

D-F-M 기반의 생체신호측정기 개발

채용웅* · 홍동권**

Development of a Bio-Signal Measuring System Based on D-F-M

Yong-Yoong Chai* · Dong-Kwon Hong**

요약

본 연구는 D-F-M(Diagnose Fure Funktionelle Medizin) 이론을 기반으로 하여 신체 7부위에 13Hz의 양과 음의 임펄스전압을 인가함으로써 생성된 출력 파형을 이용하여 환자의 건강상태를 진단하는 생체신호 측정기의 개발에 관한 것이다. 측정기에서 취득한 데이터는 인공지능을 기반으로 한 귀납적 추론을 통하여 간엽조직 뿐만 아니라 신체기관의 상태를 진단하는 기기로서의 역할을 수행할 것으로 기대된다. 본 논문에서는 생체신호를 취득하고 관리하는 시스템 하드웨어에 주제를 한정할 것이다.

ABSTRACT

The purpose of this study is to develop a bioinformatic diagnostic system that diagnoses the patient's health condition by using the output waveform generated by applying the impulse voltage of 13Hz to 7 body parts based on DFM (Diagnose Fure Funktionelle Medizin) theory. It is expected that the data acquired by the diagnostic system will be served as a device for diagnosing the status of the body organ as well as the mesenchymal tissue through inductive reasoning based on artificial intelligence. In this paper, we will limit the system to acquire and manage bio-signals.

키워드

Bio-Sinal, Measuring Instrument, Stress, Skin, Resistance, Capacitor
생체 신호, 측정기, 스트레스, 피부, 저항, 커패시터

1. 서론

현대인들은 복잡한 인간관계에서 오는 스트레스에 여과없이 노출되어 케양, 심장병, 고혈압, 당뇨병 등과 같은 갖은 질병에 시달리고 있다. 스트레스성 질환을 진단하는 생체진단 시스템의 경우 독일의 VEGA사가 생체신호 진단 시스템이 근 20년간 국내시장을 거의 독점하고 있다[1-4]. VEGA 제품은 D-F-M의 원리를 기반으로 한 것으로서 신체에 전압을 인가하고

환자의 상태에 따른 출력파형의 응답변화를 관찰하여 신체의 상태를 예측하는 장비이다[1]. 국내에서는 상기 회사의 제품이 이름만 달리 하여 아직도 전량 수입에 의존하여 판매되고 있는 실정이다. 이러한 VEGA의 장비는 비록 그 동안 시스템이 업데이트되어 왔다고는 하지만 이미 그 플랫폼이 20년 가까이 경과된 노후한 장비와 이론에 근거하여 진단을 추론하여 왔다. 따라서 최근에 각광받고 있는 인공지능을 기반으로 하는 생체신호 측정기를 플랫폼으로 하는

* 계명대학교 전자공학전공(yychai@kmu.ac.kr)

** 교신저자 : 계명대학교 컴퓨터공학전공

· 접수일 : 2018. 05. 14

· 수정완료일 : 2018. 06. 29

· 게재확정일 : 2018. 08. 15

· Received : May. 14, 2018, Revised : Jun. 29, 2018, Accepted : Aug. 15, 2018

· Corresponding Author: Dong-Kwon Hong

Dept. of computer science Keimyung University

Email : dkhong@kmu.ac.kr

생체신호 측정기의 개발이 시급한 실정이다[5-7]. 인공지능을 기반으로 하는 측정기는 끊임없이 생산되는 방대한 데이터도 실시간으로 분석하여 결과를 예측하고 위험도를 계산할 수 있으며 인간이 미처 인지하기 어려운 미세한 변화와 패턴도 찾아낼 수 있을 것으로 기대된다.

중기청이 발간한 자료에 따르면 생체물리량 측정기의 특허는 미국이 3,894건으로 글로벌 시장에서 65%의 높은 점유율을 나타내고 있고, 일본이 1,083건으로 18%, 대한민국이 851건으로 14%의 점유율을 차지하고 있다[8]. 이와 같은 수치는 우리의 연구역량이 미국이나 일본에 비해 다소 뒤쳐져 있기는 하지만 충분히 성장할 수 있는 여지가 있음을 보여주고 있다. 또한 세계적인 인구고령화 및 신종바이러스의 출현은 체외 측정기 시장성장의 또 다른 기회요인이 되고 있다.

