
저전력 미디어 버스 설계

노창구* · 문병인** · 이용환***

Design of Low-Power Media Bus

Chang-gu Roh* · Byungin Moon** · Yong-Hwan Lee***

본 연구는 금오공과대학교 학술연구비에 의하여 연구된 논문임

요 약

오디오 데이터는 주로 아날로그 방식 또는 간단한 프로토콜을 이용하여 전달되었다. 그러나 디지털 멀티미디어 기기들이 발전함에 따라 하나의 기기 안에 많은 오디오 디바이스들이 집적되었고 이에 따라 연결에 사용되는 개별 선들의 개수가 많아져 복잡해졌다. 기존의 I²S, PCM과 같은 오디오 인터페이스는 점대점 방식을 사용하여 디바이스의 연결이 많아질수록 버스 라인의 증가와 전력 소비가 커지게 된다. 본 논문에서는 2선만을 사용한 공통 버스방식의 디지털 오디오 인터페이스를 설계하여 선의 개수를 줄었으며, 또한 전력 소모를 줄일 수 있는 클록 기어라는 방법을 사용하였다. 버스의 전력 소비를 점대점 방식과 비교한 결과 최소 3개 이상의 오디오 디바이스를 사용할 경우 30% 이상의 전력 소모 감소 효과를 갖는다.

ABSTRACT

The audio data have been communicated using analog methods or simple protocols. However, with the advent and improvement of various multimedia functions, many audio devices have been integrated into a mobile handset in which interconnection lines are very complicated. Conventional point-to-point connections such as I²S and PCM demand more power consumption whenever more devices are attached. In this paper, we design a common bus digital audio interface that communicates with only two wires and employs the clock gear method to reduce bus power consumption. The comparison results show that the proposed common bus connection can reduce more than 30% of power consumption as compared with point-to-point connection if more than three devices are connected.

키워드

직렬 공통 버스, 디지털 오디오 인터페이스, 메시지 통신, 저전력 버스

Key word

Serial Common Bus, Digital Audio Interface, Message Communication, Low-power Bus

* 금오공과대학교 대학원 전자공학과

** 경북대학교 전기전자컴퓨터학부 조교수

*** 금오공과대학교 전자공학부 조교수 (교신저자)

접수일자 : 2009. 11. 25

심사완료일자 : 2009. 12. 14

I. 서 론

모바일, MP3, PMP 등 다양한 미디어 기기들이 발전함에 따라서 블루투스, 스테레오 스피커, 마이크로폰과 같은 여러 가지 오디오 장치들이 하나의 기기 안에서 통신하게 되었다[1]. 이 오디오 장치들은 서로 다른 오디오 샘플 주파수를 가지고 있으며 끊임없이 실시간으로 전송되어야 한다. 따라서 하나의 공통된 버스에 오디오 디바이스들을 연결하는 것은 쉬운 일이 아니다[2]. 하지만 이들이 공통 버스 구조에 사용된다면 원가 절감 및 신뢰성 향상이라는 상당한 장점들을 가질 수 있다. 또한 여러 가지 오디오 장치들이 하나의 버스를 사용하므로 버스에서 소모하는 전력량 또한 줄일 수 있다.

공통 버스에서 서로 다른 오디오 샘플 주파수를 지원하기 위해서는 버스를 재구성하는 일이 필요하며 별도의 제어 버스를 필요로 한다. 하지만 본 논문에서 설계한 버스는 메시지 교환 방식을 써서 별도의 장치와 제어 라인 없이 버스를 재구성 할 수 있다. 또한 오디오 샘플 주파수는 4K, 11.025K, 12K의 배수로 이루어지므로 이들의 배수를 지닌 클록 주파수를 지원하여 별도의 컨트롤 없이 다양한 오디오 데이터를 전송할 수 있다. 버스의 전력 소모는 $P = fCV^2 + P_{static}$ 에 따라 클록 주파수에 비례한다[3]. 따라서 버스의 클록 기어(clock gear)라는 메커니즘 사용하여 전원 소비 최적화를 위한 클록 주파수 선택하고 변경함으로써 버스의 전력 소모를 줄인다.

