

GUI 기반 철도용 통신장치간 프로토콜 시뮬레이션

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

A GUI-Based Simulation for a Protocol between Railroad Communication Devices

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

**Abstract** - 본 연구는 철도 선로변에 설치되는 LDTS(Local Data Transmission System)와 EIS(Electronic Interlocking System) 사이의 인터페이스를 위한 정보전송 프로토콜에 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, FEC, HARQ 방식들에 적용하여 처리율(Throughput) 및 여러 설계변수들에 대한 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 시뮬레이션 프로그램은 Matlab과 Matlab GUI 툴을 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.

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 다음과 같다.

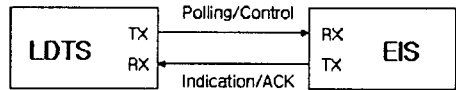


그림 1. LDTS와 EIS

1. 서 론

컴퓨터 하드웨어의 획기적인 발전에 따라 윈도우 기반 프로그래밍기법도 향상되어 이들에 기반을 둔 신뢰성 있는 시뮬레이션 툴들이 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 제안되어지는 방식들에 대한 비교분석을 통해 표준방식을 제공하는 효율적인 툴이 될 수 있다.

본 연구는 철도 선로변에 설치되는 LDTS(Local Data Transmission System)와 EIS(Electronic Interlocking System) 사이의 인터페이스를 위한 정보전송 프로토콜<sup>(1)</sup>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.<sup>(2-7)</sup>

시뮬레이션 프로그램은 Matlab과 Matlab GUI 툴<sup>(8)</sup>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.

2. LDTS-EIS 개요<sup>(1)</sup>

본 연구에서 개발된 프로그램은 철도신호장치들중 선로변 데이터 전송장치(LDTS : Local Data Transmission System)와 전자연동장치(EIS : Electronic Interlocking System)간의 통신 프로토콜을 시뮬레이션 하기 위한 것으로서, LDTS장치는 선로변의 신호기시설에

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 : X16 + X15 + X2 + 1, ETX : end of frame

3. 통신시스템 모델

3.1 잡음<sup>(2)</sup>

열잡음은 모든 통신 시스템에 존재하고 대부분의 시스템에서 가장 현저하게 나타난다. 열잡음의 일차적인 특징은 전력 스펙트럼 밀도가 대부분의 통신시스템에 있어서 관심대상이 되는 주파수 영역에 대해 일정하다는 것으로, 모든 주파수대역에서(dc ~ 약 10<sup>12</sup> Hz) 단위 대역폭당 동일한 잡음전력을 발생한다. 이 경우, 잡음전력이 모든 주파수 대역에 대해서 일정한 스펙트럼 밀도를 가지므로 백색광의 특성과의 유사성을 들어 이러한 특성을 가지는 잡음을 백색잡음(White Noise)이라고 부른다. 열잡음은 식(1)과 같이 평균값이 '0'인 가우시언(Gaussian) 확률 분포를 가지는 랜덤 프로세스로 표현되고 잡음의 크기는 확률적으로 결정된다.(Gaussian Noise). 가우시언 분포가 시스템의 잡음모델로 사용되는 이유는 시스템에 인가되는 개별적인 잡음 분포가 어떤 형태를 갖는가와 무관하게, 개별잡음들의 종류가 증가될수록 개별잡음들의 총합에 대한 분포가 가우시언 분포에 접근하기 때문이다.

$$p(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{n}{\sigma}\right)^2\right] \quad (1)$$

$\sigma$  : 잡음표준편차,  $n$  : 잡음크기 ( $\sigma^2 = \overline{n(t)^2}$ )

### 3.2 비트에러 확률(2),(3)

열잡음(AWGN)이 존재하는 통신시스템의 2진 데이터 수신부의 간략모델을 보이면 그림 2와 같다.

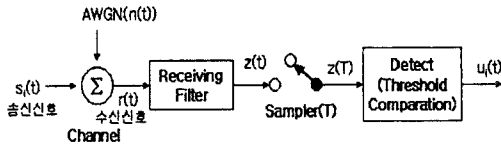


그림2. 수신부 간략도.

$$s_i(t) = \begin{cases} s_1(t) & 0 \leq t \leq T \text{ for } 1 \\ s_2(t) & 0 \leq t \leq T \text{ for } 0 \end{cases} \quad (2)$$

$$z(T) = a_i(T) + n_0(T) \quad i = 1, 2 \quad (3)$$

식(1)~(3)으로부터 비트에러 확률은 다음과 같다.

$$P_b = Q\left(\frac{a_1 - a_2}{2\sigma_0}\right) \quad (4)$$

Q : 누적 표준 정규분포

출력의 신호대 잡음비가 최대가 되도록 수신필터(Matched filter)가 설계되어 있는 경우, 비트에러 확률은 식(4)로부터 다음과 같이 결정된다.

