
홉 카운트 정보를 이용한 스페이스와이어 네트워크 시각동기화 방안

류상문*

*군산대학교

Time Synchronization over SpaceWire Network using Hop Count Information

Sang-Moon Ryu*

*Kunsan National University

E-mail : smryu@kunsan.ac.kr

요 약

우주 비행체의 온보드(on-board) 데이터 처리를 위해 고안된 스페이스와이어(SpaceWire)에는 네트워크의 시각 동기화를 위한 타임코드(time-code)가 정의되어있다. 타임코드가 네트워크를 통하여 전송되는 과정에서 전송 지연 및 지터(jitter)가 발생하며 이것은 시각 동기화 오차의 주요 원인이 된다. 본 논문은 스페이스와이어 표준에 정의되어 있는 타임코드를 확장하여 스페이스와이어 네트워크의 시각 동기화 오차를 줄이는 방안을 제안한다. 제안된 방안은 타임코드의 전송 지터에 따른 오차를 제거하고 타임코드가 링크를 거칠 때마다 발생하는 전송 지연을 제거할 수 있다. 그리고 그 효과는 OMNeT++을 이용하여 개발된 스페이스와이어 네트워크 시뮬레이션 환경을 이용하여 검증한다.

ABSTRACT

SpaceWire invented for on-board data handling in a spacecraft has Time-Code defined for time synchronization over SpaceWire network. Delay and jitter of the transmission of Time-Code caused when a Time-Code travels through a network are the main reasons of time synchronization error. This work proposes a scheme that can reduce the time synchronization error by using extended Time-Codes. The proposed scheme can remove both transmission jitter and transmission delay. The scheme will be validated in a simulation environment built with OMNeT++.

키워드

스페이스와이어, 시각동기화, 홉 카운트, OMNeT++

1. 서 론

스페이스와이어는 IEEE 1355 표준[1]을 바탕으로 우주 비행체의 온보드(on-board) 데이터 처리를 위해 고안되었으며 ESA(European Space Agency)에 의해 표준[2]로 채택되었다. 스페이스와이어는 점 대 점 방식의 양방향 통신을 전이중 방식으로 지원하며 네트워크 구성이 용이하고 네트워크에 시간 정보 분배를 위한 타임코드(time-code) 전송 기능이 포함되어 있다.

스페이스와이어 네트워크에 접속되어 있는 타임 마스터(time master)는 타임코드를 전송하여

네트워크에 접속된 모든 노드(node)들에게 시간 정보를 분배할 수 있는데 타임코드의 전송 과정에서 전송 지연 및 지터(jitter)가 발생하며 이것은 시각 동기화 오차의 주요 원인이 된다. 전송 지연은 타임코드가 타임 마스터나 라우터의 송신부에서 출력되는 과정에서 발생하는 출력 지연으로 타임 마스터와 라우터의 송신부에서 사용되는 송신 클럭의 14 주기에 해당한다. 그리고 전송 지터는 타임코드가 타임 마스터나 라우터의 송신부에서 출력되는 과정에서 발생하는 지터이다. 타임코드가 출력되어야 하는 순간에 다른 문자나 출력되

고 있는 중이라면 이 문자의 출력이 완료될 때까지 타임코드의 출력이 지연된다. 이때 발생하는 지터는 그 최대 크기가 송신 클럭의 10 주기에 해당한다.

이전 연구 [3]에서는 타임코드 전송 지터에 의한 시각 동기 오차를 줄이기 위해서 타임코드 전송 시에 발생한 지터에 관한 정보를 추가로 전송하여 이를 이용하는 방식을 제안하였다. 전송 지터 정보를 전달하기 위해 표준에 정의된 타임코드의 제어 플래그를 변형한 확장된 타임코드를 정의하여 이 확장된 타임코드에 전송 지터를 송신 클럭의 수로 환산한 정수값을 전송하는 방식이다. 제안된 방식은 수신측에서 시각 동기화 수행 과정에서 수신된 전송 지터 정보가 적용되어야 하기 때문에 회로 구현이 복잡해지며 시각 동기화 관련 사양이 스페이스와이어 표준과 다소 어긋난다. 다른 연구 [4]는 [5]에서 제안된 브로드캐스팅(broadcasting)을 이용하여 네트워크의 시각 동기화 오차를 줄이는 방식을 제안하였다. 이들 방식 모두 스페이스와이어 표준을 변형해야하거나 추가의 소프트웨어 구현이 필요하다.

