

이미지 퍼지화를 이용한 스테레오 정합 알고리즘

A Stereo Matching Algorithm with Image Fuzzification

정영준 · 전효병 · 심귀보

Young June Chung, Hyo Byung Jun and Kwee Bo Sim

중앙대학교 전자전기공학부

요 약

스테레오 영상 처리에 있어서 중요한 단계는 스테레오 정합 과정이다. 이 과정은 좌우 영상에서 3차원적 일치점을 찾는 것이다. 이 방법에는 두 가지 방법이 있다. 첫 번째 방법은 영역기반의 접근방법이며 두 번째 방법은 특징기반의 방법이다. 영역기반의 방법은 많은 연산시간을 필요로 하는 반면에, 특징기반의 방법은 연산시간에 있어서는 장점이 있으나, 영상의 전체 화소에 대한 정합을 실시할 수 없는 단점이 있다. 최근, 영상처리에 있어서 영상의 모호함, 잡음, 지식의 애매함과 모순성을 해결하기 위해서 퍼지 영상처리 방법이 연구되고 있다. 본 논문에서는 퍼지 스테레오 정합 알고리즘을 제안한다. 이 방법은 영상의 밝기 정보를 퍼지 소속함수를 통해서 퍼지화 하고, 스테레오 정합을 위해서 영역기반의 접근방법을 수행한다. 실험을 통해 몇 가지의 스테레오 영상을 시험하여 그 유효성을 확인한다.

ABSTRACT

The most important step in stereo image processing is stereo matching process. That is finding pixels of 3 dimensional pair in the left and right image. There are two matching methods. One is an area based approach and the other is a feature based approach. An area based approach needs much calculation time. In the other hand, we have the advantage of calculation time in the feature based approach, but can not obtain matched data for all pixels in the image. In recent years, fuzzy image processing methods are developed to manage vagueness and noise in image and ambiguous, inconsistent knowledge in recognition step. In this paper, we propose a fuzzy stereo matching algorithm. This method converts brightness data of image to fuzzy membership value and processes an area based approach method for stereo matching algorithm. We experiment with some stereo images to validate effectiveness of this algorithm.

1. 서 론

컴퓨터 비전의 목적은 3차원 실세계에서 획득한 2차원 영상들의 유용한 정보들로부터 실세계의 3차원 모형을 생성하는 것이며 이를 위해서는 2차원 영상에 포함되어있는 물체들에 대한 정보와 3차원에서 2차원 으로의 사영에 대한 정보가 필요하다. 사영에 대한 정보는 영상처리 단계 이전에 획득된 영상과 실세계와의 관계를 정의하는 것으로 영상을 획득하고자 하는 실세계에 영상획득장치를 어떠한 방법으로 구성하는가에 따라서 여러 가지 사영 방법이 있을 수 있다. 영상획득에 주로 사용되는 사영 방법은 하나의 카메라를 사용하는 단안시법과 두 개의 카메라를 이용하는 양안시법이 있는데 후자를 일반적으로 스테레오 비전

이라고 한다. 스테레오 비전에 의한 영상처리는 카메라 모델링, 특징 추출, 스테레오 정합, 3차원 깊이 추출의 4단계로 구성된다. 이 중에서 스테레오 정합 (stereo matching)은 좌우 2차원 영상간의 3차원적 일치점을 찾아 이 점들간의 차이(disparity)를 구하는 과정으로써 3차원 정보를 획득하는데 있어서 가장 중요한 과정이라고 할 수 있다. 스테레오 정합을 위한 방법으로는 크게 「영역기반 방법(Area-based approach)」과 「특징기반 방법(Feature-based approach)」이 있다.

특징기반 스테레오 정합 방법에서는 먼저 영상특징을 추출하고 추출된 영상특징 공간에서 스테레오 정합을 수행하는 것으로 적은 데이터만으로 정합을 수행하기 때문에 처리속도를 향상시킬 수 있으나 영상의 전체 영역에 대한 조밀한 변이 추정엔 불가능하

*이 논문은 1996년 한국학술진흥재단의 대학부설연구소과제 연구비에 의하여 연구되었습니다.