이에 본 연구를 통해 VEGA 사에서 개발하여 판매하고 있는 생체신호 측정기를 국산화하되 기존의 제품에 비해 고속이며, 분해능이 상대적으로 우수하며 시스템의 크기를 최소화시킴으로써 최종적으로는 웨어러블한 피부저항측정기를 개발하고자 한다. 또한 본 기기에서 생체신호의 분석에는 인공지능기법을 도입함으로써 귀납적 추론의 진단의 오차확률을 줄이는 방식으로 시스템이 개발되었다.

II. 전기 생리학적 원리

보통 인체 조직은 20kΩ의 저항을 나타내고 모든 기관은 인체의 약 80%의 세포조직에 쌓여있다. 전기 생리학적으로 보면 모든 생물체는 생체전기에너지를 가지고 있고, 기관이 만들어 내는 전기량은 피하의 특별한 경로를 통하여 특정부위로 흘러들어가게 된다. 이 같은 원리를 이용하여, 측정기에 부착된 센서의 두 전극에 의해서 흐르는 전류가 인체중의 수분을 통하여 저항이 제일 작은 길을 찾아가도록 한다. 이 때 두 전극들 사이에 위치하고 있는 조직의 상태와 표피의 사정에 따라 상이한 전도율이 생겨나게 된다. 즉, 건강한 인체의 기관과 조직은 에너지의 생산과 소모가 균형을 이루고 있어서 전기에너지가 매우 안정적으로 반응하는 반면, 손상된 세포에서는 정상전류와는 달리 에너지의 생산과 소모가 매우 불안정한 상태로 반응

하게 된다. 이러한 변화들은 매우 미세하고도 예민하여 정교한 기계적 측정으로 감지가 가능하다. 이것은 각 개인마다 신체부위에 13Hz의 전류를 인체 내에 흐르게 하여 음, 양의 곡선에서 조직에 반응을 준 후 단전시켜 방전되는 역행류의 형태로 응답반응이 나타나게 된다. 즉, 간엽조직의 상태뿐만 아니라 이 부분에 있는 기관이나 작용상태의 추론이 가능해지는 것이다.

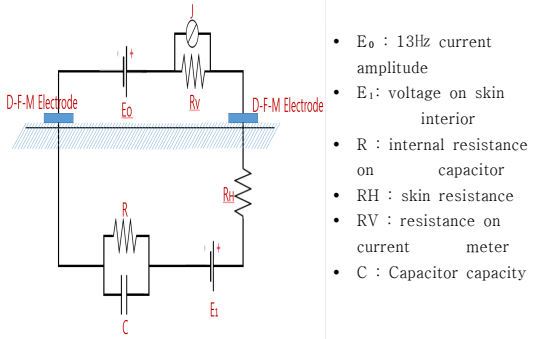


그림 1. 피부의 전기적 등가모델
Fig. 1 Electric equivalent model of skin

그림 1은 인체의 전기적 등가모델을 나타낸다. 이들 두 전극사이에는 전기적으로 극화한 펄스의 장이 생겨나게 되는데 이를 통해서 조직의 전기적인 상태가 변화하게 되고, 조직 내에서는 전자의 흐름이 이온의 흐름으로 변화하게 된다. 기기에 연결된 손, 머리, 발 각각의 센서들을 자신의 신체에 부착한 후 5V미만의 임펄스신호를 인가하여 출력되는 음, 양 및 역행류 응답반응을 관찰한다. 이렇게 관찰된 신호파형은 귀납적 추론에 의해 간엽조직의 상태뿐만 아니라 각 기관의 상태가 확인되는 것이다.

