

다중무선매체로 중첩된 해상데이터망을 위한 최다승기반 홉 단위 최적매체 경로배정 프로토콜

손 주 영†

(원고접수일 : 2011년 5월 23일, 원고수정일 : 2011년 6월 29일, 심사완료일 : 2011년 7월 13일)

A Routing Protocol of Optimal Medium per Hop based on a Max-Win Method (OMH-MW) for Overlapped Maritime Data Networks with Multiple Media

Joo-Young Son†

요 약 : 해상 데이터통신망은 앞으로 전통적인 RF과 위성, 그리고 육상의 광대역무선접속(BWA) 기술인 무선랜, WiBro, WiMAX 등 여러 전송매체와 접속기술을 기반으로 중첩되어 형성될 전망이다. 이 논문에서는, 육상의 통신응용 서비스를 해상에서 실현하기 위해 중첩된 자율망(MANET) 기반 데이터통신망 모델과 홉 단위로 최적의 전송매체를 선택하여 최적경로를 찾는 경로배정 프로토콜(OMH-MW)을 새롭게 제안한다. 응용과 매체의 전송특성을 고려하여 개별 특성에 대해 응용에 대한 매체의 최적성을 측정하고 그것의 순위(승수)에 의거하여 매체를 링크로 선택하는 방법을 제시한다. 하나의 매체만으로 구성되는 경로만을 대상으로 최적경로를 찾는 프로토콜(MWR)과 성능 비교하였다.

주제어 : 해상데이터망, 경로배정 프로토콜, 홉 단위 최적매체선택, 최다승기반, 중첩된 모바일 애드혹 네트워크 모델

Abstract: Data networks at sea will be overlapped networks with not only traditional carriers such as RF, satellites but also BWA like wireless LAN, WiBro, and WCDMA in near future. In this paper, an overlapped MANET model for data networks at sea, and a routing protocol (OMH-MW) selecting optimal transmission medium for each hop in routes are proposed. OMH-MW measures the optimality of each medium regarding the transmission characteristics of each application and those of the medium in together. The most suitable medium to each link is selected as the link in routes. Performances are compared with those of the MWR (Max-Win based Routing protocol searching optimal routes with only one medium).

Key words: Maritime data networks, Routing protocol, Selecting an optimal medium per hop, Max-Win based, Overlapped MANET (Mobile Ad-hoc Networks) model

1. 서 론

현재 연안과 원양을 막론하고 항해중인 선박들이 데이터통신을 하기 위해서는 전통적인 무선전송매체인 라디오(RF)나 위성을 이용해야 한다. 그러나 이 전송매체들은 낮은 대역폭 또는 비싼 사용료 등으로 육상의 일반적인 인터넷 웹 접속도 곤란하다[1]. 이를 커버할 기술로 육상의 광대역

무선접속(BWA) 기술을 해상에 적용하려는 연구개발이 진행 중이다[2-7].

육상의 광대역 무선접속(BWA) 기술은 무선랜, WCDMA(HSDPA), WiMAX, WiBro, LTE 등이다[8-10]. 이 기술들은 전송범위, 전송률, 지연시간, 이동성, 사용요금 등의 측면에서 서로 다른 특성을 보인다. 그러나 공통적인 것은 모두 기지국 중심의

† 교신저자(한국해양대학교 IT공학부 교수, E-mail: mmlab2010@gmail.com, Tel: 051-410-4575)

셀 기반으로 작동한다는 점이다. 그러나 최근 지지국 설치가 근본적으로 어렵거나 경제적이지 못한 환경에 대비한 자율망(Ad-hoc Network) 구축이 가능한 부속기술을 선보이고 있다[11-12]. 해상인 경우도 지지국 설치가 매우 어려운 상황이므로 자율망 모델에 의한 육상의 광대역 무선접속기술을 활용하면 해상의 선박들이 광대역 데이터통신 서비스를 경제적으로 받게 될 것이다.

이 논문에서는, 기존의 해상통신망 무선매체인 RF와 위성을 포함하여 앞서 언급한 육상의 BWA의 자율망 모델을 기반으로 형성될 수 있는 중첩된 해상 데이터통신망 모델과 그 모델에 기반을 두고 최적경로를 찾는 경로배정 프로토콜(OMH-MW)을 제안한다.

프로토콜은 경로 상의 각 링크마다 최적의 무선매체를 독립적으로 선택할 수 있도록 하여 전체 경로의 성능을 최적화한다. 따라서 최종적으로 결정되는 최적경로는 각기 다른 종류의 무선매체를 이용하는 링크들의 시퀀스로 형성될 수 있다. 고속 데이터통신망을 이용하는 응용이 요구하는 전송특성(대역폭, 비용, 지연시간)에 최적의 전송특성을 제공하는 무선매체를 지원하는 중간연결노드(relay node)와 링크가 선택된다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 해상통신환경, 해상에서 활용이 가능한 무선매체, 그리고 해상에서 제공될 응용의 특성을 정리한다. 3장에서는 기존의 기술을 소개하고, 4장에서는 통신망 모델과 경로배정 프로토콜을 새롭게 제안하고, 5장에서 성능을 비교분석한다. 마지막으로 6장에서는 결론으로 향후과제를 논한다.

