

# 착용 가능한 진동촉감 제시 장치 개발

서창훈, 김현호, 이준훈, 이범찬, 류제하  
광주과학기술원 인간·기계·컴퓨터 인터페이스 연구실  
{search, hhkim, junhun, bcle, ryu}@gist.ac.kr

## Development of Wearable Vibrotactile Display Device

Changhoon Seo, Hyunho Kim, Junhun Lee, Beom-Chan Lee, Jeha Ryu  
Human-Machine-Computer Interface Laboratory  
Gwangju Institute of Science and Technology  
{search, hhkim, junhun, bcle, ryu}@gist.ac.kr

### 요약

촉감 제시 방법은 다른 사람에게 방해가 되지 않고 은밀하게 정보를 전달할 수 있는 장점이 있으며, 특히 시각 혹은 청각 장애인에게는 반드시 필요한 정보 전달의 수단이다. 또한 촉감을 이용한 정보의 전달은 시청각을 이용한 정보전달의 방법을 보완하거나 때로는 대체할 수도 있다. 본 논문에서는 웨어러블, 모바일, 또는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 사용할 수 있는 착용 가능한 진동촉감 제시 장치를 제안한다. 이 진동촉감 제시 장치는 25개의 진동모터를 5×5의 형태로 배열하여 문자, 숫자뿐만 아니라 다양하고 복잡한 패턴을 표시할 수 있다. 코인형 진동모터 각각을 스펀지로 감싸고 폭신폭신한 재질의 패드에 세워서 배열하여 진동의 퍼짐을 최소화하고 사람의 글씨 쓰는 순서에 따라 진동모터를 순차적으로 구동시키는 새로운 추적모드를 제안하여 사용자의 문자 및 숫자 인식률을 크게 향상시켰다. 사용자 성능 평가에서는 사용자의 발등에 영문 알파벳을 표시하여 86.7%의 인식률을 얻었다. 또한 진동촉감 제시 장치를 이용하여 핸드폰에서의 발신자 정보표시를 한다거나 네비게이션 시스템에 적용할 수 있는 등의 유용한 응용분야를 제시하였다.

Keyword : Vibrotactile display, Wearable

## 1. 서론

촉감 제시는 사람 신체의 일부에 직접 접촉하여 정보를 전달함으로써 다른 사람에게 방해가 되지 않고 은밀하게 유용한 정보를 전달할 수 있다. 이러한 촉감 제시의 방법은 특별히 시청각 장애인에게만 유용한 것이 아니라, 우리의 일상 생활 속에서 시선이 분산이 되면 위험한 경우, 즉 걷고 있거나 운전 중인 상황에서나 또는 사람이 많은 공공장소, 소음이 심한 곳에서는 제한적일 수 밖에 없는 시청각 정보를 보완하거나 대체하는 수단이 될 수 있다.

촉감 제시 장치를 개발하기 위해서는 먼저 어떤 정보를 전달하는 것이 유용할 것인지, 신체의 어

느 부위에 촉감을 제시하는 것이 적합할 것인지, 또 여러 가지 촉감 제시의 방법 중에서 어떤 것이 보다 효과적일 지를 먼저 고려해야 한다. (그림 1)

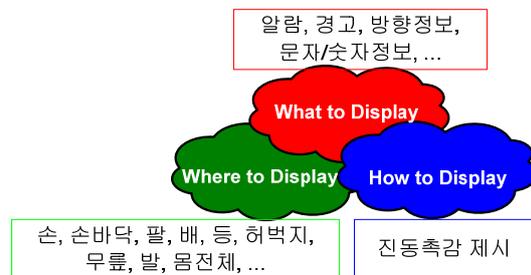


그림 1. 촉감 제시 장치 개발을 위한 고려 사항

촉감 제시 장치를 웨어러블 컴퓨팅 환경에서 사용하기 위해서는 우선적으로 무게를 고려하지 않을 수 없다. 촉감 제시의 방법은 매체에 따라서 크게 진동촉감(vibrotactile), 전기촉감 (electrotactile),

