

Design and Implementation of Tangible Interface Using Smart Puck System

Seon Hui Bak *, Jeong Bae Lee**, Jeong Ho Kim***, Hee-Man Lee****

Abstract

In this paper, we propose a novel tangible interface system whose system does not use the expensive hardware is introduced. This proposed tangible interface is used on the table top capacitive multi touch-screen. The tangible interface apparatus which is called smart puck has sanguine arduino compatible board. The board has a Cds photo-sensing sensor and the EPP8266 WiFi module. The Cds sensor decodes the photometric PWM signals from the system and sends corresponding information to the system via TCP/IP. The system has a server called MT-Server to communicate with the smart pucks. The tangible interface shows reliable operation with fast response that is compatible to the expensive traditional devices in the market.

▶ Keyword : Tangible Interface, Smart Puck, Capacitive Screen, Table Top Screen, Multi Touch-Screen

I. Introduction

근래 디지털 사회를 접하면서 여러 디바이스와 사용자들끼리 상호작용을 하며 살아가는 멀티 디바이스 환경이 확산되고 있다. 이러한 환경의 사용자들은 자신이 원하는 정보를 얻기 위하여 여러 디바이스를 넘나들며 콘텐츠와 서비스를 사용하게 되는데, 이때 디바이스 형태와 표현하고자 하는 콘텐츠의 상황에 따라 상호작용 형태가 달라진다[1]. 따라서 자연스러운 상호작용 형태를 만들어 내기 위해서는 사용자들이 사용하고자 하는 디바이스와 정보의 표현법에 있어서 물 흐르듯 자연스럽게 경험하게 해주어야 한다. 이를 위하여 정보 표현 방법의 발전에 따라 무선기기, 모바일 등의 디스플레이 디바이스에서 다양한 인터페이스 기술을 접목하여 단순히 GUI형태의 방식에서 벗어나 정보 전달 효과를 높이기 위한 연구가 필요하다. 그 중에서도 현재 많이 보편화 되고 있는 정전식 테이블 탑 디스플레이 디바이스에 손가락의 제스처를 이용한 콘텐츠 표현법이 있다. 하지만 테이블 탑 디스플레이가 갖는 하드웨어 특성 때문

에 사용자들이 콘텐츠를 사용함에 있어서 몰입도가 떨어지는 경우가 종종 발생한다. 이에 정전식 테이블 탑 디스플레이에서 정보와 콘텐츠를 표현함에 있어서 사용자들이 몰입감과 흥미요소를 높일 수 있도록 효과적인 새로운 인터페이스 표현 방식 개발을 필요로 하고 있다. 이에 본 논문에서는 단순히 손가락의 제스처만을 이용한 인터페이스 방식이 아닌 물리적 객체를 활용한 텐저블 인터페이스 방식에 대해 살펴보고 기존 텐저블 인터페이스 적용방식과 다른 방식의 텐저블 인터페이스 방법인 스마트 펍을 개발하여 적용하려한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 텐저블 인터페이스 시스템의 정의 및 현황과 전망에 대하여 살펴보고 3장에서는 제안하고자 하는 텐저블 인터페이스 시스템에 대하여 상세히 기술하였다. 스마트 펍과 텐저블 인터페이스 시스템 상호간 통신에서 사용되는 PWM코드 설계에 대하여 기술하고 스마트 펍의 하드웨어 구성과 소프트웨어에 대하여 설명하였으며 시스템에 필요한 그래픽스 모듈과 멀티텍션 서버에 대하여 논하였다. 4장에서는 실험 결과에 대하여 기술하였으며 마지막장에서는 결론으로 향후 연구 내용에 대하여 논하였다.

