

생체 신호를 이용한 스마트 헬스케어 모니터링 시스템 설계 및 구현

유소월*, 배상현**

Design and Implementation of Smart Healthcare Monitoring System Using Bio-Signals

So-Wol Yoo*, Sang-Hyun Bae**

요약 인간의 건강에 대한 관심 증가에 맞춘 상시적인 질병 관리를 위해 다수 개의 측정센서를 이용하여 측정된 생체 신호를 융합한 임계값을 분석하여 개개인의 맞춤형 진단을 위한 모니터링 시스템을 구현하고자 한다. 성능평가 결과 생체 신호의 분석을 위한 SVM 알고리즘은 평균 2%의 오차율이 나타났으며, 윈도우의 크기를 5000으로 분할했을 때 저장 공간의 최대 19.2%를 축소함으로써 효과적임을 보였다. 분류의 정확도는 윈도우 크기를 5000으로 분할했을 때 97.2%로 가장 높은 정확도를 보였다. 또한 총 5000개의 생체 신호 집합의 분석 결과 중 84개의 결과가 다르게 나왔으나 시스템으로부터의 결과가 전문가의 진단 결과보다 더 낮은 경우는 발생하지 않았으며, 약 98%의 정확도를 보였다.

Abstract This paper intend to implement monitoring systems for individual customized diagnostics to maintain ongoing disease management to promote human health. Analyze the threshold of a measured biological signal using a number of measuring sensors. Performance assessment revealed that the SVM algorithm for bio-signal analysis showed an average error rate of 2 %. The accuracy of the classification is 97.2%, and reduced the maximum of 19.2% of the storage space when you split the window into 5,000 pieces. Out of the total 5,000 bio-signals, 84 results showed that results from the system were differently the results of the expert's diagnosis and showed about 98 % accuracy. However, the results of the monitoring system did not occur when the results of the monitoring system were lower than that of experts. And About 98% accuracy was shown.

Key Words : Smart Healthcare, Bio-Signals, Monitoring System, SVM

1. 서론

의료-IT 기술의 융합은 이미 이슈를 넘어 대세적 기술로 자리매김하고 있는 추세이다. 특히 최근 4차 산업혁명의 시기가 도래하게 되면서 연결성 (connected)와 지능화(intelligent) 기술의 발달로 인한 ‘스마트 헬스케어’에 대한 관심과 연구가 거세게 증가하고 있다. 스마트 헬스케어란 첨단 IT기술을 활용하여 자유롭게 이용할 수 있는 의료 및 건

강을 관리하고 지원하는 모든 기술을 의미한다[1].

실버산업시대에 노인 인구 비율이 2014년 기준 약 12.7%로 매년 증가하였고, 2019년 기준 약 14.4%로 증가할 것으로 전망되며, 또한, 평균수명 추이가 2020년에는 80.7세로 높은 인구연령의 초고령화 사회로 전망되면서, 상시적인 질병 관리를 위한 스마트 의료기기와 원격의료 서비스의 수요가 증가하고 있고, 활성화된 복지사회를 형성하기 위해 스마트 헬스케어 산업의 중요성과 필요성이 불

*Department of Computer Science and Statistics, Graduate School of Chosun University

**Corresponding Author : Department of Computer Science and Statistics, Graduate School of Chosun University (shbae@chosun.ac.kr)

가피한 상태에 이르렀다. 우리나라에서도 모바일 헬스 앱을 탑재한 웨어러블 디바이스, 모바일 기기 및 커넥티드 의료기기와 원격의료 등 ICT 기반의 스마트 헬스 케어 제품 및 원격의료의 산업의 활성화에 대한 기술이 진행되고 있다[2].

이와 같이 인간의 건강에 대한 관심 증가에 맞춘 상시적인 질병 관리를 위해 다수 개의 측정 센서를 이용하여 측정된 생체 신호를 융합한 임계값을 분석하여 개개인의 맞춤형 진단을 위한 모니터링 시스템은 꼭 필요한 핵심기술이다.

