

동시 전송 최대화를 위한 무선 메시망 배치 전략

강 영 명¹

¹삼성전자 네트워크사업부 책임연구원

Wireless mesh network deployment strategy for maximizing concurrent transmissions

Young-Myoung Kang¹

¹Staff Researcher, Samsung Electronics, SUWON 123-456, Korea

[요 약]

무선랜과 같은 무선 연결 기술을 사용하는 기기가 매년 폭발적으로 증가함에 따라 무선망의 자원을 효율적으로 사용하고자 하는 연구들도 활발하게 진행되고 있다. 본 논문에서는 향상된 프리앰블 탐지기술인 Message In Message 기능이 구현된 무선 인터페이스를 가지는 노드들의 적절한 배치를 통해 시스템 성능을 향상시키는 방법에 대해서 소개한다. 두 노드간의 거리에 따른 간단한 캡처 확률 모델을 바탕으로 무선 메시노드를 배치하여 동시전송 기회를 극대화 하면 기존의 IEEE 802.11 DCF를 기반으로 동작하는 무선 메시망에 비해 데이터 처리율을 크게 향상시킬 수 있다. 우리는 시뮬레이션을 통한 성능검증을 통해 Message In Message 캡처를 활용하는 무선메시망 배치구조가 기존 DCF로 동작하는 망에 비해서 약 60% 정도의 처리량 향상이 있는 것을 확인하였다.

[Abstract]

With the explosive spread of mobile devices including notebook computers and smartphones that use wireless LANs, there is an urgent need to develop an advanced technology to handle excessive wireless traffic. In this paper, we introduce a method of improving system performance through proper placement of nodes embedding wireless interfaces implementing MIM functions. If a wireless mesh node is placed harnessing an MIM capture probability model based on the distance between two nodes, concurrent transmissions become possible, and achieved throughput can be greatly improved compared to a wireless mesh network operating based on the legacy IEEE802.11 DCF. Through performance verification through both analytic study and extensive simulations, we confirmed that the MIM capture-aware wireless mesh network deployments has a potential of throughput improvement up to 60% at a moderate distance compared to the DCF-based network.

색인어 : MIM, 메시지 인 메시지, 성능 평가, 무선랜, 물리계층 캡처, 무선랜

Key word : MIM, Message In Message, Performance Evaluation, PHY Capture, WLAN

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2020.21.10.1863>



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.

Received 27 September 2020; **Revised** 20 October 2020
Accepted 20 October 2020

***Corresponding Author; Young-Myoung Kang**

Tel: [REDACTED]

E-mail: kang.youngmyoung@gmail.com

1. 서론

무선랜 (WLAN) 및 블루투스 (Bluetooth) 등의 무선 연결 기술 (Wireless Connectivity) 을 사용하는 기기가 매년 폭발적으로 증가하고 있고 사물인터넷의 세상이 도래함에 따라 무선망의 자원을 효율적으로 사용하고자 하는 연구들도 활발하게 진행되고 있다 [1][2]. 본 연구에서는 여러 가지 무선 기술들 중 오늘 날 보편적으로 쓰이는 무선랜 (Wireless Lan) 의 전송 효율을 향상시키는 것에 초점을 맞춘다. IEEE 802.11의 대표적인 MAC 프로토콜인 DCF (Distributed Coordination Function) 는 전송간 간섭과 충돌로 인한 전송 실패를 방지하기 위해서 동시전송을 허용하지 않는다. 그러나 무선망에서 동시 전송된 패킷들도 전송 순서와 상대적인 신호세기에 따라 성공할 수 있다는 연구결과는 동시 전송으로 무선 자원을 효율적으로 사용하고자 하는 연구의 기반이 되어 왔다 [3][4]. 이런 특성은 캡처 효과 (Capture Effect) [3]로 잘 알려져 있다. 본 논문에서 다루는 동시전송은 물리계층 캡처 효과 (Physical Layer Capture Effect) [3] 및 향상된 형태의 캡처 효과인 MIM (Message In Message) [5]-[6] 와 밀접한 관계가 있으며 우리의 초기 연구에서 소개된 바 있다 [7].

