

# 화소기반 변이공간영상에서의 스테레오 정합

정회원 김철환\*, 이호근\*, 하영호\*

## A stereo matching algorithm in pixel-based disparity space image

Cheol-Hwan Kim\*, Ho-Keun Lee\*, and Yeong-Ho Ha\* *Regular Members*

### 요약

본 논문은 안정적이며 빠르게 동작하는 화소기반 변이공간영상기반의 스테레오 정합방법을 제안한다. 스테레오 영상은 서로 상이한 두 영상이 아니라 수평방향의 이동만이 존재하는 거의 유사한 영상이다. 따라서 큰 정합윈도우를 사용하는 정합방법이 꼭 필요하지는 않다. 그러나, 화소기반은 영상의 잡음에 매우 민감한 특성을 가지므로, 최적경로를 구하기 위한 동적계획법 과정 중, 비유행렬이 구해졌을 때, 그에 따라 함께 생성되는 방향요소들을 검사하여, 잡음에 의해 올바르지 않은 경로를 생성시킬수 있는 방향들을 제거하는 방법을 사용한다. 실험결과는 제안한 방법이 대부분의 영상잡음에 의한 변이값의 잡음들을 효과적으로 제거하고, 매우 짧은 시간에 좋은 결과의 변이맵을 생성시킴을 보여준다.

Key Words : disparity estimation; dynamic programming, disparity space image

### ABSTRACT

In this paper, a fast stereo matching algorithm based on pixel-wise matching strategy, which can get a stable and accurate disparity map, is proposed. Since a stereo image pair has small differences each other and the differences between left and right images are just caused by horizontal shifts with some order, the matching using a large window will not be needed within a given search range. However, disparity results of conventional pixel-based matching methods are somewhat unstable and wrinkled, the principal direction of disparities is checked by the accumulated cost along a path on array with the dynamic programming method. Experimental results showed that the proposed method could remove almost all disparity noise and get a good quality disparity map in very short time.

### 1. 서론

우리가 살고 있는 3차원 공간에 대한 정보 및 그것의 표현은 2차원의 한계를 넘을 수 있으므로 큰 매력을 가지고 있다. 3차원 정보를 취급하기 위해서는 먼저 3차원 정보를 획득할 수 있어야 하고, 이를 처리하여 다시 3차원으로 표현하는 것이 가능해야 한다. 3차원의 표현방법으로 홀로그램을 비롯하여 안경을 사용하는 방법, 무안경식 3D 디스플레이 시스템 등이 개발되고 있으며, 3차원 입력장치로서 레이저를 사용한 거리측정장치와 상대적으로 저렴한

스테레오 정합 등이 연구되고 있다.<sup>[1-8]</sup>

스테레오 정합 과정은 먼저 두 영상 중에서 한 영상을 기준영상으로 정하고 나머지 한 영상을 대상영상으로 정한 뒤 기준영상의 임의의 화소를 대상영상에서 찾는데, 원래 화소와 찾아진 화소간의 수평방향 거리차이가 변이가 되며, 변이는 카메라의 기하학적 배치를 고려하여 3차원 상의 깊이 정보로 바뀌어질 수 있다. 따라서 변이정보는 곧 3차원 정보를 뜻하게 된다.

이러한 스테레오 정합은 1970년대 이후 많은 연구자들의 관심 속에 연구되어왔다. 그러나 이러한

\* 경북대학교 전자전기공학부 칼라 및 영상처리 연구실(yha@ee.knu.ac.kr)  
 논문번호 : #020532-1209, 접수일자 : 2002년 12월 9일

스테레오 정합은 신뢰성, 정확성, 수행시간 등에서 문제점을 가지고 있어 발전에 한계점을 보였다. 특히 수행시간이 빨라도 몇 분이 걸리며, 알고리즘에 따라 수십분이 걸리기도 하므로 이러한 방법들은 실시간 응용분야에 적용할 때 문제가 된다.

기존 변이공간영상에서의 정합방법<sup>[9-13]</sup>을 살펴보면, 기초제어점(GCP's, ground control points)을 선택하여 전체 경로를 설정하는 방법이 제안되기도 하였고, C. J. Tsai 등은 에서 분할 및 정복 기법(divide-and-conquer algorithm)을 접목하여 변이공간영상에서 정합하는 방법을 제안하였다. 이러한 방법들은 이전의 방법들에 비해 안정적이고 정확한 변이맵을 생성시키지만, 기본적으로 변이공간영상을 만들 때, 정합원도우를 사용하므로 수행시간이 많이 걸려서 실시간 응용분야에 적용하기에는 무리가 있다.

