

당뇨발을 AI 기법으로 진단하기 위한 다중 데이터수집 깔창 개발

최원후*, 정태명*, 박지웅**
 *성균관대학교 소프트웨어학과
 **서울특별시 보라매병원
 whoo0707@naver.com
 tmchung@skku.edu
 alfbskan@gmail.com

Development of SmarTinsole with multi-sensor for AI based Diagnosis

Wonhoo Choi*, Taimyoung Chung*, Ji-Ung Park**

*Dept. of Computer Science and Engineering, Sungkyunkwan University

**Dept. of Plastic and Reconstructive Surgery, Seoul National University Boramae Hospital

요 약

요즘 사회에 흔하게 볼 수 있는 질병인 당뇨병은 그 수가 계속 늘어나고 있다. 증상이 적은 당뇨병의 특성 덕분에 인지율이 낮고 당뇨발과 같은 심각한 합병증으로 발전하기에 이를 사전에 진단하고 예방하는 것이 중요하다. 기존의 연구는 입력 혹은 발의 온도를 기반으로 차이를 구분함으로써 당뇨발 환자군을 판별했다. 본 논문에서는 당뇨발 진단의 정확도 향상을 위해 AI 학습 모델을 사용하는 방식을 사용하기 위하여 다중 센서를 부착한 스마트틴솔을 개발하고 데이터 전처리를 통해 학습 데이터를 생성하는 과정을 기술한다. 또한, 이를 위한 스마트틴솔에 다중 센서를 부착하고 펌웨어를 통해 발의 압력과 온습도를 오차 없이 효율적으로 실시간으로 받아내는 개발 과정과 결과를 제시한다.

1. 서론

오늘날 당뇨병 환자들은 계속해서 늘어나고 있다. 여기서 당뇨병이란 혈당 수치가 낮아지지 않고 오랜 시간 동안 높게 유지되는 대사 질환군이며, 당뇨병은 대한당뇨협회에서 출간한 자료에 따르면 [표1]과 같이 질병 유병률이 만 30세 이상에서 16%에 다다를 정도로 현대인들에게 흔하게 생길 수 있는 질병이다[1].

<표 1> 2012~2018년의 30세 이상 당뇨병 유병률 변화

항목	데이터						
연도	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
당뇨병 유병률	12.4%	16.0%	15.4%	12.5%	15.8%	15.1%	15.9%

이러한 당뇨병은 흔하게 생길 수 있는데 비에 초기에 병의 인지율이 낮아서 병이 심화하여 심각한 합병증들을 유발하기 쉽고, 이러한 합병증 중 가장 심각한 병중 하나로서 당뇨발이 있다. 당뇨발이 진

행되면 궤양이 심각해지고 혈액 순환이 되지 않아 심한 경우에 발을 절단해야 하며 국내에서만도 1년에 2천 명이 넘는 환자가 발을 절단한다고 보고되고 있다. 이러한 당뇨발 평균 치료비용도 1인당 평균금액이 1700만 원대에 이르고 있다[2]. 따라서, 당뇨가 큰 합병증으로 이어져서 여러 가지 문제를 일으키기 전에 미리 진단하는 것이 중요한 사회 문제 중 하나이다.

기존의 당뇨발 진단은 병원에서 발의 신경학적인 상태와 혈관 상태 검사 등을 통해 진행됐다. 이러한 방법은 병원에 직접 찾아가야 하며 검사에 시간이 걸리기에 시간적 여건이 안 되거나 다른 여러 가지 이유 등으로 인해 꾸준한 진단이 힘든 환자들이 많이 있다. 본 논문에서는 당뇨발의 초기 진단을 위해 다중 센서를 부착한 IoT 기기 활용을 제안하고, 이의 개발 과정을 서술한다. IoT 기기는 간단하게 몸에 지니고 다닐 수 있으므로 검진의 접근성을 높이고, 걸리는 시간을 훨씬 줄여 환자들의 편의가 향상

되어 궁극적으로는 당뇨발의 치료를 수월하게 한다.