2. 해상통신, 무선매체, 응용의 특성

2.1 해상통신환경 특성

해상의 선박 가운데 소규모 선박을 제외하고 통신과 관련된 선박의 특성은 다음과 같다.

① 고유 식별자를 가지고 좌표로 위치 및 항해정보를 AIS, VMS, LRIT등으로 서로 공유한다. 인근의 타 선박들의 위치 및 항해정보를 파악하고 있다.

② 대체로 정해진 항로를 따라 움직이고, 속도와 방향이 급격하게 변하지 않으므로 육상 이동체보다 움직임에 대한 예측이 쉽다.

③ 여러 무선매체에 동시접근과 상호전환이 원활하게 가능하고, 활용자원(연산처리능력, 기억장치, 저장장치, 전원)은 육상 고정체와 유사하다.

2.2 무선전송매체의 특징

무선랜(wLAN)은 허브와 단말사이(Last Mile Network)에 RF나 적외선을 이용한 무선채널을 채택한 근거리 통신망이다. 2.4GHz 또는 5GHz 대역을 사용하며 최대 300Mbps 전송률까지 낸다. 최대 전송범위는 약 200m이다. 대학과 기업체 구내, 그리고 최근에는 이동통신사들의 Wi-Fi 서비스 등으로 그 이용도가 급증되고 있다[8]. 해상통신에는 그 전송범위가 좁아 해안이나 부두에 AP를 구축하고 해안이나 부두에 정박시 육상망에 접속하거나 독립적인 선내 무선접속망으로 활용될 수 있다. 애드혹 모드 경우 연안에서 서로 근접해있는 선박간의 통신수단으로도 활용 가능하다.

HSDPA(High Speed Downlink Packet Access)는

표 1: 해상무선매체의 성능특성

	wLAN	HSDPA	LTE	WiMAX	WiBro	VHF	Inmarsat FB	VSAT
전송 범위(km)	0.1	5	5	50	14.2	50	전세계 (남북위 75°이상제외)	각 국가기준 인근해역
이동성	Ad Hoc 가능	있음	있음	없으나 MMR가능	있음	있음	있음	있음
대역폭 (bps)	54M	14.4M (평균1M)[15]	75M	70M	37M (평균3M)[19]	100k	492k	128k
지연시간(ms)	22	70 [15]	10	25	10	0.1	500	250
이용 요금	월 약 3만원	월기본료2~4.5만원+a	미정	월31달러 (약4만원)	월정액 1~3만원+a	없음	HSD기준 초당 170원 (월4억이상)	월정액 300만원(KT)

3세대 비동기식 이동통신기술 표준화 기구 3GPP(3rd Generation Partnership Project)의 Release 5 핵심기술로 WCDMA 표준에서 패킷 기반의 데이터 서비스를 가리킨다. 다운로드 속도는 최대 14.4Mbps이다. 기지국에 대한 별도의 투자 없이 WCDMA 시스템을 개량하는 방식으로 서비스를 제공할 수 있어 서비스 가능범위가 전국적이라는 장점이 있다. KT와 SK텔레콤이 2007년 3월부터 서비스를 시작했다[9].

LTE(Long Term Evolution)은 HSDPA보다 진화된 휴대전화 고속무선 데이터패킷 통신규격이다. 3GPP가 2008년 12월 확정된 무선 고속 데이터 패킷 접속규격인 Release 8에 기반을 둔다. 핵심기술인 OFDM과 MIMO를 이용하고 주파수효율과 셀 경계에서의 전송효율을 향상시켜 HSDPA보다 12배 이상 고속을 낸다. 다운로드 속도는 최대 173Mbps이다.(2x2 MIMO 기준) 2009년말 스웨덴과 노르웨이에서 상용서비스가 시작되었고 우리나라는 올 하반기에 서비스를 시작한다[9].

WiMAX(Worldwide Interoperability for Microwave Access)는 IEEE802.16 표준 무선 MAN(Metropolitan Area Network) 기술로 케이블이나 DSL의 대안으로 최종접속망의 무선광역접근을 가능하게 한다 [10]. 전송 범위가 최대 50km이고, 2.3~2.4GHz의 대역을 쓴다. 최대 전송률은 70Mbps이다. 넓은 전송범위로 선박 간 통신에도 활용이 가능하고 MMR 기술을 이용하면 자율망을 형성하여 더 넓은 영역까지 해상통신이 가능할 것이다[11].

WiBro(Wireless Broadband)는 IEEE802.16e 표준으로 무선광역 이동인터넷기술이다[9]. 무선 인터넷 접속에 이동성을 더한 특징을 가지고, 최대 전송범위는 1km이다. 최고 전송률은 10Mbps로 해상의 선박이 활용할 수 있는 전송기술이다.

VHF(Very High Frequency)는 30M~300MHz 범위의 RF로 최대 전송 범위는 50km이다. 주로 TV, FM, 지상파 DMB, 무전기에서 활용된다. 해상에서는 GMDSS(Global Maritime Distress Safety System) 등으로 활용되나 연안 트래픽의 증가와 함께 VHF대의 아날로그 음성채널의 사용 증가로 트래픽 혼잡 현상이 있다. VHF대 통신 고도화 방안

으로 다수 채널을 묶어 협대역화하는 방안이 논의되고 있다[13].