따라서 본 논문에서는 실제의 3차원 응용분야에 적용할 수 있는 실시간 스테레오 정합을 목표로 하여, 화소단위의 밝기 차이를 비용함수로 사용한 변이공간영상을 사용하였으며, 화소단위 정합에 따른 변이맵의 불안정성을 극복하기 위한 방법들을 제안하였다. 화소단위 정합에 의해 빠른 변이맵 생성이 가능하였으며, 안정성을 증가시키는 여러 방법들에 의해 생성된 변이맵이 기존의 방법들에 비해 뒤떨어지지 않는 결과가 나왔다. 또한 화소단위로 정합함에 따라 기존의 정합원도우를 사용함에 따라 발생하는 문제점들이 사라지게 되는 이점도 있었다.

제안한 실시간 변이추출방법은 화상회의, 3D-TV 등 여러 가지 3차원 응용분야의 구현에 큰 진전을 가져올 것으로 기대된다.

## II. 제안하는 변이공간영상에서의 스테레오 정합 방법

본 연구에서는 여러 가지 정합 알고리즘 중에서, 안정성과 정확성이 뛰어난 변이공간영상 기반의 방법을 바탕으로 하였다. 먼저 좌·우 영상에서 하나의 극상선 상에서 변이공간영상을 만들고, 만들어진 변이공간영상에서 최소비용의 경로를 동적계획법(dynamic programming method)에 의해 구하며, 구해진 정합의 경로를 변이로 변환하는 세 단계로 구성되어 있다. 문제를 간단히 하기 위해 평행한 카메라 배치를 가정하였고, 따라서 극상선이 스캔라인과 동일해져서, 좌, 우 영상의 동일 스캔라인 상의 정합이 된다. 원도우 정합을 사용하지 않고 화소끼리

의 정합을 하며, 탐색영역을 적응적으로 변화시킴으로써 실시간 처리를 가능케 하였다.

### 1. 변이공간영상 (disparity space image)

평행카메라 배치에 따라 스캔라인 간의 정합이 되었으므로, n번째 라인의 좌영상 화소와 우영상 화소의 정합오차는 아래와 같이 정의되고, 이것이 그림 1에서와 같은 변이공간영상이 된다.

$$DSI_n(x_L, x_R) = |I_L(x_L, n) - I_R(x_R, n)| \quad (2)$$

여기서  $I_L(x_L, n)$ 은 좌영상에서 n번째 스캔라인의 가로방향 x에서의 밝기값을 뜻하고,  $I_R(x_R, n)$ 은 우영상에서의 밝기값을 뜻한다. 정합원도우를 사용하지 않으면 변이공간영상은 다음과 같이 구해진다.

$$DSI_n(x_L, x_R) = \sum_{i,j=-W/2}^{W/2} |I_L(x_L + i, n + j) - I_R(x_R + i, n + j)| \quad (3)$$

여기서 W는 정합원도우의 크기이다.

변이공간영상을 만들때 있어 정합원도우를 사용하는 방법은 일반적인 영역기반의 방법과 같이 안정적인 결과를 얻을 수 있다는 장점과 변이 불연속점에서의 부저절성 등의 문제점을 가지며, 수행시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 반면, 정합원도우를 사용하지 않는 화소기반의 방법은 수행시간이 크게 줄어들고, 정합원도우에 의한 문제가 없어져서 더욱 정확한 정합이 가능해지는 장점이 있지만, 영상의 잡음에 민감하여 정합경로의 안정성이 떨어지는 단점이 있다.

스테레오 정합에서 원도우를 사용하지 않고 화소단위로 정합을 하는 것은 정합의 해상도와 속도면에서는 큰 이점이 있지만, 주위 영역을 정합에 사용하지 않음으로 해서 정합의 정확성이 크게 떨어지는 단점이 있어 잘 사용하지 않는다. 그러나 변이공간영상에서 경로탐색방법에 의한 정합은 진행경로가 연결되어 있음에 따라 영역을 구성하는 화소들이 자동적으로 연속적으로 정합되는 특성이 있어 정합의 정확성이 상당히 증가된다.

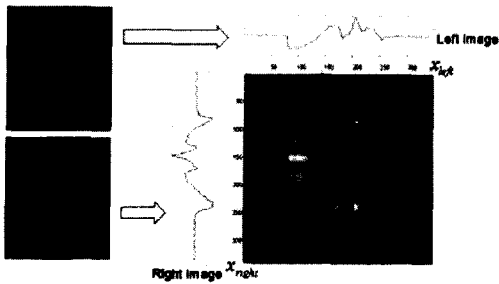


그림 1. 임의의 수평라인에 대한 변이공간영상  
Fig. 1. Disparity space image for a scanline

여기에 추가로 그림 2와 같이 영상의 세로방향으로 변이공간영상들간에 평탄화 과정에 의해 정합의 정확도가 유지되면서도 정합의 안정성이 윈도우 정합의 수준까지 증가된다. 평탄화된 변이공간영상의 식은 아래와 같이 된다.

$$SDSI_n(x_L, x_R) = \frac{1}{3} (DSI_{n-1}(x_L, x_R) + DSI_n(x_L, x_R) + DSI_{n+1}(x_L, x_R)) \quad (4)$$

이러한 평탄화 과정은 3×1 정합윈도우와 같은 효과를 나타내는데, 3×1 정합윈도우는 x방향으로 한 화소이므로 투영왜곡에 적합하며, 변이 불연속점에서 문제를 일으키지 않고 올바른 정합결과를 낸다.

