

IEEE 802.11 무선랜 시스템에서 데이터 Aggregation을 통한 RFID 물류정보 전송방법의 효율성 분석

최우용*

동아대학교 산업경영공학과

Efficiency of Transmission Method for RFID Logistics Information by Data Aggregation in IEEE 802.11 Wireless LANs

Woo-Yong Choi

Department of Industrial and Management Systems Engineering, Dong-A University, Busan 604-714, Korea

In this paper, we analyze the effect of the data aggregation level on the MAC performance when RFID (Radio Frequency Identification) logistics data, which can be aggregated at RFID readers to reduce the transmission overhead, are transmitted in IEEE 802.11 wireless LANs. For various data aggregation levels, the throughputs and latencies of the DCF (Distributed Coordination Function) and PCF (Point Coordination Function) MAC protocols are analyzed by computer simulation. From the simulation analysis, we propose the appropriate input traffic load for real-time RFID logistics data transmitted in IEEE 802.11 wireless LANs.

Keywords: Logistics Information, Wireless LAN, Data Aggregation

1. 서론

현재 정보통신의 발전은 크게 “액세스망의 무선화”와 “액세스망과 인프라망의 광대역화”의 두 가지 키워드를 가지고 진행되고 있다고 할 수 있다. 특히 RFID(Radio Frequency Identification) 기술의 발전으로 인하여 모든 사물의 정보를 무선으로 전달할 수 있으며 광대역 무선랜을 통하여 RFID 정보를 물류정보시스템을 비롯한 각종 정보시스템에서 수집하여 의사결정을 용이하게 할 수 있다.

RFID 기술에서 각 사물의 정보를 코드 형태로 가지고 있는 tag는 필요한 모든 전력을 자신의 배터리를 통하여 스스로 공급하는지, reader로부터 모든 전력을 공급받는지 아니면 필요한 일부의 전력은 자신의 배터리를 통하여 스스로 공급하고 나머지 필요한 전력은 reader를 통하여 공급받는지에 따라서 active tag, passive tag 혹은 semi-passive tag로 분류할 수 있다. 이러한 각종 tag를 지원하는 기술을 위한 표준화 작업은 현재

표준화 단체인 EPCglobal에서 이루어지고 있다(EPCglobal). IEEE 802.11 무선랜을 위하여 물리 계층에서 1Mbps 혹은 2Mbps의 전송률을 지원하기 위한 기술이 개발된 이후 물리 계층에서 11Mbps를 지원하기 위한 IEEE 802.11b 기술이 개발되었으며 물리 계층에서 54Mbps를 지원하기 위한 IEEE 802.11a, g 기술이 개발되었다(IEEE Std 802.11 (1999), IEEE Std 802.11a (1999), IEEE Std 802.11b (1999), IEEE Std 802.11g (2003)). 현재는 MAC 계층에서 100Mbps 이상의 전송률을 지원하기 위한 새로운 MAC 프로토콜을 IEEE 802.11n 테스크 그룹에서 개발하고 있는데 이를 통하여 물리 계층에서 200Mbps 이상의 전송률을 지원할 수 있을 것으로 기대하고 있다(IEEE 802.11n draft 2.0 (2007)).

RFID 기술을 통하여 각 tag는 근접한 RFID reader로 자신의 RFID 정보를 전송할 수 있지만 tag의 전송거리가 일반적으로 제한적(최대 약 수십 m)이기 때문에 tag의 RFID 정보를 인터넷을 비롯한 인프라망에 전달하기 위해서는 별도의 액세스망이

본 연구는 2008년 NURI 항만물류사업단의 산학연관공동연구과제 지원으로 이루어졌음.

* 연락저자 : 최우용, 604-714 부산광역시 사하구 하단2동 840번지 동아대학교 산업경영공학과, Tel : 051-200-7696, Fax : 051-200-7697,

E-mail : wychoi77@dau.ac.kr

2008년 12월 17일 접수; 2009년 1월 23일 수정본 접수; 2009년 1월 30일 게재 확정.

필요하다. RFID 정보를 인프라망에 전달하기 위한 무선 액세스망으로 무선랜을 생각할 수 있는데 무선랜을 통하여 tag로부터 발생하는 대용량의 RFID 물류정보를 물류정보시스템에 전달할 수 있을 것이다. 그러나 EPCglobal의 표준에 따르면 코딩 방식에 따라 차이가 있지만 가장 복잡한 코딩 방식의 경우 tag로부터 전송되는 코드의 길이는 195bits로 제한되는데 이는 무선랜에서 전송 가능한 최대 데이터의 길이인 18496bits에 비하여 매우 작다(EPCglobal, IEEE Std 802.11 (1999)). 따라서 대량의 RFID 물류정보가 무선랜을 통하여 전송될 경우 무선랜 패킷을 전송하는데 필요한 오버헤드가 상대적으로 매우 커짐으로 인하여 무선랜의 전송효율이 매우 낮아지는 문제점이 발생할 수 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 현재 IEEE 802.11n 태스크 그룹에서 논의되고 있는 데이터 aggregation 기술을 생각할 수 있다(IEEE 802.11n draft 2.0 (2007)). IEEE 802.11n 태스크 그룹에서 논의되고 있는 데이터 aggregation 기술은 크게 두가지인데 MSDU(MAC Service Data Unit) aggregation과 MPDU(MAC Protocol Data Unit) aggregation이 그것이다. MSDU aggregation에 따르면 무선랜 단말의 MAC 계층은 상위 계층으로부터 전달되어 동일한 수신자로 전송해야하는 여러 개의 MSDU를 하나의 MPDU로 구성하여 무선랜을 통하여 전송하고 이에 대한 ACK 프레임은 수신자로부터 하나만 받음으로써 무선랜 패킷을 전송하는데 필요한 상대적인 오버헤드를 줄일 수 있다. 그리고 MPDU aggregation에 따르면 무선랜 단말의 MAC 계층에서 동일한 수신자로 전송해야하는 여러 개의 MPDU를 하나의 PSDU(PHY Service Data Unit)로 구성하고 이에 대한 ACK 프레임은 수신자로부터 각 MPDU별로 받는다. MPDU aggregation으로 전송된 여러 개의 MPDU를 하나의 PPDU(PHY Protocol Data Unit)로 수신한 무선랜 단말은 반드시

block ACK 방식에 따라서 ACK 프레임을 전송해야 한다. Block ACK 방식에 의하여 수신자는 각 MPDU의 정상적인 수신여부를 하나의 ACK 프레임을 통하여 발신자에게 알려줄 수 있다.

