

대규모 센서 네트워크에서 센서 데이터 수집을 위한 효율적인 통신 시스템 설계 및 구현

장시웅^{1*} · 김지성²

Design and Implementation of an Efficient Communication System for Collecting Sensor Data in Large Scale Sensors Networks

Si-woong Jang^{1*} · Ji-Seong Kim²

^{1*}Professor, Department of Computer Engineering, Dong-Eui University, Busan 47340, Korea

²Undergraduate student, Department of Computer Science, Dong-Eui University, Busan 47340, Korea

요 약

대규모 센서 네트워크에서는 많은 수의 센서로부터 데이터를 수집하고 분석해야 한다. 마이크로 컨트롤러 마다 제어할 수 있는 센서의 수가 제한되어 있는데, 본 논문에서는 많은 수의 센서들을 다수의 마이크로 컨트롤러와 다수의 브릿지 노드를 두어 통신하는 방법을 제시하고, 센서 데이터를 수집을 위한 효율적인 통신 시스템을 설계하고 구현하였다. 브릿지 노드는 SPI 통신을 이용하여 여러 마이크로 컨트롤러의 데이터를 종합하고, 종합한 데이터는 무선 TCP/IP 통신을 이용하여 PC 서버로 전달하여 센서 데이터를 종합한다. 본 논문에서는 Open H/W인 아두이노 Mini와 ESP8266을 사용하여 통신 시스템을 구성하고 성능을 분석하였다. 성능분석 결과, 700개 이상의 센서로부터 초당 30회 이상의 센싱 데이터를 수집할 수 있다는 결과를 얻었다.

ABSTRACT

Large sensor networks require the collection and analysis of data from a large number of sensors. The number of sensors that can be controlled per micro controller is limited. In this paper, we propose how to aggregate sensor data from a large number of sensors using a large number of microcontrollers and multiple bridge nodes, and design and implement an efficient communication system for sensor data collection. Bridge nodes aggregate data from multiple microcontrollers using SPI communication, and transfer the aggregated data to PC servers using wireless TCP/IP communication. In this paper, the communication system was constructed using the Open H/W Aduo Mini and ESP8266 and performance of the system was analyzed. The performance analysis results showed that more than 30 sensing data can be collected per second from more than 700 sensors.

키워드 : 데이터 통신, 데이터 수집, 센서 데이터, 네트워크

Keywords : Data Communication, Data Collecting, Sensor Data, Network

Received 31 October 2019, Revised 6 November 2019, Accepted 20 November 2019

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

Professor, Department of Computer Science, Dong-EUI University, Busan 47340, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.1.113>

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

많은 종류의 센서들이 의료, 절전, 기후 등의 응용에 대규모로 활용되고 있으며, 2000년대 초반부터 대규모 무선센서 네트워크에 대한 많은 연구가 진행되어 왔다 [1-11]. 진행되어온 연구들은 주로 저전력 환경에서 센서 관리하는 방법[8], 네트워크 상에서 신뢰성 보장방법 [1], 트래픽을 고려한 혼잡 제어 방법[2], 효율적인 다기능 센서 배치 방법[3] 등에 관한 것으로 대규모 센서들로부터 데이터를 수집하기 위한 네트워크 노드 구성에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 대규모 센서들로부터 데이터를 효율적으로 수집하기 위한 시스템 구성과 통신 구조를 제안하고, 통신구조에 따른 시스템의 성능을 분석한다. 여러 개의 마이크로 컨트롤러를 사용하게 되면 여기서 나오는 센서 데이터를 효과적으로 종합하는 방법이 중요한데, 그 방법으로 SPI 통신이 있다. SPI는 수 MHz 이상의 속도로 데이터 통신하기 때문에 대규모의 다중 센서환경에서 데이터를 종합하기 위한 방법으로 적합하다[12].

