

경쟁기반 이기종 무선 통신망의 공존 성능 분석[☆]

Performance Analysis on Coexistence of Contention-based Heterogeneous Wireless Networks

박 은 찬* 임 민 중**
Eun-Chan Park Minjoong Rim

요 약

본 논문은 전송 전력과 전송 범위가 서로 다른 이기종 무선 통신망이 경쟁 기반의 채널 접속 프로토콜을 사용하여 공존하는 경우 채널 공유의 형평성과 효율에 대해 분석한다. 먼저, 기존에 널리 사용되는 경쟁 기반의 채널 접속 메커니즘인 CSMA (Carrier Sensing Multiple Access) 프로토콜을 사용하여 채널을 공유하는 경우, 이기종 시스템간의 반송파 감지의 비대칭성과 간섭으로 인한 전송실패를 인지하지 못하는 이진 지수 백오프 메커니즘과 링크 적응 메커니즘에 의해 채널이 불공평하게 공유됨을 밝힌다. 다음으로, 공간 재사용성과 공평한 채널 공유를 동시에 보장할 수 있는 반송파 감지 문턱값의 조건을 유도하고, 통신망의 처리율에 관한 수학적인 모델을 수립하여 경쟁 윈도우와 전송 속도가 채널 공유의 형평성과 효율에 끼치는 영향을 분석한다. 마지막으로, 다양한 환경에서의 모의 실험을 수행하여 공평한 채널 공유를 위한 여러 가지 접근 방법의 채널 공유 성능을 비교한다.

ABSTRACT

This paper analyzes the fairness and efficiency of channel sharing when heterogeneous wireless networks that have different transmission power and/or coverage coexist with the contention-based channel access protocol. First, we show that the existing CSMA (carrier sensing multiple access) protocol, that is a prevailing contention-based mechanism, results in significant unfairness of channel access because of (1) the asymmetric capability of carrier sensing and (2) the blindness of binary exponential backoff and link adaptation mechanisms to the interference-driven transmission failures. Next, we derive the feasible region of carrier sensing thresholds that assures spatial reuse and fair channel sharing simultaneously. Moreover, we establish an analytical model for per-system throughput and investigate the effect of contention window size and transmission rate on the fairness and efficiency of channel sharing. Finally, we compare the performance of several approaches for fair channel sharing via simulations under various network configurations.

☞ keyword : coexistence(공존), contention(경쟁), interference(간섭), fairness(형평성), spatial reuse(공간 재사용)

1. 서 론

최근 스마트폰, 태블릿 PC를 비롯한 다양한 형

태의 휴대용 무선 통신 단말이 빠르게 보급되고 다양한 통신 서비스가 새롭게 등장함에 따라 사용자는 언제 어디서나 통신망에 접속하여 서비스를 받을 수 있기를 요구한다. 이러한 사용자들의 요구를 만족하기 위해, 무선 통신 시스템은 향상된 용량과 서비스 품질(QoS: Quality of Service)을 제공할 수 있도록 발전하며(예를 들어, IEEE 802.11n과 802.11e), 차세대 통신 시스템(예를 들어, Mobile WiMAX와 3GPP LTE)이 개발되고 있다. 이를 위해서 넓은 주파수 대역폭에 대한 요구는 지속적으로 증가하고 있다. 그러나 주파수 대역은 본질적으로 한정된 자원이므로, 이

* 정 회 원 : 동국대학교-서울캠퍼스 컴퓨터정보통신공학부
조교수, ecpark@dongguk.edu (교신저자)

** 정 회 원 : 동국대학교-서울캠퍼스 컴퓨터정보통신공학부
교수, minjoong@dongguk.edu

[2011/04/15 투고 - 2011/05/02 심사 - 2011/05/27 심사완료]

☆ 본 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2010-0008711).

☆ A preliminary version of this paper appeared in ICONI/APIC-IST 2010, Dec 16-20, Mactan Island, Philippines.

This version is improved considerably from the previous version by including new results and features.

를 효과적으로 관리하고 공유하는 것이 매우 중요하다.

최근 미국 FCC에서는 경쟁 기반의 MAC(Medium Access Control) 프로토콜을 의무화하여 3.65GHz 비면허 주파수 대역에서 여러 이기종 통신 시스템이 비독점적 형태로 공존할 수 있도록 허용하였다. 이러한 요구를 충족시키기 위해 802.16 기반의 WMAN (Wireless Metro Area Network) 시스템과 802.11 기반의 WLAN (Wireless Local Area Network) 시스템에서는 주파수 공존을 위해 각각 IEEE 802.16h, IEEE 802.11y 표준을 수립하였다 [1,2]. 주파수 공존 문제는 비면허 대역에서 동작하는 WLAN과 Bluetooth에 대해서 널리 연구되었다 [3]. 또한, IEEE 802.22에서는 인지 무선 (cognitive radio) 기술을 이용하여 지역적으로 사용되지 않는 TV 방송 대역을 간섭을 억제하면서 공유할 수 있는 WRAN(Wireless Regional Area Network)에 관한 표준을 제정하고 있다 [4]. 한편, 최근 CSMA(Carrier Sensing Multiple Access) 형태의 경쟁 기반의 MAC 프로토콜을 사용하는 멀티홉 네트워크에서, 패킷 전송 실패 확률 또는 신호 대 간섭 잡음 비율(SINR: Signal to Interference and Noise Ratio)에 기반하여 센싱 문턱값을 조절하거나 전송 전력을 조절하여 패킷 충돌을 완화하고 공간 재사용(spatial reuse)을 향상시키고자 하는 연구가 널리 이루어지고 있다. [5-7].

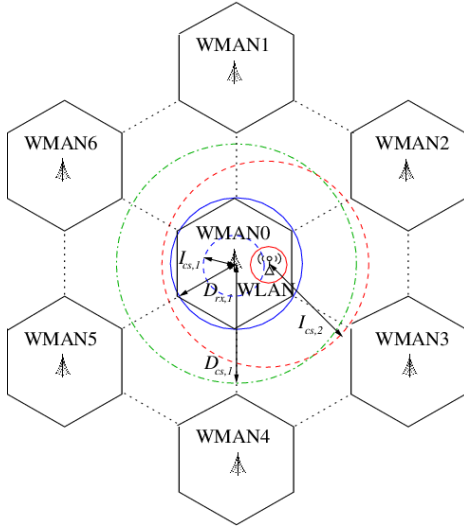
본 연구는 전송 전력이나 전송 범위가 서로 다른 이기종 무선 통신 시스템이 경쟁 기반의 MAC 프로토콜을 사용하여 공존하는 경우 발생하는 문제점에 초점을 맞춘다. 먼저, 경쟁 기반의 MAC 프로토콜로서 널리 사용되는 기존의 CSMA 프로토콜은 채널 접속에 관한 심각한 불공평성을 유발함을 보이고, 그 원인을 (1) 반송파 감지(carrier sensing)의 비대칭성과 (2) 이진 지수 백오프(BEB: Binary Exponential Backoff) 메커니즘과 링크 적응 메커니즘의 비대칭성 관점에서 분석한다. 전송 전력이 높은 시스템은 전송 전력이 낮은 시스템의 패킷 전송을 감지하지 못하여

