

전자건반악기를 이용한 악기 자율학습기 개발

임기정[†], 이정철^{**}

요 약

본 논문에서는 초등학교 저학년 학생들이 쉽고 효율적으로 건반악기 연주 방법을 학습할 수 있도록 개발한 악기 자율학습기를 설명한다. 개발한 악기 자율학습기는 PC기반의 학습 소프트웨어와 외장 전자건반악기 모듈로 구성된다. 우리는 USB 인터페이스를 적용한 전자건반악기와 PC용 S/W를 연동하여 악기 연주에 필요한 정보를 PC 화면에 제공하는 기능과 타자연습과 유사한 형식의 게임을 통해 학습내용을 재미있게 복습하는 기능을 구현하였다. 개발한 외장 전자건반모듈은 USB 인터페이스를 통하여 PC로부터 선택적으로 악기연주 안내정보를 수신하여 LED 및 7-세그먼트에 표시해줌으로써 초보자들이 쉽게 악보 내 음계와 건반의 상관관계를 숙지할 수 있도록 하였다. 또한 사용자가 건반을 잘못 눌렀을 때 이를 감지하여 LED와 PC 화면에 안내정보를 출력하도록 구현하였다. 구현된 악기 자율학습기를 이용한 악보 연주 실험을 통하여 학습효율이 향상됨을 확인하였다.

Development of a Self Instrument Learning Tool Using an Electronic Keyboard and PC Software

Gi-Jeong Lim[†], Jung-Chul Lee^{**}

ABSTRACT

In this paper, we propose a self instrument learning tool using a PC-based software and an external electronic keyboard instrument with USB interface to help primary school students to learn playing piano more easily and effectively. The PC-based learning software and the external electronic keyboard instrument interact through the USB interface. This tool has a help window to provide information how to play and support interesting game mode for exercise. The external electronic keyboard instrument receives a selective information through the USB interface and display it on LEDs and 7-segment for novices to easily know the relation between the notes and the positions in the keyboard. The external keyboard instrument can detect false inputs, display them on LEDs and on the information window. We implemented a self instrument learning system and our feasibility tests showed its validity of the self learning tool to improve the learning efficiency.

Key words: Self learning system(자율학습기), Electronic Keyboard Instrument(전자건반악기), Music learning(음악학습)

※ 교신저자(Corresponding Author): 이정철, 주소: 울산광역시 남구 대학로 93 울산대학교 컴퓨터정보통신공학부 (680-749), 전화: 052)259-1269, FAX: 052)259-1687, E-mail: jungclee@ulsan.ac.kr
접수일: 2011년 10월 31일, 수정일: 2012년 1월 2일
완료일: 2012년 1월 17일

[†] 준회원, 울산대학교 컴퓨터정보통신공학부
(E-mail: gadama2@gmail.com)

^{**} 정회원, 울산대학교 컴퓨터정보통신공학부

※ 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2011-0015125)

1. 서론

최근 연구에 따르면 음악 교육을 받은 학생의 수학, 읽기, 과학, 사회 점수가 훨씬 좋았으며 사회·경제적 지위 또한 학업 성취와 상관도가 크다는 연구결과가 있다[1]. 그리고 음악을 감상할 때 학생들의 맥박 변화를 조사하여 음악 학습이 주는 긍정적인 효과를 입증한 연구도 진행되었다[2]. 이렇듯 중요한 음악 학습을 위해 학생들에게 흥미와 학습의욕을 유발할 수 있는 교육환경을 제공하는 방법에 대한 연구가 필요하다. 교육환경과 관련하여 전자기기를 이용한 학습자 중심의 교육이 학습자의 수준에 따른 학습을 유도할 수 있어 우수한 교수 학습방법이 된다는 연구결과가 발표되었다[3]. 학습자 중심 교육은 학습자들이 수동적으로 지식을 전달 받기보다는 능동적으로 자기 수준에 맞는 학습 내용을 선택하여 자신의 학습 방식과 속도, 수준에 맞게 학습할 수 있도록 지원한다. 따라서 음악교육 분야에서 효율적으로 자율 학습을 지원하기 위해서는 IT기술이 접목된 전자악기와 같은 교육지원 장치의 개발이 필요하다.

현재 전자악기 개발을 위해 악기 모델링 연구와 전자악기 인터페이스 연구가 활발히 진행되고 있다. 디지털 악기 모델링에 관련된 연구는 악기의 소리 발생 모델을 source-filter 디지털 모델로 표현하고 수학적 모델의 파라미터들을 실제 악기 소리로부터 추정된 뒤, 합성시 제어함으로써 전자악기의 연주 소리를 구현하는 방식으로 진행되고 있다[4-7]. 그리고 전자악기와 관련된 인터페이스들에 관련된 연구를 포함하여 많은 회사에서 MIDI (Musical Instrument Digital Interface) 관련 제품들과 소프트웨어들이 출시되고 있다[8-12]. 또한 학습자가 웹사이트에서 접속하여 음악 교육 자료를 이용한 이론 학습과 MIDI 파일을 이용한 청취 학습을 할 수 있는 자기주도적인 음악학습에 대한 연구도 진행되었다[13-14]. 악보를 XLM (eXtensible Markup Language)로 표현하는 방법을 이용한 연구와 패트리 넷을 이용한 아코디언 연주 모델 연구도 진행된 바 있다[15,16].

그러나 기존의 상용 전자악기나 악보편집 및 연주 소프트웨어는 고가이므로 쉽게 접하기 어렵고, 상호호환/연동이 어려우며, 전문가용이므로 초보자가 쉽게 악기 연주를 자율학습하기 어려운 실정이다. 그리고 가정에 널리 보급되어 있는 PC를 기반으로 개발된 온라인 혹은 오프라인 상에서 동작되는 악보편집

및 연주 소프트웨어의 경우, 컴퓨터 키보드 입력을 사용하므로 악기 연주 학습에 부적합하며, 자율학습에 필요한 정보를 제공하는 기능이 없다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 저렴한 가격으로 구현 가능한 외장 전자건반악기 모듈을 설계하였고, USB (Universal Serial Bus) 인터페이스를 이용하여 PC의 악기 자율학습 소프트웨어와 연동되는 악기 자율학습기를 제안한다. 자율학습 소프트웨어는 음악의 원론적인 이론뿐만 아니라 게임을 통하여 자신이 연주를 통해 구성한 악보를 다시 한번 따라 연주해 볼 수 있고, 박자감을 향상시킬 수 있으며, 다양한 음악 콘텐츠들을 통해 학습할 기회를 제공해 줄 수 있다. 또한 전자건반악기에 LED와 7세그먼트를 통해 운지법과 연주해야 할 건반의 위치정보를 제공하여 학습효과를 더욱 증진시켰다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 학습 시스템의 개요를, 3장에서는 PC기반의 학습 소프트웨어 구현방법, 4장에서는 학습을 위한 전자건반악기의 구현방법, 5장에서는 구현 및 실험결과를 마지막으로 6장에서는 결론을 기술 하였다.