공기촉감(pneumatic tactile)로 나눌 수 있다. 이 중에서 진동촉감 제시 방법은 진동모터를 적절히 배열함으로써 값싸고 쉽게 구성할 수 있으며 다른 것들에 비해 상대적으로 무게도 가볍다. 전기촉감의 경우에는 고전압의 전원공급기(power supply)가 필요하며, 공기촉감의 경우에는 공압을 이용하기 위해 부피가 큰 공기압축기(air compressor)와 공기탱크가 필요하기 때문에 웨어러블 컴퓨팅 환경에는 적합하지 않다. 따라서 착용 가능한 촉감 제시 장치를 개발하는 데는 진동촉감 제시의 방법이 적합하다.

착용 가능한 진동촉감 제시 장치를 개발하기 위하여 다음의 두 가지 사항을 고려하여야 한다. 몸의 어느 부위(target region)에 촉감 정보를 제시할 것인가와 진동 모터를 얼마나(density), 어떻게(arrangement) 배열할 것인가의 문제인데 지금까지 사람의 등[1, 8], 손[3-7], 발바닥[9]과 같은 몸의 한 특정 부위에 진동자를 배치하거나 또는 몸 전체[2, 10, 11]에 골고루 배치하는 등의 다양한 시도가 있었다. 진동모터를 많이 쓸수록 다양한 정보를 제공하는데 유리하지만 신체의 한 특정 부위에 배치할 수 있는 진동모터의 수는 제한적일 수 밖에 없다. 따라서 본 논문에서는 진동모터를 5×5의 형태로 배열하여 문자, 숫자뿐만 아니라 복잡한 패턴까지 표시할 수 있고 모바일 환경에서 사용할 수 있는 착용 가능한 진동촉감 제시 장치를 제안한다. 일상생활에서 시계, 반지, 팔찌 등의 액세서리를 착용하는 것을 번거롭게 생각하는 사람들이 많은 반면, 집 밖에서는 항상 신발을 신고 다닌다는 점에 착안하여 신발과 발등 사이에 부착하여 발등에 다양한 정보를 표시할 수 있게 하였다. 또 코인형 진동모터 각각을 스펀지로 감싸고 우레탄 재질의 패드에 세워서 배열(그림 3)하여 진동의 퍼짐을 최소화하였다. 사용자 성능 평가에서는 영문 알파벳을 표시하여 인식률을 확인함으로써 제안한 장치의 유용성을 확인하였다.

진동모터를 배열의 형태로 배치하고 문자를 표시하는 것은 이전부터 많이 시도되어 왔으나 신체의 다른 부위에 비해 상대적으로 좁은 발등에 비교적 많은 수의 진동모터를 배열한 시도는 없었으

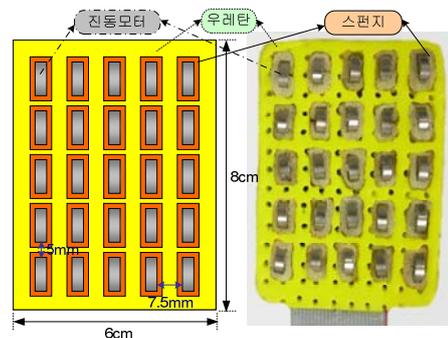
며 또 사용자의 문자 인식률을 높이기 위해 진동모터를 순차적으로 구동시키는 새로운 추적모드를 제안하였다. 또 제안한 장치를 유용하게 사용할 수 있는 핸드폰에서의 발신자 정보 표시라든가 네비게이션 시스템에의 응용 등의 가능한 시나리오를 제시하였다.

