

동시 통과 보행 인원 계수를 위한 압전매트 기반 인원 계수 시스템 설계 및 구현

장시웅^{1*} · 조진환²

Design and Implementation of People Counting System Based Piezoelectric Mat for Simultaneous Passing Pedestrian Counting

Si-Woong Jang^{1*} · Jin-Hwan Cho²

^{1*}Professor, Department of Computer Engineering, Dong-Eui University, Busan, 47227 Korea

²Graduate student, Department of Software Convergence, Dong-Eui University, Busan, 47340 Korea

요 약

인원을 계수하기 위한 시스템은 기존에 다양한 방법으로 이루어지고 있다. 기존 시스템의 계수방식으로는 적외선 센서, 레이저, 카메라 등이 있는데 이러한 기존 시스템의 경우에는 천장, 벽의 측면 등과 같이 공간에 대한 제약이 발생한다. 본 논문에서는 다수의 압전소자가 포함된 압전매트를 이용하여 보행자의 발걸음을 검출하고 압전매트에서 수집된 데이터를 활용하여 동시에 통과하는 보행 인원을 계수하는 방법을 제시한다. 보행자가 압전매트 위를 지나갈 경우, 수집한 센서 데이터를 SPI 통신을 이용하여 종합하고 TCP/IP 통신을 이용해 PC서버로 전송하는 방식의 통신 시스템을 이용하였다. 성능분석 결과, 약 600개가량의 발걸음 데이터에서 99% 정도의 정확도로 인식하는 결과를 얻었다. 이를 통해 다른 인원 계수 시스템의 단점을 극복하고자 한다.

ABSTRACT

The system for counting the number of people has traditionally been implemented in various ways. Existing systems include infrared sensors, lasers, cameras, etc. In the case of such an existing system, there are restrictions on space such as ceilings and sides of walls. In this paper, we propose a method of detecting the footsteps of pedestrians using a piezoelectric mat containing a number of piezoelectric sensors and counting the number of pedestrians passing simultaneously by using the data collected from the piezoelectric mat. When pedestrians pass over piezoelectric mats, the collected sensor data was aggregated using SPI communication and transmitted to PC server using TCP/IP communication. Performance analysis shows that approximately 600 step data can be recognized with 99% accuracy. This is to overcome the shortcomings of other counting systems.

키워드 : 압전소자, 센서 데이터, SPI 통신, 동시 통과, 인원 계수

Keywords : Piezoelectric devices, Sensor data, SPI communication, Simultaneous passing, People counting

Received 17 July 2020, Revised 21 July 2020, Accepted 25 July 2020

* Corresponding Author Si-Woong Jang(E-mail:swjang@deu.ac.kr, Tel:+82-51-890-2354)

Professor, Department of Computer Engineering, Dong-Eui University, Busan, 47340 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.10.1361>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

사회가 발전함에 따라 실외에서 즐길 수 있는 다양한 여가 활동들을 실내에서 즐길 수 있게 됨에 따라 특정 공간 내로 출입한 인원 등의 보행자 인원을 계수하는 방법이 다양하게 연구되고 있다[1-11].

진행되어온 연구들은 다양한 센서를 활용하여 인원을 계수하는 방법에 대하여 제시하고 있다. 초음파 센서를 활용하는 방법[1, 2], IR-UWB(Impulse-Radio Ultra Wideband) 레이더를 활용하는 방법[3, 4], 카메라를 활용한 방법[5, 6, 7, 8] 등 여러 가지가 있다. 이러한 방법들을 이용하여 인원 계수를 하기 위해서는 해당 장소의 천장이나 벽면, 그리고 특정 장소에 해당 장비를 설치해야 한다. 하지만 실외와 같이 천장이 존재하지 않거나, 해당 장비를 설치하기 위한 벽면이나 공간의 확보가 되지 않을 경우, 해당 장소의 인원을 계수하기 어렵다는 단점이 있다. 또한, 카메라와 같은 장비를 활용하여 인원을 계수하는 시스템에서는 정확도를 높이기 위하여 높은 해상도의 이미지가 요구되며, 이러한 이미지를 얻기 위해서는 고해상도의 카메라가 요구되어 시스템을 구성하는 비용이 높아지게 된다는 문제가 있다[5-10].