본 논문에서는 대규모의 센서로부터 데이터를 수집하기 위해 마이크로 컨트롤러, 브릿지 노드, PC 서버를 사용하여 통신시스템을 설계하고 구현하였다. 마이크로컨트롤러와 브릿지 노드 사이의 통신을 위해 SPI 통신을 사용하였고, 브릿지노드와 서버와의 통신을 위하여는 무선 TCP/IP 통신을 사용하였으며, 노드 구성에 따른 성능을 분석하였다. 본 논문의 2장에서는 대규모 센서 네트워크 관련 연구들에 대해 살펴보고, 3장에서는 센서 데이터를 수집하기 위한 통신 시스템을 설계하고 4장에서는 통신구조에 따른 성능을 분석하고 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

대규모 센서 네트워크 시스템에 관한 연구들[1-9]에서는 저전력 환경에서 센서 데이터를 관리하는 방법, 네트워크 상에서 신뢰성 보장방법, 트래픽을 고려한 혼잡 제어 방법, 효율적인 게이트웨이 구성 방법 등에 대해 다루고 있다.

저전력 환경에서 센서 데이터를 관리하는 방법[8]에

관한 연구에서는 센서데이터를 효율적으로 유지하여 전력을 최소화하는 방법을 제시하였으며, [1]에서는 대규모로 구성되는 IoT 환경에 적합한 센서 게이트웨이를 제안하여 본 논문에서 제안하는 노드 구성에 따른 통신 시스템과는 차이가 있다. 혼잡제어에 관한 연구[2]에서는 대규모 무선 센서 네트워크에서 불균일하게 분포되어 있는 센서노드들의 혼잡을 제어하기 위한 트래픽을 고려한 혼잡 제어기법을 제안하였고, [4]에서는 무선 네트워크 환경에서 센싱 데이터의 보안을 위해 다중경로 라우팅 보안 기법을 제시하였으나, 센싱 데이터의 효율적 수집을 위한 노드 구성 방법을 제시하지는 않았다. 본 연구에서는 대규모 센서로부터 데이터를 수집하기 위해 다수의 마이크로 컨트롤러를 사용하며, 다수의 마이크로컨트롤러의 데이터를 서버로 전송하기 위한 브릿지 노드를 사용한다. 브릿지 노드가 다수의 마이크로컨트롤러에서 데이터를 수집하기 위해 SPI 통신을 사용한다.

SPI 통신을 기반으로 하는 시스템의 사례로서 SPI 통신을 활용한 인공 팔 설계, line driver를 이용하여 SPI 통신의 noise를 제거하는 방법, SPI 통신 프로콜을 구현하여 저가형 시스템을 개발한 사례가 있지만, 대규모 다중 센서 환경에서 SPI를 통해 데이터를 종합하는 효과적인 방법에 대한 연구는 부족하다[13-15]. SPI는 직렬 주변기기 인터페이스로 Motorola에서 개발한 전이중 통신이 가능한 동기 통신이다. 단순하면서 속도도 충분히 빠르기 때문에 선호도가 높은 편이다. SPI의 연결에는 직렬 클럭(SCK), 마스터 출력-슬레이브 입력(MOSI), 마스터입력 - 슬레이브 출력(MISO), 슬레이브 셀렉트(SS)의 4가지 논리 신호를 지정하고 사용한다. SPI의 동작 방법은 SS를 LOW 신호로 출력하여 Slave를 선택하여 활성화한 다음 SCK를 통해 동기화하고 이 클럭에 MOSI, MISO핀을 통해 데이터를 송수신하는 방식이다 [16]. SPI 버스의 구조는 그림1과 같다.

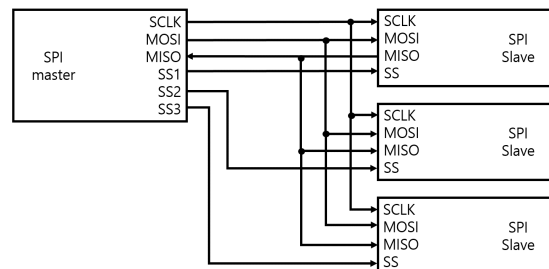


Fig. 1 Serial Peripheral Interface Bus

III. 통신 시스템 설계

3장에서는 대규모 센서들의 데이터를 수집하여 분석하기에 적합한 통신 시스템을 설계하고 성능을 분석한다.

