

시차 공간에서 divide-and-conquer 방법을 이용한 스테레오 정합

*이종민, 김대현, 윤용인, 최중수
중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과
e-mail : {j_min1, jschoi}@imagelab.cau.ac.kr

Stereo matching using the divide-and-conquer method in the disparity space image

*Jong-Min Lee, D. H. Kim, Y. I. Yoon, J. S. Choi
Dept. of Image Eng., Graduate School of AIM, Chung-Ang Univ.

Abstract

This paper proposes a new stereo matching algorithm using both the divide-and-conquer method and the DSI(Disparity Space Image) technique. Firstly, we find salient feature points on the each scanline of the left image and find the corresponding feature point at the right image. Then the problem of a scanline is divided into several subproblems. By this way, matching of the subintervals is implemented by using the DSI technique. The DSI technique for stereo matching process is a very efficient solution to find matches and occlusions simultaneously and it is very speedy. In addition, we apply three occluding patterns to process occluded regions, as a result, we reduce mismatches at the disparity discontinuity.

I. 서론

스테레오 정합은 컴퓨터 비전 분야에서 가장 근본적인 문제이지만, 정확한 정합을 이루기는 매우 까다롭다. 여러 방법들이 제안되었지만, 기존의 알고리즘들은 방법의 복잡성과 구현의 용이성간의 이율배반 관계를 갖고 있으며, 또한 정합의 정확도 및 신뢰도 등의 관점에서 볼 때 계속해서 향상된 방법을 요구하고 있다.

각 화소에 대한 시차 계산 방법으로 가장 기본적인 것은 블록 정합 방법(block matching method)이다. 이 방법은 영상 취득시의 밝기 변화에 의해서 잘못된 대

응점을 찾는 경우가 많이 발생할 뿐만 아니라 가려짐(occlusion) 영역에서 잘못된 정합이 이루어진다. 이러한 영역은 대응되는 영역이 없기 때문에 정확한 시차를 계산하기가 불가능할 뿐만 아니라 이 영역을 검출해 내는 것도 어렵다.[7] 그 밖에 제안된 스테레오 정합 방법들은 크게 영역기반, 특징기반, 위상기반, 에너지기반의 방법으로 나뉜다[4]. 그 중 에너지 기반의 방법은 전체의 정합결과가 정해진 에너지 식을 최소화하는 해를 구하므로 가장 좋은 성능을 보인다. 그러나 이러한 방법들은 계산시간이 많이 걸려 실제로 3차원 응용분야에 적용하기에는 적합하지 않다.

본 논문에서는 이러한 문제의 해결방안으로 시차공간영상을 이용한 divide-and-conquer방법을 제안한다. 시차공간영상에서의 정합은 빠른 정합속도를 가지며, 정합 과정에서 대응점을 찾는 동시에 가려짐까지 검출한다. 이 방법은 스캔라인 위에서 강한 특징점을 추출하고 우선적으로 정합을 수행한다. 순서제약조건에 의해 강한 특징점 우선 정합은 하나 전체의 스캔라인 정합 문제를 몇 개의 구간으로 분할되고, 각 구간을 시차공간영상을 이용하여 정합하면, 경로의 시작과 끝이 정합점이 되고, 경로의 길이도 짧아져 동적계획법 수행 중 발생 할 수 있는 오류도 감소한다.

II. 시차공간영상(Disparity Space Image)의 구조

2.1 시차공간영상

시차공간영상(Disparity Space Image)이란 동일 스캔

라인 위의 화소들간의 정합오류에 의해 생성되는 영상이다. [1] 오른쪽 영상의 스캔라인을 x축으로, 왼쪽 영상의 스캔라인을 y축으로 각각 설정하면, 가로 길이가 x축, 세로길이가 y축을 갖는 영상이 식(1)에 의해 생성된다. 그림1은 예를 보인다.

