

# 수중 다중매체 통신 네트워크에서의 에너지 기반 라우팅 알고리즘

임동현\*, 박재현\*\*, 신인식\*\*, 강동민\*\*, 강경민\*\*, 김창화\*\*\*

\*, \*\*,\*\*\*강릉원주대학교 컴퓨터공학과

yeklys@naver.com, pjh9257@naver.com, tldslstr321@gmail.com, rrvv97@naver.com,  
tiger2022@naver.com, kch@gwnu.ac.kr

## Energy-Based Routing Algorithms in Underwater Multimedia Communication Networks

DongHyun Lim\*, Jaehyeun Park\*\*, Insik Shin\*\*, Dongmin Kang\*\*, Kyeongmin Kang\*\*, ChangHwa Kim\*\*

\*,\*\*,\*\*\*Dept. of Computer Science&Engineering, Gangneung-Wonju National University

### 요 약

수중 다중매체 통신 또한 수중 통신과 마찬가지로 에너지 확보 문제로 노드의 마비, 높은 에너지 교체 비용 등의 문제를 가지고 있다. 이에 본 논문에서는 이전 연구에서 제시된 에너지 소모 산출 모델을 이용하여 수중 다중매체 통신 네트워크를 대상으로 하는 에너지 기반 라우팅 알고리즘을 제시한다.

### 1. 서론

현재 수중 통신 환경에서는 주로 음파 통신을 사용한다. 음파 통신은 모든 통신에 비해 긴 통신 거리를 가지고 있지만 해수면과 해저면 사이의 반사와 굴절 일어나고 물의 온도, 염도, 탁도 그리고 주변 소음 등의 주위 환경에 민감하기 때문에 통신 장애가 빈번하고 지연시간이 길어지며 전송 속도도 느려진다. 또한 통신 거리가 길어질수록 전력 소모량도 비례하여 증가한다. 이러한 음파 통신의 단점을 보완하기 위해 광 통신, 극저주파 통신, 자기장 통신 등의 다른 통신 매체를 개발하였다. 하지만 각 통신 매체들이 각기 다른 장단점을 가지고 있어 현재 개발된 수중 통신 매체들은 단독으로 운영하기엔 어려운 상황이다[1]. 이런 상황에서 제시된 개념이 각기 다른 장단점을 가진 수중 통신 매체들을 복합하여 사용하자는 수중 다중매체 통신이다. 하지만 수중 다중매체 통신 또한 근본적으로 수중에서 통신을 진행하기 때문에, 수중 통신의 고질적인 문제인 에너지 효율 문제를 해결할 필요가 있다. 수중 환경에서는 노드에 전력을 수시로 공급해주기 어렵기 때문에 배터리 잔량, 전송 속도, 통신 거리 그리고 매체 별 송수신 시 에너지 소모량을 고려해야한다. 배터리가 수명이 다 된다면, 통신이 마비될 수 있고 수중에서는 노드의 배터리를 교체하는데 많은 비용이 들어가

기 때문에 이를 방지하거나 최소화 할 수 있는 기술이 필수적이다[2,3,4,5]. 이에 본 논문에서는 이전 연구에서 제시한 패킷 구조와 에너지 모델, 라우팅 테이블 구조를 이용하여 구현된 알고리즘을 통해 어떤 방법으로 라우팅이 진행 되고 경로가 선택 되는지 다루어 보려고 한다[6,7].

### 2. 송수신 에너지 소모 기반 라우팅 알고리즘

본 연구의 라우팅 알고리즘은 이전 연구의 [7]을 기반으로 제시된다. [7]에서는 라우팅에 사용되는 RREQ, RREP 패킷과 라우팅 테이블 구조 등의 라우팅 프로토콜과 라우팅 경로에서의 총 에너지 소모량 계산을 위한 에너지 모델의 설계를 제시하고 있다. 본 절에서는 이를 기반으로 라우터의 역할에 따른 라우팅 알고리즘을 제시한다.