HF(High Frequency)는 4M~26MHz 범위의 RF로 PACTOR 프로토콜로 3.6Kbps 전송률을 낸다. HF대 통신은 전자메일, 원격TTY, 음성통신 등에 활용되나 전파지연, 페이딩, 지터 및 공전 등의 영향으로 인해 이용에 문제가 있다. 디지털 신기술의 도입을 통한 신규서비스 적용에 대해 연구가 이루어지고 있다[14].

Inmarsat FB(International Maritime Satellite Fleet Broadband)는 GMDSS의 주요요소이자 대표적인 선박통신수단이다. 최대 전송률은 492kbps이고 L(1~2GHz) 또는 C(4~8GHz) 대역의 주파수를 쓴다. 음성 및 데이터 동시 전송이 가능하다.

VSAT(Very Small Aperture Terminal)은 Inmarsat에 비해 협소한 범위를 커버하는 통신위성 시스템으로 Ku(12.4~18GHz) 또는 Ka(26.5~40GHz) 주파수 대역을 사용한다. 가정이나 기업의 사용자를 위한 서비스를 제공하며 음성 및 데이터 통신이 가능하다.(표 1)

2.3 응용 서비스의 특징

해상통신망에서 활용할 서비스들은 항해안전과 조난구조, 영상감시, 항해데이터 실시간갱신과 인터넷서비스 등 응용을 포함한다[16]. 응용의 종류에 따라 통신에 요구되는 특성들이 서로 다르다. 표 2는 해상의 응용을 5부류로 구분하고 각 데이터통신 특성을 보인다.

안전, 음성, 화상응용은 응답성(responsiveness)이 중요하므로 경로상의 홉수와 전송매체가 적어도 제공해야하는 최소대역폭, 그리고 최대한 허용되는 최대지연시간(latency) 측면에서 엄격하다. 반면 응답성에서 유연한 전자메일, 파일전송응용과 웹응용은 홉수와 지연시간에 대해 관대하다. 이 논문에서 제안하는 OMH-MW 프로토콜은 이러한 응용의 통신요구특성을 고려하여 이에 가장 적합한 전송매체를 각 링크마다 개별적으로 선택하는 방식으로 작동하기 때문에 표 2의 응용별 통신요구특성은 매우 중요한 요소이다.

표 2: 해상통신망 응용의 요구전송특성

응용	요구전송특성			
	흐수	최소대역폭	최대지연시간	허용요금
SAFETY(안전)	최소	1Kbps	10ms	10만/월
MAIL(메일,파일)	무관	150Kbps	500ms	2.5만/월
WWW(웹)	무관	1Mbps	400ms	3만/월
VoIP(음성)	최소	500Kbps	100ms	3.5만/월
IPTV(영상)	최소	1.5Mbps	50ms	5만/월

3. 기존 연구

해상통신망의 MANET 모델에서 노드는 이동하는 선박 내에 있는 각 전송매체를 이용하는 통신장비가 되고, 예지는 기지국 없이 노드간 형성되는 무선링크이다[2-7]. 경제적인 이유로 해상의 선박들은 장애물이 없는 한 목적항까지의 최단 거리인 권고 항로를 따라 이동하기 때문에 이동경로는 대부분 예측이 가능하다. 이 특성을 살려 경로탐색구역을 항로위주 구역으로 제한시켜 경로탐색시간을 줄이고 정확성을 높이는 알고리즘을 제안하였다[2,3]. [4]에서는 해상통신망을 정적 정보(항구, 항로, 항로교차점)와 동적 정보(해상의 선박)를 모두 포함하는 MANET모델로 수립하고, 경로배정에 동적 정보를 고려하였다(그림 1). [5]에서는 정적 정보를 이용하여 Floyd알고리즘으로 사전에 노드간 최단경로를 계산하고 있다가 실제 경로배정이 필요할 때 이 최단경로를 이용하는 방식을 제안하였다. 그러나 기본적으로 위의 연구들은 선박에서 동시에 쓸 수 있는 무선매체의 수가 하나라

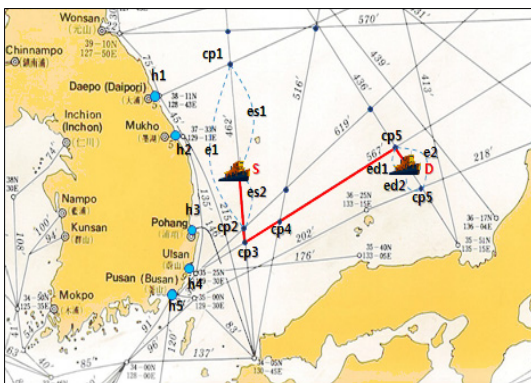


그림 1: 해상통신망 모델[4]

고 가정하고 있어 실제 선박에서 활용 가능한 여러 가지 무선통신매체를 고려하지 않았다. 반면 [7]은 다중 매체를 고려하여 최단경로를 찾고 있으나 최종적으로 찾은 최적경로상의 전송매체는 단일 매체를 채택하는 것으로 제한하였다. 이는 특정 노드가 지리적이거나 환경적인 상황으로 특정 매체를 쓰지 못하는 단점과 최적의 매체를 각 링크마다 선택하지 못하는 단점을 가진다.

