

논문 2004-41SP-6-2

# 시차공간영상을 이용한 스테레오 영상 정합에 관한 연구

(A Study on Stereo Matching Algorithm using Disparity Space Image)

이 종 민\*, 김 대 현\*\*, 최 종 수\*\*

(Jong-Min Lee, Dae-Hyun Kim, and Jong-Soo Choi)

## 요 약

본 논문에서 우리는 시차공간영상 (disparity space image)을 이용한 새로운 스테레오 정합 방법을 제안한다. 본 논문에서는 실측 제어점 대신 영상 안에서 특징점을 추출하여 정합영역을 설정하였고, 간단한 비용행렬을 정의하였다. 그리고 정합 속도를 증가시키기 위해 화소 단위의 정합을 이용하였다. 화소 단위의 정합은 정합 속도는 향상시키지만, 주변 영역을 이용하지 않기 때문에 정합의 정확성이 낮아진다. 이러한 단점을 보완하기 위해 시차공간영상의 특성을 이용하여 정합경로를 확대시켜서 주변 영역을 최대한 이용하였다. 또한, 현재 위치에서 이전과 이후의 시차공간영상을 체적화하여 전후의 시차공간영상을 이용함으로써 정합의 정확도를 더욱 향상시키는 정합 보정 모듈을 추가하였다. 본 논문에서 제안된 알고리즘은 다양한 영상에 적용하여 실험하였고, 그 결과 제안된 방법의 우수한 성능을 확인할 수 있었다.

## Abstract

This paper proposes a new and simple stereo matching algorithm using the disparity space image (DSI) technique. First of all, we detect some salient feature points on each scan-line of the image pair and set the matching area using those points and define a simple cost matrix. And we take advantage of matching by pixel-by-pixel instead of using the matching window. While the pixel-by-pixel method boost up the speed of matching, because of not using neighbor information, the correctness of the matching may not be better. To cover this point, we expand the matching path using character of disparity-space-image for using neighbor information. In addition, we devise the compensated matching module using the volume of the disparity space image in order to improve the accuracy of the match. Consequently, we can reduce mismatches at the disparity discontinuities and can obtain the more detailed and correct disparity map.

**Keywords :** stereo vision, disparity space image, dynamic programming

## I. 서 론

3차원 영상기술이 발전함에 따라 가상 현실 (virtual reality) 및 증강 현실 (augmented reality)과 같은 3차원 응용분야에 대한 관심이 고조되고 있다. 3차원 영상 응용분야를 구현하기 위해서 필요한 원천기술은 두 장 이상의 영상으로부터 3차원 정보를 추출하는 스테레오 비전 (stereo vision)기술이다. 스테레오 비전 기술은 주

어진 영상으로부터 3차원 정보를 얻는데 매우 유용하며, 이를 위해서 좌우 영상에서 대응점을 찾는 스테레오 정합이 반드시 선행되어야 한다<sup>[1]</sup>.

스테레오 정합은 컴퓨터 비전 분야에서 가장 근본적인 문제이다. 지금까지 많은 방법들이 제안되었지만, 여전히 정확한 정합을 이루기는 쉽지 않다. 기존의 방법들은 방법의 복잡성과 구현의 용이성간의 상호이율배반 관계를 갖고 있어, 간단하면서도 효과적인 방법에 대한 연구는 꾸준히 요구되고 있다.

스테레오 영상으로부터 시차와 깊이 정보를 얻는 방법들은 크게 영역기반, 특징기반, 위상기반, 그리고 에너지기반 방법으로 나뉜다. 이 중 에너지기반 방법은 전체의 정합 결과가 정해진 에너지 식을 최소화시키는 해를 구하므로 가장 좋은 성능을 보인다<sup>[2][3]</sup>. 최근 에너지기반 방법 중에서 시차공간영상 (disparity space

\* 정회원, HAMPEX  
(HAMPEX Co., Ltd.)

\*\* 정회원, 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과  
(Dept. of Image Eng., Graduate School of AIM,  
Chung-Ang Univ.)

※ 본 연구는 교육부의 두뇌한국21 사업 및 과학기술  
부의 국가지정 연구실지원으로 수행되었습니다.  
접수일자: 2004년3월24일, 수정완료일: 2004년10월15일

image)에서 최소의 비용 경로를 찾아 정합하는 방법은 비용 경로가 연속적인 특성으로 인해 기존 방법들보다 정확하고 안정된 결과를 나타낸다<sup>[3][4][5]</sup>. 그러나 이 방법은 계산시간이 오래 걸려 실제의 3차원 응용분야에는 적합하지 않다. 따라서 빠른 처리속도를 갖고, 정확성과 강인성이 떨어지지 않는 방법의 개발이 필요하다.

본 논문은 한 쌍의 스테레오 영상으로부터 시차공간 영상과 동적 계획법 (dynamic programming)을 이용하여 조밀한 시차 지도 (disparity map)를 얻는 새로운 방법을 제안한다. 시차공간영상과 동적 계획법이 함께 쓰이는 경우, 좌우 스테레오 영상에서 대응점을 찾는 문제는 비용행렬에서 최적 경로를 찾는 문제로 전환된다. 각 스캔라인 (scanline)에서 좌우 영상 사이의 비용행렬을 계산하고, 비용행렬에서 최소 비용 정합 경로를 찾는 다음, 정합의 목적인 시차를 얻을 수 있다. 그러나 가려짐 영역은 여전히 비용행렬계산에 영향을 주기 때문에 오정합을 유도할 수 있다. 또한 시차공간영상을 생성할 때 주변 화소를 이용하기 위해 윈도우를 사용하면 투영 왜곡에 대한 오류를 피할 수 없다<sup>[6][7][8]</sup>.

