Regular paper | Journal of the KIECS. pp. 473-478, vol. 15, no. 3, Jun. 30. 2020, t. 101, pISSN 1975-8170 | eISSN 2288-2189
http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2020.15.3.473

LTE-R 기반 센서 네트워크의 전송 성능

김영동*

Transmission Performance of Sensor Network based on LTE-R

Young-Dong Kim*

요 약

열차 운행의 정확성과 안정성을 위하여 열차와 열차이동 주변환경 사이의 통신은 필수적인 요소이다. 열차 운행을 지원하기 위해서는 열차와 열차이동 주변 환경 사이에 측정/감시 등을 목적으로 사용되는 센서와 열차 간의 통신 구조와 성능의 분석이 요구된다. 본 논문에서는 이동 중에 있는 열차가 열차궤도 주변에 있는 각종 센서장치로부터 측정된 열차운행 및 환경 정보를 효과적으로 수신하고 이를 열차 데이터 관제 센터로 전송하는 LTE-R 기반의 철도 센서네트워크에 대한 성능을 분석하고 철도 센서 네트워크 구축에 필요한 구축 조건을 제시한다.

ABSTRACT

The communication between train and it's moving environments is considered as a necessity factor to support accuracy and safety for operation of train. Communication structure and performance between sensor and train used to measure and monitor between train and it's moving environments is required in operation of the train. In this paper, railway sensor network based on LTE-R is described and analyzed for moving train to support effective measure operation and environment data from various sensor devices located through railway and then transfer the data to data control center. Finally, implementation requirement for railway sensor network is suggested.

키워드

Railway Communication, Sensor Network, LTE-R, Transmission Performance
철도 통신, 센서 네트워크, 엘티이-알, 전송 성능

Ⅰ. 서 론

최근들어 대량교통수단으로서 그 역할과 중요성이 다시 부각되고 있는 철도교통시스템의 급속한 발전은 ICT 기술과 결합된 이동의 고속화, 관제의 정밀화 및 운영의 안정화에 기인한다[1-2].

특별히 유럽 및 미국을 비롯한 철도 기술 선진국으로부터 시작된 CBTC(:Communication Based Train Communication) 중심의 제어, 관제시스템의 개발 및 구축은 철도산업의 발전을 선도하고 있다[3].

CBTC의 하나로서 유럽을 중심으로 개발되어 표준으로 구축되고 있는 ETCS(: European Train Control System)은 현재 ETCS Level 2가 확정됨에 따라 각 나라에서는 기준에 부합하는 시스템을 개발 중에 있

* 교신저자 : 동양대학교 철도전기융합학과
• 접 수 일 : 2020. 05. 12
• 수정완료일 : 2020. 05. 29
• 게재확정일 : 2020. 06. 15
• Received : May. 12, 2020, Revised : May. 29, 2020, Accepted : Jun. 15, 2020
• Corresponding Author : Young-Dong Kim
Dept. of Electric Railway Convergence Science
Email : ydkim@dyu.ac.kr

다[3].

우리나라에서도 속도 향상의 효과적 대비를 위해서는 이동거리 방식이 유리할 것으로 전제하여 ETCS Level 2 기준을 만족하고 우리나라 철도 고유의 특성에 부합하는 KTCS(Korean Train Control System) 개발과 더불어 시범구축을 예정하고 있다[4].

철도 관제시스템을 사용할 경우 열차의 속도정보의 연속적 송수신은 필수이고 이외에 열차의 운행에 필요한 각종정보, 예를 들면 열차상태의 정보, 궤도주변 환경정보 등의 전송이 원활하게 수행되어야 한다. 열차상태의 감시 및 측정, 열차이동주변 환경 정보의 송수신 등은 주로 열차와 열차이동주변 환경에 설치된 센서 네트워크에 의해서 수행된다.

따라서 이와 같은 철도 센서네트워크의 성능을 분석하는 것은 미래 철도시스템의 설계/구축 및 운영에 있어 매우 중요함과 동시에 철도통신 시스템의 구축 및 운영의 기본적 요소를 이룬다[5-6].

