

퍼지 논리 기반의 건강관리용 팔목 밴드 개발

황희수
한라대학교 전기전자과

Development Of Fuzzy Logic Based Wristband For Healthcare

Heesoo Hwang

Department of Electrical and Electronic Engineering, Halla University

요 약 고령화 인구 증가에 따른 만성질환자, 노약자 및 독거인의 일상생활에서 위험하거나 불안정한 건강 상태를 관리할 수 있는 요구가 커지고 있다. 최근 무선 통신 기술의 발달로 특정한 장소에 구애받지 않고 언제 어디서나 개인의 건강 상태를 감시할 수 있는 장치가 주목 받고 있다. 본 논문은 생체 신호로 심박수와 체온을 주기적으로 측정하고 밴드 착용자의 나이와 측정된 생체 신호를 토대로 건강관리가 필요함을 알리는 팔목형 건강관리용 밴드를 개발하는 것이 목적이다. 나이, 체온 및 심박수 사이의 정상 범위 관계는 비선형이고 측정된 생체 신호는 오차를 포함 부정확하기 때문에 생체 신호 기반의 건강관리 판정에는 부정확하고 애매한 정보의 처리가 필요하다. 본 논문은 이런 문제를 해결하기 위해 부정확하고 애매한 정보를 처리하는데 적합한 퍼지 논리 기반의 건강관리 판정 시스템을 밴드에 구현한다. 밴드에 연동해 동작하는 건강관리 앱(Apps)도 함께 개발된다. 앱은 측정 데이터를 저장, 관리하며 밴드에서 건강관리가 필요한 신호가 감지되면 앱에 사전 등록된 보호자 또는 간병인에게 해당 정보를 전송한다.

Abstract As the elderly population increases, real-time personal health monitoring is gaining new ground with advances in wireless communications. Such an approach is particularly beneficial to elderly and physically challenged people, as well as those who live alone and are not be able to seek help in case of medical emergencies. The aim of this study is to implement a wearable band which monitors personal vital signs, such as the body temperature and heart rate, and assists with healthcare decisions using a fuzzy logic based decision support system. Since the vital sign data measured from sensors are imprecise and their normal variation with age is nonlinear and not crisp, a fuzzy system is employed to deal with this imprecise or uncertain information. The proposed wearable band is designed to continuously capture and transmit vital signs and healthcare decisions to suitable apps developed for smartphones. In this way, health alerts can be sent to the guardian or caregiver who is registered in the apps.

Keywords : Body Temperature, Fuzzy-Logic, Heart-Rate, Healthcare-Band, Vital Signs

1. 서론

실시간으로 개인의 건강을 감시하는 기술은 무선 통신의 발달로 새로운 전환점을 맞고 있다. Wireless body area networks (WBANs)를 기반으로 하는 이 기술은 생체 신호의 지속적인 감시 등을 통해 응급 의료의 질을 향상시키고 있다[1,2].

세계 보건기구 (WHO)에 따르면 2050년 세계 인구의

22 %인 20억 인구는 60세 이상이 된다고 한다[3]. 고령화 인구 증가에 따라 만성 질환자, 노약자 또는 독거인이 일상생활에서 위험하거나 불안정한 건강 상태를 관리할 수 있는 요구와 수요가 커지고 있다.

무선 통신 및 관련 장치의 발달로 환자 감시를 목적으로 하는 무선 생체 신호 감시 장치들이 개발되고 있다 [3,4]. 이들 장치에서 환자의 생리적 상태는 착용이 가능한 의료용 센서에 의해 원격으로 측정된 생체 신호(심박

*Corresponding Author : Heesoo Hwang(Halla Univ.)

Tel: +82-33-760-1249 email: hshwang@kalla.ac.kr

Received February 3, 2017

Revised April 4, 2017

Accepted May 12, 2017

Published May 31, 2017

수, 체온, 혈압 등)에 의해 결정된다. 현재 과제는 수집된 생리적 상태 정보를 이해하여 건강관리의 필요성을 판단, 환자나 간병인을 지원할 수 있는 의사결정지원 시스템이다.

생체 신호를 감시하는 장치로부터 측정된 생리적 데이터를 처리해서 잠재적인 건강 이상 징후를 감지하기 위해 퍼지 논리 규칙 기반의 판별 시스템에 대한 조사와 연구가 이루어졌다[4]. 이상 징후 포착은 환자 자신이나 간병인에게 환자의 건강 상태 정보를 토대로 조치의 필요성을 알리는데 목적이 있다.

