

손목운동 측정을 위한 자기장 센서 데이터의 분석 및 처리 방법

여희주
대진대학교 전자공학과

Data Analysis and Processing Methods of Magnetic Sensor for Measuring Wrist Gesture

Hee-Joo Yeo
Department of Electronic Eng., Daejin University

요약 다양한 산업분야에서 자기장 센서 기술들이 응용한 제품들이 상용화되면서, 자기장 센서 데이터의 분석 및 처리 방법이 중요하게 되었다. 자기장 센서는 사용하기에는 간편하고 설치에 용이하지만, 자석에 의해 생성되는 복잡한 자기력선 때문에 데이터 처리가 복잡하고, 특히 움직이는 대상에 대해서는 데이터 분석이 거의 불가능할 정도로 복잡하다. 기존의 자기장을 응용한 장비들은 자석이 움직이지 못하게 고정을 하거나, 고가의 장비들을 구입하여 데이터를 처리하는 방식을 사용하고 있다. 따라서, 자기장 센서를 사용하는 장비는 정확한 데이터를 수집하기 위해 수많은 연구가 필요하고, 고가의 장비들이 요구하게 되었다. 본 논문에서는 이런 문제점들을 해결하기 위해서, 소형의 영구 자석과 GMR 센서를 사용하여 손목 재활훈련이나 운동량을 측정하기 위해서 데이터를 처리하는 방법에 대해서 논의를 한다. 특히, 손목 재활훈련에서 발생하는 자기장 센서의 비선형적인 데이터 분석을 하고, 이런 분석을 통해서 데이터를 처리함에 있어서 고가의 장비를 사용하지 않고도 최대의 효과를 낼 수 있는 지능형 알고리즘과 같은 퍼지논리 방법을 제시하고 다른 알고리즘들과 비교하였다.

Abstract As many types of magnetic sensors are widely applied in various industries, the analysis and processing of magnetic sensor data need to be accurate. On the other hand, owing to the complexity of the magnetic field line caused by a moving magnet, the magnetic data generated by magnetic sensors are unpredictably nonlinear. Many industry systems using magnetic sensors have struggled with the nonlinear nature of magnetic sensor data. To reduce the effect of the nonlinearity, they have the target objects fixed firmly. Therefore, to collect accurate and reliable data, considerable efforts have been made to resolve the issues with the expensive tools and systems required. Through this paper, to tackle the issues, the data analysis and methodologies, including intelligent algorithms, are presented for the wrist rehabilitation system using magnetic sensors while being implemented without using expensive tools or systems. On processing magnetic sensor data, this paper adopted an intelligent algorithm, fuzzy logic, and compared the performance of other algorithms for comparison.

Keywords : Wearable, Magnet, Wrist, Sensor, Fuzzy

1. 서론

최근에 다양한 산업 분야에서 자기장 센서에 대한 관

심이 많아지면서, 자기장 센서 기술들이 다양하게 응용되고 있다[1-2, 11]. 이런 자기장 센서들이 자동화나 로봇 쪽으로 많이 응용되고 있고, 또한 로봇에 적용되고 있는

*Corresponding Author : Hee-Joo Yeo(Daejin University)

email: hjyeo@daejin.ac.kr

Received October 26, 2020

Accepted November 6, 2020

Revised November 4, 2020

Published November 30, 2020

기술들이 의료분야에서도 현실속에서 적용되고 있으며, 의료분야에서는 자기장 센서를 응용한 많은 제품들이 이미 개발 및 상용화되어져 왔었다. 특히 자기장을 사용하는 장치로써는 대표적으로 자기공명영상(MRI)이 있고, 현재는 아주 소형화된 의료 장비들에 개발 및 상용화되고 있는 추세이다.

로봇이나 복잡한 시스템들을 제어하거나 조정하기 위해서, [3]과 같이 실제로 직관적인(intuitive)이며 손쉬운 사람의 손을 이용하여 컨트롤하는 경우가 많다. [6, 9]와 같이 컴퓨터 입력 장치들을 사람의 편리와 용이성을 높이기 위해서 사람에게 직접 착용할 수 있게 하는 웨어러블(wearable) 장치들이 많이 개발되었다[11]. [8]에서는 여러 가지 센서들을 복합적으로 구성하여 사용하는 방법으로써 가속 센서와 함께 자기장 센서를 이용한 저가의 시스템을 구축하면서, 실시간으로 자기장 센서값을 분석하는 방법을 제시하였다. [7]에서는 근전도(EMG) 센서와 압력센서(pressure sensing) 방법을 사용하여 손의 동작이나 운동을 측정하기 위한 방법을 제시하였으나, 이를 지원하기 위한 특수한 장비나 시스템이 복잡해지면서 비용이나 개발측면에서 제약이 많았다.