2. 전자건반악기를 이용한 음악 자율학습 시스템 개요

본 논문이 제안하는 건반악기 연주 자율학습기는 그림 1과 같이 PC기반 학습 소프트웨어와 외장 전자

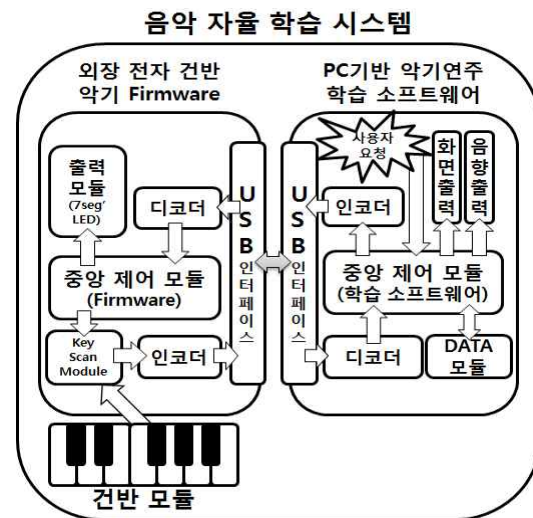


그림 1. 음악 자율학습 시스템 블록도

건반악기로 구성된다. PC기반 악기 연주 자율학습 프로그램은 외장 전자건반 악기와 연동하여 사용자에게 건반악기 연주학습에 필요한 정보를 실시간으로 제공한다. 그리고 사용자의 건반악기 연주상태를 실시간 인식해서 정오 정보를 표시해줌으로써 초보자도 쉽게 악기 연주를 자율학습할 수 있도록 구성되어 있다.

PC기반 학습 소프트웨어는 세 가지 주요기능을 제공한다. 첫째, 음계, 음계와 음길이, 마디단위, 악절 단위, 전곡단위와 같이 단계별로 악기 연주를 학습하거나 게임을 통해 학습할 수 있도록 GUI (Graphic User Interface)와 PC MIDI를 이용하여 연주학습 기능을 제공한다. 둘째, 학습 및 게임과정에서 20ms주기마다 해당 음표에 대한 악기 연주 안내 정보 패킷(눌러야 할 전자건반악기 위치정보, 손가락 및 손위치 정보)을 인코딩한 뒤, USB 인터페이스를 통하여 외장 전자건반악기로 전달하는 기능을 수행한다. 셋째, 사용자가 건반을 잘못 눌렀을 경우 화면에 안내 정보를 출력하는 기능을 제공한다.

이러한 기능들을 구현하기 위하여 학습 소프트웨어는 중앙제어모듈, 화면출력모듈, 음향출력모듈, 데이터관리모듈, 인코더, 디코더로 구성된다. 중앙제어모듈은 내부적으로 학습 엔진과 게임엔진을 가지도록 하여 학습과 게임을 관리하고 사용자 입력데이터를 처리하도록 설계하였다. 화면출력모듈은 학습용 악보를 출력하고, 전자건반악기로부터 사용자 연주 정보를 전달받아 학습용 악보 상의 해당 음표와 비교하여 다른 건반을 누른 경우는 적색, 바른 건반을 누른 경우는 청색으로 음표를 표시한다. 사용자가 마우스로 적색 표시된 음표를 누를 경우 pop-up창을 띄워 올바른 연주방법을 설명하도록 하였다. 음향출력모듈은 사용자가 누른 건반정보를 MIDI 메시지로 변환하고 윈도우 API (Application Programming Interface)를 통해 PC에 내장되어 있는 사운드카드의 MIDI 제어기로 MIDI 메시지를 전달한다. 이러한 과정을 통하여 입력정보에 대응되는 피아노 연주음

을 발생시켜 오디오 출력장치로 출력시킨다. 인코더는 학습중인 음표정보와 사용자 안내정보를 외부 전자건반악기용 정보 패킷으로 변환시키며, 디코더는 외부 전자건반악기로부터 입력받은 연주자의 건반 입력 정보를 옥타브와 음계정보로 변환한다.

외장 전자건반악기는 세 가지 주요 기능을 제공한다. 첫째, PC로부터 전달받은 악기 연주 안내 정보를 이용하여 눌러야 할 건반의 위치를 LED로 표시하고, 연주할 손(왼손, 오른손)과 손가락 번호를 7-segment로 표시하는 기능을 제공한다. 둘째, 키탃지 방식을 이용하여 사용자의 건반 입력정보를 읽고, 읽어들인 정보를 정보 패킷으로 인코딩하여 USB 인터페이스를 통해 PC로 전달하는 기능을 가진다. 셋째, USB 인터페이스를 통해 PC에서 전달받은 악기 연주 안내 정보와 사용자의 건반 입력정보를 비교하여 정입력된 위치는 녹색 LED로, 오입력된 위치는 붉은색 LED로 출력하는 기능을 수행한다.

이러한 기능들을 구현하기 위한 외장 전자건반악기는 중앙제어모듈, 출력모듈, 키탃지 모듈, 인코더, 디코더로 구성된다. 중앙 제어모듈은 PC로부터 전달받은 패킷데이터에서 해당 음표의 악기 연주 안내에 필요한 LED 제어정보를 추출하고, 표 1과 같이 학습 소프트웨어의 메뉴에서 사용자가 선택한 안내정보 종류에 따라 LED 출력 정보를 생성한다.

전체적인 시스템의 연동 동작과정은 다음과 같다. PC기반 학습 소프트웨어를 구동시키면 학습 엔진은 학습에 필요한 음악 기초이론 정보와 학습에 이용되는 악보정보를 화면출력모듈로 전달한다. 악보정보는 데이터모듈로부터 전달받는다. 학습할 음표의 정보는 인코더로 전달하여 정보 패킷으로 변환한 후 USB 인터페이스를 통해 외장 전자건반악기로 전달한다.

외장 전자건반악기는 USB 인터페이스를 통해 PC로부터 데이터를 수신한다. 그리고 수신된 데이터로부터 학습하고자 하는 음표의 건반 위치와 연주시 사용할 손과 손가락 정보, LED 제어정보를 추출한

표 1. 연주안내 정보의 종류

메뉴	내용	비고
건반 위치 안내	악보상의 대상 음표에 해당하는 건반의 위치를 LED로 안내	ON / OFF
연주 정오 안내	악보상의 대상 음표와 누른 건반을 비교한 결과를 LED로 안내	ON / OFF
연주 방법 안내	연주할 손(왼손, 오른손)과 손가락 번호를 7-segment로 표시	ON / OFF

다. 중앙 제어 모듈은 추출된 결과를 출력 모듈로 전달하여 해당 건반의 빨간색 LED를 켜고, 7-segment에 연주에 사용되는 손과 손가락 위치를 출력한다. 키탐지 모듈은 전자건반 모듈의 입력정보를 읽는다. 입력된 건반누름 정보는 중앙 제어 모듈과 인코더로 전달된다. 중앙 제어 모듈은 학습용 악보 상의 해당 음표와 비교하여 다른 건반을 누른 경우는 붉은색 LED, 바른 건반을 누른 경우는 녹색 LED가 켜지도록 LED 제어정보를 생성하여 출력모듈로 전달한다. 인코더는 현재 연주자의 입력정보를 정보 패킷으로 변환하여 USB 인터페이스를 통해 PC로 전달한다.

