

HDTV 용 PVR(Personal Video Recorder) 칩 구현

정수운, 이동호

한양대학교 전자컴퓨터공학부

Implementation of the PVR(Personal Video Recorder) Chip for HDTV

Su-Woon Jung, Dong-Ho Lee

School of Electrical and Computer Engineering, Hanyang Univ.

{swjung,dhlee}@image.hanyang.ac.kr

Abstract

We have developed a PVR (Personal Video Recorder) chip that is capable of simultaneous playback and recording of HD quality MPEG-2 streams for digital TV. It provides viewers with some advanced features as well as pause, instant replay, skip forward and fast forward/rewind found in conventional PVRs for analog TV. This paper describes the enhanced and innovative features that are implemented on our PVR

Introduction

최근의 저장 매체 및 영상 처리의 기술 발달에 따라 PVR 이 Digital TV 의 중요 기능으로 급속히 자리잡아 가고 있다. 이 결과 사용자들은 방송 시간 편성에 상관 없이 쉽게 원하는 프로그램에 대해서 time-shifting 시키거나 저장 할 수 있게 되었다. 그러나 미국의 TiVo 등 이 개발한 기존의 PVR 은 SD 급에 그치고 있으며 본격적인 디지털 방송이 시작 되면 기존의 PVR 에서는 HD 급 화질을 감상할 수 없다[3][4][5].

HDTV 를 위한 PVR 은 일반 Analog TV 용 PVR 과 같은 기능들을 제공함에도 불구하고 좀더 진보된 기술을 요구한다[6][7][8]. 그 이유는 HDTV 용 PVR 구현을 위해 다음과 같은 몇 가지 문제점들을 반드시 해결해야 하기 때문이다. HDTV 에서 Transport stream 은 최대 4 개까지의 SD 급 스트림을 포함 할 수 있다. 따라서 만약 사용자가 하나의 SD 급 프로그램을 저장 한다면 나머지 세 개의 SD 급 프로그램과 널 패킷들은 중도에 버려지게 되며 일단 저장된 SD 급 프로그램은 재생시 constant bit rate 이 보장되지 못한다. 이로 인해 저장 되었던 Transport stream 을 하드디스크로부터 읽어 MPEG-2 디코더로 보내 디코딩 할 때 에러가 발생하는 문제를 낳는다. 따라서 본 논문에서는 이런 문제를 해결 하기 위해 저장하길 원하는 프로그램의 PID 들로 이루어진 패킷만을 선택해서 저장하며 이 때 각 패킷마다 타임-스텝플을 부가

하여 MPEG-2 디코더로 전송 할 때 bit rate 을 유지 할 수 있도록 하였다. 다른 문제점으로 기존의 PVR 들은 HD 급 스트림을 처리 할 수 없었는데 그 가장 큰 이유는 HD 급 스트림은 그 데이터량이 SD 급에 비해 4 배 이상 많기 때문이었다. 이런 상황에서 소프트웨어만으로 VCR 기능을 구현한다는 것은 지금 상황에선 불가능한 일이며 결국 그 기능 지원을 위한 전용 프로세서 개발이 반드시 필요하다. HD 급 스트림에 대하여 HD 급 스트림을 동시에 저장 및 재생 시키려면 높은 입출력 처리율(throughput)이 보장 되어야 하며 VCR 기능을 위해 실시간으로 스트림 정보를 추출하여 보관해 놓을 필요가 있다. 이를 위해 본 논문에서는 그림 1 에 나타난 것처럼 PCI 버스[1] 인터페이스를 갖는 Time-Shifter 를 설계하였다.

