IEEE 802.11 네트워크에서 효율적인 라디오 자원 측정 시스템 연구

양승철* · 이성호** · 김종덕***

Efficient Radio Resource Measurement System in IEEE 802.11 Networks

Seung-Chur Yang* · Sung-Ho Lee** · Jong-Deok Kim***

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의
기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2012-0001578)

요 약

본 논문은 무선 매체의 점유 요인을 분석하여 효율적인 라디오 자원 측정 방법을 제안한다. 미디엄 점유 시간은 무선 단말이 현재 채널에서 802.11 프레임, 무선 간섭, 프로토콜 대기 시간에 의해 점유된 시간으로 다양한 분야에서 성능 측정 도구로 이용된다. 기존 연구들은 부분적인 요인만을 측정하고, 측정 도구에 대한 검증 및 다양한 라디오에 대한 확장성이 부족하다. 본 논문은 세분화된 점유 요인들의 측정 방법을 제안한다. 이를 위해 무선 칩셋의 레지스터 정보 수집, 가상 모니터 모드를 통한 프레임 분석을 위해 802.11n 기반 OpenHAL 디바이스 드라이버를 수정하였다. 뿐만 아니라 다양한 검증 방법을 통해 정확한 미디엄 점유 시간을 도출한다.

ABSTRACT

This paper presents the efficient measurement method of radio resource by analyzing various medium occupied elements. The medium occupied time consists of 802.11 frames, wireless interference, and protocol waiting time from a wireless node on a current channel. And it is used to performance metric. Existing research is only measured partial occupied elements, and is lack of validation of measurement unit and scalability on various IEEE 802.11 radio. This paper presents the measurement method of classified occupied elements. To achieve this, we modified 802.11n based OpenHAL device driver to collect the register information of wireless chipset, and to analyze receiving frames in a virtual monitor mode. We conclude accurate medium occupied time measurement system from various validation methods.

키워드

무선 채널 사용량, 채널 점유 시간, 무선 간섭, 프레임 압축, Open-HAL 디바이스 드라이버

Key word

Channel Utilization, Channel Busy Time, Wireless Interference, Frame Aggregation, OpenHAL Device Driver

* 정회원 : 부산대학교 컴퓨터공학과
** 정회원 : 국방과학연구소
*** 정회원 : 부산대학교 컴퓨터공학과 (교신저자, kimjd@pusan.ac.kr)

접수일자 : 2012. 09. 20
심사완료일자 : 2012. 10. 19

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.11.2437>

©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.

I. 서 론

무선 네트워크에서 무선 가용 대역폭은 미디어 유 휴 시간에서 무선 링크가 전송 가능한 단위 시간당 최대 데이터양을 말한다. 미디어 유 휴 시간 (Medium Available Time)은 미디어가 물리적 혹은 논리적으로 점유되지 않은 시간이며, 이 시간동안 무선 단말들은 프레임 전송을 시도할 수 있다. 그리고 미디어 유 휴 시간은 미디어 점유 시간을 통해 얻어진다. 미디어 점유 시간 (Medium Occupied Time)은 미디어가 물리적 혹은 논리적으로 점유된 시간을 말하며, 이 시간동안 아무도 프레임 전송을 시도할 수 없다. 즉, 물리적인 미디어 점유 시간은 해당 채널에 무선 시그널을 통해 점유된 시간이며, 논리적인 미디어 점유 시간은 무선 시그널이 아닌 맥 프로토콜에 의한 프레임 대기 시간을 말한다.

정확한 무선 라디오 자원을 측정하기 위해 정확한 미디어 점유 시간 측정은 필수적이다. 일반적으로 미디어 상태를 나타내는 단위로 채널 사용 시간(Channel Busy Time), 미디어 사용 시간(Medium Busy Time), 채널 사용량(Channel Utilization)가 있다. 채널 사용 시간과 미디어 사용 시간은 비슷한 개념으로 물리적 계층의 Clear Channel Assessment (CCA) 매커니즘을 통해 감지된 시간을 말한다. 그리고 채널 사용량은 일반적으로 채널 용량에서 트래픽 점유율을 말한다. 위의 세 가지 모두 물리적 캐리어 센싱을 통해 얻어졌기 때문에 논리적 미디어 점유 시간을 포함하지 않는다.