무선랜에서 데이터 aggregation의 효율성을 분석하기 위하여 기존의 연구에서는 주로 데이터 aggregation을 통하여 DCF(Distributed Coordination Function) 혹은 EDCA(Enhanced Distributed Channel Access) 프로토콜의 MAC throughput이 향상된다는 것을 입증하고자 하였다(Chen, Emeott and Choudhury, 2005; Kim, Choi, Jang and Hwang, 2004; Lin and Wong, 2006; Skordoulis *et al.*, 2008). 실시간 RFID 물류정보가 무선랜의 DCF 혹은 PCF(Point Coordination Function) 프로토콜을 통하여 전송될 경우 데이터 aggregation이 전송지연 시간 측면에서 무선랜의 성능에 미치는 영향을 분석하고 이러한 분석을 통하여 적절한 입력 트래픽 부하를 결정하기 위한 연구는 매우 필요한 연구이지만 현재까지 알려지지 않고 있다.

본 논문에서는 실시간 RFID 물류정보가 무선랜에서 MSDU aggregation을 통하여 전송될 경우 데이터 aggregation이 전송지연 시간 측면에서 무선랜의 성능에 미치는 영향을 분석함으로써 데이터 aggregation을 통한 전송방법의 효율성을 분석하고자 한다. 그리고 실시간 RFID 물류정보를 무선랜에서 전송하기 위하여 DCF 혹은 PCF 프로토콜이 사용될 경우 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 실시간 RFID 물류정보를 무선랜에서 효과적으로 전송하기 위한 적절한 입력 트래픽 부하를 제안하고자 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 제 2장에서 RFID망과 무선랜망의 통합망 구조를 제안한다. 제 3장에서 무선랜에서 사용할 가능한 DCF와 PCF 프로토콜을 간략하게 설명한다. 그리고 제 4장에서 실시간 RFID 물류정보를 무선랜에서 전송하기 위

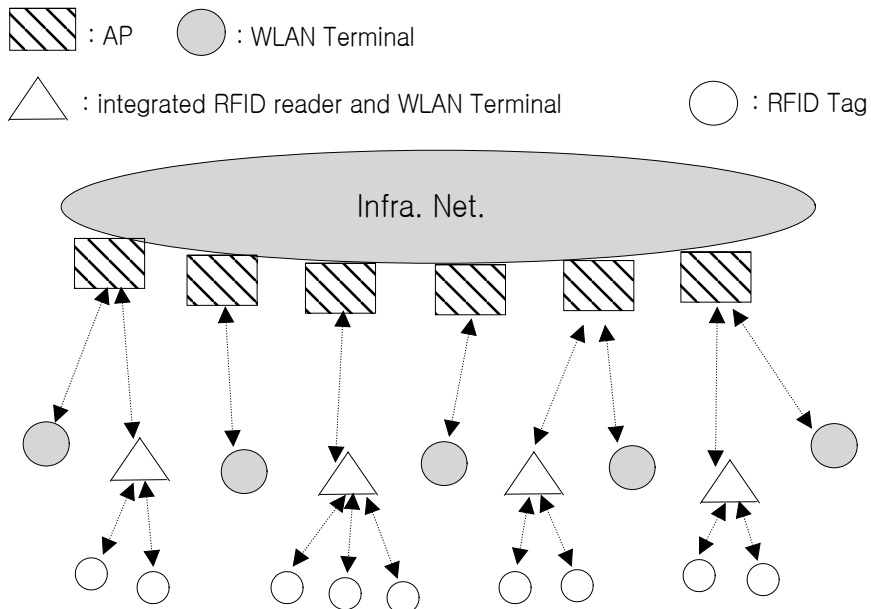


Figure 1. Type 1 integration network

하여 DCF 혹은 PCF 프로토콜이 사용될 경우 데이터 aggregation이 전송지연 시간 측면에서 무선랜의 성능에 미치는 영향을 분석하여 데이터 aggregation 전송방법의 효율성을 분석하고 실시간 RFID 물류정보를 무선랜에서 전송하기 위한 적절한 입력 트래픽 부하를 제안하고자 한다. 마지막으로 제 5장에서 결론을 맺는다.

2. RFID망과 무선랜망의 통합망 구조

RFID망의 구성요소는 RFID tag와 reader이며 무선랜망의 구성요소는 무선랜 단말과 AP(Access Point)이다. 이러한 구성요소를 하나의 망으로 통합하는 방안으로 RFID망과 무선랜망간의 접점을 무선랜 단말에 두느냐 아니면 AP에 두느냐에 따라 크게 두 가지 방안을 생각할 수 있다.

첫 번째 통합 방안에서는 RFID reader가 무선랜 단말과 하나의 device로 통합된다. RFID망에서 사용되는 무선 주파수 대역은 Liu, Bolic, Nayak and Stojmenovic(2007)에 따르면 일반적으로 저주파수 대역(LF, 30~500kHz), 고주파수 대역(HF, 10~15MHz), 초고주파수 대역(UHF, 850~950MHz, 2.4~2.5GHz, 5.8GHz)으로 다양한데 이러한 RFID망에서 사용되는 주파수 대역은 무선랜의 주파수 대역(2.4GHz, 5GHz)과 다르게 조정될 수 있을 것이다. 따라서 RFID reader가 무선랜 단말과 하나의 device로 통합될 때 두망간의 신호 간섭은 없다고 할 수 있다. 두망간의 주파수 대역의 차이로 인하여 일반적으로 통합된 device는 RFID망과 무선랜망을 위한 별도의 안테나를 가져야 할 것이다. 첫 번째 방안에 의한 RFID망과 무선랜망의 통합망 구조는 <Figure 1>과 같다. <Figure 1>에서 RFID tag 정보는 RFID reader와 무선랜 단말의 통합 device에 의하여 AP로 전달되며 인프라망은 무선랜망의 AP를 서로 연결한다.

두 번째 통합 방안에서는 RFID reader가 무선랜의 AP와 하

나의 device로 통합된다. Liu, Bolic, Nayak and Stojmenovic(2007)에 따르면 RFID망에서 사용되는 주파수 대역이 높아질수록 tag의 전송거리가 커진다. 특히 초고주파수 대역에서 active tag의 전송거리는 최대 수십 m에 달하므로 가정이나 작은 규모의 회의장 혹은 강의실의 경우 별도의 RFID reader와 AP 없이 하나의 통합된 device로 RFID reader와 AP의 기능을 수행하도록 할 수 있을 것이다. 두망간의 주파수 대역의 차이로 인하여 일반적으로 통합된 device는 RFID망과 무선랜망을 위한 별도의 안테나를 가져야 할 것이다. 두 번째 방안에 의한 RFID망과 무선랜망의 통합망 구조는 <Figure 2>와 같다. <Figure 2>에서 RFID tag 정보는 RFID망을 위한 주파수 대역을 사용하여 통합된 device로 직접적으로 전송되며 무선랜 단말은 무선랜망을 위한 주파수 대역을 사용하여 통합된 device로 자신의 정보를 전송한다. 인프라망은 이러한 통합된 device를 서로 연결한다.

