

스테레오 매칭을 위한 Window 형상 설계

◦ 강 치 우* 정 영 덕** 이 췌 회**
* 국방과학연구소 ** 서강대학교 전자공학과

A Design of Window Configuration for Stereo Matching

Chee-Woo Kang* Young-Dug Jung** Kwae-Hi Lee**

* Agency for Defense Development ** Dept. of Electronics Eng., Sogang Univ.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to improve the matching accuracy in identifying corresponding points in the area-based matching for the processing of stereo vision. For the selection of window size, a new method is proposed based on frequency domain analysis. The effectiveness of the proposed method is confirmed through a series of experiments. To overcome disproportionate distortion in stereo image pair, a new matching method using the warped window is also proposed. In the algorithm, the window is warped according to imaging geometry. Experiments on a synthetic image show that the matching accuracy is improved by 14.1% and 4.2% over the rectangular window method and image warping method each.

죽 두 영상에서 동일점을 찾는 문제 (correspondence problem)이다. 일단 정확한 동일점이 찾아지면 카메라 모델을 이용하여 비교적 정확하게 깊이정보를 복원할 수 있다. 동일점을 찾기 위한 방법으로서 특징기반매칭 (feature-based matching)[1] 방법과 영역기반매칭 (area-based matching)[2] 방법이 있다. 특징기반매칭 방법은 블록 월드 (block world)와 같은 인간이 만든 환경을 분석할 때 주로 사용되며, 영역기반매칭 방법은 DEM 제작과 같이 정밀하고 매 점에서 매칭이 필요한 분야에서 사용된다.

인공위성을 이용하여 DEM을 제작하는 연구에서는 높은 위성고도에 따른 영상 해상도의 제약 때문에 매칭 정확도를 높여주는 것이 필요하다. 근래에 발표된 이 분야의 연구결과 [3,4]에서는 한 화소 크기 미만의 매칭 정확도가 요구되고 있다. 본 논문에서는 이 점에 관심을 두고 영역기반매칭 방법의 매칭 정확도를 개선하는데 목적을 두었다.

1. 서 론

두 장의 영상 (Stereo image pair)을 이용하여 3차원 깊이 정보를 획득하는 연구 (stereo vision)가 컴퓨터영상 (computer vision) 또는 기계영상 (machine vision) 분야에서 활발히 수행되어 오고 있다. 무인 추적 장치 (tracking system), 로봇의 3차원 물체 인식장치 (robot vision), 무인장갑차 (autonomous land vehicle) 의 주행 (navigation), 사진측량기술 (photogrammetry), 유도무기의 항해 (navigation) 등 많은 분야에서 응용되고 있으며, 1980년대에 들어와서는 스테레오영상기술을 활용하여 위성 영상으로부터 자동으로 수치 지형도 (Digital Elevation Model, DEM) 를 제작하는 연구가 널리 수행되고 있다. 이와 같이 2 차원 영상으로부터 3 차원 정보를 획득하는 연구는 유용한 분야이며, 산업이 발전함에 따라 그 응용분야가 점차 확대되는 추세에 있다.

영역기반매칭 기법의 구현에 있어 매칭 window size의 선택이 시스템 성능을 결정하는 하나의 요인이 되며, 지금까지 발표된 연구에서는 균일한 격자 크기 (grid size)를 갖는 사각형 window가 사용되고 있다. Window 크기가 작을 때에는 잘못 매치 될 확률이 높고, 클 때는 부정확한 매치가 될 확률이 높게되므로, window 크기는 입력 영상에 따라서 적절히 선정되어야 한다. 지금까지 발표된 바로는 모두 시행착오 (trial-and-error) 방법을 사용하여 실험적으로 선정하여 사용하고 있다. 본 논문에서는 입력 영상의 주파수와 window 크기에는 밀접한 관계가 있음에 착안하여 주파수영역에서 window 크기를 선정하는 방법을 제시한다.

스테레오 영상기법은 영상 취득, 카메라 모델링, 영상 매칭, 깊이 결정, 내삽 (interpolation)의 과정들로 구성된다. 이들 중에서 가장 오차를 많이 유발하는 과정은 영상 매칭.

