

논문 2015-10-23

# 사물-사람 간 개인화된 상호작용을 위한 음향신호 이벤트 감지 및 Matlab/Simulink 연동환경

## (Acoustic Event Detection and Matlab/Simulink Interoperation for Individualized Things-Human Interaction)

이 상 현, 김 탁 곤, 조 정 훈, 박 대 진\*

(Sanghyun Lee, Tag Gon Kim, Jeonghun Cho, Daejin Park)

Abstract : Most IoT-related approaches have tried to establish the relation by connecting the network between things. The proposed research will present how the pervasive interaction of eco-system formed by touching the objects between humans and things can be recognized on purpose. By collecting and sharing the detected patterns among all kinds of things, we can construct the environment which enables individualized interactions of different objects. To perform the aforementioned, we are going to utilize technical procedures such as event-driven signal processing, pattern matching for signal recognition, and hardware in the loop simulation. We will also aim to implement the prototype of sensor processor based on Arduino MCU, which can be integrated with system using Arduino-Matlab/Simulink hybrid-interoperation environment. In the experiment, we use piezo transducer to detect the vibration or vibrates the surface using acoustic wave, which has specific frequency spectrum and individualized signal shape in terms of time axis. The signal distortion in time and frequency domain is recorded into memory tracer within sensor processor to extract the meaningful pattern by comparing the stored with lookup table(LUT). In this paper, we will contribute the initial prototypes for the acoustic touch processor by using off-the-shelf MCU and the integrated framework based on Matlab/Simulink model to provide the individualization of the touch-sensing for the user on purpose.

Keywords : Acoustic sensing, Things-Service-Human interaction, Event sharing, Internet-of-Thing

### 1. 도 입

사물-사물 간 통신에 기반을 둔 통합 시스템 및 응용 서비스가 적용된 사례들이 다양한 연구들에서 소개되고 있다. 본 연구는 사물-사물 간 통신에 의한 관계성을 언급하는 기존 연구와 달리, 사물-사람

간 터치 이벤트를 매개체로 사물-사람 간의 상호작용에 대한 연구 가능성을 탐색하기 위한 호스트-센서 노드-사람 인터페이스 간의 연동 환경을 제안하고 사례연구로써 음향감지 기반 사물터치 응용에 적용한 초기 경험을 소개한다.

더 나아가 사물과 사람 간 상호작용 및 그 누적된 정보를 사물끼리 공유함으로써 개인이 사람과의 인터페이스에서 개인화된 서비스를 가능하게 하는 기회를 모색한다. 실험에서 제한한 음향기반 사물터치의 사례 연구에서는 외부 자극으로 검출된 이벤트를 통해 사물에게 사용자의 행동 기록을 전달하며 이렇게 누적된 행동 패턴들을 사물끼리 공유함으로써 사용자가 사물로부터 서비스를 제공 받을 수 있도록 한다.

사물이 외부 자극에 반응하기 위해서는 처음 설계 단계에서 관련 인터페이스를 탑재해야 한다. 대

\*Corresponding Author (boltanut@knu.ac.kr)

Received: 29 Apr. 2015, Revised: 1 June 2015,

Accepted: 2 June 2015.

S.H. Lee, T.G. Kim: KAIST

J. Cho, D.J. Park: Kyungpook National University

※ 본 논문은 교육부의 재원으로 한국연구재단의 기초과학연구 프로그램의 지원을 받아 수행된 연구결과임 (No. 2014R1A6A3A04059410).

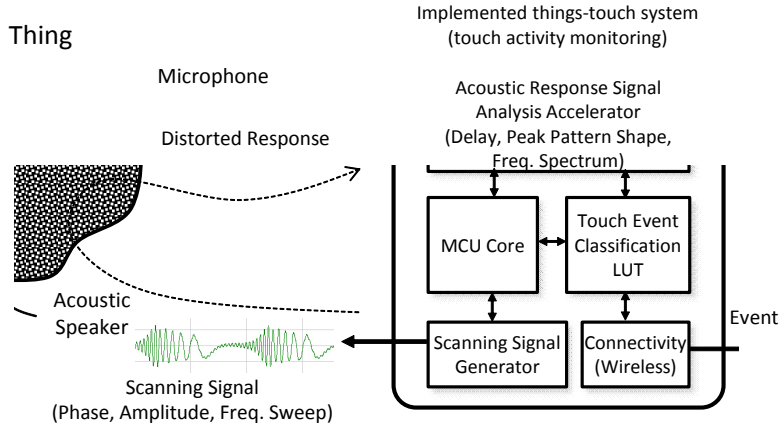


그림 1. 원자 터치 이벤트 추적 및 공유를 위한 음향 신호 감지 시스템  
 Fig. 1 Acoustic sensing system for atomic touch event tracing and sharing

부분의 기존 사물들은 이러한 기능이 없으며 사물에 터치 기능을 내장하기 위해서는 사물 표면의 특정 영역을 변형해야 한다. 본 연구는 디지털 기기뿐만 아니라 부도체에 해당하는 물체에서도 저렴한 비용으로 터치 이벤트 인식 기능을 수행 할 수 있도록 표면 음향 감지 기반 터치 인식 기술을 이용한다.

그림 1과 같이 사물 표면에 피에조 트랜스듀서 2개를 부착하여 일정한 신호 패턴이 송신 단과 터치 대상의 매질을 거쳐 수신 단으로 전송될 때, 사람의 터치 혹은 장애물에 의해 신호 패턴이 일정 부분이상 왜곡되는 정보를 감지한다. 송신 단에서 전송된 신호와 수신 단에서 읽은 신호를 주파수 영역의 변화, 위상의 변화, 신호 세기의 변화 등을 비교한다. 이 때, 정해진 기준치 이상 차이가 발생하게 되면 사용자의 의도가 내포되었다고 판단하여 이벤트를 발생시키게 된다.