본 논문에서 제안하는 압전소자가 포함된 압전매트를 이용한 보행 인원 계수 시스템에서는 바닥에 압전매트를 설치하여 인원을 계수하기 때문에 별도의 시설물이 필요하지 않고 공간의 제약을 받지 않으며, 저렴한 압전소자로 기존 초음파, 레이더 센서 등과 같은 센서들보다 저렴한 가격으로 시스템을 설계 및 구현할 수 있다.

II. 관련 연구

특정 공간의 출입 인원이나 특정 장소 위를 지나다니는 보행 인원을 계수하는 시스템에 관한 연구들[1-11]에서는 초음파 센서를 활용하는 방법, 레이더 센서를 활용하는 방법, 카메라를 활용하는 방법 등에 대해서 다루고 있다.

초음파 센서를 활용하는 방법에 관한 연구에서는 한 사람이 지나가는데 걸리는 시간에서 초음파 센서로 구한 폭의 값 중 최댓값을 인원수로 구하는 알고리즘을 사용하였다[1]. 다수의 인원이 지나가는 경우, 초음파 센서 사이의 거리에서 보행 인원의 폭의 값을 판단 경계로

인원의 지정함으로써 다수의 인원이 보행함을 감지하는 방법을 제시하였다[4]. 하지만 센서 사이의 폭이 변화할 경우 정확한 인원 계수를 하기 위해서는 보행자를 판단하기 위한 임계값을 조절해야 하는데 이러한 방법에 대해서는 제시하지 않았다.

레이더 센서를 활용하는 방법에 관한 연구에서는 레이더 수신 신호로부터 사람이 아닌 물체에 반사되어 발생하는 클러터(clutter) 신호를 제거하고, 거리에 따른 신호 감쇠 보상을 수행한 후, 전 처리 기법과 추출 알고리즘을 수행하여 사람 신호를 추출하여 인원을 계수하는 방법을 제시하였다[3]. 그러나 이러한 방법은 전처리 과정 및 사람 신호 추출 과정에서 다수의 연산이 들어가기 때문에 학습 기반의 인원 계수 시스템을 제안하였으며, 실시간 인원 계수를 하기 위해서는 학습이 기반이 되어야 한다는 한계가 있다.

마지막으로 카메라를 활용하는 방법에 관한 연구에서는 크게 검출, 추적, 해석 단계를 거쳐 인원 계수를 하게 되는데, 검출 단계에서는 현재 프레임의 배경 영상과의 차 영상을 계산하여 객체를 검출한다. 추적 단계는 검출 단계에서 추출된 객체들 사이의 최소거리 정합법으로 객체를 추적하게 된다. 해석 단계에서는 객체의 크기를 구하고 특정 알고리즘을 활용하여 객체를 해석하고 이러한 단계를 거쳐 인원을 계수하는 방법에 대하여 제시하였다[5]. 그러나 이러한 방법은 주변 조명의 밝기 정도, 주기적 외부 움직임, 일정한 형태의 움직임 등의 변수로 인하여 제 성능을 발휘하지 못하고 있다.

기존에 제안된 모든 관련 연구에서 공통적인 문제점은 인원 계수를 하기 위하여 천장이나 벽 또는, 보행자가 지나다니는 공간 옆에 설치가 요구되기 때문에 해당 시스템을 실제로 사용하기 위해서는 설치를 위한 공간이 필수적으로 확보되어야 한다는 것이다. 본 연구에서는 공간의 제약을 받지 않기 위해서 사람들이 밟고 지나갔을 때 인원을 계수할 수 있는 다수의 압전소자를 포함하고 있는 압전매트를 기본 센싱 H/W로 채택하였다.

또한, 다수의 압전소자에서 측정된 대규모 센서 데이터를 효율적으로 수집하기 위하여 다수의 마이크로 컨트롤러에서 데이터를 서버로 전송하기 위하여 브릿지 노드를 활용한 SPI(Serial Peripheral Interface) 통신을 사용하였다[12].

