

스테레오 정합 특징 요소 선택을 위한 잡음 감소 필터링과 에지 검출 필터링의 성능 평가와 결합

문창기[†] · 예철수

극동대학교 컴퓨터정보표준학부

An Evaluation and Combination of Noise Reduction Filtering and Edge Detection Filtering for the Feature Element Selection in Stereo Matching

Chang-Gi Moon[†] and Chul-Soo Ye

School of Computer Science, Information and Standard, Far East University

Abstract : Most stereo matching methods use intensity values in small image patches to measure the correspondence between two points. If the noisy pixels are used in computing the corresponding point, the matching performance becomes low. For this reason, the noise plays a critical role in determining the matching performance. In this paper, we propose a method for combining intensity and edge filters robust to the noise in order to improve the performance of stereo matching using high resolution satellite imagery. We used intensity filters such as Mean, Median, Midpoint and Gaussian filter and edge filters such as Gradient, Roberts, Prewitt, Sobel and Laplacian filter. To evaluate the performance of intensity and edge filters, experiments were carried out on both synthetic images and satellite images with uniform or gaussian noise. Then each filter was ranked based on its performance. Among the intensity and edge filters, Median and Sobel filter showed best performance while Midpoint and Laplacian filter showed worst result. We used Ikonos satellite stereo imagery in the experiments and the matching method using Median and Sobel filter showed better matching results than other filter combinations.

Key Words : Ikonos satellite imagery, stereo matching, robust features.

요약 : 대부분의 스테레오 정합 방법은 두 점간의 대응점을 측정하는데 있어 밝기값을 사용하며 잡음의 영향을 받은 화소가 정합에 사용될 경우 정합 성능이 저하된다. 따라서 잡음은 정합 성능을 결정짓는 중요한 역할을 한다. 본 논문에서는 고해상도 위성영상에서 정합 성능을 향상시키기 위해 잡음에 강건한 밝기 필터와 에지 필터를 이용하여 정합하는 방법을 제안한다. Mean, Median, Midpoint, Gaussian 필터와 같은 밝기 필터와 Gradient, Roberts, Prewitt, Sobel, Laplacian 필터와 같은 에지 필터를 사용하였다. 에지 필터와 밝기 필터의 성능 평가를 위해 균일 잡음 또는 가우시안 잡음이 첨가된 합성 영상과 위성 영상에 대해 실험을 수행하였고 필터들은 성능에 따라 순위를 정하였다. 밝기 필터와 에지 필터들 중에서 Median 필터와 Sobel 필터가 가장 우수한 성능을 나타낸 반면에 Midpoint 필터와 Laplacian 필터는 가장 저조한 성

능을 나타내었다. Ikonos 스테레오 위성영상을 실험 영상으로 사용하였으며 Median 필터와 Sobel 필터를 이용한 정합 방법이 다른 필터 조합을 이용한 정합 방법보다 향상된 정합 결과를 나타내었다.

1. 서론

최근 Ikonos나 Quickbird와 같은 1m 공간해상도 이하의 고해상도 위성영상이 상용화됨에 따라 고해상도 위성영상을 이용한 3차원 도시 모델 구축에 관한 관심이 크게 증가하고 있다. 특히, 2007년 7월부터 다목적 실용위성2호기가 제공하는 1m 해상도의 전정색 밴드 영상과 4m 해상도의 다중분광 영상의 취득이 본격적으로 가능하게 되면서 이를 이용한 정밀한 3차원 도시 모델 구축에 관한 연구는 보다 가속화 될 전망이다.

3차원 도시 모델 구축의 핵심적인 기술인 스테레오 정합은 크게 특징 기반(feature-based) 정합과 영역 기반(area-based) 정합으로 분류할 수 있다. 특징 기반 정합은 객체의 특징(feature)을 찾는데 주력하기 때문에 영상의 모든 화소에 대해 정합점을 얻기가 어렵다. 반면에, 영역 기반 정합은 영상의 모든 화소에 대해 정합이 필요하며 정밀한 계산 과정이 요구된다.

영역 기반 정합의 성능을 향상시키기 위해 대응점의 유사도 판별에 사용되는 특징을 밝기 정보, 에지 정보 혹은 다차원 특징을 이용한 연구가 수행되었다. 웨이블릿(wavelet) 변환을 통해 얻어진 대역 중에서 저주파가 통과된 대역을 밝기 정보로, 나머지 대역은 에지 정보로 간주하여 밝기 정보와 에지 정보를 동시에 정합에 이용한 연구(김용석 외, 1994), normalized cross correlation 방법을 이용하여 생성된 변이 정보에 Nevatia와 Babu의 선형 특징 검출기를 이용하여 생성된 에지 정보를 보간하여 정합한 연구(Cochran and Medioni, 1992), 영상의 밝기값, Sobel 에지, texture number를 다차원 특징으로 고려하여 generalised correlation 또는 dynamic programming 방법으로 정합한 연구(Jawarhar and Narayanan, 2002a, 2002b) 등이 여기에 속한다. 이러한 방법은 영상 내 화소의 특징을 나타내는 정보를 가능하면 많이 정합에 이용함으로써 한 가지 특징을 사용하여 정합할 경우에 비해 정합 성능이 높아진다. 밝기 정보와 에지 정보를 동시에 정합에 이용할 경우 정합의 성능이 향상되지만 기존의 연구에서는 정합 성능의 향상을 위해 어떠한 종류의 밝기 정보와 에

지 정보를 이용하는 것이 정합에 유리한지에 대한 비교 연구가 수행되지 않았다.

본 논문에서는 기존의 스테레오 정합 성능을 결정짓는 중요한 요인인 잡음의 영향을 최소화 하면서 다차원 특징 벡터(Multidimensional feature vector)를 기반으로 밝기 정보와 에지 정보를 정합에 동시에 이용하여 정합 성능의 향상을 도모한다. 이를 위해 기존의 정합 방법들에서 고려되지 않았던 다양한 필터가 적용된 밝기값과 에지를 잡음에 대한 성능 평가를 수행하고 잡음에 강건한 특징들을 선택한 후에 선택된 특징들을 스테레오 정합에 동시에 사용하여 정합 성능을 향상 시키는 방법을 제안한다.

2. 잡음에 강건한 특징 추출

잡음은 영상의 화질을 손상시키는 주요한 원인 중 하나이며 따라서 영상처리 알고리즘의 성능에 많은 영향을 준다. 특히, 1m 급의 고해상도 위성영상과 같은 EOC(Electro Optical Camera) 영상을 이용할 경우 EOC 영상은 항공 영상에 비해 많은 양의 잡음을 포함하고 있기 때문에 잡음을 제거하는 과정이 필수적으로 요구된다.

잡음을 제거하면서 원영상의 밝기 정보를 열화가 없이 효과적으로 보존하기 위해 많은 방법들이 연구되었다. 고해상도 위성영상을 이용하여 전처리 과정에서 잡음을 제거한 연구로는 평균 곡률 확산(mean curvature diffusion) 기법을 적용하여 잡음이 제거된 영상을 분할한 연구(Ye and Lee, 2001), 가우시안(gaussian) 필터, 적응적(adaptive) 필터, 메디안(median) 필터, 형태학적(morphological) 필터 등을 영상 향상을 위해 순차적으로 적용하고 여러 에지 검출기에 대한 성능 평가를 수행한 연구(Karantzalos and Argialas, 2003) 등이 있었다.

