

지하철 구간에서 이용객 증가에 따른 Wi-Fi 접속 지연 특성

고승천¹, 최규형^{2*}

¹서울과학기술대학교 철도시스템학과, ²서울과학기술대학교 철도전기신호공학과

Access Delay Characteristics of Wi-Fi Network According to User Increase in Subway Section

Seoung-chon Koh¹, Kyu-Hyoung Choi^{2*}

¹Department of Railway System,

²Department of Railway Electrical/Signaling Engineering
Seoul National University of Science and Technology

요약 지하철에서는 주로 LTE와 Wi-Fi를 통하여 급증하는 무선데이터서비스를 제공하고 있다. 승객의 이동에 따라 이용객 수가 급변하는 특성을 가지고 있으며, LTE는 사용자가 증가해도 안정적인 서비스 제공이 가능한 반면에 Wi-Fi는 이용객이 증가하면 접속시간이 증가하는 등 성능이 크게 저하되는 현상이 발생한다. 본 논문에서는 Wi-Fi 전송망에 대한 수학적 모델링 및 시뮬레이션을 통하여 이용객 증가에 따른 접속지연 증가 특성을 분석하였으며, 영업운영 중인 지하철 10개 역 구간에서 Wi-Fi 망에의 접속지연 및 손실률을 측정하여 비교하였다. 측정 및 분석 결과는 지하철에서의 LTE와 Wi-Fi 간 데이터 오프로딩 구성에 필요한 접속방법 및 향후 LTE-R 도입시 효율적인 망 구성에 적용할 수 있다.

Abstract LTE and Wi-Fi networks provide wireless communication services to passengers in subway where the number of network access fluctuates according to passenger movement. While the number of network access increase, LTE can provide stable communication service but Wi-Fi suffers temporal access delay to network. This paper analyzes the increase in access delay of Wi-Fi network according to increasing user in subway section by making mathematical modeling of Wi-Fi network and simulation study. The access delay characteristics of Wi-Fi network is measured along an subway line and the results are compared to the theoretical study. These results can be applied to the connection method to build an efficient network structure between LTE and Wi-Fi interworking network and the future introduction of LTE-R.

Key Words : Subway, Wi-Fi, LTE, Offloading, Access Delay

1. 서론

지하철 구간에는 승강장에서 대합실에 이르기까지 대부분의 장소에 이용객들에게 무선통신 서비스를 제공하기 위한 다양한 통신망이 설치되어 있다. 서울지역 지하철의 경우 기간통신사업자들의 LTE (Long Term Evolution) 망과 Wi-Fi망, Wibro (Wireless broadband)망이 설치되어 이용객들에게 무선서비스를 제공하고 있다. 또한 LTE 기술을 철도 운영에 적용한 LTE-R (Railway)의 도

입이 추진되고 있다[1,2]. LTE망의 경우 넓은 지역에 걸쳐 일정한 수준의 안정적인 서비스 제공이 가능하고, Wi-Fi망의 경우 좁은 지역에서 경제적인 광대역 서비스를 제공할 수 있는 장점이 있어 지속적인 확산이 예상된다. 즉, LTE 기술은 일정수준 이상의 QoS (Quality of Service)와 보안이 요구되는 서비스에서 지하철 운영 및 일반 가입자 대상 서비스를 제공하고, Wi-Fi 기술은 저비용의 광대역 서비스에 적합하게 확산될 것으로 예상된다. 반면, Wibro망은 LTE망과의 표준화 경쟁에서 주도

*Corresponding Author : Kyu-Hyoung Choi(Seoul National Univ. of Science and Technology)

Tel: +82-10-9137-7679 email: cohen@naver.com

Received March 29, 2015

Revised (1st April 23, 2015, 2nd May 6, 2015)

Accepted May 7, 2015

Published May 31, 2015

권을 상실하여 내용연한 도래 시까지만 사용되다 LTE 망으로 흡수될 것으로 예상된다.