퍼지 논리는 생체 신호가 갖는 부정확하고 애매한 정보를 처리할 수 있고 사람에게 이해하기 쉽고 직관적인 규칙 형태로 정보를 표현하기 때문에 생체 신호를 이용한 건강관리 의사결정 분야에서 다른 알고리즘에 비해 장점이 있다[2,4,5]. 또한 퍼지 논리는 적은 수의 규칙으로 입력(생체 신호 데이터)과 출력(건강관리 필요에 대한 판정 결과)사이의 복잡한 비선형성을 표현할 수 있다.

WBANs 기반의 감시 시스템은 센서 네트워크가 동작할 수 있는 통신 환경 하에서 사용할 수 있기 때문에 휴대용으로는 적합지 않다. 장소에 구애 받지 않고 통신이 가능한 휴대용 장치들이 개발되고 있지만 그 목적이 피트니스용에 제한되어 있다.

본 논문의 목적은 스마트폰과 통신이 가능하고 가볍고 착용이 쉬운 건강 감시용 밴드를 개발하는 것이다. 이 밴드는 팔목형으로 센서로부터 주기적으로 측정하는 생체 신호(체온, 심박수)와 앱(Apps)에서 설정된 나이 정보를 사용하여 환자의 건강관리 요구를 판단하는 퍼지 논리 규칙 기반의 의사결정 지원 시스템을 구현한다. 또한 밴드와 연동해 동작하는 건강관리 앱도 함께 개발된다.

2. 건강관리 밴드 시스템

2.1 생체 신호 측정

기본적인 생체 신호(체온, 심박수, 호흡률 및 혈압)가 건강관리에 매우 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있다[5]. 생체 신호를 지속적으로 수집, 분석함으로써 신체의 심장과 폐와 같은 주요 기관이 잘 동작하고 있음을 알 수 있다. 특히, 만성 질환자에게 생체 신호는 일상에서 지속적으로 측정되어야 한다[7]. 기존 건강관리 시스

템이 측정하는 생체 신호는 체온과 심박수 외에 호흡률, 산포 포화도 등을 측정한다[4-8]. 밴드 시스템에서는 체온과 심박수만을 생체 신호로 사용한다. Table 1과 2에 보인 것처럼 나이에 따라 정상 범위가 차이가 있음을 알 수 있다[11-14].

나이, 체온 및 심박수가 정상 범위를 벗어난 경우 주의관찰을 통한 건강관리가 필요한데 나이에 따른 체온 및 심박수의 정상범위 관계가 비선형이고 측정 데이터가 갖는 오차로 부정확하기 때문에 생체 신호 기반의 건강관리 판정에는 부정확하고 애매한 정보의 처리가 필요하다.

Table 1. Body temperature range[13]

Location	Body temperature range(°C)			
	0~2 years	3~10 years	11~65 years	65 years and above
Oral	-	35.5~37.5	36.4~37.6	35.8~36.9
Rectal	36.6~37.3	36.6~38.0	37.0~38.1	36.2~37.3
Axillary	34.7~37.3	35.9~36.7	35.3~36.9	35.6~36.3
Ear	36.4~38.0	36.1~37.8	35.9~37.6	35.8~37.5
Core	36.4~37.8	36.4~37.8	36.8~37.9	35.9~37.1

Table 2. Resting heart rate[12]

Resting Heart Rate	Average Range(bpm)		Total Range(bpm)	
	Male	Female	Male	Female
Under 1	115~137	118~137	102~155	104~156
1	107~122	110~125	95~137	95~139
2 ~ 3	96~112	98~114	85~124	88~125
4 ~ 5	84~100	87~104	74~112	76~117
6 ~ 8	76~92	79~94	66~105	69~106
9 ~ 11	70~86	76~91	61~97	66~103
12 ~ 15	66~83	70~87	57~97	60~99
16 ~ 19	61~78	69~85	52~92	58~99
20 ~ 39	61~76	66~82	52~89	57~95
40 ~ 59	61~77	64~79	52~90	56~92
60 ~ 79	60~75	64~78	50~91	56~92
80 Or Over	61~78	64~77	51~94	56~93