II. Time-Shifter Architecture & Organization

2.1 Time-Shifter

일반적인 TV 수상기는 현재 생방송 되고 있는 프로그램을 그대로 화면에 보여준다. 따라서 잠시 자리를 비우거나 채널을 바꾸는 과정에서는 시청자가 보던 프로그램을 잠시 못 보게 되는 단점이 있었다. 그러나 현재 개발되어진 PVR 의 가장 큰 장점은 생방송 되고 있는 프로그램을 하드디스크에 일단 저장 하였다가 다시 그 프로그램을 원할

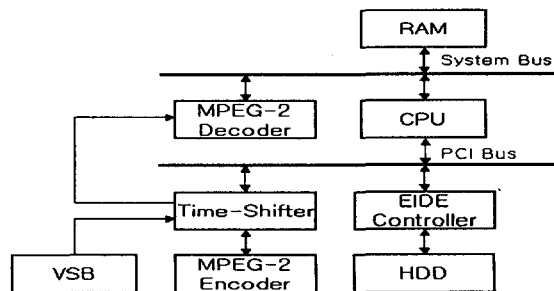


그림 1. PVR Hardware Block Diagram

때마다 볼 수 있다는 것이다. 특히 생방송 도중 일이 발생하여 PAUSE 를 시켰다가 잠시 후 재생을 하면 정상적인 생방송과는 PAUSE 된 만큼 시간 지연된 프로그램이지만 시청자는 어느 한 장면도 놓치지 않고 계속해서 그 프로그램을 볼 수가 있다. 본 논문에서는 PVR 중 위에서 언급한 Time-Shifting 기능 및 다음 절에서 언급할 기타 기능들을 수행하는 시스템을 Time-Shifter 라 부르도록 한다.

2.2 HD 급 방송 스트림의 처리상의 문제

HD(MP@HL)급 방송 스트림에 대하여 PVR 기능을 구현 하려면 대략 40Mbps 의 데이터량을 처리할 수 있어야 한다. 이것이 가능하기 위해서는 PCI 버스의 대역폭, 하드디스크의 성능, VCR 과 같은 트릭모드 재생의 지원 및 소프트웨어의 최적화와 같은 4 가지가 요소가 반드시 만족 되어야 한다.

본 논문에서 설계된 Time-Shifter 는 입력 단에서 들어오는 데이터를 DMA 를 이용하여 PCI 버스를 통해 시스템 메모리에 일시 저장 하였다가 일정한 양이 전송 되면 데이터를 다시 하드 디스크로 저장한다. VCR 의 기능을 구현 하려면 저장과 재생이 동시에 이뤄져야 하므로 이 과정에서 PCI 버스의 사용이 4 배로 증가된다. PCI 버스만을 고려할 때 33MHz/32-bit Data Bus 에서 최대 132 Mbytes/sec 의 데이터 전송 속도를 나타낸다. HD 급 방송 스트림의 bit rate 은 약 19.4 Mbps 정도 이므로 이와 비교한다면 PCI BW 는 무척 여유롭다고 할 수 있다.

두 번째 문제는 하드디스크로의 데이터 입출력 처리량이다. 이를 테스트하기 위해 쿼텀 7200RPM 20Gbytes 모델을 이용해 직접 성능 테스트를 해본 결과 데이터 읽기/쓰기 데이터 값이 512Kbyte 이상인 경우 최소 21Mbps 의 bit rate 가 처리 가능함을 알 수 있었다.

세 번째로 HD 급 스트림에 대하여 트릭 모드 플레이를 지원해야 하는데 이 문제에 대해서는 다음절에서 설명하겠다.

마지막으로 소프트웨어의 load 를 가능한 줄여야 하며 하드디스크의 액세스 및 Time-shifter 와의 데이터 전송에 최대의 우선권을 갖도록 구성하여야 한다.

2.3 Time-Shifter 의 구조 및 기능

Time-Shifter 의 구조

그림 2 는 구현된 Time-shifter 의 내부 블록도를 나타내고 있다.

MUX-in, Sync. Detection : MUX-in 블록에서 ATSC 혹은 NTSC 방송 스트림을 선택 하게 되며 Sync. Detection 블록에서는 입력 스트림을 내부 메모리에 저장한 후 sync byte 를 검출하여 188 바이트 단위로 Time-Stamp-A 블록에 전달한다.