PC에서는 USB 인터페이스를 통해 외장 전자건반 악기로부터 데이터를 수신한다. 그리고 수신된 데이터로부터 옥타브와 음계정보와 같은 연주자의 입력정보를 분석하여 학습엔진으로 전달한다. 기존과 다른 입력일 경우 학습엔진은 음계정보와 옥타브 정보를 융합 출력모듈로 전달하여 새로운 MIDI 메시지를 구성하도록 한다. 그리고 화면 출력모듈에 출력위치와 정오 정보를 전달하여 연주자의 입력이 맞을 경우 음표를 파란색으로 표시하고, 틀릴 경우 붉은색으로 표시되도록 구현하였다.

학습과정은 앞서 설명한 흐름으로 단계적인 학습과 게임을 통한 학습이 이루어진다. 이때 학습 과정의 단계와 안내정보의 수준은 사용자가 자신의 학습 수준에 맞추어 선택할 수 있고 pop-up창을 통한 연주방법 설명을 보지 않도록 설정할 수 있다.

3. PC기반 학습 소프트웨어 설계

3.1 중앙제어모듈 설계

3.1.1 학습엔진 설계

학습 엔진은 Dialog box기반의 악보 편집기에 ‘학습모드’ 버튼을 생성하고 이 버튼을 누를 경우 학습엔진이 활성화되도록 설계하였다. 학습창은 그림 2와 같이 학습환경 설정화면과 건반표시 화면으로 구성되어 있다.

설정부는 안내수준, 시작 단계, 게임모드 등의 설정을 처리하는 기능을 한다. 학습환경 설정화면의 안내기능 설정은 외장 전자건반악기의 7-segment와 LED를 이용하여 제공되는 건반위치, 정오정보, 연주에 사용하는 손과 손가락 정보의 안내기능 활성화/비활성을 설정할 수 있다. 그리고 pop-up 창으로 표시

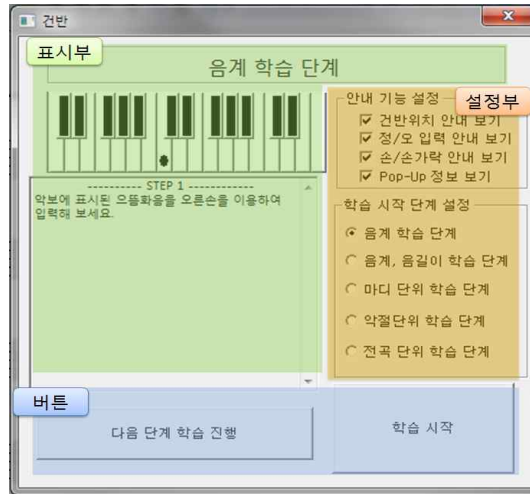


그림 2. 건반 학습기 구성

되는 오입력 교정안내 정보의 활성화/비활성을 설정할 수도 있다. 교정안내 정보는 오입력된 부분의 음계정보와 각 음표를 연주할 손과 손가락 정보로 구성된다. 설정부의 시작단계 설정은 학습자가 자신의 수준에 따라 하위단계를 생략하고 자신이 원하는 단계에서 학습을 시작할 수 있도록 radio box를 이용하여 1, 2, 3, 4, 5 단계 중 하나를 선택하도록 구성하였다. 설정부의 나머지 안내정보(운지법안내, 입력건반위치 안내, 정오정보안내) 설정값은 정보 패킷 변환과정에 사용되어 외장 전자건반악기로 전달될 수 있도록 설계하였다.

표시부는 가상의 전자건반악기, 단계, 학습정보, 게임점수 등을 표시하는 기능을 한다. 표시부의 학습정보 표시부는 편집 제어를 이용하여 데이터 관리 모듈로부터 학습정보를 전달받아 정보창에 표시하고 학습 진행 이벤트에 의해 내용이 갱신될 수 있도록 하였다. 단계 표시부는 단계별로 진행되는 학습에 대한 정보로써 사용자가 현재 진행되는 단계를 인지할 수 있도록 구성하였다. 가상 건반은 화면 출력 모듈을 통해 제어되며 사용자의 외장 전자건반악기 입력정보를 PC상에 나타내 주고, 안내 수준 설정에 따라 가상 건반의 정오 위치에 붉은색과 파란색으로 표시되는 입력의 정오표시 기능을 활성화/비활성화할 수 있도록 설계하였다.

2종류의 버튼은 지정된 이벤트를 발생시키는 기능을 하도록 구성하였다. 2가지 버튼 중 학습시작 버튼은 학습정보를 읽어 들이는 시작 이벤트를 발생시

킨다. 학습 진행버튼은 다음단계로 진행하기 위한 이벤트를 발생시킨다. 학습 진행 이벤트가 발생하면 학습단계 표시부의 정보와 학습정보의 내용을 갱신하고 악보편집기에 다음 학습단계에 해당하는 음표수만큼 악보 편집기 상에 출력하도록 구현하였다.

3.1.2 게임엔진 설계

게임엔진은 악보편집기에 'Game1', 'Game2'버튼을 추가로 생성하며 버튼을 누를 경우 활성화된다. 게임엔진은 음표단위로 음계와 음길이를 맞추는 게임과 전곡연주 게임과 같이 2가지로 구성되어 있다. 음표단위 게임은 그림 3과 같은 흐름을 가진다. 음표는 하나씩 연주되며 연주된 내용이 악보와 같은 길이, 같은 음계로 정확하게 일치할 경우 게임점수를 가산하도록 구현하였다.

전곡 연주 게임의 흐름도는 그림 4와 같다. 전곡 연주 게임은 악보편집기 상에 구성된 악보를 컴퓨터가 연속적으로 연주하는 동안 연주자가 외장 전자건반악기를 통해 연주되는 음표의 음계와 음길이를 오차 값 이내로 입력하면 점수가 가산되도록 설계하였다. 음길이가 긴 음표일수록 초과 입력 혹은 미달 입력에 의한 절대 오차가 커지는 문제점이 발생하므로 각 음표별 표준 길이의 1/4 에 해당하는 길이를 허용 오차 값으로 적용하여 정오를 판단하였다. 정오의 판단에 따라 오입력된 음표는 붉은색 음표로 변경하고 정입력된 음표는 파란색 음표로 표시하여 연주자가 쉽게 정오를 알 수 있게 하였다.