본 연구에서는 이와 같은 철도 센서네트워크의 전송 성능을 분석한다. 이를 위하여 열차와 열차 이동주변환경 간에 각종 감시정보의 측정 및 전송과 관련한 철도통신 환경을 기술하고, 그 성능을 분석하며, 다음으로 열차 센서네트워크 구축에 필요한 구축 조건을 제시한다.

본 연구는 LTE-R을 통신기반구조로 하고 Wi/Fi를 추가한 구조를 대상으로 NS-3을 기반으로 구축한 컴퓨터 시뮬레이션을 사용하여 수행한다.

본 논문은 Ⅱ장에서 철도센서네트워크, Ⅲ장에서 시뮬레이션 및 성능분석을 기술하고 Ⅳ장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 철도센서네트워크

철도의 고속화, 정밀화가 진행됨에 따라 철도의 안전 및 정확한 운행에 필요한 각종 정보의 측정 및 송수신은 철도 운행의 필수적 조건이 되고 있다. 뿐만아니라 운행중인 열차와 관제센터 및 열차의 운행 주변 환경과의 정보 송수신 또한 매우 중요한 요소로 등장하고 있다. 열차의 상태를 감시/측정하고 이를 열차의 각 장치에 알려주거나 열차 이동주변환경 정보를 열차와 이동주변장치간에 교환할 필요성이 있는 것이다.

열차와 이동주변환경 사이의 정보의 교환은 대부분의 경우 열차상태의 감시/측정 정보 또는 열차이동주변 환경정보를 대상으로 하고 있어 주로 센서장치에 의해서 측정 및 전송된다. 따라서 철도의 안전 및 정확한 운영을 위해서는 적절한 센서네트워크의 구축 및 운영이 필수적이다.

제시된 그림 1에 따르면 철도센서네트워크는 궤도, 구조물, 지형 및 열차 등에 설치되는 감시용 센서들에 의하여 구성된다. 이 센서들은 중계기 또는 게이트웨이를 거쳐 센서 데이터 서버 또는 응용서버로 전송된다. 아울러 필요한 경우 이동중인 열차에 전송되어 열차운행에 사용된다.

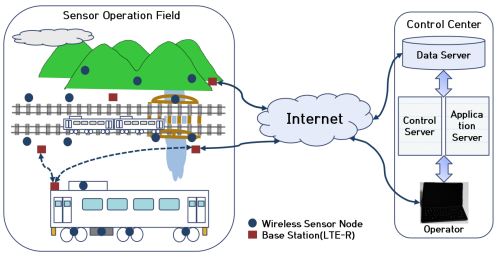

그림 1. 철도 센서 네트워크
Fig. 1 Railway sensor network

철도센서네트워크는 그림 2와 같은 센터중심 센서네트워크와 그림 3과 같은 열차중심 센서네트워크로 구분될 수 있다.

그림 2의 센터중심 센서네트워크에서는 센서가 측정한 데이터는 센터로 보내지고 센터에서 열차로 보내는 과정으로 운영된다. 험준한 산악지형, 인구밀도가 낮은 지형 또는 국가간을 이동하는 경우에 센서가 측정한 데이터를 데이터 센터로 전송하여 분석한 후에 열차에 전송하는 그림 2와 같은 센서-센터-열차로 이어지는 센터중심 전송체계는 적합하지 않을 수 있다.

센터중심 센서네트워크에 대한 개선으로서 그림 3과 같이 센서에서 측정된 데이터를 열차로 전송하고 적절한 타이밍에 열차가 데이터 센터로 전송하는 센서-열차-센터로 연결되는 열차 중심 방안이 가능하다. 이 방식에서는 열차 내에 적절한 데이터 분석 시스템을 운영할 경우 열차 운영에 필요한 조치를 즉시 내리거나 승무원에게 상황 판단에 요구되는 정보를

실시간으로 제공할 수 있다.

