

Stereo Matching using the Extended Edge Segments

孫 弘 樂* · 金 炯 爽**
(Hong-Rak Son · Hyong-Suk Kim)

Abstract - A segment matching algorithm in stereo vision via the fusion of multiple features on long edge segments is proposed. One problem of the previous segment matching algorithm is the similarity among the segments caused from its short length. In the proposed algorithm, edges are composed of longer segments which are obtained by breaking the edges only at the locations with distinguished changes of the shape. Such long segments can contain extra features such as curvature ratio and length of segments which could not be included in shorter ones. Use of such additional features enhances the matching accuracy significantly. To fuse multiple features for matching, weighting value determination algorithm which is computed according to the degree of the contribution of each factor is proposed. The stereo matching simulations with the proposed algorithm are done about various images and their results are included.

Key Words : stereo matching, edge segment, matching factor, matching weight

1. 서 론

스테레오 비전은 유용한 영상 이용분야의 하나로서 산업용 로봇, 무인차량, 지도제작 등 잠재적 활용분야가 매우 넓은 분야이다. 이 기술은 인간의 시각적 거리 측정 원리의 응용으로서 평행하게 설치된 두 대의 카메라를 이용하여 영상을 획득한 후, 좌우 영상 위의 각 점들에 대한 정확한 영상 정합점의 위치 차(disparity)를 검출하여 삼각측량 원리에 의해 거리를 계산한다. 이 과정 중 특히 많은 시간이 소요되고 기술적으로 어려운 과정은 정합점 검출로서 한 쪽 영상의 각 화소에 해당하는 상대화면의 정합 화소를 검출하는 과정이다. 검출된 정합 화소들로부터 천이값을 알면 물체와 카메라간의 거리를 계산할 수 있다. 이를 위해서 많은 연구들이 있었으며 대표적인 기법들은 영역 기반법과 특징 기반법이다. 영역 기반법(area based matching)[1]은 한 쪽 영상 위의 화소에 대해 상대 영상 위의 가장 유사점을 찾는 방법인데 화소의 개별적 밝기 뿐 아니라 인접화소들 간의 관계성을 비교 기준으로 사용한다. 이 영역 기반법은 잡음이 많거나 시각의 각도에 따라 명암의 차이가 있는 영상에서는 오정합이 발생하기 쉬우며 영상의 특징이 없는 부분에서도 정합의 신뢰도가 낮다는 문제점이 있다. 특징 기반법은 영상의 특징점들(zero crossing, 에지, 모서리, 점점 등)을 대상으로 정합점들을 계산하는 방법인데 특징점들의 수는

영상의 전체 화소 수에 비해 수가 현저히 작으므로 계산시간이 빠르고 정확한 정합점을 찾을 수가 있다는 장점이 있다[2][3]. 특징 기반법은 좌우 영상의 에피폴라 선상에서의 특징들만을 고려하는 지형적 비교이기 때문에 화면전체의 관점에서 최적 정합이 되지 않는 경우가 있다. 예를 들면, 동일한 물체의 수직 에지점들의 경우는 상하의 점들까지의 거리가 비슷한 경우가 보통이지만, 특징 기반법을 적용할 경우, 들쭉날쭉한 거리값으로 계산되는 경우가 많다. 이를 보완하기 위해서 에지를 여러 개의 선소로 분할하고 선소상의 특징점들을 이용하여 선소 단위로 정합하는 방법이 개발되었다[4-9]. 이 방법은 에피폴라 선상의 영상점들을 국부적으로 비교하는데 그치지 않고 선소의 형태를 비교하는 방법이므로 정합의 신뢰도가 커지는 장점이 있다. 이를 위해서 에지를 선형화된 선소로 나누어 이 선소들의 위치, 방향, 평균 에지강도등의 유사도를 비교하는 기술들이 중요하게 연구되고있다[4][5]. 이 방법들은 선소의 중심화소를 기준으로 탐색창을 사용하기 때문에 수직선소에 비해 수평선소의 오정합율이 높고, 선소 추출 방법에 따른 좌우 영상의 선소의 불일치로 인해 오정합이 발생된다. 이에 선소들을 경사도에 따라 수직, 수평 선소로 나누고, 각각을 정합하는 연구와 [6][7], 선소수의 불일치로 인한 오정합 문제를 해결하기 위해 등적계획법을 적용하는 연구도[8][9] 있었다. 그러나, 이러한 연구들은 선소들을 근사적인 직선으로 표현될 수 있을 만큼 잘게 분할하므로 개별 선소들의 고유특성이 분산되어 선소간의 구별성이 떨어진다는 공통의 문제점이 있었다.

제안한 알고리즘에서는 에지에 현저한 특성 변화가 있는 곳에서만 선소로 분할되게 함으로써, 비교적 긴 에지 선소들로 표현하여 개별 선소의 고유성이 최대한 보존되도록 하였다. 따라서, 분할된 긴 에지 선소에서는 기존 방법에서 사용

* 正 會 員 : 全 北 大 工 大 電 子 工 學 科 博 士 課 程
 ** 正 會 員 : 全 北 大 工 大 電 子 情 報 工 學 部 副 教 授 · 工 博
 接 受 日 字 : 2002 年 3 月 19 日
 最 終 完 了 : 2002 年 5 月 15 日

하기 어려웠던 선소의 곡률, 선소의 길이등 추가적 요소를 비교할 수 있게되므로 정합의 신뢰성이 증대될 수 있다. 본 연구에서는 또한, 각 정합인자들의 융합을 위한 가중치 결정 방법을 제안했으며, 다양한 실험실 영상을 대상으로 정합 실험하고 결과를 제시하였다.