2 장에서는 제안한 장치의 전체 시스템에 대한 설명을 하고 3 장에서는 실험 및 설문조사 결과에 대해 언급한다. 그리고 구현 가능한 사용자 시나리오를 4 장에서 제시를 하고 마지막으로 5 장에서는 결론과 향후 연구과제를 논한다.

## 2. 진동촉감 제시 장치

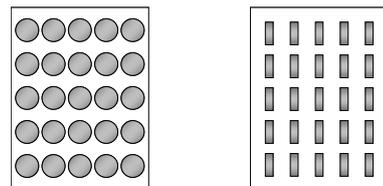
### 2-1. 진동촉감 제시 장치의 시작품 디자인

여러 예비 실험을 통하여 문자, 숫자 및 다양한 패턴을 표시하는데 적합한 진동모터의 개수 및 배열 형태 등을 선정하였다. 그림 2 와 같이 코인형 진동모터 (지름 10mm, 두께 3.4mm)를 5×5의 형태로 배열 하였다. 각각의 진동모터를 스펀지로 감싸고 그림 3 과 같이 진동모터를 세워서 배치하여 진동이 퍼지는 현상을 최소화 하였다.



(a) 디자인 (b) 시제품

그림 2. 진동촉감 제시 장치 디자인 및 시제품



(a) 진동모터의 배치1 (b) 진동모터의 배치2

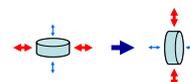


그림 3. 진동모터의 배치

## 2-2. 전체 시스템 구성

전체 시스템은 그림 4 와 같이 진동촉감 제시 장치를 신발과 발등의 사이에 착탈식으로 부착할 수 있도록 하고 각각의 진동모터를 제어하기 위하여 8 비트 마이크로프로세서인 Atmel 사의 ATmega128 을 사용하였다. PDA 에 사용자 패턴 편집 프로그램을 내장하여 사용자가 직접 패턴을 정의, 편집, 저장 및 전송할 수 있도록 하였고 PDA 와 진동촉감 제시 장치의 데이터 전송은 블루투스 통신을 사용하여 구현하였다.



그림 4. 전체 시스템 구성

## 2-3. 진동모터의 제어

마이크로프로세서로 각 진동모터를 순차적으로 구동하여 특정 진동 패턴을 나타낼 수 있으며 문자를 표시하기 위해서는 각각의 진동모터를 사람이 글씨 쓰는 순서에 따라 하나씩 순차적으로 구동하는 추적모드(tracing mode)[7, 8]를 이용하여 그림 5 와 같은 영문 알파벳을 표시할 수 있다.

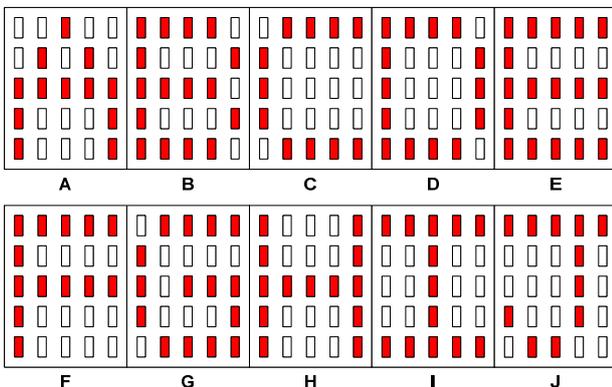
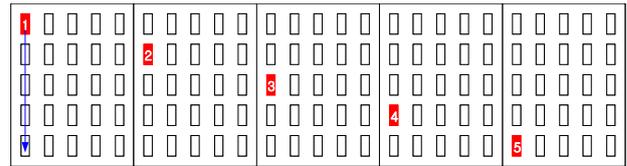