논리적 미디어 점유 시간은 프로토콜에 의존적인 시간이다. 프로토콜의 오버헤드는 네트워크 기술이 발전할수록 줄어드는 특징이 있다. 하지만 짧은 시간에 대용량 데이터 전송이 가능해 졌기 때문에 이 값을 정확하게 측정하는 것은 매우 중요하다.

미디어 점유 시간 개념은 무선 네트워크의 대표적인 성능 척도로 널리 사용 되지만, 실제 시스템에서 적용된 측정 시스템 또는 측정값의 검증 방법은 일반화되지 않았다. 그리고 가장 보편화된 무선 접속 기술인 무선 랜 사용자가 증가함에 따라 미디어 점유 시간 측정 연구 중요성이 대두되고 있다. 이를 반영하여 IEEE 802.11-2012는 무선 단말에게 채널 부하 정보를 제공하는 라디오 자원 관리 기능을 포함하여 개정하였다 [1].

이를 통해 무선 단말은 품질이 좋은 액세스 포인트 선택, Quality of Service (QoS)를 위한 자원 예약, 정확한 무선 가용 대역폭 측정 등이 가능해진다. 하지만 이 표준은 측정을 위한 논리적인 인터페이스를 제공하기 때문에 실제시스템에서 적용 가능할 수 있는 현실적인 접근 방법이 필요하다.

본 논문은 실제 시스템에서 적용 가능한 정확한 무선 라디오 측정 방법을 제안한다. 더불어 다양한 검증 과정을 통해 측정값의 정확성을 입증한다. 공유 미디어는 다양한 무선 라디오에서 서로 다른 모드의 트래픽이 점유 될 수 있다. 뿐만 아니라 전송 프로토콜에 따른 미디어 접근 방법 및 다양한 형태의 무선 간섭으로 인해, 실제 환경에서 정확한 미디어 점유 시간을 측정하기는 어렵다.

시뮬레이션을 제외한 시스템 구현 연구들은 무선 랜 카드에서 제공하는 물리적 계층의 상태 정보를 이용하여 미디어 점유 시간을 측정한다. 이 접근 방법은 위에서 언급한 논리적 미디어 점유 시간을 측정할 수 없을 뿐만 아니라 검증 과정이 제외되어 실제 시스템에 적용하기 어렵다. 이를 극복하고자 모니터 모드에서 프레임을 해석하여 Inter-Frame Space (IFS)와 Backoff 시간을 포함한 논리적 미디어 점유 시간을 측정하였다. 그리고 스펙트럼 분석기를 활용하여 정확성 검증을 위한 다양한 실험을 진행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 미디어 점유 시간 측정 방법과 관련된 연구에 대해 살펴보고, 3장은 제안하는 미디어 점유 시간 측정 방법 및 시스템 구현 방법을 확인한다. 4장은 실제 시스템에서 다양한 트래픽 패턴을 따른 측정 방법의 정확성 및 실용성을 다룬다. 마지막으로 5장에서 논의의 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

무선 라디오 측정 연구는 무선 네트워크에서 광범위하게 이용된다. 대부분의 미디어 점유 시간 측정 연구는 802.11 프레임에 의해 점유된 시간에 초점을 맞추고 있다. 즉, 수신 성공한 프레임의 길이와 데이터 전송 속도 정보를 이용하여 계산한다 [2] [3] [4]. 그리고 프레임 길이 정보는 물리적 계층 헤더와 맥 프레임의 길

이를 포함한다.

이 접근 방법은 통신 과정에서 발생하는 맥 계층의 재전송 및 에러 프레임을 처리할 수 없다. 뿐만 아니라 확장성에 취약한 특징이 있다. Aggregated MAC Service Data Unit (A-MSDU)와 Aggregated MAC Protocol Data Unit (A-MPDU)와 같은 프레임 압축 기술은 하나의 Physical Layer Convergence Protocol (PLCP) 헤더에 다수의 MSDU 또는 MPDU를 전송한다. 이런 경우 길이 정보를 정확하게 subframe header와 MPDU delimiter의 추가 정보가 필요하다 [5].

