

수중 셀룰러 네트워크에서 초기 셀 구성을 위한 센서노드 탐색 기법

김현근*, 조호신^o

A Sensor-Node Searching Scheme for Initial Cell Configuration in Underwater Cellular Network

Hyun Geon Kim*, Ho-Shin Cho^o

요 약

본 논문에서는 패킷 오류율이 높고 전파지연이 큰 수중 셀룰러 네트워크 환경에서 셀룰러 망 구성을 위한 센서노드 탐색 기법을 제안한다. 센서노드 탐색 과정은 수중기지국의 Echo Request 시그널링 메시지 방송 및 각 센서노드의 Echo Response 메시지 응답의 2-way 핸드셰이킹 통신을 기반으로 한다. 컴퓨터 모의 실험을 통해 제안기법의 센서노드 셀 가입률 및 센서노드 탐색 과정의 소요시간을 분석하였다.

Key Words : Underwater Cellular Networks, Sensor Network, Cell Configuration, Signaling Procedure

ABSTRACT

In this paper, we propose a sensor-node searching scheme for initial cell configuration of underwater cellular network whose channel condition is severe due to high packet error rate and long propagation delay. The searching process is performed by 2-way handshaking where two signaling messages, Echo

Request and Echo Response are exchanged between base station and sensor node. The proposed scheme is evaluated in terms of the sensor-node subscription ratio and the sensor-node searching time by means of computer simulation.

I. 서 론

해양 환경에 대한 정보 수집, 재난 방지, 전략적 감시 등 다양한 응용분야에서 수중 통신에 대한 수요가 증대되고 있다. 특히, 수백, 수천 개의 노드가 협력하여 보다 효율적인 업무를 수행하기 위해서는 노드간 통신 네트워크를 구성하는 것이 매우 중요하다. 지금까지는 주로 특정 지역에 대한 소규모 네트워크를 위해 애드혹, 클러스터 기반의 네트워크 기술에 대한 연구가 진행되어 왔으나 근래에는 보다 광범위한 영역에 기간망으로서의 기능수행을 위해 셀룰러 네트워크를 구성하는 연구가 시작되고 있다¹⁾. 하지만, 수중에서는 음파를 사용하고 노드의 이동성이 제한적이며 그 개수 또한 크지 않아 지상 셀룰러 네트워크 구성기술을 그대로 적용하기 어렵다²⁾. 특히, 국내 관련기술은 기초 단계로서 셀룰러 망의 초기 구성에서부터 새롭게 설계되어야 한다.

본 논문에서는 수중 셀룰러 네트워크 구성의 초기 과정으로서, 랜덤하게 배치된 다수의 센서노드를 대상으로 수중기지국이 셀의 구성원을 찾고 서비스 영역을 정의하기 위한 센서노드 탐색 기법을 제안하고, 컴퓨터 모의실험을 통해 성능을 검증한다.

II. 수중 셀룰러 네트워크에서 센서노드 탐색 기법

2.1 시스템 모델

본 논문에서 고려하는 수중 셀룰러 네트워크는 수중기지국제어국 (Underwater Base Station Controller; UBSC), 수중기지국 (Underwater Base Station; UBS) 과 다수의 센서노드 (Sensor Node)로 구성된다³⁾. 센서노드에서 수집된 정보는 수중기지국을 거쳐 해상의 수중기지국제어국으로 전달되고, 해당 데이터는 다시 전파를 이용하여 지상으로 전송되는 구조이다. 수중기

* 본 연구는 2019년 해양수산부 재원으로 한국해양과학기술진흥원의 지원을 받아 수행되었습니다(분산형 수중 관측·제어망 개발).

※ 본 연구는 BK21 플러스 사업(21A20131600011)의 지원을 받아 수행되었습니다.