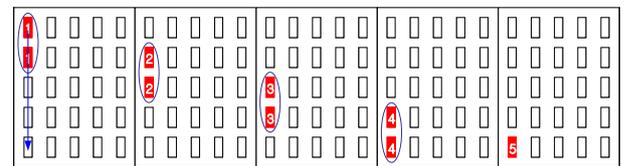
그림 5. 영문 알파벳의 진동패턴 정의

추적모드를 이용하여 영문 알파벳을 표시해 본 결과 인식률이 학습 전 32.3%, 학습 후 60.3%로 이전에 개발된 장치들에 비해서 인식률이 높지 않았다. 이는 비교적 좁은 공간에 많은 수의

진동모터를 배치함으로 인해 각 진동모터 사이의 간격이 좁고 또 진동모터의 진동이 패드 전체로 퍼지면서 정확히 어떤 진동모터가 어느 위치에서 진동하는지 구별하기 힘들기 때문이다. 따라서 이를 해결하기 위하여 기존의 추적모드를 보완한 새로운 추적모드를 제안하였다. 이 방법은 기존의 추적모드와 같이 사람이 글씨 쓰는 순서에 따라 진동모터를 순차적으로 구동시키되 그림 6 에서 볼 수 있듯이 두 개의 진동모터를 동시에 구동함으로써 연속적인 진동의 흐름을 만들어준다. 기존의 추적모드에서처럼 진동하는 진동모터의 위치를 파악하여 진동 패턴을 인식하는 것이 아니라 마치 사람이 손가락으로 글씨 쓰는 것과 같은 자연스러운 진동의 흐름을 느끼게 됨으로써 보다 쉽고 자연스럽게 문자를 인식할 수 있게 한다.



(a) 기존의 추적모드



(b) 새로운 추적모드

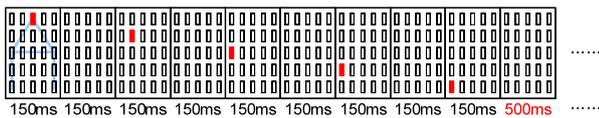
그림 6. 기존의 추적모드와 새로운 추적모드

## 3. 실험 및 설문조사

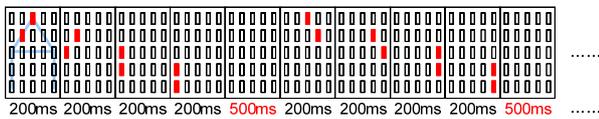
제안한 진동촉감 제시 장치의 성능을 확인하기 위하여 만 26 세에서 29 세까지의 남자 10 명을 대상으로 하여 예비 사용자 성능평가를 실시하였다. 실험은 피험자가 신발을 신고 의자에 앉은 상태에서 실시하였으며 영문 알파벳을 표시하고 표시된 문자가 무엇이였는지를 맞히는 형식으로 하여 인식률을 확인하였고 IT SoC 2005 & 차세대 PC 산업 전시회에 참가하여 일반인들을 대상으로 진동촉감 제시 장치를 시연하고 설문조사를 실시하였다.

### 3-1. 문자 표시 실험

문자 인식률을 확인하기 위하여 각각의 피험자에게 26 자의 영문 알파벳을 기존의 추적모드와 새로 제안한 추적모드의 두 가지 방법으로 무작위로 표시하였다. 그리고 각 문자는 한번에 연속하여 두 번씩 표시를 해주었다. 피험자는 발등의 진동촉감 제시 장치로 표시되는 문자가 무엇인지 느껴지는 대로 답을 하고 총 30 개 중에서 피험자가 맞힌 개수를 파악하여 인식률을 조사하였다. 먼저 기존의 추적모드로 실험을 하고 새로 제안한 추적모드의 효과를 검증하기 위하여 한달 정도 지난 후에 동일한 피험자로 새로 제안한 추적모드를 이용하여 실험을 하였다. 여러 번의 예비실험을 통하여 각 모드에서 문자를 인식하기에 최적화된 시간 간격을 찾아 기존의 추적모드에서는 진동모터 구동시간(DoS, Duration of Stimulus)을 150ms, 한 진동모터가 구동되고 다음 진동모터가 구동될 때까지의 시간(ISOI, Inter-Stimulus Onset Interval)을 300ms 로 하고 새로운 추적모드에서는 DoS 를 400ms, ISOI 를 200ms, 또 각 문자의 분절('A'의 경우 3 개의 분절, /, \, -) 사이에는 500m 의 시간 간격을 추가하였다. (그림 8)



