

---

# DSP를 이용한 사운드 기반 진동 시스템

## Sound-driven Vibration System using Digital Signal Processor

조동현, Donghyun Cho\*, 오성진, Sungjin Oh\*\*, 유용희, Yonghee You\*\*\*,  
성미영, Mee Young Sung\*\*\*, 전경구, Kyungkoo Jun\*\*

---

**요약** ~ 본 논문에서는 PC의 사운드 출력단자로부터 나오는 신호를 실시간으로 분석하여 다양한 진동 효과를 발생시키는 진동 시스템을 개발한다. 이 시스템은 특정 사운드 발생을 감지하여 미리 프로그램 된 진동패턴을 발생시킬 수 있다. 이것은 게임이나 가상현실 애플리케이션의 실감성과 몰입감을 증진시킬 수 있다. 또한 진동을 고려하지 않고 개발된 애플리케이션에 손쉽게 진동기능을 부가시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 이를 위해서 본 시스템에서는 사운드 신호처리를 위해 외부 DSP보드를 이용하며 손목에 부착하는 형태의 진동패드를 개발한다. 기존 사운드 기반 진동 장치들과 비교했을 때, PC외부의 DSP 보드를 이용하기 때문에 다양한 사운드 감지가 가능하면서도 성능이 우수하며, PC 성능에 영향을 주지 않는다. 또한 손목형 진동패드를 사용하기 때문에 기존 마우스나 조이스틱 형태의 진동 장치보다 실감 있는 진동효과가 가능하다.

**Abstract** ~ In this paper, we develop a vibration system which can generate diverse vibration effects in realtime by analyzing signals from the sound output of PC. This system is able to detect the occurrences of particular sounds in order to generate corresponding pre-programmed vibration patterns. It contributes to the improvement of the reality and the immersiveness of games and virtual reality applications. In addition, its advantage is to easily add vibration features to applications which were originally developed without consideration for vibration. Our system consists of an external DSP board for signal processing and a vibration pad which can be put on wrists. It is superior to other sound-driven vibration devices because its DSP board can detect more diverse sounds, has higher performance and does not interfere with PC. Also the wrist-wearable vibration pad is able to generate more realistic vibration than other mouse or joystick type devices.

**핵심어:** 진동인터페이스, 사운드 분석, DSP, 실감향상

### 1. 서론

인간은 적절한 촉각 자극과 결합된 청각 신호가 발생할 때 이를 매우 효과적으로 인지하는 것으로 알려져 있다[1]. 특히 게임이나 가상현실 등의 애플리케이션에서 진동이나 촉각 자극과 함께 발생하는 소리 효과는 사용성을 향상시킬 뿐 아니라 몰입감도 증진시킨다. 저음 진동 헤드셋[2]은 저음부의 소리 발생시 헤드셋 자체를 진동시킨다. 이것은 영화나 음악 감상 시 사운드 효과를 보다 실감나게 표현해 준다. 사운

드 진동 마우스[3]는 PC에서 발생하는 사운드 신호를 마우스에 장치된 코일형 진동 장치의 제어 신호로 이용한다. 이를 통해, 사용자는 게임 진행시 사운드 효과에 따라 달라지는 진동을 느낄 수 있다. 이머전사의 Touchware[4] 소프트웨어는 컴퓨터에 장착된 사운드 카드 내의 데이터를 직접 처리해서 진동 신호를 발생시킨다. 발생된 신호는 진동 기능을 갖춘 마우스, 조이스틱 등 외부 게임 장치를 제어하는데 이용한다. 이것은 진동을 고려하지 않고 만들어진 게임에 진동 효과를 줄 수 있다.

---

본 논문은 2007년 산업자원부 및 인천 정보 산업 진흥원의 실감형 3D 네트워크 가상환경 기술 개발의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

\* 주저자 : 인천대학교 멀티미디어시스템공학과

\*\* 공동저자 : 인천대학교 멀티미디어시스템공학과

\*\*\* 공동저자: 인천대학교 컴퓨터공학과

하지만 저음 진동 헤드셋의 경우 저음에만 반응한다는 단점을 가지고 있어 사용범위가 제한적이다. 사운드 진동 마우스의 경우, 모든 사운드에 반응하여 진동을 발생시키기 때문에 선택적으로 진동을 원하는 경우에 사용되지 못한다. Touchware는 주파수 선택 범위가 넓고, 특정 주파수에만 반응하도록 할 수 있지만, 특정 사운드를 감지하여 진동을 유발할 수는 없다. 또한 기존의 진동 마우스나 조이스틱만을 진동 장치로 사용하기 때문에 다양한 진동효과를 만들어 내지 못한다.