Fig. 1은 본 논문에서 제안한 알고리즘에 대한 흐름도를 나타낸다. 먼저 영상의 밝기 정보와 에지 정보를 정합에 동시에 이용하기 위해 필터의 유형을 밝기 필터

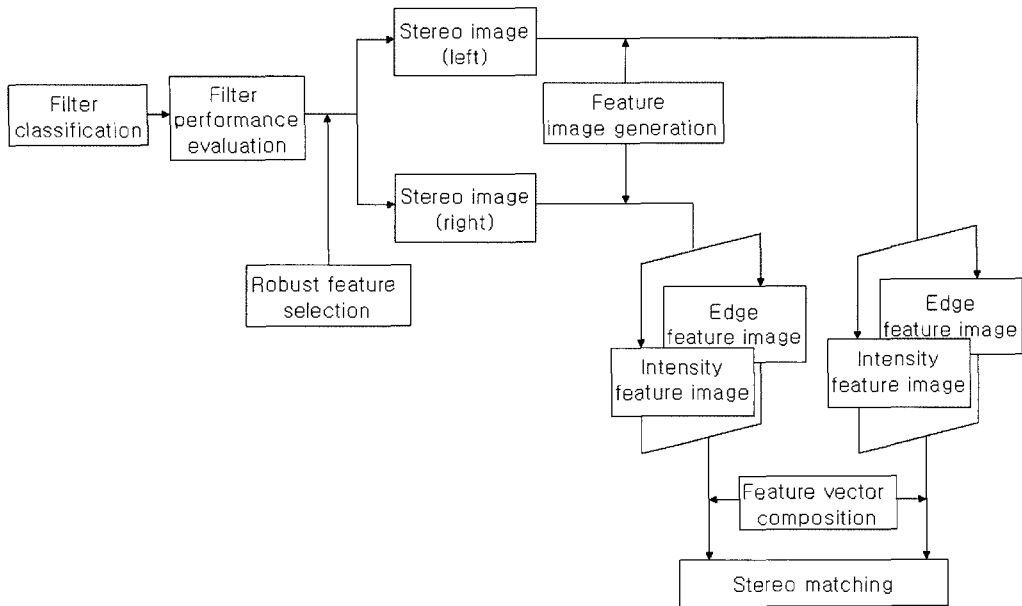


Fig 1. Flowchart of proposed algorithm.

와 에지 필터로 분류한다. 스테레오 정합의 성능을 결정 짓는 중요한 요인인 잡음에 강건한 필터를 선택하기 위해서 필터들을 잡음에 대한 성능 평가를 수행한다. 잡음에 가장 강건한 밝기 필터와 에지 필터를 이용하여 좌, 우측 영상에 대한 특징 영상을 만들고 각 특징 영상에서 각 화소에 위치하는 특징값을 모아서 특징 벡터를 구성한다. 스테레오 정합에서 동일점을 찾기 위해 좌, 우 영상의 화소가운데 특징 벡터의 거리가 최소가 되는 점을 찾아 정합점으로 결정한다. 잡음에 강건한 필터들의 조합과 잡음에 약한 필터들의 조합을 사용하여 각각 정합

을 수행한 후 잡음에 강건한 특징 추출이 정합 성능에 미치는 영향을 분석한다.

1) 필터 분류 및 영상 정합

필터 분류: 영상의 밝기 정보와 에지 정보를 정합에 동시에 사용하기 위해 필터의 유형을 Table 1과 같이 분류한다. Table 1의 필터들을 주파수 영역의 측면에서 고려해봤을 때 밝기값은 저주파를 통과 시켰을 때 부각되는 특징을 의미하며 에지는 고주파를 통과 시켰을 때 부각되는 특징을 의미한다. 저주파만을 통과 시키면 잡음

Table 1. Filter classification (he: horizontal edge, ve: vertical edge).

Filter type	Property	Kernel	Weight
Intensity filter	Mean	5 × 5 window mask	1
	Median	5 × 5 window mask	1
	Midpoint	5 × 5 window mask	1
	Gaussian	5 × 5 window mask	1
Edge filter	Gradient	$\sqrt{(f(x, y + 1) - f(x, y))^2 + (f(x - 1, y) - f(x, y))^2}$	1
	Roberts	he: (00-1 010000) ve: (-100010000)	1
	Prewitt	he: (10-1 10-1 10-1) ve: (-1 -1 -1000 1 1 1)	1
	Sobel	he: (10-1 20-2 10-1) ve: (-1 -2 -1000 1 2 1)	1
	Laplacian	(0 1 0 1 -4 1 0 1 0)	1

제거에는 효과적이지만 영상의 선명도를 떨어뜨리며, 반대로 고주파만을 통과 시키면 에지처럼 밝기값이 급격하게 변하는 부분은 유지시키지만, 잡음에는 민감하다는 단점이 존재한다. 이러한 점을 고려하여 본 연구에서는 영상의 밝기값과 에지를 정합에 사용되는 특징으로 동시에 이용한다.

Table 1의 필터들은 잡음을 제거하면서 영상을 향상시키는 밝기 필터와 화소의 1, 2차 미분값을 가지는 에지 필터로서 잘 알려져 있다. 이외에도 보다 다양한 밝기 필터와 에지 필터를 고려할 수 있으나 본 연구에서는 파라미터 값의 설정에 따라 성능이 좌우될 수 있는 요소를 피하기 위하여 파라미터를 사용하지 않는 몇 가지 대표적인 필터를 사용한다.

영상 정합: 기준(reference) 영상과 탐색(search) 영상에 대해 Table 1의 밝기 필터와 에지 필터가 각각 적용된 특징 영상(feature image)을 생성한다. 각 특징 영상에서 각 화소에 위치하는 특징값을 모아서 Fig. 2와 같이 특징벡터(feature vector)를 구성한다. 특징 벡터의 각 특징 요소간의 중요성을 고려하여 가중치를 결정할 수 있다. 스테레오 정합에서 동일점을 찾기 위해 기준 영상의 특징 벡터 \vec{r} 과 정합 대상이 되는 탐색 영상의 특징 벡터 \vec{s} 의 거리가 최소가 되는 점을 정합점으로

결정한다. 이 때 특징 벡터 \vec{r} 과 특징 벡터 \vec{s} 사이의 거리는 식 (1)과 같이 유클리디안 거리(Euclidean Distance)를 이용한다(Kropatsch and Birschhof, 2001). 오정합을 줄이기 위해 특징 벡터의 거리가 정합 임계값보다 작은 경우에만 최종 정합점으로 결정한다. Fig. 2의 정합 방법은 밝기 필터와 에지 필터를 결합해서 정합에 동시에 이용함으로써 한 가지 특징을 사용하여 정합할 경우에 비해 정합 성능이 높아진다.

$$|\vec{r} - \vec{s}| = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^m ((f_i - g_i) \cdot w_i)^2}{\sum_{i=1}^m w_i^2}} \quad (1)$$

2) 잡음 모델 및 필터 성능 평가

잡음 모델: 디지털 영상에서 잡음은 주로 영상을 취득하는 과정과 전송하는 과정에서 발생하며 잡음 모델은 크게 가우시안(Gaussian), Rayleigh, 감마(Erlang), 지수(Exponential), 균일(Uniform), 임펄스(Impulse) 잡음의 형태로 분류할 수 있다(Gonzalez and Woods, 2002).