실제 상황에서는 <Figures 1>, <Figures 2>의 통합망 구조가 혼재할 것으로 예상된다. 가정이나 작은 규모의 회의장 혹은 강의실과 같은 핫스팟 영역에서는 <Figure 2>와 같은 통합망 구조를 통하여 RFID망과 무선랜망이 통합되고 그 외의 영역에서는 <Figure 1>과 같은 통합망 구조를 통하여 RFID망과 무선랜망이 통합될 수 있을 것이다. 이러한 hybrid 형태의 통합망 구조는 <Figure 3>과 같다. <Figure 3>에서 인프라망은 순수한 AP와 AP의 기능과 RFID reader의 기능이 통합된 device를 서로 연결한다.

Liu, Bolic, Nayak and Stojmenovic(2007), Mason, Shaw, Al-Shamma'a, and Welsby(2006), Zhang and Wang(2006)에서는 RFID망과 무선 센서망을 통합하기 위한 다양한 방안이 제시되었으며 크게 RFID tag와 무선 센서를 통합하는 방안과 RFID reader와 무선 센서를 통합하는 방안으로 나눌 수 있다. 그러나 RFID tag와 무선 센서를 통합하는 방안은 RFID망과 무선 센서망이 동일한 주파수 대역을 사용한다는 가정을 가지고 있으며

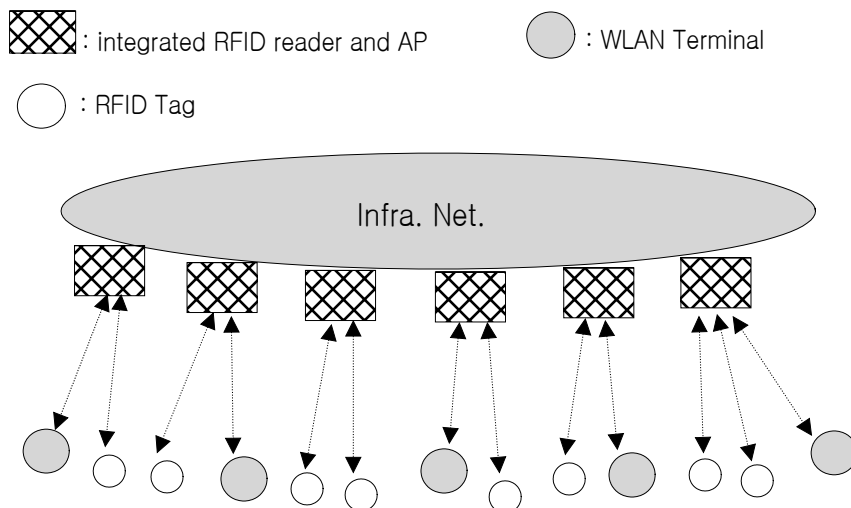


Figure 2. Type 2 integration network

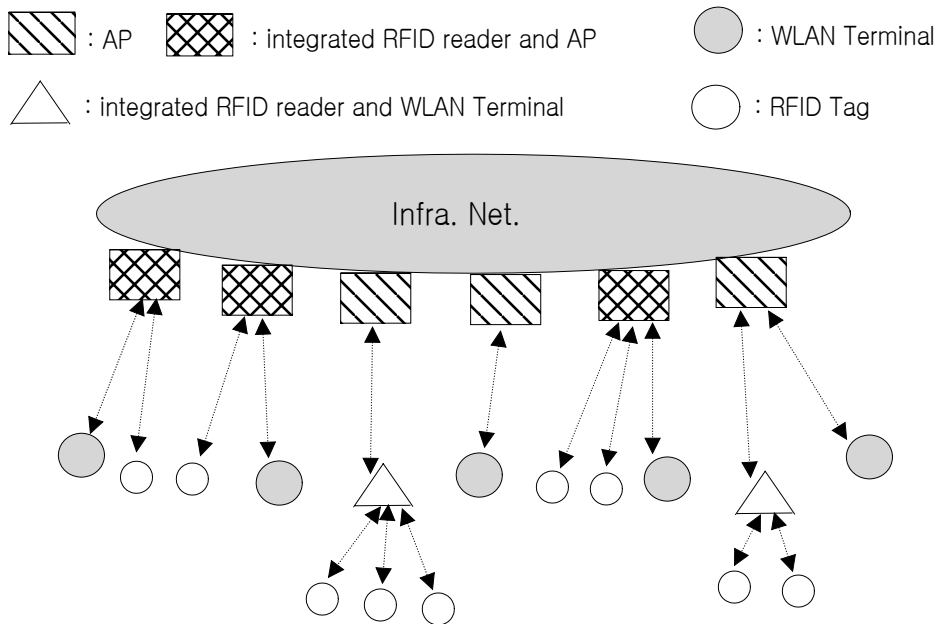


Figure 3. Hybrid integration network

로 RFID망과 무선랜망을 통합하기 위하여 RFID tag와 무선랜 단말을 통합하는 방안으로 적용하기가 어렵다. RFID reader와 무선 센서를 통합하는 방안은 <Figure 1>의 RFID망과 무선랜망의 통합망 구조와 같이 적용될 수 있다.

