

LDTs와 EIS간 메시지 전송 프로토콜에 대한 시뮬레이션

A Simulation for a Message Transmission Protocol between LDTs

황종규* 이재호** 강문호***
Hwang, Jong-Gyu Lee, Jae-Ho Kang, Moon-Ho

ABSTRACT

In this paper a simulation was done to verify performance of a message transmission protocol which interfaces LDTs(Local Data Transmission System) with EIS(Electronic Interlocking System). After a stage of analyzing link specifications between LDTs and EIS, transmission messages and messaging formats, simulation parameters were extracted, applied to the error control schemes such as ARQ, FEC, HARQ, and therefrom throughputs and various performance indices were analyzed. Simulation program was constructed with Matlab and Matlab GUI and then converted into a stand-alone c++ program to be used on any non-Matlab environments.

1. 서론

컴퓨터 하드웨어의 획기적인 발전에 따라 윈도우 기반 프로그래밍방법도 향상되어 이들에 기반을 둔 신뢰성 있는 시뮬레이션들이 개발되어 각종 산업분야에서 시스템 개발시 사전 검증용으로 사용되고 있다. 특히, 철도용 통신 시스템과 같이 신뢰성과 안정성이 절대적으로 요구되고 시스템 구축에 많은 시간과 비용이 수반되는 경우 구축이전에 안정성과 성능을 검증하여 시간적, 경제적 비용을 절감할 수 있는 사전 검증 장치가 필수적이다. 신뢰성 있는 시뮬레이션은 기존의 시스템 요소들에 대해 객관적인 검증 방식을 제공하는 한편, 향후에 제안되어 지는 방식들에 대한 비교분석을 통해 표준방식을 제공하는 효율적인 틀이 될 수 있다.

본 연구는 철도 선로변에 설치되는 LDTs(Local Data Transmission System)와 EIS(Electronic Interlocking System) 사이의 인터페이스를 위한 정보전송 프로토콜[1]에 대한 성능검증 시뮬레이션을 위한 것으로, LDTs와 EIS사이의 링크 사양, 전송 메시지 정보 및 형식, 장치간 전송 프로토콜 기준 등을 분석하여 파라미터들을 추출한 후, 이들을 ARQ(Automatic repeat request), FEC(Forward error correction), H-ARQ(Hybrid-ARQ) 방식들에 적용하여, 통신선로 잡음에 따른 메시지 에러율, 메시지 처리율(Throughput), 메시지당 평균 전송시간 등 여러 설계변수들에 대한 시뮬레이션을 행하고 결과를 비교하였다[2~7]

시뮬레이션 프로그램은 Matlab과 Matlab GUI 툴[7]을 이용하여 작성하여 사용자가 손쉽게 시뮬레이션 파라미터들을 조정할 수 있도록 하였고, Matlab 프로그램 완성후에는 이를 Stand-alone C++ 프로그램으로 코드변환하여 Matlab이 설치되지 않은 컴퓨터에서도 프로그램 사용이 가능하도록 하였다.

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

*** 선문대학교 기계및제어공학부 조교수, 비회원

2. LDTS-EIS 개요[1]

본 연구에서 개발된 프로그램은 철도신호장치들중 선로변 데이터 전송장치(LDTS : Local Data Transmission System)와 전자연동장치(EIS : Electronic Interlocking System)간의 통신 프로토콜을 시뮬레이션하기 위한 것으로서, LDTS장치는 선로변의 신호기기실에 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 연결도와 전송 메시지 구조를 보이면 각각 Fig.1, 표1, 표2와 같다.

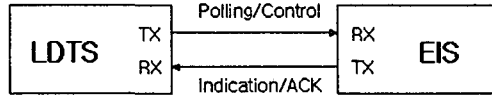


Fig.1 LDTS와 EIS

표1 전송 메시지I 구조

STX	Data Length	Sequence Number	Message Type	Data	CRC	ETX
1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	N byte	2 byte	1 byte

STX : start of frame, Data Length : Bytes of Data Field(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, 1Byte : 8Bits

표2 전송 메시지II 구조

Destination Type/ID	Source Type/ID	Message Type	Message Length	Data	BCC
1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	N byte	1 byte

Message Length : Bytes of Data Field, Message Type : transmitted message types, Data : variable according to information., Error detection : BCC, 1Byte : 9Bits

3. 프로토콜 시뮬레이션 프로그램

LDTS와 EIS사이의 정보전송 프로토콜에 대한 성능검증을 위해 Matlab GUI 함수들을 이용하여 프로그램을 작성하였다. 프로그램 수행을 위한 메인화면을 보이면 Fig.2와 같다. 메인 프로그램은 크게 신호형태별 비트에러율 계산, 임의의 메시지 구조를 가지는 프레임에 대한 에러검지 코드별 에러율 시뮬레이션, FEC 코드별 에러율 시뮬레이션, ARQ 시뮬레이션, HARQ 시뮬레이션등을 독립적으로 수행하거나 또는 상호 연계하여 수행할 수 있도록 구성하였다.

