

# 라이시안 페이딩 채널에서 AFH알고리즘을 사용하는 블루투스 피코넷의 패킷 간섭과 통합 처리량 분석

준회원 김승연\*, 정회원 양성현\*\*\*, 이형우\*, 조충호\*\*

## Packet Interference and Aggregated Throughput of Bluetooth Piconets Using an Adaptive Frequency Hopping in Rician Fading Channels

Seung-Yeon Kim\* *Associate Member*,  
Yang Sung-Hyun\*\*\*, Hyong-Woo Lee\*, Choong-Ho Cho\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 AFH (Adaptive Frequency Hopping) 알고리즘을 사용하는 블루투스 (Bluetooth) 로 이루어진 피코넷 (Piconet) 이 WLAN (Wireless Local Area Network) 과 공존할 때 피코넷 패킷 간의 충돌과 통합 처리량을 수학적으로 분석하였다. AFH 알고리즘에 의해 줄어든 블루투스의 홉 수가 피코넷 간의 패킷 충돌을 증가시킬 수 있고 통합 처리량에도 영향을 줄 수 있음을 알 수 있다. 또한 다중 경로 페이딩 채널을 고려하여 다수의 피코넷이 패킷을 전송할 때 동일 주파수를 사용하더라도 주변의 피코넷의 신호 세기에 따라 패킷의 충돌 확률에도 영향을 줄 수 있음을 알 수 있다. 본 연구는 블루투스와 WLAN 사용에 있어서 시스템의 파라미터 설정에 참고할 만한 가이드라인이 될 수 있을 것이다.

**Key Words** : AFH Algorithm, Coexistence, WLAN, Bluetooth, Rician fading

### ABSTRACT

In this paper we analyze the packet interference probability and the aggregated throughput of a WPAN in which a number of Bluetooth piconets share the ISM band with WLANs. Using an Adaptive Frequency Hopping algorithm, when the AFH is employed, the number of hops available to the Bluetooth piconets varies depending on the number of independent WLANs within the piconet's radio range. Using a packet collision model in a piconet cluster, we give an analysis of the packet interference probability and the aggregated throughput as a function of the available hops for the AFH algorithm. We also present an analytical model of packet interference with multi-path fading channel in a cluster of piconets. Through analysis, we obtain the packet collision probability and aggregated throughput assuming capture effect. Numerical examples are given to demonstrate the effect of various parameters such as capture ratio, Rice factor and cluster size on the system performance.

※ 본 연구는 산업자원부 및 한국산업기술평가원의 성장동력기술개발사업의 연구결과로 수행되었습니다.

\* 고려대학교 전자및정보공학부 B-ISDN 연구실 (kimsy8011@korea.ac.kr, hwlee@korea.ac.kr)

\*\* 고려대학교 컴퓨터정보학과 BCN 연구실 (chcho@korea.ac.kr)

\*\*\* 광운대학교 전자공학부 (shyang@daisy.kw.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-01-039, 접수일자 : 2008년 1월 21일, 최종논문접수일자 : 2008년 7월 11일

I. 서 론

블루투스나 IEEE 802.11b 표준은 WPAN과 WLAN을 위한 가장 대중적인 기술이다. 그러나 동일한 Unlicensed ISM Band를 사용하기 때문에 한 공간에서 블루투스와 IEEE 802.11b를 같이 사용했을 경우 각각의 패킷 전송에 있어서 충돌이 발생하게 된다. 예를 들어 일정 공간 안에 AP (Access Point) 를 놓고 WLAN을 사용하면서 블루투스 헤드 셋이나 PDA를 사용하는 경우 Unlicensed ISM Band 에서 선택된 22MHz 의 Band를 WLAN이 사용하게 되고 블루투스는 홉핑 패턴에 의해 Unlicensed ISM Band 에서 임의로 주파수를 바꾸게 된다. 이때 두 디바이스의 주파수가 같게 되면 패킷 충돌이 발생하게 된다.

IEEE 802.15의 Coexistence Task Group에서는 블루투스와 WLAN과의 주파수간 패킷 충돌을 줄이기 위해서 블루투스에 AFH 알고리즘<sup>[1]</sup>을 제안하였다.

블루투스 피코넷에서는 마스터가 채널을 컨트롤 하는데 피코넷은 독립적인 마스터들을 조절해 주는 장치가 없기 때문에 한 공간에 여러 개의 피코넷이 공존할 경우 블루투스 패킷 간의 충돌이 발생하게 된다<sup>[2]</sup>. 이는 공항, 국제 회의, 쇼핑몰 등과 같이 한 공간 안에 많은 사람들이 밀집된 장소에서 모바일 폰이나 헤드 셋을 사용했을 경우 발생할 수 있다. 특히 AFH 알고리즘을 사용하는 블루투스를 WLAN이 작동되는 공간에서 사용할 경우 블루투스 간 패킷 충돌은 더 자주 발생하게 될 것이다.