본 논문에서는 영상 안에서 강한 특징점을 추출하여 정합영역을 설정함으로써 탐색영역의 범위를 줄였고, 그 결과 계산 속도가 증가하였다. 또한 모서리나 경계 부분에서의 시차를 더욱 세밀하게 얻기 위하여 화소 단위의 정합을 하였다. 화소 단위의 정합은 주변 영역을 이용하지 않기 때문에 정합의 정확성이 다소 떨어질 수 있으나, 시차공간영상의 특성을 이용하여 정합 경로를 확대시켜서 그 문제를 해결하였다. 그리고, 정합중인 스캔라인 위의 한 점에서 이전과 이후의 스캔라인으로부터 얻은 전후의 시차공간영상을 함께 이용함으로써 정합의 정확도를 향상시킬 수 있는 정합 보정 모듈을 추가하였다. 정합 보정 모듈의 추가에 따른 계산량은 전체 영상을 3×3 윈도우를 사용하여 mean filter를 수행하는 것보다 2 화소가 빠지는 계산량으로 정합 속도에 크게 영향을 미치지 않는다. 결과적으로 화소 단위의 정합을 하면서도 정합의 정확성이 떨어질 수 있는 문제를 해결할 수 있다.

그림 1은 본 논문의 전체 알고리즘을 개략적으로 나타낸 흐름도이다. 스테레오 영상이 입력되면, 두 영상에서 각 스캔라인에서 강한 특징점을 찾는다. 추출된 특징점들에 대해서 우선 정합이 이루어지고, LRC(Left/Right Consistency)를 수행하여 정합의 모호성을 제거한 뒤, 정확한 정합만을 추려낸다. 이렇게 특징점들의 정합이 이루어지면 정합된 점들을 기반으로 두 영상의

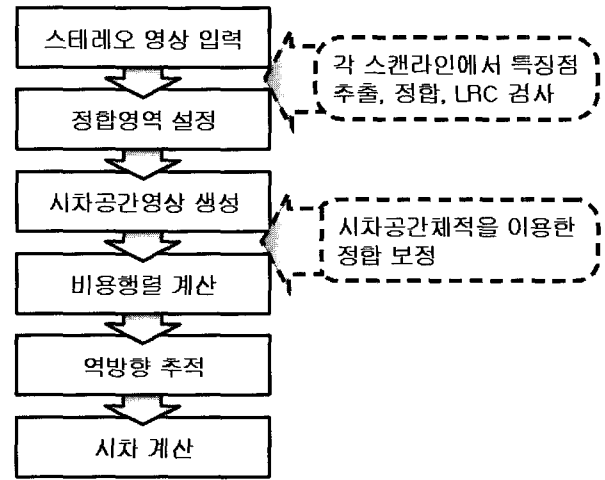


그림 1. 제안한 알고리즘의 전체 흐름도  
Fig. 1. Overall flow chart of the proposed algorithm.

정합 영역을 설정한다. 그리고 각 영역별로 시차공간영상을 이용하여 동적 계획법에 의해 정합이 이루어진다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장은 시차공간에서의 투영 왜곡, 시차공간영상의 구조 및 생성관계, 그리고 시차공간영상에서 정합을 이루는 방법 및 동적 계획법을 수행하기 위한 비용행렬 계산 방법에 대해 논한다. III장은 시차공간영상을 이용한 기존 방법의 문제를 보완한 새로운 정합 방법을 제안하고, 그 방법에 대해 논한다. IV장은 제안한 방법을 다양한 영상에 적용한 실험 결과와 그 성능을 보이고, 마지막으로 V장에서 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

## II. 시차공간영상 (disparity space image)

### 1. 시차공간에서의 투영 왜곡

스테레오 카메라에 투영되는 물체 표면이 카메라와 수평일 때는 좌우 영상에 같은 길이로 나타나지만, 수평 하지 않을 때는 다른 비율로 나타나게 된다. 이러한 상황에서 좌우 영상에 동일한 크기의 윈도우를 사용하여 정합하면 필연적으로 오류가 발생한다.

그림 2는 물체표면과 카메라와의 각도에 따라 시차공간에서 정합되는 양상을 나타낸다. 그림 2(b)에서 알 수 있듯이, 좌우 영상에서 길이의 비율에 따라 다양한 각도로 정합경로가 진행함을 알 수 있다. 정합윈도우를 사용하는 경우 이러한 길이 비율에 따라 정합윈도우의 모양을 적절히 바꿔주지 않는 한 오류는 피할 수 없으며, 이렇게 정합윈도우와 함께 동적 계획법과 같은 최적화 방법을 사용하는 것은 비효율적이다. 따라서 본

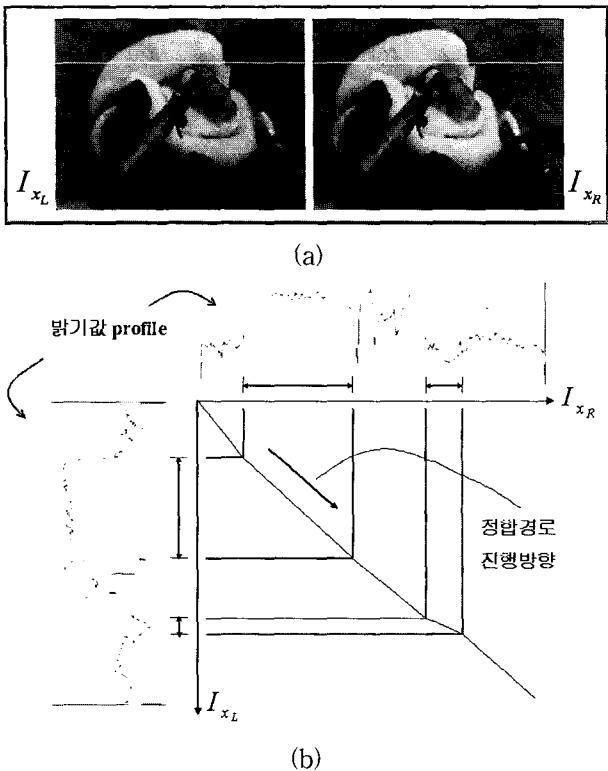


그림 2. 투영 왜곡에 따른 정합 경로의 진행 방향 : (a) 스테레오 영상, (b) 정합 경로  
 Fig. 2. Direction of the matching path according to the projective distortion : (a) stereo image, (b) matching path.

논문에서는 정합 윈도우 대신 화소 단위로 정합하는 방법을 선택하고, 이에 따른 문제를 해결하였다.

