

IEEE 802.11k-Measurement Pilot을 활용한 저전력 네트워크 스캐닝 알고리즘

이형규*, 김황남°, 김현순*

Power Efficient Network Scanning Algorithm Based on IEEE 802.11k-Measurement Pilot

Hyung Kyu Lee*, Hwangnam Kim°, Hyunsoon Kim*

요약

본 논문은 IEEE 802.11 환경에서 새로운 AP를 탐색하기 위한 네트워크 스캐닝의 기존 방식을 IEEE 802.11k의 Measurement Pilot을 활용하여 개선하는 새로운 알고리즘을 제안한다. 그리고 제안한 알고리즘과 종래의 알고리즘을 시뮬레이션 환경에서 비교하여 분석한다. 일반적인 IEEE 802.11을 사용하는 기기들은 탐색 시간이 짧은다는 장점을 갖는 능동 탐색(Active Scan)방식을 활용한다. 하지만 이 방식은 수동 탐색(Passive Scan) 방식에 비해 많은 전력사용을 필요로 한다. 본 논문에서 제안하는 탐색 알고리즘은 IEEE 802.11k에서 활용되는 비컨(Beacon)보다 짧은 주기를 갖는 Measurement Pilot을 활용하여 수동 탐색과 능동 탐색의 장점을 취합하여 전력사용을 줄인다.

Key Words : WLAN, Network Scan, Energy Efficiency, Measurement Pilot

ABSTRACT

This paper suggests the new network scanning algorithm that makes use of measurement pilot of IEEE 802.11k. The purpose of suggesting this algorithm is to improve the existing network scanning schemes. After introducing new algorithm, this paper shows the difference of time property and energy property between former scanning schemes and new scheme with simulation results. Passive scan has a merit of low-power consumption but it takes too long time to fulfill whole scanning. On the contrary, an advantage of active scan is speed but it consumes more battery power than passive scan. By using measurement pilot's smaller interval than beacon interval, the suggested algorithm can consume less power than active scan does, and also make shorter scanning delay than passive scan does.

I. 서론

무선 네트워크 환경은 안정적인 서비스를 위해 빠른 속도를 필요로 하며, 무선이라는 특성상 제한적인

배터리를 사용하는 모바일 단말에서 효율적으로 전력을 사용하는 것은 중요하게 여겨지고 있다^[13]. 하지만 이 두 요소는 서로 상충하는 경향을 띄기 때문에 속도가 빨라지면 배터리의 지속시간이 짧아지고 전력소모

※ 본 연구는 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2013R1A1A2010388).

♦ First Author : Korea University School of Electrical Engineering, schk00@korea.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Korea University School of Electrical Engineering, hnkim@korea.ac.kr, 중신회원

* Korea University School of Electrical Engineering, gustns2010@korea.ac.kr

논문번호 : KICS2014-02-048, Received February 7, 2014; Revised May 29, 2014; Accepted May 29, 2014

를 줄려면 서비스 속도가 감소해야 한다. IEEE 802.11 무선랜 환경에서 무선운용기기가 채널 탐색을 통해 AP를 발견하는 경우에도 이 특성이 적용된다. 수동 탐색방식은 특정 시간동안 비컨의 수신 여부를 통하여 AP를 발견하는데, 수신을 위해 채널을 열어들 뿐 다른 동작을 하지 않아 전력소모는 작다. 하지만 비컨의 주기에 상응하는 긴 시간 동안 탐색을 시도하기 때문에 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 반대로 능동 탐색방식은 Probe Request를 송신하고 AP로부터 이에 대한 응답인 Probe Response를 수신한다. 이 송수신은 즉각적으로 진행되어 빠른 속도가 보장되나 송수신으로 인한 전력소모가 커지게 된다¹¹. 그리고 무선기기와 AP의 수가 많을 경우, 방대한 양의 Probe Request/Response 신호가 오가는 과정에서 Air 망에 과부하가 올 수 있다는 단점도 있다¹². 이와 같은 상황을 개선하기 위해 본 논문에서는 IEEE 802.11k 규격에 새로 추가된 Measurement Pilot이라는 프레임을 활용하는데, 이는 비컨보다 짧은 주기를 갖고 AP로부터 전송되어 기기의 최적화된 네트워크 탐색 및 접속을 돕는 역할을 수행한다. 본 논문은 Measurement Pilot이 본래 탐색을 지원하는 방식이 아닌, 비컨보다 짧은 주기를 갖는 성질을 활용하여 기존의 네트워크 탐색 방식들과 차별화된 새로운 네트워크 탐색 방식을 제시하고, 해당 방식의 스캐닝 지연시간과 전력사용량의 성질을 확인한다. 2장에서는 본 논문과 관련된 선행 연구에 대해 간략하게 논하고 3장에서는 Measurement Pilot을 활용하는 네트워크 스캐닝의 기본 개념을 소개하며 그 전력, 시간 모델을 시뮬레이션한다. 4장에서는 3장에서 소개한 모델의 단점을 개선하는 최종적 알고리즘을 제안하고 역시 시뮬레이션 환경에서 확인, 분석하며 통계자료 분석을 통해 알고리즘 적용의 타당성에 대하여 논한다. 5장의 결론에서는 추후 연구 방향성을 제시하며 본 논문을 마친다.