• First Author: Seon Hui Bak, Corresponding Author: Hee-Man Lee

*Seon Hui Bak (sadal@hanmail.net), Dept. of Creative ICT Eng., Busan University of Foreign Studies

**Jeong Bae Lee (jblee@bufs.ac.kr), Dept. of Computer Eng., Busan University of Foreign Studies

***Jeong Ho Kim (jhkim@hanbat.ac.kr), Dept. of Computer Eng., Hanbat National University

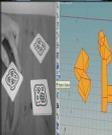
****Hee-Man Lee (hlee@seowon.ac.kr), Dept. of Multimedia, Seo-won University

• Received: 2015. 07. 15, Revised: 2015. 08. 03, Accepted: 2015. 08. 31.

II. Related Works

우리가 일상생활에서 물건을 만지고 느끼고 잡는 등의 행위를 통해 정보를 조작하는 인터페이스를 텐저블 유저 인터페이스(TUI; Tangible user Interface)라 한다. 이것은 디지털 정보를 손의 터치를 이용한 방식이 아닌 물리적인 객체(physical object)와 함께 결합하여 일상생활의 활동을 가능하게 조작하는 방식으로써 그래스퍼블 인터페이스(graspable interface)라고도 표현하기도 한다[2]. 즉, 텐저블 유저 인터페이스는 무엇인가 잡는 느낌을 주어 사용자에게 직간접적으로 본질적인 자연스러움을 줄 수 있는 상호작용방식이라고 할 수 있다[3]. 이러한 텐저블 인터페이스 중 테이블 탑 디스플레이 환경에서 사용되는 물리적 객체는 그 정보를 표현하는 주체임과 동시에 디지털 정보를 조작하는 물리적인 대상이 된다는 점에서 대표적인 인터페이스 도구로 주목 받아왔다. 현재 대부분의 테이블 탑 디스플레이 환경을 조작하는 대표적인 방법 중 하나가 손의 터치를 이용하여 디지털 정보를 얻는 콘텐츠들이 주를 이루고 있다. 이 방식은 사용자들이 콘텐츠에 대한 디지털 정보를 얻기 위하여 먼 거리 또는 여러 방향에서 조작을 해야 할 경우 몰입도가 떨어지기 때문에 사용자들의 콘텐츠 조작에 대한 만족감이 낮은 편이다. 따라서 인터페이스 도구 중 하나인 물리적 객체를 활용하여 디지털 정보를 얻을 수 있는 텐저블 유저 인터페이스는 다양한 분야에서 활용 및 응용되고 있다. 대표적인 예시로 Sensetable(Patten et al., 2001)[4], Audiopad(Patten et al., 2002)[5], Reactable(Jorda et al., 2007)[6] 등을 들 수 있다. Sensetable은 텐저블의 물리적 객체인 스마트 펍의 위치를 감지할 수 있는 테이블 탑 디스플레이이다. 다이얼 등이 부착된 물리적 객체를 테이블 탑 위에서 조작할 수 있으며, 이를 통해 디지털 정보를 자유롭게 변화시킬 수 있다. Audiopad는 태그가 달린 텐저블 블록 각각마다 정보나 기능을 담고 있어서 오디오 프로세싱에서 특정 역할을 수행할 수 있도록 구현되어 있다. 이를 연결해서 시스템 내에서 디지털 정보가 가공되는 과정을 텐저블 블록 주변의 그래픽 정보로 확인할 수도 있도록 제작되었다. 하지만 이러한 기존 텐저블에 적용된 스마트 펍 연구는 여전히 다양한 제약을 지니고 있다. 특히, 현재까지의 텐저블 인터페이스에 적용된 방식은 좌표를 계산해 물체를 인식하는 방식과, LCD패널에 포인터와 특정 코드를 분석 후 좌표와 데이터를 전송하는 방식 등이다. 하지만 이 방식들은 좌표의 흐트러짐으로 인한 오동작 발생이 빈번하고 제작에는 고가의 하드웨어를 사용하여 제작비용이 높아 다양한 산업 분야에 적용하기 어려운 단점이 있다. 또한 현재 텐저블 시스템에 활용된 스마트 펍은 대체로 컨트롤러로의 역할을 하고, 테이블 탑 디스플레이의 보완재 역할에 머무르고 있다. 아래 Table 1은 다양한 분야에서 활용되고 있는 텐저블 유저 인터페이스 사례이다. 이 텐저블 유저 인터페이스는 사용자가 직접 만지면서 조작할 수 있는 것으로 신체를 이용하여 동작하면서 중간 매개체가 없어 직관적이며 직접적인 개입이 가능한 장점을 갖고 있다.