3. DCF와 PCF 프로토콜

DCF 프로토콜에 따르면 각 단말은 채널 액세스를 하기 위하여 최소한 DIFS(DCF Inter-Frame Space) 시간 동안 무선 채널 상태를 파악하여야 한다. 만약 DIFS 시간 동안 채널 상태가 연속적으로 idle 상태이면 자신의 백오프 타이머를 줄이기 위하여 추가적으로 채널 상태를 계속적으로 파악한다. DIFS 시간 이후에도 채널 상태가 계속적으로 idle 상태이면 하나의 슬롯 타임당 하나씩 백오프 타이머를 줄일 수 있다. 만약 DIFS 시간 이후에 이미 백오프 타이머가 0에 도달해 있었거나 백오프 과정 중에 백오프 타이머가 0에 도달한 경우 더 이상의 백오프 과정은 필요치 않고 바로 데이터를 전송할 수 있다. 각 단말은 DCF 프로토콜에 의하여 데이터를 전송한 후 데이터의 수신자로부터 ACK 프레임의 수신을 기다리게 되는데 데이터의 수신자로부터 ACK 프레임이 적절한 시간 내에 도착하지 않으면 데이터 전송 실패로 간주하고 데이터의 재전송을 시도하게 된다. 각 단말은 자신의 데이터 전송이 실패하였거나 ACK 프레임의 성공적인 수신으로 인하여 자신의 데이터 전송이 성공한 경우 백오프 타이머를 새롭게 설정한다. 먼저 데이터 전송이 성공한 경우 새로운 백오프 타이머를 설정하기 위한 CW(Contention Window) 값은 이미 정의된 CW_{min}으로 설정한다. 그리고 데이터 전송이 실패한 경우 새로운 백오프 타이머를 설정하기

위한 CW 값은 이전의 백오프 타이머를 설정하기 위하여 사용한 CW_{old} 값을 이용하여 $CW = 2 \times CW_{old} + 1$ 과 같이 설정한다. 만약 CW_{old} 값이 이미 정의된 CW_{max}와 같다면 이러한 CW 값의 재설정에는 필요 없다. 실제 사용될 백오프 타이머는 [0, CW]의 범위의 난수 r로 설정된다.

PCF 프로토콜에 따르면 AP 내에 PC(Point Coordinator)가 존재하며 각 단말은 PC의 폴링 프레임을 전송 받았을 때에만 자신의 데이터를 전송할 권리를 가진다. AP는 PCF 프로토콜을 수행하기 위하여 필요할 경우 PIFS(PCF Inter-Frame Space) 시간을 이용하여 채널 액세스를 시도할 수 있다. PIFS는 DIFS보다 하나의 슬롯 타임 만큼 작은 값을 가지는데 이러한 이유로 AP는 필요할 경우 다른 단말보다 채널 액세스에 있어서 우선권을 가질 수 있고 진행중인 DCF 프로토콜에 의한 frame exchange sequence가 끝나면 DCF 프로토콜을 중단시키고 PCF 프로토콜을 시작하기 위하여 비콘 프레임을 전송할 수 있다. CFP(Contention Free Period) 내에서 AP는 폴링 프레임을 각 단말에 전송하여 폴링 프레임 하나당 하나씩의 데이터 프레임을 전송할 기회를 해당되는 단말에 부여한다. AP는 비콘 프레임을 전송한 후 SIFS 시간을 이용하여 단말 ID를 기준으로 라운드 로빈 방식으로 각 단말을 순서대로 폴링한다. 그리고 AP로부터 폴링 프레임을 수신한 단말은 SIFS 시간 이후에 자신의 데이터를 AP로 전송한다. AP로부터 폴링 프레임을 수신한 단말이 전송할 데이터가 없으면 null 프레임을 전송한다. 만약 AP의 폴링에 대해서 어떤 단말이 SIFS 시간 내에 응답하지 않으면 직전 폴링 프레임 전송 시간을 기준으로 PIFS 시간 이후에 다음 단말에 폴링 프레임을 전송한다. CFP 내에서 DCF 프로토콜에 의한 단말의 채널 액세스를 막기 위하여 AP는 비콘 프레임 전송 시 모든 단말의 NAV(Network Allocation Vector)

값을 CFP 시간으로 조정하도록 명령한다. 각 단말의 NAV는 DCF 프로토콜을 통하여 채널을 액세스할 수 없는 앞으로 남은 시간을 의미한다. 이러한 NAV 값의 조정으로 인하여 모든 단말은 CFP 내에서 AP의 폴링 없이 데이터를 전송할 수 없게 된다.

4. 성능 분석

<Figure 3>에서 RFID tag가 RFID reader의 기능과 AP의 기능이 통합된 device로 직접 RFID 물류정보를 전송하는 경우 사용되는 무선 주파수 대역은 무선랜의 주파수 대역이 아니고 RFID의 주파수 대역이다. 따라서 <Figure 3>에서 RFID 물류정보의 전송시 무선랜의 성능에 영향을 주는 경우는 RFID reader가 무선랜의 주파수 대역을 사용하여 AP로 RFID 물류정보를 전달하는 경우이다.

본 절에서는 RFID 물류정보가 RFID reader에서 데이터 aggregation을 통하여 AP로 전송될 경우 데이터 aggregation이 전송 지연 시간 측면에서 무선랜의 성능에 미치는 영향을 분석하기 위하여 <Figure 4>와 같이 AP에 RFID reader의 기능과 무선랜 단말의 기능이 통합된 N개의 device가 association 과정을 통하여 연결되어 있다고 가정한다. <Figure 4>에서 N개의 device는 DCF 혹은 PCF 프로토콜을 사용하여 전송 버퍼에 저장된 RFID 물류정보를 AP에 전달한다.

<Figure 4>에서 N개의 각 device에는 RFID tag로부터 RFID 물류정보가 도착률 R로 전송 에러 없이 RFID망을 통하여 도착하여 전송 버퍼에 저장된다고 가정한다. 각 device는 무선랜을 통하여 AP로 RFID 물류정보를 전송할 때 M개의 RFID 물류정보를 aggregation하여 하나의 MPDU로 구성하여 AP로 전송한다고 가정한다. 각 RFID 물류정보는 96bits의 길이를 가진다고

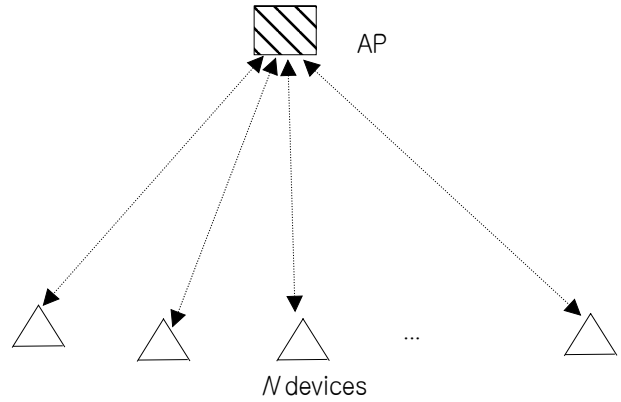


Figure 4. N integrated RFID readers and WLAN terminals and AP

가정하였는데 EPCglobal에 따르면 총 13개의 코딩 방식 중 대다수인 7개의 코딩 방식의 경우 RFID tag 코드의 길이가 96bits이다. 그리고 각 96bits 길이의 RFID 물류정보가 aggregation 없이 무선랜을 통하여 전송될 경우 발생하는 전송 에러 발생 확률을 a 라고 표시한다.