II. 저전력 버스 프로토콜

2.1 공통 버스 구성

기존의 I²S와 PCM은 그림 1(a)와 같이 점대점(point-to-point) 연결로 하나의 버스에 최대 2개의 디지털 오디오 채널을 지원한다. 하지만 본 논문에서 구현한 공통 버스 구조는 그림 1(b)에서처럼 여러 디바이스가 하나의 버스를 공유하여 점대점 연결방식의 채널수의 한계를 개선한다[4].

오디오 장치들은 각자 다양한 오디오 샘플 주파수를 가지기 때문에 하나의 버스에서 데이터 통신을 하는 것이 힘들다. 따라서 기존의 I²S와 PCM은 점대점 연결을

사용할 수밖에 없다[5][6]. 하지만 버스의 클록을 오디오 샘플 주파수에 맞추어 조정할 수 있도록 한다면 여러 오디오 장치를 위해 하나의 공통적인 버스를 사용하는 것이 가능하다.

버스의 클록을 조절하기 위해서는 별도의 제어 선이 필요하다. 그러나 버스에서 라인 수 증가는 구조를 복잡하게 만들 뿐 아니라 버스 신뢰성 문제와 비용 증가로 이어지게 된다. 따라서 별도의 제어선을 사용하는 대신 메시지 교환 방식을 사용하여 버스의 클록 주파수를 조절한다. 따라서 디바이스들이 서로 다른 샘플 주파수를 가지더라도 하나의 버스를 공유하여 사용할 수 있다.

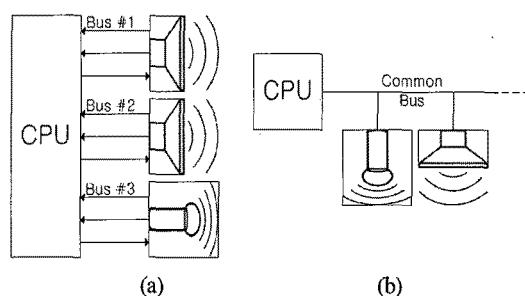


그림 1. (a) 점대점 연결의 I²S와 (b) 공통버스
Fig 1. (a) Point-to-point connection of I²S and
(b) Common Bus

버스 인터페이스 구성은 그림 2와 같다. 버스는 별도의 제어 라인이 필요 없기 때문에 I²C 방식과 유사하게 Clk와 Data의 2개의 선만으로 통신이 가능하다[7]. 데이터는 TDM(Time Domain Multiplexed) 방식의 프레임을 사용한다[8]. 오디오 신호는 0의 값을 가지기 쉬우므로 버스의 저전력을 위해 NRZI(Non Return to Zero, Inverted) 방식을 사용하며 물리 계층(Physical layer)에서 오디오 데이터를 NRZI 신호로 인코딩하거나 반대로 NRZI 신호를 디코딩 한다. 프레임 계층(Frame Layer)은 직렬 데이터를 프레임으로 만들어 주거나 프레임을 직렬데이터로 변환시켜 준다. 데이터 프레임은 메시지와 데이터로 구성되어 있으며 오디오 디바이스에서 필요 한 메시지와 오디오 장치로 들어오는 데이터를 해석하거나 전송한다.

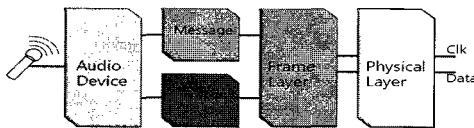


그림 2. 버스 인터페이스의 구조
Fig 2. Structure of bus interface

2.2 프레임 구조

공통버스의 비트 스트림은 TDM 방식으로 전송된다. TDM 방식은 시분할 다중화 방식으로 데이터가 여러 개의 프레임에 나누어진다. 프레임의 기본 구조는 클록의 상승엣지를 기준으로 하나의 데이터가 전송되는 셀(Cell)을 최소 단위로 하며 4개의 셀로 구성되는 슬롯(Slot)과 이들로 구성된 서브프레임(Subframe), 다시 여러 개의 서브프레임으로 구성되는 프레임(Frame), 그리고 8개의 프레임으로 이루어지는 슈퍼프레임으로 구성된다.