Table 1. TUI application [7][8][9][10][11]

	Domain	Description	Typical Example
1	Information Manipulation	Utilized as digital media used for storage of digital information	
2	Information Visualization	Utilized as variety multimodal representation method and input system	
3	Modeling and simulation	Utilized as modeling and simulation object in mixed form of physical and digital environment	
4	Integrated system management & control	Utilized as authoring or controlling complex system	
5	Education, Entertainment	Utilized as the technology tools for programming in elementary education	
6	Cooperative joint project	Utilized as collaborative task	

III. The Proposed System

1. System overview

본 논문에서 제시한 텐저블 인터페이스를 구현하기 위해 고가의 하드웨어를 이용하여 구축하지 않고 범용성이 높으면서 비교적 저가 형태의 장비를 활용하여 구현하였다. 텐저블 인터페이스는 테이블 탑 디스플레이에서 활용 가능하며 특히 정전식 형태의 터치 디스플레이에 많이 사용된다. 테이블 탑 디스플레이의 그래픽스를 제어하는 디스플레이 모듈을 구축하고 디스플레이 할 정보는 MT Server(Multitaction Server)에서 받도록 하는 방식을 사용하였다. MT서버는 스마트 펍과 통신을 하며, 이 때 스마트 펍은 MT서버의 클라이언트로 복수 개를 사용할 수 있다. Fig. 1은 본 연구를 위해 사용된 텐저블 인터페이스 시스템 개요이다.

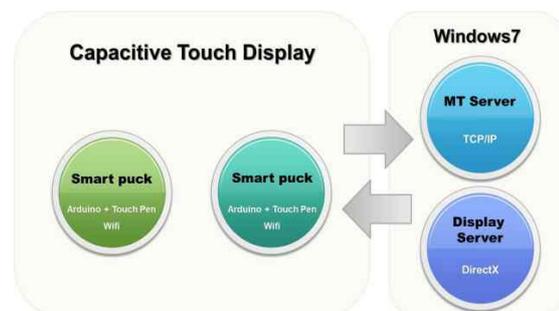


Fig. 1. Tangible Interface System Overview

2. The operation principle of the system

구현한 스마트 펍은 일종의 정전식 펜을 정전식 터치 디스플레이 위에 올려 놓으면 터치한 위치를 시스템이 확인하고 해당 위치에 PWM 광신호를 보낸다. PWM 광신호는 밝고 어두운 이미지를 보여주는 시간의 길이에 의해 정보를 인코딩한다. 이러한 기본 원리를 통하여 구현한 스마트 펍은 소형의 프로세서와 WiFi 및 광센서를 가지고 있는 임베디드 시스템으로 PWM 광신호를 해독하여 자신의 고유 아이디 정보와 해독한 정보를 MT서버로 전송하고 MT서버는 이를 다시 디스플레이 모듈에 전송한다. Fig. 2는 텐저블 인터페이스 시스템의 동작 원리를 그림으로 표현한 것이다. 먼저 각각의 스마트 펍은 MT서버에 클라이언트로 연결을 요청한다. MT서버는 요청을 받아들이고 ACK 신호를 보내준다. 스마트 펍을 테이블 탑 디스플레이에 올려놓으면 디스플레이 모듈은 터치한 위치에 PWM으로 인코딩된 광신호를 보낸다. 스마트 펍은 이 신호를 해독하여 MT서버에 정보를 보내고 MT서버는 펍의 아이디를 확인하여 디스플레이 모듈에 정보를 보낸다. 디스플레이 모듈은 추가 정보를 터치한 펍의 주변에 표현을 한다.