본 논문에서는 스마트 헬스 기반으로 가속도 센서를 이용해 낙상 등의 움직임을 감지하고, 개인의 혈압, 심박, 체온의 기본적인 생체 신호로 건강 상태를 측정하여 사용자의 현재 상태를 예측하는 모니터링 시스템을 구현하고자 한다. 센서 유닛을 통해 생체 신호를 측정하여 블루투스로 컨트롤 유닛으로 전송하여 DB에 저장시키고, 저장된 생체 신호를 분석하여 사용자의 현재 상태를 도출하는 것을 목표로 하고 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 생체 신호를 이용한 스마트 헬스케어 모니터링 시스템의 구성 및 구현에 대해 알아보고, 3장에서는 성능 평가에 대해 알아보고, 4장에서는 결론 및 향후 연구 과제로써 끝을 맺고자 한다.

2. 시스템 구성 및 구현

본 논문에서 구현하고자 하는 스마트 헬스케어 모니터링 시스템은 사용자의 상태를 센싱할 수 있는 센서 유닛, 이를 컨트롤 할 수 있는 컨트롤 유닛, 스마트폰에서 확인할 수 있는 모니터링 시스템으로 구성하였다. 그림 1은 제안하는 시스템 구성도이다.

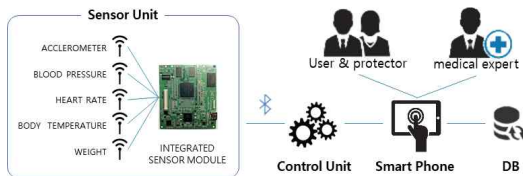


그림 1. 시스템 구성도
Fig. 1. System configuration

2.1 센서 유닛

스마트 헬스케어 모니터링 시스템은 스트림 데이터(수축기혈압, 이완기혈압, 심박, 체온)를 획득하기 위해 각각의 측정 센서를 통합한 센서 모듈을 제작하여 사용하였다. 그림 2는 센서 유닛이다.



그림 2. 센서 유닛
Fig. 2. Sensor unit

센서 유닛을 팔목에 부착하여 생체신호를 측정하고, 생체 신호는 표 1의 측정 기준 표를 참조하여 측정하였다.

표 1. 측정 기준 표
Table 1. Benchmarks measure

Blood pressure measurement	30 ~ 280mmHg, error range +-3mmHg
Heartbeat measurement	70 cycles per minute
Body temperature measurement	10 ~ 40 degree, measurement unit 1.0 degree, measurement error +-0.2 degree based on the outside temperature

분석에 사용된 데이터는 동일한 환경에서의 데이터이므로 하나의 패킷으로 묶어서 전송하였다. 단일 패킷으로 처리하여 하나의 패킷으로 묶어 전송하도록 구성하였다. 그림 3은 센서 유닛에 받아드린 센서 값이다.

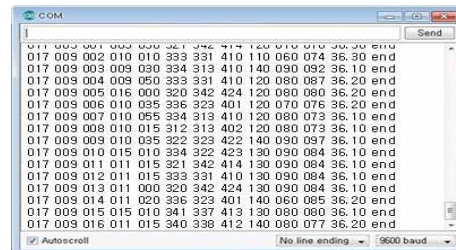


그림 3. 센서 유닛의 센서값
Fig. 3. Monitoring control unit

2.2 모니터링 컨트롤 유닛

센서 유닛에서 블루투스 모듈을 통해 전송받은 생체신호를 분석하여 스마트폰에 출력할 수 있는 측정 모듈을 제작하여 사용하였다. 그림 4는 모니터링 컨트롤 유닛이다.

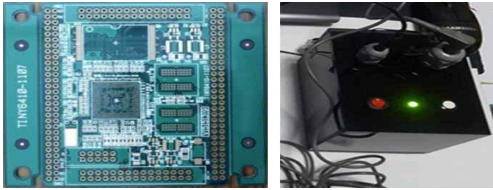


그림 3. 모니터링 컨트롤 유닛
Fig. 3. Monitoring control unit

센서 유닛에서 전송받은 생체신호는 표 2의 사용자의 생체 신호별 상태별로 분류하여 위험 정도를 판단하였다. 2개 이상의 생체신호가 범위에 포함되는 경우 위험 정도를 파악하도록 하였다.