• First Author : (ORCID:0000-0003-0133-1680)School of Electronics Engineering, Kyungpook National University, hgkim3149@knu.ac.kr, 학생회원

o Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-6949-0904)School of Electronics Engineering, Kyungpook National University, hscho@ee.knu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : 201812-379-A-LU, Received December 5, 2018; Revised December 20, 2018; Accepted December 21, 2018

지국과 센서노드간의 초기 셀 구성은 수중기지국이 통신 반경 내의 센서노드를 찾고 이를 등록하기 위한 센서노드 탐색 과정을 통해 이루어진다. 센서노드들은 임의의 위치에 배치된다고 가정한다. 또한, 각 센서노드는 센서노드 탐색 과정이 완료된 후 데이터 수집을 위한 상향링크 주파수를 수중기지국으로부터 할당받지만 그 전까지 셀 구성을 위한 초기화 과정 동안에는 모든 노드가 동일한 상향링크 대역을 공유한다. 그리고 수중기지국은 초기에 센서노드의 총 개수와 ID 정보를 가지고 있지 않다고 가정한다.

2.2 제안하는 센서노드 탐색 기법

제안하는 센서노드 탐색 기법의 기본 절차는 그림 1과 같다. 수중기지국의 Echo Request (ERQ) 제어 메시지 전송과 센서노드의 Echo Response (ERP) 제어 메시지 응답으로 구성되는 2-way 핸드셰이킹이다. 이때, 수중기지국은 ERQ를 M_ERP회 방송하고, 센서노드는 ERP를 N_ERP회 응답한다. 이는 비선형적인 수중 채널의 특성을 고려하여 제어메시지 각각의 수신 성공률을 높이기 위함이며, 메시지 충돌로 인한 유실을 방지하기 위해 ERQ 및 ERP는 전송에 앞서 임의의 백오프 시간을 갖는다. 센서노드는 주변의 수중기지국들이 전송한 ERQ를 수신하고, 수신 신호 강도(Received Signal Strength Indicator; RSSI)를 확인한다. 수신 신호 강도가 특정 임계값 이상인 경우 ERP 응답을 통해 해당 수중기지국에 가입한다. 수중기지국은 ERP를 수신하게 되면 해당 센서노드를 셀 가입자 목록에 추가하고, 이후에 수신되는 해당 센서노드의 추가적인 ERP는 무시한다. 마찬가지로 센서노드는 셀 가입 완료 후에 수신되는 모든 ERQ들을 무시한다.

반면, ERQ 수신 신호 강도가 특정 임계값 미만인 경우, 센서노드는 ERP를 즉시 응답하지 않고 해당 수중기지국을 후보 셀 목록에 등록한 후, 첫 번째 ERQ 수신 완료 시점을 시작으로 ERQ 수신 타이머(T_RXERQ)를 설정한다. 그리고 T_RXERQ 동안 다

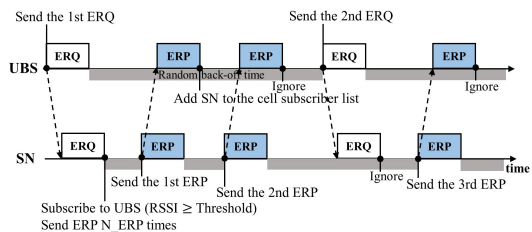


그림 1. 제안한 센서노드 탐색 기법의 기본 절차
Fig. 1. Basic procedure of proposed sensor-node searching scheme

른 수중기지국으로부터의 ERQ 수신을 기다린다. 센서노드는 ERQ 수신 타이머 구동 중, 수신 신호 강도가 특정 임계값 이상인 타 수중기지국의 ERQ를 수신하면 즉시 타이머를 취소한 후, 해당 수중기지국 셀에 가입을 결정하고, ERP를 N_ERP회 응답한다. 그림 2는 T_RXERQ 타이머 만료 시점 이전에 ERQ 수신 신호 강도가 특정 임계값 이상인 타 수중기지국을 발견한 경우의 센서노드 탐색 절차의 예시이다.