Time-Stamp Handler -A : Multi-programming 된 MPEG 스트림을 선택하여 하드 디스크에 저장/재

생 할 경우 bit rate 변경에 따라 디코딩 할 때 불연속적인 재생 혹은 distortion 이 발생할 수 있다. 이를 방지하기 위해 입력 패킷 맨 앞에 local timestamp 데이터를 포함시킨다. 이 값은 총 4 바이트로써 time-shifter 내부 클럭에 의해 동기되는 값이다. 따라서 188bytes 길이의 패킷은 192 bytes 로 증가된 상태로 저장된다. 이 값은 재생시 Time-stamp Handler-B 블록에서 디코더로의 출력 bit rate 을 조절하는데 이용된다.

PID filtering : PID Filtering 블록에서는 입력되는 스트림에서 처리할 PID 를 갖는 TP 만을 선택하여 저장하거나 직접 디코더로 바이패스 시킬 수 있다. 저장할 스트림에 대해서는 기본적으로 NULL 패킷은 자동으로 버리게 되 있으며 최대 32 개까지 저장할 패킷의 PID 값을 지정 할 수 있다. 이러한 기능을 이용하여 프로그램 정보 데이터(PSI, PSIP 등)를 디코더로 보낼 수 있으며 더욱 중요한 것은 현재 재생중인 스트림의 PID 와 같은 PID 를 갖는 스트림이 입력되어 오는 경우 이를 디코더로 바이패스 시키지 못하도록 할 수 있다.

Index Extraction : PVR 이 아날로그 VCR 처럼 Trick 모드 재생 기능을 지원하기 위해서는 스트림에서 GOP 혹은 Frame 단위에 대한 Index 정보를 (Index) 가지고 있어야 한다. 저장된 스트림에 대하여 off-line 으로 GOP 혹은 frame 단위를 찾는 것은 소프트웨어로 가능한 일이지만 탐색 시간이 많이 걸린다. Time-Shifted 저장을 위해서는 저장과 재생을 동시에 해야 하므로 이러한 데이터를 소프트웨어에서 실시간으로 처리하기에는 어려움이 따른다. 따라서 저장하는 과정에서 Time-shifter 가 이러한 정보들을 정확하게 추출한다면 가장 효과적인 방법일 것이다. 이 기능은 그림 2 의 Index Extraction 블록에서 수행하고 있다.

입력 되는 비디오 패킷에 대하여 추출해낸 Index 정보에는 시퀀스 헤더 I, B 및 P 픽처 타입 정보 외에 이러한 정보를 담고 있는 패킷이 미리

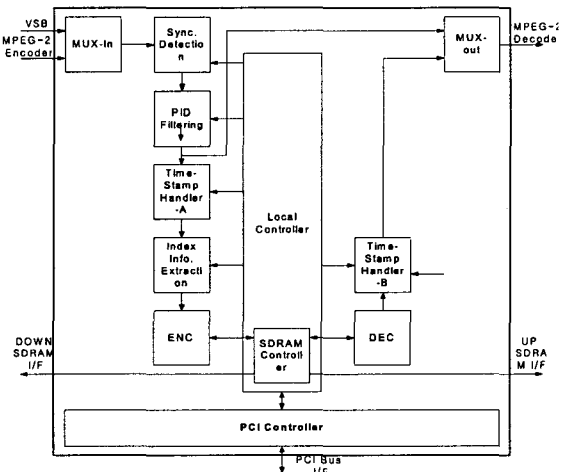


그림 2. Block Diagram of Time-shifter

정해진 일정한 길이의 스트림 내에서 차지하는 위치 정보가 포함 된다. 이 정보들은 시스템 메모리로 전송될 스트림과 동기를 맞추기 위하여 Time-shifter 내부 Index Register 에 저장 하였다가 해당 스트림이 전송 완료되어 인터럽트를 발생 시키면 S/W 가 읽어간다. 그림 3 은 인덱스 정보와 비디오 패킷과의 관계를 보여주고 있다. 예를 들어 그림에서 A 는 I picture_start_code 가 담긴 패킷이 인터럽트 단위 내에 몇 번째 패킷인지를 나타내는 offset 값이다. 이 과정에서 추출된 index 정보들은 VCR-like trick 모드 재생을 실행하기 위한 기본 정보로 사용된다.

