

노지 관수를 위한 로라 기반 환경 모니터링 시스템 구현[☆]

Implementation of an Environmental Monitoring System based on LoRa for Smart Field Irrigation

김 병 순^{1*}
Byungsoon Kim

요 약

노지 정밀농업에서 작물의 생육환경 측정을 위한 무선 센서 네트워크 기술이 중요시되고 있지만 무선 신호는 다양한 전파장애 요인들에 의해 통신 장애가 발생할 수 있다. 이 논문은 노지 관수를 위해 로라 기반 환경 모니터링과 일기예보 정보수집 시스템을 설계 및 구현하고 이를 테스트베드에 적용하였다. 그리고 장애물이 있는 환경과 장애물이 없는 환경, 비 오는 날과 비 오지 않은 날 각각에 대하여 사실 로라 네트워크의 패킷 손실률을 비교 분석하였으며, 장애물이 있는 로라 네트워크는 강우량이 많은 날은 패킷 손실에 민감함을 알 수 있었다.

☞ 주제어 : 무선 네트워크, 환경 모니터링, 정밀농업, 기상예보 수집

ABSTRACT

Wireless sensor network is important for precision farming to monitor the growth environment of crops in open field, but radio signals are susceptible to different types of interference such as weather and physical objects. This paper designs and implements an environmental monitoring and weather forecast acquisition systems for smart field irrigation based on LoRa(Long Range) and then applies it to a test bed. And we evaluate the network reliability in terms of packet transmission success rate by comparing its condition on two criteria; the existence of obstacle or rain. The results show that much rain falls can affect on packet loss in LoRa field networks with obstacles.

☞ keyword : wireless network, environmental monitoring, precision agriculture, weather forecast acquisition

1. 서 론

정보통신기술이 발전하면서 작물의 수확량 증대, 품질향상, 노동력 절감을 위해 정보통신기술이 농업에 적용되었으며, 초기의 스마트 팜 기술은 생육환경 수집에 초점을 맞추었으나 기술이 발전하면서 지금은 사물 인터넷, 빅데이터, 인공지능, 클라우드 기술을 적용한 지능형 자율 시스템 기술로 발전하고 있다.

노지의 유선 네트워크는 경작에 따른 단선이 빈번히 발생할 수 있어 노지는 무선 네트워크의 중요성이 아주 높게 요구되는 환경이다. 정밀농업에서 무선 네트워크는 센서 네트워크와 액추에이터(Actuator) 네트워크로 활용

되고 있다. 무선 센서 네트워크는 서로 무선으로 연결된 센서 노드들이 수집한 데이터를 하나의 데이터 수집 노드로 전송하기 위한 기술이다. 이것은 스마트 팜을 위해 작물의 생육 환경인 온도, 습도, 토양 수분 등 다양한 환경 데이터를 수집할 목적으로 활용된다. 그리고 무선 액추에이터 네트워크는 자율 시스템을 위한 장치들을 제어하기 위한 목적으로 활용된다.

노지의 환경적 제약조건으로 인해 노지 스마트 팜의 무선 네트워크는 다음과 같은 조건들이 요구된다.

- 작물의 생장이나 기후변화 때문에 전파장애가 발생할 수 있어 전파장애에 강한 무선 기술이 필요하다.
- 전기 부재로 인해 노드는 배터리로 동작되어 전력 소모량이 적어야 한다.
- 농가의 통신비용을 줄이기 위해 인터넷 데이터 사용량이 적어야 한다.
- 전파도달 거리가 길어야 한다.

¹ Dept. of Computer Education, Andong National Univ. GB, 36729, Korea

* Corresponding author (bsgim@anu.ac.kr)

[Received 14 October 2018, Reviewed 26 October 2018(R2 24 December 2018), Accepted 8 January 2019]

☆ 이 논문은 안동대학교 기본연구지원사업에 의하여 연구되었음

본 논문은 노지 농업의 환경적 특성을 반영한 자율 관수 시스템을 위해 로라 기반 환경 모니터링과 일기예보 수집 시스템의 구현에 목적을 둔다. 이를 위해 네트워크 및 응용 서버 없이 로라 사설 네트워크를 설계 및 구현하고 이를 테스트베드에 적용하여 장애물과 강우에 따른 사설 로라 네트워크의 신뢰성을 비교 분석한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장은 스마트 팜을 위한 무선 네트워크와 관련된 연구들과 로라의 특성에 관하여 기술한다. 3장은 데이터 수집 시스템의 구조와 각 구성요소의 구현 과정에 관하여 기술하고 구현된 시스템을 적용하기 위한 테스트베드에 대하여 설명한다. 4장은 테스트베드 적용을 통한 실험결과와 네트워크의 패킷 손실과 손실에 따른 원인에 대하여 살펴본다. 마지막으로 5 장에서는 결론을 제시한다.

