

## NVIDIA Jetson TX2에서 스테레오 매칭 알고리즘들에 대한 성능에 관한 연구

\*이규철 \*\*유지상

광운대학교

\*gyucheol0116@gmail.com

A Study on the Performance of Stereo Matching Algorithms  
in NVIDIA Jetson TX2

\*Lee, Gyu-Cheol \*\*Yoo, Jisang

Kwangwoon University

## 요약

2017년 3월에 NVIDIA에서 출시한 Jetson TX2는 GPU를 탑재한 고성능의 임베디드 보드이다. 이 제품은 GPU를 이용한 병렬 처리를 통해 임베디드 시스템 상에서 연산량이 많은 알고리즘을 동작시킬 수 있다. 스테레오 매칭 기법은 스테레오 카메라를 이용하여 깊이 정보를 획득할 수 있으며, 획득한 깊이 정보는 다양한 어플리케이션의 메타 데이터로써 활용될 수 있다. 하지만 알고리즘의 연산량이 매우 많아 GPU를 탑재한 데스크톱에서만 동작하는 것이 일반적이었다. 이에 본 논문은 임베디드 보드인 Jetson TX2에서 기존에 개발되었던 스테레오 매칭 알고리즘들을 동작시키고 성능 분석을 통해 실시간 동작 여부에 대한 연구를 진행하였다.

## 1. 서론

NVIDIA는 2015년에 GPU를 탑재한 고성능의 임베디드 보드인 Jetson TX1을 출시하였고, 2017년 3월에는 Jetson TX1의 성능보다 약 두 배 정도 향상된 Jetson TX2를 출시하였다[1]. 그림 1은 Jetson TX2의 외형을 보여준다.



그림 1. NVIDIA Jetson TX2

이 제품은 쿼드코어에 추가적으로 2개의 코어를 가지고 있는 CPU를 통해 CPU상에서 알고리즘 처리속도가 빠를 뿐만 아니라, 256 코어 GPU를 탑재하여 알고리즘의 병렬처리가 가능하다. 이를 통해 기존의 임베디드 보드 상에서는 많은 계산량으로 인하여 동작시킬 수 없었던 알고리즘들을 동작시키는 것이 가능하다. 표 1은 Jetson TX2의 사양을 보여준다.

표 1. NVIDIA Jetson TX2 사양

GPU	256개 코어, NVIDIA Pascal 아키텍처 기반 GPU
CPU	듀얼 64비트 NVIDIA Denver 2, Quad ARM® A57
비디오	4K x 2K, 60fps 인코딩 및 디코딩 기능
카메라	최대 6대의 카메라를 지원하는 12 CSI 라인, 라인 당 5GB/s
메모리	8GB LPDDR4, 58.3GB/s
스토리지	32GB eMMC
연결성	802.11ac WLAN, 블루투스
네트워크	1GB 이더넷
운영체제	Linux for Tegra® 지원
사이즈	50mm x 87mm

스테레오 매칭 알고리즘은 스테레오 카메라를 이용하여 깊이 정보를 획득하는 기법이다. 깊이 정보를 활용하면 다양한 어플리케이션에 활용할 수 있다. 지능형 자동차 분야에서는 주변 환경을 인식하여 3차원으로 모델링하거나 객체와 카메라간의 거리를 측정하는데 활용될 수 있다. CCTV 분야에서는 깊이 정보를 이용하여 사람의 신장을 측정하거나 카메라의 시점을 다른 시점으로 투영하여 재구성하는 것이 가능하다.

하지만 스테레오 매칭 알고리즘의 특성 상 계산량이 많아 일반적인 임베디드 보드 상에서 실시간으로 동작하지 않을 수 있다. 따라서 본 논문에서는 Jetson TX2에서 스테레오 매칭 알고리즘들의 성능을 분석하고 실시간 동작 여부를 파악하는 것을 목표로 한다.

