

# IEEE 802.11에서 채널 이용률을 높이기 위한 동적 커버영역 제어

양 덕 용(楊 德 龍), 이 태 진(李 泰 珍)

성균관대학교 전자·전기학과

전화/팩스 : (031) 290-7982 / H.P 번호 : 016-574-1418

## Dynamic Coverage Control to Improve Channel Utilization in IEEE 802.11

Duck-Yong Yang, Tae-Jin Lee

School of Electrical and Electronics Engineering SungKyunKwan University

E-mail : ducky@ece.skku.ac.kr, tjlee@ece.skku.ac.kr

### Abstract

IEEE 802.11 Wireless LAN protocol uses fixed transmission power. It does not consider a power control mechanism based on the distance between the transmitter and the receiver in order to improve overall channel utilization. In home environment, where stations generally lie around an AP, the AP is subject to use transmission power more than it needs. And wireless LAN stations may require different minimal desired received power. If there are many adjacent BSSs in densely populated WLAN area, they might cause RF interference to one another. In this paper we focus on the improvement of aggregate utilization by mitigating RF interference among BSSs. We show that RF interference by APs can be reduced by controlling transmission power using Link Margin information. The reduced interference will then lead to the increased aggregate throughput which is efficient resource utilization.

### I. 서론

최근 들어 많은 hotspot 지역에서 무선랜의 사용이 점차 증가하고 있다. 따라서 무선랜의 밀집도가 보다

높아지게 되었다. 무선 자원은 제한되어 있기 때문에 무선 네트워크에서 무선자원을 효율적으로 이용하는 것은 매우 중요하다. 송신 전력의 조절을 통해서 무선 채널의 이용률을 개선하고자 하는 연구가 많이 진행되어 왔다[1],[2],[3]. 전력 조절에 관한 연구들은 전력 조절 요청 정보를 내보내는 데이터와 함께 보낼 수 있는 셸플러 네트워크에서 주로 고려되었다. 이와 달리, IEEE 802.11 무선랜은 모든 데이터 패킷을 하나의 공유된 무선 채널을 통해서 보낸다. IEEE 802.11 무선랜에서 송신 전력 조절에 관한 연구는 대부분 ad-hoc 네트워크에 관한 것이다[4],[5],[6],[7]. IEEE 802.11 프로토콜에서 independent BSS 방식 보다는 infrastructure BSS가 주로 이용되고 있다

본 연구는 다른 연구와는 다음과 같은 점에서 다르다. (1) AP를 통해서만 통신하는 IEEE 802.11 무선랜 (infrastructure BSS)에 초점을 맞춘다. (2) 전송 시 소비되는 전력을 최적화하는 목적으로는 인접한 BSS 간 간섭을 줄이기 위해 전력 소절 메커니즘을 사용한다. (3) AP의 송신 전력을 조절하기 위해서 Link Margin 정보를 사용하는 것을 제안한다.

무선랜 프로토콜 중에서 가장 많이 사용되고 있는 IEEE 802.11 표준은 매체 접속 제어 방법으로 반송파 감지 다중 접속 충돌 방지 방식(CSMA/CA)을 사용한다. 송신 전력의 조절이 없는 경우 AP는 데이터를 전송하기 위해서 정해진 최대의 전력으로 송신하게 된다. 이것은 이웃 BSS들에게 간섭을 야기할 수 있다.

AP에서 불필요하게 소비하는 전력을 줄이기 위해서 Link Margin[8] 정보를 이용할 수 있다. Link Margin은 AP로부터 전송된 신호의 세기와 수신하는 무선 단말에서 요구되는 최소의 신호세기다. Link Margin은 상대적은 측정값으로 Path loss와 다른 링크들의 영향들을 내포한다. AP는 Link Margin 정보를 포함한 관리(management) frame을 요청하고 수신 무선 단말은 Link Margin 정보가 담긴 관리 frame을 보고한다. AP는 모든 무선 단말들의 보고 frame을 받아 이중 최소의 Link Margin 만큼 송신 전력을 줄여 간섭을 최소화 할 수 있다.