본 논문에서는 특정 사운드 발생을 감지하여 진동을 발생시킬 수 있고, 팔 부위에 부착하여 다양한 진동효과를 구현할 수 있는 진동패드를 사용한 사운드 기반 진동 시스템을 구현한다. 이 시스템은 게임이나 가상환경 등에서 발생하는 사운드 중 특정 사운드를 감지하여 미리 프로그램된 진동패턴을 발생시킨다. 이를 위해서 Digital Signal Processor (DSP)를 이용한 신호처리로 특정 사운드를 감지하도록 하며, 여러 개의 진동소자를 2차원으로 배열한 진동패드를 개발한다.

이 진동 시스템은 사운드별 다양한 진동효과로 애플리케이션의 실감성과 몰입감을 증진시킬 수 있다. 또한 Touchware와 마찬가지로 진동을 고려하지 않은 애플리케이션 등에 손쉽게 진동기능을 부가할 수 있다. 기존의 사운드 기반 진동 시스템의 경우 단순한 진동 패턴으로 인해 금방 진동에 익숙해지는 단점이 있었지만, 본 논문의 사운드 기반 진동 시스템은 여러 효과음에 다양한 진동효과를 적용함으로써 기존 진동 장비의 단점을 해결하여 보다 게임에 몰두할 수 있게 한다.



그림 1 본 논문의 사운드 기반 진동 시스템

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 섹션 2에서는 본 논문에서 구현한 사운드 기반 진동 시스템이 무엇인지 설명을 한다. 섹션 3에서는 사운드 기반 진동 시스템의 구성요소인 DSP와 진동패드의 설명을 한다. 마지막으로 섹션 5에서 결론을 내린다.

## 2. 사운드 기반 진동 시스템

본 논문에서는 게임에서 다발적으로 발생하는 효과음에 다양한 진동을 제공하여 사용자에게 보다 실감성있는 게임 환경을 제공하고자 한다. 본 논문에서 구현한 시스템은 게임 중 발생하는 다양한 소리 중에 효과음의 감지에 특화되는데, FPS 게임을 예로 들자면, 사용자에게 진동효과를 주어 실감성을 높여 줄 수 있는 상황은 사용자가 총을 쏘거나 하는 상황이나 폭발음이 발생하는 경우이다. 이러한 효과음들은 사용자의 행동에 반응하여 발생하는 경우가 많은데, 이런 행동에 대한 반응 작용에 시각적이나 청각적인 자극 이외에 추가적으로 촉각에 자극을 준다면 보다 효과적인 가상현실을 제공할 수 있다.

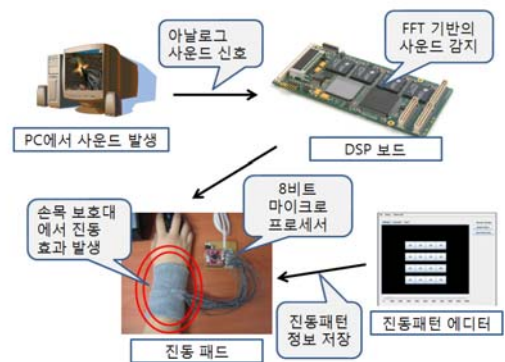


그림 2 사운드 기반 진동 시스템

본 논문에서 개발한 사운드 기반 진동 시스템은 PC에서 발생하는 사운드를 분석하여 진동을 유발하기 때문에 진동을 염두에 두어 개발한 게임이 아니더라도 효과적인 진동기능을 사용자에게 제공할 수 있다. 예를 들어 PlayStation의 게임패드는 진동기능을 제공하는데, 이 경우 게임 내에서 발생하는 진동 신호를 받아 진동을 발생시키는 방식으로 동작하므로 진동기능을 지원하지 않는 게임은 진동패드의 지원을 받을 수 없다.

