

# IEEE 802.11 무선랜 환경에서의 AP 선택 알고리즘

김 결\*, 이수경<sup>o</sup>

## Access Point Selection Algorithm for Densely Deployed IEEE 802.11 WLANs

Gyul Kim\*, SuKyoung Lee<sup>o</sup>

### 요 약

IEEE 802.11 Wireless LAN 환경에서, 현재 일반적인 기존 단말의 Access Point (AP) 선택은 신호세기에 기반한다. 하지만, 신호세기 기반 AP선택 방법은 최적의 데이터 전송률을 보장하지 않는다. 이 문제 해결을 위해 최근 여러 AP선택 방법들이 제안되었지만 AP선택 시, 지연 문제를 가지며 실제 밀집된 AP환경을 고려하지 않았다. 본 논문은 밀집된 AP 환경에서 단말의 신호세기 및 Throughput 측정실험을 통해 기존 AP선택 방법의 문제점을 확인하고, 이를 보완하기 위해 Link Speed 및 IEEE 802.11 무선링크의 Round Trip Time(RTT)을 Scoring하여 AP 선택을 수행하는 알고리즘을 제안한다. 또한, 실험을 통해 제안된 AP선택 알고리즘이 기존방법들에 비해 성능적으로 향상되었음을 증명한다.

**Key Words** : IEEE 802.11 WLANs, Access Point(AP), Wi-Fi, Link Speed, Round Trip Time

### ABSTRACT

In the IEEE 802.11 Wireless LAN environment, the common Access Point (AP) selection of the existing terminal is based on signal strength. However, the signal strength-based AP selection method does not ensure an optimal data rate. Recently, several AP selection methods to solve this problem have been suggested. However, when we select AP, these have a latency problem and don't consider dense environments of AP. In this paper, we confirm the problem of the conventional AP selection about the signal strength and the throughput through the actual measurement, and propose algorithm that selects AP by scoring link speed and wireless round trip time to compensate the problem. Furthermore, the proposed AP selection algorithm through the actual experiment proves the improved performance as compared with the existing methods.

### 1. 서 론

이동 단말의 보급 및 데이터 통신의 발달로 IEEE 802.11 Wireless LAN (WLAN) Access Point (AP)의 사용은 점점 더 증가하고 있다. 게다가, 일상에서 기본적으로 쓰이는 IEEE 802.11은 무선 통신의 광범

위한 어플리케이션과 경제 활동을 지원하고 있으며, 그 적용 분야는 스마트그리드, 사물인터넷(IoT) 등과 같이 빠르고, 보다 안전한 무선 통신기능을 보유한 새로운 응용서비스를 위해 적극적으로 개발되고 있다<sup>[1]</sup>. 증가하는 수요에 맞춰, 다양한 AP환경에서 AP선택의 중요성도 높아지고 있다. 현재 널리 쓰이고 있는 표준

\* 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술진흥센터의 대학 ICT연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITP-2016-H8501-16-1019)

• First Author : Yonsei University Department of Computer Science, GyulKim@yonsei.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : Yonsei University Department of Computer Science, sklee@yonsei.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2016-03-050, Received March 31, 2016; Revised May 23, 2016; Accepted June 7, 2016

들은 IEEE 802.11 a / b / g / n / ac 이며, 그 중에 현재 GIGA Wi-Fi라고 불리는 IEEE 802.11ac의 성능이 가장 우수하다.<sup>[2]</sup> 이러한 표준들의 기존 AP선택 방법은 신호세기에 기반 하여 AP를 선택한다. 하지만, 이 방법은 밀집된 AP환경에서 각 AP의 성능, 대역폭 및 접속한 Station수를 고려하지 않기 때문에, 최상의 데이터 전송률을 보장하지 않는다<sup>[3]</sup>.

이를 해결하기 위해 Throughput 기반의 AP선택 방법이 제안되었다<sup>[4]</sup>. 하지만, Throughput 기반의 AP선택 방법은, 서버를 사용해야하기 때문에, 서버 유지 관리 비용이 들며 정전 및 예기치 않은 상황으로 서버가 다운되었을 때, 사용하지 못하는 단점이 있다. 게다가, 각 Station들의 Throughput을 측정하는데 시간 효율적이지 못하며, 그로 인한 배터리 문제를 야기하고, 측정 당시 Optimal한 Throughput을 가졌던 AP가 현재 시점에서 변경되었을 확률도 높아진다.

