

다중매체로 이루어진 해상 자율망에서 이중 매체 선택이 가능하고 정규화된 위치와 전송특성에 의한 라우팅

† 손주영

† 한국해양대학교 IT공학부 교수

A Heterogeneous-carrier Selectable Routing Scheme Based on Normalized Location and Transmission Characteristics (MCS-NLTC) for Multi-carrier MANETs at Sea

† Joo-Young Son

† Div. of IT Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Busan, S. Korea

요약 : 새로운 해상통신망 모델로 자율망 모델과 광대역 무선접속기술의 다양성과 혼재성을 활용하고 경로상의 홉 단위로 최적노드와 캐리어를 선택하는 경로배정방식(MCS-NLTC)을 새롭게 제안한다. 여기서는 일반적인 홉 수가 아니라 목적지 선박과의 거리(위치정보)가 기본적인 기준이 되고 캐리어의 전송특성의 정규값을 가중치로 삼아 최적경로를 탐색하는 방식이다. 위치정보가 기본적으로 고려되기 때문에 탐색 수렴성이 개선되어 탐색시간이 크게 단축되고 경로의 최적성도 향상되었다. 기존 전송특성의 절대값을 상호 비교하는 최다승방식(OMH-MW)과 전송특성의 정규값만을 고려하는 방식(MCS-NTC)과 성능을 비교하여 이를 확인하였다.

핵심용어 : 해상통신망, 자율망, 다중캐리어, 위치와 전송특성 정규값, 경로배정

Abstract : A routing scheme called MCS-NLTC using a self-configuration marine network model and the diversity and heterogeneity of broadband wireless access technologies is newly proposed. The MCS-NLTC algorithm selects optimal nodes and carriers for every hop in optimal routes based on not conventional hop counts but normalized distances to destination ships (location information of destination ships). Normalized transmission characteristics of applications and carriers are considered to get optimal routes as well. The location information enhances convergence speed to get destinations, which makes the route search time faster. Evaluated performances are compared with those of the schemes based on max-win (OMH-MW), and normalized transmission characteristics (MCS-NTC).

Key words : Maritime Data Networks, MANET (Mobile Ad Hoc Networks), Multiple Carrier, Normalized Location and Transmission Characteristics, Routing Scheme

1. 서론

해상 데이터통신의 낮은 전송률과 비싼 비용의 한계를 극복하고 통신범위를 극대화하기 위해 육상의 광대역 접속기술(BWA: Broadband Wireless Access)과 MANET 모델을 해상에 적용한다(Lee, 2006; Son, 2008; Son, 2010; Son, 2011a; Son, 2011b; Son, 2013).

이 논문에서는 선박이 해상의 무선통신매체와 육상의 광대역 접속기술을 모두 활용하는 전송매체가 혼재되어 있는 환경에서 위치정보(목적 선박까지의 거리)를 기본적으로 고려하고 거기에 응용과 캐리어의 전송특성을 가중치로 작용시켜 경로상의 개별 링크(홉) 단위로 최적노드와 캐리어를 찾는 MCS-NLTC 경로배정방식을 제안한다. 이를 위해 우선 각 노

드(선박)에서 목적노드까지 거리, 그리고 응용이 요구하는 전송특성과 캐리어가 제공하는 전송특성(전송률, 비용, 지연시간) 값을 정규화(normalization)한다. 최적경로는 기본적으로 경로상의 각 노드에서 목적노드까지 정규화된 거리의 합이 최소인 경로가 된다. 여기에다 경로상의 링크에 채택된 캐리어의 전송특성의 정규값을 가중치로 적용함으로써 응용이 요구하는 전송특성에 적합하면서 목적선박에 이르는 수렴성이 더 개선된 최단경로를 탐색한다.

이 방식은, 기존의 위치기반 방식인 LAR (Location-Aided Routing)과 DREAM(Distance Routing Effect Algorithm for Mobility) (Abolhasan, 2004)과 홉 수에 의한 최단경로배정 Dijkstra 알고리즘을 채택한 MWR(Max-Win based Routing) (Son, 2010)과 NTCR(Routing scheme by Normalized Transmission Characteristics) (Son, 2011b)와 달리 목적지까

† Corresponding author : 연희원, mmlab@kmou.ac.kr, 051)410-4575

다중매체로 이루어진 해상 자율망에서 이중 매체 선택이 가능하고 정규화된 위치와 전송특성에 의한 라우팅

지 거리 정규값의 합이 최소인 경로를 최단경로로 탐색하는 점에서 차별화되고, 홉 단위로 최적노드와 캐리어를 선택하는 OMH-MW(Routing protocol of Optimal Medium per Hop based on a Max-Win method) (Son, 2011a)와 MCS-NTC(Multi Carrier Selectable Routing scheme by Normalized Transmission Characteristics) (Son, 2013)에 비해 경로탐색의 수렴성이 개선되어 경로배정에 걸리는 시간을 더욱 줄일 수 있었고, 결과물인 최적경로의 성능자체도 개선된 결과를 얻었다.