## 2. 시차공간에서의 스테레오 정합

### 가. 시차공간영상의 구조

시차공간영상이란 동일한 스캔라인 상에서 화소의 밝기값 차에 의해 생성되는 영상을 말한다. 오른쪽 영상의  $n$ 번째 스캔라인과 왼쪽 영상의  $n$ 번째 스캔라인을 각각 가로축과 세로축으로 설정하면 새로운 시차공간영상의 좌표가 설정된다<sup>[6]</sup>. 새롭게 설정된 좌표계에서 각 좌표에 해당하는 가로축, 세로축의 밝기차를 계산하고, 그 결과를 시차공간영상에 저장한다. 즉, 시차공간영상은 정합된 점들간의 공간적 관계를 나타내고 있다. 식 (1)은 정합 윈도우를 고려한 한 쌍의 스캔라인으로부터 시차공간영상이 생성되는 관계식을 나타낸다<sup>[3][6][7][8]</sup>.  $W$ 는 정합 윈도우의 크기,  $I_L$ ,  $I_R$ 은 좌우 영상,  $x_L$ ,  $x_R$ 은 좌우 영상의 스캔라인의 좌표를 각각 나타낸다.

그림 3은 SANTA 스테레오 영상과 그 영상으로부터 생성된 시차공간영상을 나타낸다. 그림 3(a), (b)는 각각

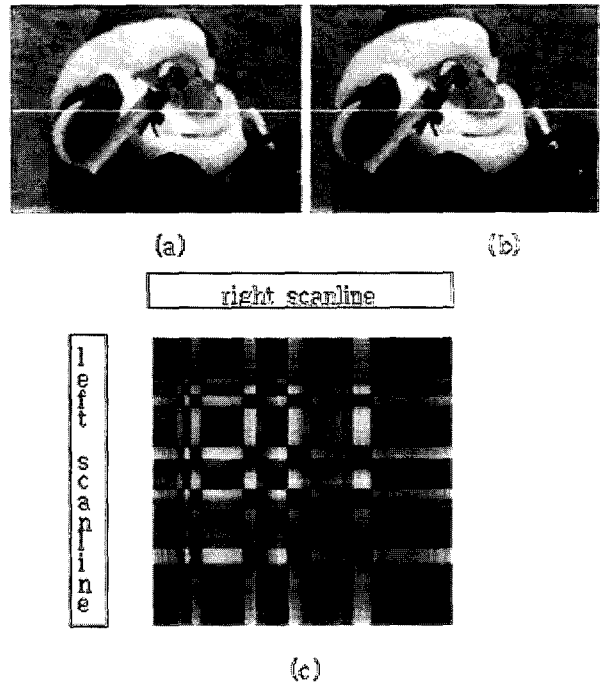


그림 3. 시차공간 영상의 생성 : (a) 왼쪽 영상 (b) 오른쪽 영상 (c) 시차공간영상  
 Fig. 3. Generation of the disparity space image : (a) left image, (b) right image, (c) disparity space image.

좌우 영상이고, 영상 위의 흰 선은 스캔라인이다. 그림 3(c)는 스캔라인 상에서 식 (1)에 의해 생성된 시차공간영상으로, 왼쪽 윗부분이 시작점이고, 오른쪽 아랫부분이 끝점이 되며, 5x5 윈도우를 사용하여 생성된 시차공간영상이다.

$$DSI_n(x_L, x_R) = \sum_{i,j=-W/2}^{W/2} I^L(x_L + i, n + j) - I^R(x_R + i, n + j) \quad (1)$$

### 나. 시차공간에서의 스테레오 정합

한 쌍의 스캔라인에 대해 시차공간영상이 만들어지면, 비용행렬을 계산하고 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 진행하는 최소비용 경로를 찾는다. 비용행렬의 계산 및 최적 경로의 탐색은 동적 계획법에 의해 수행된다.

그림 4는  $x_L$ ,  $x_R$ 을 각각 가로축과 세로축으로 하는 비용행렬을 나타내고 있다. 비용행렬의 크기는 시차공간영상과 같으며, 가로축과 세로축도 시차공간영상의 좌표축과 동일하다.

동적 계획법의 특징은 하위 문제들을 먼저 해결하여, 그 결과를 그 상위 문제의 해로 사용하는 것이다<sup>[3][7][9]</sup>. 동적 계획법을 사용하기 위해서는 두 가지의 성질을 만

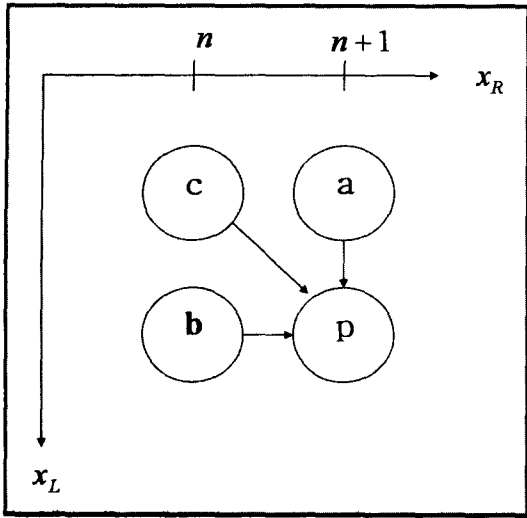


그림 4. P에서 비용행렬 계산과 P점으로의 정합 경로  
 Fig. 4. Computation of the cost matrix at P and its matching path.

족해야 한다. 첫 번째 성질은 하위 문제들의 해가 상위 문제를 해결하기 위해 반드시 병합되어야 하고, 두 번째 성질은 그 하위 문제들의 수가 너무 많으면 안 된다는 것이다<sup>[6]</sup>. 본 논문은 이 성질을 만족시키기 위해 하나의 스캔라인을 몇 개의 강한 특징점들로 구성된 소수의 구간으로 나누어서 계산을 한다.