또한 무선 통신의 경우 단말기 사이에 다중 경로가 생기게 되는데 그 경로에 따라 전송되는 신호의 세기가 달라진다. 서로 다른 신호의 세기를 갖는 블루투스는 패킷 간의 충돌에도 영향을 줄 수 있다. 패킷 간의 충돌은 피코넷의 처리량에 영향을 주기 때문에 그에 대한 연구는 중요하다. 본 논문에서는 멀티플 슬롯 패킷을 사용하는 피코넷 클러스터의 패킷 충돌을 다중 경로 채널에서 모델링하여 AFH 알고리즘을 사용하는 블루투스로 이루어진 피코넷의 패킷 충돌 확률과 통합 처리량을 분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 관련 연구로서 AFH 알고리즘과 다중 경로 페이딩 채널과 블루투스 피코넷의 충돌 확률을 기술하고, III장은 충돌 모델링을 설명한다. IV장에서는 III장의 충돌 모델을 가지고 피코넷의 충돌과 통합처리량을 분석하고, V장에서는 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 AFH 알고리즘<sup>[3]</sup>

일반적으로 블루투스 전송 채널은 625 μs 슬롯 79개로 나눈다. 그리고 마스터의 패킷 전송은 슬롯의 홀수 번째에 이루어진다. 각각의 패킷은 최대 주파수 호핑률 (Maximum Frequency Hopping Rate) 1600hops/s로 다른 호핑 주파수로 전송된다. AFH 알고리즘 적용 블루투스의 경우 2.402-2.480GHz 주파수 범위에서 짝수 주파수와 홀수 주파수로 분류한다. 마스터가 전송할 수 있는 홀수 주파수만 본다면 분류된 주파수에서 처음 32개의 주파수를 선택한다. 그리고 선택된 주파수에서 16개의 주파수를 선택한다. 처음 32개의 주파수를 선택하고 남아있던 주파수에서도 16개를 선택하여 총 32개의 주파수를 결정한다. 선택된 32개의 주파수에는 Good 주파수와 Bad 주파수가 있는데 이때 그림 1에서 보는 것처럼 AFH 알고리즘에 의해 Bad 주파수를 Good 주파수로 대체하게 된다. AFH 알고리즘과 원래의 블루투스 호핑 세그먼트 알고리즘 (Bluetooth Hopping Segment Algorithm) 과 차이는 선택된 32개의 채널을 Good 주파수로 채운다는 것이다. AFH 알고리즘을 적용한 블루투스를 사용할 때 Bad 주파수가 많을 경우 그 세그먼트 안에 Good 주파수 패턴의 변화는 마스터와 슬레이브 간의 LMP (Link Management Protocol) 메시지의 교환으로 이루어진다.

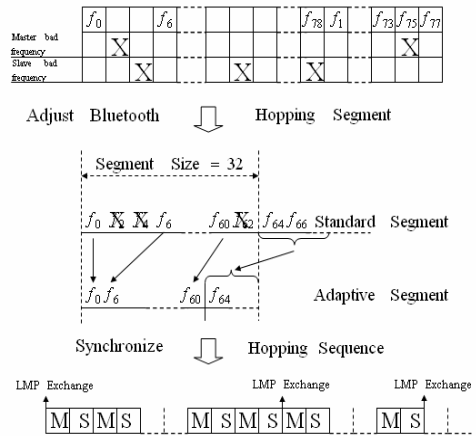


그림 1. AFH 알고리즘

2.2 다중 경로 페이딩 채널<sup>[4,5]</sup>

다중 경로 페이딩은 그림 2와 같이 장애물 때문에 라디오 웨이브의 반사에 의해 발생하게 된다. 그

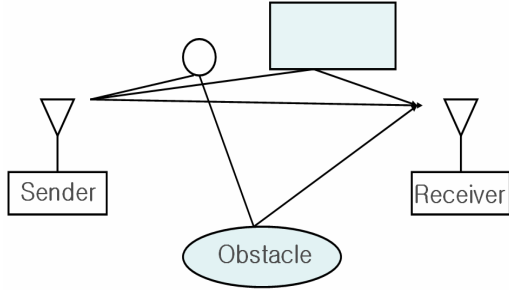


그림 2. 다중 경로 페이딩

래서 라디오 웨이브는 송, 수신시에 여러 경로로 전송된다. 이와 같은 페이딩의 진 폭 분포는 레일리 분포로 모델링 된다. 레일리 분포는 식 (1)과 같다.

$$f_{Ray}(x) = \frac{x}{\sigma_I^2} \exp\left(\frac{-x^2}{2\sigma_I^2}\right) \quad (1)$$

$x$ 는 신호의 진폭이고,  $\sigma_I^2$ 는 주변 단말기들의 평균 파워이다.