## 3. 사운드 기반 진동 시스템의 구성요소

본 논문의 사운드 기반 진동 시스템은 그림 3과 같이 DSP 보드와 진동패드 부분으로 구성된다. DSP 보드는 PC에서 발생하는 사운드를 입력받아 분석하는 작업을 한다. 진동패드는 8비트 마이크로프로세서가 탑재되어 진동을 발생하는 다수의 진동소자를 제어하여 다양한 진동패턴을 유발한다. 손목보호대 형태의 진동패드 안에 16개의 진동소자가 같은 간격으로 배치되는데, 각각을 제어할 수 가 있어 다양한 진동패턴을 발생시킬 수 있고 손목보호대 형태의 진동패드는 간단히 손목에 장착하여 사용하게 되어 마우스의 사용 등에 지장을 주지 않도록 설계되었다.

DSP는 PC로부터 입력받은 사운드를 분석하여 제어신호

를 진동패드로 넘겨주어 진동패드에서 진동을 발생시킨다. 이를 위해서 PC의 사운드 출력단자와 DSP보드의 사운드 입력단자를 연결하였고, DSP보드와 진동패드는 UART기반의 시리얼 인터페이스로 연결하였다.

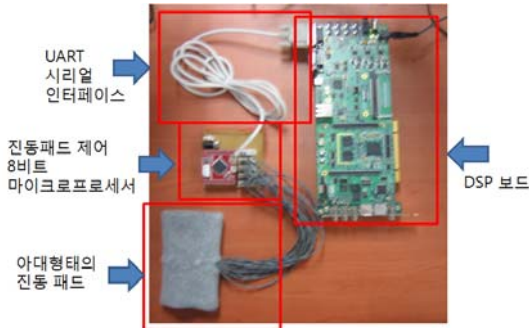


그림 3 구현 시스템

### 3.1 DSP 보드

DSP는 특정 사운드 발생을 감지하기 위해 PC로부터 사운드 신호를 수신하여 실시간으로 분석한다. 이를 위해서 Texas Instrument사의 DM6437계열의 DSP를 이용한다. 특정 사운드 감지는 Fast Fourier Transform 기반의 알고리즘을 사용하여 주파수 분포를 비교하는 방식을 이용한다. 이러한 알고리즘을 PC에서 수행하지 않고 별도의 DSP보드에서 실행함으로써 게임 등의 애플리케이션 실행에 지장을 주지 않는 장점이 있다. 또한 PC에서 수행할 때 보다 속도 면에서도 우월하기 때문에 실시간 분석에 적합하다.

#### 3.1.1 사운드 감지 알고리즘

DSP에서는 PC에서 발생된 사운드를 실시간으로 수신 받아 분석한다. PC의 사운드 출력단자에서 발생된 사운드는 이와 연결된 DSP의 사운드 입력 단자로 직접 입력된다. 입력된 아날로그 사운드는 DSP의 ADC에 의해 디지털화 되고, DSP 내부의 버퍼에 저장되어 사운드 분석을 위한 다음 연산의 입력으로 사용된다.

디지털화 되어 버퍼에 저장된 데이터는 Fast Fourier Transform(FFT) 기반의 알고리즘에 의해 분석된다. 게임 내에서 발생하는 사운드의 데이터는 시간 축을 기준으로 하여 DSP내의 버퍼에 저장된다. 저장된 데이터들은 소리의 크기에 따라 값의 크기가 변하게 되는데, 다수의 효과음들이 합쳐져 있다면 어떠한 효과음들이 발생하였는지 분석하기 어렵다. 하지만 FFT를 사용하여 주파수 형태로 변환하게 되면 각 효과음들이 가진 주파수의 특징들이 나타나기 때문에 분석이 가능하다. 예를 들어 만약 어떤 효과음을 주파수로 변환하였을 때 해당 효과음이 어느 부분의 주파수 영역에서 특징적으로 나타났다면 다수의 합성음을 FFT 하였을 때 해당 주파수 영역을 보고 효과음이 발생하였는지 알아낼 수

있게 된다.