Eckhardt and Steenkiste(1999)에 따르면 인위적인 간섭이 없는 일반적인 경우에 해당하는 Office와 Walking 시나리오의 경우 전송실패 확률 a 는 대략적으로 5%보다 작다. 실시간 RFID 물류정보의 전송을 위하여 IEEE 802.11a 무선랜에서 DCF 혹은 PCF 프로토콜을 사용할 때 RFID 물류정보 전송 에러 확률 $a=0.1\%, 1\%, 5\%$ 의 각 경우에 대해서 AP에 연결된 device의 개수 $N = 10, 30, 50$ 일 때 다양한 aggregation level M에 대하여 시뮬레이션으로 분석하여 포화 상태에서의 MAC throughput(즉, MPDU 내의 RFID 물류정보의 성공적인 전송률)과 최대 전송 지연 시간이 100ms보다 작은 최대 입력 트래픽 부하를 전송 지연 시간에 대한 고려 없이 포화 상태에서의 최소 입력 트래픽 부하에 대한 비율(즉, 최대 전송지연 시간을 100ms보다 작도

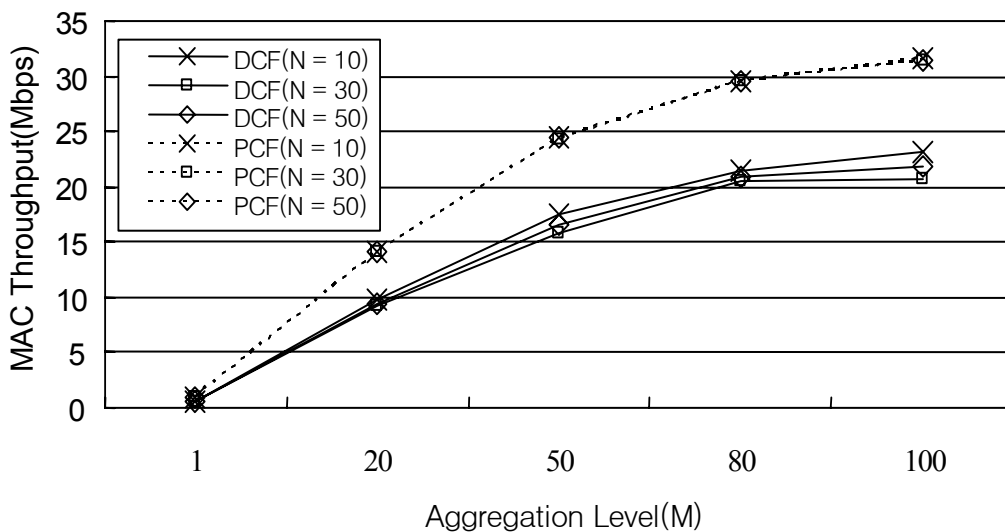


Figure 5. Saturation DCF and PCF MAC throughputs when $a = 0.1\%$

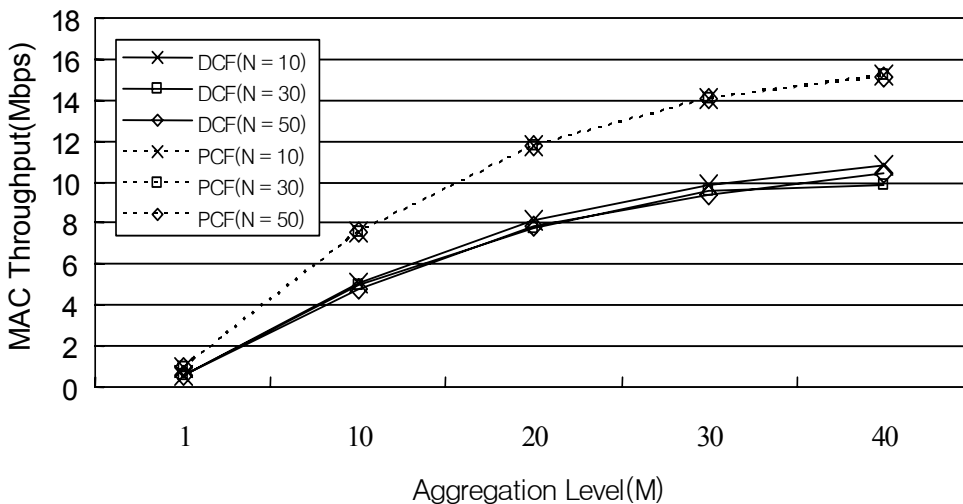


