

퍼지 스테레오 정합 알고리즘

전효병, 심귀보

중앙대학교 공과대학 제어계측학과 로보틱스 및 지능정보 시스템 연구실

Fuzzy Stereo Matching Algorithm

Hyo-Byung Jun and Kwee-Bo Sim

Robotics and Intelligent Information System Lab., Chung-Ang University

요약 - 스테레오 영상 처리에 있어서 가장 중요한 단계는 좌우 영상간의 일치점을 찾는 영상 정합 단계라고 할 수 있다. 일반적인 영상 정합 방법으로는 영역 기반에 의한 방법과 특징점에 기반한 방법으로 나누어질 수 있다. 영역 기반의 방법은 많은 계산량을 필요로 하는 단점이 있으며, 특징점에 기반한 방법은 처리 속도는 향상시킬 수 있으나 전체적인 번이도를 구할 수 없는 단점이 있다. 한편 이미지 데이터 자체의 애매함이나 잡음, 처리 과정에서 발생하는 모호성, 인식과 해석 단계에서의 불확실한 지식등을 효과적으로 다루기 위해 퍼지 기법을 이용한 영상 처리 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 각 픽셀의 밝기를 소속함수 값으로 변환한 후, 이 소속함수 값을 이용하여 좌우 영상의 일치점을 찾는 퍼지 스테레오 정합 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 몇 가지 스테레오 영상에 적용하여 그 유효성을 입증한다.

1. 서 론

컴퓨터 비전의 궁극적 목표는 인간 시각 시스템의 기능을 컴퓨터로 구현하는데 있으며 이를 구현하기 위해서는 입력된 영상정보로부터 3차원 물체를 찾아내거나 인식하는 것이 가장 기본적인 과제라 할 수 있다. 2차원 영상으로부터 3차원 정보를 추출하는 과정은 매우 중요한 단계로서 하나의 카메라를 이용하는 단안시법과 두 개의 카메라를 이용하는 양안시법이 있는데 후자를 일반적으로 스테레오 비전이라고 한다. 스테레오 영상처리는 카메라 모델링, 특징 추출, 스테레오 정합, 3차원 깊이 추출의 4 단계로 구성된다. 이 중에서 스테레오 정합(stereo matching)은 좌우 영상간의 일치점을 찾아서 이 점들간의 차이(disparity)를 구하는 과정으로써 3차원 정보를 획득하는데 있어서 가장 중요한 과정이라고 할 수 있다. 스테레오 정합을 위한 방법으로는 크게 「영역 기반 방법(Area-based approach)」과 「특징기반 방법(Feature-based approach)」이 있다.

특징기반 방법에서는 먼저 영상특징을 추출하고 추출된 영상 특징 공간에서 정합시키는 것으로 처리속도를 향상시킬 수 있으나 영상의 전체 영역에 대한 조밀한 번이 추정엔 불가능하며, 이를 위해서는 보간(interpolation)과정을 거쳐야 한다. 스테레오 정합을 위해 추출되는 영상 특징으로는 필터링된 영상의 경계점(edge), 연결성을 가지는 윤곽선(coutour), 분할된 경계선(line segment), 모서리(cornor), 선소 등이 있다[1].

한편 영역기반 방법의 일반적인 처리 방법은 최대 상관도(cross-correlation)[2]나 최소 SSD(sum of squared difference)[3]를 이용하는 것이다. 이것은 국부적으로 작은

영역 영역을 정합 시킴으로써 조밀한 번이도를 구할 수 있지만, 정합 시키는 영상 영역내의 모든 지점의 번이가 서로 유사하다는 가정을 하여야 하므로 경계부분에서 많은 오차가 발생하며, 표면이나 반복되는 무늬가 있는 경우 정합의 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 또한 상관관계를 계산하고 이들 중에서 최대화되는 영역을 찾는 정합과정은 설정된 전체 영역에서 처리되어야 하므로 많은 계산 량이 요구되어 전체적인 처리속도가 떨어진다. 영역기반 정합을 이용한 방법들에는 정합되는 창의 크기를 가변 시키는 경우와 창에 가우시안 가중치를 적용하는 경우[4], 영상에 대한 정보들을 해상도가 낮은 계층에서 해상도가 높은 계층으로 점진적으로 해석하는 계층적인 방법[5] 등이 있다.

