

방송프로그램 음량 측정 기법의 고속화 구현

김제우, 조충상, 이영한
전자부품연구원 지능형영상처리연구센터
{jwkim, ideafisher, yhlee}@keti.re.kr

Optimized Implementation of Audio Loudness Measurement Method for Broadcasting Contents

Je Woo Kim, Choongsang Cho, Young Han Lee
Intelligent Image Processing Research Center, Korea Electronics Technology Institute

요 약

디지털 방송이 대중화면서 방송 프로그램의 음량은 프로그램의 효과, 방송사간의 경쟁 등으로 인해 점점 더 커지고, 채널 간 및 프로그램 간의 음량 불균형이 심해지고 있다. 이를 해결하기 위해 ITU-R 에서는 음량 측정 방법 및 기준 음량에 대한 연구하여, 그 결과로 BS.1770 표준을 권고하였다. 이 국제 기준을 바탕으로 미국, EU, 일본 등 주요 선진국 뿐만 아니라 우리나라에서는 자국 내 기준을 제정하고, 디지털 방송 프로그램의 음량에 대한 규제를 시행하고 있다. 본 논문에서는 우리나라에서 음량 측정 방법으로 적용한 ITU-R BS.1770-3 방송 프로그램의 음량 측정 기법에 대해서 기술하고, 음량 측정 기법의 고속화 구현을 위한 방법을 제안한다. 제안된 방법은 BS.1770-3 의 음량 측정 기법에 적용된 필터와 True Peak 측정을 위한 필터의 병렬 고속화 방법으로 일반적인 필터 구현에 비해 4 배의 고속화를 달성하였으며, 제안된 방법을 EBU R128 및 Tech 3341 의 컨퍼런스 스트림으로 실험하여 표준 규격을 만족하였다.

1. 서론

방송의 디지털 전환 이후, TV 방송 시청자들은 채널 간 또는 프로그램 간의 전환 시에 오디오 음량의 레벨 변화로 인해 많은 불편을 겪고 있다. 이와 같은 방송 음량의 불균형에 따른 시청자의 불편은 방송이 디지털로 전화되면서 오디오 다이내믹 레인지가 확대된 반면에 디지털 방송 음량에 대한 기준이 제시되지 않은 상태에서 방송을 하고 있기 때문이다[1].

이를 해결하기 위해 2000 년대 초반부터 ITU-R 중심으로 음량 측정 방법 및 기준 음량에 대한 연구를 진행하여, 방송 프로그램에서 주관적으로 인지하게 되는 음량을 객관적으로 표시할 수 있는 방송 음량 측정 방법인 BS.1770-3[2]과 국제간 교환되는 디지털 방송 프로그램의 음량 레벨에 대한 지침인 BS.1864[3] 권고 표준을 제정하여 발표하였다[4].

이러한 국제 권고 기준을 바탕으로 미국, 캐나다, 일본, EU 등 주요 선진국에서는 법률과 표준 등을 제정하여 자국 내 기준을 제정하고, 디지털 방송 프로그램의 음량에 대한 규제를 시행하고 있으며, 국내에서도 2014 년 5 월 방송법 개정, 2015 년 11 월 관련 고시 제정 등을 통해서 방송 프로그램의 음량을 ITU 권고 기준에 맞춰 음량 규제가 시행되고 있다.

방송 음량의 규제에 대응하기 위해서는 방송 프로그램을 기준 음량인 -24dB LKFS 에 맞게 프로그램을 제작하여야 한다. 이를 위해서는 방송 음량을 측정하기 위한 장비가 필요하며, 이를 ‘라우드니스 메타(Loudness Meter)’라고 한다. 라우드니스 메타는 ITU-R BS.1770-3 권고 표준의 방송

음량 측정 알고리즘을 구현한 장비로서, 방송 프로그램 편집/송출시의 음량 모니터링, 마이크에서의 음량 측정 등 다양한 목적으로 사용된다.

본 논문은 라우드니스 메타에 적용되고 있는 BS.1770-3 권고 표준의 방송 음량 측정 알고리즘을 기반으로, 음량 측정을 위한 필터인 Pre-filter 와 RLB filter 의 고속화 및 True Peak 측정을 위한 필터의 고속화 구현을 위한 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 BS.1770-3 의 음량 측정 알고리즘과 True Peak 측정 알고리즘에 대해서 기술하고, 3 절에서는 본 논문에서 제안하는 고속화 기법과 구현된 엔진의 성능 검증 결과를 설명하고, 마지막으로 4 절에서는 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

2. 방송 음량 측정 알고리즘

사람의 청각은 물리적으로 동일한 세기를 가진 소리라 할지라도 음의 주파수에 따라 다른 느낌을 가지는데, 이렇게 사람이 실제로 느끼는 소리의 감각적인 크기를 음량이라고 한다[4]. 디지털 방송 프로그램의 음량 측정은 사람의 청각 특성을 고려하여 사람이 실제로 느끼는 소리의 감각적 크기를 [2]의 음량(loudness)이라는 개념으로 수치화하여 LKFS (Loudness, K-weighted relative to Full Scale) 측정 단위로 측정하는 것을 말한다.