필요한 경우 그림 2와 3을 공동으로 사용할 수 있으나 두 체계 가운데 어느 체계를 사용할지 판단하는 가동 기준이 필요할 수도 있다.

그림 2와 3에서 센서장치의 통신에는 WiFi가 사용되며 열차와 센터간의 통신에는 LTE-R을 사용한다.

본 논문은 그림 3의 열차중심 철도센서네트워크를 대상으로 한다.

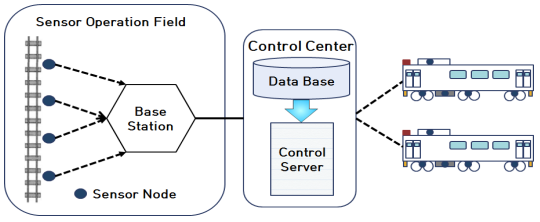

그림 2. 센터중심 철도센서네트워크
Fig. 2 Center based railway sensor network

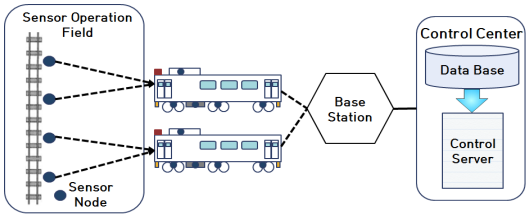

그림 3. 열차중심 철도센서네트워크
Fig. 3 Train based railway sensor network

III. 시뮬레이션 및 성능 분석

3.1 시뮬레이터 구성

본 논문에서는 LTE-R 기반 철도 센서네트워크의 전송성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 사용하여 분석한다. 시뮬레이터는 NS-3를 기반으로 구성한다[7]. NS-3에는 철도통신 성능분석 시뮬레이터가 일부 제안되고 있다[8][9]. 본 연구에서는 공개버전의 LTE 모듈[10]을 사용하여 본 연구에 적합하게 구성한다. 이를 토대로 그림 3의 열차중심 철도센서네트워크 환경에 적합한 시뮬레이터를 구성한다.

3.2 시뮬레이션 환경

본 연구에서 시뮬레이션은 일정길이의 철도궤도를 따라 구축된 센서 장치를 정해진 속도의 열차가 통과하는 센서 네트워크 환경을 대상으로 한다.

센서 장치는 측정된 감시 데이터를 열차에 전송하며 이를 이동중인 열차나 또는 센터가 수신하는 전송성능을 분석한다. 데이터 송수신 환경의 실제성을 확보하기 위하여 열차운영환경에 적용 가능한 손실모델 사용하여 전송성능을 측정한다.

본 연구의 시뮬레이션에서 사용된 주요 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters

Parameters	Values
Network Scale	120×5[㎡]
Node Number	20 Sensor nodes, 1 Train
Train Mobility	Fixed Moving Speed
Train Speed	15~150[㎞/H]
MAC	WiFi(IEEE 802.11), LTE-R
Link Speed	1/2/5/11[Mbps]
Packet Size	1500 Bytes
Protocol	UDP

3.3 성능분석

시뮬레이션은 표 1에 제시된 시뮬레이션 파라미터를 기반으로 열차의 운영속도에 따라 수행하였다. 각 시뮬레이션은 평균 60[s] 동안 수행하며 센서와 열차간의 전송성능은 WiFi 기준으로 측정하였고, 열차와 센터간, 센터와 열차간의 전송성능은 LTE-R을 기준으로 측정하였다. LTE-R 전송에서 핸드오버는 가정하지 않았다.

시뮬레이션 결과를 그림 4~12에 전송지연, 패킷전달율 및 처리율을 열차속도, 데이터속도 및 손실모델로 구분하여 제시하였다.

데이터 속도는 센서 데이터가 이동하는 속도로 Wi/Fi 기준으로 설정하였으며 손실모델은 고정손실모델(FRL, Fixed Rss Loss Model)과 랜덤손실모델(RPL, Random Propagation Loss Model)로 설정하였다. 고정손실모델에서 사용되는 rss 값은 기본값인 -80 dBm을 사용하였다.