자석과 자기장 센서를 실제 장비에 적용되기 어려운 점은, 자석에 의해 생성되는 자기장이 비선형적인 데이터를 발생하고, 이런 데이터 처리를 위해서는 복잡한 장비나 계산 시스템이 필요하기 때문에, 현실적으로 소용화 장비에서 간단히 응용하기에는 어려운 점이 많았다. 또한 실제 구현 시에는 자석의 설치 및 고정에 관한 문제점들과 제약들이 존재하기 때문에, 이런 문제점들을 해결하기 위해서, 시스템의 정확한 모델링과 데이터의 정확한 이해와 해석이 요구된다.

따라서, 본 논문에서는 자기장 데이터의 비선형 특성을 고려하여, 이를 해결할 수 있는 여러 가지 방법들을 제공하고, 또한, 비선형 입력에 적합한 지능형 알고리즘인 퍼지 로직을 적용하여 센서 데이터를 이용하는 방법을 비교·평가하여 우수성을 입증하였다.

2. 시스템 구성 및 데이터 측정

본 논문의 하드웨어적인 시스템 구성은 기본적으로 영구자석(1개 또는 4개 등으로 확장이 가능한 구성), 자기장(GMR : Giant Magnetoresistance, 이하 GMR) 센서, 중앙처리장치(ATmega128 CPU, 이하 CPU)로 구성되어 있다. 자석들은 손 주변에 설치가 되는데, 4개 자

석들이 손등, 손바닥, 손 왼쪽 및 오른쪽에 각각 설치된다. 자석을 손에 직접 붙여도 되지만, 장갑 같은 것을 사용하여 간접적으로 용이하게 장갑위에 설치하였다. GMR 센서는 8개를 사용하여 센서 패드에 각각 설치되어 있고, 이 센서는 증폭기를 사용하여 값을 증폭하였다. 증폭된 센서 데이터는 ADC(analog-to-digital converter)를 통해 아날로그 신호를 디지털로 바꾸어 CPU에 전달하여 처리하였다. 이때 센서 패드는 영구 자석의 위치와 가깝게, 손목 주변에 감싸도록 설치하였다.

2.1 시스템 하드웨어 구성

본 논문에서는 손목의 재활운동에 도움을 줄 수 있도록, 본 논문의 장비를 사용하여 손의 정확한 운동 및 동작(gestures)을 분석하였고, 이에 관련된 시스템 및 센서 데이터 처리 방법들을 제공하는 것을 목적으로 한다. 이런 재활의 목적을 달성하기 위해서는, Fig. 1 (a, b)와 같이 손목의 해부학적으로 고려하여, 최대한 손목의 움직임에 영향을 주지 않고, 환자가 의식하지 못할 정도로 자연스러운 웨어러블 장비가 요구된다. 특히 손에 부착되는 센서 및 장비들이 손목 운동이나 동작에 방해를 해서는 안되기 때문에, 최대한 간단한 구조의 형태로 제공하여야 한다[11].

이와 같이 영구자석(permanent magnet)을 사용한 이유중의 하나는 외부의 파워나 선이 전혀 필요 없으며, 크기도 소형화 할 수 있으며, 설치마저도 용이한 장점이 존재한다. 하지만, 단점으로는 이런 자석에 의해서 발생하는 자기장의 세기는 비선형 형태의 데이터를 발생한다. Fig. 1 (c)와 같이 손에 부착된 자석이 손목이 운동함에 따라 발생하는 자기장을 측정하기 위해서 GMR 센서(AA004, NVE Co, Eden Prairie)가 사용되었고, 손목 주위에는 8개의 GMR 센서가 센서 패드에 배치되어 있다[11].

2.2 소프트웨어 구성 및 데이터 측정

본 논문에 사용된 소프트웨어는 CPU(ATmega 128)에서 운용될 수 있게 펌웨어 프로그래밍이 되었고, 모든 프로그램이 C로 구현되어져 있다. 실시간 운영체제(RTOS)는 사용하지 않았고, 운영체제 없이 베어메탈(baremetal) 펌웨어(firmware)로만 구성하였다. 최종결과 값은 시리얼 통신(USART)을 통해서 컴퓨터로 전달하여 데이터를 축적하였다.

Fig. 2.에서와 같이 자기장 센서 데이터는 GMR 센서

들에서 출력되는 값을 이용하여 크게 3가지 영역인 포화 (saturation), 유효(valid), 미약(out of detection) 분류 될 수 있고, 문턱값(threshold)을 이용하여 3가지 영역 들을 결정하였고, 이미 센서 데이터 값이 포화되었거나 신호가 미약한 경우는 데이터 처리에서 제외를 시켰고, 유효 영역에 있는 데이터를 발생한 센서들만 선택하여 데이터를 처리하였다.

