

철도신호시스템 상호간 인터페이스를 위한 데이터링크 프로토콜 성능분석

*황종규, *이재호, **강문호
 * 한국철도기술연구원, ** 선문대학교 기계및제어공학부

Performance Analysis of Data Link Protocol for Railway Signaling Interface

*Jong-Gyu Hwang, *Jae-Ho Lee, and, **Moon-Ho Kang
 *Korean Railroad Research Institute(KRRI) and **Sunmoon University

Abstract - 본 연구는 철도신호 장치간 인터페이스를 위한 데이터 링크제어의 성능분석을 위하여, Matlab/Simulink을 이용한 시뮬레이션과 시뮬레이터 개발을 목표로 하였다. 이를 위해 Simulink 윈도우상의 데이터 링크제어 시스템 화면에서 사용자 인터페이스 블록을 통해 통신 파라미터들을 선택하여 시뮬레이션을 행할 수 있는 시뮬레이션 툴과, Matlab이 제공하는 RS232통신용 API 기능을 이용하여 철도 신호장치간의 통신 프로토콜을 PC상에서 모사할 수 있는 프로토타입 시뮬레이터를 개발하였다.

1. 서 론

철도신호체계는 열차운용의 안정성을 보장하기 위한 필수요소로 대부분 전자화 되어 운용되고 있다. 또한, 대부분의 열차 신호체계는 주변 온도의 변동폭이 매우 크고, 각종 진동과 전기적 잡음요인이 다양한 열악한 환경하에서도 신뢰성을 유지해야 하므로 열차신호 체계는 고도의 안정된 성능이 요구되고 이는 열차신호장치 뿐만이 아니라 신호장치간의 통신링크에 대해서도 적용된다.

한편, 현재 국내의 철도현장에서 사용되고 있는 정보 전송방식들이 각 제조회사별, 각 노선별 서로 정보전송 방식이 서로 상이함으로 인해 통신시스템의 안전성 저하는 물론이고 유지보수에도 어려움이 있다. 즉, 철도에서 사용되는 신호장치간의 프로토콜은 제작사별 별도로 제작 및 설치하여 사고 또는 장치의 고장시 이의 규명 및 해결에 많은 시간과 비용이 소모되고 유지보수에도 어려움이 있다.

따라서 상기와 같이 열차신호체계에서 높은 신뢰성을 유지하고, 보수 유지에 있어서도 효율성을 확보하기 위해서는 철도 통신 장치들의 표준화가 절실히 요구된다. 이를 위해서는 우선적으로 다양한 신호운영 특성과 방식 - 어려움지 및 제어 방식, 흐름제어방식, ARQ 및 데이터링크제어 프로토콜, 등등 - 에 대한 성능분석이 행하여진 후^{(1),(2),(3)} 최선의 방식이 선정되어야 할 것이다.

이를 위하여 본 연구에서는 일차적으로 철도신호 장치간 인터페이스를 위한 데이터 링크제어의 성능분석을 위한 시뮬레이션 툴과 시뮬레이터 개발을 목표로 하여, Simulink 윈도우상의 데이터 링크제어 시스템 화면에서 GUI 블록을 통해 통신 파라미터들과 데이터 링크제어기법들을 선택하여 시뮬레이션을 행할 수 있는 시뮬레이션 툴을 개발하였고, Matlab이 제공하는 RS232통신용 API 기능을 이용하여 철도 신호장치간의 통신 프로토콜을 PC상에서 모사할 수 있는 프로토타입 시뮬레이터를 개발하였다.^{(5),(6)}