그림 4~6에 의하면 전송지연은 열차의 이동속도에 따라 크게 변화되지 않았다. 데이터 속도가 증가할수록 낮아졌으나 5Mbps 급 이상의 속도에서는 차이가

크지 않았다. 손실모델에 따라서는 RPL 모델이 FRL 모델이 비하여 26% 가량 우수한 것으로 측정되었다. 모든 구간에서 전송지연은 200ms 이하로 양호하였다.

그림 7~9에 의하면 패킷전달율은 열차의 이동속도에는 크게 영향을 받지 않은 반면에 데이터속도와 손실모델에 영향을 받는 것으로 나타났다. 패킷전달율은 데이터 속도가 낮을수록 높아 1Mbps급 속도의 Wi/Fi에서 약 75%로 나타났다. 반면에 5Mbps 급 이상의 데이터 속도에서는 약 40% 정도로 나타나 매우 낮은 것으로 측정되었다. 손실모델에 따라서는 FRL 모델이 약 57.3%로 RPL 모델의 49.8% 보다 상대적으로 높은 것으로 나타났으나 여전히 낮은 수준을 보였다.

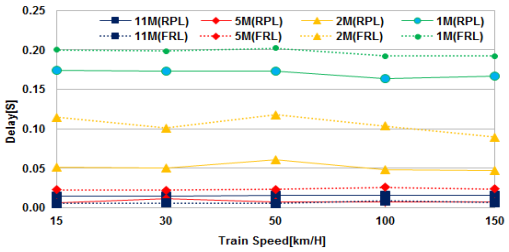

그림 4. 전송지연
Fig. 4 Transmission delay

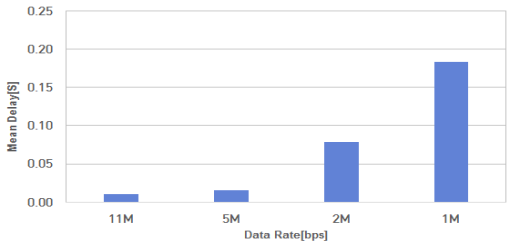

그림 5. 데이터속도와 평균지연
Fig. 5 Data rate and mean delay

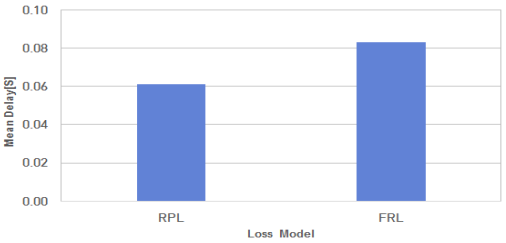

그림 6. 손실모델과 평균지연
Fig. 6 Loss model and mean delay

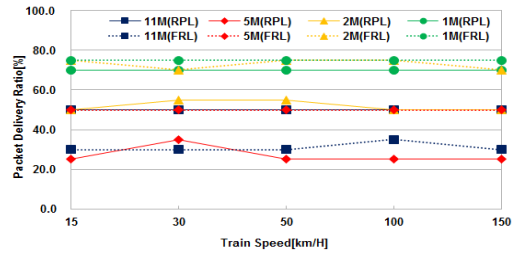

그림 7. 패킷전달율
Fig. 7 Packet delivery ratio

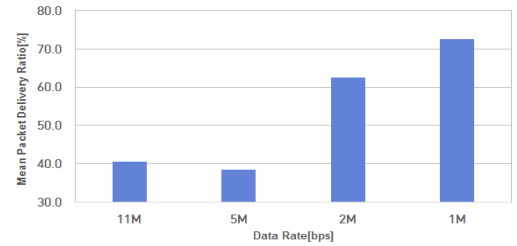

그림 8. 데이터속도와 평균패킷전달율
Fig. 8 Data rate and mean packet delivery rate

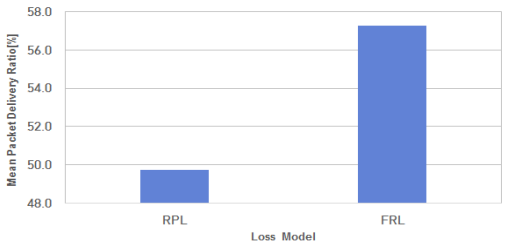

그림 9. 손실모델과 평균패킷전달율
Fig. 9 Loss model and mean packet delivery ratio

그림 10~12에 제시된 처리율은 열차의 이동속도에 따라 매우 크게 변화되었으며 데이터 속도가 낮을 수록 높은 처리율을 보였다. 1Mbps급 15km/H 이동에서 약 700kbps로 가장 높았으며, 100km/H 이상의 이동에서는 50kbps 이하로 나타났다. 데이터 속도별로는 5Mbps급 이하의 속도에서는 변화의 차이가 거의 측정되지 않았다. 손실 모델별로는 RPL이 185kbps로 FPL의 167kbps 보다 약 10% 우수한 것으로 나타났다.