III. 측정된 생체 신호 관리

그림 2는 피부저항측정기 전체 블록도를 나타낸다. 그림에서 SG(Signal Generator)는 13Hz의 임펄스주기파형을 내보내며 DEMUX와 MUX는 인체에 부착된 6개의 센서(우뇌, 좌뇌, 우수, 좌수, 우족, 좌족)에서 신호의 출발점과 종착점을 지정하는데 사용된다. 이와 같이 특정인의 신체를 통해 출력된 파형은 포도

커플러를 사용하여 전원분리된 A/D(아날로그/디지털 컨버터)로 입력되어 디지털신호로 변환되며, 이것은 최종적으로 PC로 전달되어 저장되고 해석되어 진다.

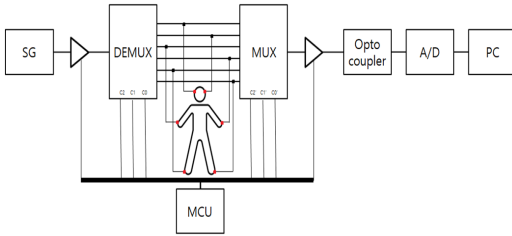


그림 2. 피부저항 측정기 블록도
Fig. 2 Skin resistance meter block diagram

그림 3은 신호발생기의 신호로부터 A/D변환기 전 단계까지의 기능블럭을 나타낸다.

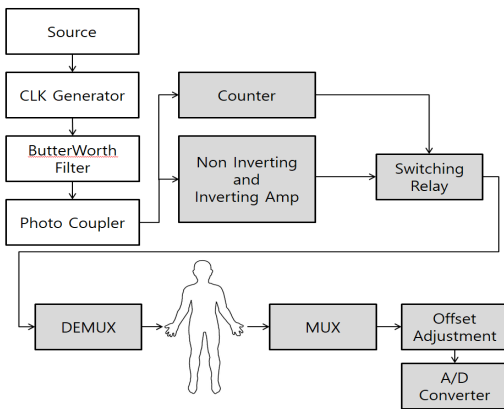


그림 3. A/D블럭 전단의 상세 블록도
Fig. 3 Detailed block diagram in front of A/D

임펄스 파형발생기는 NE555N IC를 이용하였으며 13Hz 임펄스를 발생하도록 설계하였다. 필터블럭은 신호의 잡음제거를 위해 버터워스 셀렌키 필터를 사용하였으며, HPF와 LPF의 차단주파수는 $f_c = 13.8Hz$ 로 설계하였다. 의료장비인 점을 감안하여 센서부와 서버의 전원 분리를 위해 포토커플러를 사용하였다.

스위칭릴레이 블럭은 양과 음의 펄스를 교차해서 만들기 위해 이진카운터와 함께 사용되었다. JK 플립 플롭의 출력을 이용하여 릴레이를 구동하며 릴레이의

ON, OFF에 따라 상기의 임펄스파가 비반전증폭기와 반전증폭기로 교차 통과되면서 양신호와 음신호로 분리된다.

MUX와 DEMUX부는 CD74HC4051E IC를 이용하여 구성되며, 이것은 앞서의 스위칭 릴레이에서 출력되는 신호를 7개의 구간으로 양음의 신호를 시간별로 분배하기 위한 목적으로 사용된다.

이와 같이 방식으로 7개의 구간((a)좌수-좌뇌 (b) 좌뇌-위뇌 (c)우뇌-우수 (d)우수-좌수 (e)좌수-좌족 (f)좌족-우족 (g)우족-우수)에서 측정된 신호는 서버로 전달되기 위해 A/D변환기로 입력된다. 인체 신호의 변화를 감지하기 위해서는 고 분해능의 A/D 변환이 필요하다. ADS1256은 8개의 채널을 ADC할 수 있으며, SPI인터페이스를 통해 MUC와 인터페이스할 수 있다. ADS1256은 24비트 분해능을 가지며 Atmega128이 10비트 분해능을 제공하는 것과 비교하면 상당히 높은 수준의 정확도를 보장한다.

