

LADAR 영상의 실시간 신호 처리

하중림* · 남재두** · 김영길***

*한화시스템 · 아주대학교 **국방과학연구소 ***아주대학교

Real-time signal processing of LADAR image

Choong-lim Ha* · Jai-du Nam** · Young-kil Kim***

*Hanwha Systems · Ajou University **Agency for Defence Development ***Ajou University

E-mail : choonglim.ha@gmail.com

요 약

임베디드 분야에서 고해상도 센서의 등장으로 Heterogeneous 컴퓨팅에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 로직모듈은 LADAR 시스템 구성품을 제어하고, 고속의 레이저 영상 데이터를 실시간 3차원 영상화하기 위한 임베디드 시스템이다. 본 논문에서는 로직모듈의 설계와 CPU-GPU Heterogeneous 컴퓨팅을 활용한 로직모듈의 신호처리에 대해 설명하려고 한다.

ABSTRACT

With the advent of high-resolution sensors in the embedded field, the demand for heterogeneous computing continues to increase. Logic Module is an embedded system for controlling LADAR system components and for real-time 3D imaging of laser radar image data. In this paper, we discuss the design of Logic Module and the signal processing using CPU-GPU heterogeneous computing.

키워드

LADAR, 로직모듈, GPU, Heterogeneous 컴퓨팅

I. 서 론

센서의 발전과 디지털화, 네트워크 환경의 개선으로 인해 센서 신호처리를 위한 임베디드 컴퓨팅 분야의 성능에 대한 요구사항도 급격히 높아지는 추세이다. 특히 항공기 탑재를 목표로 하는 임베디드 시스템은 공간, 무게, 소비전력 등 운용 환경의 제약으로 인해 고성능 임베디드 시스템에 대한 설계가 용이하지 않다. 따라서, 제한된 시스템 환경에서 필요한 신호처리 요구사항을 분석하고, 신호처리 특성에 맞는 설계를 적용하는 것이 중요하다.

3차원 영상 레이저레이다(이하 LADAR)는 항공기에 장착되어, 레이저 조사 후 반사된 레이저 신호를 획득하여 3차원 영상 정보를 실시간 생성하는 장비이다. 로직모듈은 LADAR 시스템 구성품을 제어하고, 반사된 레이저의 시간 정보 ToF(Time of Flight)를 이용하여 실시간 3차원 영상을 생성하는 장비로, 특히 3차원 영상의 생성을 위해 많은 양의 연산을 필요로 한다. 한정된 시스템 자원

내에서 이를 실시간 처리하기 위해 순차적인 연산을 위한 CPU와 동일한 연산의 반복과 부동 소수점 처리에 적합한 매니코어 방식의 병렬신호처리 프로세서인 GPU(Graphic Processing Unit)를 함께 사용하였다.

본 논문에서는 LADAR 시스템에 대해 기술하고, 로직모듈의 설계 및 CPU-GPU Heterogeneous 컴퓨팅을 이용한 3차원 레이저 영상의 실시간 신호처리에 대해 설명한다.

II. LADAR 시스템

LADAR 시스템은 레이저 조사에 의해 물체로부터 반사된 레이저 신호를 이용하여 3차원의 표적 영상을 획득, 전시하는 장비이다. 조사된 레이저는 표적에 반사되어 16x16 배열의 평면 검출기에 도착하고, 도착한 시간을 거리 정보로 환산하여, 연산을 통하여 3차원의 영상을 생성한다. [1] 도출된 16x16 배열의 검출영상은 256개 화소로,

필요한 표적 영상정보를 충족하기에 부족하다. 따라서 필요한 FOV(Field of View)의 영상을 얻기 위하여 광학계 및 스캐너를 통해 필요 영역을 스캔하게 된다.