다음, 서버를 사용하지 않는 Station 수에 기반 한, AP선택 방법인 MLT알고리즘이 제안되었다<sup>[5]</sup>. MLT 알고리즘은 AP에 접속된 Station의 수를 고려한 방법이긴 하지만, 다른 성능을 가진 여러 종류의 AP가 밀집된 환경에서 AP의 종류 IEEE 802.11a / b / g / n / ac에 따른 성능 및 대역폭 차이를 고려하지 않은 방법이다.

본 논문에서는 실험을 통해, 기존 AP선택 방법들의 문제점을 확인하고, 이를 해결하기 위해 단말에서 AP의 무선링크 Round Trip Time(RTT) 및 Link speed를 Scoring하여 AP를 선택하는 알고리즘을 제안한다.

## II. 측정 데이터 기반 성능분석

밀집된 AP환경에서 실험을 하기 위해, 연세대학교 부근에 2개의 스타벅스 및 할리스 커피를 실험장소로 정하고, 안드로이드 4.0 Version의 App을 개발하여, NEXUS 5에서 측정하였다. 우선, 현재 연결 가능한 모든 AP를 스캔하고 각각 AP의 신호세기, Link Speed, 무선링크 RTT, 중단간 RTT 및 Throughput을 측정하여 해당 데이터를 텍스트파일로 저장한다. 저장된 데이터는 Java 기반 Test-bed에서 각 알고리즘에 맞춰 시뮬레이션 된다.

### 2.1 AP 수 와 표준

다음 표는 각 장소에서 스캔 된 전체 AP의 수와 그 중에서 연결 가능한 AP의 수이다.

표 1. 각 장소의 AP환경조사  
Table 1. AP investigation for each place

	STARBUCKS (MyungMool)	STARBUCKS (Yonsei-Front)	Hollys Coffee
The number of scanned AP	27	30	35
The number of connectable AP	12 (44.4%)	13 (43.3%)	14 (40%)
IEEE 802.11ac	6	6	1
IEEE 802.11n	6	7	13

연결 가능한 AP의 표준은 IEEE 802.11ac / n이 있었으며, 일반적으로 IEEE 802.11ac의 성능이 더 우수하다. 만약, 같은 표준들이 밀집된 환경이라면, 이 논문에서 제안하는 알고리즘과 MLT알고리즘의 차이가, 신호세기에 의한 Link Speed에 따라 조금 달라지겠지만, 결과의 차이는 크지 않을 것이다. 하지만, 각 장소에서 연결 가능한 AP의 표준은 서로 다르고, 그로 인한 성능 및 대역폭의 차이가 발생하므로, MLT알고리즘은 여러 표준이 밀집된 환경을 고려하지 않았다.

### 2.2 상관관계 비교

기존 Station의 AP선택 방법인 신호세기와 Throughput간의 상관관계를 알아보았다. 그림 안에 각각의 점들은 현재 연결 가능한 AP들을 나타낸다.

신호세기가 0에 가까워질수록 Throughput이 증가되어야 하지만, 그림 1은 신호세기 기반의 AP선택이 Optimal한 AP선택과 관계없음을 보여준다.

다음은, 제안된 알고리즘과 Throughput의 상관관계이다.

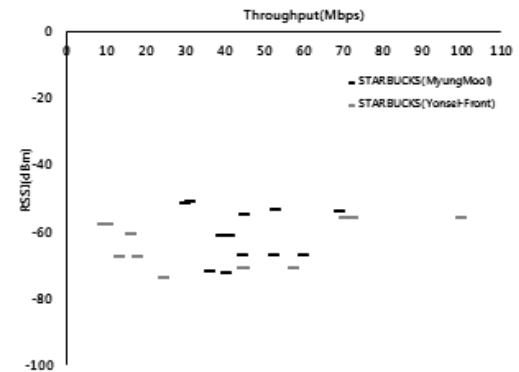


그림 1. 신호세기와 Throughput의 상관관계  
Fig. 1. Correlation of Throughput and Signal Strength

