

논문 2007-44SP-1-9

ARM 플랫폼 기반의 MP3 오디오 음질 향상 시스템 구현

(An Implementation of an ARM Platform based MP3 Sound Enhancement System)

오 상 현**, 박 규 식*

(Sang-Hun Oh and Kyu-Sik Park)

요 약

44.1kHz 샘플링 레이트의 표준 CD 음질의 오디오 신호를 인터넷 상에서 전송 및 분배하기 위해서는 네트워크 대역폭과 저장 공간의 제한 점을 고려해야 한다. 이러한 제한은 MP3, AAC, OGG 등과 같은 오디오 신호 압축 코덱을 이용하여 해결할 수 있지만, 이러한 코덱들은 공통적으로 고 주파수(High frequency) 대역의 정보가 손실 된다는 문제가 발생한다. 이러한 고 주파수 손실은 결국 표준 CD음질을 가지는 오디오 신호보다 제한된 저 주파수 대역만을 재생 할 수 있게 된다. 일반적으로 오디오 신호의 고 주파수 성분은 위치정보 와 명료도, 재생 환경 등에 대한 음의 풍부한 정보를 제공한다. 본 연구에서는 MP3 오디오 코덱으로 디코드(decode) 된 오디오 신호에서 손실된 고 주파수 대역의 정보를 효과적으로 추정 및 복원하는 ARM 플랫폼 기반의 MP3 오디오 음질향상 시스템을 구축하였다. 제안된 시스템과 기존의 대표적인 알고리즘인 Liu의 HFR 과의 비교 실험을 통해 제안된 알고리즘이 신호 스펙트럼상에서 고주파 신호 추정 및 복원 능력이 우수함을 볼 수 있고, 알고리즘 연산 량도 약 2배 정도 절약할 수 있었다.

Abstract

In order to mitigate the problems in storage space and network bandwidth for the full CD quality audio with 44.1 kHz sampling rate, current existing digital audio is always restricted by sampling rate and bandwidth. This kind of restriction normally can be resolved by using low bit rate audio codec such as MP3, OGG, and AAC. However it suffers a major problem such as a loss of high frequency fidelity. This high frequency loss will reproduce only the band-limited low-frequency part of audio in the standard CD-quality audio. In general, the high frequency contents of audio have lots of information such as localization and ambient information, and bright nature of audio. The purpose of this paper is to implement on ARM platform system that can effectively estimate and compensate the missing high frequency contents of MP3 audio. From the experimental results with spectrum analysis and listening test, we confirm the superiority of the proposed algorithms for MP3 audio quality enhancement.

Keywords : MP3 audio, 음질향상, Spectral enhancement, ARM 플랫폼.

I. 서 론

오늘날 인터넷 패러다임은 거대한 음악 산업에 획기

적인 구조 변화를 가져오고 있으며 인터넷 사용자들은 보다 쉬운 방법과 적은 비용으로 오디오를 다운로드 받고 공유할 수 있게 되었다. 이와 더불어 최근에는 Cellular phone을 포함한 다양한 모바일 기기에서도 음악을 감상 할 수 있는 MP3 오디오 코덱이 필수적으로 포함되어 상품화되고 있다. 그러나 표준 CD음질의 오디오 신호를 인터넷 상에서 분배하거나 혹은 모바일 기기에서 처리하기 위해서는 44.1kHz 샘플링 비율의 큰 용량을 가지는 디지털 데이터를 처리할 수 있어야 한다. 이러한 문제는 일반적으로 네트워크 대역폭과 저장 공간의 축소를 위해 오디오 신호의 샘플링 비율을 낮추

* 학생회원, 단국대학교 정보컴퓨터과학과
(Dept. of Information and Computer Science, Dankook University)