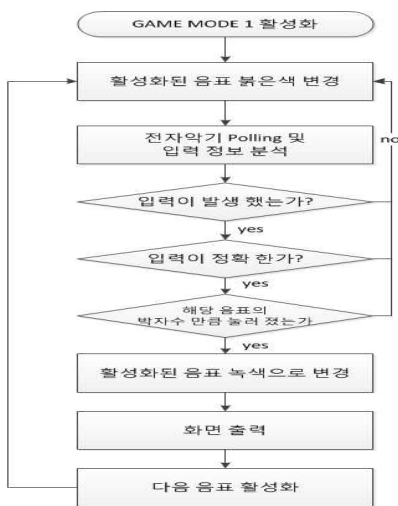


그림 3. Game mode 1 흐름도

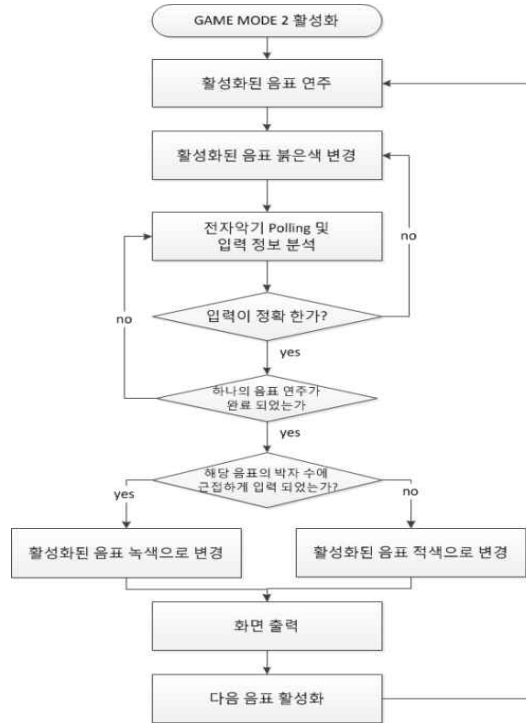


그림 4. Game mode 2 흐름도

3.2 인코더/디코더 설계

인코더는 학습 음표 정보를 외장 전자건반악기로 전달하기 위한 정보 패킷으로 변환하는 기능을 한다. 인코더는 음계정보와 옥타브 정보로 구성된 음표 정보, 안내정보를 그림 5와 같은 구조의 정보 패킷으로 변환한 뒤, 음표 지속시간 동안 20ms 주기로 USB 인터페이스를 통해 외장 전자건반악기에게 정보 패

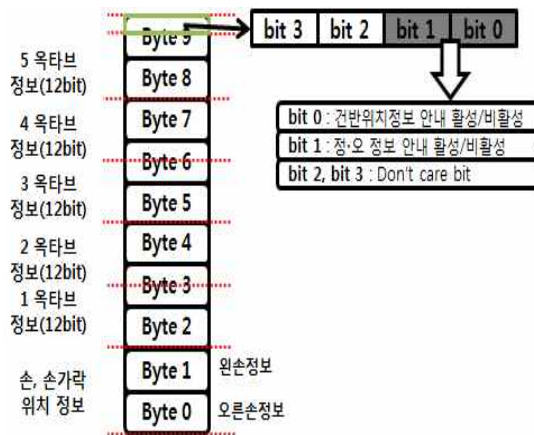


그림 5. 정보 패킷의 세부 구조

킷을 전달하여 LED를 통한 건반 위치안내와 연주에 사용할 손, 손가락 정보를 출력한다. USB 인터페이스를 통해 정보를 전달하기 위해서는 하나의 패킷으로 전달해야 한다.

정보 패킷은 화음 입력이 가능한 악기를 수용할 수 있도록 확장성을 위해 5옥타브를 처리할 수 있는 구조로 설계하였다. 음표의 옥타브와 음계정보는 옥타브별로 할당된 12 bit내의 음계에 대응되는 bit를 1로 설정하여 작성한다. 또한 표 1과 그림 2에서 나타낸 바와 같이 건반위치 정보안내, 정오 정보안내와 같은 연주안내 정보 설정에 따라 패킷 내에 그림 6과 같이 설정값을 byte9의 상위 nibble에 저장한다. 안내정보의 설정값 중 손가락과 손위치 정보의 값은 정보 패킷의 최하위 2byte를 통해 변환정보가 저장된다. 손과 손가락 안내 설정이 비활성화 상태일 경우 해당 2byte는 항상 0값을 가지며 활성화 상태일 경우 표 2와 같이 손가락마다 지정되어 있는 bit를 1로 설정한다. 2byte중 상위 byte는 왼손의 손가락 정보값이 저장되고, 하위 byte는 오른손의 손가락 정보가 저장된다.

디코더는 전자건반악기의 표시 정보를 정보 패킷으로부터 분석하는 기능을 한다. PC의 학습 프로그램은 연주자의 입력정보만 필요하므로 외장 전자건반악기로부터 PC에 전달되는 정보 패킷은 안내정보 bit들과 손가락 위치정보에 해당되는 2byte정보는 처리할 필요가 없다. 디코더는 비대상 bit들을 제외한 정보 패킷으로부터 연주자가 입력한 음계정보와 옥타브 정보를 추출한다.

표 2. 비트별 손가락 번호

bit 위치	지정된 손가락명	손가락 지정 번호
bit0	엄지	1
bit1	검지	2
bit2	중지	3
bit3	약지	4
bit4	소지	5

3.3 데이터 관리 모듈 설계

데이터 관리 모듈은 학습과정에서 사용되는 악보 정보, 손과 손가락위치 정보, 학습에 필요한 설명 정보들을 관리한다. 데이터 관리 모듈은 학습엔진이 활성화되면 악보정보를 읽어 들여 음표 class들의 list

로 구성하고, 학습정보의 경우 악보와 같은 파일명으로 확장자만 '.teach'인 파일에 대한 파일 포인터를 통해 순차적으로 처리한다. 학습과정은 순차적으로 진행되고 악보 상에 표현되는 음표들은 단계에 따라 변동이 많다. 따라서 데이터 양은 많지만 부분적인 접근이 이루어지는 학습정보의 경우 부분적으로 악보 상에 표현된 음표에 해당하는 정보만을 파일 포인터를 통해 읽어 들이도록 하였다. 이때 '.teach'파일은 미리 작성된 상태여야 하며 파일이 존재하지 않으면 아무 정보도 표시되지 않는다.

학습정보 파일은 라인 단위로 읽어 들이며 표 3과 같은 토큰 정보를 통해 내용을 구분한다. 학습정보 파일의 각 라인은 악보의 음표순서와 쌍을 이루도록 구성하였다. 따라서 음표 순번에 해당하는 학습정보의 내용은 학습정보 파일의 음표 순번의 라인을 통해 접근할 수 있도록 설계하였다.

표 3. 정보파일의 토큰

토큰기호	기 호 설 명
\$	설명
@	개행 문자
#	추가 설명
!	손가락 위치 정보
기본포맷 : \$ 설명1[@]설명2! 손가락 위치정보(숫자10개)[# 추가정보] ※[] : 생략 가능함을 의미	

4. 외장 전자건반악기 설계

외장 전자건반악기는 세 가지 주요 기능을 제공한다. 첫째, PC로부터 전달받은 악기 연주 안내 정보를 이용하여 눌러야 할 건반의 위치를 붉은색 LED로 표시하고, 연주할 손(왼손, 오른손)과 손가락 번호를 7-segment로 표시하는 기능을 제공한다. 둘째, 키담지 방식을 이용하여 사용자의 건반 입력정보를 읽고, 이를 정보 패킷으로 인코딩하여 USB 인터페이스를 통해 PC로 전달하는 기능을 가진다. 셋째, USB 인터페이스를 통해 PC에서 전달받은 악기 연주 안내 정보와 사용자의 건반 입력정보를 비교하여 정입력된 위치는 녹색 LED로, 오입력된 위치는 붉은색 LED로 출력하는 기능을 수행한다.

