

CBTC를 위한 무선통신장비의 최적 위치 선정연구

Study on optimized positioning of wireless communication equipment for CBTC

김윤배*

Kim, Yun-Bae

정재옥**

Jung, Jae-Ok

Abstract

In this paper, the DCS (Data Communication System) which is a main part of CBTC (Communication Based Train Control) system is consisted of radio based wireless communication system and optical based wired system. In the radio based wireless communication, the location of AP(Access Point) Enclosure and Antenna shall be optimized for the guaranteed communication channel between wayside and trains either open aired or tunnelled area. This study is introducing the way of determining optimized positioning the radio based wireless communication equipment in Bundang Line. At this moment, this CBTC project for the KNR's (Korea National Railway) intelligent train control system are in installment phase therefore the simulation data can show only from lab equipment. After the phase I testing, more detailed data can be collected and advanced paper will be issued in a short time.

1. 서론

본 연구의 목적은 DCS(Data Communication System)내에서 선로변의 통신장비인 AP(Access Point) 무선장비와 차상장비인 MR (Mobile Radio) 무선장비의 원활한 통신을 위한 선로변의 AP 무선 기지국의 수량, 위치, 선택사항 그리고 안테나의 배치 등을 결정하는 것이다. 본 논문에서는 DCS 계층의 구체적인 부품을 다룬다. 즉, AP안테나, MR안테나, 결합 증폭기, 그리고 무선 통신기의 전원 장치 등이 있다. 본 연구는 RF 측정 기구를 이용하여 모델링으로 이루어지는데 이는 AP 안테나의 초기배치를 확정하기 위해서이다. 여기서 안테나의 위치는 통신가능 범위와 특정 MR 안테나의 선택 및 배치와 관련이 있다. 추천 안테나종류, AP, MR 안테나의 수량과 배치, 양방향 증폭기 배치, 통신 전원 장치, 그리고 동축케이블 연결 시 요구사항 등을 구체화 할 것이다.

본 논문에서는 계획된 선로를 따라 정확한 수량의 AP가 적절한 위치에 배치하였는지 또 차상의 안테나위치에 대한 기본적인 가이드라인을 제공한다. 본 논문의 시뮬레이션에서는 선로가 정해져서 테스트 조건이 갖춰지면 시작되며, 선로의 물리적 구조와 모든 장치들은 조사가 착수되기 전에 계획된 형태대로 모델링 되어야 한다.

* 삼성SDS(주) 철도교통사업팀 수석, 정회원

** (주)오우에스넷 기술연구소 선임연구원, 정회원

2. 통신기법 및 안테나 배치기법

2.1. 일반적 통신 기법

신호 한계치(Signal Thresholds)

DCS 무선장치에서 최저 통신 가능 범위는 -80 dBm이다. 이 범위는 IEEE 802.11 규정을 따른 것으로 AP에서 MR, MR에서 AP의 양방향 링크에도 적용된다. 그러나 MR이 동시에 하나의 AP에서 다른 AP로 핸드오버하는 것은 불가능하다. 그러므로 어느 정도의 오버래핑이 인접한 AP 신호들 간에 필요하고 -65 dBm경도의 값이 실제 통신가능범위로 설정되어야 한다.

균형 잡힌 링크(Balanced Links)

DCS 무선장치에서 논의되었듯이 EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) 전송에 한계를 가진 무선 링크로서는 높은 전송전력을 달성할 수 없다. 다만, 안테나 이득 증가로 인해 수신 전력만 높아질 뿐이다. 이것은 거리가 멀어짐으로써 신호 도달 시점이 각각 틀릴 수 있기 때문에 다른 안테나 이득을 가진 두 개의 안테나가 서로 불균형을 이룰 수도 있다는 점이다. 또한 MR 과 AP 의 안테나 이득 또는 두 AP 간의 안테나 이득은 서로 달라야 할 필요가 있기 때문에 안테나 배치는 고객의 선호도를 포함한 여러 가지 요소들에 의해서 제한된다. 그럼으로, 저 이득 안테나를 가진 기지국은 고 이득 안테나와의 차이를 보충하기 위해 양방향 증폭기를 설치해야만 한다.

