

# 3차원 정보를 얻기 위한 Rule-Based Stereo Matching Algorithm

## (A Rule-Based Stereo Matching Algorithm to Obtain Three Dimensional Information)

沈 泳 錫\*, 朴 成 漢\*\*

(Young Seok Sim and Sung Han Park)

### 要 約

본 논문에서는 두대의 카메라를 이용하여 대상 물체에 대하여 3차원 정보를 얻기 위한 규칙 베이스 스테레오 정합 알고리즘을 제안한다.

이를 위하여 입력 영상에 대한 새로운 특징점 추출 방법을 제안하고, 여기서 얻어진 특징점 영상으로부터 특징점의 특징 표현을 한다. 이 특징 표현에 효율적인 규칙을 적용하여 좌·우 특징점의 스테레오 정합을 시킨다. 최종적으로 좌·우 특징점의 대응 관계에서 3차원 정보를 계산하여, 대상 물체에 대한 3차원 정보를 얻는다.

### Abstract

In this paper, rule-based stereo algorithm is explored to obtain three dimensional information of an object.

In the preprocessing of the stereo matching, feature points of stereo images must be less sensitive to noise and well linked. For this purpose, a new feature points detection algorithm is developed.

For performing the stereo matching which is most important process of the stereo algorithm, the feature representation of feature points is first described. The feature representation is then used for a rule-based stereo algorithm to determine the correspondence between the input stereo images. Finally, the three dimensional information of the object is determined from the correspondence of the feature points of right and left images.

### I. 서 론

3차원 정보를 얻기 위한 스테레오 정합 과정은<sup>[1][2]</sup> 크게 영역 베이스 스테레오 정합(area-based stereo matching) 방법<sup>[3]</sup> 또는 특징 베이스 스테레오 정합(feature-based stereo matching) 방법으로<sup>[4]-[6]</sup> 수행된다.

\*正會員, 漢陽大學校 電子工學科  
(Dept. of Elec. Eng., Hanyang Univ.)

\*\*正會員, 漢陽大學校 電子計算學科  
(Dept. of Computer Science & Eng., Hanyang Univ.)

接受日字 : 1989年 8月 3日

영역 베이스 방법은 한쪽 영상의 특징점을 중심으로한 일정한 영역(window)과 다른쪽 영상의 대응점을 중심으로한 영역(window)과의 cross-correlation 값 또는 명암도의 차의 합과 같이 두 스테레오 영상에서 일정 영역에 대한 명암도의 유사도를 기초로하여 스테레오 정합을 시도하는 방법이다. 이 방법은 알고리즘 및 처리 과정이 단순하다. 또 일반적으로 일정 영역에서 명암도의 전체적인 정보를 전부 이용하므로 정확한 스테레오 정합을 시도할 수 있다. 하지만 조명등과 같이 영상의 입력 환경에 민감하며, 어떤 특정 상태의 화소에서는 잘 적용되지 않는 단점이 있다.

반면에 특징 베이스 방법은 먼저 두 영상의 특징점에 대하여 그 화소의 함축적인 의미를 갖는 특징 표현을 한다. 이 특징 표현의 유사도를 바탕으로 대응점 간의 스테레오 정합을 시도한다. 이런 특징 표현은 전체적인 명암도의 변화에 영향을 적게 받아 조도 등과 같은 입력 영상 조건에 덜 민감하다. 그리고 특징점의 유사한 특징표현을 가지는 화소에 대해서만 정합을 시도하므로 대응점에 대한 후보점의 수가 현격하게 감소하여 처리시간이 빠르게 된다. 하지만 특징점에 대한 특징 표현을 합리적으로 정확히 표현하는 작업이 상당히 어려우며, 특징 표현을 어떻게 하느냐에 따라 스테레오 정합의 효율 및 그 성공도가 크게 달라진다. 또 특징 표현은 특징점의 요약된 특징 정보만을 가지고 있기 때문에 유사한 대응점들을 쉽게 빨리 찾을수는 있으나 모든 경우의 특징점에 대하여 정확한 대응점을 정합 시키는데는 어려움이 따른다.

또한 dynamic programming 이나 relaxation 기법을 스테레오 정합에 이용하는 연구도 있으나, 일반적으로 이런 방법들은 처리시간이 긴 단점이 있다.<sup>[7]</sup>

그러므로 특징 베이스 방법으로 특징점에 대하여 적당한 특징 표현을 하고, 이것을 이용 특징점에 대한 후보 대응점의 수를 현격히 줄인다. 그 다음 영역 베이스 방법과 이웃 특징점들의 정합 관계를 이용하는 효율적인 정합규칙을 사용한다면, 보다 정확하고 빠른 스테레오 정합을 성취할 수 있다.<sup>[10][11]</sup>

본 논문에서는 빠른 처리 시간내에 좋은 결과의 스테레오 정합을 이루게 하기위하여 먼저 전처리 과정으로 잡음에 덜 민감하고 섬세한 특징점을 추출하는 특징점 추출 방법을 제안한다.<sup>[10][11]</sup> 그 다음 특징점을 중심화소로하여 3×3 윈도우 내에서 특징점들로 이루어지는 기하학적인 형태에 대한 특징 표현을 한다. 이 특징 표현을 기초로하여 명암도의 차의 합과 특징점들의 이웃하는 관계를 효율적으로 이

용하는 규칙 베이스 스테레오 정합을 시도한다.

## II. 특징점 추출(전처리)

입력 영상을 1차 미분하면 그 영상의 명암도의 변화율에 비례하는 입력영상의 에지의 인텐시티를 얻을 수 있다. 여기서 얻어진 에지 인텐시티 평면은 에지의 강도에 따라 높고 낮은 또는 완만하거나 급격한 경사도를 나타낸다. 즉 에지 인텐시티에 따른 산맥을 형성한다. 또 1차 미분연산자에 의해 구해진 이 에지 인텐시티 산맥의 능선은 입력 영상의 에지에서 국부적 영역에서의 에지의 세기가 가장 강한 특징점이 된다.

그러므로 입력 영상을 1차 미분하고, 여기서 얻어진 에지 인텐시티 산맥의 능선을 효율적으로 정확히 추출할 수 있다면 좋은 특징점 영상을 얻을 수 있다.