며, 이를 위해서는 보간(interpolation)과정을 거쳐야 한다. 스테레오 정합을 위해 추출하는 영상 특징으로는 필터링 된 영상의 경계선(edge), 연결성을 가지는 윤곽선(contour), 분할된 경계선(line segment), 모서리(corner), 선소 등이 있다[1].

영역기반 방법의 일반적인 처리 방법은 최대 상관도(cross-correlation)[2]나 최소 SSD(sum of squared difference)[3]를 이용하는 것이다. 이것은 국부적으로 작은 영상 영역을 정합 시킴으로써 조밀한 변이도를 구할 수 있지만, 정합 시키는 영상 영역내의 모든 지점의 변이가 서로 유사하다는 가정을 하여야 하므로 경계부분에서 많은 오차가 발생하며, 면 성분이나 반복되는 무늬가 있는 경우 정합의 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 또한 상관관계를 계산하고 이들 중에서 상관도가 최대화되는 영역을 찾는 정합과정은 설정된 전체 영역에서 처리해야 하므로 많은 계산량이 요구되어 전체적인 처리속도가 떨어진다. 영역기반 정합을 이용한 방법들에는 정합 되는 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.

앞에서 기술한 영상정합의 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 일반적인 영상처리에 있어서 근본적으로 내재되어 있는 불확실성을 효과적으로 다루기 위한 방법으로 최근에 유전 알고리즘에 의한 방법[6] 및 퍼지이론을 이용한 영상 처리 방법 등이 많이 연구되고 있다[7,8].

본 논문에서는 흑백 그레이 레벨의 영상을 퍼지화 하여 퍼지 영상으로 변환한 다음, 퍼지 기법을 이용하여 좌우 영상의 정합점을 찾는 퍼지 스테레오 정합 알고리즘(FSM: fuzzy stereo matching)을 제안한다.

2. 퍼지 영상 처리

영상 인식, 처리, 해석 등에 퍼지 이론을 적용한 모든 분야를 총칭하여 일반적으로 퍼지 영상처리라 한다. 퍼지 영상처리는 크게 3단계로 구성된다. 그림 1에서와 같이 퍼지 멤버함수에 의한 이미지의 퍼지화, 소속 함수의 변경, 이미지 비퍼지화로 구성되며 각각의 단계에 퍼지 로직과 퍼지 집합이론이 사용되며, 이미지의 퍼지화와 소속함수의 변경 부분에는 전문가의 지식이 사용된다. 이것은 먼저 영상을 퍼지화

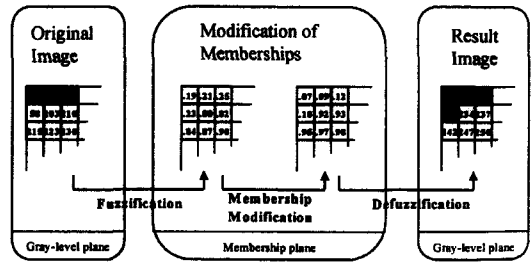


그림 1. 퍼지 이미지 처리의 단계.

함으로서 퍼지 기법을 사용하여 영상 처리를 할 수 있게 한 후, 적절한 퍼지 기법을 사용하여 소속함수 값을 변경하고 비퍼지화를 통해 결과를 얻는 과정이라 할 수 있다.

퍼지 영상을 얻는 퍼지화 단계는 그레이 레벨을 0과 1 사이의 값으로 변환하는 과정으로, 소속함수는 서로 다른 그레이 레벨에 대해서 같은 소속값을 갖지 않는 표준 S-함수(시스모이드 함수)가 대표적이다. 결국 각 픽셀의 그레이 레벨은 밝기 정도를 나타내는 퍼지 집합에 대한 소속 정도를 나타내게 되며 하나의 소속정도 값은 하나의 그레이 레벨 값에만 대응된다.

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

3. 퍼지 스테레오 정합 알고리즘

본 논문에서는 이러한 퍼지 영상 처리 과정을 통해 스테레오 영상 정합을 함으로써 기존의 정합 알고리즘에서 보이는 모호성과 불완전성의 문제점을 개선하는 알고리즘을 제안한다.