모델링(Modelling)

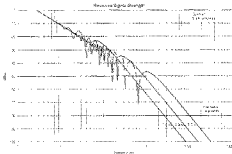
실외에서의 전파는 지면이 있고 약간의 반사물체가 있다고 가정할 때 거의 직진한다. 터널 안에서의 전파는 굽은 벽과 곡선 선로로 인해 다소 복잡하다. 그렇지만 장방향 교차지점이나 평평한 벽, 직선 선로와 같은 단순한 기하구조에서 전파는 거의 직진한다. 터널 기하구조나 실외 구간에서 간단하게 추정하기 이러한 모델링은 안테나의 초기배치에 도움을 준다. 다양한 기하구조에서의 여러 가지 전파경로를 갖고 있다. 이런 전파경로를 이용한 신호범위예상은 안테나나 증폭기 이득의 특정 값에 기초를 두고 있는데, 이 특정 값이 변할 때 전파경로를 다시 설정하는 것은 비교적 간단하다.

2.2. 일반적 안테나 배치 기법

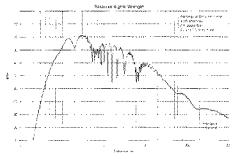
지상 및 터널 양측 거리

부드럽고 평평한 땅이 있는 실외에서는, 지면 반사를 고려하여 가능한 한 안테나와 지상간의 높이는 높을수록 좋다. [그림 1]과 같이 이것은 통신가능범위를 최대화 시킨다. 지상 0.5m에 설치된 안테나는 통신가능범위가 100m 정도이고 (신호한계치는 -65 dBm), 지상 1.0m에서는 그 범위가 200m 이상이며, 2.0m 에서는 400m 가 넘는다. 이것은 MR 안테나가 가능한 한 열차 위쪽으로 설치되어야 하고, AP 안테나도 될 수 있는 한 높게 설치되어야 한다는 것을 보여준다. 터널에는 벽과 천장으로부터의 반사가 존재하기 때문에 터널에서는 위의 사실이 반드시 적용되지 않는다. [그림 2]는 장방형의 터널 교차구간으로 가정한 간단한 예를 보여주고 있다. 그림에서 터널 교차구간은 가로 세로 8m × 4m이고 AP 와 MR 안테나는 지상4m 에 설치되어 있다. AP 안테나와 MR 안테나는 각각 오른쪽 벽에서 5m, 1m씩 떨어져있다. 실제상황에서 이 거리는 열차나 터널 구조에 의해 변경 될 수 있다. 이 경우의 통신가능범위는 수많은 벽 반사 때문에 약 1Km 정도 까지 확장될 수도 있다. 열차나 선로변의 초기 안테나 배치를 터널 양

측거리나 지상거리와 관련이 있다는 사실을 유념해야 한다. 공간의 다양성을 고려한 안테나를 사용함으로써 통신의 장애 의한 영향을 완화할 수 있다.



[그림 1]저상구간에서의 신호강도



[그림 2]장방형 터널 구간에서의 신호강도

신호간섭(Interference)시 고려사항

고 이득안테나는 두 가지 목적을 수행한다. 첫째로, 통신 범위를 확장 시키려고 늘췌로 좀 더 많은 직진특성(directive beam)을 가진다. Directive beam (과장의 폭이 좁음)의 가장 중요한 능력중의 하나는 신호간섭을 막는 것이다. 즉 Narrow beam 은 심지어 근처의 신호간섭도 막을 수 있다.