2. 선소 기반 스테레오 정합

특징 기반법은 좌우 영상의 에피폴라 선상에서의 특징들만을 고려하는 지형적 비교이기 때문에 화면전체의 관점에서 최적 정합이 되지 않는 경우가 있다. 예를 들면, 동일한 물체의 수직 에지점들의 경우는 상하의 점들까지의 거리가 비슷한 경우가 보통이지만, 특징 기반법을 적용할 경우, 들쭉날쭉한 거리값으로 계산되는 경우가 많다. Ohta-Kanade 등은 에지의 연결성과 화면 전체적 관점에서의 최대 정합을 얻을 수 있는 정합쌍 결정을 위해서 동적 계획법(Dynamic Programming)[10]을 사용하기도 하였으나 알고리즘 설치 및 계산 과정이 복잡하다는 문제점이 있다. 선소 기반 정합법은 에지를 선형화된 선소로 분할한 후, 이 선소단위로 정합을 시키기 때문에 에지점들 간의 연결성이 우수하고 알고리즘의 설치가 간편하며 정합의 정확도가 높은 방법이다. 선소 기반 정합은 1) 에지의 추출 및 세선화 2) 에지의 선소 분할 3) 후보 선소의 추출 4) 최적 선소의 결정 단계로 구성된다. 다음은 각 단계별 내용이다.

1) 에지의 추출 및 세선화

선소 기반 정합의 첫 번째 단계에서는 에지들을 추출하며 [11] 세선화 과정을 거친다. 불완전하게 세선화 되는 에지에 대해서는 가장자리에 있는 에지요소를 에지로 선택하기도 한다.

2) 에지 선소의 분할

에지를 선형화된 형태의 선소로 분할하여 정합한다. (x_s, y_s) 및 (x_e, y_e) 를 각각 에지의 시작점 및 끝점의 좌표 라고 하면, 이들을 연결하는 직선의 식은 $ax+by+c=0$ 이다. i 번째의 에지점 (x_i, y_i) 로부터 이 직선에 이르는 최소거리 $d_{min}(i)$ 는

$$d_{min}(i) = \sqrt{\frac{(ax_i + by_i + c)^2}{a^2 + b^2}} \quad (1)$$

로 구할 수 있다. 또한 이 직선과 최대의 편차를 이루는 에지점과의 거리를 d_{max} 라고 하면,

$$d_{max} = \text{MAX}\{d_{min}(i), i=1, 2, \dots, N\} \quad (2)$$

에 의해 얻을 수 있으며, 이 때의 에지점 (x_p, y_p) 을 결정할 수 있다. 이 d_{max} 가 문턱치 d_{th} 보다 크다면, 이 에지점은 직선과 크게 이격되어 있음을 의미하므로 이 점에서 절단 하여 더 작은 선소로 분할하면 에지는 선형화된 선소의 집합으로 구성시킬 수 있다. 즉,

$$d_{max} > d_{th} \quad (3)$$

이면, 에지를 (x_p, y_p) 점에서 분할한다. 분할된 에지 선소에 대해서도 같은 과정을 반복하여 d_{max} 가 문턱치 d_{th} 보다 작게 될 때까지 같은 과정을 반복한다. 문턱치보다 작은 경우에는 분할하지 않고 정합을 위한 선소로 사용한다.

3) 후보 선소의 추출

분할된 선소들의 정합을 위해서는 한 영상의 에피폴라 선들을 차례로 scan하면서 선소의 존재를 검출한다. 이때 검출된 선소를 대상 선소라고 하고, 대상 선소와 가장 유사한 특징을 가지는 선소를 상대 영상으로부터 상관값(correlation) 계산을 통하여 추출한다. 이 과정에서 모든 에지를 대상으로 상관값을 계산하면 계산시간이 많이 요구되므로 일정한 크기의 검색창을 설치하고 검색창 내부의 선소들만을 대상으로 검색한다. 또한 여러 종류의 검출 특징들을 반영하기 위해서 우선 다음과 같은 검출기준을 설정하여 이를 통과한 선소들을 후보 선소 T로 간주한다.

A. 시작점 및 끝점의 유사성

대상 선소의 시작점과 끝점에 대한 y축상의 위치를 검색창 내의 검색 선소들의 시작점과 끝점의 y축상의 위치와 비교하여 일정한 값 p_{th} 이하인 선소들의 집합을 U_p 라고 한다.

B. 에지의 방향

에지의 방향을 조사하여 대상 선소의 방향과 각도의 차이가 25° 이하인 선소의 집합을 U_d 라고 한다.

C. 평균에지의 강도

대상 선소와 후보 선소의 평균 에지 강도를 조사하여 큰 에지강도를 기준으로 에지강도의 차이가 20% 이하인 검색 선소의 집합을 U_s 라고 한다.

최종 정합쌍 결정을 위한 후보 선소집합 T는 위에 열거한 3가지 조건을 만족하는 선소들의 집합을 취한다. 즉,

$$T = U_p \cap U_d \cap U_s \quad (4)$$

4) 최적 정합 선소의 결정

추출된 후보 선소집합 T는 검색 창내에 있는 선소들 중, 위치적 유사성과 방향의 유사성 및 에지 강도의 유사성이 확보된 선소들의 집합이다. 최적 정합 선소는 후보 선소 집합 T 중에서 모든 에지점들 간의 상관 관계 값 C가 가장 큰 선소이다. 대상 선소를 A라고 후보 선소를 B라 하면, 이들 간의 상관관계 C는 다음과 같이 계산한다.

$$C = \frac{\sum_i^N (A_i - \mu_A)(B_i - \mu_B)}{\sqrt{\sum_i^N (A_i - \mu_A)^2 \sum_i^N (B_i - \mu_B)^2}} \quad (5)$$

여기서 μ_A 와 μ_B 는 각각 A 선소의 평균 에지강도 및 B 선소의 평균에지 강도이다.

3. 에지 선소의 확장 분할과 이를 이용한 에지 선소 정합

제안한 알고리즘의 핵심은 확장된 긴 에지 선소를 만들며

그 결과로 각 에지 선소에 포함되는 많은 특징들을 효과적으로 융합하여 정합율을 개선하고자 하는 것이다. 이를 위해서 기존의 알고리즘에서는 에지들을 선형화된 작은 선소 단위로 분할했지만, 제안한 알고리즘에서는 에지에 현저한 모양 변화가 있는 위치에서만 다음과 같은 원칙에 따라 분할하여 에지 선소의 길이가 가능한 한 길어지도록 하였다.