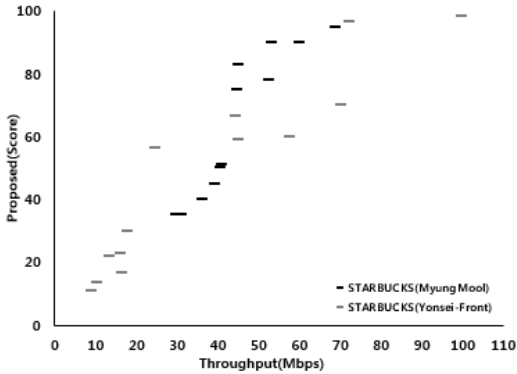


그림 2. 제안 알고리즘과 Throughput의 상관관계  
Fig. 2. Correlation of Proposed Algorithm and Throughput

### 2.3 Association 시간 비교

하나의 Station이 Optimal한 AP에 Association되는 시간을 측정해보았다. 제안 알고리즘과 Throughput 기반과의 성능차이는 비슷하거나 Throughput 기반이 좋지만, Throughput 기반의 Association 시간이 길어짐으로써 Optimal한 AP가 변경될 확률이 높아진다. 게다가, Association할 AP의 성능 및 대역폭에 관계없이, 현재 Throughput을 기반으로 AP를 선택하기 때문에 낮은 대역폭을 가진 AP를 선택 했을 시, 제안 알고리즘과 달리, 앞으로 접속되는 Station 숫자에 영향을 받을 확률도 높아진다.

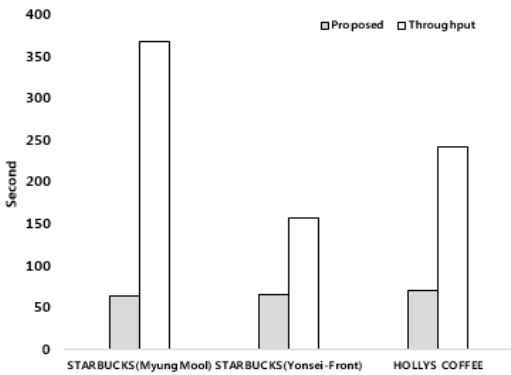


그림 3. 제안 알고리즘과 Throughput 기반 알고리즘과의 Association 시간 비교  
Fig. 3. Association time comparison of the proposed algorithm and Throughput-based algorithm

다음은, 각 장소에서 연결 가능한 전체 AP 평균 Association 시간이다.

제안 알고리즘과 Throughput 기반과의 시간 차이는, 각 장소마다 적게는 3배, 많게는 6배까지 차이가

나는 것을 확인할 수 있다.

### III. 제안하는 AP 선택 알고리즘

제안된 알고리즘은 Link Speed와 무선링크 RTT의 Scoring에 기반 하였다. 우선, 무선링크 RTT와 종단간 RTT는 서로 밀접한 관계가 있다. 무선링크 RTT는 현재 위치에서 Station이 접속한 AP까지, 즉, AP에 연결된 Router까지 PING을 보낸 뒤 ACK 메시지를 받는데 걸리는 Delay이다. 종단간 RTT는, 앞서 말한 무선링크 RTT와 유선 Routing Delay를 포함하는 개념이다.

$$\text{종단간 RTT} - \text{무선링크 RTT} = \text{유선 Routing Delay}$$

종단간 RTT는 무선링크 RTT보다 시간 효율적이지 못하며, 현재까지 연구된 여러 라우팅 알고리즘으로 인해, 대략 고정적인 유선 Routing Delay를 가진다. 그러한 이유로 무선링크 RTT를 Scoring하였다. 무선링크 RTT는 대역폭 및 접속된 Station의 수를 고려하므로, 현재 연결 가능한 위치에 존재하는, 같은 성능을 가진 AP가 밀집된 환경에서 Optimal한 AP선택을 가능하게 해준다<sup>6,7</sup>. 아래 그림은 무선링크 RTT와 종단간 RTT의 상관관계를 표현한다.