3.1. 통신 시스템 구성

본 논문에서는 대규모 센서들로부터 데이터를 수집하기 위한 통신 시스템을 마이크로 컨트롤러, 브릿지노드, PC 서버를 이용하여 구성한다. 마이크로 컨트롤러로는 아두이노 Mini를 사용하고, 브릿지 노드로는 Node MCU를 사용한다. 아두이노 Mini와 Node MCU 사이의 통신은 SPI 프로토콜을 사용한다. Node MCU는 SPI 통신의 Master 역할을 수행하고, 아두이노 Mini는 SPI 통신의 Slave 역할을 수행하므로 Node MCU를 SPI Master로, 아두이노 Mini를 SPI Slave로 명칭하여 통신 시스템을 설명한다.

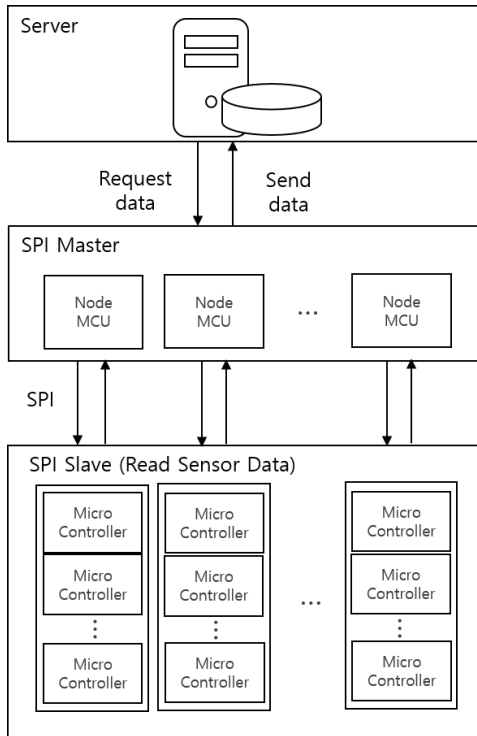


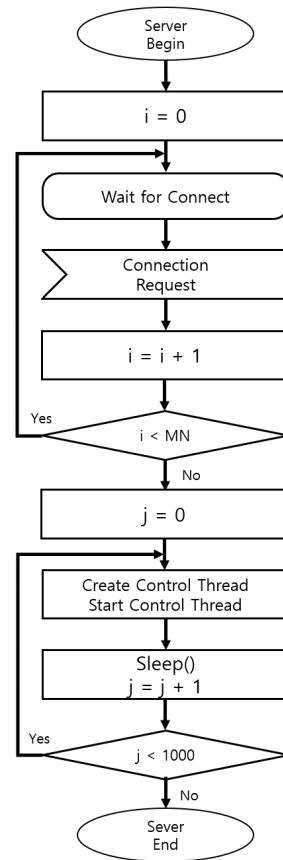
Fig. 2 communication structure diagram

그림 2와 같이 데이터 수집을 위해 PC 서버는 SPI Master로 데이터를 요청한다. 연결되어 대기 중인 SPI

Master는 데이터를 요청받게 되면 SPI를 통해 연결되어 있는 SPI Slave들과 통신하여 데이터를 수신한다. SPI Slave들은 SPI Master의 요청을 받아 주기적으로 모듈의 아날로그 데이터를 읽어들이고, SPI Master와 SPI 통신을 수행하여 아날로그 데이터를 PC 서버로 전송하게 된다. 하나의 서버는 다수 개의 SPI Master를 제어하며, 하나의 SPI Master는 다수 개의 SPI Slave를 제어하여 기능을 수행한다.

3.2. 서버 설계

PC 서버는 그림 3과 같이 Multi Thread로 구성하여 다수의 SPI Master와 동시 통신이 가능하도록 구성한다. 서버는 MN개의 SPI Master로부터 연결 요청이 올 때까지 대기하여 MN개의 SPI Master와 연결을 수행한다.



MN : The Number of SPI Masters

Fig. 3 Server Algorithm

이후 PC 서버의 Control Thread는 그림 4와 같이 사용자가 지정한 주기로 MN개의 SPI Master에 데이터 수집을 요청하고, MN개의 SPI Master로부터 데이터가 도착할 때까지 대기하고, 각각의 데이터가 도착하면 데이터 값과 평균 반응시간을 저장한다.