동적 계획법을 사용하여 해를 구하는 방법은 일반적으로 비용행렬을 생성하는 과정에서 그 진행 방향의 경로가 세 방향으로 제한된다<sup>[3][7][9]</sup>. 이 방법을 스테레오 정합에 이용하면 그림 4와 같이 시차공간영상과 동일한 크기의 비용행렬에서 임의의 점 P로 진행되는 경로는 스테레오 정합의 순서제약조건 (ordering constraint)에 의해 제한되어 세 방향을 a, b, c 세 점으로 지정할 수가 있다. 따라서 P점까지 진행하는 최소비용은 a, b, c의 비용 중 가장 작은 비용에 P점의 시차공간영상값을 더한 값이 된다. 식 (2)는 제한된 정합경로로부터 비용을 계산하는 관계를 나타낸다.  $C(x)$ 는  $x$ 점에서의 비용행렬 값을,  $DSI(x)$ 는  $x$ 점에서의 시차공간영상 값을 각각 나타낸다.

$$C(P) = \min(C(a), C(b), C(c)) + DSI(P) \quad (2)$$

동적 계획법을 사용하여 최소비용 경로를 찾기 위해서는 먼저 비용행렬을 계산해야 한다. 비용행렬의 계산은 시차공간영상의 왼쪽 위 모서리부터 오른쪽 아래 모서리까지 수행된다. 그림 4를 보면, 비용행렬의 각 노드에서 제한된 경로방향만이 고려되어 비용행렬을 계산한다. 비용행렬이 완성되면 오른쪽 아래 끝점부터 왼쪽

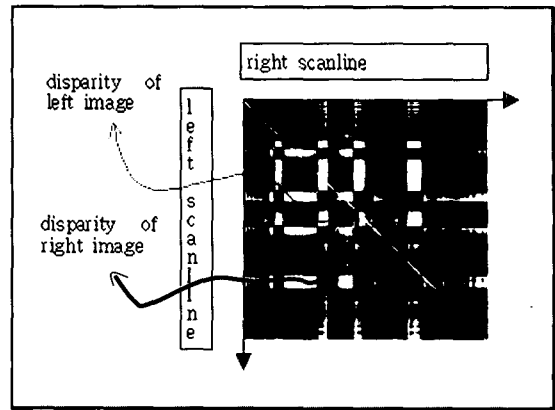


그림 5. 정합경로로부터 시차의 전환  
 Fig. 5. Conversion of the disparity from the matching path.

위 시작점까지 다시 역으로 최소 비용 경로를 선택해서 경로를 완성한다. 완성된 비용행렬에서 최적 경로를 역추적할 때, 정합점으로부터 연속된 경로를 추적하기 때문에 정합의 안정성이 보장된다<sup>[6]</sup>. 완성된 경로는 그림 5와 같이 영 (zero)시차 대각선과의 거리로써 왼쪽 또는 오른쪽 영상에서의 시차로 전환된다.

### III. 제안한 스테레오 정합 방법

시차공간영상에서의 시차 계산 방법을 이용하면 비교적 안정적이고 좋은 결과를 얻을 수 있다. 그러나 일반적인 정합 윈도우를 사용할 경우 계산 시간이 오래 걸리고, 투영 왜곡에 의해 시차 불연속점에서 정합 오류가 더욱 증가한다. 따라서 본 논문에서는 계산 속도를 증가시키고, 정합의 정확도를 높이기 위해 크게 세 가지의 방법을 제안하였다.

- 1) 시차공간영상 생성 시, 스캔라인 전체가 아닌 강한 특징점에 의해 정합영역을 설정함으로써, 탐색영역을 줄이는 동시에 정합의 정확성을 향상시킨다.
- 2) 투영 왜곡을 최소화 시키기 위해 화소간의 밝기차만을 사용하여 시차공간영상을 생성하고, 오정합 문제를 보상하기 위해 정합경로를 확대시켜서 최적 경로를 찾는다.
- 3) 시차공간영상체적을 이용한 정합 보정 모듈을 추가한다.

#### 1. 정합 영역의 분할

시차공간을 이용하여 정합을 이루는 방법은 먼저 시차공간영상과 동일한 크기의 비용행렬을 계산하고, 비

용행렬로부터 동적계획법을 사용하여 최소 비용 경로를 찾아 최종 대응점을 찾는다. 많은 최소 비용 경로 중 최적 경로를 찾기 위해서 기존의 방법들은 실측 제어점을 두고 경로가 진행되는 방향을 제어하였다<sup>[7]</sup>. 그러나 이러한 방법은 사용자가 입력 영상에 따라 경험적으로 제어점을 설정해 주어야 한다. 또한 영상에서 모서리를 검출하여 제어점으로 사용하는 방법은 여러 모서리 중 연결된 모서리만을 검출하기 위한 별도의 처리 방법을 추가하지만 결과는 만족스럽지 않다<sup>[4][9][10]</sup>.

본 논문은 각 스캔라인에서 실측 제어점을 대신할 수 있는 강한 특징점을 추출함으로써 최적 경로를 찾는 방법을 제안하였다. 특징점이 없는 스캔라인에 대해서는 정합영역을 따로 구분하지 않고, 이전의 방법과 동일하게 스캔라인 전체를 한 번에 처리 하도록 하였다.

$$Aver_{x,y} = \frac{\sum_{i,j} I(x+i, y+j)}{W^2} \quad (3)$$

$$Var_{x,y} = \sigma_{x,y}^2 = \frac{\sum_{i,j} |I_{i,j} - Aver_{x,y}|^2}{W^2} \quad (4)$$

특징점은 각 화소 밝기와 주변 화소 밝기와의 분산값을 고려한 화소 밝기의 상관관계를 이용하여 추출하였다. 식 (3)과 식 (4)는 각각 기준 화소에 대한 평균 밝기 값과 분산을 계산하는 식이다.  $x, y$ 는 기준화소의 좌표이고,  $i, j$ 는 윈도우 내의 화소이고,  $W$ 는 윈도우의 크기이다. 영상에서 화소 밝기가 급격히 변하는 곳에서는 주변 화소에 대한 분산값은 굉장히 크게 부각된다. 하지만 화소의 밝기를 무시하고 분산값만으로 정합을 이루면 정합이 정확하지 못하다. 따라서 화소의 분산값이 큰 점을 후보 특징점으로 놓고, 후보점들 가운데서 분산 차이값과 밝기값 상관관계를 구하여 가장 높은 상관도를 갖는 특징점들에 대해 정합을 수행하였다. 또한 정합된 특징점들에 대하여 LRC 검사를 수행하여 정합의 모호성을 제거하였다. LRC 검사는 먼저 좌우 영상 중 하나의 영상을 기준으로 대응점을 찾은 후에 찾아진 대응점을 기준으로 다시 역으로 원래의 기준영상에서 대응점을 찾는 방법이다. 결과적으로 확실한 대응점만을 이용하여 정합영역을 설정함으로써 다른 영역에서 발생할 수 있는 오정합을 제거 할 수 있다.

