Multi-Giga bps 케이블 통신 서비스를 위한 고속 LDPC 복호기 구현

정준영, 최동준, 허남호
한국전자통신연구원
jungjy@etri.re.kr, djchoi@etri.re.kr, namho@etri.re.kr

Implementation of High Speed LDPC Decode for Multi-Giga bps Cable Communication Service

Joon-Young Jung, Dong-Joon Choi, Namho Hur
Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

케이블 방송망에서 멀티-Gbps(Giga bit per second) 초고속 인터넷 서비스 제공을 위해 최근 북미에서 DOCSIS 3.1(Data over Cable Service Interface Specifications Version 3.1) 표준을 발표하였다. DOCSIS 3.1 은 최대 10Gbps 하향 데이터 전송과 최대 2Gbps 의 상향 데이터 전송을 목표로 한다. DOCSIS 3.1 이 이전 DOCSIS 표준들과 다른 점은 전송 효율을 높이기 위해 물리계층 전송 방식에 큰 변화를 주었다는 점이다. 기존 6MHz 대역폭의 단일 반송파 전송 방식에서 최대 192MHz 광역 채널의 다중 반송파 전송 방식으로 변경하였다. 또한 채널 오류정정 방식으로 BCH(Bose, Chaudhuri, and Hocquenghem)와 LDPC(Low Density Parity Check) 연접부호를 적용하여, 이로 인한 SNR 성능 이득 통해 4096-QAM 의 고차 변조를 지원한다. 본 논문에서는 최대 192MHz 의 광역 채널로 전송되는 약 2Gbps 의 전송 데이터에 대한 채널 오류 정정을 위해 고속의 LDPC 복호기 구현 방법을 제시한다.

1. 서론

케이블 방송망은 도입초기 단순히 지상파 방송의 난시청 해소를 위한 수단이었으나 프로그램 공급업자와 종합 유선 방송국의 등장으로 독립적인 방송 매체로 발전하였으며, 북미 주도하에 1990 년대 중반 통신법이 개정된 이후 방송/통신 시장의 개방에 대비하기 위해 케이블방송 사업자들은 케이블 방송망에서 양방향 고속 데이터 서비스를 제공할 수 있는 방안으로 케이블 모뎀 (Cable Modem: CM)을 개발하여 방송과 통신을 동시에 수용하는 통합망으로 발전시켜왔다.

DOCSIS 규격은 크게 MAC(Media Access Control) 계층과 PHY(Physical) 계층으로 나눌 수 있으며, 기존의 DOCSIS 규격들은 후방 호환성 유지를 위해 주로 MAC 계층에서 변경이 이루어져 왔으나 DOCSIS 3.1 규격은 전송 효율에 중점을 두고 PHY 계층에서 큰 변화를 주었다는 것이 특징이다. 특히 고속 데이터 서비스 제공을 위해 최대 192MHz 의 광역 채널을 사용하며, 이러한 광역 채널을 여러 개 결합하여 최대 10Gbps 의 속도를 전송하게 된다. 하나의 192MHz 광역 채널 내에 전송되는 데이터는 약 2Gbps 정도이다.

본 논문에서는 192MHz 의 광역 채널로 전송되는 약 2Gbps 의 전송 데이터에 대한 채널 오류 정정을 위해 고속 동작이 가능한 LDPC 복호기 구현 방법을 제시한다.

2. DOCSIS 3.1 채널 오류정정 부호

기존 DOCSIS 표준의 물리계층 전송 규격인 ITU-T (International Telecommunications Union - Telecommunication) J.83 Annex. B 에서는 6MHz 대역 기반의 64 또는 256-QAM(Quadrature Amplitude Modulation)의 단일 반송파 변조 방식과 RS(Reed Solomon)와 TCM (Trellis Coded Modulation) 연접 부호를 채널 오류정정 방식으로 사용하였다. 이와 달리 DOCSIS 3.1 표준에서는 최대 192MHz 광역 채널을 기반으로 주파수 사용 효율을 높이기 위해 4096QAM 이상의 고차 변조 포맷과 직교 주파수 분할 다중화 (OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 변조 방식을 도입하였으며, 고차 변조 포맷 지원을 위해 채널 오류정정 부호 또한 잡음에 더 강인인 BCH 와 LDPC 연접부호를 사용한다.

DOCSIS 3.1 에 적용된 채널 오류정정 부호는 이미 유럽의 차세대 케이블 방송 전송 규격으로 알려진 DVB-C2(Digital Video Broadcasting - Cable: Version 2)에 정의된 채널 오류정정 부호들 중 하나이다. DVB-C2 에서는 부호어 길이가 64,800 bits 인 Normal 코드와 16,200 bits 의 Short 코드를 정의하고 있으며, 각각의 코드에 대해 5 개의 부호율을 규정하여 총 10 개의 부호를 정의하고 있다. DCOSIS 3.1 에서는 코드워드 16,200 bits 에 부호율 8/9 만을 정의하고 있다.

3. 고속 LDPC 복호기 구현

DOCSIS 3.1 에 적용된 LDPC 부호의 패리티 행렬은 360X360 크기의 서브 행렬 단위로 QC(Quasi Cyclic)한 구조를 가져 복호기 구현이 비교적 복잡하지 않다. 또한 복호 처리 병렬화를 통한 속도 개선이 가능하다. 하지만 병렬화가 높아짐에 따라 구현 복잡도가 증가하여 실제 적용이 어렵게 된다.