본 연구에서는 Fig. 3과 같이 밝기값의 확률 $p(z)$ 이 평균 μ 을 중심으로 가우시안 분포를 가지는 가우시안 잡

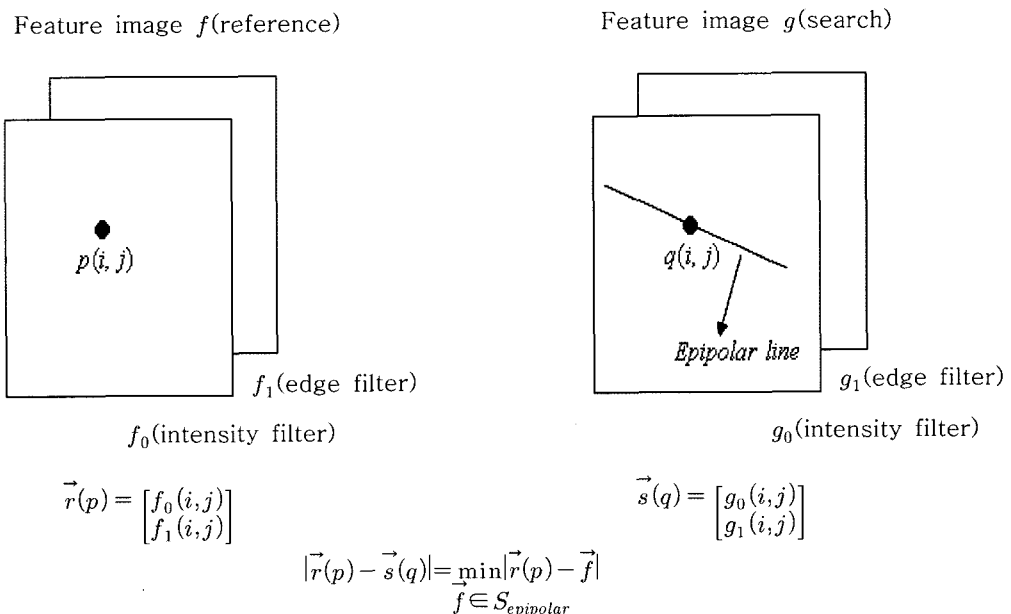


Fig 2. Principle of feature vector matching.

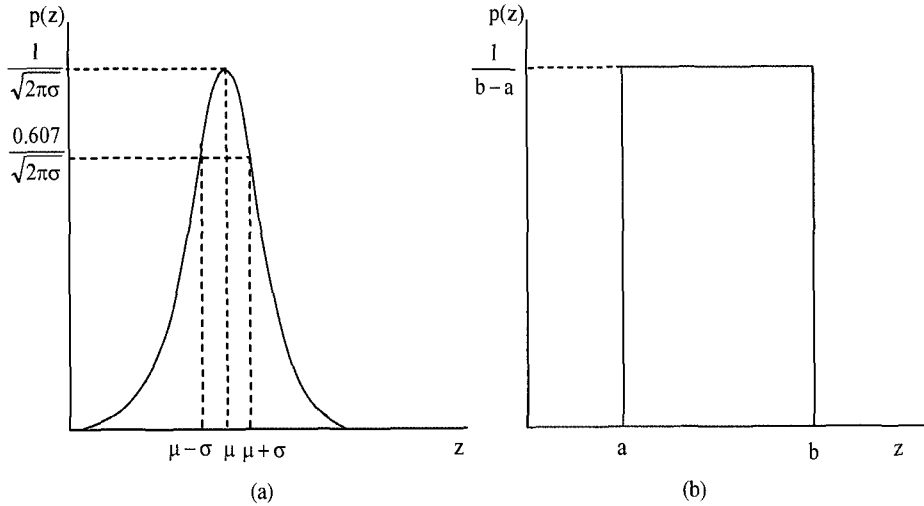


Fig 3. Probability density function (a) gaussian (b) uniform.

음과 밝기값의 확률 $p(z)$ 이 a 에서 b 까지 특정한 구간에 걸쳐 일정하게 분포하는 균일 잡음을 잡음 모델로 사용한다. 가우시안 잡음 모델은 영상 취득 장치에서 발생하는 전자 잡음과 같은 일반적인 잡음을 처리하기 위해 가장 많이 이용되며 균일 잡음 모델은 여러 형태의 잡음 분포를 생성할 수 있고 영상 복원 알고리즘의 평가를 위한 영상의 열화에 사용된다(Umbaugh, 2005).

필터 성능 평가 : Fig. 4는 실험에 사용된 영상과 잡음을 첨가한 영상을 나타낸다. (a)에서 (c)는 실험에 사용된 Lenna 영상, Ikonos 위성영상, 합성 영상을 나타내며 (d)에서 (f)는 각 실험 영상에 균일 잡음을 5% 첨가한 영상을, (g)에서 (i)는 가우시안 잡음을 10% 첨가한 영상을 나타낸다.

Fig. 5는 잡음이 첨가된 Lenna 영상에 각 밝기 필터를 적용한 결과를 나타낸다. (a)에서 (d)는 균일 잡음이 5% 첨가된 Lenna 영상에 Table 1의 밝기 필터를 Mean, Median, Midpoint, Gaussian의 순서로 적용시킨 각 영상을, (e)에서 (h)는 가우시안 잡음이 10% 첨가된 Lenna 영상에 Table 1의 밝기 필터를 Mean, Median, Midpoint, Gaussian의 순서로 적용시킨 각 영상을 나타낸다. 균일 잡음이 5% 첨가된 Ikonos 위성영상과 가우시안 잡음이 10% 첨가된 Ikonos 위성영상에 동일한 방법으로 실험을 하였으며 Lenna 영상에 대한 실험 결과를 대표로 나타내었다.

Fig. 5의 결과에서 볼 수 있듯이 균일 잡음 또는 가우

시안 잡음을 첨가한 모든 실험에서 Midpoint 필터나 Mean 필터에 비해 Gaussian 필터나 Median 필터가 잡음을 효과적으로 제거하면서 경계선을 보존 할 수 있었다. Fig. 5의 결과에 대한 정량적인 평가를 위해 영상의 화질을 평가하는 대표적인 방법인 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 이용하였다. PSNR은 식 (2)와 같이 정의하여 계산된다.

$$MSE = \frac{1}{mm} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \|I(i, j) - K(i, j)\|^2 \quad (2)$$

$I(i, j)$: 원영상의 밝기값

$K(i, j)$: 잡음이 추가된 영상의 밝기값

$$PSNR = 20 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I}{\sqrt{MSE}} \right)$$

MAX_I : 영상의 최대 화소값

Table 2는 각 밝기 필터를 적용한 Lenna 영상과 Ikonos 위성영상에 대해 PSNR 값을 비교한 결과를 나타낸다. PSNR 값이 높을수록 우수한 화질을 의미한다. 균일 잡음을 첨가한 실험에서 Median 필터의 PSNR 값이 가장 높았으며(Lenna: 24.8365, Ikonos: 24.1376) Gaussian, Mean, Midpoint 필터의 순서로 PSNR 값이 높은 결과를 얻었다. 가우시안 잡음을 첨가한 실험에서는 Gaussian 필터의 PSNR 값과 Median 필터의 PSNR 값이 거의 유사하였으나 Gaussian 필터의 PSNR 값이 근소하게 높았으며(Lenna-Gaussian:

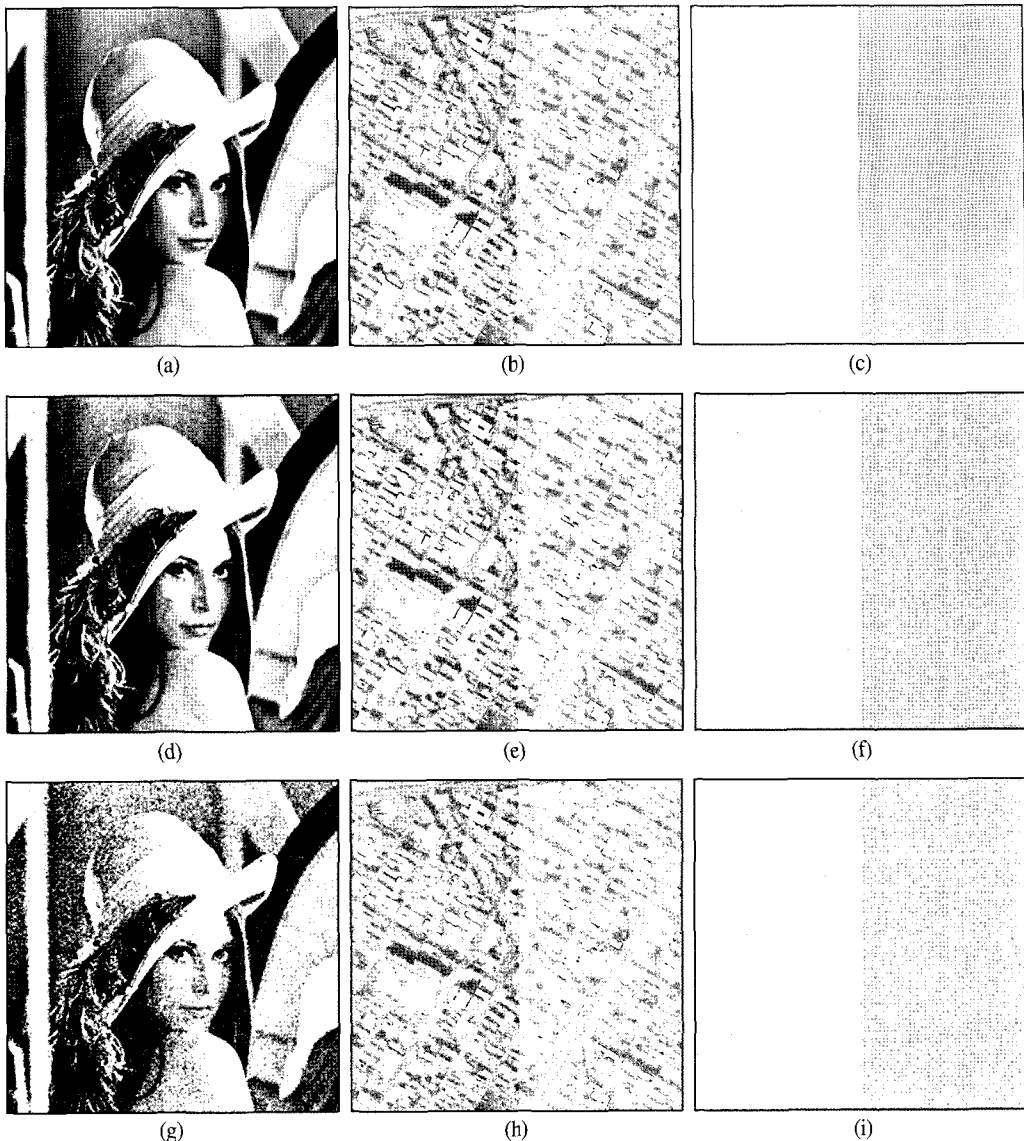


Fig 4. Test images (a)-(c): original images (d)-(f): images with 5% uniform noise (g)-(i): images with 10% gaussian noise.

24.8304, Median: 24.4775, Ikonos-Gaussian: 22.4644, Median: 24.2473) Mean, Midpoint 필터의 순서로 PSNR 값이 높은 결과를 얻었다. 특히, Midpoint 필터는 균일 잡음 또는 가우시안 잡음을 첨가한 모든 실험에서 가장 저조한 성능을 보였다.

Median 필터는 마스크 내 중간값만을 출력 영상의 화소값으로 결정하기 때문에 Median 필터를 적용하면 잡음의 영향을 받은 화소가 출력 영상의 화소값으로 고려될 가능성이 낮으므로 경계선을 보존하면서 잡음을 제거하였다. 반면에 Mean 필터는 마스크 내 평균값을

출력 영상의 화소값으로 결정하며 Midpoint 필터는 마스크 내 화소의 최소값과 최대값의 평균값을 출력 영상의 화소값으로 결정한다. 따라서 출력 영상의 화소값으로 마스크 내 잡음의 영향을 받은 화소까지 함께 고려되기 쉬우므로 Median 필터에 비해 잡음 제거 성능이 낮아진다. 또한, 평균(average)을 적용하기 때문에 경계선 근처에서 블러링(blurring) 현상이 많이 발생하였다. Gaussian 필터는 Fig. 3의 (a)와 같은 가우시안 분포를 적용하기 때문에 가우시안 잡음을 첨가한 실험에서는 Median 필터보다 다소 우수한 성능을 보였지만 균일

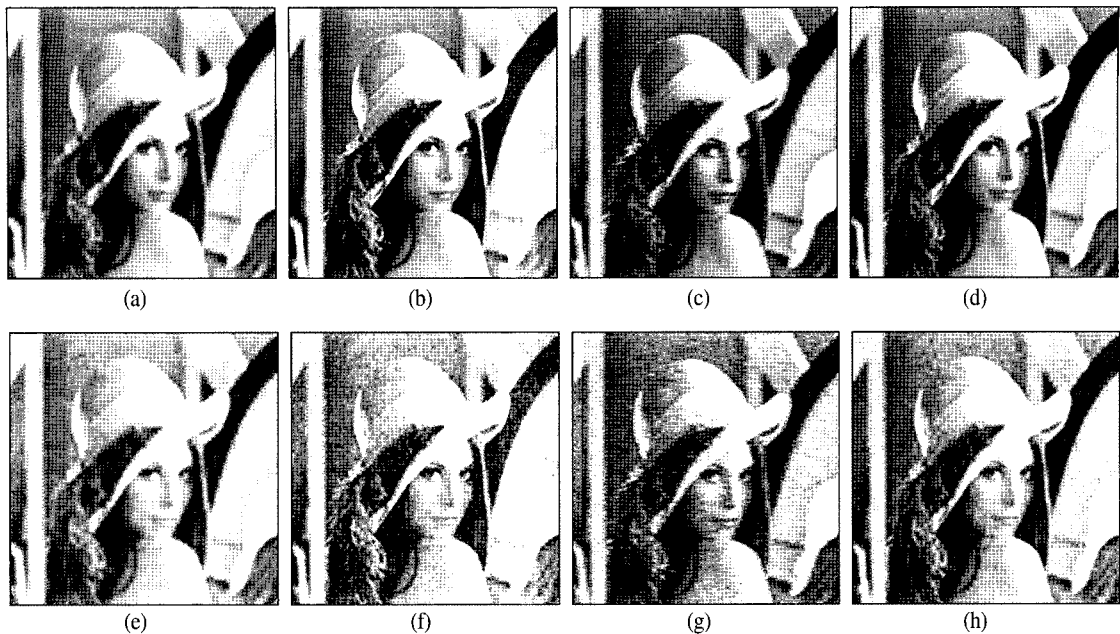


Fig 5. Filtered images (a) Mean filtering (b) Median filtering (c) Midpoint filtering (d) Gaussian filtering (e) Mean filtering (f) Median filtering (g) Midpoint filtering (h) Gaussian filtering.