송, 수신기 사이의 거리가 짧고 주변 환경의 변화가 적을 경우 전송된 신호 파워의 많은 부분이 다중 경로이지만 line-of-sight (LOS)가 존재하게 된다. 이때 많이 사용하는 라이시안 페이딩 채널에서는 전송된 신호의 크기가 라이시안 랜덤 변수에 의해 모델링 된다. 라이시안 분포는 식 (2)와 같다.

$$f_{Rice}(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(\frac{-(x^2 + \alpha_0^2)}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{\alpha_0 x}{\sigma^2}\right), \quad x \geq 0 \quad (2)$$

$$I_0(x) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \exp(x \cos \theta) d\theta \quad (3)$$

여기서  $I_0(\cdot)$ 은 0차의 Bessel function이다.  $\alpha_0^2$ 은 직접적인 수신 또는 신호 파워의 LOS를 나타낸다. 라이시안 페이딩 채널에서 중요한 파라미터  $K$ 는 식 (4)와 같이 정의된다.

$$K = \frac{\alpha_0^2}{2\sigma^2} \quad (4)$$

식 (4)에서  $2\sigma^2$ 는 피코넷의 파워이다.  $K$ 가 0에 접근할 경우 레일리 페이딩 채널 (Rayleigh Fading Channel)이 되고,  $K$ 가  $\infty$ 에 접근할 경우 Additive White Gaussian Noise (AWGN) 채널이 된다.

### III. 충돌 확률<sup>[6]</sup>

한 개의 피코넷이 갖는 주파수 홉 수는 79개이다. 그림 3에서 1슬롯을 갖는 마스터1(M1)이 3슬롯을 갖는 마스터2(M2)에 의해 충돌이 발생할 확률( $P_{13}$ )은 마스터1가  $f_1$ 의 주파수 동안 마스터2의 주파수와 같을 확률  $2/79$ 이다. 마스터1가  $f_2$ 의 주파수 동안 마스터2의 주파수와 충돌할 확률은  $1/79$ 이다. 같은 과정으로  $f_4$ 일 경우는  $1/79$ ,  $f_5$ 일 경우는  $2/79$ 이다.

반대로 마스터2가 마스터1에 의해 충돌이 발생할 확률( $P_{31}$ )은 마스터2가  $f_1'$ 의 주파수 동안 마스터1의 주파수와 같을 확률은  $4/79$ 이다. 마스터2가  $f_2'$  주파수 동안 마스터1의 주파수와 같을 확률은  $2/79$ 이다. 두 경우의 평균을 구하면  $(4/79+1/79)/2=3/79$ 가 된다.

앞에서  $P_{13}$ ,  $P_{31}$ 을 구한 것과 같은 방식으로 그림 4의  $P_{35}$ ,  $P_{53}$ 을 구하면 각각  $5/237$ ,  $5/158$ 가 된다. 나머지 다른 슬롯을 갖는 경우의 확률을 구하면  $P_{11}=2/79$ ,  $P_{33}=2/79$ ,  $P_{55}=2/79$ ,  $P_{15}=4/237$ ,  $P_{51}=4/79$ 가 된다.

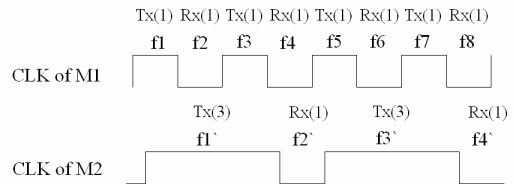


그림 3. 비동기 비대칭 피코넷의 간섭(1- and 3-slot packets)

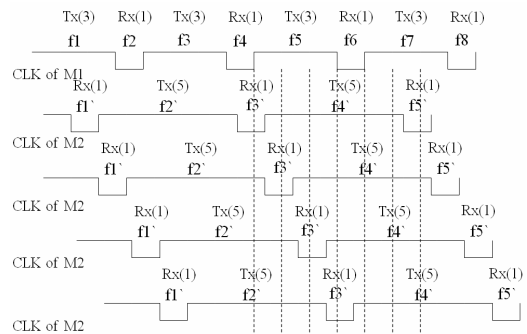


그림 4. 비동기 비대칭 피코넷의 간섭(3- and 5-slot packets)

### IV. 충돌 모델링

협소한 공간 안에 다수의 피코넷이 존재할 때 각각의 피코넷이 가질 수 있는 홉의 수는 79개이다.

주변에 존재하는 피코넷이 모두 대칭(Symmetric) 동기식 (Synchronous) 일 경우 확률은 1/79가 되는 데 이 확률 값은 앞장에서 구한 각각의 값처럼 비대칭(Asymmetric) 비 동기식 (Asynchronous) 의 경우 달라진다. N개의 피코넷이 존재하고 N-1개의 주변 피코넷 중 n개의 피코넷이 같은 주파수를 사용할 확률 Pr[n]은 식 (5)와 같다.

$$\Pr[n] = \binom{N-1}{n} \cdot P^n \cdot (1-P)^{N-1-n}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (5)$$

P는 피코넷의 패킷 전송 방식에 따라 앞장에서 구한 확률 값으로 결정된다.