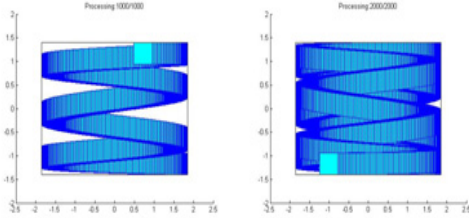


그림 1. 스캐너 스캔패턴

로직모듈은 레이저가 조사되는 시점의 스캐너의 방위각(Azimuth angle) 및 고각(Elevation angle)의 위치 정보를 획득하여 16x16 배열의 각 Pixel들에 대한 위치 정보를 확장한다. 확장된 픽셀의 위치 및 거리 정보를 이용한 연산을 통해 3차원 데이터를 생성한다. 생성된 3차원 데이터는 GPS/INS (Global Positioning & Inertial Navigation System)로부터 획득한 LADAR 시스템의 위치 및 자세정보를 이용하여 3차원 영상 데이터로 변환된다.

레이저 검출기로부터 생성된 3차원 영상은 검출기의 암전류(Dark Current) 및 태양광 효과(Solar effect) 등의 영향으로 많은 노이즈를 포함하고 있다. 또한 스캔 과정에서 영역 중복에 의해 발생하는 중복 Pixel 정보를 포함한다. 이를 제거하기 위해 광학필터 또는 중복 인덱스 제거와 같은 노이즈 필터링 처리를 통해 사용자가 대상 물체를 식별할 수 있는 영상으로 전시한다.

III. 로직모듈의 설계

로직모듈은 산업용 표준 VPX(ANSI/VITA 46.0) 규격의 시스템으로 3U 타입의 7개의 보드로 구성되어 있다. 로직모듈의 내부는 시스템 운용을 위한 시스템 제어보드와 3차원 영상처리를 위한 영상처리보드 및 그래픽 보드, 입출력을 위한 영상수신보드 및 이더넷스위치 보드, 데이터 저장을 위한 저장기 보드, 전원공급보드로 구성되어 있다. 주요 핵심 구성품인 시스템제어보드와 영상처리보드는 Intel i7 기반의 SBC(Single Board Computer)를 채택하였으며, 영상처리보드와 연동되는 그래픽보드로 NVIDIA GT240을 탑재한 그래픽카드를 사용하였다. O/S는 NVIDIA의 병렬 컴퓨팅 아키텍처인 CUDA를 사용하기 위해 Linux 계열의 Ubuntu를 탑재하였다.

로직모듈의 내부 연동은 VPX(ANSI/VITA 46.0) 규격에서 채택한 PICE (PCI express) 통신 및 Ethernet 통신을 통해 이루어진다. Ethernet은 Ethernet 스위치를 통하여 데이터를 Broadcasting

함으로써 데이터를 실시간 공유할 수 있다.



그림 2. 로직모듈

표 1. 로직모듈 주요사양

구분	사양
시스템 구조	VPX(ANSI/VITA 46.0)
CPU	Intel Core i7 1.5Ghz
GPU	NVIDIA GT240
OS	Linux (Ubuntu)
저장용량	256 GB
소모전력	160 Wmax
운용온도	-10°C ~ +50°C

IV. LADAR 신호처리

1. 시스템 연동 및 실시간 데이터 저장

로직모듈의 기능은 시스템 연동 및 데이터 저장 기능과 실시간 3차원 영상 생성 기능으로 구분된다. 로직모듈은 스캐너, 레이저 검출기 등으로부터 입력되는 데이터의 공유와 시스템제어보드와 영상처리보드간의 실시간 데이터 교환을 통해 각각의 기능을 독립적으로 수행하도록 병렬 구조를 갖는다.