외장 전자건반악기는 그림 12와 같이 초등학교

으로 시판되고 있는 3 옥타브 멜로디언을 기반으로 하여 세가지 기능을 수행하도록 제작되었다. 옥타브 1, 2 부분은 각각 흰 건반 7개, 검은 건반 5개로 구성되며 옥타브 3부분은 /도, 레, 미, 파/의 흰 건반 4개, /도#, 레#/의 검은 건반 2개로 구성되어 모두 30개의 건반을 사용한다. 각 건반에는 연주정보 안내를 위해서 이색 LED를 설치하고, 건반 누름을 감지할 수 있도록 스위치를 건반 아래에 설치하였다. 그리고 전자 건반악기 상단에 연주시 사용하는 좌/우 손가락 번호를 표시하기 위해 4자리 7-segment 2개를 부착하였다. 외장 전자건반악기를 제작을 위해서 MCU (MicroController Unit)로 PIC18F4550 40핀-PDIP을 사용하며, 입출력 장치용으로 MAX7219, 4자리 7segment, 적색 LED, 녹색 LED, 스위치 등을 사용하여 설계하였다.

MCU로 사용되는 PIC18F4550 소자는 최저 1.5 MB/s, 최대 12Mb/s 전송속도의 USB 2.0 통신용 On-chip USB 송수신도 지원하므로 별도의 모듈 없이 USB 통신을 쉽게 구현할 수 있다. 그리고 총 34개의 GPIO 핀이 있는데 이 중에 리셋 입력, USB 통신, 외부 크리스탈 입력핀을 제외한 30개의 핀을 LED 제어, 7-segment 제어, 키탐지에 이용할 수 있다. 그러나 30개의 I/O 핀으로는 30*2개의 LED, 8자리의 7-Segment, 30개의 스위치 입력을 1:1로 연결할 수 없다.

본 연구에서는 상기의 문제점을 해결하기 위해서 그림 6, 그림 7과 같이 8자리 7-segment LED 출력 구동칩인 MAX7219 소자 1개씩 사용하여 30*2개의 LED와 8자리의 7-Segment의 출력을 각각 제어하며, MCU는 4개의 I/O 핀을 사용하여 2개의 MAX7219를 제어하는 방식을 사용하였다. 그리고 30개의 건반 입력 정보는 그림 6, 그림 8과 같이 3+12개의 I/O 핀

을 사용하여 키탐지 방식으로 읽어 들이는 방법을 구현하였다.

4.1 중앙 제어 모듈 설계

중앙 제어 모듈은 PIC18F4550 상에서 수행되는 HW, SW로서 그림 7과 같이 구성되며 PC와의 USB 통신, 입출력장치 제어를 담당한다. 중앙 제어 모듈은 그림 6과 같이 구성되는 정보 패킷을 PC로부터 수신하면 먼저 byte0, byte1로부터 오른손, 왼손 별로 연주에 사용되는 손가락 정보를, byte2~byte9로부터 음계정보들을, byte9의 상위 nibble로부터는 연주정보 표시 mode를 추출한다.

표 2와 같이 구성되는 손가락 정보 각각을 7-segment 정보로 변환한 뒤, SEG MAX7219의 DATA, CLK, LOAD 핀과 연결된 MCU의 3개 I/O 핀 (SEG_DATA, MAX_CLK, MAX_ENB)을 제어하여 전자악기 상단에 위치한 7-segment에 출력한다. 이때 왼손 정보는 MAX7219의 내부 DIG0-DIG3 레지스터에 저장하고, 오른손 정보는 DIG4-DIG7 레지스터에 저장한다.

연주정보 표시 모드는 0, 1, 2, 3의 4가지 값을 가지며, 건반에 설치된 30개의 이색 LED를 이용하여 연주정보를 안내한다. 각 건반에 설치된 붉은색/녹색 LED의 on/off는 그림 7과 같이 LED MAX7219의 DATA, CLK, LOAD 핀과 연결된 MCU의 3개 I/O 핀 (LED_DATA, MAX_CLK, MAX_ENB)을 이용하여 제어한다. 이때 적색 LED의 on/off 정보는 MAX7219의 내부 DIG0-DIG3 레지스터에 저장하고, 녹색 LED의 on/off 정보는 DIG4-DIG7 레지스터에 저장한다.

모드가 0일 경우는 LED를 이용한 연주정보를 안내하지 않는다.