테스트 피코넷은 라이시안 채널이고, 주변 피코넷이 레일리 채널인 경우 처리량 S는 식 (6), (7), (8), (9)을 통해 식(10)과 같다.

$$S = 1 - \left[ \sum_{n=1}^{N-1} \Pr[n] F(z_0) \right] \quad (6)$$

$$F(z_0) = \Pr[P_s/P_n < z_0] = \int_0^{z_0} dz \int_0^\infty f_{P_s}(zw) f_{P_n}(w) w dw \quad (7)$$

z<sub>0</sub>는 테스트 피코넷과 주변 피코넷과의 비율에 대한 경계(Threshold) 값으로 정의하였다.

$$f_{P_s}(P_s) = \frac{1}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{2P_s + S_t^2}{2\sigma^2}\right] \times I_0\left[\frac{\sqrt{(2P_s)S_t}}{\sigma^2}\right], P_s = (1/2)x^2 \quad (8)$$

S<sub>t</sub>은 테스트 피코넷의 파워이다.

$$f_{P_n}(P_n) = \frac{1}{\sigma^2} \frac{(P_n/\sigma^2)^{n-1}}{(n-1)!} \exp\left[-\frac{P_n}{\sigma^2}\right] \quad (9)$$

P<sub>n</sub> 주변 피코넷들의 파워의 합이다.

다음 식 f<sub>P<sub>n</sub></sub>(P<sub>s</sub>) = 1/σ<sup>2</sup>exp[-P<sub>s</sub>/σ<sup>2</sup>]<sub>t</sub>의 n 중 콘볼루션(convolving n time)와 Gamma distribution에 의해 식 (9)가 된다.

$$S = \left(1 - \sum_{n=1}^{N-1} \Pr[n] \left(1 - \int_0^\infty \frac{t^{n-1}}{(n-1)!} \times \exp(-t) Q[\gamma, \sqrt{2Mt}] dt\right)\right) \quad (10)$$

여기에서  $\gamma \cong (2K)^{1/2}$ ,  $M \cong z_0 \frac{\sigma^2}{\sigma_t^2}$  이고 Q(a, b)는 Marcum Qfunction을 말한다<sup>7)</sup>.

테스트 피코넷과 주변 피코넷 모두가 라이시안 채널인 경우 처리량 S는 식 (6), (7), (8), (11)을 통해서 식 (12)와 같다.

$$f_{P_n}(P_n) = \frac{1}{2\sigma^2} \left(\frac{P_n}{S_n}\right)^{(n-1)/2} \times \exp\left[-\frac{P_n + S_n}{2\sigma_t^2}\right] I_{n-1}\left[\frac{\sqrt{P_n S_n}}{\sigma_t^2}\right], \quad S_n = \sum_{i=1}^n S_i^2 \quad (11)$$

S<sub>i</sub>는 직접 받게 된 주변 신호의 피크(peak) 값이다.

$$S = \sum_{n=1}^N \Pr[n] \left(1 - \frac{1}{\gamma_1^{n-1}} \times \exp\left(-\frac{\gamma_1^2}{2}\right) \times \int_0^\infty x^n \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) I_{n-1}[\gamma_1 x] \times Q\left[\alpha, \sqrt{z_0} \cdot \frac{\sigma_t}{\sigma} x\right] dx\right) \quad (12)$$

식에서 K<sub>d</sub> = S<sub>t</sub><sup>2</sup>/2σ<sup>2</sup>, K<sub>u</sub> = S<sub>n</sub><sup>2</sup>/2σ<sup>2</sup>,  $\gamma_1 = \sqrt{2nK_n}$  그리고  $\alpha = \sqrt{2K_d}$ 이다.

표 1은 피코넷 클러스터의 통합 처리량을 계산하기 위해 사용하였다.

통합 처리량(Aggregated Throughput)을 S<sub>th-put</sub>은 식 (13)와 같다.

$$S_{th-put} = N \times S \times \text{payload bits/sec} \quad (13)$$

표 1. 통합처리량 계산을 위한 파라미터

Slot	Total duration	Payload
1-slot	625 μs	240 bits (30bytes)
3-slot	1875 (3 × 625) μs	1464 bits (183bytes)
5-slot	3125 (5 × 625) μs	2712 bits (339bytes)

## V. 분석 결과

본 장에서는 앞장에서 정의된 충돌 모델을 이용하여 수학적으로 분석한 결과를 보여준다. 현실성을 고려하여 비대칭, 비동기 식만을 적용하였다. 또한 협소한 공간 안에 다수의 피코넷과 WLAN이 존재할 때 충돌이 발생함을 고려하였기 때문에 Shadow fading은 적용하지 않았다. 그리고 각각의 피코넷은 항상 패킷 전송이 이루어지고 있다고 가정하였다. 1

슬롯, 3슬롯, 5슬롯 모두 전체의 1/3 로 하였다. 레일리 채널과 라이시안 채널이 존재하는 경우 각각의 파라미터 값에서는  $K=4dB$ ,  $\sigma_1^2/\sigma^2 = 2dB$  값을 사용하였다. 피코넷의 홉 수의 변화는 WLAN의 주파수 대역이 약 22MHz이므로 WLAN이 없는 경우 79hop, WLAN이 1개면 57hop, 2개면 35hop, 마지막으로 3개면 15hop으로 가정하였는데 이는 FCC에서 정한 피코넷의 최소 홉 수의 기준이다.

