

선박 애드 혹 네트워크를 위한 확장탐색구역 경로배정 프로토콜

손 주 영†

(원고접수일 : 2008년 7월 25일, 원고수정일 : 2008년 9월 3일, 심사완료일 : 2008년 9월 22일)

EZR: Expansive Search Zone Routing Protocol for Ship Ad Hoc Networks

Jooyoung Son†

Abstract : Ships at sea cannot exchange data among them easily so far. Basically voice-oriented communication systems are the main methods, some of them utilize the HF radio systems at lower bit rates, and for higher bit rates, the Inmarsat or VSAT are adopted. None of them are used widely because of lower qualities and higher costs. There exist many technical and economical limits to have the Internet service just like on land such as the WWW service. In order to achieve the improved transmission rates of the maritime communication networks at farther sea, MANET(Mobile Ad Hoc Network) is one of the most practical models. In this paper, a new routing protocol named EZR (Expansive Search Zone Routing Protocol) is proposed, which is based on SANET (Ship Ad Hoc Network) model that has some different features from MANET and VANET (Vehicular Ad Hoc Network). The search zone for the shortest path is firstly found by EZR. If no path is searched in the zone, the zone is expanded according to the rule of EZR. The zone-expanding and path-searching procedures are repeated until the path is found out. The performance of EZR is evaluated and compared with LAR protocol which is one of the most typical routing protocols based on geographical information. The simulated results show that EZR is much better than LAR at sea environments in terms of routing success rate, route optimality, and a single index of performance combined the previous two metrics.

Key words : Ship ad hoc networks(선박 애드 혹 네트워크), Expansive Zone(확장구역), Routing(경로배정), Protocol(프로토콜), Course(항로)

1. 서 론

현재 바다에서 인터넷은 물론이고 숫자와 텍스트 위주의 데이터 통신을 하는 데도 기술적인 제약이 따른다. 유선과 무선에 의해 비교적 쉽게 초고속 정

보통신망으로 접속할 수 있는 육상과는 달리 해상에서는 전통적인 통신망으로 MF, HF, VHF, UHF 라디오 통신망을 기반으로 주로 음성(전화, 무전)위주로 통신 서비스를 이용하고 있다. 부분적으로 해사통신위성(Inmarsat)이나 VSAT을 통해 좀 더

† 교신저자(한국해양대학교 컴퓨터제어전자통신공학부, E-mail: mmlab@hhu.ac.kr, Tel: 051)410-4575)

나은 데이터 통신환경을 이용한다. 여기에 요즘은 무선 LAN(Wi-Fi), W-CDMA(HSDPA), Mobile WiMax, 그리고 WiBro와 같은 육상의 광대역 무선접속(BWA: Broadband Wireless Access)기술^{[1],[2]}을 이용하여 연안에서 정박중이거나 연안과 가까이에서(~20Km) 항해중인 선박을 상대로 고속통신 서비스를 제공하려는 시도가 있다^[3]. 따라서 해상통신망은 전통적인 음성 위주의 RF 통신망에서 초고속 무선이동접속망, 그리고 위성통신과 같이 다양한 데이터통신을 위한 통신매체가 존재하는 복합적 통신환경을 가진다. 특징적으로 다중의 중첩된 통신매체(Radio, BWA, 통신위성), 제한적인 대역폭(300~64Kbps, 1~2Mbps), 가변적 전송지연 시간(round trip time: 565ms), 큰 비트 에러율(10^{-2} ~ 10^{-4}) 등의 열악한 환경에 놓여 있는 것이다. 그리고 이동체(선박)와 고정체(육상 기지국)간 또는 이동체(선박)들간의 통신에서 이동체(선박)자체가 (선박에 단일 단말기만 있는 경우) 데이터 단말 노드가 되기도 하는 동시에 선박 내의 GMDSS, VTS, ECDIS 단말기, 레이더 단말기, 그리고 PC 등 다양한 선내 데이터처리 단말기기를 위한 중계 노드(relaying gateway)가 되는 것이 특징적이다^[4].

해상의 통신노드(정박, 항해, 또는 조업하는 선박)는 육상의 고정통신노드는 물론이고 육상의 이동통신노드와도 다른 독특한 특성을 가진다. 노드가 이동할 때 위치 및 방향 변화가 급격하게 이루어지지 않는다는 점, 즉, 예측 가능한 움직임(mobility)을 보이는 성질을 가진다. 육상의 이동노드는 일반적으로 자원의 제약(battery, I/O device)을 가지는 반면에 해상의 통신노드는 통신장비가 선박 내에서 작동하기 때문에 육상의 고정노드와 유사한 풍부한 자원(memory, storage, power, I/O device 등)과 우수한 데이터 처리 성능(CPU)을 가진다. 그리고 해상의 통신노드는 GPS를 통해 자신의 위치 정보(location information)뿐만 아니라 AIS (Automatic identification system)를 이용하여 세계의 해상에 있는 다른 노드들의 위치 정보를 취득할 수 있는 채널을 가지고 있다^[3]. 이런 특성으로 인해 육상의 이동통신망 모델과는 달리 특별한

해상의 통신노드를 묶는 이동통신망 모델링이 필요하다.