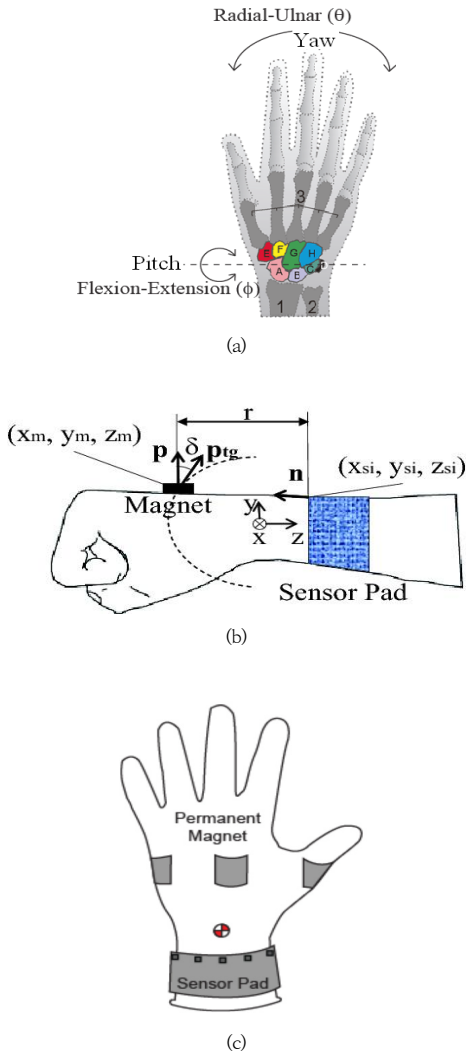


Fig. 1. Hand anthropotomy model and the installation of magnet and sensor pad. (a) Four representative wrist gestures, such as flexion, extension, radial and ulnar. (b) Installation of magnet and sensor pad. (c) Installation of 4 magnets and sensor pad on hand.

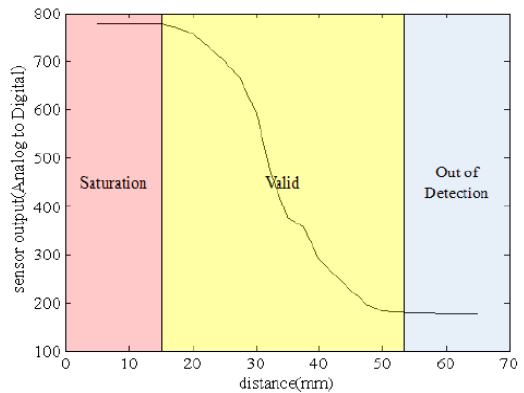


Fig. 2. Definition of sensor data regions based on sensor data values.

3. 시스템 구현 및 장치 구성 소개

3.1 손목 운동의 기구학적 모델링

Fig. 1 (a)와 같이 손목을 해부학적으로 보면, 손목에 여러 개의 뼈들이 손목관절 운동에 관여하기 때문에, 손목의 실제 운동들은 여러 개의 뼈들이 관련된 아주 복잡한 구조가 된다. 이와 같이 복잡한 구조를 정확히 모델링 하기 위해서는 복잡한 수식과 계산량이 필요하기 때문에, 시스템이 복잡해질 수밖에 없다. 하지만, Fig. 1 (b)와 같이 본 논문에서는 계산의 용이성을 위해서 기구학적인 조인트(joint)로 단순 모델링을 하고, 이러한 구조를 통해서 캘리브레이션을 용이하게 하는 방법을 제안한다. 본 캘리브레이션에 사용될 대표적인 손목의 네가지 동작들은 레디얼, 울너, 플렉션, 익텐션 (Radial, Ulnar, Flexion, Extension) 으로 각각 나눌 수 있고[1], 이와 같은 분류는 실생활의 손목의 재활운동에 많이 활용되고 있다. 본 논문에서는 이와 같은 손목의 4가지 운동을 쉽게 이해하기 위해서 좀 더 간략한 Fig. 1 (b)의 조인트 구조를 통하여, 각각 요(Yaw)와 피치(Pitch)로 정의하였다. 이런 해부학적인 관점에서 Fig. 1 (c)에 자석과 센서 패드의 설치방법이 도시화되어 있다.

3.2 GMR 센서 데이터의 캘리브레이션 방법

캘리브레이션의 핵심 포인트는 센서 패드와 자석의 설치 위치를 정확하게 판단 및 이해하는 것이 목적이다. 하지만, 센서 패드의 설치 위치는 사용자의 손목 크기나 사용 횟수에 따라 수시로 바뀔 수 있기 때문에, 어떤 특정 자석의 위치나 손목의 크기를 미리 예측하거나 계산이

불가능하다. 따라서 캘리브레이션 과정을 통해서 현재에 최적의 설치 위치에 대한 정보를 정확하게 얻어야 한다. 캘리브레이션은 사용 직전에 하거나 또는 사용자가 센서 패드의 위치가 변경되었을 때 수시로 적용해도 된다.