발생된 이벤트는 더 이상 분해 할 수 없는 원자 단위로써 최소한의 정보만을 지닌다. 원자 단위의 이벤트는 시스템 내부 트레이서 버퍼에 저장 된다. 일정 개수 이상 원자 단위의 이벤트가 쌓이게 되면 LUT(LookUp Table)을 통해 최종으로 분류될 이벤트가 무엇인지 결정하고, 서버 측에 있는 클라우드로 결정된 이벤트를 전달한다. 동시에 정해진 이벤트가 인접한 사물들 간에도 서로 공유된다. 사용자의 터치 반응 패턴과 사물의 터치 경로를 공유함으로써, 사용자 주변의 사물들이 사용자의 의도를 인지하고 개인화된 서비스를 제공할 수 있다.

여기서 사용된 피에조 트랜스듀서는 외부에서

발생한 진동을 감지하여 이를 아날로그 신호로 변환하거나, 피에조 센서에 아날로그 신호를 인가하여 센서가 닿는 부분에 진동을 발생시키기 위해 필요하다. 피에조 센서도 다른 사물과 마찬가지로 수동 소자로 구성된 회로로 모의가 가능하다. 이로 인해, 수신 단 피에조 트랜스듀서에서 변환된 신호를 읽었을 때 데이터의 손실이 발생한다. 그러므로 송신 단에서 주파수 영역을 고려하여 입력 대비 출력의 결과가 최대가 되도록 하는 경우, 송신 단에서 공진 주파수 영역대의 신호를 인가해야한다.

사물-사람 간 개인화된 상호 작용을 가능하게 하려면 터치의 패턴 정보를 저장 할 수 있어야 한다. 더불어 인접한 사물들 사이에 수집한 패턴들을 공유할 수 있어야 한다. 또한, 각각의 패턴에 대응되는 사용자 서비스를 사물별로 제공할 수 있는 프로그래밍 인터페이스가 존재해야 한다. 그림 2는 수집된 원자 단위의 이벤트들로부터 의미 있는 패턴을 추출하고, 이를 토대로 개인화된 사물들로부터 어플리케이션 프로그래밍 인터페이스(API)를 통해 사용자가 원하는 서비스를 제공받는 모습을 나타낸다. 이를 수행하기 위해서는 시간에 따른 이벤트 로깅에 접근하는 인터페이스를 구축해야 한다. 본 연구는 이를 만족시키기 위한 첫걸음으로써 사물의 개인화된 상호작용을 위해 외부 충격 혹은 자극으로부터 원자 단위의 이벤트를 검출하는 방향으로 제한하고, 추후에 이를 확장/보완 할 계획이다.

본 논문은 다음으로 구성된다. 2장에서는 본 연구와 유사한 연구들을 소개하고, 3장에서 구현한 시스템의 전체적인 구조 및 사용된 시뮬레이션 방

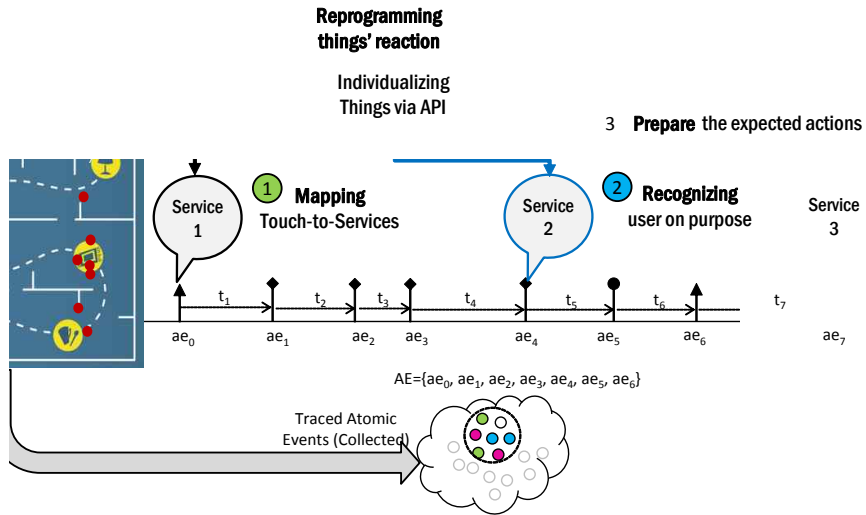


그림 2. 이벤트 패턴에 대응하는 서비스 및 어플리케이션 프로그래밍 인터페이스

Fig. 2 Services corresponding to detected event pattern and application programming interface

법을 소개한다. 4장에서는 실제 피에조 센서를 이용한 실험을 통해 사물-터치 반응에 대응되는 신호 파형의 결과와 취득된 개인화된 이벤트의 특징들을 추출하는 결과를 서버단과 연계하여 새로운 결정수단의 인터페이스로 활용될 수 있음을 언급하고, 5장에서 결론을 맺도록 한다.

## II. 사례 연구

음향 기반의 감지를 통한 터치인식에 대한 기본적인 이론이 소개되었으나 [1, 2] 신호 처리와 관련된 터치 센서 자체에 연구의 초점이 맞추어져 있다. 본 연구에서는 이 기술로부터 출발하여 사물 표면의 변형 없이 표면의 매질을 타고 전파되는 진동 신호를 전송하고 터치에 의한 신호 왜곡을 감지하는 원리를 이용한다.

