

에지 및 픽셀 데이터를 이용한 어레이구조의 스테레오 매칭 알고리즘

Stereo matching algorithm based on systolic array architecture using edges and pixel data

정우영*, 박성찬**, 정홍***

(Woo Young Jung and Sung Chan Park and Hong Jung)

*포항공대 철강대학원(전화:(054)279-5883, 팩스:(054)279-2903, E-mail : jwysky@postech.ac.kr)

**포항공대 전자전기공학과(전화:(054)279-5883, 팩스:(054)279-2903, E-mail : mrzoo@postech.ac.kr)

***포항공대 전자전기공학과(전화:(054)279-5883, 팩스:(054)279-2903, E-mail : hjeong@postech.ac.kr)

Abstract : We have tried to create a vision system like human eye for a long time. We have obtained some distinguished results through many studies. Stereo vision is the most similar to human eye among those. This is the process of recreating 3-D spatial information from a pair of 2-D images. In this paper, we have designed a stereo matching algorithm based on systolic array architecture using edges and pixel data. This is more advanced vision system that improves some problems of previous stereo vision systems. This decreases noise and improves matching rate using edges and pixel data and also improves processing speed using high integration one chip FPGA and compact modules. We can apply this to robot vision and automatic control vehicles and artificial satellites.

Keywords : Stereo Vision, Trellis Search Algorithm, systolic array architecture

I. 서론

인간은 두 눈과 뇌의 시각피질을 이용하여 입체공간을 인식할 수 있는데, 이러한 인간의 시각기능을 침체 최적화된 새로운 알고리즘을 이용하여 FPGA칩으로 구현하였다. 즉 인간의 눈에 해당되는 한 쌍의 비디오 카메라로부터 받아들이는 비디오영상을 고속 병렬로 처리하여 공간상의 모든 물체의 위치를 계산해 3차원으로 복원하는 것이다.

본 스테레오 비전 시스템은 양쪽 카메라에 비춰지는 두 영상의 패턴 정보를 이용하여 공간상의 한 점을 나타내는 픽셀을 찾아 냄으로서 공간상의 거리를 계산해 낼 수 있는 것인데 좌우 영상간의 밝기 차이, 반사광의 영향, CCD 센서특성 등 요인에 의해 좌우 이미지의 영상 패턴이 매칭되는 부분의 픽셀 값이 달라질 때 에러가 발생할 수 있다. 반사광은 물체에서 보이는 영상 패턴의 정보가 아니고 물체에 반사되는 빛을 말한다. 본 논문에서는 이러한 노이즈한 환경에서 정밀도를 높이기 위해 에지를 이용하였다.

하드웨어 구현은 Xilinx XC2V8000을 이용하였으며 보드내의 PCI 인터페이스, 카메라 인터페이스, FPGA, FPGA 다운로드 부분은 부분 별로 나누어서 모듈화 시켰다. 이로써 크기 면에서 많이 작아지고 PCB에 디바이스

를 장착하여 제대로 동작되는지 확인하기가 수월해 졌으며 향후 다른 종류 카메라를 사용하거나 다른 종류의 PC 인터페이스를 사용할 시 PCB 전체를 다시 제작할 필요가 없다. 즉 각각의 모듈 중 바꾸어야 할 필요가 있는 부분만 제작하면 된다. 또한 보다 고성능의 FPGA를 사용할 시에 FPGA 모듈만 바꾸면 되므로 보다 보드 제작이 수월해 진다.

제시된 아키텍처로 구현된 입체시각 칩은 사람의 두 눈과 같은 기능을 하므로 다양한 분야에 적용할 수 있다. 산업분야나 가전분야에서 로봇의 시각 기능과 무인자동차에서 도로를 인식하는 기능, 기타 인공위성 분야등에 사용될 수 있다.

II. 알고리즘

영상의 패턴이 변화되는 부분 즉 에지를 이용하게 되면 픽셀 값만의 매칭에 비해 좌우 영상의 전체 밝기 차이 노이즈에 둔감해 질 수 있는 한 차원의 에지 정보를 더 이용하게 되므로 영상의 패턴이 작게 나타나서 매칭이 잘 되지 않는 부분도 강인하게 매칭이 된다. 줄(streak)부분도 상당수 감소되는데 이는 본래 에지가 물체의 형이 바뀌는 부분에 패턴이 자주 나타나므로 이런 부분에 에지를 넣어서 매칭하게 되면 그부분의 양안차값이 보다 안정되게 매칭된다.