전체의 스캔라인 쌍에서 생성되는 시차공간영상은 영상의 폭과 동일한 폭과 높이를 갖게 된다. 하지만 설정된 정합 영역 쌍에 대해서 시차공간영상을 생성하면

그보다는 작은 몇 개의 시차공간영상이 생성된다.

이렇게 전체를 몇 개의 하위 구조로 나누어 동적 계획법을 수행할 때 정합된 점에서 시작과 끝이 이루어지기 때문에 안정성이 확보될 뿐만 아니라, 탐색 영역이 줄어들어 속도를 증가시킨다. 표 1에서 세 개의 특징점들로 정합영역이 구분된 경우와 그렇지 않은 경우를 비교하였다. 왼쪽 영상에서 특징점들의 좌표는 각각 (55,12), (155,12), (253,12)이고, 그 대응점들의 좌표는 각각 (48,12), (134,12), (246,12)이다. 정합영역을 구분한 경우, 그렇지 않은 경우보다 약 3.7배정도 탐색영역이 줄어든 것을 확인 할 수 있다.

## 2. 화소 단위의 시차공간영상 생성

스테레오 정합에서 윈도우를 사용하지 않고 화소 단위로 정합을 하는 것은 정합의 해상도와 속도면에서는 큰 이점이 있지만, 주위 영역을 정합에 이용하지 않기 때문에 정합의 정확성이 크게 떨어질 수 있는 단점이 있다. 그러나 시차공간영상에서 최적경로탐색방법에 의한 정합은 진행경로가 제한된 연속된 경로를 최적화함에 따라 영역을 구성하는 화소들이 항상 연속적으로 정합되므로 다른 방법에 비해 정합의 정확성이 상당히 증가된다. 또한 화소의 밝기차에 의한 시차공간영상에서

표 1. 정합영역 설정 전후 탐색영역 크기의 비교  
Table 1. Comparison of the search range before and after the setting up the matching area.

	정합영역 구분 전	정합영역 구분 후
탐색영역의 크기	320×320 = 102,400 pixels	(55×48)+(100×86)+ (98×112)+(67×73) = 27,107 pixels

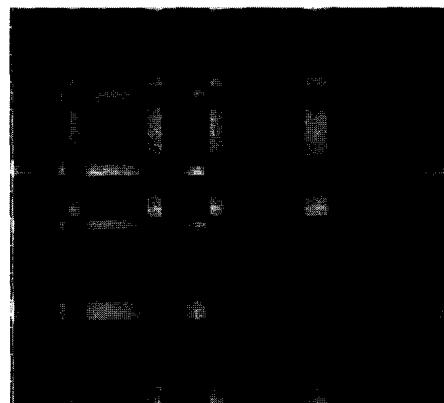


그림 6. 네 개의 특징점에 의해 구분된 시차공간영상

Fig. 6. Disparity Space Image separated by four feature points.

의 정합경로는 투영 왜곡에 의해 발생하는 오류를 제거할 수 있는 정합 모델로 모델링할 수 있다. 화소 단위로 계산할 때, 시차공간영상을 생성하는 식 (1)은 식 (5)와 같이 간단해진다.

$$DSI_n(x_L, x_R) = |I^L(x_L, n) - I^R(x_R, n)| \quad (5)$$

본 논문에서는 화소 단위 정합오류에 의해 생성된 시차공간 영상에서 시차공간영상을 생성할 때 이용하지 못한 주변 화소의 정보를 보상하기 위해 비용행렬을 계산하는 과정에서 정합경로의 진행 경로를 5방향으로 확대시켰다. 그러나 시차공간영상은 각 화소에서 좌우 공간과의 정보를 나타내기 때문에, 그 방향을 지나치게 확대시키면 오히려 시차불연속점에서의 오정합을 초래하는 결과를 가져온다. 따라서, 비용행렬 계산식 식 (2)는 식 (6)과 같이 재정의 된다. 그림 6은 시차공간영상에서 임의의 점에서 확장된 경로의 진행과정을 나타내었다. 그림 6의 모델은 투영 왜곡에 대한 문제를 고려한 것이다. 현재의 위치에서 물체의 표면이 카메라의 베이스 라인과 평행하지 않고 기울어져 있을 때 그 길이는 1:1 비율이 아니기 때문에 e나 d에서 비용이 고려되는 것이다.

$$C(P) = \min(C(a), C(b), C(c), C(d), C(e)) + DSI(P) \quad (6)$$

### 3. 체적 측정기법을 이용한 정합 보정

하나의 시차공간영상은 한 쌍의 스캔라인으로부터 생성되기 때문에 각 스캔라인 쌍에서 생성된 시차공간

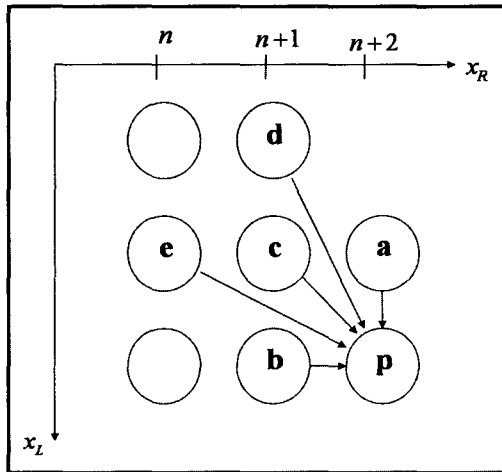


그림 7. 확장된 정합경로 진행방향  
Fig. 7. Extended matching path.

