

사운드 카드를 이용한 전자 음악 장갑

Electronic Music Glove Using Sound Card

이 창 원*, 정 의 필*
(Changwon Lee*, Uipil Chong*)

*울산대학교 컴퓨터정보통신공학과

(접수일자: 2001년 2월 27일; 수정일자: 2001년 7월 9일; 채택일자: 2001년 11월 26일)

본 논문에서는 실시간으로 MIDI (Musical Instrument Digital Interface)를 이용하여 음악을 연주할 수 있는 전자음악장갑 (Electronic Music Glove, EMG) 시스템을 소개한다. 마이크로 컨트롤러를 통해 장갑으로부터 입력받은 아날로그 신호를 분석하고, 이 신호를 MIDI 메시지로 변환한 후, 컴퓨터에 내장된 사운드카드의 MIDI 음원을 이용하여 스피커로 음악을 재생한다. 컴퓨터의 직렬 포트를 통해 손가락에 부착된 센서들과 풋 스위치의 상태를 입력받아 C++ 언어로 작성한 프로그램에서 MIDI 메시지로 변환한다. EMG 시스템은 음표의 옥타브와 음표의 길이, 그리고 코러스나 잔향, 리듬 그리고 볼륨과 같은 다양한 음악적 효과를 MIDI를 이용해 제어할 수 있다.

핵심용어: 전자 음악 장갑, 마디, 컴퓨터 음악, 음합성

투고분야: 음악음향 및 음향심리 분야 (8.6)

We developed a electronic music glove (EMG) system that plays musical scores in real time processing. The EMG system interfaces with the signal coming from the controller to the sound card in the computer. The computer, according to the status of the fingers and foot switches, generates the sound signals and sends them to the speaker systems through the application C++ program and MIDI message. The EMG systems control the velocity and duration of sound and several musical performance expressions such as chorus, reverberation, rhythm, and volume. Finally, we implemented the digital drum set using the EMG system as example.

Keywords: Electronic music glove, MIDI, Computer music, Sound synthesis

ASK subject classification: Musical acoustics and psychoacoustics (8.6)

I. 서론

우리는 전자적인 소리를 실시간으로 연주하는 방법과 인간의 움직임을 전자적인 소리로 변환시키려는데 노력을 기울이고 있다[1-5]. 전자 악기의 형태는 키보드나 기타 또는 윈드 인스트루먼트 (Wind instrument)와 같은 범주를 벗어나 계속 발전하고 있는 경향이다[1]. 그리고 새로운 기술들은 표준적인 악기의 변수들을 악기 연주자로

하여금 자유자재로 조절할 수 있도록 발전시켰다. 새로운 컨트롤러들을 이용해 연주자들은 허공을 향해 뛰어 오르면서 혹은 팔을 휘저으면서 음악을 연주할 수 있게 된 것이다. 신서사이저 (Synthesizer)는 MIDI를 이용해서 전자음악을 생성 또는 제어한다.

과거의 MIDI는 특수한 소리를 재생하거나 연주하는데만 이용되었으나, 근래에는 음악의 전자적인 분석과 함께 새로운 연주 형태의 발전에 이바지하고 있다[5-7].

본 논문에서는 MIDI와 하드웨어적인 컨트롤러 시스템을 이용하여 다양한 종류의 소리를 재생할 수 있다. 이러한 기술들을 이용해서 손가락들의 움직임을 센서들을 통

책임저자: 정의필 (upchong@uou.ulsan.ac.kr)
680-749 울산시 남구 무거2동 산 29번지
울산대학교 컴퓨터정보통신 공학부
(전화: 052-259-2220; 팩스: 052-259-1687)

해 입력받아 실시간으로 음표를 재생할 수 있는 EMG 시스템을 개발하였다. 10개의 손가락 각각에 사운드 카드에 내장된 표준 MIDI 음원들을 설정할 수 있으며, 이렇게 설정된 악기들을 이용하여 간단한 음악을 실시간으로 연주할 수 있다.