본 연구에서는 사물에게 행위를 가한 사용자의 터치 자체에서 발생하는 마이크로 원자 단위의 터치 이벤트 인식을 확장한다. 장시간에 걸쳐 사용자의 터치 활동을 관찰함으로써 [3] 터치행위의 패턴을 파악하고 이를 주변 사물들에게 공유하게 한다. 이를 통해 사물이 제공하는 서비스의 개인화가 가능하도록 프로그래밍 인터페이스를 구현하고자 한다. 기존에는 사용자의 행위를 분석하고 감성을 파악하는 선행 연구[4-6]가 진행되었다. 본 연구에서는 데이터 기반 통신이 아니라 사물과 사람간의 터치를 매개체로 상호작용할 수 있는 터치 이벤트 감

출뿐만 아니라 이후에 저장, 인식 가능한 MCU 기반 센서 시스템과 개인화된 서비스 제공이 가능한 클라우드 서버 연동 환경 구축을 목표로 한다.

## III. 제안하는 구조

음향 감지 기술을 이용하여 터치 인식을 하기 위한 구성요소로 크게 음과 신호를 송/수신하는 피에조 트랜스듀서 2개, 신호를 생성 및 감지하는 데 필요한 MCU와 이를 구동하는 펌웨어, 그리고 취득된 터치 이벤트를 해석하고 공유하는 서버 측 제어 시스템이 필요하다. 개별 사물마다 터치 신호의 인식 패턴을 개별화 시킬 수 있도록 하며, 사용자에게 서비스를 제공할 수 있도록 인터페이스를 제공해야 한다. 장시간 관찰된 이벤트들을 공유하고 이들을 토대로 최종 이벤트를 판단하는 경우, 서버 측에서 관리 가능한 소프트웨어 형태로 구현해야 한다. 본 연구에서는 Matlab/Simulink 모델을 동적으로 MCU와 연동하는 기술을 이용하여, 원자 단위의 이벤트를 추출하는 환경을 구축하였다.

### 1. MATLAB-MCU 연동기반 터치 감지

센서로부터 실시간으로 데이터를 읽을 때, 검출 기준에 준하여 원자 이벤트를 발생시키기 위해 그림 3과 같은 Simulink 환경을 제안한다. 보드에서 논리를 원활하게 실행하기 위해서 Matlab/Simulink 모델을 활용했고, Arduino Mega 2560 모델을 타

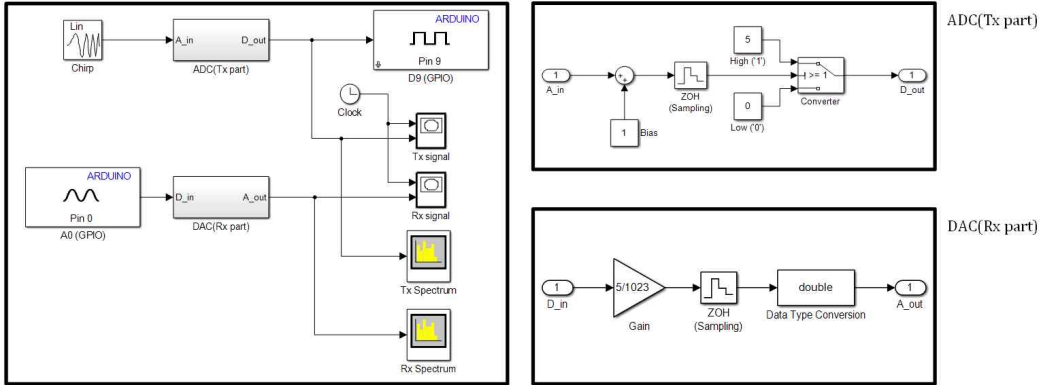


그림 3. 원자 이벤트를 취득하기 위한 MATLAB/Simulink 연동 환경

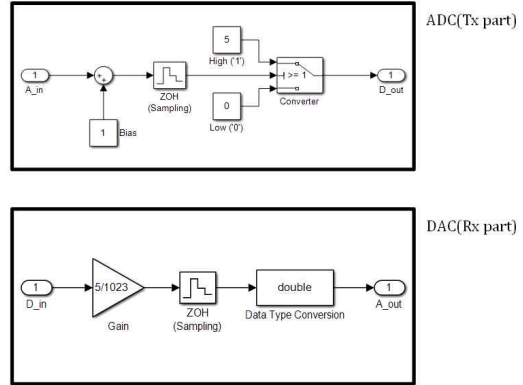
Fig. 3 Matlab/Simulink-based interoperation framework for atomic event acquisition

깃 보드로 사용했다.

Matlab은 Arduino의 특정 핀에 데이터를 쓰거나, 특정 핀으로부터 데이터를 읽을 수 있도록 Arduino 전용 패키지(Simulink Support Package for Arduino Hardware)를 지원한다. PC에서 구현된 Simulink 모델은 컴파일 되어 보드에서 펌웨어로 실행되며, external 모드를 통해 보드의 입/출력 데이터 결과를 PC에서 실시간으로 확인할 수 있다. 만약, 예상과 다른 결과를 얻었을 경우 복잡한 과정 없이 Simulink 모델을 수정해서 재 컴파일 및 업로드를 수행하면 되므로 알고리즘 튜닝이 용이하다는 장점을 갖는다.

본 논문에서 원자 이벤트를 검출하기 위해 사용한 구체적인 알고리즘은 다음과 같다.

