패킷트레인 방식의 수중 동기화 프로토콜 설계

조아라

선박해양플랜트연구소

Synchronizing to Packet Trains for Underwater Acoustic Networks

A-ra Cho

Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering

E-mail : zoazoa@kriso.re.kr

요 약

본 논문에서는 수중음향 네트워크에서 긴 전파지연 시간, 낮은 전송속도, 높은 패킷 손실율 등과 같은 제약 환경을 고려한 패킷트레인방식의 동기화 프로토콜을 제안한다. 제안되는 동기화프로토콜은 단방향 전파지연측정방식을 적용하며 연속해서 전송된 패킷의 수신시각 차이를 통해 전파지연 시간 추정에 의한 오류 영향을 최소화한다. 제안한 동기화 프로토콜은 노드 간 통신거리, 메시지 전송 횟수에 따른 시뮬레이션을 통해 기존 프로토콜과의 성능을 비교하고, 제안한 동기화 프로토콜의 우수성을 보인다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a protocol synchronizing to packet trains in a underwater acoustic networks with limitations such as long propagation delay, low data rate, high packet loss. The proposed protocol employs an one-way communication scheme to calculate packet arrival time differences of consecutively transferred packets and minimizes uncertain variation effect of long propagation delay. Simulation results shows the superiority of our protocol, compared with a previously proposed one under the given network conditions.

키워드

동기화 프로토콜, 패킷트레인, 단방향 통신, 수중음향 네트워크

Ⅰ. 서 론

수중음향 네트워크는 수중지형 탐사, 지진모니터링, 해양방위체계 등과 같은 다양한 어플리케이션에 적용되고 있으며, 이를 구성하는 수중노드들은 네트워크 프로토콜을 준수하며 노드 간 협의를 통해 통신을 수행하며 동작한다. 이 때, 각 노드들은 내부의 로컬클록을 통해 동작시점을 결정하고 이벤트를 발생시키며, 노드 간 동작시점 기준이 동일하기 위해서는 모든 노드들의 로컬클록을 공통화(globalize)하여 시간을 맞추는 동기화과정이 필수적이다[1].

육상의 무선통신 네트워크에서 시간동기화 연구가 활발히 진행되고 있으나[1]-[2], 수중음향 네트워크의 고유 특성으로 인해 육상용 동기화기법을 그대로 적용하기 힘들다. 수중음향 네트워크 환경에서 GPS(Global Positioning System)의 사용불가, 긴 전파지연시간(1500m/s), 높은 패킷 오류율, 느린 전송속도 등의 제약 조건을 고려한 수중음향 네트워크 동기화 프로토콜 설계가 요구된다. 이에 따라 TSHL (time synchronization for high latency)[3], MU-Sync[4], Mobi-Sync[5], D-sync[6], DA-Sync[7], TSMU[8] 프로토콜이 제안되었다. 이

와 같은 수중 동기화 프로토콜에서는 시간에 따라 지속적으로 변화하는 전파지연시간을 추정하여 시간동기화를 수행하는 것이 주요 관건이다.

본 논문에서는 긴 전파지연시간의 불확실한 시간변이를 최소화하면서 느린 전파지연 시간과 전송속도를 고려한 패킷트레인 방식의 동기화 프로토콜을 제안한다. 제안하는 동기화 프로토콜은 동기화과정을 위한 소요시간을 최소화하기 위해 단방향 전파지연측정 방식을 적용하며, 연속한 패킷트레인의 수신시각 차이를 이용하여 전파지연 시간 추정에 의한 오류 영향을 최소화한다.

II. 본 론

2.1. 수중음향 네트워크

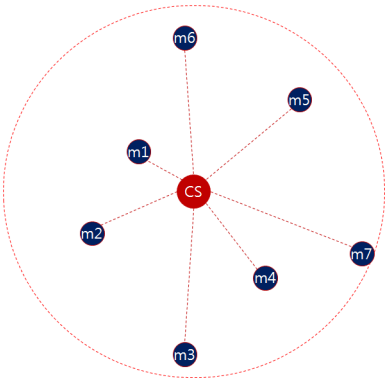

그림 1. 수중음향 네트워크 토폴로지

그림1은 수중음향 네트워크 토폴로지로, 클러스터 중심의 구조를 나타낸다. 1대의 CS와 Command Ship과 여러 대의 수중노드(mobile)로 구성된다. CS는 해상에서 네트워크 전체를 제어하며 수중모뎀을 장착하여 수중노드와 통신을 하며, m_i(i: 노드 인덱스) 노드는 수중 이동체 선단을 이루며 CS와 장거리 통신(수km~수십km)을 수행하게 된다. CS는 위치의 이동이 없으며, GPS와 연결되어 클럭 동기화를 수행하며 m_i 노드들의 참조(reference) 클록이 된다.