그림 5와 그림 6은 채널을 고려하지 않고 한 클러스터에 있는 피코넷이 비대칭, 비동기 식일 때, 홉 수를 15, 35, 57, 79로 바꾸면서 전체 피코넷 수가 증가할 때 패킷의 충돌 확률과 통합 처리량을 보여준다. 전체 피코넷의 수가 증가함에 따라 충돌 확률이 증가함을 알 수 있다. 또한 블루투스의 홉 수가 줄어들수록 그 값이 증가함을 알 수 있다. 홉 수가 79일 경우 약 20개의 피코넷이 존재할 때 50%의 충돌을 보인다. 57홉의 경우는 약 18개, 35

홉의 경우는 약 12개, 15홉의 경우 약 5개 일 때 50%의 충돌을 보였다. 통합 처리량은 전체 피코넷의 수가 증가해도 어느 이상의 피코넷 수 이상이 존재하면 통합 처리량 떨어짐을 알 수 있다. 또한 홉 수가 줄어들수록 최대 통합 처리량도 줄어들음을 알 수 있다.

그림 7과 그림 8은 테스트 피코넷은 라이시안 채널, 주변 피코넷들은 레일리 채널일 경우, 전체 피코넷수가 증가할 때,  $z_0$  값을 변화시키면서 한 클러스터 안에서 발생하는 패킷 충돌 확률과 통합 처리량을 보여준다. 전체 피코넷 수가 증가할 수록 패킷 충돌 확률이 증가함을 알 수 있다. 또한  $z_0$  값이 증가함에 따라 충돌 확률도 증가함을 알 수 있다. 다시 말해 테스트 피코넷의 세기와 주변 피코넷의 세기의 관계(테스트 피코넷 파워와 주변 피코넷 파워의 비율)에서 문턱값 ( $z_0$ )이 크게 되면 그만큼 패킷간의 충돌이 자주 발생하게 된다. 채널을 고려하