4. 중첩된 MANET모델과 경로배정

4.1 중첩된 MANET 해상통신망 모델

모든 선박은 첫째, GPS를 통해 자신과 AIS, LRIT를 통해 타 선박의 위치를 파악할 수 있고 둘째, wLAN, HSDPA, LTE, WiMAX, WiBro, VHF, Inmarsat의 무선매체를 동시에 쓸 수 있고, 셋째, 무선매체 간 핸드오버와 릴레이가 이음새(지연시간) 없이 이루어지는 환경[17]으로 가정한다. 해상통신망 $N=(V,E)$ 은 노드(V)로 항구와 선박, 그리고 에지(E)로 노드간 통신 가능한 무선매체로 이어지는 링크로 구성된다. 그런데 $N=\{N_1 \cup N_2 \cup N_3 \cup N_4 \cup N_5 \cup N_6 \cup N_7\}$ 이다. 여기서, $N_i=(V_i, E_i)$, $V_i=\{E_i$ 의 양끝 노드}, $E_i=\{(v_i, w_i) \mid \text{거리}(v_i, w_i) \leq \text{전송범위}(M_i)\}$ 인 v_i 와 w_i 사이 링크, $i=1,2,\dots,7$ 이고, $M=\{wLAN, HSDPA, LTE, WiMAX, WiBro, VHF, Inmarsat\}$ 이다. $V=\bigcup_{i=1}^7 V_i$ 이고, $E=\bigcup_{i=1}^7 E_i$ 이다. 예지는 각 노드의 상대적인 지리적 위치에 따른 노드간 거리가 특정 매체의 전송범위보다 가까우면 해당 매체로 그 노드간에 형성되고 그러한 각 매체들의 통신망이 전체적으로 중첩되는 모델이다(그림 2).

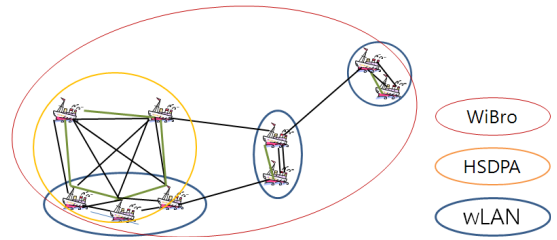


그림 2: 중첩된 다중매체 해상통신망의 예

4.2 OMH-MW 경로배정 프로토콜

OMH-MW(최다수기반 홉 단위 최적매체 채택) 경로배정 프로토콜에서는 그림 2와 같이 중첩된 각 망을 부분적으로 이용하여 양단간 경로를 찾아가 성능을 최적화시킨다. 찾는 최적경로 R은 통신의 양단 s, d를 첫 노드와 마지막 노드로 하는 노드들의 시퀀스 $R=\{s,a,b,\dots,g,h,d\}$ 로 표현될 수 있다. R에 포함된 노드들에 대해 각기 속하는 매체별 망을 명시하여 표현하면 (한 예로) 다음과 같다.

$R=\{\{s_i,a_i\},\{a_j,b_j,\dots,g_j\},\{g_k,h_k,d_k\}\}$ 여기서 $\{s_i,a_i\}$ 는 N_i 에, $\{a_j,b_j,\dots,g_j\}$ 는 N_j 에, 그리고 $\{g_k,h_k,d_k\}$ 는 N_k 의 부분망으로 형성된 부분시퀀스이다($i,j,k=1,2,\dots,7$).

이 예는 OMH-MW 프로토콜에 의해 찾은 최적경로가 3개의 매체망을 부분적으로 이용함을 보인다. s, a는 N_i 에 속한 노드로 s에서 a까지는 N_i 망을 타고 a에서 N_j 의 매체로 전환(handover)하여 N_j 에 속한 b와 연결된다. 노드 a(a_i, a_j 는 하나의 노드이나 아래첨자를 서로 달리한 것은 소속 망을 각기 표현하기 위함) N_i 와 N_j 망에 모두 속한 노드로 망간에 매체 전환하여 서로 연결하는 역할을 한다.

참고로, 비교되는 기존의 MWR 프로토콜[7]에서 찾은 최적경로 R은 $R=\{s_m,a_m,b_m,\dots,g_m,h_m,d_m\}$ 로 표현될 수 있다. R에 속한 모든 노드들은 하나의 매체망 $N_m(m=1,2,\dots,7)$ 에 속한다.

홉(링크) 단위로 최적 통신매체를 선택하는 OMH-MW 프로토콜에서 경로를 선택하는 기본적인 원칙은 형성되는 경로상에서 활용되는 통신응용서비스가 요구하는 통신특성(표 2)들을 개별적으로 고려하여 종합적으로 가장 적합하게 만족하는 매체의 링크와 그 링크에 연결된 노드를 선택하는 것이다. 응용의 통신요구특성 가운데 홉수를 제외한 최소대역폭, 최대지연시간, 허용(최고)요금에 대해서는 매체가 제공하는 대역폭, 지연시간, 요금이 각기 가장 근접하는 매체가 최적매체이다(그림 3).