2. 기존연구

MANET(Mobile Ad-hoc Networks)은 기지국 없이 이동체 간에 자율적으로 형성되는 통신망 모델로 해상의 선박들도 유사한 환경에 있어 선박간의 통신망 모델로 채택한다. MANET 경로배정에서는 탐색속도를 높이기 위해 탐색범위를 특정 영역내로 제한한다(Lee, 2006; Son, 2008). 그러나 여기서는 이동체가 자원의 제약을 가지는 것으로 가정하기 때문에 전원, 프로세서, 입출력장치 측면에서 풍부한 자원을 가지고 여러 캐리어를 활용할 수 있는 선박의 환경과 맞지 않다.

MWR(Son, 2010)과 NTCR(Son, 2011b)는 선박이 활용할 수 있는 다양한 캐리어를 고려하는 방식이다. 그러나 이 두 방식은 단일 캐리어만으로 형성되는 최적경로를 탐색하기 때문에 경로의 홉 단위 최적화는 고려되지 않았다.

OMH-MW(Son, 2011a)와 MCS-NTC(Son, 2013)은 이를 극복하나 전자는 응용과 캐리어의 각 전송특성의 개별적 절대값들을 모두 상호 비교하여 최다승 캐리어를 최적으로 선택하기 때문에 긴 탐색시간이 문제이고, 후자는 전송특성의 정규화 개념을 도입하여 최적노드와 캐리어 선택방법을 간소화하였다. 그러나 이 논문에서 제안하는 MCS-NLTC 방식은 노드의 위치(거리)에 기반을 두어 경로탐색의 수렴성(탐색시간)과 경로 최적성 측면의 성능을 더욱 개선하였다.

3. 정규화

선박은 GPS를 통해 자신과 AIS(Automatic Identification System), LRIT(Long-Range Identification and Tracking)를 통해 타 선박의 위치를 파악하고, wLAN, HSDPA, LTE, WiMAX, WiBro, VHF, Inmarsat의 캐리어를 선택적으로 활용하며, 캐리어간 핸드오버가 지연시간 없이 되는 것으로 가정한다. 해상에서 이용할 수 있는 캐리어가 제공하는 전송특성과 응용이 요구하는 전송특성이 Table 1(a)와 (b)에 정리되어 있다(Son, 2013).

Table 1 Marine communication characteristics
(a) Carriers' transmission characteristics

	wLAN	HSDPA	LTE	WiMAX	WiBro	VHF	Inmarsat FB	VSAT
Tx. Range (km)	0.1	5	5	50	14.2	50	world wide	shore
Mobility	Ad Hoc	yes	yes	MMR	yes	yes	yes	yes
Bit rate (bps)	54M	14.4M	60M	70M	37M	100k	392k	128k
Delay(ms)	22	70	10	25	10	0.1	500	250
Fare(Won/m)	about 30K	20~45K	-	about 40K	10~30K	Free	HSD 170won/s (400M)	3M

(b) Transmission characteristics required by applications

Application	Transmission characteristics required by applications			
	# of hops	Min. Tx. Rate (bps)	Max. Delay (ms)	Fare (Won/m)
SAFETY	Minimize	1K	10	100K
MAIL or File	Don't care	150K	500	25K
WWW	Don't care	1M	400	30K
VoIP	Minimize	500K	20	20K
IPTV	Minimize	1.5M	50	50K

여기서 개별적 전송특성(성능지표인 전송률, 비용, 또는 지연시간)의 정규값은 각 전송특성의 제각각인 실제값들을 모두 0과 100 사이의 상대적인 값(백분율의 최소~최대값 원용)으로 변환한 값으로 정의한다. 이런 변환과정을 정규화라고 한다. 정규값은 식(1)에 의해 구한다.

$$(\max - \min) : 100 = (x - \min) : n \quad (1)$$

정규화가 전송특성에 대해 적용되는 경우 식 (1)에서 max와 min은 각 전송특성별 최대, 최소값이다. 예를 들어, 전송특성 가운데 지연시간을 고려하면 Table 1(a)와 (b)에서 보듯이 max는 메일응용이 허용하는 최대 지연시간 500ms이고 min은 VHF 캐리어가 제공하는 최대 지연시간 0.1ms이다. 이 두 값의 정규값이 100과 0로 된다. x는 정규값(n)을 구하고자하는 특정 전송특성의 실제값이다. 예를 들어, LTE가 제공하는 최대 지연시간(x) 10ms의 정규값(n)은 1.80이 되는 것이다. 이런 방식으로 구한 캐리어가 제공하거나 응용이 요구하는 전송특성의 정규값을 Table 2(a)와 (b)에 각각 정리하였다(Son, 2013).

