

## NS-2를 이용한 철도무선통신네트워크에서의 핸드오프 시뮬레이션

최규형, 이일호, 김종기  
 서울산업대학교, 서울산업대학교, 한국철도기술연구원

### NS-2 Simulation of Railway Tele-Communication Network

Choi, Kyu Hyung, Lee, Il Ho, Kim Jong Ki  
 Seoul National University of Technology, Seoul National University of Technology, Korea Railroad Research Institute

**Abstract** - 철도에 있어서 주행중인 열차와 지상간의 열차무선통신네트워크는 종래의 음성통화를 주축으로 하는 열차무선의 기능에 더하여, 차량상태 정보나 동영상 정보의 차량-지상간 양방향 전송을 비롯하여, 무선통신 기반 열차제어시스템 (CBTC : Communication Based Train Control System) 등에 확대 응용되면서 그 중요성은 점점 더 증가하고 있는 추세에 있다. 이에 따라, 향후 시스템의 발전에 따라 통화 채널의 증가, 데이터 통신 등을 가능하게 하는 새로운 시스템의 구축이 필요할 것으로 기대된다. 따라서 본 논문에서는 철도 연선에 있어서의 열차와 지상 무선통신기기간의 효과적인 핸드오프기법에 대하여 검토를 수행하였다.

#### 1. 서론

철도신호제어시스템에서는 열차간의 안전거리 확보를 통한 열차 충돌 방지 및 진로제어를 위해서, 주행 중인 열차와 지상신호 설비간의 열차운행정보 및 선로상황 정보의 교환이 필수적이다.

종래의 신호제어시스템에서는 주로 궤도회로 및 트랜스폰더를 이용하여 열차와 지상간의 데이터 정보를 교환하였으나, 통신용량이 작고 연속적인 정보교환이 어렵다는 단점이 있다. CBTC에서는 궤도회로에 의존하지 않고 지상신호설비와 열차간의 고주파 무선통신을 통하여 열차제어에 필요한 정보를 대용량으로 연속적으로 송수신하고 있다. 이때, 열차와 지상 간에 송수신되는 데이터는 열차위치 추정정보 및 선로 조건 데이터, 선형열차와의 간격 같은 열차운행정보 등으로써, 열차충돌과 같은 대형사고를 방지해야 하는 열차제어시스템의 역할을 고려할 때, 이상과 같은 데이터를 안정적으로 전송하기 위한 무선통신네트워크의 신뢰성이 무엇보다 중요하다.

특히 무선통신에서 발생하는 핸드오프는 데이터를 안정적으로 전송하기 위한 장애요소가 되는데, 이러한 요소를 해결하기 위해 최근 핸드오프 소요시간을 줄이려는 연구가 활발히 이루어지고 있다.

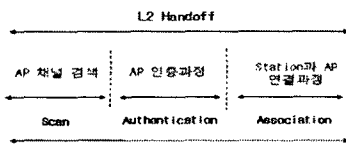
따라서 본 논문에서는 열차가 이동 중에도 열차제어에 필요한 정보를 끊임 없이 제공하기 위한 핸드오프 기법을 제안하고자 한다. 제안한 방식은 Old\_AP와 New\_AP간 전파중첩거리를 변화시켜 각 전파중첩거리 별로 패킷도달시간과 열차의 이동속도에 따른 L2 핸드오프 소요시간을 측정 후 가장 소요시간이 적은 전파중첩거리를 찾아 AP 배치를 최적화하고자 한다.

#### 2. 본론

##### 2.1 L2 핸드오프 과정

무선 랜은 유선망과는 달리 이동단말의 위치가 수시로 변하기 때문에 현재의 셀을 벗어나 다른 셀로 이동하는 이동단말은 통신 링크를 재설정하기 위해 새로운 AP를 결정해야 한다. 이러한 과정을 MAC 계층에서의 핸드오프 혹은 로밍이라고 한다. IEEE 802.11은 Seamless한 핸드오프를 위하여 스캐닝, 재결합과 같은 기법을 제공한다. 이동단말은 서비스 받고 있는 AP의 시그널 세기가 특정 값보다 낮아지면 새로운 AP를 탐색하고 가장 큰 시그널을 갖는 AP를 선택하는데 이러한 과정을 스캐닝이라 한다.