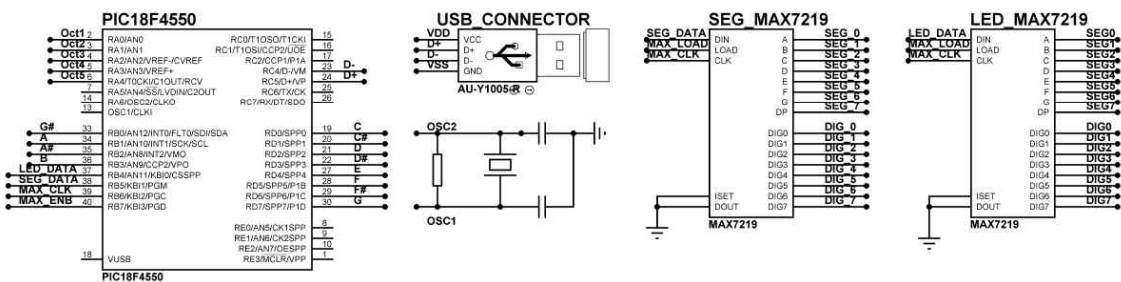


그림 6. 중앙 제어 모듈 회로

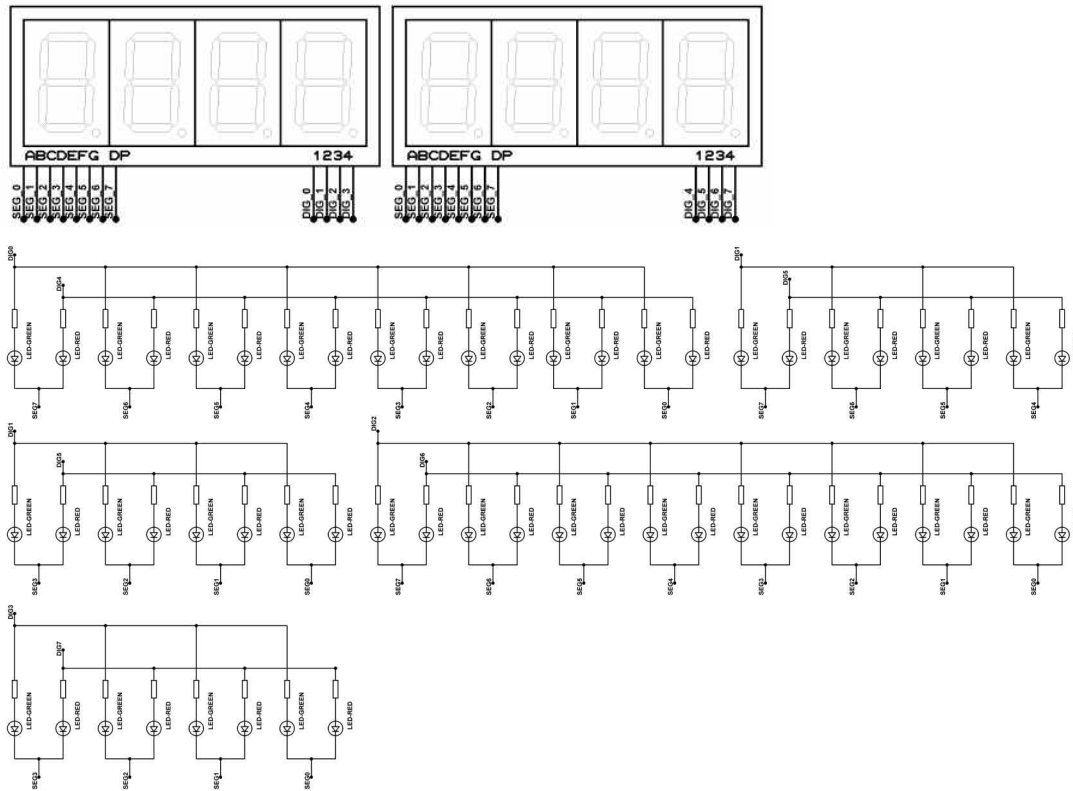


그림 7. 출력 모듈 구조

모드가 1인 경우는 정보 패킷으로부터 추출된 음계정보 데이터를 MAX7219의 내부 DIG0-DIG3 레지스터에 저장하여 이색 LED 중 적색 LED를 켜서 눌러야 할 건반의 위치를 안내한다. 레지스터 번호와 레지스터 내의 bit 번호 조합은 건반의 위치와 1:1로 대응되며 bit값이 1이면 건반을 눌러야 함을 의미하므로 대응되는 건반에 설치된 적색 LED가 on이 된다.

모드가 2인 경우는 전자건반악기의 키탐지를 통해 사용자가 입력된 건반누름 정보를 PC로부터 수신된 정보 패킷에서 추출된 음계정보 데이터와 비교하여 정입력 데이터와 오입력 데이터를 생성한다. 정입력 데이터는 정보 패킷에서 추출한 음계정보와 사용자 입력정보를 AND 연산함으로써 정입력 위치의 bit만 1로 만든다. 오입력 데이터는 사용자 입력정보가 1인 bit에 대해 Exclusive OR 연산함으로써 오입력 위치의 bit만 1로 만든다. 오입력 데이터를 MAX7219의 내부 DIG0-DIG3 레지스터에 저장함으로써 해당 건반의 적색 LED를 on 시킨다. 그리고 정입력 데이터를 DIG4-DIG7 레지스터에 저장함으

로써 해당 건반의 녹색 LED를 on 시킨다.

모드가 3인 경우는 모드 2와 유사하지만 오입력 데이터를 정보 패킷에서 추출한 음계정보와 사용자 입력정보를 전체 Exclusive OR 연산하여 생성하는 점에서 차이가 있다.

4.2 출력 모듈 설계

출력모듈은 MCU가 MAX7219칩을 제어하여 건반에 설치된 30개의 이색 LED와 전자건반악기 상단에 설치된 8자리 7-segment에 출력을 하는 기능을 한다. MAX7219는 공통접지의 7-segment LED를 구동하는 소자로서 8자리까지 출력을 제어한다. 그리고 MCU는 MAX7219와 3선을 이용한 직렬통신 방식으로 최대 64개의 개별 LED도 on/off 시킬 수 있다.

출력모듈 제어를 위한 MCU의 GPIO 사용 핀수를 최소화하기 위하여 그림 6, 그림 7과 같이 MCU와 2개의 MAX7219 소자, 30개의 이색 LED, 그리고 8자리 7-segment을 연결하였다. 이때 MAX7219 제어

입력인 LOAD신호와 CLK신호는 공통으로 사용하고, DATA신호용 I/O pin을 LED, 7-segment 제어에 각각 할당함으로써 전체 4개의 I/O pin으로 전체 출력을 제어할 수 있게 된다. 그림 8과 같이 30개의 붉은색 LED를 MAX7219의 내부 4개의 레지스터 DIG0-DIG3에 1:1로 맵핑시키고, 30개의 녹색 LED를 레지스터 DIG4-DIG7에 1:1로 맵핑시킴으로써 MAX7219가 순차적으로 8개의 byte 정보를 출력하면 LED on/off가 제어된다. 전달받은 왼손 정보는 MAX7219의 내부 DIG0-DIG3 레지스터에 저장하고, 오른손 정보는 DIG4-DIG7 레지스터에 저장함으로써 7-segment에 출력된다.

4.3 키탐지 모듈 설계

키탐지 모듈은 전자건반 입력을 읽어 들이는 기능을 한다. MCU로 사용한 PIC18F4550칩의 GPIO (General Purpose Input/Output)는 총 34개로 구성되어 있다. 이 중에 리셋 입력, USB 통신, 외부 크리스탈 입력을 위한 4개의 I/O 핀과, 출력 모듈 제어하기 위한 4개의 I/O 핀을 제외하면 실제 가용 I/O 핀은 26개가 된다. 따라서 건반악기의 건반마다 I/O를 모두 할당할 수 없다.

본 연구에서는 건반을 누르면 스위치 ON이 되도록 구현된 건반 입력정보를 키탐지 방식으로 읽는 방법을 사용하였다. 그림 6과 같이 MCU의 26개 I/O

핀 중 3개는 옥타브를 식별하기 위해 할당하고, 12개의 핀은 한 옥타브 내의 음계를 식별하기 위해 할당하였다. 옥타브 식별 핀에 순차적으로 1 값을 출력하여 이 값을 음계식별을 위한 12개 핀의 전압으로 사용되도록 하였다. 옥타브 식별 핀의 출력에 따라 변화되는 12개의 음계식별 핀의 값을 읽어 3 옥타브로 구성된 30개의 입력정보를 읽을 수 있다. 5 옥타브로 확장된 건반을 식별할 경우는 옥타브 식별용으로 2개의 I/O 핀을 추가 할당하여 연결하면 연동이 가능한 구조로서 다수 옥타브 영역까지 쉽게 확장할 수 있는 장점이 있다.

4.4 USB 인터페이스 모듈 설계

PIC18F4550 소자 내부에 탑재된 USB 인터페이스를 사용하여 전자건반악기가 PC와 손쉽게 접속하도록 구현한다. PIC18F4550은 USB 상태 레지스터의 ENDP3 -ENDP0 bit를 통해 최대 16개의 양방향 Endpoint를 설정할 수 있고, 각 Endpoint마다 버퍼 크기를 지정할 수 있다. USB RAM의 Bank4-Bank7을 이용하면 각 버퍼 서술자를 포함하여 1Kbyte의 공간을 활용할 수 있다. 버퍼 서술자 지정을 위한 최대공간인 Bank4를 제외한 나머지 Bank5-Bank7을 16등분하여 64byte를 각 Endpoint마다 버퍼 크기로 지정하였다. 또한 PIC18F4550의 특성을 이용함으로써 칩 외부에 별도의 추가 회로 없이 바로 USB통신