스테레오 영상액은 시각 환경에 따라 서로 다르게 왜곡된다. 따라서 동일한 영상의 window를 사용하여 동일점을 찾는 것은 불합리하다. 본 논문에서는 이런 문제점을 파악하고, 시각 환경에 따라 변형된 window를 사용하여 매치시키는 새로운 방법 (warped window method)을 제안한다.

2. Window Size의 선정

입력 영상의 주파수 및 잡음 특성에 따라서 window size가 매치 오차에 미치는 영향을 조사하여, 영상 특성에 따라

window size를 결정하는 방법을 제시한다. 입력 영상은 1 차원 (1-D) 신호로 간주하여 문제를 단순화 하였다.

2.1 매치 오차

이절에서는 시각환경 (imaging geometry)을 고려했을 때 window size와 매치 오차 사이의 관계를 simulation을 통하여 살펴본다. 앞에서 언급한 바와 같이 window size와 입력 신호의 주파수 사이에는 밀접한 관계가 있다. 입력신호의 주기 (T)에 대한 window size (S)의 비 (S/T)에 따른 매치 오차를 조사하기 위하여 그림 2.1과 같은 순수 정현파 신호를 입력으로 하여 simulation 하였다. 그림 2.1의 지형은 Lambertian surface^[5]로 가정하여 밝기 정보로부터 역으로 구하였다.

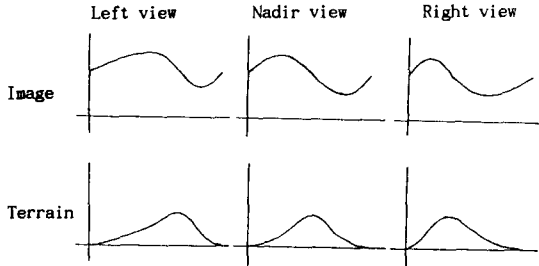


그림 2.1 1-D 정현파 영상쌍 및 그의 Lambertian 지형

Fig. 2.1 1-D sinusoidal image pair and its corresponding Lambertian surface

좌우 영상은 카메라의 경사각에 따라서 지형 형상을 영상 평면으로 투영시키고 태양의 각도를 고려해서 Lambertian 반사 (diffusion) 이론에 의해서 밝기정보를 구하였다. Simulation 시에는 같은 크기의 random 잡음을 좌우 영상에 추가하였고, 카메라 경사각이 0°, 30° 인 경우에 대한 simulation 결과를 그림 2.2와 2.3에 보였다. 지형의 경사각은 평균 15°로 하였고, 최대 경사각은 23°이다. 지형의 주기 T는 85로 놓았다.

지형 영향이 없는 경우인 그림 2.2에서 SNR에 관계없이 window size가 클수록 매치 오차가 적음을 알 수 있다. 반면에 지형 영향이 있는 경우인 그림 2.3으로부터 카메라 경사각이 클수록 SNR이 높은 부분에서 반대현상이 나타남을 알 수 있다. 지형 영향이 없는 경우 즉, 카메라 경사각이 0°이거나 지형이 평평한 경우는 스테레오 영상쌍이 서로 다르게 왜곡되지 않으므로 시차는 지형 (local) 특성보다는 광역 (global) 특성에 의해서 결정된다. 따라서 window size가 클수록 잡음을 평균화하는 효과가 있어 매치 오차가 적게된다. 그러나 지형영향이 있는 경우는 스테레오 영상쌍의 왜곡이 지형적으로 변화하기 때문에 지형 특성을 잘 살리기 위해서는 작은 window size가 유리하게 된다. 따라서 window size는 입력영상의 주파수와 신호대잡음비, 및 시각환경에 따라서 적절히 선정되어야 한다.

