

수중 장거리 네트워크를 위한 동기화 프로토콜 성능분석

조아라 · 임용곤 · 최영철

선박해양플랜트연구소

Performance Analysis of Synchronization Protocols for Underwater Acoustic Networks

A-ra Cho · Yong-kon Lim · Youngchol Choi

Korea Research Institute of Ships and Ocean Engineering

E-mail : zoazoa@kriso.re.kr, yklim@kriso.re.kr, ycchoi@kriso.re.kr

요 약

본 논문에서는 수중 음향네트워크에서 긴 전파지연 시간과 불확실한 지연시간 변이로 인한 영향을 최소화하고 느린 전송속도를 고려하여 패킷 트레인 방식의 수중동기화 프로토콜을 제안한다. 이를 위해 단방향 통신방식으로 연속된 패킷을 전송하고, 수신패킷 시각차를 이용하여 전파지연시간 변화량을 고려하여 수중 동기화과정을 수행한다. 제안된 동기화 프로토콜은 노드의 이동성, 패킷전송 시간차, 네트워크 범위, 동기화 경과시간에 따른 동기화 성능을 시뮬레이션을 통해 분석하고 우수성을 보인다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a synchronization protocol for underwater acoustic networks which aims to minimize the effects of long propagation delay and uncertain delay variations and employs packet train scheme with considering low data rate. The proposed protocol uses an one-way delay measurement method by transmitting consecutive packets and acquires synchronization only considering propagation delay variations by calculating packet arrival time differences. We perform simulations under various network conditions, such as node mobility, time interval for packet transmission, network range, and elapsed time after synchronizing. The simulation results shows the superiority of our protocol, compared with a previously proposed protocol.

키워드

동기화 프로토콜, 단방향 통신, 수중 장거리 네트워크, 성능분석

1. 서 론

수중에 대한 관심 증대로 다양한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 수중 채널이나 모뎀분야 뿐 아니라 수중네트워크에서도 연구가 진행되면서 수중 탐사, 해양 환경 모니터링, 해양방위분야 [1]-[2]등에서 기술이 적용되고 있다. 이러한 수중 어플리케이션에 구성되는 노드들은 프로토콜 규약에 따라 통신을 수행하며 약속된 시점에 이벤트를 발생시킨다. 서로 다른 노드들 간의 기준시점을 동일화하기 위해서 노드들 간의 로컬클럭을 공동화(globalize)하여 시간을 맞추는 동기화가 필수적이다[3].

수중 네트워크 동기화를 위해서는 육상과 달리

수중의 긴 전파지연 (1500m/s), 느린 전송속도, 높은 패킷전송 오류율, GPS(Global Positioning System)사용불가 등과 같은 제약사항[1]-[2]을 고려해야한다. 이에 따라 수중 동기화 프로토콜 연구가 진행되고 있으며, TSHL (time synchronization for high latency)[3], MU-Sync[4], Mobi-Sync [5], D-sync[6], DA-Sync[7], TSMU[8], T-sync[9] 등의 프로토콜이 제안되었다. 그 중 T-sync는 수신패킷의 시각차를 이용하여 수중 전파지연시간 변화량만을 고려하여 동기화를 수행한다. 그러나 동기화과정 중에 선형회귀 기법을 2번 수행하면서 계산량이 증가하고, 1차 선형회귀에 따른 오류값이 2차 선형회귀에서 크게 증가할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 계산량을 최소화하면서

선형회귀 시 누적될 수 있는 오류값을 최소화하는 단방향 통신방식의 동기화 프로토콜을 제안하고, 시뮬레이션을 통해 동기화 성능을 비교 분석하여 우수성을 보인다.

II. 본 론

2.1. 단방향 패킷트레인 동기화 프로토콜

장거리 수중음향 네트워크는 마스터-슬레이브 구조로 마스터 노드는 해상 GPS와 연결되어 클럭을 동기화하고 패킷트레인 방식으로 비콘을 브로드캐스팅하며 송신 비콘 패킷마다 마스터 노드의 송신시각(t_1, t_2, \dots, t_N) 정보를 포함한다. 슬레이브 노드는 수중 이동노드로 비콘을 수신하여 수신시각(RT_1, RT_2, \dots, RT_N)을 저장하고 비콘 패킷의 송신시각 정보를 추출한다. 송신시간에 따른 수신시간은 다음과 같으며,

$$RT_i = a(t_i + D_i) + b \quad (1)$$

i 는 패킷 인덱스며, a 와 b 는 비콘을 수신한 슬레이브 노드의 클럭스큐와 오프셋, D_i 는 i 번째 수신되는 패킷의 전파지연시간이다. 수식(1)에 따라 연속 수신된 패킷의 수신시간 차이는 다음과 같다.

$$RT_{i+1} - RT_i = a(t_{i+1} - t_i + D_{i+1} - D_i) \quad (2)$$

수식(2)에 대한 평균값을 통해 클럭스큐 추정치 \hat{a} 를 다음과 같이 계산한다.

$$\hat{a} = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^{N-1} \frac{\Delta RT_i}{\Delta D_i + \Delta t_i} \quad (3)$$

여기서, $\Delta RT_i = RT_{i+1} - RT_i$, $\Delta D_i = D_{i+1} - D_i$, $\Delta t_i = t_{i+1} - t_i$ 이다.