최근 무선랜 칩셋에서 제공하는 채널 사용 레지스터를 이용하여 물리적 미디엄 점유 시간 측정이 가능해졌다 [6][7][8]. Open Hardware Abstraction Layer (OpenHal)는 ath5k나 ath9k등의 오픈 소스 드라이버들에서 기존의 pre-compiled binary HAL를 거치지 않고 직접적으로 칩셋을 접근할 수 있는 소프트웨어를 말한다. 이를 통해 레지스터에 저장된 값을 확인할 수 있다. 이 레지스터는 물리적 계층의 CCA 매커니즘을 통해 결정된 채널 사용 시간을 저장한다. 이 측정값은 다양한 라디오의 물리적 계층 헤더, 프레임 압축, 프레임 에러 재전송된 프레임을 포함한다.

미디엄 점유 요인 중 하나인 무선 간섭을 직접적으로 측정하는 것은 매우 어려운 일이다. 기존 연구에서는 PRR-SINR 모델과 같은 물리적 간섭 모델을 통해 수신 성공 확률을 유추하거나 [9][10], 채널 간 스펙트럼 거리, 채널 간 간격과 스펙트럼 마스크와 같은 스펙트럼 속성을 통해 인접 채널 간섭을 계산한다 [11][12]. 비록 다양한 시스템에서 실험을 통해 간섭 모델을 검증하였지만, 이런 접근 방법들은 간섭이 미치는 영향을 확인할 뿐 직접적인 측정값을 나타내지 못하는 한계가 있다.

이미 기존 연구에서는 레지스터를 이용한 물리적 미디엄 점유 시간 측정 방법을 일부 언급 하지만, 정확한 프로토콜 대기 시간을 추정하지 않았다. 그리고 부분적으로 데이터 프레임 개수를 통해 논리적 점유 시간을 추정하였지만, 다양한 전송 방식을 포함한 확장성 있는 연구는 아니다 [6][7]. 따라서 보다 실용적인 측면에서 정확성과 확장성 있는 미디엄 점유시간 측정 연구가 필요하다.

III. 미디엄 점유 시간 측정 시스템 설계 및 구현 방법

본 논문은 미디엄 점유 시간을 물리적 점유 시간과 논리적 점유 시간으로 분류한다. 물리적 점유 시간은 802.11에 의한 데이터 사용 시간, 무선 간섭에 의한 센스 사용 시간으로 구성한다. 그리고 논리적 점유 시간은 프로토콜에 의한 시간으로 정의한다. 본 절에서는 그림 1에서 분류된 각각의 측정 방법을 분석하고, 측정 시 고려 대상을 설명한다.

그림 1. 미디엄 점유 시간 분류
(a) 센스 사용 시간 (b) 데이터 사용 시간
(c) 프로토콜 사용 시간

Fig. 1 The Classification of Medium Occupied Time
(a) Sense Busy Time (b) Data Busy Time
(c) Protocol Busy Time

3.1. 데이터 사용 시간 측정 방법 분석

데이터 사용 시간 (Data Busy Time)은 802.11 프레임에 의해 점유된 시간이며, 물리적 계층 헤더와 MAC 프레임의 전송 시간으로 구성한다. 물리적 계층 헤더는 비트 동기화를 위한 PLCP 프리앰블과 변조 및 전송속도 등을 나타내는 PLCP 헤더로 구성한다. 그리고 MAC 프레임은 사용자 데이터와 MAC 헤더로 구성한다.

대표적인 데이터 사용 시간 측정 방법은 수신 성공한 프레임의 수신 정보를 이용하여 점유 시간을 계산하는 것이다. 이를 위해 수신 정보는 PHY 동작 모드와 프레임 전송속도를 포함해야 한다.

식 1은 OFDM 기반 802.11a/g에서 데이터 사용 시간을 계산하는 식이다. 다양한 라디오의 MAC 성능 분석 연구에서 보다 자세한 정보를 확인할 수 있다 [13][14][15].

$$DBT_{OFDM} = T_{PHYHdr} + T_{symbol} * \lceil \frac{L_{DATA}}{N_{DBFS}} \rceil \quad (1)$$

$$DBT_{AMPDU} = T_{PHYHdr} + K * T_{symbol} * \lceil \frac{L_{AP} + L_{DATA}}{N_{DBFS}} \rceil \quad (2)$$

T_{PHYHdr} 는 PLCP 프리앰블과 PLCP 헤더의 전송 시간을 말한다. T_{symbol} 은 하나의 OFDM 심볼을 전송하는 시간이다. N_{DBFS} 는 하나의 심볼에 전송 가능한 데이터의 양을 말한다. 이 값은 전송속도의 코딩 속도에 의해 결정된다. PHY 헤더와 데이터 전송 시간을 구분하는 이유는 각각의 전송속도가 다르기 때문이다.