에지 선소 분할 원칙

- 1) 두 개 이상의 에지가 만나는 점
- 2) 에지선의 각도가 45도 이상 변화하는 점

위와 같은 원칙에 따라 분할된 에지 선소에는 짧은 선소에 비해 보다 다양한 특징들이 포함된다. 이들을 효과적으로 융합하는 알고리즘은 다음과 같다.

3.1 에지 선소 비교인자들의 융합

기존의 선소 기반 정합은 대상 선소와 검색 창 내 선소들 간의 유사도에 의해 후보 선소들을 추출하는 단계와, 후보 선소에 대해서 상관값 비교를 통해 최적 정합 선소를 추출하는 2 단계로 수행된다. 그런데, 카메라의 특성이 동일하지 않은 경우에는 한 쪽 영상에 강하게 나타난 에지도 다른 영상에서는 약하게 나타날 수도 있다. 또한 선소가 중간에서 끊어지기도 하기 때문에 최적 정합 쌍이라 하더라도 시작점이나 길이가 전혀 다르게 표현될 수도 있으므로 후보 선소집합으로부터도 제외 될 수 있다는 문제점이 있다. 제안한 확장형 에지 선소 기반 정합 방법은 여러 가지 특징 추출 인자들을 가중치를 이용하여 융합하며 에지 선소 상의 에지강도 변화율, 선소 곡선의 변화율 및 선소의 각 점들에 대응하는 원 화면 화소들의 상관 값등 다양한 종류의 특징들을 종합적으로 포함시키는 방법이다. 제안한 정합 방법에서 사용하는 여러 인자들은 각각 최적 정합 선소 결정을 위한 중요도에 있어서 차이가 있다. 예를 들면, 에지 선소의 길이나 곡률등의 인자는 에지 강도 화면에서의 상호 상관값이나 화소 강도 화면에서의 상호 상관값에 비해 정합 쌍 결정에 덜 중요하다. 따라서 이들 다양한 인자들에 대해 중요도를 달리하면서 융합하기 위해서 서로 다른 가중치를 갖는 평가 값 V 를 사용하였다. 좌 영상의 i 번째 선소를 l_i 라 하고 우 영상의 j 번째 선소를 r_j 라 하여 이들 두 선소간의 평가 값을 $V(l_i, r_j)$ 라고 하면

$$V(l_i, r_j) = \alpha \cdot F_l + \beta \cdot F_c + \gamma \cdot F_{i-cor} + \delta \cdot F_{e-cor} + \epsilon \cdot F_{ori} \quad (6)$$

로 융합한다. 여기서 계수 $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon$ 는 각 정합 비교인자에 대한 가중치이다. 또, F_l 은 에지 선소의 길이를 비교하기 위한 인자이고, F_c 는 에지 선소의 곡률 비교를 위한 인자이며, F_{e-cor} 은 에지 강도 화면상에서의 에지 선소의 상관 값 비교 인자이다. 또한 F_{i-cor} 는 화소 강도 화면상에서의 상관 값 비교 인자이고 F_{ori} 는 에지 선소의 방향에 대한 비교인자이다. 이들은 다음과 같은 계산을 통하여 얻는다.

에지 선소의 길이 F_l : 에지 선소들의 길이를 비교하는 인자로서 한 영상의 i 번째 에지 선소와 다른 영상의 j 번째

에지 선소 간의 정합 값 $F_l(i, j)$ 는,

$$F_l(i, j) = 1 - \frac{|L_i - L_j|}{MAX(L_i, L_j)} \quad (7)$$

로 계산한다. 여기서 L_i 와 L_j 는 각각 기준 영상의 i 번째 에지 선소의 길이와 비교 영상의 j 번째 에지 선소의 길이를 나타낸다.

에지 선소의 곡률 F_c : 에지 선소간의 곡률을 비교하는 인자로서 에지 선소를 추적하면서 에지 선소의 곡률의 차를 (8)과 같이 계산한다.

$$F_c = 1 - \frac{(\sum |C_i - C_j|)/4}{N} \quad (8)$$

여기서 C_i, C_j 는 그림 1과 같이 8방향을 표시하는 값이며 숫자는 방향의 차이이다. 또한 N 은 에지 선소 i 와 j 의 공통 부분에서의 비교 횟수이다.

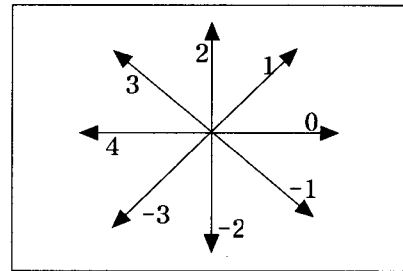


그림 1 에지 선소의 8 방향
Fig. 1 Eight direction of edge segment

에지 선소에 대한 원 영상 화소들의 상호상관값 F_{i-cor} : 대상 선소와 후보 선소의 각 점에 해당하는 원 영상 화소들의 상호 상관값을 이용한 정합인자이다.

$$F_{i-cor} = \frac{(\sum Cor_i + 1)/2}{N} \quad (9)$$

여기서 Cor_i 는 화소에 대한 상호 상관 값으로써

$$Cor_i = \frac{\sum_{k=1}^M (A_k - \bar{A})(B_k - \bar{B})}{\sqrt{\sum_{k=1}^M (A_k - \bar{A})^2 \sum_{k=1}^M (B_k - \bar{B})^2}} \quad (10)$$

이다. M 은 설정한 윈도우 내의 화소 수이다.

에지 강도화면에서 선소에 대한 상호상관값 F_{e-cor} : 선소들의 에지 강도를 이용한 정합 인자로서, 에지 선소 상의 점들에 대한 에지 강도의 상관값이다. 이 계산을 위해서 식 (5)를 이용한다.