2.2. 패킷트레인 동기화 프로토콜

그림 2는 CS와 수중노드 m_i간의 단방향 동기화 과정으로, CS가 비콘을 브로드캐스팅할 때 비콘은 패킷트레인 형태로 전송되며, 매 패킷마다 MAC (Medium Access Control) 타임스탬프를 이용하여 송신시간($t_1, t_2, ...t_N$)을 함께 전송한다. m_i 노드는 매 비콘 수신시각($RT_1, RT_2, ...RT_N$)을 저장한다. 저장된 비콘 수신시각은 수식(1)과 같이 표현되며, j는 수신되는 패킷트레인 번호, a는 m_i클록의 스큐, b는 m_i클록의 오프셋, D_1은 초기

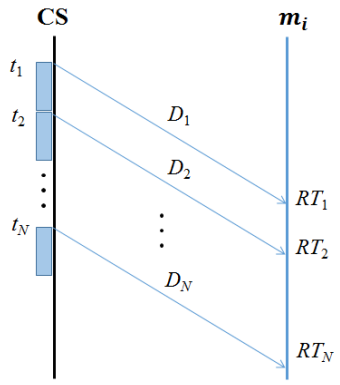

그림 2. CS와 m_i와 단방향 동기화과정

전파지연값, $\sum_{k=1}^{j}\alpha_k$는 j번째 패킷이 도달할 때 총 전파지연 변화량이다.

$$RT_j = a \cdot (t_j + D_1 + \sum_{k=1}^{j}\alpha_k) + b \quad (1)$$

총 N개의 패킷트레인이 수신이 완료되면 수신된 패킷의 송신시각 정보를 추출하여, 연속 수신된 패킷의 수신시각차를 수식(2)와 같이 계산하며, 여기서 $1 \le j \le N-1$이다.

$$RT_{j+1} - RT_j = a(t_{j+1} - t_j + \alpha_j) \quad (2)$$

이때, 수식 (2)는 수식 (3)과 같이 표현될 수 있다.

$$RT_{j+1} - RT_j \approx a(t_{j+1} - t_j) \quad (3)$$

왜냐하면 전파지연변화량이 송신시각 차이에 비해 매우 작기 때문에 무시할 수 있다. 수식(3)으로부터 수신시각 차이에 의한 초기클록 스큐$\hat{a}$를 추정할 수 있으며, 이를 통해 다시 전파지연변화량 $\hat{\alpha}_j$를 추정한다. $\hat{a}$와 $\hat{\alpha}_j$값을 적용하여 선형회귀(Linear regression)을 통해 2차적으로 클록스큐 $\hat{a}$과 클록오프셋$\hat{b}$를 도출하여 노드 m_i의 로컬클록을 갱신한다. 그림 3은 이와 같은 동기화 절차에 대한 플로우차트이다.

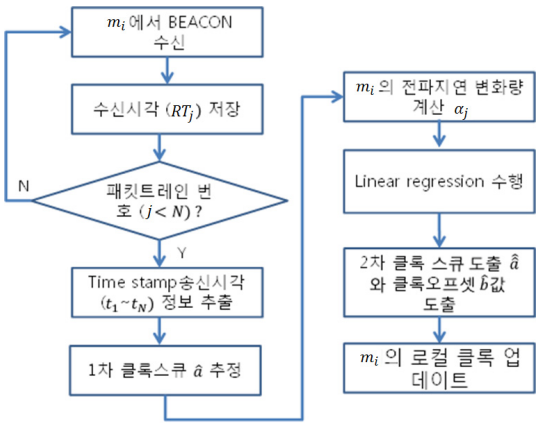

그림 3. 패킷트레인 동기화 절차

2.2. 성능결과 및 분석

패킷트레인 동기화(T-sync) 프로토콜과 D-sync 프로토콜의 성능을 시뮬레이션을 통해 비교·분석한다. 이를 위한 성능검증 조건은 다음과 같다.

- 노드는 일정한 네트워크 범위(Nr) 내에 임의적 균일 분포함
- 클록의 스큐는 [0.945,1.055] 내에서 임의 균일 분포함
- 클록 오프셋은 [-0.00001, 0.00001] 내에서 임의 균일 분포함
- 노드의 평균 이동속도 V_{mean}를 가지고 이동함
- 음속은 1500m/s로 일정하다고 가정함
- 한 패킷의 길이는 120bit 이며, 데이터 속도는 100 bps 임