송신 단에서는 주파수가 일정 주기로 선형 증가 및 감소하는 Chirp 신호를 만들어 Arduino의 특정 디지털 핀('D9')으로 출력을 내보낸다. 이 때, Chirp 신호는 정현파 형태의 아날로그 신호이므로 High('5V',1)와 Low('0V',0)로 구성된 디지털 신호로 변환하는 과정을 거쳐야 한다. 이를 위해, Chirp 신호에 크기가 1인 바이어스를 주어 시간에 따른 신호의 세기가 0 이상의 값을 갖도록 한다. 이후, 제로 오더 홀드(Zero Order Hold, ZOH)를 거침으로써 일정 주기마다 샘플링을 수행하고 해당 주기만큼 신호의 세기가 유지될 수 있도록 한다. 끝으로, 신호의 세기가 기준치를 넘는지 비교하여 기준치 이상일 경우 High을, 기준치보다 낮을 경우 Low을 내보내도록 한다. Duty rate는 Chirp 신호의 주파수와 관계없이 항상 50%로 유지할 수 있도록 기준치를 1 근방으로 설정했다. 송신 측에 대



```

Function transmitter
t = 0;
while t < Tf
    V = chirpSignal(t, Tswp, Ttar, fcar, fs);
    V = V + 1;
    if V > 1
        V = 5; % Logical 'High' (5V)
    else
        V = 0; % Logical 'Low' (0V)
    end
    writeDigitalPin(a, Dpin, V);
    t = t + Ts
end
end
    
```

a : information about board(H/W) connection  
D<sub>pin</sub> : Digital pin number of board  
f<sub>s</sub> : Sampling frequency  
f<sub>car</sub> : Target frequency of chirp signal  
T<sub>f</sub> : Total simulation time  
T<sub>swp</sub> : Sweep time of chirp signal  
T<sub>tar</sub> : Target time of chirp signal  
T<sub>s</sub> : Sampling period

그림 4. 송신 측 의사코드

Fig. 4 Pseudocode at transmitter part

한 의사 코드를 표현하면 그림 4와 같다.

수신 측의 경우, 아날로그 입력 핀('A0')에서 읽어 들이는 값이 실제로 0~1023의 범위를 갖는 16 비트 데이터이다. 이를 0~5V 사이의 아날로그 전압을 갖도록 증폭기를 통해 값을 변환한다. 송신부와 마찬가지로 ZOH를 거치고, 시간 영역과 주파수 영역에서 그래프 결과를 확인할 수 있도록 데이터 형 변환을 수행한다. External 모드를 통해 실시간으로 송신 측에서 보내는 신호와 수신 측에서 받는 신호의 세기를 확인할 수 있도록 XY 그래프 블록을 이용했고, 일정 개수의 샘플이 모일 때마다 주파수 영역에 따른 전력을 확인하기 위해 스펙트럼 분석기를 활용했다. 스펙트럼 분석기 결과를 비교함으로써, 특정 주파수 성분의 전력의 크기에서 차이를 보이는 경우 이벤트가 발생한다고 판단할 수 있다. 앞에서 설명한 내용을 바탕으로 수신 측에 대한 의사 코드를 표현하면 그림 5와 같다.

```

Function receiver
t = 0;
i_min = 1;
i_max = N_s;
n = 1;
V_arr = [ ];
while t < T_f
    V = readVoltage(a, A_pin); % 16bit, 0-1023
    V_arr(n) = (double)( $\frac{5}{1023.0}$ ) * V;
    if n == N_s
        S_1 = spectrum(V_arr(i_min:i_max));
        if eventDetector(S_0, S_1)
            Generate the event
        end
        % Update the indices and reset the n
        V_arr = [ ];
        n = 0;
    end
    n = n + 1;
    t = t + T_s;
end
end
    
```

a : information about board(H/W) connection  
A\_pin : Analog pin number of board  
i\_min : index for initial sample  
i\_max : index for final sample  
S\_0 : Reference spectrum (without obstacles)  
S\_1 : Spectrum made by read Voltage (whenever total N\_s samples are gathered)  
T\_f : Total simulation time  
T\_s : Sampling period  
V\_arr : Array for read voltage from analog pin

그림 5. 수신 측 의사 코드  
 Fig. 5 Pseudocode at receiver part

2. Hardware-in-the-loop 시뮬레이션

Hardware-in-the-loop 시뮬레이션(HILS)은 실시간으로 동작하는 장치와 연결하여 실시간 연산을 수행할 수 있고[7], 피드백과 같이 시뮬레이션 대상이 되는 시스템 상에서 루프가 형성 되어있는 특징을 갖는다. 즉, 페루프 제어 시스템을 시뮬레이션 할 때 전체 시스템을 구성하는 컴포넌트 중에 실시간 요소를 포함하는 모든 경우가 HILS에 해당된다.

제안한 그림 3의 구조에서 GPIO와 연결된 송/수신 측 피에조 트랜스듀서를 통해 각각 디지털/아날로그 신호를 확인할 수 있다. 송신 측에서 Chirp 신호를 발생시키는 부분과 수신 측에서 스펙트럼 분석기를 통해 성분을 확인하는 부분은 보드가 아닌 PC 상에서 일어난다. 반면에 Chirp 신호를 받아서 Digital 신호로 변환하는 부분과 0-1024의 16비트 데이터를 0-5V 사이의 아날로그 전압으로 바꿔주는 과정은 보드 내 MCU에서 진행된다.

그림 6은 그림 3에서 제안한 구조에서 HILS를 수행하는 지 전체적인 블록 다이어그램을 나타낸다. 송신 측과 수신 측 신호의 스펙트럼을 바탕으로, 송신 측의 Chirp 신호가 원자 이벤트 검출에 최적화될 수 있도록 수신 측 신호의 파라미터를 변경하는 논리가 포함되어 있지 않으므로 페루프 시스템으로 볼 수 없다. 그러나 PC 상에서 발생한 Chirp 신호가 보드의 MCU,매질 등을 거쳐 수신 측 피에조 센서로 전달되고, 이는 다시 MCU에서 값의 변환 과정을 거쳐 최종으로 PC에서 그 결과를 확인할 수 있다. 따라서 실시간 요소가 포함된 HILS를 활용하면, 시뮬레이션 도중 어느 부분이 오류가 발생 했는지 쉽게

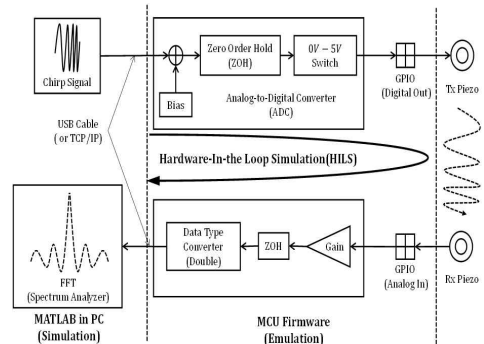


그림 6. Hardware-in-the-loop 시뮬레이션  
 Fig. 6 Hardware-in-the-loop simulation

판별할 수 있다. 더불어, 실험을 반복 수행하는 데 용이하며, 개발하는 과정에서 그 비용을 절약할 수 있다.