그림 1 은 [2]의 방송 음량 측정 알고리즘 블록도를 보인

것으로, 예로서 5.1 채널 방송 프로그램 음량 측정 방법을 보인 것이다. 5.1 채널의 경우에 저주파효과(LFE)는 음량 측정에서 제외된다. 그림 1 에 보이는 것과 같이, 방송 음량 측정은 Pre-filter 와 RLB filter 로 구성된 K-filter, 채널 가중치 모듈, 그리고 Gate 모듈로 구성된다.

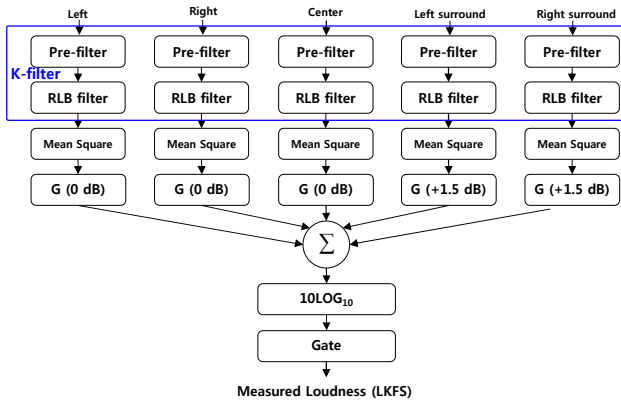


그림 1. ITU-R BS.1770-3 의 음량 측정 알고리즘 블록도

[2]의 음량 측정 알고리즘의 핵심은 K-filter 라고 불리는 두 개의 필터인 Pre-filter 와 RLB filter 이다. Pre-filter 는 사람 머리에서의 주파수에 따른 음향적 영향을 고려한 것으로, 1kHz 이하 영역을 제거하고 1kHz 이상의 신호만 통과시키는 2 차 IIR 필터이다. RLB(Revised Low frequency B) filter 는 사람의 청각 특성에 기반하여 ISO 226:2003 의 동일 오디오 사운드 크기 윤곽선을 역으로 적용한 것으로, Pre-filter 와 마찬가지로 2 차 IIR 필터이다. 그림 2 는 2 차 IIR 필터 블록도와 K-filter 의 주파수 응답특성을 보인 것이다. K-filter 는 저주파 대역에서는 감쇄, 고주파 대역에서는 증폭 효과를 주어 사람의 감각적 특성을 반영하였으며, 이 특성으로 인하여 [2]의 음량 측정 단위는 LKFS 를 사용한다. LKFS 단위는 데시벨 (dB, decibel) 단위와 동일하며, 1LKFS 증가는 신호의 1dB 상승과 동일한 의미를 갖는다.

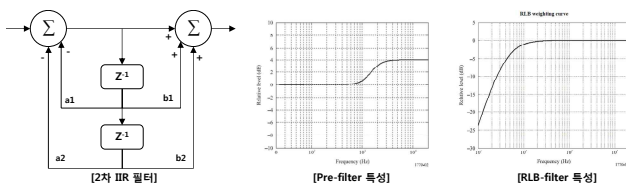


그림 2. 2 차 IIR 필터 블록도와 Pre 필터, RLB 필터 특성

현재 [2]의 음량 측정은 48kHz, 16 또는 24 비트의 PCM 데이터를 입력 신호로 정하고 있고, 음량 측정을 위한 신호의 최소 단위는 400ms 로서, 이 단위를 유럽방송연합 EBU 에서 오디오 음량의 측정 및 정규화를 위한 권고안 R128 에서는 M-LKFS 로 정의하고 있다. M-LKFS 의 측정은 400ms 의 오디오 신호를 [2]의 음량 측정 알고리즘으로 측정을 하고, 다음 M-LKFS 는 이전 신호의 4/3 이상 오버랩하고, 새로운 신호로 나머지를 채워서 측정을 한다. 즉, 각 M-LKFS 는 100ms 단위로 계산되어 결과 값이 출력된다. 일반적으로 방송 프로그램의 음량 규제 단위는 R128 의 I-LKFS 로서, 한 프로그램의 평균 음량을 의미한다.