표 1 알고리즘 용어 및 설명

용어	의미
A	수신한 RREP 패킷
B	송신한 RREQ 패킷
C	캐시에 저장된 RREQ 패킷
D	캐시에 저장된 RREP 패킷
$E_H$	경로의 총 에너지 소모량

2.1 공통 라우터 알고리즘



그림5 공통 라우터 알고리즘

모든 알고리즘은 공통 라우터 알고리즘으로부터 시작된다. 모든 노드의 네트워크 계층의 대기 상태에서 공통 라우터 알고리즘이 작동되고 있으며, 메시지 수신시 메시지를 어느 서브루틴에서 처리해야 되는지 분류하는 역할을 수행한다.

1. 다른 계층으로 부터 메시지를 수신할 때까지 대기한다.
2. 1번에서 받은 메시지를 상위 계층으로부터 받았는지 하위 계층으로 부터 받았는지 확인한다.
3. 2번에서 상위 계층으로 부터 메시지를 받았다고 확인되면 메시지를 송신하기 위해 S\_state를 0으로 초기화를 해주고 RREQ 출발지 노드 라우터 서브루틴을 실행한다.
4. 2번에서 하위계층으로 부터 메시지를 수신하였다면 RREQ 패킷인지 아닌지 확인한다.
5. 4번에서 수신한 패킷이 목적지 주소가 자신의 주소와 같은지 확인한다.
6. 5번에서 패킷의 목적지 주소가 자신의 주소와 같지 않다면 중간노드에서 RREQ를 수신하였다 판단하여 M\_state를 0으로 초기화 후 중간 노드 라우터 서브루틴을 실행한다.
7. 5번에서 패킷의 목적지 주소가 수신한 노드의 주소와 같으면 RREQ 패킷의 목적지로 확인하여 RREQ 패킷을 처리하고 RREP 패킷을 전송 해야되므로 RREP 출발지 노드 라우터 서브루틴을 실행한다.
8. 4번에서 수신한 패킷이 RREQ 패킷이 아니라면 RREP 패킷인지 아닌지 확인한다.
9. 8번에서 수신한 패킷이 RREP 패킷으로 판별된다면 RREP 패킷의 목적지 주소가 자신의 주소와

같은지 확인한다.

10. 8번에서 패킷의 목적지 주소가 자신의 주소와 같지 않다면 중간노드에서 RREP 패킷을 수신하였다 판단하여 M\_state를 1로 초기화 후 중간 노드 라우터 서브루틴을 실행한다.
11. 9번에서 패킷의 목적지 주소가 자신의 주소와 같으면 RREP 패킷의 최종 목적지가 자신 노드라 판단하여 RREP 패킷을 수신하였기 때문에 S\_state를 1로 초기화 후 RREQ 출발지 노드 라우터 서브루틴을 실행한다.
12. 해당 각 서브루틴이 종료 되면 공통 라우터 알고리즘이 종료 되고 다시 실행된다.