영상을 순서대로 모으면 체적을 갖는 3차원 구조를 갖게 된다. 일반적인 장면을 고려 할 때, 장면의 수직적 시차의 변화는 연속적인 특성을 지닌다. 이러한 성질을 고려하면, 3차원 시차공간영상에서 정합경로의 변화는 부드럽으면서 연속적이라는 성질을 얻을 수 있다. 따라서 전후 스캔라인으로부터 생성된 시차공간영상을 이용하면, 화소 밝기값에 정합 윈도우를 사용하는 것보다 더욱 정합의 정확도가 높게 유지되면서 정합의 안정성이 크게 향상되는 결과를 기대할 수 있다.

본 논문은 전후의 시차공간영상을 사용하기 위해 2차원 정수형 가우시안 커널 (Gaussian kernel)을 적용하였고, 이 관계를 시차공간영상의 수직축에 해당하는 왼쪽 영상을 기준으로 표현하면 식 (7)과 같다. 식 (8)은 시차공간영상의 수평축에 해당하는 오른쪽 영상을 기준으로 표현한 식이다. 식 (7)과 식 (8)의 관계식을 고려하여 최소값을 구하고, 그 결과를 비용행렬 계산식에 포함하면 식 (6)은 식 (9)와 같이 표현할 수 있다.

$$SmDSI_n^L(x_L, x_R) = \frac{1}{24} (DSI_{n-1}(x_L-1, x_R) + 2 \times DSI_{n-1}(x_L, x_R) + DSI_{n-1}(x_L+1, x_R) + 2 \times DSI_n(x_L-1, x_R) + 12 \times DSI_n(x_L, x_R) + 2 \times DSI_n(x_L+1, x_R) + DSI_{n+1}(x_L-1, x_R) + 2 \times DSI_{n+1}(x_L, x_R) + DSI_{n+1}(x_L+1, x_R)) \quad (7)$$

$$SmDSI_n^R(x_L, x_R) = \frac{1}{24} (DSI_{n-1}(x_L, x_R-1) + 2 \times DSI_{n-1}(x_L, x_R) + DSI_{n-1}(x_L, x_R+1) + 2 \times DSI_n(x_L, x_R-1) + 12 \times DSI_n(x_L, x_R) + 2 \times DSI_n(x_L, x_R+1) + DSI_{n+1}(x_L, x_R-1) + 2 \times DSI_{n+1}(x_L, x_R) + DSI_{n+1}(x_L, x_R+1)) \quad (8)$$

$$C(P) = \min(C(a), C(b), C(c), C(d), C(e)) + \min(SmDSI^L(P), SmDSI^R(P)) \quad (9)$$

최종적으로 비용행렬은 식 (9)에 의해 계산되며, 완성된 비용행렬에의 우측 하단 끝점에서 좌측 상단 시작점까지 역으로 최소 비용의 해를 추적하여 경로를 완성한다. 역으로 추적하는 방법은 비용행렬 계산할 때 최소 비용이 어떤 노드로부터 진행이 되었는지를 모두 저장해 두었다가 그 방향만을 역으로 추적하는 방법을 사용하였다.

## IV. 실험 결과

본 논문에서 제안한 방법의 성능을 평가하기 위해 Tsukuba 대학에서 취득한 SANTA, PLANT 스테레오

영상을 이용하였다. 이 영상은 기준 시차 지도가 있기 때문에 제안한 방법의 성능 평가가 가능하다. SANTA 영상은 비교적 질감의 정도가 중간적이면서 밝기의 변화가 없는 폐쇄 영역을 부분적으로 많이 포함하고 있고, 이러한 부분에서 정합을 어느 정도 이루어내는 지가 성능의 지표가 되고 있다. 이와 반대로 PLANT 영상은 질감이 매우 풍부하기 때문에 얼마나 정합을 정확히 이루느냐가 성능의 지표가 되고 있다. 그 밖에 AQUA, PENTAGON 스테레오 영상들에 대해서도 실험을 하였다.

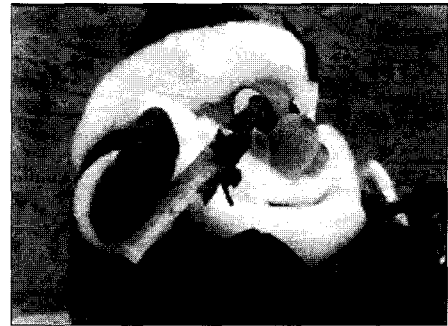
기존의 방법에 대해서도 정합 보정 모듈을 추가하여 제안한 방법과 비교하였다. 정합 보정 모듈은 정합경로 방향의 확장에 비해 제안된 방법의 성능 향상에 크게 기여하고 있다. 여기서 말하는 기존의 방법은 [6]과 [8]에서 언급하는 basic DSI algorithm을 말한다.

1. SANTA 스테레오 영상

그림 8(a)는 SANTA 스테레오 영상 중 왼쪽 영상이고, 그림 8(b)는 기준 시차 지도를 나타내고 있다. 그림 8(c)는 기존의 시차공간영상 방법을 사용하여 얻은 시차 지도이고, 그림 8(d)는 제안된 방법을 사용하여 얻은 시차 지도이다. 그림에서 알 수 있듯이, 제안한 방법으로 얻은 시차 지도가 기존 방법으로 얻은 시차 지도보다 섬세한 시차를 계산하는 것을 알 수 있다. 이미 언급했던 것처럼, SANTA 영상은 밝기의 변화가 없는 부분에서의 정합이 어떻게 이루어지는가에 대해 관심이 있다. 그림 8(a)의 중앙 하단은 밝기 변화가 거의 없는 영역으로 기존방법은 많은 오차를 내포하는 반면에 제안한 방법은 거의 균일한 시차를 갖고 있다. 그러나 이러한 밝기 변화가 없는 영역에 대한 시차 계산 방법은 개선되어야 할 부분이 남아있다.