3. 개인화된 원자 터치 이벤트 검출 원리

송신 측과 수신 측 피에조 트랜스듀서 사이에서 전파되는 신호에 영향을 미치는 외부 요인이 존재하지 않을 때, 송신 측 피에조 트랜스듀서에 신호를 인가하면, 트랜스듀서에 부착된 매질을 타고 신호가 전파된다. 전파되는 신호를 방해하거나 왜곡시키는 요인이 없기 때문에 수신 측 피에조 트랜스듀서에서 변환된 아날로그의 신호의 세기는 송신 측의 피에조 트랜스듀서에 인가하는 신호의 세기보다 약간 줄어들고, 시간 지연이 발생할 것으로 예상할 수 있다.

이제 송신 측과 수신 측 피에조 트랜스듀서 사이에서 신호에 영향을 미치는 외부 요인 존재한다면, 전파되는 신호가 물체와 부딪치거나 혹은 외부 충격으로 인해 신호의 세기, 위상, 주파수 등이 변할 수 있다. 그런데, 수신 측에서 받는 신호가 얼마나 변형 됐는지 결과를 확인하기 전까지 예측할 수 없다. 외부 요인 유무에 상관없이 이상적인 매질에서 신호가 전파되는 상황이 아니므로 이에 따른 감쇄가 발생하기 때문이다.

따라서 외부 요인에 따른 송/수신 측 신호의 차이가 확연하게 드러나도록 함으로써, 원자 단위의 터치 이벤트를 검출 할 수 있도록 송신 측에서 사용할 신호를 결정하는 것이 중요하다. 송/수신 측 신호를 주파수 영역에서 서로 비교 및 분석을 수행함으로써 특정 주파수 영역에서 성분의 차이가 일정 기준치 이상 벌어지는 경우, 원자 단위의 이벤트를 발생시킬 수 있게 된다.

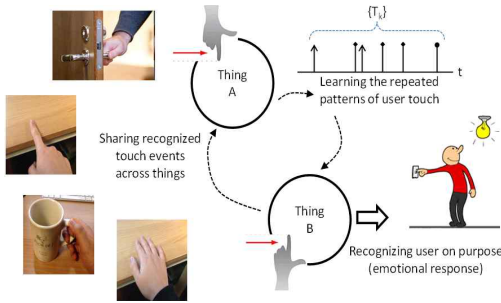


그림 7. 개인화된 사물들 및 사람간의 상호작용을 위한 대상간의 이벤트 공유

Fig. 7 Event sharing between things for individualized things-human interaction

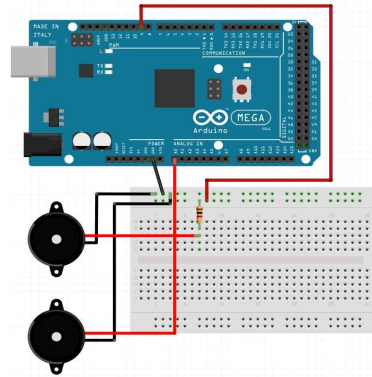


그림 9. 실험에서 사용한 회로  
Fig. 9 Breadboard circuit

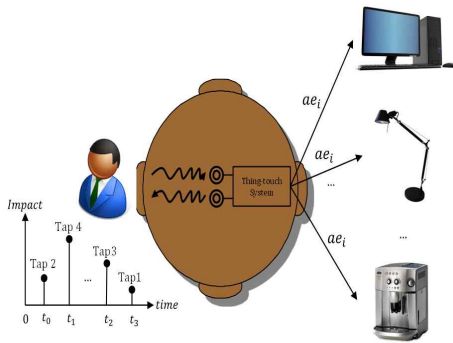


그림 8. 사용자의 의도 인지  
Fig. 8 Recognition of user's purpose

#### 4. 적용 가능한 응용 사례

그림 7을 통해서 앞에서 제안한 환경을 토대로 어떻게 실생활에서 적용할 수 있는 지 살펴보면 다음과 같다. 사람이 문을 열 때, 문손잡이 주변으로 인가되던 신호가 왜곡이 된다. 이를 바탕으로 ‘문이 열렸다.’는 원자 이벤트를 주변에 있는 사물들에게 보냄으로써 각각의 사물들이 사람에게 서비스를 제공할 수 있는 토대를 마련하게 된다.

이제 사람이 의자에 앉아서 책상을 터치했을 때, 몇 번 터치했는지, 터치 시 세기가 어느 정도 되는 지, 어떤 장애물을 책상 위에 올려두는 지에 따라 서로 다른 원자 이벤트가 검출이 되어 사물들에게 전송되게 된다. 생성된 원자 이벤트들을 사물들이 공유함으로써 적체된 원자 이벤트들로부터 의미 있는 이벤트 패턴을 발견했을 때 이에 상응하는 서비스를 사람에게 제공하게 된다. 가령, 책상을 한번 두들겼을 때 스탠드의 불이 들어오게 하거나, 두 번 두들겼을 때 컴퓨터 전원이 켜지는 식으로

적용 할 수 있다. 혹은 책상 위에 커피 머신이 존재한다고 했을 때, 커피 머신 아래에 컵을 두면 자동으로 커피가 나오는 경우도 가능하다.