따라서 먼저 잡음에 강한 1차 미분 연산자인 Sobel 연산자로 입력 영상을 전처리하여 에지 인텐시티 평면을 구한다. 그 다음 이 에지 인텐시티 평면으로부터 각 화소에 대하여 2차원의 3×3 윈도우 상에서 중심 화소와 이웃 8화소의 에지 인텐시티 간의 대소를 비교한다.

여기서 중심 화소보다 큰 에지 인텐시티 값을 가지는 이웃 화소는 1로 설정하고 작거나 같은 에지 인텐시티를 가지는 화소는 0으로 설정한다. 여기서 만들어지는 flag-window의 형태로부터 그 화소가 에지 인텐시티 산맥의 능선(즉 특징점)인지를 알 수 있다. 만약 능선이라면 3×3 윈도우 상에서 중심의 에지 값보다 이웃 8화소의 에지 값이 큰 것들이 한 화소로 연결되어야 한다. 또 조건부 특징점인 경우는 주 능선으로부터 가지(branch)가 되는 능선을 연결하는 화소를 고려한 것이며, 국부(미세)적으로 주 능선에서 가지 능선은 법선방향으로 나간다는 것을 가정하여 주 능선에대한 법선방향의 화소를 참조하여 결정한다. 또 이렇게 얻는 특징점들은 5부터 256까지의 에지의 크기에 따른 에지 인텐시티 값을 가지고 있으며, 이 값은 스테레오 정합시 기본 정합 요소로서 이용된다. (이론적으로 에지의 크기는 1~255 범위이나 5 이상의 값 만이 의미가 있는 것으로 가정한다.)

제안된 특징점 추출 알고리즘을 구체적으로 기술하면 다음과 같다.

- (1) 입력영상을 1차 미분 연산자 중의 하나인 네방향 Sobel 연산자로 처리하여, 입력영상의 명암도의 변화율에 비례하는 에지 인텐시티 평면  $I_s$ 를 구한다.
- (2) 그림 1과 같이 에지 인텐시티 평면에서 화소  $I_s(i, j)$ 를 중심으로 3×3 윈도우 상에서 이웃 8 화소

$I_s(i-1, j-1)$	$I_s(i-1, j)$	$I_s(i-1, j+1)$
$I_s(i, j-1)$	$I_s(i, j)$	$I_s(i, j+1)$
$I_s(i+1, j-1)$	$I_s(i+1, j)$	$I_s(i+1, j+1)$

그림 1. 에지 인텐시티 평면의 3×3 window  
**Fig. 1.** The 3×3 window of the edge-intensity plane.

와 인텐시티의 크기를 비교한다.

(3) 그림 2와 같이 이웃 화소  $I_s(a, b)$ 가 중심 화소  $I_s(i, j)$ 보다 크면 3×3의 특징점 결정용 윈도우인 flag-window  $W(a, b)$ 에 1의 값을 설정하고, 작으면  $W(a, b)$ 에 0의 값을 설정한다.

여기서  $a \in \{i-1, i, i+1\}$ ,  $b \in \{i-1, i, i+1\}$ 이다.

(4) 이렇게 flag-window를 구한 다음, 그림 2의 (b)에 따라 이진 형태로 바꾸어 0-255 범위에 해당하는 flag-window 형태 번호(FWPN : flag-window pattern number)를 구한다.

(5) 이 flag-window의 형태 번호로부터 미리 분석 작성한 데이터 테이블인 표 1의 어느 부분에 속하는지를 결정하여 화소  $I(i, j)$ 가 특징점 인지를 결정한다. 다만 화소  $I_s(i, j)$ 의 FWPN 값이 그 자체로 만든 특징점 여부를 결정하기에는 불충분한 경우(즉 표 1의 조건부 특징점인 경우), 아래의 조건에 따라 특징점 여부를 결정한다.

즉, 조건부 특징점에서는 화소  $I_s(i, j)$ 가 특징점이 되기 위해서는  $I_s(i, j)$ 의 FWPN=7일 경우  $I_s(i+1, j)$ 이 특징점이어야 하며,  $I_s(i, j)$ 에서 FWPN=10일 경우  $I_s(i+1, j+1)$ 이 특징점이어야 하고,  $I_s(i, j)$ 에서 FWPN=18일 경우  $I_s(i+1, j-1)$ 이 특징점이어야 하고,  $I_s(i, j)$ 에서 FWPN=41일 경우  $I_s(i, j+1)$ 이 특징점이어야 하고,  $I_s(i, j)$ 에서 FWPN=72일 경우  $I_s(i-1, j+1)$ 이 특징점이어야 하고,  $I_s(i, j)$ 에서 FWPN=80일 경우  $I_s(i-1, j-1)$ 이 특징점이어야 하고,  $I_s(i, j)$ 에

$W_s(i-1, j-1) = w_0$	$W_s(i-1, j) = w_1$	$W_s(i-1, j+1) = w_2$
$W_s(i, j-1) = w_3$	중심화소	$W_s(i, j+1) = w_4$
$W_s(i+1, j-1) = w_5$	$W_s(i+1, j) = w_6$	$W_s(i+1, j+1) = w_7$

(a) 비교한 결과를 넣는 flag-window

w7	w6	w5	w4	w3	w2	w1	w0
----	----	----	----	----	----	----	----

(b) 일렬로 나열한 flag-window

그림 2. flag-window  
**Fig. 2.** The flag-window.

표 1. 에지 인텐시티 평면에서 FWPN의 분류 값 여기서 FWPN(flag-window pattern number)는 flag-window의 형태 번호이다.

**Table 1.** Classified values of the flag-window pattern numbers.

(1) $I_s(i, j)$ 가 특징점인 경우의 FWPN값	0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 9, 12, 13, 16, 17, 20, 21, 24, 25, 28, 29, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 44, 45, 48, 49, 50, 51, 52, 53, 56, 57, 58, 60, 61, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 76, 81, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 108, 109, 113, 117, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 149, 152, 153, 156, 157, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 172, 173, 174, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 184, 185, 188, 189, 192, 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 204, 205, 225, 226, 227, 228, 229, 230, 231
(2) $I_s(i, j)$ 가 조건부 특징점일 경우의 FWPN값	7, 10, 18, 41, 72, 80, 148, 224
(3) $I_s(i, j)$ 가 특징점이 아닐 경우의 FWPN값	0-225중 (1)과(2)항 외의 값들

서 FWPN=148일 경우  $I_s(i, j-1)$ 이 특징점이어야 하고,  $I_s(i, j)$ 에서 FWPN=224일 경우  $I_s(i-1, j)$ 이 특징점이어야 중심 화소  $I_s(i, j)$ 가 특징점이 된다.