Gate 모듈은 방송 프로그램에 포함된 긴 묵음 구간을 음량 측정에서 제외하는 모듈로서, gating 을 적용하는 단위는 M-LKFS 단위이고, 두 가지의 gating 방법이 적용되고 있다. 하나는 절대적 gating 으로 -70LKFS 이하인 M-LKFS 값을 제외하는 것이고, 다른 하나는 상대적 gating 으로 현재까지 계산된 I-LKFS 값에서 상대적으로 -10 LKFS 이하인 M-LKFS 값들을 제외하는 것이다.

[2] 권고 표준에는 방송 음량 측정 알고리즘과 함께 디지털 신호에 대한 True Peak 를 측정하는 알고리즘이 포함되어 있다. True Peak 는 샘플링된 디지털 오디오 데이터의 실제 피크치를 의미하고, True Peak 측정은 EU 및 국내의 방송 프로그램 음량 규제에서 참조하고 있는 EBU R128 권고안에 포함되어 있어, 라우드니스 메타 장치는 True Peak 측정 모듈을 지원해야 한다. 그림 3 은 True Peak 를 측정하는 방법을 보인 것으로, 먼저 입력에 대한 2bits attenuation 을 수행하고, 높은 정밀도에서 오디오 true peak 를 측정하기 위하여 4 배 over-sampling 을 수행하며, ante-aliasing 을 위한 40tap FIR 필터링을 수행한다. 필터링 결과 중 최대값은 loudness 로 변환되어 true peak 값이 연산된다.

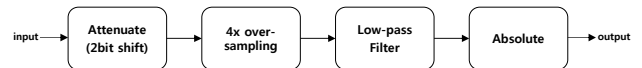


그림 3. ITU-R BS.1770-3 의 True Peak 측정 알고리즘 블록도

3. 방송 음량 측정 기법의 고속화 및 연진 구현

본 논문에서 제안된 방송 음량 측정 기법의 고속화는 2 절의 알고리즘들에서 많은 계산량이 요구되는 모듈인 필터들의 고속화 방법으로, 방송 음량 측정 알고리즘의 Pre-filter 와 RLB filter 의 고속화와 True Peak 측정의 low-pass filter 의 고속화를 제안한다.

방송 음량 측정은 EBU R128 에서 규정한 최소 오디오 음량 측정 단위인 gate 의 음량은 2 절에서 설명한 바와 같이 M-LKFS 로 그림 4 와 같이 400ms 이며, 75% overlap shift 구조를 갖는다.

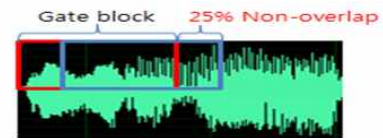


그림 4. EBU R128 규격의 M-LKFS(Gate) 개념 구조도

제안된 Pre-filter 와 RLB filter 의 고속화는 위에 설명한 overlap shift 를 이용한 것이다. 즉, 일반적인 필터링 과정은 입력 후 결과가 나오면, 다시 입력을 넣고 결과를 출력하는 형식이지만, 제안된 방법은 입력 신호가 이전 결과물에서도 사용된 입력 신호들이 존재하므로, 이를 재활용하는 방법을 고속화하였다.

그림 5 는 고속 방송 음량 측정 모듈을 개발하기 위해서 제안된 고속 필터의 구조로서, 제안된 고속 필터는 기존의 필터 구조를 기반으로 새롭게 입력되는 데이터에 대한

처리와 이전 M-LKFS 에서 필터링되었던 데이터에 대한 처리 부분으로 나누어진다. 매번 M-LKFS 에서 100ms 의 데이터가 새롭게 입력되고, 새롭게 입력된 데이터에 대해서는 그림 5 와 같이 2 개의 필터를 연산하게 된다. 이전 M-LKFS 에서 연산된 데이터 중에서 100ms ~ 400ms 의 데이터는 shift 되어서 현재 M-LKFS 의 0ms ~ 300ms 부분에 대한 결과 부분으로 사용되고, 새롭게 입력되어 필터링된 데이터는 300ms ~ 400ms 부분에 저장되는 구조를 갖는다. 이러한 구조는 매번 M-LKFS 당 필터링하는 데이터량을 1/4 로 감소시켰으므로, 연산적인 복잡도도 1/4 의 비율로 감소하게 된다.

