

선박 애드 hoc 네트워크를 위한 부채꼴 탐색구역 경로배정 프로토콜

(Fan-shaped Search Zone Routing Protocol for Ship Ad Hoc Networks)

손 주 영[†]
(Jooyoung Son)

요약 라디오 통신 등의 전통적인 해상통신기술은 단문정보 교환만이 가능한 전송품질을 제공한다. 전송품질의 단점을 극복한 해사위성(Inmarsat) 등을 통한 무선 채널은 경제적 부담으로 접근이 어렵다. 따라서 바다에서 항해, 조업하는 선박들은 육상의 초고속 인터넷 서비스를 이용하지 못하고 있다. 본 논문에서 제안하는, 이 문제를 극복하는 새로운 기술적 핵심은 해상이동통신망을 단일 홵(Single Hop)에서 다중 홵(Multi Hop)으로 구성하는 것이다. 선박과 선박, 선박과 연안(항구)간의 망을 이동 애드 hoc 네트워크(MANET) 모델로 해석하고 새로운 선박 애드 hoc 네트워크(SANET) 모델을 설계하였다. 항구와 항로 같은 정적인 지리정보를 활용하면서 육지의 이동단말기와는 크게 차별화되는 움직이는 선박의 특성을 고려하면서 대응적으로(Reactive) 경로를 배정하는 부채꼴 탐색구역 경로배정 프로토콜(FSR)을 제안하였다. FSR(Fan-shaped Search Zone Routing)은 최단경로가 있을 수밖에 없는 지엽적 부채꼴 구역을 찾아내 확정하고 그 구역 안에서만 최단경로를 탐색하는 프로토콜이다. 기존의 지리 정보를 이용하는 대표적인 경로배정 프로토콜인 LAR과 성능을 비교하였다. 첫째, FSR은 LAR을 비롯한 다른 지리정보기반 경로배정 프로토콜과 달리 경로배정을 하기 위해 제어 패킷(Beaconing Packet)을 발생시키지 않아 통신채널 품질 저하를 전혀 초래하지 않는다. 둘째, FSR은 경로탐색구역의 경계선의 일부분을 전송경로로 확보하기 때문에 경로탐색성공률을 100% 보장한 반면 LAR은 약 64%의 성공률을 보였다. 셋째, 경로가 탐색된 경우에 한하여 그 경로의 최적성을 상호 비교한 결과 FSR이 LAR의 약 97%이었다. 종합적으로는 FSR이 LAR보다 약 50%의 성능 개선 효과를 얻을 수 있었다.

키워드 : 해상정보통신, MANET, Ship Ad Hoc Networks, 경로배정 프로토콜

Abstract Such conventional maritime communication technologies as radio have short some comings in their transmission quality. It can be overcome by wireless channels provided by satellites such as INMARSAT, which nevertheless suffer from the high costs. In this paper, we propose a novel technology resolving the above problems, featuring in the establishment of maritime communication networks with multi-hop structures. The inter-vessel and ship-to-shore networks previously modeled after MANET are remodeled by SANET (Ship Ad Hoc Networks) in the present work. Fan-shaped Search Zone Routing (FSR) protocol also is presented, which utilizes not only static geographical information including the locations of ports and the navigations of courses but also the unique characteristics of ships in terms of mobile nodes. The FSR finds the fan-shaped search zone on which the shortest path is located. The performance of LAR protocol is compared with that of FSR in several ways. First, FSR does not make use of a type of control packets as beaconing data, resulting in a full utilization of the bandwidth of the wireless channels. Second, the delivery rate by the FSR is 100% for the fan-shaped search zone includes at least one route between source and destination nodes on

[†] 정 회 원 : 한국해양대학교 컴퓨터제어전자통신공학부 교수
mmlab@hhu.ac.kr
논문접수 : 2008년 5월 23일
심사완료 : 2008년 10월 2일

Copyright © 2008 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 정보통신 제35권 제6호(2008.12)

its border line, where as that of LAR has been turned out to be 64%. Third, the optimality of routes searched by the FSR is on a 97% level. Of all, the FSR shows a better performance than LAR by about 50%.

Key words : Maritime Communication Networks, MANET, Ship Ad Hoc Networks, Routing Protocol

1. 서론

원양은 물론이고 연근해에서조차 바다 위에서 항해하거나 조업하는 선박들은 아직까지 육상에서는 쉽게 접근이 가능한 초고속 인터넷 서비스에 거의 접근하지 못하는 음영지역에 놓여있다고 해도 과언이 아니다. 해상에서의 데이터 송수신을 위한 통신망은 MF, HF, VHF 등의 RF 통신에 주로 의존하고, 긴급하거나 고급정보 송수신을 위해서는 해상통신위성(Inmarsat)과 저궤도위성을 이용한다[1]. 그러나 이들은 매우 낮은 대역폭(수십 bps, 수백Kbps, 또는 1 Mbps)과 비싼 요금(KT '인말샤프트' 서비스 경우 약 8000원/MB[2], 신동 MVSAT 경우 100원/분[3], 일본 JSAT 경우 100만원/월[4])으로 인하여 전자메일, 팩스, 또는 육성전화 서비스만을 이용할 뿐 고속의 대용량 데이터 전송이 필요한 멀티미디어 콘텐츠 서비스는 물론이고 일반적인 인터넷 웹 서비스조차도 업무를 내지 못하는 상황이다. 그 중에서 가장 전송률 품질이 가장 나은 저궤도위성인 경우에는 전송 범위에 한계를 가진다. 예를 들어, 일본 JSAT 서비스인 경우 일본 연안에서 200 해리 내에서만 가능하다.