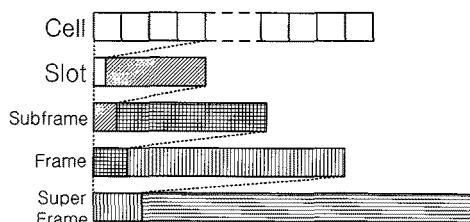


그림 3. 시분할 다중화 데이터 포맷
Fig 3. TDM data format

데이터 프레임의 시작은 별도의 제어선을 사용하지 않기 때문에 비트 스트림 가운데 동기 심볼을 사용하여 프레임의 시작을 구별한다[9]. 슈퍼 프레임과 프레임은 서브프레임으로 구성되며 그림 4와 같이 서브프레임은 제어 영역과 데이터 영역으로 구성되어 있다. 제어영역은 버스의 구성과 동기를 위한 프레임 정보와 메시지 채널로 구성되며 데이터 영역에는 데이터 채널이 존재한다.

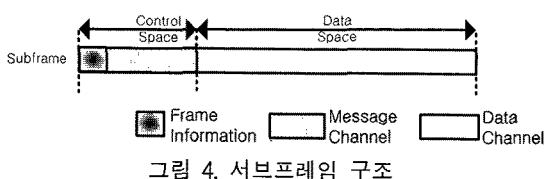


그림 4. 서브프레임 구조
Fig 4. Subframe structure

메시지 채널은 메시지가 전송되는 곳으로 메시지는 그림 5와 같이 네 영역으로 구성된다. Arbitration 부분은 메시지의 우선순위와 종재에 관한 정보를 담고 있으며 Header 부분은 목적지 디바이스의 주소와 메시지 종류를 가지고 있다. Payload는 메시지의 종류에 따른 내용을 가지고 있으며 Integrity and Response 부분은 메시지의 CRC 체크와 메시지의 수신 상태를 알려준다.

Arbitration	Header	Payload	Integrity and Response
-------------	--------	---------	------------------------

그림 5. 메시지 필드
Fig 5. Message fields

데이터 채널은 그림 6과 같이 오디오 데이터가 하나의 오디오 샘플인 세그먼트 단위로 전송된다. 데이터 세그먼트 전송을 위해서는 세그먼트의 시작점인 offset 정보와 길이(length) 그리고 세그먼트 사이의 간격(interval) 정보가 필요하며 이 정보는 메시지를 통해서 전송된다.

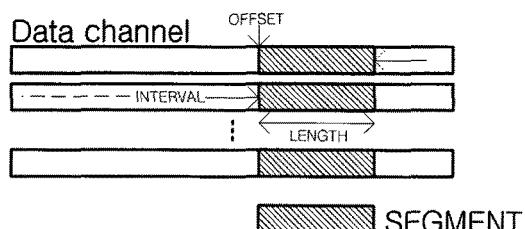


그림 6. 데이터 세그먼트
Fig 6. Data segment

2.3 클록 기어

오디오 샘플 주파수는 4K의 배수 주파수(4K, 8K, 16K...), 11.025K의 배수 주파수(11.025K, 22.05K, 44.1K...), 12K의 배수 주파수(12K, 24K, 48K...)와 같이 기본 주파수의 배수로 이루어진 주파수 군을 이룬다[10]. 이 주파수 군에서 가장 높은 샘플 주파수를 버스의 클록 주파수로 설정하면 이 주파수는 자연히 나머지 샘플 주파수를 지원하는 클록 주파수들의 배수가 된다. 따라서 별도의 제어 신호 없이도 여러 가지 오디오 샘플 데이터를 버스를 통해 전송할 수 있다. 이 때 가장 빠른 클록 주파수를 루트 주파수라 한다.

하지만 오디오 데이터가 상대적으로 느린 주파수 만을 필요로 할 때 무조건 빠른 버스 클록을 사용하여 큰 대역폭을 제공하는 것은 비효율적이며 전력 소모의 낭비도 크다. 오디오 샘플 주파수들은 기본 주파수의 배수를 이루고 있으므로 루트 주파수를 적절히 2의 배수로 나누어 사용하면 버스의 대역폭을 조절할 수 있다. 만약 오디오 데이터가 루트 주파수 대역에 비해 8배 느린 오디오 데이터를 전송하는 경우, 루트 주파수를 8분주 하여 데이터를 전송할 수 있는 최소한의 대역폭을 사용하면 버스의 전력 사용량을 줄일 수 있다.