대표적인 손목의 네가지 동작인 플렉션(0°), 익스텐션(180°), 레디얼(90°), 율너(270°)은 각사용자에 의한 상대적인 수직적인 각도를 나타내고 있고, 사용자에게 따라서 조금씩은 달라질 수는 있다. 자석을 기준으로 동작의 센서 패드에 대응하는 상대적인 위치를 각각 앞(I_F), 뒤(I_B), 좌(I_L), 우(I_R)로 표시하고, 이들과 센서 패드와의 관계를 나타내면 Fig. 3 (a)에 도시되어 있다.

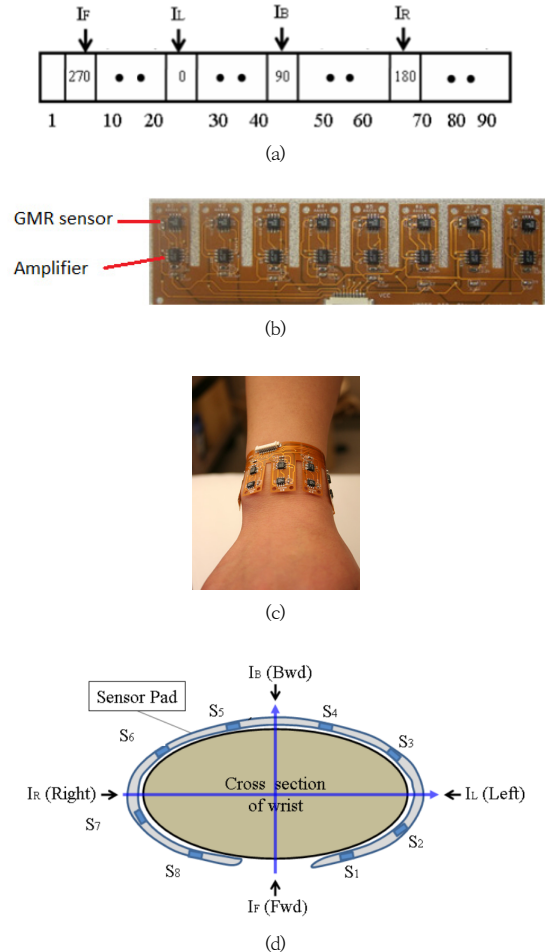


Fig. 3. Sensor pad and installation on wrist. (a) The relationship of four representative gestures and sensor pad (including 8 magnetic GMR sensors). (b) Magnetic GMR sensor pad. (c) The sensor pad installed on wrist. (d) Cross section of the wrist with sensor pad.

센서 패드에는 8개의 GMR 센서가 설치되어 있고 각각 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8$ 라고 할 때 Fig. 3 (c, d)와 같이 설치되어 있고, 센서 간의 실제 거리는 10mm로 디자인되어 있고, 계산의 편의성을 위해서 10으로 설정하고 계산하였다. 따라서 이런 설정값에 의해서 8개의 센서인 $S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_8$ 가 초기의 상대적인 위치는 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80에 설치되었다. Fig. 3 (b)에서 센서 패드의 구조를 자세히 보면, GMR 센서들 사이에는 공간을 주어서 직접 연결되지 않았는데, 이는 착용시에 편안함과 손목을 움직일 때 영향을 주지 않도록 디자인하였다. 하지만, 이런 장점에 비해서, 이런 구조 때문에 GMR 센서의 위치가 예측이 힘들어 지고, 사람마다 쉽게 달라지기 때문에, 실제 계산상에서는 여러 가지 문제점을 야기하게 된다.

3.3 GMR 센서의 코사인 스케일 감소 현상

자기장 센서들의 비선형 데이터와 더불어, 자기장 센서 데이터 처리에서 가장 힘든 부분 중의 하나인 코사인 스케일 감소(cosine scaled falloff) 현상을 해결해야 한다[10]. 즉, 자석과 자기장의 센서가 어떤 특정 방향으로 정렬(align)이 이루어지면, 자석과 자기장 사이의 거리와는 상관없이 센서 데이터는 0에 가까운 값들을 출력하게 된다.

$$B_D = \frac{\mu_0(3(p \cdot n)n - p)}{4\pi r^3} \quad (1)$$

$$B_{sensor} = B_D \cos\theta \quad (2)$$

where B_D is the magnetic flux density of a magnet, μ_0 is vacuum permeability, n, p are magnetic dipole vector and r is the distance between a magnet and GMR sensor, θ is the offset angle from the sensitive direction and B_{sensor} is the output of GMR sensor.

Eq (2)를 이용하여 B_{sensor} 데이터 출력값들을 2D과 3D 영역에서 그려보면 Fig. 4 (b), (c)와 같이 도시되어 진다.