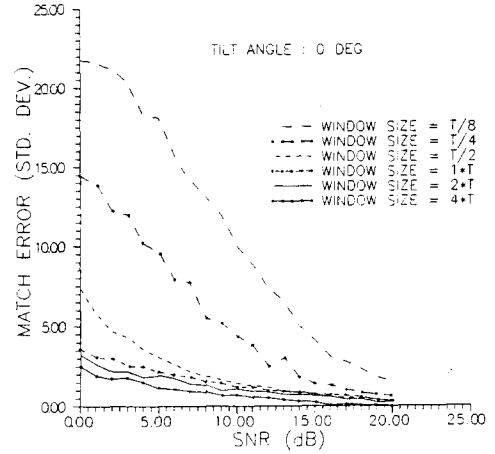


그림 2.2 SNR에 대한 매치 오차

Fig. 2.2 Match error vs. SNR

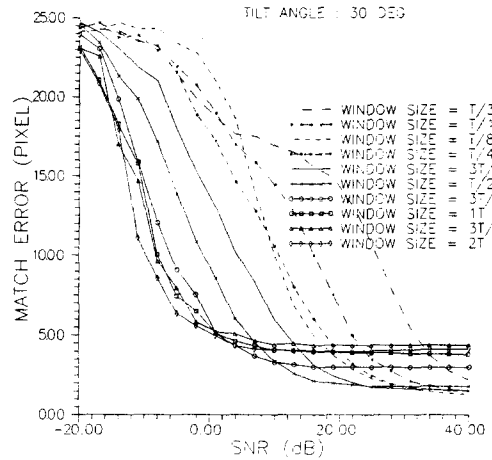


그림 2.3 SNR에 대한 매치 오차

Fig. 2.3 Match error vs. SNR

2.2. 주파수 특성에 근거한 window size 선정방법 (frequency-based window size selection method)

매치 오차는 입력 신호의 주기와 매치 window size의 비 (S/T)와 입력 신호의 SNR 및 시각환경 (카메라 경사각 및 지형 경사)에 의해서 결정된다는 사실을 전 절에서 확인하였다. 따라서, 입력 신호의 주파수 스펙트럼과 SNR 및 시각환경가 주어지면 적절한 window size를 결정할 수 있다. 주파수 영역에서 window size를 선정하는 새로운 방법 (frequency-based window size selection method, FBWSSM)을 요약하면 다음과 같다.

Window size 선정 과정

Step 1 : 입력 영상의 주파수 스펙트럼을 구하고, 각 주파수에 대하여 SNR을 계산한다.

Step 2 : 주어진 imaging geometry에 대해서, window size 및 SNR에 대한 매치 오차 곡선 (그림 2.2 또는 2.3)으로부터 매치 오차 함수를 근사화 한다.

Step 3 : 하나의 window size에 대해서 Step 1과 2의 정보를 이용하여 주파수에 대한 매치 오차를 계산한다.

Step 4 : 주파수 성분 크기로 가중치를 주어 매치 오차 (E)를 적분한다.

$$\int_{-\infty}^{\infty} |F(\omega)| E(\omega) d\omega = M \quad (2.1)$$

Step 5 : Window size를 변화시키면서 Step 3과 4를 반복하여 매치 오차 추정치 (M)가 최소가 되는 window size를 찾는다.

2.3. Simulation

주파수 영역에서의 window size 선정방법의 유용성을 확인하기 위하여 simulation을 수행하였다. 문제를 간단히 하기 위해서 공간 및 주파수 영역에서 모두 거의 한정된 식 (2.2) 및 (2.3)과 같은 신호[6]를 입력으로 하였다.

$$f(x) = \left[\frac{1}{\pi} \left| \sin \frac{\pi}{\tau} x \right| + \left(1 - \frac{|x|}{\tau} \right) \cos \frac{\pi}{\tau} x \right] P_{\tau}(x) \quad (2.2)$$

여기서,

$$P_{\tau}(x) = \begin{cases} 1 & \text{for } -\tau < x < \tau \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

이다.

$$F(\omega) = 4\tau\pi^2 \frac{1 + \cos \tau\omega}{(\pi^2 - \tau^2\omega^2)^2} \quad (2.3)$$

식 (2.2)와 (2.3)에서 $f(x)$ 와 $F(\omega)$ 는 서로 변환 쌍이다.