본 논문에서는 클록의 분주 단계를 Gear로 명하여 Gear1에서 Gear10까지 사용하고 메시지를 통해 클록 기어 값을 설정 한다. 클록 기어에 따른 주파수 변화는 식 (1)과 같다. Gear1은 가장 느린 주파수와 좁은 대역폭을 가지며 전력소비도 가장 적다. Gear10은 루트 주파수와 같은 주파수를 출력하고 넓은 대역폭을 가지지만 전력 소비는 가장 많다.

$$CLK_frequency = \frac{Root_frequency}{2(10 - Gear)} \quad (1)$$

III. 미디어 인터페이스 구조

3.1 전체 구조

전체 블록도는 그림 7과 같다. 버스는 풀업된 클록과 데이터 라인의 2개 선으로 디바이스 간에 연결 된다. 수신된 비트 스트림은 NRZI 디코더와 시프트 레지스터를 거쳐 슈퍼프레임으로 재구성되며 슈퍼프레임 레지스터에서 메시지와 데이터의 구별 위해서는 Sync신호, 프레임 정보와 세그먼트 offset, length, interval이 필요하다. 오디오 디바이스는 수신된 메시지를 해석하거나 필요한 메시지를 만들어 보내며 데이터 채널을 통해 오디오 데이터를 송수신한다. 버스에 필요한 클록은 클록 발생기에서 클록 기어의 메시지를 참고하여 원하는 클록을 만들게 된다.

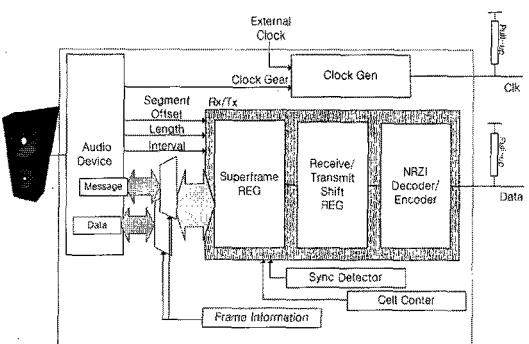


그림 7. 전체 블록도

Fig 7. Top block diagram

3.2 세부 블록

슈퍼 프레임의 구성은 그림 8과 같이 Clk와 Data로 들어온 NRZI 신호는 디코더를 통하여 시프트 레지스터에 저장된다. 첫 번째 레지스터는 4개의 셀 단위로 저장하는 슬롯 레지스터이다. 192개의 슬롯이 모이면 하나의 프레임 레지스터가 완성되며 프레임 동기 신호 (Sync Symbol)를 확인하여 슈퍼 프레임 레지스터에 저장된다.

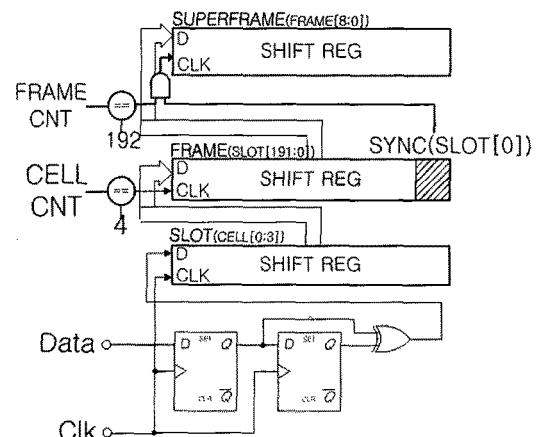


그림 8. 슈퍼프레임 레지스터

Fig 8. Superframe register

프레임 정보(Frame Information)는 그림 9처럼 프레임의 97번쨰 슬롯인 slot[96]이 8개 모여 완성 된다. 이 정보에는 슈퍼프레임의 동기신호와 Submode 정보가 들어 있다. Submode에는 서브 프레임의 크기 정보가 들어 있

으며 Message와 오디오 데이터 획득에 필요한 정보로 사용된다.

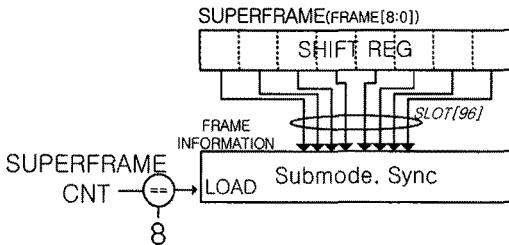


그림 9. 프레임 정보
Fig 9. Frame information

메시지는 서브모드로부터 얻어진 정보를 바탕으로 그림 10(a)와 같이 슈퍼 프레임에서 얻어진다. 데이터는 그림 10(b)와 같이 세그먼트 단위로 전송되는데 세그먼트 시작 위치를 알리는 세그먼트 offset, 세그먼트의 length, 세그먼트의 interval을 필요로 하며 이 정보는 메시지를 참조하여 데이터가 획득된다.