무선 랜카드는 자신이 목적지인 신호 (Signal Of Interest) 가 충분한 SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio)을 가지고 간섭신호 (Interference Signal) 보다 먼저 도착하거나 혹은 간섭신호의 프리앰블 (preamble) 시간 내에 도착하면 물리계층의 캡처 효과 (Physical Layer Capture Effect)를 통해 성공적인 전송이 가능하다 [3][8]. 한편, MIM (Message In Message)[5][6] 기능이 구현되어 있는 Atheros사의 칩셋 [9]을 사용하는 무선 랜카드의 경우 진보된 프리앰블 탐지기술 (Preamble Detection)의 효과로 인해 의도한 신호가 충분히 큰 SINR값 (예, 10dB)을 가지는 경우 간섭 신호의 프리앰블 시간 이후에 도착해도 캡처가 될 수 있다 (이를 MIM Capture Effect라고 한다). 그림 1은 앞서 설명한 물리계층의 캡처와 MIM 캡처의 차이를 보여주고 있다. [4]에서 MIM 캡처 가능한 임계 값 (MIM capture threshold)을 실험을 통해 제공한 바 있다. 임계 값을 통한 캡처 확률 분석은 [10]을 참조하기 바란다.

MIM 기능을 활용하여 동시전송의 효율을 증대한 대표적인 예로써 Shuffle [6] 이 있다. Shuffle은 MIM 캡처를 통해 동시전송 가능성을 최대화하기 위해 패킷 전송순서를 조정 (Packet Transmission Reordering) 하여 약한 신호를 가지는 패킷은 강한 신호를 가진 패킷보다 먼저 전송하여 두 전송 모두를 성공시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 먼저 도착한 약한 신호는 상대적으로 작은 SINR(4dB)을 가지더라도 캡처가 가능하고 늦게 도착한 강한 신호는 상대적으로 높은 SINR(10 dB)을 가지면 MIM기술에 의해서 캡처가 되기 때문이다 [5][6].

기존의 무선 메시망 (Wireless Mesh Networks)에서의 메시 노드의 배치는 무선 환경의 캡처 효과 특히 MIM기능과 상관없이 무작위 또는 전송 거리에 기반을 두어 배치하는 경우가 많았고 이로 인해 MIM을 통한 동시전송의 장점을 활용하지 못했다. 따라서 무선 AP (Access Point)의 배치를 적절히 하여 동시전송을 가능하게 하는 것은 제한된 무선 대역폭의 활용 면에서 매우 중요한 의미를 가진다. 본 논문에서는 기존의 AP간의 거리에 따른 MIM 캡처 확률에 대한 연구결과 [10]를 바탕으로 동시전송이 가능한 무선 메시망 배치전략을 소개하고 수학적 분석을 통해 성능평가를 수행한다.

본 논문의 핵심아이디어는 무선 노드의 배치 시에 MIM 캡처에 의한 동시전송이 가능하도록 노드의 거리를 적절히 조정하는 것이다. MATLAB 및 Python으로 구현한 실험을 통해 우리는 MIM의 동시전송에 기반을 둔 무선 메시망은 기존 DCF 방식에 비해 250 Meter의 거리에서 대략 40% 의 캡처를 통해 최대 60% 수준의 성능향상을 확인할 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 MIM을 활용하는 동시전송 시스템의 전송 방식에 대해 설명한다. III장에서는 MIM 캡처에 대한 모델을 제시하고 수학적 분석을 실시한다. IV장에서는 MIM 캡처 확률에 따른 노드의 효율적 배치 방안을 설명하고 V장에서 성능평가를 실시한다. 마지막으로 VI장에서는 결론을 맺는다.