시각환경은 카메라 경사각을 좌우 영상 모두 30°, 평균 지형 경사도를 15°로 하였으며, SNR은 주파수가 1.5π/τ, 2.0π/τ, 및 2.5π/τ에서 각각 10 dB가 되도록 하였다.

식(2.2)의 입력신호 (τ가 11 및 43 인경우)에 대해서 스테레오 영상을 만들어 영역기반매칭을 수행하였다. 좌우영상 짝을 만들 때의 시각환경 및 잡음의 크기등은 매치 오차 예측 시와 동일하게 적용하였다.

실험결과 매치 오차가 최소가 되는 window size를 정리하면 표 2.1과 같다. 표 2.1로부터 주파수 영역에서 예측한 최적의 window size와 실험을 통해 구한 window size는 다소 차이가 난다. 그 이유는 window size 예측 시 사용한 그림 2.3 자료의 정확도 및 piecwisng 오차, 제한된 simulation 반복회수, 그리고 정수단위 매칭에 의한 양자화 효과 등에 의해서 차이가 발생했다고 본다.

Window size에 대한 매치 오차의 예측치와 실험 결과가 다소 차이가 나지만, 그 오차는 충분히 사용가능한 수치이내라고 판단된다. 만일 정밀한 window size의 선정이 요구된다면, 예측된 window size 부근에서 시행착오 방법으로 조종하

는 것이 바람직하다. 따라서 임의의 입력영상이 주어졌을 때 그 신호를 Fourier 변환 한 후 주파수 영역에서 매치 오차를 예측하여 window size를 선정하는 방법은 유용한 하나의 방법이 될 수 있다.

표 2.1 최적 window size 예측치 및 실험치

Table 2.1 Prediction and simulation result for optimum window size

τ	Freq. at which SNR is 10dB	Optimum window size	
		FBWSSM 예측치	실험치
11	0.4384 (1.5π/τ)	25	21
11	0.5844 (2.0π/τ)	13	17
11	0.7308 (2.5π/τ)	7	9
43	0.1096 (1.5π/τ)	97	93
43	0.1461 (2.0π/τ)	45	59
43	0.1827 (2.5π/τ)	31	33

3. 왜곡된 (Warped) Window를 이용한 스테레오 매칭

3.1. 왜곡된 window의 필요성

스테레오 영상 짝의 좌우 영상은 시각 환경에 따라 서로 다르게 왜곡된다. 그림 3.1은 3차원 공간에 비스듬히 놓여 있는 창틀을 좌우에서 바라본 영상이다.

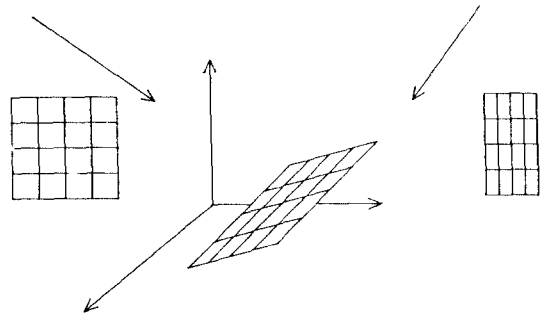


그림 3.1 시각 환경에 따른 창틀 형상

Fig. 3.1 Window structure deformed by imaging geometry

그림 3.1은 영역기반매칭 시 동일한 형상의 window를 좌우 영상에 적용하는 것은 불합리하다는 것을 말해주고 있다. 동일한 시각형 window를 사용하는데 대한 문제점은 이미 여러 문헌[3,7,8]에서 지적된 바 있다.

Mori, Kidode, 및 Asada[7]와 Quan[8]은 어느 한 영상을 기준으로 하여 다른 하나의 영상을 변형시켜 점차적으로 두 영상이 같아지도록 하는 영상 왜곡(warping) 방법을 제안하여 동일 window를 적용함에 따라 발생하는 문제점을 제거하였다. 영상 왜곡을 위해서는 시차 정보가 필요하므로 이전 단계의 매칭 결과인 시차 정보를 이용하여 왜곡시키고 warped 영상을 이용 다시 매칭하는 반복적인 방법을 사용하였다.