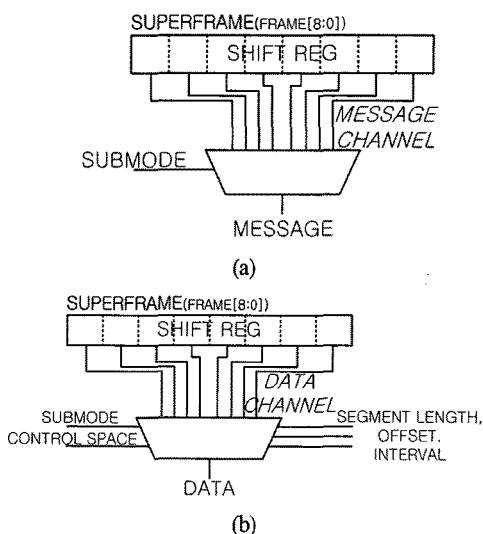


그림 10. (a) 메시지와 (b) 데이터 획득
Fig 10. (a) Message and (b) Data acquisition

클록 기어는 1-10의 범위이며 10을 기준으로 한 단계 감소할 때마다 클록의 주파수는 반으로 감소한다. 이를 위한 회로는 그림 11과 같다. 버스의 클록은 클록 기어의 숫자와 비교하여 원하는 단계만큼 분주한 클록을 만들

어 낼 수 있도록 한다. Gear은 1-10까지 사용하므로 최대 512분주가 가능하다.

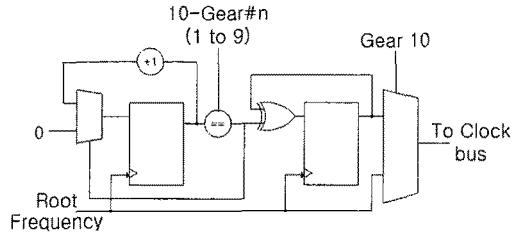


그림 11. 클록 기어
Fig 11. Clock gear

IV. 설계 및 검증

본 논문에서 설계된 공통버스 오디오 인터페이스는 하드웨어 언어인 Verilog HDL을 사용하여 설계하고 기능을 검증하였다. 이 과정에서 공통버스의 동작과 인터페이스에 대한 타당성이 입증되었고 실제 오디오 장치의 인터페이스로서 적용될 수 있음을 확인하였다.

점대점 연결에서 새로운 디바이스가 추가되면 연결 선을 추가해야 하므로 전력 소비량은 추가되는 디바이스에 비례하여 증가된다. 버스 하나의 전력 소비를 A라고 하면 전체 $P_{\text{point-to-point}}=nA$ 가 된다. 반면 공통버스의 전력 소비를 B라고 하면 디바이스를 추가하더라도 버스의 수에는 영향이 없기 때문에 $P_{\text{commonbus}}=B$ 로 항상 일정하게 유지 된다. 매그나칩 공정 0.18um rule을 가지고 1.8 V, 8 KHz, 35 pF의 조건에서 전송선으로 통신하는 경우 클록 라인에서 소비하는 전력을 비교하여 표 1과 그림 12의 그래프로 나타내었다. 디바이스의 개수가 하나인 경우 공통 버스의 소비 전력은 1814.4 nW로 점대점 연결 보다 전력 소모가 두 배 많다. 이것은 공통 버스를 사용할 때 메시지를 전송하기 위한 대역폭을 제공하기 위해 2배 빠른 클록을 사용하였기 때문이다. 하지만 디바이스 수가 증가함에 따라 점대점 연결 버스의 전력 소모량은 비례적으로 늘어나지만 공통버스의 소비 전력은 일정하게 유지되므로, 결국 점대점 연결 방식은 공통 버스를 사용할 때보다 전력 사용량이 많아지게 된다.