** 정회원, 단국대학교 정보컴퓨터학부
(Division of Information and Computer Science, Dankook University)

※ 본 연구는 산학협동재단의 연구비지원사업의 지원으로 수행되었음

접수일자: 2006년4월13일, 수정완료일: 2007년1월3일

거나 MP3, OGG, AAC와 같은 오디오 데이터 압축 기법을 이용하여 해결할 수 있지만, 공통적으로 고 주파수(High frequency) 대역의 정보가 손실된다는 문제가 발생한다. 예를 들어 MP3(MPEG1 Layer-3)로 압축된 오디오 신호는 자체 프로토콜에 의하여 16Khz까지의 대역제한 된 오디오 신호를 재생할 수 있으며 이는 저 샘플링 비율(low sampling rate)의 오디오 신호로 해석될 수 있다. 저 샘플링 비율의 오디오 신호는 표준 CD 음질을 가지는 오디오 신호보다 제한된 저 주파수 대역만을 재생할 수 있게 된다. 오디오 신호의 저 주파수 성분은 높은 에너지를 형성하고 있으므로 고 주파수 성분보다 중요하게 처리된다. 하지만 고 주파수 성분은 오디오 신호에 포함된 위치정보와 명료도, 재생 환경 등의 다양한 정보를 제공한다. 만약 MP3로 디코드된 오디오 신호에서 손실된 고 주파수 대역의 정보를 효과적으로 추정 및 복원할 수 있다면 표준 CD음질의 오디오 신호에 존재하는 풍부한 공간 정보를 제공할 수 있을 것이다.

기존의 특정 압축코덱에 의해 고주파 성분이 제거된 오디오신호에 대한 고주파 대역 추정 및 복원 연구는 엔코더(encoder) 정보를 이용하는지 여부에 따라 크게 Non-blind 와 Blind 방법 2가지로 구분 될 수 있다. Non-blind 방법은 엔코더를 이용하여 압축 전 원 오디오 신호의 고주파 정보를 추출, 저장, 전송하고 전송된 정보를 이용하여 디코더(decoder)에서 고주파 영역의 오디오 정보를 복원하는 방법이다. 이러한 방법으로는 독일의 Coding Technology사에서 개발한 SBR (Spectral Band Replication)^[1]과 핀란드 VLSI 사의 PLUS-V^[2]라는 알고리즘이 대표적으로 사용되고 있다. SBR 알고리즘은 2002년 MPEG-4 AAC 오디오 표준으로 채택되었으며 또한 기존 MP3 알고리즘에 탑재되어 MP3Pro^[3]라고 불리우는 오디오 알고리즘으로 개발되기도 하였다. 한편 2001년 제안된 PLUS-V는 엔코더에서 원 오디오 신호의 고주파 대역에 해당하는 하모닉 정보를 추출하여 전송하고, 디코더에서는 이를 이용하여 고주파 대역을 추정하는 방법을 사용하고 있다. 이러한 Non-blind 방식은 공통적으로 인코더를 사용하여 원 오디오의 신호의 고주파 정보를 추출, 전송하여 디코더에서 고주파 신호를 복원함으로써 비교적 정확한 고주파 신호 복원이 가능하나, 고주파 정보 추출을 위한 별도의 인코더와 고주파 정보 전송을 위한 별도의 부가 비트, 그리고 연산 량이 높다는 단점이 있다. 한편 Blind 방식의 고주파 대역 보상 알고리즘으로 별도의

인코더가 없이도 전송된 압축 신호만을 이용하여 고주파 신호 성분을 추정하는 대표적인 방식으로는 HFR (High Frequency Regeneration)^[4] 방식이 있다. 2003년 Liu, et al. 이 제안한 HFR 알고리즘은 압축된 오디오 신호의 저주파 성분을 지수 함수로 모델링하여 고주파 성분을 추정하는 방법이다. 이러한 Blind 방식의 알고리즘은 인코더가 필요 없이 오직 디코드된 MP3 오디오 신호만을 이용하여 고주파를 복원할 수 있다는 점과 연산 량이 Non-blind 방식에 비하여 비교적 낮다는 장점을 가지고는 있다. 하지만 재생 오디오 음질이 Non-blind 방식에 비하여 떨어지고, 실시간 시스템으로 구축하기에는 여전히 높은 연산 량을 가지고 있다.

본 연구에서는 기존 Blind 방식 알고리즘의 문제점인 음질 저하와 높은 연산 량을 개선한 새로운 Blind 방식의 MP3 오디오 음질 향상 알고리즘을 제안하여 모바일 단말기에서 가장 보편적으로 많이 사용되고 있는 ARM 플랫폼에 구현하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 본 연구에서 제안한 MP3 오디오 음질향상 알고리즘에 대해서 설명하였다. III장에서는 II장에서 제안한 MP3 오디오 음질향상 알고리즘을 구현한 ARM 플랫폼을 소개한다. IV장에서는 본 연구의 실험결과를 논하고 마지막으로 V장에서는 결론으로 끝을 맺는다.