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

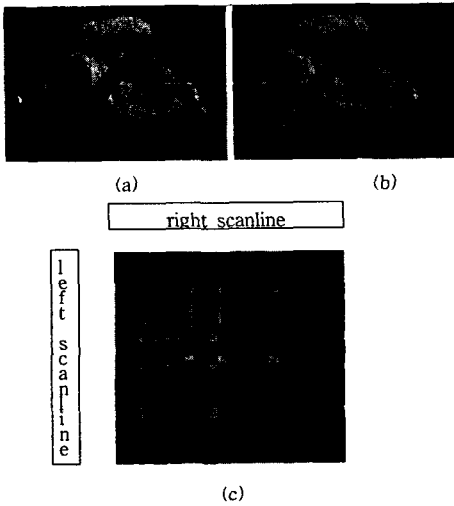


그림 1 (a)왼쪽 영상 (b)오른쪽 영상 (c)120번째 스캔라인으로부터 생성된 DSI

식(1)에서 W 는 정합 윈도우의 크기이다. 화소는 실제의 밝기값을 모두 표현할 수 없기 때문에 디지털영상 자체는 샘플링 에러를 포함한다. 또한 조명환경에 따라 두 카메라에 취득된 영상은 밝기 차가 있기 때문에 화소단위의 정합은 자체적으로 많은 오류를 포함하고 있다. 따라서 화소 단위의 계산은 그 정확성이 매우 낮아 잘 사용하지 않는다. 위와 같은 윈도우를 사용하여 주변 화소값을 이용하면 이러한 오류를 제거 할 수 있지만 보통 위와 같은 윈도우를 사용할 경우에는 가려짐 영역이 주로 발생하는 경계부분에서 스무딩(smoothing) 효과가 발생하게 되어 시차 불연속점에서 잘못된 정합이 이루어지게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 그림2의 세 가지 가려짐 패턴을 사용하여 필터링을 수행하였다.

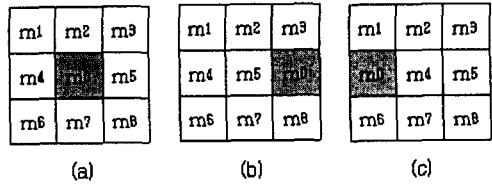


그림 2. 세 가지 윈도우 패턴:(a) 일반적인 경우, (b)가려짐 영역에서 정합이 끝나는 경우, (c)가려짐 영역에서 정합이 시작되는 경우

2.2 비용행렬(Cost Matrix) 계산

한 쌍의 스캔라인으로부터 시차공간영상이 생성되면, 시작점부터 끝점까지의 최적의 경로를 찾기 위해서는 시차공간영상과 동일한 크기의 비용행렬이 필요하다. 비용행렬을 계산하여 최소 비용의 경로를 찾아 최적의 경로를 완성 하게 되는데, 이 과정은 동적계획법(dynamic programming)에 의해 수행된다. 동적계획법을 사용할 때 경로의 진행 방향에는 몇 가지 제약 조건이 있는데, 그림3에 그 예가 나타나있다. 그림에서 P로 가는 경로는 순서제약조건에 의해 a, b, c, d, e, 다섯 점으로부터 가능하다. 따라서 P까지 진행하는 비용은 a, b, c, d, e의 비용 중 가장 적은 비용과 P에서의 DSI 값을 더한 값이 된다.

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

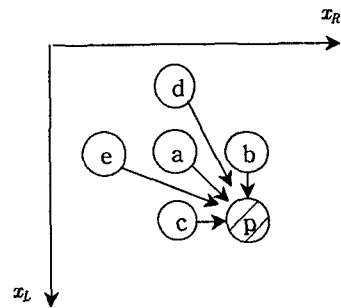


그림 3 p점에서 비용행렬계산

비용행렬이 완성이 되면 끝점부터 시작점까지 다시 거꾸로 최소 비용을 갖는 경로를 완성한다. 경로가 완성이 되면, 중심과의 거리가 시차값으로 전환된다. 그림 4는 시차전환을 설명하는 그림이다. 좌측 위에서 우측 아래로의 대각선이 시차 '0'을 갖는 점들이며, 그 아래의 곡선이 정합경로를 나타낸다. 정합경로와 시차 '0'인 점까지의 거리가 시차값이 된다.

