

A Literature Review of Wearable Devices: Form Factors and Sensor Types

Dong Yeong Jeong¹, Sung H. Han¹, Joohwan Park¹, Hyun K. Kim¹,
Heekyung Moon¹, Bora Kang¹

¹Department of Industrial Management & Engineering, POSTECH, Pohang, 790-784

ABSTRACT

The aim of this study is to find out the used form factors and sensor types of current wearable devices. Wearable device is combination of wearable things and sensors to sense the environment and present information to users. Wearable devices are used to supplement mobile devices' ability to detect contexts. In the same vein, wearable devices have been newly developed to detect various contexts more effectively. Various wearable things of daily life and sensors are utilized to detect accurate and various contexts. However, there was no study which looks into the current wearable device's form factors and sensors. Internet news, papers, and patents were collected through the internet literature survey. The products in the literatures were analyzed to figure out the form factors and sensors. Sensors were classified according to the measurands. The existing combination of sensor types and form factors were observed. One hundred seventy five literatures were collected. There were twenty-three form factors, and thirty sensors were classified as nine different sensor types. The form factors which are worn on the terminal body parts were mostly used, and module or clips with additional accessories were used to apply plural body parts. The sensors which are operated by photo, Image/Vision recognition were mostly used. Most sensors were used with half form factors. They can develop wearable devices with existing combination of form factors and sensors or new combination of them.

Keywords: Wearable device, Wearable computing, Sensor, Form factor

1. Introduction

웨어러블 기기는 사용자의 행동이나 상황을 파악하는 새로운 도구로써 (Di Rienzo et al., 2005), 사용자의 다양한 신체 부위에 착용되어 높은 상황 인식률을 보여 준다 (Farrington et al., 1999). 웨어러블 기기는 사용자의 행동 및 주변 상황을 잘 인식하기 때문에 스포츠, 실버 산업 등과 같은 다양한 산업에서 제품 및 서비스의 사용성 및 효율성을 증진시키기 위해 많이 사용된다 (Hung et al., 2004).

따라서 웨어러블 기기는 산업계뿐만 아니라 학계까지에서도 많은 관심을 받고 있다. 산업계에서는 다양한 형태의 웨어러블 기기를 출시하였다. 안경 형태의 구글 글래스, 손목 시계 형태의 삼성 갤럭시 기어 (Billey, 2013), 팔찌 형태의 나이키 퓨얼밴드 (Nike fuelband home page, 2014), 스마트링 (Smarty ring home

page, 2014) 등이 이에 해당한다. 학계에서는 웨어러블 기기를 이용하여 사용자의 상황을 파악하고 이를 장애인이나 노약자를 보조 연구에 활용하고 있다 (Lee & Kwon, 2001; noritsugu et al., 2004). Ladha et al. (2013)은 팔찌를 활용해 암벽 등반 평가 기술에 대한 연구를 진행하였다. Murata et al. (2013)은 목걸이를 활용한 노인 도보 보조기기에 대한 연구를 진행하였으며, Kurata et al. (2011)은 옷을 활용해 시각 장애인을 위한 네비게이션 시스템을 개발하였다.

웨어러블 기기가 사람의 어떠한 신체부위에 적용되느냐에 따라 다양한 형태로 나타날 수 있다. 안경, 목걸이, 시계 등이 그 예이다. 이러한 웨어러블 기기의 형태를 본 연구에서는 제품 유형이라 정의한다. 기존의 연구들은 제품 유형과 센서를 결합하는 방식으로 개발되어왔기 때문에 어떠한 제품 유형과 센서의 조합으로 웨어러블 기기가 개발되고 있는지에 대한 전반적

인 고찰이 필요하다. 그러나 기존에는 웨어러블 기기의 개별적인 연구들을 나열하는 문헌 조사 연구만이 있어 각 연구간의 비교가 힘들다 (Patel et al., 2012; Velázquez, 2010). 어떠한 제품 유형과 센서들의 조합으로 웨어러블 기기가 개발되고 있는지 정리 한 연구는 찾아볼 수 없었다.

본 연구에서는 인터넷 문헌 조사를 통해 수집된 사례들로부터, 센서들을 작동 원리에 따라 센서를 구분하고 구분된 센서 유형들이 어떠한 제품 유형과 결합되고 있는지 알아보려고 한다.