Table 2. PSNR comparison of intensity filters.

Test image	Noise	Intensity filter	PSNR	Rank
Lenna	uniform (5%)	Mean	24.5767	3
		Median	27.8365	1
		Midpoint	21.4506	4
		Gaussian	26.6197	2
	gaussian (10%)	Mean	23.7446	3
		Median	24.4775	2
		Midpoint	20.2047	4
		Gaussian	24.8304	1
Ikonos	uniform (5%)	Mean	21.1676	3
		Median	24.1376	1
		Midpoint	17.7176	4
		Gaussian	23.0927	2
	gaussian (10%)	Mean	20.8247	3
		Median	22.2473	2
		Midpoint	17.1468	4
		Gaussian	22.4644	1

잡음은 가우시안 분포와 달리 밝기값의 확률이 특정 구간에 걸쳐 일정하게 분포하는 특성을 지니기 때문에 균일 잡음을 첨가한 실험에서는 Median 필터가 더 효과적인 성능을 보인 것으로 판단된다.

Fig. 6은 Fig. 4의 합성 영상에 대한 실제 에지(true

edge) 영상과 잡음이 첨가된 합성 영상에 각 에지 필터를 적용한 결과를 나타낸다. (a)는 Fig. 4의 (c)에 대한 실제 에지 영상을, (b)에서 (f)는 균일 잡음이 5% 첨가된 합성 영상에 Table 1의 에지 필터를 Roberts, Sobel, Prewitt, Gradient, Laplacian의 순서로 적용한 후 이진화 된 각 PFOM(Pratt Figure Of Merit) 영상을, (g)에서 (k)는 가우시안 잡음이 10% 첨가된 합성 영상에 Table 1의 에지 필터를 Roberts, Sobel, Prewitt, Gradient, Laplacian의 순서로 적용한 후 이진화 된 각 PFOM 영상을 나타낸다. 이진화 임계값은 각 에지 필터에서 가장 우수한 PFOM 값을 얻기 위해 수동으로 변화시켰다. Fig. 6의 결과에서 볼 수 있듯이 균일 잡음 또는 가우시안 잡음을 첨가한 모든 실험에서 Sobel 필터가 잡음 펄스(pulse)가 가장 적게 나타나면서 실제 에지에 해당하는 화소를 효과적으로 검출하였다. 전반적인 잡음 펄스의 출현과 실제 에지 화소의 검출을 고려했을 때 Prewitt 필터가 다음으로 우수한 성능을 보였다. 반면에 Gradient, Roberts, Laplacian 필터는 잡음 펄스가 많이 나타나면서 실제 에지에 해당하는 화소를 많이 분실하였다. 특히, 가우시안 잡음을 10% 첨가하였을 때 이러한 현상이 두드러졌다.

에지 필터에 대한 정량적인 평가를 위해 PFOM을 이

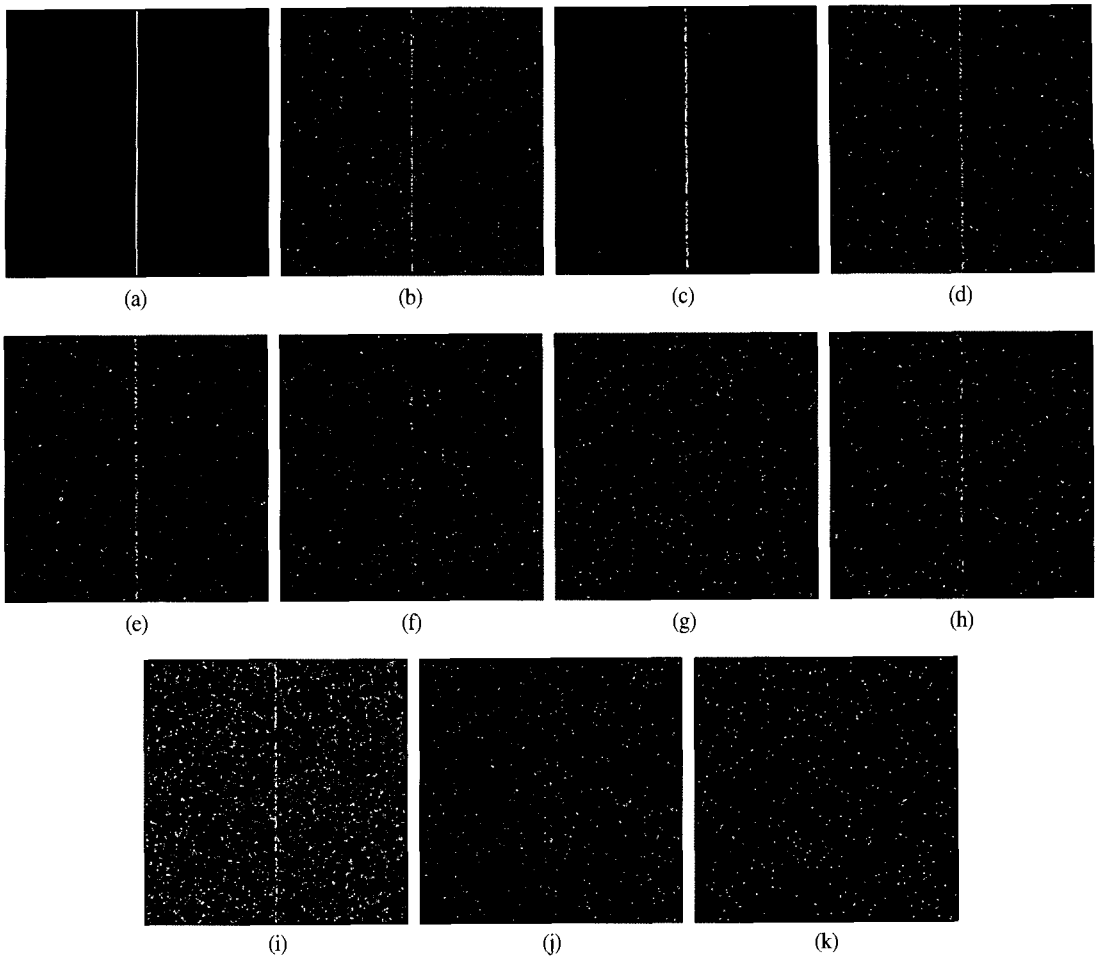


Fig 6. Edge filtering results (a) true edge (b) Roberts filtering (c) Sobel filtering (d) Prewitt filtering (e) Gradient filtering (f) Laplacian filtering (g) Roberts filtering (h) Sobel filtering (i) Prewitt filtering (j) Gradient filtering (k) Laplacian filtering.

용하였다(Pratt, 1991). PFOM은 에지 필터에 대한 대표적인 성능 평가 방법으로서 에지 검출에 있어서 발생할 수 있는 다음의 세 가지 오류를 고려하여 식 (3)과 같이 정의하여 계산한다.