클럭 오프셋 b 는 \hat{a} 와 초기 패킷 송수신시각과 초기 전파지연시간을 이용하여 다음과 같이 계산되며, 초기 전파지연시간 D_1 은 알고 있다고 가정한다.

$$b = [RT_1 - \hat{a}(t_1 + D_1)] \quad (4)$$

2.2. 모의시험 조건

동기화 시행 후 마스터 노드와 슬레이브 노드의 시간 오차 값을 동기화 성능과파라미터로 정의하고, 노드 평균이동속도(V_{mean}), 노드 무작위적 이동성(randomness of mobility), 메시지 전송 수(N_{ex}), 메시지 전송간격시간 (I_{tx}), 네트워크 범위(N_r), 동기화 후 시간경과(T)에 따른 T-sync와 제안된 동기화 프로토콜의 성능을 시뮬레이션을 통해 비교·분석한다. 이를 위한 성능검증 조건은 다음과 같다.

- 클럭의 스큐는 [0.945,1.055] 내에서 임의 균일 분포함
- 클럭 오프셋은 [-0.00001, 0.00001] 내에서 임의 균일 분포함
- 음속은 1500m/s로 일정하다고 가정함
- 송신된 패킷은 손실없이 모두 수신한다고 가정함
- 데이터 전송속도는 100bps이며 패킷길이는 가변적임

시뮬레이션에 적용된 수중 슬레이브 노드는 자가 추진력을 가진 이동노드로 가우시안 마코브 이동모델을 적용하였으며, 다음과 표현된다.

$$\begin{aligned} s_i &= \alpha s_{i-1} + (1-\alpha)\bar{s} + \sqrt{(1-\alpha^2)} s_{x_{i-1}} \\ d_i &= \alpha d_{i-1} + (1-\alpha)\bar{d} + \sqrt{(1-\alpha^2)} d_{x_{i-1}} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, s_i 와 d_i 는 i 번째 패킷전송 시 이동노드의 속도와 방향이며, α 는 운동성 모델 무작위적 이동성 레벨 ($0 \leq \alpha \leq 1$), \bar{s} 와 \bar{d} 는 속도와 방향 평균값, $s_{x_{i-1}}$ 와 $d_{x_{i-1}}$ 는 가우시안 랜덤 변수이다.

2.3. 모의성능 결과 및 분석

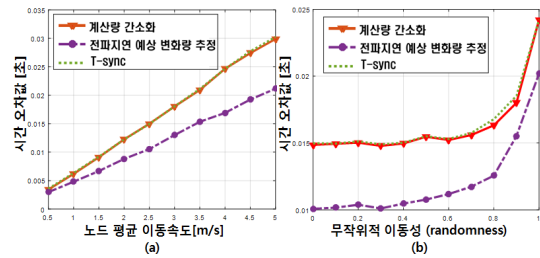


그림 1. (a) 노드이동속도에 따른 시간 오차값, (b) 노드 무작위적 이동성에 따른 시간 오차값.

그림 1은 네트워크 범위가 15km, 동기화 후 30초 경과 시, 동기화 시간 오차값이다. 그림 1(a)에서 노드의 이동속도가 증가할수록 전파지연 시간 변화가 증가하고, 전파지연시간변화 추정오류에 따른 시간동기화 오차값이 증가하는 것을 볼 수 있으며, T-sync와 비교 시, 선형회귀를 생략하여 계산량을 간소화한 기법이 시간 오차성능이 성능저하없이 시간동기화를 수행한다.

그림 1(b)에서 노드의 무작위적 이동성이 증가할수록 예측불가한 전파지연 시간변화량이 증가하고, 이에 따른 전파지연시간 추정 오차값이 증가하여 동기화 성능이 저하된다. 계산량을 간소화한 기법은 T-sync와 거의 성능변화없이 동기화를 수행하며, 전파지연 예상 변화량 추정기법을 적용한 프로토콜은 평균 27.27%의 성능향상을 보인다.