II. 관련연구

2008년에 발표된 IEEE 802.11k는 2007년에 발표된 IEEE 802.11 표준의 무선자원 관리 내용의 추가본이다². 이 표준이 적용된 무선운용기기는 자신의 무선 링크 성능과 무선 환경의 자료들을 수집한 후 다른 무선운용기기간 상호작용을 통하여 수집한 정보들을 공유한다. 이렇게 수집된 Radio Measurement 자료는 무선운용기기가 자신의 무선 환경에 적합하게 조정하는 기능을 수행할 수 있도록 한다. 또한 Channel Load Request/Report나 Neighbor Request/

Report를 통하여 Pre-Handoff 정보를 습득하는 방식을 통해 이동성 문제의 해결을 모색한다. 여기서 주고받는 정보는 핸드오프 상황에서 전력, 대역폭과 같은 요소를 가장 적합하게 선택 할 수 있도록 돕는다. IEEE 802.11k 표준에 추가된 Measurement Pilot(이하 MP)은 AP로부터 송신되는데, 비컨에 비해 짧은 주기를 갖고 채널정보 및 Measurement Pilot Interval 등을 알리는 역할을 수행 한다. 무선운용기기는 이 MP를 보조적으로 사용하여 탐색의 성능을 향상시키고 더 좋은 네트워크에 접속할 수 있도록 한다.

하이브리드 스캐닝 연구는 능동 탐색의 네트워크 과부하 문제를 해결하기 위해 제안 되었다. 수동 탐색과 능동 탐색의 병용으로 짧은 시간동안 수동 탐색을 수행하다 비컨을 받지 못하면 능동 탐색을 수행하는 방식이다¹³. 이 기법에서 제안하는 수동 탐색 시간이 상용되는 비컨 주기보다 짧아 이상적인 수동 탐색을 수행하기 힘들다는 단점이 있다. 이웃 네트워크 정보를 이용하는 스캐닝 연구에서는 IEEE 802.11k에서 사용하는 방식과 유사하게 사전 스캐닝이라는 기법을 통하여 주변 네트워크 정보를 습득하고, 이를 바탕으로 스캐닝 그룹을 분류하고 스캐닝 순서를 결정하여 모빌리티 환경에서 지연시간을 줄이는 방법을 제시한다⁶. 또 다른 연구에서는 IEEE 802.11ai 표준에 맞는 능동 탐색 메커니즘을 제시하여 네트워크 관리 신호의 부하를 줄이고 채널 스캐닝 성능을 좋게 하는 내용을 제시한다⁷. 이 외에도 무선랜 재밍 환경에서 채널 도약을 사용하거나⁸ 가변 탐색시간을 활용하여⁹ 네트워크 탐색을 효율적으로 가능하게 하는 다양한 기법들이 제시되어 있다.

III. Measurement Pilot 기반 탐색의 기본 개념(Preliminary Concept)

앞서 언급한 대로, 능동 탐색방식은 무선운용기기가 Probe Request를 송신하기 때문에 에너지 소모량이 증가한다는 단점이 있다. 반대로 수동 탐색에서는 단순히 비컨수신을 긴 시간동안 기다리는데 이는 전력적인 면에서 장점이 있지만 그 과정이 너무 오래 걸린다는 단점이 있다. 본 논문에서 제안하고자 하는 Measurement Pilot 기반 탐색은 비컨과 Probe Response의 부분집합인 MP를 활용하여 탐색에 걸리는 시간을 줄이고 Probe Request를 선택적으로 송신하여 전력적인 면에서 장점을 얻는 장점이 있다. IEEE 802.11k 표준문서에는 Measurement Pilot이 비컨에 비해서 3~25% 정도의 짧은 전송 주기를 갖는다

