

GPU 병렬처리와 비동기 트리플 버퍼를 적용한 실시간 FD-OCT 시스템 구현

전준영*, 김영봉*

*부경대학교 IT 융합응용공학과

e-mail : bluestainer@nate.com

Implementation of real-time FD-OCT system based on asynchronous triple buffering and parallel processing using GPU

Jun-Young Jeon*, Young-Bong Kim*

*Dept of IT Convergence and Application Engineering P.K.N.U

요 약

최근 영상처리 기법과 하드웨어의 발달로 의학 분야에서는 질병의 진단에 다양한 영상 시스템을 활용하고 있다. 특히 OCT 기술은 인체조직의 고해상도 이미지 획득과 혈류속도 측정을 동시에 할 수 있어 의료분야에 다양하게 적용이 가능하여 많은 관심을 받고 있다. 이에 더욱더 선명한 OCT 영상을 획득하기 위해 다양한 알고리즘과 필터링을 사용함에 따라 빠른 프로세스 처리가 요구되고 있는 실정이다. 본 논문에서는 듀얼 코어 이상급의 CPU 를 탑재한 시스템에서 데이터 처리 모듈과 렌더링 모듈을 트리플 버퍼를 통해 비동기식으로 멀티스레드화 하였고, GPU 기반의 병렬처리를 통한 데이터 처리를 하여 속도를 향상시켰다. 이에 광학 카메라 촬영 시 선명한 실시간 OCT 영상을 확인할 수 있었다.

1. 서론

현대 사회에서 카메라나 각종진단 장비에서 입력되는 영상 정보는 매우 중요한 역할을 수행하고 있다. 특히 의학 분야에서는 질병의 진단에 X-선(X-ray system), 초음파(Ultrasound), CT(Computerized Tomography), MRI(Magnetic resonance Imaging) 등의 다양한 영상 시스템을 활용하고 있다. 특히 근적외선 파장대의 간섭 원리를 이용한 OCT(Optical Coherence Tomography)기술은 비교적 저렴한 가격과 생체내부의 미세 조직의 고해상도 단면영상 획득과 혈류속도 측정을 동시에 할 수 있어 의료분야에 많은 관심을 받고 있다. OCT 를 통해 획득한 영상에 포함되어 있는 잡음 제거를 위해 전처리 과정에서 Mean Filter, GaussianFilter, MedianFilter 등의 다양한 필터와 Phase Correction, Dispersion Compensation, Hilbert Transform 등의 알고리즘들이 구조적으로 적용되고 있다[1]. 이때 많은 데이터처리가 필요함에 따라 실시간 영상을 획득하기 위해서 빠른 프로세스 처리가 필요로 하여 멀티 스레드, GPU 병렬처리시스템 등의 연구가 진행중이다[2][3]. 하드웨어의 발달로 듀얼 코어 이상급의 CPU 를 탑재한 시스템에서는 일반적인 단일 스레드 구조보다 2 개 이상의 물리적 코어를 활용한 멀티 스레드 구조가 더 빠른 처리속도를 보여준다. 다중 스레드 구조에서는 같은 리소스를 공유할 때 충돌이 일어날 수 있기에 CriticalSection, Semaphore, Mutex 등의 동기화와 다양한 방식의 비동

기화 처리 방법이 있다 . 이에 본 논문에서는 렌더링 모듈은 메인 스레드에서, 영상처리 모듈은 다른 스레드에서 처리하고, 트리플 버퍼를 사용하여 비동기화 하였다. 또 영상처리 모듈에서는 CUDA 를 통해 GPU 병렬처리를 통한 다양한 알고리즘들과 필터링을 적용하여 더 선명한 OCT 영상과 실시간에 가까운 프레임률을 보장하고자 하였다.

2. Triple Buffer 구조

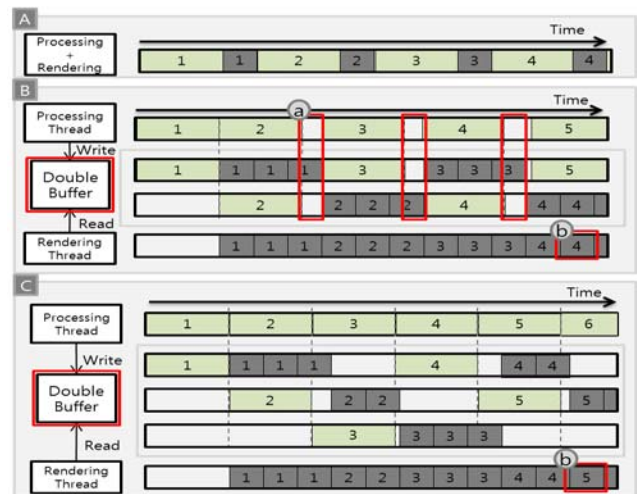


그림 1 단일 스레드, 더블 스레드에서의 더블 버퍼, 트리플 버퍼의 구조와 처리속도 비교.