Table 2 Normalized transmission characteristics
(a) Carriers' normalized characteristics

	wLAN	HSDPA	LTE	WiMAX	WiBro	VHF
Tx. Rate	77.14	20.57	85.71	100.00	52.86	0.141
Fare	20.00	45.00	50.00	40.00	30.00	0.00
Delay	4.21	13.83	1.80	4.81	1.80	0.00

(b) Applications' normalized characteristics

	Safety	Mail	WWW	VoIP	IPTV
Tx. Rate	0.00	0.21	1.43	0.71	2.14
Fare	100.00	25.00	30.00	20.00	50.00
Delay	1.80	100.00	79.96	3.81	9.82

이렇게 정규화하는 이유는 각 전송특성의 실제 값들은 그 값의 스펙트럼이 서로 완전히 달라 종합적으로 캐리어 전송특성의 응용에 대한 최적성을 판단하기 위해 이 값들을 단순 산술식에 의해 계산된 단일 수치로 유도하기 어렵기 때문이다.

NTCR(Son, 2011b)와 MCS-NTC(Son, 2013)에서와 같이 캐리어와 응용의 전송특성(성능지표인 전송률, 비용, 지연시간)의 정규값(정규화된 값)을 구하고 이들을 기준으로 최적경로를 탐색한다. 이 논문에서 제안하는 MCS-NLTC 방식에서는 기존 방식과 달리 추가적으로 각 노드와 목적노드까지의 거리도 정규화한다. 이유는 경로상의 각 노드들의 목적지 노드까지의 직선거리의 합도 함께 고려하여 경로의 최적성을 탐색하기 때문이다.

출발노드에서 목적노드까지의 거리를 최대값(max), 목적노드에서 자신까지 거리(=0)를 최소값(min)으로 하고 각각 정규값 100과 0으로 한다. 그 외 노드에서 목적노드까지 거리의 정규값(정규거리)은 식 (1)에 의해 구한다.

MCS-NLTC에서는 최적경로를 탐색할 때 특정 노드에서 각 캐리어의 전송범위 내에 있는 이웃노드들 가운데 목적노드와의 정규거리가 최소인 노드를 찾는다. 이는 이웃노드들 가운데 목적노드와 직선거리로 가장 가까운 노드가 다음 홉의 노드로 선택되는 효과를 낸다. 이를 통해 목적노드로 향하는 최단경로탐색의 수렴성이 우수하여 경로배정 수행시간이 크게 단축되는 효과도 부수적으로 얻는다. 이 점이 단순하게 전송특성의 정규값으로만 경로를 탐색하는 MCS-NTC와 차별되는 주요한 특성이다.

따라서 이 논문에서 제안하는 MCS-NLTC 방식에서는 캐리어와 응용의 각 전송특성별 절대값과 거리 값들을 모두 특정수치(100)에 대한 상대값인 정규값으로 변환한 후 이를 간단하게 연산하여 경로와 캐리어의 최적성을 판단하는 것이다. 단, 위성(Inmarsat과 VSAT)의 경우 실제 상황에서 다른 캐리어에 대한 경로탐색이 모두 실패했을 때 적용되는 캐리어이기 때문에 경로배정과정에서는 제외한다.

4. MCS-NLTC 경로배정방식

다중캐리어로 중첩된 자율망 기반 해상통신망 $N=(V,E)$ 에서 노드(V)가 선박과 항구이고, 에지(E)는 노드간 무선링크이다. 각 노드의 상대적인 지리적 위치에 따른 노드간 거리가 특정 캐리어의 전송범위 이내이면 해당 캐리어로 그 노드간에 무선링크가 형성된다(Son, 2011a).

