

실시간 시스템에서의 빠른 스테레오 매칭을 위한 다양한 접근 알고리즘의 성능비교

*김호영 **이성원

광운대학교 컴퓨터공학과

*khy8055@gmail.com

Comparison with various approach algorithms for Fast Stereo Matching in Real-time system

*Kim, Ho-Young **Lee, Seong-Won

Dept. of Computer Engineering Kwangwoon University

요약

영역기반 스테레오 매칭의 분야에서 최근 인간의 시각체계(Human Visual System)에 기반하여 영역내의 밝기값과 거리 값에 따라 적응적으로 가중치를 부여하는 적응적 영역 가중치(Adaptive Support-Weight) 방법이 좋은 매칭 결과를 보이고 있다. 하지만 이 방법은 영역 윈도우의 크기가 커짐에 따라 기하급수적으로 계산량이 많아지는 단점을 보이고 있다. 이에 Bilateral filter 수식으로 근사화 후 Integral Histogram 기법을 적용하여 영역 윈도우의 크기에 상관없이 상수 시간 O(1) 내에 매칭을 수행하는 연구가 진행되었다. 하지만 이 방법은 근사화 과정에서의 원 ASW 수식을 왜곡하기 때문에 매칭 정확도의 손실을 가져오게 된다. 이에 본 논문에서는 Bilateral 접근 방식, Sub-Block 방식 및 적응적 시차 탐색 방식에 대하여 각 방식에서 필요한 메모리 자원과 소모되는 계산량의 비용과 동시에 매칭 결과 정확도 면에서 비교하고 가장 좋은 접근 방식을 도출하고자 한다.

1. 서론

최근 3D기술의 발전과 함께 스테레오 비전(Stereo vision)에 대한 관심 또한 급증하고 있다. 스테레오 비전은 인간의 여러 시각 기능 중 양안의 시차를 이용하여 공간의 입체를 재구성하는 대뇌에서의 일련의 과정이다. 이러한 스테레오 비전의 과정에서 매칭 과정은 깊이 정보를 추출하는 핵심단계라고 할 수 있다.

대표적인 영역기반 매칭 방법으로 영역내의 중심 픽셀과 이웃 픽셀들간의 컬러의 차이와 기하학적 차이를 라플라시안 모델 가중치를 적용하여 계산하는 적응적 영역 가중치(ASW) 방법 [1]이 있다. 이 방법은 좋은 매칭 결과를 보이지만 사용되는 영역 윈도우의 크기에 따라 기하급수적으로 계산량이 많아지는 단점을 보이고 있다. 이는 시스템의 실시간화에 큰 장애요소로 작용한다. 이에 기존의 ASW 방법의 정확도는 유지하면서 높은 계산비용은 줄이려는 근사화된 접근 방법들이 활발하게 연구되고 있다.[2]

본 논문에서는 Bilateral 접근 방식 [2]과 Sub-Block 방법 및 적응적 시차탐색 방식을 비교 실험하여 어떤 방법이 좋은 매칭 정확도를 유지하면서 메모리 자원과 계산비용 상 가장 유리한 방식인지 확인하고자 한다.

본 논문 2 장에서는 먼저, 기존의 ASW방법에 대해서 살펴보고, 3 장에서는 빠른 스테레오 매칭을 위한 다양한 접근 방법들에 대해 알아본다. 4 장에서는 이 방법들에 대하여 다양한 기준으로 실험하여 비교한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

2. 기존의 ASW 방법

ASW 방법 [1]은 매칭 하고자 하는 영역내의 밝기값과 픽셀 거리값의 가중치를 적용하여 에러함수에 사용한다. 윈도우 N 에서의 중심 픽

셀 p와 임의의 점 q에 대한 밝기값의 가중치를 다음과 같이 정의한다.

$$W_I(p, q) = \exp\left(-\frac{\Delta I_{pq}}{\gamma_I}\right) \quad (1)$$

$$W_d(p, q) = \exp\left(-\frac{\Delta D_{pq}}{\gamma_d}\right) \quad (2)$$

위 식(1)과 (2)를 이용하면, 적응적 영역 가중치가 적용된 매칭비용을 계산하기 위한 에러함수는 식(3)과 같이 정의될 수 있다.