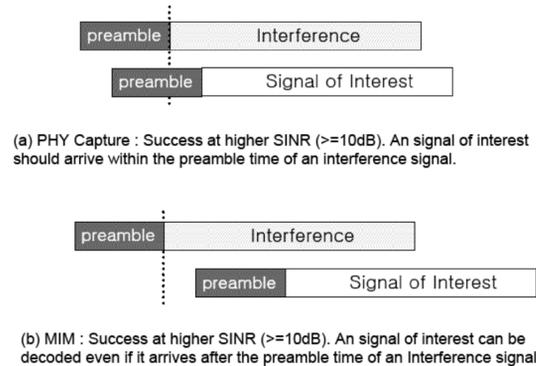


그림 1. 물리계층 캡처 vs. 메시인메시 캡처
Fig. 1. PHY Capture vs. Message In Message Capture

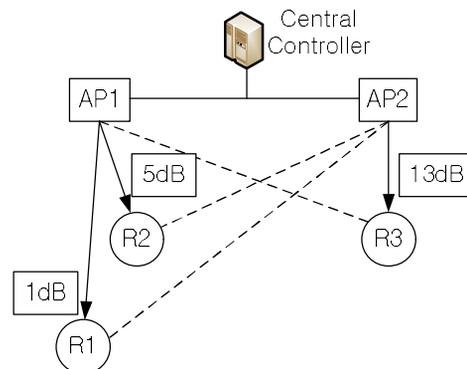


그림 2. Shuffle 의 기본 동작
Fig 2. Basic Operations of Shuffle

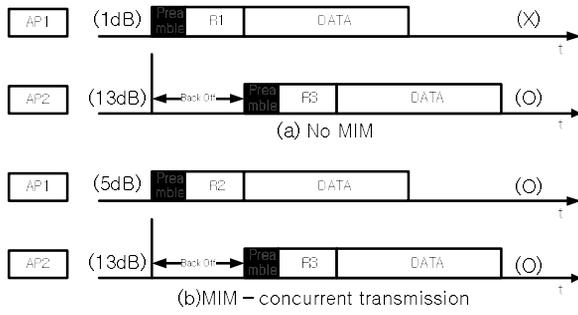


그림 3. MIM-aware 동시 전송
 Fig 3. MIM-aware concurrent transmissions

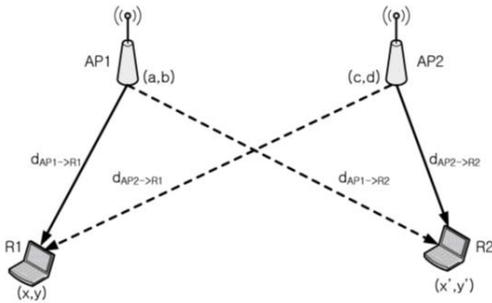


그림 4. 2개 AP 토폴로지에서의 동시전송 기회
 Fig 4. Concurrent TX Opportunity in a two-AP topology

II. MIM 기반 동시전송 방법

2장에서는 MIM에 기반을 둔 동시전송 방법의 하나인 Shuffle [6]에 대해서 설명한다. Shuffle의 핵심 기능은 중앙 제어장치에서 패킷의 전송순서에 따른 MIM 캡처 가능여부를 확인하여, 동시전송이 가장 많이 일어나도록 전송순서를 조정하는 것이다.

이해를 돕기 위해 그림 2의 예제를 통해서 Shuffle의 동작을 설명한다. AP1에는 R1과 R2가 Association 되어 있고, AP2에는 R3가 association 되어 있다. 점선으로 표시된 부분은 간섭을 의미한다. 각 화살표 위의 숫자는 최종적으로 가지게 되는 SINR값이다. 먼저 AP1이 R1에게 전송을 시작한 직후 곧바로 AP2가 R3에게 동시에 전송을 하는 경우를 고려해보자. 본 예제에서는 Shuffle에서 제시한 캡처 임계 값을 사용한다(선행 전송 : 4 dB 이상, 후행 전송 : 10 dB). 결과적으로 AP1의 전송은 실패할 것이다. 왜냐하면 R1이 받은 패킷의 SINR 값 1 dB는 패킷을 캡처할 수 있는 캡처 임계 값(Capture Threshold)인 4 dB를 만족시키지 못하기 때문이다. 이제 AP1이 R2에게 전송을 시작하고, 곧바로 AP2가 R3에게 패킷을 보내는 경우를 생각해 보자. 이 경우에는 AP2의 동시 전송이 AP1의 전송을 실패로 만들지 않는다. R2의 SINR 값 5 dB가 캡처 임계 값인 4 dB보다 높기 때문이다. 결과적으로 AP1이 R2에게 전송 중일 때 AP2는 R3에게 동시 전송을 할 수 있는 기회를 가진다. 그림 3은 위에서 설명한