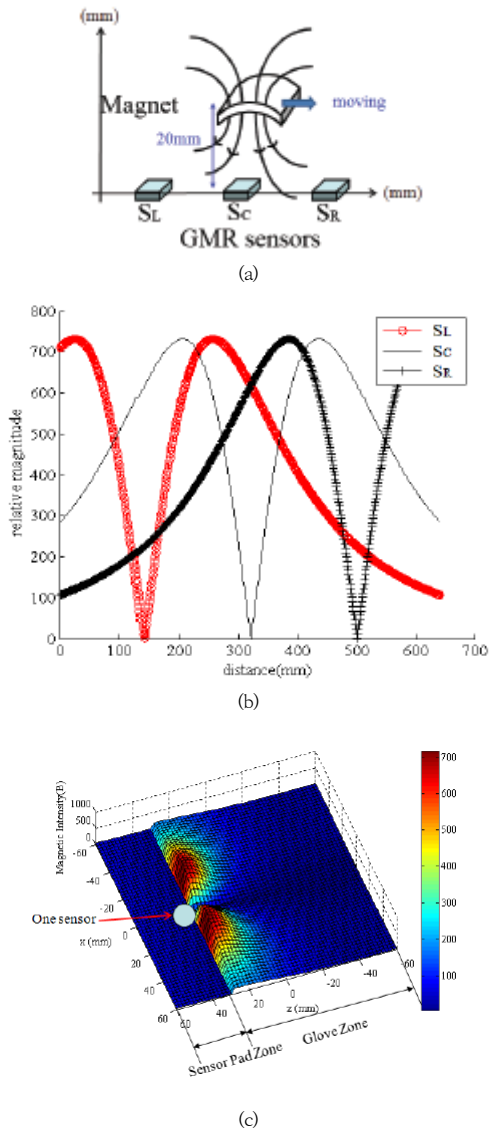


Fig. 4. (a) A permanent magnet moving over 3 GMR sensors. (b) 2D Simulation data of GMR sensor with (a) setup. (c) 3D graphical model for magnetic intensity of the top magnet at a sensor point which a hand moves in full range.

3.4 코사인 스케일 감소의 측정과 보상

실제 GMR 센서를 사용하여 측정하여 보면, Fig. 5 (a)와 같이 측정되어 지고, 코사인 스케일 감소효과가 명확히 들어 나고 있다. 실제 데이터 값에서 노이즈를 제거하기 위해서 이동 평균(moving average) 알고리즘을 사용하여 센서 데이터 값들을 안정화시켰고, 이런 센서값

들에 문턱값(threshold)를 사용하여 코사인 스케일 감소 값을 가지는 센서는 데이터처리에서 제외시켰고, 다른 인접 센서값들을 이용하여 코사인 스케일 감소값을 가지는 센서를 유추(projection)하였다.

따라서, 본 논문에서는 하나의 센서값에 의존하지 않고, 인접한 센서들을 포함해서, 3개의 센서 값들을 가지고 데이터를 처리하였다.

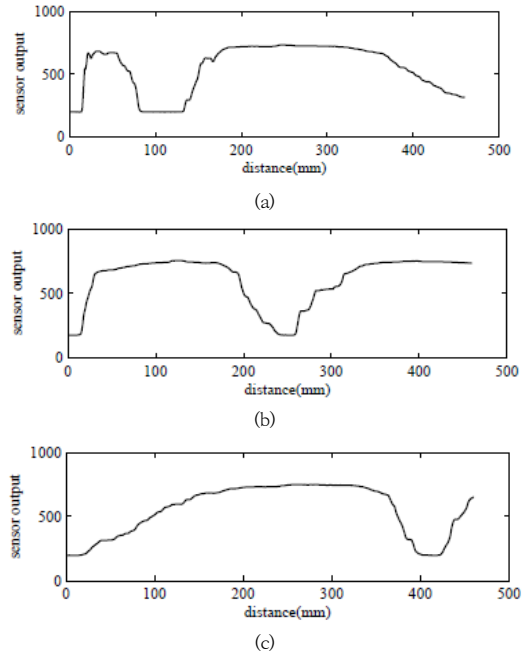


Fig. 5. A permanent magnet moves around three nearest magnetic sensors. *SL*, *SC* and *SR* are leftward, center and rightward sensor respectively. The three sensors are located at (a) 15, (b) 33 and (c) 51mm, respectively.

4. GMR 센서 데이터 분석 및 처리 방법

앞에서 살펴본 바와 같이 코사인 스케일 감소를 고려해서 데이터를 분석하여야 하는데, 하나의 센서를 사용하면 코사인 스케일 감소 오류를 발생하기 때문에, 인접한 3개의 센서값들에 대한 모델링을 한다.

인접한 3개의 센서 값들의 변동 추이를 관찰하여 보면 9가지 대표적인 패턴으로 Fig 6. (a)와 같이 도시될 수 있다. 이런 9개의 대표적인 패턴들을 가지고 실제 손목운동을 했을 때의 결과를 보면 Fig.6.(b)와 같이 도시되어 있다. Fig.6.(b)와 같이 손목이 원형 운동을 할 때 센서값

들이 비선형적으로 급하게 변하는 것을 알 수 있다. 따라서, 이런 데이터를 분석해보면, 일반적인 방정식이나 계산식으로는 거의 불가능하며 새로운 방법들이 요구된다. 따라서, 이번 장에서는 데이터 분석 결과를 토대로, 3가지의 데이터 처리 방법들을 제시 하고 비교하였다.