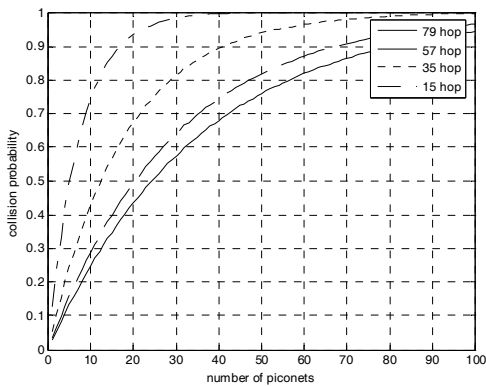


그림 5. 테스트 피코넷과 주변 피코넷이 각각 비대칭, 비동기 식일 때, 다양한 홉 수에 따른 충돌 확률

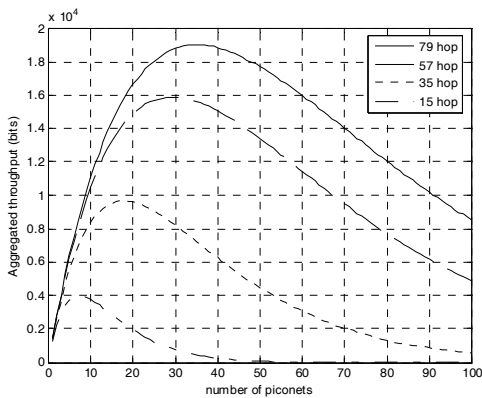


그림 6. 테스트 피코넷과 주변 피코넷이 각각 비대칭, 비동기 식일 때, 다양한 홉 수에 따른 통합 처리량

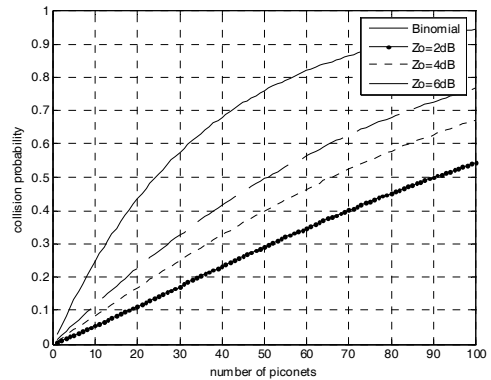


그림 7. 테스트 피코넷은 라이시안 채널, 주변 피코넷은 레일리 채널일 때, 주변 피코넷 파워에 따른 충돌 확률

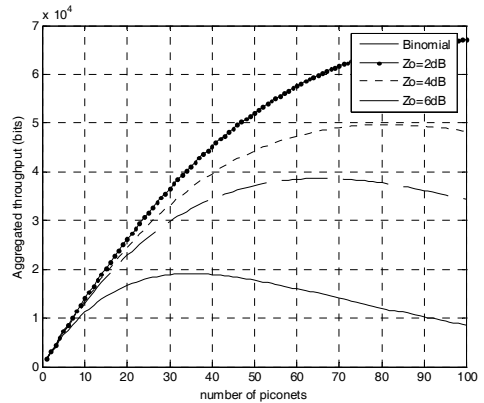


그림 8. 테스트 피코넷은 라이시안 채널, 주변 피코넷은 레일리 채널일 때, 주변 피코넷 파워에 따른 통합 처리량

지 않고 이항 분포 확률 (그림 5와 그림 6에서 보여진 충돌 결과) 만 적용했을 때와 다르게 충돌이 발생하더라도 신호의 세기에 따라 패킷의 충돌 확률이 감소함을 알 수 있다. 특히 레일리 채널의 경우 LOS가 없기 때문에 주변 신호의 영향을 적게 받게 된다. 통합 처리량의 경우 일정한 개수의 피코넷 이상이 되면 처리량이 감소함을 알 수 있다. 또한  $z_0$  값이 감소함에 따라 최대 통합 처리량을 갖는 전체 피코넷 수가 증가하고 최대 통합 처리량도 증가함을 알 수 있다. 즉 테스트 피코넷 주변의 피코넷의 신호 세기가 작을수록 최대 통합 처리량이 증가하게 된다.

그림 9와 그림 10은 테스트 피코넷, 주변 피코넷 모두가 라이시안 채널일 경우 전체 피코넷 수가 증가할 때  $K_u=7\text{dB}$ 로 고정시키고,  $K_u$ 값을 변화시키면서 한 클러스터 안에서 발생하는 패킷 충돌 확률을 보여준다. 전체 피코넷 수가 증가할 수록 패킷 충돌

확률이 증가함을 알 수 있다. 또한 주변 피코넷의 신호세기를 나타내는  $K_u$ 가 증가하게 되면 충돌 확률도 증가함을 알 수 있다. 라이시안 채널은 LOS가 존재하기 때문에  $K_u$ 가 증가하게 되면 이항 분포 확률을 적용했을 때와 비슷한 값을 나타낸다. 통합 처리량의 경우 일정한 개수의 피코넷 이상이 되면 처리량이 감소함을 알 수 있다. 또한  $K_u$ 값이 감소함에 따라 최대 통합 처리량을 갖는 전체 피코넷 수가 증가하고 최대 통합 처리량도 증가함을 알 수 있다.

그림 11과 그림 12는 테스트 피코넷은 라이시안 채널, 주변 피코넷들은 레일리 채널일 경우, 한 클러스터의 홉 수를 15, 35, 57, 79로 바꾸면서 전체 피코넷 수가 증가할 때 패킷 충돌 확률과 통합 처리량을 분석하였다. 피코넷의 개수가 증가함에 따라 충돌 확률이 증가할 뿐 아니라 홉 수가 감소함에 따라 충돌 확률이 증가함을 알 수 있다. 통합처리량의 경우 전체 피코넷의 수가 증가해도 어느 이상의

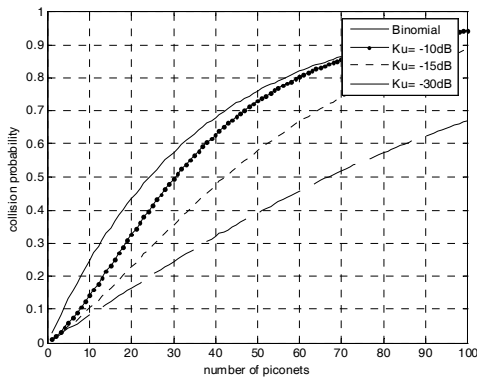


그림 9. 테스트 피코넷과 주변 피코넷이 모두 라이시안 채널일 때, 주변 피코넷 파워에 따른 충돌 확률 ( $z_0=4\text{dB}$ )

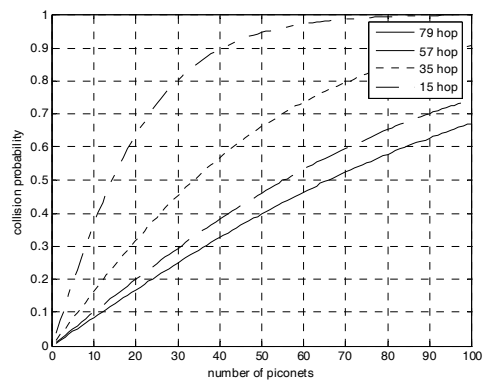


그림 11. 테스트 피코넷은 라이시안 채널, 주변 피코넷은 레일리 채널일 때, 다양한 홉 수에 따른 충돌 확률 ( $z_0=4\text{dB}$ )