기본적으로 경로상의 노드 v 에서 목적(d)노드까지 정규거리(NL_i)의 합(식 (2))이 최소인 최단경로를 탐색한다.

$$L_v = \left(\sum_{i=1}^h NL_i \right) \quad (2)$$

여기서 h 는 출발(s)노드에서 노드 v 까지 홉 수이다. 여기에 다 응용의 요구 전송특성에 대한 캐리어의 적합도(Goodness(G))를 L_v 의 가중치로 고려한다. 그러면 결과적으로 거리와 적합도를 복합적으로 고려한 최적경로를 선택하는 효과를 얻게 된다.

G 의 산출을 위해 우선 응용과 각 캐리어 i 의 전송특성 정규값의 차 (B_i, C_i, D_i)를 식 (3), (4), (5)와 같이 구한다.

$$B_i = k \cdot |NB_i - NBA|, \text{ where } \begin{cases} k=1, & \text{if}(NB_i \geq NBA) \\ k=w(>1), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$C_i = k \cdot |NC_i - NC_i|, \text{ where } \begin{cases} k=1, & \text{if}(NC_i \geq NC_i) \\ k=w(>1), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$D_i = k \cdot |ND_A - ND_i|, \text{ where } \begin{cases} k=1, & \text{if}(ND_A \geq ND_i) \\ k=w(>1), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

식 (3)에서 B_i 는 응용 A 가 요구하는 대역폭 정규값 NBA 과 캐리어 i 가 제공하는 대역폭 정규값 NB_i 의 차에 대한 절대값이다. 식 (4)와 식 (5)는 각각 요금과 지연시간의 차에 대한 절대값을 구하는 식이다. 여기서 구한 B_i, C_i, D_i 들은 작으면 작을수록 응용에서 요청하는 값에 근사한 값을 캐리어에서 제공하는 것이고, 그럴수록 캐리어의 응용에 대한 적합도가 좋다는 뜻이다.

차이값을 구할 때 가중치 k (1 또는 $w(>1)$)가 적용된다. 캐리어가 응용이 요구하는 전송특성을 만족하는 경우에는 $k=1$ 이 되고, 그렇지 않으면 수용불가능한 의미로 $k=w(>1)$ 를 가중치로 곱한다. 이것으로 수용불가능한 캐리어를 완전히 배제하는 대신에 부분적으로 필요에 따라서는 채택할 가능성을 열어 두고 그 가능성의 정도를 이 가중치를 통해 조절이 가능하게 한다.

$$G_i = B_i + C_i + D_i \quad (6)$$

식 (6)이 각 캐리어 i 의 적합도(G)이다. 이 값은 작을수록 캐리어의 응용에 대한 적합도가 좋음을 의미한다. MCS-NLTC 경로배정방식은 다음과 같다.

① s 로부터 경로는 있으나 방문하지 않은 노드들 가운데 s 에서 노드까지 링크들의 평균 적합도와 정규거리 합을 곱한 값이 최소(식 (8))인 노드 u 를 찾음. $u=d$ 이면 성공적으로 종료함. h 는 $s \dots u$ 경로의 홉 수임.

$$\min \left\{ \left[\left(\sum_{i=1}^h G_i \right) / h \right] \cdot \left(\sum_{i=1}^h NL_i \right) \right\} \text{ among unvisited nodes} \quad (7)$$

② 노드 u 의 모든 이웃노드 v 가운데

$$\left[\left(\sum_{i=1}^h G_i + G_{uv} \right) / (h+1) \right] \cdot \left(\sum_{i=1}^{h+1} NL_i \right) \quad (8)$$

다중매체로 이루어진 해상 자율망에서 이중 매체 선택이 가능하고 정규화된 위치와 전송특성에 의한 라우팅

$$\left[\left(\sum_{i=1}^m G_i \right) / m \right] \cdot \left(\sum_{i=1}^m NL_i \right) \quad (9)$$

(식 (8) < 식 (9))이면 s에서 v로 가는 경로를 s...-u-v로 갱신함. 또는 (식 (8) == 식 (9))이면서 s...-u-v경로의 홉 수(h+1)가 기존 s...-v경로의 홉 수(m)보다 적으면 s에서 v로 가는 경로를 s...-u-v로 갱신함.

G_{uv} 는 노드 u와 v를 잇는 링크의 적합도임.

③ Step ①로 돌아감.

5. 성능평가

5.1 평가환경

MCS-NLTC는 OMH-MW와 MCS-NTC에 대한 성능을 비교하기 위해 모두 Table 3과 같은 동일한 환경에서 시뮬레이션되었다.

시뮬레이터는 MS VS2005에서 C로 구현하였다. 모두 102 척의 선박노드들은 200Km X 200Km 바다 내 임의 위치에 놓고 실험하였다. 최종실험결과는 10,000 종류의 서로 다른 자율망(graph)을 생성하여 실험한 결과들의 평균치이다.

