

논문 2015-10-25

Wi-Fi Direct 망을 위한 부하량 예측 기반의 전력 절감 기법

(Adaptive Power Saving Protocol Based on Traffic Estimation for Wi-Fi Direct Networks)

유홍석, 박양우, 이채수, 윤태진*

(Hongseok Yoo, Yang-Woo Park, Chae-Soo Lee, Tae-Jin Yun)

Abstract : Wi-Fi Direct allows battery powered mobile devices to form a wireless ad hoc network. Since one member of the network called Group Owner (GO) takes the role of managing the network, the network lifetime is mainly affected by the energy efficiency of GO. Hence, Wi-Fi Direct defines power saving schemes that allow GO to save the energy by turning off its radio interface during the periods called absence periods. However, the Wi-Fi Direct specification does not specify how to set parameters (denoted by PS parameters) determining the schedule of the absence periods. In this paper, we therefore propose a novel traffic-aware power saving scheme for Wi-Fi Direct networks. In particular, the proposed scheme estimates the application-level traffic load and adaptively tunes the PS parameters according to the estimated value.

Keywords : D2D, Wi-Fi Direct, Power saving, IoT

1. 서론

최근에 스마트 폰 및 스마트패드와 같은 모바일 디바이스의 빠른 보급과 함께 셀룰러 망의 트래픽 과부하 문제가 대두되기 시작했다. 많은 전문가들은 셀룰러 망 과부하 문제를 해결하기 위해서 사용자들에게 좀 더 다양한 모바일 통신 인프라를 제공해야 된다고 주장하고 있고 단말기 간 직접통신(Device-to-device communication, D2D)에 주목하고 있다. D2D는 기지국 및 Access Point (AP)와 같은 인프라의 경유 없이 트래픽 교환이 단말기 간에 직접적으로 이루어지도록 하는 기술이다. D2D 기술은 망사업자에게는 저렴한 비용으로 망 부하를 줄일 수 있는 수단을 제공하며 응용서비스 사업자에게는 새로운 비즈니스 모델을 찾을 수 있는 기회를 제공한다.

Wi-Fi Direct는 Wi-Fi Alliance에서 제정한 D2D 표준으로 스마트 폰을 포함한 다양한 모바일 디바이스에 탑재되면서 널리 알려지게 되었고 Internet of Things (IoT)를 위한 접속(connectivity) 기술로 각광받고 있다 [1]. Wi-Fi Direct 표준에 따르면 단말들은 통신에 앞서 기존 Wi-Fi 시스템의 IBSS와 유사한 그룹을 형성한다. 그룹 멤버 중 하나는 Group Owner (GO)로 지정되고 그룹 관리 및 그룹 멤버들 사이의 패킷 전송에 관여한다. 특히 GO는 그룹 관리를 위한 주기적인 비컨 전송과 같은 AP의 역할을 수행하기 때문에 Soft AP라고도 불린다. 하지만 상시적으로 전력을 공급받는 AP와 달리 GO는 그룹의 나머지 멤버인 Group Client (GC)들과 똑같이 배터리로부터 전력을 공급받기 때문에 GO의 효율적인 전력사용은 Wi-Fi Direct 망의 수명을 결정짓는 요소가 된다. 그래서 Wi-Fi Direct 표준 [2]은 GO를 위한 전력 절감 기법인 Opportunistic Power Saving (OPS)와 Notice of Absence (NoA) 기법을 정의한다.

공통적으로 두 기법은 연속된 두 비컨 전송 사이의 시간 간격(비컨 구간)을 두 종류의 구간

*Corresponding Author (tjyun@ikw.ac.kr)

Received: 4 May 2015, Revised: 20 May 2015,

Accepted: 5 June 2015.