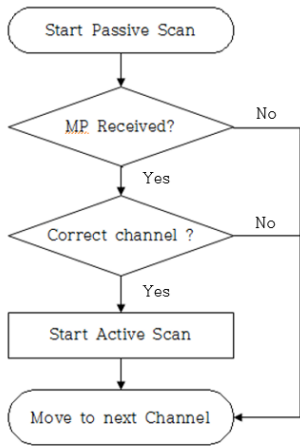


그림 1. MP 기반 탐색의 한 채널 내에서의 동작 순서도
Fig. 1. Flow diagram of MP based scan in one channel

고 명시되어 있다. 종래의 수동 탐색이 대개 100ms의 길이를 갖는 비컨송신주기에 맞추기 위해 긴 시간을 할애해야 했다면, 이 방식에서 추출하는 것이 Measurement Pilot일 경우에는 그렇게 긴 시간이 필요하지 않다. 따라서 짧은 시간동안 Measurement Pilot의 수신을 시도한 후, MP를 수신한다면 해당 채널에 AP가 있다고 판단하여 능동 탐색을 수행하는 방식으로 한 채널에서의 탐색을 수행한다. 만약 MP가 검출되지 않는다면 다음 채널로 이동하여 이 과정을 반복한다. 이 과정을 통하여 능동 탐색보다는 길지만 수동 탐색보다는 짧은 시간을 할애하여 탐색을 수행할 수 있고 불필요한 Probe Request/Response의 송수신을 줄여서 전력적인 부분에서 장점을 가져올 수 있다. 그림 1은 한 채널에서의 탐색 과정을 순서도로 표현한 것이며 그림 2는 Measurement Pilot을 활용한 스캐닝 전체과정의 예시를 그림으로 표현한 것이다. 예시에서, 기기는 Ch.1에서 수동 탐색방식으로 MP를 수신하기 위해 대기하지만 실패한다. 그 결과 해당 채널

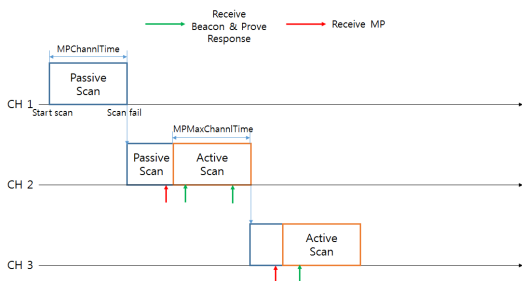


그림 2. MP기반 탐색의 모식도
Fig. 2. Pictural view of Measurement Pilot based scan

널에는 AP가 없다고 판단하고 다음 채널에서 탐색을 시작한다. Ch.2와 Ch.3에서 기기가 AP에서 전송된 MP를 수신(붉은 화살표)하고 이 MP가 해당 채널의 것이 맞는지 확인한다. MP가 올바르게 수신되었기에 해당 채널에 AP가 존재한다고 판단하고 Probe Request를 브로드캐스트하여 능동 탐색을 수행하고 다음 채널로 넘어간다. 이때 MP를 수신하기 위한 대기시간인 MPChannelTime은, MP의 전송주기가 종래의 수동 탐색에서 검출하고자 하는 비컨 주기보다 훨씬 짧기 때문에 수동 탐색의 MaxChannel-Time보다 훨씬 짧은 값을 가질 수 있다. 다만 그 값이 능동 탐색 방식의 MinChannelTime보다는 길어야하고, MP를 수신하여 능동 탐색을 수행하는 경우에도 최소한 기존의 능동 탐색과 같은 시간동안 채널을 탐지해야 하기 때문에 전체적인 탐색 시간은 능동 탐색보다 증가하게 된다. 다음 수식은 능동 탐색의 탐색 소모 시간과 MP를 활용한 탐색의 소모 시간을 각각 나타낸 것이다.

$$ActScanTime = T_{MaxChannel} * N + T_{MinChannel} * (13 - N) \quad (1)$$

$$MPScanTime = (T_{MPReceive} + T_{MPRead} + T_{MPMaxChannel}) * N + T_{MPChannel} * (13 - N) \quad (2)$$

다음으로 탐색을 진행하는 시간동안 소모되는 전력량을 제시한 개념에 맞게 제시 하였다. 능동 탐색의 전력량과 MP를 활용한 탐색의 수식을 다음과 같이 제시하였다.

