

# 수중 MANET에서 전송성능기반 이동패턴분석

김영동\*

## Movement Pattern Analysis based on Transmission Performance over Underwater MANET

Young-Dong Kim\*

### 요 약

전송성능은 수중 MANET의 연구, 개발 뿐 아니라 설계, 구축 및 운용에 있어서 매우 중요한 요소임에도 불구하고 네트워크 성능의 정도를 비교, 분석하는 척도로 한정적으로 사용되는 경향이 있다. 본 논문에서는 수중 MANET에서 전송성능의 이용을 확대하기 위하여 전송성능을 활용한 이동패턴을 분석해 본다. 이를 위하여 전송성능과 이동패턴의 관계를 고찰하고 이들 토대로 특정 이동패턴이 전송성능에 미치는 영향을 분석한다. 본 연구의 결과는 수중 환경에서 이동체의 전송성능을 관찰하여 이동체의 이동패턴을 예측 및 분석하는 주요 근거로 활용될 수 있을 것으로 본다.

### ABSTRACT

Even though the transmission performance is very important factor for not only study and development but also for design, implementation, and operation of underwater MANET. There is a trend of using it as a measurement factor for comparing and analyzing degree of network performance. In this paper, movement pattern using transmission performance is analyzed to enlarge the use of transmission performance in underwater MANET. The relation between transmission performance and movement pattern is firstly considered and then through this consideration, causing effects of movement pattern to transmission performance is studied. Results of this study can be used as an important base to predict and analyze movement pattern through measuring of transmission performance of moving objects in underwater environments.

### 키워드

Underwater Communication, MANET, Movement Pattern, Simulation, Performance  
수중 통신, 임시 통신망, 이동 패턴, 시뮬레이션, 전송 성능

### 1. 서 론

수중통신환경은 지상통신환경과 달리 전파속도, 전파매체, 3차원 공간 등의 많은 제약조건을 내포하고 있다. 수중 장거리 통신에 주로 사용되는 음향매체 체

널의 전파속도는 평균 1500[m/s]로 지상음향속도 340 [m/s]에 비하면 빠르지만 지상무선전파속도  $3 \times 10^8$  [m/s]에 비하면 매우 느린 속도이다. 뿐만 아니라 해저 통신 환경은 3차원의 통신공간을 구성하는 수중 온도, 염도 및 각종 음향 잡음에 매우 민감하다[1-3].

\* 교신저자 : 동양대학교 철도전기융합학과  
• 접수일 : 2019. 10. 06  
• 수정완료일 : 2019. 11. 11  
• 게재확정일 : 2019. 12. 15

• Received : Oct. 06, 2019, Revised : Nov. 11, 2019, Accepted : Dec. 15, 2019  
• Corresponding Author : Young-Dong Kim  
Dept. of Electric Railway Convergence Science  
Email : ydkim@dyu.ac.kr

수중환경에서 통신기술에 관한 연구는 주로 수중지형, 해저 조류형태, 음향잡음, 수중온도 등에 의한 음향 채널의 전송능력 분석 및 측정에 집중되어왔다[4-5].

본 논문에서는 수중통신에서 전송능을 단순한 분석을 넘어 이를 활용하는 방법의 하나로 전송능력 변화를 이용한 수중통신기기의 이동패턴을 분석함으로써 전송능의 활용방안을 강구해 본다.

연구 대상 수중 네트워크로 가상의 해저 수중통신 공간을 대상으로 설정된 수중 MANET(: Mobile Adhoc Network)을 사용하며 특정한 패턴으로 이동하는 통신기기의 전송능을 비교, 분석함으로써 전송능과 이동패턴간의 관계를 고찰한다.

본 연구는 NS(: Network Simulator)-3을 기반으로 구축한 수중통신 시뮬레이터를 사용하여 수행한다.

본 논문은 II장에 수중통신환경, III장에서는 시뮬레이션 및 분석, IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 수중통신환경

수중통신환경의 장거리통신에서는 지상통신환경에서 사용되는 무선전파와 달리 주로 음향전송매체가 사용된다.

수중음향채널에서 신호는 지상통신환경의 무선전파 속도  $3 \times 10^8$ [m/s]에 비해 20만배 느린 평균 1500[m/s] 속도로 운영된다. 뿐만 아니라 해저지형, 조류패턴, 염도 및 온도에 영향을 받으며, 수중 잡음원에 의해서 발생하는 음향잡음에 매우 민감하다[6-7].