에지 선소의 주방향 F_{ori} : 에지 선소가 놓여 있는 주된 방향을 비교하는 인자이다.

$$F_{ori} = 1 - \frac{\sum C_i}{N} - \frac{\sum C_j}{N} \quad (11)$$

이 정합인자들은 에지선소들의 특성 뿐 아니라 화소들의 영역적 특성까지 가중치에 의해 융합함으로써 정합의 가능성을 종합 판단할 수 있다는 특징이 있다.

3.2 가중치의 결정

평가값 결정식 (6)에서의 각 정합 인자들은 정합값 결정에서 기여도가 다르다. 따라서 서로 다른 가중치를 사용하여 정합 정보를 융합하였다. 가중치를 결정하기 위한 전략은 개별 정합 인자를 사용했을 때의 정합 정확도를 구한 다음, 정확도들을 이용하여 다음과 같이 가중치를 계산한다.

F_l 인자만을 기준으로 하여 선소들을 정합시켰을 때, 정확하게 정합되는 선소의 비율을 P_l 이라 하자. 같은 방법으로 $F_c, F_{i-cor}, F_{e-cor}$ 및 F_{ori} 를 개별적으로 사용하여 정합시켰을 때, 정확하게 정합되는 선소의 비율을 각각 $P_c, P_{i-cor}, P_{e-cor}$, 및 P_{ori} 라고 하면,

$$\alpha = \frac{P_l}{P_l + P_c + P_{i-cor} + P_{e-cor} + P_{ori}}$$

$$\beta = \frac{P_c}{P_l + P_c + P_{i-cor} + P_{e-cor} + P_{ori}}$$

$$\gamma = \frac{P_{i-cor}}{P_l + P_c + P_{i-cor} + P_{e-cor} + P_{ori}}$$

$$\delta = \frac{P_{e-cor}}{P_l + P_c + P_{i-cor} + P_{e-cor} + P_{ori}}$$

$$\epsilon = \frac{P_{ori}}{P_l + P_c + P_{i-cor} + P_{e-cor} + P_{ori}} \quad (12)$$

로 결정한다. 따라서 계수 $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon$ 들 사이에는

$$\alpha + \beta + \gamma + \delta + \epsilon = 1.0 \quad (13)$$

인 관계가 있다.

3.3 다양한 특성의 영상을 위한 가변 가중치

에지 선소 기반 스테레오 정합 시에는 선소들의 지역적 특성에 따라 다른 가중치를 사용하면 효과적이다. 예를 들면, 길이가 짧고, 간격이 좁은 에지들이 많은 영역에서는 선소들의 특성이 비슷하기 때문에 선소들의 특성보다는 영역적 특성이 강조된 가중치가 효과적이다. 제안한 알고리즘은 지역적 특성 분석을 위한 척도로서 선소 밀도(Edge segment density)에 따라 가중치를 다르게 선택하게 하였다.

여기서의 선소 밀도 D_{ratio} 는 에지 선소의 길이와, 인접한 에지 선소와의 거리를 이용하여 식 (14)와 같이 정의하였다.

$$D_{ratio} = \sum_j |E_i - E_j| < T_d \text{ 와 } (Y_i < T) \text{를 만족하는 선소수} \quad (14)$$

여기서 $|E_i - E_j|$ 는 대상선소 E_i 와 이웃하는 선소 E_j 와의 거리이고, Y_i 는 대상 선소의 길이이다. 또, T_d 및 T 는 각각 선소간의 거리와 선소 길이에 대한 임계치들이다.

본 연구에서는 2세트의 다른 가중치를 구하여 선소 밀도 D_{ratio} 에 따라 선택적으로 사용하였지만, 영상에 따라 보다 많은 단계로 분류하여 적용할 수 있다.

3.4 제안한 정합 알고리즘

스테레오 카메라로부터 두 장의 영상이 입력되면 에지를 추출하고 이를 대상으로 에지를 세선화 하여 다듬은 후, 앞에서 설명한 선소 분할 원칙에 따라 길게 분할한다.

한 화면상에서의 에지 선소의 전체 집합을 G^l 라 하고 에피폴라 선상에 걸린 에지 선소의 집합을 T_k^l 라고 하면 G^l 와 T_k^l 사이에는 $G^l \ni T_k^l$ 인 관계가 있다. 한 영상에 대응하는 스테레오 영상의 다른쪽 화면상의 선소집합을 G^r 및 T_k^r 이라고 하자. 구성된 선소집합중 T_k^l 내의 에지 선소 위치 l^i 에서 선소 밀도 D_{ratio} 를 계산하여 식(6)에 적합한 계수세트를 식(12)에 의해 선정한다. 이 l^i 선소에 최적 정합이 될 수 있는 T_k^r 내의 l^j 선소를 식(6)의 평가값 계산을 통하여 선정한다. 이 과정을 T_k^l 내의 모든 l^i 에 대해서 수행한 후 화면상의 에피폴라 선을 변경하여 새로운 T_k^l, T_k^r 을 구성하여 위의 정합쌍 결정과정을 반복한다. 새로운 에피폴라 선의 선택은 G^l 내의 모든 선소에 대해 정합 계산이 될 때까지 반복한다. 이 정합을 위한 평가값 계산 결과가 기준치보다 낮은 선소에 대해서는 정합쌍이 존재하지 않는 것으로 판단하도록 하였다. 이 알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

확장형 에지 선소 기반 정합 알고리즘

1. 스테레오 영상 입력.
2. 좌우 영상에서의 에지 검출.
3. 선소 분할 원칙에 따라 에지 선소 분할하여 에지 선소 정합 G 구성.
4. 에피폴라 선 및 선소집합 T_k 구성.
5. 집합 T_k^l 내의 에지 선소 l^i 위치에서 선소 밀도 D_{ratio} 를 계산하여 식 (6)에 적합한 계수 세트를 선정.
6. 과정 5의 l^i 에 대해 다른쪽 영상의 동일 에피폴라 선상의 선소 l^j 에 대해서 식 (6)에 의한 평가값을 계산하여 최적 정합 선소 선정.
7. 에피폴라 선상의 모든 에지선소에 대해서 과정 5 및 6를 반복.
8. 모든 에지선소들의 정합쌍이 결정될때까지 다른 에피폴라 선을 선정하여 과정 5부터 반복 수행

4. 실험

제안한 정합 알고리즘을 검증하기 위해서 실험실에서 얻은 표본 영상을 이용하여 가중치를 결정하고, 결정된 가중치를 단순한 영상과 복잡한 영상에 적용하였다.