다음 본 논문에서 적용한 스테레오 비전 알고리즘과 에지를 이용한 알고리즘에 대해 설명 한다.

1. 격자 추적 알고리즘(Trellis Search Algorithm)[1]
 광축이 평행하고 동일한 평면상에 초점면을 형성하는 좌우측 이미지의 스캔라인을 벡터 g^l 과 g^r 로 나타내며 스캔 라인상의 에지들을 E^l 과 E^r 로 나타내면 왼쪽 이미지의 스캔 라인은 아래와 같이 표시된다.

$$g^l = [g_1^l \dots g_N^l] \quad E^l = [E_1^l \dots E_N^l]$$

이때 양안차 $d = i - j$ 를 계산하면 양안차 벡터 d 에 대한 MAP(maximum a priori estimate)는 아래와 같다.

$$\hat{d} = \arg \max_d (d | g^l, g^r, E^l, E^r) \quad (2-1)$$

관측된 이미지는 iid (additive white Gaussian noise)의 영향을 받은 이미지라고 가정하고 (2-1)식을 정리하면 아래와 같은 에너지 함수를 유도할 수 있다.

$$U(d) = \sum_{i=1}^{2N} [(|g_{(i-d)/2}^l - g_{(i-d)/2}^r| + \alpha |E_{(i-d)/2}^l - E_{(i+d)/2}^r|) \times o(i+d_i) + \gamma |d_i - d_{i-1}|] \quad (2-2)$$

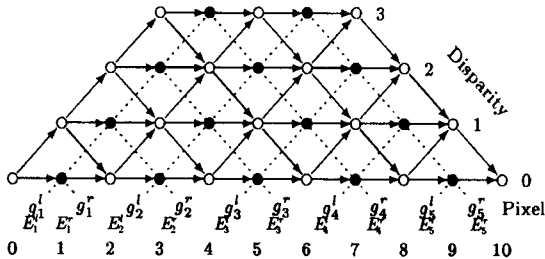


그림 2-1: N=5 와 $d_{max}=3$ 인 양안차 trellis

d 의 해공간은 [2]에서 새로이 제시된 discrete center referenced inverse projection에 바탕을 둔다.

그림 2-1처럼 격자 구조에 의해 그래프 형태로 나타내어 질 수 있다. (2-2)식을 그림 2-1의 격자에 적용하면 MAP 계산은 격자에서 최소 코스트 경로를 찾는 것이라고 할 수 있다. 여기서 효율적인 경로 추적을 위해 Viterbi 알고리즘이 사용된다. 순차적으로 더해지는 코스트 벡터 $U(i, j)$, 경로의 정보가 저장되는 결정 값 매트릭스 $\zeta(i, j)$ 가 주어진다면, 본 격자 추적 알고리즘은 아래와 같이 정리된다.

알고리즘 : 양안차 벡터 \hat{d} 를 다음과 같이 계산한다.

1) 순방향 초기화: $i = 0$ 일때

$$U(0, j) = \begin{cases} 0, & \text{if } j = 0 \\ \infty, & \text{otherwise} \end{cases}$$

2) 순방향 처리: 각각 $i = 1, \dots, 2N$ 에 대해 아래

와 같이 수행한다.

(a) if $i + j$ is even,

$$U(i, j) = \min_{k \in \{-1, 1\}} U(i-1, j+k) + \gamma k^2,$$

$$\zeta(i, j) = \arg \min_{k \in \{-1, 1\}} U(i-1, j+k) + \gamma k^2.$$

(b) if $i + j$ is odd,

$$U(i, j) = U(i-1, j) + |g_{(i-j)/2}^l - g_{(i+j)/2}^r| + \alpha |E_{(i-j)/2}^l - E_{(i+j)/2}^r|.$$

$$\zeta(i, j) = j.$$

3) 역방향 초기화: $i = 2N$ 일때

$$d_{2N} = \zeta(2N, 0).$$

4) 역방향 처리: 경로를 역으로 추적하여 최적의 양안차를 찾아낸다.