해상은 기지국(BS: Base Station)과 같은 중앙 집중적인 통제국을 설치하기가 현실적으로 어렵기 때문에 해상이동통신망을 위한 모델로는 통신노드(선박)들이 자율적으로 망을 형성하고 지속적으로 위상 형태(topology)가 변화하는 이동 애드 혹 네트워크(MANET: Ad Hoc Network) 모델이 적합하다^[5]. 그러나 해상의 이동노드(선박)는 육상의 일반적인 MANET 모델을 적용하기에는 적절하지 않다. 그 이유는, 위에서 언급한 풍부한 자원을 가지고 있는 것을 포함하여 다음과 같은 독특한 특성을 가지기 때문이다. 첫째, 육상의 이동노드의 이동성은 랜덤하고, 예측이 매우 어려운 반면 선박들은 이동 방향 및 속도의 변화가 서서히 이루어지고, 둘째, 대부분 미리 정해진 항로(course)를 따라 이동하도록 권고된다. 그리고 실제 권고된 항로는 특별한 제약점이 존재하지 않는 일반적인 경우에는 특정 항구에서 다른 항구로 가는 최단거리를 가지는 바다위의 직선로로 되어있다. 셋째, 선박들은 위와 같은 항로 정보는 이미 잘 알고 있다. 이는 육상의 VANET(Vehicular Ad Hoc Network) 모델과도 유사한 특성이지만 VANET은 이동노드의 움직임이 매우 빨라서 망의 변화가 빈번하게 일어나는 점에서 해상의 경우와 다르다^[6]. 본 논문에서는 이러한 점을 고려하여 제안된 선박간의 자율망 모델 SANET(Ship Ad Hoc Network)^[7]을 기반으로 항로를 이용한 경로배정 프로토콜을 제안한다. 항로는 일반적으로 선박들이 항해 중에 반드시 지켜야 하는 선박 이동 루트는 아니지만, 경제적인 이유로 출발지와 목적지 사이에 가장 짧은 구간을 항로로 잡아 항해한다. 따라서 항로는 공식적으로 정해져 있지 않지만, 대부분의 선박들이 따라 가는 해상의 도로 역할을 한다. 이러한 항로는 최단 거리를 기반으로 하기 때문에, 해상이동통신망에서 선박과 선박 사이의 통신을 위한 데이터 경로로 선택하는 데 매우 적합하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 대표적인 MANET 경로배정 프로토콜을 소개한다. 3장에서는 해상환경 SANET 모델이 가지는

특성을 정리하고 이용하여 본 논문에서 제안하는 확장탐색구역 경로배정 프로토콜(EZR: Expansive Search Zone Routing Protocol)을 소개한다. 4장은 MANET을 위한 경로배정 프로토콜 가운데 EZR과 마찬가지로 노드들의 위치정보를 이용하는 LAR과 성능 비교한 결과를 보인다. 마지막으로 5장에서는 결론을 내린다.

2. 기존연구

이동 통신망 모델 가운데 기지국 기반의 1 홉(hop) 체계를 가지지 못하고 있는 환경에 있는 이동체들 간의 통신망 모델이 Mobile Ad Hoc Network (MANET) 모델이다^[8]. 일반적으로 특정한 노드의 전송범위(Transmission Range) 내에 있는 다른 모든 노드 사이에는 물리적 연결이 여러 경로로 다중으로 형성되어 있고, 이러한 토폴로지 하에서 서로 전송범위를 벗어난 노드들 간의 데이터 전송을 어떤 노드들의 연속되는 중계에 의해 시행할 것인지를 결정하는 경로배정 프로토콜(Routing Protocol)이 MANET의 전송품질에 중요하다^[9].

MANET에서의 경로배정 프로토콜은 망 토폴로지가 수시로 변하는 역동성으로 인해 어렵고 복잡하다. 기존의 경로배정 프로토콜은 크게 데이터 전송 방식(cast)과 경로배정을 언제 하는가에 따라 구분된다. 여기에 지리적 정보의 이용 여부에 따라 구분되기도 한다^[10]. 방송형(Broadcast) 경로배정기법 가운데 가장 단순한 기법이 플러딩(Flooding)이다. 이는 방송되는 데이터 패킷의 수가 기하급수적으로 늘게 되는 문제를 가진다. 이를 극복하기 위해 플러딩되는 영역을 지능적으로 지정하는 방식(Location-aware), 확률 기반 방식, 그리고 이웃에 대한 정보를 이용하는 방식 등이 도입되었다. 자신을 제외한 다른 모든 노드로 향하는 경로를 데이터를 전송하기 훨씬 이전에 미리 결정하고 주기적인 경로갱신 과정을 통해 유지하는 선행적(Proactive) 방식과 전송 데이터가 발생하여 목적지까지의 경로가 필요할 때 경로를 찾아 결정하는 대응적(Reactive) 방식 그리고 선행적 방식과 대

응적 방식을 결합한 복합(Hybrid) 방식이 있다^[8].