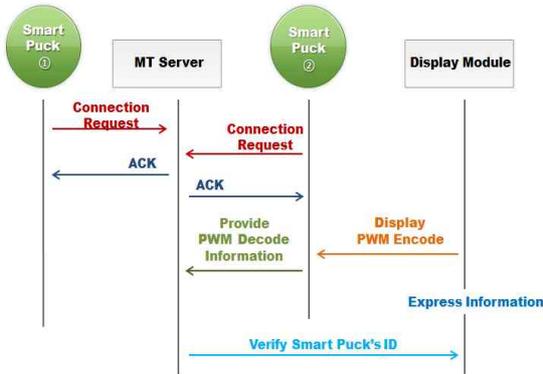


Fig. 2. The Operation Principle of the System

3. Design of PWM Codes

PWM(Pulse-width modulation)는 메시지를 펄스의 형태로 인코딩 하는 방법이다. 모스 부호도 일종의 PWM 인코딩 신호 방식을 이용한 것이다. 본 연구에서는 숫자를 PWM으로 인코딩하여 스마트 펍과 그래픽스 모듈과의 통신을 위하여 사용하였다. PWM은 펄스폭을 가변 하여 정보를 인코딩한다. Fig. 3은 본 연구에서 사용한 PWM코드이다. 그림(a)는 기존 펄스 폭 T_{ref} 을 기준으로 설정한 code 0을 보인 것이다. T_{ref} 는 시스템의 사양과 TCP/IP의 전송 속도에 따라 달리 설정 될 수 있다. 하나의 펄스는 Low State에서 High State로 천이되었다가 다시 Low State로 천이된다. 이러한 방법을 적용하여 code 0을 표현하기 위해 $3T_{ref}$ 시간이 소요된다. 그림(b)는 기존 펄스의 두 배 길이로 code 1을 표현한 것이다. code 0과 code 1을 기본 펄스로 설정하고 이를 연계 사용하여 그림(c)와 같이

code 2를 정의하였으며, 그림(d)는 code 3을 정의한 것이다. 스마트 펍의 개수가 증가 시킬 경우에는 이들을 각각 구별하기 위하여 다른 인코더 정보를 사용하여야 함으로 사용하여야 할 코드가 증가된다. 이는 사용하여야 할 코드가 증가될수록 정보의 전송과 해독에 많은 시간이 소요된다. 코드와 코드사이의 구분은 Low State가 $2T_{ref}$ 보다 큰 경우에 새로운 코드의 시작으로 정의한다.