- i) 실제 에지 화소를 분실하였는가?
- ii) 잡음 펄스가 실제 에지 화소로 오분류 되었는가?
- iii) 흐려진 에지가 존재하는가?

$$PFOM = \frac{1}{I_N} \sum_{i=1}^{I_F} \frac{1}{1 + \alpha d_i^2} \quad (3)$$

$I_N = I_I$ 와 I_F 중에 최대값

I_I = 실제 에지 화소의 수

I_F = 검출된 에지 화소의 수

α = 오프셋 에지들의 페널티 조정을 위한 크기조정 상수

d_i = 실제 에지 화소(P_1)에서 검출된 에지 화소(P_2)까지의 거리

여기서 P_1 의 위치를 (X_1, Y_1)라 하고 P_2 의 위치를 (X_2, Y_2)라 할 때 P_1 과 P_2 사이의 거리는 식 (4)와 같이 시티 블록 거리(City Block Distance)를 이용한다.

$$d = |X_1 - X_2| + |Y_1 - Y_2| \quad (4)$$

Table 3은 각 에지 필터를 적용한 합성 영상의 PFOM 값을 비교한 결과를 나타낸다. PFOM 값이 1에 가까울수록 성능이 우수한 에지 필터를 의미한다. 균일 잡음 또는 가우시안 잡음을 첨가한 모든 실험에서 Sobel 필터의 PFOM 값이 가장 높았으며(균일 잡음: 0.9322, 가우시안 잡음: 0.2289) Prewitt, Gradient, Roberts, Laplacian 필터의 순서로 PFOM 값이 높은

Table 3. PFOM comparison of edge filters.

Test image	Noise	Edge filter	PFOM	Rank
Synthetic	uniform (5%)	Roberts	0.3065	4
		Sobel	0.9322	1
		Prewitt	0.8126	2
		Gradient	0.3453	3
		Laplacian	0.1148	5
	gaussian (10%)	Roberts	0.0542	4
		Sobel	0.2289	1
		Prewitt	0.1213	2
		Gradient	0.0597	3
		Laplacian	0.0524	5

결과를 얻었다. Laplacian 필터는 균일 잡음 또는 가우시안 잡음을 첨가한 모든 실험에서 가장 저조한 성능을 보였다. Gradient 필터나 Laplacian 필터는 인접한 화소와의 미분값만을 고려하여 에지를 추출하기 때문에 잡음에 약한 성능을 보였다. Table 1에서 볼 수 있듯이 Roberts 필터는 Prewitt 필터나 Sobel 필터와 달리 마스크 크기가 작아 돌출한 화소값의 평균화가 어렵기 때문에 잡음에 약한 성능을 보였다. 반면에 Prewitt 필터나 Sobel 필터는 Roberts 필터보다 마스크 크기가 크기 때문에 돌출한 화소값을 비교적 평균화하므로 잡음에 강건한 성능을 보였다. Sobel 필터 계수와 Prewitt 필터 계수의 차이에서 볼 수 있듯이 Sobel 필터는 Prewitt 필터에 비해 밝기 변화에 대한 비중을 많이 주는 관계로 에지 추출 시 에지가 더 부각된 결과를 나타내기 때문에 Sobel 필터가 Prewitt 필터보다 다소 우수한 성능을 나타낸 것으로 판단된다.

Table 4는 Table 2와 Table 3의 결과 분석을 통해 얻어진 밝기 필터와 에지 필터의 성능 평가 순위를 나타낸다. 균일 잡음 또는 가우시안 잡음을 첨가한 모든 실험의 정성적, 정량적 평가를 고려해봤을 때, Median 필터와 Sobel 필터가 잡음에 가장 강건한 성능을 보였다. 반대

Table 4. Rank of intensity filters and edge filters.

Intensity filter	Rank	Edge filter
Median	1	Sobel
Gaussian	2	Prewitt
Mean	3	Gradient
Midpoint	4	Roberts
-	5	Laplacian

로, Midpoint 필터와 Laplacian 필터는 잡음에 가장 약한 성능을 보였다. 잡음에 강건한 필터가 정합 성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 스테레오 정합에 사용되는 필터의 조합을 Table 4의 순위에 따라 잡음에 가장 강건한 필터들의 조합을 이용한 경우(Rank 1)부터 잡음에 가장 약한 필터들의 조합을 이용한 경우(Rank 5)까지 구분하여 다음의 스테레오 정합 실험을 수행하였다.

3. 스테레오 정합 실험 결과

정합에 사용된 영상은 1m의 공간해상도를 가지는 대전지역 Ikonos 스테레오 위성영상으로서 다양한 도시 지역 건물이 존재한다(Fig. 7.(a), (b)). 본 논문에서는 Table 5와 같이 정합에 사용된 필터를 Median 필터와 Sobel 필터를 이용한 경우(Case 1), Gaussian 필터와 Prewitt 필터를 이용한 경우(Case 2), Mean 필터와 Gradient 필터를 이용한 경우(Case 3), Midpoint 필터와 Roberts 필터를 이용한 경우(Case 4), Midpoint 필터와 Laplacian 필터를 이용한 경우(Case 5)로 구분하여 실험을 하였다. 또한, 기존의 정합에 사용된 특징과 성능을 비교하기 위해 밝기값, 1차 수평, 수직 미분값을 이용한 경우(Case 6)와 밝기값만을 사용하여 정합한 경우(Case 7)의 실험을 하였다(Fig. 8).

Table 6은 각 실험 결과에 대한 정량적인 분석을 위해서 Ikonos 스테레오 위성영상에서 수작업을 이용하여 총 100개의 GCP(Ground Control Points)를 추출하고 각 실험 결과에서 얻어진 정합 쌍과 비교하여 RMSE(Root Mean Square Errors) 값을 계산한 결과를 나타낸다. 미정합된 화소들은 제외하고 정합된 화소들에 대해서만 한 화소 이내의 오차와 두 화소 이내의 오차를 갖는 화소의 비율을 계산하였다. 괄호안의 분자는 한 화소 또는 두 화소 이내의 오차를 갖는 화소수를, 분모는 정합된 화소수를 나타낸다.

스테레오 영상 1과 스테레오 영상 2에서 잡음에 가장 강건한 Median 필터와 Sobel 필터를 이용한 경우(Case 1)가 다른 정합 방법(Case 2~7)보다 가장 작은 RMSE 값을 얻었다. 정합된 화소들에 대한 한 화소 이내의 정확도와 두 화소 이내의 정확도가 Case 1이 Case 2~7보다 높은 결과를 얻었다. 반면에 잡음에 가장 약한



Fig 7. Ikonos satellite stereo imagery (a) stereo imagery 1 (b) stereo imagery 2.