먼저 선행적 방식으로 DSDV(Destination-Sequenced Distance Vector) 프로토콜은 DBF(분산 벨만-포드)를 수정하여 루프가 발생하지 않는 경로(Loop Free Route)를 보장하지만 주기적으로 갱신 메시지를 필요로 하기 때문에 이로 인한 오버헤드로 인해 확장성이 좋지 않다^[11]. DREAM(Distance Routing Effect Algorithm for Mobility)에서 각 노드는 GPS 등을 통해 지리적 좌표를 알고 이동성(Mobility)과 거리 효과(Distance Effect)에 비례하여 경로탐색 메시지를 만든다^[12]. 이 프로토콜은 지리적 정보를 이용하는 것으로 본 논문에서 제안하는 EZR 프로토콜과 유사하다. 그러나 이 프로토콜은 노드들이 무작위(Random)로 분포되어 있는 것을 가정하고 기대구역(Expected Zone)을 설정하기 때문에 해상도의 선택들의 향로 위주의 독특한 패턴을 반영하지 못한다.

대응적 방식으로 AODV(Ad Hoc On-demand Distance Vector)프로토콜은 DSDV와 DSR(Dynamic Source Routing)에 기초하고, 필요할 때만 경로를 발견하도록 함으로써 경로탐색 방송횟수를 최소화한다. 그러나 경로배정에 지연이 발생하고 링크오류는 다른 경로 발견을 위한 초기화를 초래한다^[13].

LAR(Location-Aided Routing)은 DSR과 같이 플러딩 알고리즘을 이용한다. 그러나 DREAM과 같이 방향성이 있는 플러딩 알고리즘을 쓴다. 요청구역(Request Zone)을 설정하고 그 내부에 있는 노드만이 경로 탐색을 수행한다^[14]. 본 논문의 EZR과 성능 비교되는 프로토콜로서, 요청구역 내에 있으면서 경로에 포함되는 노드의 밀도가 높고, 골고루 분포하고 있는 경우에 경로 탐색 확률이 높다. 그러나 운항 중인 선박의 분포는 그러하지 않기 때문에 그대로 적용하기에는 부적합하다.

마지막으로 복합 방식으로 ZRP(Zone Routing Protocol)를 들 수 있다. 각 노드는 경로배정 구역을 가지고 있어 구역 밖의 노드에 대해서는 대응적 알고리즘을 작동하고, 구역 안의 노드에 대해서는 선행적 알고리즘을 적용한다. 단, 경로배정 구역의 범위가 커지면 선행적 알고리즘처럼 동작하는 단점

을 가진다^[15].

모든 기존의 MANET을 위한 경로배정 프로토콜은 노드의 이동성 변화가 무작위로 일어나고, 노드 자체의 자원 제약성을 고려하여 설계된 것이므로 이와는 전혀 다른 독특한 특성을 가진 해상의 선박들을 위한 SANET 모델에 적용하기에는 전반적으로 부적절한 측면을 가진다.

3. 확장탐색구역 경로배정 프로토콜(EZR)

3.1 배경 조건

SANET 모델에 기초하는 확장탐색구역 경로배정 프로토콜(EZR)을 위한 기본적인 사실들을 정리하면 다음과 같다.

- ① 선박들은 해상의 모든 항로 정보를 알고 있다.
- ② 전세계를 기반으로 하는 좌표 시스템(경도와 위도)을 사용한다.
- ③ 항해정보(위치, 이동중인 항로, 선박의 속도, 목적지로 향하는 방향 등)를 가진다.
- ④ 자신의 고유 식별자를 가진다.
- ⑤ 이웃 배들의 항해정보를 알 수 있다.
- ⑥ 항로는 항구와 항구 사이의 최단거리이다.
- ⑦ 선박의 움직임은 육상 이동체의 움직임보다 예측이 용이하다.
- ⑧ 선박의 속도와 배의 방향은 갑작스럽게 혹은 빈번하게 변하지 않는다.
- ⑨ 선박의 노드 자원(연산처리 능력, memory, 저장장치, 파워 등)은 육상의 PC와 동등하다.
- ⑩ 목적지 선박의 정보(위치, 항로 등)를 AIS, VMS 등으로 알 수 있다.

선박들은 항로를 따라 항해하므로 해상 선박의 분포는 항로상에 집중되고 그 외의 지역에는 매우 희박하게 존재할 것이다. 이에 데이터 전송을 위한 경로의 배정은 항로를 따라 이어지는 선박들로 구성될 것이다. 항로 정보는 전세계에 걸쳐 고정되어 존재하는 '전역 정적 정보(Global Static Information)'이다. 이를 이용하면 최적의 경로를 찾을 수 있으나 세계의 모든 항로 정보를 이용하여 경로를 탐색하면 탐색시간이 길어지게 된다. 따라서 데이터를 전송하

는 선박(Source)과 수신하는 선박(Destination) 사이에 형성될 최단거리 경로가 존재할만한 구역을 '전역 정적 정보'에서 추출하여 그 구역 내에서만 탐색하여 최단경로를 찾으면 탐색시간을 크게 줄일 수 있다. MANET에서 경로를 배정하기위해 사용되는 플러딩(Flooding) 방식을 사용할 필요가 없어 제어 패킷의 홍수를 방지할 수 있다^[10].