II. MP3 오디오 음질 향상 알고리즘

본 장에서는 기존 연구 방법들에서 나타난 문제점들을 고려하여 낮은 연산 량으로 MP3 오디오 음악의 음질을 향상시킬 수 있는 새로운 Blind 방식의 MP3 음질 향상 시스템을 설명한다. 본 연구에서 고려한 MP3 오디오 음질향상 시스템은 오디오의 고 주파수 복원을 위하여 낮은 연산 량의 지수 함수 모델링 기법, 에너지 비율을 이용한 유동 cut-off(dynamic cut-off) 주파수 결정, 에너지 스케일링을 이용한 음색 조절, 그리고 하모닉 보상 알고리즘 등을 적용하였으며 다음과 같은 특징을 갖는다.

첫째, 시스템 복잡도를 낮출 수 있는 Blind 방식을 채택하여 MP3 인코더에서의 부가 정보 추출 없이도 디코더에서 바로 적용 가능하다.

둘째, 고주파 성분 복원 시 음질 왜곡을 방지하기 위해 원 오디오 신호와 유사한 피치와 음색을 보상하고, 저주파 스펙트럼 엔벨롭(envelop)을 추정하여, 복원한 고주파 성분의 에너지 크기를 조절한다.

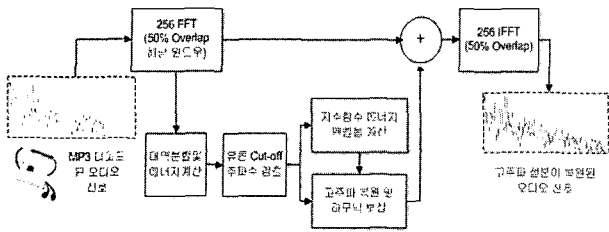


그림 1. 제안된 MP3 오디오 음질 향상 시스템
Fig. 1. The System of proposed MP3 Audio Enhancement.

본 연구에서 제안한 MP3 오디오 음질향상 알고리즘은 기존의 Liu, et al^[4]에 의하여 제안되었던 HFR 알고리즘을 개선 발전시킨 것으로 알고리즘 연산 량을 2~3 배 정도로 감소시킬 수 있어 실시간 기반 모바일 시스템 구축에 유리한 점이 있다. 그림 1은 제안된 MP3 오디오 음질 향상 시스템의 블록 구성도를 나타낸다.

제안된 알고리즘은 MP3 디코드 된 오디오 신호를 FFT연산을 거쳐 32개의 등 간격 대역으로 분할한 후 저 주파수 대역에서 각 대역 별 에너지로부터 지수 함수 엔벨롭(envelop)을 추정하여 원 오디오 신호의 고주파 성분을 추정하여 복원한다. 지수 함수 특성의 엔벨롭 추정은 최소 자승(least square) 접근법을 사용하여 대역 별 에너지 추정으로 연산 량을 최소화 시켰다. 반면에 입력 신호에 포함된 피치 정보는 싸인파 모델링(sinusoidal modeling) 기법^[5]을 이용하여 추정한 후 고주파 복원 신호에 하모닉 정보를 삽입하였다. 다음에는 제안된 알고리즘의 구체적인 절차를 설명하였다.

1. 입력 전처리

먼저 44.1Khz, 128kbps 로 디코드된 MP3 오디오 신호에 대해서, 256 샘플을 하나의 프레임으로 하는 해닝 윈도우(Hanning window)를 취하여 인접한 윈도우 프레임과 50%씩 중복 시켜가면서 FFT 주파수 스펙트럼을 구한다. 이 때의 주파수 분해능은 다음과 같다.

$$FFT \text{ Resolution} = 44,100/256 = 172.3Hz \quad (1)$$

2. 대역 분할 및 에너지 계산

128kbps로 인코드 된 MP3 오디오 신호를 디코드 한 신호는 MP3 자체 알고리즘 인하여 16~22.05kHz의 고주파수 대역이 손실되어 16kHz 전후로 대역 제한된다. 이 신호를 주파수 축에서 689Hz를 1개의 밴드로 하여 32개의 밴드로 분할하여 16kHz로 대역 제한된 신호 성

분이 나타나는 약 23번째 밴드까지의 밴드 별 평균 에너지를 구한다.