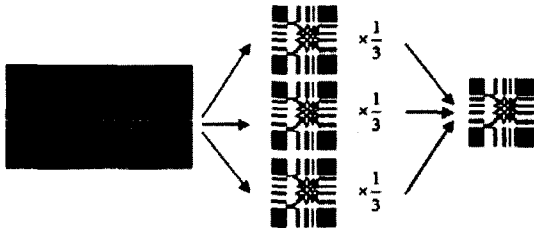


그림 2. 변이공간영상의 평탄화 과정  
Fig. 2. Regularizing process of the DSI

## 2. 변이공간영상에서의 정합

스테레오 정합을 하는 데에는 화소의 밝기값만을 비교했을 때 매우 모호한 경우가 많다. 따라서 정합을 할 때 여러 가지 제약조건을 주는데, 그 중 하나로 순서제한조건(ordering constraint)이 있다.

순서제한조건이란 좌영상의 극상선 위의 화소들은 우영상의 극상선 위의 화소들에 동일한 순서로 모두 대응된다는 것으로서, 스테레오 이미지는 대부분 그림 3과 같은 순서제한조건을 만족한다. 이러한

순서제한조건은 스테레오정합에 있어 정합의 모호성을 크게 줄이며, 따라서 정합효율을 크게 높이기 때문에 우리는 이 조건을 가정한다. 일부 물체표면이 연속적이지 않을 때에 순서제한조건이 만족되지 않게 되지만, 이러한 상황은 자주 발생하는 것이 아니므로 무시한다. 순서제한조건에 의해 스테레오 영상의 각 라인은 순서에 맞게 정합이 이루어져야 하는데 이것은 그림 4와 같이 변이공간(disparity space)에서 정합경로의 기울기가 0도에서 90도로 제한된다는 의미가 된다.

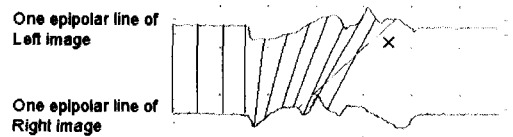


그림 3. 순서제한조건  
Fig. 3. Ordering constraint

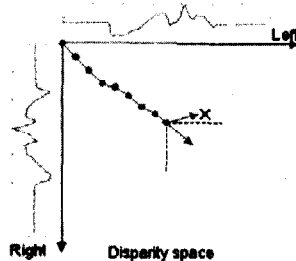


그림 4. 변이공간에서의 순서제한조건  
Fig. 4. Ordering constraint in disparity space

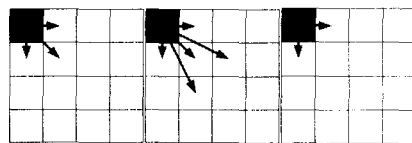


그림 5. 여러 가능한 진행방향  
Fig. 5. Possible progress directions

순서제한조건에 의해 정합경로가 0도에서 90도로 정해지게 되면, 변이공간영상에서 정합경로가 최소단위로 진행되는 방법은 그림 5와 같이 생각해볼 수 있다. 이러한 진행방향에 따라 여러 가능한 정합경로는 그림 6과 같이 변이공간 전 영역에 걸쳐 분포할 수 있고, 따라서 변이공간영상에서의 정합은 스테레오 영상을 정합하는데 있어 모든 경우를 포함하고 있다는 것을 알 수가 있다.

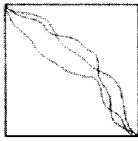


그림 6. 여러 가능한 정합경로  
Fig. 6. Possible matching paths

기존의 알고리즘들에서는 45도의 진행만을 올바른 정합이라고 보고, 오른쪽이나 아래쪽으로 진행되는 것은 폐쇄영역이라고 보아서 그 때는 변이공간 영상의 값을 더해 주는 것이 아니라 폐쇄영역비용을 더해 주는 방법을 사용하였다.