2.2 건강관리 밴드 시스템 구성

생체 신호를 기반으로 건강관리 필요 유무를 지속적으로 감시하는 건강관리 밴드 시스템의 구성은 Fig. 1과 같다. Fig. 1(a)에 보인 것처럼 밴드의 MCU (Atmega328)는 주기적으로 체온과 맥박을 측정하여

OLED 디스플레이에 표시한다. 체온은 적외선 방식의 비접촉 온도 센서 TMP007로, 맥박은 3개의 서로 다른 파장의 광센서를 사용하고 광학 혼선을 차단하기 위한 차광막을 갖는 SFH7050로 측정한다. SFH7050 측정 신호는 저 잡음 디지털변환을 위해 AFE4403을 거친다. 밴드와 연동된 건강관리 앱(Apps)은 저전력 블루투스(BLE) 통신을 통해 사용자 및 측정 정보를 교환할 수 있다. 밴드 사용자 나이는 앱을 통해 설정하고 측정된 생체 신호 정보와 건강관리 필요 유무에 대한 판정 정보는 앱으로 전송, 저장된다. Fig. 1(b)는 밴드 전원장치 구성으로 USB를 통해 140 mAh 리튬 폴리머 배터리에 5 V 전력이 공급되고 충전된 전기는 안정화 된 3.3 V로 변환, 밴드 장치에 공급된다. Fig. 1(c)는 밴드에 연동되어 동작하는 앱으로 밴드에서 측정한 데이터를 그래프로 볼 수 있다. 또한 밴드 사용자의 보호자 또는 간병인의 연락처를 지정할 수 있어서 정보를 공유할 수 있다. 밴드 MCU에는 건강관리 판정 퍼지 시스템이 구현되어 사용자 나이, 체온 및 심박수로부터 건강관리가 필요한 이상 징후를 판정하고 이를 앱에 전송하고 앱은 사전에 지정된 보호자 또는 간병인의 스마트폰으로 해당 정보를 전송한다. Fig. 1(d)와 (e)는 개발한 밴드 시스템의 PCB 및 시작품을 보인 것이다.

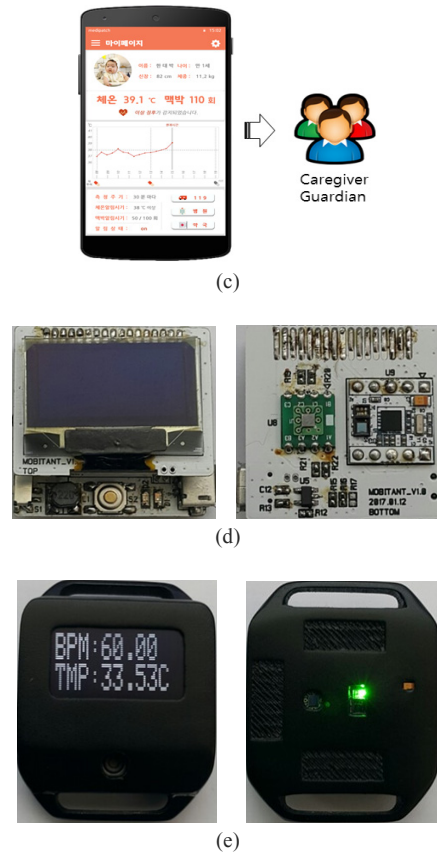


Fig. 1. Developed wristband system for healthcare (a) System configuration (b) Power supply (c) Apps (d) PCB front and back boards (e) Prototype

3. 퍼지 논리 기반 건강관리 판정

3.1 퍼지 이론

퍼지 논리는 시스템이 복잡하거나 정의하기 어렵고 불확실하여 명확한 판단을 내릴 수 없는 경우의 애매성을 다룰 수 있다. 또한 인간이 다루기 쉬운 언어적인 모델 즉, 규칙으로 표현이 가능하다[9]. 퍼지 모델은 다수의 If ~ Then 규칙으로 이루어지고 입력이 주어지면 추론을 통해 출력을 계산한다. 퍼지 규칙은 신경회로망과 같은 회귀법이 블랙박스에 해당하는 모델을 최적화를 통해 찾아내듯이 유사한 방식으로 모델을 만들 수도 있지만 전문가의 지식으로부터 직접 만들어질 수도 있다 [10]. 즉, 생체 신호 정보를 토대로 건강관리에 대한 판정을 위한 퍼지 규칙을 전문지식을 활용해 효과적으로 만들 수 있다[11].