3. 대역별 에너지를 이용한 유동 cut-off 주파수 계산

Liu^[4]의 HFR 알고리즘은 입력 신호의 특성에 상관없이 cut-off 주파수를 16Khz로 가정하여 16Khz~17khz까지 1khz의 고주파 신호만을 복원하였다. 그러나 MP3로 압축/복원된 결과 신호는 항상 16Khz cut-off 주파수만을 갖지 않는 경우도 있어, 만약 실제 입력 신호의 cut-off 주파수가 16Khz 이하라면 HFR로 복원된 결과 신호는 스펙트럼 상에 깊은 갭(spectrum gap)을 초래하는 현상이 나타난다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 각 밴드 별 에너지를 구하여 cut-off 주파수를 유동적으로 찾아서 cut-off 주파수 부분에서의 스펙트럼 갭 현상을 효과적으로 제어하였다. 그림 2에 보는 바와 같이 에너지가 큰 대역과 작은 대역의 에너지 차를 조사하여 얻어진 임계 값을 활용해서 cut-off 주파수를 찾아 고주파 복원 지점으로 정하였다.

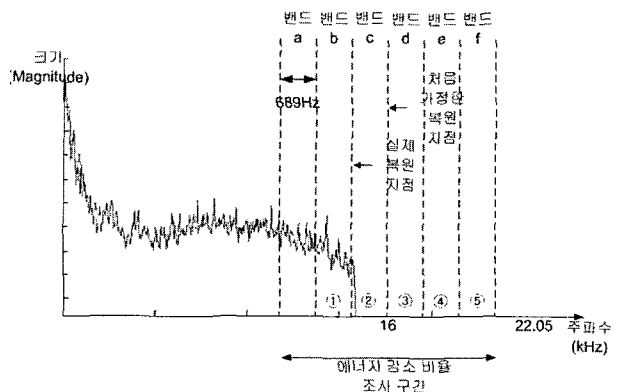


그림 2. 대역별 에너지를 이용한 유동 cut-off 주파수 결정

Fig. 2. Dynamic cut-off frequency finding by Band Energy.

4. 지수 함수 에너지 엔벨롭 계산

각 밴드 별 평균 에너지 엔벨롭(energy envelope)을 검출해보면 지수 함수적으로 감소하는 현상을 발견할 수 있다. 스펙트럼 엔벨롭은 원 오디오 신호의 음색과 관련된 부분으로 음질 왜곡을 방지하여 부드러운 음질 재생을 위해서는 필수적이다. 본 연구에는 그림 2에서 찾은 cut-off 주파수 이후의 밴드 에너지 엔벨롭을 최소 자승(least square) 접근법을 이용하여 추정하였다. 에너지 엔벨롭의 근사 함수를 $y=be^{ax}$ 같이 지수 함수 형태로 가정하고 지수 함수를 선형 함수로 변형한 후

최소 자승 접근법에 의해 상수 a, b 를 다음과 같이 계산할 수 있다^[6].

$$A = \frac{m(\sum_{i=1}^m x_i y_i) - (\sum_{i=1}^m x_i)(\sum_{i=1}^m y_i)}{m(\sum_{i=1}^m x_i^2) - (\sum_{i=1}^m x_i)^2} \quad (2)$$

$$B = \frac{(\sum_{i=1}^m x_i^2)(\sum_{i=1}^m y_i) - (\sum_{i=1}^m x_i y_i)(\sum_{i=1}^m x_i)}{m(\sum_{i=1}^m x_i^2) - (\sum_{i=1}^m x_i)^2} \quad (3)$$

여기서 x_i 와 y_i 는 각 대역 인덱스와 에너지를 나타내며, 지수 함수 계수 a, b 는 $a = A, b = e^B$ 변환을 통해 구할 수 있다.

5. 고주파 복원 및 하모닉 보상

각 전 단계에서 에너지 엔벨롭 함수 $y = be^{ax}$ 를 찾게 되면 cut-off 주파수 밴드부터 고주파 복원을 원하는 밴드(최대 32번째 밴드(20.05KHz))까지의 에너지를 추정하고 밴드의 수만큼 저 주파수 대역의 밴드를 복사하여 고 주파수 대역을 복원한다. 이때 복원되는 밴드의 에너지는 위에서 지수함수를 통해 계산된 에너지의 값을 따르게 된다. 한편 고주파 추정 신호에 하모닉 정보를 더하기 위해서는 MP3 디코드 된 신호로부터 피치(pitch)를 추정해야 한다. 본 연구에서는 싸인과 모델링(sinusoidal modeling)^[5] 기법을 이용하여 입력 신호에서 피치를 추정하였다. 하모닉 보상 후에는 단계 4의 에너지 엔벨롭에서 추정한 고주파 대역에서의 대역 별 스케일 팩터(scale factor)를 위에서 추정 복원된 고주파 신호에 곱해줌으로써 최종적으로 디코드된 MP3에 대한 음질 향상된 신호를 얻게 된다.