III. 인원 계수 시스템 설계 및 구현

3.1. 시스템 구조

본 시스템은 크게 보행자의 이동을 감지하는 센서 H/W, 감지된 데이터를 수집 및 통신하는 통신 H/W, 수집된 데이터에서 발걸음을 추출하고 추출한 발걸음의 방향성 계산을 통해 인원을 계수하는 서버로 구성되어 있다. 전체 시스템 구조는 그림 1과 같다. 서버와 매트 내에 존재하는 클라이언트는 TCP/IP를 활용하여 데이터를 송수신한다. 서버에서 데이터 전송 요청 신호를 Mat 모듈에 전송하면 매트 내부의 브릿지 노드가 Master가 되어 SPI를 활용하여 Slave에게 센서 데이터 전송을 요청하고 Slave는 자신에게 할당된 센서 데이터를 종합하여 브릿지 노드에게 전송하며, 브릿지 노드는 전송 받은 데이터를 다시 서버로 전달한다.

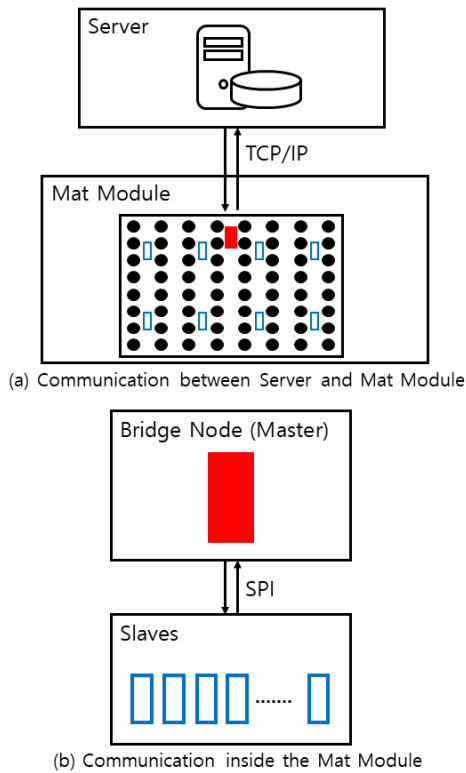


Fig. 1 Overall System Communication Structure

3.2. 센서 H/W 설계

보행자가 매트 위를 지나갈 때 센서 데이터를 취합하

기 위한 마이크로 컨트롤러와 브릿지 노드를 얇아 하드웨어가 고장 날 가능성이 있다. 또한, 매트 위를 지나가는 보행자의 수가 누적될수록 매트의 내구성이 떨어지는 상황이 발생한다. 이러한 상황을 방지하고자 폴리 카보네이트(PC) 소재로 제작한 보조 프레임을 매트와 함께 조립하여 통신을 위한 마이크로 컨트롤러와 브릿지 노드는 보호하면서, 압전매트를 장시간 사용하더라도 내구성이 크게 떨어지지 않도록 설계하였다. 그림 2는 보조 프레임을 조립한 압전매트의 구성도를 나타낸 것이다.

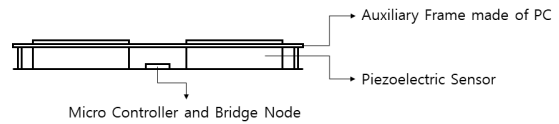


Fig. 2 Sensor Mat with Auxiliary Frame made of PC

그림 2에서 보행자가 매트 위를 지나다닐 경우, 센서 부분은 돌출되어 있어 힘이 그대로 전달되지만, 매트에 가해지는 힘은 보조 프레임과 매트가 연결된 나사 부분을 통해 땅으로 전달되게 된다. 따라서, 통신 하드웨어를 보호하며, 매트 자체의 내구성은 높이고 센서 데이터는 온전히 가져올 수 있도록 구성하였다.

3.3. 통신 H/W 설계

다수의 마이크로 컨트롤러에서 효율적으로 센서 데이터를 종합하는 방법으로 SPI 통신을 채택하였다. SPI 통신은 수 MHz 이상의 속도로 데이터를 통신하기 때문에 대규모의 다중 센서 환경에서 데이터를 종합하기 위한 방법으로 적합하기 때문이다[13].

서버에서는 Mat 모듈에 데이터 전송을 요청한다. 요청을 받은 Mat 모듈의 브릿지 노드가 Master가 되어 각자 자신에게 할당된 Slave 역할을 하는 마이크로 컨트롤러와 SPI 통신을 통해 데이터를 수신한다. 각각의 Slave에는 다수의 센서가 배정되어 있으며, Slave는 자신에게 배정된 센서들의 데이터를 주기적으로 종합한다. 센서 데이터를 종합한 Slave는 SPI 통신을 통해 브릿지 노드에 종합된 센서 데이터를 전송하고, 서버로부터 데이터 전송을 요청받은 Mat 모듈은 매트 내부에서 Slave로부터 SPI 통신을 통해 수신한 센서 데이터를 서버로 전송하게 된다.