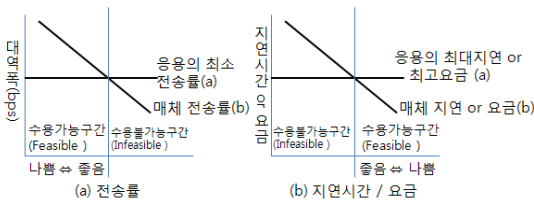


그림 3: 전송특성별 선택기준

대역폭 경우, 응용이 요구하는 최소 대역폭(a)보다 매체가 제공하는 대역폭(b)이 같거나 커야 한다 ($b-a \geq 0$), (수용가능구간 Feasible Section). 수용가능구간에 포함되는 대역폭을 제공하는 매체들이 여럿 있다면 그 가운데 (b-a)가 작을수록 응용에 더 적합한 매체이다. 즉, 응용이 요구하는 특성에 가장 근접하게 만족시키는 매체가 최적의 매체인 것이다. 지연시간(또는 요금) 경우에는 매체의 지연시간(또는 요금)(b)이 서비스가 허용하는 최대지연시간(또는 요금)(a)보다 같거나 작아야 한다($a-b \geq 0$). 수용가능구간에 속하는 지연시간(또는 요금)을 제공하는 매체가 여럿이면 그 가운데 (a-b)가 최소인 매체가 최적매체가 된다.

매체가 응용이 요구하는 특성을 만족시키지 못하는 수용불가능구간(Infeasible Section)에 속한 전송특성을 가진 경우에는 그 매체를 이용할 경우 응용을 이용하기가 어렵다. 그러나 최근에는 응용의 요구특성들을 통신망의 상황에 맞추어 변형이 가능하다. 예를 들어 동영상 콘텐츠인 경우 적응형 코딩(Adaptive Coding)을 하여 통신망의 상황에 맞추어 서비스 품질과 전송특성들을 상호조정이 가능하다. 따라서 수용불가능구간의 전송특성을 보이는 매체를 완전히 배제하기보다 불가피할 경우 채택될 수 있게 한다. 그러나 수용가능구간의 전송특성을 보이는 매체에 비해 응용측면에서는 좋지 않은 매체이므로 가중치($w > 1$)를 두어 수용가능구간의 매체에 비해 채택되기 어렵게 한다.

OHM-MW 경로배정 프로토콜은 다음과 같다.

① 찾는 경로의 양단 s, d 사이에 가능한 모든 경로에 대해 각 경로 r의 전송특성별 값(B_r, C_r, D_r)을 다음과 같이 구한다.

$$B_r = \frac{\sum_{i=1}^{H_r} k_i \cdot \text{abs}(B_i - B_A)}{H_r} \text{ where } \begin{cases} k_i = 1, & \text{if } (B_i \geq B_A) \\ k_i = w (> 1), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$C_r = \frac{\sum_{i=1}^{H_r} k_i \cdot \text{abs}(C_i - C_A)}{H_r} \text{ where } \begin{cases} k_i = 1, & \text{if } (C_i \leq C_A) \\ k_i = w (> 1), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

$$D_r = \frac{\sum_{i=1}^{H_r} k_i \cdot \text{abs}(D_i - D_A)}{H_r} \text{ where } \begin{cases} k_i = 1, & \text{if } (D_i \leq D_A) \\ k_i = w (> 1), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

식 (1)에서 B_r 은 응용 A 의 요구대역폭 B_A 에 대해 경로상의 각 홉(링크) i 를 형성한 매체의 대역폭 B_i 와의 평균편차이다. H_r 은 경로 r 의 홉수이다. 식 (2)에서 C_r 은 요금, 그리고 식 (3)에서 D_r 은 지연시간에 대한 경로 r 의 평균편차이다. 식 (1) ~ (3)에서 각 링크의 편차를 구할 때 가중치 k_i (1 또는 $w(>1)$)가 적용된다. 이는 수용가능구간 특성($k_i=1$)을 가진 매체와 수용불가능구간 특성($k_i=w$)을 가진 매체간에 차별을 구현한 것이다.

② B_r, C_r, D_r 에 대해 모든 경로의 값들을 특성별로 정렬한다. 응용의 요구특성에 가능한 근접하는 것이 좋은 것이므로 값이 작을수록 순위가 앞선다. 경로 r 에 대한 B_r 의 순위를 PB_r, C_r 의 순위를 PC_r, D_r 의 순위를 PD_r 이라 하자. 그러면 경로 r 이 얼마나 최적인가를 최종 평가할 수 있는 값으로 V_r 을

$$V_r = PB_r + PC_r + PD_r + H_r \tag{4}$$

로 구한다.

③ 모든 경로 가운데 V_r 이 최소인 경로를 최적 경로 R 로 채택한다.(식 (5))

$$V_R = \min(V_1, V_2, \dots, V_n), n = \text{모든 경로의 개수} \tag{5}$$

만약 두 경로 이상이 동일한 V 값을 가지면 홉수 (H)가 최소인 경로를 선택한다. 그래도 여럿이면 그 가운데 임의의 하나를 선택한다.

OMH-MW 경로배정 프로토콜의 식 (1,2,3)에서

$$B_1=B_2=\dots=B_{Hr}, C_1=C_2=\dots=C_{Hr}, D_1=D_2=\dots=D_{Hr} \tag{6}$$

인 경로만을 고려하는 알고리즘이 MWR이다. 즉 MWR은 OMH-MW의 부분집합적인 경로만을 대상으로 최적경로를 찾는 프로토콜인 것이다.