2. Method

본 연구에서는 논문, 특허, 관련 기사 등의 문헌 조사를 통해 웨어러블 기기의 출시 제품, 프로토타입, 컨셉 제품을 수집하였다. 최신 동향을 반영하기 위해 조사 대상은 2011년부터로 한정하였다. 수집된 각각의 문헌으로부터 제품 유형과 센서들을 파악하였다. 센서는 측정량에 따라 분류 하였다. 이 때, 측정량이란 센서가 측정하는 대상의 물리적 성질이나 상태를 의미한다. 센서 분류 기준은 Richard (1987)의 연구를 바탕으로 수집된 문헌으로부터 찾은 센서에 적합하게 변형하였다 또한, 제품 유형들에 따라 사용된 센서 유형들을 정리해보았다.

3. Results

2011년부터 2013년까지 수집된 총 128개의 문헌으로부터 31가지 센서와 23가지 제품 유형을 도출하였다.

수집된 31가지 센서는 Table 1과 같이 9가지 센서 유형으로 나뉘었다. 9가지 센서 유형은 광학 (Photo), 이미지/영상 인식 (Image/vision recognition), 전자기파 (Electro-magnetic radiation), 전기적 활동량 (Electrical activity), 자기장 (Magnetic field), 기체 (Gas), 청각 (Acoustic), 기계적 (Mechanical), 열 (Thermal) 센서로 구분된다.

Table 1. Sensor types and sensors

Sensor Type	Sensor
Photo sensor	Free space optical communication
	Proximity sensor
	Pulse oximetry sensor
	Photoelectric sensor
	RGB/illuminance sensor
Image/Vision recognition sensor	Motion detection sensor
	3D depth camera
	Eye-tracking sensor
	Infrared camera
	Vision/Image recognition
Electro-magnetic radiation sensor	GPS sensor
	Near field communication module
Electrical activity sensor	EEG/EMG/ECG/EOG sensor
	GSR sensor
	Capacitive sensor
Magnetic field sensor	AC current sensor
	Magnetic field variation sensor
	Geomagnetic sensor
Gas sensor	Gas component analysis sensor
	Atmospheric pressure sensor
	Humidity sensor
Acoustic sensor	Microphone
	Phonomyography
Mechanical sensor	Acceleration sensor
	Gyroscope
	Pressure sensor
Thermal sensor	Heat flux sensor
	Temperature sensor
	Body temperature sensor
Others	E-textile
	Physical button

광학센서는 가시광선, 적외선, 자외선의 속성, 패턴, 세기 등을 인식한다. 이미지/영상 인식 센서는 이미지 및 동영상 정보로부터 대상(물체, 사람)의 시각적 패턴을 식별하거나 대상의 형상, 위치, 움직임 등을 감지한다. 전자기파 센서는 적외선과 마이크로파 등과 같은 전자기파를 감지하는 센서로, 일반적으로 무선 통신을 위해 설계된 모듈이 많으나 사용자의 위치를 추적하는 부가적인 용도로도 활용되고 있다. 전기적 활동량 센

서는 기기, 물체, 신체 등이 띤 전기적 성질과 그 변화를 감지한다. 자기장 센서는 고체의 물성, 전압의 변화 등을 통해 자기장의 존재 여부를 감지하며 자기장의 방향 및 세기를 측정한다. 기체 센서는 기체의 속성을 인식하며 각종 기체의 성분, 종류, 농도, 압력 등을 측

정한다. 청각 센서는 신호음, 목소리, 초음파 등의 음파를 감지한다. 기계적 센서는 대상의 가속도, 각 가속도와 같은 물리적인 움직임이나 물리적인 힘과 같은 역학적 성질을 감지한다. 열 센서는 주변의 온도나 체온 등 열의 크기 또는 열의 흐름을 측정한다.

Table 2. Form factor and sensor type

Form Factor	Sensor Type
Hat	Image/Vision recognition, acoustic, mechanical
Helmet	Image/vision recognition, gas, mechanical
Glasses	Photo, image/vision recognition, electro-magnetic radiation, magnetic field, acoustic, mechanical
Headset	Mechanical, image/vision recognition, electrical activity, acoustic, photo, electro-magnetic radiation
Earphone	Photo, electrical activity, mechanical
Ear Wrap	Electro-magnetic radiation
Necklace	Image/vision recognition, electro-magnetic radiation, electrical activity, acoustic, mechanical
Chest Band	Electro-magnetic radiation, electrical activity
Belt	Photo, electro-magnetic radiation, magnetic field, gas, acoustic, mechanical
Bag	Gas
Arm Band	Electrical activity, magnetic field, mechanical, thermal
Wristwatch	Photo, image/vision recognition, electro-magnetic radiation, electrical activity, magnetic field, acoustic, mechanical, thermal
Bracelet	Photo, image/vision recognition, electro-magnetic radiation, electrical activity, magnetic field, acoustic, mechanical, thermal
Gloves	Magnetic field, mechanical, others (physical button)
Stick	Photo, electro-magnetic radiation, gas, mechanical, thermal
Ring	Photo, image/vision recognition, electrical activity, acoustic, mechanical
Robot	Mechanical
Ankle Band	Magnetic field, mechanical
Shoes	Magnetic field, mechanical, others (e-textile)
Socks	Electro-magnetic radiation, electrical activity
Module/Clip	Image/vision recognition, electro-magnetic radiation, electrical activity, mechanical
Patch	Photo, electrical activity, magnetic field, mechanical, thermal
Clothes	Photo, image/vision recognition, electro-magnetic radiation, magnetic field, acoustic, mechanical, others(e-textile)