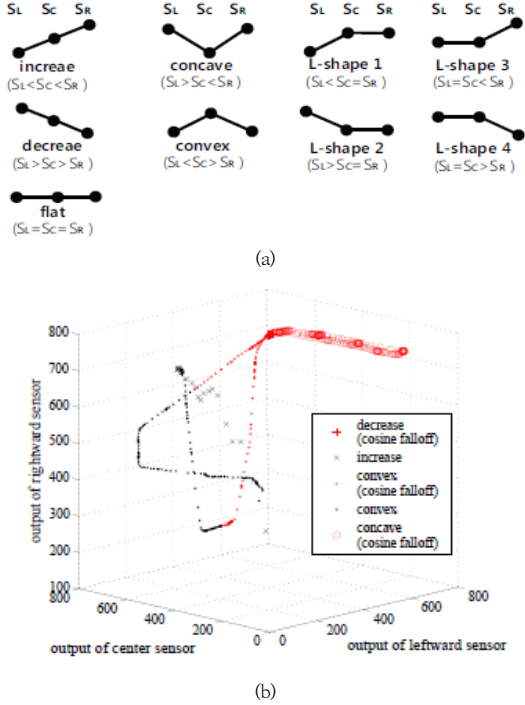


Fig. 6. (a) All possible patterns of the comparison relationship in three nearest sensor outputs such as SL , SC and SR . (b) Practical patterns, while moving a wrist as a circle

4.1 센서 신호들의 최소/최대값 방법

센서들의 신호값 범위는 센서의 위치에 따라 달라지기 때문에, 기존의 캘리브레이션 방법을 통해서 센서의 출력값들을 미리 결정할 수가 있다.

Fig. 4 (c)에서 같이 자기장 센서 주변으로 자기장 세기가 측정되는 값들을 3D로 도시하였듯이, 하나의 자기장 센서 값들의 범위를 캘리브레이션을 통해서 미리 예측할 수 있으며, 이 자기장 센서값들의 최소/최대값들을 정할 수가 있다. 또한 이런 값들을 가지고 Fig. 2에서와 같이 센서 값들의 범위를 정할 수가 있다.

이때, 최소 및 최대값 방법(min-max)는 바이너리(binary) 방법과 같이 최소값과 최대값들을 각각 단순히 자기장의 존재를 0(부재)/1(존재)로 하여 결정하는 방법

이다. 이렇게 존재하는 센서값들 가지고 아래의 Eq (3)을 가지고 구할 수가 있다.

$$\mu(N, k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N_k} E(i), k = 1, \dots, 8 \quad (3)$$

where μ is the averaged sensor location, N denotes the total number of GMR sensors (which is 8 in this paper), $E(i)$ is the existing ones (max) and k is k -th GMR sensor.

이 방법은 단순해서 계산이 빠르고 간단히 구현할 수 있는 장점이 있지만, 다른 방법들에 비해서 다소 정확성은 떨어진다.

4.2 패턴 매칭 (Pattern Matching) 방법

영구자석이 센서 주위로 움직이게 되면, 자기장 센서의 출력값을 고려할 때, 최대로 영향을 줄 수 있는 센서는 최대 3개까지 영향을 받는다. 따라서 영구자석이 매번 움직일 때마다 3개의 인접 센서들을 같이 사용하여 위치를 구할 수가 있다.

패턴 매칭방법은 인접한 센서 3개에 대한 패턴을 미리 Fig 7.과 같이 등록을 시켜놓는다.

	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈
Pattern 1	1024	1024	0	0	0	0	0	1024
Pattern 2	1024	1024	1024	0	0	0	0	0
Pattern 3	0	1024	1024	1024	0	0	0	0
Pattern 4	0	0	1024	1024	1024	0	0	0
Pattern 5	0	0	0	1024	1024	1024	0	0
Pattern 6	0	0	0	0	1024	1024	1024	0
Pattern 7	0	0	0	0	0	1024	1024	1024
Pattern 8	1024	0	0	0	0	0	1024	1024

Fig. 7. Eight pre-registered patterns for template matching algorithm. 1024 in the picture indicates maximum analog-digital-converter output.

4.3 퍼지논리 방법

퍼지논리 (Fuzzy Logic)는 애매모호한 상태 또는 불확실성이 높은 상태를 0 또는 1이라는 특정 값에 한

정하지 않고, 다치성으로 표현하는 논리 개념이다. 따라서 논문에서와 같이 어떤 값들이 애매모한 상태의 데이터가 존재함으로, 퍼지논리는 이런 부정확함을 표현하는데 아주 적합하다 할 수 있다. Fig. 7 (a)와 같이 퍼지 시스템들은 주로 세 가지 단계로 실행될 수 있고, 즉 퍼지화(fuzzification), 추론(inference), 디퍼지화(defuzzification)로 나눌 수 있다.