최대 신호 범위(Maximum Signal Level)

무선 통신에 있어서 중요한 점은 수신 측에서 허용할 수 있는 최대 신호범위이다. 이 범위는 대략 -20 dBm 정도이고 이것보다 더 높은 수치는 증폭기를 포화상태에 이르게 하여 신호를 왜곡하여 감지 치리에 오류를 발생 시킬 수도 있다. 열차가 AP 영역을 지날 때, 안테나간의 최소 거리는 유지되어야한다. 이 최소거리에는 안테나의 정확한 위치(lateral severation)와 신호전파의 방사각도의 폭(Beam Width)을 나타내는 기능을 한다. 하나의 안테나를 이용한 링크는 위의 요구조건을 만족시키나 다른 하나의 안테나로의 링크는 그렇지 않다면, AP 안테나의 위치를 적당하게 옮겨야 한다.

안테나 유효 범위 옵션

어느 정도 신호의 유효범위를 확보하는 것이 필요함에도 불구하고, 안테나는 빔 폭(beam width)으로 특정지역을 커버하도록 배치될 수 있다. 핸드폰 기지국에 사용되는 섹터 안테나와 소위 지향성이라고 불리는 안테나 등이 그 예이다. 이런 안테나는 선로나 터널교차점과 같은 특정지역을 커버하기 위해 측면에 넓은 빔 폭(wider beam)을 설치한다. 주목할 것은, 저 이득안테나를 사용할 때, 고 이득수신증폭기와 서로 다른 통신전력 설치를 사용해야 한다는 것이다. 그 이유는 앞에서 논의된 바 있는 균형 잡힌 링크를 유지하기 위해서이다.

3. 터널 및 저상구간 Factors

공간의 특성과 자체 그리고 구조물과 경사도 등의 여러 가지 형태와 저상구간과 터널구간을 각각 고려할 점은 다음과 같다.

3.1. 구체적인 저상구간의 요소(Specific Open-Air Factors)

실의 직선구간(Straight Segments)에서는 가장 제약은 적게 받는다. Single-ground-reflection

전파모델에 의해 full range 에측은 근처에 벽, 나뭇가지나 다른 장애물이 없다는 것을 의미한다. 세부경로조사로 전파범위를 확인하면 실외 곡선구간(Curved Segments)에서는 안테나의 빔 폭(beam width)때문에 제약을 받는다. 한정된 범위에서 직선 전파 경로가 각 안테나의 출출부를 통과할 때 두 빔을 순환시킬 공간이 거의 없다. 심지어 빔 방향이 약간이라도 경로를 이탈하게 되면 신호 레벨을 목표 관계치이하로 떨어뜨릴 수 있다. 어느 정도의 경로 이탈은 신호가 관계치 이하로 떨어지기 전까지는 별 문제가 되지 않는다. 안테나 빔의 형태에 따라 신호의 경로 이탈 양이 정해지는데 이는 빔 폭을 구체화시킴으로써 추정된다. 여기서 사용된 빔 폭이란 신호 레벨이 3dB 까지 떨어지는 빔지점사이의 각도를 의미한다. AP 안테나는 트랙 바로 아래쪽에, 통신 유효 범위를 생각하여, 첫 번째 커브지점의 다른 장치들과 같이 설치되어야 한다. MR 안테나는 열차 바로 앞이나 바로 뒤의 main beam pointing에 설치되어야한다. 그러므로 특정 커브선로에서의 빔 방향은 그 지점의 선로와 접한 것이다. 열차가 곡선을 따라 움직일 때, MR 안테나는 그에 맞춰 회전 할 것이고, 신호세기가 다양해질 것이다. 위와 같은 눈에 띄는 회전을 조절하는 안테나의 빔 폭에 부과된 제한이 있다.

