

개인화된 음향 터치 이벤트 인식을 이용한 저전력 사물-서버 간의 상호작용 기법

김성섭*, 최기호*, 조정훈*, 박대진^o

Low-Power Things-Server Interaction Technique using Individualized Acoustic Touch Event Recognition

Seongseop Kim*, Kiho Choi*, Jeonghun Cho*, Daejin Park^o

요 약

본 논문은 음향신호 왜곡 터치 인식 기법을 활용하여 사물-서버 간의 상호작용을 가능하게 하는 신호처리-통신 연동 시스템을 제안한다. 클라이언트인 센서 프로세서는 음향신호 왜곡 효과를 인식하여 사물들로부터 터치 이벤트를 추출하여 시간에 따른 터치 이벤트를 서버로 전송하고, 서버는 사람-사물 간 상호작용의 개인화된 행위 패턴을 인식한다. 사물들로부터 얻어진 패턴 데이터 전송을 위하여 스레드 소켓 기반의 무선 통신 환경을 구현하였고 서버-사물 간 통신 채널을 통한 이벤트 전송에서의 빈번한 전력 소모를 줄이기 위하여 인접한 사물-사물 간의 이벤트 공유를 구현하여 신호처리 계산을 각 센서 신호 처리 프로세서로 분산하였다. 제안하는 사물-서버 간의 상호작용 신호처리 시스템에서 요구되는 전력 소모를 자체 설계한 음향 터치 인식 회로를 활용하여 측정된 결과를 제시한다.

Key Words : Acoustic signal event detection, Wireless sensor network, Pattern matching, Edge computing, Low-power processing

ABSTRACT

This paper proposed a signal processing-communication interoperation system that enables interaction between things and server using acoustic distortion touch recognition. The sensor processor extracts touch events from things as recognizing the effect of the acoustic signal distortion and transmits touch events to the server to recognize the individualized behavior pattern of the interaction between a person and the thing. In this paper, we implemented a thread socket based wireless communication for sharing events. Also, to reduce frequent power consumption due to event transmission through server to thing, we distributed signal processing to each sensor signal processing processor based on event sharing between adjacent things. And we presented the power consumption measurement results that required by the things-server interaction signal processing system using the proposed acoustic touch recognition circuit.

* 본 논문은 교육부의 재원으로 한국연구재단의 기초과학연구 프로그램의 지원을 받아 수행된 연구결과임 (No. 2014R1A6A3A040594 10 and 2016R1D1A1B03934343).

♦ First Author : Kyungpook National University, School of Electronics Engineering, kss92318@gmail.com, 학생회원

° Corresponding Author : Kyungpook National University, School of Electronics Engineering, boltanut@knu.ac.kr, 정회원

* Kyungpook National University

논문번호 : KICS2017-04-128, Received April 29, 2017; Revised June 25, 2017; Accepted July 26, 2017

I. 서 론

최근 사물-사물, 사물-서버 간의 통신을 기반으로 하는 사물인터넷 기술과 응용 서비스가 적용된 다양한 사례들이 연구되고 있다. 본 연구는 음향신호를 기반으로 하는 터치 이벤트를 매개체로 하여 사람과 상호작용하는 사물에 대한 연구와 그 사물과 서버와의 상호작용에 대한 통신 모델, 그리고 그를 최적화하는 방법을 제안한다. 더 나아가 음향신호를 기반으로 하는 사람-사물 간의 상호작용에서 누락된 데이터를 무선 통신환경에서 사물-서버끼리 공유함으로써 사용자에게 개인화된 새로운 서비스를 제공하는 연구의 초기 경험을 소개한다. 음향신호 감지 기반의 사물에서부터 서버로 전송된 신호들의 패턴을 분석하여 사용자가 사물로부터 새로운 서비스를 제공받을 수 있도록 한다.

기존의 터치 인식 방식은 터치의 인식이 필요한 사물의 표면에 설계 단계에서 관련 인터페이스를 탑재하여야 한다는 문제점을 가지고 있다. 하지만 주위의 대부분의 사물은 이러한 인터페이스가 탑재되어 있지 않으며 해당 사물에 터치 기능을 추가하기 위하여서는 표면의 특정 영역에 관련 인터페이스를 추가하여야만 한다. 본 연구에서 사용하는 음향신호 감지 기반 터치 인식 기술은 터치 인식을 위한 관련 인터페이스를 사물의 표면에 탑재시키지 않고도 터치 인식을 가능하게 하는 장점을 가진다. 사물의 표면에 두 개의 피에조 트랜스듀서를 부착하여 각각을 송신 측과 수신 측으로 결정한다. 송신 측에서 발생하는 음향 신호가 수신 측으로 입력될 때 사람의 터치로 인한 신호의 왜곡되는 정보를 감지하여 신호의 분석을 통하여 사람의 터치 이벤트를 감지한다. 이때 왜곡을 감지하기 위한 매질의 기준치 이상의 차이가 발생할 경우 이벤트를 발생하게 된다.

일반적인 사물-서버 간의 무선 통신환경 구조의 사물들에서 생성되는 많은 양의 데이터들은 서버 측에서의 높은 데이터 처리량과 비효율적인 구조를 가지게 한다. 이러한 문제점에 입각하여 본 연구에서는 사물들로부터 발생하는 이벤트들로부터 사용자에게 새로운 개인화된 서비스를 제공하기 위한 사물들과 서버 간의 상호작용을 소개와 더불어 서버 측에서의 비효율적인 구조에 대해 전체 상호작용의 전력 소모 관점에서의 여러 가지 모델과 그 모델의 분석을 제안한다. 제안하는 모델들은 다음과 같다. 원자 단위의 이벤트가 아닌 사물에서의 전체 신호를 서버 측으로 전송하여 원자 단위 이벤트를 생성하는 모델과 사물 측

에서 원자 단위의 이벤트를 생성한 후 서버 측으로 전송하는 모델, 그리고 사물 측에서 원자 단위의 이벤트가 발생된 후 인접한 사물끼리 이벤트들을 공유하여 새로운 이벤트를 서버 측으로 전송하는 엣지 컴퓨팅 모델을 제안한다. 각 경우에 대하여 사물과 서버 측에서 음향 신호의 처리와 통신 시에 발생하는 소비되는 전력의 양이 다르며 이를 수식적으로 분석하여 저전력 구조를 가지는 사물-서버 상호작용의 구현을 목표로 한다.

또한, 기존의 음향신호 감지 기반 터치 인식 기술을 발전시켜 터치 이벤트가 발생하는 사물의 표면에 대하여 그 매질의 특성에 맞는 신호의 특성을 분석하는 구조와 그 결과를 토대로 사물에서의 신호 처리 관점의 효율적인 사물-서버 구조를 소개한다. 매질마다 특성을 고려하여 신호의 왜곡 감지의 정확도를 높일 수 있는 신호를 사용하여 사물 측에서의 효율적인 이벤트 발생을 통하여 사물-서버 전체에서의 효율적인 구조를 제안한다. 사물 측에서의 효율적인 신호처리를 위하여 피크 검출기를 음향신호 기반의 사물의 인터페이스에 추가하여 사물-서버의 전체 상호작용의 효율성을 재고한다.