H. Yoo, Y.-W. Park, C.S. Lee, T.-J. Yun:

Kyungwoon University

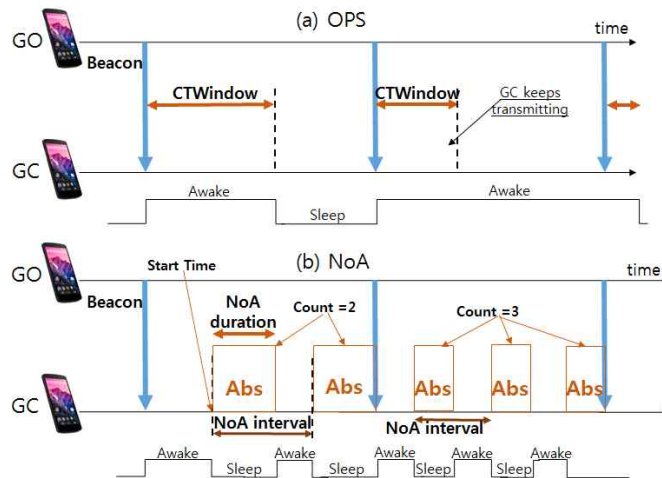


그림 1. OPS와 NoA의 동작

Fig. 1 Operation of OPS and NoA

(absence/presence)으로 분할한다. absence 구간 동안 GO는 sleep 모드로 진입한 후 라디오 인터페이스 사용 중지 등을 통해 전력 사용을 최소화한다. 그리고 presence 구간 동안 GO는 전력 사용을 제한하지 않는 awake 모드에 머물게 되고 이 구간에서만 GO와 GC사이의 전송이 시작 될 수 있다. 따라서 응용의 QoS (Quality of Service)는 OPS와 NoA에 의해 결정된 absence/presence 구간의 분포 형태에 영향을 받는다.

OPS와 NoA는 서로 다른 absence/presence 구간 스케줄링 방식을 사용한다. OPS는 한번의 presence 구간을 비컨 구간의 시작시점에 배치하고 NoA는 다수의 presence 구간을 주기적으로 배치한다. presence 구간이 아닌 나머지 구간은 absence 구간이 되고 동작의 특성상 멀티미디어 스트리밍과 같이 주기적으로 메시지를 전송하는 P2P 응용에는 OPS 보다 NoA가 적합하다.

각 구간의 주기 및 길이는 OPS와 NoA 기법에 정의되어 있는 파라미터의 값에 따라 결정된다. 하지만 Wi-Fi Direct 표준은 파라미터의 값을 설정하는 방법을 제시하지 않았다. 특히 응용의 트래픽 발생 패턴에 따라 최적의 absence/presence 분포 패턴은 달라 질 수밖에 없다[3, 4]. 그래서 본 논문에서는 주기적으로 트래픽을 발생시키는 P2P 응용을 위한 NoA의 파라미터 설정 기법 (Traffic-aware NoA, TaNoA)을 제안한다. TaNoA는 응용의 QoS 하락을 피함과 동시에 전력 절감을 최대화하기 위해서 그룹 멤버들의 트래픽

부하량을 예측한다. 그리고 기존의 방식과 달리 사전에 알려진 트래픽 부하량이 아닌 예측된 부하량에 기반 해서 absence/presence 구간을 동적으로 스케줄링한다.

이후 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 OPS & NoA 기법의 동작과 두 기법의 성능을 향상시키기 위해 지금까지 제안되어온 방법에 대해서 소개한다. 본 논문에서 제안하는 TaNoA 기법은 III장에서 설명되고 TaNoA의 성능 평가는 IV장에서 이루어진다. V장에서는 향후 연구내용을 소개하면서 논문을 결론짓는다.

II. 관련 연구

1. Wi-Fi Direct Power Saving Protocols

그림 1은 OPS 와 NoA의 동작을 묘사한다. OPS에서 presence 구간은 비컨 전송이 완료된 시점부터 시작해서 CTWindow 구간 동안 지속된다. GO는 GC 들에게 CTWindow 구간의 길이를 알려 주기 위해서 비컨이나 Probe Response와 같은 제어 메시지에 그 구간의 길이를 명기해서 전송한다. GO 와 GC 사이의 전송은 그 구간 안에서 시작될 수 있다. 만약 CTWindow 구간 동안 GC들의 전송이 완료되지 않는다면 CTWindow 구간이 종료되더라도 GO는 sleep 모드로 진입하지 않고 다음 비컨 전송 시까지 계속해서 awake 모드에 머무른다.

NoA는 다수의 presence 구간을 정의한다. OPS에서는 GO의 presence 구간 스케줄이 GC들

의 동작에 의해 변경될 수 있지만 NoA 에서는 아래의 4가지 파라미터에 의해 결정되는 *presence* 구간에서만 GO와 GC사이의 전송이 이루어 질 수 있다. 각 파라미터의 정의는 표준 [2]에 사용된 문구를 그대로 인용하였다. 이후 논문에서 4가지 파라미터를 NoA 파라미터라고 부른다.