ENC, DEC : Time-shifter 는 부가적으로 입력 스트림을 저장 할 때 암호화 하여 저장 할 수 있다. 사용자가 원하는 방송 stream 을 Hard disk 에 저장 할 때 직접 scrambling 하여 저장하고 시청할 때 다시 descrambling 하여 data 의 불법적인 이동이나 복제를 막는 기능을 한다. 본 시스템에서는 DES ECB mode 에 따라 암호화 및 역암호화 과정을 수행한다. 그림 2 에서 ENC 블록은 Local Controller 블록의 명령에 따라 암호화 기능을 수행 하며 DEC 블록은 역 암호화 기능을 수행한다.

Local Controller : Local controller 의 기본 기능은 S/W 로부터 명령을 받아서 각각의 블록을 제어하는 것이다. 여기에는 각 블록의 동작 상태를 체크할 수 있는 레지스터 파일이 포함되어 있으며 인덱스 레지스터도 이 블록에서 관리한다. 그리고 내부에 저장과 재생용 SDRAM 제어기가 내장되어 있어 이 제어기에 의해 SDRAM 에 저장되어 있다가 일정한 양에 이르면 PCI 제어기에 DMA 전송을 요청한다.

PCI Bus Master Controller : Time-Shifter 는 PCI Bus 를 통하여 데이터를 전송한다. PCI Bus 의 데이터 전송률을 효과적으로 이용하기 위해서는 DMA 모드로 데이터를 전송해야 하는데 이를 위해서 PCI Bus Master 기능을 포함한다. 내부에는 2 채널의 DMA engine 이 있다. 채널-0 는 DMA-Write 용이고 채널-1 은 DMA-Read 용이며 두 채널의 우선순위는 동일하다.

Time-stamp Handler -B : 이 블록에서는 크게 두 가지의 기능을 수행한다. 첫 번째로 Normal mode 에서는 DEC 블록에서 넘어오는 패킷의 time-stamp 값을 참조하여 이 패킷이 디코더로 전송되는 시간을 결정하여 그 때가 되면 전송을 개시 한다. 이러한 방법을 통하여 스트림의 bit rate 조절이 가능하다. 두 번째 기능은 slow mode 인데 이 경우에는 time-stamp 값을 참조 하여 원래의 bit-rate 보다 1/2

혹은 1/4 느리게 디코더로 보낸다. 이 기능을 통하여 1/2 배속 혹은 1/4 배속이 간단히 구현된다.

MUX-OUT : Time-Shifted 스트림을 하드 디스크로부터 읽어 들여 디코더로 전송 중이더라도 프로그램 정보를 담고 있는 패킷들은 디코더로 직접 넘겨져야 한다. 즉 서로 다른 두 경로로부터 들어오는 패킷들을 겹치지 않게 하나의 경로로 내보내야 하는데 이러한 조절기능을 MUX-OUT 블록에서 한다.

스트림의 저장

입력되는 스트림을 저장 하는 과정은 다음과 같다. Time-shifter 는 먼저 아날로그 혹은 디지털 방송 입력을 선택 할 수 있다. 이후 프로그램 정보를 확인 할 때까지 모든 패킷들이 디코더로 넘겨진다. 프로그램 정보가 확인 되면 소프트웨어에 의해 저장 하거나 Bypass(Live) 시킬 패킷의 PID 를 설정한다. 프로그램 정보가 확인되고 PID 세팅이 끝나면 입력되는 스트림은 Time-Shifter 외부의 SDRAM 에 버퍼링 되어 있다가 일정 양이 되면 DMA 에 의해 시스템 메모리로 전송이 되고 다시 최종적으로 하드 디스크에 라이브 버퍼링이 된다.