IoT 기기의 활용 방식은 기존의 연구결과들을 [3]~[6] 통해 발에서 측정된 압력과 온도가 당뇨발과 밀접한 상관관계가 있다는 것을 알 수 있고, 해당하는 수치를 측정하는 센서들을 사용하면 당뇨발을 사전에 진단 및 예측할 수 있게 된다. 또한, 발에서 IoT 기기를 통해 데이터를 수집하는 장치의 실효성은 개발된 압력을 측정하는 스마트 깔창들을 통해 증명되었다[7]. 하지만 기존 연구들은 단순히 압력만을 측정하는 센서이거나 여러 개를 측정한다면 데이터를 받는 주거나 민감도가 낮아 실제로 당뇨병의 유무를 구분해 내기에는 어려움이 있다. 따라서, 이러한 단점들을 보완하고 동시에 여러 가지 데이터들을 시간적 지연이 없이 효율적으로 수집할 수 있는 깔창을 만들고, 노이즈가 적은 신뢰할 수 있는 데이터를 받아 올 수 있는 깔창의 제작은 난제 중의 하나이며, 본 논문에서는 다중 데이터 수집하고 AI 모델 학습을 위한 전처리 과정을 서술한다.

2. SmarTinsole 소개 및 구현 방식

본 연구에서 만든 IoT 기기는 깔창(스마틴솔)에 부착하는 형식으로 만들어졌으며, PCB에 압력센서와 온습도 센서를 부착하여 데이터를 측정하도록 하였다. 또한, ESP32 모듈을 사용하여 BLE 통신으로 스마트폰 앱과 연결하여 센서에서 추출된 데이터를 스마트폰 쪽으로 전송한 후 저장한다. 스마틴솔은 양발에서 사용하므로 2개가 쌍이고 스마트폰 앱은 한 번에 두 개의 쌍을 연결하여 데이터를 받도록 구현하여 제작하였다.

센서의 종류로써 압력과 온습도를 정한 것은 연구 [3]와 연구[4]를 통해 압력과 당뇨발과의 상관관계를 알 수 있었고 연구[5]과 연구[6]를 통해 온도와 당뇨발과의 상관관계를 알 수 있었기에 이 두 관계를 활용하여 당뇨발을 진단한다. 여기에서 각각의 상관관계는 온도의 경우에는 정상군의 발 온도를 $x \sim y$ 라고 하였을 때 측정자의 발 온도 z 가 $z < x$ 또는 $z > y$ 일 때 해당 측정자가 당뇨발 위험이 있다는 것을 알 수 있다. 압력의 경우에는 정상군의 압력 값 범위를

몸무게로 보정 한 값인 $x \sim y$ 라고 하였을 때 측정자의 압력을 몸무게로 보정한 값인 z 가 $z > y$ 가 된다면 측정자가 당뇨발 위험이 있다는 것을 말한다.

센서에서 값을 읽어오는 주기는 온도와 습도는 5초에 한 번 데이터를 보낼 때마다 센서에서 값을 읽어오는 방식을 사용하였다. 압력에 대해서는 oversampling 방식을 변형하여 활용하였는데, 40Hz마다 값을 읽어와서 2개씩 묶고 처음이 아니라면 그 바로 전에 2개가 묶인 값과 더하여 2로 나누어 센서에서 읽을 수 있는 민감도인 비트 수를 하나 높이는 방식을 사용하여 정밀도를 높였다.

배터리 소모량을 줄이기 위해서, 전력이 들어왔을 때 advertising을 시작하는데 연결된 스마트폰을 찾지 못하면 일정 시간 동안 deep sleep mode로 전환했다가 다시 active mode로 돌아와 advertising을 반복하는 식으로 사용하지 않을 때 active mode에 있는 시간을 최소화하였다.