2. 관련 연구

노지나 온실 환경에서 작물의 생육환경을 측정하거나 액추에이터를 제어하기 위해 RF(Radio Frequency) 통신, 셀룰러 네트워크, 와이파이, 지그비, 로라 등 다양한 무선 네트워크 기술을 이용한 네트워크 환경에 관한 연구가 이루어지고 있다.

이재권[1]은 WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access) 기술을 이용한 무선 센서 네트워크를 이용하여 환경 데이터를 수집하도록 설계하였고, 김두한[2]은 게이트웨이 노드가 2.4GHz 지그비를 이용하여 센서 노드로부터 환경 데이터를 수집하고 3세대 셀룰러 망을 이용하여 데이터 수집 서버로 데이터를 전송하는 구조를 사용하였다. Nooriman[3]은 망고 과수원에서 2.4GHz nRF24L01를 이용하여 센싱 데이터를 센서 노드로부터 게이트웨이 노드로 전달한 후 유선을 통해 데이터 수집 서버로 전달하는 네트워크 구조를 사용하였다. Ding[4]은 사과 과수원에서 생육환경 수집을 위해 CC2530 인 2.4GHz 지그비를 이용하였고, Ma[5]는 작물의 생육환경을 측정하기 위해 로라 네트워크를 이용하였으나 구현과 관련하여 자세히 기술하지 않았다. 마지막으로 조 홍규[6]는 온실 내의 무선 모니터링을 위해 와이파이를 이용하였고, 무선 액추에이터 네트워크를 위해 와이파이와 로라 두 개의 기술을 이용하여 구현하였다.

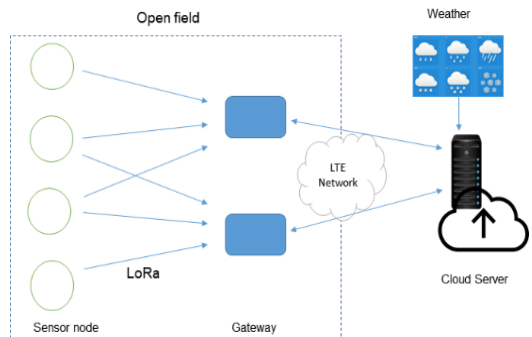
노지 환경의 무선 네트워크는 날씨 변화, 작물의 생장으로 인한 잎, 과실 등으로 인해 무선 신호의 전파장애가 발생할 수 있다. 따라서 우리나라의 ISM(Industry-Science-

Medical) 대역인 2.4GHz 와이파이 혹은 지그비 무선 기술 보다는 저주파를 사용한 무선 네트워크를 구현하는 것이 전파장애에도 견고하고 더욱 넓은 네트워크 영역을 구현할 수 있는 로라를 이용하는 것이 효과적일 것이다.

로라는 물리 층의 변조 기술로서 최대 거리 22Km까지 가능하며, 성형 네트워크 구조만 지원한다. 로라 물리 층은 넓은 전송 범위와 낮은 전력, 낮은 처리율(최대 50Kbps)의 통신기술로서 나라별로 사용하는 주파수 대역이 다르며[7], EU는 433MHz, 863~870MHz, 미국은 902~928MHz, 중국은 779~787MHz, 우리나라는 920~923MHz ISM 밴드를 사용한다[8]. 로라 광대역망(LoRaWAN)은 로라 물리 층 기반에서 동작하는 매체접근제어 프로토콜로서 원거리 네트워크를 구축할 때 사용하는 것으로 네트워크 서버와 응용 서버가 추가로 필요하다.