$$d_{i-1} = d_i + \zeta(i, d_i), \quad i = 2N, \dots, 1.$$

2. 에지 검출 알고리즘

에지는 영상에 관한 많은 정보를 보유한다. 에지는 물체의 위치, 형태 및 크기뿐만 아니라 그 내부 조직(texture)까지도 표현된다. 에지는 영상의 밝기가 낮은 데서 높은 쪽으로 혹은 그 반대로 밝기의 변화가 있는 곳에 존재한다. 에지 검출의 출력은 원영상에서 에지를 강조하는 과정에 있다. 에지 검출은 영상의 경계선을 검출하는 알고리즘으로서 영상 분할 과정의 첫번째 단계이다. 영상해석의 한 분야인 영상 분할은 영상의 구성을 결정하기 위하여 화소군을 영역으로 사용한다. Edge의 방향, 폭 및 형태는 그림2-2에서 보는 바와 같이 무한하다.

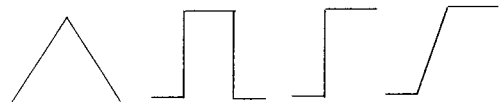


그림 2-2. 미분 에지 형태

에지 검출을 하기 위하여 제안된 많은 방법이 존재한다. 미분 필터는 노이즈에 민감하므로 노이즈를 줄이기 위하여 smoothing과 같은 절차가 필요하다. 노이즈가 있는 영상에서 에지 검출을 위한 방법들에는 다음과 같은 것들이 있다.

- 1) Robert gradient.
- 2) Sobel Operator.
- 3) Prewitt Operator
- 4) Facet Model.
- 5) Laplacian Operator.

이러한 미분 처리는 작은 크기로 일반화 되어있다. 영상내에서의 노이즈는 일반적으로 랜덤하기 때문에 이러한 작은 윈도우로 영상의 노이즈를 효과적으로 제거하기는 매우 어렵다. 반면 큰 사이즈로부터 얻어지는

영상의 특성은 노이즈에 덜 민감하기 때문에, 이러한 특성을 적용한 큰 윈도우 사이즈의 가우시안 (Gaussian) 필터가 제안되었다. 그러나 가우시안 필터로서 영상을 처리하려면 가우시안 함수는 오로지 정해진 유한 구간 $[-w/2, +w/2]$ 내에서만 영(zero)이 아닌 것으로 고려되어야 한다. 즉 유한크기의 마스크가 사용되는 것이다. 또한 가우시안 필터의 중요한 문제점은 노이즈 억제 효과와 에지 위치 측정 정확도 사이의 모순관계를 가지고 있다는 점이다. 가우시안 필터의 성능은 가우시안 커널의 표준편차가 클수록 노이즈에 덜 민감하다. 반면에 가우시안 커널이 클수록 가우시안 함수의 중앙은 더욱 평평해지고 에지 위치 측정 정확도는 떨어진다. 게다가 이러한 에지 위치 측정 정확도의 감소는 추후의 에지 포인트 검출에 어려움을 유발한다. 스테레오 매칭의 효과를 높이고자 에지 정보를 이용하고자 하는 본 연구에 있어서 이러한 에지 포인트의 부정확성은 오히려 그 스테레오 매칭 결과를 악화시킬 수 있다.

본 연구실에서는 스테레오 매칭에 향상된 결과를 가져다 줄 수 있는 에지 검출 알고리즘을 조사한 결과 Shen 필터[3]가 본 연구에 도움을 줄 수 있는 가장 적합한 에지 검출 필터로 조사되었다. Shen 필터는 무한대의 윈도우 크기를 가지면서 단일 에지와 다중 에지들을 검출하는데 variational analysis에 의해 최적의 선형 필터가 되며 여러 가지 필터들을 비교한 결과 Shen 필터가 Gaussian 필터, Canny 필터, Deriche 필터보다 에지 위치 측정 에러가 작고 SNR특성이 좋으며 계산하는데 복잡도가 낮다.