shuffle의 동시전송이 가능한 경우와 그렇지 않은 경우를 보여주고 있다.

III. MIM 캡처 확률 분석

3장에서는 두 노드간의 거리에 따른 MIM캡처 확률을 구할 수 있는 간단한 모델을 제시한다. 자세한 분석은 [10]을 참조하도록 한다. 그림 4에서와 같이 두 개의 AP(AP1, AP2)와 두 개의 클라이언트(R1, R2)가 연결되어 있는 경우를 고려해 보자. AP1, AP2, R1 및 R2의 좌표를 각각 (a, b), (c, d), (x, y), (x', y') 라고 하자. 표 1에는 모델에서 사용된 표기법이 정리되어 있다. 여기서는 AP1이 먼저 전송을 시작하고 프리앰블 시간(Preamble Duration) 후에 AP2가 연이어 전송하는 경우만을 고려한다.

본 논문에서는 아래 식 (1)의 간단한 신호감쇄 모델을 이용한다. 여기서, $P_{r(i)}$ 은 수신자가 받은 신호의 강도(Signal Strength)를 나타내며, N 은 노이즈(Background Noise)를 나타낸다. 그리고 $I_{r(i)}$ 은 수신자가 받게 되는 간섭 신호(Interference Signal)을 나타낸다.

$$SIR_{r(i)} = \frac{P_{r(i)}}{N + I_{r(i)}} \quad (1)$$

여기서, $P_{r(i)}$ 및 $I_{r(i)}$ 는 각각 아래의 식으로 표현된다.

$$P_{r(i)} = \frac{G_{r(i),i} F_{r(i),i} P_i}{d^\phi} \quad (2)$$

$$I_{r(i)} = \sum_{i \neq j} \frac{G_{r(i),j} F_{r(i),j} P_j}{d^\phi} \quad (3)$$

식 (2)에서 $G_{r(i)}$ 은 안테나 이득, $I_{r(i)}$ 는 페이딩 팩터(Fading Factor), d 는 송신자와 수신자 사이의 거리를 의미한다. 그리고 ϕ 는 path loss exponent를 의미하고 마지막으로 $P_{r(i)}$ 는 송신파워를 의미한다. 우리는 분석을 간단히 하기 위해 안테나 이득 및 페이딩 팩터, 그리고 송신파워 모두 고정 상수 값 1로 동일하다고 가정하였다. 또한 노이즈도 무시하게 되면 본 논문에서는 수신파워는 오직 거리 d 에 의해 결정된다. 따라서 R1의 SIR에 대한 dB 값은 아래의 같이 정리된다.

$$SIR_{R1, dB} = 10 \log \left(\frac{d_{AP2 \rightarrow R1}}{d_{AP1 \rightarrow R1}} \right)^\phi \quad (4)$$

비슷한 방식으로 R2의 SIR도 아래 dB 값으로 표현된다.

$$SIR_{R1, dB} = 10 \log \left(\frac{d_{AP2 \rightarrow R1}}{d_{AP1 \rightarrow R1}} \right)^\phi \quad (5)$$

앞서 설명했듯이 MIM 캡처 임계 값은 Shuffle에서 사용한 값을 동일하게 이용했다.

$$4dB \leq SINR_{R1, dB} \leq 10dB, \tag{6}$$

$$SINR_{R2, dB} \geq 10dB. \tag{7}$$

식 (4)-(5)을 식 (6)-(7)에 대입하면 두 개의 원의 방정식을 구할 수 있다. 그림 5에서 이 관계를 도시하고 있다. 여기서 path loss exponent 는 4를 적용하였다. 그림 5에서 ㉠, ㉡, ㉢ 에 해당하는 영역은 각각 아래의 수식으로 표현 될 수 있다.

