

실험 모델을 이용한 Foundation Fieldbus의 데이터링크계층의 성능평가

손 병 관, 홍 승 호
한양대학교 전기전자제어계측공학과
전화 : 031-400-4084 / 핸드폰 : 019-9722-9325

Experimental Performance Analysis of the Data Link Layer of Foundation Fieldbus

Byung Kwan Son, Seung Ho Hong
Dept. of Electronic, Electrical, Control and Instrumentation Engineering
Hanyang University
E-mail : nadason@hanmir.com

Abstract

The data link layer (DLL) of Foundation Fieldbus (FF) includes both token-passing and scheduling services. Periodic data are transmitted via the scheduling service, while time-critical and time-available data are transmitted via the token-passing service. This study developed a network interface board that implements the DLL of FF. Using the network interface board, this study experimentally evaluates the delay performance of the DLL of FF. This study measured the delay performance with respect to the change of the DLL parameters of FF, and investigated the relationship between the DLL parameters and network performance. The study also compared the experimental results with the results obtained from an analytical model.

지연 시간의 한계치를 초과하게 되어 시스템에 악영향을 미치게 된다. 데이터가 주어진 시간 이내에 전송이 완료되어 자동화 통신망의 성능 요구사항을 만족시키기 위해서는 통신망 관련 인자(parameter)를 적절히 선정하여 실시간 데이터 전송의 요구사항을 만족시키는 것이 중요하다.[1]

본 논문에서는 산발적으로 발생하는 실시간 및 비실시간 데이터로 구성되는 FF에서 두 가지 우선순위의 데이터에 대해 DLL 파라미터들을 변경하여 이들 파라미터변화에 따른 데이터 전송 지연 시간 특성을 분석하였다. 이를 통해 네트워크 파라미터들의 설정이 각 우선 순위 데이터의 전송 지연 시간에 미치는 영향의 정도를 정확하게 파악할 수 있다. 이에대한 타당성은 데이터링크 계층의 수학적 모델을 세우고 그것을 실험 모델을 통하여 검증하였다.

I. 서론

FF(Foundation Fieldbus)를 통하여 메시지를 주고받는 자동화 장비들은 크게 산발적 실시간, 주기적 실시간, 비실시간의 3가지 종류의 데이터가 하나의 네트워크 미디엄을 공유하게 된다. 따라서 이들 데이터의 트래픽을 제대로 관리하지 못하게 되면 실시간 메시지의

II. FF 데이터링크 계층

FF[2]의 데이터 링크 계층(DLL)에서는 데이터 전송을 위해서 토큰-패싱과 스케줄링의 두 가지 방법을 제공한다. 토큰-패싱은 LAS(Link Active Scheduler)가 토큰을 정해진 순서에 따라서 일반 노드에 전송하고 토큰을 수

신한 노드는 전송할 데이터가 있으면 데이터를 전송을 한 후 토큰을 LAS에 반납하는 방법이고, 스케줄링은 미리 스케줄된 시간에 스케줄된 노드에 토큰을 전송하여 데이터를 전송할 수 있도록 하는 방법이다. 본 논문에서 데이터 전송방법으로 토큰-패싱만을 고려하였다. FF의 토큰-패싱에서는 urgent, normal, time available의 세 종류의 우선순위 데이터 전송을 지원한다.

토큰-패싱의 경우 노드가 토큰을 수신하면 토큰의 우선순위보다 같거나 높은 우선순위를 갖는 데이터가 있는지 확인하고, 데이터가 존재하면 우선순위가 높은 데이터부터 전송한다. 이때 각 노드는 토큰에 표시된 데이터 전송 허용량(byte)을 나타내는 인자인 PT-duration을 넘지 않는 범위 내에서 데이터를 전송하게 된다. 토큰이 모든 노드를 방문하고 LAS 노드로 다시 돌아오면 미리 설정된 TTRT (Target Token Rotation Time)와 실제 token rotation time인 ATRT(Actual Token Rotation Time)를 비교해서 TTRT보다 ATRT가 크면 토큰의 우선순위를 하나 증가시키고 작거나 같으면 토큰의 우선순위를 감소시킨다. 토큰의 우선순위가 결정되면 정해진 순서에 따라 다시 토큰을 전송한다.