그림 2에 나타난 PC는 라떼판다를 사용하였으며 라떼판다에 내장된 아두이노를 이용하여 ADC(analog-to-digital converter)를 수행하였다 [9-10]. 아두이노의 아날로그입력 신호 최대분해능은 16bit로서 생체신호를 측정하기 위한 컨버터로서는 분해능력이 충분하지 않았다. 이에 본 연구에서는 ADS1256를 이용하여 이 분해능을 24bit까지 끌어올렸다. ADS1256은 A/D컨버팅 알고리즘으로서 Delta-Sigma modulation 방식을 이용한다[10]. Delta-Sigma modulation 방식은 신호의 값을 예측하여 오차를 구하고, 누적된 오차를 이용해 오차를 줄이는 방식으로서 가격 대비 성능이 우수할 뿐만 아니라 입력채널 수가 많다는 장점으로 인해 많은 곳에서 사용되고 있다.

ADS1256와 아두이노간에 데이터는 동기식 통신방식인 SPI 통신을 이용하였다. SPI 통신은 Full-duplex 통신이 가능하고, 전송되는 bit의 크기를 최대 16bit까지 길이를 변화시킬 수 있는 유연한 프로토콜을 가지고 있으며, 별도의 트랜시버가 필요하지 않고, 하드웨어 인터페이스 처리가 간단하며, 4개의 pin만 가지고 통신이 가능하다는 장점이 있다. 이 4개의 pin(SCLK, MOSI, MISO, SS)을 이용해 SCLK의 주파수에 맞춰 마스터, 슬레이브 SPI 간 데이터를 교환하였다.

ADS1256과 아두이노간에는 SPI 통신이 사용되는 반면에 아두이노와 라떼판다는 비동기식 통신방식인 시리얼통신을 이용하였다. 시리얼 직렬통신은 하나 또는 두 개의 전송라인을 사용해 데이터를 전송하는 방식으로 작은 신호선만 사용함으로써 중계 장치의 비용이 적은 장점이 있으나 통신의 시작과 끝을 임의로 조절할 수 없어서 정확한 데이터를 얻을 수 없는 단점이 있다. 따라서 직렬통신을 사용하기 위해서는 송수신간에 보드웬을 일치시켜야하는 작업이 필수적이다. SPI 통신을 위한 pin 연결은 표 1과 같다.

표 1. 아두이노와 ADS1256 pin 연결
Table 1. Arduino and ADS1256 pin connection

	RESET	DRDY	CS	MOSI	MISO	SCLK
Arduino	8	9	10	11	12	13
ADS1256	15	21	20	23	22	24

pin 연결이 끝나면 ADS1256의 내부 레지스터를 조절해줘야 하는데, 이때 각 레지스터를 설정하기 위해 사용하는 것이 SPI 통신이다. 본 논문에서 사용되는 라이브러리는 1개의 헤더 파일과 1개의 소스 파일로 구성되어 있다. 우선 헤더 파일을 보면 아두이노와 보드 간 통신을 위해 SPI.h를 참조하였으며, 아두이노 라이브러리 제작을 위해 아두이노.h를 참조했다. SPI 통신 속도는 1.25MHz, 통신 order는 MSBFIRST를 사용하였으며, mode는 SPI_MODE1을 이용하였다. 본 라이브러리는 7.68MHz 주파수를 기준으로 작성되었다.

소스 파일은 1개의 생성자와 3개의 ADC 제어 함수와 3개의 MUX, DEMUX 제어 함수로 구성되어 있다. ADC 제어 함수는 ADS1256 초기화 함수, 데이터 read함수, 데이터 변환 함수로 구성되었다. MUX와 ADCON 레지스터가 본 연구에서 주로 사용되는 레지스터로서 특히 입력 채널을 제어하기 위한 MUX 레지스터는 채널이 바뀔 때마다 계속해서 수정되어야 한다. 이 두 레지스터는 각각 Input Multiplexer Control 레지스터와 ADC 레지스터로 MUX 레지스터는 양과 음의 입력채널을 제어해주는 역할을 하는데, 이때 음입력채널은 접지로 지정하고 양입력채널만을 제어해서 이를 이용해서 단일 입력에 대한 ADC를 설

정하였다. ADCON 레지스터는 ADS1256의 ADC기능을 조절하는 레지스터로서 내부 시스템 클럭조절과 전류 검색 센서 활성화와 PGA를 조절 가능한 레지스터이다. 본 연구에서는 최대 출력 전압이 2.5V이상 5V 미만의 영역에 작동하므로 PGA = 1로 설정되었다.