사물-사람 간 개인화된 상호작용을 위해서는 서버 측에서 사물들로부터 전송된 이벤트들을 이용하여 사용자의 패턴을 분석하고 저장할 수 있어야 한다. 그 후 각각의 패턴에 대응하여 사용자에게 개인화된 서비스를 제공할 수 있는 인터페이스가 존재하여야 한다. 본 연구는 이러한 구조를 가능하게 하기 위한 초기 단계로써 사물과 사람 간의 개인화된 상호작용을 위해 다양한 이벤트를 감지하도록 하였고 추후에 이를 보완하고 확장할 계획이다.

본 논문은 다음으로 구성된다. 2장에서는 본 연구와 유사한 연구들을 소개하고, 3장에서는 구현한 전체 시스템 및 최적화 방안 그리고 제안하는 통신 모델을 소개한다. 4장에서는 실제 음향신호 감지 기반의 인식 기술을 이용한 신호 파형 분석과 전력 소모량을 이론, 실험적으로 분석하고 마지막 5장에서 결론을 맺도록 한다.

II. 사례 연구

음향신호 기반의 감지를 통한 터치 이벤트에 대한 연구들이 기존에 진행되었으나^{1,2} 음향 신호의 처리에 중점이 되어 있다. 본 연구에서는 음향처리 중점에서 벗어나 음향감지 기술을 기반으로 하여 사물의 매질을 타고 전파되는 신호의 왜곡을 감지하고 터치를

인식하는 사물의 구조를 이용하는 사물-서버 간의 상호작용 구조를 제안한다.

터치 이벤트를 장시간 동안 관찰하고 분석하여^[3] 사용자의 터치 이벤트의 패턴을 파악하기 위하여 사물-서버 간의 무선 통신 환경을 제안한다. 이러한 과정으로부터 사용자의 의도를 파악하고^[4-6] 사용자에게 새로운 서비스를 제공하도록 한다. 본 연구에서는 기존의 저전력 센서 어플리케이션 연구^[7]와 마찬가지로, 음향신호 왜곡을 이용한 터치 감지 센서 프로세서의 동작을 최적화시킨 저전력 센서 네트워크 구조를 제안한다. 그리고 센서 네트워크에서의 알고리즘 기반의 저전력 연구^[8]와 아키텍처 기반의 저전력 연구^[9]등과 달리, 본 연구에서는 음향신호 감지 기반의 사물에서의 저전력 구조를 위한 통신 모델의 구축을 제안한다. 이로부터 음향신호 감지 기반의 최적화된 사물-서버 간의 상호작용 구현을 목표로 한다.

III. 본 론

본 논문에서 제안하는 기능적 전체 구조는 그림 1과 같다. 그림 1은 음향감지 이벤트 기술을 기반으로 한 사물인터넷 간의 데이터 공유 및 서버 측에서의 데이터 수집, 그리고 수집된 데이터를 기반으로 하여 서버 측에서의 패턴 생성 및 개인화된 서비스 제공하는 구조를 나타낸다. 본 연구에서는 음향감지 이벤트 기술을 기반으로 한 사물인터넷 간의 상호작용 및 이를 이용한 개인화된 패턴 생성을 위한 서버-사물과 사물-사물 간의 상호작용 환경을 구현하기 위하여 무선 통신 환경을 제안한다. 그리고 서버 측으로 집중되는 이벤트 데이터의 최적화 처리를 위하여 사물-사물 간의 상호작용과 사물에서의 최적화된 터치 이벤트 감지를 위하여 매질에 맞는 기준을 정하는 것을 제안한다.

제안하는 음향기반 이벤트 감지 시스템과 그를 이

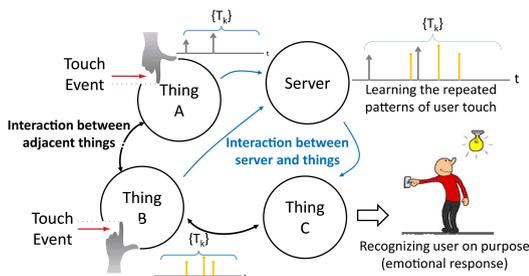


그림 1. 음향신호 이벤트 감지를 이용한 사물-서버 상호작용
Fig. 1. Things-server interaction based on acoustic signal event detection

용한 상호작용에서의 상세 구조는 그림 2와 같다. 각 사물에서 발생하는 신호들은 매질에 사람의 터치가 가해질 경우 MCU에서의 신호처리를 통하여 이벤트로 표현된다. 이때 MCU에서 일어나는 과정들은 그림 2의 사물 C (Thing C)에서의 과정으로 나타난다.

사물 C에서의 음향 이벤트 감지를 위한 과정은 다음과 같다. 신호의 송신 측 피에조 트랜스듀서에서 음향 신호를 생성하여 매질을 통하여 수신 측 피에조 트랜스듀서로 전달시킨다. 이때 매질에 대해 외부의 특정한 이벤트가 없으면 매질의 특성만을 고려한 신호가 수신 측 피에조 트랜스듀서로 전달된다. 반면 매질에 외부의 특정한 이벤트, 사람의 터치 이벤트가 발생하게 되면 수신 측 피에조 트랜스듀서로 전달되는 신호의 왜곡이 발생한다. 즉 음향기반 이벤트는 송/수신 측의 두 피에조 트랜스듀서 사이를 터치하였을 때와 그렇지 않았을 경우의 수신 측 신호의 왜곡 정도를 비교하여 감지할 수 있다.

MCU에서의 음향 신호 이벤트 감지의 자세한 구조는 그림 3과 같다. 송신 측에서는 MCU의 Timer 기능

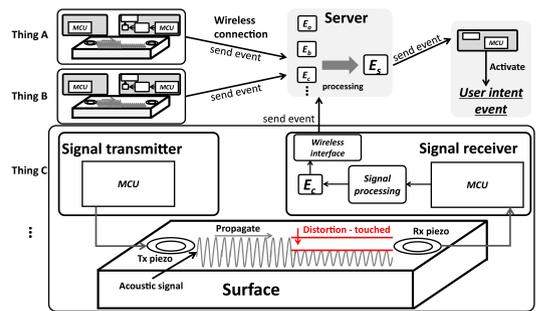


그림 2. 제안하는 사물-서버 상호작용의 상세 구조
Fig. 2. Detail structure in proposed things-server interaction