성능기준은 각 응용에 대해 최적경로 R의 평균 BR, CR, DR, HR과 평균 실행시간(TR)(단위 ms)이다. BR, CR, DR는 최적경로 R의 캐리어에 대해 식 (3), (4), (5)으로 각각 구한 값들(10,000회 실험결과)의 평균값이다. 전송률, 비용, 지연시간 측면에서 각 응용이 요구하는 값에 얼마나 최적경로가 적합한지를 표현한 것으로 작을수록 더욱 최적함을 나타낸다. HR는 최적경로 R의 홉 수이다. 여기에 최적경로에 이용된 캐리어의 수와 실행시간도 비교한다.

Table 3 Experimental Environment for Simulation(Son, 2011a)

Variables	Values
Network size	200Km x 200Km
Number of nodes	102 (100 except s and d)
Carriers	wLAN(IEEE 802.11) WCDMA(HSDPA) WiBro(IEEE 802.16e) WiMAX MMR(IEEE 802.16j) LTE(Long Term Evolution) Abstract VHF (digital VHF)
Applications	Safety and Distress e-Mail or FTP World Wide Web Voice over IP IP Television
Number of tests	10,000

식 (3) ~ 식 (5)를 계산할 때 적용되는, 캐리어가 응용이 요구하는 전송특성을 만족시키지 못하는 정도를 표현하는 가중치 w 개념을 도입하여 그 값을 1.3, 2.0, 1000.0으로 각각 달리하면서 결과를 도출하였다. 1.3와 2.0은 수용불가능 캐리어에 대

해 가해지는 불이익(채택을 어렵게 하는 효과)을 키워 수용불가능 캐리어가 최적 캐리어로 선택되는 것을 더 어렵게 하는 상황을, 1000.0은 수용불가능 캐리어가 거의 채택되지 않도록 하여 응용의 요구를 만족시키는 캐리어만으로 된 최적경로가 채택되는 상황을 모사한 것이다(Son, 2013).

5.2 성능분석

가중치 w=1.3일 때(Table 4) 최다승 방식인 OMH-MW와 비교하면 비용과 지연시간 측면을 제외한 모든 성능지표에서 개선이 있었다. 특히 대역폭을 보면 크게는 메일응용에서 97%, 웹 응용에서 94%, 그리고 안전과 IPTV 응용에서 약 92%나 적합도를 높여 대역폭을 훨씬 더 효과적으로 활용했음을 보였다. 그리고 최적경로에서 사용한 캐리어의 수도 약 절반 정도를 줄여 핸드오버에 대한 부담이 감소되었다. 전송특성 정규값만을 따지는 MCS-NTC와 비교해도 대역폭과 비용 측면에서 미미하나마 성능개선이 있었다.

경로배정을 위해 필요한 시간(실행시간)에서는 앞서 설명한 경로상 각 노드의 목적노드까지 거리(정규값)의 합과 전송특성의 정규값에 의한 단순한 연산으로 최단경로를 탐색하기 때문에 목적노드로 향하는 수렴이 빨라졌음을 직접 확인할 수 있었다. OMH-MW에 비해서는 전 응용에서 약 92%의 시간을 단축했고, MCS-NTC와 비교해서도 작게는 6%(메일), 크게는 31%(안전)까지 더 단축했음을 확인하였다. 그러나 OMH-MW의 (IPTV과 웹 응용) 비용과 비교하면 89%와 50% 정도 더 소요되었다.

Table 4 Performance Comparison (w = 1.3)