$$ActScanEnergy = E_{ProbReqTx} * 13 + (T_{MaxChannel} * E_{Listen} + NofProbResp * E_{Receive}) * N + T_{MinChannel} * E_{Listen} * (13 - N) \quad (3)$$

$$MPScanEnergy = (T_{MPReceive} + T_{MPMaxChannel}) * E_{Listen} + (NofProbResp + 1) * E_{Receive} + E_{ProbReqTx} * N + T_{MPChannel} * E_{Listen} * (13 - N) \quad (4)$$

위의 수식들에서 사용된 변수들의 설명과 표준 값을 다음의 표 1에 정리 하였다. 위 수식에서 나타낸 13은 국내 2.4GHz대역의 표준 채널수를 뜻한다. 전력 수식은 신호를 수신하기 위한 대기 시간동안의 전력 소모와 수신한 Probe Response의 수와 기본적으로 수

표 1. 수식에서 사용된 값과 그 설명
Table 1. Explanation of arguments and their value

Argument	Description	Value
TMaxChannel	MaxChannelTime	10ms ^[4]
TMinChannel	MinChannelTime	1ms ^[4]
N	The number of Channel that has AP	Changable
TMPReceive	MPReceiveTime-The time receive the MP	Changable
TMPRead	MPReadDelay-Checking time of validate of MP	1ms
TMPMaxChannel	MPMaxChannelTime	10ms
TMPChannel	MPCChannelTime	10ms
EProbReqTx	ProbReqTransmitE-Power consumption of transmitting the probe request	3000mA ^[5]
EListen	ListenE-Power consumption of idle time	900mA ^[5]
NofProbResp	The number of received probe response	Changable
EReceive	ReceiveE-Power consumption of receiving the packet	110mA ^[5]

신한 최소 하나의 MP로 인해 발생한 전력, 송신한 Probe Request들에 의한 전력소모를 더하는 것을 나타낸다.

그림 3은 무선운용기기의 핸드오프환경에서 능동 탐색과 MP를 활용한 탐색이 수신할 수 있는 데이터 양을 앞서 제시한 수식에 따라 시뮬레이션 한 것이다. 기기가 5m/s로 움직이며 100Mbps의 전송률로 AP와 통신한다. AP의 지원범위를 넘어가는 핸드오프 상황이 발생할 때마다 탐색을 수행하도록 설정 되었으며, 이 탐색 동안에는 데이터를 수신할 수 없다. 같은 환경이라면, 더 빠르게 탐색을 마치는 쪽이 많은 데이터를 수신할 수 있다. MP 활용 탐색은 능동 탐색에 추가적인 동작이 추가되기에 더 느린 속도로 탐색을 마친다. 따라서 MP활용 탐색에서의 데이터양이 능동 탐

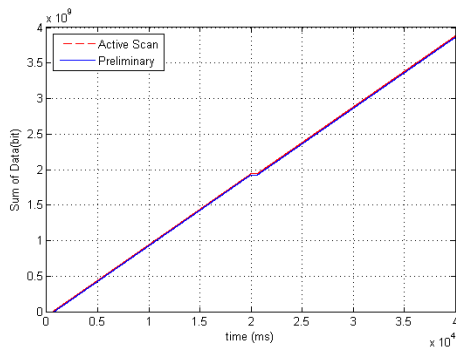


그림 3. 수신 데이터양의 시뮬레이션
Fig. 3. Simulation of throughput model

색에 비해 총 수신 데이터양이 감소하는 결과를 볼 수 있다. 하지만 그 지연시간이 몹시 짧고 두 방식 간 수신 데이터양의 차이 역시 전체 데이터양에 비하면 1%가 되지 않을 정도로 작다. 따라서 지연시간 증가로 인한 단점은 전체 성능에 큰 영향을 미치지 못한다.

그림 4는 무선 환경에서 AP의 수가 증가함에 따라 활성화된 채널의 수가 늘어나는 상황에 따른 두 탐색 방식의 전력모형을 시뮬레이션 한 것이다. 활성화된 채널의 수가 적을 경우에는 Probe request/response의 송수신이 조금 일어나는 MP를 활용한 탐색이 전력을 적게 사용하였으나 채널의 수가 커지면서 수동 탐색을 병용하지 않는 능동 탐색의 전력효율이 좋게 나타났다. 매 시뮬레이션 수행마다 MP를 활용한 탐색이 전력적인 부분에서 장점을 갖는 채널의 수가 조금씩 다르게 나타나, 5000회 시뮬레이션 수행 결과의 평균을 낸 결과 활성화 채널의 수가 전체 채널수의 절반정도 수준인 7.2개를 넘어가면 종래의 능동 탐색방식의 전력소모량이 더 적어지는 것으로 나타났다. 이는 제안한 방식이 기존 능동 탐색에 추가적인 동작을 더하는 방식을 채택했기 때문에 불가피한 부분이다. 하지만 무선망의 안정성을 위해 모든 무선 채널을 조밀하게 사용하는 것은 아니기 때문에 이런 전력량 증가가 발생하는 경우는 많지 않고, 해당 개념이 실질적인 장점을 갖는다고 할 수 있다. 그러나 이런 단점구간에서의 불가피한 전력소모 차이를 최대한 감소시키기 위해 기본 개념을 개선하는 네트워크 스캐닝 알고리즘을 최종적으로 제시하였다.