2.2 RREQ 출발지 노드 라우터 알고리즘

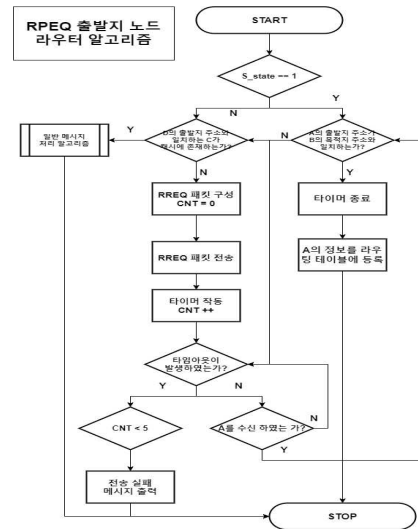


그림6 RREQ 출발지 노드 라우터 알고리즘

1. S\_state가 1인지 확인한다.
2. 1번에서 S\_state가 1이 아니라면 수신한 메시지의 목적지 주소가 라우팅 테이블에 존재하는지 확인한다.
3. 2번에서 수신한 메시지의 목적지 주소가 라우팅 테이블에 존재한다면 일반 메시지 처리 서브루틴을 실행한다.
4. 2번에서 수신한 메시지의 목적지 주소가 라우팅 테이블에 존재하지 않다면 RREQ 패킷을 구성한다.
5. 목적지 주소가 동일한 RREQ 패킷의 재전송 횟수를 확인하기 위한 CNT 변수를 0으로 초기화시킨다.
6. RREQ 패킷을 전송한다.
7. 6번에서 전송한 RREQ 패킷의 목적지 주소와 출발지 주소가 같은 RREP 패킷을 받지 못할 경우에 재전송을 하기 위해 타이머를 작동시킨다.
8. CNT에 1을 더한다.

9. 타임아웃이 발생하였는지 확인한다.
10. 9번에서 타임아웃이 발생했다면 CNT가 5보다 작은지 확인한다.
11. 10번에서 CNT가 5보다 작다면 RREQ 패킷을 다시 전송한 다음 타이머를 작동하고 CNT를 하나 증가시킨 후 타임아웃이 발생했는지 확인한다.
12. 10번에서 CNT가 5보다 작지 않다면 전송 실패 메시지를 출력하고 알고리즘을 종료한다.
13. 9번에서 타임아웃이 발생하지 않았다면 RREP 패킷을 수신하였는지 확인한다.
14. 13번에서 RREP 패킷을 수신하지 못했다면 9번에 타임아웃이 발생했는지 확인한다.
15. 1번에서 S\_state가 1이라면 수신한 RREP 패킷의 출발지 주소가 송신한 RREQ 패킷의 목적지 주소와 일치하는지 확인한다.
16. 13번에서 RREP 패킷을 수신했다면 출발지 주소가 6번에서 송신한 RREQ 패킷의 목적지 주소와 일치하는지 확인한다.
17. 15번과 16번에서 수신한 RREP 패킷의 출발지 주소가 6번에서 송신한 RREQ 패킷의 목적지 주소와 일치하지 않다면 9번에 타임아웃이 발생했는지 확인한다.
18. 15번과 16번에서 수신한 RREP 패킷의 출발지 주소가 6번에서 송신한 RREQ 패킷의 목적지 주소와 일치하면 타이머를 종료한다.
19. 수신한 RREP 패킷의 정보를 라우팅 테이블에 등록하고 서브루틴을 종료한다.

- 등록되어 있는지 확인한다.
2. 1번에서 수신한 패킷의 목적지 주소가 라우팅 테이블에 존재하지 않다면 해당 패킷은 RREQ 패킷이기 때문에 라우팅 테이블에 수신한 RREQ 패킷의 출발지 주소와 일치하는 RREQ 패킷이 캐시에 존재하는지 확인한다.
3. 2번에서 수신한 RREQ 패킷의 출발지 주소와 일치하는 RREQ 패킷이 캐시에 존재하지 않다면 같은 출발지 주소에 대한 RREQ 패킷을 더 수신하기 위해 타이머를 작동시킨다.
4. 수신한 RREQ 패킷의 메트릭을 계산한다.
5. 수신한 RREQ의 정보를 캐시에 저장한다.
6. 타임아웃이 발생하였는지 확인한다.
7. 6번에서 타임아웃이 발생할 때까지 대기한다.
8. 2번에서 수신한 RREQ 패킷의 출발지 주소와 일치하는 RREQ 패킷이 캐시에 존재한다면 수신한 RREQ 패킷의 메트릭을 계산한다.
9. 2번에서 수신한 RREQ 패킷의 메트릭이 캐시에 저장된 RREQ 패킷의 메트릭보다 크지 확인한다.
10. 9번에서 수신한 RREQ 패킷의 메트릭이 캐시에 저장된 RREQ의 메트릭보다 크다면 수신한 RREQ 패킷을 폐기하고 서브루틴을 종료한다.
11. 9번에서 수신한 RREQ 패킷의 메트릭이 캐시에 저장된 RREQ의 메트릭보다 크지 않다면 캐시에 저장된 RREQ 패킷의 정보를 삭제하고 수신한 RREQ 패킷의 정보를 캐시에 저장한다.
12. 6번에서 타임아웃이 발생했다면 캐시에 저장된 RREQ 패킷의 정보를 라우팅 테이블에 등록한다.
13. 캐시에 저장된 주소를 제외한 이웃 노드로 RREQ 패킷을 전송한다.
14. 캐시에서 RREQ의 정보를 삭제하고 서브루틴을 종료 한다.
15. 1번에서 수신한 패킷의 목적지 주소가 라우팅 테이블이 등록되어 있다면 M\_state의 값이 0과 같은지 확인한다.
16. 15번에서 M\_state가 0과 같다면 해당 패킷은 RREQ 패킷이기 때문에 타임아웃이 발생되고 난 뒤에 수신했다고 판단하여 해당 RREQ 패킷을 폐기 후 서브루틴을 종료 한다.
17. 15번에서 M\_state가 0과 같지 않다면 해당 패킷은 RREP 패킷이기 때문에 RREP 패킷의 출발지 노드로 부터 자신 노드 까지의 메트릭을 계산하고 RREP 패킷의 정보를 라우팅 테이블에 등록 후 다음 노드로 전송하고 서브루틴을 종료 한다.