하여 그림1과 같이 Matlab/Simulink을 이용한 통신시스템을 설계하였다. 전체 시스템은 데이터 시그널링 방식 및 AWGN(Additive White Gaussian Noise)를 파라미터로 하여 비트에러율을 계산하는 BER 계산 시뮬링크 블록(BER Calculation), 비트에러율과 프레임 크기로부터 프레임 에러율을 계산하는 프레임 에러 계산 시뮬링크 블록(Frame Error Calculation), ARQ 방식들에 의거하여 데이터 레이트와 각종 채널 파라미터들로부터 링크의 사용효율을 구하는 ARQ와 Link Utilization 계산 시뮬링크 블록(ARQ and Link Utilization), 시뮬레이션 결과 디스플레이 및 분석을 위한 디스플레이 블록등으로 이루어져, 여러 파라미터 조건하에서 데이터 링크제어 성능을 시뮬레이션할 수 있도록 하였다. 본 시뮬레이션 툴에서 구현되는 ARQ방식은 Stop-And-Wait(SAW) ARQ, Go-Back-N(GBN) ARQ와 Selective-Reject(SR) ARQ로서, 각 방식에서 유도되는 링크 효율과 이와 관련된 식들을 보이면 식 (1)~(5)와 같고, 그림 1의 ARQ and Link Utilization Calculation 블록에서 계산되어진다.⁽¹⁾⁽²⁾

Stop-And-Wait(SAW)

$$\nu = \frac{1 - P_f}{1 + 2a} \tag{1}$$

Go-Back-N(GBN) ARQ

$$\nu = \begin{cases} \frac{1 - P_f}{1 + 2aP_f} & W \geq 2a + 1 \\ \frac{W(1 - P_f)}{(2a + 1)(1 - P_f + WP_f)} & W < 2a + 1 \end{cases} \tag{2}$$

Selective-Reject(SR) ARQ

$$\nu = \begin{cases} 1 & W \geq 2a + 1 \\ \frac{W(1 - P_f)}{2a + 1} & W < 2a + 1 \end{cases} \tag{3}$$

$$P_f = 1 - (1 - P_b)^{nf \times nb} \tag{4}$$

P_f : frame error probability
 nf : number of frames
 nb : number of bits per frame

2. 데이터 링크제어 성능분석

2.1 시뮬레이션 개요

통신시스템 데이터 링크제어 시뮬레이션을 행하기 위

$$a = \frac{\text{Propagation Time}}{\text{Transmission Time}} = \frac{d/V}{L/R} = \frac{Rd}{VL} = \frac{(R \times \frac{d}{V})}{L} \tag{5}$$

v : link utilization
 W : sliding window size
 R : bit rate
 L : frame length (total number of bits)
 D : link length
 V : bit propagation speed
 $(V \approx 3 \times 10^8 \text{ unguided transmission, air or space.})$
 $(V \approx 2 \times 10^8 \text{ optical fiber or copper})$

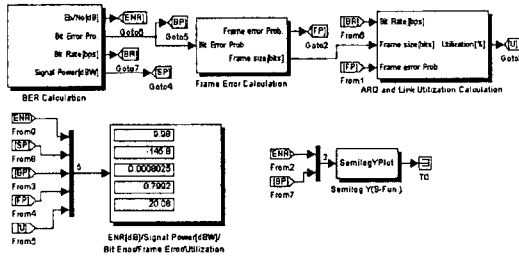
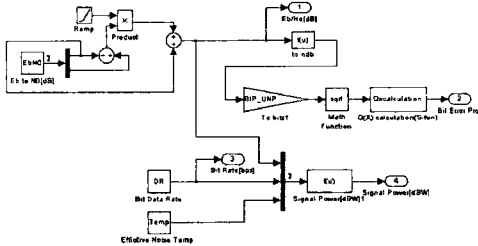
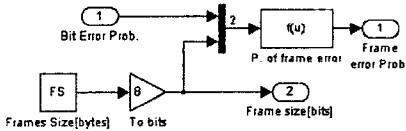