3.1. 구체적인 터널구간의 요소(Specific Tunnel Factors)

직선 터널구간은 거의 제약을 부과하지 않는다. 신호범위도 실외구간에 비해 상당히 확장될 수 있는 것이 사실이다. 그렇지만, 모델링은 단순화시킨 장방형 교차지점 터널을 위한 것이고 실제 운행은 세부경로조사를 통해 명확해 진다. 곡선터널에 있는 두 안테나사이에 육안으로 보지 않을때는 주요 신호감소가 일어날 것이고 그 범위 또한 상당히 좁힐 것이다. 하지만 벽면반사, 굴절, 다른 전달 현상으로 인해 곡선 주변 통신이 여전히 가능하다. 실외 경우와는 다르게, 신호가 곡선레드 주변에 설치된 안테나에서 열차의 안테나에 다다를 때에는 일정하지 않다. 그러므로 시야가 확보되지 않은 안테나 지점에서 측정되는 터널 폭보다 더 넓은 빔 폭을 가지는 것이 필요하다. 모델링은 곡선터널 환경에서 매우 복잡하기에 (특히 곡선벽면의 경우에) 세부경로조사가 전과 조건을 확실하게 예측하는 것이 필요하다. 지상이든 터널이든 측선(siding)과 cross-overs가 있는 선로구간에서는 장애가 없는 선로구간과는 다른 범위패턴을 요구한다. 예를 들면, 터널의 두 입구나 측선을 cover 할 필요가 있다면, 안테나는 요청서에 있는 표준링크설계보다 낮은 지 이득 안테나이다. 이런 경우에는 고 이득중복기가 링크사이에 균형을 맞추기 위해 설치되어야한다. 만약 표준보다 좁은 지역(터널의 특정 구간)의 통신을 가능하게 하거나 아니면 신호 감소를 피하려면 보통 이득 안테나보다는 복수의 고 이득 안테나가 필요하다.

4. 위치선정 연구절차

무선통신경로조사에는 3가지의 단계(연구단계, 측정단계, 분석단계)가 있고, 현재 본 논문은 연구단계를 거쳐 설치시점에 있어 여기서는 측정단계와 분석단계는 후주 연구논문에 거론할 것이다. 우선 연구 단계에서는 관계된 모든 정보를 수집한다. 이 단계에서 얻을 수 있는 세부사항과 단계는 다음과 같다.

- ① 역 위치를 규명하려면 역 구조를 가능한 한 정확하게 알고 있어야 한다. 특히 플랫폼의 길이를 고려한 열차의 예상길이에 대한 정확한 정보가 필요하다.
- ② 안테나 배치에 대한 고객의 의견을 반영하여 열차 앞뒤구조의 세부사항이 정해진다. 각 끝지점의 MR안테나의 초기 배치는 선로면의 구조물과 관련된 정보를 이용해 결정된다.
- ③ 역의 인접한 곳에 배치된 AP 안테나의 초기위치는 선로 설계도(필요시 역과 터널의 교차지점이 나타나있는)를 이용해 결정되는데 여기서 최소 측면거리(Lateral separation)가 결정된다.
- ④ 추정치(Estimate)는 역간 선로면의 양방향에 설치된 안테나의 수와 위치로 이루어진다.

⑤ 안테나 초기 선택은 DCS 무선통신 시스템의 요구사항과 이용 가능한 정보에서 나온 여러 가지 요소들을 바탕으로 한다.

⑥ 신호세기 측정값, S'_{TS} , 은 설치시스템에 필요한 값인데 한계 값 S_{STA} 와 일치한다. 그리고 계산 과정은 다음과 같다.

$$S'_{TS} = S_{MR} - (G_{MR} - G'_{TS}) - (A_{MR} - A'_{TS}) + (L_{MR} - L'_{TS}) \text{ (dBm)}$$

G'_{TS} 는 안테나설치테스트 이득, G_{MR} 는 MR안테나 이득, A'_{TS} 는 증폭기설치테스트 이득, A_{MR} 는 MR 증폭기 이득, L'_{TS} 는 test set receive chain에서의 케이블과 커넥터 손실, L_{MR} 는 MR 수신 체인에서의 커넥터와 splitter 손실이다. S'_{TS} 의 값은 S_{MR} 에 가까워야한다.

⑦ 수신감도 한계치를 계산할 경우에도 이와 비슷하다.

