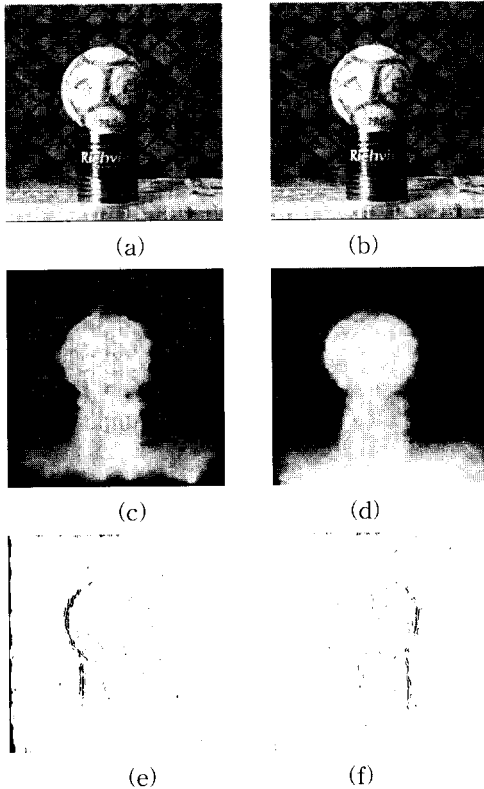


그림 6. Ball 스테레오 영상에 대한 결과 (a),(b) 좌, 우 원 영상 (c) 단방향 정합 알고리즘을 적용한 결과 영상 (d) 쌍방향 정합 알고리즘을 적용한 결과 영상 (e),(f) 좌, 우 폐색도

Fig. 6. Result image of Ball image. (a),(b) Left and right image. (c) One-directional stereo matching algorithm. (d) Bidirectional stereo matching algorithm. (e),(f) Left and right occlusion map.

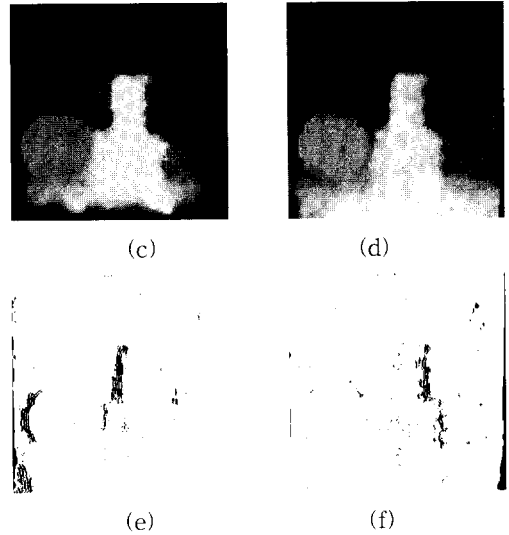
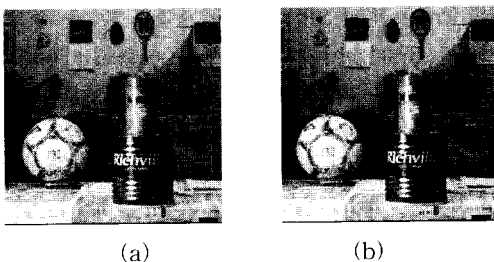


그림 7. Cans 스테레오 영상에 대한 결과 (a),(b) 좌, 우 원 영상 (c) 단방향 정합 알고리즘을 적용한 결과 영상 (d) 쌍방향 정합 알고리즘을 적용한 결과 영상 (e),(f) 좌, 우 폐색도

Fig. 7. Result image of Cans image. (a),(b) Left and right image. (c) One-directional stereo matching algorithm. (d) Bidirectional stereo matching algorithm. (e),(f) Left and right occlusion map.