3.2. 매칭 window 형상 설계

앞 절에서 시각환경에 따라 왜곡된 window (warped window)를 사용하여 매칭 하는 것이 타당함을 살펴 보았다. 잡음이 없는 좌 우 영상에서 매칭 시키려는 점을 중심으로 임의의 형상을 갖는 window들을 취워서 영상 patch를 각 각 뜨고, 그 patch 짝의 밝기 정보가 서로 같다면 영상 patch를 둘 때 사용된 window 작은 이상적 window라고 말할 수 있다. 이상적 window 작은 유일하지 않고 무수히 존재할 수 있다. 특수한 경우로 한 window는 사각형이고 다른 하나는 임의의 형상을 갖는 짝도 존재한다. 이 경우가 한쪽 window 형상만 설계하면 되므로 실현하기가 수월하다. 만일 매치 하려는 점 주변의 시차 정보를 이미 알고있다면, 즉 주변 영상점들에 대한 대응점 (conjugate point)들을 안다면, 이 시차 정보를 이용하여 window를 왜곡 시켜 이웃점들이 해당 대응점 위에 중첩되도록 할 수 있다. 이 왜곡된 window는 이상적 window 중 하나에 해당한다. 시차도를 이용하여 window 왜곡하는 방법을 요약하면 다음과 같다.

시차도를 이용한 Window 왜곡

Step 1 : 매치하려는 점(중심점) 주위의 X 방향 시차값에서 중심점의 시차값으로 빼어 상대시차도 (relative disparity map)를 만든다.

Step 2 : 원래의 격자점 (rectangular grid point)들을 그 점 위치에 있는 상대시차값 만큼 X 방향으로 이동시킨다.

Step 3 : Step 1의 방법으로 Y 방향 상대시차도를 만든다.

Step 4 : Step 2에서 X 방향으로 왜곡된 격자점들을 Step 3의 Y방향 상대시차도를 이용하여 Step 2의 방법으로 Y방향으로 이동시킨다. 이동된 격자점들이 왜곡된 window의 격자점들이다.

3.3. 왜곡된 window를 이용한 스테레오 매칭 방법

Window 왜곡의 목적이 시차 정보를 추출하는 것인데, 시차 정보를 이미 알고 있다고 가정하여 그 정보를 이용 왜곡 하는 것은 모순이다. 그러나 입력 시차 정보가 완벽하지 않더라도 출력 궤환의 방법으로 반복 수행하면 점점 개선된 시차 정보를 획득할 수 있을 것이다. 그림 3.2에 왜곡된 window를 이용한 반복 (recursive) 스테레오 매칭 방법을 표시하였다. 그림 3.2에서 초기 시차 정보 (initial disparity data)는

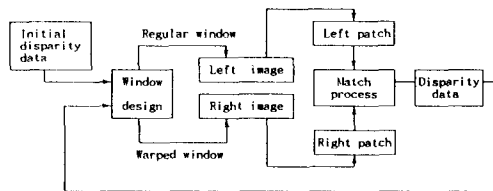


그림 3.2 왜곡된 window를 이용한 반복 스테레오 매칭 방법

Fig. 3.2 Recursive stereo matching method using warped window

zero data를 사용하거나 다른 방법 (사각형 window 방법 등)에 의해서 이미 찾은 시차 정보를 활용할 수도 있다. 시차 정보가 매 최소마다 짝 차 있지 않거나 많은 오차를 포함하고 있을 때는 내삽 또는 평활 (smoothing)의 방법으로 사전 처리한 후 window 왜곡한다.