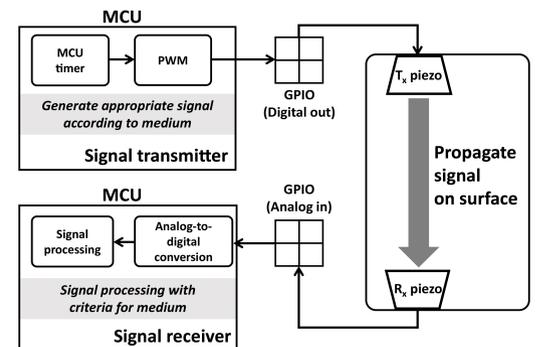


그림 3. MCU에서의 음향신호 이벤트 감지
Fig. 3. Acoustic event detection in MCU

을 이용하여 매질에 적합한 주파수의 신호를 만들어 정확한 터치 이벤트 감지를 하도록 구현하였다. 생성된 신호는 GPIO 핀을 통하여 송신 측 피에조 트랜스듀서로 전달되어 매질을 타고 이동한다. 매질을 타고 전파되는 신호는 수신 측 피에조 트랜스듀서로 입력되어 마찬가지로 GPIO 핀을 통하여 수신 측 MCU로 입력된다. 이때 수신 측에서는 입력되는 아날로그 신호에 대해 디지털 신호로의 변환 과정이 이루어진다. 그 후 매질에 대하여 음향 이벤트 감지를 위한 기준으로부터 사용자의 매질 터치 여부를 확인하게 된다.

3.1 패턴 생성을 위한 다양한 이벤트 검출

서버 측에서 다수의 사물로부터 전송된 데이터들로부터 사용자의 개인화된 패턴 생성을 위해서는 이벤트의 다양화가 필요하다. 따라서 사물에서 다양한 터치 이벤트 검출 기준을 생성하여 여러 가지의 사용자 터치 이벤트를 인식하도록 제안한다. 본 논문에서는 MCU의 기능을 활용하여 사용자로부터의 일반적인 터치 이벤트와 연속적인 터치 이벤트, 그리고 긴 시간 동안의 터치 이벤트 검출을 구현하여 다양한 터치 이벤트를 감지하도록 하였다. 본 연구에서 사용한 다양한 터치 이벤트는 표 1에 나타난다.

수신 측에서 신호의 왜곡을 감지하기 위하여 각 매질에 대하여 이벤트 감지를 위한 고유한 threshold 전압을 실험적으로 측정하고 그 기준에 대하여 수신 측에서 신호의 왜곡 전후의 값을 비교하여 터치 이벤트를 감지하도록 하였다. 또한, 한 사물의 표면에 대하여 연속적인 터치 이벤트를 감지하기 위하여 MCU의 타이머 기능을 활용하여 정한 시간 내에 터치 이벤트가 발생할 경우 연속적인 터치 이벤트로 감지하였다. 긴 시간 동안 지속적인 사용자의 터치 이벤트에 대해서도 마찬가지로 MCU의 타이머 기능을 이용하여 이벤트를 검출하도록 하였다. MCU에서의 이러한 전체 이벤트 검출 알고리즘은 그림 4와 같다.

표 1. 음향 신호 터치 이벤트 종류와 구현 방법
Table 1. Types of acoustic signal touch event and implementation method

General touch	Use threshold voltage
Successive twice touch	Use mcu timer
Continuous touch	Use mcu timer

3.2 사물-서버 간의 무선 상호작용

사물에서 발생하는 음향 감지 이벤트의 서버 측 전송을 위해 본 논문에서는 사물-서버 간의 무선 상호작용

```

Function event-detector
while
    V = readVoltage(a, Apin);
    Vh = V;
    if Vh <= V
        Vh = V;
    end
    if Vh - V > Dv
        if Timer isn't running
            Timer Start(2secs);
            send(E1);
        end
        if Timer is running
            send(E2);
        end
        if Timer is done
            if Vh < Dlong
                send(E3);
            end
        end
    end
end
    
```

V_h : High-peak voltage
 D_v : Touch detection thresholds
 D_{long} : Long touch detection thresholds
 E₁ : Touch event
 E₂ : Successive touch event
 E₃ : Long touch event
 a : information about board(H/W) connection
 A_{pin} : Analog pin

그림 4. MCU에서의 터치 이벤트 감지 알고리즘
Fig. 4. Touch event detection algorithm

을 제안한다. 많은 사물로부터 발생하는 데이터들은 서버 측으로 무선 환경을 통해 전송되어 개인화된 패턴 생성을 하도록 한다. 본 논문에서는 IEEE 802.11 표준 Wi-Fi 무선 접속 기술을 기반으로 하는 사물-서버 간의 상호작용을 제안하여 MCU에서 감지되는 음향 신호 터치 이벤트들을 각각의 MCU와 결합한 무선 인터페이스 모듈을 이용하여 서버 측으로 전송되고, 서버 측에서 처리 되도록 하였다. 서버 측과 MCU의 무선 인터페이스 모듈 간에는 TCP/IP 기반의 소켓을 이용하여 통신하도록 하였으며 한 서버에 여러 사물의 데이터 통신을 이용하여 쓰레드를 사용하도록 하였다. 제안하는 사물-서버 간의 상호작용 구조는 그림 5와 같다.

생성된 터치 이벤트들은 각각의 사물들에 연결된 무선 인터페이스를 통하여 서버 측과 소켓을 통하여 데이터 전송이 이루어진다. 이때 많은 수의 사물들로

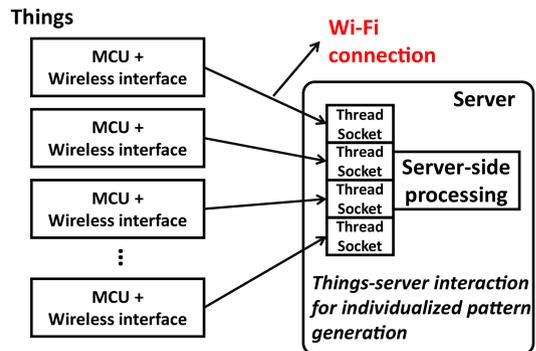


그림 5. TCP/IP 소켓 기반의 사물-서버 간 통신
Fig. 5. Communication between things and server based on TCP/IP socket

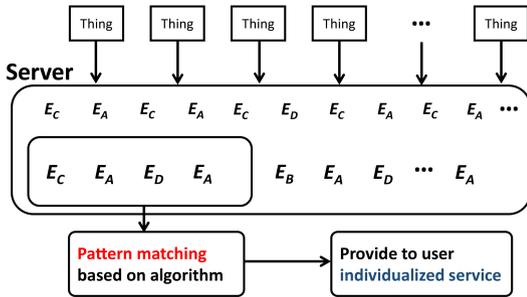


그림 6. 사물서버 이벤트 수집 및 서버 측 패턴 매칭
 Fig. 6. Things-to-server event collection and server-side pattern matching

부터 데이터를 전송받기 위하여 서버 측에서는 쓰레드 소켓 구조를 구현하여 많은 데이터를 전송받도록 하였다. 그리고 사물들로부터 감지된 다양한 이벤트들은 그림 6에서 나타난 것처럼 서버 측으로 전송된 후, 알고리즘을 통하여 다양한 터치 이벤트들로부터 사용자의 개인화된 패턴을 찾고 그에 해당하는 개인화된 서비스를 제공하도록 한다.