따라서, 하나의 서버는 다수의 Mat 모듈을 제어할 수

있고, Mat 모듈의 브릿지 노드는 Master 역할을 하면서, 다수의 Slave를 제어하며, 하나의 Slave는 다수의 센서 노드를 제어하여 피라미드 구조의 통신 기능을 수행한다.

3.4. 서버 및 알고리즘 설계

압전매트 기반 인원 계수 시스템은 크게 서버와 Mat 모듈 간의 통신, Mat의 브릿지 노드(Master)와 Slave 간의 통신, 압전매트 모듈에서 센서 데이터 인식, 서버로 종합된 압전매트의 센서 데이터에서 발걸음을 추출하는 알고리즘, 추출한 발걸음 데이터를 근거로 방향성을 검출하는 알고리즘, 데이터의 위치, 방향, 시간을 근거로 동일 인물을 판단하는 알고리즘으로 구성된다.

서버와 클라이언트의 통신 흐름도는 그림 3과 같다.

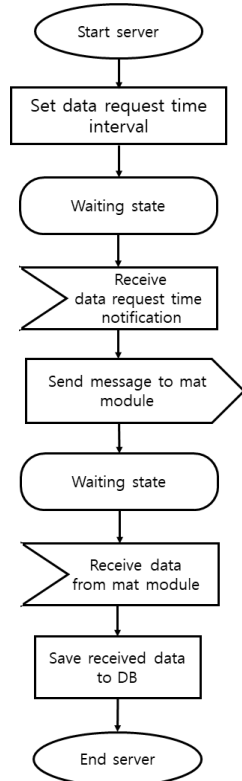


Fig. 3 Communication Flow Chart between a Server and Mat Modules

PC 서버가 시작하게 되면 Mat 모듈에 데이터 전송을 요청할 주기를 설정한다. 설정한 후, 데이터 전송 주기 시간까지 대기 상태가 되며, 주기 시간이 되면 알림을

수신하고, Mat 모듈에게 데이터 전송을 요청한다. 이후 Mat 모듈의 데이터 전송을 대기하게 되고 Mat 모듈에서 전송된 데이터를 수신하면 해당 데이터를 서버 DB에 저장하고 종료하는 방식으로 Mat 모듈과 통신하게 된다.

그림 4는 Mat의 브릿지 노드가 Master 역할을 하며, Slave와의 통신 흐름을 나타낸 것이다. 브릿지 노드가 센서 데이터 전송 요청 신호를 수신하게 되면 자신에게 할당된 Slave에게 데이터 전송을 요청하고 데이터 전송을 요청받은 Slave는 자신에게 할당된 센서들의 데이터를 종합하여 브릿지 노드에 종합된 센서 데이터를 전송하여 준다. 이 과정을 Slave의 수만큼(5) 반복한다. 해당 과정을 반복한 이후, 수신된 센서 위치 배열 내에 저장된 센서 데이터를 서버로 전송하게 된다.

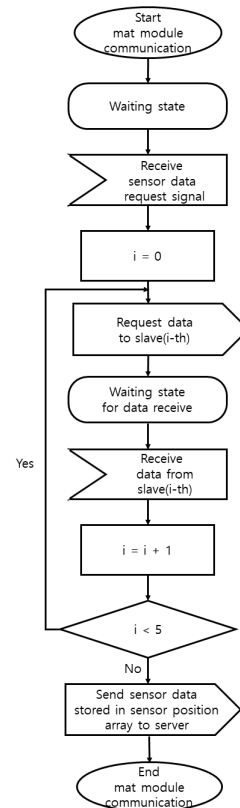


Fig. 4 Communication Flow Chart within Mat Module

서버에서 매트 전체 데이터를 DB에 저장한 후에 발자국을 추출하는 과정은 그림 5와 같다. 수신한 매트 데이터에서 첫 번째 클럭에서 유효한 데이터 값을 추출한