퍼지 논리는 측정된 입력 변수 값을 가지고 퍼지 규칙에서 출력 값을 추론한다. 퍼지 규칙은 식(1)에 보인 것과 같이 조건부(If 부분)와 동작부(Then 부분)로 구성된다. 입력 데이터가 주어지면 퍼지 규칙의 조건부 멤버십 함수 값이 계산되고(퍼지화) 퍼지 추론을 통해 출력 값(비퍼지화)이 계산된다.

$$R^i: \text{If } x_1 \text{ is } A_{i1} \text{ and } x_2 \text{ is } A_{i2} \cdots x_k \text{ is } A_{ik} \quad (1) \\ \text{Then } y \text{ is } B_i.$$

여기서 R^i 는 i 번째 규칙, x_k 는 k 번째 입력변수, A_{ik} 는 i 번째 규칙의 k 번째 입력에 대한 퍼지변수(멤버십 함수), y 는 출력변수이고 B_i 는 i 번째 규칙의 출력 멤버십 함수이다. 퍼지 변수 A_{ik} 는 삼각형, 사다리꼴, 벨, 시그모이드 등의 형태를 가질 수 있다.

본 논문에서는 계산 편의를 위해 B_i 로 퍼지 싱글톤(실수)을 사용한다. 입력 데이터 $x_1^0, x_2^0, \dots, x_k^0$ 가 주어지면 식(2)와 같이 퍼지 규칙의 조건부 적합도가 계산되고 식(3)을 통해 퍼지 추론 결과 값 y^* 이 계산된다. 식(2)와 (3)에서 $\times$ 는 곱하기 연산자이다.

$$w_i = A_{i1}(x_1^0) \times A_{i2}(x_2^0) \times \cdots \times A_{ik}(x_k^0) \quad (2)$$

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^r w_i \times B_i}{\sum_{i=1}^r w_i} \quad (3)$$

r 은 규칙의 수, w_i 는 i 번째 규칙의 조건부 적합도

3.2 건강관리 판정 퍼지 시스템

무선 착용 밴드는 측정된 생체 신호와 밴드 착용자의 나이를 고려하여 건강관리 필요 유무를 판정하는데 퍼지 시스템을 사용한다. 이를 위해 체온과 심박수 신호는 밴드에 내장된 센서에서 측정, 수집하며 착용자의 나이는 밴드와 연동된 건강관리 앱(App)에서 입력된다. 센서에서 측정된 데이터는 오차를 포함하고 있고 나이에 따라 체온과 심박수의 이상 범위가 명확하지 않고(not crisp) 애매하기(fuzzy) 때문에 이들 정보로부터 건강관리가 필요한 이상 징후를 판단하는데 퍼지 규칙을 설계하여 사

용한다.

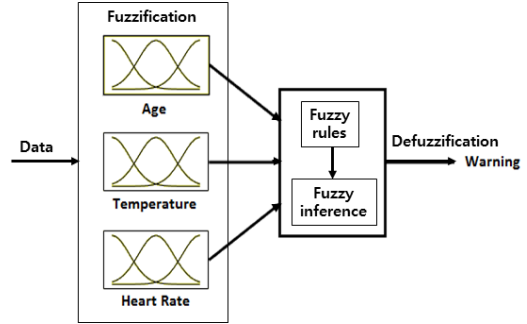


Fig. 2. Fuzzy logic system for healthcare decision support

Fig. 2에 보인 퍼지 논리 시스템은 입력 변수(Age, Temperature, Heart Rate) 데이터를 멤버십 함수를 통해 스칼라 출력으로 비선형 매핑한 후(퍼지화) 퍼지 규칙으로부터 식(2)와 (3)에 의한 추론을 거쳐 건강관리 필요 유무 판정을 위한 출력변수(Warning)의 값을 계산한다(비퍼지화). 이 값이 0.5 이상이면 건강관리가 필요한 것으로 판정하고 밴드에 경고 표시와 함께 연동되어 있는 건강관리 앱 및 앱에 지정되어 있는 보호자 또는 간병인에게 해당 정보를 전송한다.