$$4dB \leq SINR_{R1, dB} \leq 10dB : MIM \tag{a}$$

$$SINR_{R2, dB} \geq 10dB : MIM \tag{b}$$

$$SINR_{R2, dB} \geq 10dB : PHY \tag{c}$$

그리고 이를 바탕으로 AP1과 AP2사이의 거리에 따른 MIM과 PHY 캡처 확률을 구할 수 있다 (그림 6 참조). 예를 들어 AP1과 AP2사이의 거리가 150m이고 AP의 전송범위가 250미터라고 하면, 약 15%의 영역에서 MIM캡처가 일어날 수 있음을 의미한다. 두 AP사이의 거리가 250m라면 약 40%의 영역에서 MIM 캡처가 발생할 수 있다는 것을 의미한다.

다음으로 PHY 캡처 및 MIM 캡처의 관계를 보기 위해 우리는 신호 전송 범위를 650 m까지 확장하여 분석을 해 보았다. 그림 7에서 확인할 수 있듯이 두 개의 노드 간 거리가 확장됨에 따라 MIM 캡처 확률은 점차 커져서 650 m 근처에서는 거의 1에 근접함에 따라 항상 동시전송이 가능하다는 것을 확인할 수 있다. 한편, PHY 캡처는 MIM 캡처 범위에 포함되거나 타 전송으로 인해 충분한 신호세기를 확보하지 못해 거리에 따라 동시 전송 기회가 달라짐을 확인할 수 있다.

표 1. Notations

Table 1. Notations

Symbol	Meaning
$d_{AP1 \rightarrow R1}$	The distance btw AP1 and R1
$d_{AP2 \rightarrow R1}$	The distance btw AP2 and R1
$d_{AP1 \rightarrow R2}$	The distance btw AP1 and R2
$d_{AP2 \rightarrow R2}$	The distance btw AP2 and R2
$P_{AP1 \rightarrow R1}$	The received power at R1 from the TX of AP1
$P_{AP2 \rightarrow R1}$	The received power at R1 from the TX of AP2
$P_{AP1 \rightarrow R2}$	The received power at R2 from the TX of AP1
$P_{AP2 \rightarrow R2}$	The received power at R2 from the TX of AP2
$G_{r(i), i}$	The receiver's antenna gain
$F_{r(i), i}$	The receiver's fading factor
P_i	The transmitter power
ϕ	The path loss exponent

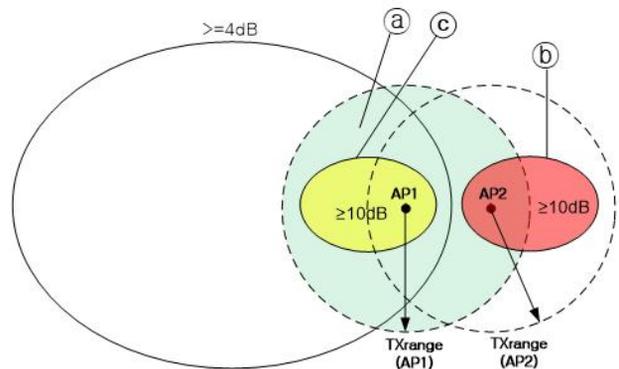


그림 5. MIM 캡처 도식화
Fig 5. MIM Capture Diagram

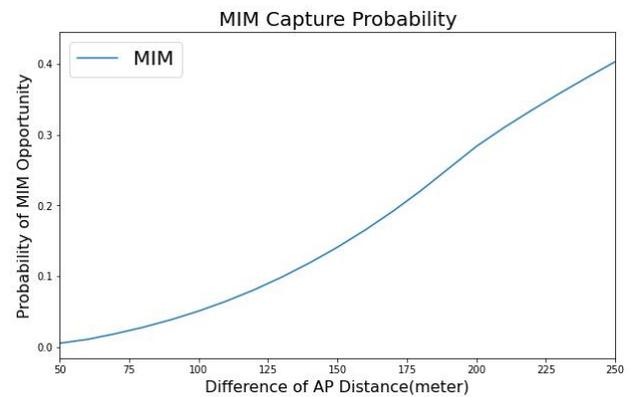


그림 6. MIM 캡처 확률 ($\phi = 4$)
Fig 6. MIM Capture Probability ($\phi = 4$)