3.3 최적화된 서버-사물 상호작용

음향 감지 이벤트 기반 서버-사물 간의 상호작용을 최적화시키기 위하여 본 논문에서는 최적화된 음향 이벤트 감지와 최적화된 서버-사물 간의 상호작용을 제안한다. 최적화된 구조를 구현함으로써 음향 이벤트 감지를 이용한 서버-사물의 상호작용에서 데이터 처리량 감소와 저전력 효과를 기대할 수 있다.

본 연구에서는 음향 이벤트 감지 기술을 이용하여 터치 인식을 할 때 매질에 따른 적절한 주파수를 찾기 위하여 Matlab/Simulink 모델을 MCU와 연동하는 HILS (Hardware-in-the-loop Simulation) 방식^[10]을 이용하는 실험 구조를 구현하였다. Simulink와 MCU으로 사용되는 Arduino Mega 2560을 HILS를 이용하여 수신 측 피에조 트랜스듀서로부터 얻어지는 데이터를 PC에서 실시간으로 확인할 수 있도록 하였다. 이 구조를 기반으로 하여 많은 수의 실험을 진행하여 주파수를 변경해가며 매질에서 터치 이벤트를 더 정확하게 감지함으로써 불필요한 이벤트 전송을 막고 서버 측에서 효율적인 패턴 매칭을 가능하게 하여 사물-서버 간의 상호작용을 최적화시킬 수 있다. 주파수를 변경해가며 매질에 따른 이벤트 감지를 위한 Matlab/Simulink 구조는 그림 7과 같다. 외부 노이즈 상황을 가정하였을 경우에도 더 정확한 음향 신호 기반 터치 이벤트 검출을 할 수 있어 서버 측으로 정확한 이벤트를 전송할 수 있고 그로부터 최적의 사물-서

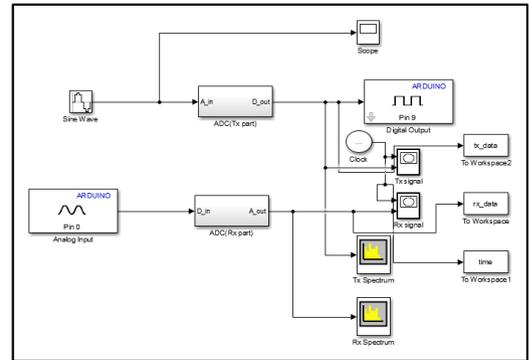


그림 7. Hardware-in-the-loop 시뮬레이션 구조
 Fig. 7. Hardware-in-the-loop simulation

버 상호작용 구조에서 개인화된 패턴을 생성할 수 있다.

또한, 사물의 신호 수신 측에서 신호의 왜곡을 감지하여 사람의 터치 이벤트를 감지한다는 사실에 입각하여 본 논문에서는 사물 측에서의 계산량을 줄이기 위하여 신호의 왜곡을 감지할 때, 수신 측으로 입력되는 신호의 피크 값을 가져오도록 피크 검출기를 하드웨어적으로 구현하여 추가하였다. 신호의 피크 값을 하드웨어로 구현함으로써 MCU 측에서의 계산량을 줄일 수 있고 사물-서버 상호작용에서 전체적인 계산량을 줄일 수 있다. 이러한 이유로 그림 3의 MCU 구조에 피크 검출기를 추가하였다.

사물-서버의 상호작용 구조에서 사물에서 발생하는 음향 이벤트 감지 기반 터치 이벤트 데이터는 서버 측으로 전송되어 개인화된 이벤트를 위한 패턴 매칭을 수행하게 된다. 이 경우 서버 측과 연결된 많은 수의 사물들만큼 많은 양의 데이터가 서버 측으로 전송되며 개인화된 패턴 생성을 위해 많은 양의 데이터 계산이 필요하다. 본 논문에서는 서버 측으로 데이터 전송과 계산량이 집중되는 사물-서버 구조에서 서버 측 계산량을 줄이기 위한 사물 간의 엣지 컴퓨팅 구조를 제안한다. 발생하는 원자 단위의 이벤트를 인접한 사물들에서 서버 측에서 수행되어야 할 패턴 매칭 작업의 일부분을 수행하여 좀 더 의미를 가지는 이벤트를 서버 측으로 전송함으로써 서버에서 처리되는 데이터양을 줄이도록 한다. 인접한 사물과 사물 간의 상호작용도 마찬가지로 무선 인터페이스를 이용하여 구현하여 서버 측으로 원자 단위의 이벤트 전송이 아닌 인접한 사물 간의 간단한 패턴 매칭 과정을 거친 이벤트를 전송하도록 한다. 이러한 사물-사물 간의 전 처리 상호작용을 구현하여 많은 사물로부터 전송되는 데이터를 줄이고 결과적으로 서버 측에서의 더 신속한 개인화

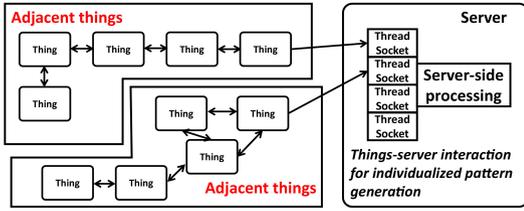


그림 8. 인접한 사물들 간의 엣지 컴퓨팅 구조
Fig. 8. Edge computing between adjacent things

된 패턴 매칭과 그에 따른 개인화된 서비스를 제공할 수 있다. 제안하는 사물-사물 간의 엣지 컴퓨팅 과정은 그림 8과 같다.

3.4 통신효과를 고려한 동작 모델

본 연구에서는 음향 신호 이벤트 감지 기반의 사물-서버 상호작용에서 세 가지의 통신 모델의 전력을 비교하였다. 첫 번째 모델인 음향 신호 이벤트 감지 사물에서 수신 측 피에조 트랜스듀서로 입력되는 신호의 샘플링 후의 신호마다 서버 측으로 전송하는 모델의 경우 각 사물에서 전체 전력은 식 (1)과 같이 나타난다. 식 (1)에서 P_{ADC} 는 신호의 샘플링에 소모되는 전력을, P_{TS} 는 샘플링 과정을 거친 각각의 신호를 서버 측으로 전송시키는 데 소모되는 전력, $P_{T(ev)}$ 은 서버 측에서 수집된 이벤트들을 처리하는 데 소모되는 전력을 의미하며, 전체 전력 소모는 일정한 개수의 샘플된 신호를 K번 전송할 때의 전력 소모를 의미한다. 식 (1)의 통신 모델은 사물에서 수신 측 피에조 트랜스듀서로 입력되는 신호가 샘플링이 수행될 때마다 서버 측으로 통신이 이루어지므로 통신에 의한 전력이 크다. 즉 P_{ADC} 보다 P_{TS} 가 전체 전력 소모에 차지하는 비중이 큰 구조이다. 또한, 서버 측에서 가공되지 않은 데이터로부터 이벤트를 얻어야 하므로 서버 측에서의 전력과 데이터 처리량도 큰 경우이다.