이와 같은 수중통신에서 사용되는 음향채널의 전파속도는 식 (1)과 같다[7-9].

$$v = 1448.96 + 4.591T - 5.304 \times 10^{-2} T^2 - 2.374 \times 10^{-4} T^3 + 1.340(S - 35) + 1.630 \times 10^{-2} D + 1.675 \times 10^{-7} D^2 - 1.025 \times 10^{-2} T(S - 35) - 7.139 \times 10^{-13} TD^3 \quad \text{--- (1)}$$

식(1)에서  $v$ 는 전파속도[m/s],  $T$ 는 온도[°C],  $S$ 는 염도[ppt],  $D$ 는 깊이[m]를 나타낸다.

식(1)에서 전파속도는 전송거리, 수중온도, 염도 및 수중깊이에 따라 달라진다. 이외에 수중통신에서 영향

을 미치는 요인으로 각종 손실원에 의한 감쇠, 수중음향잡음, 위상지연 등이 있다[6][7].

## III. 시뮬레이션 및 분석

### 3.1 모델링

본 논문에서는 수중 MANET 환경에서 이동체의 이동패턴을 전송능을 사용하여 분석한다. 본 논문에서 수중 MANET은 인프라 장비의 지원없이 단말기만으로 구축되며, 단말기는 정해진 패턴에 따라 이동하고 단말기간은 음향채널을 사용하여 정보를 송수신한다.

이동패턴으로는 랜덤이동, 원형이동, 정방이동을 가정하며, 단말기들은 이 패턴을 따라 랜덤속도 또는 일정속도로 평면 이동을 한다. 이동 간에 단말기는 그림 1과 같이 원격지에 고정 위치된 단말기와 정보를 송수신한다.

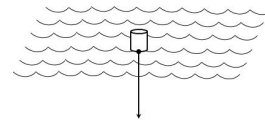


그림 1. 수중통신모델

Fig. 1 Underwater communication model

### 3.2 시뮬레이터 구성

본 논문은 수중 MANET에서 전송능에 기반한 이동패턴을 분석하기 위하여 NS-3를 기반으로 한 컴퓨터 시뮬레이션을 사용한다.

NS-3에 제공되는 UAN(: Underwater Acoustic Network) 모듈을 기반으로 랜덤, 원형, 정방이동 패턴을 구축하여 시뮬레이션에 활용한다.

### 3.3 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 정해진 규모의 3차원 수중통신 공간에서 랜덤, 원형 및 정방 이동을 하는 MANET을 대상으로 한다.

노드의 이동속도는 랜덤이동의 경우, 5[m/s]의 저속이동, 25[m/s]의 고속이동을 가정하였으며, 원형과 정방

이동의 경우는 시뮬레이션 기간에 1회를 순환하는 것으로 가정하였다. 원형 및 정방이동의 경우 네트워크 규모에 따라 5[m/s]~33[m/s]로 속도로 이동한다.

본 연구에서는 송신노드와 수신노드는 각각 단일 노드로 간주하며, 수신노드는 해수면, 송신노드는 수중 50[m]~1[km]에 위치하는 것으로 설정한다.

송신노드는 정해진 규모의 수중 네트워크에서 평면 상을 원형, 정방 또는 랜덤 이동하며 해수면에 위치한 노드로 트래픽을 전송한다.

시뮬레이션에서 송신노드는 20[bytes] 길이의 음성 패킷을 송신하는 것으로 설정하였으며, 채널속도는 음성급을 고려하여 64[kbps]로 하였다.

주요 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation parameters

Parameters	Values
Network Scale	500×500×50~3K×3K×1K[m <sup>3</sup> ]
Node Number	2
Node Mobility	Circular, Rectangle, Random
Node Speed	5[m/s]~33[m/s]
MAC	ALOHA
Channel Speed	64[kbps]
Packet Size	20[Bytes] Audio Streaming
Protocol	UDP

### 3.4 성능분석

시뮬레이션은 표 1의 파라미터에 따라 360[s]간 수행하며 처리율, 전송지연 및 패킷손실율을 전송성능으로 측정하였다.