전송 전력이 낮은 시스템에 간섭을 유발하여 잦은 전송 실패를 일으키게 된다. 뿐만 아니라, 기존의 BEB 메커니즘과 링크 적응 메커니즘은 간섭으로 인한 전송 실패를 인지하지 못함으로써 전송 전력이 낮은 시스템의 채널 접속 기회를 더욱 감소시키거나 간섭에 취약하게 하는 문제점을 일으킨다. 다음으로, 공간 재사용성과 이기종 통신망의 상호 감지 조건을 만족할 수 있는 반송파 감지 문턱값의 상한과 하한을 유도하여 공평한 채널 공유를 위한 조건을 구한다. 또한, 개별 통신망의 처리율에 관한 수학적 모델을 수립하여 경쟁 윈도우(CW: Contention Window)와 전송 속도가 채널 공유의 형평성과 효율에 끼치는 영향을 분석한다. 이러한 분석 결과, 경쟁 기반의 이기종 통신망에서 전송 속도 조절에 기반한 공존 메커니즘은 효과적이지 못하며, 경쟁 윈도우 크기를 조절하는 경우에는 채널 공유의 형평성과 효율에 관해 trade-off가 발생함을 보인다. 마지막으로, 다양한 환경에서의 모의 실험을 수행하여 공평한 채널 공유를 위한 여러 가지 접근 방법의 채널 공유 성능을 비교한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 경쟁 기반의 프로토콜을 사용하는 이기종 통신 시스템의 공존시 발생하는 채널 공유의 불공평성 문제의 원인을 분석한다. 3장에서는 반송파 감지 문턱값 조절의 타당성을 분석하고, 시스템 처리율에 관한 수학적 모델을 유도하여 채널 공유 성능을 분석한다. 4장에서는 모의 실험을 통해 여러 메커니즘의 성능을 비교 평가하며, 5장에서 결론을 맺는다.

2. 문제점 기술

본 논문에서는 전송 전력과 전송 범위가 서로 다른 WMAN과 WLAN이 동일 주파수 대역에서 공존하는 상황을 고려한다. (그림 1)에 도식화한 바와 같이, WMAN은 주파수 재사용율(FRF: Frequency Reuse Factor) 1/3을 가지는 셀룰라 통



(그림 1) WMAN과 WLAN의 공존 시나리오

신망 형태로 구축되어 있고, WLAN은 가운데 WMAN 셀 (WMAN0)의 전송 범위 내에서 동작한다고 가정한다. (그림 1)에서 WMAN0를 둘러싼 6개의 WMAN 셀은 간섭 셀에 해당하며, WMAN_i로 표기 한다. WMAN, WLAN 두 시스템의 전송 전력을 각각 $P_{tx,1}$, $P_{tx,2}$ 로 정의하고 전송 범위는 $D_{tx,1}$, $D_{tx,2}$ 로 정의한다*. 일반적으로 WMAN이 WLAN에 비해 높은 전송 전력과 넓은 전송 범위를 가지므로, $P_{tx,1} > P_{tx,2}$, $D_{tx,1} > D_{tx,2}$ 를 가정한다. 이기종 통신 시스템의 경쟁 기반 공유에 따른 문제점에 초점을 맞추기 위해 WMAN과 WLAN이 CSMA 프로토콜을 사용한다고 가정한다**.

2.1 반송과 감지의 비대칭성

WMAN, WLAN 두 시스템의 반송과 감지 문턱값(CSTH: Carrier Sensing Threshold)을 각각 $P_{cs,1}$,

* 수식 표기를 간단히 하기 위해, 편의상 아래첨자 1과 2는 각각 WMAN과 WLAN을 의미한다.

** IEEE 802.16h [1] 표준에 따르면, WiMAX 시스템은 CXCBI (coordinated coexistence contention-based interval) 라는 특정 프레임에서 타 시스템 (예를 들어, WLAN)과의 비독점적 형태의 주파수 공유를 위해 CSMA과 유사한 경쟁 기반의 프로토콜을 사용한다.

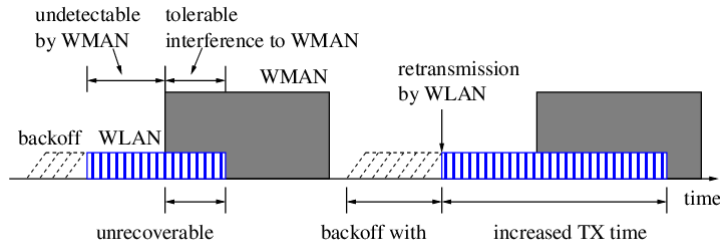
$P_{cs,2}$ 로 정의한다. 반송과 감지를 위해서 에너지 검출 기법이 적용된다고 가정한다. D_{cs} 와 I_{cs} 를 각각 동일 시스템과 이기종 시스템에 의한 채널 점유를 탐지할 수 있는 반송과 감지 범위로 정의한다. D_{cs} 와 I_{cs} 는 각각 동일 시스템 패킷 충돌과 이기종 시스템 간섭과 관련되어 있다. 최대 전송 범위 D_{tx} 는 최소 수신 전력 (P_{min})과 전송 전력 (P_{tx})에 의해 결정되며, 거리에 따른 경로 손실 모델을 고려하면, WMAN 시스템의 D_{cs} 와 I_{cs} , D_{tx} 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} D_{cs,1} &= \left(\frac{G_1 P_{tx,1}}{P_{cs,1}} \right)^{1/\alpha} \\ I_{cs,1} &= \left(\frac{G_2 P_{tx,2}}{P_{cs,1}} \right)^{1/\alpha} \\ D_{rx,1} &= \left(\frac{G_1 P_{tx,1}}{P_{min,1}} \right)^{1/\alpha} \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서 α 는 경로 손실 exponent이며, G_1 과 G_2 는 각각 WMAN과 WLAN 시스템의 채널 이득을 가리킨다. 식 (1)과 같은 방법으로 WLAN에 대해서 $D_{cs,2}$ 와 $I_{cs,2}$, $D_{tx,2}$ 를 표현할 수 있다. 일반적으로 성공적인 패킷 전송을 위해 요구되는 신호의 수신 전력보다 더 작은 크기를 가지는 신호를 통해서도 반송과 감지가 가능하므로, $D_{cs} > D_{tx}$ 이다. 식 (1)에 따르면, 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$\begin{aligned} \text{if } P_{tx,1} > P_{tx,2} &\rightarrow \begin{cases} \text{WMAN : } D_{cs,1} > I_{cs,1}, \\ \text{WLAN : } D_{cs,2} < I_{cs,2}. \end{cases} \\ \text{if } P_{tx,1} > P_{tx,2} \text{ and } P_{cs,1} = P_{cs,2} &\rightarrow D_{cs,1} = I_{cs,2} > D_{cs,2} = I_{cs,1} \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에 따르면 WMAN과 WLAN의 D_{cs} 와 I_{cs} 값의 비대칭성으로 인해, WMAN이 WLAN에 비해 채널 접속의 우선 순위를 가지게 된다. 즉, WMAN의 $I_{cs,1}$ 값이 작아 WLAN의 전송을 감지하지 못하여 WMAN은 WLAN이 채널을 점유하고



(그림 2) 시스템간 간섭에 대한 WMAN과 WLAN의 비대칭적 동작

있는 상황에서도 패킷을 전송함으로써 WLAN에 간섭을 일으켜 WLAN의 전송 실패를 유발한다. 반면, WLAN의 $I_{cs,2}$ 값이 지나치게 커서 WMAN의 전송 범위를 포함하게 되면, WLAN은 WMAN이 채널을 점유하는 동안 채널 접속을 시도하지 않는다. 결과적으로, 반송파 감지의 비대칭성으로 인해 WMAN과 WLAN 사이에 채널 접속의 심각한 불공평성 문제가 발생하게 된다.