다음, Link Speed는 다른 말로, 표준 Wi-Fi Speed로 불리며, AP의 성능을 나타내는 지표이다. 이 Link Speed는 접속된 Station을 고려하지 않을 시, 가장 Optimal한 AP선택을 가능하게 해준다. IEEE 802.11 표준들의 성능 및 대역폭과 현재의 RSSI(신호세기)

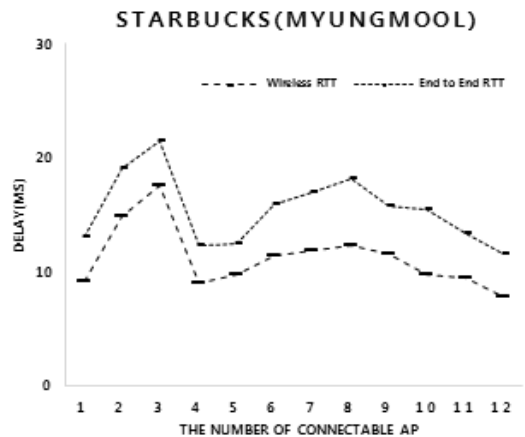


그림 4. 무선링크 RTT와 종단간 RTT의 상관관계  
Fig. 4. Correlation of Wireless RTT and End to End RTT

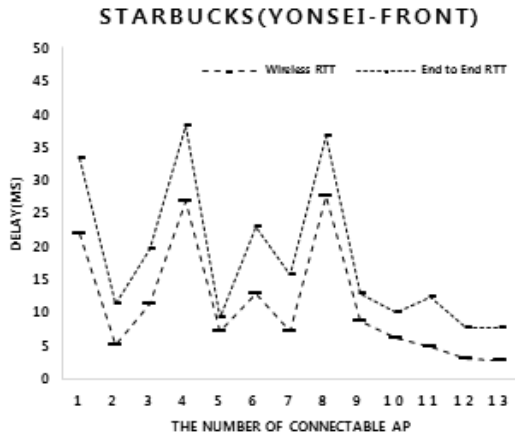


그림 5. 무선링크 RTT와 종단간 RTT의 상관관계  
Fig. 5. Correlation of Wireless RTT and End to End RTT

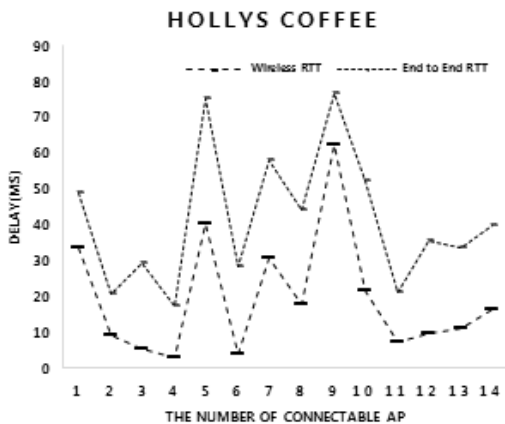


그림 6. 무선링크 RTT와 종단간 RTT의 상관관계  
Fig. 6. Correlation of Wireless RTT and End to End RTT

및 SNR(신호대비잡음)에 따라서 Link Speed는 결정된다. IEEE 802.11 표준의 성능 및 대역폭이 우수할수록 허용 가능한 Link Speed의 범위가 넓어지기 때문에 강한 RSSI를 가지더라도, 약한 RSSI를 가지는, 우수하지 못한 IEEE 802.11 표준에 비해 Link Speed가 좋을 확률이 높다.

비슷한 무선링크 RTT를 가지는 AP끼리의 Throughput은 큰 차이가 나지 않는 경우도 있지만, AP의 성능 및 대역폭 차이로 인해 Station이 새로 연결될 때마다 점유하는 대역폭의 크기가 달라진다. 그러므로 큰 대역폭을 가지는 AP일수록 Station의 점유에 비례하여, 낮은 대역폭을 가지는 AP보다 Throughput이 높게 유지된다. 예를 들어, 일정량의 Channel Utilization이 존재하며 IEEE 802.11n의 20Mhz 대역폭에 1개의 Station이 연결되어 있고,

IEEE 802.11ac의 80Mhz 대역폭에 4개의 Station이 연결되어 있다고 가정한다. 이 때, 1개의 Station이 IEEE 802.11n에 더 연결된다면, 약 10Mhz를 나눠지게 되는 것이고, IEEE 802.11ac에 연결된다면, 약 16Mhz를 나눠지게 되는 것이다. 게다가 IEEE 802.11ac는 (Multi-User, Multiple Input Multiple Output)를 사용한다<sup>8)</sup>.