3. 노지의 환경 모니터링 시스템

3.1 시스템 구조



(그림 1) 로라 기반의 환경 모니터링 시스템 구조
(Figure 1) Environmental monitoring system architecture based on LoRa

노지 자율 관수를 위한 환경 모니터링 시스템 구조는 그림 1과 같이 3계층으로 구성하였다. 센서 노드와 게이트웨이 노드 구간은 로라 물리 층을 이용하여 사설 네트워크로 구성하고, 오직 게이트웨이 노드만 인터넷에 접속할 수 있는 셀룰러 네트워크를 사용하였다.

그림 2는 센서 노드와 게이트웨이 노드의 전송 패킷 형식을 나타낸 것이다. 센서 노드는 전송 패킷의 크기를 줄이기 위해 각 필드를 콤마로 분리한 형식을 사용하고, 게이트웨이 노드는 센서 데이터를 클라우드 서버로 전송하기 위해 JSON(JavaScript Object Notation) 형태로 변환

'H'	Firmware Version	Node ID	Voltage Value	Sensor Name 1	Sensor Value 1	...	Sensor Name N	Sensor Value N
-----	------------------	---------	---------------	---------------	----------------	-----	---------------	----------------

(a)

```

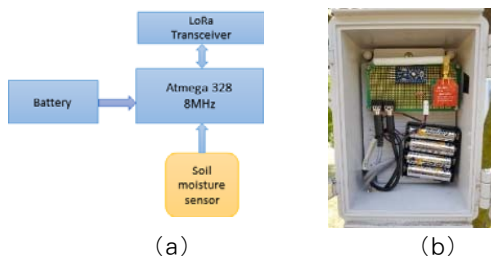
{
  Sensor name: sensor value,
  "devicetype" : "sensor",
  "firmware version" :firmware version,
  "vcc" :voltage value
  "Zone ID": gateway's mac address
}
    
```

(b)

(그림 2) 패킷 형식. (a) 센서 노드, (b) 게이트웨이 노드
(Figure 2) Packet format. (a) Sensor Node, (b) Gateway Node

된 형식을 사용한다. 센서 노드의 패킷은 'H'로 시작하고, 펌웨어 관리를 위한 펌웨어 버전, 송신 센서 노드의 주소, 배터리 교체 시기를 알려주기 위한 마이크로 컨트롤러의 현재 전압, 환경을 측정하기 위한 다수의 센서 이름과 센서값 등으로 구성된다. 게이트웨이 노드의 메시지는 센서 노드와 액추에이터 노드를 구별하기 위한 장치 유형과 게이트웨이 노드의 물리 층 주소 값이 추가로 포함된다.

그림 3은 센서 노드의 블록다이어그램과 프로토타입을 각각 나타낸 것이다. 쉽게 구현할 수 있는 아두이노 프로 미니 모델로서 전력 소모량이 적은 Atmega 328, 8MHz 마이크로 컨트롤러를 채택하고 전원은 1.5V 배터리 3~4개를 사용하였으며, Dragino사의 LoRa BEE v1.0 RFM95W 모듈은 최대 거리를 지원할 수 있도록 표 1과 같이 설정하였다. 그리고 센서 노드의 배터리 소모량을



(a)

(b)

(그림 3) 로라 기반 센서 노드. (a) 블록다이어그램, (b) 프로토타입

(Figure 3) Sensor node based on LoRa. (a) block diagram, (b) prototype

(표 1) 로라 모듈 설정값

(Table 1) LoRa module's Configuration

Parameter	Value
Chipset	RFM95W
Frequency	922.1MHz
Bandwidth	125kHz
Coding rate	CR4/5
Spreading factor	SF12
Transmission Power	14 dBm

줄이기 위해 아두이노 보드의 전원 표시 LED 제거, 로라 모듈의 무선 전송 없을 시 수면 상태 사용, 센서 노드에 대한 수면 상태를 구현함으로써 센서값을 측정할 때만 센서에 전원을 공급하도록 하였다.