표 1. 디바이스 개수와 버스 전력 소비량
Table 1. Power consumption vs. number of devices
(unit: nW)

디바이스 개수	Common Bus	Point-to-Point
1	1814.4	907.2
2	1814.4	1814.4
3	1814.4	2721.6
4	1814.4	3628.8
5	1814.4	4536
6	1814.4	5443.2
7	1814.4	6350.4
8	1814.4	7257.6
9	1814.4	8164.8
10	1814.4	9072

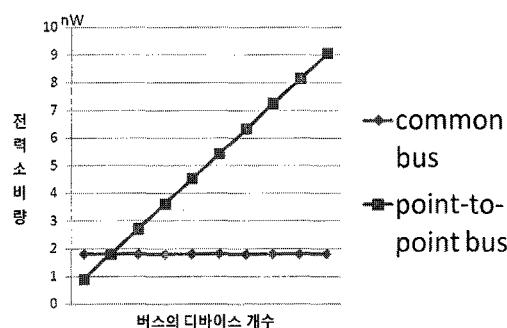


그림 12. 디바이스 개수에 따른 전력 소비량
Fig 12. Power consumption due to number of devices

공통버스에서 여러 주파수를 지원하기 위해 버스의 클록을 항상 빠른 주파수로 동작 시킨다는 것은 비효율적이다. 따라서 클록 기어를 사용하여 상황에 따라 버스의 클록을 낮추어 준다면 전력을 좀 더 효율적으로 사용할 수 있다. 예를 들어 루트 주파수로 16.384 MHz를 사용하면 16비트의 4K, 8K, 16K…… 512K의 다양한 오디오 샘플 주파수를 지원할 수 있다. 하지만 만약 32K 오디오 데이터를 전송할 때 16.843 MHz를 사용하는 것은 대역폭이 너무 크고 비효율적이다. 따라서 16비트의 메시지 채널과 16비트, 32K의 오디오 샘플을 지원 할 수 있는 클록 기어 6을 사용하면 식(1)에서 1.024 MHz로 클록을 얻을 수 있다.

따라서 대역폭은 1,024 Kbps로 동작하므로 전력을 적게 소비하게 된다. 클록 기어를 사용하지 않는 경우, 16.384 MHz를 사용하여 16비트 32K 오디오 샘플을 전송할 때의 클록 라인 전력 소비를 1로 하면 그림 13과 같은 그래프의 결과가 얻어진다. 클록 기어를 사용하지 않는다면 공통버스 방식의 연결이 절대점 연결보다 더 적은 전력을 사용하기 위해서는 식(2)에서 17개의 기기의 연결이 있어야 한다. 하지만 클록 기어를 사용하여 클록 주파수를 최소 대역폭으로 조정하면 식(3)에서 2개 연결에서는 같은 전력을 소모하며 3개 이상의 연결에서부터 공통버스의 전력 효율이 더 높음을 알 수 있다.

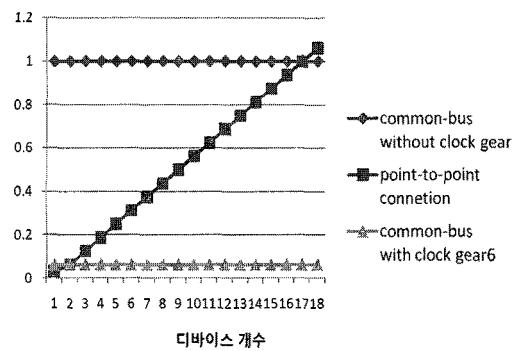


그림 13. 클록 기어에 따른 상대적인 전력 사용량 비교
Fig 13. Comparison of relative power consumption due to clock gear

$$n > \frac{f_{Root_frequency}}{f_{point-to-point}} \quad (2)$$

$$n > \frac{f_{Root_frequency}/2(10 - G)}{f_{point-to-point}} \quad (3)$$

클록 기어를 사용할 때의 효율을 절대점 방식과 비교하여 나타내면 그림 14와 같다. 디바이스의 개수가 하나일 때는 메시지의 대역폭 때문에 더 빠른 클록 주파수를 지원해야 하기 때문에 효율이 더 낮지만 3개 이상에서부터는 공통버스의 효율이 30% 이상을 가지며 디바이스 개수가 늘어날수록 효율이 개선되는 것을 알 수 있다.