Figure 6. Saturation DCF and PCF MAC throughputs when $a = 1\%$

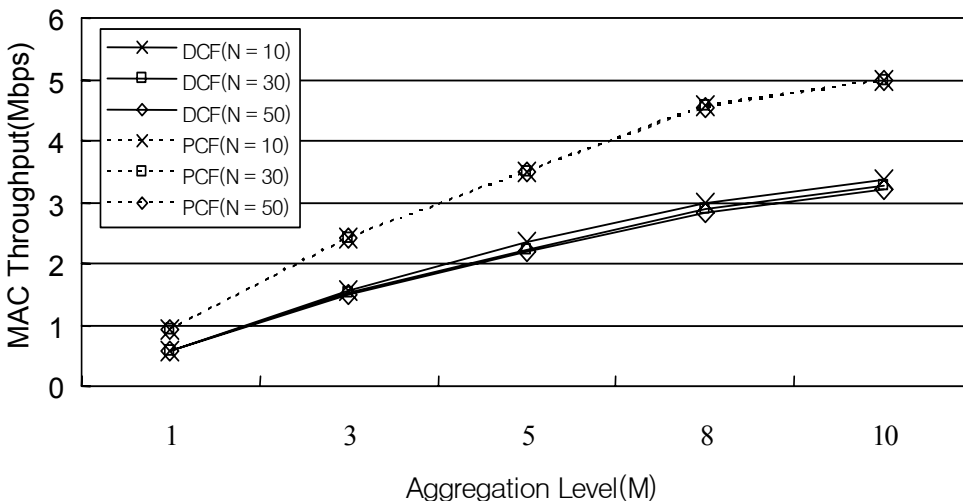


Figure 7. Saturation DCF and PCF MAC throughputs when $a = 5\%$

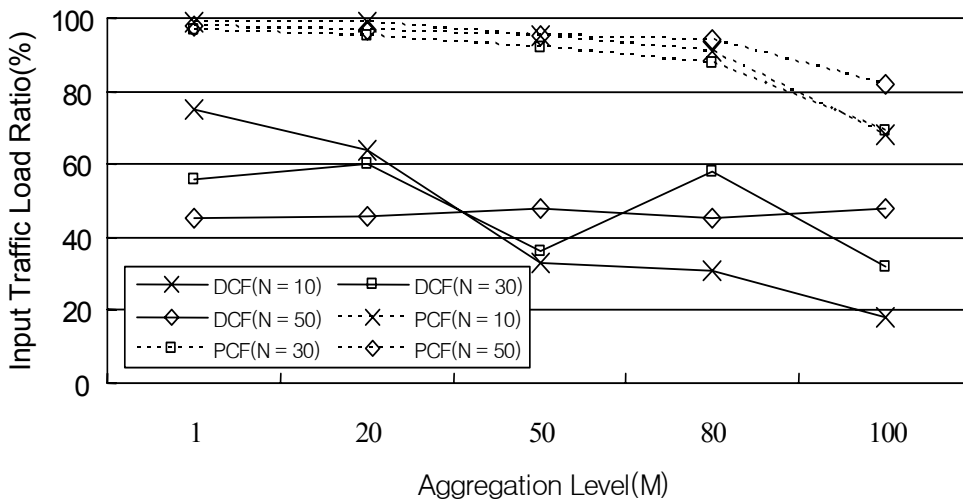


Figure 8. Ratio of input traffic load satisfying maximum delay bound of 100 ms to saturation input traffic load when $a = 0.1\%$

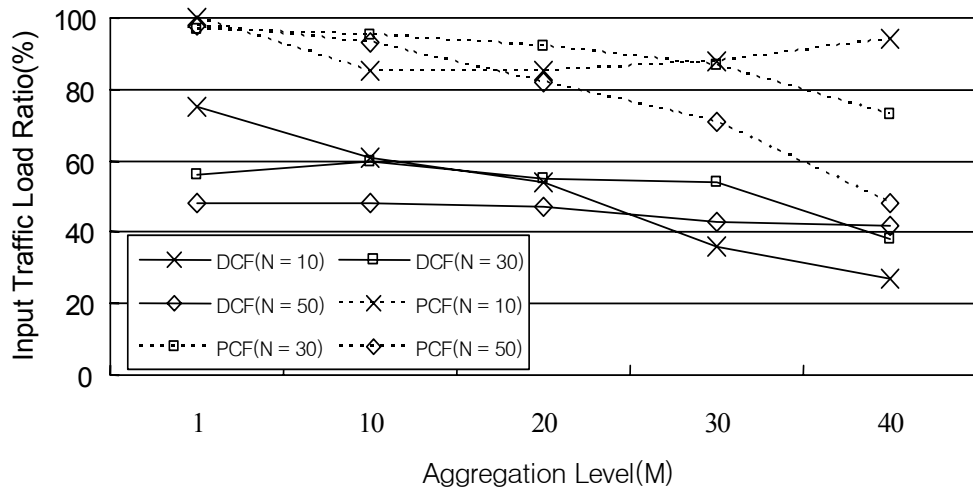


Figure 9. Ratio of input traffic load satisfying maximum delay bound of 100 ms to saturation input traffic load when $a = 1\%$

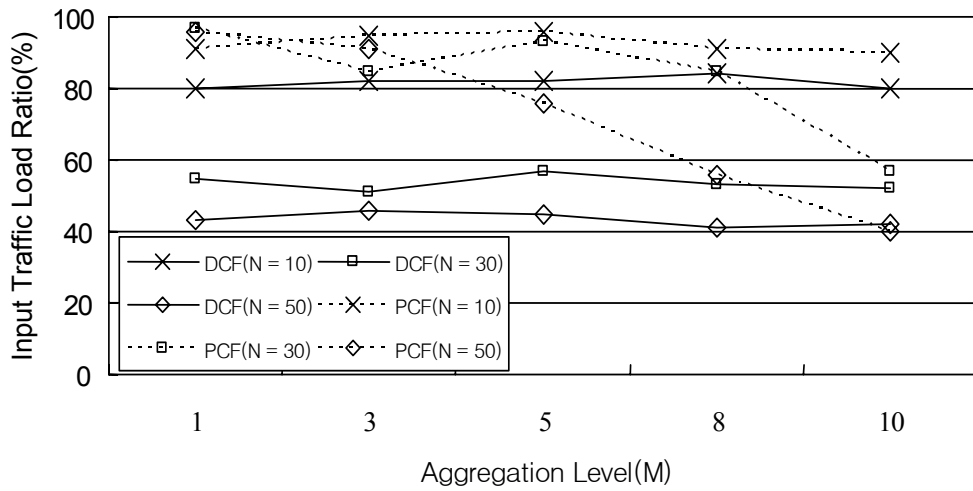


Figure 10. Ratio of input traffic load satisfying maximum delay bound of 100 ms to saturation input traffic load when $a = 5\%$