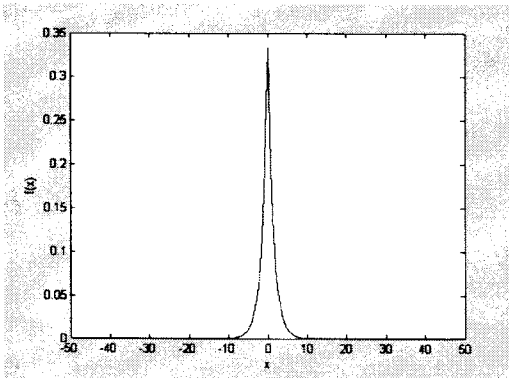


그림 2-3: Shen 필터

$$f(i) = a \cdot b^{|i|} \quad (2-3)$$

$$f'(i) = \frac{df(i)}{di} = \begin{cases} a \cdot \ln b \cdot b^i & \text{for } x > 0 \\ -a \cdot \ln b \cdot b^{-i} & \text{for } x < 0 \end{cases} \quad (2-4)$$

$$D = (x * f)' = x * f' \quad (2-5)$$

식(2-3)은 shen 필터를 나타낸다. 식(2-4)는 shen 필

터의 미분형이다. 따라서 식(2-4)가 영상 이미지인 x 와 컨벌루션을 취하면 식(2-5)처럼 Shen 필터된 영상의 미분형을 구할 수 있다. 식(2-4)식들은 지수 함수 형태를 가지므로 아래와 같이 재귀 형태로 변환할 수 있다.

$$Y_{Ld}(i) = (1-b) \cdot X(i) + b \cdot Y_{Ld}(i-1), \quad i = 1, \dots, N, \quad (2-6)$$

$$Y_{Rd}(i) = (1-b) \cdot X(i) + b \cdot Y_{Rd}(i+1), \quad i = N, \dots, 1, \quad (2-7)$$

$$D(i) = Y_{Rd}(i+1) - Y_{Ld}(i-1) \quad (2-8)$$

식(2-6)는 스캔라인 방향의 순방향 필터링이고, 식(2-7)는 그 반대 방향의 역방향 필터링이다. 즉 순방향과 역방향 재귀 필터링을 통해 무한대의 윈도우 크기를 얻을 수 있다. 본 필터링 후 식(2-8)의 미분식에 의해 에지 성분이 구해진다.

위 식에 보는 바와 같이 수행 시 이전 데이터 값이 $1/b$ 배 만큼 줄어들므로 finite word length effect를 고려 시 finite bit에 의한 에러가 factor b 만큼 줄어드는 것 또한 볼 수 있다.

그리고 보통 영상 이미지는 2D 필터를 사용하는데, 스테레오 매칭의 경우 좌우 영상의 스캔라인 별로 수평방향으로 픽셀 또는 에지의 위치 차이에 의해 양안차 값을 구한다. 스캔라인 상에서 에지의 수평 방향으로의 위치 차이 정보를 정확히 줄 수 있는 세로 에지가 중요하다. 가로 에지를 고려할 경우 세로 에지가 있는 지점에서는 노이즈만 야기시킬 뿐이다.

따라서 좌우측 영상의 스캔 라인을 1D shen 필터를 사용하여 필터링하여 에지 데이터를 추출해도 충분하다.

본 에지 데이터는 쓰레드홀딩 하지 않고 사용하며, 스테레오 매칭 시 정합 코스트로 이용한다. 쓰레드홀딩하면 쓰레드홀딩 데이터의 크기에 따라 에지의 크기가 비선형하게 변화되므로 매칭 시 에러를 야기시킨다.

III. 실험결과

1. 시스템구성

스테레오 CCD 카메라 부분은 2개의 줌 렌즈와 흑백 CCD 카메라 그리고 이들 장치들 고정 및 조정 가능하도록 하는 마운터가 연결되어 있다. 그리고 3D 재구성 부분에는 스테레오 매칭을 위한 한 개의 고속 FPGA를 구성해주는 SM보드 그리고 처리된 양안차 출력력을 호스트 컴퓨터에 전달하기 위한 PCI 인터페이스 보드로 구성되어 있다.