III. FF의 성능해석을 위한 수학적 모델

본 논문에서는 스케줄링에 의한 데이터 전송을 고려하지 않았기 때문에 urgent(산발적 실시간 데이터)와 time available(비실시간 데이터)의 두 종류의 데이터만이 토큰-패싱으로 전송되는 것으로 가정한다. 각 노드는 urgent 데이터(우선순위 0), time available 데이터(우선순위 1)의 두 가지 데이터 전송큐를 갖는다. 전송 지연시간은 데이터가 전송큐에 도착한 시간부터 전송이 완료된 시간까지이다. 참고문헌[3]에서는 토큰이 모든 노드를 방문하는데 걸리는 시간인 Actual Token Rotation Time(ATRT)의 분포를 구한 뒤 ATRT의 Residual time의 확률 분포를 구하여 전송큐의 끝단에 도착한 데이터가 토큰을 수신할 때까지의 시간 즉 전송 지연시간의 확률 분포를 구하고, 이를 바탕으로 urgent 데이터의 평균 지연시간을 수학적으로 구하는 방법을 제시하였다. 논문 [3]은 다음과 같은 가정 하에서 수행되었다.

- ATRT의 확률분포는 iid(independent and identical distribution)이다.
- 데이터의 도착은 포아송 분포(Poisson Distribution)를 따른다
- 데이터의 길이는 우선순위별로 일정하다.
- 토큰의 PT-duration은 우선순위별로 하나의 데이터만 전송할 수 있도록 설정한다.

다음은 논문[3]에서 사용되는 기호들이다.

- N_0 : urgent 데이터를 생성하는 노드의 개수
 - N_1 : time available 데이터를 생성하는 노드의 개수
 - L_0 : urgent 데이터를 전송하는데 걸리는 시간
 - L_1 : time available 데이터를 전송하는데 걸리는 시간
 - R : 토큰이 모든 노드를 방문하는데 걸리는 시간 (데이터의 전송이 없는 경우)
 - λ_0 : urgent 데이터 전송큐의 단위시간당 데이터의 평균 도착 빈도(ms^{-1})
 - λ_1 : time available 데이터 전송큐의 단위시간당 데이터의 평균 도착 빈도(ms^{-1})
 - ρ_{ij} : 우선순위 j인 토큰이 도착했을 때 우선순위 i인 데이터가 존재할 확률
 - P_i : 토큰의 우선순위가 i가 될 확률
 - μ_i : 토큰의 우선순위가 i일때 ATRT가 TTRT보다 작을 확률
 - ρ_{nm} : 토큰의 순환시간동안 전송큐의 길이가 n에서 m으로 변화될 확률
- [3]에서 FF의 urgent 데이터에 대한 평균 전송 지연시간은 다음과 같다.

$$d = \sum_{i=1}^{\infty} p_i \int_0^{\infty} t q_i(t) dt + L_0 \quad (1)$$

여기서

$$p_n = p_0 \cdot p_{0n} + \sum_{m=1}^{n+1} p_m \cdot p_{nm} \quad (2)$$

$$p_{nm} = \int_{t=0}^{\infty} e^{-\lambda_0 t} \frac{(\lambda_0 t)^{n-m+1} \cdot T(t)}{(n-m+1)!} dt \quad m > 0$$

$$p_{nm} = \int_{t=0}^{\infty} e^{-\lambda_0 t} \frac{(\lambda_0 t)^n \cdot T(t)}{n!} dt \quad m = 0$$

$$q_i(t) = T(t) * \dots * T(t) * r(t) \quad (3)$$

└── (i-1) ─┘

(3)식에서 *는 convolution 연산을 말한다. (4)

식(3)에서 ATRT의 확률분포인 T(t)는 다음과 같다.