표 1과 2에 보이는 프레임 포맷을 근거로 하여 메시지 LDTS와 EIS사이의 링크 사양, 전송 메시지 정보 및 형식, 장치간 전송 프로토콜 기준 등을 분석하여 파라미터들을 추출한 후 상기 방식들을 적용하여 시뮬레이션을 하였고, 시뮬레이션에서 사용된 계산식들을 보이면 다음과 같다.[3~7]

(가정)

- AWGN : Additive White Gaussian Noise
- BSC : Binary Symmetric Channel
- 출력의 신호대 잡음비가 최대가 되도록 수신필터(Matched filter) 설계

비트에러확률

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{E_b(1-\rho)}{N_0}}\right) \quad (1)$$

$\rho = \cos \theta$, $\theta: s_1(t)$ 벡터와 $s_2(t)$ 벡터 사이각 E_b : signal bit energy N_0 : 밴드폭 1Hz당 잡음전력

메시지에러 발생 확률

P_b : 비트에러 확률, P_{bd} : 에러정정코딩시 비트에러 확률, P_c : 전송 메시지에 에러가 없는 확률,

P_d : 에러 검지 확률, P_{ud} : 에러 검지 못할 확률, P_{fe} : 에러검지 코드의 메시지 에러 발생확률

P_{fe}' : 에러정정 코드의 메시지에러 발생확률, t : 에러정정 비트수, k : 정보비트수, n : 코드비트수

(에러검지 코드)

$$P_c + P_d + P_{ud} = 1 \quad (2)$$

$$P_c = (1 - P_b)^n, \quad P_{ud} \leq 2^{-(n-k)} [1 + (1 - 2P_b)^n - 2(1 - P_b)^n] \quad (\text{CRC16, CRC32코드}) \quad (3)$$

$$P_c = (1 - P_b)^{lm}$$

$$P_{ud} = 2^{-(l+m-1)} \left\{ \sum_{i=0}^{m-1} \binom{m-1}{i} [(1-2P_b)^i + (1-2P_b)^{m-i}]^l - 2^{l+m-1} (1-P_b)^{lm} \right\} \quad (4)$$

(Product(BCC) 코드, l : 전체 코드블록의 행수, m : 전체 코드블록의 열수)

$$P_{fe} = \frac{P_{ud}}{P_c + P_{ud}} = \frac{P_{ud}}{1 - P_d} \quad (5)$$

(에러정정 코드)

$$P_c = \sum_{i=0}^t \binom{n}{i} P_b^i (1 - P_b)^{n-i} \quad (6)$$

$$P_{fe}' \leq \sum_{i=t+1}^n \binom{n}{i} P_b^i (1 - P_b)^{n-i} \quad (7)$$

$$P_{bd} \approx \frac{1}{n} \sum_{i=t+1}^n i \binom{n}{i} P_b^i (1 - P_b)^{n-i} \quad (8)$$

처리율(Throughput)

k : 정보비트수, n : 코드비트수, R_S : 심볼 레이트, $T_D = T_m + 2T_d + T_c + T_a$, $T_m = n/R_S$

T_d : Propagation delay(채널길이(L)/비트전파속도(V))

T_c : 수신기가 블록을 디코딩하는데 걸리는 시간, T_a : ACK/NAK 메시지 전송시 걸리는 시간

$T_{dca} = 2T_d + T_c + T_a = n'/R_S$

P_d : 에러 검지코드의 에러 검지 확률, P_{fe}' : 에러정정코드의 메시지 에러 발생확률

(SW ARQ)

$$\eta_{SW} = \frac{k}{(T_D N_{AVG}) R_S} = \frac{k}{T_D R_S} (1 - P_d) = \frac{\frac{k}{n} (1 - P_d)}{1 + n'/n} \quad (9)$$