ERQ 수신 타이머 구동이 만료되는 시점까지 임계값 이상의 ERQ를 수신하지 못하는 경우, 후보 목록 중 수신 신호 강도가 가장 큰 수중기지국 셀에 가입을 결정하고, 해당 기지국을 목적지로 하는 ERP를 N_ERP회 응답한다. 그림 3은 T_RXERQ 타이머 만료 시점까지 모든 ERQ 수신 신호 강도가 임계값 미만인 경우의 센서노드 탐색 절차의 예시이다. 그림과 같이 수중기지국 1번으로부터의 ERQ 수신 신호 강도가 가장 높은 경우, 센서노드는 수중기지국 1번 셀에 가입을 결정하고 ERP를 전송한다.

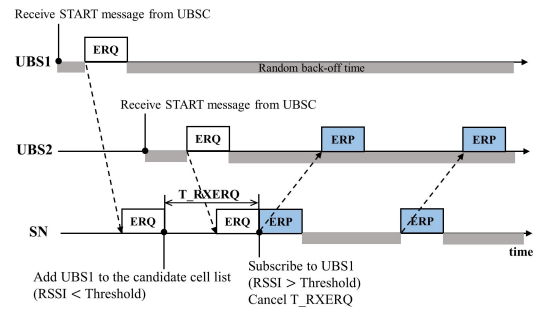


그림 2. ERQ 수신 신호 강도가 임계값 미만인 경우
Fig. 2. The case when RSSI of ERQ is below the threshold

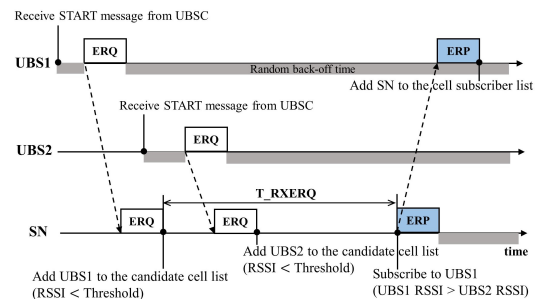


그림 3. T_RXERQ 타이머 만료 시점까지 모든 ERQ 수신 신호 강도가 임계값 미만인 경우
Fig. 3. The case when RSSI of all ERQs are below the threshold until the T_RXERQ timer is expired

III. 모의실험 결과

컴퓨터 모의실험을 통해 제안기법의 N_ERP와 백오프 시간 범위에 따른 센서노드 셀 가입률과 특정 가입률에 대한 탐색 소요 시간을 분석하였다. 모의실험에 사용된 파라미터는 표 1과 같다. 프레임의 유실은 오직 프레임 간 충돌로 인해 발생함을 가정한다. 센서노드의 셀 가입은 센서노드가 전송한 ERP를 수증기지국이 수신함으로써 완료된다. 그러므로 셀 가입률은 수증기지국이 충돌 없이 성공적으로 수신한 ERP에 대한 해당 센서노드의 개수를 총 센서노드의 개수로 나누는 값으로 정의된다.

그림 4는 N_ERP와 백오프 시간 범위에 따른 센서노드의 셀 가입률을 나타낸다. 그래프 위의 수치는 셀 가입률 기준을 약 80%로 잡았을 때의 탐색 소요 시간을 나타낸다. 백오프 시간축의 시간 범위 [1,t]는 1초와 t초 사이의 범위에서 균일 분포를 갖는 랜덤변수를 의미한다. N_ERP가 12이고 백오프 시간 범위가

표 1. 모의실험 파라미터
Table 1. Simulation parameter

Parameter	Value
UBS cell radius	5 km
Number of UBSs	1
Number of SNs	64
Frame transmission time	3 s
Propagation speed	1500 m/s
M_ERQ	1
Simulation iteration	1000 times