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{E_b(1-\rho)}{N_0}}\right) \quad (5)$$

$\rho = \cos \theta$ ,  $\theta$ :  $s_1(t)$  벡터와  $s_2(t)$  벡터 사이각

$E_b$  : signal bit energy  $N_0$  : 밴드폭 1Hz당 잡음전력

수신필터가 없는 경우에는 비트에러 확률은 식(6)과 같이 평균 신호전력대 잡음전력에 의해 결정된다.

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{S(1-\rho)}{2N}}\right) \quad (6)$$

S : 평균 신호전력  $N (= \sigma^2)$  : 잡음전력

### 4. Matlab GUI 기반 시뮬레이션 프로그램

LDS와 EIS사이의 정보전송 프로토콜에 대한 성능검증을 위해 Matlab GUI 함수들을 이용하여 프로그램을 작성하였다. 프로그램 수행을 위한 메인화면을 보이면 그림 3과 같다. 메인 프로그램은 에러제어기법시뮬레이션, ARQ 시뮬레이션, HARQ 시뮬레이션, 데모 시뮬레이션등으로 구성되어진다. 그림 4는 주화면에서 데모 시뮬레이션 버튼을 누르는 경우 발생되는 하위 프로그램모듈 화면으로, 화면상에서 임의로 설정되는 메시지프레임에 대해서 ARQ, FEC, HARQ 시뮬레이션을 행할 수 있도록 작성되었다.

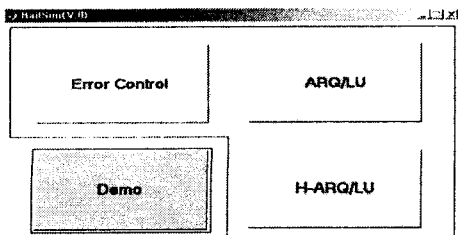


그림3. 프로그램 메인화면

ARQ/FEC/HARQ

### Approximated ARQ/FEC/HARQ Simulation

SDS	Len	Seq	Type	Data	EQ	DRC	ETK
1	1	1	1	1	1	2	1

(Bytes)

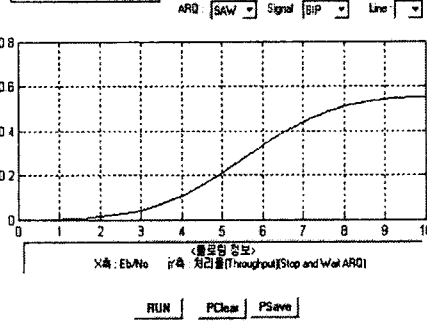


그림4. ARQ, FEC, HARQ 시뮬레이션 모듈 화면

시뮬레이션을 위해 LDS와 EIS사이의 링크 사양, 전송 메시지 정보 및 형식, 장치간 전송 프로토콜 기준 등을 분석하여 파라미터들을 추출한 후, 이들을 ARQ, FEC, HARQ(Type1) 방식들에 적용하여, 통신신호 잡음에 따른 메시지 에러율, 메시지 처리율(Throughput), 메시지당 평균 전송시간 등 여러 설계면수들에 대한 시뮬레이션을 행하고 결과를 비교하였다. 시뮬레이션에서 사용된 계산식들을 보이면 다음과 같다.<sup>(3)-(7)</sup>

#### 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 메시지를 전송하는데 걸리는 시간

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

$P_{de}$  : 에러 검지코드의 에러 검지 확률

$P_{fe}'$  : 에러정정코드의 메시지 에러 발생확률

(SW ARQ)

$$\eta_{SW} = \frac{k}{(T_D N_R) R_S} = \frac{k}{T_D R_S} (1 - P_{de}) = \frac{k(1 - P_{de})}{1 + n'/n} \quad (7)$$

(SW HARQ)

$$\eta_{SWH} = \frac{k(1 - P_{fe}' P_{de})}{1 + n'/n} \quad (8)$$

$N_r$  : 메시지 한계를 싱크하기 위해 필요한 평균전송횟수

$T_D N_r$  : 메시지 한계를 싱크하기 위해 소요되는 평균전송시간

(GBN ARQ)

$$T_{AVG} = \frac{n + n' P_{de}}{R_S (1 - P_{de})} \quad (9)$$

$$\eta_{GBN} = \frac{k}{T_{AVG}R_S} = \frac{(k/n)(1-P_{de})}{1+(n'/n)P_{de}} \quad (10)$$

(GBN HARQ)

$$\eta_{GBNH} = \frac{k}{T_{AVG}R_S} = \frac{(k/n)(1-P_{fe}'P_{de})}{1+(n'/n)P_{fe}'P_{de}} \quad (11)$$