III. ARM 플랫폼 기반의 MP3 오디오 음질 향상 시스템

1. 시스템 환경

다음 그림 3은 본 연구에서 구현한 ARM 플랫폼의 구성을 나타낸다. 호스트 PC는 타겟 보드가 동작하도록 프로그램을 작성하여 타겟보드에 제안 알고리즘을 로드하는 역할을 한다. 프로그램이 로드되면 타겟보드를 동작시켜 외부 오디오 기기로부터 MP3 디코드된 PCM 신호를 입력 받고, 이 신호에 대해서 고주파 신

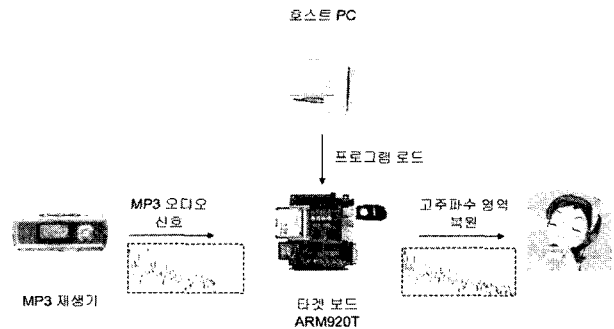


그림 3. ARM 플랫폼 MP3 오디오 음질 향상 시스템의 구성

Fig. 3. Structure of ARM Platform MP3 Audio Enhancement system.

호 성분을 추정 및 복원 하여 청취자에게 들려주는 시스템이다.

실시간 시스템에서의 입력 신호는 Lame MP3 인코더를 사용하여 128Kbps로 인코딩 된 MP3파일을 재생해서 입력 신호로 사용하였다. ARM 플랫폼에서 디코드된 MP3 PCM 데이터를 입력 받은 다음 제안된 음질 향상 알고리즘을 이용하여 음질이 개선된 오디오 신호를 ARM 플랫폼의 오디오 코덱을 통해서 출력한다.

본 논문에서는 삼성의 S3C2410A-20(ARM920T 200Mhz) 프로세서를 내장한 LN2410SBC 플랫폼에 MP3 오디오 음질향상 시스템을 구현하였다. LN2410SBC 플랫폼은 200MHz의 동작속도를 갖는 ARM920T CPU가 내장되어 있다. ARM920T의 경우 메모리 와 라이트백(writeback)이 추가된 파이프라인에 의해 Mhz당 평균 1.1 Dhrystone(정수처리연산) MIPS 능력^[7]을 가진다. 본 플랫폼은 200Mhz 클럭 주파수로 동작을 하기 때문에 약 220 Dhrystone MIPS의 정수 연산능력을 가지며 64Mbyte의 메모리 공간을 보유하고 있다. 오디오 데이터 처리를 위해서 자체적으로 내장된 IIS 프로토콜을 활용하였으며 DMA를 이용하여 데이터 이동에 의한 시스템 성능 저하를 최소화 시켰다.

2. 제안된 MP3 오디오 음질향상 시스템 구현

다음 그림 4는 ARM 플랫폼에 구현한 MP3 오디오 음질 향상 시스템의 순서도를 보여준다. 입력 버퍼로는 256크기의 버퍼를 활용하였으며 입력된 PCM 데이터에 대해서 고주파 성분을 복원한 다음 향상된 오디오 신호를 출력한다. 본 연구에서는 입력된 오디오 신호와 고주파 성분이 복원된 오디오 신호를 동시에 출력하여 비교 분석하였다.