그림 2는 노드의 평균이동속도가 2.5m/s, 네트워크 범위가 15km, 동기화 후 30초 경과 시, 메시지 교환 회수와 메시지 전송간격에 따른 동기화 성능을 보여준다. 그림 2(a)에서 메시지 교환

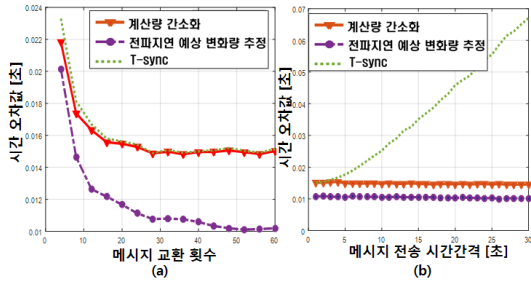


그림 2. (a) 메시지 교환 회수에 따른 시간 오차값, (b) 메시지 전송간격에 따른 시간 오차값.

횟수가 증가할수록 계산량이 늘어나지만 클럭스큐와 오프셋을 계산하기 위한 정보량이 늘어나게 되어 동기화 시간오차가 줄어들다가 일정한 값에서 수렴하는 것을 볼 수 있으며, 계산량을 간소화해도 동기화 성능저하 없이 동기화를 수행하며, 전파지연 예상 변화량 추정 시 평균 26.25% 성능향상을 보인다.

그림 2(b)에서 메시지 전송간격이 증가할수록 전파지연시간 변화량이 증가하게 되며, T-sync의 경우 초기 클럭스큐 추정하여 전파지연시간 변화량 계산 시 오류가 증가하여 동기화 성능이 더욱 저하되는 된다. 반면 계산량 간소화 기법과 전파지연 예상 변화량 추정기법은 메시지 전송간격이 증가 시, 전파지연시간 변화량이 증가되지만 동기화 계산과정에서 메시지 전송간격 증가대비 전파지연시간 변화량 증가폭에 따른 변화량도 거의 일정하여 동기화 성능이 거의 일정하다.

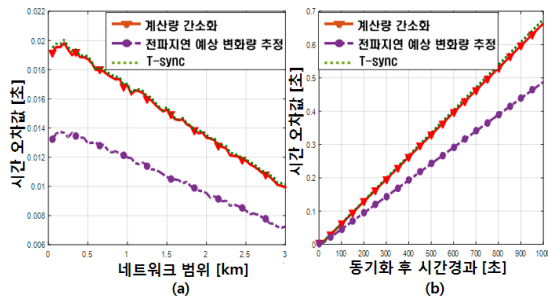


그림 3. (a) 네트워크 범위에 따른 시간 오차값, (b) 동기화 시간 경과에 따른 시간 오차값.

그림 3은 노드의 평균이동속도가 2.5m/s, 동기화 후 30초 경과 시, 메시지 교환 회수 30회 일 때, 네트워크 범위와 동기화 시간경과 후 동기화 성능을 보여준다. 그림 3(a)에서 네트워크 범위가 증가할수록 초기 전파지연시간은 증가하는 반면 전파지연시간변화량은 네트워크범위와 관계없이 거의 일정하므로 동기화 계산 시, 전파지연시간변화량에 따른 영향력이 줄어들어 시간동기화 오차값이 줄어든다. T-sync에 비해 계산량을 간소화한 기법은 성능변화없이 동기화를 수행하며, 전파지연 예상 변화량 추정기법은 평균 29.14% 성능향

상을 보인다.

그림 3(b)에서 동기화 수행 후 시간이 경과할수록 시간 오차값이 선형적으로 증가하고, T-sync에 비해 계산량 간소화 기법은 거의 동일한 성능을 보이며, 전파지연 예상 변화량 추정기법의 성능 차이가 두드러짐을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 단방향 전파지연측정방식을 이용하여 연속 수신된 패킷의 수신시간 차이를 이용한 T-sync 수중 동기화 프로토콜의 계산량을 간소화한 기법을 제안하고, 시뮬레이션을 통해 여러 네트워크 환경에서 성능을 비교 분석하였다. 계산량이 간소화된 기법은 이전의 T-sync에 비해 성능저하 없이 동기화를 수행하였으며, 전파지연 예상 변화량 추정 시에는 전반적으로 25% 이상의 성능향상을 보였다. 향후 멀티홉 수중 네트워크 환경에서도 적용 가능한 동기화 프로토콜 기법을 연구 중이며, 성능 분석을 진행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 해양수산부의 국가연구개발사업인 “수중 광역 이동통신 시스템 기술개발”에 의해 수행되었습니다(PMS3710).

참고문헌

- [1] J. Heidemann, W. Ye, J. Wills, A. Syed, and Y. Li, “Research challenges and applications for underwater sensor networking,” *IEEE Wireless Commun. Netw. Conf.*, pp. 228-235, Washington, 2006.
- [2] Akyildiz, I.F., Pompili, D., and Melodia, T. “Underwater acoustic sensor networks: research challenges,” *Ad Hoc Networks* 2005; 3 (3): 257-279.
- [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," *IEEE 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] 조아라 "패킷트레인 방식의 수중동기화 프로토콜 설계", 한국정보통신학회 춘계학술대회 논문집 (2017): 281-284.