$$P_{case1} = \left(\sum_{n=0}^K P_{ADC}[n] + P_{TS}[n] \right) + P_{T(ev)} \quad (1)$$

두 번째 통신 모델은 왜곡된 음향 신호가 수신 측 피에조 트랜스듀서로 입력된 후 MCU에서 터치 이벤트를 감지하기 위한 처리 과정을 거친 후에 서버 측으로 감지된 원자 단위의 이벤트가 전송되는 구조이다. 사물에서 왜곡된 음향 신호를 감지하여 터치 이벤트를 생성한 후 서버 측으로 이벤트 단위의 전송이 이루어지므로 이벤트를 얻어내는 MCU 측의 전력 P_{MCU}

가 추가로 소모된다. 하지만 이벤트 단위의 전송이 이루어지므로 통신에 필요한 전력 P_{TS} 가 일정하게 소모되고 서버 측에서도 이벤트 단위를 받아 패턴 매칭 과정을 진행하게 되므로 전력과 데이터 처리량도 줄어들게 된다. 전력 소모는 입력 받은 K개의 샘플된 신호로부터 터치 이벤트를 검출하여 전송하기 위한 전력 소모의 합으로 식 (2)와 같이 나타난다.

$$P_{case2} = \left(\sum_{n=0}^K P_{ADC}[n] \right) + P_{MCU} + P_{TS} + P_{T(ev)} \quad (2)$$

음향 신호 이벤트 감지를 이용한 사물-서버 간의 상호작용에서 마지막 통신 모델은 사물-사물 간의 통신, 즉 사물 간의 엣지 컴퓨팅을 추가하여 서버 측으로 원자 단위의 이벤트 전송이 아닌 인접한 사물 간의 데이터 처리 과정을 거친 이벤트를 전송하는 모델이다. 이러한 구조는 인접한 일정 개수의 사물 간의 하위 엣지 네트워크를 구성하여 수집기를 추가하고 그들 간의 이벤트를 공유하여 데이터 처리 과정을 거쳐 원자 단위 이벤트가 아닌 여러 개의 터치 이벤트로부터 발생한 의미 있는 이벤트를 생성하여 서버 측으로 전송되게 한다. 이 경우 사물 간의 통신 전력이 추가로 소모된다. 하지만 무선 통신에서의 전력이 거리에 비례한다는 점을 고려하였을 때 사물 간의 통신에 필요한 전력은 서버 측과의 통신에 필요한 전력 값보다 적다. 또한, 서버 측에서 처리하는 이벤트들의 단위가 원자 단위의 이벤트가 아닌 인접한 사물 간의 패턴 매칭 과정을 거친 이벤트이므로 서버 측에서의 패턴 매칭을 위한 데이터 처리량도 감소하게 되어 전체 전력이 줄어든다. 마지막 모델의 경우의 엣지 네트워크 구조에서 L개의 사물에서의 전체 전력 소모는 식 (3)으로 나타난다. P_{TA} 는 인접한 사물로 이벤트를 전송할 때 소모되는 전력의 양을, P_{AS} 는 인접한 사물들에서 전 처리 과정을 거친 후 서버 측으로 전송할 때 소모되는 전력의 양을 의미한다.

$$P_{total} = \sum_{i=0}^L (P_{thing}[i] + P_{AS} + P_{T(ev)}) \quad (3)$$

where $P_{thing} = \sum_{n=0}^K (P_{ADC}[n] + P_{MCU} + P_{TA})$

IV. 실험

본 논문에서 실험을 수행하기 위해 구성된 MCU

측의 회로도도 그림 9와 같다. 음향 신호 기반 터치 이벤트 감지를 위하여 두 개의 피에조 트랜스듀서를 각각 송, 수신 측으로 사용하였다. 또한, MCU 측

에서 신호의 왜곡을 감지하여 터치 이벤트를 감지할 때 피크 검출기(peak detector)를 하드웨어로 구현하여 MCU 측에서의 계산량을 줄이도록 하였다. 실험에서는 MCU로 Arduino Mega 2560을 사용하였고 무선 인터페이스로는 ESP 8266 모듈을 사용하여 사물-서버 간의 무선 상호작용을 구현하였다. 또한, 매질에 대한 적절한 주파수를 찾아내기 위한 Matlab/Simulink와의 HILS 구조에서의 실험 조건은 표 2와 같다. Simulink의 External mode를 이용하여 주파수를 변경해가며 시뮬레이션을 진행하여 매질에 적합한 주파수를 찾도록 하였다.

PC 상에서 Matlab/Simulink을 이용한 HILS 구조에서 얻어지는 수신 측 피에조 트랜스듀서의 신호는 다음과 같다.

그래프에서 가로축의 시간은 시뮬레이션 시간, 세로축은 신호의 전압값이며 50Hz 신호에 대한 수신 측 신호이다. 센서와 센서 사이, 즉 매질의 표면에 사람의 터치 이벤트가 발생하기 전의 수신 측 피에조 트랜

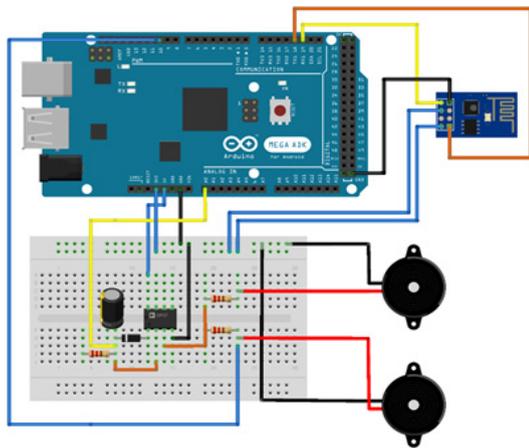


그림 9. 실험에서 사용한 회로
Fig. 9. Breadboard circuit

표 2. 시뮬레이션 조건
Table 2. Simulation condition

Signal type	sine
Frequency sweep	1Hz to 400Hz
Total simulation time	15sec
Simulation mode	External mode
Distance between sensor	1cm to 9cm

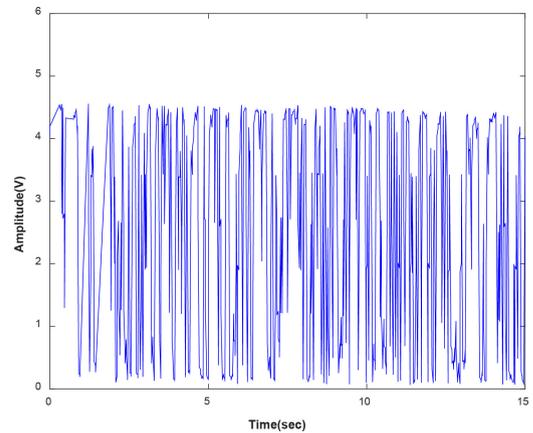


그림 10. 이벤트 발생 전 시간에 대한 수신 측 신호
Fig. 10. Signal at receiver part before event generation

스듀서로 입력되는 신호의 그래프는 그림 10이며 매질의 표면에 사람의 터치 이벤트가 발생하였을 경우의 수신 측 피에조 트랜스듀서로 입력되는 신호의 그래프는 그림 11과 같다. 그래프에 나타나듯이 사람의 터치 이벤트가 발생할 경우 신호가 급격하게 감쇄하는 것을 확인할 수 있다.