- Start Time: The Start Time field shall indicate the start time of the timing schedule.
- Duration: The Duration field shall indicate the length of each absence.
- Interval: The Interval field shall indicate the absence interval.
- Count: The Count field shall indicate the 17 number of absences. If the Count value is equal to 255, the cycle shall repeat until cancelled.

2. OPS & NoA 파라미터 설정 기법

[3]에서 Adaptive Single Presence Period (ASPP)와 Adaptive Multiple Presence Periods (AMPP)이 제안되었다. 두 방법은 GO가 GC들에게 이동통신망에 대한 접근을 제공하기 위한 테더링 시나리오 상에서 *CTWindow* 와 NoA 파라미터를 효과적으로 설정하는 방법을 다룬다. 전력 사용과 응용 단 QoS 사이의 균형을 맞추기 위해서 두 방법은 GO와 이동통신망 사이의 링크에서 제공 가능한 대역폭에 기반 해서 *presence* 구간의 길이를 조정한다. ASPP는 OPS와 NoA에 모두 적용될 수 있는 기법인 반면 AMPP는 NoA에만 적용될 수 있는 기법이다. 성능 평가 결과를 보면 두 방법 모두 가용한 대역폭 변화에 적절히 대응하여 *presence* 구간의 길이는 조절하는 것을 확인할 수 있다. 특히 AMPP는 처리량 및 전력절감 측면에서 ASPP보다 우수한 성능을 제공한다. 하지만 테더링 제외한 다른 응용에는 수정 없이 적용이 불가능하다.

[4] 에서 향상된 OPS 기법인 Temporary *CTWindow* (TCTW) 기법이 제안되었다. OPS에 따르면 *CTWindow* 구간이 끝나는 지점에서 sleep 모드로 전환하지 않은 GC가 있다면 GO는 남은 비컨 구간 내내 *awake* 상태에 머물게 된다. 따라서 *CTWindow* 구간 이후에 GC가 간헐적으로 메시지를 전송하더라도 GO는 *sleep* 모드로 진입하지 못하고 에너지를 낭비하게 된다. 이 문제를 해결하기 위해서 TCTW 기법은 *CTWindow* 구간 이후에

TCTW라고 불리는 *presence* 구간을 주기적으로 삽입한다. TCTW 구간의 삽입 주기는 응용의 메시지 전송 주기에 기반 해서 계산된다. 하지만 TCTW 기법의 저자들은 메시지 전송 주기를 계산하는 방법을 제시하지 않았다. 게다가 비록 TCTW 기법은 OPS 보다 우월한 성능을 보일지 모르나 표준과 호환되지 않는 문제를 가진다. 따라서 주기적으로 메시지를 전송하는 응용을 위해서는 NoA 기법의 파라미터를 적절히 조절하여 *presence* 구간을 스케줄링하는 것이 바람직하다.

III. TaNoA: Traffic-aware NoA

NoA 기법은 *absence*와 *presence* 구간이 번갈아 반복 되도록 한다. 반복 일정은 4가지 파라미터 값에 의해 결정된다. *StartTime*은 반복 스케줄의 시작 시점을 나타내고 *Interval*은 인접한 두 *absence* 구간 사이의 시간 간격에 해당한다. 그리고 *Duration* 은 *absence* 구간의 길이이고 *Count*는 하나의 비컨 구간 안에 배치할 *absence* 구간의 총 개수이다. *absence* 구간을 제외한 나머지 구간은 *presence* 구간에 해당한다. TaNoA는 응용의 트래픽 양에 따라 4가지 파라미터의 값을 적절히 조절하여 *absence/presence*구간의 최적 분포를 결정한다.