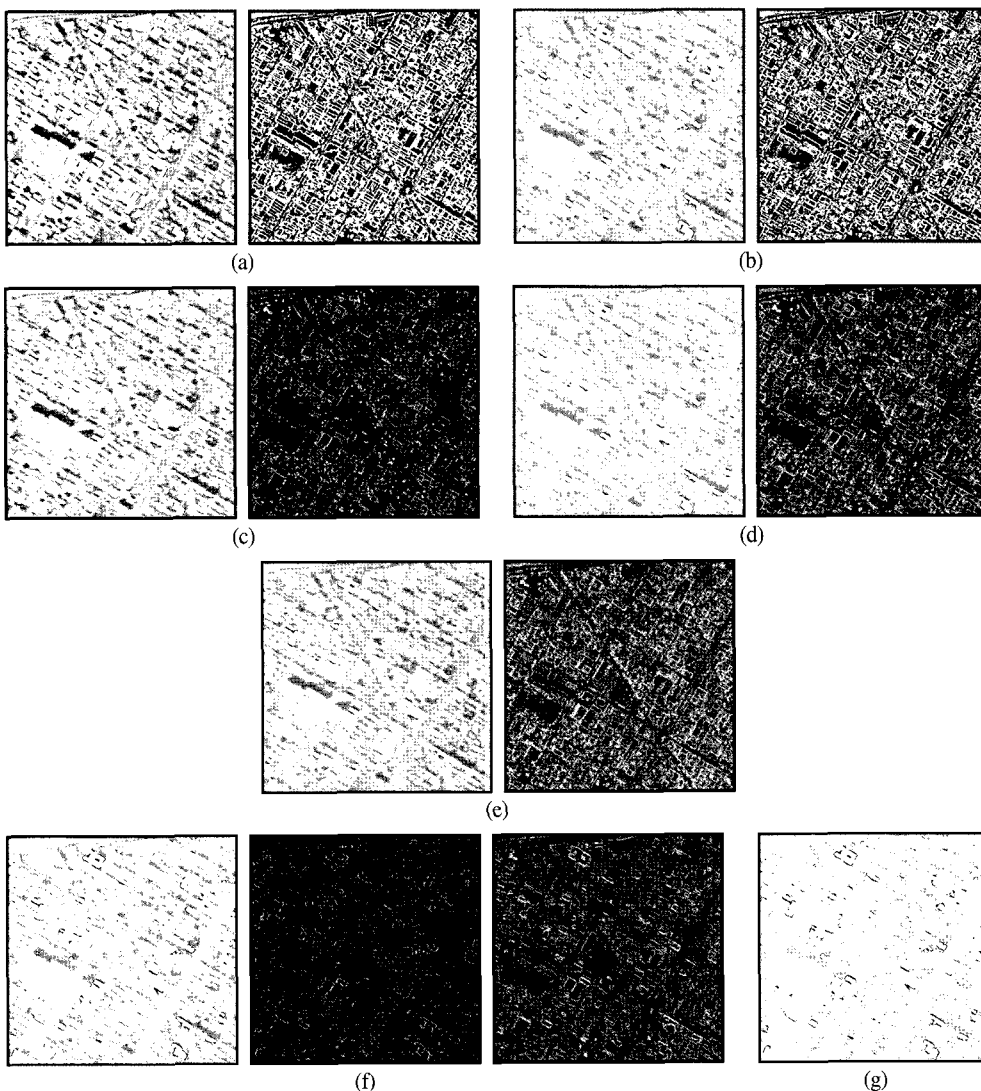


Fig 8. Feature images of Ikonos satellite stereo imagery 1 (a) Case 1 feature images of Median filter and Sobel filter (b) Case 2 feature images of Gaussian filter and Prewitt filter (c) Case 3 feature images of Mean filter and Gradient filter (d) Case 4 feature images of Midpoint filter and Roberts filter (e) Case 5 feature images of Midpoint filter and Laplacian filter (f) Case 6 feature images of intensity values, horizontal high pass filter and vertical high pass filter (g) Case 7 feature image of intensity values.

Table 5. Classification of matching methods.

정합 방법	정합에 사용된 필터 조합
Case 1	Median filter + Sobel filter
Case 2	Gaussian filter + Prewitt filter
Case 3	Mean filter + Gradient filter
Case 4	Midpoint filter + Roberts filter
Case 5	Midpoint filter + Laplacian filter
Case 6	intensity values + horizontal high pass filter + vertical high pass filter
Case 7	intensity values

Midpoint 필터와 Laplacian 필터를 이용한 경우(Case 5)가 가장 높은 RMSE 값과 가장 작은 정합 정확도를 얻었다. 가장 작은 RMSE 값을 얻은 Case 1을 기존의 정합에 사용된 특징(Case 6~7)과 비교한 결과 더 작은 RMSE 값과 더 높은 정합 정확도를 얻었다.

잡음에 강건한 Median 필터와 Sobel 필터를 이용하여 정합하였을 경우 기존의 밝기값만을 이용한 경우, 밝기값과 1차 수평, 수직 미분값을 이용한 경우, 잡음에 약한 필터들을 이용한 경우보다 향상된 정합 성능을 얻을 수 있었다.

Table 6의 결과는 잡음에 강건한 특징 추출이 정합 성능에 어떠한 영향을 주는지 보여준다. Table 4의 순위에 따라 스테레오 정합 시 잡음에 강건한 필터의 조합을 이용할수록 정합의 성능이 향상되는 경향을 볼 수 있으며 반대로 잡음에 약한 필터의 조합을 이용할수록 정

합의 성능이 저하되는 경향을 볼 수 있다.

Fig. 9는 스테레오 영상 1과 스테레오 영상 2에서 기존의 밝기값만을 이용한 정합 방법(Case 7)의 변이지도를, Fig. 10은 스테레오 영상 1과 스테레오 영상 2에서 가장 낮은 RMSE 값을 얻은 Case 1의 변이지도를 보여준다. 기존의 밝기값만을 이용한 경우에 건물 영역 내부의 미정합 되던 화소들이 Median 필터와 Sobel 필터를 이용한 경우에는 정합이 이루어지는 것을 관찰 할 수 있다.

Fig. 10의 변이지도에서 컬럼 방향으로 일부 보이는 side effect 현상은 정합 시 좌측 영상의 화소에 대한 우측 영상의 정합점을 구할 때, 우측 영상에서 이미 정합된 화소는 좌측 영상의 다음 화소 정합 시 정합 대상 후보에서 제외되도록 유일성 제약(unicqueness constraint) 조건을 적용하기 때문에 나타나는 현상이다. 본 논문에서는 좌, 우측 영상 내 화소가 동일한 3차원상의 지점을 가리키는 유일한 성질을 갖도록 유일성 제약 조건을 적용시켜 다중 정합(multiple matching)이 발생하지 않도록 변이지도를 생성하였다.

Fig. 11은 Case 1에서 정합 임계값(M_T)에 따른 RMSE의 변화를 보여준다. $M_T < 40$ 인 경우에는 전체 정합률이 10% 미만으로 떨어져 RMSE 값이 4.0 이상으로 높게 나타나기 때문에 $M_T < 40$ 인 경우는 나타내지 않았다. 스테레오 영상 1에서 $M_T=90$ 일 때 RMSE 값이 최소가 되며 $M_T < 90$ 또는 $M_T > 90$ 인 경우에는 RMSE 값이 증가한다. 스테레오 영상 2에서는 $M_T=80$ 일 때

Table 6. RMSE comparison of matching methods.