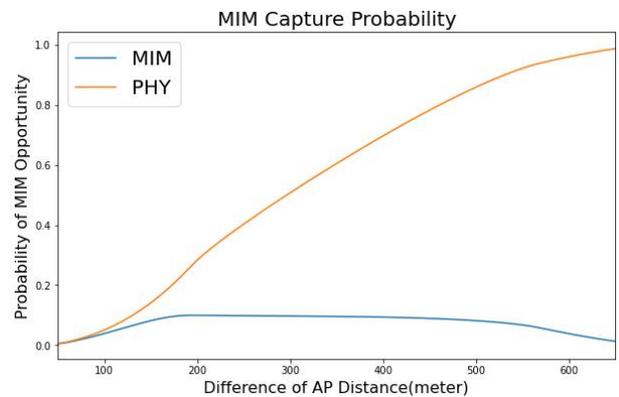


그림 7. 거리에 따른 MIM vs. PHY 캡처 확률 ($\phi = 4$)
Fig 7. MIM vs. PHY Capture Probability according to distance ($\phi = 4$)

IV. MIM 기반 동시전송을 위한 무선 매시노드 배치전략

4장에서는 무선 메시 망의 효율적인 배치전략에 대해서 설명한다. 무선 메시 망을 구축하는 경우에 동시전송을 최대화하여 망의 처리능력 향상을 도모할 수 있다. 다시 말해 망의 전체 또는 부분적으로 MIM 캡처가 가능하도록 메시 노드를 배치하여 동시전송이 가능하게 되면 망의 처리량이 크게 증가할 수 있다. 이동통신 사업자는 4G, 5G의 이동통신 망 이외에도 데이터 오프로딩 (Data off-loading) 목적으로 대규모 무선랜을 설치하는 경우가 많으므로 사업자 통제 하에 MIM캡처를 고려하여 AP (Access Point)를 배치할 때 데이터 처리능력을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대한다.

본 장에서는 3장에서 이미 설명한 MIM 캡처에 대한 수학적 모델링에 기초해 무선 메시노드 배치전략을 제안한다. 3장에서 살펴보았던 식 (6)-(7)는 MIM캡처가 일어나는 조건식을 나타내는데, 이 식은 기본적으로 거리 (Distance)에 따른 신호감쇄(path loss)에 기반 한 SIR값으로 표현된다. 역으로 생각하면, 메시 노드를 배치할 때 식 (6)-(7)를 만족하도록 배치하면 MIM을 통한 캡처 효과를 통해 동시전송이 가능할 수 있다는 것을 의미한다. 한편, 식 (6)-(7)는 어느 한쪽 노드가 먼저 전송하는 경우에 MIM 캡처가 일어나는 조건인데 이 조건을 아래와 같이 확장하면 전송순서에 관계없이 항상 MIM캡처가 가능하게 된다.

$$10dB \leq SINR_{R1, dB} \tag{6}$$

$$10dB \leq SINR_{R2, dB} \tag{7}$$

하지만 여기서 한 가지 주목해야 할 것은 단순히 거리만을 고려하여 단순 모델링을 하게 되면 실제 무선 환경에서 발생할 수 있는 시간에 따른 채널 상태의 변화, 잡음(Noise) 및 장애물 등으로 인해서 이론적인 모델과의 결과 차이는 필연적이다. 이런 측면에서 보면 우리가 제안하는 모델과 결과는 정적환경 (Stationary) 에서 활용되는 것이 적합하다고 할 수 있다. 그럼에도 불구하고 우리가 제안하는 방법은 동시전송이 가능한 배치전략의 이론적 기준을 제시한다는 데 그 의미가 있다.