4. 왜곡된 Window를 이용한 스테레오 매칭 실험

4.1. 실험 영상

제 4장에서 제안한 왜곡된 window를 이용한 매칭 기법의 성능을 시험하기 위해서는 이미 시차 정보를 정확히 알고 있는 스테레오 영상 pair가 필요하다. 인공위성 영상이나 그 외 자연 영상으로 부터 정확한 시차 정보를 획득하는 것은 불가능하므로 인공적으로 합성한 합성 영상이 필요하다. 또한 실험에 사용할 합성영상은 자연 영상과 그 특성이 유사해야 한다. 본 논문의 목적이 한 최소 미만의 정밀 매칭에 있고 그 응용분야가 DEM 생성과 같은 것이므로, 합성영상의 대상은 지형 영상으로 정하였다. 지형 생성은 자연 영상과 유사하다는 2 차원 random fractal process^[9]를 이용하여 구성하였다. 영상의 밝기는 Lambertian 반사로 가정하여 좌우 영상을 구성하였다. 태양각은 오전 10시 30분으로 가정하였다. 이와 같이 만든 기본 영상에 random 잡음을 추가하여 SNR이 10 dB와 20 dB인 두가지 영상을 만들어 실험에 사용하였다. 잡음이 없는 경우의 실험 영상을 그림 4.1에 표시했다.

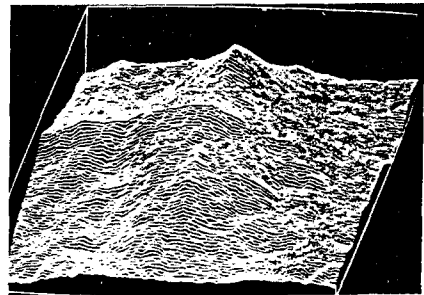


그림 4.1 실험 지형 및 스테레오 영상 (무 잡음, 카메라 경사각 : 25°)

Fig. 4.1 Test terrain and stereo image (noise free, camera tilt angle : 25°)

4.2. 실험 방법

매칭 정확도에 영향을 미치는 요인은 여러가지가 있다. 다음의 각 변수들의 조합에 대해서 실험을 수행하였다.

실험 환경

- 카메라 경사각 : 10°, 15°, 25°, 30°
- Window size : 15 x 15, 21 x 21
- 잡음 (SNR) : 10 dB, 20 dB
- 영상 크기 : 256 x 256
- 실험 영역 : 50 x 50 (영상 중앙지역)
- 탐색 방법 : 1-D search
- 탐색 간격 : 0.1 pixel

성능 비교 대상 매칭 방법으로는

- 사각형 window 방법
- 영상 왜곡 방법
- 왜곡된 window 방법

의 3가지로 하였다. 각 방법에 대해서 위의 각 실험환경에 대한 실험을 수행하였다.

영상 왜곡 방법과 왜곡된 window 방법은 둘 다 재귀 방법 이므로 인위적으로 수행을 정지시켜야 한다. 실험시 영상 왜곡의 경우는 참값으로 수렴하지 않고 진동하여 반복수행 회수를 결정하기가 어려웠다. 반면에 왜곡된 window의 경우는 참값 또는 참값의 근처로 수렴하였다. 실험시 영상 왜곡 방법의 매칭 오차의 크기가 3회 이상 반복시 진동하였으므로, 영상 왜곡 방법 및 왜곡된 window 방법의 반복회수를 2회로 결정하였다.

4.3. 실험 결과

각 실험 조건에 대해서 실험한 결과를 매칭 오차의 빈도수 분포도와 상관계수의 대응점 근처에서의 변화 추세를 그림으로 그렸다. 실험의 경우의 수가 많아 모든 그림을 이 절에 다 수록할 수가 없으므로, 몇가지만 발췌하여 그림 4.2와 4.3에 그렸다. 실험결과 매칭 오차 측면에서는 왜곡된 window와 영상 왜곡 방법은 사각형 window 방법 보다 성능이 우수한 것으로 나타났으나, 두 방법 사이의 차이는 작은 것으로 나타났다. 표 4.1에 각 실험환경에 대한 매칭 오차 (RMS)를 종합 수록하였다. 표 4.1로부터 왜곡된 window 방법의 매칭 오차가 사각형 window 방법과 영상 왜곡 방법보다 각각 14.1% 및 4.2% 개선됐음을 알 수 있다.