$$E(p, \bar{p}_d) = \frac{\sum_{q \in N_p, q_d \in N_{\bar{p}_d}} W_I(p, q) W_d(p, q) W_I(\bar{p}, \bar{q}) W_d(\bar{p}_d, \bar{q}_d) e(q, \bar{q}_d)}{\sum_{q \in N_p, q_d \in N_{\bar{p}_d}} W_I(p, q) W_d(p, q) W_I(\bar{p}, \bar{q}) W_d(\bar{p}_d, \bar{q}_d)} \quad (3)$$

3. 빠른 스테레오 매칭 방법들

가. Bilateral 접근 방법

Bilateral Filter 수식에 근사화 시키기 위하여 질의 영상에서의 가중치만을 고려하고 거리에 대한 가중치를 균등하게 고려하면 ASW 수식은 다음과 같이 간소화 될 수 있다.

$$E(p, \bar{p}_d) = \frac{\sum_{q \in W_p, q_d \in W_{\bar{p}_d}} W_I(p, q) e(q, \bar{q}_d)}{\sum_{q \in W_p, q_d \in W_{\bar{p}_d}} W_I(p, q)} \quad (4)$$

Integral Histogram은 Integral Image를 응용한 방법으로 Porikli [3]가 Bilateral Filter를 상수 시간에 계산하는데 제안한 방법이다.

그림1 은 Integral Histogram의 생성과정을 나타내고, 관련 수식은 식(5)와 같다.

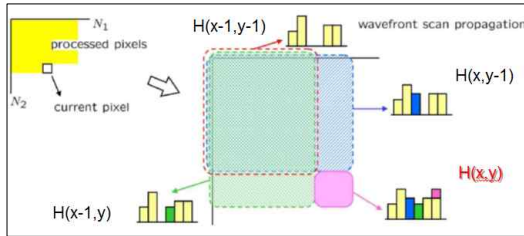


그림1. Integral Histogram의 생성

$$H(x, y) = H(x, y-1) + H(x-1, y) - H(x-1, y-1) \quad (5)$$

각 픽셀 점마다의 히스토그램 빈도를 누적하여 저장하여 두기 때문에 식(6)을 통하여 주어진 영역에서의 영상 값들을 동적으로 구할 수 있다.

$$H(x_1 : x_2, y_1 : y_2) = H(x_2, y_2) + H(x_1, y_1) - H(x_1, y_2) - H(x_2, y_1) \quad (6)$$

식(4)에 Integral Histogram 개념을 적용해보면 식(7)과 같이 다시 나타낼 수 있다.

$$E(p, \bar{p}_d) = \frac{\sum_i W_I(p, i) h_{(L, \bar{L})}(i)}{\sum_i W_I(p, q)} \quad (7)$$

밝기값의 범위를 256개에서 64개의 bin으로 양자화하여 구현하면 상당히 줄어든 상수시간 매칭을 수행 할 수 있다.

나. Sub-Block 방법

Sub-Block 방법은 윈도우 크기에 따른 ASW 방법의 많은 계산량을 감소시키기 위한 방법이다. 그림 2와 같이 영역 윈도우내의 값들을 3x3 크기의 서브 블록 단위로 그룹화 하고 그 대표값들을 미리 계산해 두었다가 매칭 수행에 사용한다.

그림 3은 9x9 Window의 경우 81개의 방문하여야 할 픽셀의 개수가 있지만, Sub-Block 적용 후 9개의 대표 블록값으로 대체됨을 보여준다.

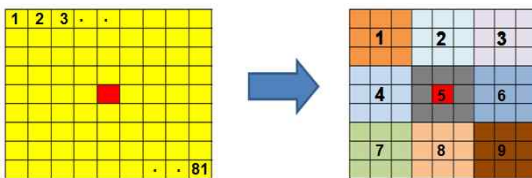


그림2. 9x9 윈도우 -> 3x3 단위의 Sub-Block 9개

다. 에지정보 기반한 Adaptive disparity Search 방법

스테레오 매칭 결과의 지표인 ground-truth 영상의 시차 값들이 에지(Edge) 정보의 유무를 기준으로 새로운 영역을 시작하기 전에는 시차값이 크게 변하지 않는다는 것에 착안하여 원 영상의 에지정보를 기준으로 감소된 시차탐색을 하는 방식이다.