(a) 기존의 추적모드의 경우



(b) 새로운 추적모드의 경우

#### 그림 8. 'A'를 표시하기 위한 진동모터 구동 순서

또한 학습에 의한 효과를 검증하기 위하여 위의 실험 후에 피험자에게 10 분 정도의 시간 동안 혼자서 진동촉감 제시 장치로 표시되는 문자의 패턴을 습득할 수 있도록 한 다음 같은 방법으로 인식률을 다시 확인하였다.

그림 9 에서 확인할 수 있는 바와 같이 새로 제안한 추적모드를 이용할 경우 기존의 추적 모드에 비해 학습 전후 각각 36%, 26.4%의 인식률

이 향상을 확인할 수 있었고, 학습의 효과에 의해서도 인식률이 향상(기존의 추적모드에서 28%, 새로운 추적모드에서 18.4%)이 됨을 확인할 수 있다.

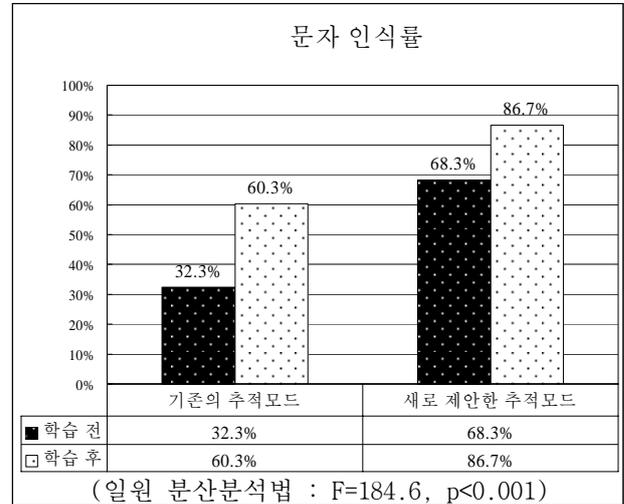
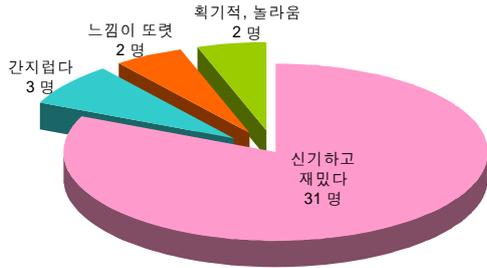


그림 9. 문자 표시 실험 결과

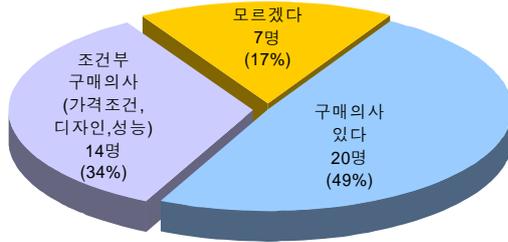
문자 인식률 실험에서 'A'와 'H', 'D'와 'P', 'U'와 'V' 등과 같이 쓰는 순서나 모양이 유사한 문자를 혼동하는 경우가 많았으며, 학습 전에는 맞히기 힘든 'M', 'S', 'W'와 같은 문자들은 학습 후에는 비교적 쉽게 맞혔다. 그리고 학습 전에는 두 번 연속 문자를 표시해도 쉽게 맞히지 못했으나 학습 후에는 한번 표시되는 순간 쉽게 맞히는 경우가 많았다.