EMG 시스템은 장갑의 손가락마다 각각에 연결된 10개의 플렉스 센서 (Flex sensor)를 이용하여 손가락마다의 움직임들을 관찰하고, 옥타브 입력을 위해 3개의 풋 스위치를 사용한다. 또한 플렉스 센서들과 풋 스위치들을 제어하기 위한 마이크로 컨트롤러와 부가회로로 구성된다. 손가락마다를 움직이면 각각의 플렉스 센서의 저항이 변화하며, 이 저항에 걸린 전압을 읽어들이 컴퓨터로 전송한다. 본 논문에서는 마이크로 컨트롤러 시스템 및 이를 이용하여 음악을 제어할 수 있는 응용 소프트웨어를 개발하였다.

EMG 시스템으로부터 입력받은 데이터들을 분석하여 컴퓨터는 어떤 손가락이 휘어졌는지 감지하고, 각 손가락에 지정된 악기 음원을 출력하기 위해 입력된 신호를 MIDI 신호로 바꾸어서 사운드 카드로 전송한다. 제작된 EMG 시스템은 풋 스위치를 이용하여 몇 개의 옥타브를 구현할 수 있으며, 코러스와 잔향, 리듬 그리고 볼륨과 같은 음악적 효과를 MIDI 메시지를 이용해서 구현할 수 있다.

II. 전자 음악 장갑 시스템

2.1. 시스템 설계

2.1.1. 하드웨어 설계

EMG 시스템은 PIC16C74 마이크로 컨트롤러[9]와 플렉스 센서, 아날로그 멀티플렉서, 그리고 전압 변환기로 구성된다. 그림 1은 시스템의 전체적인 구성도이다.

PIC 마이크로 컨트롤러는 몇 개의 A/D 변환기, 그리고 RS232C 직렬 통신 프로토콜을 이용해서 8-비트의 직렬 데이터 통신을 구현할 수 있는 송수신 포트, 그리고 입력 또는 출력으로 설정할 수 있는 여러 개의 포트를 지원한다. 플렉스 센서는 얇은 막대기 모양으로 안쪽이나 바깥 쪽으로 휘어질 때 각기 다른 저항 값을 갖는 가변 저항이다. 이 센서의 가변 저항의 범위는 10 KΩ에서 40 KΩ이다. 전압 변환기는 컴퓨터의 COM1 포트와 PIC 마이크로 컨트롤러의 송수신 포트간의 전압 차이를 맞추기 위하여 사용된다. 또한 PIC 마이크로 컨트롤러는 A/D 변환을 위

한 5개의 포트를 제공한다. EMG 시스템에서는 10개의 플렉스 센서들을 연결하여 제어해야 하므로 2개의 8-비트 아날로그 멀티플렉서를 이용하여 시분할 방식으로 각각의 플렉스 센서로부터 아날로그 데이터를 입력받는다.

PIC 마이크로 컨트롤러는 10개의 플렉스 센서들 중 하나의 센서로부터 전압신호를 입력받기 위해 아날로그 멀티플렉서로 컨트롤 신호를 보내고, 이 컨트롤 신호에 의해 선택된 하나의 플렉스 센서에 인가된 전압, 즉 아날로그 입력 전압 값을 내장된 A/D 포트를 통해 읽어 들인다.

A/D 변환기를 통해 8-비트의 디지털 신호로 변환된 데이터는 그림 2와 같이 2 바이트의 포맷으로 재구성된다. 첫 번째 바이트는 어느 손가락 또는 어느 풋 스위치가 움직임을 있는가를 나타내고, 두 번째 바이트는 움직임이 있는 센서의 전압 값을 디지털 신호로 바꾼다. 이렇게 재구성된 데이터는 컴퓨터의 RS232C 직렬 통신 프로토