2.2 간섭에 의한 이진 지수 백오프 메커니즘과 링크 적응 메커니즘의 비대칭성

이진 지수 백오프 (BEB) 메커니즘은 전송 실패시 경쟁 윈도우 (CW)를 2배씩 증가시킴으로써, 패킷 충돌을 완화할 수 있다. 그러나, 전송 전력이 서로 다른 이기종 통신망이 공존하는 경우 BEB 메커니즘은 간섭으로 인한 전송 실패시 불필요하게 CW를 증가시킴으로써 채널 공유의 형평성을 저하시킨다. (그림 2)에 나타난 바와 같이 시스템간 간섭에 대해서 WMAN과 WLAN은 비대칭적인 형태로 동작한다.

- **WMAN:** WMAN 전송 노드는 WLAN의 전송을 탐지하지 못하여 WLAN의 전송 도중에 패킷을 전송을 시도할 수 있다. 그러나, WLAN의 수신 신호가 상대적으로 작기 때문에, WMAN의 수신 노드는 성공적으로 패킷을 수신할 수 있으며, CW 크기는 변하지 않는다.

- **WLAN:** 반면, WLAN 전송 노드는 WMAN의 패킷 전송으로 인해 상대적으로 큰 간섭을 받아 전송이 실패할 확률이 높으며, 전송 실패시 BEB 메커니즘에 따라 재전송시 CW 크기를 증가시킨다.

따라서, BEB 메커니즘은 패킷 전송 실패의 원인 (전송 노드간의 충돌 또는 이기종 시스템간 간섭)에 무관하게 전송 실패시 CW 값을 증가시킴으로써, WLAN의 전송 기회를 더욱 감소시키고 채널 점유의 형평성을 악화시킨다.

BEB 메커니즘과 비슷하게, 링크 적응 메커니즘 역시 채널 점유의 불공평성 원인으로 작용한다. 링크 적응 기법으로 널리 사용되는 ARF (AutoRate Fallback)[8] 메커니즘은 연속적인 패킷 전송 성공/실패 여부로 채널 상태를 추정하여 전송 속도를 조절하는데, 연속적으로 패킷 전송이 성공하는 경우 전송 속도를 한 단계 높이며, 반대로 연속적으로 패킷 전송이 실패하는 경우 전송 속도를 한 단계 낮춤으로써 무선 채널의 열악한 품질에 의한 전송 실패를 감소시킬 수 있다.

그러나, 이러한 링크 적응 기법은 전송 전력이 서로 다른 이기종 통신망이 공존하는 상황에서는 다음과 같은 두가지 이유로 효과적이지 못하다. 첫째, WMAN의 간섭으로 인해 지속적으로 WLAN의 전송이 실패하는 경우, 링크 적응 기법에 의해 WLAN의 전송 속도를 낮춘다. 반면, WMAN은 간섭으로 인한 전송 실패 확률이 작기 때문에 전송 속도가 크게 변화하지 않는다. 이러한 전송 속도의 비대칭성으로 인해 WLAN의 처

리율이 상대적으로 낮아지게 된다. 둘째, WLAN의 전송 속도를 감소시키는 경우 하나의 패킷 전송에 소요되는 시간 역시 증가하게 된다. 그러나, WLAN의 전송 속도 변화에 무관하게 WMAN은 여전히 WLAN의 전송을 감지하지 못하고 간섭을 일으킨다. 따라서, WLAN의 전송 시간이 증가하게 되면 WMAN에 의한 간섭에 더욱 취약하게 된다. 결과적으로 링크 적응 기법은 WLAN과 WMAN의 공평한 채널 점유를 저하시킨다.

3. 채널 공유 성능 분석

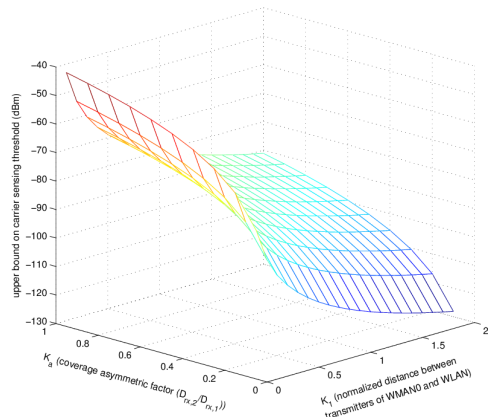
3.1 반송파 감지 문턱값 조절의 타당성 분석

공평하고 효율적인 채널 공유를 위해서 WMAN의 반송파 감지 문턱값 (CSTH) $P_{cs,1}$ 은 상호 감지와 공간 재사용성이라는 두 가지 요구 조건을 만족해야 한다. 즉, $P_{cs,1}$ 값은 WLAN의 전송을 감지할 수 있을 정도로 작아야 하며, 동시에 인접한 WMAN 셀에서의 패킷 전송과는 무관하게 동작할 수 있을 정도로 (즉, 인접 WMAN 셀에서의 전송은 감지하지 않아야 할 정도로) 커야 한다. 이러한 조건으로부터 $P_{cs,1}$ 의 상한과 하한을 얻을 수 있다. WMAN0와 WLAN 전송 노드간의 거리를 $d_{tx1-tx2}$ 로 정의하고, WMAN0와 인접 WMAN_i 셀의 전송 노드간 거리를 $d_{tx1-txi}$ 로 정의한다. 그리고, K_1 과 K_2 를 다음과 같이 정의한다.

$$K_1 = \frac{d_{tx1-tx2}}{D_{rx,1}}, \quad K_2 = \frac{d_{tx1-txi}}{D_{rx,1}}$$

WMAN0와 WLAN의 중첩을 고려하면 $0 \leq K_1 \leq 2$ 가 되며, (그림 1)과 같이 FRF=1/3의 WMAN 셀을 고려하면 $1 \leq K_2 \leq 5$ 가 된다. $P_{cs,1}$ 에 대한 두 가지 요구 조건 (상호 감지와 공간 재사용성)은 아래 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} I_{cs,1} &> K_1 D_{rx,1} \\ P_{cs,1} &< K_2 D_{rx,1} \end{aligned} \quad (3)$$



(그림 3) 상호 감지와 공간 재사용성 조건을 만족하는 WMAN의 반송파 감지 문턱값의 상한

$P_{min,1} = P_{min,2}$ 라고 가정하면, 식 (1)과 식 (3)으로부터 $P_{cs,1}$ 의 상한과 하한을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{cs,1} &\leq P_{min,1} - 10\alpha \log_{10}(K_1/K_a) \\ P_{cs,1} &\geq P_{min,1} - 10\alpha \log_{10}(K_2) \end{aligned} \quad (4)$$

식 (4)의 $P_{cs,1}$ 은 로그 형태로 표현된 것으로 단위는 dBm임에 유의하며, K_a 는 WMAN과 WLAN의 셀 반경의 비대칭성을 나타내는 것으로 $K_a = D_{rx,2}/D_{rx,1}$ 로 정의한다. 예를 들어, $P_{min,1} = -80$ dBm이고 경로 손실 인자 $\alpha = 3.7$ 인 경우, $P_{cs,1}$ 의 하한은 K_2 가 1에서 5로 증가함에 따라 -80 dBm에서 -105.9 dBm으로 감소한다. 한편, (그림 3)은 K_a 과 K_1 에 따른 $P_{cs,1}$ 의 상한값을 보여주고 있는데, K_1 이 증가하거나 K_a 가 감소함에 따라 $P_{cs,1}$ 의 상한값은 감소한다. 식 (4)와 (그림 3)을 통해 알 수 있듯이, 중요한 점은 식 (4)를 동시에 만족하는 $P_{cs,1}$ 은 항상 존재하는 것은 아니고, 다음과 같은 조건을 만족하는 경우에만 존재한다.

$$\frac{K_1}{K_2} < K_a = \frac{D_{rx,2}}{D_{rx,1}} \quad (5)$$

다시 말해, 전송 노드간 거리와 셀 반경이 식

(5)의 조건을 만족하는 경우에만, WMAN이 WLAN 전송을 감지하여 공평하게 채널을 공유하며, 이웃 WMAN 셀과 공간 재사용을 가능하게 한다. 한편, CSTH 값에 대해서는 법률적인 규제가 있을 수 있으며, 센싱의 정확도와 실제 구현을 고려하면 CSTH 값을 임의의 작은 값으로 설정하는 것은 어렵다. 결론적으로, CSTH 값 조절을 통한 공평하고 효율적인 채널 공유는 노드의 배치와 셀 구축 상황에 따라 실현 불가능한 경우가 발생하며, 현실적이거나 바람직한 해결 방안이 될 수 없다.