배정되는 경로는 송신선박(Source)과 수신선박(Destination)이 동일 항로상에 존재하지 않을 경우에 하나 이상의 항로를 포함한 경로로 배정된다. 선박의 전송범위 내에는 항로상의 이웃하는 선박이 항상 존재하는 것으로 가정한다. 이는 실제로 그렇지 않을 수도 있으나, 그 경우 전송 불가능한 항로(이웃 선박이 존재하지 않음)를 제외시킨 항로정보를 이용하여 다시 경로를 배정하거나 통신위성 등 대체가능한 통신매체가 있다고 가정할 수 있으므로 EZR 프로토콜의 일반화에는 문제가 없다.

패킷 전달 시에는 전송범위 내에서 선박들 가운데 가장 멀리 있는 선박으로 직접 전달하는 것으로 가정한다. 이는 다른 선박들의 위치를 미리 알 수 있음으로 타당하다.

3.2 확장탐색구역 경로배정 알고리즘(EZR)

출발 노드를 s , 목적 노드를 d , s 가 항해하는 항로를 c_s , d 가 항해하는 항로를 c_d 라고 한다. 전세계 해상의 항로를 c_i , 항로와 항로가 만나는 지점을 p_j , 항구를 h_k ($i, j, k=1, 2, 3, \dots$)라고 표기한다. 전세계 바다를 그래프 $G=(V, E)$ 로 표현할 때, $V=\{s, d, p, h\}$ (여기서 p 는 p_j 들의 집합, h 는 h_k 들의 집합), $E=\{V$ 에 의해 분할된 $c\}$ (여기서 c 는 c_i 들의 집합)로 정의한다.

c_s 와 c_d 는 서로 직접 교차하는 경우(그림1)와 직접 교차하지 않는 경우(그림2)가 있다. 교차하는 경우의 경로배정을 위한 영역의 설정은 그림 1에서 나타나 있다. p_j 를 기준으로 하여 s 와 d 가 근접된 영역을 부채꼴 모양으로 탐색영역을 설정하여 경로를 배정한다. 이 경우에 대해서는^[5]에서 자세하게 다룬다. 본 논문에서 제안하는 EZR은 그림2와 같이 교차하지 않는 경우에 적용하는 경로배정 프로토콜이다.

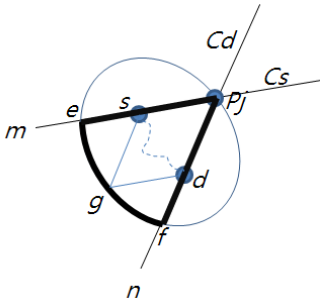


Fig. 1 A Case: c_s and c_d are directly crossing

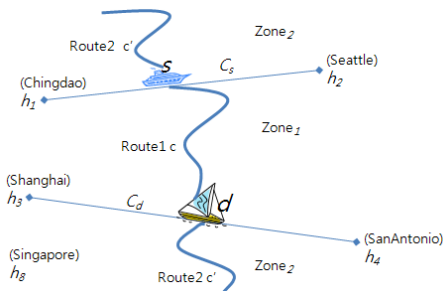


Fig. 2 Finding a shortest path between s and d

그림2의 예와 같이 전세계 해상의 항로 선분들은 c_s 와 c_d 에 의해 영역1 혹은 영역2로 분리되어 분포 된다. s 와 d 를 잇는 최단경로는 반드시 s 와 d 를 종단점으로 하는 연속된 항로 선분들 가운데 가장 짧은 거리의 선분집합으로 구성된다. 그 최단경로를 형성하는 선분집합에 속한 선분들은 모두 영역1에만 있거나 아니면 모두 영역2에만 있는 경우만이 존재한다. 즉, s 와 d 를 잇는 최단경로 가운데 영역1과 영역2를 넘나드는 경우는 없는 것이다. 영역1에만 있는 항로선분들의 집합이 최단경로인 예는 그림2에서 제1경로(c)에 해당되고, 영역2에만 있는 항로 선분들의 집합이 최단경로인 예는 그림2에서 제2경로(c')이다. 둥근 지구를 감안하면 제2경로가 s 와 d 를 잇는 최단경로가 될 수 있다. 그러나 EZR 프로토콜에 대한 설명을 위하여 최단경로는 영역1에서 형성되는 것으로 가정한다. 최단경로 탐색을 위한 영역1에서의 확장탐색구역을 구획하는 방법을 설명한다.