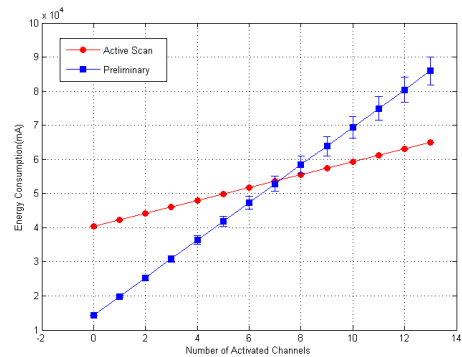


그림 4. 에너지 소비 모델의 시뮬레이션
Fig. 4. Simulation of energy consumption model

IV. Measurement Pilot 기반 탐색 알고리즘

다음의 Algorithm 1은 새로이 제시하는 알고리즘

Algorithm 1 Measurement Pilot based scanning algorithm

```

1: procedure MP_SCAN()
2:   number of activated channel = 0
3:   number of scanned channel = 0
4:   while number of scanned channel < 13 do
5:     while Scanning time < MPCchannelTime do
6:       PassiveScan(Current Channel)
7:       if Receive MP then
8:         ChCheck(MP)
9:         if Proper MP then
10:          Remember the channel activated
11:          number of activated channel ++
12:          if number of activated channel > 8 then
13:            ActiveScan(Remaining Channels)
14:            ActiveScan(Activated Channels)
15:            RETURN
16:          end if
17:        end if
18:      end if
19:    end while
20:    number of scanned channel ++
21:    do ChannelShift()
22:  end while
23:  do ActiveScan(Activated Channels)
24: end procedure
    
```

을 의사코드로 표현한 것이다. 이 알고리즘에서는 기존 한 채널당 한 번에 일괄 진행되던 MP를 확인하는 수동 탐색과 실질적인 능동 탐색의 구동을 분리한다. 일차적으로 모든 채널에서 수동 탐색을 통하여 MP가 검출되는 채널과 그 수를 파악한다. 만약 MP가 검출되는 채널의 수가 앞선 실험의 평균으로 얻은 전력적 이득의 한계점인 7채널을 넘어서면, 그 순간 수동 탐색을 종료하고 기존에 검출된 채널들과 그 이후의 모든 채널에서 능동 탐색을 수행한다. 한계점을 넘어가지 않는다면 MP가 검출된 채널에서만 능동 탐색을 수행한다. 이 방식은 기본 개념과 종래 능동 탐색간의 시간차이가 감소하고 활성채널의 수가 많을 경우에도 전력소모량의 증가정도를 줄일 수 있다는 장점이 있다. *PassiveScan* 함수는 입력한 채널에서 수동 탐색을 수행하고 *ChCheck* 함수는 해당 패킷의 채널정보를 검출한다. *ActiveScan* 함수는 입력한 채널에서 능동 탐색을 수행하도록 한다. 다음으로, 기본 개념에서 제시한 수식들을 새로이 제시한 알고리즘에 맞게 수정하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{MP2ScanTime} = & \\
 & (\text{MPRxTime} + \text{MPRD} + \text{MPMxCT}) * N + \text{MPCT} * \\
 & (13 - N), \quad (N \leq 7) \\
 & (\text{MPRxT} + \text{MPRD}) * 8 + \text{MPCT} * (\text{SN} - 8) + \text{MPMxCT} * \\
 & (8 + 13 - \text{SN}) \quad (N > 7)
 \end{aligned} \tag{5}$$

여기서 SN은 사전 수동 탐색을 수행한 채널의 수를 뜻한다. 기본 개념에서 기존에 비해 소모 전력에서 장점을 가지던 구간에서의 수식은 변화가 없으나 나머지 구간의 식이 MP가 8개 검출되는 순간부터는 추