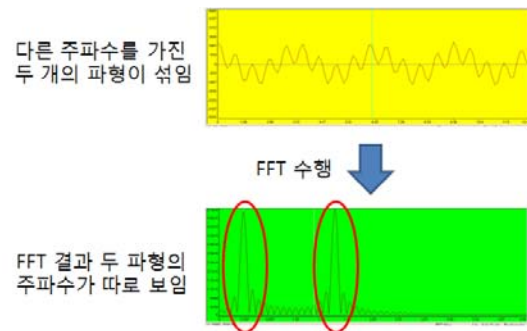


그림 4 주파수 변환의 예

그림 5은 숲속의 새소리를 녹음한 사운드를 FFT하여 그 결과를 나타낸 것이다. 분석 결과 네모 칸으로 표시된 부분이 특징적으로 나타나는 것을 볼 수 있다. 새소리에는 다수의 새소리가 혼합되어 있는데 해당 주파수에서 특징을 보이는 새소리를 다음과 같이 분류하여 찾아낼 수 있다.

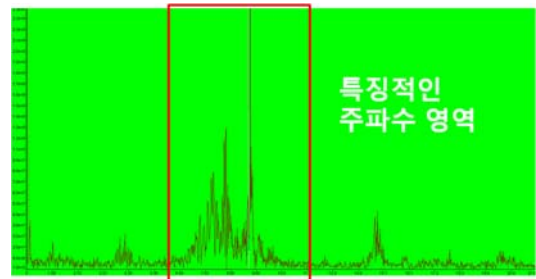


그림 5 새소리의 FFT 결과와 분석

입력되는 사운드 데이터는 2048개씩 모아 radix-2의 FFT 함수에서 처리된다. 하나의 효과음은 1초를 넘어 갈 수도 있기 때문에 2048개의 데이터만을 모아서는 전체 소리의 데이터를 완벽히 저장할 수 없다. 그러므로 하나의 효과음을 시간 축에 따라 여러 번 잘라내어 각 잘라낸 부분마다 FFT 연산이 이루어지게 되는데, 잘라낸 조각 중 해당 효과음의 특징적인 소리가 포함된 부분의 데이터를 기준으로 하였다. 그림 6은 그 과정을 보여준다. 그림 6의 오른쪽 그림은 총소리의 FFT 결과 파형 데이터로, 총소리 파형의 특성을 가장 잘 보여주는 부분의 데이터를 사용하여 FFT를 수행한 결과 파형을 보여준다.

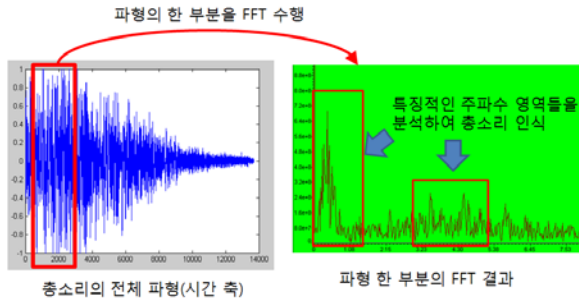


그림 6 FFT 수행 과정

사운드가 어느 주파수에서 특징적으로 나타나는지 알아내기 위해 미리 해당 사운드의 주파수 특징을 분석하여 해당 영역마다 기준 값을 정해둔다. 정해둔 기준 값을 토대로 실시간으로 들어오는 사운드의 FFT 결과가 설정해둔 주파수 영역에서 기준 값 보다 크게 나타난다면 사운드를 찾아낸 것으로 분석하였다.

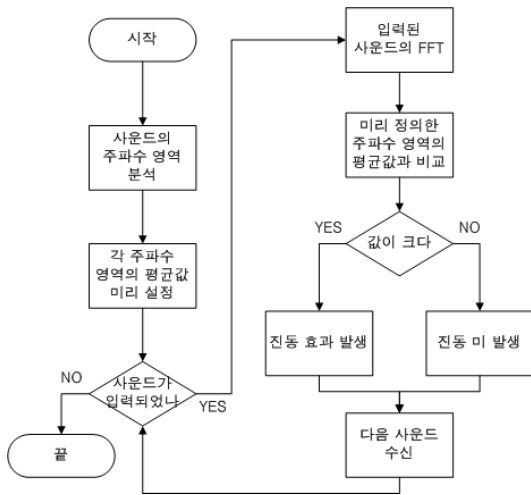


그림 7 사운드 분석 알고리즘 흐름도

그림 6의 FFT결과 파형을 분석하여 보면 두 부분의 주파수 영역에서 특징적인 모습을 보이는 것을 볼 수 있다. 이를 참고하여 위 경우의 사운드 분석 시에는 해당 두 부분 영역의 데이터를 참고하여 두 부분의 magnitude가 일정 수치 이상 나왔다면 총소리가 판단하였다. 실제 구현 시에는 사운드 분석의 정확성을 높이기 위해 분석을 위한 비교 주파수 영역을 5~6개만큼 두고, 각 구역 안 데이터들의 평균을 구하여 미리 파형을 분석하여 정의해 놓은 값 이상이 나올 경우 원하는 소리가 나왔다고 판단하였다. 그림 8에서는 두 가지 사운드의 주파수 특징을 나타내었다.