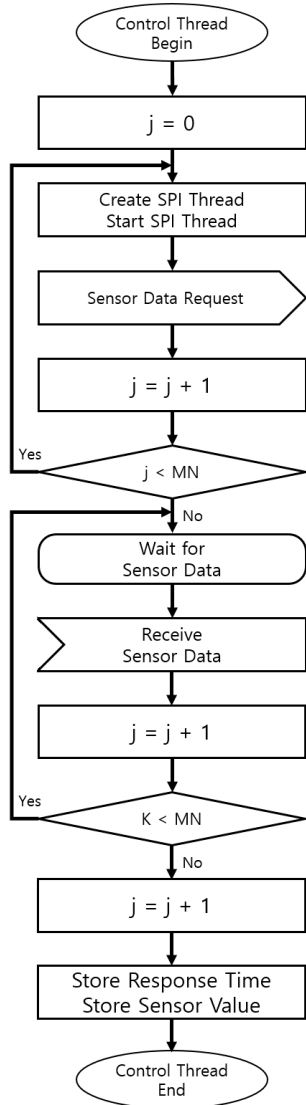
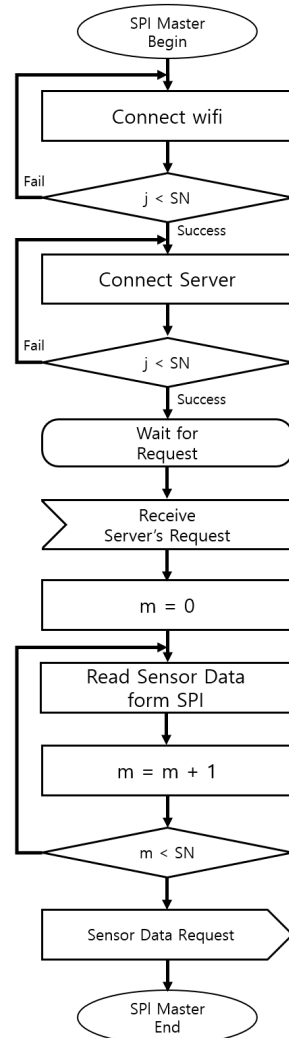


Fig. 4 Control Thread Algorithm of Server

3.3. SPI Master

SPI Master는 무선 TCP/IP를 통해 PC 서버에 접속하며 서버에 연결한 뒤 서버에서 데이터를 요청할 때까지

대기한다. 서버로부터 센서 데이터 요청이 도착하면 연결되어있는 SPI Slave들에 센서 데이터들을 요청한다. 연결된 모든 SPI Slave들로부터 데이터가 도착하면 데이터를 종합하여 연결되어 있던 서버로 데이터를 전송한다. SPI Master의 동작은 그림 5와 같다.



SN : The Number of SPI Slaves

Fig. 5 SPI Master Algorithm

3.4. SPI Slave

센서의 데이터를 직접 Read하는 마이크로 컨트롤러는 센서의 데이터를 Read하여 SPI Master에게 SPI 통신으로 데이터를 전송하는 방식으로 설계하였다. SPI

Slave의 동작은 그림 6과 같다. SPI Slave는 SPI를 활성화한 후 SPI Master의 요청을 받으면 센서 데이터를 읽어 SPI 통신으로 SPI Master에게 전송한다.

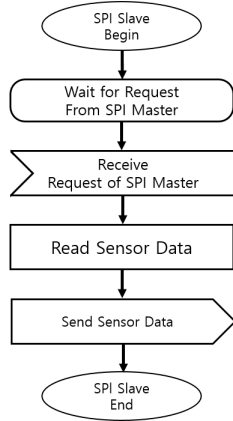


Fig. 6 SPI Slave Algorithm

IV. 통신구조에 따른 성능분석

4.1. 성능분석 환경

성능분석을 위한 통신 구조는 4가지로 구성하였다. SPI Master의 개수와 SPI Slave의 개수가 성능에 어떠한 영향을 끼치는지 확인하기 위해 각 실험마다 SPI Master의 개수를 다르게 구성하였으며, 총 센서의 개수는 같게 구성하였다. 4가지 통신구조는 표 1과 같다. 표 1의 No. 1은 SPI Master의 개수가 2개이고, 1개의 SPI Master에 6개의 SPI Slave들이 연결되어있는 경우를 의미한다. No.2는 SPI Master의 개수가 3개이고, 1개의 SPI Master에 4개의 SPI Slave들이 연결되어있는 경우를 의미한다. No3, No4도 유사한 형태로 구성됨을 보여 준다.