두 레지스터를 제어해 데이터를 읽어오면 long Type 형태를 가지고 있어 이를 다시 10진수로 바꿔주는 함수를 만들어야하며 24bit-ADC의 경우 출력되는 데이터를 역으로 처리해줘야 한다. 여기에서

ADS1256의 출력은 식 (1)로 표현되며

$$\text{Output} = \left(\frac{\text{PGA} \cdot V_{IN}}{2V_{REF}} - \frac{\text{OFC}}{\alpha} \right) \text{FSC} \cdot \beta \quad (1)$$

이를 데이터 시트를 통해서 역산하면 식 (2)가 된다.

$$V_{IN} = \pm \frac{2V_{REF}}{\text{PGA}(2^{23}-1)} \text{Output} \quad (2)$$

$\alpha, \beta, \text{OFC}, \text{FSC}$ 의 값과 Output은 문헌을 참조하기 바란다[10].

IV. 측정방법 및 결과

생체신호의 측정을 위해 주파수발생기에서 13Hz의 임펄스를 만들고 이를 신체에 인가하였다. 이 때 전압의 크기는 2Volt 미만이며 전류는 대상체의 안전을 위해 100uA를 초과하지 않는다. 측정패턴 구간은 두 개의 전극으로 구성되어 있으며 전극들은 전도율을 변화시키는 이물질이 없어야 한다. 이와 같은 센서를 양팔, 양다리, 그리고 머리의 좌우에 각각 부착하고 전극사이에 주기적인 파형을 인가하면 신체 조직의 따라 파형이 변형되어 출력된다.

그림 4는 신체에 가해져서 7부위에서 나타나는 파형의 형상을 나타낸다. 그림에 나타난 바와 같이 파형의 형태는 동일인에 대해 측정을 한다고 해도 그 형상이 다르게 나타나는 것을 알 수 있다. 본 파형에 기초한 신체상태의 추적조회는 VEGA의 매뉴얼을 참고하기 바란다[1].

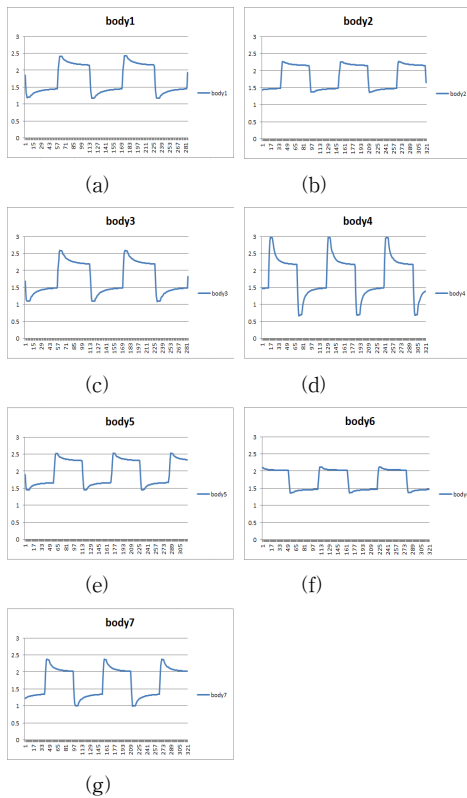


그림 4. 7부위의 출력 파형(a)좌수->좌뇌 (b)좌뇌-우뇌 (c)우뇌-우수 (d)우수-좌수 (e)좌수-좌족 (f)좌족-우족 (g)우족-우수

Fig. 4 Output signal from 7 part (a)left hand->left cerebral (b)left cerebral->right cerebral (c)right cerebral->right hand(d)right hand->left hand (e)left hand->left foot (f)left foot->right foot (g)right foot->right hand

V. 결 론

최근 체외측정기기 분야의 특성을 살펴보면 동일한 성능을 보이면서도 기기의 소형화, 자동화를 추구하는 경향이 뚜렷해지고 있다. 이러한 배경에는 사회전반에 영향을 미치고 있는 인공지능의 활용분야 확산에 맞물려 생체신호에 대한 귀납적 추론이 높은 신뢰성을 나타내는데 있다고 하겠다.