이를 극복하기 위하여 선박에 이동전화의 이동 기지국을 가설하고, 3세대 이동전화(W-CDMA)를 이용한 인터넷 접속을 시도하였으나 낮은 대역폭(64 Kbps~2Mbps)으로 육상에서의 이동전화를 이용한 이동 인터넷과 같거나 열악한 환경이라 인터넷 접속 품질이 좋지 못하다. 육지와 일정 거리(20Km)이상 멀어지면 접속 자체가 불가능한 문제점도 가지고 있다[5]. 웹 서비스를 위해 시도되는 또 다른 방법은, 해안 특히 항구의 여러 곳에 무선 LAN의 AP(Access Point)를 설치하고, 인근 해안 또는 항구에 정박 중인 선박에서 무선 LAN을 통해 인터넷에 접속하는 것이다. 이 경우, 대역폭 면에서는 앞선 방식에 비해 상당히 넓어진(11 Mbps~54 Mbps) 측면이 있지만, AP와의 유효 이격 거리가 아주 가까워야(100M) 한다는 점과 이동하는 선박 경우 접속이 불가능한 점도 결정적인 단점이다[6]. 따라서 바다 위의 선박들이 육상에서 자연스럽게 이루어지고 있는 WWW와 멀티미디어 인터넷 응용 서비스를 육상과 동일한 품질로 받을 수 있으려면 기존의 해상통신망 체계에서 벗어난 전혀 새로운 통신망 체계를 수립해야 하고, 그것을 육상의 광대역 인터넷과 연동시켜야 한다.

현재 기반 기술로서 장거리 무선이동통신이 가능한 광대역 무선링크기술은 HSDPA(High Speed Down

link Packet Access), WiMax, 그리고 WiBro 기술 등이 있다. 해상에서 광대역 데이터통신이 가능하려면 이런 기술들을 이용하여 지리적 제약을 극복하고 해상의 선박들이 광대역 데이터통신망에 쉽고 경제적으로 접속할 수 있는 해상통신망 모델이 필요하다.

해상통신망 모델에 가장 가까운 기존의 망 모델은 VANET(Vehicular Ad Hoc Network) 모델이다. 기본적으로 해상에 육상과 같이 단일 홉 무선통신망을 형성하는 제어국(기지국)을 설치하는 것이 어렵고, 선박이 해상에서 이동하는 패턴이 권고되는 항로를 따라가는 경로를 따르기 때문이다. 그러나 한편으로는 선박의 상대적으로 느린 속도와 방향 전환 등이 움직임 측면에서의 독특한 특성을 보인다[7]. 본 논문에서는 위와 같은 선박의 독특한 이동노드로서의 특성을 활용하여 선박 애드 혹 네트워크(SANET: Ship Ad Hoc Networks) 모델을 수립하고 이러한 SANET 모델에 적용한 경로배정 프로토콜을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 MANET 경로배정 프로토콜의 해상 적용 예를 고찰한다. 3장에서 SANET 모델과 4장에서는 FSR 경로배정 프로토콜을 제안한다. 5장은 성능 분석 결과를 보인다. 마지막으로 6장에서는 결론을 내린다.

2. 기존연구

MANET에서 각 노드는 라우터(중계기)와 단말기 기능을 동시에 수행하며, 노드와 노드사이에 중계에 의해 데이터 패킷이 전달되어 망의 크기(단대단 사이의 최대 홉 수)에 제약을 가진다. 특정 한 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 매우 중요하다[8].

해상통신망을 위한 다중 홉 자율망 모델을 설정하고 경로배정 프로토콜을 제안한 경우보다는 기존의 MANET 기반 경로배정 프로토콜을 해상의 경우에 적용한 예가 있다[7,9]. 사례에서는 OLSR(Optimized Link State Routing), AODV(Ad Hoc On Demand Distance Vector Routing), DSDV(Destination Sequenced Distance Vector), 그리고 AOMDV(Ah Hoc On De-

mand Multipath Distance Vector Routing)이 초기 패킷지연시간, 라우팅 제어부담, 패킷전달지연시간, 그리고 패킷전달을 측면에서의 성능이 비교되었다.

선행적(proactive) 방식인 DSDV와 OLSR 프로토콜은 낮은 초기 패킷지연시간을 보이기 때문에 최소 경로 탐색시간 특성을 가진다. 그러나 DSDV와 OLSR은 경로배정시의 오버헤드가 AODV와 ADMDV에 비해 상당히 크고, 전송지연시간에서의 성능도 좋지 않았다[7,9]. 대응적(reactive) 방식인 AODV 프로토콜은 필요할 때만 경로를 발견하도록 함으로써 경로탐색 방송횟수를 최소화한다. 그러나 경로배정에 지연이 발생하고 링크오류는 다른 경로 발견을 위한 초기화를 초래한다[8]. 상대적으로 AOMDV 프로토콜보다는 낮은 초기 패킷지연시간을 가진다. 그러나 AOMDV는 다중경로설정으로 인해 더욱 튼튼한 경로설정이 가능한 장점을 지닌다[7]. 지리 정보를 활용하는 프로토콜인 LAR(Location-Aided Routing)은 요청구역(Request Zone)을 설정하고 그 내부에 있는 노드만이 경로 탐색을 수행한다[10]. LAR은 본 논문에서의 FSR과 가장 유사한 성격을 가지는 이유로 성능 비교되는 프로토콜로서, 선정되는 요청구역 내에 있으면서 경로에 참여하는 노드가 골고루 분포하고 있는 경우에는 경로 탐색이 원활하다. 그러나 항해 중인 선박의 분포는 그러하지 않기 때문에 그대로 적용하기에는 부적합하다. 따라서 기존의 MANET을 위한 경로배정 프로토콜은 노드의 이동성 변화가 무작위로 일어나고, 노드 자체의 자원 제약성을 고려하여 설계된 것이므로 이와는 다른 독특한 특성을 가진 해상 선박들을 위한 SANET 모델에 적용하기에는 부적절한 측면을 가진다.