4.1 가중치 결정을 위한 스테레오 정합 실험

제안한 알고리즘의 정합인자 가중치를 결정하기 위해 그림 2와 같은 400×300 크기의 실험실에서 얻은 영상을 표본으로 삼아 데이터를 취하였다. 이 과정에서 영상의 에지를 취한 다음, 세선화 한 후, 선소들을 분할한 결과는 그림 3과 같다.

정합 인자에 대한 가중치 결정방법은 3.2절과 같은 방법을 사용하였는데 영상의 다양한 위치에서 얻은 정합인자 가중치 값을 비교해 본 결과 선소 밀도가 높은 곳과 낮은 곳에 대해서 각각 적합한 가중치 값이 현저하게 다르다는 사실을 발견하였다. 따라서 본 연구에서는 이 선소 밀도의 크기 값을 가중치가 적응적으로 선택되게 하는 척도로 사용하였다. 선소 밀도에 따라 보다 다양한 세트의 가중치들이 선택되게 할수록 보다 정확한 정합을 얻을 수 있지만, 본 논문에서는 시물레이션을 단순화시키기 위해서 문턱치보다 큰 경우와 작은 경우의 두 가지 경우에 대해서만 다른 가중치가 선택되도록 하여 제안한 알고리즘의 효용성을 입증하였다.

표 1은 식 (14)로 정의된 선소 밀도가 임계치 4보다 낮은 곳에서의 정합율과 이를 이용하여 환산한 정합 파라미터 가중치이다. 이 임계치 결정을 위해서 사용된 파라미터 T_a 와 T_l 은 각각 11과 6 화소였다. 또한 표 2는 영상의 화소 밀도가 임계치보다 큰 경우의 정합율과 가중치이다. 이 때, 표 2의 가중치는 그림 3의 가운데 책상다리 부분과 같이 밀도가 높은 곳에서 얻어졌으며 표 1의 가중치는 그림 3의 나머지 평이한 부분으로부터 얻어졌다. 이 정합인자 가중치 값들은 이후의 시물레이션에서 D_{ratio} 의 크기에 의해 자동적으로 선택되어 사용되게 하였다.

표 1 낮은 D_{ratio} 영역에 대한 정합인자별 정합율과 가중치

Table 1 Matching ratio and weight for each matching factor for the image area with low D_{ratio}

	정합율	가중치
α (에지 선소의 길이)	40%	0.151
β (에지 선소의 곡률)	40%	0.151
γ (에지 선소에 대한 원 영상 화소들의 상호상관값)	70%	0.264
δ (에지 강도화면에서 선소에 대한 상호상관값)	65%	0.245
ϵ (에지 선소의 주방향)	50%	0.189

표 2 큰 D_{ratio} 영역에 대한 정합인자별 정합율과 가중치

Table 2 Matching ratio and weight for each matching factor for the image area with high D_{ratio}

	정합율	가중치
α (에지 선소의 길이)	12%	0.08
β (에지 선소의 곡률)	16%	0.11
γ (에지 선소에 대한 원 영상 화소들의 상호상관값)	80%	0.53
δ (에지 강도화면에서 선소에 대한 상호상관값)	27%	0.18
ϵ (에지 선소의 주방향)	15%	0.1

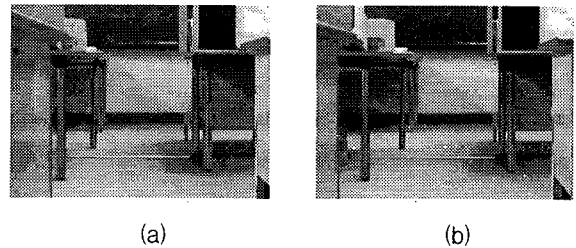


그림 2 정합인자 가중치 결정 실험에 사용한 영상 (a) 왼쪽 영상 (b) 오른쪽 영상

Fig. 2 Original image for experiment for the matching weight factor decision (a) Left image (b) Right image

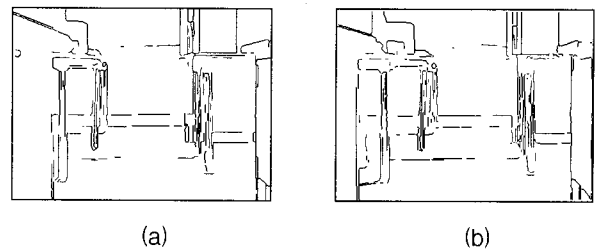


그림 3 그림 2의 에지 선소 영상 (a) 왼쪽 영상 (b) 오른쪽 영상

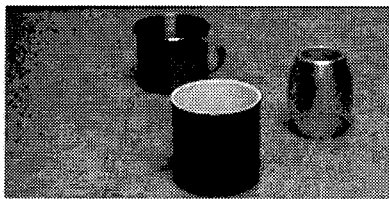
Fig. 3 Edge-segment images of Fig.2 (a) Left image (b) Right image

4.2 단순한 영상에 대한 스테레오 정합 실험

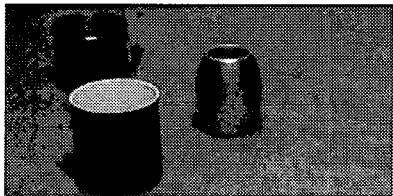
4.2.1 분산 위치한 물체 영상에 대한 실험

실험실에서 구성한 단순한 물체들이 분산되어 위치한 영상을 대상으로 제안한 알고리즘을 실험하였다. 그림 4는 실험에 사용한 컵영상들이며 이를 세선화하고 선소 분할한 결과는 그림 5와 같다. 이 그림들에 대해서는 선소 밀도 문턱치를 넘는 곳이 나타나지 않았으므로 그림 전체에 대해 표 1과 같은 단일 가중치가 사용되었다.