$$T(t) = PT_0 \sum_{i=0}^{N_0} \binom{N_0}{i} \rho_{i0}^{i-1} (1-\rho_{00})^{N_0-i} \delta(t-iL_0-R) + PT_1 \sum_{i=0}^{N_0} \sum_{j=0}^{N_1} \binom{N_0}{i} \rho_{i0}^{i-1} (1-\rho_{10})^{N_0-i} \binom{N_1}{j} \rho_{j1}^{j-1} (1-\rho_{11})^{N_1-j} \delta(t-iL_0-jL_1-R) \quad (5)$$

여기서

$$PT_1 = \frac{\mu_0}{1 + \mu_0 - \mu_1}, \quad PT_0 = \frac{1 - \mu_1}{1 - \mu_1 + \mu_0} \quad (6)$$

식(3)에서 $r(t)$ 는 전송큐 끝단에 도착한 데이터가 토큰을 수신할 때까지의 시간이며 ATRT의 확률 분포의 Residual Time[4]으로 구할 수 있다. $r(t)$ 를 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$r(t) = \frac{1}{T} \left(1 - P_0 \sum_{i=0}^{N_0} \rho_{00}^i (1 - \rho_{00})^{N_0 - i} U(t - R - iL_0) - P_1 \sum_{i=0}^{N_1} \rho_{10}^i (1 - \rho_{10})^{N_1 - i} U(t - R - iL_0 - jL_1) \right) \quad (7)$$

여기서 $U(t)$ 는 unit step 함수이다. (8)

IV. FF의 성능해석을 위한 실험모델

본 논문에서는 수학적 모델의 검증을 위해 FF의 FDL 프로토콜이 구현된 보드를 제작하여 네트워크를 구축하고 산출된 파라미터들을 적용하여 구현된 데이터 연결 계층 프로토콜의 통신 성능을 분석하였다. 실험 모델은 16개의 노드와 프레임을 모니터링하기 위한 모니터 보드로 구성된다. 그림 1에는 본 논문에서 사용된 실험 모델의 구성도가 나타나 있다. 실험 모델에서 모든 노드들은 urgent, time-available 데이터를 생성하며, 각 보드에는 데이터 생성 프로그램이 탑재되어 있다. 그림 1의 구성도에서 16번 노드는 본래의 LAS의 기능 이외에 노드들 간에 시간 동기화를 위한 시간-마스터 노드 역할을 병행하여 수행한다.

모니터 노드는 매체를 통하여 전송되는 프레임의 상태를 모니터링하기 위한 노드이다. 각 노드에서 생성되는 메시지의 데이터 필드에는 프레임 생성 시간과 프레임 전송 시간이 기록되며, 모니터 보드는 매체를 통하여 전송되는 모든 프레임을 수신하여 PC에게 전달해주는 기능을 수행한다. PC에서는 이러한 프레임들을 분석하여 데이터 지연시간을 측정한다. 그림 2에는 실험 모델의 사진이 제시되어 있다.

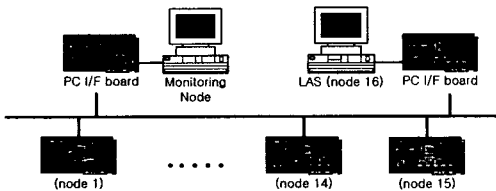


그림 1. 실험 모델의 구성도

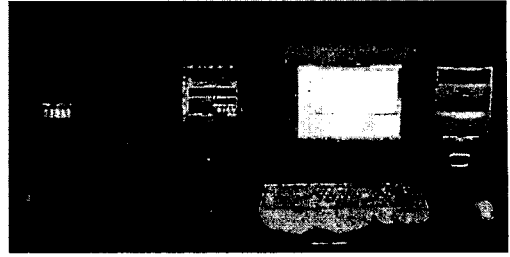


그림 2. 실험 모델의 사진

V. 실험 모델에 의한 수학적 모델의 타당성 검증

본 실험에 사용된 네트워크 트래픽의 조건이 나타나 있다. 구현된 데이터링크 계층 프로토콜의 전송속도는 1Mbps로 설정되었으며, urgent 데이터의 길이는 75바이트(헤더:11 바이트, 순수 데이터:64 바이트), time-available 데이터의 길이는 267 바이트(헤더:11 바이트, 순수 데이터:256 바이트)이다. 실제 전송되는 데이터의 전송시간은 실험으로 측정된 결과 urgent 데이터는 $0.6msec(L_0)$, time-available 데이터는 $2.1msec(L_1)$ 의 전송시간을 가진다.