한편 영상처리의 적용에 있어서 이미지 데이터 자체의 애매함 또는 잡음, 처리 과정에서의 발생하는 모호성, 그리고 인식과 해석 단계에서의 불확실한 지식 등으로 인해 많은 계산 비용에도 불구하고 좋은 결과를 보이지 못하고 있다. 이와 같이 영상처리에 있어서 근본적으로 내재되어 있는 불확실성을 효과적으로 다루기 위한 방법으로 최근에 퍼지이론을 이용한 영상 처리 방법이 많이 연구되고 있다[6][7].

본 논문에서는 그레이 레벨의 영상을 퍼지화하여 퍼지 영상으로 변환한 다음, 퍼지 기법을 이용하여 좌우 영상의 정합점을 찾는 알고리즘을 제안한다.

2. 퍼지 영상 처리

영상 인식, 처리, 해석 등에 퍼지 이론을 적용한 모든 분야를 총칭하여 일반적으로 퍼지 영상처리 라고 한다. 퍼지 영상처리는 크게 3단계로 구성된다. 그림1에서와 같이 이미

지 퍼지화, 소속 함수의 변경, 이미지 비퍼지화로 구성되며 각각의 단계에 퍼지 로직과 퍼지 집합이론, 그리고 전문가의 지식 등이 사용된다.

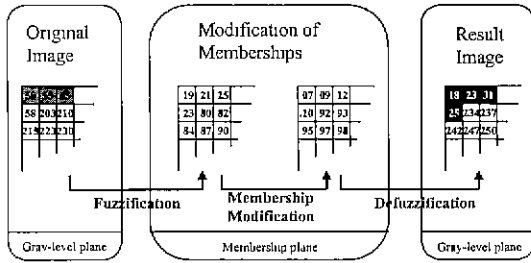


그림 1. 퍼지 이미지 처리의 단계

이것은 먼저 영상을 퍼지화 함으로써 퍼지 기법을 사용하여 영상 처리를 할 수 있게 된 후, 적절한 퍼지 기법을 사용하여 소속함수 값을 변경하고 비퍼지화를 통해 결과를 얻는 퍼징이라 할 수 있다. 퍼지 영성을 얻는 퍼지화 단계는 그레이 레벨을 0과 1 사이의 값으로 변환하는 과정으로, 사용되는 소속함수로는 표준 S-함수(시그모이드 함수)가 대표적이다. 결국 각 픽셀의 그레이 레벨은 밝기 정도를 나타내는 퍼지 집합에 대한 소속 정도를 나타내게 된다.

소속함수 값을 변경하는 방법으로는 퍼지 클러스터링이나, 퍼지 규칙 기반 방법, 퍼지 적분 방법 등을 이용하여, 영상의 대비(contrast)를 향상시키는 방법이나 히스토그램의 평원화 방법, 또는 잡음제거를 위한 퍼지 필터등이 있다.

3. 퍼지 스테레오 정합 알고리즘

본 논문에서는 이러한 퍼지 영상 처리 과정을 통해 스테레오 영상 정합을 함으로써 기존의 정합 알고리즘의 문제점을 개선하는 알고리즘을 제안한다.

L 그레이 레벨의 크기 $M \times N$ 인 영상 I 는 다음과 같이 퍼지 싱글톤의 집합으로 볼 수 있다.

$$I = \bigcup_m \bigcup_n \mu_{f(m,n)} / f(m,n) \quad (1)$$

여기서 $f(m,n)$ 은 픽셀 (m,n) 의 밝기 값이며, $\mu_{f(m,n)}$ 은 소속 정도를 나타낸다. 이 때 이미지 퍼지화를 위하여 사용된 소속함수는 다음과 같은 시그모이드 함수(S-function)를 사용하였다.

$$\mu(x) = \frac{1}{1 + \exp(-\alpha \times (x - c))} \quad (2)$$

여기서 α 는 기울기를 조절하는 상수로서 0.05로 하였으며 c 는 중심점을 결정하는 상수로서 128로 두었다. 따라서 영상 정합을 위한 크기 $M \times N$ 의 기준 이미지의 밝기를 $f(m,n)$ 라 하면 퍼지화된 이미지는 각 픽셀에서의 밝기 정도의 소속함수 $\mu_{f(m,n)}$ 으로 나타낼 수 있으며, 정합을 위한 $J \times K$ 의 sub-image를 $w(m,n)$ 라 하면 이것의 퍼지화된 이미지