2. PLANT 스테레오 영상

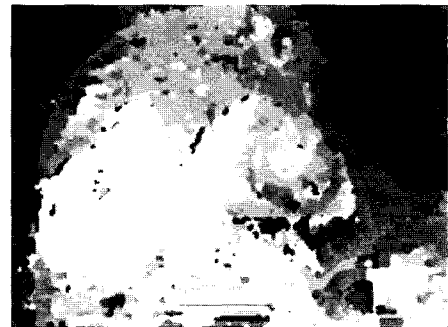
그림 9(a)는 PLANT 스테레오 영상 중 왼쪽 영상이고, 그림 9(b)는 기준 시차 지도를 나타내고 있다. 그림 9(c)는 기존의 시차공간영상 방법을 사용하여 얻은 시차 지도이고, 그림 9(d)는 제안한 방법을 사용하여 얻은 시차 지도이다. 그림에서 알 수 있듯이, 제안한 방법으로 얻은 시차 지도가 기존 방법으로 얻은 시차 지도보다 섬세한 시차를 계산하는 것을 알 수 있다. 이미 언급했던 것처럼, PLANT 영상은 풍부한 질감 정보 때문에 정합이 얼마나 정확하게 이루어지는가에 대해 관심이 있다. 전체적으로 기존방법은 많은 오차를 내포하는 반



(a)



(b)



(c)



(d)

그림 8. SANTA 스테레오 영상 : (a) 왼쪽 영상, (b) 기준 시차 지도, (c) 기존 DSI 방법에 의해 생성된 시차 지도, (d) 제안된 방법에 의해 생성된 시차 지도

Fig. 8. Stereo image, SANTA : (a) left image, (b) reference disparity map, (c) disparity map acquired from the conventional DSI technique, (d) disparity map acquired from the proposed algorithm.



(a)



(b)



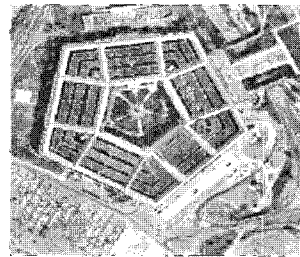
(c)



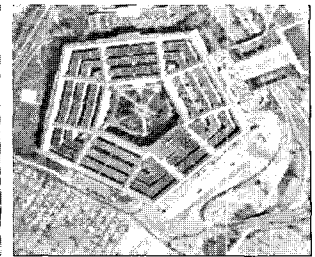
(d)

그림 9. PLANT 스테레오 영상 : (a) 왼쪽 영상, (b) 기준 시차 지도, (c) 기존 DSI 방법에 의해 생성된 시차 지도, (d) 제안된 방법에 의해 생성된 시차 지도

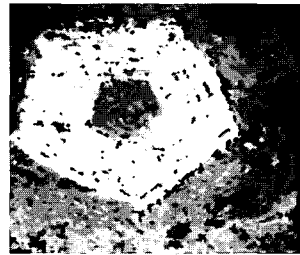
Fig. 9. Stereo image, PLANT : (a) left image, (b) reference disparity map, (c) disparity map acquired from the conventional DSI technique, (d) disparity map acquired from the proposed algorithm.



(a)



(b)



(c)



(d)

그림 10. PENTAGON 스테레오 영상 : (a) 왼쪽 영상, (b) 오른쪽 영상, (c) 기존 DSI 방법에 의해 생성된 시차 지도, (d) 제안된 방법에 의해 생성된 시차 지도

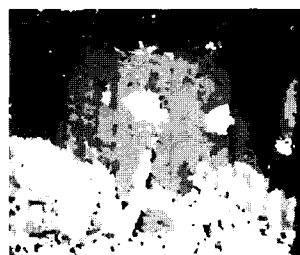
Fig. 10. Stereo image, PENTAGON : (a) left image, (b) right image, (c) disparity map acquired from the conventional DSI technique, (d) disparity map acquired from the proposed algorithm.



(a)



(b)



(c)



(d)

그림 11. AQUA 스테레오 영상 : (a) 왼쪽 영상, (b) 오른쪽 영상, (c) 기존 DSI 방법에 의해 생성된 시차 지도, (d) 제안된 방법에 의해 생성된 시차 지도

Fig. 11. Stereo image, AQUA : (a) left image, (b) right image, (c) disparity map acquired from the conventional DSI technique, (d) disparity map acquired from the proposed algorithm.



표 2. SANTA 영상의 시차 지도 추정 시간 (단위:초)  
Table 2. Disparity estimated time for SANTA.(unit : sec.)

	정합영역 분할	비분할
윈도우사용	5.28	43
화소	2.69	10.1

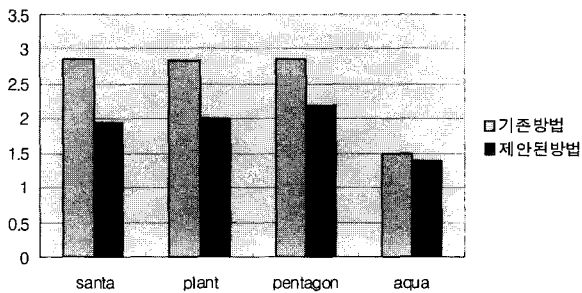


그림 12. 정확도에 따른 제안된 방법의 성능평가  
Fig. 12. Evaluation of the proposed algorithm by the accuracy.

면에 제안한 방법은 보다 섬세한 시차를 내포하고 있다.

### 3. 기타 스테레오 영상

그림 10(a), (b)는 PENTAGON 스테레오 영상을 나타내고, 그림 10(c), (d)는 기존의 시차공간영상 방법과 제안한 방법을 사용한 시차 지도를 각각 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 제안한 방법이 더욱 섬세한 시차 지도를 계산하는 것을 알 수 있다.

마찬가지로 그림 11(a), (b)는 각각 좌우 AQUA 스테레오 영상을 나타내고, 그림 11(c), (d)는 각각 기존의 시차공간영상 방법을 사용한 시차 지도와 제안한 방법을 사용한 시차 지도를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 제안한 방법이 더욱 섬세한 시차 지도를 계산하는 것을 알 수 있다.

표 2는 SANTA 영상의 전체 시차 지도를 계산 시간을 비교하고 있다. 표에서 알 수 있듯이 제안한 방법이 보다 빠르게 시차를 계산하는 것을 알 수 있다.

### 4. 성능평가

식(10)은 대응 점들간의 시차의 거리차를 평균하는 평균 오차 거리 식으로써 이상적인 경우 0을 나타낸다.

$$E = 1/N \sum_{(x,y)} (d_L(x, y) + d_R(x + d_L(x, y), y)) \quad (10)$$

$d_L(x, y)$ ,  $d_R(x, y)$ 는 각각  $(x,y)$ 에서의 시차로써, 정확하게 대응되는 점에서는 크기는 같고 부호만 서로 반

대가 된다.