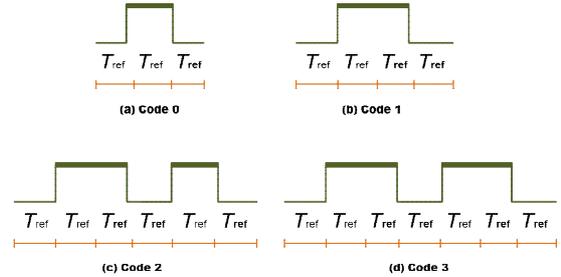


Fig. 3. Encode PWM codes

4. Smart Puck

4.1 Sanguino Module

스마트 펍은 사용자가 텐저블 입력을 할 수 있는 장치로 아두이노 Sanguino모듈을 사용하였다. Sanguino는 아두이노 호환 마이크로 컨트롤러 보드로써 강력한 연산기능의 atmega 프로세서인 ATmega644P를 기본으로 사용한다. Table 2은 마이크로 컨트롤러 보드의 사양을 비교한 것으로 Sanguino모듈은 크기가 작고 성능이 비교적 우수하다[12]. Sanguino모듈 A0 아날로그 입력에 광센서가 부착되어 있어 빛으로 전달되는 PWM 신호를 감지하게 된다. WiFi 모듈로는 ESP8266를 사용하였다. ESP8266 WiFi 모듈은 3.3V 동작 전압으로 동작하며 가격대비 성능이 매우 우수하다. ESP8266 모듈은 WiFi Soft AP 동작, WiFi 연결, TCP/UDP 데이터 전송을 지원한다. Serial로 아두이노와 연결한 다음 아두이노에서 AT 명령어를 전송해서 모듈을 제어할 수 있다. Fig. 4는 Sanguino모듈의 레이아웃이다. 스마트 펍의 외장에는 정전식 펜을 부착하여 터치패널이 스마트 펍에 의해 반응한다. 스마트 펍은 임베디드 모듈이 내장된 정전식 펜이다.

Table 2. Comparison of Arduino Board

Name	Arduino Duemilanove	Sanguino	Arduino MEGA
Microcontroller	Atmega 168 or atmega328	atmega644p	atmega1280
Speed	16 MHz	16 MHz	16 MHz
Flash Memory (program space)	16KB or 32KB	64KB	128KB
RAM	1KB or 2KB	4KB	8KB
EEPROM	512 or 1024 bytes	2048 bytes	4096 bytes
I/O Pins (TOTAL)	20	32	54
PWM Pins	6	6	14
Analog In Pins	6	8	16
Serial Ports	1	2	4
I2C	YES	YES	YES
SPI	YES	YES	YES


```

struct Info
{
    int puckID;
    int centerX;
    int centerY;
    int touchID[3];
    int touchX[3];
    int touchY[3];
    int blinkCount;
    DWORD dwTime;
    DWORD lifeTime;
};
    
```

Fig. 8. Touch Information Data Structures

5.2 MT Server

멀티택션 서버는 아두이노 스마트 펍과 WiFi TCP/IP통신을 하여 받아온 정보를 그래픽스 모듈에 전송하는 역할을 담당하며 스마트 펍과의 연결을 관리하고 클라이언트의 response 코드를 처리한다. 서버의 response 코드는 다음과 같은 포맷을 갖는데 그림 Fig. 9는 MT 서버의 response 코드의 일례이다.

response_code	description
100	OK

Fig. 9. MT-Server Response Code Format

IV. Experiments

본 연구에서 제안한 스마트 펍 시스템은 64비트 윈도우즈 7 운영체제, Intel(R) Core(TM) i5-4570 CPU, 메인 메모리 4.0GB, 10개의 터치 포인트를 처리할 수 있는 IRM Multitouch Digitizer 사양에서 구현하고 테스트 하였다. Fig. 10는 스마트 펍의 바닥면을 설치하기 이전의 외형과 내부모습을 보인 것이다. 스마트 펍의 케이스는 3D 프린터로 제작하였다. 스마트 펍의 하단에는 정전식 펜 3개가 설치되어 있는데 이는 터치한 스마트 펍의 중심을 계산할 수 있다. 광량센서는 Cds를 사용하였으므로 Cds의 출력은 Sanguino보드의 A0에 입력된다. PWM 신호를 해독한 이후에는 ESP8266 WiFi 모듈을 통하여 펍의 아이디어와 해독한 정보를 서버로 전송을 하게 된다.



Fig. 10. Smart Puck

개발한 스마트 펍에 대한 성능을 알아보기 위하여 Fig. 11과 같이 콘텐츠 제작을 하여 실험을 하였다. 이 콘텐츠는 화면의 임의 영역에 각기 다른 스마트 펍을 올려놓았을 경우 펍에 해당하는 콘텐츠 정보를 보여 주도록 하였다.