그러나 그림 7, 8에 나타난 바와 같이, 물체면이 카메라에 대해 이루는 각도에 따라 좌,우 영상에서 나타나는 길이가 차이가 나게 되며(그림 7), 이러한 길이 차이는 변이공간영상에서 정합경로의 기울기를 결정한다(그림 8). 세 번째 경우와 같이 길이 차이가 극히 심할 때는 정합경로가 거의 0도에 가까워지며(반대일 경우는 90도), 그런 경우에 확대해서 살펴 보면 정합경로의 진행이 우로, 아래로, 다시 우로와 같은 방법으로 진행됨을 알 수 있다. 기존의 방법에서 우로, 또는 아래로 정합이 진행될 경우 폐쇄영역이라 정의하였으나 위와 같은 경우를 폐쇄영역이라 말하기는 어렵다. 오히려 투영왜곡에 의해 다른 비율로 정합된 올바른 정합이라는 것이 더욱 맞다고 할 수 있다. 투영왜곡이 발생하면 좌, 우 영상이 서로 다른 비율로 정합되어, 폐쇄영역이 아니더라도 정합경로가 45도가 아니라 30도, 70도 등으로 0도에서 90도 사이의 임의의 각을 형성하여, 디지털 영상에서 이산화 되었을 때 45도 뿐만 아니라 오른쪽 또는 아래쪽 진행이 포함될 수 있다. 따라서 본 논문에서는 폐쇄영역의 개념을 버리고, 세 방향의 진행을 모두 올바른 진행으로 보아서 세 경우 모두 변이공간영상의 값만을 더하였다. 이와 같이 할 경우 45도로 계속 진행할 때와 오른쪽 아래쪽 등으로 구불구불하게 진행할 때의 더하는 회수의 차이가 생긴다. 따라서 제한한 방법에서는 정합경로의 진행 방향과 크기를 그림 9의 (a)와 같이 오른쪽 2칸, 아래쪽 2칸, 오른쪽 아래쪽 각 1칸(45도)의 3가지로 제한하였는데, 이렇게 함으로써 그림 9의 (b)와 같이 어떤 경로를 택해서 가든 상관없이 비용을 더하는 회수를 같게 할 수 있다. 구현상 용이하게 하기 위하여 그림 10의 (a)와 같이 변이공간영상을 45도 기울였으며, 따라서 경로의 진행방향도 그림 10의 (b), (c)와 같이 바뀌게 된다.

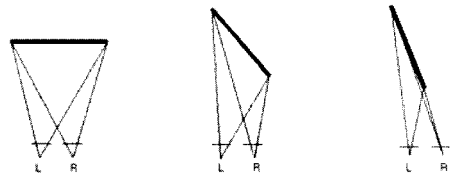


그림 7. 물체면의 기울기에 따라 좌,우 영상에서 보이는 길이 차이  
Fig. 7. Different lengths in left and right images according to surface slope

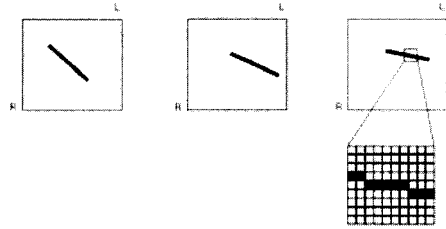


그림 8. 길이 차이가 변이공간영상에서 정합경로로 나타나는 모습  
Fig. 8. Matching paths in DSI of length difference in left and right images

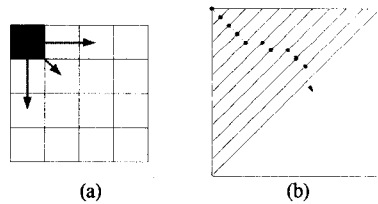


그림 9. (a) 제한하는 경로에 관계없이 진행회수가 같은 진행 방향과 (b) 그에 따른 경로에 관계없이 일정한 길이의 정합 경로  
Fig. 9. (a) The progress direction with the same length irrespective to the path and (b) matching path with the same length

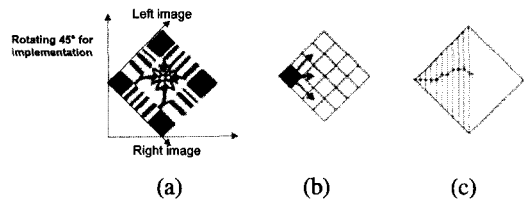


그림 10. (a) 구현을 위해 45도 기울인 변이공간영상 (b) 진행방향 (c) 정합경로  
Fig. 10. (a) The DSI rotated 45 degree for implementation, (b) progress direction, and (c) matching path

그림 11은 이와 같은 방법으로 찾아진 정합경로를 보여주고 있다. 찾아진 경로는 정확히 변이공간 영상의 검은색부분(좌·우영상의 정합오차가 영에 가까운 지점)을 지나가고 있음을 알 수 있으며, 전체 경로의 최소값을 구하기 위해서 실제 폐쇄영역에 의해 변이공간영상 상에서 검은색 부분이 끊어

진 부분(비용값을 가져서 흰색으로 표시된 부분)도 정확히 지나감을 알 수 있다.

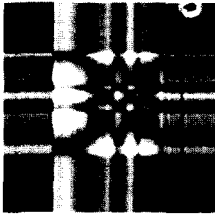


그림 11. 변이공간영상에서의 정합결과  
Fig. 11. A matching result in a DSI

찾아진 정합경로는 그 자체로 변이가 아니므로 좌, 또는 우영상 측의 변이로 변환되어질 수 있다. 그림 12에서 왼쪽 위에서 오른쪽 아래로 진행되는 기울기 '1'인 직선이 변이 '0'인 정합점이며, 왼쪽 또는 오른쪽 변이는 구해진 정합경로로부터 '0' 변이 직선까지의 거리가 된다. 이렇게 함으로써, 변이공간영상에서의 정합은 기울기가 제한된 연속된 경로였었지만, 이것이 변이맵으로 변환되었을때는 변이값의 불연속성이 보존된 결과를 얻게 된다.