식 2는 802.11n에서 A-MPDU로 전송된 데이터 사용 시간을 계산하는 방법을 나타낸다[16][17]. 물론 T_{PHYHdr} 와 T_{symbol} 은 802.11n PHY 전송 모드에 따라 결정되며, 802.11a/g와 다른 값을 갖는다. A-MPDU 압축 방법은 하나의 PHY 헤더에 다수의 MAC 프레임을 전송한다. K 는 A-MPDU 크기이고, L_{AP} 은 하나의 MAC 프레임을 구분하는 MPDU delimiter의 크기를 말한다.

위의 접근 방법으로 데이터 사용 시간을 정확하게 측정하기 위해서는 많은 수신 정보가 필요하다. MAC 기술이 발전함에 따라 다양한 전송 방법이 있기 때문에 측정의 복잡도가 높아지는 특징이 있다. 특히 802.11n 라디오는 전송속도를 알기 위해 Modulation Coding Scheme (MCS)와 Guard Interval (GI)를 알아야한다. 그리고 PHY 헤더의 전송 시간을 알기 위해 PHY 동작 모드와 Spatial Stream 개수를 알아야 한다. 뿐만 아니라 A-MPDU와 A-MSDU는 각각의 헤더 정보를 통해 압축된 크기를 알아야 한다.

무선 네트워크는 다양한 이유로 인해 간섭이 발생하고, 그 결과 프레임 에러가 발생한다. 에러가 발생한 프레임의 경우 정확한 수신 정보를 보장할 수 없기 때문에 측정의 정확성이 떨어진다. 결과적으로 기존 방법을 실제 시스템에 적용하기에는 한계가 있다.

최근 미디어 접근 측정의 중요성이 대두됨에 따른 최근 무선랜 카드 칩셋에서 채널 사용 레지스터를 제공한다. 이 측정 도구를 사용하기에 앞서 검증 과정이 선행되어야 하며, 본 논문에서는 이 레지스터들을 통해 데이터 사용 시간을 측정한다.

3.2. 센스 사용 시간 측정 방법 분석

센스 사용 시간 (Sense Busy Time)은 CCA 매커니즘을 통해 미디어의 사용이 감지되었지만, 802.11 프레임으로 디코딩할 수 없는 시간을 말한다. IEEE 802.11 라디오는 다양한 CCA 모드를 제공하며, 각 라디오는 이중 하나의 모드를 선택한다.

CCA 매커니즘은 Energy Detection (ED) 임계값과 Carrier Sense (CS) 임계값을 통해 동작한다. 즉, 수신 신호가 ED 혹은 CS 이상이면 미디어 사용이 감지됨을 의미한다.

IEEE 802.11 네트워크에서 센서 사용 시간의 발생하는 요인을 정확하게 분류하는 것은 매우 어려운 일이다. 왜냐하면 하드웨어, 프로토콜, 토폴로지 구성, 네트워크 설정 등 다양한 형태의 무선 간섭이 복합적으로 존재하기 때문이다.

센스 사용 시간을 포함하는 물리적 미디어 점유 시간을 측정하는 대표적인 방법으로 스펙트럼 분석기를 이용한다. 이 장비는 특정 주파수 대역을 스캔하면서 FFT 듀티 사이클을 측정한다. FFT 듀티 사이클은 802.11 디바이스와 간섭을 포함하는 모든 RF 신호를 시간 비율로 나타낸다. 개념적으로 물리적 미디어 점유 시간과 동일하다.

본 논문에서는 기존 무선랜 카드에서 제공하는 레지스터 정보들의 조합을 통해 센스 사용 시간을 측정한다.

3.3. 프로토콜 사용 시간 측정

프로토콜 사용 시간 (Protocol Busy Time)은 802.11 MAC 프로토콜에 의해 논리적으로 점유된 시간이면, Inter-Frame Space (IFS)와 Back-off 시간으로 구성한다. IFS는 무선 단말의 미디어 접근을 연기시키는 것이 목적이며, 전송할 프레임의 우선순위에 따라 SIFS, PIFS, DIFS 등으로 나뉜다. 그리고 IEEE 802.11n은 연속적인 프레임 전송을 위해 프레임 간 간격을 ZIFS와 RIFS로 설정한다. Backoff 시간은 프레임 충돌을 줄이기 위한 방법으로 확률적 값에 기반을 둔 대기시간이다.