표 2. 사용자의 생체 신호별 상태
Table 2. The status of each user's bio-signals

Physical condition		BLOOD PRESSURE (mmHg)		HEART RATE (times)	TEMPERATURE (°)
		Systolic	Diastolic		
Step1	Good	100-130	60-80	60-90	35.8-38.0
Step2	Unsound	131-149	80-90	91-140	38.1-39.0
Step3	Serious	150-180	90-100	141-180	39.1-39.9
Step4	Emergency	Over 200	Over 100	Over 180	Over 40

2.3 알고리즘

본 논문에서 구현한 스마트 헬스케어 모니터링 시스템의 알고리즘은 그림 5와 같다.

제안한 알고리즘은 가속도 센서에서 받은 센서 값으로 낙상 등의 비정상적인 움직임을 감지하고, 비정상적인 움직임이 감지된 이후 생체신호들을 분석하여 표 2의 사용자의 생체 신호별 상태에 따라 사용자의 현재 상태를 판단한다.

3단계 심각 이상의 상태가 감지되면 사용자에게 알람을 보내 응답을 요청하고, 보호자와 의료 전문

가에게도 알람과 현재 상태를 전송한다.

센서 유닛의 가속도 센서로 측정된 3축의 값은 각도로 변환하여 대상의 자세를 판단한다. 가속도를 이용한 각도의 측정은 중력과 x축 사이의 각을 이용한다. 중력과 축이 이루는 각은 그림 6과 같다.

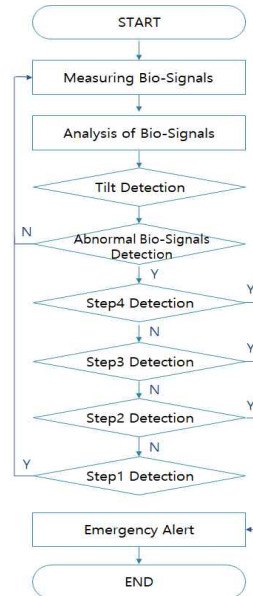


그림 5. 모니터링 시스템의 순서도
Fig. 5. Flow chart of monitoring system

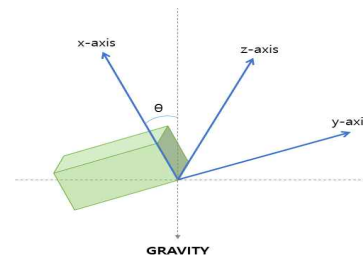


그림 6. 중력과 x축 사이의 각도
Fig. 6. Angle between gravity and x-axis

사용자가 누워있을 경우 중력과 x축 사이의 각은 90°에 가까워진다. 따라서 비정상적인 움직임이 발생한 경우 대상의 각도를 통해 사용자의 낙상 등의 움직임을 감지할 수 있다. 두 축이 이루는 각도를 θ 라 할 때 각도는 식 (1)을 통해 구할 수 있다.[3]

$$\theta(i) = \arctan\left(\frac{\sqrt{Y_{acc}^2(i) + Z_{acc}^2(i)}}{X_{acc}(i)}\right) \times \frac{180}{\pi} \quad (1)$$

이러한 움직임의 감지는 가속도 센서를 이용하여 각도를 측정하고 각도의 변화를 분석하여 이용할 수 있다. 본 논문에서는 측정된 각도의 평균값을 이용한다. 식 (2)는 본 논문에서 측정된 각도 값을 나타낸다.

$$mAngle(i) = \frac{1}{n} \left(\sum_{j=0}^{n-1} \theta(i-j) \right) \quad (2)$$

3축 가속도 센서는 ±1.5g ~ ±6.0의 측정 범위를 선택할 수 있다. 가속도 센서가 내장된 센서 유닛을 사용자가 들고 서 있는 경우 x축의 값은 -1g의 값을 갖게 된다.