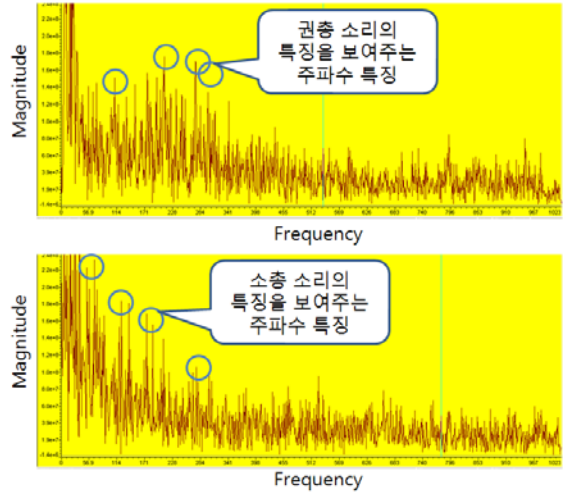


그림 8 주파수 특징을 보여주는 두 가지 효과음의 FFT결과

비슷한 사운드 인식 시스템으로 Carnegie Mellon 대학에서 Short Time Fourier Transform(STFT) 기반의 알고리즘으로 구현한 SOLAR 사운드 인식 시스템이 있다[5]. SOLAR와 본 논문의 사운드 인식 시스템은 주파수 변환 알고리즘을 사용한 시스템이라는 공통점이 있고, 주파수 변환 알고리즘만으로도 높은 인식률을 보여준다는 것을 알 수 있다.

### 3.1.2 진동패드와의 인터페이스

DSP에서 분석된 사운드 신호가 진동을 유발하는 신호라면 진동 보드에 이를 알려 진동패드의 진동을 유발하도록 해야 한다. 현재의 시스템에서 진동보드와 DSP 보드는 따로 구성되어있기 때문에 데이터 통신을 위한 둘 사이의 인터페이스가 필요하여 통신 인터페이스로 UART를 사용하였다. UART로 구성된 데이터 통신은 신뢰성이 높고 진동 유발 신호를 주기에 충분한 데이터 전송량을 제공하므로 안정적으로 사용할 수 있다.

UART를 통하여 전송되는 메시지는 진동보드 내에 미리 정의되어 저장되어있는 진동패턴과 매칭 되어있다. 진동보드에서는 UART를 통해 수신된 메시지를 분석하여 해당하는 진동패턴을 발생시켜준다.

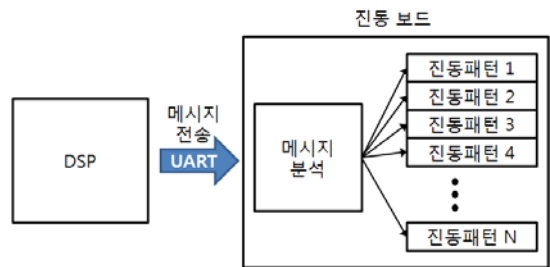


그림 9 UART를 통한 메시지 전송

### 3.2 진동 부분

진동패드와 진동보드로 이루어진 진동 부분에서는 DSP보드에서 수신한 진동 유발 메시지를 분석하여 진동패드에 진동을 유발한다.

#### 3.2.1 진동패드의 구성

진동부분은 진동보드와 진동패드 부분으로 나뉜다. 진동 보드는 8비트 마이크로프로세서가 탑재되어 DSP에서 넘어오는 메시지를 UART로 수신하여 해당 메시지를 분석한다. 분석한 메시지에 어떤 진동을 얼마큼의 시간동안 발생하여야 하는지 데이터를 추출하고 그에 따라 진동패드에서 진동을 유발한다. 진동패드는 손목보호대의 안쪽에 2차원으로 12개의 진동소자를 배열하여 손목의 적지 않은 부분에 진동을 줄 수 있게 하였다. 진동소자는 핸드폰 등에서 사용되는 모바일용 코인형 소자를 이용한다.