Weight w=1.3	Applications	SAFETY	MAIL	WWW	VoIP	IPTV
Bandwidth(B_R)	MCS-NLTC(A)	1,041.93	992.75	2,103.37	1,321.08	2,702.48
	A/B(%)	97.55%	99.31%	100.61%	99.49%	102.02%
	MCS-NTC(B)	1,068.12	999.64	2,090.67	1,327.80	2,648.96
	A/C(%)	8.71%	2.79%	5.22%	53.40%	7.12%
	OMH-MW(C)	11,968.91	35,644.25	40,261.49	2,473.80	37,933.40
Cost(C_R)	MCS-NLTC(A)	99,384.34	24,926.30	29,763.07	20,096.23	49,203.72
	A/B(%)	100.02%	100.01%	99.99%	99.96%	99.56%
	MCS-NTC(B)	99,360.34	24,923.74	29,764.99	20,104.86	49,422.88
	A/C(%)	110.10%	114.38%	149.53%	100.92%	189.17%
	OMH-MW(C)	90,266.96	21,792.21	19,905.06	19,912.19	26,009.78
Delay(D_R)	MCS-NLTC(A)	9.10	498.69	398.66	18.86	48.61
	A/B(%)	99.78%	100.00%	100.01%	100.00%	99.77%
	MCS-NTC(B)	9.12	498.68	398.63	18.86	48.72
	A/C(%)	123.31%	102.46%	103.65%	101.51%	131.13%
	OMH-MW(C)	7.38	486.70	384.61	18.58	37.07
Hops(H_R)	MCS-NLTC(A)	7.84	7.84	7.83	7.83	7.87
	A/B(%)	100.13%	100.00%	100.00%	100.13%	100.51%
	MCS-NTC(B)	7.83	7.84	7.83	7.82	7.83
	A/C(%)	97.63%	95.15%	91.58%	100.00%	93.25%
	OMH-MW(C)	8.03	8.24	8.55	7.83	8.44
Carriers(C_R)	MCS-NLTC(A)	1.07	1.06	1.06	1.06	1.11
	A/B(%)	99.07%	100.95%	100.00%	100.00%	103.74%
	MCS-NTC(B)	1.08	1.05	1.06	1.06	1.07
	A/C(%)	55.73%	47.96%	47.75%	84.13%	40.96%
	OMH-MW(C)	1.92	2.21	2.22	1.26	2.71
SearchTime(T_R)	MCS-NLTC(A)	0.100	0.111	0.096	0.088	0.095
	A/B(%)	68.49%	93.28%	83.48%	74.58%	87.16%
	MCS-NTC(B)	0.146	0.119	0.115	0.118	0.109
	A/C(%)	7.52%	7.82%	7.45%	5.73%	7.96%
	OMH-MW(C)	1.329	1.419	1.288	1.536	1.194

가중치를 높여 응용이 요구하는 전송특성을 만족하지 못하는 캐리어가 선택되는 것이 더 어렵게 되는 상황에서 실험결과를

분석한다. Table 5의 가중치 w 가 2.0일 때 대역폭 측면에서 OMH-MW와 비교하면 메일과 VoIP응용에서 41%와 81%로 앞선 경우에 비해 약간의 개선폭이 줄었으나 여전히 큰 폭의 개선이 있음을 보여준다. 대신에 비용 측면에서 앞선 경우에 비해 전 응용에 걸쳐 다소 개선되었다. VoIP 응용에서는 미미하게나마(2%) OMH-MW보다 더 나은 성능을 나타내었다. 이러한 경향은 가중치 w 가 1000.0일 때를 함께 비교하면 더욱 분명해진다.

실행시간 측면에서는 비교 두 방식에 대해 모두 더욱 시간을 단축하는 것을 알 수 있다. OMH-MW에 비해 95%(메일, VoIP) 만큼 획기적으로 줄이고, MCS-NTC에 비교해도 40%(메일, VoIP) 만큼 크게 시간이 단축되었다.

Table 5 Performance Comparison ($w = 2.0$)

Weight $w=2.0$	Applications	SAFETY	MAIL	WWW	VoIP	IPTV
Bandwidth(B_R)	MCS-NLTC(A)	1,013.42	891.33	2,606.41	1,647.74	3,631.29
	A/B(%)	97.50%	99.93%	100.61%	99.07%	101.25%
	MCS-NTC(B)	1,039.45	891.92	2,590.59	1,663.15	3,586.40
	A/C(%)	8.87%	41.04%	7.12%	81.46%	9.41%
	OMH-MW(C)	11,419.69	2,172.02	36,619.03	2,022.71	38,595.02
Cost(C_R)	MCS-NLTC(A)	99,397.95	25,055.29	29,876.16	20,246.53	49,230.14
	A/B(%)	100.03%	100.00%	99.98%	99.97%	99.59%
	MCS-NTC(B)	99,369.12	25,054.40	29,881.86	20,252.78	49,433.71
	A/C(%)	109.57%	101.39%	123.54%	99.80%	187.29%
	OMH-MW(C)	90,716.19	24,710.93	24,183.50	20,286.11	26,285.08
Delay(D_R)	MCS-NLTC(A)	9.22	498.73	398.72	18.89	48.70
	A/B(%)	99.57%	100.00%	100.00%	100.00%	99.92%
	MCS-NTC(B)	9.26	498.73	398.72	18.89	48.74
	A/C(%)	122.28%	100.07%	103.20%	100.43%	130.77%
	OMH-MW(C)	7.54	498.38	386.34	18.81	37.24
Hops(H_R)	MCS-NLTC(A)	7.83	7.83	7.83	7.83	7.86
	A/B(%)	100.13%	100.00%	100.13%	100.13%	100.51%
	MCS-NTC(B)	7.82	7.83	7.82	7.82	7.82
	A/C(%)	98.24%	100.00%	94.22%	99.87%	95.62%
	OMH-MW(C)	7.97	7.83	8.31	7.84	8.22
Carriers(C_R)	MCS-NLTC(A)	1.07	1.05	1.05	1.05	1.11
	A/B(%)	99.07%	100.96%	100.00%	100.00%	103.74%
	MCS-NTC(B)	1.08	1.04	1.05	1.05	1.07
	A/C(%)	56.32%	83.33%	47.09%	94.59%	42.53%
	OMH-MW(C)	1.90	1.26	2.23	1.11	2.61
SearchTime(T_R)	MCS-NLTC(A)	0.097	0.077	0.112	0.073	0.098
	A/B(%)	85.09%	58.33%	78.32%	59.84%	76.56%
	MCS-NTC(B)	0.114	0.132	0.143	0.122	0.128
	A/C(%)	7.56%	4.79%	8.61%	4.86%	7.66%
	OMH-MW(C)	1.283	1.606	1.301	1.502	1.280