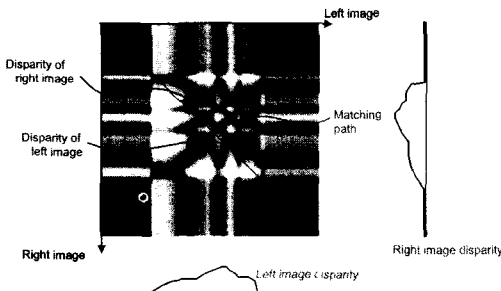


그림 12. 정합경로로부터 변이로 변환  
Fig. 12. Conversion from matching path to disparity

### 3. 동적계획법에 의한 최적경로 탐색

최적의 정합경로를 선택하기 위해서는 그 경로상의 오차들을 모두 합친 비용이 최소가 되는 경로를 선택해야한다. 그러기 위해서 동적계획법이 사용되는데 그림 13에 그 개념이 나타나 있다. 설명을 간단히 하기 위해 두방향으로 진행하는 경우를 생각하자. 누적비용행렬에서 왼쪽 위 끝에서 출발하여 어떤 위치까지 진행하기 위해서는 위쪽에서 내려오는 경로와 왼쪽에서 오는 경로의 두 가지가 있으므로 그 지점의 위쪽과 왼쪽의 누적비용행렬의 값 중에서 작은 쪽을 선택하여 거기에 변이공간영상의

값을 더한 값이 그 위치의 누적비용이 되며 그 위치에서의 진행방향이 방향행렬로서 기억된다. 누적비용행렬을 구하는 식은 아래와 같다.

$$C(x, y) = \min(C(x-1, y), C(x, y-1)) + DSI(x, y) \quad (5)$$

여기에서  $C(x, y)$ 는  $(x, y)$  위치에서의 누적비용행렬 값이고,  $DSI(x, y)$ 는  $(x, y)$  위치에서의 변이공간영상의 값이다.

누적비용을 왼쪽 위에서부터 모두 구하여 누적비용행렬이 완성되면, 반대로 오른쪽 아래부분에서 왼쪽 윗방향으로 역방향추적을 하여 최적경로를 찾는 데 누적비용행렬상에서 위쪽과 왼쪽을 비교하여 값이 작은 쪽으로 진행하던가, 아니면 기억된 방향행렬의 방향을 역으로 추적하면 최소비용의 최적경로가 완성된다.

기존의 방법에서는 이 과정 속에 폐쇄영역비용을 포함시켰으나, 폐쇄영역비용이 경험에 의한 상수값이기 때문에 본 논문에서는 이를 배제시키고도 정합경로의 진행방향을 설정함에 있어 경로에 관계없이 일정한 회수로 진행하도록 함으로써 정확한 정합결과를 얻을 수 있었다.

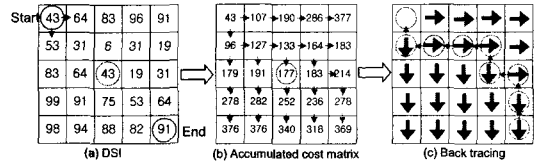


그림 13. 동적계획법에 의한 최적경로 탐색 (a) 변이공간영상 (b) 누적비용행렬 (c) 역방향추적  
Fig. 13. Searching the optimum path using dynamic programming method (a) disparity space image, (b) accumulated cost matrix, and (c) back tracing

변이공간영상에서의 최적경로를 찾는 과정에서 탐색영역을 적절하게 정해줌으로써 처리속도가 현저히 증가하게 되며, 오정합 또한 줄어들게 된다. 기존에는 그림 14와 같이 처리속도증가를 위해 탐색영역을 고정된 범위로 제한한다든가, 그림 15와 같이 분할 및 정복 기법을 접목하는 방법을 사용하였었다. 그러나 고정된 탐색영역을 사용하는 방법은 큰 변이에 대비해 넓게 잡아야 하기 때문에 효율이 좋지 않으며, 분할 및 정복 기법을 사용하는 방법은 이것을 적용하는데 또한 계산이 많이 필요하므로 인해 효율이 떨어지며, 영역분할 실패의 가능성이

있다. 본 연구에서는 가변적 탐색영역 방법을 제안하는데 이 방법은 입력영상에 따라 자동적으로 가변적인 좁은 영역의 탐색범위를 잡아주므로, 속도를 크게 증가시키게 된다.