⑧ 시험용 AP는 오직 송신기로써만 사용된다. 무선전원장치에 따라서 적절한 EIRP를 설치하기 위해 감쇠기가 필요하다. 전송경로 L'_{AP} 의 감쇠수치는 다음과 같이 계산되어 진다.

$$L'_{AP} = G'_{AP} - P' - EIRP \text{ (dB)}$$

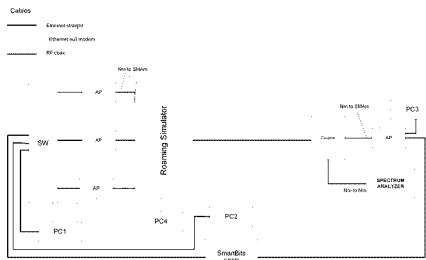
G'_{AP} 는 AP 안테나 테스트 이득, P' 는 테스트에서 무선자비로 전송되는 전원이다. L'_{AP} 는 케이블 손실, 커넥터 손실, 감쇠기 페드로 구성된다는 점에 주목하라. 이 페드의 값은 다른 손실이 측정되거나 계산된 후에 정해진다.

⑨ 설비 목록은 측정 단계에서 그려진다. 일단 AP가 배치되고, 실험 측정결과가 문서화 되면 설비가 제거되어 신호를 따라 새 지점에 배치될 수 있다.

5. 시뮬레이션

5.1 시뮬레이터의 구성

본 논문에서 이루어지는 AP와 MR간의 통신 시뮬레이터 구성은 다음 [그림 3]과 같다.



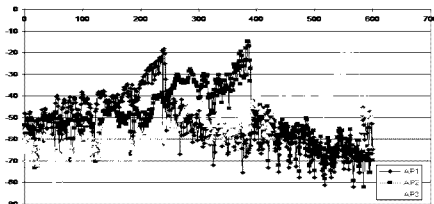
[그림 3]통신 시뮬레이터 구성도

5.2 시뮬레이션 목적 및 내용

본 논문에서 이루어진 시뮬레이션은 국내 통신 환경에 맞추어 개발된 AP를 가지고 로밍 시뮬레이터를 이용하여 고속 핸드오버 및 전차와 간섭을 시험한 것이다. 이 시뮬레이션을 통하여 환경 설치 이전에 AP 이득 알고리즘을 튜닝할 수 있다.

5.3 시뮬레이션 결과

시뮬레이션에서 구현된 가상 터널 프로파일은 다음 [그림 4]에서와 같이, 서로 다른 3개의 AP를 이용하여 터널 환경을 구현했다. 시뮬레이션 결과 고속 핸드오버 및 전차와 간섭에서 양호한 값을 얻었으며, 향후 측정, 분석 단계시 보다 자세한 사항을 기재할 예정이다.



[그림 4] 가상 터널 환경 프로파일

6. 결 론

본 논문에서는 열차의 수송능력과 유지보수 효율성이 높은 지능형 열차제어 시스템의 핵심분야인 무선통신 장치의 최적위치 선정에 대한 연구한 것이다. 무선통신 장치의 최적 위치는 전차 영역의 2중화 및 고속 핸드오버를 고려하여 선정한다. 본 논문에서는 지상구간 및 터널 구간에서 각 요소에 대한 환경을 고려하고, 간단한 핸드오버 시뮬레이션을 통해 AP의 최적 위치를 분석하고, 향후 연구과제로 본 논문에서 검증된 AP 최적 위치선정 조건을 기반으로 측정 및 분석 단계의 결과까지 반영되도록 개선해 나갈 것이다.

참고문헌

1. Pozar(2001), "Microwave & RF Design of Wireless Systems(H/C)"
2. Patrick M. Centolanzzi(2001), "Communication Based Train Control Overview"
3. Internet Website "http://www.tsd.org"
4. De Leuw(2000), Cather&Company of New York, Inc, "New York City Transit New Technology Signal System Study"
5. IEEE Std 1474.1(1990), "IEEE Standard for Communications-Based Train Control(CBTC) Performance and Functional Requirements", Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, 19