수집된 제품 유형은 모자, 헬멧, 안경, 헤드셋, 귀걸이 등 총 23가지였다. 손목시계와 팔찌의 제품 유형에서 가장 많은 8가지의 센서 유형이 사용되었다. 반면, 가슴밴드와 발목밴드, 양말의 제품 유형에서 2가지 센서 유형이 사용되었으며, 귀걸이, 가방, 로봇의 제품 유형에서 가장 적은 1가지 센서 유형이 사용되었다. 평균적으로는 각 제품 유형에서 4.04개의 센서 유형이 사용되었다.

센서 유형의 경우, 기계적 센서가 19가지 제품 유형에서 활용되었다. 광학, 이미지/영상 인식, 전자기파, 전기적

활동량, 자기장, 청각 센서의 경우 10개 내외의 제품 유형에서 활용되어 23가지의 제품 유형 중 절반에 가까운 제품 유형에서 활용되었다. 그 외로 열, 기체, 기타 센서의 경우 5개 미만의 현저히 적은 종류의 제품 유형에서 활용되었다.

문헌에서 수집된 제품 유형과 센서 유형은 Table 2과 같다. 그리고 센서 유형의 이름의 경우, 편의를 위해 센서 유형의 이름에 공통적으로 뒷부분에 들어있는 단어인 “센서”는 삭제하였다.

4. Discussion

대부분의 제품 유형들은 액세서리를 착용하기 쉬운 머리, 손, 발과 같은 신체의 말단 부위에서 많이 나타났다. 해당 부위의 제품 유형은 다양한 신호들을 파악하기 쉽다는 장점이 따른다. 더불어 신체 부위 말단에서 다양한 신호들을 파악하기 쉽다. 예를 들어, 머리에는 눈, 코, 입과 같은 감각기관이 위치하고 있어 이와 관련 있는 신호는 머리에서 쉽게 파악 가능하다. 손이나 아래팔에서는 맥박, 사용자의 행동과 관련한 정보 등이 쉽게 감지 될 수 있다. 발의 경우, 보행의 패턴이나 신체의 무게 및 압력을 파악하는데 유용하다. 따라서 웨어러블 기기를 개발할 때 신체의 말단부위와 연관된 제품 유형들을 우선적으로 고려해보는 것이 좋아 보인다.

대부분의 제품 유형과 달리, 모듈/클립의 경우 신체부위와 큰 연관성이 없는 위치 및 수면 상태 정보들을 감지하기 위해 웨어러블 기기로 활용되고 있다. 또한 모듈/클립은 부가적인 액세서리와 결합하여 다른 제품 유형으로 변환 가능하도록 하는 사례가 많았다. 이를 통해 제품 유형에 대한 선호도가 다양한 사용자들의 시선을 사로잡을 수 있을 것으로 보인다. 더불어 모듈/클립, 패치, 옷은 신체 부위의 다양한 신호를 동시에 파악하고자 할 때 사용되었다.

기계적 센서를 제외한 나머지 센서 유형은 많은 제품 유형에서 활용되지 않았다. 마찬가지로 다양한 제품 유형에서 사용되는 센서 유형이 적었다. 이는 여전히 기기 및 센서간의 새로운 조합에 대한 가능성을 내포하고 있다.

5. Conclusion

본 연구는 최근에 개발된 웨어러블 기기의 센서를 측정량에 따라 분류한 뒤, 제품 유형에 따라 센서 유형을 분류해 보았다. 본 연구를 통해 웨어러블 기기를 개발하는 공학자들은 현재의 웨어러블 기기 개발 동향에 대해 쉽게 파악하고, 새로운 제품 유형과 센서 유형의 조합에 대한 가능성을 확인할 수 있다.