(SW HARQ)

$$\eta_{SWH} = \frac{\frac{k}{n}(1 - P_{fe}'P_d)}{1 + n'/n} \quad (10)$$

N_{AVG} : 메시지 한개를 싱크하기 위해 필요한 평균전송횟수

$T_{AVG} = T_D N_{AVG}$: 메시지 한개를 싱크하기 위해 소요되는 평균전송시간

(GBN ARQ)

$$T_{AVG} = \frac{n + n'P_d}{R_S(1 - P_d)} \quad (11)$$

$$\eta_{GBN} = \frac{k}{T_{AVG}R_S} = \frac{(k/n)(1 - P_d)}{1 + (n'/n)P_d} \quad (12)$$

(GBN HARQ)

$$\eta_{GBNH} = \frac{k}{T_{AVG}R_S} = \frac{(k/n)(1 - P_{fe}'P_d)}{1 + (n'/n)P_{fe}'P_d} \quad (13)$$

T_{AVG} : 한개의 메시지를 싱크하기 위해 소요되는 평균 전송시간

(SR ARQ)

$$T_{AVG} = \frac{n}{R_S(1 - P_d)} \quad (14)$$

$$\eta_{SR} = \frac{k}{T_{AVG}R_S} = \frac{k}{n}(1 - P_d) \quad (15)$$

(SR HARQ)

$$\eta_{SRH} = \frac{k}{T_{AVG}R_S} = \frac{k}{n}(1 - P_{fe}'P_d) \quad (16)$$

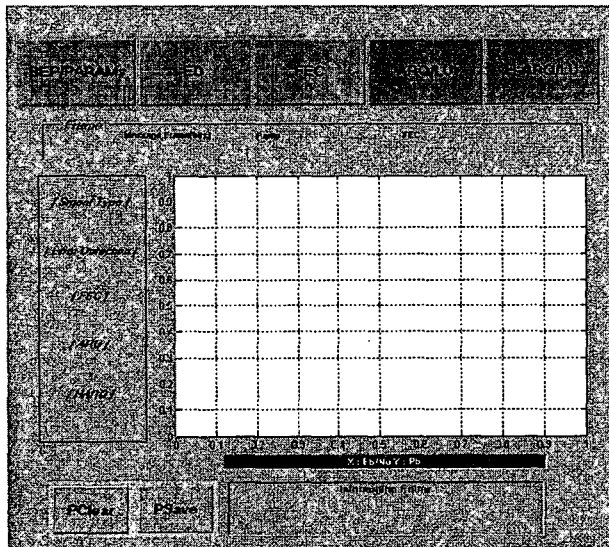


Fig.2 시뮬레이션 프로그램 메인화면

4 시뮬레이션 결과 및 분석

전송메시지 I과 II에 대한 시뮬레이션 결과를 보이면 Fig.3 ~Fig. 10과 같다. 전체적으로 볼 때, 전송메시지 I이 전송메시지 II에 비해 처리율, 전송시간, 프레임 에러율등 모든 측면에서 우수한 특성을 보임을 알 수 있다. 전송 데이터량이 커질수록 전송메시지 I이 전송메시지 II에 비해 SW-ARQ에 의한 처리율이 크게 향상됨을 알 수 있고, 각 메시지 타입에 동일하게 SR-ARQ가 SW-ARQ에 비해서는 약 50% 높고, GBN-ARQ에 대해서는 수렴치 값은 비슷하나 전체적으로 Eb/No에 대한 SR-ARQ 특성이 GBN-ARQ에 비해 더 양호함을 확인하였다. 또한, 처리율이 수렴될 때의 Eb/No 값이 ARQ 방식에 비해 HARQ 방식이 약 50% 감소되어 HARQ 방식에 의해 기존의 ARQ 처리율 성능이 개선됨을 확인하였다. 프레임 에러율에 대해서는 각 메시지 타입에 동일하게 데이터량이 많을 수록 증가하지만 전체적으로 전송메시지 I이 전송메시지 II에 비해 약간 우수한 특성을 보인다. 전송메시지 I, II에 대한 시뮬레이션 결과를 요약하면 표 5와 같다.

4.1 전송 메시지 I에 대한 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 표 3과 같은 조건에서 행하였다.