본 논문에서는 가변적으로 탐색영역을 설정하는 방법을 제안하는데, 그림 16에 나타난 것과 같이 먼저 영상의 중간위치에 기준라인에 대한 전영역 탐색을 하고, 그 결과를 가지고 그 바로 위쪽 라인과 들에 대해 한 라인씩 그 이전 스캔라인에서의 정합 경로에서 위아래 5화소 두께로 탐색영역을 설정하는 방법을 사용한다. 또한 기준라인 아래쪽으로도 같은 방법으로 진행한다. 이와 같이 라인마다 그 이전의 정합결과를 참조하여 가변적으로 설정되는 탐색영역안에서 동적계획법을 이용하여 최적 경로를 찾음으로써, 소요시간이 크게 줄어드는 것 뿐 아니라 영역바깥으로 나가는 오정합 또한 줄일 수가 있게 된다.

대부분의 영상에서는 관심대상이 되는 물체가 영상의 중심에 있다는 가정에 의해 영상의 중간에서부터 정합을 시작하며, 이렇게 함으로써 물체와 배경의 불연속 지점, 또는 큰 변이차가 생기는 곳에서는 약간의 오차가 생길 수 있으나 관심대상인 물체 내, 또는 전 영상에 대해 평이한 변이값을 가지는 영상에 대해서는 원만한 정합이 이루어질 수 있다. 또한 본 논문에서는 위아래 5화소로 두께를 제한하였으나 제한의 폭은 실제 적용시 변경가능한 인자가 된다. 다만 실시간 구현이라는 측면에서 이와 같이 영상의 중간부터 정합을 수행하기 위해서는 실제적으로 영상에 대한 프레임 정보가 제공되어야



그림 14. 고정 탐색영역 방법  
Fig. 14. Fixed search region method

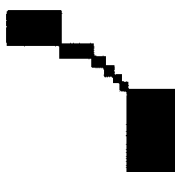


그림 15. Divide and conquer 방법  
Fig. 15. Divide and Conquer method

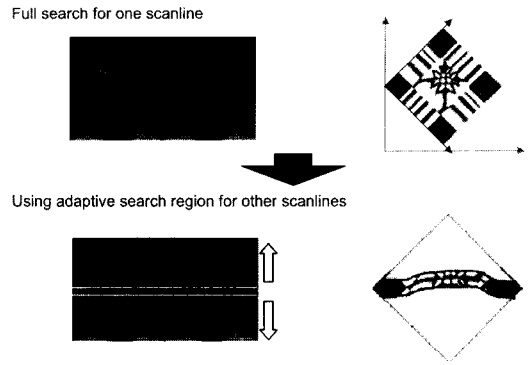


그림 16. 이전라인의 정합결과를 이용한 가변적 탐색범위  
Fig. 16. Adaptive search region using the matching results of the upper or lower scanline

하며 실제 구현에 있어서 한 프레임만큼의 지연이 발생할 수 있다. 이전 라인의 추정결과에 따른 가변적 수행에 있어서는 시스톨릭어레이를 사용한 변이에 따른 상대주소 기법으로 메모리에 해당 영역을 정렬시키는 방법으로 실시간 구현에 적용가능하다.

#### 4. 변이의 불연속을 발생시키는 경로 제한

물체의 경계면에서 물체와 배경사이의 깊이차이에 의한 올바른 변이의 예지는 그림 17에서와 같이 대부분 영상에서 세로방향으로 연속적으로 나타나는 반면, 잡음에 의한 올바르지 않은 변이 불연속은 홀로 떨어져서 나타나는 경향이 있다. 이러한 점에 착안하여 그림 18에서 변이 값을 변화시키는 경로에 대하여 조사함으로써 안정적이고 부드러운 변이맵을 얻을 수 있다. 동적계획법에 의해 누적비용행렬을 구하면 그에 따른 역방향추적을 위한 방향행렬을 얻을 수 있는데, 역방향추적을 하기 전 단계에서 변이 값을 변화시키는 경로, 즉 그림 19와 같이 위에서 오는 화살표와 아래에서 오는 화살표에 대하여 위, 아래 스캔라인의 방향행렬과 비교하여 모두 같이 위, 아래에서 오는 화살표일 때는 그대로 두지만, 위, 아래 스캔라인 중에 하나라도 방향이 다른 화살표가 있을 때에는 수평방향 화살표로 방향을 바꾼다. 이러한 과정을 거친 후 역방향추적을 하면 잡음에 의한 울퉁불퉁한 변이맵을 안정적이고 부드럽게 만들어 줄 수 있게 된다.

이 방법으로 변이의 노이즈를 제거하는데 세로방향으로 변이 불연속 지점을 만나면 그 경계부분에서 올바르지 않은 방향으로 정합이 될 수 있다.