이와 같은 스캐닝 기법으로 AP가 결정되면, 재결합과정을 통하여 자신의 존재를 새로운 AP에게 알림으로 L2 핸드오프 과정이 마치게 된다. 그림 1에서와 같이 L2 핸드오프는 채널검색, 인증과정, 결합과정을 거치게 되는데 이때 핸드오프의 소요시간은 약 100 ~ 300ms 정도이며, 이동단말의 속도와 AP 위치에 따라 소요시간이 달라지기도 한다. 본 논문에서의 열차는 하나의 이동단말 시스템으로 본다.



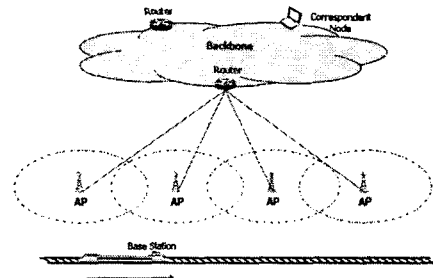
〈그림 1〉 L2 핸드오프 과정

##### 2.2 IEEE 802.11 무선랜 네트워크 구조 및 문제점

그림 2는 IEEE 802.11 무선랜 네트워크 구조로써 열차가 AP로부터 열차제어를 위한 정보를 송수신하기 위한 네트워크 구조이다.

각 AP들은 철도 선로 변을 따라 일정한 거리로 설치되며, 서로 중첩된

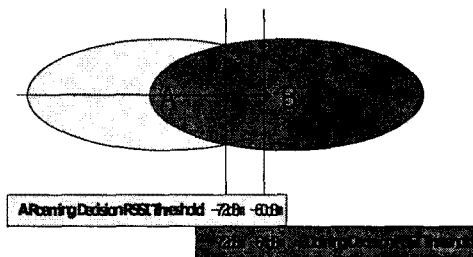
전파 커버리지를 갖도록 구성된다. 이와 같은 환경에서 열차가 일정한 속도로 이동하게 되면 열차는 Old\_AP와 New\_AP간의 L2 핸드오프가 발생하게 된다. 열차는 Old\_AP와의 연결이 끊어지면 New\_AP와 접속하기 위한 메시지 처리를 수행하게 되는데, 이때 AP와 열차간 접속하는데 소요되는 시간만큼 패킷 송수신이 끊어지는 문제가 발생되어 열차제어에 필요한 정보의 교환이 원활히 이루어지지 못하는 문제가 발생된다.



〈그림 2〉 무선 랜 네트워크 구조

##### 2.3 수신 전계강도 설정

본 논문에서는 열차가 이동하면서 선로변 시스템과 계속적인 L2 핸드오프가 가능하게 하기 위해 차량 시스템이 서로 다른 고유의 ID를 통해서 무선 채널을 가진 선로변 인접 Cell들로부터의 수신된 전계강도(RSS : Received Signal Strength)를 비교하여 수신전계강도가 우세한 Cell을 선택하도록 한다. 그림 3에서 Cell A의 차량 무선장치는 수신전계강도가 일정레벨(-72dBm) 이하로 떨어지면 일정레벨(-64dBm) 이상의 수신전계강도를 갖는 Cell B의 지상 무선장치로의 핸드오프를 시도하여 이동 중에도 끊임 없는 무선링크를 유지하도록 한다.

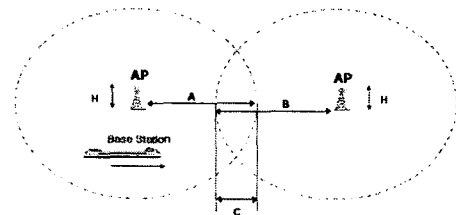


[Roaming Point]

〈그림 3〉 수신전계강도 비교에 의한 L2 핸드오프 방식

##### 2.4 성능평가 방법

제안한 방식은 NS-2 시뮬레이션을 사용하여 성능을 평가한다. 실험환경은 Redhat Linux9.0, Ns-allinone-2.28, 커널 2.4.20-8을 기반으로 실험하였고, 시뮬레이션 구조는 그림 4와 같다.