본 논문에서 동작 감지를 위해 설정한 각도 임계값은 표 3과 같다. 입력된 가속도 신호가 임계값을 초과하면 비정상적인 움직임을 감지한다.

표 3. 동작 감지를 위한 임계값
Table 3. Threshold value for the motion sensing

	Threshold value1	Threshold value2
Parameter	ACC	mAngle
Value	2g	60°

생체신호를 처리하기 위해 이원 SVM 알고리즘을 적용하였다. SVM은 주어진 데이터가 지정된 범주 안에 들어가도록 분류해준다. 특정 범주에 해당하는 데이터는 DB에 저장되고, 해당하지 않은 경우는 자동으로 삭제함으로써 데이터베이스의 효율성을 높인다[4][5]. 그림 6과 같이 SVM 알고리즘을 구성하였다.

Algorithm : SVM

Number of data for learning : N

Inputs: sample x to classify data set : I_i

I_{i1} : Systolic, I_{i2} : Diastolic,

I_{i3} : Heart rate, I_{i4} : body temperature

Output: decision $y \in \{-1, 1\}$

Classify using SVM, get the result in the form of a real number.

그림 6. SVM 알고리즘 구성

Fig. 6. Configuring SVM algorithm

2.4 모니터링 시스템

본 논문에서는 언제 어디서나 사용자, 보호자, 전문가들이 사용자의 측정된 생체 정보를 스마트폰을 사용하여 확인할 수 있는 모니터링 시스템을 JAVA 기반의 안드로이드 서비스 환경을 사용하여 구현하였다. 그림 7은 구현한 모니터링 시스템이다.

인터페이스에는 데이터의 분류 결과와 수치데이터를 시간별, 일자별로 모니터링 할 수 있는 항목과 생체 신호별 상태별로 분류하여 나온 사용자의 현재 상태를 확인할 수 있다. 또한 각각 생체 신호의 변화를 볼 수 있는 그래프 항목을 추가하였다.

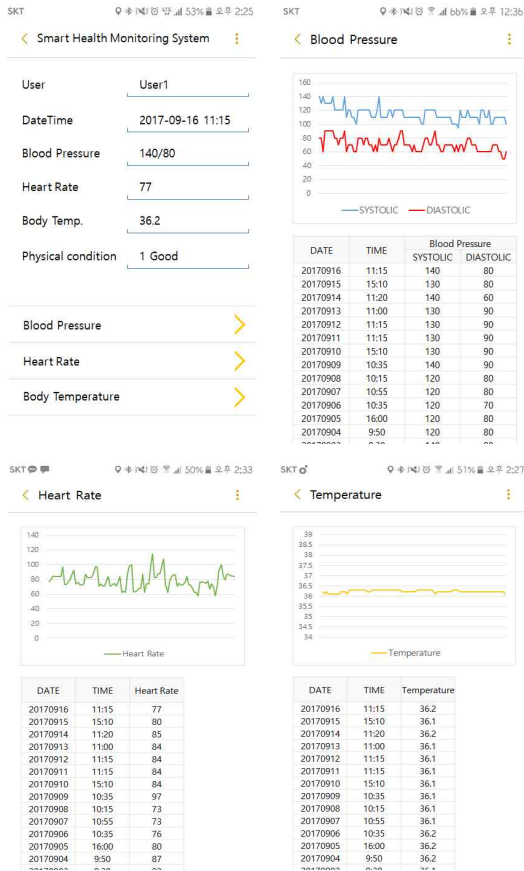


그림 7. 시스템 구현 결과 스마트폰 화면
Fig. 7. Implementation of the results smartphone

3. 성능평가

본 논문에서 설계한 시스템을 성능평가하기 위해 센서 유닛으로부터 비정상적인 움직임이 발생한 경우 50명의 각 100개의 4가지 생체 신호(20,000개의 수축기 혈압, 이완기 혈압, 심박 수, 체온 데이터 집합)를 이용하였다. 또한 각 데이터는 전문가의 진단에 따라 양호, 이상, 심각, 응급상황 4가지 상태로 분류하였다.