(6) 이렇게해서 화소  $I_s(i, j)$ 가 특징점으로 결정되면 새로운 특징점 영상 평면의  $I_f(i, j)$ 에  $I_s(i, j)$ 의 값을 넣고, 특징점이 아니면  $I_f(i, j)$ 에 0을 넣으므로써 최종적으로 특징점 영상을 얻게 된다.

(7) 참고로  $I_s(i, j)$ 의 FWPN 값을 가지고 표 2-1의 데이터로부터 특징점인지를 참조할 때 탐색방법(searching algorithm)을 사용하지 않고, FWPN의 값이 0-255의 작은 수라는 것을 이용하여 look-up 테이블의 데이터 베이스를 만들어 이용하면 특징점 추출 시간이 훨씬 단축된다.

제안한 방법은 Sobel-edge에서 임의의 임계값으로 이진화하여 얻은 두터운 에지 영상에서 SPTA 등과 같은 세션화 방법을 이용한 특징점 추출방법과는 근본적인 차이가 있다. 왜냐하면 threshold하여 얻은 이진 에지 영상은 threshold 처리에 의해 내부의 에지 정보가 0과 1의 값으로 축소된다. 이렇게 정보가 축소된 상태에서 세션화하는 것은 근본적으로 이진 영상인 text 영상과 같은 이진 영상에서는 좋은 결과를 얻을 수 있지만, 일반적으로 명암도를 가지는 영상을 Sobel 처리하여 임계값으로 이진화 한후 세션

화하면 다소 부정확한 특징점을 얻게 된다<sup>(11)</sup>

이 알고리즘으로 얻은 특징점들은 다음과 같은 장점을 가지고 있다.

- i) 잡음에 덜 민감하며,
- ii) 특징점들의 연결성이 좋고,
- iii) 완만한 에지의 특징점도 잘 검출하며,
- iv) 각 특징점은 에지의 크기에 비례하는 에지 인텐시티(edge intensity) 정보를 가지고 있다.

26	23	21
22	24	22
20	24	21

(i)

16	21	21
18	20	21
20	22	24

(ii)

(a) 점 (i, j)를 중심으로한 Is(i, j)의 값들

1	0	0
0	X	0
0	0	0

(i)

0	1	1
0	X	1
0	1	1

(ii)

(b) Is(i, j)에 대한 flag-window 형태

0	0	0	0	0	0	0	1
---	---	---	---	---	---	---	---

(i) FWPN= 1

1	1	0	1	0	1	1	0
---	---	---	---	---	---	---	---

(ii) FWPN=214

(c) Is(i, j)에 대한 FWPN의 값

그림 3. Is(i, j)에서 flag-window를 이용해 특징점을 결정하는 과정

(여기서 (i)는 특징점인 경우이고, (ii)는 특징점이 아닌 경우이다)

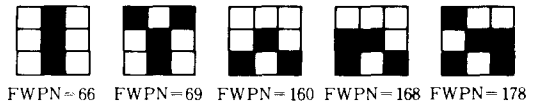
Fig. 3. The processing to determine a feature-point using the flag-window.

### III. 스테레오 정합

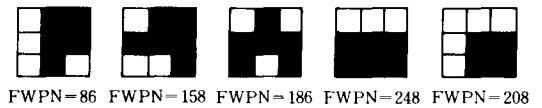
#### 1. 스테레오 영상의 가정

스테레오 영상에서 대응하는 특징점들은 그 특성들에 따라 아래와 같은 가정을 할 수 있다.

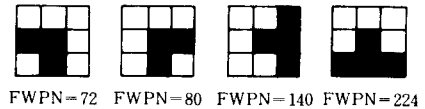
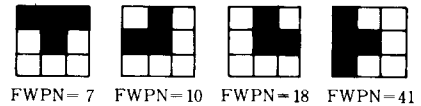
(1) 대응하는 특징점들은 같거나 비슷한 명암도, 인텐시티 변화, (cross-correlation)값, 특징 표현 등을 갖는다.



(a) Is(i, j)가 특징점인 경우의 flag-window 형태



(b) Is(i, j)가 특징점이 아닌 경우의 flag-window 형태



(c) Is(i, j)가 조건부 특징점인 경우의 flag-window 형태

그림 4. Is(i, j)에 대한 flag-window 형태의 예  
Fig. 4. Examples of the flag-window pattern on I(i, j).

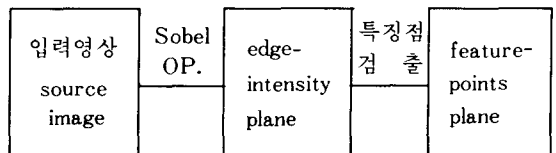


그림 5. 특징점 검출 과정

Fig. 5. The flow to detect feature-points.

(2) 이웃하는 특징점들은 같거나 비슷한 disparity를 갖는다.

- 특징점을 zero-crossing 방법이나 한 화소로 구성된 에지로 구하였을 경우,

(3) 카메라에 입력되는 대상 물체가 복잡하거나, 카메라의 시각선의 차이가 심할 경우 occluding된 화소가 아님에도 불구하고 좌측 영상의 특징점이 우측 영상의 대응점의 특징과 크게 다르게 나타날 수도있다. 이 경우는 특징적 자체의 특징만으로는 정합이 불가능하며 이웃 특징점들간의 정합 관계로부터 정합을 시도해야 한다.

- 두 카메라의 높이가 같고 광학 축이 평행하도록 카메라 constraint를 가하면,

(4) 아래의 식과 같이 좌측 특징점 영상에 대한 우측 특징점 영상의 탐색 구간을 크게 축소시킬수 있다.

$$\{ (Xr, Yr) / Xl \leq Xr \leq Xl + MD, Yr = Yl \}$$

여기서 MD(maximum disparity)는 전체 스테레오 영상에 걸쳐 특징점과 그 대응점 간에 나타날 수 있는 최대의 disparity이다.