다. 추출한 데이터 값의 주변 8방향의 값을 분석했을 때, 주변 값에 데이터가 존재할 경우, 이전 클럭의 데이터와 비교하여 발자국으로 이어지는 데이터일 경우에 하나의 발자국으로 인식하고 방향성 검출을 위한 데이터 리스트에 발자국 데이터를 저장한다. 주변 값에 데이터가 존재하지만, 발자국으로 이어지는 데이터가 아닌 경우에는 다른 보행자의 새로운 발자국으로 인식하고 추출 과정을 반복한다. 8방향의 값을 분석하여 주변 값의 데이터가 존재하지 않을 경우, 다음 클럭의 추출 과정으로 넘어가고 매트 전체에 데이터가 존재하지 않을 경우, 추출된 발자국 데이터를 방향성 검출을 위한 데이터 리스트에 저장하고 추출 과정을 종료한다.

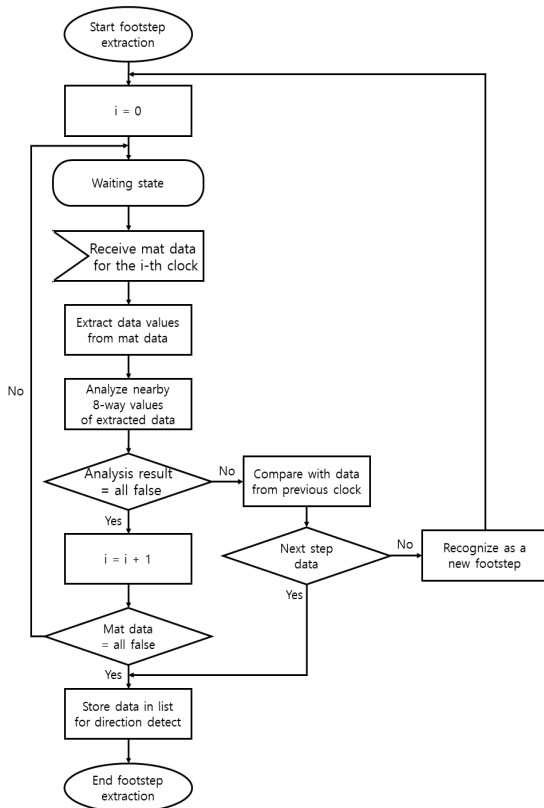


Fig. 5 Footstep Extraction Algorithm

그림 6은 추출한 발자국 데이터에서 방향성을 검출하는 알고리즘을 나타낸 것이다. 방향성 검출이 시작되면 대기 상태에 있다가 리스트에 저장된 각 클럭 데이터를 수신하게 된다. 수신한 데이터 중 첫 번째 클럭의 Y

축 평균 값을 A로 계산하고, 전체 클럭의 Y축 평균 값을 B로 계산한다. A와 B의 차를 계산하여 A가 B보다 클 경우, 첫 발자국이 이후 발자국들보다 앞선 위치에서 밟혔기 때문에 해당 인원이 입장함으로 간주하고 A가 B보다 작을 경우, 첫 발자국이 이후 발자국들보다 뒤쪽 위치에서 밟혔기 때문에 해당 인원이 퇴장함으로 간주하는 방식으로 인원의 입/출을 판단한다.