Table 6을 보면 w 가 1000.0일 때 대역폭 개선의 폭이 줄어들었다. 특히 웹 응용에서는 OMH-MW에 비해서는 2배의 대역폭이 활용되었음을 보였다. 그러나 대역폭 측면에서의 개선이 점차 둔해지는 반면에 비용 측면에서의 성능개선이 두드러지는 경향을 보인다. 특히 웹과 VoIP 응용에서는 약 98%와 94% 만큼이나 비용을 절감하였다. 따라서 응용의 요구를 만족시키지 못하는 캐리어(예를 들어, 대역폭이 응용 요구치보다 작은 캐리어)의 경로를 배제할수록 대역폭 개선은 줄어들지만 대신에 드는 비용은 적어짐을 알 수 있다. 이러한 경향은 MCS-NTC와 비교에서도 유사하다.

실행시간은 여전히 앞선 두 경우와 마찬가지로 큰 폭으로 단축된 결과를 보였다. OMH-MW와 비교하면 크게는 95%(메일)에서 작게는 91%(IPTV)만큼 시간을 줄여 경로배정의 응답성을 크게 높였다. MCS-NTC와 비교해도 크게는

37%(VoIP)에서 작게는 9%(안전)만큼 줄어들었음을 확인할 수 있다.

종합적으로 이 논문에서 제안한 홉 단위로 최적노드와 캐리어를 선택하는 것이 가능하고 거리와 전송특성의 정규값으로 최적경로를 탐색하는 MCS-NLTC 방식이 대역폭과 실행시간 측면에서 모든 응용에 걸쳐 획기적인 성능개선이 있었다. 특히 정규거리를 기본적으로 최적경로 판단의 기준으로 삼기 때문에 경로탐색의 수렴성이 개선되어 경로배정의 응답이 크게 빨라졌다.

Table 6 Performance Comparison ($w = 1000$)