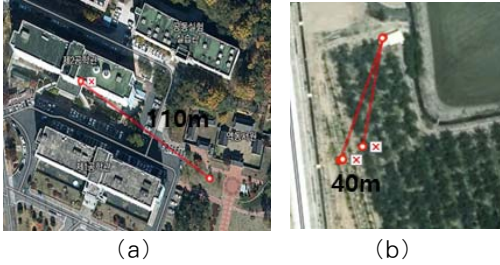
(그림 4) 로라 게이트웨이 노드의 프로토타입
(Figure 4) A LoRa gateway prototype

그림 4는 게이트웨이 노드의 프로토타입을 나타낸 것으로 라즈베리 파이 3과 공개 소스인 RadioHead를 이용하여 원시 센서 데이터를 JSON 형태로 변환하는 기능과 MQTT(Message Queuing Telemetry Transport) 방식으로 클라우드 서버와 메시지를 송수신할 수 있는 게이트웨이를 구현하였다. 따라서 센서 노드와 게이트웨이 노드의 로라 모듈은 같은 주파수를 사용하도록 설정해야 한다.

클라우드 서버는 공개 소스 플랫폼인 Thingsboard.io 사물 인터넷 플랫폼을 이용하여 데비안 리눅스 시스템상에 구축하였다.

일기예보 정보수집 모듈은 SK Weather Planet (<http://www.weatherplanet.co.kr>)으로부터 분 간격으로 발표되는 현재 날씨, 3시간 간격으로 발표되는 3일 예보, 12시간 간격으로 발표되는 3일 이후부터 10일까지의 중기 예보, 그리고 어제 날씨 등을 JSON 형태로 지역별로 PostgreSQL 데이터베이스에 저장한다.

3.2 테스트베드 구축



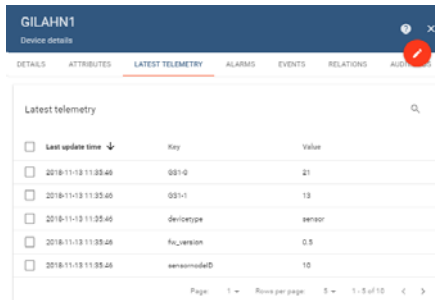
(그림 5) 테스트베드 지역. (a) 안동대학교, (b) 길안의 사과 과수원
 (Figure 5) Testbed place. (a) Andong University, (b) an apple orchard at Gilahn

토양 수분함량을 주기적으로 측정하기 위해 센서 노드에 Decagon의 GS-1 토양 수분 센서를 부착하여 경북 안동시 소재에 두 개의 로라 네트워크를 구축하였다. 안

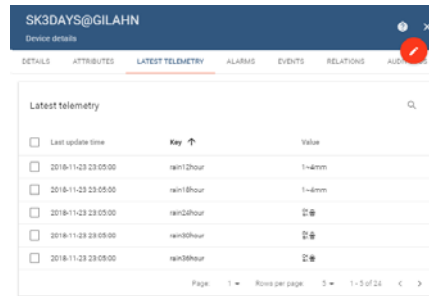
동대학교 내에 설치한 네트워크는 한 개의 토양 수분 센서를 갖는 한 개의 센서 노드로 구성되고, 센서 노드와 게이트웨이 노드 사이는 장애물이 거의 없으며 거리는 약 110m 떨어져 있고 게이트웨이 노드는 유선 네트워크를 이용하여 인터넷에 연결하였다. 두 번째 네트워크는 길안면의 사과 과수원에 두 개의 토양 수분 센서를 각각 가진 두 개의 센서 노드로 구성하였다. 또한, 센서 노드와 게이트웨이 노드 사이에 장애물인 사과나무들이 많지만, 거리는 약 40m 이내로 비교적 거리가 짧은 편이다. 그리고 게이트웨이 노드는 셀룰러 망을 이용하여 인터넷에 연결된다.

4. 실험결과

그림 6은 사설 로라 네트워크를 통해 데이터 수집 서버에 저장된 데이터와 기상예보 정보의 일부를 나타낸 것으로 가장 최근에 저장된 데이터가 표시된다.