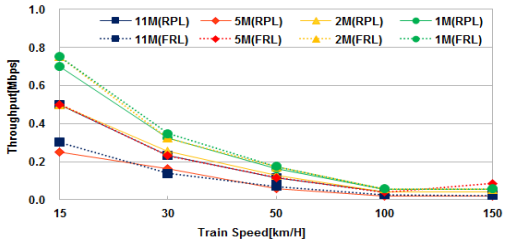

그림 10. 처리율
Fig. 10 Throughput

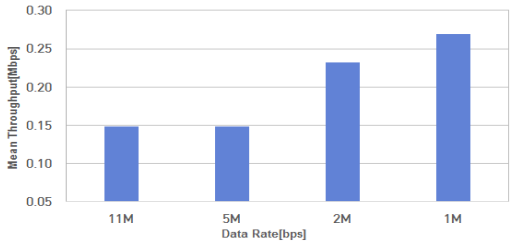

그림 11. 데이터속도와 평균처리율
Fig. 11 Data rate and mean throughput

그림 12. 손실모델과 평균처리율
Fig. 12 Loss model and mean throughput

3.4 철도 센서 네트워크 요구조건

3.3절에 제시한 성능분석에 따르면 열차의 속도, 데이터 속도 및 손실 모델에 따른 성능은 전송지연과 패킷전달율이 유사한 패턴을 보였으나 측정값에서 전송지연은 양호한 반면에 패킷전달율은 매우 저조한 것으로 나타났다. 전송지연과 패킷전달율 모두 5Mbps급 이하의 데이터 속도에서는 성능이 매우 낮았다.

반면에 처리율의 경우는 열차의 이동속도에 따라 매우 가변적인 결과를 보였으며 데이터 속도가 높아질수록 낮아졌다. 손실모델에 따른 처리율은 전송지연과 패킷전달율의 손실모델의 결과와 상반적이었다.

따라서 이동하는 열차를 대상으로 하는 철도 센서 네트워크 구축에서는 열차이동속도, Wi/Fi 운용 속도 및 손실 모델의 통신 환경과 전송지연, 패킷전달율 및 처리율의 통신 성능 파라미터간의 상반된 조건을 충족할 선택이 요구되어진다.

그러므로 철도센서 네트워크는 범용의 센서네트워크로 구축되기 보다는 예를 들면 열차의 특정 저속 이동 환경, 다수의 열차 이동 조건, 이동 데이터의 량, 이동 정보의 종류 등에 따라서 측정 환경 및 조건에 적합한 운용 형태로 구축되어야 한다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 LTE-R을 기반으로하는 철도시스템에서 구축 가능한 센서 네트워크의 전송 성능을 컴퓨터 시뮬레이션으로 분석하였다.

열차가 운영되는 지리적 사회적 환경에 따라 센서 장치가 측정한 데이터를 효과적으로 전송하기 위해서는 그에 필요한 전송체계의 구축이 필요하므로 이를 위해서 본 연구에서는 센서-열차-센터의 전송 환경을 가정하고 센서 네트워크의 전송성능을 분석하였다. 성능분석은 열차이동속도, 데이터 속도 및 손실 모델을 기반으로 하였다.