최근 스마트폰을 비롯한 휴대기기의 급증으로 인해 트래픽이 폭발적으로 증가하고 있으며, 이에 따라 LTE 망에서 증가한 무선 트래픽을 효율적으로 처리하기 위해 비허가 대역인 Wi-Fi망을 활용한 데이터 오프로딩(offloading)에 대한 표준화 연구가 3GPP (The 3rd Generation Partnership Program)와 제조사를 중심으로 활발하게 진행되고 있다[3]. 일반적으로 오프로딩 시 Wi-Fi는 LTE에 비해 상대적으로 보안이 취약하고 안정적인 QoS를 보장하지 않는 문제를 가지고 있다. 특히 사용자가 갑자기 증가하는 상황에서는 정상적인 망 접속 기능을 수행하지 못하는 상황이 발생할 수 있다. 오프로딩을 통해 경제성과 효율성을 확보하기 위해서는 사용자 증가에 따른 Wi-Fi망의 성능을 사전에 예측하여 적절하게 부하분산(Load Balancing)을 할 필요가 있다.

본 논문에서는 지하철 구간에서 사용자의 증가로 인한 Wi-Fi 망 접속지연이 QoS에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 사용자 증가에 따른 Wi-Fi 데이터의 충돌 확률과 망 접속 지연을 수학적으로 모델링하여 평균 접속 지연을 유도한다[5]. CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/ Collision Avoidance)방식에서의 재전송에 대한 연구에서 Wu 등[6]은 재전송 회수 제한을 고려하였고, Bianchi[7]는 2차원 마르코프 체인을 사용하였으며, Kwak[8] 등은 1차원 마르코프 체인에 근거한 간단한 분석 방법을 사용하였다. 또한 Kumar[9] 등은 renewal theory 접근 방식에 의한 분석을 하였다. 본 논문에서는 Sakurai[10]가 제안한 모델을 근거로 Wi-Fi 망 진입에 소요되는 지연을 모델링하였으며, 이를 실제 지하철의 무선통신 환경에서의 측정치와 비교분석하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 지하철 구간의 무선통신망에 대해 살펴보고, LTE와 Wi-Fi간의 오프로딩 및 Wi-Fi망에서 접속지연에 미치는 영향이 큰 Random Backoff에 대해 설명한다. 3장에서는 망 접속 지연 성능을 분석하기 위한 Wi-Fi 접속 지연을 수학적으로 모델링하고 시뮬레이션을 수행하였다. 4장에서는 실제 지하철 구간의 무선데이터통신 성능을 측정하고 3장의 결과와 비교분석하였다. 5장에서는 결과를 고찰하고 추가 연구방향을 제시한다.

2. 지하철 무선통신망 구성

지하철 구간에서 서비스되는 무선통신망들의 구성을 Fig. 1에 보인다. 지하철 역사내 통신실에는 기지국들이 설치되어 있으며, 광분산중계장치(Optical Repeater) 및 중계기(Repeater)를 통해 대합실, 승강장, 터널 구간에 무선통신 서비스를 제공한다. 차량에 탑승하여 이동 중에도 무선랜 서비스 제공을 위해 객실 내부에 기간통신 사업자의 Wi-Fi AP가 설치되어 있으며, 이를 통해 대부분의 지하철 구간에서 무선랜 서비스 제공이 가능하다. 현재는 객실 내부에 설치된 Wi-Fi망이 Wibro망을 거쳐 인터넷에 연결되는 구조로서 Wi-bro 기지국 대역폭인 25Mbps 이내에서 전송속도의 제한을 받는 구조이나 본 논문에서는 LTE와 Wi-Fi 간의 오프로딩 환경만을 고려하기로 한다.