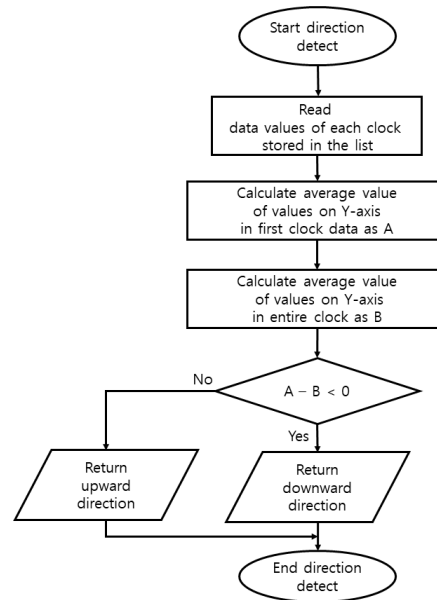


Fig. 6 Detect Direction Algorithm

그림 7은 동일 인물을 판단하기 위한 알고리즘을 나타낸 것이다. 동일 인물 판단 알고리즘이 시작되면 시간과 너비 임계값을 지정한다. 센서의 위치, 발걸음의 방향, 시간 데이터가 포함된 센서 데이터 배열을 읽는다. 그 후, 각 위치에 맞도록 카운트를 진행한다. 이후에 동일 인물의 판단을 위한 조건을 만족하는지 확인한다. 처음에 발걸음 첫 데이터의 Y축 위치가 매트 내에서 두 발자국 이상 밟을 수 있는 위치인가를 판단하여 동일 인물 발생 가능성을 확인한다. 두 발자국 이상 밟을 수 있는 위치라면 동일 인물이 발생할 수 있으므로 동일 인물 판단을 시작한다. 이전 발자국의 방향과 현재 발자국의 방향이 같은지 판단한다. 이전 발자국과 현재 발자국의 방향이 같다면, 동일 인물이라고 판단하여 두 발자국 사이의 시간이 초기 설정한 시간 임계값보다 작은지 계산하여 한 사람의 발걸음인지 판단한다. 해당 조건도 만족할

경우, 더욱 정확한 동일 인물 판단을 위해 보폭 사이의 너비의 절댓값이 초기 설정한 가로 임계값보다 작은지 계산한다. 모든 조건을 만족한 경우, 동일 인물 데이터라고 판단한다. 이후 초기 센서 데이터 배열을 수신한 후 진행했던 카운트 데이터에서 동일 인물 데이터라고 판단된 데이터를 제거하고 각 방향의 인원수와 잔여 인원수를 반환하고 동일 인물 판단 알고리즘을 종료한다.

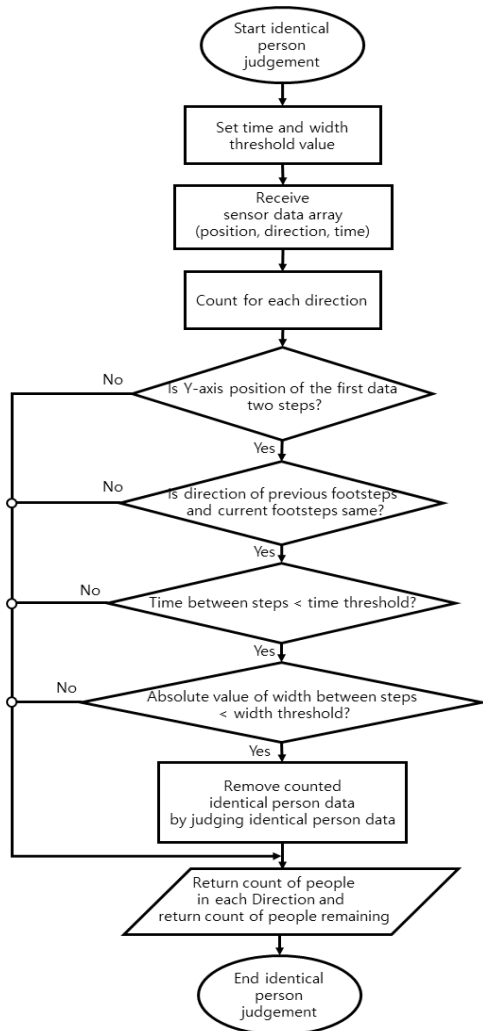


Fig. 7 Detect Direction Algorithm

IV. 시스템 성능분석

4.1. 데이터 전송 성능 향상

본 연구에서 센서 데이터를 측정했을 때, 0~1023의 아날로그 데이터로 출력이 된다. 이는 데이터를 전송하기 위하여 10bit가 필요로 하게 된다. 이는 데이터 전송 시, 1byte를 약간 초과한 양으로 이를 최소화하기 위하여 2bit Shift 연산을 통하여 0~255 범위의 8bit 유효 데이터를 전송하여 데이터 전송량과 전송 시간을 줄였다. 2bit shift 연산을 수행하기 전과 후의 전송 시간 비교는 그림 8과 같다. 데이터 전송 시, 해당 데이터가 도착하는 시간은 기존 아날로그 데이터(0~1023, 10bit)로 전송할 경우 평균 7ms 정도의 시간이 소요되었으며, 2bit Shift를 수행한 데이터(0~255, 8bit)로 전송할 경우 평균 4ms 정도의 시간이 소요된 것을 확인할 수 있다. 이 결과로 2bit Shift를 수행하여 전송하는 것이 데이터 크기 및 전송 속도에서 유리한 것을 확인할 수 있었다.