Fig. 11. Application Contents Using the Smart Puck

윈도우즈 7 PC에서 실행되는 디스플레이 모듈은 측정결과 평균 17ms 간격으로 리프레쉬 되었다. 반면에 아두이노는 루프 안에 아무런 코드가 없는 경우 8~10ms 간격으로 루프 함수가 호출되지만 서버에 데이터를 전송하는 경우 80ms 간격으로 호출되었다. 이는 현재 시스템에서 T_{ref} 시간은 80ms 시간보다 2배가 긴 170ms 정도가 적정하다는 것을 알 수 있다. 최소 T_{ref} 시간은 시스템 사양에 따라 각각 달라질 수 있다. Fig. 12는 디스플레이 모듈의 리프레쉬 시간과 아두이노 모듈의 루프함수가 호출되는 시간 간격을 측정 한 것으로 디스플레이 모듈은 비교적 거의 일정한 시간간격으로 PWM 신호를 보내지만 아두이노 모듈의 함수는 상대적으로 일정한 간격으로 센싱하지 않고 $\pm 20ms$ 의 변동이 있음을 확인 할 수 있었다.

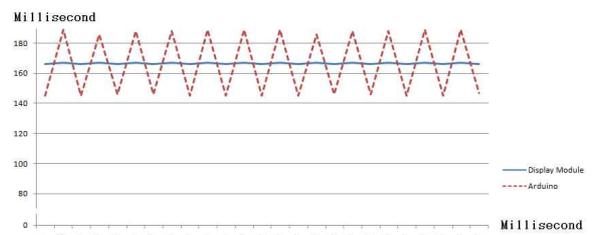


Fig. 12. The Time interval

본 논문에서 제시한 코드방식은 코드길이가 늘어날수록 전송시간이 많이 소요된다. Fig. 13은 코드의 전송 즉, 표시시간을 측정 한 것이다. 도표를 보면 알 수 있듯이 스마트 펍의 개수가 늘어날수록 코드 전송 속도가 함께 늘어나는 단점이 있다. 실험으로 사용된 멀티터치 시스템은 최대 10개의 터치를 지원한다. 스마트 펍 하나당 3개의 터치를 사용함으로써 현 시스템에서는 총 3개의 스마트 펍을 동시에 이용할 수 있다. 그러므로 code 0, code1 및 code 2까지 사용할 수 있으며 최대 소요 전송속도는 1000ms 정도이다.

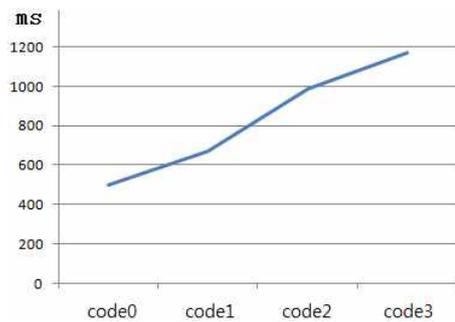


Fig. 13. PWM Code transmission time

V. Conclusions

본 연구에서는 기존의 적외선 카메라 연동 또는 센서 등 다른 부가 장비를 이용한 텐저블 인터페이스 방식이 아닌 범용성이 높으면서도 저가형태의 새로운 인터페이스 방식을 구현하였다. 개발한 스마트 펍은 아두이노를 활용한 것으로서 정전식 테이블 탑 디스플레이 위에서 자유로이 사용이 가능하다. 이 스마트 펍 시스템은 WiFi 환경에서 스크린과 스마트 펍 사이에 광통신에 의해서 위치를 확인하고 정보를 전달하는 방법을 사용한다. 향후 연구 과제로는 펍의 회전 각도를 정확히 인식하는 알고리즘과 펍을 잡는 세기에 따른 인터페이스 활용방안에 대한 연구를 진행할 예정이며 또한 이러한 스마트 펍을 이용한 다양한 인터랙티브 콘텐츠 활용방안에 대하여 연구를 진행 할 필요가 있다.