5. 성능평가

5.1 평가환경

OMH-MW의 성능 평가는 표 3의 환경에서 시뮬레이션에 의해 도출된 실험결과를 통해 이루어졌다.

표 3: 실험 환경

변수	설정값
망 최대 범위	200Km x 200Km
노드 수	102 (s, d 제외하고 100)
Carrier(무선매체, MAC, PHY)	wLAN(IEEE 802.11) WCDMA(HSDPA) WiBro(IEEE 802.16e) WiMAX MMR(IEEE 802.16j) LTE(Long Term Evolution) Abstract (digital VHF)
응용 서비스	Safety and Distress e-Mail or FTP World Wide Web Voice over IP IP Television
실험횟수	1000회

시뮬레이터는 Visual Studio 2007에서 C++로 구현하였다. 노드는 200Km x 200Km 정사각형 평면(바다) 내 임의의 위치에 배치하였고 노드의 총수는 최초 102개에서 실험하였다. 그러나 만약 프로토콜에서 경로를 찾지 못하는 경우가 발생하면 노드들의 밀도가 낮아 노드간 거리가 어떠한 매체 전송범위보다 먼 경우이다. 실제로는 대체적인 매체로 Inmarsat을 이용하면 되나 실험에서는 이 상황이 프로토콜의 성능측정에 의미가 없으므로 이를 배제하고 대신 노드 수를 100개씩 늘려 적어도 하나의 프로토콜이 최적경로를 찾을 때까지 반복 실험하였다. 최종실험결과는 1000번 서로 다른 망을 생성하여 실험한 결과들의 평균치이다.

5.2 성능분석

성능은 기존의 MWR 프로토콜과 비교하였다. 비교대상은 각 응용에 대해 최적경로 R 이 가지는 평균 B_R, C_R, D_R, H_R 이다. 참고적으로 최적경로에 포함된 매체의 평균개수도 함께 제시한다. 매체를 선택할 때 수용불가능구간의 특성을 가진 매체에 대해 가해지는 가중치 w 를 1.3, 1.5, 2.0, 그리고 1000.0으로 달리한 결과를 상호 비교하였다. 앞의 세 값은 수용불가능구간의 매체를 채택하는 것을 점차 어렵게 만드는 상황을 모사하였고 1000.0 값은 수용불가능구간의 매체를 거의 채택하지 않고 수용가능구간의 매체만으로 구성된 최적경로를 찾는 상황을 모사한 것이다.

표 4: 가중치 $w = 1.3$ 일 때 성능비교

가중치 $w = 1.3$		적용응용	SAFETY	MAIL	WWW	VoIP	IPTV
평균대역폭(B)	OMH_MW(A)	13,991.73	38,309.48	43,552.67	43,997.85	43,424.87	
	A/B (%)	6394.76%	28421.60%	133.98%	150.60%	2223.09%	
	MWR(B)	218.80	134.79	32,507.46	29,215.68	1,953.36	
평균비용(C)	OMH_MW(A)	88,406.73	21,463.29	19,139.67	16,504.42	21,724.38	
	A/B (%)	88.50%	85.87%	86.42%	71.31%	43.52%	
	MWR(B)	99,900.00	24,994.50	22,146.00	23,144.00	49,920.00	
평균지연시간(D)	OMH_MW(A)	6.90	485.97	383.25	82.24	34.71	
	A/B (%)	76.84%	97.39%	98.80%	92.38%	70.91%	
	MWR(B)	8.98	498.98	387.91	89.02	48.95	
평균홉수(H)	OMH_MW(A)	7.43	7.62	7.91	8.18	8.47	
	A/B (%)	103.34%	105.98%	96.11%	100.74%	117.97%	
	MWR(B)	7.19	7.19	8.23	8.12	7.18	
평균사용매체수	OMH_MW(A)	1.94	2.25	2.11	2.20	2.88	
	A/B (%)	194.00%	221.00%	211.00%	220.00%	288.00%	
	MWR(B)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	

표 5: 가중치 $w = 1.5$ 일 때 성능비교

가중치 $w = 1.5$		적용응용	SAFETY	MAIL	WWW	VoIP	IPTV
평균대역폭(B)	OMH_MW(A)	14,379.87	35,850.64	43,569.32	44,567.34	42,965.21	
	A/B (%)	6572.15%	16709.69%	132.53%	134.28%	1868.70%	
	MWR(B)	218.80	214.55	32,874.90	33,189.70	2,299.20	
평균비용(C)	OMH_MW(A)	88,082.84	23,045.55	20,341.21	17,075.98	22,785.19	
	A/B (%)	88.17%	92.20%	88.40%	77.64%	45.68%	
	MWR(B)	99,900.00	24,995.00	23,010.00	21,992.50	49,880.00	
평균지연시간(D)	OMH_MW(A)	6.84	486.85	383.53	82.50	35.26	
	A/B (%)	76.17%	97.57%	98.89%	94.12%	72.06%	
	MWR(B)	8.98	498.95	387.82	87.65	48.93	
평균홉수(H)	OMH_MW(A)	7.46	7.60	7.87	8.06	8.11	
	A/B (%)	103.47%	105.70%	95.28%	97.58%	112.64%	
	MWR(B)	7.21	7.19	8.26	8.26	7.20	
평균사용매체수	OMH_MW(A)	1.94	2.25	2.12	2.14	2.76	
	A/B (%)	194.00%	225.00%	212.00%	214.00%	276.00%	
	MWR(B)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	