3.2 시스템 처리율에 관한 수학적 모형 유도

채널 공유의 공평성 정도를 평가하고 여러 가지 시스템 파라미터에 따른 채널 공유 성능을 분석하기 위해 시스템 처리율에 관한 간단한 수학적 모형을 유도하고자 한다. CSMA 프로토콜에 기반한 WLAN의 처리율에 관해서는 기존에 널리 알려진 모형이 존재한다[9,10]. 그러나, 이러한 모형은 이기종 통신망간 간섭으로 인한 전송 실패를 고려하고 있지 않기 때문에, 본 연구에 그대로 적용하기 어렵다. 따라서, 이 절에서는 이기종 시스템간 채널 공유 성능을 분석할 수 있는 간단한 수학적 모형을 유도한다. 특히, CW와 전송 속도에 따른 채널 공유의 형평성과 효율을 분석하기 위해 두 값은 고정되었다고 가정한다. 즉, BEB 메커니즘과 링크 적응 메커니즘은 비활성화되었다 가정한다. N_1 과 N_2 를 각각 공존하는 WMAN, WLAN 전송 노드 수로 정의하고, CW_1 과 CW_2 를 두 시스템의 CW 크기, R_1 과 R_2 를 두 시스템의 전송 속도로 정의한다. 또한, 연속된 두 패킷 전송 간의 시간 간격을 전송 라운드라고 명명한다. 분석을 위해 다음과 같은 가정을 설정한다*.

* 전송 감지 확률 p_d 는 CSTH 값, 전송 전력, 채널 모형, 전송 노드의 배치 등 여러 가지 파라미터에 의해 결정되는데, 본 연구에서는 $(I_{cs,i}/D_{rx,i})^2$ 으로 근사화한다. 또한, 백오프 카운터 값은 노드의 전송 상태에 따라 이전 전송 라운드에서 설정한 값에서 감소할 수도 있는데, 분석의 편의상 본 연구에서는 매 전송 라운드마다 새로운 값을 임의

(A1) 모든 전송 노드는 전송할 패킷을 항상 가지고 있어 채널 점유를 경쟁한다.

(A2) WMAN의 CSTH값 ($P_{cs,1}$)은 WMAN 셀간 공간 재사용 조건을 만족하도록 설정되어 있다.

(A3) WMAN 전송 노드는 WLAN 노드의 패킷 전송을 p_d 의 확률로 감지할 수 있는 반면, WLAN 전송 노드는 WMAN 노드의 패킷 전송을 항상 감지할 수 있다.

(A4) 매 전송 라운드마다, 각 전송 노드는 임의의 백오프 카운터 값을 설정한다.

이러한 가정에 의해, WMAN 전송 노드의 백오프 확률은 식 (6)과 같이 주어진다.

$$p_{bo,1} = \Pr[b_1 = k] = \frac{1}{CW_1}, \quad (6)$$

$$0 \leq k \leq CW_1 - 1$$

식 (6)에서 b_1 은 WMAN 노드의 백오프 카운터를 의미한다. 같은 방법으로, WLAN 노드의 백오프 확률 $p_{bo,2}$ 를 얻을 수 있다. $n_{bo,1}$ 과 $n_{bo,2}$ 를 각각 WMAN, WLAN 전송 노드의 최소 백오프 카운터 값으로 정의하고, 다음의 두 경우를 고려한다.

- CASE1 : $n_{bo,1} < n_{bo,2}$
- CASE2 : $n_{bo,1} \geq n_{bo,2}$

먼저, CASE1을 고려한다. 이 경우에는 WMAN 전송 노드가 WLAN의 간섭 없이 채널을 점유하는 경우이다. $n_{bo,1} = k_1$ 인 경우 WMAN 노드간 충돌 없이 성공적으로 채널을 점유할 확률은 식 (7)과 같으며, WMAN 시스템의 평균 처리율은 식 (8)과 같다.

$$p_a^{(1)}(k_1) = N_1 p_{bo,1} (1 - (k_1 + 1)p_{bo,1})^{N_1 - 1} \cdot (1 - (k_1 + 1)p_{bo,2})^{N_2} \quad (7)$$

로 설정한다고 가정하였다. 모의 실험에서는 두 가정을 적용하지 않는다.

$$TH_1^{(1)} = \sum_{k_1=0}^{CW_m-1} p_a^{(1)}(k_1)(1-ber_1)^L \quad (8)$$

$$\cdot \frac{L}{k_1 t_s + L/R_1 + t_{oh}}$$

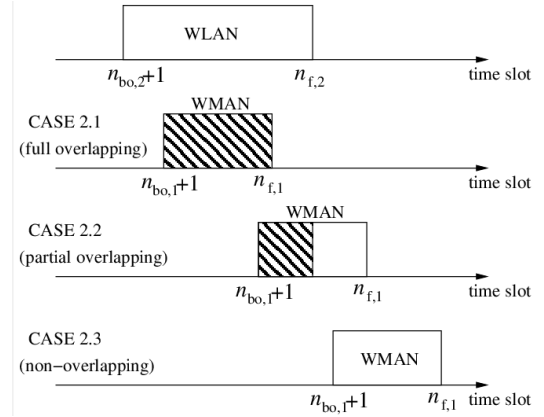
식 (8)에서 $CW_m = \min(CW_1, CW_2)$ 이며 L 은 패킷 크기, t_s 는 슬롯 시간, t_{oh} 는 패킷 전송에 소요되는 여러 가지 오버헤드 시간(inter-frame 시간, PHY/MAC 패킷 헤더 전송 시간, ACK (Acknowledgement) 프레임 전송 시간 등)을 나타낸다. 또한, 식 (8)의 ber_1 은 WMAN 시스템의 비트 오류율 (BER: Bit Error Rate)을 나타내는데, 노드의 배치와 채널 모형, 전송 속도에 의해 결정된다 [11]. CASE1에서 WLAN 전송 노드는 WMAN 전송을 감지하고 전송을 시도하지 않기 때문에, WLAN 시스템의 처리율은 0이 된다.