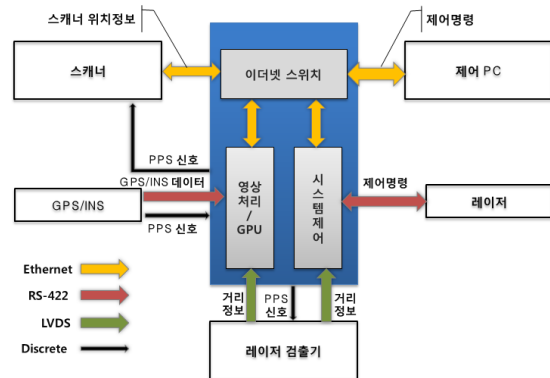


그림 3 .로직모듈 연동 구조

시스템 연동 및 저장 기능은 시스템제어보드에 의해 수행된다. 시스템제어보드는 획득된 레이저 영상 데이터 및, 스캐너 위치정보, GPS/INS 위치,

자세 데이터를 주기적으로 수신하여 별도의 저장 모듈에 저장한다. 데이터의 동기화를 위해 GPS로부터 수신되는 PPS (Pulse per Second) 신호를 이용한다. PPS 신호는 로직모듈을 통해 스캐너와 레이저 검출기로 분배되어, 스캐너와 레이저 검출기의 Time Reset을 위해 사용된다. 이를 통해 로직모듈에서 수신되는 레이저 검출기 및 스캐너 데이터는 40 μ s 미만의 시간오차를 갖도록 동기화된다. 시스템제어보드는 수신되는 데이터의 헤더 정보 중 Time Tag을 확인하여, 데이터 조합 후 저장모듈로 실시간 저장한다.

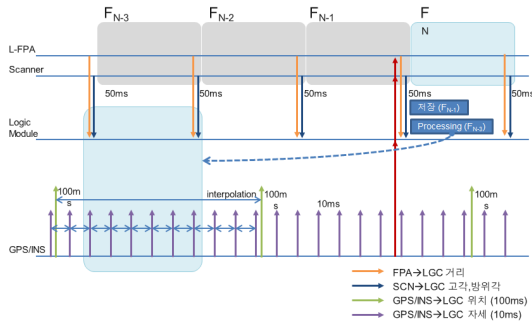


그림 4. 데이터 정렬 및 동기화

또한, 시스템제어보드는 제어PC(제어콘솔)를 통해 사용자로부터 제어명령을 받는다. 제어명령에 따라 정해진 모드 및 상태를 정의하고, Ethernet 및 Serial 통신을 이용하여 내·외부 모듈제어를 수행한다.

2. 3차원 영상 생성

로직모듈은 영상처리보드의 CPU와 그래픽보드의 GPU를 동시에 사용하여, Heterogeneous 컴퓨팅을 통해 3차원 영상 생성 기능을 수행한다. 일반적으로 CPU는 순차적으로 수행되는 작업에 최적화되어 설계되어 있어, 대용량의 영상데이터를 처리하기 위해서는 동일한 작업을 순차적으로 반복 수행할 수밖에 없다. CPU도 멀티코어 아키텍처를 채택하여 이러한 한계를 보완하고 있지만, 하나의 CPU에 넣을 수 있는 코어의 수는 제한적이다. GPU는 그래픽 처리를 위한 산술연산 전용으로 설계되었기 때문에 불필요한 부분을 제거하고 수십 또는 수백 개의 코어를 하나의 GPU에 넣음으로써 동일한 작업을 동시에 수행할 수 있도록 한다. 로직모듈은 256개 픽셀의 거리정보와, 스캐너의 위치 데이터, GPS/INS 정보를 이용하여 각각의 픽셀에 대해 반복적인 알고리즘 연산을 수행한다. 이러한 알고리즘 처리를 위해 96개의 Core를 갖는 NVIDIA GT240을 채택하여 산술연산을 수행하였다.