트리플 버퍼의 구조는 두 스레드간 공유되는 데이터를 3 개의 버퍼를 사용하여 서로 충돌이 일어나지 않게끔 스케줄링 하는 구조이다. 위의 그림 1 은 단일 스레드와, 더블 스레드에서의 더블 버퍼, 트리플 버퍼의 구조와 처리속도의 비교이다. A 는 단일 스레드에서는 영상처리 데이터 모듈에서 프레임 데이터를 생성 후 렌더링 모듈을 통해 화면에 디스플레이하는 구조이다. B 와 C 는 영상 데이터 처리 모듈과 렌더링 모듈을 각각 스레드로 구현하고, 두 스레드간의 데이터 공유를 각각 더블버퍼, 트리플 버퍼를 사용한 구조이다. 데이터 처리 모듈에서는 입력된 데이터를 CUDA 를 통해 다양한 알고리즘들과 필터를 적용하여 고속으로 처리하고 최근에 쓰여지지 않은 버퍼에 데이터를 쓰는 작업을 반복한다. 렌더링 모듈에서는 최근 쓰여진 버퍼에서 프레임 데이터를 읽어 화면에 디스플레이를 반복하는 구조이다.

A 에서는 영상처리 데이터 모듈에서 프레임을 생성 후에 렌더링모듈을 통해 화면을 업데이트하기 때문에 비교적 느린 속도를 보여준다. B 의 수행 과정에서 영상 데이터 처리 모듈 스레드가 최근 쓰여지지 않은 버퍼에 데이터를 쓰려할 때, 렌더링 모듈 스레드가 데이터를 읽고 있는 문제가 발생된다. 이러한 경우 스레드 간 충돌이 일어날 수 있기 때문에 a 와 같이 데이터처리 모듈 스레드에서 지연 시간이 발생한다. C 의 트리플 버퍼의 구조에서는 추가적으로 현재 사용중이지 않은 버퍼에 데이터 쓰기가 가능해져 대기 지연 시간이 사라지고, 각각 스레드의 최고속도를 보장할 수 있기에 결과적으로 b 와 같이 비교적 빠른 프레임률을 보여준다. 또 렌더링 모듈에서 GUI 렌더링, 이벤트 감지 등을 담당함으로써 데이터 처리 스레드가 실시간에 이루어지지 못하더라도 사용자와 자연스러운 상호작용이 가능해진다. 이러한 트리플 버퍼구조는 3 차원 시뮬레이션, 게임 등에서도 많은 활용이 가능하다

3. GPU 병렬처리 FD-OCT 시스템 구현 및 성능

전체 프로그램 구조는 ODT (Optical Doppler Tomograph)영상의 3D 볼륨렌더링을 위해 WINAPI 기반의 OpenGL 로 구현하였으며, 기존 연구[4] 에서 구현한 3 차원 GUI 개발도구를 사용하여 다양한 그래픽 효과가 가능하고, 사용자 경험을 바탕으로한 GUI 를 구현하였다.

더욱더 선명한 OCT 영상을 획득하기 위해 CUDA 를 통한 GPU 병렬 처리를 하여 그림 2 와 같은 과정의 알고리즘을 적용하였다[5]. 먼저 카메라로부터 입력 받은 데이터를 k 도메인으로 보간 하였고, 불필요한 미러(mirror) 이미지를 제거하기 위한 작업인 Hilbert Transform 을 통해 Complex Spectrum 을 생성하였다. 이 후 이미지의 퍼짐현상을 광학기기 조정과 특정 상수값으로 보정하는 Phase Correction 단계를 거쳐, 마지막으로 프레임 이미지 변환을 위한 Log Scaling 을 구현하였다.

GPU 병렬처리의 속도를 저하시키는 CUDA 의 메모리와 메인 메모리간의 데이터 이동(DeviceToHost /

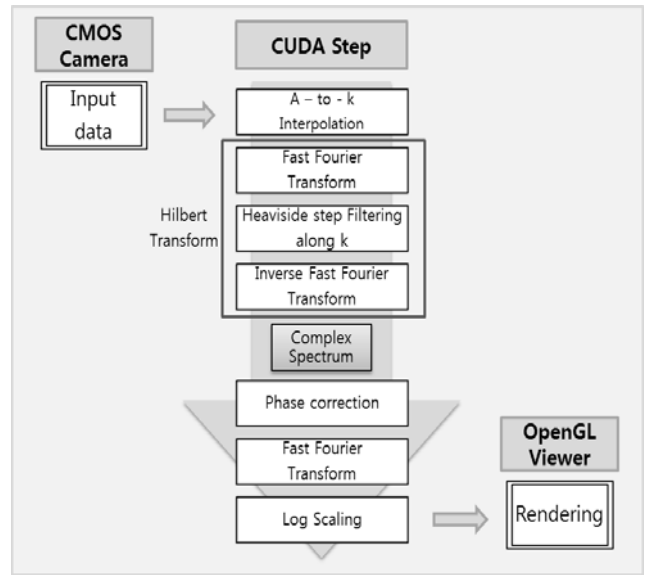


그림 2 CUDA 를 통한 GPU 병렬처리 알고리즘 단계

HostToDevice) 을 최소화하기 위해 CMOS line scan Camera 에서 한 라인씩이 아니라 2 차원데이터 (unsigned short x2048x 1024) 를 한번에 입력받았고, 2D FFT 및 각각의 알고리즘 device 함수를 2D 로 구현 및 처리하였다.