다음으로, CASE2 ($n_{bo,1} \geq n_{bo,2}$)를 고려한다. 이 경우에는 WLAN 전송 노드가 WMAN 전송 노드에 앞서 채널 점유를 시도하는데, WMAN 전송 노드가 WLAN 전송 노드의 전송을 감지하는 경우와 그렇지 않은 경우를 구분한다. $TH_{2,n}^{(2)}$ 와 $TH_{2,i}^{(2)}$ 를 각각 전자와 후자의 경우 WLAN의 처리율로 정의하고, WMAN에 대해서도 동일하게 두 경우의 처리율을 각각 $TH_{1,n}^{(2)}$ 와 $TH_{1,i}^{(2)}$ 로 정의한다. CASE2에서의 WMAN과 WLAN 처리율 $TH_1^{(2)}$, $TH_2^{(2)}$ 는 다음과 같다.

$$TH_1^{(2)} = (1-p_d)TH_{1,i}^{(2)}, \quad (9)$$

$$TH_2^{(2)} = p_d TH_{2,n}^{(2)} + (1-p_d)TH_{2,i}^{(2)}.$$

WMAN 노드가 WLAN 노드의 전송을 감지하는 경우에는 WMAN 노드가 전송을 시도하지 않기 때문에, $TH_{1,n}^{(2)}$ 의 값은 0이고, $TH_{2,n}^{(2)}$ 의 값은 식 (8)과 같은 방법으로 계산할 수 있다. 다음으로, $TH_{1,i}^{(2)}$ 과 $TH_{2,i}^{(2)}$ 의 값을 구한다. $n_{bo,1}=k_1$ 이고 $n_{bo,2}=k_2$ ($\leq k_1$)인 경우 두 값은 독립적이므로, WMAN과 WLAN 전송 노드의 채널 접근 시도 확률 $p_a^{(2)}(k_1, k_2)$ 는 다음 식 (10)과 같이 표현할 수



(그림 4) WLAN 채널 점유 도중 WMAN의 패킷 전송 시도로 인한 3가지 간섭 상황

있다.

$$p_a^{(2)}(k_1, k_2) = N_1 p_{bo,1} (1 - (k_1 + 1)p_{bo,1})^{N_1 - 1}$$

$$\cdot N_2 p_{bo,2} (1 - (k_2 + 1)p_{bo,2})^{N_2 - 1} \quad (10)$$

식 (11)과 같이 $n_{f,1}$ 을 전송 라운드 시작 시점부터 WMAN 전송 노드가 전송을 완료할 때까지의 슬롯 수로 정의한다.

$$n_{f,1} = (k_1 t_s + L/R_1 + t_{oh})/t_s \quad (11)$$

같은 방법으로 $n_{f,2}$ 를 정의하면, $n_{bo,1}$, $n_{f,1}$, $n_{f,2}$ 값에 따라 (그림 4)와 같은 3가지 경우가 존재한다.

- CASE2.1 (완전 간섭) : $n_{f,1} \leq n_{f,2}$
- CASE2.2 (부분 간섭) : $n_{f,1} > n_{f,2}$ 이고 $n_{bo,1} < n_{f,2}$
- CASE2.3 (간섭 없음): $n_{f,1} > n_{f,2}$ 이고 $n_{bo,1} \geq n_{f,2}$

CASE2.1은 $R_1 > R_2$ 인 경우 발생할 수 있다. WMAN과 WLAN 전송 노드가 동시에 전송하여 간섭을 일으키는 슬롯 수를 s_i 로 정의하고, WMAN, WLAN 두 노드가 간섭 없이 채널을 접

유하는 슬롯 수를 각각 $s_{1,n}$, $s_{2,n}$ 으로 정의한다. 또한, s_i 슬롯과 $s_{1,n}$ 슬롯 동안 BER은 크게 변하지 않는다고 가정하여 각각의 시간 구간동안의 BER을 $ber_{1,i}$ 와 $ber_{1,n}$ 으로 정의한다. 같은 방법으로 WLAN에 대해서도 $ber_{2,i}$ 와 $ber_{2,n}$ 을 정의한다. WMAN과 WLAN에 대한 유효한 패킷 오류율 (PER: Packet Error Rate)은 다음 식 (12)와 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} per_1^{(2)} &= 1 - (1 - ber_{1,n})^{s_{1,n}t_s R_1} (1 - ber_{1,i})^{s_i t_s R_1}, \\ per_2^{(2)} &= 1 - (1 - ber_{2,n})^{s_{2,n}t_s R_2} (1 - ber_{2,i})^{s_i t_s R_2}. \end{aligned} \quad (12)$$

그러면, $TH_{1,i}^{(2)}$ 과 $TH_{2,i}^{(2)}$ 는 식 (10)-(12)로 부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} TH_{1,i}^{(2)} &= \sum_{k_2=0}^{CW_m-1} \sum_{k_1=k_2}^{CW_1-1} p_a^{(2)}(k_1, k_2) (1 - per_1^{(2)}) \frac{L}{n_{f,1} t_s} \\ TH_{2,i}^{(2)} &= \sum_{k_2=0}^{CW_m-1} \sum_{k_1=k_2}^{CW_1-1} p_a^{(2)}(k_1, k_2) (1 - per_2^{(2)}) \frac{L}{n_{f,max} t_s} \end{aligned} \quad (13)$$

식 (13)에서 $n_{f,max} = \max(n_{f,1}, n_{f,2})$ 이다. 최종적으로, WMAN과 WLAN의 시스템별 처리율 TH_1 과 TH_2 는 식 (8), (9), (13)으로부터 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} TH_1 &= TH_1^{(1)} + TH_1^{(2)}, \\ TH_2 &= TH_2^{(2)}. \end{aligned}$$

3.3 경쟁 윈도우 크기와 전송 속도의 영향

3.2절에서 유도한 시스템별 처리율 모형을 이용하여 CW 크기와 전송 속도가 채널 공유의 형평성과 효율에 끼치는 영향을 분석한다. 또한, 유도한 모형의 타당성을 검증하기 위해 모의 실험 결과와 분석 결과를 비교한다. 분석과 모의 실험에 사용한 파라미터는 (표 1)과 같다. 모의 실험 환경에 대한 자세한 설명은 4.1절을 참고한다. 채

(표 1) 분석과 모의 실험에 사용된 파라미터

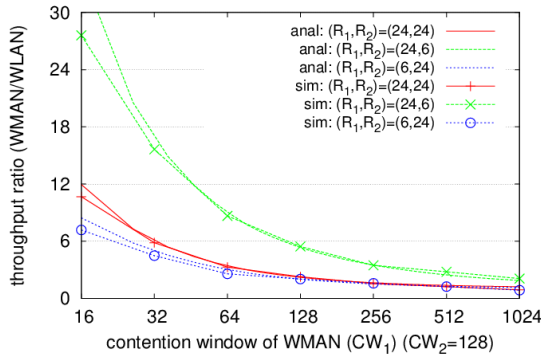
파라미터	값	
	WMAN	WLAN
전송 전력 (P_{tx})	1000 mW	50 mW
최소 수신 전력 (P_{min})	-80 dBm	-80 dBm
셀 반경 (D_{rx})	750 m	100 m
Path-loss exponent (α)	3.7	3.7
사용자 수 (N)	10	10
WMAN BS와 WLAN AP 사이의 거리 ($D_{int-sys}$)	300m	

널 공유의 형평성과 효율을 평가하기 위한 성능 지표로 각각 다음과 같이 γ_{ratio} 와 η_{eff} 를 설정하였다.

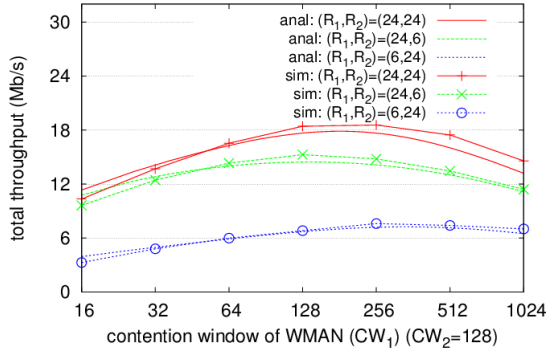
$$\gamma_{ratio} = \frac{TH_1/N_1}{TH_2/N_2}, \quad \eta_{eff} = TH_1 + TH_2. \quad (14)$$

(그림 5)은 CW_2 는 128로 고정되어 있고, CW_1 이 16에서 1024까지 변화하는 경우의 γ_{ratio} 와 η_{eff} 값을 보여준다. (그림 5)(a)에서 보듯이 R_1 , R_2 값에 무관하게 γ_{ratio} 는 CW_1 이 증가함에 따라 감소하여 1에 가까운 값을 가진다. 이는 CW_1 이 증가에 따라 WMAN의 채널 점유 확률이 감소하고 반대로 WLAN의 채널 점유 확률이 증가하기 때문이다. 반면, (그림 5)(b)는 CW_1 의 증가에 따라 η_{eff} 값이 증가하다 감소하는 경향을 보여준다. CW_1 값이 어느정도까지 증가함에 따라 패킷간 충돌이나 간섭으로 인한 전송 실패가 감소하여 η_{eff} 값이 증가하지만, CW_1 값이 그 이상 증가하게 되면 WMAN의 채널 점유를 위한 백오프 시간이 지나치게 증가하여 η_{eff} 값이 오히려 감소한다.