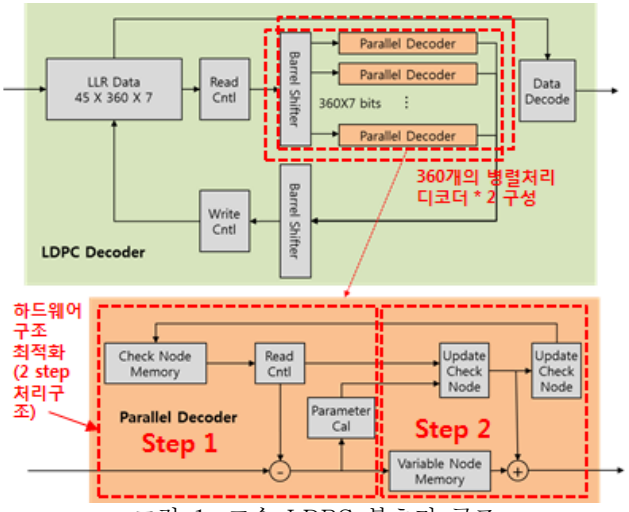

그림 1. 고속 LDPC 복호기 구조

그림 1 은 본 논문에서 제시하는 Full-Parallel LDPC 디코더 구조이다. 360 개의 병렬 디코더를 적용하여 한번에 360 비트의 서브 블록 단위로 처리가 가능하며, 이러한 디코더를 2 개 병렬로 구성하여 추가적으로 속도 개선이 가능하도록 구현하였다. 즉, 720 개의 병렬 디코더가 포함되는 구조이다. 또한 각각의 병렬 디코더는 구조 최적화를 통해 2steps(2 clocks) 동작으로 체크 노드와 변수 노드가 업데이트 되도록 구현되었다.

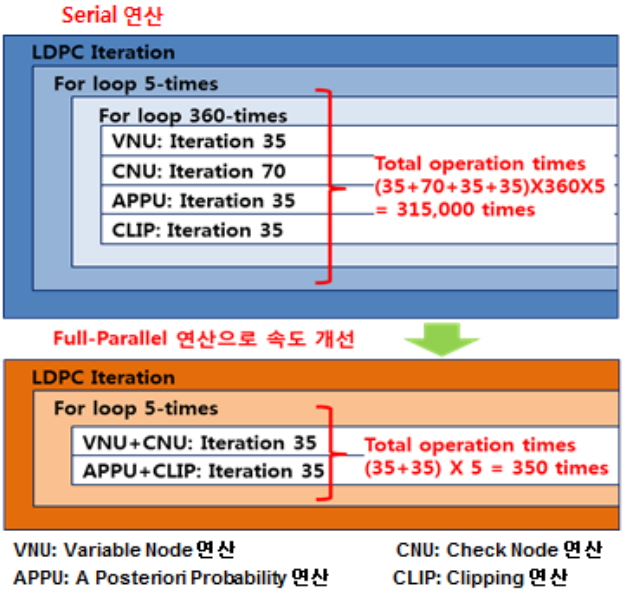

그림 2. 병렬화 및 연산 최적화에 따른 속도 개선

병렬화와 연산 구조 최적화를 통해 일반적인 순차처리 방식에 비해 약 870 배 처리 속도가 개선된 것이다. 그림 2 는 LDPC 복호기에서 1 회 반복 복호 시 병렬화와 연산 처리 구조 최적화에 따른 속도 개선을 보여준다.

그림 3 은 FPGA 를 사용하여 구현한 채널 부호 모듈과 채널 복호 모듈을 실시간으로 검증하는 것을 보여준다. 현재 구현된 채널 부복호 모듈은 100MHz 동작 클럭을 사용하였으며, 최대 1Gbps 정도의 처리 속도를 보여준다.

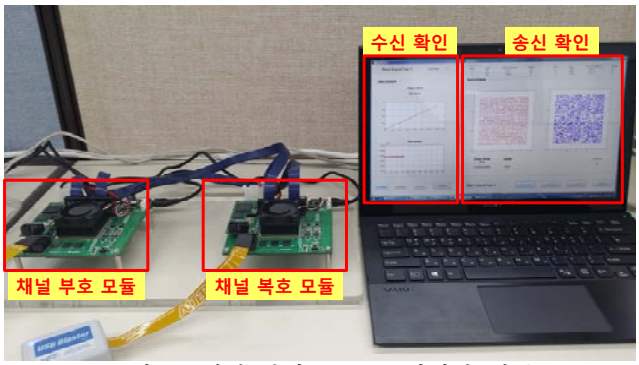

그림 3. 채널 부복호 모듈 실시간 검증

4. 결론

본 논문에서 제시한 LDPC 디코더는 Full-Parallel 한 구조를 적용하여 최대로 처리 속도를 높일 수 있었다. 구현상의 가장 큰 문제점은 병렬화로 인해 한번에 약 2,500 비트가 동시에 처리되는 프로세싱 타이밍 부분 있었다. 또한 병렬화로 인한 구현 복잡도로 인해 FPGA 내 가용한 로직과 메모리가 부족한 문제가 있다. 이러한 문제로 현재는 동작 클럭을 100MHz 까지만 사용하고 1Gbps 정도의 처리 속도로 구현되었다.

앞으로 구현 최적화를 통해 동작 클럭을 150MHz 이상 높이고 하나의 디코더 블록을 병렬로 더 추가하여 최대 2Gbps 의 처리속도가 가능하도록 개선할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발 사업의 일환으로 수행하였음. [B0101-15-1362, FTN 기반 유무선 방송시스템 고도화 기술 개발]

참고문헌

[1] CableLabs CM-SP-PHYv3.1-I02-140320, “ Data-Over-Cable Service Interface Specifications 3.1 – Physical Layer Specification,” March 20, 2014.

[2] DVB A138, "Frame structure channel coding and modulation for a second generation digital transmission system for cable systems (DVB-C2)," March 2010