후의 수동 탐색을 진행하지 않고 바로 능동 탐색으로 넘어가기 때문에 변화되었다. 그리고 다음은 새로운 알고리즘의 전력사용의 수식이다.

$$\begin{aligned}
 \text{MP2ScanEnergy} = & \\
 & (\text{MPRxT} + \text{MPMxCT}) * \text{LtnE} + (\text{NofPRp} + 1) * \text{RxEx} + \\
 & \text{PRqTxEx} * N + \text{MPCT} * \text{LtnE} * (13 - N), \quad (N \leq 7) \\
 & (\text{MPRD} * \text{LtnE} + \text{RxEx}) * 8 + \text{MPCT} * \text{LtnE} * (\text{SN} - 8) + \\
 & (\text{MPMxCT} * \text{LtnE} + \text{PRqTxEx}) * (8 + 13 - \text{SN}) + \text{RxEx} * N \\
 & (N > 7)
 \end{aligned} \tag{6}$$

이 수식 역시 활성채널이 7개가 넘는 구간에서 변화되었다. 이들 최종 제시된 알고리즘의 수식들이 기존의 능동 탐색방식 및 기본 개념과 비교하여 어떤 특성을 갖는지 시뮬레이션 환경에서 확인하여 본 결과를 정리하였다.

그림 5와 그림 6은 앞서 수행하였던 시뮬레이션에 최종 제시된 알고리즘을 추가한 것이다. 마찬가지로 시뮬레이션을 5000번 수행하여 그 평균값과 표준편차를 그래프로 표현하였다. 그림 5에서, 최종 제시된 알고리즘의 데이터 수신총량은 기본 개념과 겹쳐 보일 정도이지만 분명히 더 좋은 결과를 보여주었다. 능동 탐색보다는 여전히 적지만 그 차이는 1%안쪽으로 무시할 수 있을 정도이다. 그림 6에서는 활성채널 수의 증가에 따른 각 탐색 방식의 전력소모량을 보여준다. 대개 최종 제시된 알고리즘이 기본 개념에 비해 좋은 전력소모량을 보여주는데, 활성채널의 수가 8개와 9개일 경우에만 다른 방식에 비해 큰 소모량을 볼 수 있다. 이는 8개채의 MP를 검출할 때까지 채널들을 탐색하는데, 활성채널의 수가 많을수록 8번째 MP가 빠르게 검출될 수 있다는 점 때문으로 보인다. 즉, 8번째 MP를 찾는데 걸리는 시간이 확률적으로 가장 길기

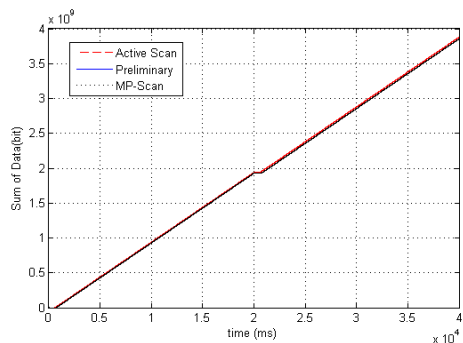


그림 5. 개선된 수신 데이터량의 시뮬레이션
Fig. 5. Simulation of advanced throughput model

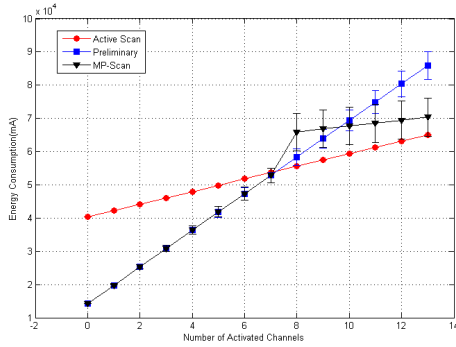


그림 6. 개선된 에너지 소비모델의 시뮬레이션
Fig. 6. Simulation of Advanced energy consumption model

때문으로 보인다.