이 MU-MIMO는 여러 사용자에게 동시에 하나 이상의 데이터 스트림을 전송할 수 있는 기술이기 때문에, 단일 사용자에게 동시에 여러 개의 데이터 스트림을 전송하는 방법인 IEEE 802.11n의 SU-MIMO(Single-User, Multiple Input Multiple Output)보다, 이용 가능한 안테나 개수에 따라서, 더 많은 Station의 유지가 가능하다. 그러므로 IEEE 802.11ac가 Throughput이 좋을 확률이 높다.

Link Speed를 구하는 이론적인 방법은 신호세기와 해당 AP의 유용한 대역폭과 채널의 신호대비잡음 정도로 구할 수 있으며, 무선링크 RTT를 구하는 이론적인 방법은 Transmission time과 현재 AP의 성능 및 대역폭에 따른 Station의 수를 통해 구할 수 있다. 이 때 무선링크 RTT는 IEEE 802.11의 CSMA/CA 채널 접근 방법의 영향을 받으므로 DCF(Distributed Coordination Function) Back-off time으로 인하여 자신의 정확한 차례를 알기 힘들다<sup>9)</sup>. 그렇기 때문에 정확한 측정을 위해, 하나의 AP당 10번의 무선링크 RTT를 측정하여 평균값으로 Scoring하였다. Link Speed는 현재 연결된 AP의 DHCP정보에서 받아왔으며, 무선링크 RTT는 현재 연결된 AP의 DHCP정보에서 ip를 알아내어, 해당 AP까지의 동일한 길이 1400 바이트 Packet을 전송함으로써 측정하였다. 이 때, Packet의 전송실패율은 약 1.7%였고, 전송에 실패했을 시, 전송에 성공할 때까지 재전송하여 측정하였다.

다음은 제안된 알고리즘의 수식이다. Link Speed (LS)와 Round Trip Time(RTT)의 Scale값은 유사한 분포를 가진다. LS는 약 50~900(mbps), RTT는 약 1~20(ms)이므로 Link Speed를 50으로 나누면 1~18로 RTT의 Scale과 유사하다고 볼 수 있다. 게다가 Link Speed(LS)가 좋을수록 Round Trip Time(RTT)이 좋기 때문에, 둘 중 한 값에 bias될 확률은 더 줄어든다.

$$S_n < LS > = \frac{AP_n < LS >}{AP_{Max} < LS >} \quad (1)$$

(1)은 현재 리스트에서 연결 가능한 AP중, Link Speed(LS)가 가장 좋은 AP<sub>Max</sub>와 현재 연결된 AP<sub>n</sub>

을 Scoring하는 수식이다.

$$S_n < RTT > = \frac{AP_{Min} < RTT >}{AP_n < RTT >} \quad (2)$$

다음 (2)는 (1)과 마찬가지로 무선링크 Round Trip Time(RTT)을 Scoring하는 수식이다. 일반적으로, Round Trip Time(RTT)이 낮을수록 AP의 성능이 좋고 연결된 사용자의 수가 적기 때문에 높은 Score를 가진다. 그러한 이유로, (1)과 반대로 (2)와 같이 수식을 표현하였다.

$$AP_n < Score > = (S_n < LS > + S_n < RTT >) * 50 \quad (3)$$

(3)은 각각 AP마다 환산된 점수를 저장하는 수식이며, 각 LS와 RTT는 같은 단위의 0~1점의 점수를 가진다. 50은 Scoring된 점수를 100점으로 환산하기 위하여 사용하였다.

$$Connection = AP_{Max} < Score > \quad (4)$$

(4)에서는 (3)에서 저장된 Score를 기반으로 가장 높은 Score를 가진 AP를 선택한다.

다음 그림 7~9는, 각 장소에서, 현재 연결 가능한 전체 AP의 모든 데이터를 측정 한 후, 각 알고리즘의 Trial 별로 5회 동안 선택된 AP의 Throughput을 나타낸다.