REFERENCE

- [1] Multi-Device UX design : Three core principles that govern the Internet of Things ecosystem experience, Hanbit Media, Michal Levin, Lee mi young , 24p
- [2] Hornecker, E. (2002) Understanding the Benefits of Graspable Interfaces for Cooperative Use. Proceedings of Coop'2002 (Fifth International Conference on the Design of Cooperative Systems) in SAINT RAPHAEL, 4-7 June 2002. IOS Press, 71-87.
- [3] The Development of Usability Evaluation Method for Tangible User Interface, 2007, 10p, Dept. of Cognitive Science The Graduate School Yonsei University , Kim Myo Ha
- [4] Patten, J., Ishii, H., Hines, J., Pangaro, G.(2001). "Sensetable: a wireless object tracking platform for tangible user interfaces." *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems(CHI) 2001*, Seattle, Washington, United States, pp. 253-260
- [5] Patten, J., Recht, B., Ishii, H.(2002). "Audiopad: a tag-based interface for musical performance." *Proceedings of the 2002 conference on New interfaces for musical expression (NIME) 2002*, Dublin, Ireland, pp. 1-6.
- [6] Jorda, S., Geiger, G., Alonso, M., Kaltenbrunner, M. (2007). "The reacTable: exploring the synergy between live music performance and tabletop tangible interface" *Proceedings of the 1st international conference on tangible and embedded interaction (TEI) 2007*, Baton Rouge, Louisiana, pp. 139-146
- [7] The Reactable Experience opens up a whole new universe of pedagogical, entertaining and creative possibilities.
<http://reactable.com/products/experience/experience-for-museums> (accessed May, 22, 2015)
- [8] An integrated multi-modal actuated Tangible User Interface for distributed collaborative planning,
<http://www.techfak.uni-bielefeld.de/ags/ami/publications/RHR2012-IMM> (accessed May, 22, 2015)
- [9] Tangible Interface for Grasshopper
<https://vimeo.com/13015868> (accessed May, 22, 2015)
- [10] Tangible Business Process Analyzer
<http://tangible.media.mit.edu/project/tangible-business-process-analyzer> (accessed May, 22, 2015)
- [11] Tangible cube that use levelwise Language learning Fairytale contents, 'Play Q'
<https://www.youtube.com/watch?v=o8TI9Cnrd2U> (accessed May, 22, 2015)
- [12] Comparison of Arduino Board
<http://www.makerbot.com/blog/2009/03/27/arduino-vs-sanguino-vs-arduino-mega>(accessed May, 22, 2015)

Authors



Seon Hui Bak received M.S. degrees from Dept. of Visual Studies at College of Arts of Kongju National University, Korea in 2004. She is a Ph.D. candidate at the Dept. of Creative ICT Engineering, Busan University of Foreign Studies in Korea.

She is currently a chief executive officer of the IHTECH company Daejeon, Korea. Her research interests are in the ICT convergence, virtual reality, human interfaces and tangible interfaces.



Jeong Bae Lee received the B.S., M.S. degrees in Electronics Engineering from Kyungpook National University, Korea and Ph.D. degrees in Electronics Engineering from Hanyang University, Korea, in 1983, 1995 respectively.

Dr. Lee is currently a vice president and professor in the department of computer engineering in Busan University of foreign studies in Korea. He is interested in ICT convergence.



Jeong Ho Kim received the B.S., M.S. in Electronic Engineering from Kyungbuk National University and Ph.D. degrees in Computer Engineering from Dankuk University, Korea, in 1980, 1983 and 1994, respectively.

Dr. Kim joined the faculty of the Department of Computer Engineering at Hanbat National University, Daejeon, Korea, in 1996. He is currently a Professor in the Department of Computer Engineering, Hanbat National University. He is interested in computer network and mobile contents, computer security.



Heeman Lee, received his PH.D. degree from Dept. of Electrical Engineering at Texas A&M University, College Station, Texas in 1994. And also he received M.S. degree from Dept. of Electrical Engineering at KAIST, Seoul, Korea in 1986.

From 1996 to present, he has been a professor in Dept. of Multimedia Engineering at Seowon University in Cheongju, Korea. His research interest is image processing, computer vision and visualization.