그림 3과 같이 항로들은 서로 교차하여 p_i 들을 만들어낸다. s 와 d 를 종단점으로 하면서 p_i 들을 연결

하는 항로 선분들로 구성되는 선분집합 중에서 최단 거리를 갖는 선분집합을 찾아내는 것이 경로배정 프로토콜의 목표이다. 여기서 EZR 프로토콜은 탐색 비용을 최소화하기 위하여 최단경로를 탐색하는 경로탐색구역을 설정하는 것을 목표로 한다.

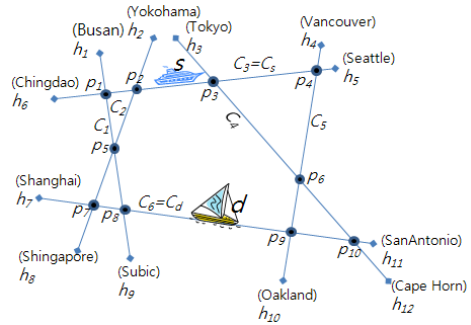


Fig. 3 An Example of sanet for EZR protocol

경로탐색구역 설정 방법을 설명한다. 먼저 s, d 의 좌, 우측에서 지리적으로 가장 가까운 교차점들을 선정한다. 그림 3에서 s 에 대해 좌측 교차점 가운데 가장 가까운 교차점은 p_2 이고, 우측 교차점 가운데 가장 가까운 교차점은 p_3 이다. d 를 중심으로 좌측 교차점 가운데 가장 가까운 교차점은 p_8 이고, 우측 교차점 가운데 가장 가까운 교차점은 p_9 이다. 그러면 일차적으로 형성되는 탐색구역은, p_2-s-p_3 을 잇는 선분(c_s 의 일부분), p_3-p_9 를 잇는 선분, p_9-d-p_8 을 잇는 선분(c_d 의 일부분), p_8-p_2 를 잇는 선분 등 4개의 선분을 이용하여 구획되는 사각형 모양의 폐쇄구역을 탐색구역으로 설정한다. 그림 4와 같다.

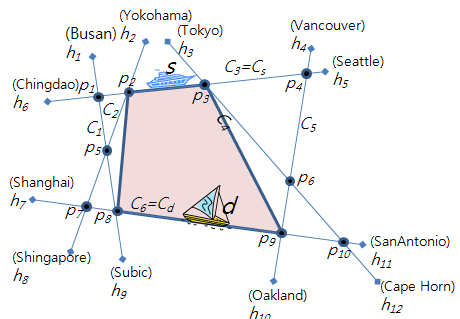


Fig. 4 An example of finding search zone

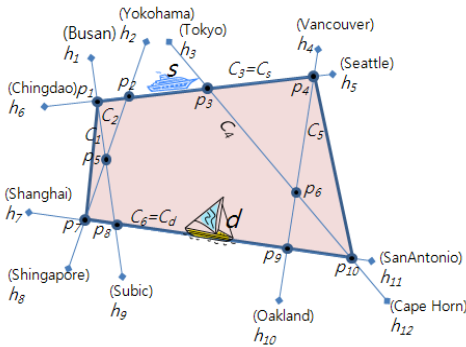


Fig. 5 An example of expanding the search zone

탐색구역으로 설정된 폐쇄구역 내부에 있는 교차점(V')과 항로 선분(E') 정보를 찾아 탐색을 위한 그래프 $G'=(V',E')$ 를 구하고, 그것에 Dijkstra 최단경로 알고리즘 등을 적용하여 최단경로를 탐색한다. s 와 d 의 좌우측의 p_i 들을 탐색구역의 경계로 삼는 이유는 첫째, 경로가 항로를 기준으로 배정되기 때문에 p_i 가 있는 부분에서 항로가 바뀌어 다른 항로로 경로를 배정할 수 있기 때문이며, 둘째, s 와 d 에 가까울수록 최단거리에서 근접한 경로를 찾아낼 수 있기 때문이다.

만약, 탐색구역의 G' 로 최단경로 배정이 실패한 경우에는 탐색구역 내에 s 와 d 를 잇는 경로가 하나도 존재하지 않는 경우가 되기 때문에(그림 4의 예 참조) 탐색구역의 범위를 확장하여 확장된 탐색구역에서 다시 경로배정을 실시한다. 확장하는 방법은 다음과 같다. c_s 와 c_d 상의 p_i 들을 각각 검색하여 이전에 탐색구역의 경계가 되었던 p_2, p_3, p_8, p_9 의 외곽 방향, 즉 그림 4의 예에서, s 의 왼편 교차점 경계인 p_2 와 d 의 왼편 교차점 경계인 p_8 은 각 항로(c_s, c_d)에서 자기 위치보다 왼편에 처음 나타나는 p_i, p_7 를 각각 확장된 탐색구역의 왼편 경계로 설정한다. 한편 s 의 오른편 교차점 경계인 p_3 과 d 의 오른편 교차점 경계인 p_9 는 각 항로(c_s, c_d)에서 자기 위치보다 오른편에 처음 나타나는 p_i, p_{10} 을 각각 확장된 탐색구역의 오른편 경계로 설정한다. 이에 따라 새롭게 확장되게 구획된 탐색영역은 그림 5와 같다. 새롭게 탐색구역 내부로 들어온 항로선분과 교차점에 대한 정보를 이전의 G' 에 추가하여 이 탐색영역의 G' 를 구한 후 최단경로 알고리즘(Dijkstra)을