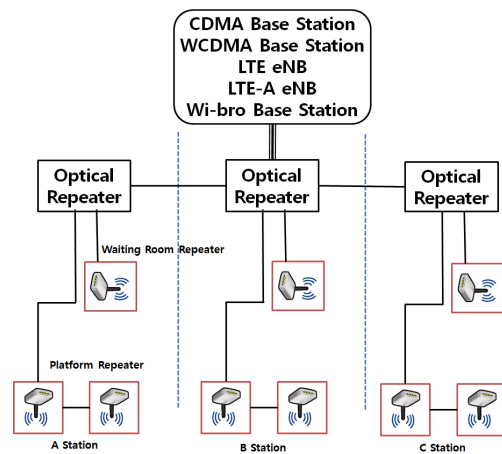


Fig. 1. Wireless communication networks for subway

Fig. 2는 사용자가 LTE와 Wi-Fi망을 사용하여 인터넷에 접속하는 구성을 보여준다. 사용자는 하나의 휴대장치로 LTE망 또는 Wi-Fi망을 통해 인터넷에 접속할 수 있고, DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)로부터 IP를 할당받아 AP를 거쳐 직접 인터넷에 접속하는 것도 가능하다. 논문에서는 LTE망과 Wi-Fi망 간의 오프로딩 시 Wi-Fi 망 접속 지연 영향에 대한 것으로 AP를 통한 인터넷 접속은 고려하지 않고 P-GW (Packet data network Gateway)를 통해 인터넷에 접속할 때 사용자 증가가 Wi-Fi망 접속지연에 미치는 영향을 중심으로 검토한다. 사용자는 Wi-Fi망에 접속 시 LTE망과 마찬가지로 P-GW를 통해 고유의 IP를 할당 받아 인터넷에 접속

한다. 이때 접속된 망은 보안수준에 따라 Trust 또는 Untrust 망 접속으로 분류되며, 지하철역이나 공공장소에 설치된 다수의 Wi-Fi망은 보안수준이 낮은 Untrust망 접속인 경우가 많다. UE와 eNB간 통신이 표준화된 보안절차에 따라 무선구간 보안이 이뤄지는 반면 3GPP에서는 STA와 AP간에는 무선구간 보안이 안되어 있다고 가정하며, Wi-Fi망의 STA에서 ePDG (enhanced Packet Data Gateway) 구간은 IPsec 보안을 제공할 수 있다.

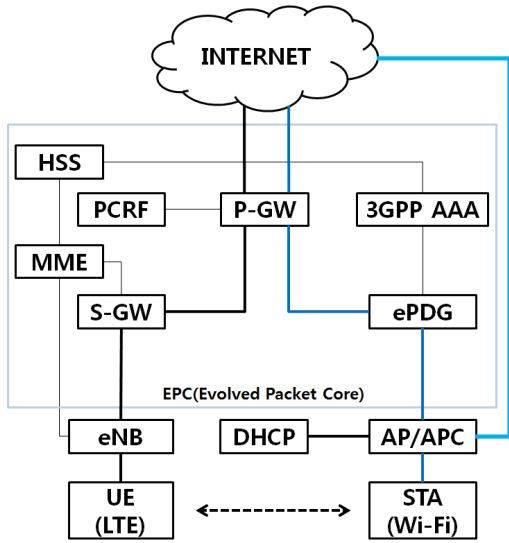


Fig. 2. LTE and Wi-Fi Interworking

Wi-Fi망에서 사용자 단말 STA는 CSMA/CA 프로토콜을 사용해 데이터를 전송한다. STA가 데이터를 전송하기 위해서는 무선 매체를 센싱하여 무선매체가 사용 중인지 여부를 판단하고 사용 중이 아닐 경우 DIFS(Distributed Inter-frame Spacing) 시간 동안 대기 후 데이터를 전송한다. 만약 다른 STA가 매체를 사용 중이라면 DIFS 시간 후에 임의의 Random Backoff라는 지연을 한 후 다른 STA의 데이터 전송이 없는 경우에 데이터를 전송한다. Random Backoff에 사용하는 경쟁 윈도우(Contention Window: CW)는 초기 CW_{min} 값을 가지고 매 충돌 시마다 2배로 증가하여 최대 CW_{max}까지 증가시킨다. STA는 매체를 점유하여 데이터를 전송할 수 있을 때까지 최대 재전송 회수 K까지 CW_{max}를 사용할 수 있다. 이처럼 STA들은 경쟁을 통해 데이터 전송을 위한 매체점유를 획득하는 분산 경쟁 방식인 DCF (Distributed Coordination Function)를 사용한다.

DCF를 수행할 때 문제점은 사용자가 증가할수록 매체 접근제어(Medium Access Control, MAC) 지연이 증가하는 것이다[4]. 따라서 전동차가 역사에 도착하거나 출, 퇴근 시간의 승객이 혼잡한 상황에서 동시에 여러 사용자가 무선접속을 시도하는 환경에서는 Wi-Fi망으로의 데이터 패킷 송수신에 지연이 증가하고 망 진입 절차도 수행할 수 없게 되어 많은 사용자가 Wi-Fi망을 사용할 수 없는 상황이 발생할 수 있다.