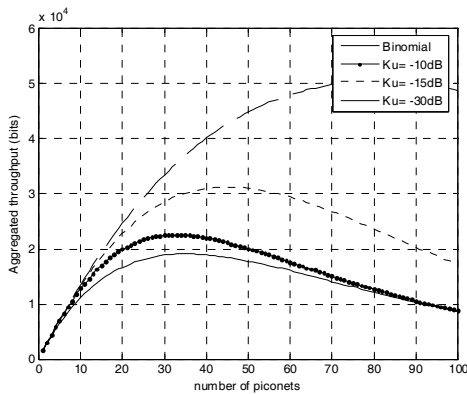


그림 10. 테스트 피코넷과 주변 피코넷이 모두 라이시안 채널일 때, 주변 피코넷 파워에 따른 통합 처리량 ( $z_0=4\text{dB}$ )

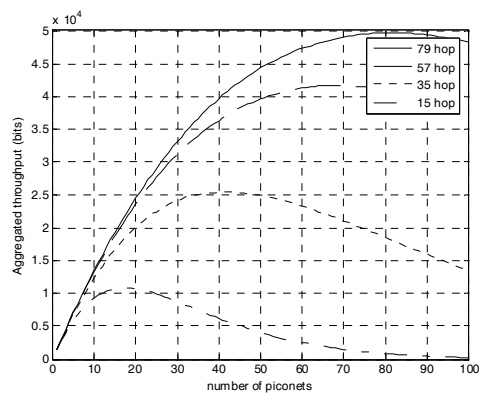


그림 12. 테스트 피코넷은 라이시안 채널, 주변 피코넷은 레일리 채널일 때, 다양한 홉 수에 따른 통합 처리량 ( $z_0=4\text{dB}$ )

피코넷 수 이상이 존재하면 통합 처리량 떨어짐을 알 수 있다. 또한 홉 수가 줄어들수록 최대 통합 처리량도 줄어들음을 알 수 있다.

그림 13과 그림 14은 테스트 피코넷, 주변 피코넷 모두가 라이시안 채널일 경우, 한 클러스터의 홉 수를 15, 35, 57, 79로 바꾸면서 전체 피코넷 수가 증가할 때 패킷 충돌 확률과 통합 처리량을 분석하였다. 전체 피코넷의 수가 증가함에 따라 패킷 충돌 확률이 증가하였고 홉 수가 줄어들수록 충돌 확률도 증가함을 알 수 있다. 통합 처리량의 경우 전체 피코넷의 수가 증가해도 어느 이상의 피코넷 수 이상이 존재하면 통합처리량 떨어짐을 알 수 있다. 또한 홉 수가 줄어들수록 최대 통합 처리량도 줄어들음을 알 수 있다.

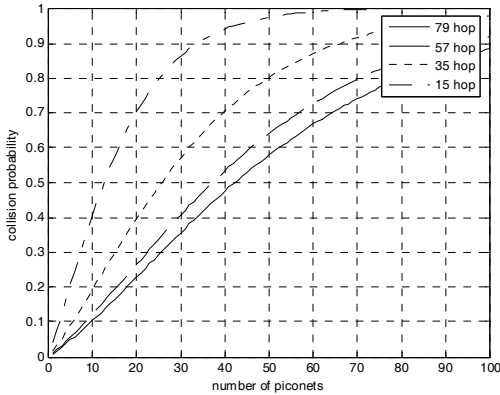


그림 13. 테스트 피코넷과 주변 피코넷이 모두 라이시안 채널일 때, 다양한 홉 수에 따른 충돌 확률 ( $K_u=-15\text{dB}$ ,  $z_0=4\text{dB}$ )

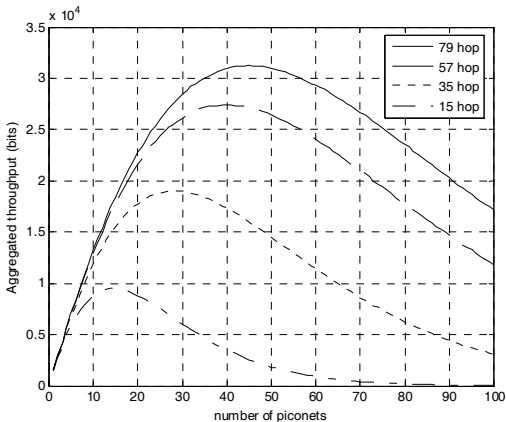


그림 14. 테스트 피코넷과 주변 피코넷이 모두 라이시안 채널일 때, 다양한 홉 수에 따른 통합 처리량 ( $K_u=-15\text{dB}$ ,  $z_0=4\text{dB}$ )