Acknowledgements

This work was funded by grants from Korean Federation of Science and Technology Societies (Grant-#KFSTS000-0000).

References

- Bilies, C., Current and future networking: wearable computers, https://classes.lt.unt.edu/Fall_2013/LTEC_4550_020/cdb_0304/LTEC4550_CBILES_FinalPaper.pdf (retrieved October 2, 2014)
- Di Rienzo, M., Rizzo, F., Parati, G., Brambilla, G., Ferratini, M. and Castiglioni, P., MagIC system: A new textile-based wearable device for biological signal monitoring. Applicability in daily life and clinical setting, *Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 7167-7169, 2005.
- Farrington, J., Moore, A.J., Tilbury, N., Church, J. and Biemond, P.D., Wearable sensor badge and sensor jacket for context awareness, *Wearable Computers*, pp. 107-113, 1999.
- Hung, K., Zhang, Y., T., and Tai, B., Wearable medical devices for tele-home healthcare, *Engineering in Medicine and Biology Society*, pp. 5384-5387, 2004.
- Kurata, T., Kourogi, M., Ishikawa, T., Kameda, Y., Aoki, K., and Ishikawa, J., Indoor-outdoor navigation system for visually-impaired pedestrians: Preliminary evaluation of position measurement and obstacle display, *Proceedings of ISWC2011*, pp. 123-124, 2011.
- Lee, K. and Kwon, D.S., Wearable master device using optical fiber curvature sensors for the disabled, *Robotics and Automation*, pp. 892-896, 2001.
- Ladha, C., Hammerla, N. Y., Olivier, P., Plotz, T., ClimbAX: Skill Assessment for Climbing Enthusiasts, *Proceedings of the 2013 ACM international joint conference on Pervasive and ubiquitous computing*, pp. 235-244, 2013.
- Murata, S., Suzuki, M., & Fujinami, K., A wearable projector-based gait assistance system and its application for elderly people, *Proceedings of the 2013 ACM international joint conference on Pervasive and ubiquitous computing*, pp. 143-152, 2013.
- Muscolino, J., E., *Kinesiology*, Mosby, 2010.
- Noritsugu, T., Yamamoto, H., Sasaki, D. and Takaiwa, M., Wearable power assist device for hand grasping using pneumatic artificial rubber muscle, *SICE-Annual conference*, pp. 420, 2004.
- Nike *fuelband* *home page*, http://www.nike.com/us/en_us/c/nikeplus-fuelband (retrieved October 2, 2014).
- Patel, S., Park, H., Bonato, P., Chan, L. and Rodgers, M., A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation, *Journal of neuroengineering and rehabilitation*, 9(1), 2012.
- Richard, W. M., A sensor classification scheme. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and frequency control*, 34(2), 1987.
- Smarty ring Home page, <http://www.smartyring.com> (retrieved October 2, 2014).
- Velázquez, R., Wearable assistive devices for the blind, *Wearable and Autonomous Biomedical Devices and Systems for Smart Environment*, pp. 331-349, 2010.

Author listings

Dong Yeong Jeong: comnet924@postech.ac.kr

Highest degree: BS, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Position title: MS candidate, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Human-Computer Interaction, User Experience Design, Gesture Interface, User Interface

Sung H. Han: shan@postech.ac.kr

Highest degree: PhD, Ind. & Sys. Eng. Dept, Virginia Polytechnic Institute & State University

Position title: Professor, Dep. of Ind. Mgmt. & Eng., POSTECH

Areas of interest: Human-Computer Interaction, Usability Engineering, Affective Product/Service Design, Intelligent User Interfaces, User Experience, Context Aware

JooHwan Park: pkjhwan@postech.ac.kr

Highest degree: BS, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Position title: PhD Candidate, Department of Industrial and Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: User Interface, HCI, User experience, Intelligent UI

Hyun K. Kim: emokubi@postech.ac.kr

Highest degree: BS, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Position title: PhD Candidate, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: User Experience, Accessibility, Proxemic Interaction, Affective Engineering, Context awareness

Heekyung Moon: gomsak@postech.ac.kr

Highest degree: BS, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Position title: PhD Candidate, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: Product/Service design, User experience, Psychophysiology, Ideation method

Bora Kang: purple31@postech.ac.kr

Highest degree: BS, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Position title: PhD Candidate, Department of Industrial & Management Engineering, POSTECH

Areas of interest: User Experience Design, Gesture Interface, Human-Computer Interaction