3. Wi-Fi 접속지연 모델링

3.1 수학적 모델링

무선네트워크에서 전송한 패킷이 충돌할 확률은 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있다[7].

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \tag{1}$$

여기서, τ 는 전송을 시도할 확률이다.

충돌이 발생하여 데이터를 재전송할 경우 Random Backoff 방식에 의해 소요되는 시간은 다음 식(2)와 같이 확률변수로 나타낼 수 있다.

$$U^{(i)} = \begin{cases} u(0, \lambda^i W - 1), & i = 0, \dots, m-1, \\ u(0, \lambda^m W - 1), & i = m, \dots, K-1, \end{cases} \tag{2}$$

여기서, u 는 uniform 분포를 의미하며, K는 최대 재전송회수이다.

평균 Back-off 시간은 uniform 분포의 평균치로부터 다음 식(3)과 같이 구해진다.

$$E[U^{(i)}] = \begin{cases} (\lambda^i W - 1)/2, & i = 0, \dots, m-1, \\ (\lambda^m W - 1)/2, & i = m, \dots, K-1, \end{cases} \tag{3}$$

식(3)으로부터 전송을 시도할 확률 τ 은 다음 식(4)와 같이 유도된다[8].

$$\frac{1}{\tau} = \sum_{i=0}^K \pi_i E[U^{(i)}] = \frac{(1-p)W(1-(\lambda p)^m)}{2(1-p^K)(1-\lambda p)} + \frac{\lambda^m W(p^m - p^K)}{2(1-p^K)} - \frac{1}{2} \tag{4}$$

여기서, π_i 는 정상적인 상태에서 i 번째 Backoff 상태에 들어갈 상대 빈도수로서 다음 식(5)와 같이 구해진다.

$$\pi_i = (1-p)p^i(1-p^K)^{-1} \quad (5)$$

식(1)과 식(4)로부터 패킷의 충돌확률 p 를 구할 수 있다. 데이터 전송을 위한 매체접유를 경쟁하는 방식인 DCF 환경에서 MAC메시지 1개를 전송하는데 걸리는 시간을 확률변수로 나타낼 수 있다. 이 확률변수를 D 라 할 때, 이는 CSMA/CA의 경쟁을 통해 채널을 확보하기 위해 걸린 시간과 패킷 전송에 걸리는 시간을 더한 시간이 된다. 채널을 확보하기 위해 걸린 시간은 DIFS 시간과 random backoff 시간을 더한 시간이고, 패킷 전송에 걸린 시간은 Wi-Fi망의 전송률과 전송하는 제어메시지의 길이에 따라 결정된다. 또한, 확률변수 D 는 충돌에 의한 전송실패에 소요되는 시간과 backoff에 소요되는 시간 그리고 다른 단말들이 경쟁에 성공했을 때 다른 단말들의 패킷 전송에 걸리는 시간을 더한 시간에 의해 결정된다. D 는 주로 경쟁에서 실패하여 재전송을 시도한 회수에 의존적이 되며, 전송이 성공할 때까지 i 번 재전송을 시도한 것은 전체 전송할 수 있는 회수가 K 회로 제한되어 있으므로 이에 대한 조건부 분포가 되어 truncated geometric 분포를 따르게 된다. 따라서, i 번 재전송할 확률 r 은 식(1)의 충돌확률을 이용하면 다음 식(6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$r = \frac{p^i(1-p)}{(1-p^K)} \quad (6)$$

MAC 메시지 전송 지연 D 는 충돌이 발생하는 다음 식(7)과 같은 하위 상태들로 나눌 수 있다.

$$D = t_{DIFS} + D^{(i)} + t_{DATA}, \quad i \leq i \leq K-1 \quad (7)$$

여기서, $D^{(i)}$ 는 i 번째 시도까지 걸린 시간을 나타내는 확률변수로서 다음 식(8)과 같다.

$$D^{(i)} = \sum_{j=0}^i B^{(j)} + i \times (t_{DATA} + t_{SIFS} + t_{ACK} + t_{DIFS}) \quad (8)$$