이 가중치를 제안한 알고리즘에 적용하여 얻은 정합 선소들은 그림 6에서 보여준다. 그림 6의 영상 (a)와 (b)는 각각 왼쪽과 오른쪽 영상에서 에지 선소들을 기준으로 다른 쪽 영상에서 정합된 에지가 정확한 경우 해당 위치에 선소를 표시한 것이다. 그림에서 왼쪽 컵의 손잡이 선소와 오른쪽 컵의 아래쪽 선소를 제외한 모든 선소들은 정확히 정합되었음을 보여준다. 표 3는 위 시물레이션 결과를 기존의 선소 기반 스테레오 정합 알고리즘[7]과 수치적으로 비교한 것으로서 제안한 알고리즘의 정합율이 10% 이상 개선되었음을 알 수 있다. 그 이유는 제안한 알고리즘이 에지 선소들의 길이, 곡률등 정합을 위해 보다 많은 정보를 활용하기 때문에 신뢰도가 커졌기 때문이다.



(a)

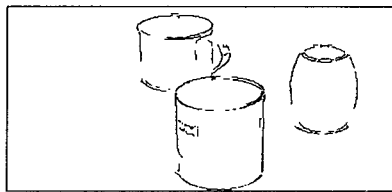


(b)

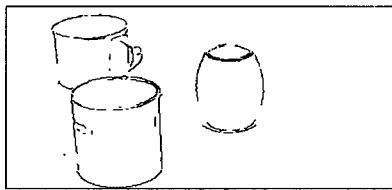
그림 4 분산 위치한 물체 영상

(a) 왼쪽 영상 (b) 오른쪽 영상

Fig. 4 Images with separated objects
(a) Left image (b) Right image



(a)

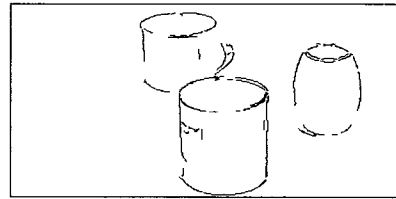


(b)

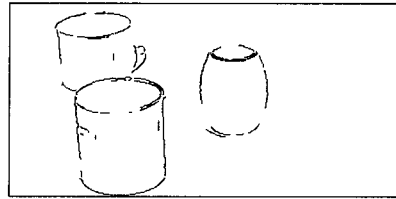
그림 5 그림 4의 에지 선소 영상

(a) 왼쪽 영상 (b) 오른쪽 영상

Fig. 5 Edge-segment images of Fig.4.
(a) Left image (b) Right image



(a)



(b)

그림 6 그림 5의 정합 결과

(a) 왼쪽 영상 (b) 오른쪽 영상

Fig. 6 Matching results of Fig.5

(a) Left image (b) Right image

표 3 그림 4에 대한 기존 선소 기반 알고리즘과 제안한 알고리즘에 의한 정합 결과의 수치적 비교

Table 3 Numerical comparison of matching results between the conventional and the proposed algorithms about images in Fig.4.

	기존의 선소 기반 정합 알고리즘에 의한 정합율	제안한 정합 알고리즘에 의한 정합율
좌영상	74.6%	89.8%
우영상	71.2%	82.7%

4.2.2 겹쳐진 물체 영상에 대한 실험

그림 7처럼 물체들이 모여서 겹쳐있는 영상에서는 물체간의 경계가 모호하고 상호 간섭하는 에지들이 나타나기 때문에 분산되어 있는 물체의 영상에 비해 정합이 어렵다. 이런 특성을 갖는 영상에 대해서도 제안한 알고리즘을 기존의 선소 기반 정합 알고리즘과 비교 실험하였다. 그림 7로부터 에지를 추출하고 세선화 및 선소 분할 결과는 그림 8과 같다. 이 영상에서도 D_{ratio} 가 문턱치보다 큰 곳은 나타나지 않았으므로 모든 영상 부분에서 표 1의 단순영상에 대한 가중치가 적용되었다. 그림 9는 정합된 영상을 보여준다. 이 실험결과를 기존의 선소 기반 정합 알고리즘과 수치적으로 비교한 결과는 표 4와 같다. 표에서 확인할 수 있는 바와 같이 이 영상에 대해서도 제안한 알고리즘이 10% 이상 우수한 결과를 보여줌을 알 수 있다.

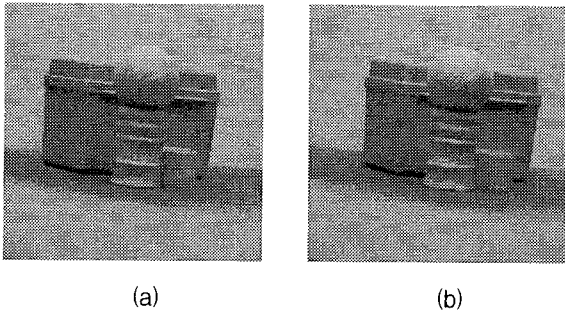


그림 7 포개져 위치한 물체의 영상
 (a) 왼쪽 영상 (b) 오른쪽 영상
 Fig. 7 Images with over-layed objects
 (a) Left image (b) Right image

표 4 겹쳐 위치한 물체 영상(그림 7)에 대한 기존 선소 기반 알고리즘과 제안한 알고리즘과의 정합 결과의 수치적 비교

Table 4 Numerical comparison of matching results between the conventional and the proposed matching algorithms about the images (Fig.7) with over-layed objects

	기존의 선소 기반 정합 알고리즘에 의한 정합율	제안한 정합 알고리즘에 의한 정합율
좌영상	77%	91.5%
우영상	80%	92%

4.3 복잡한 영상에 대한 스테레오 정합 실험

항공영상과 같이 복잡한 영상의 특징은 도심이나 산악 지대처럼 매우 오밀조밀한 에지선들이 있는 곳이 있는 반면 바다나 호수 및 평야처럼 단순한 에지선들이 혼재하기 때문에 부분적 선소 밀도 차이가 매우 심하다. 이와 같이 복잡한 영상에서는 여러 세트의 정합인자를 부분적 특성에 따라 선택적으로 사용하는 것이 효과적이다. 본 시뮬레이션에서는 그림 10과 같은 펜타곤 항공영상을 대상으로 하였으며 그림 11은 선소 분할된 에지 영상이다. 이 선소 밀도에 따라 표 1 및 2의 정합인자 가중치들이 적용적으로 선택되게 하였다.