본 논문에서는 네트워크 전체의 통신 속도가 동일한 소규모 스페이스와이어 네트워크에 적용할 수 있는 시각 동기화 방안을 제안한다. 제안된 방식은 이전 연구 [3]과 유사하게 타임코드를 확장한 방식으로 이전 연구의 방식 보다 단순하며 전송 지연에 따른 시각 동기화 오차도 제거할 수 있다. 제안된 방식의 효과는 OMNeT++[6] 기반으로 개발된 스페이스와이어 네트워크 시뮬레이션 환경[7]을 통해 검증된다.

II. 본 론

스페이스와이어 네트워크에서 시각 정보를 전달하기 위해 정의된 타임코드는 패리티를 포함하여 총 14비트로 구성되어 있다. 타임코드의 용도를 확장하기 위한 제어 플래그 2비트와 타임마스터로부터 전달되는 6비트의 클럭 카운트(clock count)가 포함된다. 본 연구에서는 2비트의 제어 플래그를 이용하여 타임코드를 3가지로 세분화하여 사용한다.

제어 플래그가 "00" 이며 6비트 클럭 카운트를 포함하는 기존의 타임코드를 NTC(Normal Time-Code)라 명명한다. 제어 플래그가 "01"이며 6비트 클럭 카운트를 포함하는 타임코드를 LJT(Least Jitter Time-Code)라고 새로 정의한다. 이것은 전송 지터가 최소로 발생한 타임코드를 의미하며 NTC와 마찬가지로 타임 마스터의 클럭 카운트 정보를 전달한다. 끝으로 제어 플래그가 "10"이며 6비트 홉 카운트(hop count)를 포함하는 타임코드를 HCT(Hop Count Time-Code)라고 새로 정의한다. 이것은 타임코드가 전송되는 경로에 존재하는 홉의 수(를 전달한다).

기존의 타임코드를 확장하여 새롭게 정의된

LJT와 HCT를 이용하여 시각동기화를 수행하는 방식에 대해 설명하고 그 효과를 보이기 위하여 그림 1과 같은 소규모 스페이스와이어 네트워크로 구성된 시스템을 가정한다. 그리고 OMNeT++[6] 기반으로 개발된 스페이스와이어 네트워크 시뮬레이션 환경[7]을 이용해 그림 1의 시스템을 모사하여 제안된 방식의 효과에 대해 검토한다.

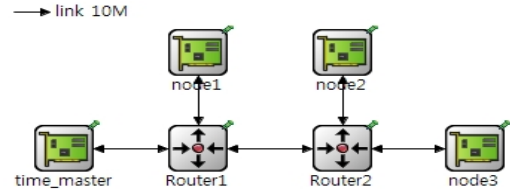


그림 1. 소규모 스페이스와이어 네트워크

2.1 LJT를 이용한 시각동기화

NTC가 타임 마스터로부터 출력될 때에는 최소 1비트에서 최대 10비트까지의 전송 지터가 발생하며 라우터로부터 출력될 때에는 최소 2비트에서 최대 10비트까지의 전송 지터가 발생하게 된다[7]. 타임 마스터나 라우터에 포함되어 있는 스페이스와이어 송신 회로에서 NTC가 전송될 때 전송 지터가 최소로 발생하는 NTC 구별할 수 있다. 따라서 다음과 같은 절차를 따르면 전송 지터의 영향이 최소일 때 시각동기화를 수행할 수 있다.

- 타임 마스터는 전송 지터가 최소로 발생하는 NTC를 LJT로 변경하여 출력.
- LJT를 수신한 라우터는 수신된 LJT를 출력할 때 전송 지터가 최소로 발생하게 되면 수신된 LJT를 그대로 출력.
- LJT를 수신한 라우터는 수신된 LJT를 출력할 때 전송 지터가 최소값을 초과하여 발생하게는 경우에는 수신된 LJT의 제어플래그를 "00"으로 설정하여 NTC로 변경하여 출력.
- 타임 마스터와 시각동기화를 수행하는 노드들은 LJT를 수신할 때만 시각 동기화 수행.