여기서, $B_i^{(j)}$ 는 backoff에 소요된 시간으로서 다음 식(9)와 같이 표현할 수 있다.

$$B^{(j)} = U^{(j)} \times (t_{slot} + t_{DATA} + t_{SIFS} + t_{ACK} + t_{DIFS}) \quad (9)$$

이상으로부터 MAC 메시지 전송지연의 평균값은 다음 식(10)과 같이 구할 수 있으며, 사용자 증가에 따른 충돌확률 및 MAC 접속지연 분석에 사용할 수 있다.

$$\begin{aligned} E(D) &= r \sum_{i=0}^{K-1} P^i E[D^{(i)}] = \frac{p^i(1-p)}{(1-p^K)} \sum_{i=0}^{K-1} p^i E[D^{(i)}] \\ &= \frac{(1-p)}{(1-p^K)} \sum_{i=0}^{K-1} p^i \left\{ (t_{slot} + p \cdot t_{TX}) \sum_{j=0}^i E[U^{(j)}] + t \cdot t_{TX} \right\} \\ &\quad + (t_{DATA} + t_{DIFS}) \end{aligned} \quad (10)$$

여기서, $t_{TX} = t_{DATA} + t_{SIFS} + t_{ACK} + t_{DIFS}$ 이다.

3.2 시뮬레이션

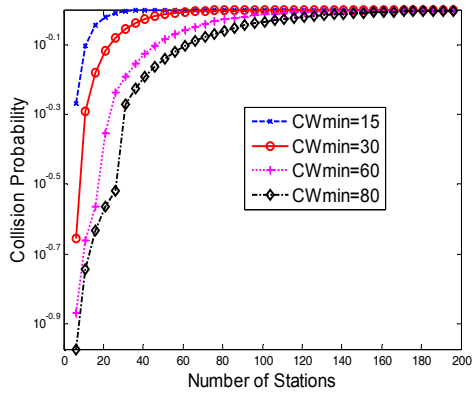
수학적 모델링 결과를 이용하여 충돌확률과 MAC 접속지연을 실험하기 위해서 가장 널리 설치되어 운용중인 IEEE 802.11n 5GHz 기반의 파라미터들을 적용하여 분석하였다. Table 1은 성능 분석에 사용한 파라미터들을 정리해 놓은 것이다.

Table 1. Wi-Fi Parameters used in simulation

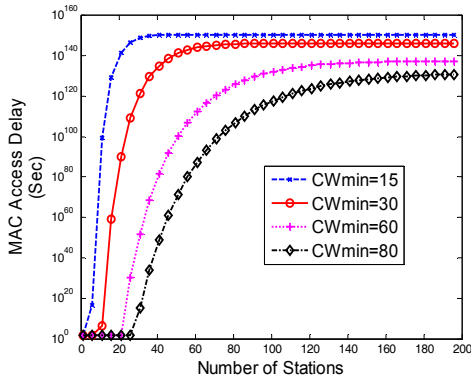
Parameter	Value
Slot time	9 μS
DIFS	34 μS
SIFS	16 μS
Backoff Time	CW X Slot time
CWmin	15
CWmax	1023
Data Rate (MCS 0: BPSK, 1/2)	6.5Mbps
Management Frame MAC overhead (MAC header + FCS)	224 bits
ACK packet	112 bits
Preamble Length (SISO case) (Short Training Field + Long Training Field1 + SIG(signal) + Long Training Field2 + Serfice field)	289 μS + 16bits
Doubling limit (m)	498
Maximum Retry limit (K)	m+10

시뮬레이션 결과를 Fig. 3 에 보인다. 사용자 단말 개수가 증가함에 따라 전송한 패킷의 충돌 확률과 그에 따른 MAC 접속 지연 시간도 증가하는 것을 알 수 있다. 이러한 현상은 경쟁윈도우(CW)의 초기값인 CWmin을 변경하면 다소 완화시킬 수 있다. 표준에서 정의한

CWmin은 15이나, 사용자가 많아지는 환경에서는 이를 크게 증가시키면 모든 단말이 Backoff 초기에 대기하는 시간을 길게 함으로써 시도하는 단말의 개수가 줄게 되어 충돌 확률을 감소시킬 수 있다. 이렇게 CWmin값을 변경하는 것도 혼잡상황에서 망 진입 지연을 줄일 수 있는 한 방법으로 사용할 수 있으나, 이는 표준에서 정한 기본적인 CWmin값을 변경해야 하는 단점이 있어 실제 적용에 어려움이 있다.