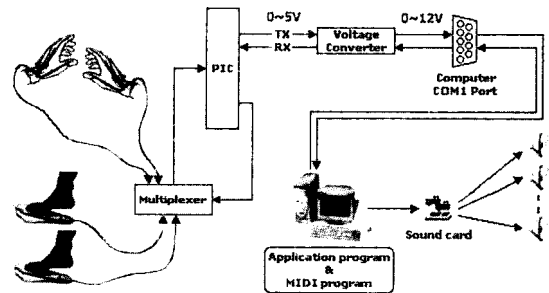
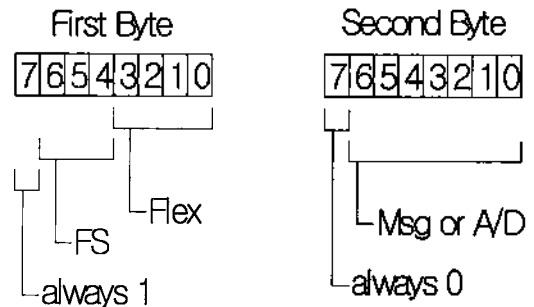


그림 1. 시스템의 전체적인 구성
Fig. 1. Overall system.



FS	: Which foot-switch is pressed?
FLEX	: Which flex sensor is selected?
Msg	: Which kind of message?
A/D	: Quantized value / 2

그림 2. EMG와 컴퓨터간의 송수신 데이터 포맷
Fig. 2. Data communication format between EMG and computer.

콜을 이용해서 컴퓨터의 COM1 직렬 포트로 보내지고, 컴퓨터는 입력된 데이터들을 분석하여 MIDI 메시지로 변환하며, 사운드 카드 내에 저장된 MIDI 음원들을 이용하여 스피커로 출력하게 된다.

2.1.2. MIDI

MIDI는 전자적인 악기들 사이에 실시간으로 연주와 관련된 정보를 교환하기 위해 표준화된 규격이다. MIDI 규격[8]은 트랜스미터와 리시버와 같은 하드웨어를 규정하고 또한 그들간의 데이터 포맷들을 규정한다. 각각의 악기의 상태는 채널 메시지와 시스템 메시지로 구분되는 메시지들을 이용해 표현된다. 채널 메시지는 MIDI 채널을 포함한다. 각각의 악기들은 각각의 채널에 할당된다. 예를 들어 피아노는 채널 1번에, 플루트는 채널 2번에 할당될 수 있다. 시스템 메시지는 시스템들 사이에 공유되는 메시지이다. 요즘 모든 사운드 카드는 MIDI를 지원하며 MIDI 규격에 정의된 악기 음원 이외에도 다양한 음원들을 제공한다. 그러므로 GM (General MIDI, MIDI spec. 1.0)을 지원하는 모든 사운드 카드가 내장된 컴퓨터에 EMG 시스템을 적용할 수 있다. 연주자는 EMG 시스템을 이용하여 시스템에서 지원하는 모든 음원을 재생할 수 있다.

2.1.3. 소프트웨어 설계

본 논문에서는 PIC 마이크로 컨트롤러 프로그래밍에 어셈블리 언어를 사용하고, 컴퓨터 응용프로그램 제작에는 C++ 언어를 사용하였다.

PIC 마이크로 컨트롤러에 내장된 컨트롤 레지스터들을 그림 3과 같이 동작하도록 초기화한 후 컴퓨터로부터 입력되는 컨트롤 신호에 반응하는 메시지로 구동되도록 프로그래밍하였다. 그림 3에서와 같이 EMG 시스템의 내부상태는 컴퓨터로부터 전송되는 메시지에 반응하는 일종의 메시지 구동 루틴으로 구성된다. 대기 상태에서 컴퓨터로부터 메시지를 수신하면, 그에 적합한 동작을 한 후 다시 대기 상태로 돌아가게 된다. PIC 마이크로 컨트롤러는 입력 또는 출력으로 조정가능한 22개의 포트들 A, B, C 세 그룹으로 나누어 제공한다.