〈그림 4〉 시뮬레이션 구조

〈표 1〉 L2 핸드오프 파라미터

	Parameter
Bandwidth	11Mbps
Frequency	2.45GHz
Modulation Scheme	Direct Sequence Spread Spectrum
Packet size	100, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000Byte
Packet interval	50ms
Antenna(H)	Omniantenna
Base Station Speed	30 ~ 100km/h
AP 수신 전계강도	-72dBm
AP 전파 반경(A,B)	150m
전파 중첩거리(C)	10, 30, 50, 70, 100m
Wireless MAC	IEEE 802.11b

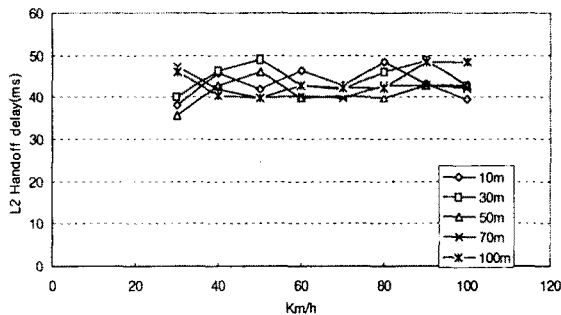
제안한 방식의 L2 핸드오프 측정 파라미터는 표 1과 같다. 본 논문에서는 시뮬레이션 특성상 지상 환경을 전제로 하였고, 실험환경에서는 다른 전파방해요소가 없는 것으로 본다. IEEE 802.11b에 따라 사용되는 주파수는 ISM 대역인 2.45GHz 이며, 직접시퀀스(Direct Sequence Spread Spectrum)방식을 사용하였다.

AP 전파반경은 안테나 높이를 조절하여 임의로 150m로 설정하였고, 전파중첩거리는 AP간 간격을 조절하여 10m, 30m, 50m, 70m, 100m로 설정하였다. 열차의 이동속도는 30~100km/h로 변화를 주어 각 전파중첩거리를 통과하여 핸드오프가 이루어지도록 하였다. 열차의 이동은 직선이동만 고려하여 측정하였고, 곡선 이동은 배제하였다. 시뮬레이션 측정은 약 100초 동안 이루어졌다.

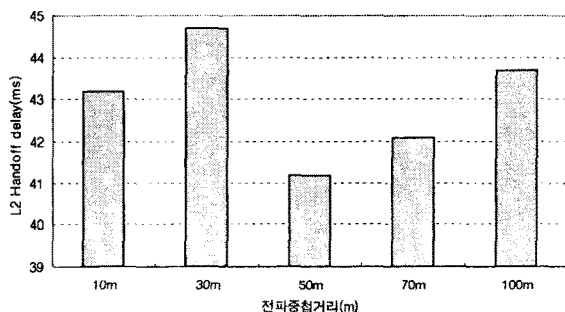
## 2.5 성능분석

본 논문에서는 AP 배치를 최적화하기 위해 먼저 각 전파중첩거리별(10m, 30m, 50m, 70m, 100m)로 열차가 이동하며 정보를 수신받도록 하였다. 그림 5는 열차 이동속도의 변화에 따라 각 전파중첩거리를 통과 할 때 L2 핸드오프 소요시간을 나타낸 그림이다. L2 핸드오프 측정범위는 Old\_AP로부터 패킷이 손실된 시점부터 L2 핸드오프과정을 마치는 시점까지 측정하였다. 열차가 수신 받는 패킷 크기는 임의로 500byte로 설정하였고, 시뮬레이션 한 결과 L2 핸드오프 소요시간은 약 40ms~50ms 정도로 소요되는 것으로 나타났다.

AP 배치의 최적화된 거리를 찾기 위해 각 전파중첩거리별로 열차의 이동속도에 따른 L2 핸드오프 소요시간을 평균하여 비교하였다. 그 결과 그림 6에 따라 전파중첩거리가 50m일때 L2 핸드오프 소요시간이 다른 전파중첩거리 L2 핸드오프 소요시간보다 가장 낮은 결과값을 얻을 수 있었다. 핸드오프 소요시간이 가장 높은 전파중첩거리는 30m이며 50m일때 보다 약 3.5ms 지연되는 결과를 보였다.