신호의 시간 영역에 대한 전압값의 왜곡을 통하여 터치 이벤트를 검출하는 방법에서, 실험에서는 피크 검출기를 하드웨어 기반으로 구현하였다. 수신 측 피에조 트랜스듀서로 입력되는 신호의 피크 값을 MCU 측으로 입력받아 음향 신호 기반의 사물에서 터치 이벤트를 더 효율적으로 검출하기 위해 피크 검출기를 수신 측 피에조 트랜스듀서에 연결하였고 MCU에서의 계산량을 줄이도록 하였다.

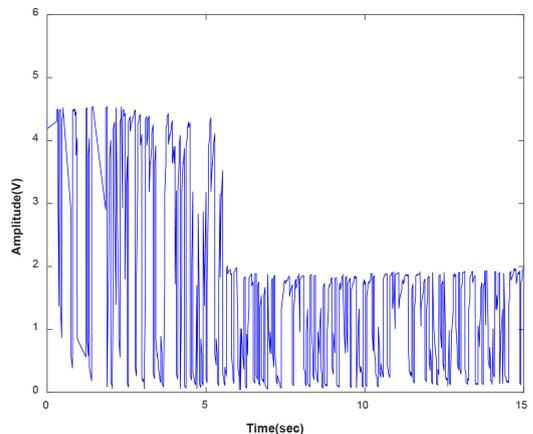


그림 11. 이벤트 발생 후 시간에 대한 수신 측 신호
Fig. 11. Signal at receiver part after event generation

그리고 매질의 표면에 전파될 음향 신호의 적절한 주파수를 실험적으로 얻기 위하여 PC와 Arduino 간에 Matlab/Simulink 연동 HILS 실험 구조를 구현하여 표 2에서 나타난 것처럼 주파수를 바꾸어가며 실험을 진행하였다. 실험에서는 사물의 매질로 합판을 사용하였으며 마찬가지로 두 개의 피에조 트랜스듀서를 송, 수신부로 하여 실험을 진행하였다. PC와 Arduino 간의 HILS 구조를 기반으로 실험을 진행함으로써 반복적인 실험을 진행할 수 있었으며 수신 측 피에조 트랜스듀서에서 터치 이벤트가 발생하기 전의 수신 측 피에조 트랜스듀서로 입력되는 음향 신호와 터치 이벤트 발생 후 수신 측 피에조 트랜스듀서로 입력되는 왜곡된 신호의 시간 영역에 대한 결과를 분석하여 그래프로 나타내었다.

그림 12는 사물의 매질에서 음향 신호의 주파수에 따른 왜곡률을 알아내기 위하여 주파수를 1Hz, 10Hz, 15Hz, 20Hz, 50Hz, 100Hz로 변경해가며 실험을 진행한 결과이다. 그래프에 나타난 신호는 수신 측 피에조 트랜스듀서로 입력되는 음향 신호이다. 시뮬레이션 중 9초 이후에 매질에 터치 이벤트를 발생시켰으며 그래프에서 9초 이후에 수신 측 피에조 트랜스듀서로 입력되는 음향 신호가 왜곡되는 것을 확인할 수 있다. 반복 실험을 통하여 각 주파수에 대한 왜곡률을 구하고 그 데이터를 이용하여 그림 13의 주파수에 따른 왜곡 그래프를 나타내었다. 그림 13은 각각의 주파수에 대하여 왜곡률의 최소, 최대 범위를 나타낸 실험 결과이다. 그래프의 가로축은 주파수를, 세로축은 왜곡률을 나타낸다. 실험 결과로 해당 매질에 대하여 낮은 주파수 대역의 음향 신호에서 높은 신호 왜곡률을 얻을 수 있음을 확인하였다. 그림 14는 거리의 변화에

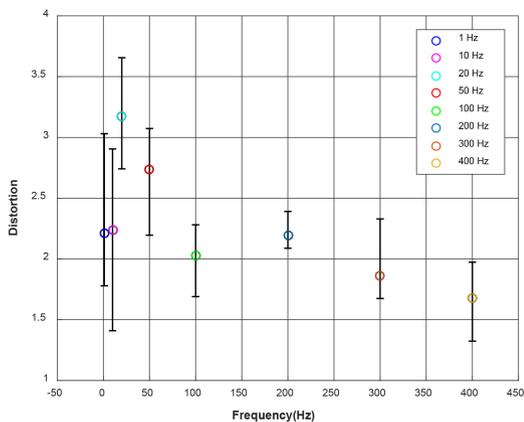


그림 12. 주파수의 대한 터치 이벤트의 신호 왜곡률
Fig. 12. Signal distortion rate on frequency

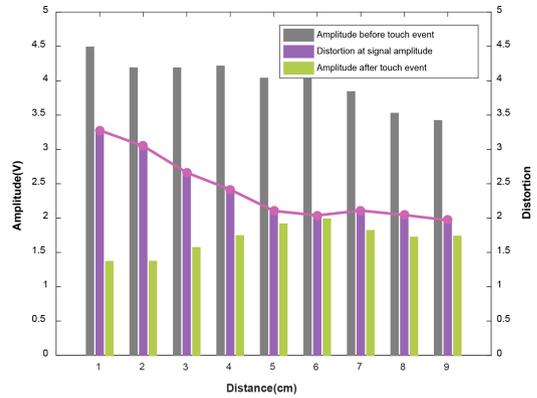


그림 13. 거리 변화에 대한 신호의 왜곡률
Fig. 13. Signal distortion rate on changing distance

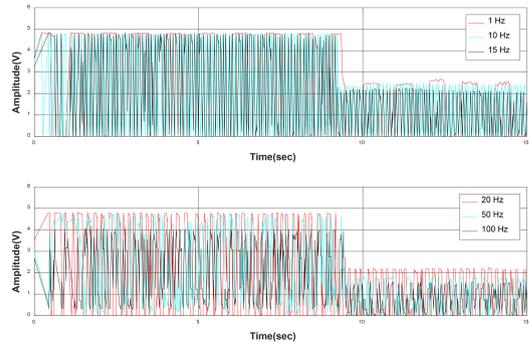


그림 14. 주파수의 변화에 대한 이벤트 전후의 신호 왜곡
Fig. 14. Signal distortion before and after touch event on change of frequency

대한 터치 전후의 신호 왜곡률을 나타낸 그래프이다. 그래프의 가로축은 거리(cm)를, 세로축은 왜곡률을 나타낸다. 실험의 결과로 거리가 멀어질수록 신호의 왜곡률이 낮아지는 것을 확인하였다.