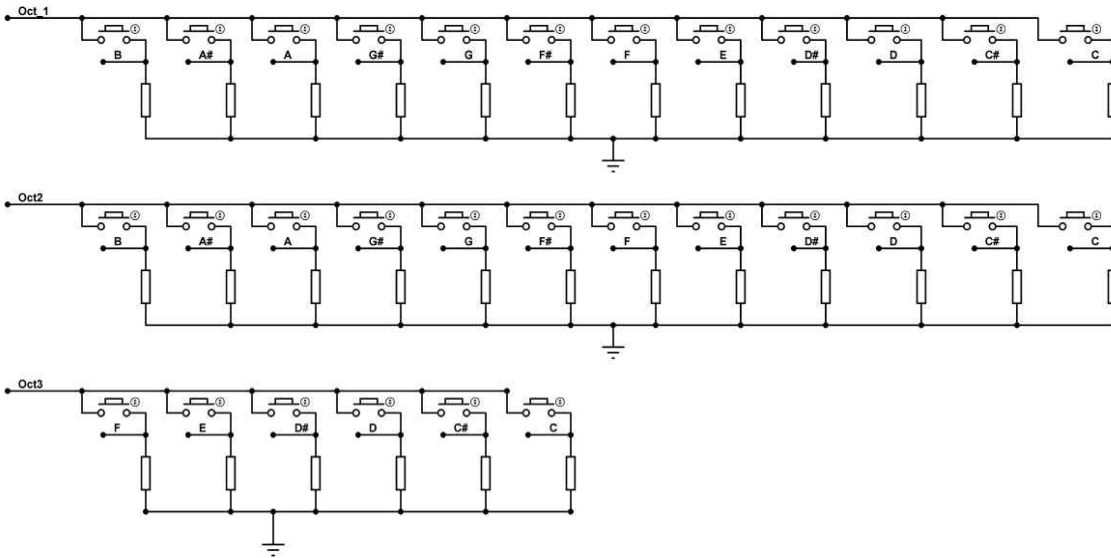


그림 8. 키탐지 모듈 구조

을 구현할 수 있게 되어, 주변회로가 간단해지며 회로구성 공간상의 이점을 추가적으로 얻게 되었다. PC와의 USB통신을 위한 펌웨어를 구현하여 상태 정보를 폴링하고 그 결과를 64 바이트 패킷을 작성하여 버퍼에 저장한다. 그리고 PC로부터 송신요청이 있을 경우 USB 통신을 통해 건반 입력정보를 전송도록 구현하였다.

5. 구현 및 실험 결과

설계된 내용을 바탕으로 PC기반의 학습 소프트웨어 개발은 Microsoft Visual Studio 2008 환경에서 마이크로소프트의 Windows Driver Kit 6001.18001에서 제공하는 UBS API를 활용하여 수행하였다. 외장 전자건반악기용 PIC18F4550 실행파일은 PC 환경의 커로스 컴파일러인 MPLab 7.6을 사용하여 작성하였고 TOPMAX를 사용하여 ROM에 프로그램하였다. 그리고 학습 소프트웨어와 외장 전자건반악기의 연동실험을 통하여 학습프로그램과 firmware의 동작, 외장 전자건반악기의 동작을 확인하였다.

먼저 폴링 주기를 변화시키면서 건반악기를 다루어 본 경험이 있는 대학생 5명을 대상으로 건반 입력과 이에 대한 학습기의 연주음 응답 속도에 대한 이용자들의 만족도 실험을 수행하였다. 폴링 주기는 하드웨어적으로 최대 42us간격을 가질 수 있으나, 윈도우 API함수인 'SetTimer'로 지정 가능한 최소 시간인 1ms부터 100ms까지 주기를 변경하여 실험하였다. 건반을 누름과 동시에 PC에서 연주음이 출력되어 지연감이 느껴지지 않는 경우를 5점 만점으로 설정하고 매우 우수 5점, 우수 4점, 보통 3점, 불만 2점, 아주 불만 1점의 주관 평가를 실시하여 평가한 뒤 응답 속도 만족도의 평균값 결과는 그림 9와 같다. 실험 결과와 소비전력을 고려하여 포화가 시작되는

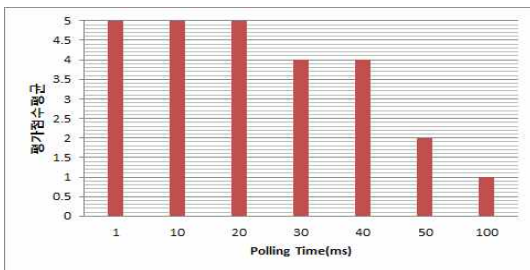


그림 9. 인지 테스트 결과

지점인 20ms을 폴링 주기로 설정하였다.

그리고 키탐지를 수행하였을 때 채터링으로 인한 오입력이 발생하는가에 대한 실험을 수행하였다. 일정시간 동안 건반의 누른 횟수와 폴링 주기로 입력된 데이터 상의 level 변동 횟수를 비교하여 입력 오류발생 여부를 검증하였다. 그림 10과 같이 사용자가 빠르게 건반을 누른 경우에도 최소 2번의 표본화가 이루어지며 건반을 누른 횟수와 PC상에서 인식한 level 변동 횟수가 같은 값을 가지며 입력이 없는 동안 오인식된 경우가 없음을 확인하였다.

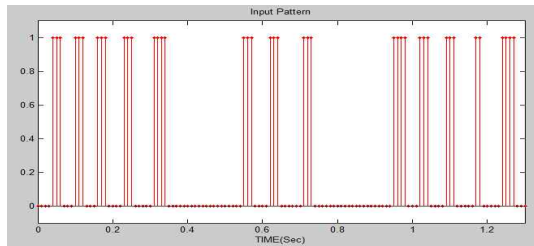


그림 10. 건반 입력 패턴 확인 실험

학습프로그램을 구현한 UI가 설계한 내용대로 연동이 되는지 실험하였다. 연동실험 결과 그림 11과 같이 연주에 필요한 안내정보를 제공하며 연주자가 잘못 입력한 경우 정오입력 내용을 화면상의 가상 건반악기에 푸른색/붉은색으로 표시하였다. 그리고 실제 입력해야 할 내용과 방법을 메시지 상자에 정상적으로 출력함을 확인하였다.