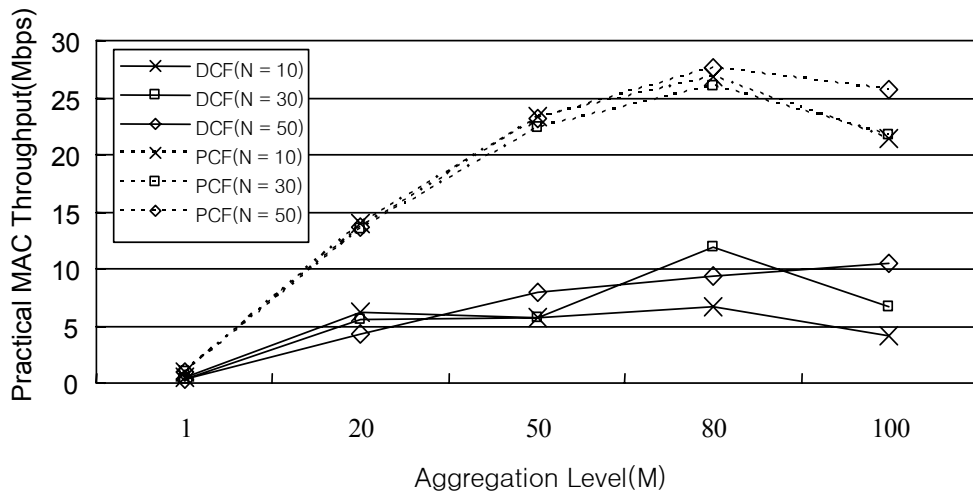


Figure 11. Practical DCF and PCF MAC throughputs when $a = 0.1\%$

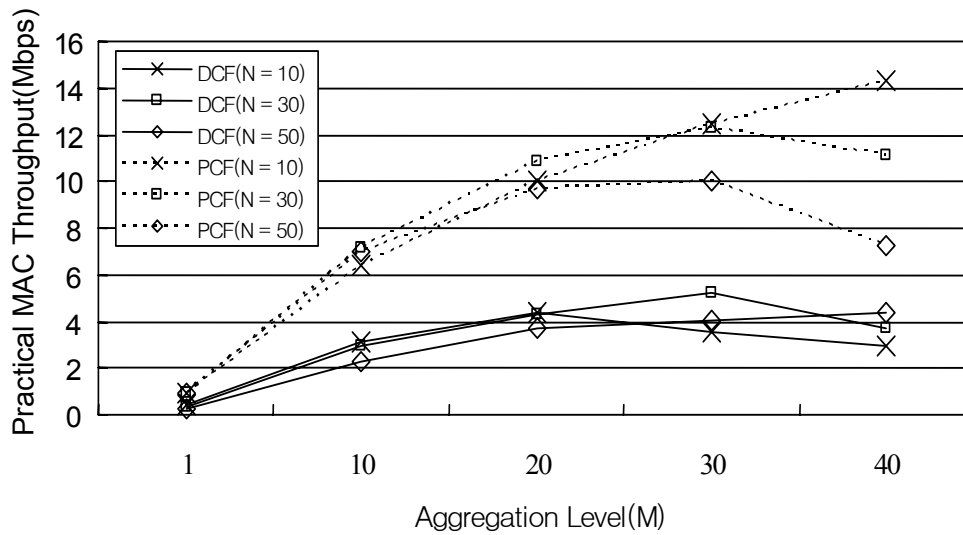


Figure 12. Practical DCF and PCF MAC throughputs when $\alpha = 1\%$

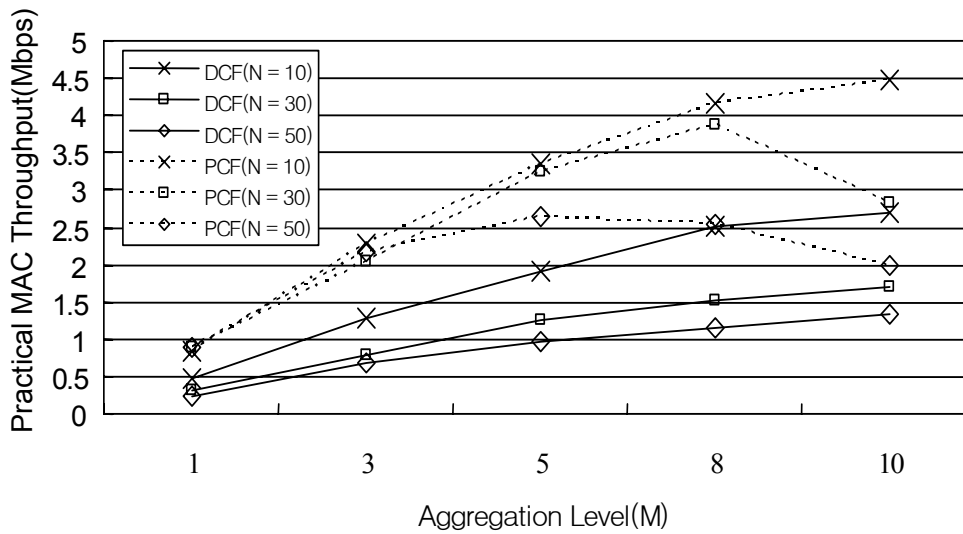


Figure 13. Practical DCF and PCF MAC throughputs when $\alpha = 5\%$

록 유지시키는 최대 입력 트래픽 부하/포화상태에서의 최소 입력 트래픽 부하)으로써 <Figures 5>~<Figures 10>에 나타내었다. 그리고 최대 전송지연 시간이 100ms보다 작은 최대 입력 트래픽 부하에 해당하는 실질적인 MAC throughput(즉, 최대 전송지연 시간을 100ms보다 작도록 유지시키는 최대 입력 트래픽 부하를 MAC throughput으로 환산한 것)을 <Figures 11>~<Figures 13>에 나타내었다. 여기서 실시간 트래픽의 최대 전송지연 시간의 기준으로 삼은 100ms는 실시간 트래픽 중의 하나인 VoIP(Voice over Internet Protocol) 트래픽에 대하여 일반적으로 요구되는 최대 전송지연 시간이다.

포화 상태라 함은 N개의 각 device가 DCF 혹은 PCF 프로토콜을 사용하여 RFID 물류정보를 전송할 경우 각 device에 도착하는 RFID 물류정보의 도착률 R을 증가시켜 MAC throughput이 최대치에 이르는 상태를 의미한다. 그리고 MSDU aggrega-

tion에 의하여 M개의 RFID 물류정보가 하나의 MPDU를 구성할 경우 이렇게 구성된 MPDU의 전송 에러 발생 확률은 개별 RFID 물류정보의 전송 에러 발생 확률인 α 를 이용하여 $1 - (1 - \alpha)^M$ 과 같이 구하여 사용하였다. 각 시뮬레이션 성능 분석 결과를 위하여 각 device 당 최소 200,000개의 RFID 물류정보를 발생시켜 이를 AP로 전송하도록 하였다. PCF 프로토콜에서 AP와 각 device는 모든 폴링 프레임과 데이터를 무선랜의 최대 전송률인 54Mbps로 전송한다고 가정하였다. DCF 프로토콜에서 hidden node problem은 존재하지 않는 것으로 가정하여 RTS(Request to Send), CTS(Clear to Send) 프레임의 전송은 필요 없고 데이터는 무선랜의 최대 전송률인 54Mbps로 전송하며 ACK 프레임은 24Mbps로 전송한다고 가정하였다.

<Figures 5>~<Figures 7>의 결과로부터 포화 상태에서 PCF 프로토콜의 MAC throughput이 DCF 프로토콜의 MAC throu-

gput보다 일반적으로 큰 값을 가지며 데이터 aggregation을 통하여 DCF와 PCF 프로토콜의 MAC throughput은 커진다는 것을 알 수 있다. 하지만 데이터 aggregation level M이 커질수록 MAC throughput의 증가폭은 둔화되는데 이는 aggregation level M이 커질수록 MPDU의 전송 에러 발생 확률이 $1-(1-a)^M$ 의 식으로 커지기 때문으로 추정된다.