(a)



(b)

Fig. 3. Collision probability and MAC access delay with various CWmin values
 (a) Collision probability
 (b) MAC access delay

4. 지하철 구간의 통신성능 측정

실제 지하철 운행구간에서 전동차에 탑승 후 측정 틀을 사용하여 LTE 및 Wi-Fi의 성능을 측정하고 역사내 승강장과 대합실에서 접속지연 시간을 측정하여 사용자

수 변화에 따른 성능변화를 분석하였다.

지하철 구간의 성능 분석을 위한 측정은 서울 지하철 5호선 여의도역(526)에서 을지로5가역(535)까지 10개 정거장 구간에서 이뤄졌다. 또한, 여의도역 승강장과 대합실에서 전동차에서 승객들이 내릴 때와 평상시를 기준으로 AP의 신호세기를 측정하고 Wi-Fi 망 성능에 미치는 영향을 분석하였다.

Table 2는 측정 틀을 이용하여 LTE와 Wi-Fi 서비스 속도를 수 차례에 걸쳐 반복 측정한 평균치이다. LTE의 경우 Wi-Fi에 비해 4배 가량 뛰어난 성능을 나타냈으나 Wi-Fi의 경우 Wibro 기지국의 대역폭인 25Mbps에 훨씬 못 미치는 성능을 나타냈다. 지하철 구간이 아닌 일반적인 환경, 즉 AP가 Wibro 망이 아닌 LTE망에 직접 접속하는 경우라면 Wi-Fi망의 성능이 측정치 보다 나올 것으로 예상된다. 또한, Wi-Fi 망의 경우 이동하는 과정 중 핸드오버 실패로 보이는 호 단절현상이 발생하였으며 이용자가 많은 역사에서는 LTE와 Wi-Fi 모두 전체적인 성능저하가 발생하였다. 즉, LTE와 Wi-Fi망의 성능은 지하철의 혼잡도와 밀접한 관계가 있으며 혼잡도가 높아질수록 성능이 저하되는 것으로 나타났다. 특히 Wi-Fi의 경우 데이터를 송수신하지 않더라도 새로운 AP에 자동으로 망 접속절차를 수행하게 되어 더 큰 폭의 성능저하가 발생하는 것으로 나타났다.

Table 2. Measurement of LTE and Wi-Fi network performance in train (Mbps)

	LTE DL	LTE UL	Wi-Fi DL	Wi-Fi UL
526	50.4	16.7	11.4	3.8
tunnel	42.5	16.9	11.1	3.4
527	56.4	17.2	12.1	3.5
tunnel	49.1	16.0	11.1	3.0
528	51.6	16.8	13.0	4.1
tunnel	45.6	16.0	11.5	3.5
529	47.2	16.1	11.0	2.9
tunnel	43.5	15.9	10.6	2.4
530	52.4	16.7	11.2	3.6
tunnel	47.8	13.4	10.2	2.8
531	46.4	13.9	9.4	3.1
터널	43.2	13.9	9.8	2.1
532	50.1	14.5	10.1	3.4
tunnel	47.4	14.0	10.0	2.7
533	52.3	14.1	10.8	2.4
tunnel	47.5	10.9	10.5	2.1
534	37.8	11.2	8.1	1.4
tunnel	31.1	9.2	8.7	0.9
535	34.1	10.5	8.5	1.3

Table 3. Measurement results of LTE performance in train

measurement list	value
Total measuring repetition	30 times
Net consumption of data	1112MB
Average speed of downloading data	38.5Mbps (4.82MB/s)
Average speed of uploading data	13.8Mbps (1.73MB/s)
Average access delay time	37.8ms
Average access delay time	0.00%
maximum speed of downloading data	56.8Mbps (7.32MB/s)
Minimum speed of downloading data	19.6Mbps (2.45MB/s)
maximum speed of uploading data	20.5Mbps (2.75MB/s)
Minimum speed of uploading data	9.16Mbps (1.14MB/s)
maximum access delay time	53.7ms
Minimum access delay time	33.0ms
maximum loss factor	0.00%
Minimum loss factor	0.00%