그림 12와 그림 13은 제안한 알고리즘에서의 적응적 정합 가중치를 사용한 효과를 비교하기 위한 것으로 각각 표 1만 사용해서 얻은 결과와 선소 밀도에 따라 표 1과 표 2를 사용한 결과들이다. 그림 12에서 좌하 부분의 공백은 그림 11에서와 같은 작은 크기의 에지가 있어야 할 부분인데 오정합이 발생했기 때문에 그려지지 않은 곳이다. 이에 반해 그림 13에서는 이 부분을 포함해서 전체적으로 고르게 정합되어 있는 것을 알 수 있다.

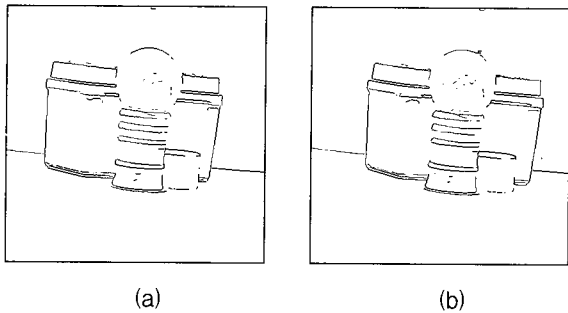


그림 8 그림 7의 에지 선소 영상
 (a) 왼쪽 영상 (b) 오른쪽 영상
 Fig. 8 Edge-segment image of Fig.7
 (a) Left image (b) Right image

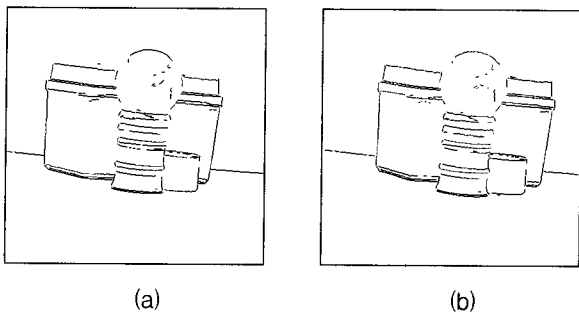


그림 9 그림 8의 정합 결과
 (a) 왼쪽 영상 (b) 오른쪽 영상
 Fig. 9 Matching results of Fig.8
 (a) Left image (b) Right image

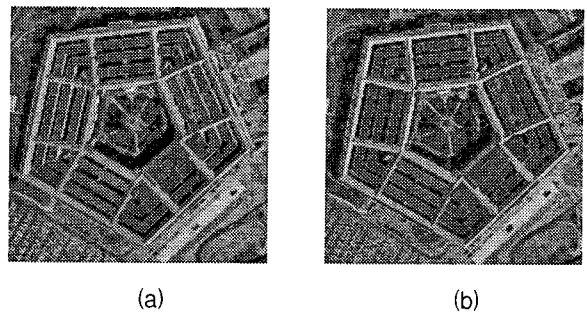


그림 10 펜타곤의 항공 영상
 (a) 왼쪽 영상 (b) 오른쪽 영상
 Fig. 10 Aerial image of the Pentagon
 (a) Left image (b) Right image

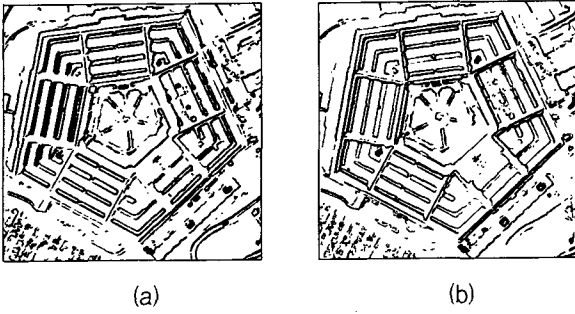


그림 11 그림 10의 에지 선소 영상
 (a) 왼쪽 영상 (b) 오른쪽 영상
 Fig. 11 Edge-segment images of Fig. 10
 (a) Left image (b) Right image

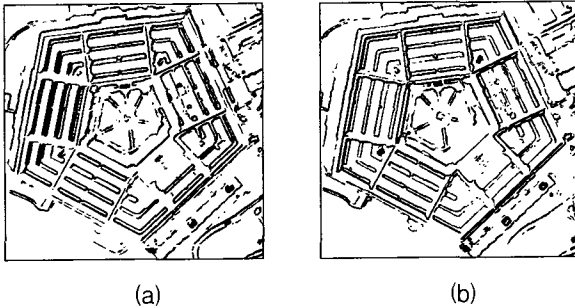


그림 12 표1과 같은 단일 가중치를 사용하여 얻은 그림 11의 정합 결과 (a) 왼쪽 영상 (b) 오른쪽 영상
 Fig. 12 Matching results of Fig.11 with single weighting factor as in Table 1. (a) Left image (b) Right image

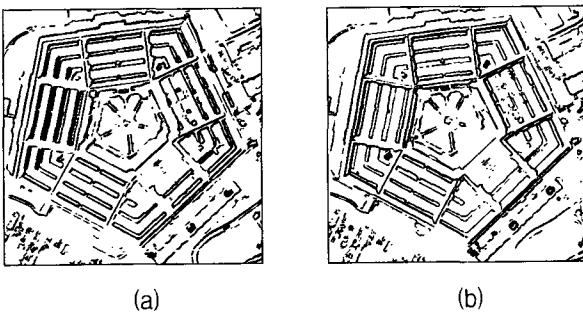


그림 13 표1 및 2의 복수 가중치를 적응적으로 사용하여 얻은 그림 11의 정합 결과 (a) 왼쪽 영상 (b) 오른쪽 영상
 Fig. 13 Matching results of Fig.11 with two weighting factors as in Table 1 and 2. (a) Left image (b) Right image

표 5는 이 결과에 대한 수치적 비교인데 이 영상에서도 제안한 알고리즘의 우수성을 확인할 수 있다.