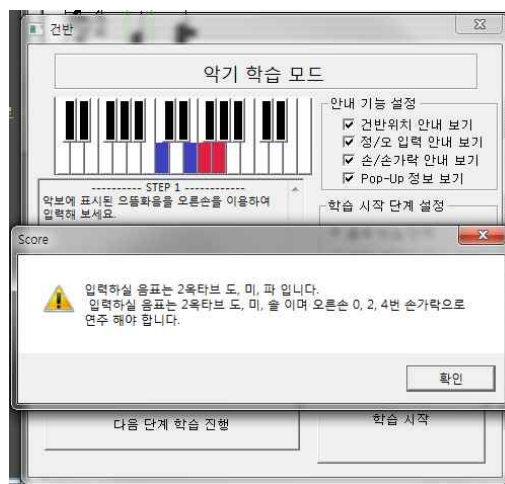


그림11. 학습 소프트웨어 pop-up안내

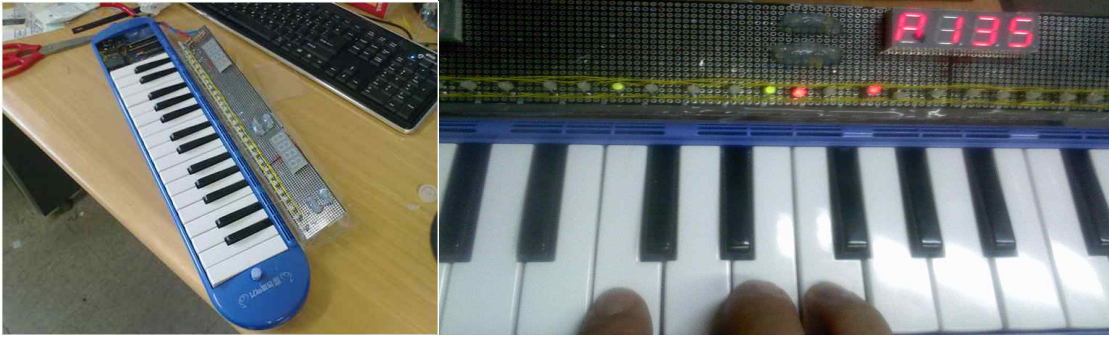


그림 12. 외장 전자건반악기 동작 확인 실험



그림 13. 게임모드 동작 확인 실험

학습프로그램과 연동되는 전자건반악기의 연동 실험 결과는 그림 12와 같다. 입력하여야 할 건반 위치와 잘못 입력된 위치에 붉은 색 LED가 출력되고 정입력된 부분은 녹색LED가 출력되는 것을 확인하였다. 건반의 간격과 회로의 복잡성을 고려하여 LED는 2색 LED를 사용하였다.

게임을 통한 학습의 경우 그림 13과 같이 입력 시기를 놓치거나 잘못 입력한 음표의 경우 빨간색 음표가 출력되었고 바르게 입력한 경우 파란색의 음표가 화면상에 표시되어 정확하게 연동이 됨을 확인하였다.

6. 결 론

본 논문에서는 초등학교 저학년 학생들이 악기 연주를 학습할 때 학습 성취도를 높이고, 자기주도적 학습이 이루어질 수 있도록 하기 위한 한 방법으로서 PC기반 악기 자율학습 지원 software와 USB interface를 이용한 외장 전자건반악기에 대하여 연구하였다.

본 연구를 통해 USB Interface를 적용한 전자건반악기와 PC기반 software가 연동하여 악기 연주를 위

한 단계별 학습기능, 타자연습과 유사한 형식의 게임을 통해 학습내용을 재미있게 복습하는 기능을 구현하였다. 그리고 외장 전자건반모듈은 USB 인터페이스를 통하여 PC로부터 선택적으로 악기 연주 안내정보를 수신하여 LED, 7-segment에 표시해줌으로써 초보자들이 쉽게 악보 내 음계와 건반의 상관관계를 숙지할 수 있는 방법을 구현하였다. 사용자가 건반을 잘못 눌렀을 때 이를 감지하여 LED와 PC 화면에 안내정보를 출력하는 기능도 제공하도록 구현하였다.

이상과 같이 구현된 기능을 활용하여 악보편집, MIDI정보 처리, 외장 전자건반모듈과의 상호연동을 수행하여 악기 초보자가 자기주도적 학습을 수행하도록 지원함으로써 전자건반악기 연주 학습에 활용 가능성을 확인하였다. 이를 통해 값비싼 악기에 접근하기 힘든 저학년의 초등학생들이 음악과 악기에 대한 이해 및 접근성을 높이고, 창의성과 음악적 능력을 향상시킬 수 있는 가능성 뿐만 아니라 악기 연주의 대중화에 기여하고자 한다.

본 논문에서 제시한 방법은 그 가능성을 제시하기 위한 것으로 아직 보완이 필요하다. 향후 효율성 높은 자기주도적이면서 학습자 중심의 음악학습을 위한 연구를 통한 보완작업을 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] Peter Miksza, "Music Participation and Socioeconomic Status as Correlates of Change: A Longitudinal Analysis of Academic Achievement," *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, No.172, pp. 41-57, 2007.

[2] 윤덕은, 이만우, 김순곤, “맥박변화를 이용한 음악 감상 학습 효과의 분석,” 한국 콘텐츠 학회 2006 추계종합학술대회 논문집, 제4권, 제2호, pp. 792-795, 2006.

[3] C.J. Bonk and K.S. King, *Electronic Collaborators: Learner Centered Technologies for Literacy, Apprenticeship, and Discourse*, pp. 25-50, Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1998.

[4] 강명수, 조상진, 권순덕, 정의필, “범용 디지털 신호처리기를 이용한 국악기 사운드 엔진 개발,” 한국음향학회지, 제28권, 제3호, pp. 229-238, 2009.

[5] 성덕현, 김규년, “Physical 모델을 이용한 단소 음 합성,” 2001년도 한국정보과학회 봄 학술발표논문집, 제28권, 제1호, pp. 658-660, 2001.

[6] 조상진, 정의필, “안족이 있는 악기의 개선된 현의 모델 개발,” 한국음향학회지, 제26권, 제7호, pp. 328- 333, 2007.

[7] 오복환, 이동규, 송인호, 이두수, “저연산 정현파 합성을 이용한 악기음의 모델링,” 한국음향학회 학술대회 논문집, 제18권, 제2(s)호, pp. 185-188, 1999.

[8] 강명수, 조상진, 정의필, “물리적 모델링 합성법에 기반을 둔 줄 없는 기타 구현,” 한국음향학회지, 제28권, 제2호, pp. 119-126, 2009.

[9] 이창원, 정의필, “사운드 카드를 이용한 전자 음악 장갑,” 한국음향학회지, 제21권, 제2호, pp. 128- 133, 2002.

[10] Akai EWI4000S, <http://www.akaipro.com/>

[11] WX5 YAMAHA Midi Controller, <http://www.yamaha.com/>

[12] Finale&SmartMusic, <http://www.makemusic.com/>

[13] 김종훈, 장정훈, 김지연, 문은혜, 원경미, 천경미, 한지연, “MIDI를 활용한 학습자 중심의 음악과 웹 코스웨어,” 1999년도 한국정보과학회 가을 학술발표논문집, 제26권, 제2호, pp. 664-666, 1999.

[14] 안영수, 인터넷을 이용한 악기연주 학습시스템, 아이케이엔터테인먼트 주식회사, 대한민국특허 1020020032486, 2002.

[15] 김미라, 옥지혜, 조동섭, “Music XML 악보저작 환경을 이용한 Human Computer Interface 연구,” 2001년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 2804-2806, 2001.

[16] 임제영, 이종근, “Petri Nets 기반의 아코디언 연주 묘사와 분석에 관한 연구,” 한국멀티미디어 학회 논문지, 제13권, 제10호, pp. 1557-1564, 2010.



임 기 정

2010년 울산대학교 컴퓨터정보통신공학부 공학사.
 현재 울산대학교 컴퓨터정보통신공학부 석사과정
 관심분야: 디지털신호처리, 음성합성



이 정 철

1984년 서울대학교 전자공학과 공학사
 1988년 서울대학교 전자공학과 공학석사
 1998년 서울대학교 전자공학과 공학박사

1985~2000년 ETRI 책임연구원
 2000년 L&H Korea 전문위원
 2001년 (주)보이스텍 전문위원
 2002년 (주)코난테크놀로지 책임연구원
 2002~현재 울산대학교 컴퓨터정보통신공학부 부교수
 관심분야: 디지털신호처리, 음성신호처리, 음성합성