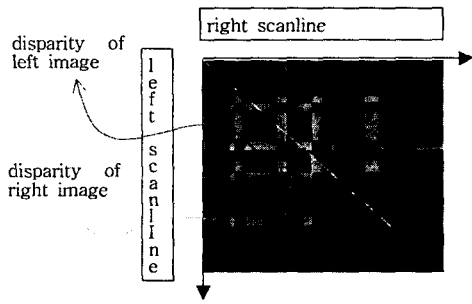


그림 4 시차의 전환

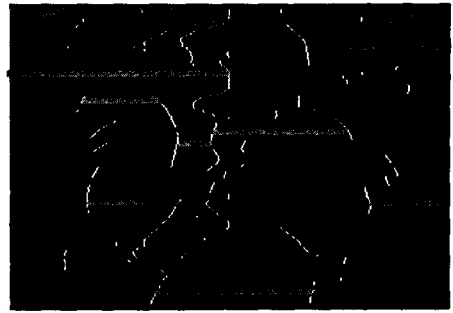


그림 5 구해진 특징점들로부터 나누어질 구간

III. divide-and-conquer method

일반적으로 시차공간영상을 이용하여 정합을 하게 되면, 시차공간영상과 동일한 크기의 비유행렬을 계산하고, 동적계획법을 사용하여 최적의 경로를 찾아 최종 대응점을 얻어낸다. 하지만 최적의 경로는 한 개가 아닌 여러 개가 될 수 있다. 여러개의 최적의 경로 중 실제 최적의 경로를 찾아내기 위한 방법으로 기존의 방법들은 주로 ground control point(GCP)나, 모서리(edge)를 사용하였다.[1][6] GCP를 사용할 경우 사용자의 입력이 들어가야 하는 불편함이 있게 되며, 모서리를 이용할 경우 모서리 검출과 connected edge를 추출하기 위한 edge linking 처리 등 계산이 복잡해 질 뿐만 아니라 그다지 좋은 성능을 보이지 않는다는 평가를 받는다[1].

본 논문은 GCP 역할을 할 수 있는 강한 특징점을 추출함으로써 최적의 경로를 찾아가는 방법을 사용하였다. 일단 각 스캔라인에서 특징점들이 추출이 되면 그 특징점들의 정합을 우선으로 수행한다. 특징점들의 정합을 수행할 때, LRC(Left/Right Consistency) Check를 수행하여 정합의 모호성(ambiguity)를 제거하였다.

특징점들을 추출하기 위한 방법으로 각 화소당 주변 화소와의 분산을 이용하였다. 분산은 경계부분에서 두드러지게 큰 값을 갖기 때문에 이를 이용하여 몇 개의 구간으로 나눈다. 하지만 모든 스캔라인에서 특징점이 추출이 되는 것은 아니기 때문에 그림 5에서처럼 그 구간의 경우의 수가 있다. 이렇게 정합의 모호성을 제거한 후에 각 구간의 정합을 시차공간영상을 이용하게 될 경우 그 정확성이 더욱 향상된다. 그림 5에서 특징점만을 표현한 영상위에 나누어 질 수 있는 구간을 예로 보여준다.

IV. 실험결과

구현에 사용된 영상은 일본 Tsukuba 대학에서 취득된 영상으로 ground truth 시차맵의 정보를 가지고 있는 영상을 사용하였고 그림 6에 입력 영상과 ground truth 시차맵을 삽입하였다. 그 밖에 스테레오 매칭 성능평가에 주로 사용되는 영상들에 대해서도 실험 하였다.

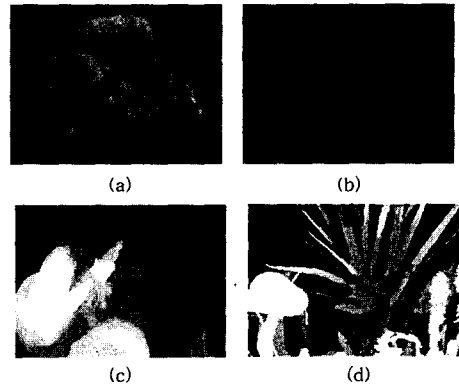


그림 6 (a)santa, (b)plant, (c)ground truth of (a), (d)ground truth of plant

그림 7에는 실험결과 영상들이 있다. 좌측의 결과 영상들이 제안한 방법의 결과이고, 우측의 영상들이 basic DSI 방법을 사용한 결과이다. 결과영상에서 비교해 보듯이 기존의 방법에서 많이 가지고 있던 오류들이 감소되었고, 정확성이 향상된 것을 확인할 수 있다. 그 비교 자료가 그림 8에 나타나 있다. 또한 가려짐 패턴을 사용한 결과도 함께 비교 하였는데, santa는 그다지 큰 효과가 없었지만, plant는 그 효과가 매우 큰 것을 확인 하였다. 그림 8의 결과 데이터 비교는 ground truth 데이터를 가지고 있는 두 영상 santa,

plant에 대하여, MED(mean error distance)를 계산한 것이다. 결과에서 확인 할 수 있듯이 제안된 방법을 사용하여 오류를 현저히 줄일 수 있었고, 세 윈도우 패턴을 사용한 결과 더욱 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

V. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 시차공간영상에서 divide-and-conquer 방법을 사용하는 스테레오 정합방법을 제안하였다. 기존 방법의 정합단계에서 주변의 화소값을 이용하기 위한 윈도우의 문제점을 개선하여 세 개의 윈도우 패턴을 적용하여 시차불연속 지점에서의 잘못된 정합을 감소시켰으며, 특징점들의 우선 정합으로 하나의 스캔 라인을 여러 구간으로 나눔으로써 DSI의 시작과 끝이 정합된 점이되어 시차공간영상을 사용하여 정합 하는 방법에 매우 효과적인 결과를 확인 하였다. 향후에는 보다 강하고 정확한 특징점 추출을 통해서 보다 정확한 시차를 추정할 수 있도록 해야 할 것이다.

Acknowledgment

본 연구는 교육부의 두뇌한국21 사업(BK21) 및 과학기술부의 국가지정 연구실 (M10204000079 - 02J0000 - 07310) 지원으로 수행 되었습니다.

참고문헌

- [1] S. S. Intille and A. F. Bobick, "Disparity-space images and large occlusion stereo", Proc. ECCV'94 Stockholm, pp. 179-186, 1994
- [2] Chun-Jen Tsai and Aggelos K. Katsaggelos, "Dense disparity estimation with a divide-and-conquer disparity space image technique", IEEE Trans. Multimedia, vol. 1, pp. 18-29, Mar 1999
- [3] Ingemar J. Cox, Sunita L. Hingorani, Satish B. Rao, "A maximum likelihood stereo algorithm", Computer Vision and Image Understanding, 63:3, pp. 542-567, May 1996
- [4] C. Lawrence Zitnick and Takeo Kanade, "A cooperative algorithm for stereo matching and occlusion detection", IEEE Trans. Patt. Analy. and Mach. Intell, vol. 22, no. 7, July 2000
- [5] D. Geiger, B. Ladendorf, and A. Yuille, "Occlusions and binocular stereo",
- [6] Y. Ohta, T. Kanade, "Stereo by intra- and inter-scanline search using dynamic programming", IEEE Trans. Patt. Analy. and Mach. Intell., 7:139-154, 1985
- [7] 김대현, 최중수, "양방향 시차 불평을 이용한 중간 시점 영상 보간", 전자공학회 논문지, pp.215-223, 제39권 SP편 제2호, 2002년 3월

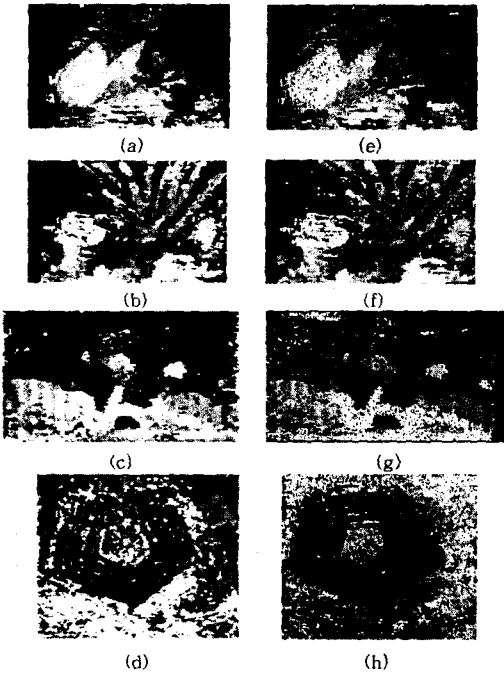


그림 7 좌측의 (a),(b),(c),(d)가 제안한 방법의 결과이고, 우측의 (e),(f),(g),(h)가 basic DSI 방법의 결과이다.

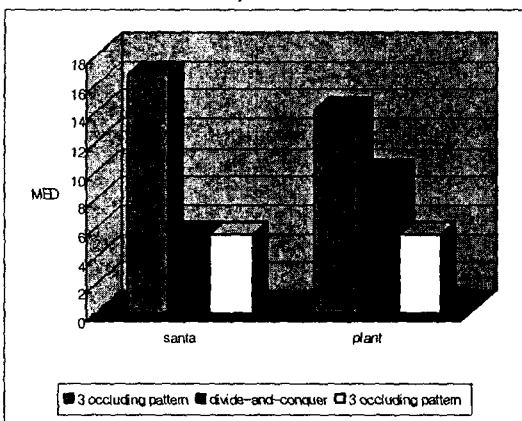


그림 8 basic DSI 방법과 제안한 방법의 실험결과 데이터와 ground truth와 mean error distance 계산결과