표3 전송메시지 I에 대한 시뮬레이션 조건

Eb/No [dB]	-10 ~20 [dB]
Signal Type	Bipolar
프레임 [Bytes ... Bytes]	[1(stx) 1 1 1 5 2(crc16) 1(etx)] [1(stx) 1 1 1 50 2(crc16) 1(etx)] [1(stx) 1 1 1 100 2(crc16) 1(etx)]
바이트당 비트수	8
Rs[bps], L[m], Tca[ms]	9600, 10, 10

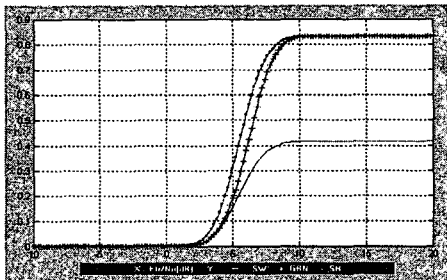


Fig.3 ARQ방식별 처리율Fig.

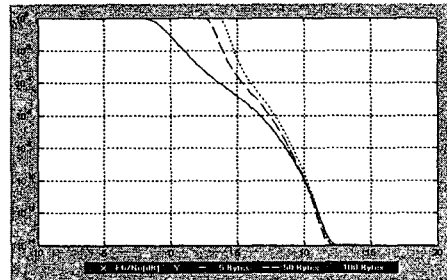


Fig. 4 데이터 바이트수를 5-> 50 ->100바이트로 증가시킨 경우 프레임 에러율

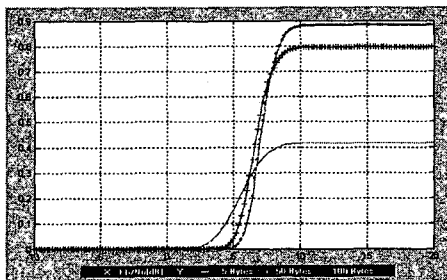


Fig.5 데이터 바이트수를 5-> 50 ->100 바이트로 증가시킨 경우 SW-ARQ 처리율

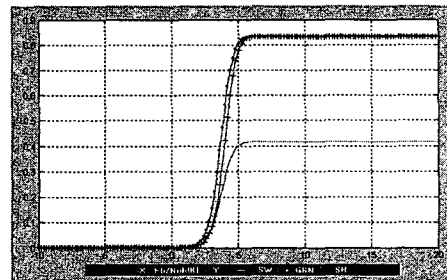


Fig.6 BCH(255 215 5)코드 사용시 HARQ 처리율

4.2 전송 메시지 II에 대한 시뮬레이션 결과
 시뮬레이션은 표 4와 같은 조건에서 행하였다.

표4. 전송메시지 II에 대한 시뮬레이션 조건

Eb/No [dB]	-10 ~ 20 [dB]
Signal Type	Bipolar
프레임 [Bytes ... Bytes]	[1 1 1 1 5 1(bcc) [1 1 1 1 50 1(bcc) [1 1 1 1 100 1(bcc)
바이트당 비트수	9
Rs[bps], L[m], Tca[ms]	9600, 10, 10