Table 4. Measurement results of Wi-Fi performance in train

lmeasurement list	value
Total measuring repetition	30 times
Net consumption of data	664MB
Average speed of downloading data	19.2Mbps (2.40MB/s)
Average speed of uploading data	16.2Mbps (2.03MB/s)
Average access delay time	56.9ms
Average loss factor	3.47%
maximum speed of downloading data	75.0Mbps (9.37MB/s)
Minimum speed of downloading data	0.06Mbps (0.01MB/s)
maximum speed of uploading data	60.0Mbps(7.50MB/s)
Minimum speed of uploading data	0.90Mbps (0.11MB/s)
maximum access delay time	690ms
Minimum access delay time	2.75ms
maximum loss factor	51.0%
Minimum loss factor	0.00%

Table 3와 Table 4는 LTE와 Wi-Fi망의 인터넷전송 성능을 반복 측정된 결과이다. LTE의 경우 Wi-Fi에 비해 전체적인 지연시간이 다소 짧게 측정되었으며, 지연 시간도 33ms ~ 54ms 사이에서 변화가 크지 않았고 패킷 손실도 발생하지 않았다. 반면, Wi-Fi의 경우 측정 장소 및 시간에 따라 지연시간이 2.75ms에서 690ms까지 변화가 크게 나타났으며, 지연시간이 길어질 경우 패킷 손실율이 50%를 넘어서 원활한 무선인터넷 사용이 어

려운 상황이 발생하였다. 또한, 데이터 전송속도는 전체적으로 선로구간에서는 LTE가 Wibro에 접속되는 Wi-Fi에 비해 4배 정도 나은 성능을 보였으나 Wibro를 거치지 않는 대합실 등에서 사용자의 증감이 크지 않을 경우에는 LTE와 Wi-Fi 모두 뛰어난 성능을 보였다. 이는 일반적인 무선인터넷 사용환경이 LTE의 경우 사용자가 증가하더라도 사용자에게 일정수준의 서비스를 제공하는 것이 가능한 반면, Wi-Fi의 경우 사용자가 급증할 경우 사용환경이 급격히 열화되어 정상적인 무선인터넷 사용이 어려워지는 것을 의미한다.

Fig. 4는 승강장과 대합실에서 AP의 신호강도를 측정 한 예시이다. 사용자의 위치에 따라 신호강도의 변화가 크게 나타났으며, 이에 따라 무선데이터 송수신 성능에도 영향을 미치는 것으로 분석되었다. 이는 지하철 구간에 조밀하게 설치된 AP 간에 핸드오버가 원활하게 이뤄지지 않을 경우 효율적인 오프로딩을 수행하기 어려운 장애요소로 작용할 수 있음을 의미한다.

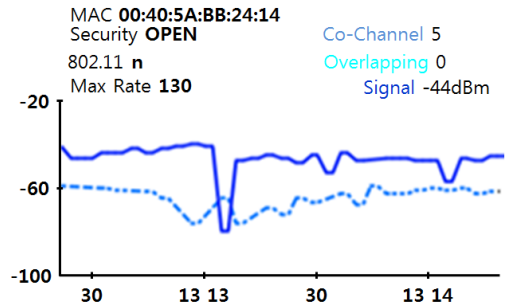


Fig. 4. Measurement of Wi-Fi AP signal strength at station

3장에서 수학적 모델링을 기반으로 한 시뮬레이션과 마찬가지로 실제 지하철 환경에서도 사용자가 급격히 증가할 경우 Wi-Fi 접속지연도 급격히 증가하여 정상적인 접속이 어려움을 알 수 있다.

5. 결론

지하철 구간에서 현재 서비스 중인 무선통신망을 분석하고 사용자 증가에 따른 망 접속 지연 영향을 분석하였다. 분석 결과 LTE와 Wi-Fi간 오프로딩을 통해 효율적인 무선데이터 통신환경을 제공하는 것이 현재의 구성에서는 제한이 따르는 것으로 나타났다. 이러한 결과는

지하철 구간에서 사용자 급증시 망 접속 지연시간이 증가하여 정상적인 Wi-Fi 접속이 어렵고 패킷 손실율이 급증하는 것이 주요 원인이며, 열차 이동 중에 핸드오버 실패가 발생할 수 있는 것도 원인이 되고 있다.