(그림 5)에서 R_1 과 R_2 값에 따른 형평성과 효율도 함께 살펴볼 수 있는데, $R_2 > R_1$ 인 경우에는 $R_2 = R_1$ 경우에 비해 형평성은 향상되지만 (즉, γ_{ratio} 값은 1에 가깝지만), 효율은 저하된다 (즉, η_{eff} 값이 작다). 반대로, $R_2 < R_1$ 인 경우에는 $R_2 = R_1$ 경우에 비해, 형평성과 효율 모두 저하됨을 알 수 있다. (그림 5)의 분석 결과와 실험 결과를 바



(a) 처리율 비 (γ_{ratio})



(b) 전체 처리율 (n_{eff})

(그림 5) 경쟁 윈도우 크기와 전송 속도가 채널 공유 형평성과 효율에 끼치는 영향

탕으로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

- 분석 결과와 실험 결과는 경우에 따라 약간의 오차는 있지만 대체로 일치하는데, 이는 3.2절에서 유도한 분석 모형의 타당성을 입증한다.
- WMAN의 CW 크기 증가는 형평성 향상에 기여하지만, CW_1 크기가 특정값을 초과하는 경우 전체 채널 공유 효율은 악화된다. 따라서, CW_1 크기에 따라 형평성과 효율의 trade-off가 발생하고, 둘을 모두 고려한 최적의 CW_1 크기가 존재한다.
- 2.2절에서 살펴본 바와 같이, WLAN이 전송 오류에 강인한 변복조 방식을 사용하더라도 (즉, R_2 값을 감소시키더라도), 이기종 시스템 간 간섭으로 인한 불공평한 채널 공유 문제를 해결할 수 없다. 오히려 R_2 값을 감소시키면 채널 효율과 함께 형평성을 더욱 악화시킨다.

4. 모의 실험 결과

이 장에서는 먼저 모의 실험 환경을 제시하고, 모의 실험을 통해 반응과 감지 문턱값 변화에 따른 채널 공유 성능을 살펴보고, 다양한 통신망 환경에서 여러 가지 채널 공유 형평성 향상 메커

니즘의 성능을 비교한다.

4.1 모의 실험 환경

모의 실험을 위해 Matlab을 이용하여 자체적으로 시뮬레이터를 구현하였으며, 사용되는 파라미터는 (표 1)과 같다. 무선 채널은 경로 손실과 함께 shadowing과 다중경로 페이딩을 고려하여 모형화 하였다. 도심지 상황을 고려하여 경로 손실 exponent값은 3.7로 설정하였으며, shadowing은 평균값 0, 표준 편차 8 dB 값을 가지는 log-normal 분포로 설정하였으며, Rayleigh 페이딩 모델을 사용하였다. 잡음 전력은 -100 dBm으로 설정하였다. 모의 실험에서는 BEB 메커니즘과 링크 적응 메커니즘을 활성화 시켰으며, 링크 적응 기법에 사용된 전송 속도와 각 전송 속도별 최소 SINR 값은 (표 2)에 나타내었다. 패킷 오류 모형은 802.16m 모의 실험 방법론 문서 [12]의 모형을 따랐다. IEEE 802.11a의 물리계층과 MAC 계층 파라미터 값을 사용하였으며, CW 크기의 최소값과 최대값은 각각 16과 1024로 설정하였다. WMAN 기지국 (BS: Base Station) 또는 WLAN AP (Access Point)는 1KB의 패킷을 상향 또는 하향 전송한다. 패킷 생성 간격은 평균 5 ms의 Poisson 분포를 따른다. 실험 결과는 노드의 배치를 임의로 설정하여 10 번의 실험을 반복하여 얻은 평균값으로 제시한다.

(표 2) 전송 속도별 최소 SINR값

변조 방식	전송 속도	최소 SINR값
64QAM 3/4	56 Mb/s	24.56 dB
64QAM 2/3	48 Mb/s	24.05 dB
16QAM 3/4	36 Mb/s	18.80 dB
16QAM 1/2	24 Mb/s	17.04 dB
QPSK 3/4	18 Mb/s	10.79 dB
QPSK 1/2	12 Mb/s	9.03 dB
BPSK 3/4	9 Mb/s	7.78 dB
BPSK 1/2	6 Mb/s	6.02 dB

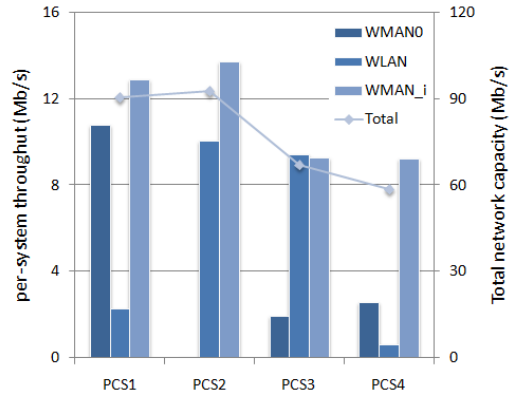
4.2 반송파 감지 문턱값의 영향

이 실험에서는 WMAN과 WLAN 이기종 통신망의 공존시 채널 공유의 불공평성 문제를 확인하고, CSTH값이 처리율에 끼치는 영향을 파악하고자 한다. (그림 6)은 아래와 같이 서로 다른 CSTH값을 가지는 4가지 경우에 대한 시스템별 처리율과 전체 통신망 용량을 보여준다.

- PCS1: ($P_{cs,1}, P_{cs,2}, P_{cs,i}$)=(-90, -90, -90) dBm
- PCS2: ($P_{cs,1}, P_{cs,2}, P_{cs,i}$)=(-100, -90, -90) dBm
- PCS3: ($P_{cs,1}, P_{cs,2}, P_{cs,i}$)=(-100, -100, -90) dBm
- PCS4: ($P_{cs,1}, P_{cs,2}, P_{cs,i}$)=(-100, -100, -100) dBm

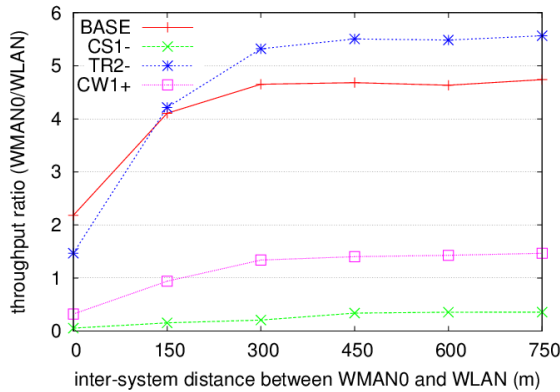
여기서, $P_{cs,i}$ 는 1차 간섭 WMAN 셀 (WMAN_i)의 CSTH값을 가리킨다. (그림 6)에서 WMAN_i 시스템 처리율은 6개의 1차 간섭 WMAN 셀의 평균 처리율을 의미하며, 전체 네트워크 용량은 모든 시스템의 처리율 합을 의미한다.