시뮬레이션 결과를 그림 2~13에 제시하였다. 그림 2/4/6은 네트워크 규모에 따른 전송성능, 3/5/7은 네트워크 규모에 따른 평균성능, 그림 8/10/12는 수중깊이에 따른 전송성능, 그림 9/11/13은 수중깊이에 따른 평균성능이다. 각 그림에서 Circular, Rectangle, Random(L), Random(H)는 각각 원형, 정방, 저속랜덤, 고속랜덤 이동을 각각 의미한다.

그림 2와 3은 네트워크 규모에 따른 처리율을 나타낸다. 그림 2에서 네트워크 규모가 증가함에 따라 처리율은 낮아졌다. 랜덤이동의 경우 매우 안정적인 패턴을 보였으나 정방이동의 경우 규칙성이 낮은 것으로 나타났다 원형이동의 경우 처리율 성능이 랜덤이

동과 정방이동의 중간에 해당하는 특성을 보였다. 그림 3에서 평균값은 정방이동이 가장 낮고, 랜덤이동이 가장 높았다. 처리율은 약 0.33 내외였다.

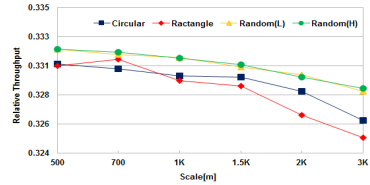


그림 2. 처리율(규모)  
Fig. 2 Throughputs(scale)

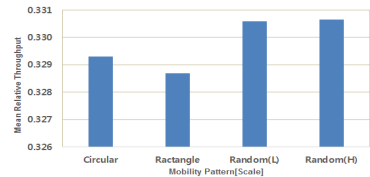


그림 3. 평균처리율(규모)  
Fig. 3 Mean throughputs(scale)

그림 4는 네트워크 규모에 따른 전송지연의 결과이다. 전송지연은 모든 이동패턴에서 안정적이었으며 400[ms] 이하로 측정되었다. 그림 5에서 평균지연은 랜덤이동이 100[ms], 원형이동이 160[ms], 정방이동이 190[ms]로 나타났다.

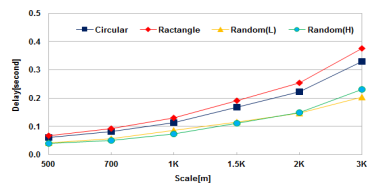


그림 4. 전송지연(규모)  
Fig. 4 Transmission delay(scale)

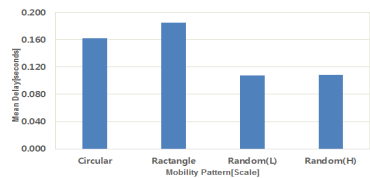


그림 5. 평균전송지연(규모)  
Fig. 5 Mean transmission delay(scale)

그림 6과 7에서 네트워크 규모에 따른 패킷손실율은 65[%] 내외로 모든 이동패턴에서 매우 높았다. 이동패턴별로는 랜덤이동이 비교적 낮았고, 정방이동이 높았으며, 랜덤이동은 안정적이었고, 정방이동은 불규칙했다. 원형이동은 중간적 특성을 보였다.

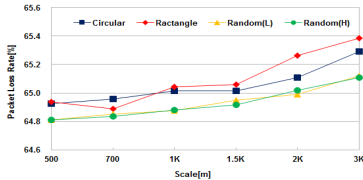


그림 6. 패킷손실율(규모)  
Fig. 6 Packet loss rate(scale)

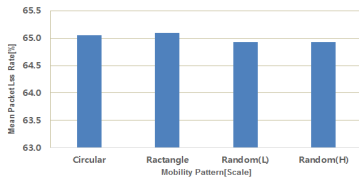


그림 7. 평균패킷손실율(규모)  
Fig. 7 Mean packet loss rate(scale)

그림 8에서 수중깊이의 변화에 따른 처리율은 고속 랜덤이동이 가장 안정적이었고, 저속랜덤이동과 원형이동은 비슷한 패턴을 보였다. 반면 정방이동은 다른 이동패턴에 비해 증가 및 감소가 상당히 불규칙했다. 그림 9는 깊이에 따른 평균처리율로서 깊이에 따른 변화는 그림 3의 규모에 따른 변화에 비해 상대적으로 크지 않았다. 따라서 이동패턴간의 처리율의 변화는 수중 깊이 보다 네트워크 규모에 따라 영향이 더 큰 것으로 볼 수 있다. 반면에 그 평균은 깊이에 따른 것이 규모에 따른 것보다 낮은 것으로 측정되었다.