그림 1. 전체 시뮬레이션 블록

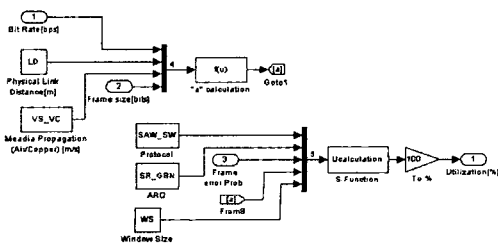
BER Calculation 내부블록



Frame Error Calculation 내부블록



ARQ and Link Utilization Calculation 내부블록

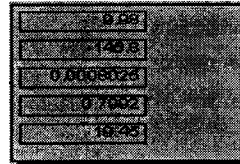


2.2 시뮬레이션 예

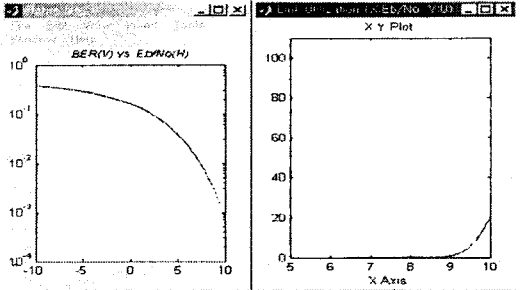
시뮬레이션툴의 유용성을 보이기 위하여 아래와 같은 시뮬레이션 조건하에서 베이스밴드(baseband) 데이터 전송시스템에 있어서 양극신호(bipolar/antipodal)와 단극신호(unipolar/orthogonal) 전송시 각각에 대한 특성을 비교하였다. 그림.2는 시뮬레이션 결과를 보이는 것으로 양극신호 데이터 엔코딩이 단극신호 엔코딩에 비해서 비트 에러 성능이 200배, 프레임 에러 성능이 100배, 링크 효율(link utilization)은 5배 증가됨을 알 수 있다.

시뮬레이션 조건

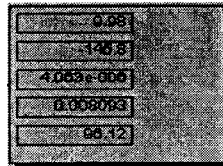
Physical Link Distance : 10 [Km]
 Effective noise temperature : 27 [°C]
 Media propagation speed(copper) : 2×10^8 [m/s]
 E_b/N_0 : -10 ~ 10 [dB]
 Data Bit Rate : 64000 [bps]
 Frame Size : 250 [bytes]
 ARQ : SAW



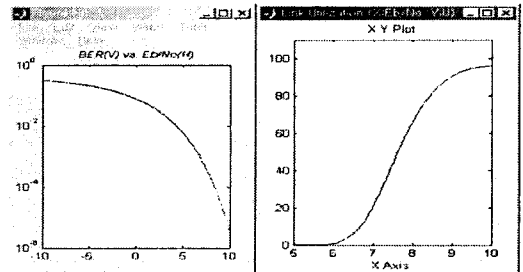
E_b/N_0 [dB]
 Signal Power [dBW]
 Bit Error Rate
 Frame Error Rate
 Link Utilization [%]



(Unipolar signalling)



E_b/N_0 [dB]
 Signal Power [dBW]
 Bit Error Rate
 Frame Error Rate
 Link Utilization [%]



(Bipolar signalling)

그림 2. E_b/N_0 변동에 따른 BER과 링크 효율(U)

3. LDTS-EIS 시뮬레이터

3.1 LDTS-EIS 개요

본 연구에서는 Matlab이 제공하는 RS232통신용 API 기능을 이용하여 철도 신호장치간의 통신 프로토콜을 PC상에서 모사할 수 있는 프로토타입 시뮬레이터를 개발하였다. 개발된 시뮬레이터는 철도신호장치들중 선로변 데이터 전송장치(LDTS : Local Data Transmission System)와 전자연동장치(EIS : Electronic Interlocking System)간의 통신을 PC상에서 모사하기 위한 것으로서, LDTS장치는 선로변의 신호기실에 설치되어지는 장치로서, CTC(Centralized Traffic Control)로부터의 제어명령을 전송받아 EIS로 전송하고, 반대로 EIS로부터 전송되는 상태정보 등을 CTC로 전송하는 역할을 수행하는 장치이다.

EIS는 LDTS로부터의 제어명령을 수신하여 선로전환기, 신호기 등 현장의 신호장치들에 제어명령을 전송하고 또한, 상태정보들을 LDTS로 전송하게 된다. LDTS와 EIS간의 두 장치 사이의 전송 프로토콜은 크게 다음과 같은 기준을 바탕으로 작성되었다.

- 전송 메시지 프레임의 시작 및 끝의 검출을 위한 필드를 사용한다.
- 전송도중의 에러에 의한 영향을 최소화하고, 또한 통신고장에서 회복 시에 정상적으로 시스템이 정상적으로 회복될 수 있도록 LDTS가 EIS의 전체적인 상태정보를 업데이트 할 수 있도록 메시지의 흐름제어를 한다.
- EIS에 어떠한 상태변화가 없어도, 주기적으로 EIS의 전체 상태정보를 LDTS로 전송하여 업데이트 하도록 한다.