본 논문에서 제안하는 측정 시스템은 하나의 물리적 무선랜 카드에서 피어간 통신을 위한 무선 모드와 모니터링을 위한 가상 무선랜 카드가 동시에 동작하는 구조를 갖는다. 모니터 모드에서 수신한 프레임 타입 정보와 PLCP 헤더 정보를 통해 정확한 IFS 시간을

계산한다. 802.11 프레임은 type과 subtype 같이 계층적 구조를 갖는다. 제안하는 시스템에서 type 정보를 계층적으로 구분하는 이유는 같은 타입의 프레임이라 하더라도 subtype에 따라서 다른 IFS가 적용될 수 있기 때문이다. 예를 들어 관리 프레임의 경우 연결 요청 프레임은 DIFS 시간 후 전송되는 반면, 연결 응답 프레임은 SIFS 후에 전송되기 때문이다.

Backoff는 무선 단말이 미디어 접근 시도가 이루어졌을 때 발생하는 시간이다. 전송 단말이 확률적인 값에 근거하여 선택되고, 미디어의 상태에 따라 이 시간이 결정되기 때문에 추정하기 어렵다. 관련 연구에서 증명된 평균 백오프 시간을 적용하였고, 이 값을 수정된 모니터 모드에서를 통해 얻은 미디어 접근 횟수를 통해 산출한다 [13][14][16][17].

3.4. 미디어 점유 시간 측정 시스템 구현

최근 무선 칩셋은 다양한 목적으로 채널 사용 레지스터를 제공한다. 대표적인 적용사례로 IEEE 802.11k 경우 이 레지스터를 이용하여 채널 사용 리포트를 전송이 가능하다. 채널 사용 레지스터에 접근하기 위해서 OpenHAL 기반 무선랜 디바이스 드라이버가 구성되어야 한다. 대표적인 디바이스 드라이버는 ath5k와 ath9k가 있다. ath5k는 802.11a/b/g 라디오를 지원하는 Atheros AR5xxx 칩셋 디바이스 드라이버이고, ath9k는 802.11n 라디오를 지원하는 Atheros 9xxx 칩셋 디바이스 드라이버이다.

본 논문에서 이용한 AR9220 칩셋은 측정 타입 슬롯 개수를 저장하는 AR_CCCNT와 CCA에 의해 미디어 점유된 타입 슬롯 개수를 저장하는 AR_RCCNT를 제공한다. 이를 통해 물리적 미디어 점유 시간을 계산한다. 무선 칩셋의 레지스터는 저장 공간이 제한적이기 때문에 측정 과정에서 유효성 확인 작업이 필요하다. 추가적으로 수신 시간과 전송 시간을 저장하는 AR_RFCNT와 AR_TFCNT 레지스터를 각각 제공한다.

데이터 사용 시간과 센스 사용 시간과 같이 물리적 미디어 점유 시간은 AR_RCCNT 레지스터에 저장된다. 그리고 센스 사용 시간은 AR_RCCNT에서 AR_RFCNT를 제외한 시간을 말한다. 단위 시간 당 미디어 점유 시간 측정을 위해 mac80211 스택에 커널 타이머를 생성하였다. 그리고 주기적으로 현재 채널 정보를 입력 값으로 ath_update_survey_stats를 호출한다.

이 함수는 유효성 검사를 하고, 측정 통계 구조체를 반환한다.

프로토콜 사용 시간 측정을 위해 가상 모니터 모드를 이용한다. 이를 통해 프레임의 type과 subtype을 구분하여 미디어 접근 횟수와 IFS를 확인한다. 무선 모니터 모드는 프레임에 무선 채널 정보, 전송속도와 RSSI와 같이 추가적인 정보로 구성된 radiotap 헤더를 추가한다. 이 헤더는 ieee80211_add_rx_radiotap_header 함수에서 구현되며, 표준에 근거하여 전송 방법에 따른 IFS 측정을 구현하였다. 만약 수신 프레임이 압축되지 않은 802.11 데이터 프레임이라면, 측정값에 DIFS 시간을 더한다. 그리고 수신 프레임이 제어 프레임의 수신 응답 프레임이라면, 측정값에 SIFS 시간을 더한다.