그림 8에서 터치를 통해 사용자가 원하고자 하는 의도가 사물들에게 어떻게 전달되는지를 알 수 있다. 사람은 어떤 외부 요인을 가했을 때, 관련된 서비스를 받을 수 있는 지 사전 지식을 미리 알고 있다고 가정한다. 사용자가 원하는 서비스를 받기 위해 일련의 터치 과정을 수행한다. 터치로 인해 변형된 신호를 토대로 그림 2의 thing touch system에서 신호의 왜곡된 정도에 상응하는 원자 이벤트를 검출한다. 특정 시점에 검출된 원자 이벤트는 네트워크에 참가한 모든 사물들에게 전송된다. 이 때, 전송되는 원자 이벤트는 동일한 의미를 지닌다. 각각의 사물들은 해당 원자 이벤트를 내부 트래이서 버퍼에 저장하고, 일정 개수가 모일 때마다 각 사물 내 내장된 LUT와 비교함으로써 그 결과가 일치할 경우 LUT에 대응되는 서비스를 사물에서 사용자에게 제공하는 방식으로 커뮤니케이션이 이루어진다.

그런데 터치 도중에 원치 않은 노이즈로 인해 원자 이벤트가 제대로 검출 되지 않으면, 사물들에게 원자 이벤트가 전송되지 않아 사용자의 의도가 묵살될 수 있다. 혹은 원치 않은 이벤트가 검출되어 사용자가 의도한 바와 전혀 다른 서비스를 제공할 가능성 또한 존재한다. 본 논문은 송/수신 측 신호 결과로부터 원자 이벤트를 생성할 수 있다는 점에 초점을 맞추고 있다. 따라서 이 부분에 대해서는 앞으로 추후 터치 기반 음향 감지 시스템에 대해 관련 연구를 진행하면서 개선해 나가야 할 것이다.

표 1. 송신 측 신호 파라미터

Table 1. Signal parameter at transmitter part

Signal type	Chirp
Frequency sweep	Linear
Sweep mode	Bi-direction
Initial frequency	1Hz
Target frequency	60Hz
Target time	2sec
Sweep time	5sec
Sampling time	1/8000sec

표 2. 시뮬레이션 파라미터

Table 2. Simulation parameter

Total simulation time	15sec
Simulation mode	External mode

#### IV. 실험 결과

##### 1. 실험 환경

본 논문에서 실험을 수행하기 위해 구성된 회로 도는 다음과 같다. 그림 9의 송신 측에서 사용한 저항은 1k로 피에조 트랜스듀서에 과전류가 흐르지 않도록 하기 위해 사용되었다. 피에조 트랜스듀서 간의 약 1cm 거리안에 터치를 감지하였다.

표 1과 표 2는 송신 측에서 피에조 트랜스듀서로 전송하는 Chirp 신호에 대한 파라미터 값, 시뮬레이션 시간 및 수행한 시뮬레이션 모드를 나타낸다. 표 2에서 Simulation mode에서 사용한 External mode는 Arduino에서 계산된 결과를 받아서 PC 상에서 값을 출력할 때 사용된다. External mode는 Arduino Mega 2560 R3와 Arduino Due 모델에서만 지원한다.

##### 2. 실험 결과

PC 상에서 송신 부 측에서 피에조 센서로 인가한 시간에 따른 디지털 신호는 그림 10과 같다.

위 그래프에서 X Axis는 총 시뮬레이션 시간(단위: 초), Y Axis는 0V/5V의 전압(디지털 값)이 된다. 센서와 센서 사이에 검지가 없을 경우와 검지가 존재할 경우, 수신 측에서 변환되는 아날로그 신호는 각각 그림 11, 그림 12와 같다. 그림 11, 12의 X Axis는 그림 10과 동일하고, Y Axis는 변환된 아날로그 전압(단위: V)이 된다. 검지가 존재하지 않은 경우에도 약 0.3~0.7V 정도의 신호 감쇄가 발생하는 모습을 그림 11을 통해 확인할 수 있다.

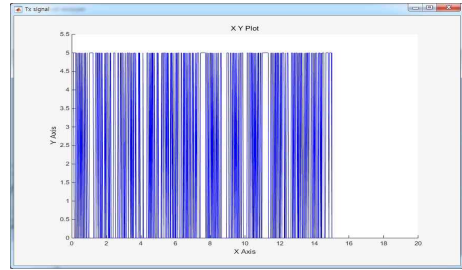


그림 10. 시간에 따른 송신측 디지털 신호  
Fig. 10 Digital signal at transmitter part

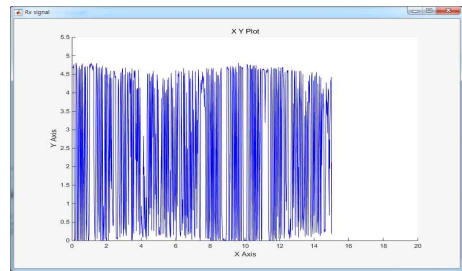


그림 11. 장애물 부재 시 수신 측 신호  
Fig. 11 Analog signal at receiver part without obstacle

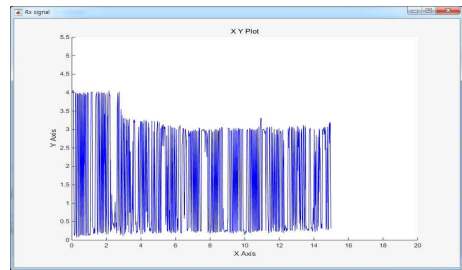


그림 12. 장애물 존재 시 수신 측 신호  
Fig. 12 Analog signal at receiver part with obstacle

그림 12에서 신호 감쇄 폭이 처음 약 2.5 초 동안 1V에서 이후 2V로 단번에 증가한 사실을 미루어 볼 때, 장애물이 존재 하는 경우가 없을 때보다 감쇄 폭이 더 크며, 장애물이 매질에 미치는 영향에 따라 그 감쇄 폭 또한 달라지는 사실을 확인할 수 있었다. 이를 통해, 감쇄 되는 정도의 차이를 기준으로 이벤트를 검출 기준을 마련할 수 있고, 이후에도 이와 유사한 형태의 아날로그 신호가 외부에서 들어온다면, 외부에서 손가락이 센서 사이에 놓인 사실을 이벤트로 생성할 수 있다.