Table. 1 Communication Structure

No.	The Number of SPI Master	The Number of SPI Slaves for one SPI Master	Total Number of SPI Slaves
1	2	6	12
2	3	4	12
3	4	3	12
4	6	2	12

표 2는 성능분석을 위한 시스템 요소 중 PC 서버, SPI Master, SPI Slave의 시스템 사양을 포함하며, 각 구성 요소의 CPU, Main Memory, 네트워크 사양을 나타낸다.

Table. 2 system specification for performance evaluation

PC Server		SPI Master (NodeMCU ESP8266)		SPI Slave (Mini)	
	spec.		spec.		spec.
CPU	i5-9400f	MCU	32bit TenSilica L 106	MCU	ATmega 32U4
Main Memory	16GB	Main Memory	36KB	Main Memory	32KB
Network	1Gbps	Wireless Network	16Mbps	Wireless Network	16Mbps

성능분석을 위해 지정한 시간(ms)마다 메인 스레드를 Start시켜 원하는 주기(4ms, 6ms, 8ms, 10ms, 12ms, 14ms, 16ms)로 총 1000번의 Request를 SPI Master에 요청하도록 하였다. 여러 개의 SPI Master에 동시에 Request하고 모든 데이터가 도착할 때까지의 반응시간을 측정하는 방법으로 진행하였다. 또한 서버는 다중 스레드로 진행이 가능하지만, 마이크로 컨트롤러(아두이노)환경에서는 다중 스레드를 지원하지 않으므로 하나의 클라이언트에는 하나의 스레드만 접근할 수 있도록 제한하였다.

4.2. 성능분석 결과

센서 데이터 요청 시간 간격에 따른 평균 반응시간은 그림 7과 같다. 그림 7은 총 SPI Slave(Mini)의 개수가 12개인 경우의 평균 반응시간을 나타낸다. SPI Master (ESP)의 개수가 적고, 센서 데이터 요청의 시간 간격이 큰 경우에 평균 반응 시간이 최소로 나왔다. 이는 PC가 적은 수의 SPI Master에게 데이터를 요청하고 결과를 받기 때문에 PC의 수행 시간이 짧게 걸리는 이유인 것으로 분석된다. 그러나 SPI Master의 개수가 적고 센서 데이터 요청의 시간 간격이 짧은 경우에는 평균 반응 시간이 급격히 증가하였다. 이는 데이터 요청 시간 간격이 짧은 경우에는 트래픽이 증가하여 하나의 SPI Master가 담당하는 SPI Slave의 개수가 증가되어 SPI 통신에 병목 현상이 발생하기 때문인 것으로 분석된다. SPI Master가 4개이고, 각각의 SPI Master에 3개의 SPI Slave가 연

결되어 있는 경우, 데이터 요청시간의 간격이 짧아져 트래픽이 높아져도 평균 반응시간이 일정한 것으로 나타났다. 이는 SPI Master가 4개인 경우에 PC 서버와 SPI Master 사이의 통신 트래픽이 적정하고, 각각의 SPI Master가 SPI Slave를 3개 담당하는 것은 부담이 없다는 것을 의미한다. SPI Master의 개수가 6개인 경우에는 PC서버가 6개의 SPI Master와 무선 통신을 수행하기 때문에 성능분석 시 대기시간이 커지는 작업이 계속 발생하여 평균 응답 시간의 변동 폭이 컸다.