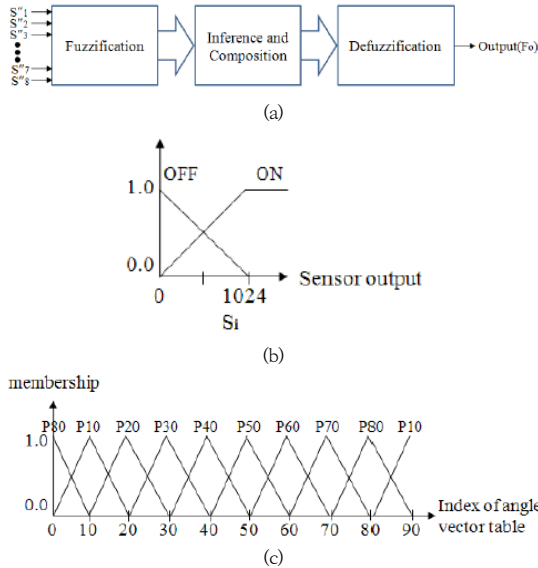


Fig. 8. (a) The sequence for fuzzification, inference and defuzzification. (b) Fuzzification for sensor outputs (c) Defuzzification for the output.

Fig. 8 (b, c)에서 센서값들을 퍼지 멤버십 함수들을 만들고, 8개의 센서들에 대해서 퍼지룰은 아래와 같이 적용하였다.

- IF S_1 is ON THEN output is P10
- IF S_2 is ON THEN output is P20
- IF S_3 is ON THEN output is P30
- IF S_4 is ON THEN output is P40
- IF S_5 is ON THEN output is P50
- IF S_6 is ON THEN output is P60
- IF S_7 is ON THEN output is P70
- IF S_8 is ON THEN output is P80

4.4 제시된 방법들의 비교 및 평가

지금까지 센서 데이터를 처리하는 방법에서 3가지 데이터 처리 방법들에 대해서 소개를 하고, 이 방법들을 실제 시스템에 적용하여 이들의 성능을 비교 평가한 결과가 Fig. 9에 나와 있다. Fig. 9은 손목이 360도 원을 그리면서 운동할 때 측정하고 3가지 방법으로 계산된 데이터로, 모든 운동 각도에 대해서 어떻게 반응하는지 판단할 수 있는 중요한 방법이다.

최소/최대값 방법은 간단히 수식으로 구현이 가능하였고, 실제 기대치에 비해서 다소 거친 결과값들이 도출되었지만, 여전히 실제 패턴을 쫓아가고 있는 점으로 보아, 정확도의 목표가 높지 않다면 최소 비용으로 쉽게 적용할 수 있는 방법이다.

패턴 매칭 방법은 최소/최대값 방법보다 훨씬 기대치에 가까운 결과를 도출하였고, 다소 결과값들의 해상도(resolution)이 낮지만, 기대값에 가깝게 대응하는 점으로 보아, 최소/최대값 보다는 좀 더 정확도가 높은 결과값을 도출하였다.

퍼지논리 방법은 다른 두 가지 방법에 비해서 상당히 기대치에 가깝고, 초기 3000 샘플링 기간에는 거의 기대치와 일치한 결과는 보였다. 따라서 계산량은 다른 두 방법에 비해서 여러 단계가 필요하고 상당히 복잡하지만, 정확도는 훨씬 높아서, 정확도가 높게 요구되는 경우에 적합한 방법이다.

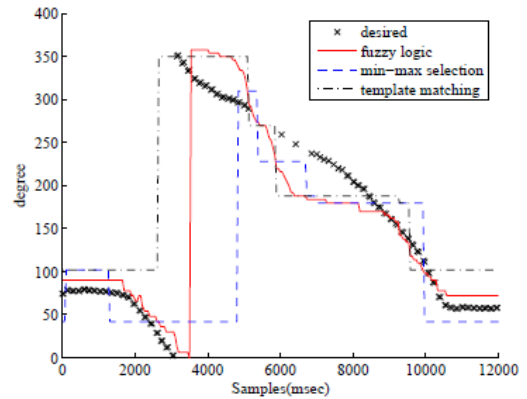


Fig. 9. Comparison of intelligent algorithms over a circle gesture.

Table 1. 에 정리된 바와 같이, 퍼지논리 방법이 좀 더 실제 운동경로와 근접하고, 오차의 범위도 많이 줄일 수 있는 효과가 나타났다.

Table 1. Comparison of The Three Algorithms

Algorithm	Average Error	Max	Min
Fuzzy Logic	12.4°	45	1
Min-Max	23.6°	80	2
Template	28.1°	70	6

4.5 본 논문 장치의 응용 및 활용방안

손목운동을 외관상으로 판단을 하면 단순하면서도 직관적인 운동으로 해석을 하지만, 본 논문에서 소개된바와 같이 손목의 여러 개의 뼈와 해부학적인 특성으로 복잡한 구조의 운동으로 해석이 된다. 이러한 복잡한 운동을 자기장을 이용하여 해석하려는 목적으로 시작되었다.