특히 주목할만한 현상은 왜곡된 window와 영상 왜곡의 경우는 window size의 크기에 관계없이 그 성능이 유사하나 사각형 window의 경우는 많이 달라짐을 표 4.1로부터 확인할 수 있다. 이런 현상은 왜곡된 window 방법과 영상 왜곡 방법이 시각환경에 의한 왜곡효과를 잘 극복 한다는 것을 설명해 주고 있다.

표 4.1 매칭 오차

Table 4.1 Match error

Camera tilt angle	SNR	Window size	Match error (RMS, Pixel)		
			Rect. window	Image warpin	Warped window
10	10	15	0.2386	0.2205	0.2149
10	10	21	0.3050	0.2599	0.2158
10	20	15	0.2232	0.2081	0.202
10	20	21	0.2851	0.2593	0.206
25	10	15	0.6554	0.6244	0.628
25	10	21	0.7175	0.6100	0.638
25	20	15	0.5916	0.5327	0.525
25	20	21	0.6940	0.6112	0.552
평균			0.4638	0.4158	0.398

영상 왜곡 방법은 전체 영상을 한꺼번에 왜곡시킨 후 동일 점 탐색시 사각형 window를 사용하므로, 왜곡된 window 방법에 비유하면, 탐색시 마다 다르게 왜곡된 window를 사용하여 매칭하는 것과 같다. 탐색시 마다 다르게 왜곡된 window를 사용하는 것은 매치하려는 점 주변의 특성 대신에 탐색점 주변의 특성을 고려하는 것과 같으므로, 왜곡된 window 방법은 지협 특성이 좋고 영상 왜곡 방법은 광역 특성이 좋게 된다. 왜곡된 window 방법의 상관계수 값이 대응점 근처에서 steep하게 나타난 것은 이런 이유에서 비롯된 것이라고 판단된다. 특히 왜곡된 window의 경우는 상관계수 값이 실험 환경 변화에 따른 변화폭이 작아 판정 문턱값을 결정하기 용이함은 물론, 시각 환경에 따라 거의 일정한 성능을 낼 수 있는 장점이 있음을 확인할 수 있었다.

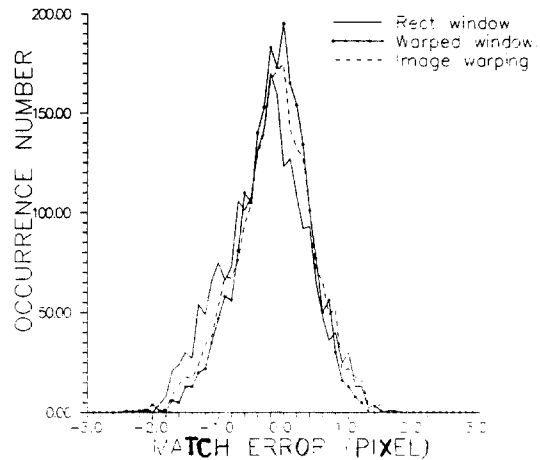


그림 4.2 매칭 오차의 빈도수 분포 (카메라 경사각 : 25°, SNR : 20dB, window size : 21 x 21)

Fig. 4.2 Distribution of occurrence of match error (camera tilt angle : 25°, SNR : 20dB, window size : 21x21)

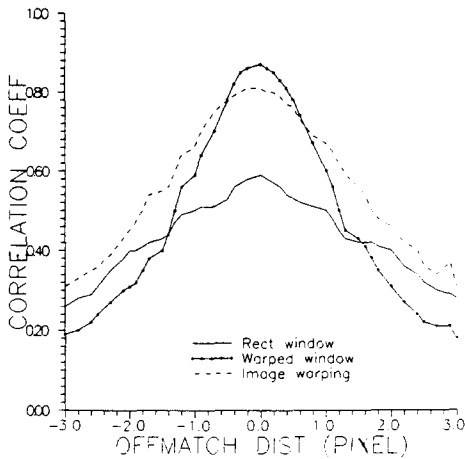


그림 4.3 대응점 근처에서의 상관계수 (카메라 경사각 : 25°, SNR : 20dB, window size : 21 x 21)

Fig. 4.3 Correlation coefficients in the vicinity of corresponding point (Camera tilt angle : 25°, SNR : 20dB, window size : 21 x 21)

5. 결 론

스테레오 매칭에서 영역기반매칭 방법의 정밀도를 개선하기 위해서 window size를 선정하는 방법과 매칭 window를 시각환경에 따라 변형시켜 매칭을 수행하는 왜곡된 window 매칭 방법을 제시하였다.