### 2.3 중간노드 라우터 알고리즘

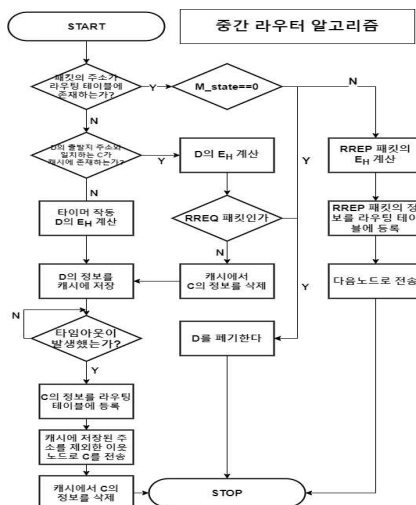


그림7 중간 노드 라우터 알고리즘

1. 수신한 패킷의 목적지 주소가 라우팅 테이블에

### 가. 2.4 RREP 출발지 노드 라우터 알고리즘

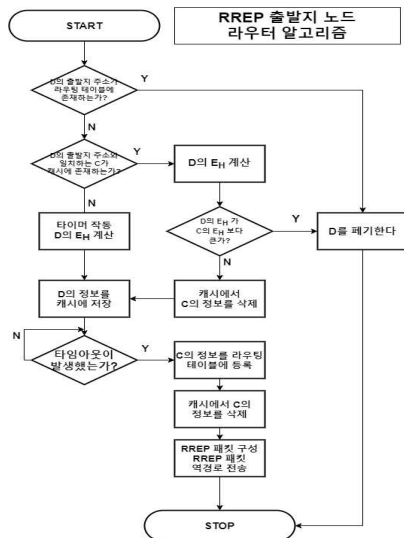


그림8 RREP 출발지 노드 라우터 알고리즘

1. 수신한 RREQ 패킷의 출발지 주소가 라우팅 테이블에 존재하는지 확인한다.
2. 1번에서 수신한 RREQ 패킷의 출발지 주소가 라우팅 테이블에 존재한다면 해당 RREQ 패킷을 폐기하고 서버루틴을 종료한다.
3. 1번에서 수신한 RREQ 패킷의 출발지 주소가 라우팅 테이블에 존재하지 않다면 해당 RREQ 패킷의 출발지 주소와 일치하는 RREQ가 캐시에 존재하는지 확인한다.
4. 3번에서 수신한 RREQ 패킷의 출발지 주소와 일치하는 RREQ 패킷이 캐시에 존재하지 않다면 같은 출발지 주소에 대한 RREQ 패킷을 더 수신하기 위해 타이머를 작동시킨다.
5. 수신한 RREQ 패킷의 메트릭을 계산한다.
6. 수신한 RREQ 패킷의 정보를 캐시에 저장한다.
7. 타이머아웃이 발생하였는지 확인한다.
8. 7번에서 타이머아웃이 발생할 때까지 대기한다.
9. 3번에서 수신한 RREQ 패킷의 출발지 주소와 일치하는 RREQ 패킷이 캐시에 존재한다면 해당 RREQ 패킷의 메트릭을 계산한다.
10. 수신한 RREQ 패킷의 메트릭이 캐시에 저장된 RREQ 패킷의 메트릭보다 큰지 확인한다.
11. 10번에서 수신한 RREQ 패킷의 메트릭이 캐시에 저장된 RREQ 패킷의 메트릭보다 크다면 수신한 RREQ 패킷을 폐기하고 서버루틴을 종료한다.
12. 10번에서 수신한 RREQ 패킷의 메트릭이 캐시에 저장된 RREQ 패킷의 메트릭보다 크지 않다면 캐시에 저장된 RREQ 패킷의 정보를 삭제하고 수신한 RREQ 패킷의 정보를 캐시에 저장한다.
13. 7번에서 타이머아웃이 발생했다면 캐시에 저장된 RREQ 패킷의 정보를 라우팅 테이블에 등록한다.

14. 캐시에 등록된 RREQ 패킷의 정보를 삭제한다.
15. RREP 패킷을 구성한다.
16. RREP 패킷을 역경로 전송하고 서버루틴을 종료한다.

### 3. 결론

본 논문은 현재 수중 다중매체 통신에 에너지 효율적인 라우팅 기법을 제시하였다. 본 라우팅 기법이 적용된 수중 다중매체 통신 네트워크는 수중 노드들의 에너지 소모를 줄여준다. 이는 배터리 교체 횟수를 줄여 자원의 낭비를 막는 막을 수 있다. 향후 연구로는 본 논문에서 제안한 라우팅 알고리즘을 기반으로 하여 데이터 링크 계층에서 링크 설정 방법과 알고리즘에서 사용되는 정확한 타임아웃 시간 설정 방법을 제안하도록 한다.