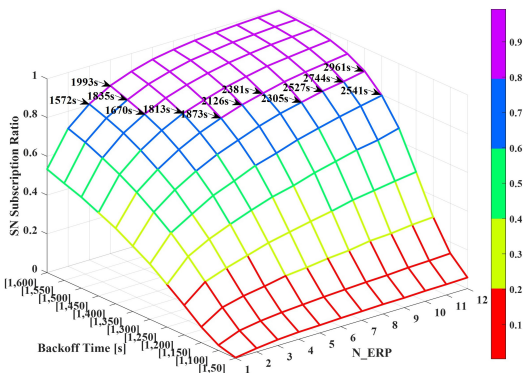


그림 4. ERP 전송 횟수 및 백오프 시간 범위에 따른 센서노드 셀 가입률 및 센서노드 탐색 시간
Fig. 4. Sensor-node cell subscription ratio and sensor-node searching time varying the number of ERPs and backoff time

표 2. 80% 셀 가입률에 대한 센서노드 탐색 시간
Table 2. Sensor-node searching time for 80% cell subscription ratio

		N_ERP							
		3		4		5		6	
		SR	ST	SR	ST	SR	ST	SR	ST
Backoff Time [s]	[1,350]	0.56	926	0.63	1173	0.68	1413	0.72	1647
	[1,400]	0.63	1057	0.7	1333	0.75	1604	0.8	1873
	[1,450]	0.69	1185	0.76	1499	0.81	1813	0.85	2107
	[1,500]	0.74	1312	0.8	1670	0.85	2011	0.89	2334
	[1,550]	0.77	1448	0.83	1835	0.88	2204	0.91	2563
	[1,600]	0.8	1572	0.87	1993	0.91	2396	0.94	2802

[1,350]인 경우 2961초가 소요되는 한편, N_ERP가 3이고 백오프 시간 범위가 [1,600]인 경우 1572초가 소요된다. 즉, 80% 센서노드 셀 가입률에 대해, N_ERP와 백오프 시간 범위의 조합에 따라 센서노드 탐색 소요 시간에 약 2배의 차이가 발생한다. 표 2는 N_ERP와 백오프 시간 범위에 따른 센서노드 셀 가입률 및 센서노드 탐색시간의 수치들을 나타낸 것이다. SR은 센서노드의 셀 가입률을 뜻하며, ST는 탐색 소요 시간을 뜻한다. 표의 음영 처리된 부분은 약 80%의 셀 가입률과 해당 탐색 소요 시간을 나타낸다. 이를 통해 특정 센서노드 셀 가입률에 대해 센서노드 탐색 소요 시간을 줄이기 위해서는 N_ERP를 증가시키는 것보다 백오프 시간 범위를 증가시키는 것이 유리함을 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 수중 셀룰러 네트워크 환경을 고려한 센서노드 탐색 기법을 제안하였다. 모의실험을 통해 제안 기법의 ERP 전송 횟수와 백오프 시간 범위에 따른 센서노드의 셀 가입률과 센서노드 탐색 소요 시간의 결과를 분석하였다. 센서노드 셀 가입률 성능을 기준으로 센서노드 탐색 소요 시간을 줄이기 위해서는 백오프 시간 범위를 증가시키는 것이 ERP 전송 횟수를 증가시키는 것 보다 유리했다. 이것을 활용하면 수중 셀룰러 네트워크의 셀 구성시, 센서노드의 특정 셀 가입률에 도달하기 위한 센서노드 탐색 소요 시간을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] C. Yun, J.-W. Park, and S. Choi, "Backhaul resource allocation protocol for underwater

cellular communication networks,” *J. KICS*, vol. 42, no. 2, pp. 393-402, Feb. 2017.

- [2] I. F. Akyildiz, P. Dario, and M. Tommaso, “Underwater acoustic sensor networks: research challenges,” *Ad Hoc Networks*, Elsevier, vol. 3, no. 3, pp. 257-279, May 2005.
- [3] R. Pec, M. S. Khan, M. Asim, and Y. S. Cho, “Random access for underwater acoustic cellular systems,” *Sensors*, vol. 18, no. 2, Feb. 2018.