ESP32 쪽에서는 BLE 만 작동시켜 사용하기 때문에 실제 시간을 모르기에 양쪽 발에서 얻는 데이터들의 시간 동기화는 매우 중요한 요소이다. 우선 데이터를 읽어 올 때 ESP32가 스마트폰과의 처음 연동된 시간의 차이 델타를 보내 받는 스마트폰 쪽에서 연동된 시간에 델타를 더하여 실제 시간을 알아내는 방식을 사용하였다. 또한, 처음 연결이 불안정할 경우를 대비하여 BLE 연결이 어느 정도 안정화된 이후인 5초 후에 특정 값을 다시 보내 이 값을 보내고 받은 시간을 델타시간의 기준으로 삼아 시작 시간 지점의 오차를 줄여 양발 센서 간의 차이가 최소화 하였다.

이번 연구에서 온습도 센서는 sht35를 사용하였는데, 이 센서의 일반 측정 모드에서는 매번 센서에서 데이터를 읽어올 때마다 heating 시간이 필요해서 sht35의 datasheet[8] 4.5 문단에서 나오는 것처럼 100ms의 딜레이가 걸리게 되었다. 이 heating 시간을 해결하기 위해서 해당 센서의 Periodic Mode를 이용하였고, command를 보내는 헤더와 데이터를 읽는 헤더를 만들어 딜레이 없이 오랜 시간 동안 데이터를 받아올 수 있도록 구현하였다.

기구적인 면에서는 위의 방법으로 제작된 깔창에

는 상기한 압력과 온습도 센서를 부착하였는데 먼저 압력의 경우 연구[9]를 통해 알 수 있는 당뇨발이 생기기 쉬운 위치 중 여섯 부위에 부착하였다. 해당 여섯 부위 중 두 부위는 먼저 엄지발가락 쪽에 하나와 그 아래쪽 제일 큰 뼈가 나온 부분이다. 나머지 네 부위는, 발 가장자리 맨 위쪽 부분에 부착한 센서 하나에서부터 발바닥 쪽까지 차례대로 총 4개의 센서를 부착하였다. 온도와 습도를 같이 측정하는 sht35 또한 위의 압력과 비슷한 위치에 6개에 더해 발 중심 쪽에 두 개를 더하여 총 8개를 부착하였다.

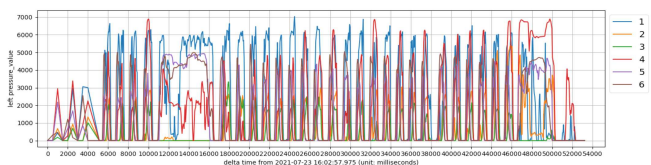
압력 센서는 깔창 PCB 아래쪽에 부착하고 나머지 센서는 위쪽에 부착하였는데 온습도 센서가 실제로 피부에 닿으면 올바른 측정이 안 되기에 PCB 위에 실제 깔창을 덧씌워 완성하였다. 덧씌울 때는 온습도를 측정하기 위해 해당 센서가 부착된 위치에는 덧씌워진 깔창에 구멍을 뚫는 형식으로 하였다. 이렇게 만들어진 최종적인 깔창의 형태는 아래의 [그림 1]과 같다.



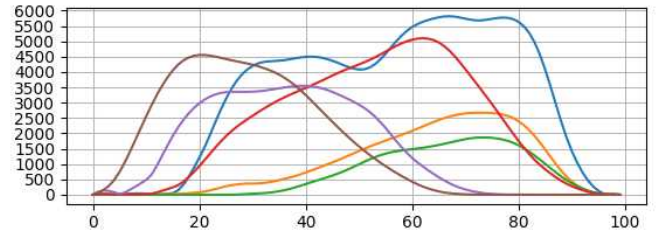
<그림 1> 완성된 IoT 깔창 기기 및 내부 pcb

3. 연구결과

스마틴솔을 신고 걸었을 때 측정된 값들의 원시데이터는 [그림 2]에서 보여주고 있으며, python 프로그램을 가지고 유효한 걸음만 따로 골라내어 아래와 같이 평균압력을 그래프화 한 최종 결과를 [그림 3]이 나타내고 있다. 두 개의 그래프에는 6가지 색의 선이 있는데 각각의 색의 선은 깔창에 부착된 서로 다른 위치의 6개의 압력센서에서 받아 온 값이고 해당 그림은 왼발에서 측정된 데이터의 예시이다.