앞서 언급한 대로 실제 무선 환경에서 모든 채널을 활용하는 경우는 거의 없다. 이 채널 활용 정도는 알고리즘의 활용 가능성에 직결된 문제이기 때문에, 통계자료와 그를 활용한 시뮬레이션을 통해서 이를 파악해보고자 한다. 표 2는 전 세계에서 수집된 무선 AP의 채널 활용정보를 담고 있다. 채널 겹침 현상이 최소화되는 1, 6, 11 번 채널에 전체의 3/4가 밀집되어 있고 나머지 채널은 그 활용도가 크게 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 그리고 표 3은 국내에서 수행된 탐색 시마다의 AP수 측정 연구의 결과이다. 채널 분포도와 탐색 AP결과를 조합하여 검출되는 AP의 수에 따른 평균 채널의 수와 그에 따른 전력소모 정도를 시뮬레이션 하였다. 표 2와 같은 확률 분포를 갖는 모델을

표 2. 세계 AP의 채널활용 정보^[10]
Table 2. Channel utilization information of APs over the world

Channel Number	Total	Percentage
1	29,497,631	24.95942879
2	3,828,040	3.239097125
3	3,319,826	2.809071706
4	2,818,100	2.384536109
5	2,302,180	1.947990256
6	33,774,244	28.57808608
7	2,998,301	2.537013236
8	2,242,145	1.897191624
9	3,927,032	3.322859234
10	3,539,760	2.995168922
11	27,802,826	23.52536906
12	534,651	0.452395094
13	1,597,580	1.351792767

표 3. 서울 두 지역의 평균 AP탐색 결과^[11]
Table 3. Average AP scan result of two regions in Seoul

Region	Scan Result(APs/Scan)
Whole Gang-Nam	20
Business District (Gang-Nam)	30
Down Town (Gang-Nam)	15
High Layer Apartment (Byul-Yang)	20
Low Layer Apartment (Byul-Yang)	10
Common Residence (Byul-Yang)	3
Down Town (Byul-Yang)	8

표 3에 실측된 AP수에 적용하는 시뮬레이션을 5만회 반복했고 그 결과를 전력량 수식에 대입했다. 채널의 수는 정수로 떨어져야 하기 때문에 소수점 이하를 버린 값을 사용했고, 같은 수의 채널을 활용한 Active Scan모델 대비 얼마나 많은 정도의 에너지를 사용했는지 확인해 보았다. 이들 결과는 표 4에 정리되어 있다. 그 결과를 살펴보면, 국내에서 사람이 가장 많다고 할 수 있는 강남 업무지구에서만 에너지 소비에서 이득을 보지 못했고 그 외의 지역에서는 작게는 10프로, 크게는 50프로가 넘는 전력소모량 감소를 보여주었다. 이와 같은 채널수의 분포와 전력소모에 대한 결과를 볼 때, 극단적으로 AP의 수가 많은 경우가 아니

표 4. 채널 수 및 에너지 소비의 시뮬레이션 결과
Table 4. Simulation Result of the number of channels and energy consumption

Region	Scan Result (APs/Scan)	Number of Average Channel	Standard Deviation	Energy Consumption Percentage
Whole Gang-Nam	20	6.611	1.3469	83.4002
Business District (Gang-Nam)	30	7.8406	1.394	89.62
Down Town (Gang-Nam)	15	5.8553	1.2596	75.3074
High Layer Apartment (Byul-Yang)	20	6.611	1.3469	83.4002
Low Layer Apartment (Byul-Yang)	10	4.8835	1.1074	67.2668
Common Residence (Byul-Yang)	3	2.4387	0.5924	45.9121
Down Town (Byul-Yang)	8	4.3886	1.0211	67.2668

라면 본 알고리즘을 사용하는 것이 전력적으로 이득이 된다고 판단할 수 있다. 하지만 극단적인 경우에도 불이익을 보는 경우가 없을 수 있도록, 알고리즘의 효용가치를 극대화 할 수 있는 환경(지방이나 개발도상국과 같은 무선 인프라가 부족한 지역이나 호텔과 같이 건물 전체가 중앙의 통제를 받는 장소)에서 적극 도입하거나, 무선 환경의 판별 및 추정을 통하여 종래 탐색방식과의 선택적 적용을 하는 방안이 추후 필요할 것으로 보인다.

V. 결 론

본 논문에서는 Measurement Pilot을 활용한 네트워크 탐색의 개념을 제안하고, 이를 시뮬레이션 환경에서 기존 능동 탐색 방식과 비교 분석하였다. 그 결과 전체적으로 탐색에 걸리는 시간은 미세하게 증가하였지만 실질적인 영향을 미치지 않았고, 활성화된 채널이 적은 환경에서 소모되는 전력량이 감소함을 볼 수 있었다. 그리고 이 개념을 개선한 스캐닝 알고리즘을 통하여 활성화채널의 수가 많은 경우에도 그 전력소모 차이를 줄여 그 효율을 높였다. 또한 통계자료를 통해 알고리즘 적용의 타당성에 대하여 논하였다. 향후에는 실제 무선 환경에서 이 알고리즘을 테스트해보고, AP가 MP를 사용하지 않는 경우에도 해당 알고리즘을 활용할 수 있도록 하는 연구를 수행하고자 한다. 그리고 다중 채널과 다중 전송률^[12]을 가지는 환경을 고려한 알고리즘의 세부설정이 필요하리라 보인다. 또한 앞서 논한 실제적으로 이득이 될 수 있는 환경을 판별하는 방식을 통해 알고리즘의 효용가치를 극대화 하는 연구를 수행해보고자 한다.