밴드에서 측정된 생체 신호로부터 건강관리 판정을 위해 퍼지 규칙을 설계한다. 퍼지 규칙의 조건부 입력변수로 나이, 생체 신호인 체온과 심박수에 해당하는 Age, Temperature 및 Heart-Rate를, 퍼지 규칙의 동작부 출력변수로 건강관리 필요 유무에 대한 판정을 표시하는 Warning을 사용한다. 입력변수 Age의 멤버십 함수는 Fig. 3에 보인 것과 같이 Young과 Old로 정의된다. 입력변수 Temperature의 멤버십 함수는 Fig. 4에 보인 것과 같이 L(low), M(medium) 및 H(high)로 정의된다. 입력변수 Heart-Rate의 멤버십 함수는 Fig. 5에 보인 것과 같이 M(medium)과 MH(medium high)로 정의된다.

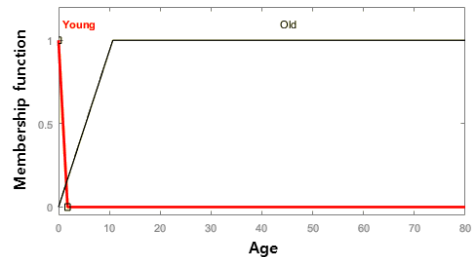


Fig. 3. Fuzzy input variable, Age

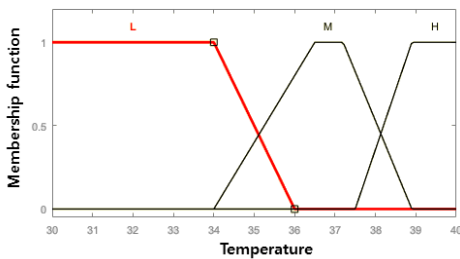


Fig. 4. Fuzzy input variable, Temperature

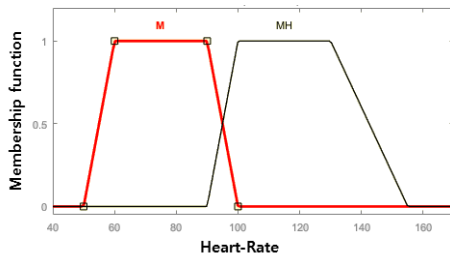


Fig. 5. Fuzzy input variable, Heart-Rate

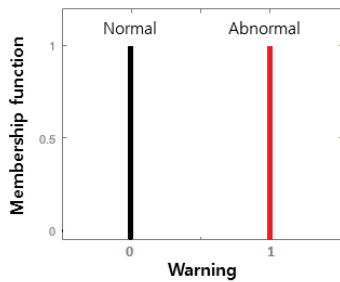


Fig. 6. Fuzzy output variable, Warning

출력변수 Warning의 멤버십 함수는 Fig. 6에 보인 것과 같이 퍼지 싱글톤(실수)인 Normal과 Abnormal로 정의된다. 생체 신호를 기반으로 하는 건강관리에 대한 기존 연구[8,12-14]를 토대로 정의된 퍼지 입출력 변수를 사용하여 Fig. 7과 같은 퍼지 규칙을 구성한다. Heart-Rate의 멤버십 함수 ~MH는 not MH의 의미로 1에서 MH 멤버십 값을 뺀다.

- R^1 : If Age is Young and Temperature is L and Heart - Rate is ~ MH then Warning is Abnormal
 R^2 : If Age is Young and Temperature is M and Heart - Rate is MH then Warning is Normal
 R^3 : If Age is Young and Temperature is H and Heart - Rate is ~ MH then Warning is Abnormal

- R^4 : If Age is Old and Temperature is L and Heart - Rate is ~ MH then Warning is Normal
 R^5 : If Age is Old and Temperature is M and Heart - Rate is M then Warning is Normal
 R^6 : If Age is Old and Temperature is H and Heart - Rate is ~ M then Warning is Abnormal