(5) 특징점 영상에서 특징점의 기하학적인 구성 형태에 따라 특징 정합의 성공도가 크게 달라진다. 특징점이 특징점 평면상에서 수직선에 가까울수록 correlation이나, 명암도의 차의 합과 같은 영역 베이스 방법에 의한 정합의 성공도가 높다. 반면에 특징점이 수평선에 가까울수록 영역 베이스 방법에 의해서는 오 정합율이 높게 나타난다.

스테레오 영상이 위와같은 특성을 가지고 있다는 것을 고려하여 먼저 각 특징점에 대하여 특징점이 구성하는 기하학적인 형태에 대한 특징 표현을 한다. 그 다음 그 특징에 따라 각기 다른 정합 규칙을 적용하므로 해서 보다 빠르고 정확한 스테레오 정합을 수행한다.

2. 특징 표현

본 논문에서는 특징점을 중심으로 3x3 윈도우 내에서 특징점과 이웃 특징점들이 구성하는 기하학적인 형태를 기초로 기하학적인 의미를 갖는 30종류의 특징을 추출한다. 여기서의 3x3 윈도우 크기와 특징의 종류는 처리소요 시간과 특징 표현의 세밀도를 고려하여 본 논문에서 사용되는 스테레오 정합 방법에 대한 효율성을 기준으로 정한 것이다.

빠른 시간내에 특징 표현을 하기위하여 특징값 데이터 베이스를 이용한다. 이 데이터 베이스는 특징점을 중심으로한 3x3 윈도우 내에서 만들어지는 특징점들의 기하학적인 형태에서 특징값을 구하는 look-up 테이블이다. 그림 6은 특징점을 중심으로한 3x3 윈도우 내에서 얻어지는 윈도우 형태의 구성을 보여준다. 윈도우 형태값이 구해지면 그 값을 주소(address)로 특징 테이블에서 특징값을 얻게 된다.

그림 7은 본 논문의 특징 표현에 이용되는 특징값의 대표되는 symbol과 그에 따른 윈도우 형태들이다.

이렇게해서 특징점의 특징값을 알게되면 표 2의 데이터 베이스에 따라 그 특징점의 연결까지 수와 유사 특징값을 알 수 있게 된다.

3. 정합 요소

본 논문의 스테레오 정합에 사용하는 기본적인 정합요소는 다음과 같다.

- (1) 특징점 자체의 에지 인텐시티 값
- (2) 특징점의 특징 표현 정보
- (3) 특징점을 중심으로한 좌측 영상(source image)의 3x3 윈도우와 우측 영상(reference image) 후보 점들의 3x3 윈도우 간의 차의 합 값의 백분률(DSUM).

$$DSUM = \frac{1}{1 + \frac{\sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 ||S_l(xli, ylj) - S_r(xri, yri)||}{\sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 \text{MAX}\{S_l(xli, yli), S_r(xri, yri)\}}}$$

여기서, S<sub>l</sub>(x<sub>li</sub>, y<sub>lj</sub>)는 좌측 입력영상의 화소값이고, S<sub>r</sub>(x<sub>ri</sub>, y<sub>ri</sub>)는 우측 입력영상의 화소값이며, MAX{ }는 두 값중 큰 값을 택하는 함수이다. 따라서 DSUM 값은 아래와 같은 범위를 가지게 된다. 즉, (0.50 ≤ DSUM ≤ 1.00).

- (4) 정합 값(matching value: MVAL).

$$MVAL = DSUM * f + FVAL$$

- 여기서 (i) 특징 타입(feature type)만 같고 특징 값이 같지 않으면 : f=1, FVAL=0
- (ii) 특징값이 같으면 : f=1, FVAL=0.02
- (iii) 특징타입이 같지 않으면 : f=0, FVAL=0

W0	W1	W2
W3	특징점의 중심	W4
W5	W6	W7

(a) 특징점을 중심으로한 특징점영상의 3x3 3x3 윈도우

W7	W6	W5	W4	W3	W2	W1	W0
----	----	----	----	----	----	----	----

(b) 특징점의 윈도우 형태값을 결정하는 look-up table의 주소 비트(bit) 형태























































































그림 6. 특징점의 윈도우 형태값을 구하는 방법  
Fig. 6. The window-pattern about feature-points.

특징 값	특징 symbol	윈도우 형태 (윈도우 형태값)	특징 값	특징 symbol	윈도우 형태 (윈도우 형태값)
1		 (24) 1 horizontal	16		 (80)
2		 (12) (14) (28)	17		 (5) (7) (13) (21) (29)
3		 (19) (17) (25)	18		 (33) (35) (41) (97) (99)
4		 (48) (56) (112)	19		 (132) (134) (148) (196) (198)
5		 (136) (152) (200)	20		 (160) (168) (176) (184) (224)
6		 (66) 1 vertical	21		 (49) (51) (57) (113) (115)
7		 (130) (146) (194)	22		 (162) (170) (178) (186) (226)
8		 (34) (42) (98)	23		 (140) (142) (156) (204) (206)
9		 (68) (70) (84)	24		 (69) (71) (77) (85) (93)
10		 (65) (67) (73)	25		 (50) (114)
11		 (36) (38) (44) (46) (52) (60) (100) (102) (116)	26		 (138) (202)
12		 (129) (131) (137) (145) (147) (153) (193) (195) (201)	27		 (76) (78)
13		 (10)	28		 (81) (83)
14		 (18)	29		 (165)
15		 (72)	30		 (90)
			31		위의 형태 이외의 것들(complex type)

그림 7. 특징점의 특징 형태  
Fig. 7. Feature-patterns of feature-points.

표 2. 특징값에 대한 유사 특징값 및 symbol

Table 2. Analogue-feature values and symbols of the feature-points.