우선 그림 8을 통해서 MIM에 기반한 무선 메시노드 배치 전략을 설명해 보자. 그림 8(a)는 MIM을 고려하지 않은 경우로 각각의 메시노드 A, B, C 그리고 D는 DCF에 기반하여 동작하므로 A->B의 전송이 시작되면 C->D는 백오프(back-off)를 하였다가 A->B의 전송이 끝나는 시점에 전송을 시작할 수 있다. 그러나 그림 8(b)의 경우에는 A, B, C, 그리고 D를 배치함에 있어서 각각 MIM이 가능한 조건, 즉 식 (6)-(7)를 만족하도록 거리를 조절하여 배치한 경우를 나타낸다. 이 경우에는 A->B의 전송 때 C->D도 동시전송이 가능하다.

MIM캡처 확률에 기반을 둔 배치전략을 좀 더 정밀하게 하려면 다음의 방법을 생각할 수 있다. 기본적으로 메시노드를 배치함에 있어서 MIM캡처가 가능한 거리를 계산해서 노드를

배치하되 실제 동시전송이 가능한지 측정을 통해서 세밀한 조정을 할 수 있다. 또 한편으로는 이미 메시노드가 배치되어 있는 상황이라면 측정을 통해서 MIM이 가능한 노드들의 집합을 규명하고 이 노드들 사이에서는 동시전송을 하는 방법이다. 주기적인, 혹은 실시간으로 간단한 측정을 통해서 MIM 가능한 집합을 구하는 것은 기존의 측정방법[11]을 활용할 수 있다.

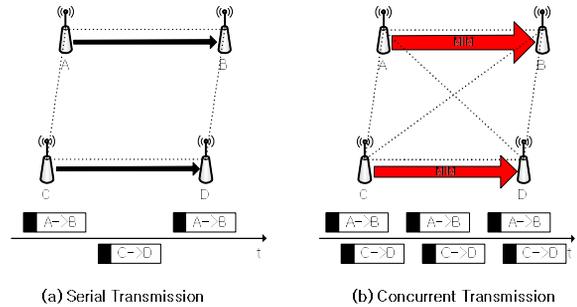


그림 8. MIM-aware 노드 배치 전략
Fig 8. MIM-aware Node Placement Strategy

V. 성능 평가

본 논문에서 제안하는 MIM에 기반을 둔 메시 노드 배치 방법의 성능을 검증하기 위해서 MATLAB [12] 과 Python 3.x Programming [13]을 이용한 시뮬레이션을 실시하였다. 우선 그림 8의 간단한 토폴로지에서 MIM이 가능하도록 배치를 한 경우와 DCF를 사용한 경우를 비교하였다. IEEE802.11a 인자 값을 적용하였고, Rayleigh 페이딩 모델을 적용하였다. 패킷의 길이는 1500바이트로 고정하였다. A는 B를 목적지로 하고, C는 D를 목적지로 한다.

그림 9에서 볼 수 있듯이 기대한 바와 같이 MIM을 사용하는 경우 동시 전송이 가능했고, DCF는 충돌을 막기 위해서 순서화 되어 전송됨을 확인할 수 있다. 이 결과로 40~ 60 % 수준의 성능 차이를 보이게 된 것이다.