표 4의 $w=1.3$ 인 경우 OMH-MW가 응용 전반에 걸쳐 대역폭 측면에서 응용이 요구하는 대역폭보다 MWR에 비해 상당히 많은 대역폭을 활용하는 것으로 보인다. 반면에 비용에서는 MWR에 비해 12%~56%정도 최적성을 높였고, 지연시간 측면은 1%~29%까지 더욱 최적화를 달성하였다. 특히 지연시간에 민감한 안전, VoIP, IPTV 응용에서 더욱 좋은 특성을 보인다. 홉수에서는 거의 MWR과 비슷한 결과를 보인다. 최적경로에서 사용한 평균매체의 수는 OMH-MW는 1.9~2.9개 활용한 반면, MWR은 경로가 단일매체만을 채택하기 때문에 1개이다. 즉 OMH-MW 경우 약 2~3종의 매체망을 통과하는 최적경로를 찾았음을 나타낸다.

w 가 점차 커지면서 수용불가능구간의 특성을 가진 매체를 경로상의 링크로 채택할 가능성이 점차 줄어들면 들수록 OMH-MW의 최적화 성능이 MWR에 비해 좋아지고 있음을 모든 응용에서 나타난다. 특히 대역폭을 보면, OMH-MW는 점차 최적화되어가는 반면 MWR은 반대로 점차 최적화되지 않게 대역폭을 활용하는 것을 볼 수 있다. 급기야 $w=1000$ 인 경우 안전 응용을 제외하고 다른 응

표 6: 가중치 $w = 2.0$ 일 때 성능비교

가중치 $w = 2.0$		적용응용	SAFETY	MAIL	WWW	VoIP	IPTV
평균대역폭(B)	OMH_MW(A)	13,972.75	1,153.57	39,582.79	43,797.76	41,066.86	
	A/B (%)	8793.42%	1153.57%	2119.90%	129.41%	1400.93%	
	MWR(B)	158.90	100.00	1,867.20	33,844.70	2,931.40	
평균비용(C)	OMH_MW(A)	88,423.00	24,569.97	23,546.72	19,190.74	25,034.70	
	A/B (%)	88.47%	98.28%	78.52%	83.53%	50.15%	
	MWR(B)	99,950.00	25,000.00	29,990.00	22,975.00	49,920.00	
평균지연시간(D)	OMH_MW(A)	6.90	498.74	385.28	83.43	36.15	
	A/B (%)	76.75%	99.95%	96.57%	95.39%	73.85%	
	MWR(B)	8.99	499.00	398.98	87.46	48.95	
평균홉수(H)	OMH_MW(A)	7.46	7.18	7.80	7.82	7.60	
	A/B (%)	103.47%	100.14%	108.64%	94.44%	105.70%	
	MWR(B)	7.21	7.17	7.18	8.28	7.19	
평균사용매체수	OMH_MW(A)	1.94	1.20	2.25	2.07	2.57	
	A/B (%)	194.00%	120.00%	225.00%	207.00%	257.00%	
	MWR(B)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	

표 7: 가중치 $w = 1000.0$ 일 때 성능비교

가중치 $w = 1000.0$		적용응용	SAFETY	MAIL	WWW	VoIP	IPTV
평균대역폭(B)	OMH_MW(A)	13,793.36	49,639.45	320,093.25	168,190.54	84,906.40	
	A/B (%)	13932.69%	99.28%	63.04%	66.93%	42.11%	
	MWR(B)	99.00	50,000.00	507,768.00	251,275.00	201,650.00	
평균비용(C)	OMH_MW(A)	88,572.04	167,050.55	6,741,233.02	3,410,942.80	6,531.54	
	A/B (%)	88.57%	668.20%	142.35%	150.31%	46.65%	
	MWR(B)	100,000.00	25,000.00	4,735,840.00	2,269,250.00	14,000.00	
평균지연시간(D)	OMH_MW(A)	6.93	498.71	382.52	82.50	31.50	
	A/B (%)	77.00%	99.94%	98.67%	93.54%	114.96%	
	MWR(B)	9.00	499.00	387.67	88.20	27.40	
평균홉수(H)	OMH_MW(A)	7.42	7.18	8.20	8.11	10.67	
	A/B (%)	103.34%	100.14%	99.39%	98.90%	115.35%	
	MWR(B)	7.18	7.17	8.25	8.20	9.25	
평균사용매체수	OMH_MW(A)	1.93	1.18	2.13	2.07	2.16	
	A/B (%)	193.00%	118.00%	213.00%	207.00%	216.00%	
	MWR(B)	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	

용에서 OMH_MW가 MWR보다 더욱 최적화된 결과를 보인다. IPTV 응용인 경우 MWR에 비해 58%까지 적합성을 더 높은 것으로 나왔다. 대신 지연시간에서 15%의 희생이 발생함이 보인다.

부분적으로 특정 응용 서비스를 받는 환경에서 특정의 특성만을 고려하는 경우에는 MWR이 더 적합할 수 있다. 예를 들어, 안전응용 경우 대역폭 활용 측면만 따진다면 그러하다. 그러나 OMH-MW 프로토콜이 전반적으로 모든 응용 서비스에서 고르게 전송 특성들을 MWR에 비해 월등히 더 적합하게 활용하는 최적경로를 찾고 있음을 알 수 있다.