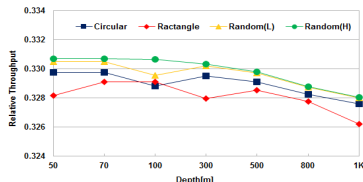


그림 8. 처리율(깊이)  
Fig. 8 Throughputs(depth)

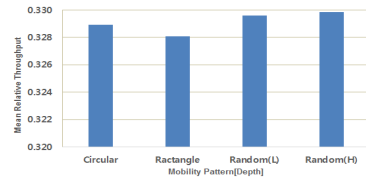


그림 9. 평균처리율(깊이)  
Fig. 9 Mean throughputs(depth)

그림 10에서 수중깊이의 변화에 따른 전송지연은 모든 구간에서 300[ms] 이하였으며, 랜덤이동, 원형이동, 정방이동 순으로 높았다. 지연의 변화는 모든 이동 패턴에서 매우 안정적이었다. 그림 11에서 깊이에 따른 평균지연은 랜덤이동이 160[ms]으로 가장 낮았고, 원형이동이 200[ms], 정방이동이 220[ms]였다.

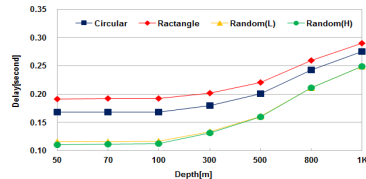


그림 10. 전송지연(깊이)  
Fig. 10 Transmission delay(depth)

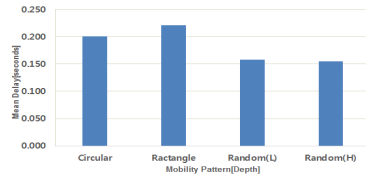


그림 11. 평균전송지연(깊이)  
Fig. 11 Mean transmission delay(depth)

그림 12에서 수중 깊이의 변화에 따른 패킷손실율의 경우는 고속랜덤이동의 경우 가장 안정적이었고, 정방이동의 경우는 변화가 다소 불규칙하였다. 저속랜덤이동과 원형이동은 고속랜덤이동과 정방형이동의 중간 특성을 보였다. 그림 13에서 평균 패킷손실율은 약 65[%] 내외로 매우 높았다.

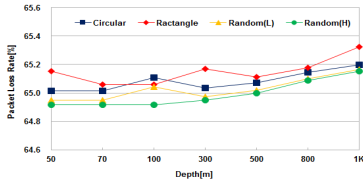


그림 12. 패킷손실율(깊이)  
Fig. 12 Packet loss rate(depth)

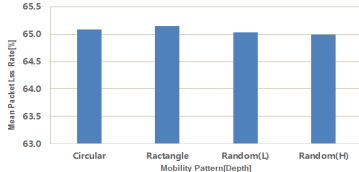


그림 13. 평균패킷손실율(깊이)  
Fig. 13 Mean packet loss rate(depth)

### 3.5 패턴분석

3.3절에 기술한 성능분석 결과를 살펴보면 표 2와 같다. 표 2에서 랜덤이동은 처리율, 지연 및 패킷손실율에서 모두 안정적 특성을 보였다. 반면에 정방이동의 경우 지연에서는 안정적이었으나 처리율과 패킷손실율에서는 매우 불규칙한 특성을 보였다. 원형이동의 경우는 처리율과 패킷손실율에서 랜덤이동과 정방이동의 중간적 특성을 보였으며 지연은 다른 두 이동패턴과 마찬가지로 안정적 특성을 보였다.

이와 같은 결과를 고려하면 전송성능에서 랜덤이동의 경우 안정적 특성, 정방이동의 경우 불규칙한 특성, 원형이동의 경우 중간적 특성을 보이는 것으로 판단할 수 있다.

따라서 수중통신에서 이동중에 있는 통신기기의 전송성능이 안정적인 경우 랜덤이동, 불규칙한 경우 정방이동 또는 정방이동을 이루는 직선 또는 선형이동, 중간적 특성을 보이는 경우 원형이동 또는 원형이동을 이루는 곡선이동으로 예측할 수 있다.