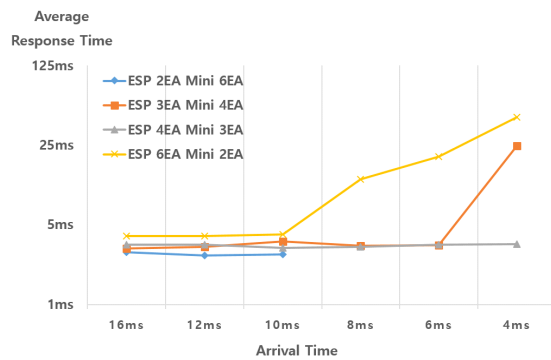


Fig. 7 Average Response Time according to Arrival Time

따라서, 센서 데이터를 수집하기 위한 시스템을 12개의 SPI Slave들을 가지고 구성할 경우, 전체 시스템을 SPI Master 노드 4개, 각 SPI Master당 3개의 SPI Slave를 구성하면 최적의 평균 반응 시간을 가진 시스템을 구성할 수 있다. 이때, 센서 데이터의 요구 시간 간격이 4ms이하에도 평균 반응시간은 4ms이하로 유지되어 최적의 성능을 나타내는 것으로 분석되었다. SPI Slave로 사용된 아두이노 Mini의 경우 Serial Port가 8개이므로 12개의 SPI Slave를 통하여 수집할 수 있는 데이터는 96개의 센서 데이터가 된다.

SPI Master가 4개이고, 각 SPI Master에 3개의 SPI Slave를 연결한 환경에서 데이터 요청 시간 간격이 4ms일 때 평균 반응시간이 4ms이하로 최적의 시간을 나타내는 것으로 분석되므로, 센서 개수에 따른 데이터 수집을 위한 최적의 시스템 구성과 데이터 요청 최소 간격은 다음 표 3과 같이 정리할 수 있다. 표 3은 Open H/W인 아두이노 Mini(SPI Slave)와 ESP8266(SPI Master)을 이용하여 통신 시스템을 구성한 것이다. 아두이노 Mini의 경우 아날로그 I/O 포트를 8개 가지고 있어서, Mini 1개당 8개의 아날로그 센서의 데이터를 수집할 수 있다. 위

내용처럼 통신 시스템을 구성한 경우, 384개의 센서로부터 초당 60개 이상의 센싱 데이터를 수집할 수 있으며, 768개의 센서로부터 초당 30개 이상의 센싱 데이터를 수집할 수 있는 결과가 된다.

Table. 3 The Number of Total Sensors according to System Configuration

The Number of sensors	The number of SPI Master	The number of SPI Slaves for one SPI Master	Minimum Arrival Time for Data Request
96	4	3	4ms
192	8	3	8ms
384	16	3	16ms
768	32	3	32ms

V. 결론

본 논문에서는 대규모 다중센서 환경에서 많은 수의 센서로부터 데이터를 수집하고 분석하기 위한 통신 시스템을 구성하고, 노드 구성에 따른 성능을 분석하였다. SPI Master 개수 및 SPI Master에 연결된 SPI Slave들의 개수가 데이터 요청 시간 간격에 따른 평균 반응 시간에 영향을 주었으며, SPI Master의 개수가 적어질수록 응답시간은 빨라졌지만, SPI Master의 수가 적고, 하나의 SPI Master에 연결된 SPI Slave들의 수가 많아지면 SPI 통신에 병목현상이 일어나는 것을 볼 수 있었다. 하나의 SPI Master에 3개의 SPI Slave를 연결할 때 시스템 구성이 최적의 성능을 보이는 것으로 나타났다. 본 논문에서는 Open H/W인 아두이노 Mini와 ESP8266을 이용하여 통신 시스템을 구성하면 768개의 센서로부터 초당 30개 이상의 센싱 데이터를 수집할 수 있는 결과를 얻었다. 따라서, 700개 미만의 센서로부터 실시간으로 정보를 수집하기 위하여는 기능이 검증되고 가격이 저렴한 Open H/W를 이용하는 것이 효과적이라 판단된다.

ACKNOWLEDGEMENT

The research was supported by the BB21+ project in 2019.