### 3-2. 시연 및 설문조사

2005 년 11 월 3 일~5 일 개최된 IT SoC 2005 & 차세대 PC 산업 전시회에 참가하여 본 논문에서 제안한 진동촉감 제시 장치를 일반인을 대상으로 시연하고 전시회 참가자 중에서 41 명(남자 21 명, 여자 20 명)을 대상으로 설문을 실시하였다. 설문 참가자의 연령대는 20~36 세로 20 대 34 명, 30 대 7 명이었으며 설문조사의 방법은 진동촉감 제시 장치를 체험 후에 미리 준비한 몇 가지 문항에 주관식으로 답하게 하였다. 설문 내용 중에서 장치를 체험한 소감과 핸드폰의 발신자 정보 표시 기능과 연인 또는 친구들간의 새로운 통신 수단으로써 진동촉감 제시 장치가 상용화 될 경우의 구매 의사에 대한 설문조사의 결과는 그림 13 에 나타내었다.



(a) 진동촉감 제시 장치를 체험한 소감



(b) 상용화될 경우의 구매의사

그림 10. 설문조사 결과

#### 4. 사용자 시나리오

촉감 제시의 방법은 이미 언급한 바와 같이 다른 사람에게 방해가 주거나 받지 않고 은밀하게 정보를 주고 받을 수 있는 특유의 장점이 있다. 특히 방향 정보와 같은 직관적인 정보 전달에 유리하다. 이번 장에서는 이런 특성들을 이용하여 적용 가능한 유용한 응용분야에 대한 시나리오를 제시한다.

##### 4-1. 핸드폰에서의 발신자 정보 표시 기능

요즘 핸드폰은 현대인에게 일상 생활에서 없어서는 안될 필수품이 되었다. 벨소리에 의한 착신 정보 제공은 장소에 따라 아주 제한적이며, 기존의 진동모드는 길을 걷는다거나 가방 속에 넣어둘 경우 착신 신호를 감지하기가 힘들다. 핸드폰의 착신 신호를 제안한 장치로 전달하게 되면, 쉽게 착신 신호를 감지할 수 있을 뿐만 아니라 다양한 진동패턴을 통하여 발신자에 대한 정보를 나타낼 수도 있다. 또, 연인이나 친구들과 간에 서로 약속된 패턴을 지정하고 서로 주고 받게 되면 기존의 전화나 문자메세지(SMS)와는 다른 새로운 통신 수단 또는 놀이 문화가 될 수 있다.



그림 11. 핸드폰 발신자 정보 표시 개념도

##### 4-2. 차량 운행 환경에서의 적용

운전 중에 네비게이션을 이용하여 길안내 서비스를 받거나, 사각(死角)지대를 감지하여 주차를 더욱 안전하게 도와주는 장치와 같이 운전자에게 유익한 정보를 주는 시스템들이 많이 개발되었다. 하지만 이러한 시스템들은 주로 시각이나 청각 정보에 의존하여 운전자에게 정보를 전달하고 있는데, 이러한 시청각 정보는 운전자의 시야를 방해할 수 있고, 시끄러운 환경에서는 정보를 제대로 전달할 수 없다는 단점이 있다. 하지만 그림 12와 같이 주차 중 충돌 경보나 길안내 서비스 도중의 방향 정보 등을 촉감 제시의 방법을 이용할 경우, 주변 소음에 상관 없이, 또한 운전자의 시야를 방해하지 않고도 유익한 정보를 전달할 수 있다.