피부저항으로 표현되는 인체의 피부저항 활동성은 피부에 대한 전기자극에 의한 체외측정기가 그 동안

한의학계에서 EAV(Electrodermal activity) 형태로 이용되어 왔다. 인체의 피부전기활동성은 경락과 관련된 다양한 이론들이 발표되어 임상에서 많은 관심의 대상이 되고 있다. 대부분의 연구보고서에 의하면 피부 전기 활동성은 자율신경에 영향을 미치는 심리적 인자 및 여러 질환과 관련이 있는 것으로 알려져 왔다.

본 논문에서는 이러한 관점에서 피부저항에 전압을 인가하고 이에 따른 반응을 살펴보는 체외측정기를 개발하였다. 총 6 부위에 음과 양의 신호를 인가하고 그 결과를 살펴보았다. 음 과 양의 13Hz의 신호입력에 대한 반응의 결과에 대해 대상의 간엽조직의 상태 뿐만 아니라 이 부위에 있는 기관에 대한 상대적 상태 파악이 이루어질 것이다. 이러한 귀납적 추론은 기계 학습 알고리즘의 적용으로 인해 보다 정확한 결과를 보여주게 될 것이다.

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2017년도 산학연협력 기술개발사업(No. C0512009)의 연구 수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

- [1] P. Rademacher and L. Wesner, *Ganzkorper-Regulations-Diagnose VEGA D-F-M*. Berlin: CO'MED, 1997.
- [2] B. Song, "Clinical application of 7 zone diagnostic system," *J. of Korean Acupuncture*, vol. 23, no. 3, Mar. 2006, pp.231-239.
- [3] Y. Kim, H. Lee, and K. Lee, "Design and Implementation of IoT based Urination Management System," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 12, no. 1, Feb. 2017, pp.209-218.
- [4] J. Yoo, "Analysis of Factor AA in 7-section Diagnosis System and Correlation with Clinical Indicators," *J. of Korean Acupuncture*, vol. 24, no. 6, July 2007, pp. 159-170.
- [5] S. Yoon, "Personal Biometric Identification based on ECG Features," *J. of the Korea*

Institute of Electronic Communication Science,
vol. 10, no. 4, Apr. 2015, pp.521-526.

- [6] J. Kim, O. Lee, and Y. Ko, "Implementation of Medical Care System based on Home Network," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 6, no. 6, Dec. 2011, pp. 987-991.
- [7] C. Chang and C. Lin, "LIVSVM: a library for support vector machine," *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology*, vol. 2, no. 3, Apr, 2011, pp. 27-53.
- [8] S. Bae and C. Lee, "Multi-Channel AD Converters with High-Resolution and Low-Speed," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 3, no. 3, Sep. 2017, pp. 165-169.
- [9] G. Bourdopoulos and A. Pnevmatikakis, *Delta-Sigma Modulators: Modeling, Design and Applications*. London: Imperial College Press, 2003.
- [10] O. Ozkaya and G. Yillikci, *Arduino Computer Vision Programming*. Birmingham: Packt., 2015.



홍동권(Dong-Kwon Hong)

1985년 8월 경북대학교 졸업 (공학사)

1992년 8월 U. of Florida. 졸업(공학석사)

1995년 12월 U. of Florida 졸업(공학박사)

계명대학교 컴퓨터공학과 교수

※ 주 관심분야 : 머신 러닝

저자소개



채용웅(Yong-Yoong Chai)

1985년 8월 서강대학교 졸업 (공학사)

1991년 4월 Oklahoma State Univ. 졸업(공학석사)

1994년 12월 Oklahoma State Univ. 졸업(공학박사)

계명대학교 전자공학과 교수

※ 주 관심분야 : DC-DC컨버터