SM 보드는 흑백 CCD 카메라의 이미지 데이터를 FPGA에 전달하고 FPGA에서는 어레이 구조를 이용하여 양안차를 출력하여 컴퓨터에 전달한다. 양안차는 초당 약 15 프레임의 속도로 컴퓨터에 전달된다. 양안차 이미지 크기는는 1280 X 1000 이며 200 단계의

회색 스케일로 양안차를 표현하여 전달한다.

FPGA의 PCI 인터페이스는 PLX사의 PCI 인터페이스 칩킷을 사용하여 PCB 보드로 구현하였다.

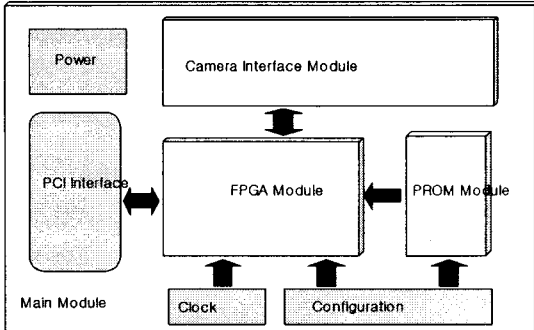


그림 3-1 : SM 보드의 구성

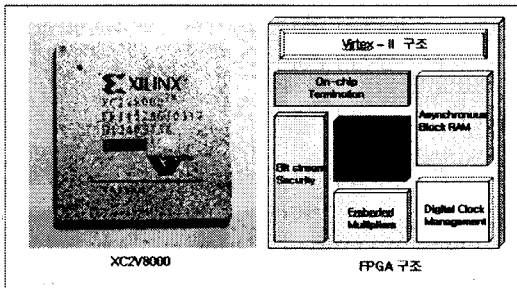
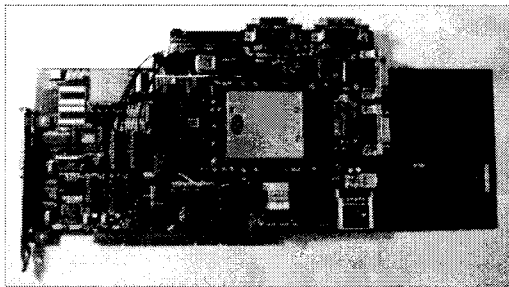


그림 3-2 : 사용된 FPGA와 구성도



SM 보드

그림 3-3 : SM 보드 사진

2. 결과영상



그림 3-4: 기존 결과물과 출력 결과 비교

위 그림은 에지 자중치가 1인 경우 즉 에지를 사용한 경우와 가중치가 0인 경우 즉 에지를 사용하지 않은 경우에서 출력 양안차 영상을 비교해 보았다. 오른쪽 그림이 에지를 사용하지 않은 기존 칩의 경우이고 왼쪽이 사용한 올해 칩의 경우이다. 패턴 정보가 비교적 뚜렷하지 않아도 에지를 사용하면 잘 매칭되는 결과를 볼 수 있다. 줄(Streak) 성분도 많이 줄어 든 것을 볼 수 있다.

IV. 결론

보다 매칭율이 높은 알고리즘을 개발하기 위해 실시간 에지 디텍션 아키텍처를 구현 및 이용하여 실시간 스테레오 매칭을 하였다. 칩당 프로세서 수를 두배로 늘려 기존의 하나 이상의 FPGA를 사용하는 대신 원칩으로 구현하였으며 클럭 속도를 2배로 늘려 카메라 영상 전체 프레임(1280by1000)을 실시간으로 처리 가능하게 하였다. 또한 보드 내 여러 기능들을 모듈화 하여 보드 사이즈를 줄이며 다양한 카메라 인터페이스를 용이하게 접목 가능한 구조로 설계하였다.

참고문헌

- [1]오윤수, "Trellis 기반의 병렬 스테레오 정합 알고리즘 및 VLSI 구현", 포항공대 전자전기공학과 박사학위논문, 2001
- [2]정홍, 오윤수, "Fast stereo matching using constraints in discrete space", IEICE Transactions on Information and Systems, Vol. E83-D, No. 7, pp. 1592-1600, July 2000.
- [3]"An Optimal Linear Operator for Step Edge Detection", Graphical Models and Image Processing Vol. 54, No 2, March, pp.112-133,1992