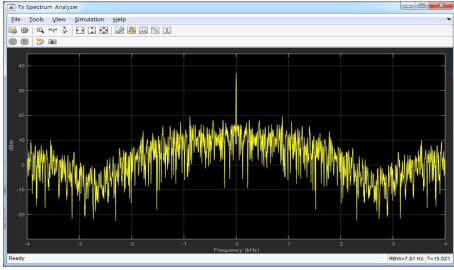


그림 13. 송신 측 주파수 성분  
Fig. 13 Frequency components at transmitter part

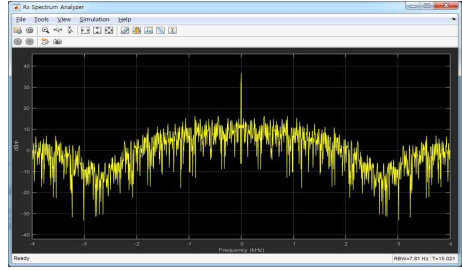


그림 14. 장애물 부재 시 수신 측 주파수 성분  
Fig. 14 Frequency components at receiver part without obstacle

그런데 시간 영역에서 이벤트 검출을 위한 기준을 마련하게 되면, 정확히 어느 주기로 이벤트 검출을 시행해야 할지 정하기 어려운 단점이 생긴다. 그 이유는 그림 11과 그림 12을 보면 간혹 주변보다 작은 값을 갖는 시간 영역이 존재하는데, 짧은 시간대만으로 이후 시간대를 아우를 수 있는 이벤트를 검출하는 데 한계가 발생하기 때문이다. 이를 해결하기 위해, 주파수 영역에서 FFT 혹은 파워스펙트럼을 통해 주파수 성분이 얼마나 차이 나는지를 비교함으로써 해결 할 수 있다. 그림 13은 주파수에 따른 송신 측 신호의 파워 스펙트럼을 나타낸다.

실험을 수행하는 과정에서 FFT가 아닌 스펙트럼 분석기를 활용한 이유는 다음과 같다. Matlab Simulink에서 FFT의 입력으로 벡터를 받는데, 각각의 샘플을 모아 벡터로 구성하기 위해서 버퍼를 사용해야 한다. 그런데 Simulink 모델이 컴파일 되어 보드에 업로드 되는 과정에서 메모리 부족으로 인한 오버플로우가 발생할 수 있다. 이를 막기 위해 보드로부터 USB 케이블을 통해 PC로 오는 샘플을 모아, 일정 개수의 샘플을 모을 때마다 이를 스펙트럼 분석기를 거치게 하여 주파수에 따른 전력 성분을 확인할 수 있도록 했다.

그림 14와 15는 각각 센서와 센서 사이에 장애물이 없을 때와 존재할 때, 주파수에 따른 수신 측 신호의 전력 성분을 나타낸다. 일정 수의 샘플이 모일 때마다 스펙트럼 분석기의 그래프가 업데이트가 되므로, 시간 영역과 달리 일정 시간 영역의 신호를 다룰 수 있는 장점이 있다. 하지만 일정 수의 샘플이 모이기 전까지 스펙트럼 분석기 내 그래프가 바뀌지 않기 때문에 항상 스펙트럼 분석기의 그래프가 바뀌는 시점에만 이벤트 검출 유무를 확인할 수 있다는 단점이 존재한다.

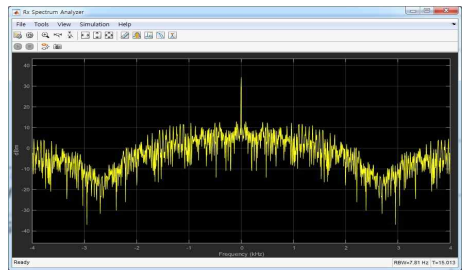


그림 15. 장애물 존재 시 수신 측 주파수 성분  
Fig. 15 Frequency components at receiver part with obstacle

### 3. 실험의 한계점 및 추후 개선해야 되는 방향

위 실험을 통해 음향 신호 기반 원자 이벤트를 감지하여 사람-사물 간 소통하기 위한 발판을 마련했지만, 실험을 진행하는 과정에서 한계점을 발견했다. 가장 큰 문제점은 실제 송/수신 측 피에조 트랜스듀서 사이의 거리가 1cm 정도 밖에 안 되어, 실생활에서 적용하기에 의미가 없을뿐더러 실험으로서의 가치가 떨어진다는 점이다.

이는 실제 환경을 구성하고 실험 수행 시, 송/수신 측 피에조 트랜스듀서 사이의 거리가 일정 수치 이상 벌어질 경우, 수신 측 피에조 트랜스듀서에서 제대로 된 결과 값을 얻기가 어려웠다. 실험을 진행하는 데 있어, 방해물 유무에 따른 신호의 차이가 발생한다는 점을 확인하고, 이를 통해 원자 이벤트를 발생시킬 수 있다는 점에 초점을 맞추었다. 그러므로 추후 연구에서는 송/수신 피에조 트랜스듀서가 충분히 떨어진 상황에서 동일 실험을 수행했을 때 비슷한 양상을 보일 수 있도록 이를 보완해야 한다.