Weight $w=1000$	Applications	SAFETY	MAIL	WWW	VoIP	IPTV
Bandwidth(B_R)	MCS-NLTC(A)	947.26	50,222.71	700,553.50	396,105.47	119,430.39
	A/B(%)	102.48%	99.98%	84.97%	100.03%	94.02%
	MCS-NTC(B)	924.37	50,231.89	824,437.94	395,995.13	127,021.34
	A/C(%)	8.38%	100.58%	209.73%	116.70%	101.69%
	OMH-MW(C)	11,304.75	49,931.37	334,029.19	339,426.81	117,448.42
Cost(C_R)	MCS-NLTC(A)	99,399.02	208,163.20	120,592.05	246,987.72	8,595.96
	A/B(%)	99.98%	96.43%	83.94%	97.15%	96.82%
	MCS-NTC(B)	99,422.95	215,878.97	143,664.61	254,242.73	8,877.92
	A/C(%)	109.46%	52.57%	1.84%	6.12%	99.98%
	OMH-MW(C)	90,804.65	395,986.47	6,544,748.00	4,033,563.00	8,597.75
Delay(D_R)	MCS-NLTC(A)	106.98	498.71	396.78	72.11	32.04
	A/B(%)	96.31%	100.00%	99.68%	98.12%	102.33%
	MCS-NTC(B)	111.08	498.70	398.04	73.49	31.31
	A/C(%)	81.20%	100.07%	103.54%	82.91%	102.73%
	OMH-MW(C)	131.75	498.36	383.21	86.97	31.19
Hops(H_R)	MCS-NLTC(A)	7.85	7.86	10.01	7.85	11.30
	A/B(%)	100.13%	100.26%	122.67%	100.13%	106.91%
	MCS-NTC(B)	7.84	7.84	8.16	7.84	10.57
	A/C(%)	98.74%	100.13%	109.52%	94.35%	90.26%
	OMH-MW(C)	7.95	7.85	9.14	8.32	12.52
Carriers(C_R)	MCS-NLTC(A)	1.07	1.05	1.86	1.05	2.73
	A/B(%)	100.00%	100.00%	132.86%	100.00%	107.48%
	MCS-NTC(B)	1.07	1.05	1.40	1.05	2.54
	A/C(%)	56.61%	83.33%	82.30%	52.50%	113.75%
	OMH-MW(C)	1.89	1.26	2.26	2.00	2.40
SearchTime(T_R)	MCS-NLTC(A)	0.088	0.088	0.104	0.080	0.102
	A/B(%)	90.72%	83.02%	74.29%	63.49%	86.44%
	MCS-NTC(B)	0.097	0.106	0.140	0.126	0.118
	A/C(%)	6.73%	5.73%	8.13%	6.15%	8.75%
	OMH-MW(C)	1.308	1.537	1.279	1.301	1.166

6. 결 론

기존 해상 캐리어와 육상의 광대역 무선 캐리어를 포함하는 해상자율망(MANET) 모델에서 홉 단위로 최적노드와 캐리어를 선택하여 최적의 전송경로를 탐색하는 방식으로 MCS-NLTC 경로배정방식을 제안하였다. 이 방식은 기본적으로 위치기반(location-based) 알고리즘이다. 거기에 캐리어가 응용의 전송특성에 얼마나 적합한가를 함께 고려하여 최선의 경로를 선택하는 점과 홉 단위로 개별적인 최적 캐리어를 선택하는 점이 기존의 방식들과 다른 점이다. 각 노드의 목적노드까지 거리, 그리고 응용과 캐리어의 전송특성을 정규화하고, 그것들의 단순연산으로 경로를 찾기 때문에 목적노드로 향하는 최단경로탐색의 수렴성이 개선되어 기존의 OMH-MW는 물론이고 MCS-NTC에 비해서도 실행시간이 크게 단축되었고 대역폭 측면에서도 성능이 개선되었음을 확인할 수 있다.

References

- [1] Lee, Y. D., Lee, H. J., Kwon, T. K., Choi, Y. H., Son, J. Y.(2006), "VBV: Course-based vertex-by-vertex routing protocol for MANET at sea," Proceedings of 2006 Summer Conference of Korea Information and Communication Society, pp. 283-283.
- [2] Son, J. Y., Mun, S. M.,(2008) "A hybrid course-based routing protocol suitable for vessel ad hoc networks," Journal of Korean Society of Marine Engineering, Vol. 32 No. 5, pp. 775-784.
- [3] Son, J. Y., Mun, S. M.,(2010) "Max-win based routing (MWR) protocol for maritime communication networks with multiple wireless media," Journal of Korean Society of Marine Engineering, Vol. 34, No. 8, pp. 1159-1164.
- [4] Son, J. Y.(2011a), "A routing protocol of optimal medium per hop based on a max-win method (OMH-MW) for overlapped maritime data networks with multiple media," Journal of Korean Society of Marine Engineering, Vol. 35, No. 5, pp. 667-674.
- [5] Son, J. Y.(2011b), "A routing scheme by normalized transmission characteristics (NTCR) for multi-carrier MANETs at sea," Journal of Korean Society of Marine Engineering, Vol. 35, No. 8, pp. 1092-1097.
- [6] Son, J. Y.(2013), "A multi carrier selectable routing scheme by normalized transmission characteristics (MCS-NTC) at marine multi-carrier MANETs," Journal of Korean Society of Marine Engineering, Vol. 37, No. 2, pp. 199-204.
- [7] Abolhasan, M., Wysocki, T., Dutkiewicz, T.(2004), "A review of routing protocols for mobile ad hoc networks," Ad Hoc Networks Vol. 2, pp.1-22.

원고접수일 : 2014년 4월 21일

심사완료일 : 2014년 7월 7일

원고채택일 : 2014년 7월 8일