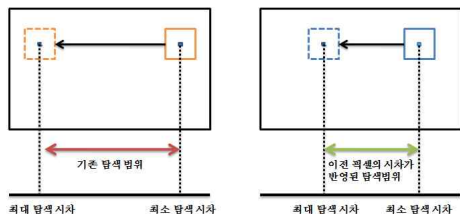


그림3. 적응적 시차 탐색 알고리즘

그림3 은 탐색중인 현재 픽셀위치에서의 에지 정보가 발견되면 이전 시차탐색범위로부터 줄어든 범위의 시차탐색을 수행하고, 에지정보가 발견된 경우에는 정상 범위의 시차 탐색을 수행하여 좋은 매칭 정확도

를 유지함을 나타낸다. 이 방법이 좋은 매칭 결과를 얻기 위해서는 정확한 에지정보를 구하는 것이 중요하다.

4. 실험 결과 비교

실험에 사용된 영상은 tsukuba 384x288 영상을 사용했고, 영역 윈도우 크기는 33x33, Sub-Block 크기는 3x3, 적응적 시차탐색의 줄어든 범위는 $\alpha = \pm 3$, PBMP(Percentage of Bad Matching Pixels)의 임계값 $\delta = 1.0$, 밝기값 가중치 함수의 인자 $\gamma_I = 14.0$, 기하학적 가중치 함수의 인자 $\gamma_d = WINDOWSIZE/2$ 의 값으로 고정하여 실험을 수행하였다.

		IH Bilateral	Sub-Block	Sub-Block + Adaptive disparity
계산 수행 시간	Weight	1.56 sec	4.98 sec	4.98 sec
	Matching	0.08 sec	2.87 sec	1.76 sec
	Total	4.37 sec	7.85 sec	6.67 sec
매칭 정확도	RMS	28.139	18.184	20.016
	PBMP	10.824	5.646	6.229
메모리 자원 사용량	Look-Up Table	216MB 13.5MB	204MB x2	204MB x2
	Image data	0.1MB x4	0.1MB x4	0.1MB x5

표 1. 33x33 영역 Window 사용 실험 비교 결과

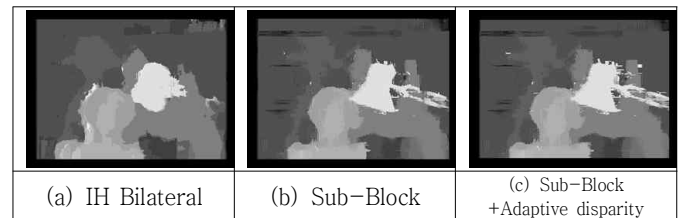


그림 4. 33x33 영역 Window 매칭을 통해 얻은 결과 시차영상

표1은 각 방법에서의 결과를 나타내고 있다. Bilateral 접근 방식은 가장 적은 메모리자원을 사용하면서 가장 빠른 시간 내에 매칭 결과를 계산하고 있다. 하지만 매칭 정확도 손실이 다른 방식들과 비교하여 매우 큰 것을 볼 수 있다. 이는 이 방식이 질의 이미지에서만 가중치를 적용하고 거리에 대한 가중치를 균등하게 두고 있기 때문이다. 매칭 정확도 관점에서는 Sub-Block 방식이 가장 좋은 결과를 보이고 있다. 하지만, 계산 수행 시간이 3가지 방식 중 가장 큰 것을 볼 수 있다. 그림 4는 각 방법의 매칭 수행 후의 결과 시차영상을 보이고 있다.

5. 결론

본 논문에서는 적응적 영역 가중치 방법의 여러 근사화 알고리즘들을 비교 실험하였다. 실험결과, Sub-Block+Adaptive disparity 방식이 좋은 매칭 정확도를 유지하면서도 효율적으로 계산 수행 시간을 줄이고 있는 것을 볼 수 있다. 향후 매칭 정확도를 개선하는 후처리에 대한 연구로 실시간 시스템에서의 적합한 스테레오 연구가 진행되어야 할 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0028178, 2010-0015441)

참고문헌

- [1] K-J Yoon, I-S Kweon, "Adaptive Support-Weight Approach for Correspondence Search" IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Apr. 2006
- [2] 주명호, 강행봉 "빠른 스테레오 매칭을 위한 Bilateral 접근 방법" 대한전자공학회 논문지, 제46권 제1호, pp. 136-143, 2009.1
- [3] F. Porikli, "Constant Time O(1) Bilateral Filtering", In Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Recognition, 2008.