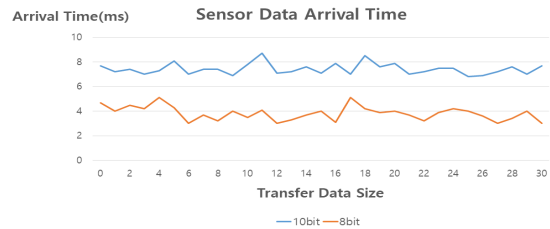


Fig. 8 Sensor Data Arrival Time Chart by Transfer Data Size

4.2. 기존 시스템과의 성능 비교

기존 인원 계수 시스템 중에서 카메라를 이용한 인원 계수 방법과 적외선 센서를 활용한 인원 계수의 정확도는 각각 표 1, 표 2와 같이 제시되었다[14, 15].

Table. 1 People Counting Experimental Result with Camera

| Case 1 | | IN | OUT |
|----------|-------|------|-------|
| | Input | 23 | 31 |
| Output | 23 | 28 | |
| Accuracy | | 100% | 93.5% |

| Case 2 | | IN | OUT |
|----------|-------|------|-------|
| | Input | 20 | 27 |
| Output | 20 | 26 | |
| Accuracy | | 100% | 96.2% |

Table. 2 People Counting Experimental Result with Infrared Sensor

| | Training Sample | Testing Sample | Accuracy |
|----------|-----------------|----------------|----------|
| 1 people | 930 | 100 | 99% |
| 2 people | 907 | 100 | 89% |
| 3 people | 1240 | 100 | 75% |
| 4 people | 1180 | 100 | 68% |
| 5 people | 920 | 100 | 60% |

본 연구에서 개발한 시스템의 인원 계수 결과는 아래 표 3과 같았다. 본 연구의 압전소자를 활용한 인원 계수 시스템이 기존 카메라 및 적외선 센서를 활용하는 시스템과의 성능 비교를 했을 때, 정확도가 더 높은 것으로 확인되었다. 이는 카메라의 경우 객체 판단 과정에서, 적외선의 경우에는 다수의 보행자가 동시에 지나갈 때 정확도가 떨어지는 데에 반해, 압전소자를 활용한 인원 계수 시스템에서는 압전소자의 데이터 값의 분석 및 가공을 통해 객체를 판단할 수 있어 기존 카메라 활용 인원 계수 시스템보다 높은 정확도를 보이며, 적외선 센서를 활용한 인원 계수 시스템의 단점인 동시 통과 보행 인원 계수의 경우, 그림 7과 같은 동일 인물 판단 알고리즘 과정을 거쳐, 중복되는 동일 인물 데이터의 제거를 통해 동시 통과 인원 계수의 정확도를 높였다.

Table. 3 People Counting Experimental Result with Piezoelectric Sensor

| Case 1 | | IN | OUT |
|--------|-------------|-------|------|
| | Test Sample | 73 | 68 |
| | Result | 72 | 68 |
| | Accuracy | 98.6% | 100% |
| Case 2 | | IN | OUT |
| | Test Sample | 100 | 100 |
| | Result | 100 | 99 |
| | Accuracy | 100% | 99% |

V. 결론

본 연구에서는 동시 통과 보행 인원 계수를 위해 다수의 압전소자를 포함하는 압전매트를 활용한 SPI 통신 기반 인원 계수 시스템을 설계 및 구현하였다. 기존 인원 계수 시스템에 활용되는 카메라, 적외선 센서, 초음

파 센서 등을 활용할 때 생기는 공간의 제약성을 바닥에 매트를 설치함으로써 극복하였고, 다수의 센서 데이터를 효율적으로 종합하고 통신하기 위하여 SPI 통신을 기반으로 하여 시스템을 구성하였다. 또한, 데이터 Shift 연산을 진행하여 데이터 전송 속도를 약 3ms 감소시켜, 데이터 전송에 최적화를 진행하였다. 압전소자를 활용한 인원 계수를 진행한 결과, 평균 약 99% 이상의 높은 정확도로 인원 계수 및 방향성 검출이 가능한 것을 볼 수 있었다. 따라서, 공간이 협소한 장소나, 실외와 같이 설치 공간에 제약이 따르는 장소에서 인원을 계수하기 위해서는 카메라, 초음파 센서, 적외선 센서 등에 견주어도 기능이 떨어지지 않고 가격이 저렴한 압전소자를 포함한 압전매트 기반의 인원 계수 시스템을 활용하는 것이 효과적이라 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the BB21+ Project in 2020. Also, this study was supported by the Technology Development Project of the Ministry of SMEs and Startups of R.O.K in 2019. [No.S2696117]