로직모듈의 3차원 영상 생성 알고리즘은 데이터 정렬 모듈, 중복 데이터의 제거 모듈, 3차원 영상

생성모듈의 3단계 구조를 갖는다. 각 단계의 알고리즘은 특성에 따라 CPU와 GPU에 의해 순차적 또는 병렬연산처리 한다. 각 픽셀에 대한 반복적인 산술연산이 필요한 부분은 중복 데이터 제거 단계의 스캐너 위치 데이터 확장과 3차원 공간 인덱스 계산 그리고 3차원 영상생성 단계로 GPU에 의해 병렬연산 처리된다. [2]

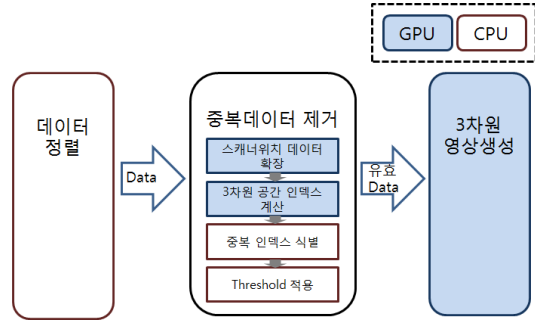


그림 5. 3차원 영상생성 알고리즘 처리

검출기 데이터와 함께 획득된 스캐너 데이터는 16x16 검출기 평면의 중앙 위치만을 제공한다. 따라서 GPU는 이러한 검출기 평면 중앙의 스캐너 위치 정보를 각각의 256개 픽셀로 확장하기 위한 연산을 수행한다. IFOV(Instantaneous FOV)는 픽셀의 순간시계를 나타낸다. [2]

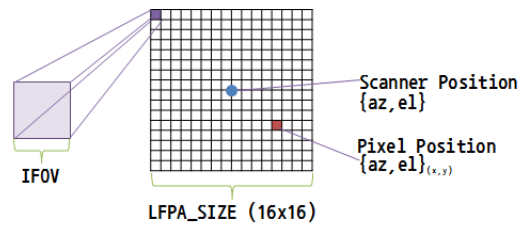


그림 6. 스캐너 위치 정보의 확장

획득한 검출기 데이터는 레이저 검출기의 암전류 (Dark Current) 및 태양광 효과(Solar effect) 특성으로 인한 노이즈를 포함하고 있다. 또한, 그림1과 같이 스캐너의 패턴중복에 의한 중복 데이터를 포함된다.

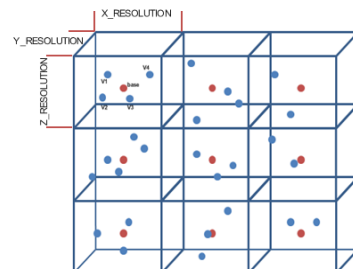


그림 7. 공간 인덱스 개념도

노이즈 및 중복 데이터를 제거하기 위하여, 로직 모듈은 3차원 공간상에 정해진 공간해상도를 갖는 격자를 만든다. GPU는 각 픽셀별로 연산을 통해 공간 인덱스 값을 구하고, 동일한 인덱스 값을 갖는 픽셀들로 정렬한다. 공간 인덱스의 연산 결과로 그림7과 같이 동일한 격자 내에 여러 데이터가 중복되는 것을 알 수 있다. [2]

정렬된 3차원 공간 인덱스 정보에 CPU는 정해진 격자 내부 픽셀 수에 대한 Threshold 값을 적용하여, 중복 성분과 노이즈 성분을 제거하고 최종 유효 픽셀 데이터를 얻는다. 유효 픽셀은 다시 GPU에 의해 방위각, 고각정보와 거리 값을 이용하여 직각좌표계로 변환된다. 직각 좌표계로 변환된 데이터는 최종 자세 보정을 위해 GPS/INS 위치 및 자세 정보를 이용한 회전변환을 수행한다. [2]

3. 영상 전시 및 GPU 병렬 신호처리 성능

최종 변환된 3차원 영상은 Ethernet을 통해 제어 콘솔로 전송된다. 로직모듈의 신호처리 주기는 약 20Hz로 운용자는 제어콘솔을 통해 로직모듈과 통신 연동하며 영상을 제공받는다. 제어콘솔은 20Hz로 갱신되는 3차원 데이터를 누적 전시하여 그림 8과 같은 실시간 영상을 전시한다.