이상과 같은 문제를 해결하기 위해서는, 무선망에서의 접속을 분산시켜 충돌을 완화시키는 분산접속 프로토콜의 적용을 비롯하여, LTE 망의 부하를 Wi-Fi망에 적정하게 배분하는 방안 및 Wi-Fi망에서의 이동성을 보장할 수 있는 핸드오버 알고리즘 적용 등을 추가적으로 연구할 필요가 있다.

본 연구의 결과는 기간통신사업자들의 경제적인 망 구축 및 정부에서 도입을 추진하고 있는 LTE-R 구축 시에도 참고자료로 활용이 가능할 것이다. 정보통신정책연구원(KISDI)의 분석에 의하면 700Mhz 대역으로 국내 LTE-R 을 구축할 때, 센터만 이중화 할 경우 구축비가 5000억원에 이르고, 전체 망을 이중화 할 경우 구축비가 1조원을 넘어서는 것으로 분석하였다. 추가 연구를 통해 오프로딩을 활용하여 LTE-R과 상용 LTE를 연계한다면 투자비용을 절감할 수 있을 것으로 기대한다.

References

[1] Mandoc, D., "LTE/SAE-The Future Railway Mobile Radio System: Long-Term Vision on Railway Mobile Radio Technologies", Technical Report. UIC, November, 2009.

[2] Barbu, G., "E-Train, Broadband Communications With Moving Trains", Technical Report. UIC, June, 2010.

[3] GPP TR 37.834 (2013), "Technical Specification Group Radio Access Network; Study on Wireless Local Area Network (WLAN) - 3GPP radio interworking," V12.0.0, Dec. 2013

[4] T. Sakurai, and H. L. Vu (2007), "MAC Access Delay of IEEE 802.11 DCF," *Wireless Commun.*, vol. 6, pp. 1702 - 1710, 2007.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TWC.2007.360372>

[5] SC. Koh, KH. Choi, RY. Kim(2014), "A Distributed Wireless Local Area Network(WLAN) Access Scheme for Efficient WLAN Communication in Busy Train Stations," *Journal of the Korean Society for Railway*, 17(6), pp. 402 - 409
DOI: <http://dx.doi.org/10.7782/JKSR.2014.17.6.402>

[6] H. Wu, Y. Peng, K. Long, S. Cheng, and J. Ma (2002), "Performance of reliable transport protocol over IEEE

802.11 wireless LAN: analysis and enhancement," in *Proc. IEEE INFOCOM 2002*, pp. 599 - 607.

[7] G. Bianchi (2000), "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 18, pp. 535 - 547, 2000.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/49.840210>

[8] B.-J. Kwak, N.-O. Song, and L. E. Miller (2005), "Performance analysis of exponential backoff," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 13, pp. 343 - 355, 2005.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TNET.2005.845533>

[9] A. Kumar, E. Altman, D. Miorandi, and M. Goyal (2005), "New insights from a fixed point analysis of single cell IEEE 802.11 WLANs," in *Proc. IEEE INFOCOM 2005*, pp. 1550 - 1561.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/INFCOM.2005.1498438>

[10] T. Sakurai, and H. L. Vu (2007), "MAC access delay of IEEE 802.11 DCF," *Wireless Commun.*, vol. 6, pp. 1702-1710.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TWC.2007.360372>

고 승 천(Seoung-chon Koh)

[정회원]



- 2000년 2월 : 순천대학교 대학원 정보통신공학과 (공학석사)
- 2012년 8월 : 서울과학기술대 철도전문대학원 철도시스템학과 박사과정 수료
- 2005년 5월 ~ 현재 : (주)LG CNS 부장

<관심분야>

유무선 정보통신, 정보보안

최 규 형(Kyu-Hyoung Choi)

[정회원]



- 1989년 3월 : 무로란공업대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1992년 3월 : 호찌카이도대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1996년 8월 ~ 2005년 2월 : 한국철도기술연구원 수석연구원
- 2005년 3월 ~ 현재 : 서울과학기술대학교 철도전기신호공학과 교수

<관심분야>

철도정보통신, 철도신호제어