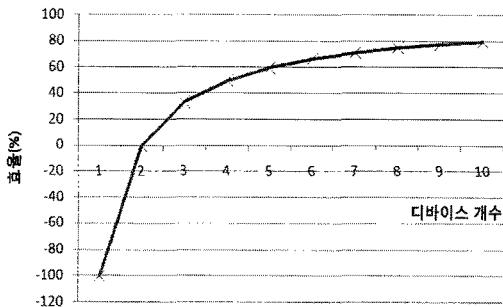


그림 14. 점대점 연결 방식과 디바이스 개수에 따른 공통버스의 효율

Fig 14. Efficiency of common bus by point-to-point connection and the number of device

V. 결 론

본 논문에서는 메시지와 공통버스 기반의 오디오 인터페이스를 설계하여 2개의 선으로 이루어진 하나의 버스에 여러 오디오 장치가 연결이 가능하도록 하였다. 또한 클록 기어라는 메시지를 사용하여 루트 클록 주파수를 각기어마다 2분주할 수 있도록 하였다. 따라서 원하는 데이터의 대역폭만큼 조절할 수 있어 버스의 전력 소비를 줄일 수 있다. 버스는 HDL을 사용하여 설계하였으며 매그나칩 0.18um 를 사용하여 기준의 오디오 인터페이스 방식인 점대점 연결 방식과 본 논문에서 설계한 버스의 전력 사용량을 비교하였다. 비교 결과 메시지를 이용한 공통버스 기반의 오디오 인터페이스는 3개의 이상의 연결에서부터는 점대점 연결 보다 30% 이상의 효율성을 가지며 개수가 늘어날수록 효율이 개선되는 것을 알 수 있었다. 따라서 많은 오디오 장치들의 연결 시 이 공통버스를 사용하는 것이 하드웨어 부담이 적을 뿐 아니라 전력을 적게 사용한다. 향후 연구에서는 버스의 클록뿐 아니라 버스의 상태를 제어하는 다양한 메시지를 이용하여 저전력을 구현하는 방법들이 연구될 수 있다.

※ 반도체설계교육센터(IDEA)의 CAD Tool 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 여준기, 양일석, 노태문, 김기철, 김종대, “유비쿼터스 휴대 단말용 SoC 기술 동향,” 전자통신동향분석, 22권, 5호, pp.12-18, 2007.
- [2] Hess, C. K. and Campbell, R. H., “Media Streaming Protocol: an adaptive protocol for the delivery of audio and video over the Internet,” 1999 IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems, pp. 903-907, 1999.
- [3] Neil H. E. Weste and David Harris, *CMOS VLSI Design 3rd-edition*, Addison-Wesley, 2005.
- [4] Richard H. Dee, Kenneth S. Franzel and Joe Jurneke, “Pattern Dependent Overwrite on Thick Media,” IEEE Transactions on Magnetics, vol. 29, no. 6, 1993.
- [5] Philips Semiconductors, *I²S Bus Specification*, 1996.
- [6] Kim Jung-Sup, Jang Myung-Jin and Shi Kwang-Gyu, “Implementation of A 30-Channel PCM Telemetry Encoder with A TMS320F2812 DSP Chip,” Journal of the Korean Institute of Communication Science. Wireless communications, vol. 31 no. 9A, 2006.
- [7] Philips Semiconductors, I²C bus specification
- [8] Geneva Switzerland, “Digital audio interface, International Electrotechnical Commission,” IEC 60958
- [9] 권영진, 정해, “G-PON TC 계층 유료부하 내에서 고속 GEM 프레임 동기화로 구현,” 한국통신학회 논문지, 34권, 5호, 2009.
- [10] John Watkinson, *The Art of Digital Audio 2nd edition*, 2001.

저자소개



노창구 (Chang-gu Roh)

2008년 2월 : 금오공과대학교
전자공학과 졸업

2008년 3월~현재 : 금오공과대학교
대학원 전자공학과 석사과정

※ 관심분야 : SoC 설계, 반도체 IP 설계, Audio Interface



문병인(Byungin Moon)

1995. 2 연세대학교 전자공학과
(공학사)
2002. 2 연세대학교 전기전자공학과
(Ph.D.)

2002~2004 하이닉스 반도체
2004~2005 연세대학교 연구교수
2005~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 조교수
※관심분야: SoC, 디지털 VLSI, 컴퓨터 구조



이용환(Yong-Hwan Lee)

1993. 2. 연세대학교 전자공학과
(공학사)
1999. 2. 연세대학교 전자공학과
(Ph.D.)

1999~2002 하이닉스반도체
2003~2004 삼성전자
2004~ 금오공과대학교 전자공학부 조교수
※관심분야: SoC, 임베디드 시스템 및 소프트웨어,
마이크로프로세서 구조