V. 결론

정합점이 없는 폐색 영역에 대한 정합 처리시 발생하는 제반 문제 즉, 불연속 점에서의 무더짐 현상, 정합 에러 등을 개선하기 위해, 본 논문에서는 폐색 영역을 고려한 쌍방향 스테레오 정합 알고리즘을 제안하였다. 결과를 통하여 좌, 우측 기준의 정합 정보가 상호 보완적으로 적용됨을 확인할 수 있었고, 여기서 구해진 폐색 영역의 변이는 스테레오 영상 모델의 기하학적 특징을 이용하여 적절한 값을 할당함으로써 성능이 개선됨을 볼 수 있었다. 이러한 변이 값의 할당 방법은 스테레오 영상 모델의 기하학적 구조상 좌측 영상에서의 폐색 영역의 변이는 그 좌측 지점의 변이 값과 같을 확률이 높다는 사실에 기인한다.

다양한 영상에서의 적용 여부를 보이기 위해 기존 스테레오 영상들과 본 실험실에서 획득한 영상들을 실험에 사용하였다. 본 알고리즘은 에너지 비용 함수를 기반으로 한 단방향 정합 알고리즘과 변이도 상의 결과를 비교하여 정합 결과가 개선되었음을 확인할 수 있었고, 특히, 폐색 영역 즉, 불연속 지점에서 보다 우

수한 결과를 얻었다. 또한 객관적 비교를 위해 정합율과 에러율을 정의하여 수치적으로도 개선된 결과를 보였다.

한편 반복 횟수와 λ 값은 많은 실험을 통해 최적값을 동일하게 적용하였다. 향후 이들 파라미터를 적응적으로 찾을 수 있는 방법이 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

[1] D. Marr and T. Poggio, "A computational theory of human stereo vision," Proc. Royal Soc. London B. Vol. 204, pp. 301-328, 1979.

[2] 강창순, 남기곤, "변이별 정합 척도 분포를 이용한 선소의 정합," 전자공학회 논문지, 제 34 권 S편 제3호, pp. 74-83, 1997년 3월

[3] Dhond and Aggarwal, "Structure from stereo-a review," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, 19(6): 1489-1510, November/December 1989.

[4] C. Chang and S. Chatterjee, "Multi-resolution stereo-a Bayesian approach," Proc. of 10th Int. Conf. on Pattern Recognition, pp. 908-912, Atlantic City, NJ, 1990.

[5] R. Chung and R. Nevatia, "Use of

monocular grouping and occlusion analysis in a hierarchical stereo system," Proc. of IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 50-56, Hawaii 1991.

[6] P. J. Burt, "The pyramid as a structure for efficient computation," in the book [22], pp. 6-35 1984.

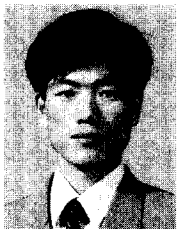
[7] M.A.Gennert, "Brightness-based stereo matching," Proc. of 2nd Int. Conf. on Computer Vision, pp. 139-143, Tampa, FL, 1988.

[8] B. K. P. Horn, Robot Vision, MIT Press, Cambridge, MA, 1986.

[9] A. Luo and H. Burkhardt, "An Intensity-based cooperative bidirectional stereo matching with simultaneous detection of discontinuities and occlusions," International Journal of Computer Vision, 15(3): 177-188, July 1995.

[10] I. J. Cox. "A maximum likelihood n-camera stereo algorithm," In IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'94), pp. 733-739, Seattle, WA, June 1994. IEEE Computer Society Press.

저 자 소 개



朱在欽(正會員)
1988년 부산대학교 전자공학과 학사. 1990년 부산대학교 전자공학과 석사. 1996년 부산대학교 전자공학과 박사수료. 1990년 1월~1992년 2월 삼성전자 가전종합연구소. 1992년 3월~현재 지산대학 전자계산과 조교수. 주관심분야는 패턴인식, 컴퓨터 비전, 가상현실임

姜昌淳(正會員) 第 34 卷 S編 第 6 號 參照
현재 동의공업대학 전자과 부교수



申洪(正會員)
1997년 동서대학교 전자공학과 학사. 1999년 부산대학교 전자공학과 석사. 주관심분야는 영상처리, 패턴인식, 컴퓨터 비전임

李尙昱(正會員) 第 34 卷 S編 第 6 號 參照
현재 경상대학교 정보통신공학과 교수, 해양산업연구소 연구원

南基坤(正會員) 第 36 卷 S編 第 3 號 參照
현재 부산대학교 전자공학과 교수