(a)

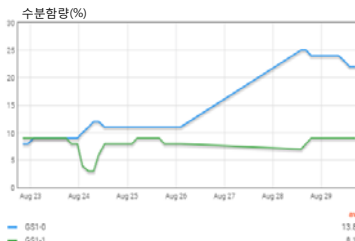


(b)

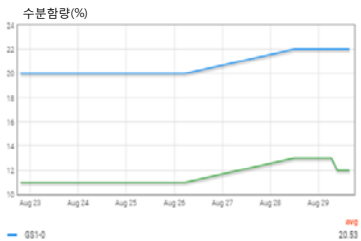
(그림 6) 수집된 데이터. (a) 센서 노드, (b) 3일 예보
 (Figure 6) Telemetry data. (a) from sensor node, (b) from 3 days forecast



(a)



(b)



(c)

(그림 7) 시각화된 데이터. (a) 안동대학교 내의 센서 노드, (b) 길안소재 사과 과수원의 센서 노드1, (c) 길안소재 사과 과수원의 센서 노드2

(Figure 7) Data visualization. (a) Sensor node at Andong university, (b) Sensor node 1 at an apple orchard in Gilahn, (c) Sensor node 2 at an apple orchard in Gilahn

그림 7은 3개의 센서 노드로부터 수집한 데이터를 Thingsboard의 대시보드 기능을 사용하여 시각화한 것으로, 데이터는 2018. 9. 3~2018. 9. 20 사이에 측정된 값만을 사용하였다. (a)의 그래프에서 토양 수분은 점차 감소하다가 8월 26일 갑자기 증가하였지만 (b)의 그래프는 8월 24일에 수분값이 약간의 변화가 있었고, 8월 26~29일 사이는 점진적으로 증가하였다.

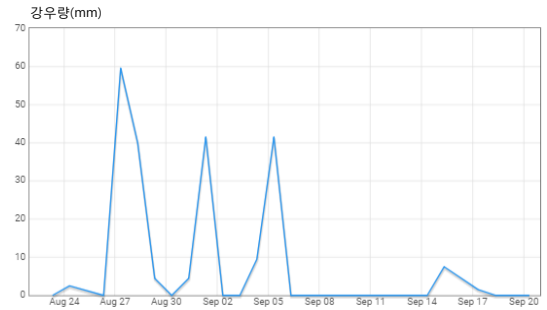
사실 무선 네트워크 구간에서 네트워크의 신뢰성을 분석하기 위해 게이트웨이 노드가 수신한 패킷들을 분석하였다.

(표 2) 네트워크 신뢰성 평가
(Table 2) Network reliability evaluation

Testbed	Andong University	Spot 1 at the apple orchard	Spot 2 at the apple orchard
Interval	2h 46m	3h 2m	2h 42m
Approximate distance	110m	35m	40m
Number of successful received packets	147	131	145
Total number of lost packets	1	6	7
Packet loss rate	0.6%	4.3%	4.6%
Number of lost packets	1 on 9.19	5 on 9.4 1 on 9.6	1 on 9.3 6 on 9.4
Rate of successful transmissions except rainy days	99.4%	99.3%	99.5%

표 2는 센서 노드로부터 게이트웨이 노드가 수신한 패킷과 손실된 패킷의 개수, 패킷 손실률, 패킷 손실이 발생한 날짜를 나타낸 것이다. 장애물이 없는 지역의 패킷 손실률은 거의 무시할 정도지만 장애물이 있는 지역의 패킷 손실률은 다소 높게 나타났다. 그리고 사과 과수원의 두 센서 노드는 장애물이 없는 네트워크보다 게이트웨이와의 거리가 훨씬 짧았음에도 불구하고 패킷 손실률은 4% 정도 더 높게 나타났다. 그리고 장애물이 있는 환경에서 패킷 손실이 특정한 날짜에 많이 발생했음을 알 수 있다.

그림 8은 기상예보를 수집한 것 중에서 2018. 8. 23~9. 20일 사이의 안동대학교와 안동시 길안면의 강수량을 나타낸 것으로 9월 5일의 값은 하루 전인 9월 4일의 강수량을 나타낸다. 표 2에서 오직 9월 4일에만 패킷 손실이 많



(a)



(b)

(그림 8) 날짜별 강수량. (a) 안동대학교, (b) 길안
(Figure 8) Rain falls. (a) Andong University, (b) Gilahn

이 발생하였는데, 9월 4일의 강수량은 안동대학교 50.5mm, 길안면 19.1mm였다. 따라서 무선 구간인 센서 노드와 게이트웨이 노드 사이에 장애물이 있는 환경에서 강수량이 많은 날의 패킷 손실이 많이 발생하였다.