3. SANET 모델

해상 선박은 일반적인 육상의 MANET을 형성하는 이동노드와 다른 몇 가지 특징이 있다. 해상 선박은 특별한 경우를 제외하고는 일반적으로 항구와 항구를 잇는 최적 내지는 최단거리 경로인 표준 항로를 따라 항해한다. 따라서 해상 선박의 분포는 항로에 집중되는 경향이 높다. 따라서 항로 자체가 MANET에서의 네트워크에 해당하며 이를 활용하면 경로 설정에 용이하다. 그리고 선박의 순항속도가 통상 상대적으로 빠르지 않고 (~40Km/h), 속도와 방향을 급격히 또는 빈번하게 변경하지 않는다. 이러한 특성은 선박의 이동성 예측을 용이하게 한다. 육상의 이동노드의 자원 측면에서 제약을 가지는 반면 선박 노드의 자원은 연산처리 능력, 메모리, 저장장치, 전원 등이 육상의 데스크톱 PC와 동등한 수준이다. 그리고 해상 선박은 전세계 모든 항구의 위치와 항로 정보뿐만 아니라 자타 선박의 위치, 항로, 속도, 목적지 방향 등 항해정보를 좌표 시스템(GPS), 선박자동

식별장치(AIS), 선박감시시스템(VMS)을 통해 파악할 수 있다[7]. 따라서 이동노드의 이동성이 무작위인 일반적인 육상의 MANET 모델과 달리 선박과 선박, 선박과 연안 간의 데이터 전송을 위한 경로는 항로를 따라 형성될 가능성이 매우 크다[11,12]. 이러한 특성을 바탕으로 항로를 기반으로 형성되는 MANET을 SANET 모델로 제안한다.

SANET에서 데이터를 최종적으로 송수신하는 노드는 선박이거나 육상과 바다를 잇는 항구 또는 연안에 위치한 접속점(AP)이다. 발신 노드를 s , 목적 노드를 d , s 가 향하는 항로를 c_s , 그리고 d 가 향하는 항로 c_d 라고 하자. 그리고 전세계 해상의 항로를 c_i , 서로 다른 항로와 항로가 교차하는 교차점을 p_j , 그리고 항구 또는 연안의 AP를 h_k ($i, j, k=1, 2, 3, \dots$)라 표현하자. 그러면 SANET를 그래프 $G=(V, E)$ 로 표현할 때, $V=(s, d, P, H)$ (여기서 P 는 p_j 의 집합, H 는 h_k 의 집합, $j, k=1, 2, 3, \dots$), $E=(V$ 에 의해 분할된 C) (여기서 C 는 c_i 의 집합, $i=1, 2, 3, \dots$)로 정의한다. 그림 1에 SANET 모델의 예로서 태평양 연안의 주요 항구와 항구를 잇는 항로, 그리고 항로들의 교차점으로 표현하였다. 그림에서 s 노드는 도쿄와 케이프타운을 잇는 항로 c_1 상의 선박이고($c_1 = c_s$), d 노드는 상하이와 산안토니오를 잇는 항로 c_6 상에서 운항 중인 선박이다($c_6 = c_d$).

해상에서 운항 중인 임의의 두 선박 간에 데이터통신을 한다고 가정할 때 두 선박간의 최적 데이터 전송경로를 전역 정보(전세계 모든 항구, 항로 정보)에 의거하여 찾으면 탐색비용이 많이 든다. 따라서 우선 최단경로가 존재할 확률이 높은 지역 정보를 전역 정보로부터 적절히 추출한 후 그것을 기반으로 최단경로를 찾아내는 방식으로 경로탐색 비용을 최소화할 필요가 있다. 지역 정보는 두 선박이 항해중인 항로를 중심으로 형성되는 부채꼴 모양의 구역 안에 있는 항로 정보이다. 부채꼴 탐색구역을 구획하는 방법은 4.3절에서 설명된다.

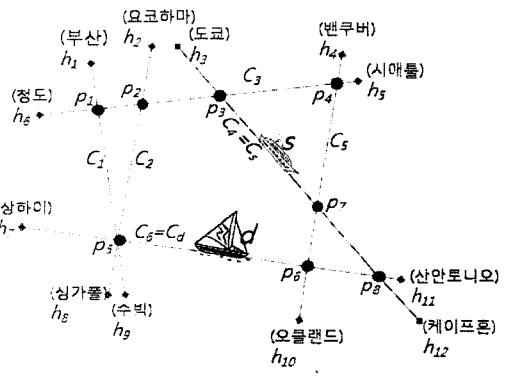


그림 1 SANET 모델의 예

4. FSR: 부채꼴 탐색구역 경로배정 프로토콜

4.1 가정 사항(Assumptions)

FSR 경로배정 프로토콜 수립에 필요하여 가정하는 몇 가지 사항을 언급한다.