TaNoA에서 GO는 자신뿐만 아니라 그룹의 각 GC들이 새롭게 시작되는 비컨 구간 안에서 발생시킬 트래픽의 총합 (M)을 다음 설명에 따라 예측한다. GO는 각 GC로부터 메시지를 수신할 때마다 응용 단의 타임스탬프 값과 메시지 크기를 지속적으로 수집한다. 그리고 새로운 비컨 구간이 시작될 시점에 직전 비컨 구간 동안 수집된 정보에 기반 해서 각 GC의 메시지 전송 주기와 메시지 크기의 평균을 계산한다. GO 또한 동일한 방식에 따라 자신의 메시지 전송 주기와 크기를 계산한다. GO를 포함한 그룹의 멤버를 $g(0 \leq i < N, N: \text{그룹 구성원의 수})$ 라고 표기하고 각 구성원의 평균 메시지 전송 주기와 크기를 각각 $p(g_i)$ 및 $s(g_i)$ 라고 표기하면 M은 식 (1)에 따라 계산된다. BI는 비컨 구간의 길이를 나타낸다. 일반적으로 100 ms이다.

$$M = \sum_{i=0}^{N-1} s(g_i) \cdot \frac{BI}{p(g)} \quad (1)$$

M이 결정되면 GO는 전송 에러가 없는 이상적인 채널을 가정한 후 *presence* 구간의 합이 M/r_{tx}

가 되도록 아래의 설명에 따라 4가지 파라미터 값을 계산한다. r_{tx} 는 전송 데이터율(data rate)을 나타낸다.

개별 *presence* 구간의 길이 ($T_{presence}$)가 길수록 그 구간 안에서 많은 데이터 전송이 이루어 질 수 있다. 하지만 P2P응용의 메시지 전송 시점이 주어진 *presence* 구간 안에 집중되어 있지 않으면 채널이 사용되지 않고 낭비되는 구간이 증가할 수밖에 없다. 또한 $T_{presence}$ 가 길수록 각 *presence* 구간 사이의 시간 간격이 함께 길어지기 때문에 전송 지연으로 인한 응용 단 QoS 하락이 심각해진다. 반면에 개별 *presence* 구간이 짧아서 모든 구성원 각각이 적어도 한 번의 전송 기회를 잡을 수 없다면 자원 사용에 공정성 (fairness)이 떨어진다. 따라서 TaNoA는 *presence* 구간 동안 모든 구성원에게 공평하게 전송 기회를 줌과 동시에 가능한 *presence* 구간을 짧게 설정하여 채널 낭비와 전송 지연으로 인한 성능하락을 피하기 위해서 식 (2)에 따라서 $T_{presence}$ 를 계산한다.

$$T_{presence} = \frac{MTU + O_{ctrl}}{r_{tx}} + MaxCont \quad (2)$$

식 (2)에 따르면 하나의 $T_{presence}$ 는 그룹의 각 구성원이 최대 MTU (Maximum Transmit Unit) 크기의 패킷을 한 번씩 전송하는데 필요한 시간에 해당한다. O_{ctrl} 은 MAC 계층의 제어 메시지 크기를 $MaxCont$ 는 MAC 계층 경쟁에 의한 최대 지연시간을 나타낸다.

앞서 언급되었듯이 TaNoA는 총 *presence* 구간의 합이 M/r_{tx} 와 일치시키기 위해서 *StartTime* 을 $T_{presence}$ 로 설정하고 *Count* 값은 $\left\lfloor \frac{N_{pkt}}{N_{group}} \right\rfloor - 1$ 으로 설정한다. N_{group} 은 그룹 구성원의 수를 의미한다. 그리고 N_{pkt} 는 M에 해당하는 트래픽을 전송하기 위해서 필요한 최소 패킷의 수를 의미하고 $\left\lfloor \frac{M}{MTU - O_{hdr}} \right\rfloor$ 에 해당한다. O_{hdr} 은 프로토콜 헤더의 총합을 의미한다. $T_{presence}$ 와 *Count* 값이 주어지면 *Duration*과 *Interval*은 식 (3)에 의해 계산된다.

$$\begin{aligned} Duration &= \frac{BI - T_{presence}}{Count} \\ Interval &= Duration + T_{presence} \end{aligned} \quad (3)$$

TaNoA는 전송 오류로 인해 재전송이 발생하는 현상을 *presence* 구간 횡수를 결정하는데 반영하기 위해서 앞서 계산된 *presence* 구간의 횡수 *Count*+1에 $(1+r_{tx})$ 을 곱하여 최종 *presence* 구간의 횡수를 도출한다. r_{tx} 은 0과 1사이의 값이고 재전송율을 나타낸다. Wi-Fi Direct에서 모든 트래픽은 GO를 경유하기 때문에 재전송율 측정은 GO에서 용이하게 이루어 질 수 있다. GO는 새로운 비컨 구간이 시작할 때마다 직전 구간에서의 재전송율을 계산한다. 그리고 r_{tx} 는 각 구간에서 측정된 재전송율의 가중이동평균으로 설정한다. 평균 계산 시에 최근에 측정된 재전송율의 비중을 높이기 위해서 가중치는 0.7로 설정한다.