두 번째로 앞에서 언급한 사항이 해결 되었다는 전제 하에 원치 않은 터치 혹은 주변의 노이즈 등



으로 원자 이벤트 생성에 영향을 미칠 때, 이를 어떻게 개선할 수 있을 지에 대한 점이다. 즉, 사용자가 원하는 요구사항이 제대로 반영 되지 않아 사물로부터 서비스를 제대로 받지 못하거나 사용자가 원치 않은 서비스를 사물이 제공하게 되는 경우를 의미한다. 여러 사람이 동시에 터치를 하거나 혹은 다수의 방해물이 존재하는 상황에서 터치를 진행할 때, 사용자의 의도를 충족시키도록 물체가 서비스를 제공하도록 관련 연구가 진행되어야 할 것이다.

## V. 결 론

본 연구에서는 사람-사물, 사물-사물-서버간 상호작용하는 과정을 다루기 위해 사람이벤트생성-수집센서노드-데이터수집서버 간에 상호 in-the-loop 환경으로 연동 검증할 수 있는 환경을 제안하였다. 사례연구로써 음향기반 감성터치 응용 시스템을 소개하였고 제안한 환경으로 사람의 이벤트에 반응하기 위해 아날로그 회로 영역인 터치 감지, 취득된 신호처리 및 이벤트 추출에 관련된 MCU 시스템 및 처리 소프트웨어, 적재된 터치 이벤트를 사물과 공유하고 이벤트를 해석하는 서버 측 연동 환경을 구현한 경험을 보여주었다. 개별 사물들에게 음향기반 터치기능을 내장시키고 사용자별, 사물 매질 특징에 따라 개인화된 터치 반응 정도를 분석하여 특정한 터치 이벤트에 대응되는 사용자 반응과 서비스를 제공할 수 있도록 프로그래밍 가능한 인터페이스를 제공하고 Matlab/Simulink와 동적인 연동제어 구조를 구현하여 사용자/관리자 레벨에서 사물터치의 개인화능 가능케 하는 구조에 대한 가능성을 보여주었다.

## References

- [1] T. Collins, "Active acoustic touch interface," *Electronics Letters* Vol. 45, No. 20, pp. 1055-1056, 2009.
- [2] P. Lopes, R. Jota, J.A. Jorge, "Augmenting touch interaction through acoustic sensing," *Proceedings of the ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pp. 53-56, 2011.
- [3] D.J. Park, J.H. Cho, "Accuracy-Energy configurable sensor processor and IoT device for long-term activity monitoring in

rare-event sensing applications," *The Scientific World Journal*, Article ID 546563, pp. 1-16, 2014.

- [4] P. Khanna, M. Sasikumar, "Recognising emotion from keyboard stroke pattern," *International Journal of Computer Applications*, Vol. 11, No. 9, pp. 1-5, 2010.
- [5] B.R. Jones, R. Sodhi, R.H. Campbell, G. Garnett, B.P. Bailey, "Build your world and play in it: Interacting with surface particles on complex objects," *Proceedings of 9th IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 165-174, 2010.
- [6] R.W. Picard, "Toward computers that recognize and respond to user emotion," *IBM Systems Journal*, Vol. 39, No. 3-4, pp. 705-719, 2000.
- [7] R. Isermann, J. Schaffnit, S. Sinsel, "Hardware-in-the-loop simulation for the design and testing of engine-control systems," *Control Engineering Practice* Vol. 7, No. 5, pp. 643-653, 1999.

### Sanghyun Lee (이 상 현)



He is currently a M.S student in Department of Electrical Engineering at KAIST, Daejeon, Korea. He received his B.S. degree in Department of Electrical engineering at

KAIST. His current research interests include event-driven system design, large-scale simulation framework, hardware-in-the-loop simulation, event-driven control unit and Internet of Things (IoT).

Email: sysmaking@gmail.com

**Tag Gon Kim (김탁곤)**



He received the Ph.D. degree in computer engineering from the University of Arizona, Tucson, in 1988. In Fall, 1991, he joined the Electrical Engineering Department, KAIST, Daejeon, Korea. From 1989 to 1991, he was an Assistant Professor with the Electrical and Computer Engineering Department, University of Kansas, Lawrence. His research interests include methodological aspects of systems modeling simulation, analysis of computer/communication networks, and development of simulation environments. He is a member of Eta Kappa Nu.

Email: tkim0303@kaist.ac.kr

**Jeonghun Cho (조정훈)**



He received the B.S. degree in electrical engineering, the M.S. degree, and the Ph.D. degree in electrical engineering and computer science (EECS) from the Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon, Korea, in 1996, 1998, and 2003, respectively. He is currently an Associate Professor with the School of Electronics Engineering in Kyungpook National University, Daegu, Korea. His research interest includes optimized compiler, operating system, and design automation for embedded systems and reconfigurable computing. Dr. Cho is a member of ACM and IEEE. Email: jcho@ee.knu.ac.kr

**Daejin Park (박대진)**



He received the B.S. degree in electronics engineering from Kyungpook National University, Daegu, Korea in 2001, the M.S. degree and Ph.D. degree in electrical engineering from the Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST), Daejeon, Korea, in 2003, and 2014, respectively. He was a Research Engineer at Major Semiconductor Companies such as SK Hynix Semiconductor, Samsung Electronics, and ABOV Semiconductor over 12 years from 2003 to 2014, respectively and have worked on processor architecture design and low-power ASIC implementation with custom-designed software algorithm optimization. Dr. Park is now with School of Electronics Engineering in Kyungpook National University, Daegu, Korea and a visiting research professor as presidential postdoctoral fellow.

Email: boltanut@knu.ac.kr