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

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

여기서, $f(m, n)$ 은 픽셀 (m, n) 의 밝기 값이며, $\mu_{f(m,n)}$ 은 소속 정도를 나타낸다. 이 때 이미지 퍼지화를 위하여 사용하는 소속함수로 식 (2)와 같은 시그모이드 함수(S-function)와 식 (3)과 같은 영상 밝기값의 히스토그램 누적 함수 등을 사용할 수 있다.

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

$$\mu_2(x) = \frac{\sum_{i=0}^x H(i)}{\text{전체 픽셀의 개수}} \quad (3)$$

위 두 식에서 $x=f(m, n)$ 이며, 식 (2)에서 α 는 기울기를 조절하는 상수로서 0.05로 하였으며 c 는 중심점을 결정하는 상수로서 일반적인 256 그레이 레벨의 중간값인 128로 두었다. 식 (3)에서 $H(i)$ 는 전체 영상에서 밝기값 i 를 갖는 픽셀의 개수인 히스토그램이다. 따라서 영상 정합을 위한 크기 $M \times N$ 의 기준 이미지의 밝기를 $f(m, n)$ 라 하면 퍼지화된 이미지는 각 픽셀에서의 밝기 정도의 소속값 $\mu_{f(m,n)}$ 으로 나타낼 수 있으며, 정합을 위한 $J \times K$ 의 sub-image를 $w(m, n)$ 라 하면 이것의 퍼지화된 이미지는 $\mu_{w(m,n)}$ 의 값을 갖게 된다. 그림 2는 왼쪽 이미지의 한 픽셀 (m, n) 에 대응되는 정합점을 찾는데 사용되는 영역들을 나타낸다. 왼쪽 이미지의 $J \times K$ sub-image와 가장 유사한 오른쪽 이미지의 $J \times K$ 영역을 A_s , 영역 내에서 찾아 왼쪽 이미지의 (m, n) 과의 정합점으로 판단하며, 이 때 탐색 영역 A_s 내에서 정합 위치는 다음의 식 (4)과 식 (5)와 같은 방법으로 구할 수 있다.

$$\mu_{c(p,q)} = 1 - \left[\max(\mu_{f(m,n)}, \mu_{w(m-p,n-q)}) - \min(\mu_{f(m,n)}, \mu_{w(m-p,n-q)}) \right] \quad (4)$$

$$I_{c(p,q)} = \max_{A_s} \left\{ \frac{1}{J \times K} \sum_p \sum_q \mu_{c(p,q)} \right\} \quad (5)$$

즉 탐색영역 A_s 내에서 $\mu_{c(p,q)}$ 의 평균값이 최대가 되는 점이 정합점이 된다. 이러한 소속함수의 상관 관계를 그림으로 나타내면 그림 3과 같이 된다.

그림에서도 알 수 있는 바와 같이 기준 이미지의 소속함수와 정합 하고자 하는 sub-image(window)의 소속함수가 일치하는 점에서 가장 높은 소속함수를 가지게 된다. 앞서 지적한 바와 같이 좌·우 영상에서는 잡음에 의한 불확실성과 시차에 의한 폐쇄 영역

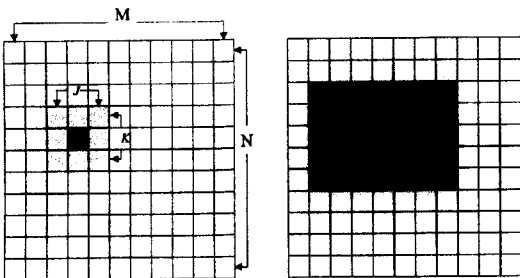


그림 2. 좌우 이미지에서의 연산영역.