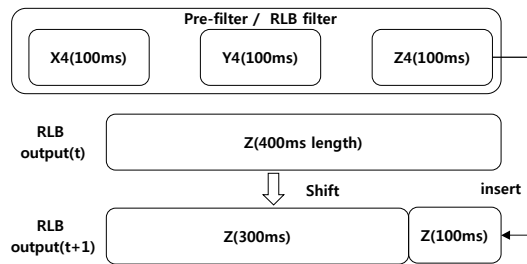


그림 5. 고속 Pre-filter 와 RLB filter 구조도

[2]의 오디오 True-Peak 측정 방법은 정밀도를 높이기 위해서 4 배의 over-sampling 기법을 사용한다. 이러한 over-sampling 된 결과는 Anti-aliasing 을 위해서 40 tabs FIR 필터를 통과 시키게 된다. 이때 over-sampling 에 의해서 sampling 수가 4 배로 증가하였으므로, 필터링에서 처리해야 하는 데이터량 또한 4 배로 증가하며, 복잡도도 4 배로 증가한다. 제안된 고속화 방법은 구조적으로 복잡도가 증가한 True-Peak 필터링 부분의 복잡도를 감소시키기 위하여 그림 6 과 같은 4-phase 병렬 필터 구조를 제안한다. 제안된 필터에서는 over-sampling 에서 추가되는 중간값을 고려하여 10 tabs 으로 구성된 4-phase 필터를 구성한다. 그래서 한 개의 필터 출력을 위해 연산되는 필터 계수가 10 개로 감소하여 복잡도가 기존에 비해 1/4 로 감소하였다.

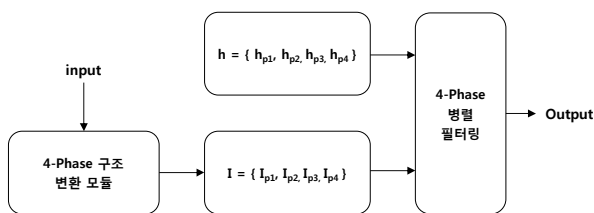


그림 6. 고속 True Peak 의 필터 처리 구조도

제안된 고속화 방법으로 기존에 비해 1/4 배의 계산량이 감소되었으며, 개발된 방송 음량 측정 모듈의 성능을 평가하기 위하여 EBU 에서 제공하는 16bits 테스트 데이터를 이용하여 성능을 분석하였다. EBU Tech 3341 에는 EBU R-128 에서 정의한 M-LKFS, S(short-term)-LKFS, I-LKFS 에 대한 성능 기준치를 제시하고 있으며, LRA(loudness range)에 대해서는 EBU Tech 3342 에서 성능 기준치를 제시하고 있다.

표 1 은 EBU Tech 3341 에서 제시된 시험 파일을 이용하여 테스트한 결과를 보여주고 있다. 표 1 에서 보이는

것과 같이 제안된 고속화 기법을 사용하여 개발된 방송 음량 측정 엔진은 EBU 에서 제시한 기준의 허용 오차 이내에 들어움을 알 수 있다.

표 1. EBU Tech 3341 기반 방송 음량 측정 엔진 검증 결과

파일명	Ch.	bit	EBU 기준	개발된 엔진 측정 결과
seq-3341-1-16bit	2	16	M,S,I = -23±0.1 LU	M,S,I = -22.955
seq-3341-2-16bit	2	16	M,S,I = -33±0.1 LU	M,S,I = -32.961
seq-3341-3-16bit	2	16	I = -23±0.1LU	-23.015
seq-3341-5-16bit	2	16	I = -23±0.1LU	-22.951
seq-3341-6-5ch-16bit	5	16	I = -23±0.1LU	-23.018
seq-3341-6-6ch-16bit	5	16	I = -23±0.1LU	-23.018

4. 결론

본 논문은 국내 및 해외에서 방송 프로그램의 음량 측정 방법으로 적용한 ITU-R BS.1770-3 의 음량 측정 기법에 대해서 기술하고, 음량 측정 기법의 고속화 구현을 위한 방법을 기술하였다. 제안된 방법은 BS.1770-3 의 음량 측정 기법에 적용된 필터와 True Peak 측정을 위한 필터의 병렬 고속화 방법으로 일반적인 필터 구현에 비해 4 배의 고속화를 달성하였으며, 고속 필터링을 적용한 엔진을 EBU R128 및 Tech 3341 의 컨퍼런스 스트림으로 실험하여 표준 규격을 만족함을 보였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0126-15-1027(UHD 방송용 통합 콘텐츠 제작서버 기술 개발)]

참고문헌

- [1] 조용성, 최동준, “디지털 방송 음량 레벨 운용 기준”, TTA Journal, 제 151 권, pp. 56~59, 2014년 1월
- [2] ITU-R Rec. BS.1770-3, “Algorithms to measure audio programme loudness and true-peak audio level,” Aug, 2012.
- [3] ITU-R Rec. BS.1864, “Operational practices for loudness in the international exchange of digital television programmes,” Mar, 2010.
- [4] 조용성, 최동준, 허남호, 이상운, “디지털 텔레비전 방송프로그램의 음량 기준,” 한국통신학회 2015년 동계종합학술대회 논문집, pp. 734~735, 2015년 1월