Time-Shifter 에서 시스템 메모리로 옮겨지는 스트림 단위인 Interrupt 단위는 소프트웨어에 의해 설정 가능 하며 하나의 인터럽트 단위 스트림이 시스템 메모리로 옮겨질 때마다 그 스트림에 해당하는 인덱스 정보를 Time-Shifter 로부터 읽어 오며 따라서 최종적으로 하드디스크에 저장되는 데이터는 실제 방송 스트림 패킷과 스트림 정보를 담고 있는 인덱스가 된다.

스트림의 재생

저장된 스트림의 재생시에는 저장할 때의 흐름과 반대라고 생각하면 간단하겠다. 그러나, HDD 에 저장되는 것은 프로그램 정보를 제외한 스트림 데이터 뿐이므로 재생시에는 앞서 Time Stamp 를 붙인 TS 를 디코더로 이동시키는 작업이라고 보면 된다. 먼저 DMA 전송방식을 이용하여 HDD 에서 시스템 메모리로 또다시 시스템 메모리에서 Time-Shifter 로 옮겨진다. 저장 할 때와 마찬가지로 임시 버퍼로 쓰이는 SDRAM 이 있으며 Time Stamp 를 보고 Rate Control 을 하여 디코더로 보내게 된다.

마지막 출력부에서 디코더로 넘겨지는 스트림은 앞서 PID Filter 부에서 저장되는 스트림 데이터 외의 프로그램 정보 데이터(PSI, PSIP 등)가 함께 간단한 다중화 장치(MUX-OUT)를 거친 것이다. 즉, 저장된 스트림을 디코딩하는 중에도 현재 실시간으로 수신되는 프로그램 정보 데이터가 같이 디코더 쪽으로 입력되는 것이다. 만약, 실시간 방송을 보는 경우(Sync. Play)에는 Time-Shifter 의 입력 스트림 모두가 디코더쪽으로 넘어가게 되며 재 다중화 처리는 필요치 않게 된다. 물론 항상 입력되는 스트림은 HDD 에 저장되어야 하므로 HDD 쪽에도 스트림은 보내진다.

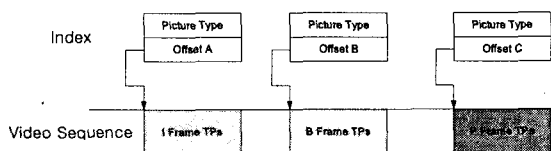


그림 3. Index for Video TS

스트림 Rate Control

저장 시 Rate Control 은 Time-Shifter 의 입력 스트림이 일정한 주기로 들어오므로 이에 대해서 Time Stamp 를 붙이고 저장하는 것 외에 특별한 Rate Control 이 필요 없다. 다만, 입력 스트림(방송 스트림)의 도착 Rate 에 맞추어 HDD 에 저장해야 하므로 HDD 의 성능이 떨어질 경우 Time-Shifter 상의 SDRAM 혹은 시스템 메모리에 구성된 임시 Buffer 에 Overflow 가 발생할 수 있다.

재생 시 Rate Control 은 여러 가지 재생 모드에 상관 없이 거의 일정한 방법으로 동작한다. 즉 소프트웨어에서 Time-shifter 상의 SDRAM 에 남아있는 버퍼량을 조사하여 충분한 공간이 남아 있는 경우 Time-Shifter 에게 DMA 명령을 내린다. 이러한 방법을 통하여 Upload 용 SDRAM 의 overflow 를 방지한다. 다음은 모드별 기능 설명이다.

- Normal Playback (일반 연속 재생) : Time Stamp 에 따라서 스트림 데이터(TS)를 디코더로 넘겨준다. SDRAM 버퍼상태에 따라서 소프트웨어가 DMA 데이터 전송 개시 여부를 판단한다.

- Pause (잠시 멈춤) : 디코더로의 스트림 데이터 (TS) 전달을 중지한다. 이때, 디코더는 디코딩할 데이터가 없으므로 자동적으로 화면이 멈추게 된다.