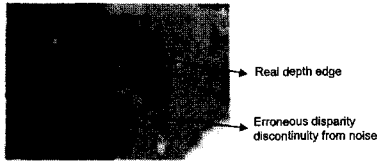


그림 17. 변이 불연속점들  
Fig. 17. Disparity discontinuities

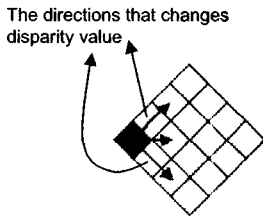


그림 18. 변이값을 변화시키는 진행방향  
Fig. 18. The progress directions that changes disparity value

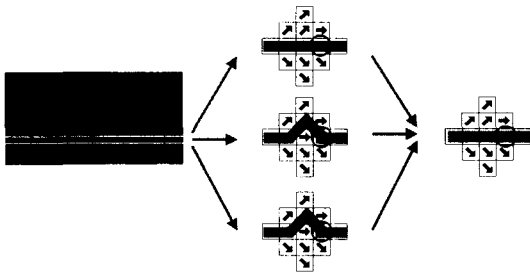


그림 19. 변이값을 변화시키는 방향요소에 대하여 위아래 스캔라인 조사  
Fig. 19. Checking the direction elements of the up and down scanlines that changes disparity value

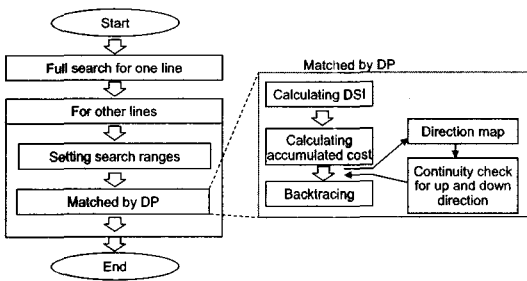


그림 20. 제안하는 실시간 스테레오 정합과정  
Fig. 20. The diagram of the proposed algorithm

즉, 실제로 위나 아래가 맞는 방향임에도 불구하고 수평방향으로 정합을 하는 경우가 발생하지만, 이러한 오정합은 변이 불연속점의 한 라인에만 국한되어 더 이상 위나 아래로 전파되지 않는다.

그림 20은 제안한 방법의 전반적인 과정을 나타낸 블록도이다.

### III. 실험 및 고찰

제안한 알고리즘의 성능평가를 위해서 변이공간 영상에서 최적경로를 찾아서 정합하는 Chun-Jen Tsai 방법<sup>[13]</sup>과 실험하여 비교하였다. Tsai 방법은 변이공간영상을 만들 때 중심화소 주변에 정합윈도우를 만들어 이들의 밝기차이 합을 사용하였으며, 속도 증가를 위해 분할 및 정복 기법을 접목하였다. Tsai 방법은 기본적으로 정합윈도우를 사용하므로 윈도우의 크기가 중요한데 실험에서는 공통적으로 5×5를 사용하였다. 정확한 처리 속도의 비교를 위해서는 동등한 조건의 화소기반 방법과의 비교가 필요하지만, 현실적으로 화소기반의 정합방법이 실용적으로 사용되는 것이 없으므로, 윈도우 정합방법과 비교하여 수행 속도와 그에 따른 정합결과를 비교하였다.

그림21은 'pentagon' 영상에 대한 실험으로서 'pentagon'영상은 먼 거리에서 촬영함에 따라 상대적으로 변이가 매우 작은 실험영상이다. 평탄한 곳에서 약간의 오차가 더 있는 것을 볼 수 있으나, 윈도우정합에서와 같이 에지가 깨끗하게 나타나는 것을 볼 수 있다.

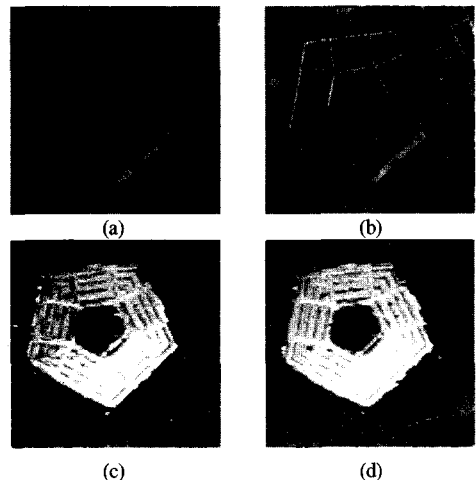


그림 21. 'pentagon' 영상과 구해진 변이맵 (a) 좌영상 (b) 우영상 (c) Tsai 방법에 의한 변이맵 (d) 제안한 방법에 의한 변이맵

Fig. 21. 'pentagon' images and disparity maps (a) left image, (b) right image, (c) disparity map using Tsai's method, and (d) disparity map using proposed method

그림 22는 'man' 영상에 대한 실험이다. 'man' 영상은 가까운 거리에서 상대적으로 카메라간 거리가 큼으로 인해 좌·우 영상간에 투영왜곡이 많이 발생한 영상이다. Tsai 방법과 제안한 방법이 비슷한 결과를 보이며, 얼굴윤곽에서 변이의 불연속이 잘 보존되어 나타남을 알 수 있다. 그림 23은 'aqua' 영상의 실험결과인데 두 방법이 비슷한 결과를 보여 주었다.