References

- [1] J. W. Kim, T. W. Lee, D. Y. Kim, and J. H. Lee, "Realtime System Implementation for People Counting and Congestion Recognition," in *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, Korea: KR, pp. 308-309, 2019.
- [2] S. M. Yang, Y. S. Kim, S. H. Cho, and J. H. Choi. "A Real-Time People Counting Algorithm using Ultrasonic Sensors," in *The Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, Korea: KR, pp. 1596-1598, 2016.
- [3] J. H. Choi, J. E. Kim, and K. T. Kim. "Learning-Based People Counting System Using an IR-UWB Radar Sensor," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 30, no. 1, pp. 28-37, Jan. 2019.
- [4] J. W. Choi, X. Quan, and S. H. Cho, "Bi-Directional Passing People Counting System Based on IR-UWB Radar Sensors," in *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 512-522, Apr. 2018.

- [5] C. Y. Kim and S. R. Choi, "A Camera-Based System for Counting People in Real Time," in *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, Korea: KR, pp. 503-506, 2002.
- [6] T. S. Chen, C. H. Chen, D. J. Wang, and Y. L. Kuo, "A People Counting System Based on Face-Detection," in *2010 Fourth International Conference on Genetic and Evolutionary Computing*, China: CN, pp. 699-702, 2010.
- [7] J. W. Perng, T. Y. Wang, Y. W. Hsu, and B. F. Wu, "The Design and Implementation of a Vision-based People Counting System in Buses," in *2016 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)*, Taiwan: TW, pp. 1-3, 2016.
- [8] S.D. Pore and B.F. Momin, "Bidirectional People Counting System in Video Surveillance," in *2016 IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT)*, India: IN, pp. 724-727, 2016.
- [9] S. Muthukumar, W. S. Mary, S. K. Abijith, P. Haribalan, and S. Sakthivel, "Sensor Based Automated People Counting System," in *2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)*, India: IN, pp. 1796-1798, 2018.
- [10] B. Dan, Y. Kim, Suryanto, J. Jung, and S. Ko, "Robust people counting system based on sensor fusion," in *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 58, no. 3, pp. 1013-1021, Aug. 2012.
- [11] S. W. Jang and D. H. Jung, "Design and Implementation of a People Counting System using Piezoelectric Sensors," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 21, no. 7, pp. 1441-1446, Jul. 2017.
- [12] S. W. Jang and J. S. Kim, "Design and Implementation of an Efficient Communication System for Collecting Sensor Data in Large Scale Sensors Networks," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 24, no. 1, pp. 113-119, 2020.
- [13] G. Y. Lee, J. T. Kim, and J. K. Park, "A Design of Parameterized SPI Slave Soft IP and its FPGA Verification," in *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, Korea: KR, pp. 938-939, 2019.
- [14] J. Cao, L. Sun, M. G. Odoom, F. Luan, and X. Song, "Counting people by using a single camera without calibration," in *2016 Chinese Control and Decision Conference (CCDC)*, China: CN, pp. 2048-2051, 2016.
- [15] F. Zhu, X. Yang, J. Gu, and R. Yang, "A New Method for People-Counting Based on Support Vector Machine," in *2009 Second International Conference on Intelligent Networks and Intelligent Systems*, China: CN, pp. 342-345, 2009.



장시웅(Si-Woong Jang)

1984년 부산대학교 계산통계학과 이학사
 1993년 부산대학교 전자계산학과 이학석사
 1996년 부산대학교 전자계산학과 이학박사
 1986년~1993년 대우통신(주) 종합연구소
 2004년~2005년 University of Texas at Dallas 객원교수
 1996년~현재 동의대학교 컴퓨터공학과 교수
 ※관심분야 : IT융합, 차량용 네트워크, 데이터베이스



조진환(Jin-Hwan Cho)

2020년 2월 동의대학교 컴퓨터공학과 공학사
 2020년 3월~ 동의대학교 소프트웨어융합학과 석사과정
 ※관심분야 : 영상처리, 모바일 소프트웨어, 스마트 자동차, 데이터베이스