표 1. LJT 수신율(단위: %)

네트워크 사용율(%)	router 1	node 1	router 2	node 2	node 3
약 25	12	4.5	5	2.3	2.2
약 50	11.5	2.9	3.4	1.2	0.8
약 95	11.3	2.7	2.5	0.4	0.5

표 1은 그림 1의 스페이스와이어 네트워크에서 타임 마스터가 전송한 NTC가 각 라우터와 노드에서 LJT로 수신된 비율을 보여준다. 네트워크의 사용율에 따라 LJT 수신율이 다소 변화하고 홉의 수가 증가할수록 LJT 수신율이 현저히 감소하는 것을 볼 수 있다. LJT만을 이용한 시각동기화는 홉의 수가 2 이하인 경우에만 적용하는 것이 의

미 있는 것으로 판단된다.

2.2 LJT와 HCT를 이용한 시각동기화

전송 지터가 최소로 발생하는 LJT를 이용해서 시각 동기화를 수행해도 타임코드 출력 시 발생하는 클럭의 14 주기에 해당하는 전송 지연은 극복할 수 없다. 이 전송 지연은 홉의 수에 비례하여 발생한다. 따라서 LJT를 수신하는 노드에서 타임 마스터로부터의 홉의 수를 파악하고 이를 이용할 수 있다면 전송 지연에 따른 시각동기화 오차를 없앨 수 있을 것이다. 따라서 다음과 같은 절차를 따르면 전송 지터의 영향이 최소일 때 시각동기화를 수행할 수 있다.

- 타임 마스터는 전송 지터가 최소로 발생하는 NTC를 LJT로 변경하여 출력.
- NTC를 출력한 타임 마스터는 6비트 홉 카운트 값이 1인 HCT를 출력.
- LJT를 수신한 라우터는 수신된 LJT를 출력할 때 전송 지터가 최소로 발생하게 되면 수신된 LJT를 그대로 출력.
- LJT를 수신한 라우터는 수신된 LJT를 출력할 때 전송 지터가 최소값을 초과하여 발생하게는 경우에는 수신된 LJT의 제어플래그를 "00"으로 설정하여 NTC로 변경하여 출력.
- HCT를 수신한 라우터는 수신된 홉 카운트 값이 63보다 작으면 이를 1 증가하고 그렇지 않으면 그대로 HCT로 출력.
- 타임 마스터와 시각동기화를 수행하는 노드들은 수신된 HCT에 포함된 홉 카운트 값을 이용하여 LJT를 수신할 때만 오차 '14×홉카운트'를 적용하여 시각 동기화 수행.

그림 2, 3, 4는 그림 1의 스페이스와이어 네트워크에서 네트워크 사용율이 약 50%인 경우, NTC만을 이용하여 시각동기화를 수행하였을 때 발생하는 시각동기화 오차 발생 통계를 보여준다. 그리고 그림 5, 6, 7은 LJT와 HCT를 함께 이용하여 시각동기화를 수행하였을 때 발생하는 시각동기화 오차 발생 통계를 보여준다. 표 2는 그림 2-7에 나타난 시각동기화 오차의 발생 범위를 정리한 것이다. 제안된 방안이 시각동기화 오차 개선 효과가 있음을 알 수 있다.