표 5 그림 10의 항공영상에 대한 기존의 선소 기반 알고리즘과 제안한 알고리즘에 의한 정합 결과의 수치적 비교

Table 5 Numerical comparison of matching results between the conventional and the proposed algorithms about aerial images in Fig. 10

	기존의 선소 기반 정합 알고리즘에 의한 정합율	제안한 정합 알고리즘에 의한 정합율
좌영상	81.3%	91%
우영상	81.8%	90%

5. 결 론

본 연구에서는 에지에 대한 다양한 특성을 가중치에 의해 융합하여 최적의 정합선소를 결정할 수 있는 방법을 제안하였다.

기존의 선소 기반 정합에서는 선소들을 직선으로 표현될 수 있을 정도로 작게 분할했기 때문에 선소간의 유사성으로 인한 오정합률이 커진다는 문제점이 있었다. 이를 개선하기 위해서 제안한 알고리즘에서는 선소들을 가능한 크게 분할함으로써 선소들 간의 구별성을 크게하는 방법을 사용하였다. 이를 위해서 사용한 특성은 에지 선소의 길이, 에지 선소의 곡률, 에지 선소에 대한 원 영상 화소들의 상호 상관 값, 에지 강도화면에서 선소에 대한 상호 상관 값 및 에지 선소의 주방향등으로서 기존의 선소 기반 정합에 비해 2개의 특성이 정합 값 계산에 더 고려되도록 하였다.

이 선소들에 포함된 특징들의 정합 기여도는 영상의 특성에 따라 다르기 때문에 정합값 결정을 위한 가중치 결정 방법을 제안하였다. 특히 항공사진과 같이 복잡한 영상은 그 특성이 지역에 따라 판이하게 다르기 때문에 동일한 가중치를 사용하여 정합시키면 오정합 부분이 많이 나타나게 된다. 본 알고리즘에는 선소 밀도를 기준으로 하여 영상의 지역별 가중치를 다르게 적용하는 기법도 포함되도록 하였다.

제안한 알고리즘을 기존의 선소 기반 정합알고리즘과 비교 시뮬레이션 결과 제안한 알고리즘이 영상의 종류에 무관하게 10% 이상의 우수한 정합율을 보임을 확인하였다.

감사의 글

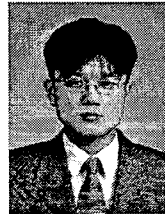
이 논문은 과학기술부·한국과학재단 지정·전라북도 지원 우수 지역협력연구센터인 전북대학교 메카트로닉스연구센터의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

참 고 문 헌

[1] 이종형, 강형구, 김태균, "영역기반 정합방식에서의 정합 제어점 선택", 대한 전자 공학회 하계학술대회논문

- 집, pp 769-772, 1994.
- [2] W. Eric L. Grimson, "Computational Experiments with a Feature Based Stereo Algorithm", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-7, no. 1, pp. 17-33, January 1985.
- [3] 이정수, "로봇의 작업에 응용가능한 물체인식을 위한 스테레오 알고리즘", 한국 과학 기술연구원 전기 및 전자 공학과 박사학위 논문, 1989.
- [4] 강대갑, 권 중장, 김 성대, "스테레오 방식에서 일치성 문제를 해결하기 위한 새로운 선소 정합법", 전자공학회 논문지 제 27권 3호, pp. 444-451. 1990년 3월
- [5] Gerald Medioni, Ramakant Nevatia, "Segment-Based Stereo Matching", CVGIP, Vol. 31, pp 2-18, 1985
- [6] 강창순, 남기곤, "변이별 정합 척도 분포를 이용한 선소의 정합," 대한전자공학회 논문지, 제 34-S권 3호, pp. 74-83, 1997. 8.
- [7] 엄기문, 전병민, 이쾌희, "선소방향에 따른 탐색 영역과 새로운 선소 특징들을 이용한 특징 기반 정합에 의한 건물 복원," 대한전자공학회 논문지 제 36-S권 3호, pp. 76-88, 1998. 9.
- [8] K. K. Yip, W. P. Ho, "Multi-level based stereo line matching with structural information using dynamic programming," Proc. ICIP, Vol 2. pp. 341-344, 1996
- [9] W. P. Ho, K. K. Yip, "A dynamic programming approach for stereo line matching with structural information," Proc. ICPR, pp. 791-794, 1996.
- [10] Y. Ohta, T. Kanade, "Stereo by intra- and inter-scanline search," IEEE Trans. on PAMI, 7(3), pp. 139-154, Mar. 1985
- [11] Nevatia, R., and K. R. Babu, "Linear Feature Extraction and Description," Computer Graphics and Image Processing, vol. 13, 1980, pp. 257-269
- [12] R. Bellman, Dynamic Programming, Princeton, NJ: Princeton Univ. Press, 1957.

저 자 소 개



손 홍 락 (孫 弘 樂)

1973년 5월 26일생. 1996년 전북대 제어 계측공학과 졸업. 1998년 전북대학교 대학원 전기공학과 석사. 1998년~현재 전북대학교 대학원 전자공학과 박사과정

Tel : 063-270-2477

Fax : 063-270-2451

E-mail : hrson@orgio.net



김 형 석 (金 炯 奭)

1956년 1월 21일생.

1980년 한양대학교 전자공학과 졸업

1982년 전북대학교 대학원 전자공학과 졸업

1992년 University of Missouri, Columbia, Dept. of Electrical and Computer Eng. 박사

1993년 - 현재 전북대학교 전자정보공학부 부교수

Tel : 063-270-2477

FAX : 063-270-2451

E-mail : hskim@moak.chonbuk.ac.kr