다만 이 분석 결과는 제한적 상황에서 수행한 시뮬레이션 결과를 토대로 한 것으로 보다 광범위한 네트워크 상황 및 이동 조건 등을 토대로 한 분석이 추가 보완되어야 패턴 예측의 정확성을 기할 수 있을 것으로 판단된다.

표 2. 성능분석 결과  
Table 2. Performance analysis result

	measure	circular	rectangle	random
throughput	scale	medium	irregular	stable
	depth	medium	irregular	stable
delay	scale	stable	stable	stable
	depth	stable	stable	stable
packet loss rate	scale	medium	irregular	stable
	depth	medium	irregular	stable
performance pattern		medium	irregular	stable

## IV. 결론

본 논문에서는 수중통신환경에서 이동체간에 전송되는 트래픽의 전송성능을 활용한 이동패턴분석을 시도하였다.

본 연구는 이동패턴으로 원형이동, 정방이동, 랜덤이동을 설정하고 시뮬레이션을 사용하여 처리율, 전송지연, 패킷손실율 등의 전송성능을 측정하고 이동패턴별 전송을 분석하였다.

이동패턴에 따른 성능분석결과 랜덤이동은 매우 안정적 특성, 정방이동은 불규칙한 특성을 보였으며, 원형이동은 중간적 특성을 보였다. 따라서 수신된 트래픽의 전송성능의 안정적 및 불규칙 정도에 따라 이동체의 이동특성을 예측할 수 있을 것으로 판단된다.

다만 본 연구의 결과가 제한적이고 한정된 조건에 수행된 시뮬레이션 결과를 토대로 한 것으로서 보다 광범위한 네트워크 환경이나 이동조건을 활용한 시뮬레이션 수행 및 그 결과 분석을 통한 보완이 수반되어야 이동패턴예측의 정확성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다. 이는 추후 과제로 남겨둔다.

### 감사의 글

이 논문은 2018년도 동양대학교 학술연구비의 지원으로 수행되었음.

References

- [1] J. Partan, J. Kurose, and B. Levine, "A Survey of Practical Issues in Underwater Networks," In *Proc. the 1st ACM Int. Workshop on Underwater Networks*, Los Angeles, USA, Sept. 2006, pp. 17-24.
- [2] A. Stefanov and M. Stojanovic, "Performance of Underwater Ad-Hoc Networks," In *Proc. IEEE Vehicular Technology Conference (VTC 2010)-Fall*, Ottawa, Canada, Sept. 2010, pp. 1-5.
- [3] S. Lee and H. Yoon, "A Study on Development of Technology System for Deep-Sea Unmanned Underwater Robot of S. Korea analysed by the Application of Scenario Planning", *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 8, no. 1, 2013, pp. 27-40.
- [4] C. Gussen, P. Diniz, M.Campos, W. Martins, F. Costa, and J. Gois, "A Survey of Underwater Wireless Communication Technologies," *J. of Communication and Information Systems*, vol. 31, no. 1, 2016. pp. 242-255.
- [5] I. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Challenges for Efficient Communication in Underwater Acoustic Sensor Networks," *ACM Special Interest Group on Embedded review*, vol. 1, issue 2, July 2004, pp. 3-8.
- [6] Y. Kim, "Transmission Performance of MANET on 3D Underwater Communication Environments," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 12, no. 6, 2017, pp. 997-1002.
- [7] Y. Kim, "Transmission Performance of Video Traffics on Underwater MANET," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 1, Feb. 2019, pp. 49-54.
- [8] Y. Kim, "Transmission Performance of VoIP Traffics on Underwater MANET," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 12, Dec. 2016, pp. 1187-1192.
- [9] A. Sehgal, I. Tuma, and J. Schonwalder, "AquaTools : An Underwater Acoustic Networking Simulation Toolkits," In *Proc. IEEE Oceans Conf.*, Sydney, Australia, May 2010, pp. 1-10.

저자 소개



**김영동(Young-Dong Kim)**

1984년 광운대학교 전자통신공학과 졸업(공학사)

1986년 광운대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)

1990년 광운대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학박사)

1995년~현재 동양대학교 철도전기융합학과 교수

※ 관심분야 : 통신프로토콜, MANET, VoIP, LTE-R, 수중통신, 시뮬레이션, ICT 융합 등