특징symbol (특징값)	연결 가지	유사특징 symbol (유사 특징값)	특징symbol (특징값)	연결 가지	유사특징 symbol (유사 특징값)
 (1)	2	 (2)  (3)  (4)  (5)	 (16)	2	 (4)  (9)
 (2)	2	 (1)  (11)  (13)	 (17)	2	 (2)  (3)
 (3)	2	 (1)  (12)  (14)	 (18)	2	 (8)  (10)
 (4)	2	 (1)  (11)  (16)	 (19)	2	 (7)  (9)
 (5)	2	 (1)  (12)  (15)	 (20)	2	 (4)  (5)
 (6)	2	 (7)  (8)  (9)  (10)	 (21)	3	.
 (7)	2	 (6)  (12)  (14)	 (22)	3	.
 (8)	2	 (1)  (11)  (13)	 (23)	3	.
 (9)	2	 (6)  (11)  (16)	 (24)	3	.
 (10)	2	 (6)  (12)  (15)	 (25)	3	.
 (11)	2	 (2)  (8)  (9)  (4)	 (26)	3	.
 (12)	2	 (3)  (5)  (7)  (10)	 (27)	3	.
 (13)	2	 (2)  (8)	 (28)	3	.
 (14)	2	 (3)  (7)	 (29)	4	.
 (15)	2	 (5)  (10)	 (30)	4	.

단, 특징타입이 같다는 것은 특징점의 특징값 데이터 베이스에서 유사 특징값이 같다는 것을 의미한다.

여기서  $F=0.02$ 로 정한 것은 좌측 특징점과 우측 후보점의 특징값이 같은 경우, 정합값에 2%의 정합값을 증가시켜 주므로서 정합 효율을 높여주기 위한 것이며, 이 값은 반복 실험을 바탕으로 결정한 것이다.

본 논문에서는 위와같은 기본적인 정합 요소들을 가지고 효율적인 규칙들을 사용하여 스테레오 정합

을 시도한다.

#### 4. 정합 규칙

본 논문에서는 좌측 영상(source image)의 특징점에 대한 우측 영상(reference image)의 대응점의 탐색 범위를 최소로 만드는 규칙을 적용함으로써 스테레오 정합 시간을 크게 줄이고, 정확한 스테레오 정합을 시도하기 위하여 앞 절의 기본적인 정합요소들을 가지고 아래와 같은 규칙들을 적용한다.

(1) 좌측 영상의 특징점에 대한 대응점은 기본적으로 우측 특징점 영상에 존재하는 것으로 본다.

(2) 좌측 영상의 특징점에 대한 우측 영상의 탐색 범위는 카메라의 광학축과 baseline이 수직하는 조건에 따라 아래(3)식과 같이 탐색범위를 좁힐 수 있다.

$$\{ (X_r, Y_r) / X_l \leq X_r \leq X_l + MD, Y_l - e \leq Y_r \leq Y_l + e \} \quad (3)$$

여기서 MD(maximum disparity)는 실제 영상에서 나타날 수 있는 최대 disparity 보다 큰 값으로 한다. 또 e는 이론적으로 영의 값이나, 실제적인 카메라 설치 상의 기하학적인 오차를 고려하여 e=1로 놓는다.

(3) 좌측 영상의 특징점과 우측 영상의 대응점의 에지 인텐시티 편차는 15% 이내로 한다. 즉,

$$|I(X_r, Y_r) / I(X_l, Y_l) * 0.85 \leq I(X_r, Y_r) \leq I(X_l, Y_l) * 1.15| \quad (4)$$

여기서 I(X, Y)는 좌, 우측 특징점의 에지 인텐시티 값이다. 또 편차 값 15%는 본 논문에서 실험적으로 설정한 대응점으로서 허용할 수 있는 최대 값이다.

- Pass 1

(4) 특징점이 수평 특징 타입이면, pass1에서는 정합을 시도하지 않으며, pass2에서 이웃 화소들 간의 disparity 관계로부터 disparity를 얻는다((9)번 참조)

(5) 특징점이 complex 특징 타입이 아니고 특징점과 후보점 간의 특징값이 같으면, MVAL 값이 low-threshold보다 큰 값들 중 가장 큰 값을 나타내는 후보점을 대응점으로 정한다.

(6) 특징점이 complex 특징 타입이거나 특징점과 후보점 간의 특징값은 같지 않고 특징 타입만 같으면, MVAL 값이 high-threshold보다 큰 값들 중 가장 큰 값을 나타내는 후보점을 대응점으로 정한다.

(7) 특징점에 대한 후보점이 occluding 화소가 아니면서 우측 특징점 영상에 나타나지 않은 경우에 대처하는 규칙로서, 좌측 특징점과 후보점의 특징타입이 같은 후보점들 중 MVAL 값이 high-threshold를 넘는 값이 없으면, MVAL 값이 low-threshold를 넘는 후보점들의 이웃 8화소의 MVAL 값을 구하여 그 값들의 최고 값이 high-threshold를 넘는 것들 중 최고값을 갖는 화소를 좌측 특징점에 대한 대응점으로 한다.

(8) 좌측 특징점과 우측 후보점과의 MVAL 값이 low-threshold보다 높은 값이 없으면 그 좌측 특징점은 occluding 화소로 한다.

- Pass 2

(9) 좌측 특징점이 수평선 상의 특징점이면, 이미 정합된 수평선 세그먼트의 양 끝 특징점들에 대한 disparity 값을 참조하여 그 수평선의 길이와 이미 정합된 양 끝 특징점의 disparity 값을 비례적으로 계산하여 각 수평선 세그먼트의 disparity를 얻는다.

(10) 좌측 특징점을 중심으로 3×3 윈도우 내에서 상 또는 하에 정합화소가 있으면, 그 이웃 화소의 disparity를 그 특징점의 disparity로 한다. 또 상 또는 하에 정합 화소가 없고 좌,우에 정합 화소가 있으면 그것들의 평균 값을 그 특징점에서의 disparity로 한다.

IV. 실험 및 고찰

본 논문의 실험은 대상 물체에 대해 두대의 CCTV 카메라로부터 256×256의 해상도와 256 명암도를 가지는 스테레오 영상을 입력하여 실험한다. 이 입력된 스테레오 영상을 IBM PC/AT 상에서 논문에서 제안된 규칙 베이스 스테레오 알고리즘에 따라 어셈블리 언어(assembly language)와 C 언어로 구현 실험한다. 전체적인 흐름도는 그림 8에 나타나 있다.