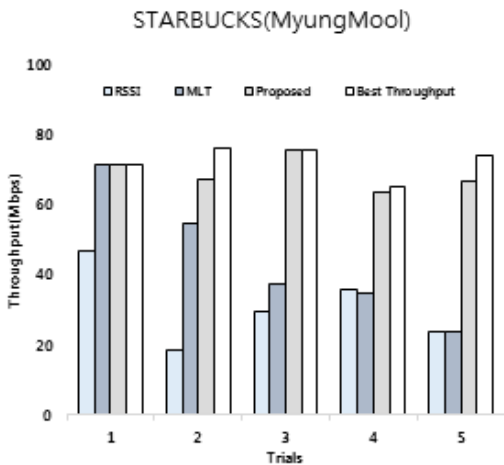


그림 7. 기존 알고리즘과 Throughput 비교  
Fig. 7. Comparison with the existing algorithm

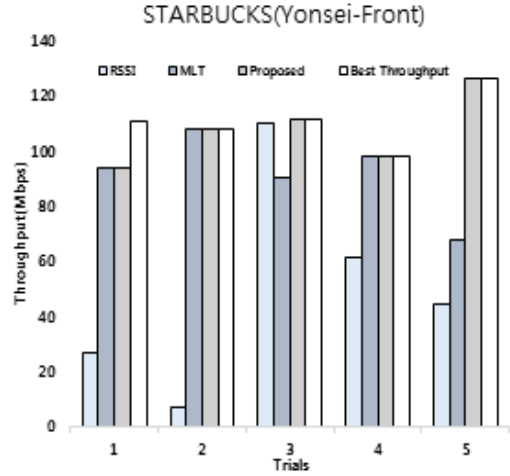


그림 8. 기존 알고리즘과 Trial Throughput 비교  
Fig. 8. Comparison with the existing algorithm

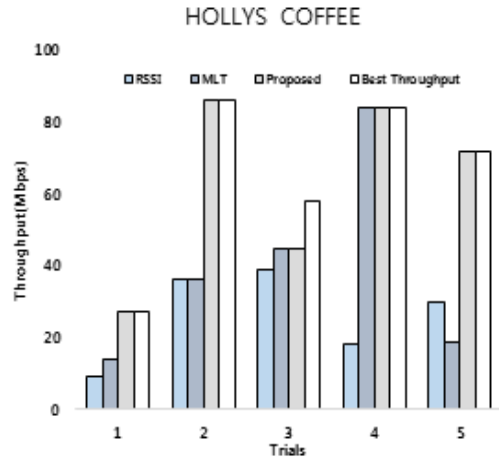


그림 9. 기존 알고리즘과 Trial Throughput 비교  
Fig. 9. Comparison with the existing algorithm

#### IV. 성능평가 및 결론

본 논문에서는 기존 Access Point(AP) 선택 방법들의 문제점을 확인하고, Link Speed와 무선링크 Round Trip Time Scoring 기반 AP선택 알고리즘을 제안하였다. 실제 연세대학교 앞, 2개의 스타벅스 및 할리스 커피에서 다양한 AP표준을 스캔하고, 연결 가능한 AP를 바탕으로 데이터를 측정하였다. 그리고 Java 기반 Test-bed에서 각각 알고리즘 별로 시뮬레이션 하였다.

다음은 각 장소에서 연결 가능한 AP의 데이터를 시간 별로 측정하여, 각 알고리즘으로 50회 이상 시뮬레이션 한, Throughput 평균값의 결과이다.

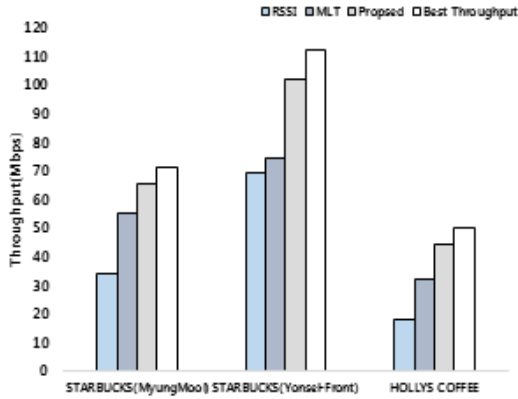


그림 10. 기존 알고리즘과 50회 평균 Throughput 비교  
Fig. 10. Comparison with the existing algorithm about average throughput with 50 trials

본 논문에서 제안한 Scoring 알고리즘은 신호세기 및 Station 수에 기반 한, MLT 알고리즘에 비해 각각 94.2%, 30.2% 향상된 Throughput을 보였다. 그리고 추가적인 서버 비용 및 지연, 여러 가지 오버헤드가 발생하는 Throughput 기반과의 Throughput 차이는 10% 미만으로 나타났다.