### ACKNOWLEDGMENT

This research was a part of the project titled "Development of the wide-area underwater mobile communication systems" funded by the Ministry of Oceans and Fisheries, Korea

### 참고문헌

- [1] 신동현, 김창화. (2017). 수중 통신을 위한 다중 무선 통신 매체의 활용방안. 한국정보과학회 학술발표논문집, 1334-1336.
- [2] N. Nicolaou, A. See, P. Xie, J.-H. Cui, D. Maggiorini, "Improving the robustness of location-based routing for underwater sensor networks," in Proceedings of IEEE OCEANS'07, Aberdeen, Scotland, June 2007.
- [3] W. KG Seah, HX Tan, "Multipath virtual sink architecture for underwater sensor networks," in Proceedings of the MTS/IEEE OCEANS2006 Asia Pacific Conference, Singapore, May 16-9, 2006.
- [4] P. Yun, C. Kim, S. Kim, J. Kim, "Scalable uniformly-distributed clustering mechanism for sensor networks," in Proceedings of the 2nd IEEE/IFIP International Workshop on Ubiquitous Underwater Sensor Network (UUWSN'08), pp.61-68, December, 2008.
- [5] 박성준, 박수현, 김상경, 김창화. (2010). 수중 통신과 해양센서 네트워크 기술. 정보과학회지, 28 (7), 79-88.
- [6] 배현수, 김보경, 이원열, 허석렬, 이완직. (2011). 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율적인 AODV 라우팅 기법. 한국정보기술학회논문지, 9(12), 13-20.
- [7] 박재현, 신인식, 강동민, 강경민, 강희민, 임동현, 김창화. (2021). 다중매체 수중 통신 네트워크에서 에너지 기반 라우팅을 위한 에너지 소모 산출 모델. 강릉원주대학교 과학기술연구소 논문지, 9(1), 58-64.