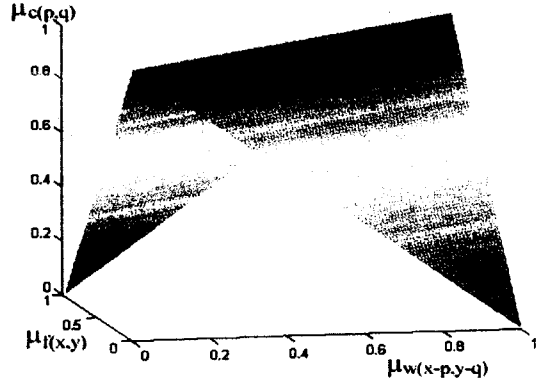


그림 3. 퍼지 영상 정합에서의 소속함수의 상관관계.

(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 (5)에서의 $I_{c(p,q)}$ 가 그 점에서의 정합 척도로서 주어지며 이 정합 척도로서 영상의 전체적인 정합 정도를 구할 수 있게 된다.

SSD 방법은 식 (6)과 같이 두 픽셀의 밝기 값의 차이의 제곱을 구하여 탐색영역 내에서 그 값이 가장 적은 점을 찾는 과정이다. 또한 최소 SSD 방법에서는 연산과정에 제곱 연산을 수행하기 때문에 퍼지 스테레오 정합 방법이 상대적인 계산 속도의 개선을 가져올 수 있음을 알 수 있다.

$$c(s, t) = \sum_x \sum_y [f(x, y) - w(x - s, y - t)]^2 \quad (6)$$

영역기반의 정합 방법이 기본적으로 면 성분에 대한 부분이 잘 이루어지지 않는 단점을 보완하기 위해서 대부분의 실험방법에서는 면 부분에 가우시안 노이즈 처리를 하게 된다. 이 방법은 영상 획득 이전 단계에 실제 물체에 가해야 하는 처리로서 물체가 큰 경우 등에는 처리하기 힘든 부분이다. 따라서 본 논문에서는 면에 대한 정합을 향상시키기 위해서 $J \times K$ 윈도우 내에서의 정합척도를 이용한다. 면 성분에서 정합이 올바르게 되지 않는 이유는 이미지에서 하나의 면 성분에 해당하는 부분은 거의 같은 그레이 레벨을 갖기 때문이다. 따라서 탐색 영역 A_s 내에서의 $\mu_{c(p,q)}$ 의 평균값은 모두 비슷한 값을 갖게 되며 식 (7)과 같은 $\mu_{c(p,q)}$ 의 평균에 대한 분산 $var(m, n)$ 또한 작은 값을 갖게 된다.

$$var(m, n) = \text{variation of } \left\{ \frac{1}{J \times K} \sum_p \sum_q \mu_{c(p, q)} \right\} \text{ in } A_s \quad (7)$$

면 성분에서의 정합오류를 보완하기 위해서 $var(m, n)$ 값이 작은 영역의 내부를 면으로 설정하고 그 주변의 정보로부터 내부 영역의 정보를 복원하는 방법을 사용한다. 본 연구에서는 이미지의 정합과정에서 $var(m, n)$ 값이 주어진 임계치 이하인 영역을 면으로 설정하고 그 영역의 시작점과 끝점의 정합된 거리값을 선형분포 시키는 방법을 사용하였다.

다음의 실험에서는 여러 가지 스테레오 영상에 대해서 SSD 방법과 퍼지 스테레오 정합 알고리즘을 사용했을 때의 정합 결과를 비교하였다.

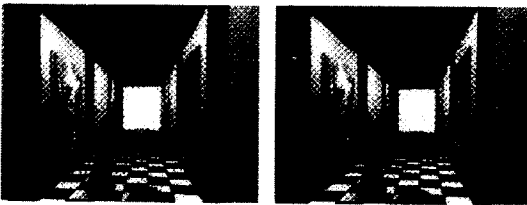
4. 실험

그림 4와 그림 5는 제안한 방법의 유효성을 확인하기 위해서 실험한 이미지들이다.