Fig. 7. Fuzzy rules for healthcare decision support

4. 시뮬레이션

Fig. 7에 제시된 퍼지 규칙을 사용하여 두 가지 사례에 대한 퍼지 규칙의 추론 계산 과정을 보인 것이 Fig. 8이다. Fig. 8(a)는 입력 Age, Temperature, Heart-Rate가 5, 38.9, 95일 때 출력 Warning은 1로 건강관리가 필요함을 보인다. Fig. 8(b)는 입력 Age, Temperature, Heart-Rate가 50, 38.9, 90일 때 출력 Warning은 0.5로 건강관리 필요함을 보인다. 퍼지 규칙의 입력(Age, Temperature, Heart-Rate)과 출력(Warning) 사이의 비선형 관계(4차원)를 보이기 위해 Fig. 9, 10 및 11에 두 개의 입력과 출력 사이의 3차원 관계를 보인다. 입력으로 Fig. 9는 Temperature와 Age를, Fig. 10은 Heart-Rate와 Age를, Fig. 11은 Heart-Rate, Temperature를 사용하였다.

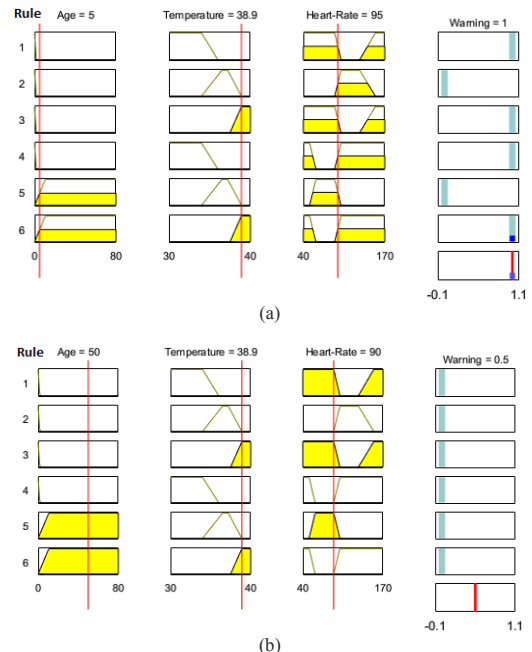


Fig. 8. Fuzzy rules for healthcare (a) Age=5, Temperature=38.9, Heart-Rate=95 (b) Age=50, Temperature=38.9, Heart-Rate=90

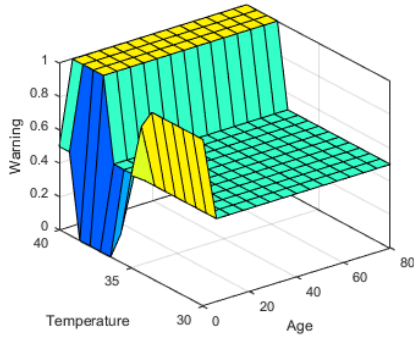


Fig. 9. Relationship between inputs(Temperature, Age) and output(Warning)

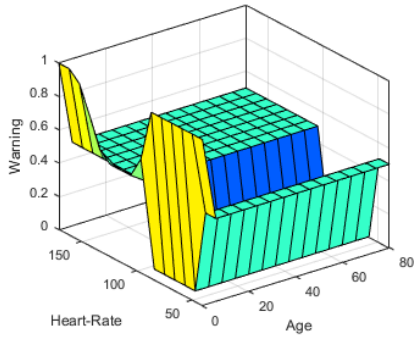


Fig. 10. Relationship between inputs(Heart_Rate, Age) and output(Warning)

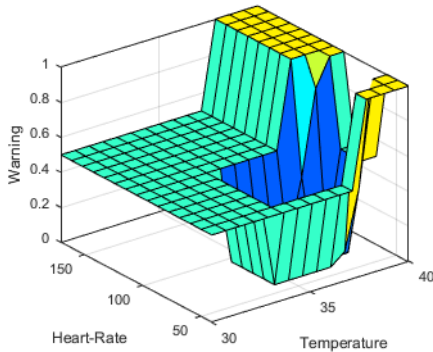


Fig. 11. Relationship between inputs(Temperature, Heart-Rate) and output(Warning)

5. 결론

본 논문에서는 착용이 쉽고 가벼운 생체 신호 측정 밴드 시스템을 구현하였다. 이 시스템은 주기적으로 측정되는 생체 신호(체온과 심박수)와 나이 데이터를 입력으로 건강관리 필요 유·무에 대한 결정을 지원하는 6개의

퍼지 규칙으로 구성된 퍼지 추론 시스템을 갖는다. 시뮬레이션을 통해 퍼지 규칙이 적절하게 동작하고 비선형 입력출력 관계를 효과적으로 표현하고 있음을 보였다. 퍼지 추론 결과가 0.5 이상이 나오면 밴드에 건강관리가 필요함을 알리는 경고 표시와 함께 밴드에 연동된 건강관리 앱(Apps)에 이를 전송한다. 앱(Apps)은 사전에 등록된 보호자 또는 간병인에게 해당 정보를 전송한다.