스테레오 영상 종류	정합 방법	정합 창틀 크기	정합 임계값	1 화소 이내 정확도(%)	2 화소 이내 정확도(%)	RMSE
stereo imagery 1	Case 1	5×5	80	91.42 (64/70)	94.28 (66/70)	1.03
	Case 2	5×5	70	91.30 (63/69)	92.75 (64/69)	1.21
	Case 3	5×5	30	70.76 (46/65)	80.00 (52/65)	1.99
	Case 4	5×5	50	65.82 (52/79)	79.74 (63/79)	2.24
	Case 5	5×5	60	57.89 (44/76)	77.63 (59/76)	2.24
	Case 6	5×5	50	86.48 (64/74)	90.54 (67/74)	1.46
	Case 7	5×5	20	80.00 (56/70)	87.14 (61/70)	1.99
stereo imagery 2	Case 1	5×5	90	89.75 (70/78)	93.75 (73/78)	1.41
	Case 2	5×5	80	89.26 (69/77)	92.50 (71/77)	1.43
	Case 3	5×5	30	74.60 (47/63)	85.71 (54/63)	1.82
	Case 4	5×5	50	73.75 (59/80)	85.00 (68/80)	1.87
	Case 5	5×5	50	39.62 (21/53)	64.15 (34/53)	2.52
	Case 6	5×5	60	84.61 (66/78)	89.74 (70/78)	1.54
	Case 7	5×5	20	80.10 (56/70)	87.24 (61/70)	1.76

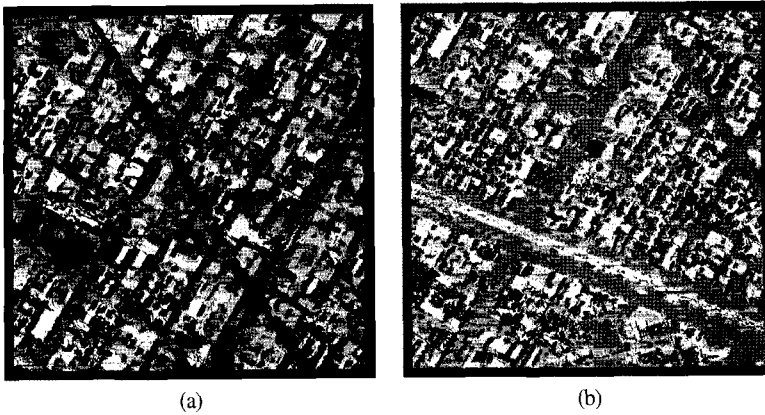


Fig 9. Disparity maps of stereo imagery using intensity values (a) stereo imagery 1 (b) stereo imagery 2.

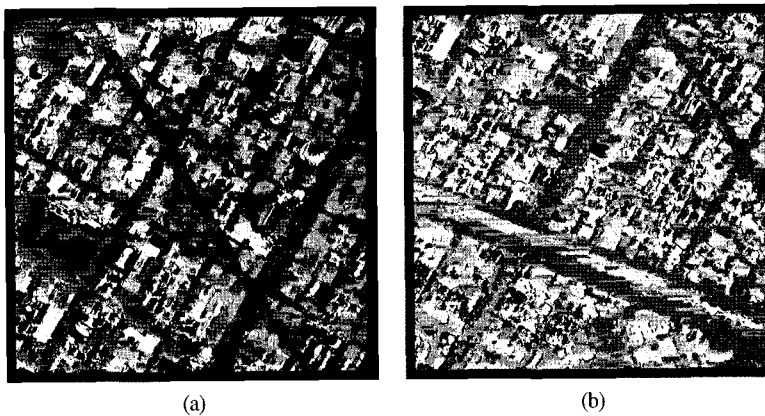


Fig 10. Disparity maps of stereo imagery using Median filter and Sobel filter (a) stereo imagery 1 (b) stereo imagery 2.

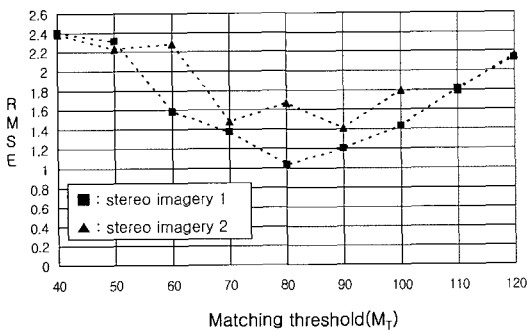


Fig 11. RMSE variation according to matching threshold(M_T).

RMSE 값이 최소가 되며 $M_T < 80$ 또는 $M_T > 80$ 인 경우에는 RMSE 값이 증가한다. 스테레오 영상 1과 스테레오 영상 2에서 각각 $M_T < 90$ 혹은 $M_T < 80$ 인 경우에는 최종 정합점으로 결정되는 화소수가 감소함에 따라 오정합 비율이 높아지므로 RMSE 값이 높게 나타난다.

반면에 $M_T > 90$ 혹은 $M_T > 80$ 인 경우에는 최종 정합점으로 결정되는 화소수가 증가함에 따라 고도 불연속을 포함하는 화소들이 일부 증가하게 되므로 오정합 비율이 높아져 RMSE 값이 높게 나타난다.

4. 결론

본 논문에서는 스테레오 정합의 특징 요소로 밝기값 및 에지를 동시에 이용할 경우에 잡음의 영향을 최소화 하는 필터 선택 방법과 이를 스테레오 정합에 적용하여 정합 성능을 향상시키는 방법을 제안하였다. 여러 종류의 밝기 필터와 에지 필터에 대한 성능 평가를 통해 잡음에 강건한 Median 필터와 Sobel 필터를 이용하여 정합 하였을 때 기존의 밝기값만을 이용한 정합 방법, 밝

기값과 1차 수평, 수직 미분값을 이용한 정합 방법, 잡음에 약한 필터들을 이용한 정합 방법보다 향상된 정합 성능을 얻을 수 있었다.

스테레오 정합의 성능을 향상시키기 위해 정합에 사용되는 특징을 추출하는 방법에 있어 잡음의 영향이 중요한 역할을 한다는 것을 실험 결과를 통해 확인 할 수 있었다. 추후 연구 과제로는 코너 혹은 질감 등과 같은 특징을 정합 요소로 확장하여 사용할 경우에 잡음 제거 필터 종류에 따른 정합 성능 변화를 분석하고 이를 다양한 특징을 동시에 사용하는 정합 방법에 적용하는 연구가 필요하다.

감사의 글

본 연구는 정보통신연구진흥원의 IT기초기술연구지원사업(06-정책-101)에 의해서 지원 되었습니다.

참고문헌

김용석, 이준재, 하영호, 1994. 웨이블릿 변환을 이용한 계층적 스테레오 정합, 대한전자공학회논문지, 31-B(8): 1101-1112.

Cochran, S. D. and Medioni, G., 1992. 3-D Surface description from binocular stereo, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 14(10): 981-994.

Gonzalez, R. C. and Woods, R. E., 2002. *Digital Image Processing*, Prentice Hall, 222-226.

Jawahar, C. V. and Narayanan, P. J., 2002a. Generalised correlation for multi-feature correspondence, *Pattern Recognition Letter*, 35: 1303-1313.

Jawahar, C. V. and Narayanan, P. J., 2002b. An adaptive multifeature correspondence algorithm for stereo using dynamic programming, *Pattern Recognition Letter*, 23: 549-556.

Karantzalos, K. G. and Argialas, D. P., 2003. Evaluation of selected edge detection techniques in remotely sensing images, *Proc. of International Society for Optical Engineering*, 2003, vol.4885, 102-110.

Kropatsch, W. G. and Birschhof, H., 2001. *Digital Image Analysis*, Springer, 406-410.

Pratt, W. K., 1991. *Digital Image Processing*, WILEY, NewYork.

Umbaugh, S. C., 2005. *Computer Imaging: Digital Image Analysis and Processing*, CRC Press Book, 409-412.

Ye, C. H. and Lee, K. H., 2001. Anisotropic diffusion for building segmentation from aerial imagery, *Proc. of International Symposium on Remote Sensing, EMSEA and KSRS*, Seogwipo, Korea, Oct. 31-Nov.2, 2001. 599-604.