(a) 네비게이션 시스템



(b) 주차 중 후방감지

그림 12. 운전 상황에서의 응용분야

## 5. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 새로운 진동촉감 제시 장치를 제안하고 시제품을 제작하여 성능을 평가하고 설문조사를 실시하였다. 또한 제안한 장치를 이용할 수 있는 응용분야에 대한 시나리오도 제시하였다. 인식률을 높이기 위하여 각 진동모터를 스펀지로 감싸고 또 진동모터를 세워서 배치하여 진동의 퍼짐을 최소화하였다 또한 사용자 성능평가를 통하여 새로운 추적모드로 문자를 표시하였을 때 기존의 추적모드에 비해서 문자 인식률이 높아졌으며 학습의 효과에 의한 인식률 향상도 확인하였다. 사용자 성능 평가를 통하여 영문 알파벳 문자 표시의 경우 86.7%의 인식률을 확인하였으며 또 IT SoC 2005 & 차세대 PC 산업 전시회에 참가하여 일반인들을 대상으로 진동촉감 제시 장치를 시연하고 설문 조사를 실시하여 대부분의 사람들이 제안한 장치를 체험한 후 ‘신기하고 재밌다’는 반응을 보였으며 가격조건, 성능 및 디자인이 개선된다면 상용화될 경우 구매하겠다는 사람들이 설문응답자 중 83%를 차지하였다. 현재 PDA 로 구현되어 있는 시스템을 핸드폰과 연동하여 발신자 표시 기능 (CallerID) 또는 VMS(Vibrotactile Message Service) 기능을 제공하여 많은 사람들이 사용할 수 있는 시스템으로 개발할 예정이다.

## 6. 감사의 글

본 연구는 정보통신연구진흥원의 선도기반기술 개발사업(차세대 PC 기술개발) 및 광주과학기술원 실감방송연구센터(RBRC)의 지원에 의해 수행되었습니다.

## 7. 참고문헌

- [1] H. Z. Tan, R. Gray, J. J. Young, and R. Traylor, "A Haptic Back Display for Attentional and Directional Cueing," *Haptics-e* <http://www.haptics-e.org>, vol. 3, 2003.
- [2] J. van Erp and H. van Veen, "A Multi-purpose Tactile Vest for Astronauts in the International Space

Station," presented at Eurohaptics 2003, Dublin, Ireland, 2003.

- [3] P. Bach-y-Rita, *Brain mechanisms in sensory substitution*, Academic Press, New York, 1972

- [4] C.C.Collins, "Tactile television – Mechanical and electrical image projection," *IEEE Transactions on Man-Machine System*, MMS-11, 1970, pp.65-71.

- [5] J. Loomis, "Tactile letter recognition under different Modes of stimulus presentation," *Perception & Psychophysics*, Vol. 16, No. 2, 1974, pp. 401–408.

- [6] S. Saida, Y. Shimizu, and T. Wake, "Construction of Small TVSS and Optimal Mode of Stimulus Presentation," 4th Symposium on Sensory Substitution, Ibaraki, Japan, 1978, pp. 68–73 (in Japanese).

- [7] Y. Shimizu, "Temporal Effect on Tactile Letter Recognition by a Tracing Mode," *Perceptual and Motor Skills*, 55, 1982, pp. 343–349.

- [8] Y. Yanaginda, M. Kakita, R. W. Lindeman, Y. Kume, & N. Tetsutani, "Vibrotactile Letter Reading Using a Low-Resolution Tactor Array," *Proc. of the 12th Symposium On Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems*, 2004, pp.400-406.

- [9] Y. Kume, A. Shirai, M. Tsuda, and T. Hatada, "Information transmission through soles by vibrotactile stimulation," *Trans. of the Virtual Reality Society of Japan*. Vol. 3, No. 3, 1998, pp. 83–88 (in Japanese).

- [10] H. Yano, T. Ogi, and M. Hirose, "Development of Haptic Suit for Whole Human Body Using Vibrators," *Trans. of the Virtual Reality Society of Japan*, Vol. 3, No. 3, 1998, pp. 141–148 (in Japanese).

E. Gunther, G. Davenport and S. O’Modhrain, "Cutaneous Grooves: Composing for the Sense of Touch," *Proc. 2002 Conference on New Interfaces for Musical Expression (NIME-02)*, 2002, pp. 37–42.