실험에 사용한 생체 신호 데이터는 선형적인 관계가 아닌 불규칙한 데이터를 사용되었기 때문에 오차율을 측정해야 하였다. 본 실험에서는 슬라이딩 윈도우의 크기 변화에 따른 오차율을 측정했다. 실험의 오차율 측정을 위해 식 (3)과 같이 RMSE

(Root Mean Square Error)를 사용하였다.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y_i^*)^2} \quad (3)$$

이 실험에서는 각 스트림들의 비율은 같고, 윈도우의 크기만 달리하여 오차율을 측정하였다. 표 4는 윈도우 크기에 따른 SVM 알고리즘의 오차율 측정 결과이다.

표 5는 20,000개의 데이터 집합을 사용하여 튜플의 개수에 따라 윈도우의 크기를 1000부터 2000기 준으로 분할하여 SVM 알고리즘 분류를 통해 데이터를 축소하였다. 실험 결과 윈도우의 크기를 5000으로 분할했을 때 저장 공간의 최대 19.2%를 줄일 수 있어서 다른 윈도우의 크기에 비해 효율적이었다. 분류의 정확도는 윈도우 크기를 5000으로 분할했을 때 97.2%로 가장 높았다.

표 4. 윈도우 크기 변화에 따른 오차율 측정 결과(SVM)
Table 4. Measurement results of error rate according to window size change(SVM)

	Systolic (%)	Diastolic (%)	Heart rate (%)	Temperature (%)	Average (%)
1000	3.26	2.46	5.31	0.51	2.89
3000	3.12	2.23	4.14	0.31	2.47
5000	2.32	2.12	1.32	0.20	1.49
Average	2.90	2.00	3.59	0.33	2.00

표 5. 데이터 축소 결과
Table 5. Data reduction results

윈도우 크기	축소 비율	정확도
1000	16.4%	0.932
3000	18.9%	0.941
5000	19.2%	0.972
평균	18.2%	0.948

50명의 각 100개의 수축기 혈압, 이완기 혈압, 심박수, 체온 생체 신호 중 위험 분석을 위해서 각 실험자의 1 ~ 30번째 데이터는 학습에 이용하고, 30 ~ 100번째 데이터는 평가에 이용하였다. 학습에 이용된 30개의 데이터는 표준화를 거쳐 생체 신호 데이터 셋을 입력으로 사용하고 전문가로부터 얻어진 진단 결과를 목표 값으로 이용하였다. 30개의 데이터를 통해 가중치를 주어 학습시킨 후 나머지 31번부터 100번까지의 데이터를 0부터 1사이의 값으로 표준화하여 입력으로 이용하였다.

표 6은 의료 전문가의 진단과 본 논문의 생체 신호별 상태의 결과와 다르게 나온 것을 표시한 것이다. 표 2의 상태 기준에 따라 범위가 2개 이상의 생체신호를 포함한 경우 상태를 판단하도록 하였는데 과진단 된 부분이 있었다. 그러나 의료 전문가가 진단한 것보다 낮게 판단하거나 크게 차이 나는 경우는 발생하지 않았다.

표 6. 모니터링 시스템 오류 결과
Table 6. Monitoring system error results

No.	BLOOD PRESSURE (mmHg)		Heart rate (times)	temperature (°)	Doctor's diagnosis results	System monitoring results
	Systolic	Diastolic				
User27	141	100	141	36.3	2 (unsound)	3(+)
User22	132	100	75	38.3	1 (good)	2(+)
User31	128	190	100	36.1	1 (good)	2(+)
User07	121	77	120	38.0	1 (good)	2(+)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
User21	141	77	110	37.5	1 (good)	2(+)
User12	150	100	100	36.9	2 (unsound)	3(+)

표 6의 결과로 총 5000개 생체 데이터 집합의 평가 데이터 중 84개의 결과가 다르게 나와 약 98%의 정확도를 보였다.