는 $\mu_{w(m,n)}$ 의 값을 갖게 된다. 이 때 탐색 영역 A_s 내에서 정합 위치는 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$\mu_{c(p,q)} = 1 - [\max(\mu_{f(m,n)}, \mu_{w(m-p, n-q)}) - \min(\mu_{f(m,n)}, \mu_{w(m-p, n-q)})] \quad (3)$$

$$I_{c(p,q)} = \max_{A_s} \left\{ \frac{1}{J \times K} \sum_p \sum_q \mu_{c(p,q)} \right\} \quad (4)$$

즉 탐색영역 A_s 내에서 $\mu_{c(p,q)}$ 의 평균값이 최대가 되는 점이 정합점이 된다. 이러한 소속함수의 상관 관계를 그림으로 나타내면 그림 2와 같이 된다. 그림에서도 알 수 있는 바와 같이 기존 이미지의 소속함수와 정합하고자 하는 sub-image(window)의 소속함수가 일치하는 점에서 가장 높은 소속함수를 가지게 된다. 앞서 지적한 바와 같이 좌·우 영상에서의 잡음에 의한 불확실성과 시차에 의한 폐쇄 영역(occluded-region)이 존재하기 때문에 영상 정합의 어려움이 발생한다. 또한 기존의 영역 기반 정합 알고리즘에서의 정합 척도는 주로 영상의 밝기 차이, 밝기 차이의 절대치, 밝기 차이의 제곱, 상관도 등을 사용하였으나 퍼지 스테레오 정합에서는 정합 척도가 소속함수의 형태로 주어지게 된다. 즉 식 (4)에서의 $I_{c(p,q)}$ 가 그 점에서의 정합 척도로서 주어지며 이 정합 척도로서 영상의 전체적인 정합 정도를 구할 수 있게 된다.

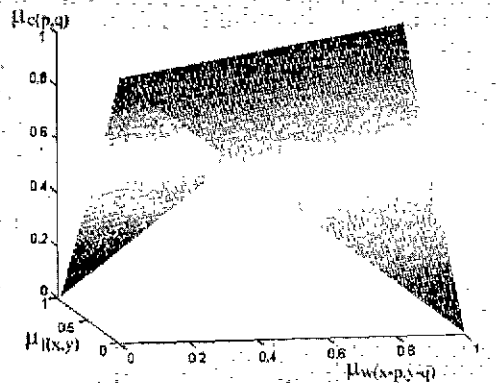


그림 2. 퍼지 영상 정합에서의 소속함수의 상관관계

또한 SSD(sum of squared difference)방법에 비해 상대적으로 계산 속도의 개선을 가져올 수 있음을 알 수 있다. SSD 방법은 식(5)와 같이 두 픽셀의 밝기 값의 차이의 제곱을 구하여 탐색영역 내에서 그 값이 가장 적은 점을 찾는 과정이다.

$$c(s,t) = \sum_x \sum_y [f(x,y) - w(x-s,y-t)]^2 \quad (5)$$

아래에서는 여러 가지 스테레오 영상에 대해서 SSD 방법과 퍼지 스테레오 정합 알고리즘(FSM)을 사용했을 때의 정합 결과를 비교하였다.

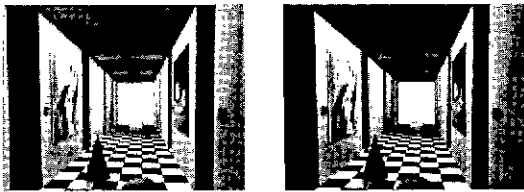
4. 실험

그림3은 합성 이미지에 대한 정합 결과이고, 그림 4는 신문지 위에 놓여 있는 야구공에 대한 정합 결과를 그레이 레벨로 표현한 것이다.

결과에서 보는 바와 같이 SSD방법을 사용한 것보다 본 논문에서 제안한 피지 스테레오 정합 방법이 우수한 결과를 보이고 있다. 특히 거리의 변화가 큰 경계면이나 밝기의 변화가 적은 표면에서 기존의 SSD 방법에서는 많은 오차를 발생하고 있으나 제안한 방법에서는 상당히 향상된 결과를 보이고 있다. 아울러 표 1에서 보는 바와 같이 실시간 정합을 위한 처리 속도면에서 약 25배 이상의 향상을 가져왔다.