알고리즘의 실험은 실험실에서 제작한 image capture system을 사용하여 다른 모양의 두 컵과 우유 팩 등 여러가지 모양의 물체들에 대해 두 카메라의 baseline을 10cm로 하고 광학축과 baseline이 수직하도록 카메라 constraint를 가하여 각각 영상을 입력 받는다.

여기서 사진 1은 입력된 좌·우 영상을 보여주고

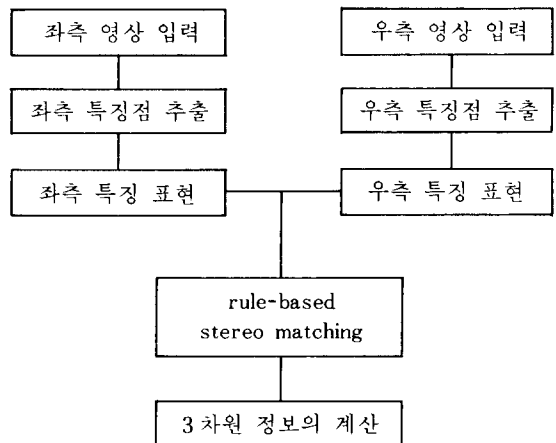
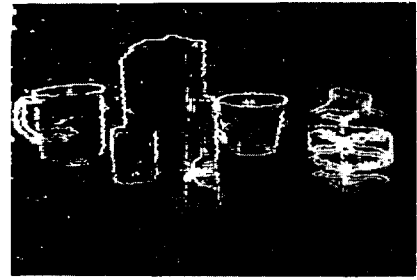


그림 8. 전체 algorithm의 흐름도  
Fig. 8. The flowchart of a overall algorithm.

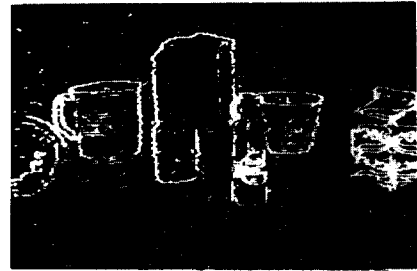


있다. 사진 2는 zero-crossing 방법에 의한 특징점 추출 영상이다. 사진 4-3는 제안된 특징점 추출방법에 의해 얻은 특징점 영상이다. 제안한 방법으로 얻은 특징점 영상이 잡음에 덜 민감하고 에지의 크기에 따라 표시되고 있다.

그림 9는 특징점 영상에서 에지 인텐시티의 값이 20 이상인 화소를 표시한 것이다. 여기에서 좌측 입력 영상의 중간에 있는 컵의 손잡이 일부가 우측 영상에서는 occluding 되어 있음을 알 수 있다. 그림 10(a)는 논문의 방법에 따라 stereo 정합이 이루어진 좌측 특징점들을 보여주고 있다. 거의 대부분의 특징점들이 정합되어 있다. 또 그림 10(b)는 좌측 영상을 기준으로 정합이 이루어지지 않은 특징점들을 나타내고 있다. 여기서 좌측 영상의 occluded 된 부분이 바람직스럽게도 정합이 안되어 나타나고 있다. 또 그림 11는 정합된 좌측 특징점을 disparity 값에 따라 보여주고 있으며, 그림 12는 정합의 성공도를 더 시각적으로 보이기 위하여 disparity 분포 값에 따라 표시한 것이다.



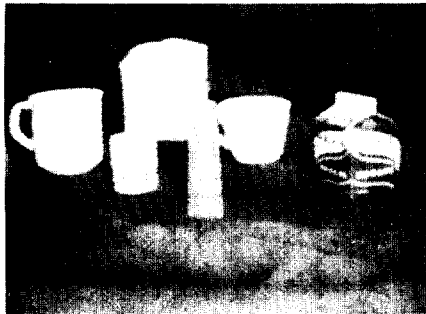
(a) 좌측 특징점 영상



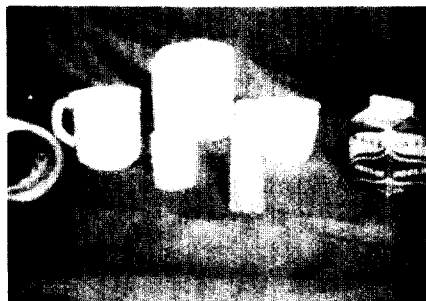
(b) 우측 특징점 영상

사 진 2. Zero-crossing 방법에 의한 특징점 추출 결과

Photo 2. Feature points images to be detected using zero-crossing algorithm.



(a) 좌측 입력 영상



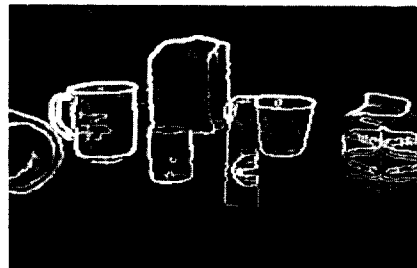
(b) 우측 입력 영상

사 진 1. 입력 영상

Photo 1. The input image of left and right cameras.



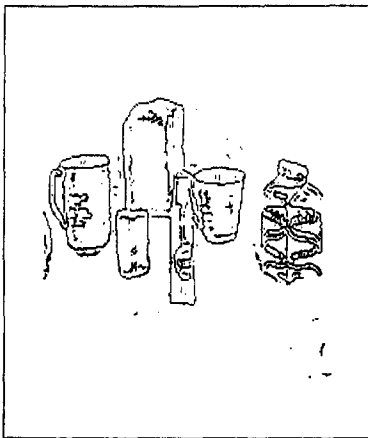
(a) 좌측 특징점 영상 특징점



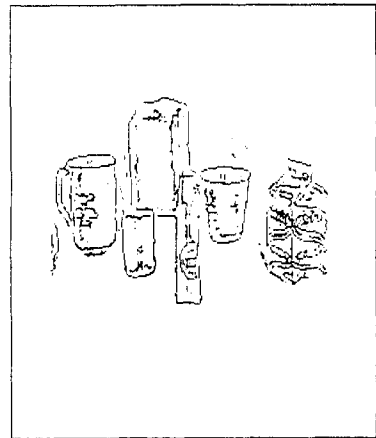
(b) 우측 특징점 영상

사 진 3. 제안한 특징점 방법에 의한 특징점 추출 영상

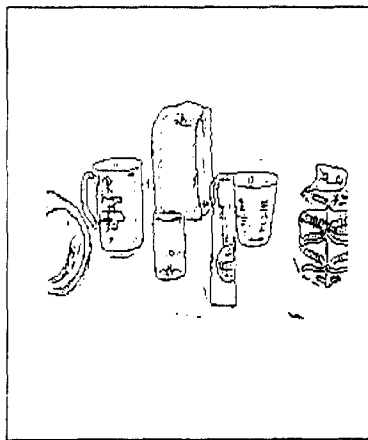
Photo 3. Feature points images to be detected using proposing-algorithm.