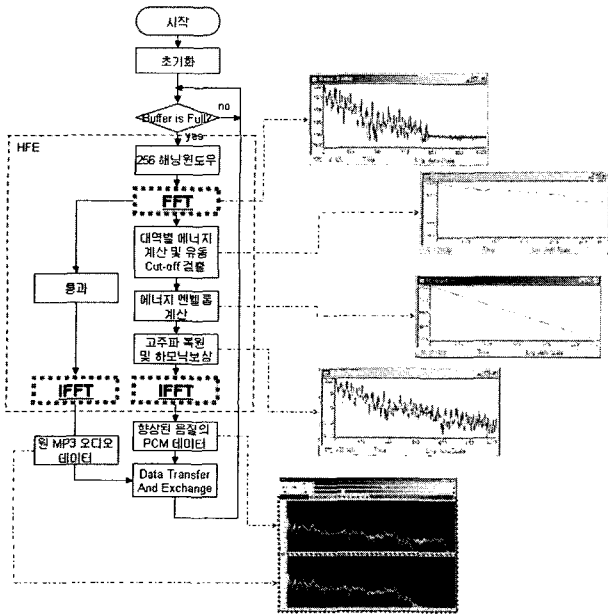


그림 4. ARM 플랫폼에 구현된 MP3 오디오 음질 향상 시스템
 Fig. 4. The MP3 Audio Enhancement system to be implemented ARM Platform.

IV. 실험

본 연구에서는 제안 시스템의 성능 확인을 위하여 ROCK, HipHop, Jazz, Classic 등의 각 장르별 다양한 오디오 신호를 MP3 압축/복원한 후 입력으로 사용하여 실험을 하였다. 모든 장르에서 기존 MP3 디코드 된 신호 보다 개선된 오디오 음질을 확인 할 수 있었으며 그림5에서 보는 바와 같이 MP3 자체 알고리즘으로 인해

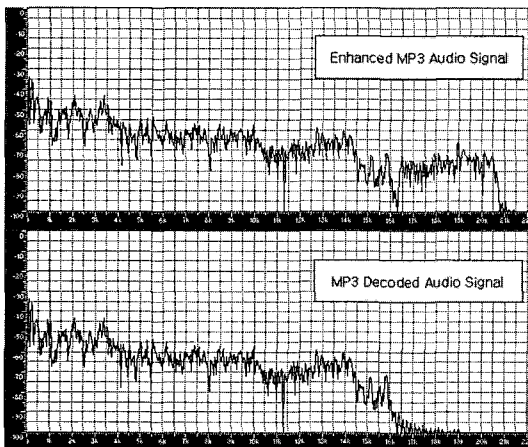


그림 5. MP3 디코드 된 오디오 신호와 고주파성분이 복원된 오디오 신호 스펙트럼 비교
 Fig. 5. Comparing audio spectrums between the MP3 decoded audio and High Frequency reconstructed Audio.

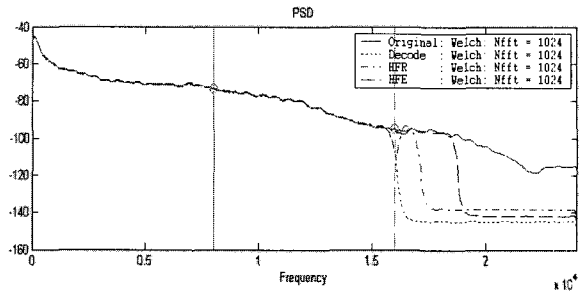


그림 6. MP3 코딩 전 원 오디오 신호, MP3 디코드 된 결과 신호, 제안 알고리즘 결과 신호, Liu의 HFR(High Frequency Regeneration)^[4] 알고리즘의 결과 신호 비교
 Fig. 6. Comparing audio spectrums between the original CD decoded audio, MP3 decoded audio, proposed High Frequency reconstructed Audio, Liu's HFR audio.

손실된 고주파 영역을 충실히 재생해 내는 것을 알 수 있다.

그림 6은 MP3 코딩 전 원 오디오 신호 와 MP3 디코드 된 결과 신호, 본 논문에서 제안한 알고리즘 결과 신호 그리고 Liu의 HFR (High Frequency Regeneration)^[4] 알고리즘의 결과 신호를 하나의 그래프에 나타내어 각 알고리즘의 성능을 비교 한 것이다.

그림 6에서 보듯이 본 논문에서 제안한 알고리즘이 Liu의 알고리즘 보다 더 충실하게 고 주파수 대역의 신호를 추정 및 복원하고 있는 것을 알 수 있다(이 실험에서는 18kHz까지 복원하고 있으나 최대 22kHz까지 가능함). 또 하나 주목할 점은 MP3 디코드 된 신호의 cut-off 주파수 인 16kHz 근처에서 보듯이 기존의 Liu의 알고리즘은 추정 복원 된 신호의 cut-off 주파수 근처에서 스펙트럼 갭을 보이는 반면 제안된 알고리즘은 신호의 대역 별 에너지를 이용하여 cut-off 주파수를

표 1. ARM 플랫폼에서의 제안 알고리즘과 Liu 알고리즘의 비교

Table 1. Comparing between the proposed algorithm and Liu, algorithm on the ARM Platform.