- Fast Forward/Rewind (빨리 감기/되감기) : Time Stamp 에 따라서 스트림 데이터(TS)를 디코더로 넘겨준다. 이때는 응용 프로그램에서 배속에 따라 Picture 단위로 스트림을 잘라서 Time-shifter 의 SDRAM 버퍼로 넘겨준다.

- Slow Forward (느린 재생) : 응용프로그램이 TP 를 Time-Shifter 에 넘겨주면 Time-Shifter 는 Time Stamp 를 보고 일반 재생시간보다 2 배 또는 4 배 느리게 데이터를 넘겨준다.

표 1 은 Time-Shifter 를 이용하여 구현 할 수 있는 다양한 VCR-like 기능들을 설명하고 있다.

표 1. PVR functions

Stream Control	설명
PLAY	일반 재생 모드
PAUSE	일시 멈춤
FAST FORWARD/REWIND	다양한 배율 지원 (3X,6X,20X,30X,60X)
INSTANT REPLAY	8 초 이전 화면 이동
SKIP FORWARD	20 초 이후 화면 이동
SLOW FORWARD	1/2 배속 재생
SYNC. PLAY	생방송으로의 전환

III. Time-Shifter 의 기능 검증

Time-Shifter 의 설계는 VHDL 을 이용하였으며 functional simulation 은 synopsys 의 VSS 를 이용하였으며 synthesis 는 design analyzer 를 이용하였다. ASIC 화를 위한 target library 는 hynix 반도체의

0.35 μ m 공정을 이용하였다. 최종적인 DB 를 이용한 timing simulation 은 cadence 의 verilog-xl 을 이용하였다. 제작된 칩을 이용한 보드 테스트는 실제 HDTV Set-top 및 HD 급 스트림을 이용하여 전체 기능을 검증하였다. 테스트에 이용된 시스템 구성은 그림 1 에서와 같이 전체 시스템을 제어할 CPU 가 있으며 ATSC 입력을 받기 위한 VSB 수신기, NTSC 입력을 처리하기 위한 NTSC 디코더 및 MPEG-2 인코더, 디코더 그리고 E-IDE 컨트롤러와 HDD 가 있다. 그림 4 는 제작된 칩을 보여준다.

IV. Conclusions

본 논문에서는 대용량 하드디스크를 이용하여 DTV 에 HD 급 스트림 PVR 기능추가를 위한 Time-Shifter 의 구조를 제안하고 ASIC chip 으로 구현하였다. HD 급 스트림을 이용하여 PVR 을 구현할 때의 문제점을 설명하고 본 논문에서 구현된 Rate control 및 Index 추출방법을 이용하여 앞에서 언급한 여러 문제점들을 해결 하였음을 보였다. 앞으로 저가로 구현하기 위해 SDRAM 인터페이스를 단일 포트에 통합 시켜 외부 핀 수를 줄여서 ASIC 하는 과정이 필요하다.

References

1. PCI SIG, "PCI Local Bus Specification, Revision 2.1", PCI Special Interest Group, Portland, OR, 1995.
2. ATSC Standard A/53, Digital Television Standard, 1995.
3. <http://www.tivo.com>
4. <http://www.replaytv.com/home.htm>
5. TV Anytime Forum, <http://www.tv-anytime.org/>
6. "Television home server for integrated services-toward the realization of ISDB "anytime" services", Kurioka, T.; Minami, H.; Okuda, H.; Numazawa, J.; Yanagimachi, A., *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Volume: 44 Issue: 4, Page(s): 1195 - 1200, Nov. 1998
7. "TV anytime: STORit on myTV", Tol, R.M.; Montie, E.A. *International Conference on Consumer Electronics*, Page(s): 30 -31, 2000.
8. "Architectural considerations for a digital set-top box with mass storage", Dibble, P.C. *International Conference on Consumer Electronics*, Page(s): 34 - 35, 2000.



그림 4. PVR(Time-shifter) chip