해상 선박들이 상호 통신할 때 SANET-육상통신망-SANET 식으로 육상통신망을 통신경로 중간에 이용하는 경로는 고려대상에서 배제한다. 오로지 선박들을 이용한 SANET만으로 모든 경로가 구성되고 경로 배정한다. 육지와 바다를 함께 고려할 때 더욱 짧은 경로가 설정될 수도 있으나, 최단경로 배정의 일반적 논의에서 문제가 없으므로 이를 배제한다.

배정되는 경로는 하나 이상의 항로에 걸쳐 형성될 수 있다. 두 선박이 동일 항로에 있지 않을 경우와 경로 단락 등 방해물로 인하여 우회하는 경로가 필요할 때 여러 항로를 걸친 경로가 형성되기 때문이다.

전송범위 내의 항로상에 적어도 하나 이상의 이웃 선박이 있다. 항로를 기반으로 배정된 전송 경로로 데이터를 전송하면 목적지까지 전송이 가능하다. 실제 상황에는 전송범위 내에 이웃하는 선박이 없을 수 있으나, 이 경우에는 다른 통신채널(예: 위성통신채널)을 활용하여 그 끊어진 구간을 커버하거나 그것마저 불가능할 때는 구간을 제외한 나머지 전역 정보를 활용하여 구역을 확장하고 경로를 배정하면 되므로 프로토콜 일반화에는 문제가 없다.

4.2 FSR 프로토콜의 장점

선박(노드)의 특성을 이용하므로 경로탐색을 위한 제어 패킷(비콘 등)을 전혀 사용하지 않아 그것으로 인한 전송채널의 대역폭 낭비가 전혀 없고 확장성이 좋다. 항로가 아닌 영역보다 항로에 선박이 집중적으로 밀집되는 경향이 매우 높기 때문에 배정된 경로가 상대적으로 견고(Robust)하고 안정적(Stable)이다. 전체 SANET 크기에 관계없이 경로배정 직전에 구획되는 지역 정보만을 이용하여 경로배정을 수행하기 때문에 대응적 기법임에도 불구하고 지역 시간이 짧고 확장성 면에서 더욱 좋다.

위치 정보를 이용하여 경로를 배정하는 대표적인 프로토콜인 LAR(Location-Aided Routing)과 경로를 성공적으로 발견하는 확률(Delivery Rate: 경로탐색성공률)과 탐색된 경로의 최적성(Average Dilution: 탐색경로최적률) 측면을 모두 고려하여 비교할 때 약 1.5배의 성능개선 효과를 얻는다.

4.3 FSR 알고리즘

FSR 알고리즘은 크게 두 단계로 구성되어 있다. 첫 단계에서 전역 정보로부터 최단경로가 존재하는 구역 $G=(V', E')$ 를 확장한다. 여기서 $V'=(s, d, P', H')$ (P'

$\subset P, H' \subset H$)이고, $E'=(V'$ 에 의해 분할된 $C')$ ($C' \subset C$)이다. 경로탐색성공율을 100%로 유지하면서 지리적으로 가장 작은 구역 G' 를 확장하는 것이 FSR 알고리즘의 핵심이다. 두 번째 단계에서는 구역 G' 를 이용하여 s 와 d 사이의 최단경로를 일반적인 최단경로탐색 알고리즘(예: 다익스트라 알고리즘)을 이용하여 탐색한다.

FSR 알고리즘의 특징은 첫째, s 와 d 사이의 최단경로가 일련의 항로들에 속하는 선분들의 연속으로 도출되는 점이다. 즉, FSR 경로배정 프로토콜은 운항중인 선박들이 상대적으로 항로에 밀집되어 있는 사실에 근거하여 항로를 기반으로 최단경로를 찾는 것이다. 둘째, 경로배정이 s 와 d 를 제외한 해상에 있는 다른 선박들의 위치, 속도, 방향 등 이동노드에 관한 동적 정보에 의존하지 않고, 거의 값의 변화가 없는 정적 정보인 항구 또는 연안의 AP 위치정보와 항로정보를 활용하고, 동적 정보로는 s 와 d 의 위치를 비롯한 항해정보만을 이용하는 점이다. 셋째, 더 나아가 정적인 전역 정보(G) 즉 전 세계의 모든 AP와 항로정보에 의해 최단경로를 탐색하지 않고, s 와 d 의 항해정보를 기반으로 전역 정보로부터 최단경로가 존재하는 구역 G' 를 구획한 후 이 지리적으로 아주 작은 구역 G' 내에 있는 정적 정보만으로 최단경로를 탐색하는 점이다.

최단경로 탐색범위인 구역 G' 를 구획하는 알고리즘을 설명한다. 임의의 두 노드 s 와 d 를 잇는 최단경로는 다음과 같은 성질을 가진다.

[1] $c_s = c_d$ 일 때,

s 와 d 를 포함하고 그 사이에 있는 교차점들을 잇는 c_s 의 선분이 최단경로이다.