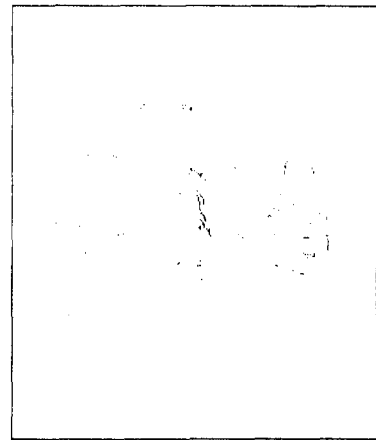
(a) 좌측 특징점 영상



(a) 정합된 좌측 특징점 영상



(b) 우측 특징점 영상



(b) 정합 안된 좌측 특징점 영상

그림 9. 입력 영상의 좌,우측 특징점 영상

Fig. 9. Feature-points images over twenty-edge-intensity values.

그림 10. 좌,우측 특징점 영상의 정합 및 부정합 정도

Fig. 10. Match points and mismatch points between left feature-points and right ones.

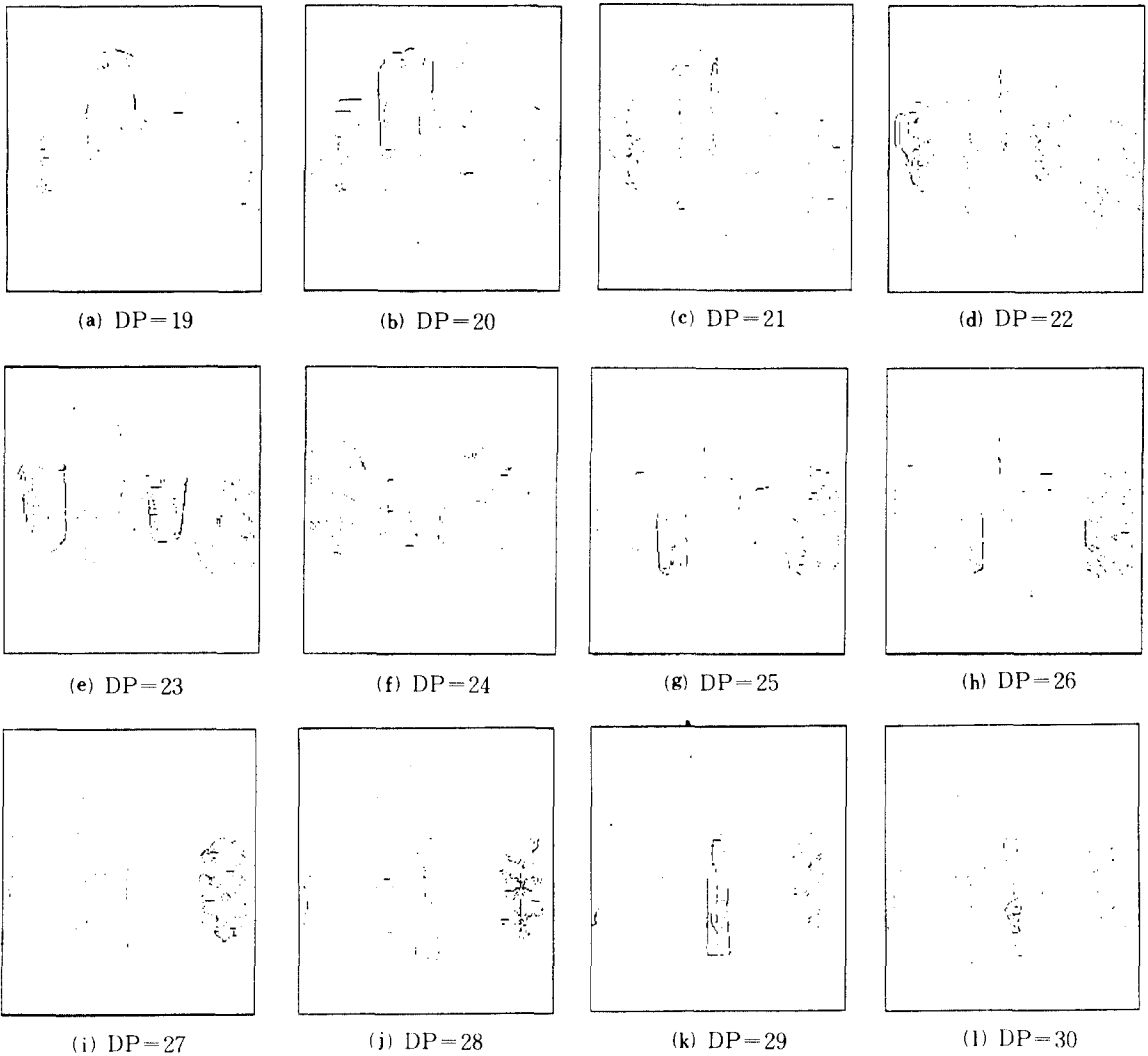
### V. 결 론

본 논문에서는 보다 빠르고 정확하게 물체에 대한 3차원 정보를 얻기 위하여 규칙 베이스 스테레오 정합 대한 연구 실험을 한다.

이런 목적을 위하여 먼저 잡음에 덜 민감하며 연결성이 좋고 한 화소로 구성된 특징점 영상을 얻기 위하여 기존의 방법과는 다른 새로운 특징점 추출방법을 제안한다. 이 방법을 본 스테레오 알고리즘의 전처리에 이용한다. 그 다음 스테레오 알고리즘에서 가장 중요한 처리 과정인 스테레오 정합을 정확하고

효율적으로 수행하기 위하여 특징점의 특징표현을 기초하는 규칙 베이스 스테레오 정합방법을 제안한다. 이 방법에 의해 얻어진 특징점의 대응 관계에서 잘 알려진 3각 측량법을 이용하여 최종적으로 입력 영상의 3차원 정보를 얻는다.