통해 최단경로를 다시 탐색한다. 만약 다시 경로를 찾지 못하면 위의 과정을 반복한다. 영역1에서 경로가 존재한다면 반복을 통하여 반드시 경로를 찾아낼 수 있다. 그림 5의 예에서 경로 $s-p_3-p_6-p_9-d$ 와 경로 $s-p_2-p_5-p_8-d$ 가운데 짧은 경로가 s 와 d 를 잇는 최단경로가 된다.

EZR 프로토콜은 s, d 에서 근접한 항로들부터 경로를 탐색하고 점차 먼 항로들을 탐색구역에 편입하여 경로를 탐색하기 때문에 만약 최단경로가 아닌 경우에도 최단경로와 작은 오차만을 보인다. 그림 6에 EZR 프로토콜을 정리하였다.

```
//
// EZR: Expansive Search Zone Routing Protocol
// input :: G - Ports & courses in the world (including s, d)
// output :: Shortest_Path - The Shortest Path from s to d
//
// EZR(G)
{
    Shortest_Path = NULL; // default value=No route exist
    G' = NULL; // Local Info...input graph for SPA
    //
    // Set a Search Zone to get local info G'
    // G'=Partial lines of Courses, CP, Ports, s, and d in Search Zone
    // If no route has been found in the Search Zone,
    // Repeat to find the SP after expanding the Search Zone
    //
    while(Shortest_Path == NULL)
    {
        // Set the Search Zone with the CPs at both sides of s and d
        // If input G' is not NULL, expanding G' is performed.
        G' = Find_Search_Zone(G, G');
        // Run a Shortest Path Algorithm(ex: Dijkstra)
        if(G' != NULL)
            Shortest_Path = SPA(G', s, d);
        else // If G' could not be found out, Routing with G is run.
            Shortest_Path = SPA(G, s, d);
    }
}
return Shortest_Path;
```

Fig. 6 EZR protocol

4. 성능평가

EZR 프로토콜에서 가장 중요한 성능평가 지표는, 경로를 성공적으로 찾은 경로탐색성공률(Routing Success Rate)과 탐색에 실패한 경우를 제외하고 탐색이 성공적인 경우 그 경로가 최단경로인 탐색경로최적률(Searched Route Optimality)이다. 노드의 이동, 추가, 탈퇴 또는 고장 등으로 인한 망 토폴로지의 변화에 의해 탐색된 경로가 붕괴되지 않는 한, 경로탐색성공률은 실제 그 경로를 통해 패킷을 전송하였을 때 전송성공확률(Packet Delivery Rate)과 동일한 의미를 가진다. 무선 매체를 통해

패킷이 전달되는 시간 가운데 대부분의 시간이 노드에서 전달하거나 라우팅으로 인해 발생하는 노드 지연시간(Node Delay Time)이다. 따라서 탐색된 경로의 길이 즉, 경로에 참여하고 있는 노드의 수(hop 수)가 기준이 되는 탐색경로최적률은 그 경로를 통해 패킷을 실제 전달하는 데 걸리는 지연시간(Packet Delivery Delay)과 매우 유사한 의미를 가진다. 그리고 더 나아가 종합적인 경로배정 성능비(단일성능지수)를 내어 종합적 성능평가기준으로 삼았다. EZR 프로토콜은 위치기반 경로배정 알고리즘으로 노드의 지리적 정보(위치, 움직임 등)를 충분히 활용하고 경로탐색구역(요청구역 Request zone, 기대구역 Expected zone)을 미리 지정하는 측면에서 가장 유사한 LAR 프로토콜과 성능을 비교하였다.

모의실험에서, 망이 위치하는 전체 구역(Network Space)의 넓이를 200units * 200units로 하고, 그 가운데 임의 개수의 임의의 위치 지점을 항구(h)로 설정하였다. 설정된 항구들에 대해 임의의 두 항구 쌍 씩 선택하여 그들을 잇는 항로(c)를 형성한다. 그러면 자연스럽게 발생하는 각 항로와 항로의 교차점(p)들을 모두 찾아내어 그들을 $G=(V,E)$ 의 $V={s,d,h,p}$ 와 $E={V}$ 에 의해 분리된 c 의 선분)로 삼는다. 탐색하는 경로의 종단점인 s 와 d 는 임의의 항로 위에 있는 임의 지점으로 설정하였다. 실험은 그래프 G 내의 노드 $V(h, p)$ 의 수를 증가(500~6000)시키면서 반복적으로 위의 세 가지 성능을 평가하고 LAR 프로토콜과 비교하였다.