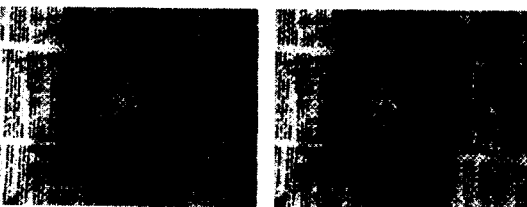
그림 4(a)와 4(b)는 각각 인공적으로 합성된 복도의 좌우 이미지이며 그림 5(a)와 5(b)는 각각 신문지위의 야구공에 대한 좌우 이미지이다.

그림 6은 최소 SSD 방법에 의해서 얻은 결과이다. 두가지 결과 모두 면성분에 대한 정합에 오차가 많음을 볼 수 있다.

그림 7은 시그모이드 함수를 사용하여 이미지를 퍼지화한 FSM에 의해서 얻은 결과이다. 최소 SSD 방법에 의한 결과에 비해서 정합성능이 좋아졌지만, 면 부분에서의 정합은 잘 이루어지지 않음을 볼 수 있다.



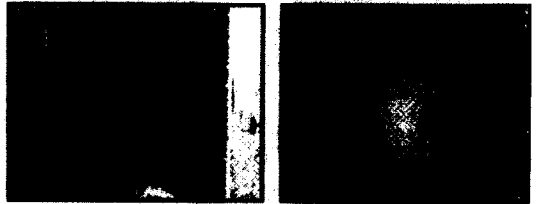
(a) 왼쪽 이미지 (b) 오른쪽 이미지
그림 4. 합성된 복도 이미지.



(a) 왼쪽 이미지 (b) 오른쪽 이미지
그림 5. 신문지 위의 야구공 이미지.



(a) 합성된 복도 이미지 (b) 야구공 이미지
그림 6. 최소 SSD 방법에 의한 정합결과.

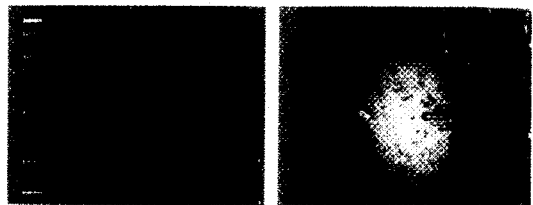


(a) 합성된 복도 이미지 (b) 야구공 이미지
그림 7. FSM 방법에 의한 정합결과(시그모이드 함수).

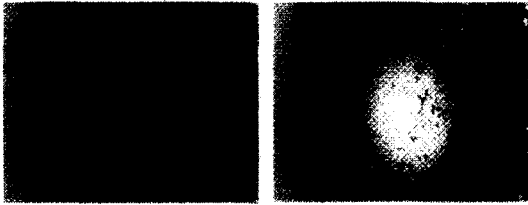
특히 거리의 변화가 큰 경계면이나 밝기의 변화가 적은 표면에서 기존의 최소 SSD 방법에서는 많은 오차를 발생하고 있으나 제안한 방법에서는 상당히 향상된 결과를 보이고 있다.

그림 8은 그림 7의 결과에서 분산을 이용한 면성분 보간을 수행한 결과이다. 그림 8(a)에서는 뒤 벽면과 천장부분의 같은 밝기를 갖는 면에 대한 거리정보가 좀더 확실하게 나타남을 볼 수 있다. 그림 8(b)에서는 면 내부에 비슷한 밝기를 갖는 면성분이 없기 때문에 FSM의 결과와 크게 다르지 않다. 한편 면으로 설정된 주변에서의 정합이 올바르게 이루어지지 않음으로 인해서 설정된 면 내부의 보간이 잘 이루어지지 않는 부분도 볼 수 있지만, 전체적으로 좀 더 좋은 결과를 볼 수 있다.

그림 9는 이미지 정보를 퍼지화 할 때 각 이미지의 누적 히스토그램을 사용하여 정합한 결과이다. 그림 7의 시그모이드 함수를 이용한 퍼지화 했을 때의 결



(a) 합성된 복도 이미지 (b) 야구공 이미지
그림 8. 분산에 의한 면처리를 수행한 FSM 결과.



(a) 합성된 복도 이미지 (b) 야구공 이미지
 그림 9. FSM 방법에 의한 정합결과(누적 히스토그램).