본 알고리즘을 실험에 적용해본 결과, 빠른 시간 내에 좋은 스테레오 정합 결과를 얻을 수 있음을 보여 주고있다. 특히 잡음에 강한 특징점 추출방법을 전처리로 이용하므로써 잡음이 있는 스테레오 영상에서도 좋은 정합 결과를 얻을 수 있다. 그러나 정합 값이 낮은 특징점에 대하여 보다 정확하고 더 많은



여기서 DP는 좌측 특징점에 대한 우측 대응점의 disparity 값이다.

그림11. 정합된 좌측 특징점들의 disparity 값에 따른 표시  
Fig. 11. Matched left feature-points corresponding to disparity-values.

특징점들의 스테레오 정합을 이루기 위해서는 정합된 이웃 특징점들의 정합 관계로부터 정합을 결정할 수 있는 효율적인 정합 규칙들을 더 연구, 추가하는 것이 필요하다.

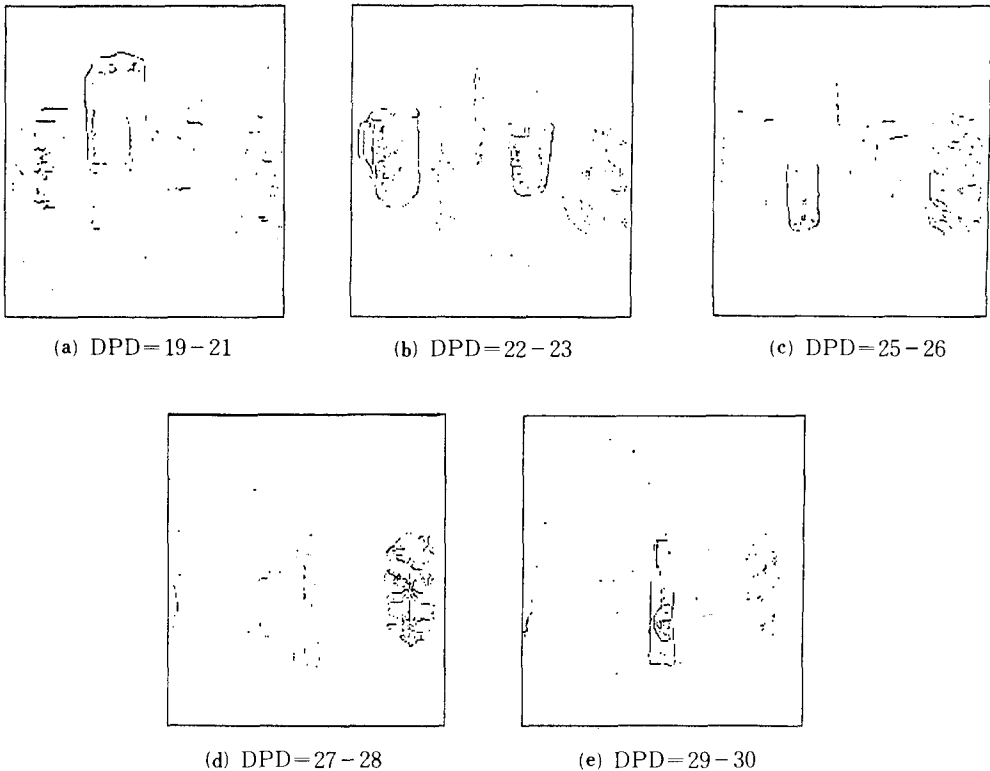
參 考 文 獻

[1] Ballard Brown, "Computer vision," Prentice-Hall.

[2] Berthold Klaus Paul Horn, "Robot vision," the MIT Press, 1986.

[3] Hong Seh Lim, Thomas O. Binford, "Stereo Correspondence: A Hierarchical approach," Image Understanding Workshop, Proc. vol. 1, pp. 234-241, February 1987.

[4] G.V. S. Raju, Thomas O. Binford, S. Shekhar, "Stereo Matching using viterbi algorithm," Image Understanding Workshop, Proc. vol. 2, pp. 766-776, February 1987.



여기서 DPD는 좌측 특징점에 대한 우측 대응점의 disparity의 범위이다.

그림12. 정합된 좌측 특징점들의 disparity 값의 범위에 따른 표시

Fig.12. Matched left feature-points corresponding to disparity-ranges.

- [5] Steven D. Cochran, "Steps toward accurate stereo correspondence," Image Understanding Workshop, Proc. vol. 2, pp. 777-791, February 1987.
- [6] G.M. Medioni, R. Nevatia, "Segment-based stereo matching," CVGIP, vol. 31, pp. 2-18, 1985
- [7] S.A. Lloyd, E.R. Haddow, J.F. Boyce, "A parallel binocular stereo algorithm utilizing dynamic programming and relaxation labelling," CVGIP, vol. 39, pp. 202-225, 1987.
- [8] Darwin T. Kuan, "Constraint and consistency in stereo matching," ICASSP, TOKYO 1986.
- [9] 심영석, 이창훈, 박성한, "3차원 정보를 얻기 위한 Rule-based Stereo Matching Algorithm," 대한 전자 공학회 88년도 추계 종합 학술대회논문집, pp410-113, 1988.
- [10] Guner S. Robinson, "Edge detection by compass gradient masks," CGIP. 6, pp. 492-501, 1977.
- [11] 심영석, 이창훈, 박성한, "Edge Intensity 평면에서의 특징점 추출," 제1회 신호처리 합동 Workshop, pp98-102, 1988.

著 者 紹 介



沈 泳 錫 (正會員)

1964年 7月 7日生. 1987年 2月  
한양대학교 전자공학과 졸업 학  
사학위 취득. 1989年 2月 한양대  
학교 대학원 전자공학과 졸업 공  
학석사 학위 취득. 1989年~현재  
군 복무중. 주관심분야는 Com-

puter vision 등임.

朴 成 漢 (正會員) 第25卷 第12號 參照

현재 한양대학교 전자계산학  
과 부교수