압축된 프레임들의 IFS 측정을 위해 보다 자세한 처리 과정이 필요하다. A-MPDU는 하나의 PHY 헤더에 다수 개의 MAC 프레임을 전송한다. 따라서 프레임 단위로 처리하는 이 함수에서 압축된 크기를 알 수가 없다. MPDU delimiter 헤더에서 압축된 프레임의 마지막을 구분할 수 있다. 이 정보를 활용하여 압축된 프레임을 구분하여 DIFS를 처리한다.

IV. 성능 평가 및 분석

본 논문에서는 Atheros AR9220 칩셋의 Ubiquiti SR71-15 무선랜 카드를 사용한다. 그리고 임베디드 보드는 AMD Geode 500 MHz로 동작하고, 2 minipci slot을 지원하는 Alix 3d2를 사용한다. 운영체제는 Openwrt를 이용한다. 2대의 무선 노드로 AP 모드와 스테이션 모드를 구성하였다. 무선 링크의 전송 방법 및 라디오는 각 실험 시나리오에 맞게 변경하여 이용하였다.

4.1. 채널 사용 레지스터의 정확성 검증

본 실험의 목표는 기존 연구에서 이용한 채널 사용 레지스터의 정확성을 확인함에 있다. 수신 성공 프레임을 통한 데이터 사용 시간 측정은 많은 한계점이 있다. 따라서 정확한 측정을 위한 스펙트럼 분석기, 무선 랜카드의 수신 통계 정보, 채널 사용 레지스터를 이용하여 데이터 사용 시간의 성능 차이를 확인한다.

실험 방법은 하나의 무선 링크에 서로 다른 트래픽 패턴으로 미디어를 포화 상태로 만든다. 트래픽 발생기는

iperf를 사용했고, 트래픽 전송속도는 IEEE 802.11a 라디오의 6 Mbps와 36 Mbps로 고정한다. 두 가지 트래픽 패턴에 대해 10초간 두 번 트래픽을 발생시킨다.

FFT 듀티 사이클을 측정하기 위해 Airmagnet의 스펙트럼 분석기를 사용하였다. 이 제품은 PCMCIA 방식의 디바이스로, 노트북에 장착하여 2.4GHz와 5GHz의 RF 신호를 분석한다. 그림 2은 미디엄 포화 상태에서 FFT 듀티 사이클을 나타낸다. 해당 스펙트럼 분석기는 5GHz ISM 주파수 대역에 대해 2초간 측정 시간을 가진다.

따라서 특정 채널의 물리적 미디엄 점유 시간을 실시간으로 측정하기 어렵다. 본 연구에서는 중심 주파수를 중심으로 좌우 10 MHz의 평균 FFT 듀티 사이클을 미디엄 점유 시간으로 정의했고, 그 결과 36 Mbps와 6Mbps는 각각 741 ms, 914 ms임을 확인했다.

그림 2. 트래픽 패턴에 따른 스펙트럼 분석기의 평균 FFT 듀티 사이클

Fig. 2 The average FFT duty cycle of spectrum analyzer for various traffic pattern

그림 3은 해당 시스템에서 측정한 물리적 미디엄 점유 시간과 통계값에 기반을 둔 이론적 분석값으로 나타낸다. 이론적 분석값은 식 1에 근거하여 IEEE 802.11a의 PHY 헤더를 포함한 것과 그렇지 않은 것으로 계산하였다.

10초 동안 6 Mbps는 874개, 36 Mbps는 3757개 프레임이 점유함을 확인했다. 그리고 IEEE 802.11 표준에서는 맥 계층 수신 응답 프레임을 기본 전송속도로 전송하는데, Omnipeek 네트워크 분석기 확인 결과 해당 시스템은

36 Mbps 프레임은 24 Mbps로 6 Mbps 프레임은 6 Mbps로 응답함을 확인하였다.

그림 3. 트래픽 패턴에 따른 레지스터 측정값과 분석값의 비교

Fig 3. Comparison of register values and theoretical analysis of data busy time for various traffic pattern

위의 고려사항을 반영하여 측정 결과, 36 Mbps 경우 레지스터에 얻은 물리적 점유 시간은 740 msec, PHY 헤더 포함한 이론적 분석값은 737 msec이다. 그리고 6 Mbps 경우 레지스터에 의한 물리적 점유 시간은 915 msec, 이론적 분석 값은 917 msec이다. 이 실험을 통해 채널 사용 레지스터의 정확성을 확인하였다. 6 Mbps의 경우 최대 3ms, 36 Mbps의 경우 최대 4 ms 오차가 나는 것을 확인하였다.