위의 결과들을 이용하여 정확한 터치 이벤트 감출을 통한 사물-서버 간 상호작용의 최적화를 위하여 20Hz의 음향 신호를 사용하고, 센서 사이의 거리를 사람의 터치 이벤트가 발생하였을 때 왜곡이 충분히 감지 가능한 5cm로 하여 진행하였다. 매질에 적합한 음향 신호를 사용함으로써 정확한 터치 이벤트 감지를 구현하였으며 정확한 터치 이벤트를 서버 측으로, 혹은 인접한 사물로 전송함으로써 사물-사물, 사물-서버 간의 최적화된 상호작용을 구현하였다.

사물-사물과 서버-사물 간의 IEEE 802.11 표준 Wi-Fi 무선 접속 기술 기반의 상호 작용을 실험에서는 Arduino Mega 2560에 무선 인터페이스 ESP 8266을 연결하고, 윈도우 기반의 쓰레드 소켓을 이용하여 구현하였다. 서버 측에서는 쓰레드 소켓을 만들어 많

은 수의 사물들이 접속할 수 있도록 하였다. 그리고 사물-사물 간에도 마찬가지로 ESP 8266 무선 인터페이스 모듈을 이용하여 서로 간의 상호작용이 가능하도록 하였고 이 구조를 이용하여 사물-사물 간의 원자 이벤트를 의미 있는 이벤트로 만들 수 있도록 하였다.

실험에서는 음향 신호 기반의 사물에서 서버 측에서 일반적인 터치 이벤트와 연속적인 터치 이벤트가 연달아 발생하였을 경우에 그에 해당하는 패턴 매칭 과정을 거쳐 연결된 또 다른 사물을 활성화함으로써 사용자에게 개인화된 서비스를 제공하도록 하였다. 또한, 사물-사물 간의 엣지 컴퓨팅 구조도 구현하여 인접한 사물들에게서 원자 단위의 이벤트가 아닌 처리된 이벤트를 만들고 그 이벤트를 서버 측으로 전송함으로써 서버 측에서의 데이터 처리량을 줄이도록 하였다. 서버 측으로 원자 단위의 이벤트가 모두 다 전송되는 것이 아니라 인접한 사물 간에 의미 있는 이벤트를 얻기 위한 사물-사물 간의 무선 환경 기반 전 처리 과정을 추가함으로써 서버 측으로 집중되는 데이터 처리량을 줄여 더 효과적인 네트워크를 구현하도록 하였다.

사물-서버 간의 상호작용에서 제안한 세 가지의 통신 모델을 고려한 전력 소모를 비교한 결과를 아래의 그림들로 나타내었다. 그림 15는 제안한 첫 번째 통신 모델인 샘플링 된 신호의 서버 측 전송 후 이벤트 처리 결과를 나타내고 있다. 아날로그-디지털 변환에 소비되는 전력은 샘플링 주기에 따라 비례적으로 증가하게 되며 그에 따른 서버 측으로 데이터 전송을 위한 통신 전력 소모도 비례적으로 증가하는 구조를 가지게 된다. 반면 제안하는 통신 모델 중 두 번째인 그림 16의 경우 샘플링 신호를 MCU 측에서 감지하기 위

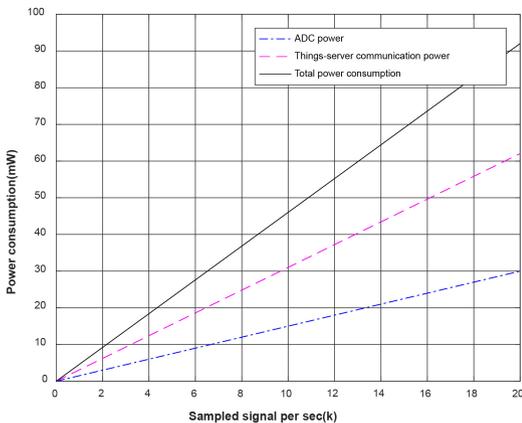


그림 15. 사물-서버 모델 1에서의 전력 소모
Fig. 15. Power consumption for things-server model 1

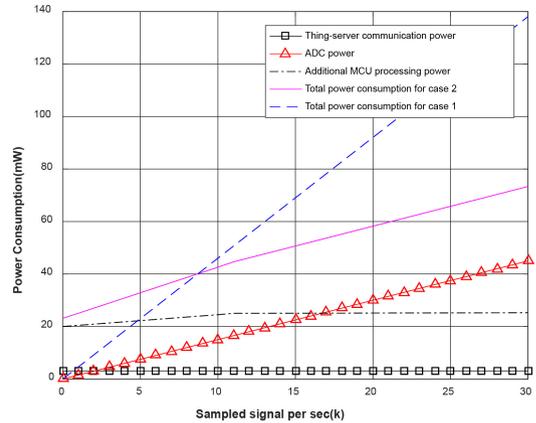


그림 16. 사물-서버 상호작용 모델 2에서의 전력 소모
Fig. 16. Power consumption for things-server model 2

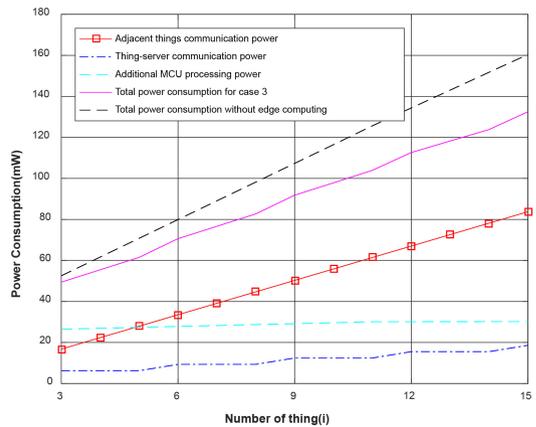


그림 17. 엣지 컴퓨팅을 고려한 제안 모델에서의 전력 소모
Fig. 17. Power consumption considering edge computing