## 2. 본론

본 논문에서 Jetson TX2에 포팅하여 성능 분석하는 스테레오 매칭 알고리즘들은 다음과 같다. OpenCV 라이브러리의 Semi-global Block Matching(SGBM)[2]과 libSGM[3], VisionWorks 라이브러리의 Semi-Global Matching(SGM)[4] 그리고 D. Hernandez-Juarez의 알고리즘[5]이다. OpenCV는 스테레오 매칭 알고리즘에서 비용함수를 구할 때 Sum of Absolute Differences(SAD) 방식을 이용한다. 반면에 OpenCV를 제외한 나머지 알고리즘들은 AD-Census 방식을 이용하여 비용함수를 구한다. AD-Census 알고리즘은 영상에서 구조적으로 동일한 부분을 탐색하기 때문에 일반적으로 사용되는 SAD 방식보다 더 높은 정확도를 보여준다. VisionWorks의 SGM은 NVIDIA에서 제공하는 영상 처리 라이브러리인 VisionWorks가 적용되었다. 위에 언급된 알고리즘들은 모두 빠른 처리를 위해 CUDA를 이용한 병렬처리가 적용되었다.

실험은 각 알고리즘들을 Jetson TX2에 포팅하여 진행하였다. 실험 방법은 각 해상도 별로 FPS를 측정하며 실험에 사용된 영상의 해상도는 VGA, HD, FHD이다. 추출한 깊이의 정확도는 각 알고리즘에 대한 정확도가 이미 공개되었기 때문에 따로 측정하지 않았다. 표 2는 FPS를 측정한 결과이다.

표 2. 스테레오 매칭 알고리즘들의 FPS 측정 결과

Methods	VGA (640x480)	HD (1280x720)	FHD (1920x1080)
OpenCV[2]	27.1	2.3	-
libSGM [3]	12.3	4.3	-
VisionWorks [4]	71.7	24.4	10.5
D. Hernandez-Jua rez[5]	58.8	19.2	8.2

VisionWorks의 SMG은 Jetson TX2에 최적화되어 있는 VisionWorks 라이브러리를 사용하기 때문에 가장 빠른 처리 속도를 보여주고 있다. VGA 해상도에서는 71.7 FPS로 실시간 이상의 속도를 보여주고 있으며 FHD 해상도에서도 10 FPS 이상의 속도를 보여준다. VisionWorks를 사용하지 않은 기법들 중에서는 D. Hernandez-Juarez의 알고리즘이 VGA 해상도에서 58.8 FPS로 가장 빠른 처리 속도를 보여준다. 이 알고리즘은 libSGM과 똑같은 기법을 사용하나 CUDA를 이용한 최적화를 진행함으로써 더 빠른 처리 속도를 보여준다. OpenCV와 libSGM의 경우 FHD 해상도에서는 동작하지 않았다. 알고리즘의 설계가 FHD 이상의 해상도일 경우에 대하여 고려되지 않아 에러가 발생하는 것으로 추정된다.

### 3. 결론

본 논문에서는 NVIDIA Jetson TX2에 스테레오 매칭 알고리즘들을 포팅하여 성능을 측정하는 실험을 진행하였다. 실험 결과 VisionWorks 라이브러리에서 사용되는 SGM 기법이 가장 빠른 속도를 보여주었지만 TX2에만 최적화가 되어 있기 때문에 의미가 없다. 다른 알고리즘들 중에서 D. Hernandez-Juarez가 제안한 알고리즘이 VGA 해상도에서 실시간으로 동작되는 것을 확인하였다. 또한, FHD

해상도에도 10 FPS 이상으로 동작하였다. 이를 통해 GPU가 탑재된 고성능 임베디드 보드에서 스테레오 매칭을 통해 실시간으로 깊이 정보를 추출하는 것을 확인하였으며, 앞으로 다양한 임베디드 어플리케이션에 활용될 것으로 예상된다.

### 참고문헌

- [1] <https://www.nvidia.com/ko-kr/autonomous-machines/embedded-systems-dev-kits-modules/>
- [2] [https://docs.opencv.org/2.4/modules/calib3d/doc/camera\\_calibration\\_and\\_3d\\_reconstruction.html](https://docs.opencv.org/2.4/modules/calib3d/doc/camera_calibration_and_3d_reconstruction.html)
- [3] <https://github.com/fixstars/libSGM>
- [4] <https://developer.nvidia.com/embedded/visionworks>
- [5] Hernandez-Juarez, Daniel, et al. "Embedded real-time stereo estimation via semi-global matching on the GPU." *Procedia Computer Science* 80 (2016): 143-153.

### 감사의 글

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 대학ICT 연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2018-2016-0-00288)