이 논문에서 나머지 부분은 다음과 같은 내용으로 구성된다. 2장에서는 IEEE 802.11의 기본 매체 접속 제어 메커니즘인 DCF에 대해서 알아보고, 3장에서는 BSS들 간의 무선 채널 간섭뿐만 아니라 동적 커버영역 제어(DCC)에 대해서 살펴본다. 4장에서는 제안된 메커니즘을 시뮬레이션 해보고 그 결과에 대해 논의한다. 끝으로, 5장에서 이슈와 관련하여 결과를 요약한다.

## II. IEEE 802.11 DCF

IEEE 802.11 매체 접근 제어에는 자유경쟁에 의한 DCF 방식과, 시간 제약적 서비스를 제공하기 위한 중앙 제어에 의한 PCF 방식이 있다[9]. DCF는 CSMA/CA 메커니즘에 의해서 무선 매체를 공유하는 방식이다. CSMA/CA는 전송하고자 하는 무선 단말은 무선 매체가 사용 중인지를 결정하기 위해 먼저 무선 매체를 감지해야 한다. 만약 무선 매체가 사용 중이면 DIFS 기간 동안 기다린 후 임의의 지연시간을 설정하는 backoff procedure를 수행한다. Backoff procedure는 하나 이상의 무선 단말이 전송을 시도하는 경우 충돌 확률을 줄이기 위해서 사용된다. CSMA/CA와 함께 수신이 성공했을 때 수신 무선 단말이 ACK frame을 전송하는 긍정적 ACK(Positive ACK) 방식을 사용한다.

무선랜 환경에서 숨은 노드 문제(hidden node problem)가 있을 수 있다. 멀리 떨어져 있어서 서로 들을 수 없는 두 무선 단말이 이 두 무선 단말의 목적 무선 단말에서 충돌을 야기할 수 있다. 이런 문제를 해결하기 위해, IEEE 802.11 매체 접근 제어는 예약 기반의 메커니즘을 사용할 수도 있다. 보낼 데이터가 있는 무선 단말은 Ready-To-Send(CTS) frame을 수신 단말에게 보낸다. 수신 단말은 Clear-To-Send(CTS) frame으로 응답하게 된다. RTS/CTS 메커니즘은 frame의 길이와 관련된 타이밍 정보를 포함하고 있기 때문에 송신 단말과 수신 단말 주위의 모든 무선 단말

들이 듣고 이 통신이 완료하기 전까지 전송을 지연함으로써 숨은 노드 문제를 해결한다.

## III. 동적 커버영역 제어(DCC)

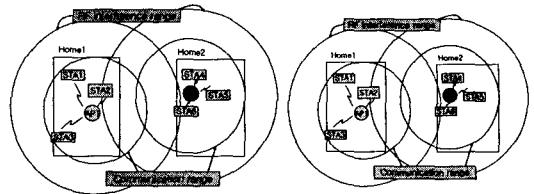


그림 1 무선 간섭 범위와 그림 2 무선 간섭 범위와 통신 범위

CSMA/CA 매체 접근 방법에서, 한 무선 단말이 데이터를 보내면 다른 무선 단말들은 데이터 전송이 끝나기 전까지 무선 매체를 사용할 수 없다. 그래서 인접한 BSS에 있는 AP 또는 무선 단말 때문에 다른 BSS에 있는 AP 또는 무선 단말이 무선 매체를 사용하지 못할 수도 있다. 이를 무선 간섭(RF interference)이라고 한다. 그림1은 무선 간섭의 범위와 통신의 범위를 보여준다. 무선단말2와 6은 인접 BSS의 AP가 무선 매체를 사용하는 동안 무선 매체를 사용하지 못할 수도 있다. 그림1에서 나타난 것처럼 무선 간섭의 범위는 통신 범위보다 훨씬 넓다. 기본적인 CSMA/CA 방식에서, AP를 포함한 모든 무선 단말이 무선 채널을 사용할 확률은 같다. 즉, 무선 단말들은 무선 매체를 사용하기 위해서 같은 BSS내에 있는 것들과 경쟁해야 하고 인접한 무선 단말뿐만 아니라 AP까지도 경쟁 대상이 된다. 경쟁하는 무선 단말의 수와 수율(throughput)과의 관계는 이미 연구되었다[10],[11]. 실제로는 무선 단말들이 무선 매체를 사용하는 것보다 AP가 사용할 확률이 더 높다. 일반적으로 하향 링크의 트래픽이 많다. 따라서 한 AP에 의해 나타나는 수율의 감소의 양이 한 무선 단말에 의해 감소되는 양보다 훨씬 많다. 또 다른 무선 간섭의 종류로, 수신되는 신호의 세기가 반송파 감지 경계 값보다 작으면 이 간섭 신호는 IEEE 802.11 프로토콜을 따르지 않게 되어 간섭을 야기하는 경우이다. 이 신호는 정상적인 IEEE 802.11 무선 단말들이 데이터를 전송하고 있는 동안에도 임의의 시간에 발생하여 간섭을 일으킬 수 있다[12]. 이런 경우, 목적 무선 단말에서는 수신되는 신호에 에러가 생길 확률이 높고 에러가 생기면 ACK를 보내지 않게 된다. 따라서 재전송이 일어나게 되는데, 이것은 네트워크에서 오버헤드를 증가시키게 된다. (그림3 참고)