한 추가적인 MCU의 전력 소모가 약 25mW 발생하지만, 이벤트가 감지될 경우에만 서버 측으로 데이터를 전송하기 때문에 통신에 사용되는 전력 소모가 첫 번째 통신 모델보다 줄어든다. 그 결과로 10Hz의 주파수로 샘플링을 수행한 후 데이터 전송 시에 첫 번째 모델보다 전체 전력 소모가 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 제안하는 엣지 컴퓨팅 구조를 추가한 세 번째 통신 모델에 대한 사물-서버 간의 상호 작용 전력 소모는 그림 17과 같다. 마찬가지로 초당 10개의 샘플 데이터를 얻도록 하였으며 인접한 사물 간에 의미 있는 이벤트를 생성하기 위하여 MCU 측의 처리량은 미세하게 늘어나게 된다. 하지만 일정한 개수의 사물을 수집기와 통신하도록 하여 사물-서버 측으로 직접 전송하였을 때보다 통신 거리를 줄이도록 하였다. 그림 17에 나타나는 전력 모델은 3개의 사물과 수집기 간

의 통신을 구현하였을 때의 결과이며 그로부터 통신에 필요한 전력 소모량을 줄이도록 하였다. 즉, 옛지 컴퓨팅을 사용하지 않았을 때보다 전력 소모가 적은 것을 알 수 있다. 또한, 서버 측에서의 이벤트 처리에서도 인접한 사물 간의 간단한 패턴 매칭 과정을 거친 이벤트를 전송받아 데이터 처리량을 줄일 수 있는 추가적인 이점도 가지는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

본 연구에서는 음향 신호 이벤트 감지 사물을 기반으로 한 사물-사물, 그리고 사물-서버 간의 상호작용 및 패턴 매칭을 통한 개인화된 서비스를 제공할 수 있는 신호 처리 및 통신 하드웨어 플랫폼 및 서버 측의 사용자 패턴 인식 소프트웨어 환경을 제안하였다. 이를 위해 음향 신호 기반 터치 인식을 위한 사물-사람 간 이벤트에 의한 상호작용을 감지하는 센서 신호 처리부와 이를 사물 간 공유하고 서버로 적재할 수 있는 통신을 포함한 하드웨어-소프트웨어 플랫폼을 제안하였다. 사물의 다양한 매질에 대하여 적절한 인식 음향 주파수에 대한 왜곡을 인식하는 신호처리 마이크로컨트롤러를 구현하였고 사물-서버 간의 터치 이벤트로 정의되는 상호작용의 시간에 따른 패턴을 무선 통신을 기반으로 하여 사물 간에 공유하고 이를 서버에 적재하는 환경을 구현하였다. 서버 측의 집중되는 데이터 처리 양을 줄이기 위하여 사물-사물 간의 옛지 컴퓨팅을 구현하여 원자 단위의 이벤트가 아닌 사물 간의 전 처리를 통하여 의미를 가지는 이벤트를 서버 측으로 전송하도록 하였다. 그리고 패턴 매칭을 통하여 사용자에게 개인화된 서비스를 제공하기 위하여 또 다른 사물을 활성화하는 구조도 구현하여 추후 사용자의 의도를 알아내는 개인화된 패턴 생성 구조의 가능성을 보여주었다.

References

[1] T. Collins, "Active acoustic touch interface," *Electron. Lett.*, vol. 45, no. 20, pp. 1055-1056, Sept. 2009.

[2] P. Lopes, R. Jota, and J. A. Jorge, "Augmenting touch interaction through acoustic sensing," in *Proc. ACM ITS*, pp. 53-56, Kobe, Japan, Nov. 2011.

[3] D. J. Park and J. H. Cho, "Accuracy-energy configurable sensor processor and IoT device

for long-term activity monitoring in rare-event sensing applications," *The Scientific World J.*, Article ID 546563, pp. 1-16, Dec. 2014.

[4] P. Khanna and M. Sasikumar, "Recognising emotion from keyboard stroke pattern," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 11, no. 9, pp. 1-5, Dec. 2010.

[5] B. R. Jones, R. Sodhi, R. H. Campbell, G. Garnett, and B. P. Bailey, "Build your world and play in it: Interacting with surface particles on complex objects," in *Proc. IEEE ISMAR*, pp. 165-174, Seoul, Korea, Oct. 2010.

[6] R. W. Picard, "Toward computers that recognize and respond to user emotion," *IBM Syst. J.*, vol. 39, no. 3-4, pp. 705-719, Jul. 2000.

[7] M. Hempstead, N. Tripathi, P. Mauro, GY. Wei, and D. Brooks, "An ultra low power system architecture for sensor network applications," in *Proc. 32nd ISCA*, pp. 208-219, Madison, USA, Jun. 2005.

[8] P. L. Bae, Y. M. Jo, E. K. Moon, and Y. B. Ko, "Heterogeneous interface decision engine and architecture for constructing low power home networks," *J. KICS*, vol. 40, no. 2, pp. 313-324, Feb. 2015.

[9] J. Y. Hong, J. M. Kwon, M. H. Kwon, and H. G. Park, "Compressed sensing based low power data transmission systems in mobile sensor networks," *J. KICS*, vol. 41, no. 11, pp. 1589-1597, Nov. 2016.

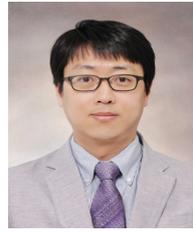
[10] R. Isermann, J. Schaffnit, and S. Sinsel, "Hardware-in-the-loop simulation for the design and testing of engine-control systems," *Control Eng. Practice*, vol. 7, no. 5, pp. 643-653, May 1999.

김 성 섭 (Seongseop Kim)



2017년 2월 : 경북대학교 전자공학부 졸업
2017년 3월~현재 : 경북대학교 전자공학부 석사과정
<관심분야> 신호 처리, 고성능 임베디드 컴퓨팅

박 대 진 (Daejin Park)



2001년 : 경북대학교 전자전기공학부 학사
2003년 : KAIST 전기 및 전자공학과 석사
2014년 : KAIST 전기 및 전자공학과 박사
2003년~2014년 : SK Hynix/Samsung (차세대 LSI 설계) 수석연구원
2014년~2016년 : 경북대학교 전자공학부 초빙교수 (2014년 대통령 Postdoctoral Fellow 선정)
2016년~현재 : 경북대학교 전자공학부 조교수
<관심분야> 전력 SoC 설계, 하드웨어-소프트웨어 Co-design, Dependable 스마트 IoT 시스템, Robust 임베디드 시스템

최 기 호 (Kiho Choi)



2017년 2월 : 경북대학교 전자공학부 졸업
2017년 3월~현재 : 경북대학교 전자공학부 석사과정
<관심분야> 고신뢰 임베디드 시스템, 마이크로프로세서 기반 최적 제어 시스템

조 정 훈 (Jeonghun Cho)



1996년 : KAIST B.S
1998년 : KAIST M.S
2003년 : KAIST Ph.D
2003년~2005년 : 하이닉스 반도체 선임연구원
2005년~현재 : 경북대학교 전자공학부 교수

<관심분야> 임베디드시스템, 바이너리 변환, 차량용 안전 및 보안시스템, AUTOSAR, 런타임 감시