IV. 성능 평가

본 절에서는 ns-2를 사용하여 제안한 방법의 성능을 평가한다. 가장 최신인 2.35 버전의 ns-2는 SINR 누적, MAC 프레임 캡처, 다양한 부호화 기법 지원 등을 통해서 실제에 매우 가까운 IEEE 802.11 모델을 제공 한다[5]. 시뮬레이션의 현실성을 높이기 위해서 라디오 전파 모델은 확률 기반의 Nakagami 모델로 설정하였고 전송 전력은 0.1watt 설정하였다. 변조방식은 BPSK로 코딩율은 1/2로 설정하여 데이터율이 6Mbps가 되도록 하였다.

10m x 10m의 영역에 5개의 단말을 임의의 위치에 배치하였다. 하나의 단말은 GO로 나머지 단말은 GC로 동작하도록 설정하였다. 각 GC는 MTU(=2048bytes)에 해당하는 패킷을 p 주기로 GO에게 전송한다. p 값은 5ms과 20ms사이에서 무작위로 선정된다. GC는 50ms과 150ms사이에서 무작위로 선정된 시간 마다 p 값을 변경한다.

TaNoA의 성능은 전체 *absence* 구간의 길이를 비컨 구간의 50%로 설정한 NoA 기법 (NoA[50])과 0%로 설정한 기법 (NoA[0])의 성능과 비교하였다. 측정된 성능 지표는 처리량과 Energy Consumption Rate (ECR)이다. 처리량 계산식은 $\frac{T_{total}}{BI}$ 과 같고 T_{total} 은 비컨 구간 동안 수신한 트래픽의 총합에 해당한다. ECR 계산식은 $\frac{D_{presence}}{BI}$ 와 같고 $D_{presence}$ 는 비컨 구간동안의 전체 *presence* 구간의 합을 나타낸다. 우리는 시간의 흐름에 따라 처리량과 ECR을 측정하였다. 실험 시간은 10초이다.

그림 2에서 나타나 있듯이 TaNoA는 예측된 트

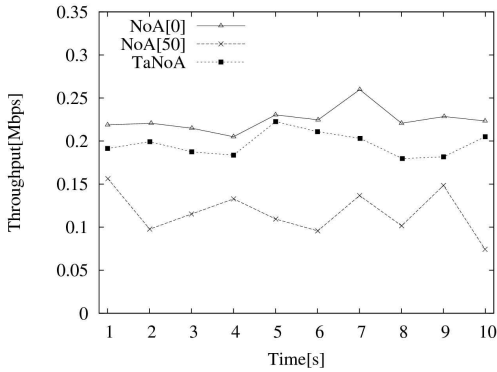


그림 2. Throughput 비교
Fig. 2 Throughput comparisons

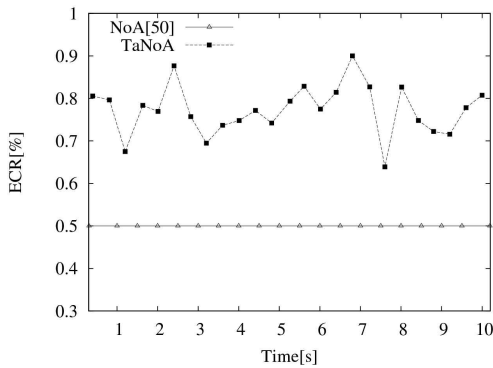


그림 3. ECR 비교
Fig. 3 ECR comparisons

래픽 양에 따라 presence 구간을 적응적으로 조절하기 때문에 에너지 절감을 사용하지 않는 NoA[0]의 처리량을 띄어 넘지는 못하지만 근접한 성능을 보인다. 반면 그림 3에 나타나 있듯이 TaNoA는 NoA[0]보다 평균적으로 22.7%의 에너지 절감 효과를 제공한다. 그리고 NoA[50]는 평균적으로 TaNoA보다 우수한 ECR을 보이지만 처리량 측면에서 TaNoA보다 40.6%로 낮은 성능을 제공한다. 결론적으로 실험결과는 통해 TaNoA가 ECR과 처리량 사이에서 발생할 수 있는 trade-off를 트래픽량 변화에 따라 적절히 조절할 수 있음을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서 제안된 TaNoA에서 Group Owner (GO)는 수신한 메시지의 타임스탬프를 이용하여 응