표 1. 정합속도 비교

Image	Image Size	CPU Time (Second)		
		SSD	FSM	FSM with surface process
Corridor	394×305	461.4	17.5	353.2
Base ball	394×305	1067.9	36.8	523.3

과와 비교했을 때 큰 차이가 나타나지 않는다.

연산속도 면에 있어서는 표 1과 같이 최소 SSD 보다는 FSM 방법이 속도 또한 향상되었지만 면에 대한 보간이 이루어질 경우에는 분산을 계산하는 부분에서 연산량이 증가하여 FSM 방법보다 시간이 많이 소요된다.

5. 결 론

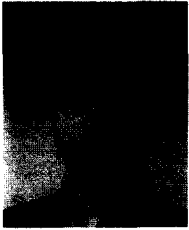
본 논문에서는 영상을 퍼지화 하여 각 픽셀의 밝기에 대한 소속 정도 값을 이용하여 좌우 영상의 일치점을 찾는 퍼지 스테레오 정합 알고리즘을 제안하였다. 기존의 영역 기반의 스테레오 영상 정합 알고리즘에서는 거리의 변화가 큰 경계부분과 물체의 표면이나 반복된 무늬가 있는 경우 많은 오차가 발생하였으나, 제안한 알고리즘은 이러한 문제점을 개선할 수 있었다. 또한 영역 기반의 정합 방법이 많은 계산량으로 인해 전체적인 처리 속도가 떨어지는 단점이 있었으나, 그레이 레벨의 영상을 퍼지 소속함수 값을 가지는 퍼지 영상으로 변환한 후 퍼지 기법을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

처리 속도의 향상을 가져왔다. 동일한 밝기를 가지는 면에 대해서는 영상의 변화정도에 대한 분산으로 보간을 수행하여 면에서의 정합 오차를 어느 정도 해결되었지만, 분산을 계산하는 부분에서 연산속도가 증가하는 단점도 보였다.

퍼지를 이용한 스테레오 정합에 있어서 식 (5)에서 구한 정합정도 소속함수 값과 규칙에 기반한 퍼지추론을 이용하여 정합을 보완하는 연구가 계속 수행되어야 하며, 유사한 밝기값을 갖는 면에 대한 보간에 있어서는 보간을 수행할 면에 대한 설정, 설정된 면 내부의 보간방법 등에 대한 깊은 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] W. Eric L. Grimson, "Computational Experiments with a Feature Based Stereo Algorithm", *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, PAMI-7(1), 17-33, 1985.
- [2] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison-Wesley, 1993.
- [3] M. Okutomi and T. Kanade, "A Multiple-BaseLine Stereo", *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, 15(4), 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.*, 16(9), 920-932, 1994.
- [5] C. Sun, "A Fast Stereo Matching Method", *Digital Image Computing: Techniques and Applications*, 95-100, 1997.
- [6] 김용석, 한규필, 김기석, 하영호, "유전 알고리즘을 이용한 스테레오 정합", *전자공학회 논문지 제 35권 제4호*, pp. 53-62, 1998.
- [7] Hamid R. Tizhoosh, Manfred Fochem, "Fuzzy Histogram Hyperbolization for Image Enhancement", *Proc. of EUFIT'95*, 3, 1695-1698, 1995.
- [8] J. Jantzen, P. Ring and P. Christiansen, "Image Segmentation Based on Scaled Fuzzy Membership Functions", *Proc. 2nd IEEE Int. Conf. on Fuzzy Systems*, 2, 714-718, 1993.



정영준(Young-June Chung)

1998년 : 중앙대학교 제어계측공학과
공학사

1998년~현재 : 중앙대학교 대학원 제어
계측학과, 석사과정(로보틱스
및 지능정보 시스템)

주관심분야 : 지능시스템, Machine
Vision

심귀보(Kwee-Bo Sim)

제 8권 제 3호 참조

현재 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수

전효병(Hyo-Byung Jun)

제 8권 제 3호 참조

현재 : 중앙대학교 대학원 제어계측학과, 석사과정(로보틱스
및 지능정보 시스템)