이 시스템에서는 A포트의 6개 핀 중 RA0 핀은 플렉스 센서들을 위한 아날로그 입력으로 사용되고, B 포트의 RB0, RB1, RB2 핀은 아날로그 멀티플렉서를 제어하기 위한 제어신호 출력을 위해 사용되며, C 포트의 RC6, RC7 핀은 컴퓨터와 데이터를 송수신하기 위한 직렬 통신 포트

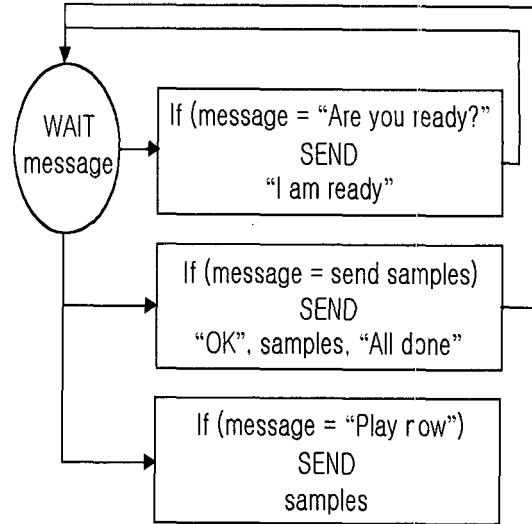


그림 3. PIC의 메시지 종류별 상태도
Fig. 3. State diagram for EMG system.

로 사용되었으며, RC0, RC1, RC2 핀은 풋 스위치들의 상태를 입력받기 위해 사용되었다. 내장된 A/D 변환기의 수보다 많은 플렉스 센서들을 컨트롤하기 위해 시분할 방식을 사용하였으며, 이를 위해 B 포트를 제어신호 출력으로 사용되었다.

PIC 마이크로 컨트롤러는 아날로그 멀티플렉서로 B 포트를 통하여 컨트롤 신호를 보내고 10개의 플렉스 센서들 중 하나에 인가된 전압신호를 A 포트를 통해 읽어 들인다.

또한 풋 스위치들의 상태를 읽어 들이기 위해서는 직렬 통신을 위해 사용된 C포트의 일부를 사용하였다. 풋 스위치를 사용하여 음표의 옥타브를 조절한다. 예를 들면, 연주자가 첫 번째 풋 스위치를 밟은 채로 엄지손가락을 구부리면 연주자는 C4 음을 들을 수 있으며, 두 번째 풋 스위치를 밟은 채로 엄지손가락을 구부리면 C5 음을 듣게 되는 것이다. 연주자는 컴퓨터에서 실행되는 응용프로그램에서 각각의 풋 스위치마다 옥타브를 지정할 수 있다. C 포트의 RC7번 핀은 RX (Receive) 포트이며, RC6번 핀은 TX (Transmit) 포트 사용된다. 이와 같이 각각의 포트 그룹들을 설정한 후 EMG 시스템은 컴퓨터로부터 입력되는 컨트롤 신호를 기다리게 되며, PIC 마이크로 컨트롤러에 내장된 프로그램은 메시지에 따라 구동되는 일종의 메시지 루프와 같은 성격을 띤다.

EMG 시스템은 컴퓨터에서 응용프로그램을 실행시킨 후 시스템에 전원이 제공되는 순간부터 컴퓨터로부터 전송되는 컨트롤 신호를 기다리게 된다. 응용 프로그램은 크게 'SerialPort' 클래스와 'Player' 클래스로 구성된다. 이 두 클래스는 C++ 언어의 객체 개념을 이용해서

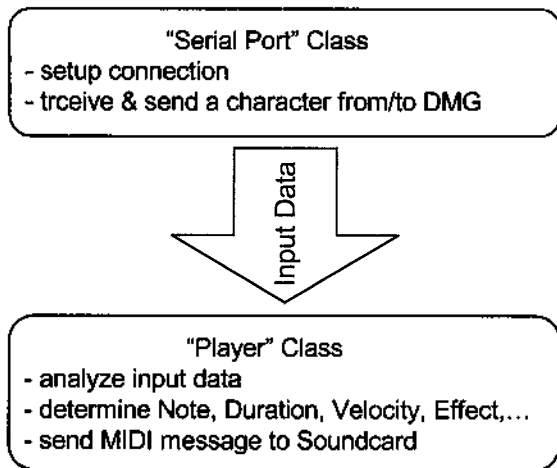


그림 4. 컴퓨터 측에서 사용되는 두 개의 클래스
Fig. 4. Two classes for C++ program.