4.2. 프로토콜 사용 시간의 추정 방법 분석

본 실험의 목표는 다양한 트래픽 패턴에 대한 프로토콜 사용 시간 측정 결과를 분석하고, 추정 방법에 대한 고려사항을 확인함에 있다. 프로토콜 사용 시간은 데이터 사용 시간과 센스 사용 시간과 마찬가지로 다른 무선 노드가 점유할 수 없는 시간이다.

실험 방법은 다양한 라디오와 다양한 트래픽 패턴을 변경하여 미디엄을 포화 상태로 만든다. 첫 번째, 802.11a 라디오에 6 Mbps의 전송속도로 프레임을 전송한다. 두 번째, 802.11a 라디오에 36 Mbps 전송속도로 프레임을 전송한다. 세 번째와 네 번째는 802.11na 라디오 HT 20 채널과 HT 40 채널로 각각 프레임을 전송한다. 현

재 시스템은 802.11n 라디오의 경우 mac80211 프로토콜 스택에서 제공하는 HT minstrel 전송속도 제어 알고리즘이 동작한다.

이 실험의 결과, 프로토콜 사용 시간을 포함한 미디어 점유 시간은 다양한 패턴에 대해 약 962 ms로 수렴함을 확인하였다. 그림 4은 다양한 트래픽 패턴에 따른 미디어 상태 정보를 나타낸다. 패턴 (c)와 (d)는 전송속도 제어 프로토콜에 의해 전송속도가 결정되며, 주어진 MCS 그룹 중 최대값을 갖는 것을 확인했다. 패턴 (b)와 (d)에서 데이터 제어 시간은 133ms 차이가 나지만, 데이터 처리량은 10배 정보 차이가 났다. 따라서 데이터 사용 시간으로 프로토콜 시간의 관계를 설명 할 수가 없다.

그림 4. 트래픽 패턴에 따른 프로토콜 사용 시간 비교
Fig. 4 Comparison of protocol busy time for various traffic pattern

미디어 점유 시간이 1초에 수렴하지 않은 경우를 확인하였다. 앞서 채널 사용 레지스터에 대한 정확성은 확인하였다. 따라서 확률적 추정 방법의 오차 및 시스템 외부적인 환경에 기인한다고 할 수 있다 [10].

V. 결 론

가장 보편화된 무선 접속 기술인 무선랜 사용자가 증가함에 따라 정확한 미디어 점유 시간 측정의 중요성이 대두되고 있다. 미디어 점유 시간은 무선 네트워크의 대

표적인 성능 척도로 널리 사용 된다. 하지만, 실제 시스템에서 적용된 측정 방법 또는 측정값의 검증 방법은 일반화되지 않았다. 기존 연구는 부분적인 점유시간 측정, 측정 도구에 대한 검증, 다양한 라디오의 확장성이 부족하다.

본 논문에서는 실제 시스템에서 추가적인 장치 없이 기존 무선 모드에서 미디어 점유 시간 측정 방법을 제안한다. 각 점유 요인들을 분류하여 측정하였고, 무선 랜카드 칩셋에서 제공하는 측정값의 정확성을 입증하였다. 그리고 다양한 무선 라디오를 위한 세부적 고려사항을 포함한다. 측정값의 정확성, 무선 랜 카드의 성능, 토폴로지 구성, 디바이스 드라이버의 구현 상태, 트래픽 발생기 등 다양한 환경적인 변수가 존재하기 때문에 많은 정보가 필요하다. 더불어 다양한 검증 과정을 통해 측정값의 정확성을 입증한다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2012-0001578)

참고문헌

- [1] IEEE 802.11 Working Group et al. Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications. Mar. 2012.
- [2] A.P. Jardosh, K.N. Ramachandran, K.C. Almeroth, and E.M. Belding-Royer. Understanding congestion in ieee 802.11 b wireless networks. In Proceedings of the 5th ACM SIGCOMM conference on Internet Measurement, pages 25 - 25. USENIX Association, 2005.
- [3] G. Wu and T. Chiueh. Passive and accurate traffic load estimation for infrastructure mode wireless lan. In Proceedings of the 10th ACM Symposium on