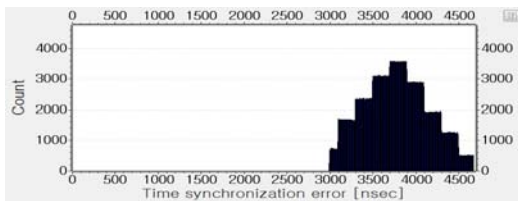


그림 2. 시각동기화 오차: 노드1, NTC

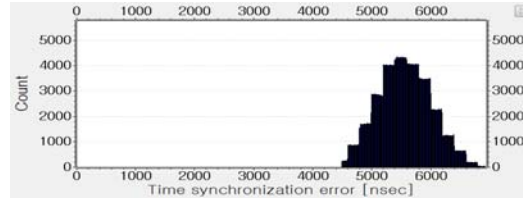


그림 3. 시각동기화 오차: 노드2, NTC

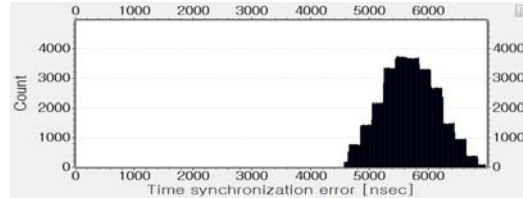


그림 4. 시각동기화 오차: 노드3, NTC

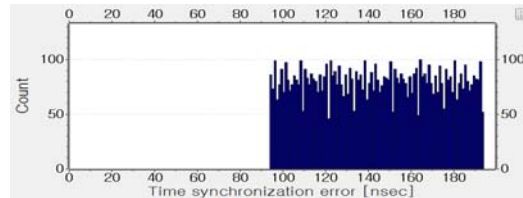


그림 5. 시각동기화 오차: 노드1, LJT + HCT

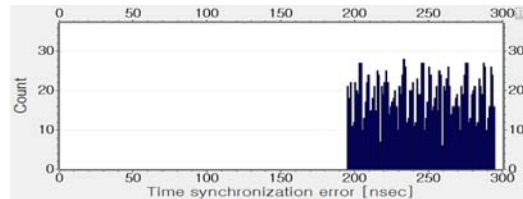


그림 6. 시각동기화 오차: 노드2, LJT + HCT

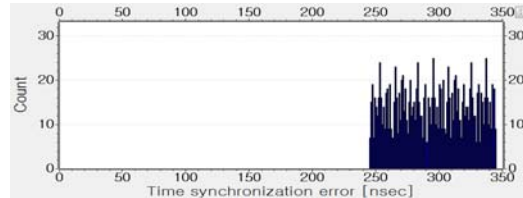


그림 7. 시각동기화 오차: 노드3, LJT + HCT

표 2. 시각동기화 오차

구분	node 1	node 2	node 3
NTC 이용[μsec]	3.0~4.7	4.5~7.0	4.5~7.0
LJT+HCT 이용[nsec]	94~193	195~294	245~344

III. 결 론

본 논문에서는 스페이스와이어 표준에 정의되어 있는 타임코드를 확장하여 전송 지터가 최소로 발생한 타임코드를 판별하고 타임 마스터로부

터 타임코드를 수신하는 노드 사이의 홉 카운트를 파악할 수 있는 방법을 제안하고 이를 활용한 시각동기화 방안은 제안하였다. 제안된 방안의 효과는 OMNeT++을 기반으로 개발된 스페이스와이어 네트워크 시뮬레이션 환경을 통하여 검토되었다.

제안된 방안은 스페이스와이어 표준에 제안된 타임코드 전송회로를 조금만 수정하면 구현할 수 있으며 적용에 따른 시각동기화 오차 개선 효과가 상당히 크다.

참고문헌

[1] IEEE Standard 1588, "IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems."

[2] ESA Standard, "ECSS-E-ST-50-12C : SpaceWire-Links, nodes, routers and networks," 2008.

[3] F. Pinsard and C. Cara, "High resolution time synchronization over spacewire links," in *Proc. of 2008 IEEE Aerospace Conference*, pp. 1-8, Mar. 2008.

[4] B. V. Leeuwen, J. Eldridge and J. Leemaster, "SpaceWire Network Simulation of System Time Precision," in *Proc. of International Spacewire Conference 2011*, pp. 113-120, 2011.

[5] A. Roberts, S. G. Dykes, R. Klar and C. C. Mangels, "A Link-Layer Broadcast Service for SpaceWire Networks," in *Proc. of 2007 IEEE Aerospace Conference*, pp. 1-10, 2007.

[6] OMNeT++. Available: <http://www.omnetpp.org/>

[7] S.-M. Ryu, "Analysis of transmission delay of timecode over SpaceWire network using OMNeT++," *Journal of Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 19, no. 9, pp. 2022-2028, Sep. 2015.