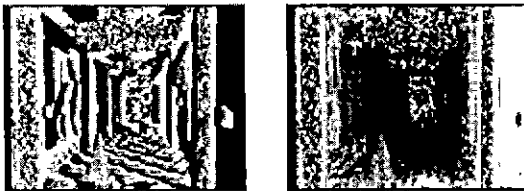
표 1 정합 속도 비교

Image	Image Size	Disparity Range	CPU Time	
			SSD	FSM
Corridor	394×305	[-12,5]	461.4s	17.5s
Base Ball	394×305	[-30,0]	1067.9s	36.8s



a) Left Image

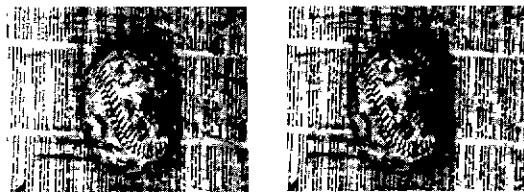
b) Right Image



c) SSD

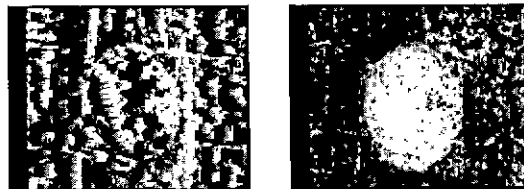
d) FSM

그림 3 Synthetic corridor



a) Left Image

b) Right Image



c) SSD

d) FSM

그림 4. Base ball on the paper

5. 결론

본 논문에서는 영상을 퍼지화 하여 각 픽셀의 밝기에 대한 소속 정도 값을 이용하여 좌우 영상의 일치점을 찾는 퍼지 스테레오 정합 알고리즘을 제안하였다. 기존의 영역 기반의 스테레오 영상 정합 알고리즘에서는 거리의 변화가 큰 경계 부분과 물체의 표면이나 반복된 무늬가 있는 경우 많은 오차가 발생하였으나, 제안한 알고리즘은 이러한 문제점을 개선할 수 있었다 또한 영역 기반의 정합 방법이 많은 계산량으로 인해 전체적인 처리 속도가 떨어지는 단점이 있었으나, 그레이 레벨의 영상을 퍼지 소속함수 값을 가지는 퍼지 영상으로 변환한 후 퍼지 기법을 이용함으로써 처리 속도의 향상을 가져왔다

그러나 동일한 밝기를 가지는 면에 대해서는 여전히 오차가 많이 존재함을 일 수 있다. 이것은 식(4)에서 구한 정합 정도 소속함수 값과 규칙에 기반한 추론을 이용하여 정합을 보완하는 연구가 계속 수행되어야 할 것이다.

감사의 글

이 논문은 1996년 한국학술진흥재단의 대학부설연구소과제 연구비에 의하여 연구되었음

[참고 문헌]

- [1]W. Eric L. Grimson, "Computatoinal Experiments with a Feature Based Stereo Algorithm," *IEEE Trans Pattern Anal Machine Intell* Vol. PAMI-7, No. 1, pp 17-33, 1985
- [2]R.C Gonzalez, R E Woods, *Digital Image Processing*. Addison-Wesley, 1993
- [3]M Okutomi, T Kanade, "A Multiple-BaseLine Stereo," *IEEE Trans Pattern Anal. Machine Intell.*, Vol. 15, No. 4, pp 353-363, 1993
- [4]Takeo Kanade, Masatoshi Okutomi, "A Stereo Matching Algorithm with an Adaptive Window Theory and Experiment," *IEEE Trans Pattern Anal Machine Intell.* Vol. 16, No 9, pp.920-932, 1994
- [5]C. Sun, "A Fast Stereo Matching Method," *Digital Image Computing' Techniques and Applications*, pp. 95-100, 1997
- [6]Hamid R. Tizhoosh, Manfred Fochem, "Fuzzy Histogram Hyperbolization for Image Enhancement," *Proc. of EUFIT'95* Vol 3, pp. 1695-1698, 1995.
- [7]J. Jantzen, P. Ring, P Christiansen. "Image Segmentation Based on Scaled Fuzzy Membership Functions," *Proc. 2nd IEEE Int Conf. on Fuzzy Systems*, Vol. 2, pp. 714-718, 1993.