<그림 2> 측정된 왼발의 압력 로우데이터 그래프



<그림 3> 측정된 왼발의 유효 압력데이터 평균 그래프

스마틴솔에서 측정된 원시데이터를 사용하여 위와 같은 그래프를 그린 전처리 모듈은 python 프로그램을 만들어서 자동으로 되도록 구현하였다. 해당 python 프로그램은 여러 가지 노이즈를 없애어 깔끔한 부분의 게이트 사이클(발 한걸음)에 대한 압력을 먼저 고르게 된다. 이때 노이즈를 제거하기 위해, 센서의 현재값과 변화량 및 접근선 그래프를 종합적으로 판단하여 깔창을 신고 있는 사람이 걷는 상태를 판별하였다. 그 이후 마지막으로 그 게이트 사이클들의 정규화된 평균을 구해 그래프로 보여준다. 이를 식으로 표현한다면 게이트 사이클이 모인 집합 X가 있을 때 i번째 게이트 사이클인 X_i 가 존재한다고 할 수 있다. 또한, 해당 사이클은 가로축인 시간으로 나누어 (i번째 게이트 사이클의 t 초 때의 압력 값)으로 나타낼 수 있다. 앞선 내용과 같이, 여기에서 각각의 사이클들은 가로축인 시간 축이 일정하도록 폭을 정규화하여 0초부터 T(40ms*100)까지의 데이터가 되도록 보간하였다. 이렇게 정규화된 각각의

사이클들의 평균인 Y를 $Y = \frac{\sum_{i=0}^N (\sum_{t=0}^T X_i[t])}{N}$ 와 같이 Y의 값을 계산한다.

앞의 [그림 3]의 결과는 정상군에 측정된 결과로, 뒤꿈치를 나타내는 갈색 선부터 엄지발가락 쪽에 부착한 센서를 나타내는 파란 선까지의 발의 움직임이 잘 표현되어 나타났다. 새끼발가락 쪽과 발의 정중앙에 붙어있는 센서를 나타내는 노랑과 초록색 선은 힘을 덜 받게 되는 부위의 특성상 낮게 나타났다. 이를 통해 이번 연구를 통해 만들어 낸 스마틴솔이 사람의 발의 움직임 압력을 오차 없이 잘 측정하였다는 것을 알 수 있다.

온도 및 습도의 경우에는 스마틴솔을 통해 측정하

아래의 [그림 4]와 같은 원시데이터를 직접 사용할 수 있기에 따로 처리하지 않고 그대로 사용한다.

1630043914939, 2979, 2916, 2949, 2883, 2930, 2960, 2965, 3041, 1630043919020, 2979, 2914, 2950, 2882, 2932, 2962, 2968, 3057, 1630043924020, 2999, 2937, 2974, 2892, 2950, 2980, 2978, 3055, 1630043929020, 3010, 2941, 2977, 2896, 2959, 3006, 2998, 3078, 1630043934020, 3017, 2952, 2985, 2906, 2970, 3008, 3004, 3084, 1630043939020, 3027, 2958, 3002, 2913, 2977, 3012, 3007, 3086, 1630043944020, 3025, 2961, 3009, 2916, 2981, 3017, 3014, 3088, 1630043949020, 3037, 2972, 3015, 2924, 2992, 3028, 3016, 3095, 1630043954020, 3048, 2986, 3037, 2943, 3003, 3034, 3025, 3108, 1630043959020, 3045, 2987, 3032, 2944, 3007, 3032, 3026, 3119, 1630043964020, 3043, 2983, 3027, 2944, 3004, 3032, 3028, 3130, 1630043969020, 3051, 2992, 3040, 2955, 3005, 3034, 3030, 3133, 1630043974020, 3061, 3010, 3059, 2966, 3021, 3041, 3036, 3133, 1630043979020, 3068, 3022, 3070, 2979, 3031, 3048, 3036, 3135, 1630043984020, 3075, 3034, 3077, 2992, 3042, 3052, 3040, 3140, 1630043989020, 3083, 3061, 3100, 3009, 3055, 3056, 3042, 3123, 1630043994020, 3089, 3077, 3121, 3024, 3065, 3062, 3040, 3110