4. 결론

최근 인구연령의 초고령화 사회로 전망되면서,

상시적인 질병 관리를 위한 스마트 의료기기와 원격의료 서비스의 수요가 증가하고 있고, 활성화된 복지사회를 형성하기 위해 스마트 헬스케어 산업의 중요성과 필요성이 불가피한 상태에 이르렀다. 우리나라에서도 모바일헬스에 대한 관심이 높아지고 있다.

본 논문에서는 스마트 헬스 기반으로 가속도 센서에서 받은 센서 값으로 낙상 등의 비정상적인 움직임 감지하고, 비정상적인 움직임이 감지된 이후 개인의 혈압, 심박, 체온의 기본적인 생체 신호 분석하여 생체 신호별 상태에 따라 사용자의 현재 상태를 예측하는 모니터링 시스템을 제안하였다.

언제 어디서나 사용자, 보호자, 전문가들이 사용자의 측정된 생체 정보를 스마트폰을 사용하여 확인할 수 있도록 JAVA 기반의 안드로이드 서비스 환경을 사용하여 모니터링 시스템을 구현하였고, 50명의 각 500개의 수축기 혈압, 이완기 혈압, 심박수, 체온 생체 신호를 가지고 성능평가를 실시하였다.

실험 결과 생체 신호의 분석을 위한 SVM 알고리즘은 평균 2%의 오차율이 나타났으며, 윈도우의 크기를 5000으로 분할했을 때 저장 공간의 최대 19.2%를 축소함으로써 효과적임을 보였다. 분류의 정확도는 윈도우 크기를 5000으로 분할했을 때 97.2%로 가장 높은 정확도를 보였다.

총 5000개의 평가 데이터 중 84개의 결과가 다르게 나왔으나 크게 문제가 발생할 수 있는 경우, 즉 시스템으로부터의 결과가 전문가의 판단보다 더 낮은 경우는 발생하지 않았으며, 약 98%의 정확도를 보였다.

향후에는 초소형 생체신호 측정 센서와 환자의 위치 파악 기능, 무선 센서를 이용한 홈 네트워크 시스템 구현, 낙상 사고 발생 전에 미리 예측할 수 있는 알고리즘 개발 등에 대한 연구가 더해지면 좀 더 향상된 시스템이 이루어질 것으로 판단된다.

REFERENCES

[1] Hun Jin, "The Smart Healthcare Trend and Technology", The Magazine of the

IEEE 44(2), pp.17-17(1 pages), February, 2017.

[2] Jeong-Rae Kim, "Overview of Smart Healthcare Technology", The Magazine of the IEEE 44(2), pp.18-23, February, 2017.

[3] Kimberly Tuck, "Tilt Sensing Using Linear Accelerometers," Freescale Semiconductor AN3461, 2007.

[4] Y. Liu, R. Wang, H. Huang, Y. Zeng, and H. He, "Applying support vector machine to P2P traffic identification with smooth processing," IEEE Int. Conf. on Signal Processing, Vol.3, pp.16-20, 2006.

[5] Zhuang, D., Zhang, B., Yang, Q., Yan, J., Chen, Z., & Chen, Y. 2005. "Efficient Text Classification by Weighted Proximal SVM." Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on Data Mining: 538-545.

저자약력

유 소 율(So-Wol Yoo)

[정회원]



- 2010년 2월 : 조선대학교 컴퓨터통계학과 (이학사)
- 2011년 7월 : 조선대학교 일반대학원 전산통계학과 (이학석사)
- 2017년 2월 : 조선대학교 일반대학원 전산통계학과 (이학박사)

<관심분야>

스마트 헬스케어, 원격진료 및 스마트홈 시스템, 센서 네트워크

배 상 현(Sang-Hyun Bae)

[중신회원]



- 1982년 2월 : 조선대학교 전기공학과 (공학사)
- 1984년 2월 : 조선대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1988년 4월 : 동경도립대학 정보과학과 (공학박사)
- 1988년 9월 ~ 현재 : 조선대학교 컴퓨터통계학과 교수

<관심분야>

인공지능, 멀티미디어시스템