성능분석 결과 전송지연은 매우 안정적이었고 패킷전달율은 매우 저조한 것으로 나타났다. 처리율은 열차이동속도에 민감한 것으로 측정되었다. 손실모델에 대해서는 전송지연과 패킷전달율은 비슷한 패턴을 보였으나 처리율은 전송지연이나 패킷전달율과는 상반적으로 타나났다.

따라서 철도 센서 네트워크는 열차이동속도, 데이터 속도 및 손실모델의 운영 환경적 조건과 전송지연, 패킷전달율 및 처리율의 성능파라미터 간의 상반된 성능 요소들을 적절하게 활용할 수 있는 특화된 구축 및 운영이 필요하다.

본 논문의 연구 방법을 사용한 다양한 철도환경 및 트래픽 조건을 적용한 심층적 철도센서네트워크 시뮬레이션의 수행 및 그 결과를 이용한 다양한 측면의 전송성능분석이 추후 연구과제로 필요하다.

감사의 글

본 논문은 2018년도 동양대학교 학술연구비의 지원으로 수행되었음.

References

[1] S. Lee, "Analysis of Vision based Technology for Smart Railway Station System," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 13, no. 5, Oct. 2018, pp. 1065-10070.

[2] W. Cho and H. Cho, "Developmemt of Interoperablity Technology in Railway Wireless Communication Systems," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 4, Aug., 2017, pp. 555-560.

[3] Y. Kim, "Transmission Performance of Application Traffics on High Speed Railway Communications," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 12, Dec. 2017, pp. 771-76.

[4] Y. Kim, "Trends of Mobile Communication Technologies for Electric Railway System," In *Proc. International Conference on Future Information & Communication Engineering, 2016*, Dandong, Vietnam, June 2016, pp. 359-362.

[5] V. Hodge, S. O'Keefe, M. Weeks, and A. Moulds, "Wireless Sensor Networks for Condition Monitoring in Railway Industry : A Survey," *J. of the IEEE Transaction on Intelligent Transportation Systems*, vol. 16, no. 3, June 2015, pp. 1088-1106.

[6] N. Iwasawa, T. Kawamura, M. Nozue, S. Ryuo, and N. Iwaki, "Design of Wireless Sensor Network in the Railway," In *Proc. the 7th International Conference on Sensor Networks (SENSORNETS 2018)*, Funchal Madeira, Portugal, Jan. 2018, pp. 122-127.

[7] G. Riley and T. Henderson, "The ns-3 Network Simulator," *J. of Modeling and Tools for Network Simulation*, Springer Berlin Heidelberg, 2010, pp. 15-34.

[8] D. Franco, M.Aguado, and N. Toledo, "An Adaptive Train-to-Ground Communication Architecture Base on 5G Technological Enabler SDN," *J. of Electronics,* vol. 8, no. 6, June 2019, pp. 34-45.

[9] A. Danoush, A. Tuholukova, S. Alouf, and G. Neglia, "ns-3 Based Framework for Simulating Communication Based Train Control(CBTC) System," In *Proc. Workshoop on NS3(WNS3)*, Seattle, USA, June 2016, pp. 116-123.

[10] G. Piro, N. Baldo, and M. Miozzo, "An LTE Module for ns-3 network simulator," In *Proc. 4th International Conference on Simulation Tools and Techniques (SIMUTools2011)*, Barcelona, Spain, Mar. 2011, pp. 415-422.

저자 소개

김영동(Young-Dong Kim)

1984년 광운대학교 전자통신공학과 졸업(공학사)

1986년 광운대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)

1990년 광운대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학박사)

1995년~현재 동양대학교 철도전기융합학과 교수

※ 관심분야 : 통신프로토콜, MANET, VoIP, LTE-R, 수중통신, 시뮬레이션, ICT 융합 등