첫 번째 PCS1의 경우, WMAN0의 처리율이 WLAN 처리율의 대략 5배 정도 높게 나타났다. 이 경우, $D_{cs,1}$ ($=I_{cs,2}$)와 $D_{cs,2}$ ($=I_{cs,1}$)은 각각 대략 1400m와 190m 정도이다. 처리율의 형평성을 높이기 위한 방안으로 WMAN0의 CSTH값 ($P_{cs,1}$)을 낮추는 PCS2 경우를 고려할 수 있는데, 이 경우 $I_{cs,1}$ 의 값이 350m 정도로 $D_{int-sys}$ 값보다 커 WMAN0는 PCS1 경우보다 높은 확률로 WLAN의 전송을 감지할 수 있게 된다. 그러나, (그림 6)

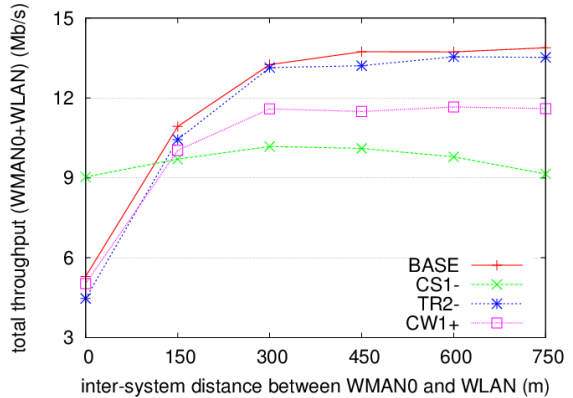


(그림 6) 서로 다른 반송파 감지 문턱값을 가지는 경우 시스템별 처리율 및 전체 통신망 용량

의 실험 결과는 이러한 접근 방법이 효과적이지 못함을 보여 준다. 즉, WMAN0의 처리율이 0에 가깝게 감소하고, WLAN의 처리율이 10 Mb/s 정도로 높아진다. 이는 $P_{cs,1}$ 의 값을 감소시킬 경우, $I_{cs,1}$ 의 값이 커질 뿐만 아니라, $D_{cs,1}$ 의 값이 2600m로 증가하여 인접 WMAN_i 셀의 전송 범위를 포함하게 된다. 즉, WMAN 셀간 공간 재사용성이 제한되게 된다. 따라서, PCS1 경우에서의 WMAN0와 WMAN_i간의 불공평성 문제가 PCS2 경우 WMAN0와 WMAN_i간 발생하게 된다. 이에 대한 해결 방안으로, $P_{cs,1}$ 과 $P_{cs,i}$ 를 동시에 -100 dBm으로 감소시키는 PCS3 경우를 고려해본다. 이 경우, (그림 6)에서 보는 바와 같이 PCS1 경우와 반대로 WLAN의 처리율이 WMAN0의 처리율에 비해 5배 정도 높은 값을 가진다. 뿐만 아니라, PCS3의 경우 $P_{cs,i}$ 값의 감소는 전체 시스템 처리율을 PCS1 또는 PCS2 경우와 비교해 대략 25% 정도 감소시킨다. 마지막으로 모든 셀에서의 CSTH값을 -100 dBm으로 설정한 PCS4의 경우 WMAN0와 WLAN간 처리율의 불공평성 문제 역시 해결되지 않은 채(WMAN0의 처리율이 WLAN의 처리율에 비해 4배 정도 높다), 전체 시스템 용량은 PCS1 또는 PCS2 대비 35% 정도 감소하였다. 이러한 실험 결과를 통해 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다. 시스템의 처리율은 CSTH값



(a) 시스템별 처리율 비 (y_{ratio})



(b) 전체 네트워크 용량 (η_{tot})

(그림 7) WMAN과 WLAN 구축 중첩도에 따른 여러 가지 메커니즘의 성능 비교

에 상당히 민감하게 영향을 받으며, CSTH값 조절을 통한 시스템 처리율의 형평성과 효율을 향상시키는 것은 인접 WMAN 셀간의 공간 재사용성 제약으로 인해 현실적인 해결방안이 될 수 없다.

4.3 여러 메커니즘의 채널 공유 성능 비교

이 절에서는 채널 공유 성능을 향상시키고자 하는 여러 가지 메커니즘의 성능을 비교한다. 비교 대상 메커니즘은 다음과 같다.

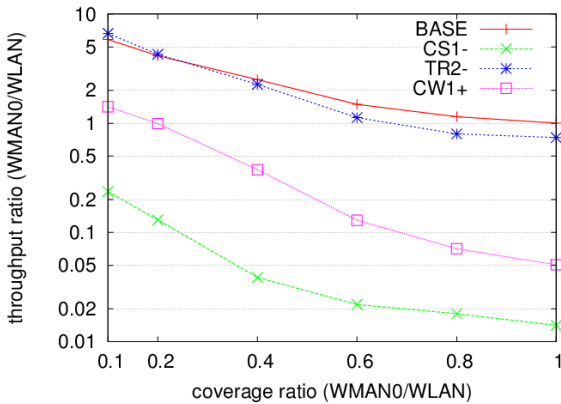
- **BASE** : 이는 별도의 추가적인 공존 메커니즘을 구현하지 않은 메커니즘으로 성능 비교 기준으로 삼는다.
- **CS1-** : 이는 CSTH값 조절에 기반한 접근 방법으로서, WMAN0의 $P_{cs,1}$ 값을 -97.65 dBm으로 설정한다. 이 값은 WLAN의 전송을 300 m 수준까지 감지할 수 있으며 ($I_{cs,1} = 300$ m), 인접 WMAN 셀간 공간 재사용을 어느 정도 확보할 수 있다. ($D_{cs,1} = 2250$ m).
- **TR2-** : 이 방법은 WMAN으로 인한 간섭을 극복하기 위해 WLAN의 변조와 코딩 속도를 가장 강인한 것으로 설정한다. 즉, WLAN의 전송 속도를 가장 낮은 6 Mb/s로 고정시킨다.

- **CW1+** : 이 접근 방법은 WMAN의 CW 크기를 증가시킴으로써 형평성을 향상시키고자 한다. WMAN0의 CW 크기를 최대값 1024로 고정시킨다.

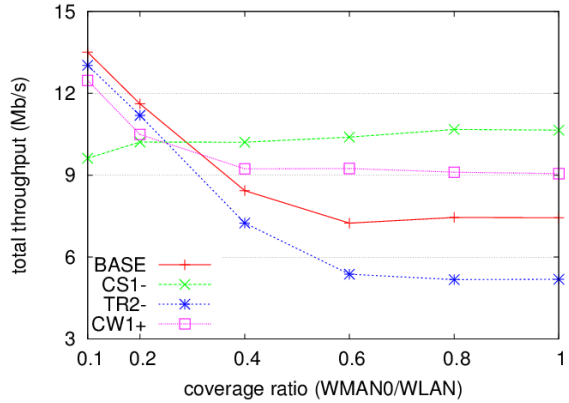
4.3.1 WMAN과 WLAN 구축 중첩도 영향

이 실험에서는 WMAN과 WLAN 시스템의 구축 중첩도의 영향을 살펴본다. 이를 위해, WMAN0의 BS와 WLAN AP 사이의 거리 $D_{int-sys}$ 값을 0부터 (완전 중첩) WMAN0 셀 반경인 750m (부분 중첩)까지 변화시키면서 채널 공유의 효율과 형평성을 관찰한다.