[2] $c_s \neq c_d$ 일 때,

[2-1] s 와 d 간의 최단경로는 그림 2의 제1경로 또는 제2경로 형태뿐이다. 제1경로와 제2경로의 차이는 근본적으로 없다. 다만 c_s 와 c_d 에 의해 바다가 두 영역으로 분할된다. 예를 들어, c_s 는 부산과 밴쿠버간 항로이고, c_d 는 상해와 LA간 항로일 때 태평양은 c_s 를 상한선으로 하고 c_d 예를 하한선으로 하는 (물론 양 옆은 부산-상해, 밴쿠버-LA를 잇는 해안선) 영역(그림 2의 영역1에 해당)과 c_s 를 하한선으로 하고 c_d 를 상한선으로 하는 영역(북극해와 남극해를 모두 포함하는 해역)(그림 2의 영역2에 해당)으로 분할되는 것이다. 이때 s 와 d 간의 최단경로는 i) c_s 와 c_d 를 포함하거나 영역1 안에 존재하는 항로들의 선분만으로 형성되는 제1경로 형태이거나, ii) c_s 와 c_d 를 포함하거나 영역2 안에 존재하는 항로들의 선분만으로 형성되는 제2경로 형태이다. 제2경로는 그림 2에서 s 에서 시작하는 선분의 다른 끝 점 c_n 는 c_s 와 c_d 를 교차하지 않는 일련의 항로들의 선분들로 이어져 결국 d 로 이어지는 선분의 다른 끝 점 c' 로 이어지는 경로이다.

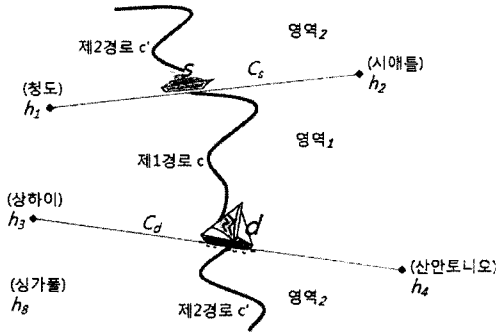


그림 2 s와 d간 최단경로 형성 타입

[2-2] 제1경로와 제2경로 형태에 공통적으로 적용되는 성질이다. 성질의 일관성을 해치지 않기 때문에 제1경로만을 예로 들면서 설명한다. s가 교차점에 있지 않은 경우 s와 이웃하는 p_j 를 양 끝점으로 하는 c_s 의 선분(그림 3(a)와 그림 3(c) 예에서 선분 $s-p_j$) 또는 s가 교차점에 있는 경우 s 자체(그림 3(b)와 그림 3(d) 예에서 s), 그리고 d가 교차점에 있지 않은 경우 d와 이웃하는 p_j 를 양 끝점으로 하는 c_d 의 선분(그림 3(a)와 그림 3(b) 예에서 선분 $d-p_j$) 또는 d가 교차점에 있는 경우 d 자체(그림 3(c)와 그림 3(d) 예에서 d)를 각각 최단경로의 시작과 끝(양 끝단)에 위치하는 선분이거나 양 종단점으로 포함한다. 그림 3은 s와 d가 교차점에 있는지 여부에 따라 s와 d 간의 최단경로 4 가지 경우를 예로 나타낸다.

최단경로의 성질[2]에 의하면 최단경로 탐색구역도 두 영역 즉 제1경로가 있는 영역1과 제2경로가 있는 영역2로 분할될 수 있다. 두 영역에 대해 각각 아래 계속되는 탐색구역 구획기법을 적용하여 최종적인 탐색구역 G' 를 구한 후 각각에 대해 최단경로를 탐색하여 그 가운데 더 짧은 경로(=min(제1경로, 제2경로))를 선택한다. 따라서 여기서는 일반성이 유지되기 때문에 영역1만을 대상으로 경로배정 탐색구역(지엽 정보)을 구획하는 기법을 설명한다.

c_s 와 c_d 는 그림 4와 같이 서로 직접 교차하는 경우와 그림 2, 3과 같이 직접 교차하지 않는 경우가 있다. 교

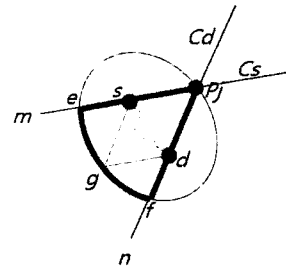
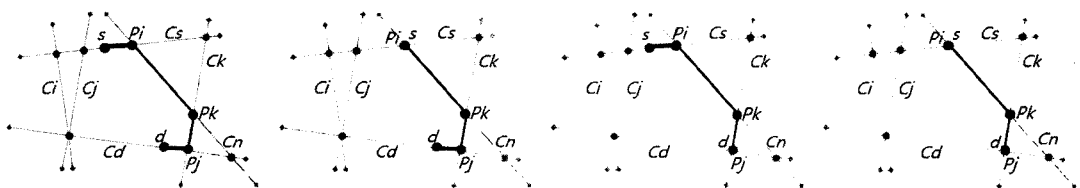


그림 4 c_s 와 c_d 가 직접 교차하는 경우

차하지 않는 경우 탐색구역의 좌우 경계를 설정해야 폐곡선 형태의 탐색구역이 명확하게 구획된다. 이 경우에 대해서는 논의의 범위를 벗어나므로 별도로 다룬다. 그림 4와 같이 c_s 와 c_d 가 직접 교차하는 경우에는 c_s 와 c_d 를 경계선으로 하고 교차점 p_j 를 중심으로 하는 네 영역으로 구분된다. 그중에 s와 d를 내포하는 선분(그림 4에서 $m-p_j$, $n-p_j$)으로 둘러싸여 있는 영역이 최단경로 탐색구역이 된다. 이를 제외한 영역에서 형성 가능한 경로는 $s-p_j-d$ 경로보다 그 거리가 반드시 더 길기 때문에 고려할 필요가 없다.