장애물이 거의 없는 환경에서의 로라 기반의 무선 네트워크는 강수량이 많은 날에도 불구하고 패킷 전송 성공률이 99% 이상으로 네트워크 신뢰성이 높았다. 하지만 짧은 네트워크 거리이지만 장애물이 있는 환경에서 비가 오지 않는 날에는 패킷 전송 성공률이 99% 이상으로 높았지만, 강수량이 많은 날의 패킷 전송 성공률이 25~35% 정도밖에 안 될 정도로 강수량에 많은 영향이 있었음을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서 자율 관수 시스템을 위한 로라 기반 환경 데이터 수집과 일기예보 정보를 수집하는 시스템을 설계 및 구현하였다. 로라 기반 센서 노드와 게이트웨이 노드,

일기예보 수집 모듈, 노드 사이의 패킷 형식, 게이트웨이 노드와 서버 간의 프로토콜 등에 관하여 서술하였으며, 구현한 시스템을 두 지역의 테스트베드에 적용하여 노지에서의 로라 네트워크의 신뢰성을 비교 분석하였다.

분석한 데이터 집합이 작은 한계점이 있지만, 장애물이 없는 환경에서는 강우에 따른 무선 장애의 영향이 미미하였으나, 장애물이 있는 환경에서는 강우에 따른 무선 장애가 더 많이 발생함을 알 수 있었다.

참고문헌(Reference)

- [1] J. Lee, and Y. Kwak, "Design and Implementation of the protocol of Data Collectors in Sensor Networks," JKIIIT Vol. 12, No 5: 73-79, 2014.
<http://www.dbpia.co.kr/Journal/ArticleDetail/NODE02411889>
- [2] D. Kim, S. Chung, K. Lee, C. Choi, T. Choi and Y. Kim, "Development of Real-Time Environmental Field Monitoring System", Proceeding of The Korean Society of the Agriculture machinery 21(1): 247-248, 2016.
[http:// http://210.101.116.28/W_files/kiss2/04805588_pv.pdf](http://210.101.116.28/W_files/kiss2/04805588_pv.pdf)
- [3] W. M. Nooriman, A.H. Abdullah, N. Rahim and K. Kamarudin, "Development of wireless sensor network for Harumanis Mango orchard's temperature, humidity and soil moisture monitoring", IEEE Symposium on Computer Application & Industrial Electronics, pp. 263-268, 2018.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/8405482>
- [4] D. Ding, Y. Chang, H. Wang, J. Li and X. Li, "Design and Implementation of Orchard Environment Monitoring System on WSN", 2nd International Conference on Communication, Information Management and Network Security, 2017.
https://www.researchgate.net/publication/322239028_Design_and_Implementation_of_Orchard_Environment_Monitoring_System_Based_on_WSN
- [5] Y. Ma, J. Ma, and L. Chen, "Toward intelligent agriculture service platform with lora-based wireless sensor network", IEEE International Conference on Applied System Invention, pp. 204-207, 2018.
<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8394568>
- [6] H. Jo, H. Choi, D. Kim and J. Lee, "Design and Implementation of Smart Farm Wireless Network: LoRa ad IEEE 802.11 Wireless backhaul Network", The Journal of Korea Institute of Communications and Information Sciences, Vol. 43, No. 5, pp. 850-862, 2018.
- [7] Augustin, J. Yi, T. Clausen and W. Townsley, "A study of LoRa: Long Range & Low Power Networks for the Internet of Things", Sensors, Vol. 16, No. 9, 2016.
<https://www.thomasclausen.net/wp-content/uploads/2016/09/2016-A-Study-of-LoRa-Long-Range-Low-Power-Networks-for-the-Internet-of-Things.pdf>
- [8] LoRa Alliance Technical committee, "LoRaWAN Regional Parameters", V1.1, 2018.
https://loro-alliance.org/sites/default/files/2018-04/lorawantm_regional_parameters_v1.1rb_-_final.pdf

◎ 저 자 소 개 ◎



김 병 순(Byungsoon Kim)

1991년 서강대학교 전자계산학과(이학사)
 1993년 서강대학교 대학원 전자계산학과(이학석사)
 2003년 경북대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학박사)
 2003년 9월 ~ 현재 안동대학교 컴퓨터교육과 교수
 관심분야 : IoT, 스마트 팜, 컴퓨터 네트워크, etc.
 E-mail : bsgim@anu.ac.kr