다음은 각 장소에서, 각 알고리즘 별로 연결된 AP의 Throughput이, 시간에 따라 변화될 때, 그 값이 연결 가능한 전체 AP의 Throughput 평균값보다 높게 유지될 확률을 나타낸다.

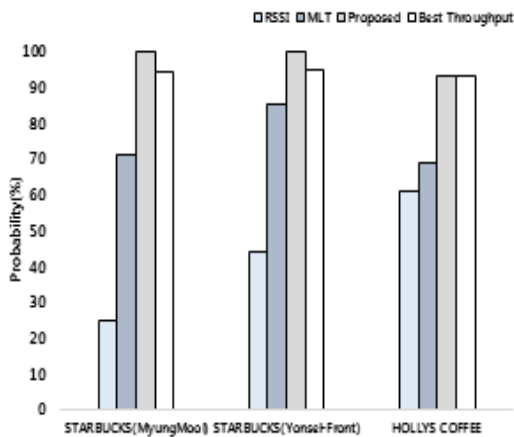


그림 11. 연결 가능한 전체 AP의 Throughput 평균 보다 각 알고리즘의 Throughput이 높게 유지될 확률  
Fig. 11. Probability that can continue better than average throughput of all the connectable AP

Link Speed를 Scoring 함으로써, IEEE 802.11ac와 같은 성능이 높은 AP 표준을 선택할 확률이 높아지기

때문에, 새로운 Station의 연결에 있어서 성능 및 대역폭에 영향을 덜 받게 되므로, 제안 알고리즘으로 선택된 AP의 Throughput이 평균적으로 가장 높게 유지되는 것을 확인할 수 있다.

이로써 제안한 AP 선택 방법이 기존 방법들보다 성능 효율적임을 증명하였다.

## References

- [1] D. Y. Kim, S. H. Kim, M. G. Ha, T. H. Kim, and Y. H. Lee, "Internet of things technology and direction of progress," *J. KICS*, vol. 28, no. 09, pp. 49-57, Aug. 2011.
- [2] J. S. Lee, M. H. Jung, and S. G. Lee, "802.11 WLANs technology," *J. KICS*, vol. 30, no. 06, pp. 13-19, May 2013.
- [3] F. Xu, C. Tan, Q. Li, G. Yan, and J. Wu, "Designing a practical access point association protocol," in *Proc. IEEE INFOCOM*, pp. 1361-1369, San Diego CA, USA, Mar. 2010.
- [4] A. J. Nicholson, Y. Chawathe, M. Y. Chen, B. D. Noble, and D. Wetherall, "Improved access point selection," *ACM MobiSys06*, pp. 233-245, Uppsala, Sweden, Jun. 2006.
- [5] Y. Fukuda and Y. Oie, "Decentralize access point selection architecture for wireless LANs," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E90-B, no. 9, pp. 2513-2523, Mar. 2007.
- [6] D. Gunawardena, P. Key, and L. Massoulié, "Network Characteristics: Modelling, Measurements and Admission Control," *IWQoS*, Berkeley CA, vol. 2707, pp. 3-20, Jun. 2003.
- [7] R. C. L. Gmez, P. M. Velasco, and J. M. Fuertes, *Wireless network delay estimation for time sensitive applications research report; ESAII RR-06-12*; Technical University of Catalonia: Barcelona, Spain, 2006.
- [8] B. H. Shim and B. J. Lee, "Evolution of MIMO technology," *J. KICS*, vol. 38, no. 08, pp. 712-723, Aug. 2013.
- [9] *IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, IEEE Std 802.11 TM -2012, pp. 818-819, Mar. 2012.

김 결 (Gyul Kim)



2015년 2월 : 경성대학교 컴퓨터 공학과 졸업  
2015년 3월~현재 : 연세대학교 컴퓨터 과학과 석사과정  
<관심분야> IEEE 802.11, Wireless Mesh Network

이 수 경 (SuKyoung Lee)



1993년 2월 : 연세대학교 컴퓨터 과학과 졸업  
1995년 2월 : 연세대학교 컴퓨터 과학과 석사  
2000년 8월 : 연세대학교 컴퓨터 과학과 박사  
2000년 8월~2003년 8월 : National Institute of Standards and Technology, Advanced Networking Technology Division  
2005년 9월~현재 : 연세대학교 컴퓨터 과학과 교수  
<관심분야> Wireless Network, Context-Aware Networking Architecture