그림 12는 실험에 사용한 스테레오 영상에 대하여 실험 결과에 대한 알고리즘의 정확도를 평가한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이, AQUA영상을 제외하고 모두 제안한 방법에서 월등히 우수한 성능을 나타내고 있다. AQUA영상의 경우, 배경에서의 오정합이 크게 나타난다. 이것은 AQUA영상에 가려짐 영역이 많이 존재하기 때문이다. 그 결과, 다른 영상들에 비하여 다소 낮은 정확도가 나왔다. 이렇게 가려짐 영역이 많은 영상들에 대해서도 정합을 정확하게 이루기 위해서는 특징점을 추출하는 방법 등에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

## V. 결 론

본 논문에서는 시차공간영상에서 화소 단위 정합을 이용한 새로운 스테레오 정합 방법을 제안하였다. 시차공간영상을 이용한 스테레오 정합 방법은 동적 계획법을 사용하여 화소 단위의 조밀한 시차 지도를 빠르게 얻을 수 있으며, 수행 과정에서 정합을 이루는 동시에 가려짐 영역까지 검출하는 매우 효율적이면서도 우수한 성능을 보여주는 방법이다. 하지만 가려짐 영역은 여전히 수행과정인 비용행렬계산에 영향을 주기 때문에 오정합을 유도할 수 있다. 또한 시차공간영상을 생성할 때 주변 화소를 이용하기 위해 윈도우를 사용하는 것이 일반적이나 윈도우를 사용하면 투영 왜곡에 대한 오류를 피할 수 없다.

본 논문은 계산속도를 더욱 증가 시키면서 투영 왜곡에 대한 오류를 제거 할 수 있도록 화소 단위의 정합을 하였다. 주변 영역을 이용하지 않고 화소 단위로 정합을 이루게 되면 정합의 정확성이 떨어질 수 있기 때문에 시차공간영상에서 정합 진행 방향을 확대시켰고, 시차공간영상체적을 이용한 정합 보정 모듈을 추가하였다. 결과적으로, 화소간 밝기차로 구성된 시차공간영상에서 최적의 정합경로를 찾음으로써 계산 속도 증가 및 투영 왜곡에 의해 발생하는 시차 불연속점에 대한 문제점의 해결책을 제시하였다. 또한 정합 진행방향 확대, 그리고 시차공간영상체적을 이용한 정합 보정 모듈을 수행하면서 정합의 정확도를 향상시킬 수 있었다. 향후 보다 정확한 정합을 위해 보다 정확한 특징점 추출을 위한 방법의 연구와 밝기 변화가 없는 영역이 고려된 스테레오 정합 모델로 발전시키는 연구가 함께 수행되어야 할 것이다.

## 참고 문헌

- [1] R. Hartley and A. Zisserman, "Multiple View Geometry in computer vision," Cambridge Univ. Press, 2000.
- [2] C. L. Zitnick and T. Kanade, "A cooperative algorithm for stereo matching and occlusion detection," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.22, No.7, July 2000.
- [3] D. Geiger, B. Ladendorf, and A. Yuille, "Occlusions and binocular stereo," Intl. Journal of Computer Vision, Vol.14, No.3, pp. 211-226, 1995.
- [4] Y. Ohta, and T. Kanade, "Stereo by intra- and inter-scanline search using dynamic programming," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.7, pp. 139-154, 1985.
- [5] 김대현, 최종수, "양방향 시차 몰핑을 이용한 중간 시점 영상 보간," 대한전자공학회 논문지, 제39권 SP편 제2호, pp.215-223, 2002년 3월.
- [6] C. J. Tsai and A. K. Katsaggelos, "Dense disparity estimation with a divide-and-conquer disparity space image technique," IEEE Trans. on Multimedia, Vol.1, pp. 18-29, March 1999.
- [7] S. S. Intille and A. F. Bobick, "Disparity-space images and large occlusion stereo," Proc. of ECCV'94 Stockholm, pp. 179-186, 1994.
- [8] B. Girod, G. Greiner, and H. Niemann, "Principles of 3D Image Analysis and Synthesis," Academic Publishers Press, 2000.
- [9] I. J. Cox, S. L. Hingorani, and S. B. Rao, "A maximum likelihood stereo algorithm," Computer Vision and Image Understanding, Vol.63, No.3, pp. 542-567, May 1996.
- [10] Y. Yamada, S. Kuroe, and I. Nose, "Dynamic programming based stereo matching after locating two end points," Proc. of IEEE Intl. Workshop on Intelligent Robots, pp. 489-494, Oct. 31-Nov. 2, 1988.

## — 저 자 소 개 —



이 종 민(정회원)  
2002년 중앙대학교 전자전기  
공학부 졸업(학사).  
2004년 중앙대학교 첨단영상  
대학원 영상공학과 졸업  
(공학석사).  
2004년 5월~현재 HAMPEX 연구원  
<주관심분야: 컴퓨터 비전, 영상합성, 영상통신>



김 대 현(정회원)  
1999년 중앙대학교 전자공학과  
졸업(학사).  
2001년 중대학교 첨단영상대학원  
영상공학과 졸업  
(공학석사).  
2001년~현재 중앙대학교 첨단  
영상대학원 영상공학과  
박사과정.

<주관심분야: 컴퓨터 비전, 컴퓨터 그래픽스, 영상  
신호처리, 영상통신>



최 종 수(정회원)  
1975년 인하대학교 전기공학과  
졸업(학사).  
1977년 서울대학교 대학원  
전자공학과 졸업(공학석사)  
1981년 Keio University(일본)  
전기공학과 졸업(공학박사)  
1981년 2월~1981년 9월 Aloka Co. Ltd. 연구소  
연구원.  
1981년 9월~1999년 8월 중앙대학교 전자공학과  
교수.  
1999년~현재 중앙대학교 첨단영상대학원  
영상공학과 교수.  
<주관심분야: 컴퓨터 비전, 증강현실, 영상합성,  
영상압축, 영상통신>