LDTS와 EIS간의 두 장치 사이의 연결도와 전송 메시지 구조를 보면 다음과 같다.

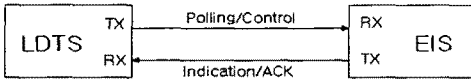


그림 3. LDTS와 EIS 연결

표1. 전송 메시지 구조

STX	DataLength	Sequence No.	MessageType	Data	CRC	ETX
1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	N byte	2 byte	1 byte

STX : start of frame, Data Length : message length from Sequence Number to ETX(Byte, maximum 255byte), Sequence Number : 0x00 ~ 0xFF, Message Type : transmitted message types, Data : variable according to information., CRC : CRC-16 : $X_{16} + X_{15} + X_2 + 1$, ETX : end of frame

3.2 Matlab 기반 시뮬레이터 설계

시뮬레이터는 Matlab의 RS232 통신을 지원하는 API 함수들을 이용하여 PC상에서 GUI 형태로 시리얼 통신 파라미터들의 설정(통신채널, 데이터레이트, 타임아웃 등), 전송 메시지 포맷 설정(시작/종료 문자, 전송 메시지형태, CRC에러검지코드 형태)등 필요한 통신 조건을 설정하고, 수신 메시지를 시간 순으로 저장하여 필요한 경우 그래프상에서 분석할 수 있도록 하였다. 통신

개시, 시뮬레이터가 EIS를 선택하여 통신개시 메시지를 선택된 EIS로 전송한 후, EIS가 승인 메시지를 시뮬레이터로 전송하면 상호간 메시지 전송이 이루어 지도록 하였다. 그림 4는 Matlab RS232 통신 함수와 GUI를 이용한 LDTS 시뮬레이터 모습을 보인다.

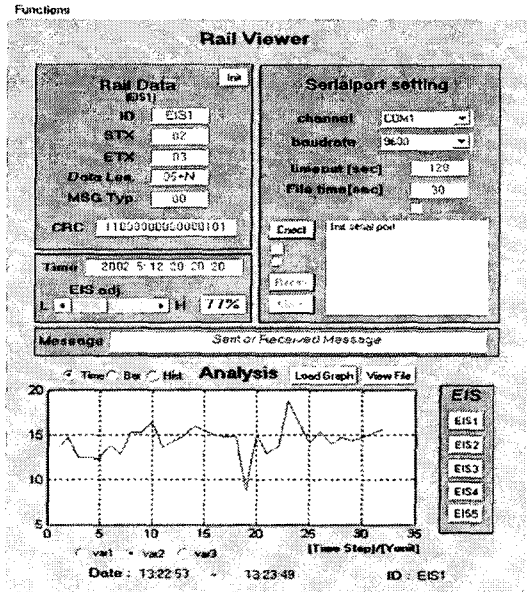


그림4. LDTS 시뮬레이터

4. 결과

본 연구에서는 철도신호 장치간 인터페이스를 위한 데이터 링크제어의 성능분석을 위한 시뮬레이션과 시뮬레이터 개발을 목표로 하여, Simulink 윈도우상의 데이터 링크제어 시스템 화면에서 GUI 블록을 통해 통신 파라미터들과 데이터 링크제어기법들을 선택하여 시뮬레이션을 행할 수 있는 시뮬레이션 툴을 개발하였고, Matlab이 제공하는 RS232통신용 API 기능을 이용하여 철도 신호장치간의 통신 프로토콜을 PC상에서 모사할 수 있는 프로토타입 시뮬레이터를 개발하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] Bernard Sklar, *Digital Communications*, 2nd ed., Prentice Hall, 2001.
- [2] William Stallings, *Data & Computer Communications*, 6th ed., Prentice Hall, 2000.
- [3] Gerard J. Holzmann, *Design and Validation of Computer Protocol*, Prentice Hall, 1991.
- [4] *Using Simulink Version3*, Math Works, 1999. 2.
- [5] 전기신호시스템 엔지니어링 기술개발, G7 1단계 최종보고서, 한국철도기술연구원, 1999.
- [6] 전기신호시스템 엔지니어링 기술개발, G7 연차보고서, 한국철도기술연구원, 1998.