용레벨의 트래픽 부하량을 예측한다. 그리고 그 부하량에 따라서 presence/absence 구간의 스케줄을 적응적으로 결정한다. 특히, TaNoA는 네트워크를 구성하는 Wi-Fi Direct 단말들에게 공평한 전송기회를 제공함과 동시에 불필요한 채널 낭비를 막을 수 있도록 presence/absence 구간의 스케줄을 조정한다. NS-2를 이용한 실험에서 TaNoA는 처리량 및 에너지 소비율 사이의 균형을 고정된 비율의 presence/absence 구간을 사용하는 NoA 기법들 보다 효과적으로 조절하는 것을 확인하였다.

References

- [1] <http://readwrite.com/2013/09/10/what-is-wi-fi-direct>
- [2] Wi-Fi Alliance, P2P Technical Group, "Wi-Fi Peer-to-Peer (P2P) Technical Specification v1.1," 2010.
- [3] D. Camps-Mur, A. Garcia-Saavedra, P. Serrano, "Device to device communications with wifi direct: overview and experimentation," IEEE Wireless Communications, Vol. 20, No. 3, pp. 96-104, 2012.
- [4] Y. Seo, Y. Ko, "Dynamic Power Management For Energy Efficient Wi-Fi Direct," Journal of Korean Institute of Communications and Information Science, Vol. 38, No. 8, pp.663-671, Aug. 2013 (in Korean).
- [5] Q. Chen, F.S. Eisenlohr, D. Jiang, M.T. Moreno, L. Delgrossi, H. Hartenstein, "Overhaul of IEEE 802.11 modeling and simulation in NS-2," Proceedings of The 10th ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems, 2007.

Hongseok Yoo (유 흥 석)

He received the BS and MS degrees in computer engineering from Kyungpook National University, Daegu, Korea, in 2005 and 2007, respectively. He also obtained the

PhD degree in computer science and engineering from Kyungpook National University in 2014. Between 2007 and 2008, he worked as a visiting researcher at DGIST, Korea. He is currently an assistant professor with the Department of Mobile Engineering at Kyungwoon University, Gumi, Korea. His research interests include protocol design and implementation in D2D communications, Internet of Things, vehicular ad-hoc networks, wireless sensor networks.

Email: hsyoo@ikw.ac.kr

Yang-Woo Park (박 양 우)

He received the BS and MS degrees in electronic engineering from Kyungpook National University, Daegu, Korea, in 1988 and 1990, respectively. He

also obtained the PhD degree in electronic engineering from Kyungpook National University in 2000. Between 1991 and 1994, he worked as a full-time instructor with the Department of Electronic Engineering at Korean Air Force Academy, Korea. He is currently an associate professor with the Department of Mobile Engineering at Kyungwoon University, Gumi, Korea. His research interests include Digital Signal Processing, Embedded SW and System.

Email: ywpark@ikw.ac.kr

Chae-Soo Lee (이 채 수)

He received the BS and MS degrees in electronics engineering from Kyungpook National University, Daegu, Korea, in 1994 and 1996, respectively. He

also obtained the PhD degree in electronics engineering from Kyungpook National University in 2000. He is currently a professor with the Department of Mobile Engineering at Kyungwoon University, Gumi, Korea. His research interests include image processing, color reproduction, mobile contents and Internet of Things.

Email: leecs@ikw.ac.kr

Tae-Jin Yun (윤 태 진)

He received the BS and MS degrees in computer engineering from Kyungpook National University, Daegu, Korea, in 1994 and 1996, respectively.

He also obtained the PhD degree in computer engineering from Kyungpook National University in 2012. He is currently an associate professor with the Department of Mobile Engineering at Kyungwoon University, Gumi, Korea. His research interests include RFID communication protocol design using AES encryption algorithm, Internet of Things, wireless sensor network, RTOS.

Email: tjyun@ikw.ac.kr