디자인되었다. 'SerialPort' 클래스는 컴퓨터와 EMG 시스템간의 통신을 담당하며, 컴퓨터에 부착된 직렬 포트를 통해서 데이터를 송수신한다. 전송속도는 초당 2400 바이트이며 이것은 EMG 시스템으로부터 입력되는 연주자들의 연주 정보를 처리하기에 충분한 시간이 된다.

'Player' 클래스는 EMG 시스템으로부터 입력되는 신호들을 분석하고, 그에 해당하는 음표 (Note)와 음표의 길이 (Duration), 그리고 음표를 누르는 속도 (Velocity), 그리고 그 음표에 적용될 음악적 효과들의 파라미터들을 결정한다. 또한, 'Player' 클래스에서는 데이터베이스 시스템을 이용해서 이전에 연주한 음악을 MIDI 파일 (Standard MIDI File)로 저장하고 재생시킬 수 있는 기능을 제공한다.

'Player' 클래스에서는 음표의 길이를 결정하기 위해서 응용 프로그램은 시스템 시간을 사용한다. 즉, 첫 번째 음표와 두 번째 음표 사이의 시스템 시간 값은 첫 번째 음표의 길이로 저장된다.

음표의 속도는 손가락이 구부러지는 순간, 신호의 변화 폭을 관찰하여 결정할 수 있다. 손가락이 구부러지면, 그 속도는 느리거나 빠를 수 있다. 응용 프로그램에서는 각각의 손가락마다 30개의 연속적인 데이터 샘플들을 순차적으로 저장함으로써 샘플들간의 변화 폭을 관찰하여 음의 속도를 결정한다. 이러한 데이터들을 이용하여 입력된 데이터를 MIDI 메시지로 변환하고 사운드 카드의 음원을 이용하여 결정된 음표를 스피커로 출력한다.

2.2. 시스템의 동작원리

컴퓨터와 EMG 시스템간의 데이터 통신은 컴퓨터의 COM1 포트와 PIC 마이크로 컨트롤러의 RC6, RC7번 핀을 통해서 이루어진다. 컴퓨터에서 응용 프로그램을 실행시

킨 후, EMG 시스템에 전원을 공급하면 두 장치간에 통신 통로를 연결하게 되며, 이 두 장치가 성공적으로 연결이 되면 컴퓨터의 응용 프로그램에서 보내는 'Are you ready?' 메시지에 EMG 시스템에서는 'I am ready' 메시지로 응답하게 된다. 다음으로 컴퓨터의 응용 프로그램에서는 현재 플렉스 센서들의 상태를 읽어 들이기 위해 현재 각 플렉스 센서들에 걸려있는 전압신호 샘플들을 보내달라는 'Send samples' 메시지를 MAX232C 전압 변환기를 통해 PIC 마이크로 컨트롤러로 전송하게 된다. 이 메시지에 응답하기 위해 EMG 시스템은 'Acknowledge' 메시지를 컴퓨터로 전송한 후, 샘플 데이터들을 직렬 통신 프로토콜을 이용하여 컴퓨터로 전송하고, 전송이 완료된 후 'OK' 메시지를 이어서 전송함으로써 샘플 데이터들의 전송 완료를 컴퓨터에게 알린다.

위와 같은 과정들을 거친 후 컴퓨터의 응용 프로그램을 이용하여 각각의 손가락에 MIDI 악기들을 배치하고, 여러 가지 음악적 효과들을 채널에 설정하며 각각의 풋 스위치가 담당하는 옥타브를 결정한다. 마지막으로 입력받은 샘플 데이터들을 분석하여 열 손가락에 부착된 플렉스 센서들 각각의 현재 평균값을 구한 후 플렉스 센서의 ON/OFF 상태를 결정할 경계 값 (Threshold value)을 결정한다. 즉 경계 값보다 큰 값이 플렉스 센서로부터 입력되면, 그 플렉스 센서에 (그 손가락에) 설정된 음표가 출력되며, 경계 값보다 작은 값이 입력되면 음표의 소리는 나지 않는다.