밴드 시스템이 보다 일반적인 건강관리 장치가 되기 위해서는 추가적인 생체 신호를 포함하고 건강관리 필요 유·무에 대한 의사결정의 정확도와 신뢰도를 높이기 위한 연구가 필요할 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구를 함께한 (주)모비트론 한동호 대표에게 감사를 표합니다.

References

- [1] Anuradha Rangarajan, "Review: Emerging Trends in Healthcare Adoption of Wireless Body Area Networks," *Biomedical Instrumentation & Technology*, pp. 264-276, July Aug. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.2345/0899-8205-50.4.264>
- [2] Kajal Singh, Divya Sharma, and Shipra Aggarwal, "A Real Time Patient Monitoring System Based on Artificial Neural Fuzzy Inference System," *Int. J. of Computer Applications*, vol. 146, no. 15, pp. 22-28, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.5120/ijca2016910959>
- [3] World Health Organization. Sept. 2014. Facts about ageing, <http://www.who.int/ageing/about/facts/en/>
- [4] Shohas Dutta, Anthony Maeder, Jim Basilakis, "Using Fuzzy Logic for Decision Support in Vital Signs Monitoring," *Joint Proc. -AIH2013/CARE2013*, pp. 29-33, 2013.
- [5] Prakashgoud Patil, et al., "Fuzzy Logic Based Health Care System Using Wireless Body Area Network," *Int. Journal of Computer Applications*, vol. 80, no. 12, pp. 46-51, Oct. 2013.
DOI: <https://doi.org/10.5120/13917-1881>
- [6] Norris P. R., "Toward New Vital Signs: Tools and Methods for Physiological Data Capture, Analysis, and Decision Support in Critical Care," PhD Thesis, Graduate School of Vanderbilt University, 2006.
- [7] Harries A. D., et al., "The Vital Signs of Chronic Disease Management," *Trans. of The Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, vol. 103, no. 6, pp. 537-540, 2009.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trstmh.2008.12.008>

- [8] Patrick Davies, et al., "The relationship between body temperature, heart rate and respiratory rate in children," Emergency Medicine Journal, vol. 26, pp. 641-643, Oct. 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1136/emj.2008.061598>
- [9] Zadeh L.A., The birth and evolution of fuzzy logic, International Journal of General Systems, vol. 17, no. 2, pp. 95-105, 1990.
DOI: <https://doi.org/10.1080/03081079008935102>
- [10] Heesoo Hwang, "Automatic Design of Fuzzy Rule Base for Modeling and Control Using Evolutionary Programming," IEE Proc. Part D, vol. 146, no. 1, pp. 9-16, Jan. 1999.
DOI: <https://doi.org/10.1049/ip-cta:19990087>
- [11] Cicilia RML., et al., "A Fuzzy Model for Processing and Monitoring Vital Signs in ICU Patients," BioMedical Engineering, vol. 10, no. 68, 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1475-925X-10-68>
- [12] Ostchega, Y. et al., "Resting Pulse Rate Reference Data for Children, Adolescents, and Adults: United States, 1999-2008," National Health Statistics Reports, no. 41, pp. 1-17, National Center for Health Statistics, 2011.
- [13] MedGuidance, Medical Information, Health News & Tools, 2014, <http://www.medguidance.com/thread/Normal-Body-Temperature.html>, Nov. 24.
- [14] Lois White, Gena Duncan, Wendy Baumle, Foundation of Basic Nursing, Chapter 26 Vital Sign Assessment, 2011.

황 희 수(Heesoo Hwang)

[정회원]



- 1988년 2월 : 연세대학교 전기공학
학과 (전기공학석사)
- 1993년 2월 : 연세대학교 전기공학
학과 (자동화공학박사)
- 1993년 4월 ~ 2001년 2월 : 고속
철도기술개발사업단 선임/책임연
구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 한라대학교
전기전자과 교수

<관심분야>

머신러닝, 예측 및 진단 모델링, 지능제어