References

[1] S. Sangho, et al.: "Seamless layer-2 handoff using two radios in IEEE 802.11 wireless networks," (2006), Retrieved May, 04, 2014, from <http://www.cs.columbia.edu/~ss2020/papers/dualcards.pdf>

[2] "IEEE std.802.11k-2008 part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications. amendment 1: Radio resource measurement of wireless LANs," June 2008.

[3] K. Yunoki, "doc. :IEEE 11-12/0277r2, Hybrid Scanning"(March 2012.), Retrieved May, 04,

2014, from <https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/12/11-12-0277-02-00ai-hybrid-scanning.pptx>

[4] J. Ok, et al., "AuthScan: Enabling fast handoff across already deployed IEEE 802.11 wireless networks," in *Proc. IEEE PIMRC*, pp. 1-5, Cannes, Sept. 2008.

[5] Prof. Dr.-Ing. A. Wolisz, "Measurement and simulation of the energy consumption of an WLAN Inter-face," (Jun. 2012.), Retrieved May, 04, 2014, from https://www.alexandria.unisg.ch/export/DL/Stephan_Aier/204663.pdf

[6] D. Kang, et al., "An efficient scanning group and order decision method using neighbor network information in wireless lan," *J. KICS*, vol. 35, no. 2, pp. 142-152, Feb. 2010.

[7] Z. Chang, et al., "Enhanced channel scanning schemes for next generation WLAN system," in *Proc. IEEE ICC*, pp. 676-681, Beijing, Aug. 2012.

[8] S. Jeong, et al., "Measurement-based channel hopping scheme against jamming attacks in IEEE 802.11 wireless networks," *J. KICS*, vol. 37, no. 4, pp. 205-213, Apr. 2012.

[9] K. Kwon, et al.: "A fast handoff algorithm for IEEE 802.11 WLANs using dynamic scanning Time," *J. KICS*, vol. 29, no. 2A, pp. 128-139, Feb. 2004

[10] Retrieved May, 08, 2014, from <https://wgle.net/gps/gps/main/ssidstats?octet=1>

[11] I. Hong, "Spatial distribution and utilization feature of WiFi," *J. Korea Cartographic Assoc.*, vol. 10, no. 1, pp. 55-64, Jun. 2010.

[12] S.-H. Kim, et al., "Channel heterogeneity aware channel assignment for IEEE 802.11 multi-radio multi-rate wireless networks," *J. KICS*, vol. 36, no. 11, pp. 870-877, Nov. 2011.

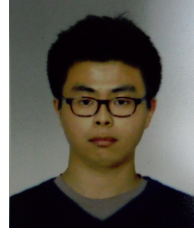
[13] X. Lei, et al., "Enhancing IEEE 802.11 power saving mechanism (PSM) with a time slotted scheme," *J. KICS*, vol. 38, no. 8, pp. 679-686, Aug. 2013.

이 형 규 (Hyung Kyu Lee)



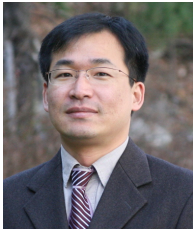
2013년 8월 : 고려대학교 전기
전자전파공학부 학부 졸업
2013년 9월~현재 : 고려대학교 전
기전자공학과 석박사통합과정
<관심분야> 전자공학, 통신공
학, WiFi

김 현 순 (Hyunsoon Kim)



2010년 6월 : University of Illinois,
Urbana-Champaign Computer
Science 학부 졸업
2010년 9월~현재 : 고려대학교 전
기전자공학과 석박사통합과정
<관심분야> 컴퓨터공학, 통신
공학

김 황 남 (Hwangnam Kim)



2004년 6월 : University of Illinois,
Urbana-Champaign Computer
Science Ph.D. 졸업
2006년 9월~현재 : 고려대학교 전
기전자공학과 교수
<관심분야> WiFi, IoT, Cyber
Physical Convergence