## VI. 결 론

본 논문에서는 AFH 알고리즘을 사용하는 블루투스로 이루어진 피코넷이 여러 개가 존재하고 WLAN과 공존하게 될 때 피코넷의 홉 수의 변화에 따라 피코넷 간의 패킷 충돌과 그에 따른 통합 처리량을 분석하였다. AFH 알고리즘을 사용하는 피코넷이 증가하게 되면 알고리즘에 의해 줄어드는 홉 수가 피코넷 간의 패킷 충돌을 증가시킬 수 있고 통합 처리량에도 영향을 줄 수 있음을 알 수 있다. 또한 다중 경로 페이딩 채널을 고려하여 피코넷이 다수가 존재할 때 피코넷 패킷 간의 충돌과 통합 처리량을 분석하였다. 이항 분포 확률만을 적용했을 때와 채널 상태까지 적용했을 때를 비교함으로써 더 현실성 있는 분석을 하였다. 다수의 피코넷이 패킷을 전송할 때 동일 주파수를 사용하여 충돌이 발생하더라도 채널에 LOS의 존재 여부에 따라 충돌이 발생하지 않을 수 있다. 또한 주변의 피코넷의 신호 세기에 따라 패킷의 충돌 확률에도 영향을 주게 됨을 알 수 있다. 본 논문의 결과는 블루투스 와 WLAN 사용에 있어서 시스템의 파라미터 설정에 참고할 만한 가이드라인이 될 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] The Bluetooth Special Interest Group. Baseband Specification Version 1.1 (2001). [Online] Available: <http://www.Bluetooth.com>
- [2] N. GOLMIE, R.E. VAN DYCK, A. SOLTANIAN, A. TONNERRE, O. REBALA, "Interference Evaluation of Bluetooth and IEEE 802.11b Systems", *Wireless Networks* 9, 201-211, 2003.
- [3] Nada Golmie, Nicolas Chevrollier, and Olivier Rebal, "Bluetooth and WLAN Coexistence: challenges and solutions", *IEEE Wireless Communications*, December 2003.
- [4] R. Prasad, and C.-Y. Liu, "Throughput analysis of some mobile packet radio protocols in Rician fading channels," *IEE PROCEEDINGS-I*, Vol.139, No.3, JUNE 1992.
- [5] S.BENEDETTO, E.BIGLIERI, and V.CASTELLANI, *digital transmission theory*, PRENTICE-HALL, 1987.

[6] Kshirasagar Naik, David S. L. Wei, Yu T. Su, and Norio Shrotori. "Analysis of packet interference and aggregated throughput in a cluster of Bluetooth piconets under different traffic conditions", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol.23, No.6, June 2005.


[7] PROAKIS, J.G.: 'Digital communications' (2nd ed. McGraw-Hill Book Company, New York, 1989).

**김 승 연 (Seung-Yeon Kim)** 준회원




2005년 2월 고려대학교 전자 및 정보공학부 졸업  
 2007년 2월 고려대학교 전자정보공학과 석사  
 2007년 3월~현재 고려대학교 전자정보공학과 박사과정  
 <관심분야> 통신망 설계 및 성능 분석, MAC 프로토콜

**양 성 현 (Yang Sung-Hyun)** 정회원




1985년 2월 광운대학교 전기공학과 졸업(공학사)  
 1988년 2월 광운대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)  
 1993년 2월 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)  
 1996년~1998년 Research Lab. on Reliable Computing Boston Univ., Research scientist  
 1990년~현재 광운대학교 전자공학부 부교수  
 <관심분야> Fault Tolerance System, Reliability, DFT, Fail-Safe Logic

**이 형 우 (Hyong-Woo Lee)** 정회원



1979년 Univ. of British Columbia Electrical Engineer- ing (학사)  
 1983년 Univ. of Water- loo, Electrical Engineering (박사)  
 1983~1991년 Carleton Univ., System and Computer Engineering 조교수  
 1992~1995년 Univ. of Waterloo, Electrical and Computer Engineering 조교수  
 1995~현재 고려대학교 전자 및 정보공학부 교수  
 <관심분야> 통신망 설계 및 성능 분석, 트래픽 제어, MAC 프로토콜

**조 총 호 (Choong-Ho Cho)** 정회원



1981년 2월 고려대학교 산업공학과 졸업  
 1993년 2월 고려대학교 산업공학과 석사  
 1986년 프랑스 INSA de Lyon 전 산학과(석사)  
 1989년 프랑스 INSA de Lyon 전 산학과(박사)  
 1990~1994년 순천향대학교 전산통계학과 조교수  
 1994~현재 고려대학교 전산학과 교수  
 <관심분야> 통신망 트래픽 관리기술, 무선통신 시스템, 멀티미디어통신, 인터넷 비즈니스