시뮬레이션 프로그램은 MS Visual C++로 작성되었고 MS VS 2005에서 Win32 콘솔 프로그램으로 구현되었다. 실험은 Pentium Core2Quad CPU PC에서 Windows XP Professional 환경 아래 이루어졌다.

LAR은 요청영역에서의 플러딩에 의존하여 경로를 발견하기 때문에 영역 내에 항로가 놓여 있지 않은 경우에는 경로 발견이 실패한다. 특히 노드의 수가 적은 경우(500~4000), 노드 밀도가 낮아 요청영역 내의 노드로 경로배정을 실패하는 경우(최악의 경우 500 노드에서 62.45%의 실패율을 보임)가 더욱 심하였다. LAR에서 평균적으로는 약 51%의

경로탐색성공률을 보인다. 반면 EZR은 기본적으로 항로를 기반으로 하는 경로탐색구역을 설정하고, 그 탐색구역을 경로가 발견될 때까지 확장한다. 그리고 만약 c_s, c_d 의 양끝 노드(일반적으로 항구)까지 확장하였는데도 경로를 찾지 못한 경우에는 전역위치정보(G)를 이용하여 경로를 탐색하고 G 에서의 그래프는 하나의 연결된 그래프(Connected Graph)를 형성하기 때문에 EZR은 거의 모든 경우에 대해 경로를 찾았다(평균 경로탐색성공률이 99.45%이다. 그림 7 참조).

탐색경로의 최적성을 나타내는 그림 8에는 경로 찾기가 성공적일 경우에 플러딩에 의해 경로를 탐색하기 때문에 탐색경로가 100% 최단경로인 LAR과 EZR에서 탐색된 경로의 최적성이 비교되어 있다. EZR에 의해 찾은 경로도 플러딩에 의한 LAR의 결과인 최단경로와 오차가 거의 없는 경로(최소 97.54%에서 최대 99.99%, 그리고 평균 99.25%의 경로 최적률을 보인다)임을 확인할 수 있다.

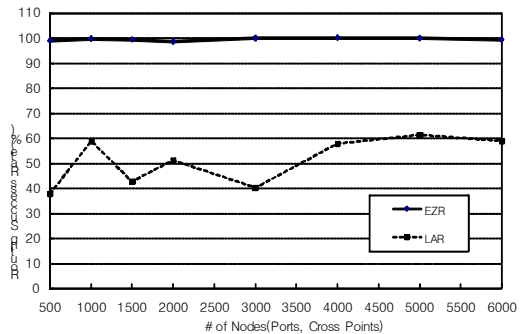


Fig. 7 Routing success rate

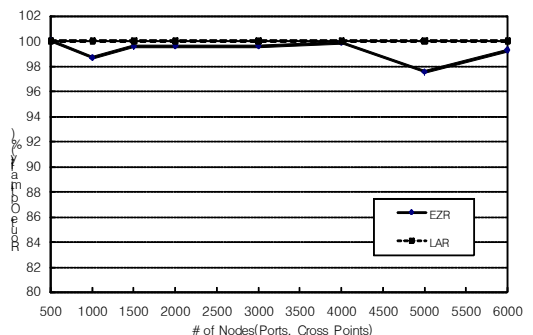


Fig. 8 Searched route optimality

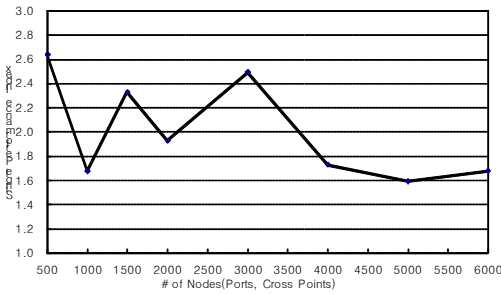


Fig. 9 Single performance index

두 가지 지표의 성능평가 결과를 바탕으로 종합적으로 EZR과 LAR 성능을 상호비교가 가능한 단일 성능지수를 아래와 같이 정의하고 그 값을 그림 9와 같이 구하였다. 단일성능지수는 경로탐색성공률과 탐색경로최적률을 곱한 값이다. 이는 전체 탐색 경우에 대해 성공적으로 탐색된 경로의 최적성을 의미하고 1.0 이상의 값은 EZR이 LAR에 비해 좋은 성능을 가짐을 나타낸다.

$$(\text{단일성능지수}) = (\text{EZR/LAR 경로탐색성공률}) * (\text{EZR/LAR 탐색경로최적률})$$

그림 9에서 보는 것과 같이 노드가 500인 경우에서 노드가 3000인 경우까지 노드 밀도가 상대적으로 낮은 경우에는 최대 2.6에서 최소 1.6 정도의 성능지수가 나왔다. 이는, 평균적으로 EZR이 LAR에 비해 2.2정도의 성능우위를 가지는 것을 말한다. 전체적으로는 1.9의 성능우위를 EZR이 LAR에 비해 가지는 것으로 나타났다.