선택된 탐색구역을 닫힌 영역으로 구획해야 한다. 그것도 최단경로를 찾는 데 지장이 없는 선에서 가장 작은 크기의 닫힌 영역으로 구획해야 한다. 그렇게 해야 이후 경로를 탐색할 때 탐색해야 하는 구역과 탐색하지 말아야 하는 구역이 분명하게 구별되어 탐색구역 폐곡선 내부만을 탐색하여 최단경로를 최저비용으로 구할 수 있기 때문이다. 따라서 선택된 탐색구역에서 열려있는 부분($sc-p_j-dc$ 선분에서)의 탐색구역 경계선을 분명하게 해야 폐곡선으로 형성되는 최단경로 탐색구역을 구할 수 있다. 이 경계선은 폐쇄구역의 면적이 최소가 되도록 설정되어야 한다.

이 조건을 만족시키는 경계선 설정 기법은 다음과 같다. 먼저 s와 d를 초점으로 하고 선분 $s-p_j-d$ 의 길이와 동일한 길이에 위치한 점들의 집합인 타원을 구획한다. 이 타원과 c_s 와 교차점을 e, c_d 와 교차점을 f라 하자. 그러면 거리($s-p_j-d$) = 거리($s-e-d$) = 거리($s-f-d$)가 되고, 호 e-f 상의 임의의 점 g에 대해서도 거리($s-p_j-d$)



(a) s, d 모두 교차점에 없을 때 (b) s만 교차점에 있을 때 (c) d만 교차점에 있을 때 (d) s, d 모두 교차점에 있을 때
그림 3 s와 d간의 최단경로가 형성되는 4 가지 경우

= 거리($s-g-d$)가 성립한다. 따라서 이렇게 최종적으로 구획된 부채꼴 탐색구역 $e-p_j-f-e$ 는 s 와 d 를 잇는 최단 경로가 존재하는 최소 구역임을 알 수 있다.

이 탐색구역의 외부 영역을 지나는 경로의 거리는 $s-p_j-d$ 경로보다 멀기 때문에 탐색하는 영역에서 제외할 수 있는 것이다. 부채꼴 탐색구역에서 $s-p_j-d$ 경로보다 더 가까운 경로가 있는지를 찾으면 된다. 만약 찾지 못하면 $s-p_j-d$ 경로가 최단경로가 된다. 따라서 FSR 프로토콜은 기본적으로 데이터 전송성공률이 100% 보장하는 프로토콜임을 알 수 있다. 그림 1의 SANET 모델의 예를 적용하면 G' 는 그림 5와 같다. G' 는 선분 $e-s, s-p_7, p_7-p_8, p_8-p_6, p_6-d, d-f$ 로 형성되는 부채꼴 구역이다. 그 안에 존재하는 선분 p_6-p_7 이 추가적으로 G' 에 포함된다. 그리고 G' 에서 $s-d$ 간의 최단 경로는 두 경

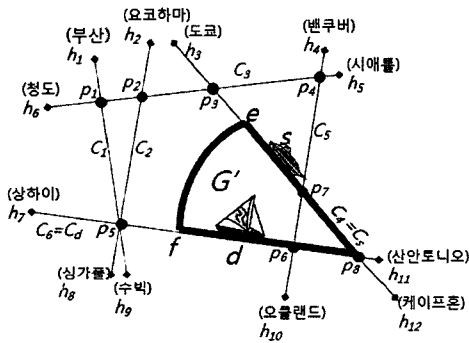


그림 5 FSR 적용하여 구획된 G' 예

```
//
// FSR(Fan-shaped Search Zone Routing) Protocol
// input::G-전세계 항구, 항로 지리정보에 의한 SANET  $G=(V,E)$ 
//          ( $V$ 는  $s,d$ -탐색경로의 양끝단 노드(선박 또는 항구)를 포함)
// output::Shortest_Path-탐색 결과로서의  $s$ 와  $d$ 를 잇는 최단경로
//
FSR( $G$ )
{
    Shortest_Path =  $s-p_j-d$ ; // default 값 = 경로  $s-p_j-d$ 
    // 지점 정보( $G'$ )를 얻기 위한 최단경로 탐색구역 구획
    //  $G'$  = 탐색구역 내에 있는 {항구, 항로 선분, 교차점}
     $G' = \text{Find\_Fan-shaped\_Search\_Zone}(G)$ ;
    //  $c_s$ 와  $c_d$ 가 직접 교차하여 부채꼴 탐색구역이 구획된 경우
    // 최단경로 탐색 알고리즘 SPA(예:Dijkstra) 실행함
    if( $G' \neq \text{NULL}$ )
        Shortest_Path = SPA( $G', s, d$ );
    return Shortest_Path;
}
```

그림 6 FSR 경로배정 프로토콜

로 $s-p_7-p_8-p_6-d$ 와 $s-p_7-p_6-d$ 가운데 하나이다. 두 경로 가운데 더 짧은 경로는 후자인 경로 $s-p_7-p_6-d$ 이다.