경계 값을 설정한 후 컴퓨터의 응용 프로그램에서는 'Play now' 메시지를 전송하게 되며, 이 메시지를 수신

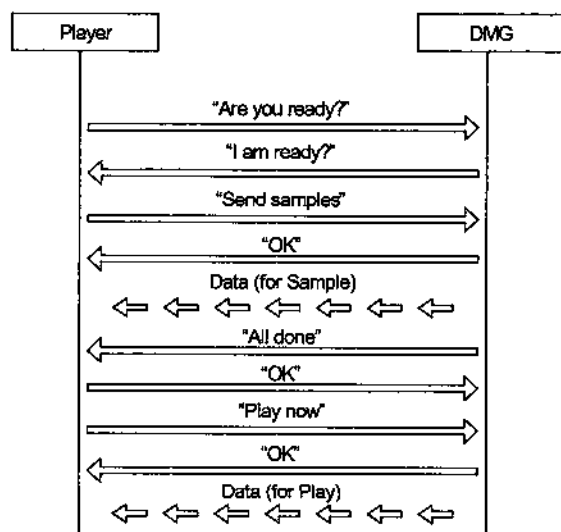


그림 5. 연주자와 EMG 시스템과의 대화
Fig. 5. Overall system operation.

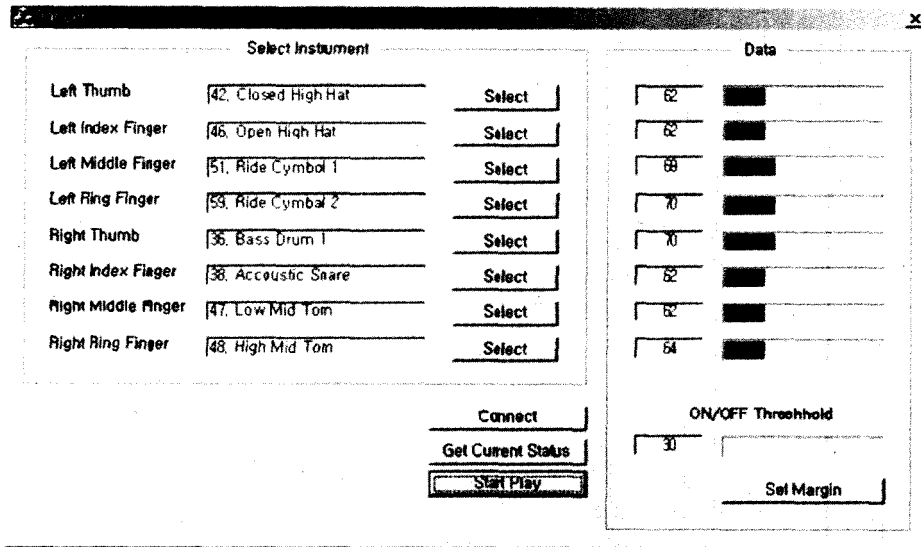


그림 6. 컴퓨터 측의 응용프로그램
Fig. 6. Application program in computer.

한 EMG 시스템에서는 계속해서 플렉스 센서들과 풋 스위치들의 상태를 실시간으로 컴퓨터로 전송하게 되며, 이 데이터들을 분석하여 컴퓨터에서 음악을 연주할 수 있다.

III. 구현 예

본 논문에서는 원칩 마이크로 컨트롤러 (PIC16C73B), 멀티플렉서 (4051), 전압변환기 (MAX232C) 와 10개의 플렉스 센서 (Flex sensor, JAMECO Co.)를 이용하여 디지털 드럼머신 (Digital drum machine)을 구현하였다. 이 디지털 드럼머신은 각 손가락에 47개의 미디 드럼 셋 악기 중 하나를 지정하여 손가락의 움직임에 따라 드럼을 연주하는 효과를 낼 수 있다. 악기 소리의 크기는 손가락이 굽혀지는 속도를 분석하여 제어할 수 있으며, 이 소리의 길이는 첫 번째 소리와 두 번째 소리의 간격으로 결정된다.