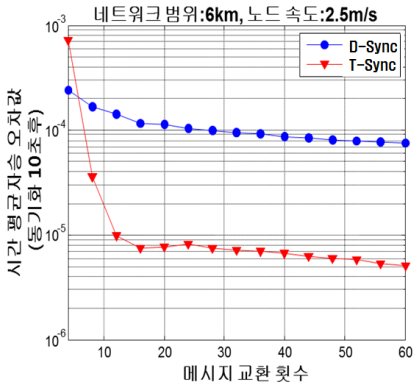

그림 4. 메시지 교환 회수에 따른 시간 오차값

그림 4는 네트워크 범위가 6km, 노드이 이동속도가 2.5m/s일 때의 동기화를 위한 메시지 교환 횟수에 따른 동기화 시간 오차값을 나타낸다. 이 때의 동기화 오차값은 동기화 수행 후 10초 후의 오차값이다. 그림 4에서 볼 수 있듯이 D-sync와 T-sync 모두 메시지 교환횟수가 늘어날수록 동기화 시간 오차값이 점차 줄어들며 일정한 값을 유지하게 된다. T-sync는 D-sync에 비해 메시지 교환횟수가 10회 이상 시, 동기화 시간 오차값이 작으며 평균 15% 이상 성능 향상됨을 볼 수 있다.

그림 5는 노드의 이동속도가 2.5m/s, 동기화 메시지 교환횟수가 30일 때, 네트워크범위에 따른 동기화 수행 10초후의 오류값을 나타낸다. 네트워크 범위(1.5km~15km)가 증가할수록 T-sync와 D-sync의 시간 오차값은 증가하며, 이는 네트워크 범위가 늘어날수록 전파지연시간이 증가하고 전파지연시간동안 노드의 이동량도 늘어나면서 시간동기화의 정확도가 낮아지는 것이다. 그림 5에서 T-sync가 D-sync에 비해 평균 15%이상 성능이 우수함을 보인다.

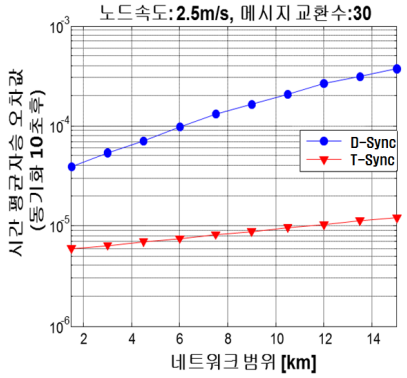

그림 5. 네트워크 범위에 따른 시간 오차값

III. 결 론

본 논문에서는 수중음향네트워크에 적용 가능한 패킷트레인방식의 동기화(T-sync) 프로토콜을 제안하였다. T-sync는 단방향 전파지연측정방식을 이용하여 패킷의 수신 시각차이를 통해 클록의 스큐와 오프셋을 추정하여 수중의 긴 전파지연의 불확실성에 대한 영향을 최소화한다. 또한, 시뮬레이션을 통한 네트워크 환경에 따른 성능비교를 통해 T-sync가 D-sync보다 우수함을 보였다. 향후 멀티홉 네트워크으로 확장·적용시키기 위한 동기화 프로토콜 연구를 진행 중이며, 성능 분석을 진행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 해양수산부의 국가연구개발사업인 “수중광역 이동통신 시스템 기술개발”에 의해 수행되었습니다(**PMS3460**).

참고문헌

[1] I-K. Rhee, J. Lee, J. Kim, E. Serpedin, and Y.C. Wu, “Clock synchronization in wireless sensor networks: an overview,” *Sensors*, vol. 9, pp. 56-85, Jan, 2009.

[3] P. Ranganathan and K. Nygard, “Time Synchronization in Wireless Sensor Networks: A survey,” *Int. J. UbiComp*, vol. 1, no. 2, pp. 92-102, Apr. 2010.

[4] A. Syed and J. Heidemann. “Time synchronization for high latency acoustic networks,” in *Proc. IEEE Infocom*, Barcelona, Spain, Apr. 2006.

[5] N. Chirdchoo, W. S. Soh, K. C. Chua, “MU-Sync: A time synchronization protocol for underwater mobile networks,” in *Proc. WUWNet’08*, pp. 35-42, 2008.

[6] J. Liu, Z. Zhou, Z. Peng, and J-H. Cui, “Mobi-Sync:

Efficient time synchronization for mobile underwater sensor networks," IE*EE Trans. on Parallel and Distributed Syst.*, Vol. 24, no. 2, pp. 406-416, Feb. 2013.

[7] F. Lu, D. Mirza, and C. Schurger, "D-Sync: Doppler based time synchronization for mobile underwater sensor networks," *ACM WUWNET*, Woods Hole, MA, 2010.

[8] J. Liu, Z. Wang, M. Zuba, Z. Peng, J. Cui, and S. Zhou, "DA-SYNC: A doppler assisted time synchronization scheme for mobile underwater sensor networks," *IEEE Trans. Mobile Computing*, vol. 13. no. 3, pp. 582-595, Mar. 2014.

[9] J. Liu, Z. Wang, Z. Peng, M. Zuba, J.-H. Cui, and S. Zhou, "TSMU: A time synchronization scheme for mobile underwater sensor networks," *IEEE GLOBECOM*, pp. 1-6, Dec. 2011.