FSR 프로토콜을 정리하면 그림 6과 같다.

5. 성능평가

FSR 프로토콜의 성능은 크게 두 가지 측면에서 평가된다. 경로를 성공적으로 탐색한 확률(경로탐색성공률)과 탐색된 경로가 최단경로인 확률(탐색경로최적률)이다. 다른 통신망의 환경변화(탐색경로의 단절 등)가 없는 경우에 한해 경로탐색성공률은 실제 그 경로를 통해 packet을 전송하였을 때 성공하는 확률과 동일한 의미를 가진다(packet delivery rate). 그리고 탐색경로최적률은 packet을 전달하는 데 걸리는 지연시간(packet delivery delay)과 유사한 의미를 가진다. 그리고 더 나아가 종합적인 경로배정 성능비(종합성능비)를 내어 종합적 성능평가기준으로 삼았다. FSR 프로토콜은 위치기반 경로배정 알고리즘으로 노드의 지리적 정보(위치, 움직임 등)를 충분히 활용하는 측면에서 가장 유사한 LAR 프로토콜과 성능을 비교하였다.

모의실험에서, 망이 위치하는 전체 구역(network space)의 넓이를 $200\text{units} * 200\text{units}$ 로 하고, 그 가운데 임의 개수의 임의의 위치 지점을 항구로 설정하였다. 설정된 항구들에 대해 임의의 두 항구 쌍 씩 선택하여 그들을 잇는 항로를 형성한다. 그러면 자연스럽게 발생하는 각 항로와 항로의 교차점들을 모두 찾아내어 그들을 G 의 V 와 E 로 삼는다. 그래프 G 내의 노드 V (항구, 교차점)의 수를 증가(500~6000)시키면서 성능을 비교하였다. 탐색하는 경로의 종단점인 s 와 d 는 임의의 항로 위에 있는 임의의 지점으로 설정하였다. 시뮬레이션 프로그램은 MS Visual C++로 작성되었고 MS VS 2005에서 Win32 콘솔 프로그램으로 구현되었다. 실험은 Pentium Core2 Quad CPU PC에서 Windows XP Professional 환경아래 이루어졌다.

그림 7은 FSR과 LAR의 경로탐색성공률을 보여준다. 4장에서 설명한 바와 같이 FSR은 그림 4의 $s-p_j-d$ 경로를 기본적으로 확보하고 더 짧은 경로를 찾기 때문에 모든 경우에도 경로를 찾았다. 반면 LAR은 요청구역(Request Zone)의 모양이 항로패턴과 관계없이 사각형으로 설정되기 때문에 그 내부에 s 와 d 를 잇는 경로가 있지 않는 경우가 있다. 실험에서 LAR은 이로 인해 약 64%의 성공률을 나타내었다. LAR 경우 상대적으로 노드의 수가 2000개 이하에서 성공률이 더 낮은 것도 그 경우의 노드 밀도가 상대적으로 낮아 구획된 요청구역 내에 경로가 있지 않을 확률이 높기 때문이다.

그림 8은 탐색된 경로가 최단경로와 비교해서 어느 정도 최적성을 가지는가하는 탐색경로최적률을 나타낸

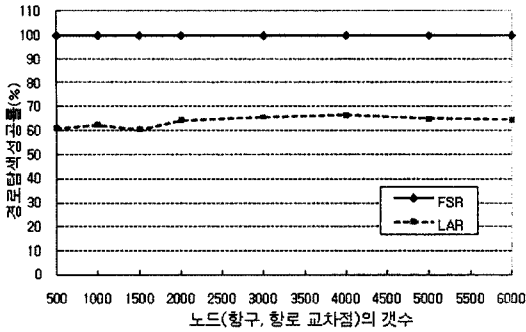


그림 7 경로탐색성공률

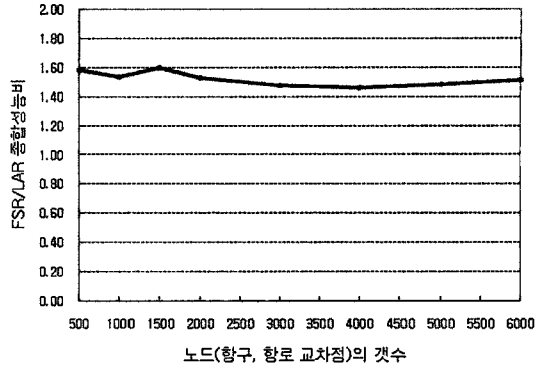


그림 9 FSR/LAR 종합성능비

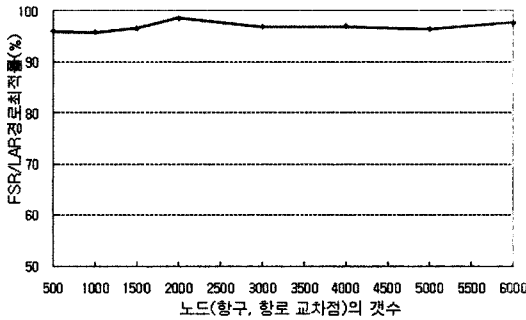


그림 8 FSR/LAR 탐색경로최적률

다. LAR은 기본적으로 플러딩에 의해 경로를 찾으므로 만약 경로를 찾은 경우에는 그 경로는 최단경로이다. 즉 LAR 경우 100%의 탐색경로최적률을 가진다. 반면 FSR 경우는 탐색된 경로 가운데 평균적으로 97% 이상이 최단경로로 확인되었다. 그림 8은 FSR/LAR 비율로 표시하였다.