$T_{AVG}$  : 한개의 메시지를 싱크하기 위해 소요되는 평균 전송시간  
(SR ARQ)

$$T_{AVG} = \frac{n}{R_S(1-P_{de})} \quad (12)$$

$$\eta_{SR} = \frac{k}{T_{AVG}R_S} = \frac{k}{n}(1-P_{de}) \quad (13)$$

(SR HARQ)

$$\eta_{SRH} = \frac{k}{T_{AVG}R_S} = \frac{k}{n}(1-P_{fe}'P_{de}) \quad (14)$$

### 메시지에러 발생 확률

- $\epsilon$  : BSC의 비트에러 확률
- $P_c$  : 전송 메시지에 에러가 없는 확률
- $P_{de}$  : 에러 검지 확률,  $P_{ud}$  : 에러 검지하지 못할 확률
- $P_{fe}$  : 에러검지 코드의 메시지 에러 발생확률
- $P_{fe}'$  : 에러정정 코드의 메시지 에러 발생확률
- $t$  : 에러정정 비트수
- $p(\epsilon)$  : 메시지 비트에러율

(에러검지 코드)

$$P_c + P_{de} + P_{ud} = 1 \quad (15)$$

$$P_c(\epsilon) = (1-\epsilon)^n \quad (16)$$

$$P_{ud}(\epsilon) \leq 2^{-(n-t)}[1+(1-2\epsilon)^n-2(1-\epsilon)^n] \quad (17)$$

$$P_{fe} = \frac{P_{ud}}{P_c + P_{ud}} = \frac{P_{ud}}{1-P_{de}} \quad (18)$$

(에러정정 코드)

$$P_c(\epsilon) = \sum_{i=0}^n \binom{n}{i} \epsilon^i (1-\epsilon)^{n-i} \quad (19)$$

$$P_{fe}' \leq \sum_{i=t+1}^n \binom{n}{i} \epsilon^i (1-\epsilon)^{n-i} \quad (20)$$

$$p(\epsilon) \approx \frac{1}{n} \sum_{i=t+1}^n i \binom{n}{i} \epsilon^i (1-\epsilon)^{n-i} \quad (21)$$

### 5. 시뮬레이션 및 결과

시뮬레이션은 그림4의 프로그램 모듈을 이용하여 수행하였다. 시뮬레이션 조건은 LDTS-EIS간 전송 메시지 포맷을 고려하여 Len에서 Data까지를 각각 1바이트로하여 총 정보비트수를 32비트로 설정하고, 에러검지 CRC는 2바이트, 에러정정 BCH 코드는 (63 57 1)로 선정하여, ARQ와 HARQ에따른 처리율과 ARQ 방식별 1메시지당 평균 전송시간을 비교하였다. L=1[m], 지연시간( $T_{ca}$ )은 10[ms], 신호형태는 바이폴라,  $R_s$ 는 9600[bps]로 설정하였다. 시뮬레이션 결과 그림5에서 보이는바와 같이 처리율은 Eb/No 이 0[dB]가 되는 부근부터 차이가 생겨 약 10[dB]부근 부터는 포화됨을 알 수 있고 전체적으로 Hybrid SRARQ가 가장 뛰어난함을 알 수 있다. 동일한 조건에서 ARQ별 평균 메시지 전송시간 결과(그림6)를 보면

Eb/No 이 6[dB]이 되는 부근에서 SRARQ의 경우 약 8[ms], GBNARQ의 경우 약 15[ms], SWARQ의 경우 약 25[ms]가 소요되고 이후 Eb/No 가 증가됨에 따라 각각 5[ms], 15[ms], 15[ms]로 수렴함을 알 수 있다.

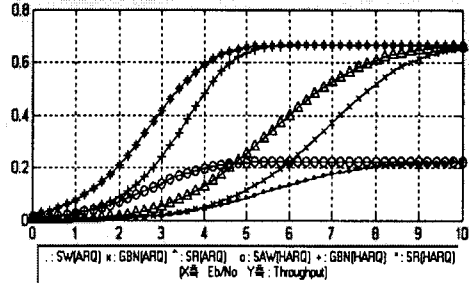


그림5. ARQ와 HARQ에 의한 처리율

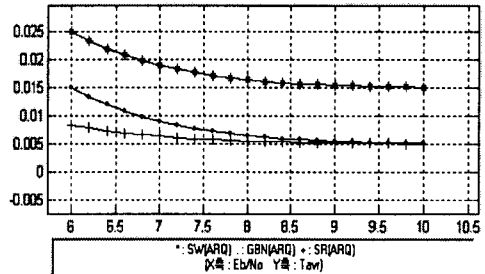


그림6. ARQ별 평균 메시지 전송시간

### 6. 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, Type I HARQ 방식들에 적용하여, 통신선로 Eb/No[dB]에 따른 메시지 처리율, 메시지당 평균 전송시간 등 설계변수들에 대한 시뮬레이션을 행하고 각각에 대한 성능을 비교하였다.

#### [참고 문헌]

- [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.