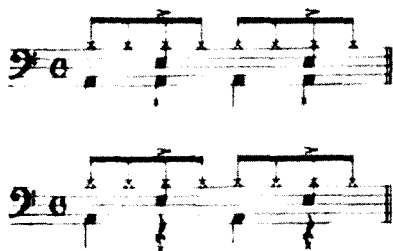


그림 7. 드럼 연주를 위한 간단한 패턴
Fig 7. Simple music pattern for drum kit.

첫 번째로 연주자는 그림 6에 나타난 'Connect' 버튼을 선택함으로써 컴퓨터와 EMG 시스템의 직렬 통신 포트를 연결시킨다. 다음으로 'Data Box' 안의 'Set Margin' 버튼을 선택함으로써 각 손가락에 부착된 플렉스 센서의 ON/OFF 상태를 결정하는 경계 값을 결정한다. 마지막으로 각 손가락에 47개의 미디 드럼 셋 악기 중 하나를 각각 지정하고 'Start Play' 버튼을 선택한 후부터는 EMG 시스템에서 컴퓨터로 전송되는 데이터를 MIDI 메시지로 변환하여, 드럼 연주를 하게 된다. 그림 7은 실험에 사용된 드럼 패턴이다.

IV. 결론

실시간 연주가 가능한 전자 음악장갑을 개발하고 디지털 드럼 머신 (Digital drum machine)을 구현하였다. 이 시스템은 컴퓨터 내의 사운드 카드를 제어함으로써 여러 종류의 악기를 다양하게 연주할 수가 있으며, 각종 음악 교육 현장에 활용할 수가 있다. 앞으로 이러한 시스템들을 네트워크로 연결하여 오케스트라로 구성할 수 있도록 연구 중이다.

감사의 글

본 연구는 정보통신부의 정보통신 우수시범학교 지원 사업의 지원으로 수행되었음.

참고 문헌

1. J. A. Paradiso, "Electronic Music: new ways to play," *IEEE Spectrum*, pp. 18-30, 1997.
2. S. Fels, K. Nishimoto, and K. Mase, "Musikalscope: a graphical musical instrument," *IEEE Multimedia*, vol. 5-3, pp. 26-35, 1998.
3. M. Balaban and S. Irish, "Automatic jazz accompaniment computation: an open advice-based approach," *Computer Systems and Software Engineering, Proc. of the 7th Israeli Conf.*, pp. 67-76, 1996.
4. M. Goldstein, "Gestural Coherence and Musical Interaction Design," *IEEE, Menlo Park, California, U.S.A.*, pp. 1076-1079, 1998.
5. H. Morita, S. Hashimoto and S. Ohteru, "A Computer Music System that Follows a Human Conductor," *IEEE, Waseda University, Tokyo, Japan*, pp. 44-53, 1991.
6. L. Tarabella, M. Magrini, and G. Scapellato, "Devices for Interactive Computer Music and Computer Graphics Performances," *IEEE, Computer Music Lab. Of CNUCE/C.N.R, Pisa, Italy*, pp. 65-70, 1997.
7. R. B. Knapp and H. S. Lusted, "A Real-Time Digital Signal Processing System For Bioelectric Control of Music," *IEEE, Stanford University, CA, U.S.A.*, pp. 2556-2557, 1988.
8. P. Messic, *Maximum MIDI Manning*, Greenwich, Chap. 3-7, pp. 31-103, 1998.
9. 신철호, "PIC 마이크 걸라잡이," 성안당, 1996.

저자 약력

● 이 창 원 (Changwon Lee)

1974년 4월 19일생
 2000년: 울산대학교 컴퓨터정보통신공학부 (공학사)
 2002년: 울산대학교 컴퓨터정보통신학과 (공학석사)
 ※ 주관심분야: 디지털 신호처리, 디지털 신호압축, 컴퓨터음악

● 정 의 필 (Uipil Chong)



1951년 9월 10일생
 1978년: 울산대학교 전기공학과 (공학사)
 1980년: 고려대학교 전기공학과 (공학석사)
 1985년: 미국 Oregon State University (공학석사)
 1997년: 미국 Polytechnic University (공학박사)
 1997년 ~ 현재: 울산대학교 컴퓨터정보통신공학부 부
 교수
 ※ 주관심분야: 신호처리, 데이터압축, 컴퓨터음악