<그림 4> 제작한 IoT 기기를 통해 측정된 온도 값

정상군에 대한 데이터를 얻어내었을 때 위와 같이 발의 체온은 일정하게 유지되며 잘 측정되었으며 해당 발의 체온이 높아지거나 낮아지게 된다면 측정자에게 당뇨발이 발생할 가능성이 있음을 알 수 있다.

4. 결론 및 향후 과제

이번 연구는 흔하지만, 인지율이 낮은 질병인 당뇨병과 당뇨병의 특히 심각한 합병증인 당뇨발을 사전에 예측하여 심해지기 전에 치료를 받을 수 있게 하는 것이 목적이다.

연구를 통해 만들어 낸 스마트솔과 기기에 들어가는 펌웨어를 통해 본 논문에서 서술한 것처럼 실시간으로 사용자의 발 압력 및 온습도를 정확하게 수집할 수 있었다. 또한, 실시간으로 받은 데이터를 AI 분석을 위해 python으로 만든 전처리 프로그램을 활용해 압력데이터를 정리하여 실제로 사람이 걷는 중 발의 압력분포 그래프를 효율적으로 생성할 수 있었다. 최종적으로 이러한 데이터들을 활용한다면 당뇨발을 예측할 수 있으며, 더 나아가 자세교정이나 비슷한 지표를 통해 비교할 수 있는 또 다른 여러 질병을 예측할 수 있다.

또한, 본 연구에서 제작한 스마트솔과 전처리 과정에서 수집된 데이터를 분석하기 위한 딥러닝 알고리즘을 개발하고 있으며 서울특별시 보라매병원에서 IRB(IRB No. 20-2021-4)를 받아 당뇨발 환자의 데이터를 수집 중에 있어, 곧 AI를 기반으로 당뇨발을 조기 진단하는 시스템 개발이 이루어질 것이다.

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (2021-0-01177, 당뇨발의 예방,진단,관리를 위한 깔창형 디지털치료제의 연구,개발)

참고문헌

- [1] 윤건호, Diabetes Fact Sheet in Korea 2020, 대한당뇨병학회, 2020.
- [2] 송중례 외 2명, “당뇨병성 족부질환자의 직접의료비용 분석”, 대한족부관절학회지, 165-169, 2011.
- [3] 황성재 외 2명, “당뇨발 환자의 보행 시 발바닥 전단응력 및 압력분포 분석,” 한국정밀공학회 학술발표대회 논문집, 273-276, October 2005.
- [4] Lavery LA 외 4명, “Predictive value of foot pressure assessment as part of a population-based diabetes disease management program,” Diabetes Care, 1069-1073, April 2003.
- [5] 이승조 외 6명, “계절에 따른 정상인과 당뇨병 환자의 발바닥 온도 차이,” 임상노인의학회지, 412-418, 2007.
- [6] Pi-Chang Sun 외 5명, “Relationship of skin temperature to sympathetic dysfunction in diabetic at-risk feet,” Diabetes Research and Clinical Practice, 41-46, July 2006.
- [7] 김혁석 외 2명, “신발에 착용 가능한 IoT기반의 헬스케어용 소형 웨어러블 기기 개발,” 한국방송미디어공학회 학술발표대회 논문집, 154-156, November 2016.
- [8] Datasheet SHT3x digital, <https://www.sensirion.com/kr/environmental-sensors/humidity-sensors/digital-humidity-sensors-for-various-applications/>
- [9] K. Bakker 외 2명, “Practical guidelines on the management and prevention of the diabetic foot 2011”, DIABETES/METABOLISM RESEARCH AND REVIEWS, 225-231, 2012.