	제안된 알고리즘	Liu 알고리즘
CPU	S3C2410 (ARM920T)	S3C2410 (ARM920T)
샘플링 비율	44.1khz	44.1khz
샘플당 비트수	16 bits	16 bits
알고리즘에 의한 지연시간	4.6ms	8.6ms
칩스(MIPS)	1.03	3.3
메모리(KB)	20	85

유동적으로 찾기 때문에 스펙트럼 갭 현상을 효과적으로 제어할 수 있다는 점이다.

표 1은 본 논문에서 제안한 알고리즘과 Liu의 알고리즘을 ARM 플랫폼에서 구현 할 때 시스템 연산 량과 메모리 사이즈를 비교한 것이다. 표에서 보듯이 제안된 알고리즘이 기존의 Liu 알고리즘에 비해 약 2~3배 정도의 처리 시간, 연산 량 그리고 메모리를 절약 할 수 있는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

본 연구는 디코드 된 MP3 오디오 신호에서 손실된 고주파 신호를 효율적으로 추정 및 복원할 수 있는 새로운 MP3 오디오 음질 향상 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 최근 모바일 단말기에서 많이 사용되고 있는 ARM 플랫폼으로 구현되어 부동소수점 연산이 아닌 정수연산으로 알고리즘을 구현함으로써, 상용화된 모바일 시스템에 바로 활용 할 수 있는 장점이 있다. 그리고 기존의 대표적인 Blind 기법인 Liu^[4]의 HFR 알고리즘과의 비교 실험을 통해 신호 스펙트럼 상에서 제안된 알고리즘의 고주파 복원 능력이 훨씬 뛰어난 것을 볼 수 있었고, 알고리즘 처리 시간이나 연산 량 그리고 메모리 사이즈 측면에서도 기존 알고리즘 보다 약 2~3 배 정도 절약할 수 있음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] Martin Dietz, Lars Liljeryd, Kristofer Kjörling, Oliver Kunz, "Spectral Band Replication, a novel approach in audio coding," at the 112th AES Convention, Munich, Germany, May 10 - May 13, 2002.

[2] "PLUS-V Specification: Public Document," VLSI Solution, Finland, Dec 17, 2001.

[3] Thomas Ziegler, Andreas Ehret, Per Ekstrand, Manfred Lutzky, "Enhancing mp3 with SBR: Features and Capabilities of the new mp3PRO," at the 112th AES Convention, Munich, May 10-May 13, 2002.

[4] Chi-Min Liu, et. al., "High frequency reconstruction for band-limited audio signals", Proc. of 6th Conf. on Digital Audio Effects, London, UK, Sep. 8-11, 2003.

[5] R.J. McAulay and T.F. Quatieri, "Speech analysis-synthesis based on a sinusoidal representation", IEEE Trans. ASSP-23 (4),

744-754, Aug., 1986.

[6] A Papoulis, Probability, Random Variables, and Stochastic Processes, McGrawHill, 1984

[7] Andrew N. Sloss, et. AL, ARM System Developer's Guide, ELSEVIER, 2004.

저 자 소 개



오 상 현(학생회원)
1998년 한국해양대학교 전파공학과 학사졸업.
2000년 상명대학교 전자계산학과 석사졸업
2004년 8월 단국대학교 정보컴퓨터학과 박사수료.

<주관심분야 : 멀티미디어 신호처리, DSP, ARM 시스템 구현>



박 규 식(정회원)
1986년 Polytechnic University 전자공학과 학사 졸업.
1988년 Polytechnic University 전자공학과 석사 졸업.
1993년 Polytechnic University 전자공학과 박사 졸업.

1994년~1996년 삼성전자 마이크로사업부, 선임 연구원

1996년~2001년 상명대학교 컴퓨터·정보통신공학부 조교수

2001년~현재 단국대학교 정보컴퓨터학부 부교수
<주관심분야 : 음성 및 음향신호처리, 멀티미디어 신호처리, DSP 시스템 구현>