6. 결론

OMH-MW 프로토콜은 경로상의 모든 링크가 단일 전송매체만을 활용하는 최적경로를 찾는 기존의 MWR에 비해 경로상의 링크별로 최적매체를 채택하여 결과적으로 경로상의 링크가 다양한 매체를 활용하는 최적경로를 찾는다. 대역폭, 비용, 지연시간 측면에서 더 최적화된 경로를 찾을 수 있음을 성능평가를 통해 확인하였다. 여기서 찾은 최적경로는 대체적으로 2~3 종류의 매체를 이용하

여 구성되었고, 이를 통해 최적화를 더욱 고도화할 수 있었음을 알 수 있다.

OMH-MW 프로토콜은 적용할 응용 서비스의 전송특성과 매체의 전송특성의 구체적인 값에 의거하여 형성 가능한 경로들에 대해 상호순위(승수)를 계산하는 관계로 알고리즘의 복잡도가 높아진 측면이 있다. 따라서 단기적으로는 이 연구의 환경을 조성한 캐나다 MUN대학교 계속해서 최적성은 더욱 고도화되면서 복잡도는 완화되는 알고리즘에 대한 후속 연구가 필요하고, 장기적으로는 실제 적 테스트베드 환경에서의 필드실험도 요구된다.

참고문헌

- [1] 정중식, 김선영, “E-navigation 도입에 따른 육해상통신망 개발전략에 관한 연구”, 한국항해항만학회지, 제32권 제1호, pp. 37-45, 2008.
- [2] 손주영, “선박 애드 혹 네트워크를 위한 확장탐색구역 경로배정 프로토콜”, 한국마린엔지니어링학회지, 제32권 제8호, pp. 1269-1277, 2008.
- [3] 손주영, “선박 애드 혹 네트워크를 위한 부채꼴 탐색구역 경로배정 프로토콜”, 한국정보과학회 논문지, 제35권 제6호, pp. 521-528, 2008.
- [4] 손주영, 문성미, “선박 애드 혹 네트워크에 적합한 복합적 항로기반 경로배정 프로토콜”, 한국마린엔지니어링학회지, 제32권 제5호, pp. 775-784, 2008.
- [5] 이윤도, 이호진, 권태경, 최양희, 손주영, “해상 MANET을 위한 항로 기반 벡터 중심 라우팅 프로토콜”, 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문초록집, pp. 283-283, 2006.
- [6] 이수환, 손주영, “안전한 광대역 해상정보통신망 구축을 위한 WiMAX MMR 확장 프로토콜”, 한국마린엔지니어링학회지, 제34권 제8호, pp. 1145-1152, 2010.
- [7] 손주영, 문성미, “다중무선매체 해상통신망을 위한 최대승수기반 경로배정 프로토콜(MWR)”, 한국마린엔지니어링학회지, 제34권 제8호, pp. 1159-1164, 2010.
- [8] 최선웅, “IEEE 802.11 무선랜의 성능 특성”, 한국통신학회지(정보와 통신), 제24권 제6호, pp. 50-57, 2007.
- [9] <http://ko.wikipedia.org/wiki/HSDPA>, WiBro, LTE
- [10] 김대중, “WiMAX 표준”, TTA 표준화본부
- [11] Steven W. Peters and Robert W. Heath, JR., University of Texas at Austin, “The Future of WiMAX: Multihop Relaying with IEEE 802.16j”, Communications Magazine, IEEE vol. 47, no. 1, pp. 104-111, 2009.
- [12] 이성춘, “Mobile Multihop Relay Network”, KRnet 2006, The 14th Korea Internet Conference, pp. I2-3-1~I2-3-31, 2006.
- [13] 정중식, 김선영, “E-Navigation 서비스 제공을 위한 통신망 아키텍처의 설계”, 한국항해항만학회지, 제32권 제1호, pp. 37-45, 2008.
- [14] 최조천, “국내 단파대 해상통신의 디지털화 방안”, 한국해양정보통신학회논문지, 제8권 제4호, pp. 774-781, 2004.
- [15] <http://features.techworld.com/mobile-wireless/212/hsdpa-will-make-3g-start-to-deliver/>
- [16] Jaya Shankar Pathmasuntharam, Joe Jurianto, Peng-Young Kong, Ye Ge, Mingtuo Zhou and Ryu Miura, “High speed maritime ship-to-ship/shore mesh networks,” Telecommunications, 2007. ITST '07. 7th International Conference on ITS, 6-8 pp. 1-6, 2007.
- [17] 박창민, 지정훈, 전홍석, “이기종 네트워크간 핸드오버기술 및 표준화동향”, TTA저널 no. 125, 2009.

저자 소개



손주영(孫周永)

1981년~1985년 서울대학교 계산통계학과 졸업, 1991년~1993년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업 공학석사, 1993년~1997년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업 공학박사, 1985년~1998년 LG전자(주) 미디어통신연구소 책임연구원, 1998년~현재 한국해양대학교 IT공학부 정교수. 관심분야: 고속 해양통신망 프로토콜, e-Navigation, MANET, VANET, WMN, WiMAX MMR.