References

- [1] S. H. Shin, "Study on Sensor Gateway for Reliable Connection Guarantee on Large IoT Environment," *The Journal of Korean Institute of Information Technology, Korean Institute of Information Technology*, vol. 13, no. 9, pp. 131-136, Sep. 2015.
- [2] M. S. Kwak, and Y. S. Hong, "A Congestion Control Scheme Considering Traffic in Large-Scale Wireless Sensor Networks", *Journal of Korean Institute of Information Scientists and Engineers, The Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, vol. 42, no. 1, 114-121, Jan. 2015.
- [3] S. H. Kwon, Y. G. Kim, D. H. Kim, and H. Kim, "An Efficient Wireless Multi-function Sensor Node Deployment for Large-Scale Sensor Networks," *Proceeding of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, Korea Institute Of Communication Sciences*, vol. 60, pp. 1121-1122, Jun. 2016.
- [4] H. Wang, G. Yang, J. Xu, Z. Chen, L.Chen, and Z. Yang, "A Novel Data Collection Approach for Wireless Sensor Networks," *2011 International Conference on Electrical and Control Engineering, Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2011.9, 16-18(3 pages).
- [5] M. K. Singh, S. I. Amin, S. A. Imam, V. K. Sachan, and A. Choudhary, "A Survey of Wireless Sensor Network and its types," *2018 International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking, Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2018.10, 12-13(2 pages).
- [6] Z. Gengzhong, and L. Qiumei, "A Survey on the Topology of Wireless Sensor Networks Based on Small World Network Model," *2010 2nd International Conference on Future Computer and Communication, Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2010.5, 21-24(4 pages).
- [7] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 1, no. 4, pp. 660-670, Oct, 2002.
- [8] Y. B. Moon, Y. J. Choi, S. K. Hong, and I. H. Lee, "Sensor Data Management System in Sensor Network for Low Power," *Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2008 10th International Conference on Advanced Communication Technology*, pp. 504-507, 17-20, Feb. 2008.
- [9] A. R. Corporation, "A Sensor Network Architecture for the IP Enterprise," *Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2007 6th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks*, pp. 575, 25-27 Apr. 2007.
- [10] S.H. Seo, and S.W. Jang, "Design and Implementation of a smart shoes module based on Arduino," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Korea Institute of information and Communication Engineering*, 2697-2702(6 pages), Nov. 2015.
- [11] M. Bansal, and L. Shricastava, "Performance Analysis of Wireless Mobile Adhoc Network with Different Types of Antennas," *HSST, ISSN : 2508-9080*, vol. 3, no. 1, pp. 33-44, Mar. 2017.
- [12] G. Y. Lee, J. T. Kim, and J. K. Park, "A Design of Parameterized SPI Slave Soft IP and its FPGA Verification," *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, Korea Institute Of Communication Sciences*, 938-939(2 pages), 2019.6.
- [13] H. J. Jo, J. W. Cheon, G. U. Park, M. C. Kwon, and S. W. Choi, "Design and Implementation of Artificial arm based on SPI communication," *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, Korea Institute Of Communication Sciences*, 938-939(2 pages), 2019.6.
- [14] Y. B. Lim, S. S. Ham, and B. S. Kim, "SPI Communication System Design and Implementation Using Line Driver for Feeder Terminal Unit," *Journal of the Korean Electrical Society, The Korean Institute of Electrical Engineers*, 598-599(2 pages), 2013.7.
- [15] Y. S. Song, S. M. Park, and Y. M. Kim, "A new firmware protocol for SPI targeted to low cost embedded applications," *Journal of Academic Presentation of the Korean Multimedia Society, Korea Multimedia Society, 2009.5*, 260-262 (3 pages).
- [16] J. H. Lee, Y. S. Shin, J. G. Kim, and B. K. Kwon, "The Power Module DC Measurement Method of Modular Multilevel Converter System using SPI Communication," *The Korean Institute of Power Electronics*, 2014.7, 53-54(2 pages).



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



김지성(Ji-Seong Kim)

2020년 2월 동의대학교 컴퓨터공학과 공학사
 졸업예정
 ※관심분야 : 영상처리, 모바일 소프트웨어,
 스마트 자동차, 데이터베이스