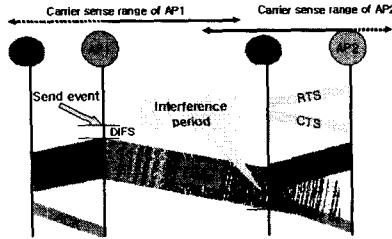


그림 3. 무선 간섭의 예

급격하게 증가하는 보급률을 고려할 때, 전체적인 무선 채널의 이용률을 개선하기 위해 무선 간섭을 줄이는 것은 매우 중요하다. 무선 간섭은 주파수 할당에 의해 줄여질 수 있지만 IEEE 802.11b의 경우 최대 3개의 무선 채널이 겹쳐지지 않고 사용될 수 있다. 따라서 BSS의 밀집도가 높을 때는 이런 방법도 완전한 해결책이 될 수 없다. 본 연구에서는 무선 간섭을 줄여 그림2에서 보인 네트워크의 전체적인 수율을 증가시키기 위해 AP의 송신 전력을 조절할 것을 제안한다. 무선 단말의 송신 전력까지 줄이게 되면 숨은 노드 문제를 야기할 것이다[10]. 그래서 AP의 전력만을 최적화하고자 한다. 무선 단말2와 6은 이제 인접 AP가 무선 채널을 사용하고 있더라도 무선 채널을 사용할 수 있다. 가정에서 대부분의 무선 단말들은 AP 근처에 놓이게 된다. 그래서 AP는 송신 전력을 줄일 수 있다. 무선 채널이 free space loss model로 가정하면, 조절될 수 있는 송신 전력은 path loss 이득과 같다. 옥내 환경에서의 path loss 이득을 계산하기 위해서 path loss 파라미터 값이 4인 log-distance path loss 모델[13]을 사용한다. AP로부터 32m 이내에 있는 무선 단말들의 data rate가 11Mbps라고 가정한다면[14], AP와의 거리에 따른 path loss 이득은 다음과 같다.

$$PL(d) = P_r(d) - P_t(32) \\ = 10 \log \left( \frac{G_s G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^4 L} \right) - 10 \log \left( \frac{G_s G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 32^4 L} \right) = 10 \log \left( \frac{32}{d} \right)^4, \quad d \leq 32$$

여기서,  $P_r$ 는 AP에서의 송신전력,  $d$ 는, AP와 수신 무선 단말과의 거리(meter),  $P_t(d)$ 는 거리  $d$ 에 위치한 무선 단말에서 수신된 신호의 세기,  $G_s$ 는 송신 안테나의 이득,  $G_r$ 는 수신 안테나의 이득,  $L$ 는 시스템의 손실 계수(전파와는 무관하고 1보다 크다.) 그리고  $\lambda$ 는 파장을 말한다. AP가 송신 전력을 얼마나 조절할 수 있는지에 대한 예를 그림4에 나타내었다. 전력 조절이 없는 경우 최대 송신 전력은 15dBm이라고 가정하였다.