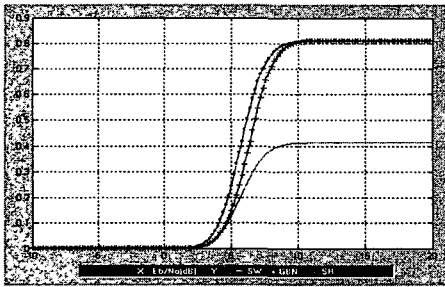


Fig. 7 ARQ방식별 처리율

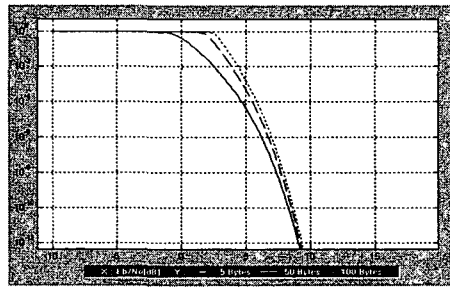


Fig.8 데이터 바이트수를 5-> 50 ->100바이트로 증가시킨 경우 프레임 에러율

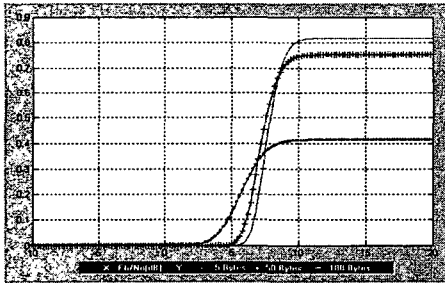


Fig.9 데이터 바이트수를 5-> 50 ->100 바이트로 증가시킨 경우 SW-ARQ 처리율

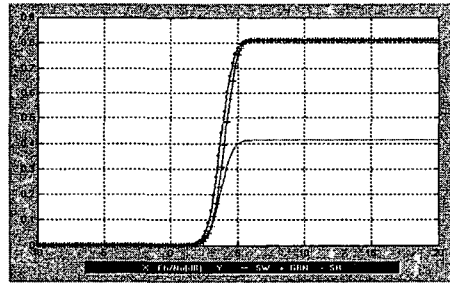


Fig.10 BCH(255 215 5)코드 사용시 HARQ 처리율

5. 결론

본 연구는 철도 선로변에 설치되는 LDTS-EIS 사이의 정보전송 프로토콜에 대한 성능검증 시뮬레이션을 위하여 Matlab GUI 함수를 이용한 프로그램을 작성하였다. 시뮬레이션을 위해 LDTS와 EIS사이의 링크 사양, 전송 메시지 정보 및 형식, 장치간 전송 프로토콜 기준 등을 분석하여 파라미터들을 추출한 후, 이들을 ARQ, FEC, Type1 HARQ 방식들에 적용하여, 통신선로 Eb/No[dB]에 따른 메시지 처리율, 메시지당 평균 전송시간 등 설계 변수들에 대한 시뮬레이션을 행하고 각각에 대한 성능을 비교하였다.

표5. 시뮬레이션 결과 요약

	전송메시지 I	전송메시지 II
처리율(ARQ) (Eb/No : 20[dB])	SW : 0.42 (Data 5Bytes) SW : 0.8 (Data 50Bytes) SW : 0.88 (Data 100Bytes) GBN : 0.84 (Data 5Bytes) SR : 0.84 (Data 5Bytes) -Eb/No 10dB 지점에서 포화 -바이트수가 증가함에 따라 증가	SW : 0.42 (Data 5Bytes) SW : 0.75 (Data 50Bytes) SW : 0.82 (Data 100Bytes) GBN : 0.82(Data 5Bytes) SR : 0.82(Data 5Bytes) -Eb/No 10dB 지점에서 포화 -바이트수가 증가함에 따라 증가
처리율(HARQ) (Data 5Bytes) (Eb/No : 20[dB])	SW : 0.42 GBN : 0.84 SR : 0.84 -Eb/No 5dB 지점에서 포화	SW : 0.42 GBN : 0.82 SR : 0.82 -Eb/No 5dB 지점에서 포화
평균 한프레임 전송시간 (Data 5Bytes) (Eb/No : 20[dB])	SW : 20[ms] GBN : 10[ms] SR : 10[ms]	SW : 20.5[ms] GBN : 10.5[ms] SR : 10.5[ms]
프레임 에러율 (Eb/No : 5[dB]) (Data : 5->50-> 100 Bytes)	약 $10^{-5} \sim 10^{-3}$ -바이트수가 증가하면 에러율도 증가 Eb/No가 5[dB] 이하로 잡음이 증가할수록 전송메시지 I의 특성이 전송메시지 II에 비해 더욱 양호해짐	약 $10^{-4} \sim 10^{-3}$ -바이트수가 증가하면 에러율도 증가

참고문헌

1. 전기신호시스템 엔지니어링 기술개발, G7 1단계 최종보고서, 한국철도기술연구원, 1999.
2. Bernard Sklar, *Digital Communications Fundamental and Applications*, 2ed., Prentice Hall, 2001.
3. Rodger E. Ziemer and Godger L. Peterson, *Introduction to Digital Communication*, 2ed., Prentice Hall, 2001.
4. S.Lin and D.J.Costello,Jr., *Error control coding : Fundamentals and applications*, Engilwood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, 1983)
5. T.Kasami, T.Klove, and S.Lin, "Error detection with linear block codes", *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-29, pp. 131-136, Jan. 1983.
6. S.Lin, D.J.Costello,Jr., and M.J.Miller, "Automatic repeat request error control schemes", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 22, pp. 5-17, Dec. 1984.
7. Robert H. Deng, and Michael L. Lin, "A Type I Hybrid ARQ System With Adaptive Code Rates", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 43, no. 2/3/4, pp. 733- 737, 1995.
8. *Using Matlab Version 6*, Math Works, 2000. 2.