의료재활 쪽으로는 손목을 깁스를 제거한 이후에 굳어 버린 손목근육을 조금씩 움직일 때 생기는 운동량을 본 논문의 장치를 활용하여 운동량을 측정할 수 있는 기대를 할 수 있다.

또 다른 분야는 마우스가 여러 가지 형태로 개발 되었는데, 이런 손목의 앞, 뒤, 좌, 우 등의 운동을 통해서 마우스를 대신해서 본 논문의 장치를 활용하여 직관적인 입력장치를 개발할 수 있기를 기대한다.

5. 결론

본 논문을 통해서 손목운동의 재활에 도움을 줄 수 있는 시스템에서 자기장 센서 데이터들의 처리에 어려운 점이 있음을 밝히고, 이런 데이터들의 특징을 해석함으로써 복잡하거나 고가의 장비를 사용하지 않고, 데이터를 손쉽게 간단히 처리할 수 있는 방법을 제시하였다. 따라서 복잡한 방정식이나 계산식이 없어도, 간단한 수식과 지능형 알고리즘으로 충분히 손목의 움직임을 손쉽게 측정할 수 있었고, 저가의 장비에서도 빠르게 손목의 운동들을 손쉽게 측정할 수 있는 방법을 제시하였다.

본 논문에서 사용된 시스템과 같이 어떤 고정된 형태의 자기장이나 센서의 위치가 변경되는 경우에 대해서, 자기장의 데이터를 활용할 수 있는 방법들을 제시하고, 서로 다른 방법들을 비교·평가를 하였다. 본 논문에서 제시된 3가지 데이터 처리 방법들의 방법과 실질적인 측정값을 통해서 비교하였다. 3가지 데이터 방법 중에서 퍼지 로직을 쓰는 방법이 제시된 다른 알고리즘들에 비해서 두 배 이상의 정확도와 낮은 오차범위를 보였다. 제시된 알고리즘들을 잘 적용한다면, 저가의 장비를 사용해도 손목 운동의 분석이 가능함을 보였다.

References

- [1] Yao He, Yuchuan Du and Lijun Sun, "Vehicle Classification Method Based on Single-Point Magnetic Sensor", *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, Vol 43, pp 618-627 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.04.135>
- [2] R. Valenzuela and et al., "A position sensor based on magnetoimpedance" *Journal of applied Physics*, 1996. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.361943>
- [3] R. Murphy, "Human-robot interaction in rescue robotics," *IEEE Systems, Man and Cybernetics*, vol. 34, no. 2, May 2004 DOI: <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2004.826267>
- [4] Andreas Schutze and et al., "Sensors 4.0 - smart sensors and measurement technology enable Industry 4.0" *Journal of Sensors and Sensor Systems*, Vol 7, pp 359-371, 2018 DOI: <https://doi.org/10.5194/jsss-7-359-2018>
- [5] Thuong Huang, et al., "Passive Deformable Haptic Glove to Support 3D Interactions in Mobile Augmented Reality Environments," *IEEE/ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, 2013 DOI: <https://doi.org/10.1109/ISMAR.2013.6671793>
- [6] Y. Kim, B. Sok, and S. Lee, "A new wearable input device: Scurry," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 52, no. 6, pp. 1490-1499, Dec. 2005. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIE.2005.858736>
- [7] J. Mcintosh, C. Mcneill, and M. Fraser, "Practical Hand Gesture Classification with Wrist-Mounted EMG and Pressure Sensing," *Proceedings of the 2016 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2332-2342, May 2016. DOI: <https://doi.org/10.1145/2858036.2858093>
- [8] Atis Hermanis, Richard Cacurs and modris Greitans, "Acceleration and Magnetic Sensor Network for Shape Sensing", *IEEE Sensors Journal*, Vol 16, Issue: 5, Mar 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2015.2496283>
- [9] Vivian Genaro and Kelly Caine, "Micro interactions and Multi dimensional Graphical User Interfaces in the Design of Wrist Worn Wearables," in *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, Dec 2016 DOI: <https://doi.org/10.1177/1541931215591370>
- [10] Introduction of NVE GMR Sensors, NVE Corp. <https://www.nve.com/Downloads/intro.pdf>
- [11] Hee-joo Yeo, "Modeling and Calibration of Wrist Magnetic Sensor for Measuring Wrist Geusture", *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol.21, No.4, pp.26-32, 2020. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2020.21.4.26>

여 희 주(Hee-Joo Yeo)

[정회원]



- 1988년 2월 : 한양대학교 전자공학(공학사)
- 1990년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 1997년 2월 : 한양대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 대진대학교 전자공학과 교수

〈관심분야〉

모터제어, 다중로봇시스템의 협조제어, 임베디드시스템