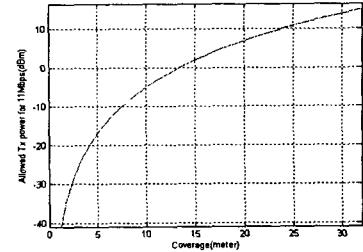


그림 4. IEEE 802.11b 무선랜에서 조절 가능한 송신 전력의 예.

## VI. 시뮬레이션

무선 간섭의 영향을 감정하기 위해서, 시뮬레이터 ns-2[15]를 사용하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션에 사용된 네트워크 토플로지는 그림5처럼 두 개의 BSS로 구성되고 물리 계층은 IEEE 802.11 DSSS 방식을 사용하였다. AP0은 5개의 무선 단말과 연결되고, AP1은 4개의 무선 단말과 연결된다. 패킷 크기는 1000byte이고 모든 트래픽의 data rate는 2Mbps로 가정하였다. 숨은 노드 문제로 인한 영향을 제거하기 위해서 RTS/CTS frame 방식을 사용하였다. 그리고 path loss 계수가 4인 log-distance path loss model을 사용하였다. 무선랜 파라미터 값들은 표1과 같이 설정하였다. 모든 무선 단말들의 receiver sensitivity는 같다고 가정하였다. AP가 송신 전력을 조절하는 경우와 조절하지 않는 경우에 대해 시뮬레이션 하고 마지막에 모든 AP가 전력 조절을 하는 환경을 시뮬레이션 하였다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 파라미터 값들

Parameter	Value
Maximum TX power	24.5 dBm
Frequency band	2.45 GHz
Bandwidth	2 Mbps
RTS Threshold	0
Carrier sense threshold	-78 dBm
Receiver sensitivity	-64 dBm
Basic rate	1 Mbps
Data rate	2 Mbps

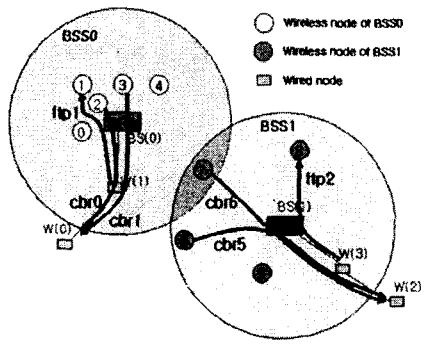


그림 5. 시뮬레이션에 사용된 토플로지와 트래픽

첫 실험에서, BSS0는 하나의 하향링크(AP0→STA1)를 가지고, BSS1은 두 개의 상향링크(STA6→AP1, STA7→AP1)를 가진다. 그림 6처럼 AP0은 23초 이후로 BSS1의 무선 단말들에게 간섭을 일으킨다. 그래서 BSS1의 이용률이 낮아지게 된다. 이 실험에서 간섭은 AP0에 의해서만 일어난다. 150초 이후에 AP0은 DCC에 의해서 송신 전력을 조절하게 되고 BSS1의 이용률이 간섭이 없을 때의 값으로 복원된다.

다음으로, 좀더 실제적인 환경을 구성하였다. BSS0과 BSS1 모두 하나의 하향링크와 두 개의 상향링크를 가진다. 즉, 무선 간섭이 AP 뿐만 아니라 무선 단말에 의해서도 일어나는 환경을 시뮬레이션 하였다(그림7 참고). AP0이 150초에 송신 전력을 조절하기 전까지 BSS1의 이용률은 간섭으로 인해 매우 낮다. 150초 이후에는 BSS0의 이용률이 조금 낮아졌지만, BSS1에서는 크게 증가하였다. 따라서 네트워크 전체의 이용률이 크게 증가하는 것을 보여준다.