네트워크의 트래픽은 $U = N_0\lambda_0L_0 + N_1\lambda_1L_1$ 로 정의된다. 따라서 트래픽의 부하는 데이터의 도착빈도로 조절한다.

본 논문에서는 네트워크의 트래픽을 $U=0.2$ (Low traffic), $U=0.35$ (Medium traffic), $U=0.5$ (High traffic)의 경우를 가정하여 측정하였다.

그림 3은 수학적 모델과 실험모델을 통하여 얻어진 TTRT 변화에 따른 urgent 데이터의 전송 지연시간 분포이다.

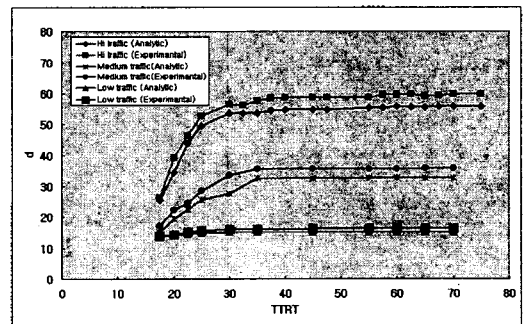


그림 3. TTRT 변화에 따른 데이터 전송 지연시간의 변화

그림 3에서 보는 바와 같이 TTRT를 감소할수록

urgent 데이터 전송 지연시간의 평균값은 감소한다. 이는 TTRT를 작게 설정할수록 ATRT가 TTRT 보다 커질 확률이 증가되고, 따라서 토큰의 우선순위가 상향 조정되어 urgent 데이터 전송큐에서 데이터가 전송될 확률이 증가하기 때문이다. 반면에 TTRT가 커지게 되면 ATRT가 TTRT보다 작아질 확률이 증가하게 되어 우선순위가 하향 조정되기 때문에 데이터 전송시간을 많이 소비하는 time-available 데이터가 전송될 확률이 커지기 때문에 urgent 데이터 전송 지연시간의 평균값은 증가한다. 트래픽 부하가 크지 않는 경우에는 수학적 모델과 실험 모델의 결과가 거의 일치하는 것을 볼 수 있다. 그러나 트래픽이 증가하는 경우에는 수학적 모델과 실험 모델에 차이가 나타나며, 이는 수학적 모델에서 ATRT 분포가 iid하다고 가정하였기 때문이다.

VI. 결론

본 논문에서는 FOUNDATION 필드버스의 토큰 순환에 의한 데이터 전송 방식에 대한 데이터 전송 지연시간의 특성에 대하여 분석하였다. 수행된 실험 결과에 의하면 FOUNDATION 필드버스에서 PT 서비스만을 수행하는 경우에는 데이터의 지연 시간이 TTRT에 크게 영향을 받는 것으로 나타났으며 이를 수학적 모델과 실험모델을 통하여 확인하였다.

위의 실험 결과를 통해 네트워크 파라미터들의 설정이 각 우선 순위 데이터의 전송 지연 시간에 미치는 영향의 정도를 파악할 수 있으며, 이를 통하여 실제의 자동화 시스템에 FF를 접속하는 경우에 파라미터 설정의 방향을 제시할 수 있다.

참고문헌(또는 Reference)

- [1] S. H. Hong, "Approximate analysis of timer-controlled priority scheme in the single-service token-passing systems," IEEE/ACM Trans. on Networking, Vol. 2, No. 2, pp. 206-215, 1994.
- [2] FOUNDATION™ Specifications: data link protocol specifications, Fieldbus Foundation, Austin, TX, 1996.
- [3] Seung Ho Hong, Byung Don Jang, "Time Critical Data Transmission in the Foundation Fieldbus", Proc. ISIE 2001, pp. 555-559, 2001. 6.