본 논문에서 시뮬레이션한 FD-OCT 시스템은 a 12-bit dual-line CMOS line scan camera(Sprint spL2048-140k, Basler AG, Germany) ,DAQ Card, frame grabber (PCIE-1429, National Instrument, Austin, TX) 장비를 사용한다. 시뮬레이션한 PC 환경은 Inter® Core™ i7- 3970X CPU, 8GB Memory, NVIDIA GeForce GTX 760 (Memory 4GB , CUDA Core 1024)을 사용하였으며 운영체제는 Window 7 Professional K 64bit 이다.

다음 그림 3 은 CUDA 를 사용하지 않은 단일 스레드, CUDA 사용한 단일 스레드, CUDA 와 더블 스레드에서 트리플 버퍼를 적용하였을 때의 각 프레임률 그래프와 시뮬레이터 실행화면이다. CUDA 를 통한 GPU 병렬 처리시 프레임률 상승과 더블 스레드구조에서 트리플 버퍼를 적용시 딜레이가 제거됨에 따른 프레임률 상승을 보여준다.

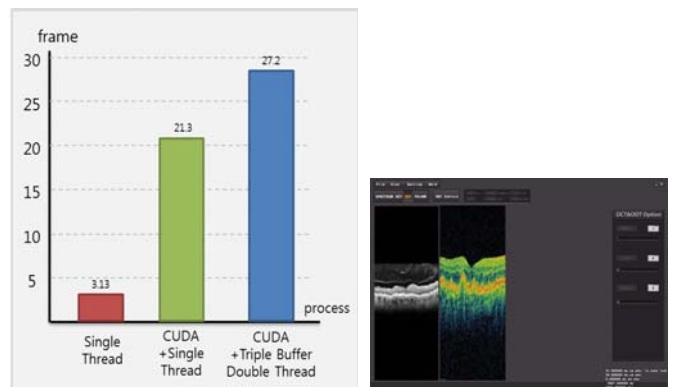


그림 3 FD-OCT 시스템의 프레임률과 실행화면

4. 결론

본 논문에서는 CUDA 를 사용해 다양한 알고리즘을 GPU 병렬처리한 FD-OCT 시스템 구현과, 렌딩 모듈과 영상 데이터 처리 모듈을 트리플 버퍼 통해 비동기식으로 멀티스레드화 하여 더욱더 선명한 OCT 영상과 실시간에 가까운 프레임률을 보장하였다. 이를 통해 비슷한 구조를 가진 물리가 적용된 3 차원 시뮬레이터, 게임, 의료 장비 등의 다양한 분야에서도 이와 같은 처리를 통한 프레임률 향상을 기대한다.

참고문헌

- [1] 신승원, “OCT 영상의 화질 개선을 위한 방향성 필터의 자동 생성 및 적용”, 학위논문(박사)- 건국대학교 대학원 : 의공학학과 의공학 2013. 2
- [2] Abdulnasir Hossen, “ A NEW FAST APPROXIMATE HILBERT TRANSFORM WITH DIFFERENT APPLICATIONS “. Information Engineering Department, Sultan Qaboos University, P.O.Box 33 Al-Khod, 123
- [3] Shuichi Makita, Tapio Fabritius, and Yoshiaki Yasuno , “Full-range, high-speed, high-resolution 1- μ m spectral-domain optical coherence tomography using BM-scan for volumetric imaging of the human posterior eye”, Optics Express, Vol. 16, Issue 12, pp. 8406-8420 (2008)
- [4] 전준영, “View Handler 디자인 패턴을 적용한 3D GUI 개발 도구 구현”, 2013 년도 한국멀티미디어학회 춘계학술발표대회 논문집 제 16 권 2 호
- [5] Kang Zhang, Student Member, IEEE, and Jin U. Kang, Member, IEEE, “Graphics Processing Unit-Based Ultrahigh Speed Real-Time Fourier Domain Optical Coherence Tomography”, IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN QUANTUM ELECTRONICS, VOL. 18, NO. 4, JULY/AUGUST 2012
- [6] 정태연, “생체내 유체 단층촬영을 위한 고속 SD-OCT 시스템 구현” 학위논문 (박사)- 경북대학교 대학원 : 전자공학과 2012. 2