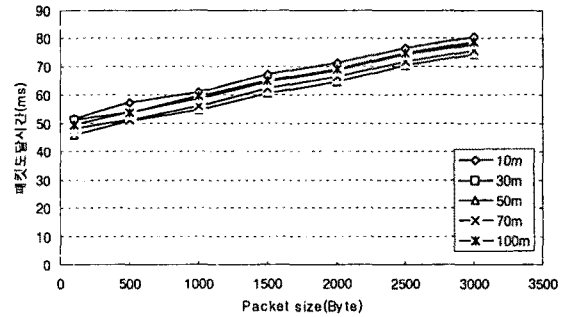
〈그림 5〉 열차의 이동속도에 따른 L2 핸드오프 소요시간



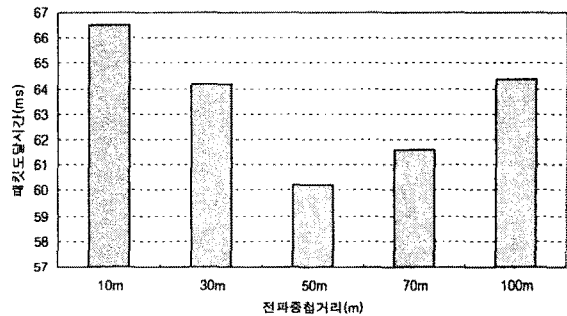
〈그림 6〉 각 전파중첩거리의 L2 핸드오프 평균 소요시간

본 논문에서는 열차의 안정된 제어를 위해 열차의 L2 핸드오프 후 열차 제어에 필요한 정보를 New\_AP로부터 보다 빠르게 수신받을 수 있는 전파중첩거리를 찾는 실험을 하였다. 실험의 측정범위는 열차가 Old\_AP로부터 패킷이 손실되는 시점부터 L2 핸드오프 후 패킷이 열차로 도달되는 시점까지 측정하였다. 패킷의 크기 변화는 표1과 같이 설정하였다.

열차는 각 전파중첩거리를 시속 60Km/h로 통과하도록 하였다. 측정된 결과, 열차의 패킷도달시간은 패킷 크기에 따라 약 50ms에서 80ms로 나타났으며, 이러한 결과 값을 각 전파중첩거리 별로 열차의 패킷도달시간을 평균한 결과 그림 7에 따라 전파중첩거리가 50m 일때 다른 전파중첩거리보다 가장 적은 약 60ms로 나타났다. 최적화된 AP 배치를 위해 열차의 이동속도에 따른 핸드오프 소요시간과 패킷크기에 따른 열차의 패킷도달시간을 측정된 결과 전파중첩거리가 50m일때, 즉 AP간 간격이 250m일때 가장 최적화된 결과값을 얻게 되었다.



〈그림 7〉 패킷 크기에 따른 패킷도달시간



〈그림 8〉 각 전파중첩거리의 평균 패킷도달시간

## 3. 결 론

AP의 전파중첩거리를 변화시켜 열차의 이동속도와 패킷의 크기에 따라 L2 핸드오프 소요시간과 열차의 패킷도달시간을 측정하였다. 그 결과 AP 배치를 최적화 할 수 있는 AP간 거리 값을 얻게 되었다. 향후 본 논문에서는 터널구간에서의 구체적인 고유 환경을 고려한 AP 배치 모델을 제시하여 시뮬레이션을 통해 그 타당성을 검증하도록 하겠다.

## 【참 고 문 헌】

- [1] IEEE Std 802.11b-1999, "Part 11 : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications : High-speed Physical Layer Extension in the 2.4GHz Band," Supplement to ANSI/IEEE Std 802.11, Sep., 1999.
- [2] J. P. Pavon and S. Choi, "Link Adaptation Strategy for IEEE 802.11 WLAN via Received Signal Strength Measurement," In proceedings of IEEE ICC'03, May, 2003.
- [3] The Network Simulator, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.