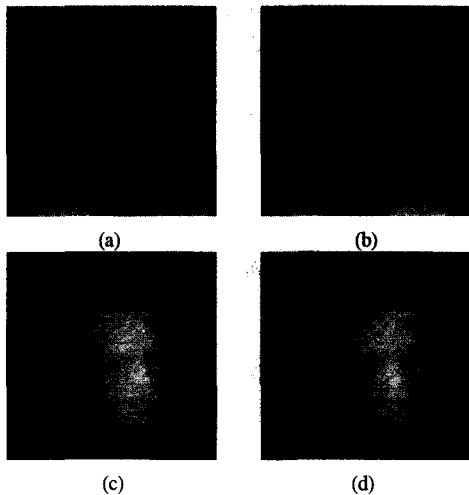


그림 22. 'man' 영상과 구해진 변이맵 (a) 좌영상 (b) 우영상 (c) Tsai 방법에 의한 변이맵 (d) 제안한 방법에 의한 변이맵  
Fig. 22. 'man' images and disparity maps (a) left image and (b) right image. (c) disparity map using Tsai's method (d) disparity map using proposed method

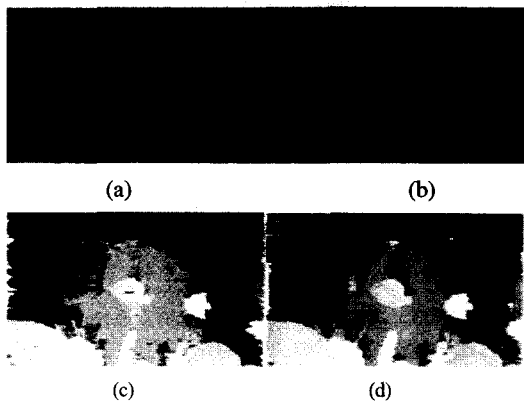


그림 23. 'aqua' 영상과 구해진 변이맵 (a) 좌영상 (b) 우영상 (c) Tsai 방법에 의한 변이맵 (d) 제안한 방법에 의한 변이맵  
Fig. 23. 'aqua' images and disparity maps (a) left image, (b) right image, (c) disparity map using Tsai's method, and (d) disparity map using proposed method

마지막으로 정합에 소요되는 시간을 정합윈도우를 사용한 변이공간영상에서 정합을 하는 Tsai의 방법과 비교해본다. 실험에 사용된 컴퓨터는 AMD 900MHz이다. Tsai의 방법에서는 정합윈도우를 사용하므로 윈도우의 크기가 시간에 큰 영향을 미치는데 실험에서는 5×5로 윈도우 크기를 고정하였다. 표 1에 나타난 결과를 살펴보면, Tsai 방법에서 분단위로 걸리는 것이 제안한 방법에서는 10초에서 20초 안쪽으로 크게 시간이 줄어든 것을 알 수가 있다. 수행시간이 줄어든 이유는 크게 두 가지인데 첫째, 정합윈도우를 사용하지 않고 화소대 화소로서 바로 비교하여 비용함수를 구하였기 때문이고, 둘째, 탐색영역을 가변적으로 최적화하여 불필요한 경로에 대해서 조사하는 시간을 줄일 수 있었기 때문이다.

표 1. 수행시간비교  
Table 1. Comparison of execution time

영상	man	pentagon	tsukuba	claude	aqua
영상크기	384 × 384	512 × 512	384 × 288	720 × 576	640 × 384
Tsai 방법	2분 7초	4분 40초	1분 35초	9분 30초	5분 17초
제안한 방법	3초	9초	2초	17초	12초

#### IV. 결론

본 논문에서는 스테레오 영상의 특징과 여러 가지 기존의 변이 추출 방법들을 분석하여 실시간 구현을 위한 최적의 방법을 제안하였다.

본 논문에서는 기존 정합윈도우에 기반한 반복적인 상관도에 의한 정합 과정의 비효율적인 계산을 탈피하여 화소 단위의 비교에 의한 정합을 시도하였고, 변이공간영상에서의 특성을 활용한 효율적이고 가변적인 탐색영역 설정을 통하여 속도증가도를 도모하였다. 정합윈도우와는 달리 화소기반의 정합은 잡음에 민감하므로, 안정성 향상을 위하여 변이공간영상 상에서 위아래 스캔라인간에 평탄화 시키고, 동적계획법 과정에서 누적비용행렬과 방향행렬이 구해진 후 변이값을 변화시키는 경로를 조사하여 부적절한 경로를 교정함으로써 안정성을 크게 향상시켜 빠르고도 안정된 변이맵을 구할 수 있었다. 또한 변이공간상에서는 정합의 연속성이 보장된다는 점에 착안하여 좁은 탐색영역을 설정할 수 있