(그림 7)에서 보듯이 $D_{int-sys} = 0$ 의 경우를 제외하고는 형평성 관점에서는 CW1+ 메커니즘이 가장 우수하였지만, 효율 관점에서는 BASE 대비 20%정도 낮은 값을 보여준다. BASE와 TR2- 메커니즘의 경우 $D_{int-sys}$ 값이 0에서 750 m로 증가함에 따라 y_{fair} 값이 각각 2.2와 1.5에서 4.7과 5.6으로 증가하여 형평성이 저하됨을 알 수 있다. BASE와 TR2- 메커니즘을 비교하면 TR2- 메커니즘의 y_{fair} 값이 더 크고, η_{eff} 값이 더 작음을 알 수 있는데, 이는 3.3 절에서 이미 살펴본 바와 같이 WLAN의 전송 속도를 저하시키는 것이 채널 공유의 형평성과 효율성 관점에서 효과적이지 못함을 의미한다. 다른 메커니즘과 달리, CS1- 메커니즘의 경



(a) 시스템별 처리율 비 (γ_{ratio})



(b) 전체 네트워크 용량 (η_{tot})

(그림 8) WLAN과 WMAN 전송 범위의 비에 따른 여러 가지 메커니즘의 성능 비교

우 γ_{fair} 값이 1보다 작은데 (최대 0.36), 이는 WLAN 시스템이 WMAN 시스템보다 더 높은 확률로 채널을 점유하였음을 의미한다. 또한, CS₁- 메커니즘의 경우 η_{eff} 값은 다른 메커니즘과 달리 $D_{int-sys}$ 값에 큰 영향을 받지 않으며, $D_{int-sys} > 150m$ 인 경우 다른 메커니즘에 비해 효율이 저하됨을 알 수 있다. 이는 설정한 CSTH 값이 WMAN 셀간 공간 재사용성을 완전히 보장하지 못하기 때문이다.

4.3.2 WMAN과 WLAN 전송 전력/범위 비대칭성 영향

이 논문에서 고려하고 있는 이기종 통신망의 공존시 채널 공유의 불공평성이 발생하는 근본적인 원인은 전송 범위와 전송 전력의 차이이다. 이 실험에서는 전송 범위 비대칭성에 따른 채널 공유 성능을 살펴본다.

(그림 8)은 WLAN의 전송 범위를 75 m에서 750 m로 증가시켰을 경우 (즉, 전송 범위 비대칭성 지표 $K_a (= D_{rx,2}/D_{rx,1})$ 값을 0.1에서 1까지 변화시켰을 경우) 채널 공유 성능을 보여준다. 이 실험에서는 $D_{int-sys}$ 값은 300 m로 고정한다. (그림 8)에서 보듯이, 전송 범위 비대칭성이 약화될수록 형평성은 향상되었다. BASE와 TR₂- 메커니즘의 경우, K_a 값이 1에 가까워 증가할수록 γ_{fair} 값은 작아져 1에 가까워진다. 한편, η_{eff} 값은 K_a 값이

0.6까지 증가할수록 감소하였으며, 이 값이 0.6을 초과할 경우 큰 변화가 없었다. 이는 K_a 값의 증가에 따른 WLAN 전송 전력의 증가로 인한 WMAN 시스템에 대한 간섭 때문으로 해석된다. 반면, CS₁-, CW₁+ 메커니즘의 경우, K_a 값의 증가에 따라 γ_{fair} 값이 급격히 감소하여 $K_a = 1$ 의 경우 γ_{fair} 값이 각각 0.014와 0.05로 추정되었다. 반면, CS₁- 메커니즘은 효율성 관점에서 K_a 값에 크게 영향을 받지 않으며, $K_a > 0.2$ 인 경우 가장 우수하였다.

5. 결 론

이 논문에서는 전송 전력이나 전송 범위가 서로 다른 이기종 통신망이 경쟁 기반의 채널 접속 메커니즘을 가지고 공존하는 상황에서 발생하는 채널 공유의 형평성과 효율에 관한 문제를 다루었다. 이기종 통신망간 채널 공유의 불공평성이 발생함을 밝히고, 그 원인을 반송파 감지의 비대칭성과 간섭으로 인한 전송 실패시 이진 지수 백오프 메커니즘과 링크 적응 기법의 동작 관점에서 분석하였다. 또한, 수학적 모형을 수립하여 반송파 감지 문턱값과 전송 속도, 경쟁 윈도우 크기의 영향을 심도있게 분석하였으며, 모의 실험을 통해 채널 공유 성능 향상을 위한 여러 가지

메커니즘의 성능을 비교하였다. 향후 동적인 방법으로 경쟁 윈도우의 크기를 조절하여 채널 공유 성능을 향상 시킬 수 있는 방안을 연구할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE 802.16 License-Exempt Task Group, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks Part 16: Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems Amendment 2: Improved Coexistence Mechanisms for License-Exempt Operation", IEEE Std. 802.16h-2010.
- [2] IEEE 802.11 Task Group, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Specific Requirements, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 3: 3650-3700 MHz Operation in USA", IEEE Std. 802.11y-2008.
- [3] N. Golmie, N. Chevrollier, and O. Rebala, "Bluetooth and WLAN coexistence: challenges and solutions", *IEEE Wireless Communications Magazine*, vol. 10., no. 6, pp. 22-29, 2003.
- [4] IEEE 802.22 Working Group, "IEEE Draft Standard for Wireless Regional Area Networks Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Policies and procedures for operation in the TV Bands", IEEE P802.22/D2.0, 2011
- [5] J. Zhu, X. Guo, L. L. Yang, W. S. Conner, S. Roy and M. M. Hazra, "Adapting physical carrier sensing to maximize spatial reuse in 802.11 mesh networks", *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 4, no. 8, pp. 933-946, 2004
- [6] T.-S. Kim, H. Lim, and J. C. Hou, "Improving spatial reuse through tuning transmit power, carrier sense threshold, and data rate in multihop wireless networks", *Proceedings of MobiCom 2006*.
- [7] X. Yang and N. Vaidya, "A spatial backoff algorithm using the joint control of carrier sense threshold and transmission rate", *Proceedings of SECON 2007*.
- [8] A. Kamerman, L. Monteban, "WaveLAN-II: A high-performance wireless LAN for the unlicensed band", *Bell Labs Technical Journal*, vol. 2, pp. 118-133, 1997
- [9] G. Bianchi, "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 18, no. 3, pp. 535-547, 2000.
- [10] F. Cali, M. Conti, E. Gregori, "Dynamic tuning of the IEEE 802.11 protocol to achieve a theoretical throughput limit", *IEEE Trans. on Networking*, vol. 8, no. 6, pp. 785-799, 2000.
- [11] S. Haykin and M. Moher, "Introduction to Analog and Digital Communications", 2nd ed., Wiley, 2006
- [12] IEEE 802.16 Task Group m, "IEEE 802.16m Evaluation Methodology Document", IEEE 802.16m-08/004r2, 2008.

◎ 저 자 소 개 ◎

박 은 찬



1999년 서울대학교 전기공학부 (공학사)
2001년 서울대학교 전기컴퓨터 공학부 (공학석사)
2006년 서울대학교 전기컴퓨터 공학부 (공학박사)
2006년~2008년 삼성전자 통신연구소 책임연구원
2009년~현재 동국대학교 정보통신공학과 조교수
관심분야 : 무선네트워크, 통신망 성능분석 및 설계
E-mail : ecpark@dongguk.edu

임 민 중



1987년 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1993년 University of Wisconsin-Madison, ECE (공학박사)
1993년~2000년 삼성전자 선임연구원
2000년~현재 동국대학교 정보통신공학과 교수
관심분야 : 이동통신, 무선통신
E-mail : minjoong@dongguk.edu