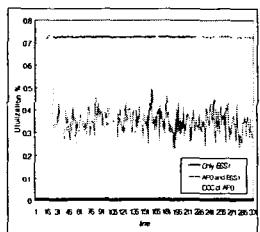


그림 6. 인접한 AP가 무선 단말에 미치는 영향

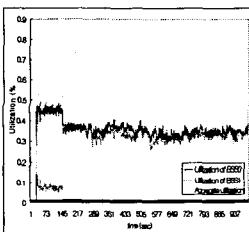


그림 7. 한쪽 AP만 전력 조절을 할 경우의 예

끝으로 토플로지를 조금 변경하였다. 무선 단말의 위치를 변경하여 시뮬레이션 하였다. 각 BSS는 앞의 실험과는 다른 이용률을 보여주지만, 전체적인 이용률은 앞의 실험과 마찬가지로 증가하였다.

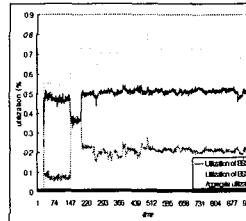


그림 8 모든 AP가 전력 조절을 사용(1)

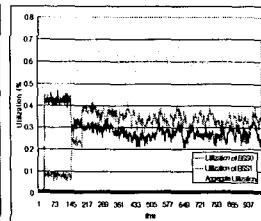


그림 9. 모든 AP가 전력 조절을 사용(2)

## V. 결론

지금까지 인접한 BSS간의 무선 간섭의 영향에 대해 살펴보았다. AP로부터의 하향링크가 더 많은 경향이 있기 때문에 무선 AP에 의한 무선 간섭의 영향이 매우 크다. 따라서 무선 간섭을 최소화하고 네트워크의 전체적인 무선 채널의 이용률을 증가시키기 위해서 AP의 송신 전력을 최적화하는 것을 제안하였다. AP가 DCC를 사용하여 BSS가 밀집한 환경에서 무선 간섭을 크게 줄일 수 있다는 것을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. AP의 송신 전력 조절은 무선 단말에서 보고한 Link Margin 정보를 사용하여 조절될 수 있다. 이 DCC가 BSS가 밀집해서 구성되는 hotspots 또는 가정, 아파트 등에서 점점 중요해질 것이라고 믿는다.

## 참고문헌

- [1] P. Gupta and P. Kumar, "The capacity of wireless networks," IEEE Transactions on Information Theory, vol.46, no.2, pp. 388-404, Mar. 2000.
- [2] F. Rashid-Farrokhi et. al., "Downlink power control and base station assignment," IEEE Communications Letters, vol.1, no.4, pp. 102-104, Jul. 1997.
- [3] J. Oh and K. Wasserman, "Optimality of greedy power control in DS-CDMA mobile networks," in Proc. of ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), vol. 5, pp. 102-112, 1999.
- [4] J. Monks, V. Bharghavan, and W. Hwu, "A power controlled multiple access protocol for wireless packet networks," in Proc. of IEEE INFOCOM, vol. 1, pp. 1-11, April. 2001.
- [5] J. Monks, "Power controlled multiple access in ad hoc networks," in Proc. of IEEE Multiaccess, Mobility and Teletraffic for Wireless Communications, vol. 5, pp. 219-230, Dec. 2000.
- [6] J. Monks, V. Bharghavan, and W. Hwu,

"Transmission power control for multiple access wireless packet networks," in Proc. of IEEE Conference on Local Computer Networks LCN, vol. 25, pp. 12-21, Nov. 2000.

- [7] J. Monks, "Transmission power control for enhancing the performance of wireless packet data networks," Ph.D. Thesis, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Illinois, March, 2001.
- [8] Draft standard : Spectrum and transmit power management extensions in the 5GHz band in europe, IEEE 802.11 Task Group h, November 2002.
- [9] IEEE 802.11. Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications, IEEE, Aug. 1999.
- [10] G. Bianchi, "IEEE 802.11-Saturation Throughput Analysis," IEEE Comm. Letters, vol.2, no.12, Dec. 1988.
- [11] G. Bianchi, "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function," Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, vol.18, no.3, Mar. 2000.
- [12] J. Geier, Minimizing 802.11 interference issues, <http://www.wi-fiplanet.com/tutorials/>
- [13] T. S. Rappaport, Wireless communications: principle and practice, Prentice-Hall, 2001.
- [14] Magis network, "Throughput analysis: IEEE802.11e and IEEE 802.11a," Magis document #E10282, 2003.
- [15] NS-2 (Network Simulator Ver.2), URL: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>