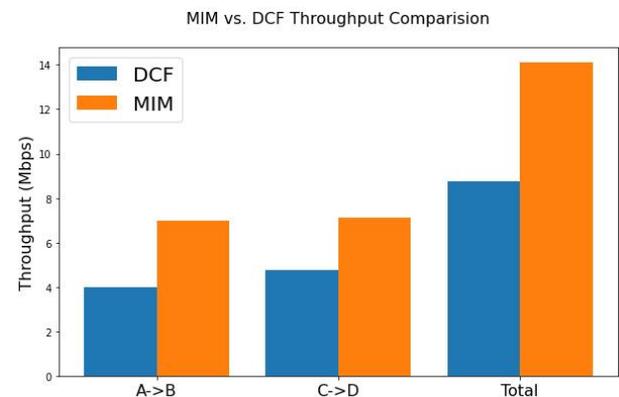


그림 9. MIM vs. DCF 처리량 비교
Fig 9. MIM vs. DCF Throughput comparison

VI. 결론

무선망의 처리량을 증가시키려는 많은 노력들 중 MIM에 기반한 동시전송이 가능하도록 무선 메시노드를 배치하는 전략에 대해서 논하였다. 우리는 신호 감쇄에 영향을 주는 가장 주요한 인자를 두 노드간의 거리로 설정하고 이를 바탕으로 MIM 캡처 확률에 대한 수학적 모델링을 적용하였다. MATLAB 및 Python을 이용한 시뮬레이션을 통해 성능 분석을 해본 결과 무선 메시망을 구축하는 경우에 망의 전체 또는 부분적으로 MIM 캡처가 가능하도록 배치를 한다면 동시전송이 가능하게 되어 망의 처리량이 크게 증가할 수 있다는 것을 확인하였다. 본 연구를 바탕으로 동시전송이 가능한 무선 메시망 구축 전략에 도움이 될 것이라 예측한다. 신호에 영향을 줄 수 있는 다양한 인자를 추가하여 좀 더 정밀한 모델을 제안하는 것은 미래 연구로 남겨둔다.

참고문헌

[1] Hyunjoong Lee ; Jungjun Kim ; Changhee Joo ; Saewoong Bahk, "BeaconRider: Opportunistic Sharing of Beacon Air-Time in Densely Deployed WLANs", 2019 IEEE 27th International Conference on Network Protocols (ICNP), Chicago, IL, USA, Oct 2019.

[2] Choi, J. "Detection of Misconfigured Wi-Fi Tethering in Managed Networks", Preprints 2020, 2020020189 (doi: 10.20944/preprints202002.0189.v1).

[3] A. Kochut, A. Vasan, A.U. Shankar, A. Agrawala, "Sniffing out the correct physical layer capture model in 802.11b," in ICNP2004. Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Network Protocols, 2004., Berlin, Germany, Oct 2004.

[4] JK. Lee et al., "An experimental study on the capture effect in 802.11a networks", in WinTECH2007. San Francisco, USA, pp. 19-26, Montréal, Québec, Canada, Sept 2007.

[5] Naveen Santhapuri, Romit Roy Choudhury, Justin Manweiler, Srihari Nelakuduti, Souvik Sen, Kamesh Munagala, "Message in message (mim): A case for reordering transmissions in wireless networks," in HotNets VII 2008.

[6] Justin Manweiler, et, al., "Order Matters: Transmission Reordering in Wireless Networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, pp. 353-366, vol. 20, April 2012

[7] Y. Kang et, al., "A distributed message in message aware concurrent transmission protocol in IEEE 802.11 WLANs", EURASIP Journal on Wireless Communications and

Networking, volume 2, Article number: 325, 2012.

[8] Jan Boer et al., "Wireless LAN with Enhanced Capture Provision", US Patent 5987033, Nov. 16, 1999.

[9] Atheros communication. <http://www.atheros.com/>

[10] Joonsoo Lee et al., "Opportunities of MIM Capture in IEEE 802.11 WLANs: Analytic Study", Proceedings of the 5th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, ICUIMC 2011, Seoul, Republic of Korea, Feb 2011

[11] Nabeel ahmed, et. al, "Online estimation of RF interference", Proceedings of the 2008 ACM CoNEXT Conference Article No.: 4 Pages 1–12. Madrid, Madrid, Spain, December 2008.

[12] MATLAB. <http://www.mathworks.com>

[13] Python. <https://www.python.org/>

강영명(Young-Myoung Kang)



2003년 : 서울대학교 대학원 (공학석사)
2012년 : 서울대학교 대학원 (공학박사)

2003년~2006년: LG전자

2012년~현재: 삼성전자

※관심분야 : 컴퓨터 네트워크(Computer Network), 소셜 네트워크(Social Network), 무선랜(WLANs) 등