<Figures 8>~<Figures 10>의 결과로부터 최대 전송지연 시간이 100ms보다 작은 최대 입력 트래픽 부하의 포화 상태에서의 입력 트래픽 부하에 대한 비율은 PCF 프로토콜의 경우가 DCF 프로토콜의 경우보다 큰 값을 가지는데 이는 PCF 프로토콜이 DCF 프로토콜보다 최대 전송지연 시간에 대한 제약조건을 가지는 실시간 트래픽을 보다 잘 처리할 수 있다는 것을 의미한다. PCF 프로토콜이 DCF 프로토콜보다 최대 전송지연 시간에 대한 제약조건을 가지는 실시간 트래픽을 보다 잘 처리할 수 있는 이유는 PCF 프로토콜의 경우 각 단말은 비교적 규칙적으로 일정한 시간마다 한 번씩의 데이터 전송기회를 부여 받는 반면 DCF 프로토콜의 경우 백오프 시간의 확률적인 특성으로 인하여 각 단말은 규칙적으로 데이터 전송기회를 부여 받기 힘들기 때문으로 추정된다. 그리고 데이터 aggregation level M이 커질수록 최대 전송지연 시간이 100ms보다 작은 최대 입력 트래픽 부하의 포화 상태에서의 입력 트래픽 부하에 대한 비율은 작아지는 경향을 보이는데 이는 데이터 aggregation level M이 커질수록 최대 전송지연 시간에 대한 제약조건을 가지는 실시간 트래픽을 위하여 입력 트래픽 부하를 더 엄격하게 제한해야 한다는 것을 의미한다.

<Figures 11>~<Figures 13>의 결과로부터 최대 전송지연 시간이 100ms보다 작아지는 실질적인 MAC throughput은 PCF 프로토콜의 경우가 DCF 프로토콜의 경우보다 큰 값을 가진다. 그리고 중요한 것은 데이터 aggregation level M이 비교적 작은 값을 가질 경우 데이터 aggregation level M이 커질수록 DCF와 PCF 프로토콜의 실질적인 MAC throughput은 증가하지만 데이터 aggregation level M이 비교적 큰 값을 가질 경우 데이터 aggregation level M이 커진다고 해서 반드시 DCF와 PCF 프로토콜의 MAC throughput이 증가하는 것은 아니라는 것이다. 이로부터 무선랜에서 데이터 aggregation을 통한 전송 방법을 사용할 경우 최대 전송지연 시간에 대한 제약조건을 가지는 실시간 트래픽을 위하여 실질적인 MAC throughput이 최대가 되는 적절한 데이터 aggregation level M을 사용하여야 하며 사용된 데이터 aggregation level M에 대하여 입력 트래픽 부하를 적절하게 조절하여야 한다는 것을 알 수 있다.

4. 결론 및 추후 연구방향

본 논문에서는 무선랜을 통하여 최대 전송지연 시간에 대한 제약조건을 가지는 실시간 RFID 데이터를 전송하기 위하여 데이터 aggregation 전송방법을 사용할 경우 데이터 aggregation

이 전송지연 시간 측면에서 무선랜의 성능에 미치는 영향을 분석하고 다양한 데이터 aggregation level에 대하여 실시간 RFID 물류정보를 무선랜에서 효과적으로 전송하기 위한 적절한 입력 트래픽 부하를 제안하였다. 무선랜에서 RFID 이외의 다른 트래픽이 발생하거나 각 무선랜 단말이 최대 전송률이 아닌 다른 전송률로 데이터를 전송하는 경우 순수하게 RFID 데이터를 위한 데이터 전송률은 줄어든다고 할 수 있다. 따라서 이 경우 최대 전송지연 시간에 대한 제약조건을 만족시키는 적절한 입력 트래픽 부하는 본 논문에서 제안하는 것보다 작다. 따라서 본 논문에서 제안하는 최대 전송지연 시간에 대한 제약조건을 만족시키는 적절한 입력 트래픽 부하는 일반적인 경우를 고려할 때 상한치로 이해되어야 한다.

무선랜에서 데이터 aggregation 전송방법의 효율성 분석에 관한 본 연구를 기초로 하여 트래픽 상황에 따라서 최대 전송지연 시간에 대한 제약조건을 만족시키는 실질적인 MAC throughput을 최대로 하는 적절한 데이터 aggregation level과 입력 트래픽 부하를 동적으로 결정하는 실시간 알고리즘에 관한 연구는 추후에 진행하고자 한다.

참고문헌

- Chen, Y., Emeott, S. and Choudhury, R. (2005), Performance Analysis of Data Aggregation Techniques for Wireless LAN, *Motorola Labs*.
- Eckhardt, David A. and Steenkiste, Peter (1999), A Trace-Based Evaluation of Adaptive Error Correction for a Wireless Local Area Network, *Mobile Networks and Applications*, 4, 273-287
- EPCglobal, <http://www.epcglobalinc.org/standards>.
- IEEE Std 802.11 (1999), Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications.
- IEEE Std 802.11a (1999), Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer Specifications : High Speed Physical Layer in the 5 GHz Band.
- IEEE Std 802.11b (1999), Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer Specifications : Higher Speed Physical Layer (PHY) Extension in the 2.4 GHz Band.
- IEEE Std 802.11g (2003), Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer Specifications : Higher Speed Physical Layer (PHY) Extension in the 2.4 GHz Band.
- IEEE 802.11n draft 2.0 (2007), Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications : Enhancements for Higher Throughput.
- Kim, Y., Choi, S., Jang, K. and Hwang, H. (2004), Throughput enhancement of IEEE 802.11 WLAN via frame aggregation, *IEEE VTC 2004-Fall* 26-29.
- Lin, Y. and Wong, V. W. S. (2006), Frame Aggregation and Optimal Frame Size Adaptation for IEEE 802.11n WLANs, *Proc. IEEE GLOBECOM 2006* 1-6.
- Liu, H., Bolic, M., Nayak, A. and Stojmenovic, I. (2007), Integration of RFID and Wireless Sensor Networks, *Proc. SenseID Workshop at ACM SenSys*.

- Mason, A., Shaw, A., Al-Shamma'a, A. I. and Welsby, T. (2006), RFID and Wireless Sensor Network Integration for Intelligent Asset Tracking Systems, *Proc. GERI Annual Research Symposium*.
- Skordoulis, D. et al. (2008), IEEE 802.11n MAC Frame Aggregation Mechanisms for Next-Generation High-Throughput WLANs, *IEEE Wireless Communications* **15**(1), 40-47.
- Zhang, L. and Wang, Z. (2006), Integration of RFID into Wireless Sensor Networks : Architectures, Opportunities and Challenging Problems, *Proc, International Conference on Grid and Cooperative Computing Workshops*, 463-469.