Window size는 입력 영상의 주파수 특성과 신호대잡음비를 고려하여 선정해야 한다는 결론에 근거하여, 입력 영상의 주파수 스펙트럼을 구하여 주파수 영역에서 매치 오차 예측치가 최소가 되는 window size를 선정하는 방안을 제시하고 실현하였다. 실험결과 예측치와 실험치가 다소 차이가 났으나, 사용가능한 오차 범위라고 판단된다.

또한 시차 정보를 이용하여 window를 변형시키고, 변형된 window를 이용하여 매칭하는 왜곡된 window 매칭 방법을 제안하였다. 실험 지형 영상을 만들어 기존의 사각형 window 방법 및 영상 왜곡 방법과 그 성능을 비교하였다. 실험 결과 왜곡된 window 방법의 매칭 정확도는 사각형 window 방법 보다 14.1%, 영상 왜곡 방법 보다 4.2% 개선되었다. 왜곡된 window 방법은 시각환경에 따라 그 성능 변화가 적다는 점, window size의 크기에 별로 영향을 받지 않는다는 점, 그리고 매칭 판정 문턱값을 결정하기가 용이하다는 점, 등이 실험결과로부터 밝혀졌다.

매칭 정확도와 window size에 크게 영향을 받지 않는다는 점에서 왜곡된 window 방법과 영상 왜곡 방법은 매우 유사하였다. 그러나 전자는 매치 오차가 어떤 일정한 값으로 수렴하는 반면에 후자는 진동하는 결과를 보였다. 두 방법 모두 왜곡시킨다는 점에서는 유사하나, window 왜곡의 경우는 지형 특성을 영상 왜곡의 경우는 광역 특성을 증시한다는 점이 서로 다르다.

앞으로 왜곡된 window 방법에 대한 잡음 응답특성, 수렴특성 등이 조사되어야 한다. 왜곡된 window 방법의 성능 개선을 위해서 시차정보 입력을 surface approximation 하여 왜곡하는 등의 연구가 계속적으로 필요하다고 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] W. Hoff and N. Ahuja, "Surfaces from stereo : integrating feature matching, disparity estimation, and contour detection," IEEE trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-11, no. 2, pp. 121-136, 1989.
- [2] Y. Shirai, Three-dimensional computer vision, Springer-Verlag, pp. 122-140, 1977.
- [3] A. W. Gruen, "Adaptive least-squares correlation algorithm," S. Afr. J. of Photogrammetry, Remote Sensing and Cartography, vol. 14, no. 3, pp. 175-187, 1985.
- [4] T. Day and J.-P. Muller, "Digital elevation model production by stereo-matching spot image-pairs: a comparison of algorithms," Image and Vision Computing, vol. 7 no. 2, pp. 95-101, 1989.
- [5] M. A. Fischler and O. Firschein, "Understanding image intensities," in Readings in computer vision, issues, problems, principles, and paradigms, Morgan Kaufmann Pub., pp. 45-60, 1987.
- [6] A. Papoulis, Signal analysis, McGraw-Hill, pp. 236-240, 1977.
- [7] K. Mori, M. Kidode, and H. Asada, "An iterative prediction and correction method for automatic stereocomparison," Computer Graphics and Image Processing, vol. 2, pp. 393-401, 1973.
- [8] L. H. Quan, "Hierarchical warp stereo," in Readings in computer vision : Issues, problems, principles, and paradigms, Morgan Kaufmann Pub., pp. 80-86, 1987.
- [9] M. F. Barnsley, R. L. Devaney, B.B. Mandelbrot, H. O. Pertgen, D. Saupe, and R. F. Voss, The science of fractal image, Springer-Verlag, pp. 71-113, 1988.