- Modeling, analysis, and simulation of wireless and mobile systems, pages 109 - 116. ACM, 2007.
- [4] K. Pelechrinis, T. Salonidis, H. Lundgren, and N. Vaidya. Experimental characterization of 802.11 n link quality at high rates. In Proceedings of the fifth ACM international workshop on Wireless network testbeds, experimental evaluation and characterization, pages 39 - 46. ACM, 2010.
- [5] D. Skordoulis, Q. Ni, H.H. Chen, A.P. Stephens, C. Liu, and A. Jamalipour. Ieee 802.11n mac frame aggregation mechanisms for next-generation high-throughput wlans. Wireless Communications, IEEE, 15(1):40 - 47, 2008.
- [6] K. Lakshminarayanan, S. Seshan, and P. Steenkiste. Understanding 802.11 performance in heterogeneous environments. In Proceedings of the 2nd ACM SIGCOMM workshop on Home networks, pages 43 - 48. ACM, 2011.
- [7] P. Dely, A.J. Kessler, and D. Sivchenko. Theoretical and experimental analysis of the channel busy fraction in ieee 802.11. In Future Network and Mobile Summit, 2010, pages 1 - 9. IEEE, 2010.
- [8] J.P. Javaudin and M. Bellec. Omega project: On convergent digital home networks. In Cross Layer Design (IWCLD), 2011 Third International Workshop on, pages 1 - 5. IEEE, 2011.
- [9] S. Liu, G. Xing, H. Zhang, J. Wang, J. Huang, M. Sha, and L. Huang. Passive interference measurement in wireless sensor networks. In Network Protocols (ICNP), 2010 18th IEEE International Conference on, pages 52 - 61. IEEE, 2010.
- [10] L. Qiu, Y. Zhang, F. Wang, M.K. Han, and R. Mahajan. A general model of wireless interference. In Proceedings of the 13th annual ACM international conference on Mobile computing and networking, pages 171 - 182. ACM, 2007.
- [11] V. Angelakis, S. Papadakis, V.A. Siris, and A. Traganitis. Adjacent channel interference in 802.11 a is harmful: Testbed validation of a simple quantification model. Communications Magazine, IEEE, 49(3):160 - 166, 2011.
- [12] J. Nachtigall, A. Zubow, and J.P. Redlich. The impact of adjacent channel interference in multi-radio systems using ieee 802.11. In Wireless Communications and Mobile Computing Conference, 2008. IWCMC'08. International, pages 874 - 881. IEEE, 2008.
- [13] K. Szczypiorski and W. Mazurczyk. Steganography in ieee 802.11 ofdm symbols. Security and Communication Networks, 2011.
- [14] J. Jun, P. Peddabachagari, and M. Sichitiu. Theoretical maximum throughput of ieee 802.11 and its applications. In Network Computing and Applications, 2003. NCA 2003. Second IEEE International Symposium on, pages 249 - 256. IEEE, 2003.
- [15] Y. Xiao and J. Rosdahl. Throughput and delay limits of ieee 802.11. Communications Letters, IEEE, 6(8):355 - 357, 2002.
- [16] B. Ginzburg and A. Kesselman. Performance analysis of a-mpdu and a-msdu aggregation in ieee 802.11 n. In Sarnoff symposium, 2007 IEEE, pages 1 - 5. Ieee, 2007.
- [17] Y. Xiao. Ieee 802.11 n: enhancements for higher throughput in wireless lans. Wireless Communications, IEEE, 12(6):82 - 91, 2005.

저자소개

양승철(Seung-Chur Yang)

2006 부산가톨릭대학교
컴퓨터정보공학 학사

2009 부산대학교
정보컴퓨터공학부 석사

2009~현재 : 부산대학교 정보컴퓨터공학부 박사과정
※ 관심분야 : 무선통신

이성호(Sung-Ho Lee)

1991 한국해양대학교
전자통신공학과 학사
2002 창원대학교 제어계측과 석사
2012~부산대학교 정보컴퓨터
공학부 박사과정

1991 ~ : 국방과학연구소 책임연구원

※관심분야: DDS 기반 시험통제 네트워크, 데이터
링크

김종덕(Jong-Deok Kim)

1994 서울대학교
계산통계학과 학사
1996 서울대학교
전산학과 석사

2003 서울대학교 컴퓨터공학과 박사

2004 ~ 부산대학교 컴퓨터공학과 부교수

※관심분야: 무선통신, 이동통신망, RFID/USN