5. 결 론

본 논문에서는 해상에서 항해하거나 정박중인 선박들이 독특한 해양환경과 선박의 특성을 고려한 MANET 모델을 기반으로 자율적으로 망을 형성하였다. 그러한 통신망에서 데이터 패킷을 전송하기 위해 필요한 경로를 찾는 확장탐색구역 경로배정 (EZR) 프로토콜을 새롭게 제안하였다. EZR 프로토콜은 상대적으로 선박의 밀도가 높은 항로를 기반으로 경로를 찾는 탐색구역을 구획한 후 최단경로를 탐색한다. 탐색에 성공하지 못할 경우, 그 탐색구역을 좌우로 확장하면서 반복적으로 경로를 탐색한다.

EZR 프로토콜의 성능은 기존의 MANET 경로배정 프로토콜 가운데 위치정보를 활용하고 탐색구역을 미리 설정하는 측면에서 EZR과 가장 유사한 LAR과 비교 평가하였다. 성능평가결과 EZR은 LAR에 비해 평균적으로 경로탐색성공률에서 1.95 배의 성능향상을 보였고, 탐색경로최적률에서도 99.25%를 보여 최적경로를 찾음을 확인하였다. 결론적으로 해상의 선박 애드 혹 네트워크 환경에서 EZR은 LAR에 비해 약 1.9배의 향상된 성능을 보였다.

참고문헌

- [1] 김문구, 지경용, 박종현, “디지털 컨버전스 시대의 모바일 브로드밴드 전개: 와이브로와 HSDPA”, 한국통신학회지 (정보통신) 제23권, 제4호, pp.81-88, 2006.4
- [2] 윤철식, 차재선, “WiBro/Mobile-WiMAX 표준 개요”, 정보과학회지 제25권, 제4호, pp.5-14, 2007.4
- [3] P-Y. Kong, H. Wang, Y. Ge, C-W. Ang, S. Wen, J. S. Pathmasuntharam, M-T. Zhou, and H. V. Dien, “A Performance Comparison of Routing Protocols for Maritime Wireless Mesh Networks,” Proceedings of WCNC 2008, pp.2170-2175, 2008.4
- [4] 한국해양대, “해양이동통신망”, 첨단기술강좌집, 1999
- [5] 손주영, 김택현, “해상이동통신망에서 교차 영역을 위한 항로 기반 경로배정 프로토콜”, 한국해양대학교 부설 산업기술연구소 연구논문집, 제23권, pp.131-135, 2006.1
- [6] 이상선, “Networking for Inter-Vehicle Communication”, Proc. of KARNET 2008, pp. H2-2.1-H2-2.40, 2008.6
- [7] 손주영, 문성미, “선박 애드 혹 네트워크에 적합한 복합적 항로기반 경로배정 프로토콜”, 마린엔지니어링학회 논문지, 제32권, 제5호 pp.369-378, 2008.7

- [8] I. Chlamtac, M. Coti, J. J.-N. Liu, "Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges," *Ad Hoc Networks* 1(2003), pp. 13-64, Elsevier, 2003
- [9] M. Abolhasan, T. Wysocki, E. Dutkiewicz "A review of routing protocols for mobile ad hoc networks," *Ad Hoc Networks* 2(2004), pp. 1-22, Elsevier, 2004
- [10] I. Stojmenovic, J. Wu, "Broadcasting and Activity Scheduling in Ad Hoc Network," *Mobile Ad Hoc Networking*, pp.205-229, IEEE, 2004
- [11] C. E. Perkins, T. J. Watson, "Highly dynamic destination sequenced distance vector routing (DSDV) for mobile computers," *Proc. of ACM SIGCOMM '94*, London, UK, 1994
- [12] S. Basagni, I. Chlamtac, V. R. Syrotiuk, "A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility (DREAM)," *Proc. of the 4th annual ACM/IEEE MOBICOM '98*, pp. 76-84, 1998
- [13] S. Das, C. Perkins, E. Royer, "Ad hoc on demand distance vector (AODV) routing for ad hoc mobile networks," *IEEE Personal Communication* 4 (1) pp.36-45, 1997
- [14] Y-B Ko, N H. Vaidya, "Location-Aided Routing(LAR) in mobile ad hoc networks," *Wireless Networks*, Vol.6 Issue 4, pp. 307-321, 2000
- [15] Z. J. Hass, R. Pearlman, "Zone routing protocol for ad-hoc networks," *Internet Draft*, draft-ietf-manet-zrp-02.txt, 1999

저 자 소 개



손주영(孫周永)

1981년~1985년 서울대학교 계산통계학과 졸업, 1991년~1993년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(석사), 1993년~1997년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(박사), 1985년~1998년 LG전자(주) 책임연구원, 1998년~현재 한국해양대학교 컴퓨터제어전자통신공학부 교수. 관심분야는 해양정보통신망, COMMAN, e-Navigation, MANET, VANET, WMN.