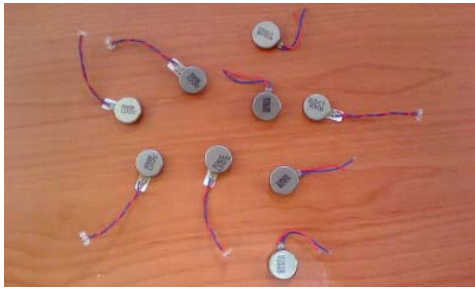


그림 10 진동 소자

진동패드는 그림 11와 같이 손목에 부착하는 형태로 진동 소자들은 패드 내부에 손목을 둘러싸는 형태로 배치한다.



그림 11 제어보드와 손목형 진동 패드

진동소자들은 8비트 마이크로프로세서의 출력 핀들과 일대일로 연결되어 개별적으로 제어가 가능하다. 이를 통해 다양한 진동패턴 발생이 가능하다. 손목 보호대 안에 배열된 진동소자들은 4개씩 3열로 구성되어 있는데, 각각의 열을 순차적으로 떨어줌으로써 진동이 위에서 아래로, 혹은 아래에서 위로 퍼져나가는 것처럼 다른 위치의 진동소자를 움직이는 것으로 다양한 진동 패턴을 발생시킬 수 있다. 또한 진동소자에 흘려주는 전류의 흐름을 제어하여 진동을 약하게 주

는 효과를 발생시킬 수도 있다.

#### 3.2.2 진동패드의 동작 방법

진동보드와 연결된 진동패드내의 진동소자들은 진동보드의 8비트 마이크로프로세서의 각 핀과 각각 연결되어 있어 독립적으로 제어가 가능하다. 각각 진동소자들은 진동의 여부뿐만이 아니라 진동소자 각각이 얼마나 주기적으로 떨리는 지에 대한 시간 설정 까지도 가능하다. 이에 따라 진동패드로 하여금 다양한 진동패턴을 발생시킬 수 있다.

진동 패턴들은 몇 가지 패턴들이 기본적으로 제작되어 진동보드 내에 미리 정의되어 있는데, 다양한 진동패턴을 테스트하고 진동보드 내에 진동 패턴을 저장하기 위해 패턴에디터라는 어플리케이션을 사용한다. 패턴에디터는 자바로 제작된 Windows 어플리케이션으로, 사용자로 하여금 보다 효과적인 진동을 효율적이고 쉽게 개발 할 수 있도록 도와준다. 사용자는 패턴에디터로 진동소자 각각을 제어하여 효과적인 진동패턴을 제작할 수 있고, 이를 자신이 원하는 사운드에 매칭시킴으로써 게임 시에 발생하는 진동효과를 제작할 수 있게 된다.



그림 12 패턴에디터의 실행화면

### 4. 결론

본 논문에서는 DSP를 이용한 사운드 기반 진동 시스템을 구현하였다. 이를 통해 게임이나 가상환경 애플리케이션의 실감성과 몰입성을 증진시킬 수 있다. 또한 진동을 고려하지 않은 기존 애플리케이션에 진동기능을 쉽게 부가시킬 수 있다. 기존 사운드 기반 진동 장치와 비교했을 때, PC외부의 DSP 보드를 이용하여 사운드 분석 연산을 수행하기 때문에 사운드 감지를 빠른 시간에 수행하므로 실시간 연산이 가능하고, PC 성능에 영향을 주지 않는 장점이 있다. 또한 손목형 진동패드를 사용하기 때문에 기존 마우스나 조이스틱 진동 장치보다 실감 있는 진동이 가능하다.

## 참고문헌

- [1] A. Chang, C. O'Sullivan, "Audio Haptic Feedback in Mobile Phones," in Proceedings of Conference on Human Factors in Computing, 2005.
- [2] [www.xfxforce.com](http://www.xfxforce.com)
- [3] [www.sound-scape.com](http://www.sound-scape.com)
- [4] [www.immersion.com](http://www.immersion.com)
- [5] D. Hoiem, Y. Ke, and R. Sukthankar, "SOLAR: Sound Object Localization and Retrieval in Complex Audio Environments", IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP), 2005.
- [6] Lorna M. Brown, John Williamson: Shake2Talk: Multimodal Messaging for Interpersonal Communication, HAID 2007.
- [7] <http://www.atmel.com>