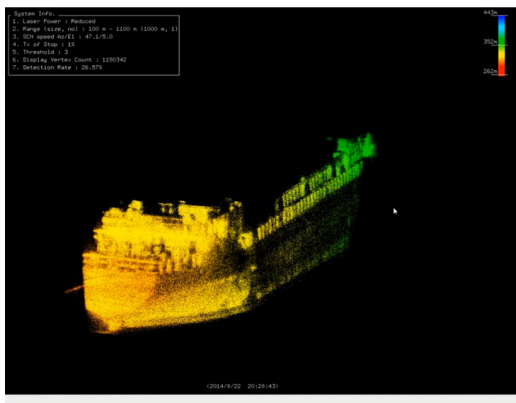


그림 8. 3차원 LADAR Point-Cloud 영상

LADAR 신호처리에서 CPU 단독 신호 처리구조와 CPU-GPU를 활용한 Heterogeneous 컴퓨팅 구조의 알고리즘 수행시간을 분석해보면, 스캐너 위치 데이터 확장시 경우, 알고리즘 연산 수행시간을 기준으로 약 6배의 성능향상을 얻을 수 있다.

표 1. 스캐너 위치 확장 수행시간 (단위 ms)

Task 수행	1회	100회
CPU	37	3,569
CPU + GPU	5	580

이러한 GPU를 활용한 컴퓨팅 방법은 독립적으로 반복되는 산술 연산에 대하여 CPU 단독 수행 대

비 뚜렷한 성능 개선을 보인다. GPU는 이론적으로 동일한 알고리즘에 대해 처리 가능한 Core의 수에 비례해서 성능향상을 얻는다. GPU의 발전 추세와 효율성을 고려하면, 병렬 컴퓨팅 능력의 획기적인 증가는 앞으로 임베디드 분야의 변화를 이끌 것으로 예상된다.

V. 결 론

지금까지 LADAR 시스템을 제어하고, GPU 적용을 통해 실시간 3차원 영상처리를 구현한 로직모듈 설계에 대해 알아보았다. 임베디드 분야에서 고해상도 센서의 등장으로 로직모듈과 같은 CPU-GPU Heterogeneous 컴퓨팅에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 개발자 입장에서도 CUDA나 OPEN CL의 등장으로 Heterogeneous 컴퓨팅에 대한 접근이 이전에 비해 활발하게 진행되고 있다.

하지만, 단순히 자원 제약적인 임베디드 환경에서 병렬신호처리 구조 설계와 병렬신호처리 프로세서로 프로그래밍을 한다고 해서 무조건 연산 능력의 큰 향상을 이룰 수 있는 것은 아니다. 주어진 자원을 올바르게 이해하고 주어진 자원의 제약에 따라 그 성능의 차이는 크게 다를 수도 있으며, 프로그래머의 능력에 따른 차이도 클 것이기 때문이다. 이는 프로그래머가 프로세서 자원의 제약을 올바르게 이해하고 있어야 하며, 알고리즘 또한 병렬 프로그래밍에 적합하도록 설계되어야 한다. 그러한 정당한 노력들이 있다면, 로직모듈과 같은 소형 임베디드 시스템에서도 강력한 성능을 구현할 수 있음은 분명하다고 할 수 있다.

참고문헌

- [1] Jong Pil Ra, Jin Shin Ko, Min Sik Cho, Jang Jae Lee, and Eung Chul Kang, "3D Imaging Laser Radar(LADAR) System for Mapping using a High Repetition Rate Fiber Laser," Proc. of 19th Conf. on COOC, pp. 316-317, May 2012.
- [2] 조용일, 하중립, 양지현, 김제협 "실시간 3차원 레이저 레이더 영상 생성을 위한 CUDA 기반 병렬처리 소프트웨어 설계", 韓國 컴퓨터情報學會, 2012