위의 두가지 측면을 종합적으로 고려하여 FSR과 LAR의 성능을 상호 비교할 필요가 있다. 그것을 위해 'FSR/LAR 종합성능비'라는 성능지표를 다음과 같이 정의하여 활용하였다. 종합성능비는 경로탐색성공률과 탐색경로최적률을 곱한 값이다. 이는 전체 탐색 경우에 대해 성공적으로 탐색된 경로의 최적률을 의미하고 1 이상의 값은 FSR이 LAR에 비해 좋은 성능을 가짐을 나타낸다.

$$(FSR/LAR\text{종합성능비}) = (FSR/LAR\text{경로탐색성공률}) \times (FSR/LAR\text{탐색경로최적률})$$

그림 9는 FSR/LAR 종합성능비를 보여준다. 노드 수가 1500에서 상대적으로 가장 높은 성능비(1.599)를 보인다. 이는 노드 밀도가 낮을 때 FSR이 LAR에 비해 더 좋은 성능을 낸다는 것을 뜻한다. 대체적으로 노드의 개수가 늘어나는 것에 관계없이 FSR은 LAR에 비해 평균적으로(종합성능비의 평균치=1.522) 약 50%의 성능 개선을 가져옴을 알 수 있다.

6. 결론

초고속 인터넷 수용을 위한 새로운 해상통신망 모델로 애드 혹 네트워크 기반의 SANET 모델을 제안하였고, 운항선박의 특성을 충분히 고려한 FSR 경로배정 프로토콜을 제안하였다. 기존 육상의 MANET 모델을 위한 경로배정 프로토콜 가운데 대표적인 위치기반 프로토콜인 LAR에 비해 경로를 탐색하는 확률이 크게 높고 (FSR 경우 100% 보장함), 탐색된 경로의 최적성도 확보되어, 전체적으로 안정성과 신뢰성이 더욱 좋아졌고 종합적인 성능 개선이 50% 향상이 있음을 알 수 있었다. FSR은 전체 망 크기에 관계없이 지역 정보(부채질 최단경로 탐색구역)를 추출하고 그 구역 내에서만 경로 배정을 하므로 확장성도 가진다.

이 SANET 모델은 기본적으로 항로상의 선박들이 서로 동일한 품질의 전송매체에 의해 서로 연결되어 있을 가능성이 매우 크다고 사실에 기반한다. 그러나 실제적으로 선박들은 단일 전송매체를 가지는 경우보다 혼성의 다중 전송매체를 활용하는 경우가 대부분이다. 이 경우 전송 링크로 채택되는 매체간의 QoS 스펙트럼이 매우 커서 실질적인 전송 품질 측면에서 급격한 열화 내지는 심하면 망의 단절 현상이 발생할 가능성이 없지 않다. 따라서 이러한 상황에 대비하여 경로배정의 기준으로 다양한 매체품질을 고려함과 동시에 실시간 선박의 위치와 움직임 정보에 의거하여 최적의 매체가 활성화되는 링크로의 대체와 경로변경 등이 가능한 경로배정 알고리즘을 연구할 계획이다.

참고 문헌

- [1] J. S. Pathmasuntharam, J. Jurianto, P. Y. Kong, Y. Ge, M. Zhou, R. Miura, "High Speed Maritime Ship-to-Ship/Shore Mesh Networks," Proc. of IEEE ITST 2007, pp. 1~6, June 2007.
- [2] KT '인말샤프트 비컨(B-GAN)' 서비스, <http://www.kt.com>

- les006. net /rule-bgan.html, 2007.
- [3] "MVSAT(Maritime VSAT)이용한 초고속인터넷 서비스", 한국해운신문, 2007. 1. 25.
- [4] "[e-일본] 바다위에서 초고속 인터넷 즐긴다", 디지털타임즈, 2005. 7. 13.
- [5] 해양수산부, "해양 유비쿼터스 휴대폰 시대 열린다", 해수부 보도자료, 2008. 1. 7.
- [6] C. D. Moffatt, "High-Data-Rate, Line-of-Site Network Radio for Mobile Maritime Communications (using Harris WetNet Technology)," Proc. of MTS/IEEE Oceans 2005, Vol.2, pp. 1823~1830, 2005.
- [7] 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," Proc. of IEEE WCNC 2008, pp. 2170~2175 April, 2008.
- [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] P. G. Lye, and J. C. McEachen, "A Comparison of Optimized Link State Routing with Traditional Routing Protocols in Marine Wireless Ad-hoc and Sensor Networks," Proc. of 40th IEEE HICSS, Aug. 2007.
- [10] 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.
- [11] 손주영, 김택현, "해상이동통신망에서 교차 영역을 위한 항로 기반 경로배정 프로토콜", 한국해양대학교 부설 산업기술연구소 연구논문집, Vol.23, pp. 131~135, Jan. 2006.
- [12] 손주영, 문성미, "선박 애드 혹 네트워크에 적합한 복합적 항로기반 경로배정 프로토콜", 한국마린엔지니어링학회지, Vol.32, No.5, pp. 775~784, Jul. 2008.

손 주 영



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