

## 전술 MANET에서 그룹 단위 분산된 동적 주소 할당 기법

박문영<sup>1)</sup> · 이종관<sup>1)</sup> · 백호기<sup>2)</sup> · 김두환<sup>1)</sup> · 임재성<sup>\*,1)</sup>

<sup>1)</sup>아주대학교 일반대학원 NCW 공학과

<sup>2)</sup>아주대학교 장위국방연구소

### A Distributed Dynamic Address Assignment for Tactical Mobile Ad-hoc Networks

Mun-young Park<sup>1)</sup> · Jong-Kwan Lee<sup>1)</sup> · Ho-Ki Baek<sup>2)</sup> · Du-Hwan Kim<sup>1)</sup> · Jae-Sung Lim<sup>\*,1)</sup>

<sup>1)</sup>Department of NCW Engineering, Graduate School, Ajou University, Korea

<sup>2)</sup>Jangwee Research Institute for National Defense, Ajou University, Korea

(Received 2 January 2014 / Revised 4 April 2014 / Accepted 25 April 2014)

#### ABSTRACT

In this paper, we propose a group distributed dynamic address assignment scheme suitable for tactical mobile ad hoc networks(MANET). Efficient address assignment is an important issue in the MANET because a node may frequently leave the current network and join another network owing to the mobility of the node. The conventional schemes do not consider the features of the tactical networks: existence of a leader node and network activity on a group basis. Thus, they may not be suitable for military operations. In our proposed scheme, called grouped units dynamic address assignment protocol(G-DAAP), a leader node maintains the address information for the members in the network and any of the nodes can exploit the information for the assignment or request of the IP address by a simple message exchange procedure. This leads to fast address assignment with small overheads. In addition, G-DAAP based on the modified IEEE 802.11e Enhanced Distributed Channel Access(EDCA) can assign addresses more quickly. We describe the delay performance of the G-DAAP and compare it with conventional schemes by numerical analysis and computer simulations. The results show that the G-DAAP significantly improves the delay performance as compared with the conventional schemes.

Key Words : Address Assignment, Distributed Allocation, MANET, Autoconfiguration

#### 1. 서론

네트워크 안에 있는 각 노드들은 통신을 하기 위해서 노드 자신만의 유일한 주소 즉 식별자가 필요하다. 최근 상용 도메인뿐만 아니라 군 도메인까지 모든 네트워크가 All-IP 환경으로 발전하는 추세이기 때문에

\* Corresponding author, E-mail: jaslim@ajou.ac.kr

Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

IP 주소는 식별자로서 대부분 사용된다. IP 주소는 주소 부족 및 노드의 이동성 문제로 인하여 특정 장비나 어플리케이션에 영구적으로 할당되진 않을 것이다. 또한 애드-혹 네트워크는 노드의 이동성 때문에 노드가 빈번하게 현재 네트워크를 떠나서 다른 네트워크에 접속한다. 그러므로 효율적인 IP 주소 할당은 애드-혹 네트워크 안에서 중요한 문제이다. 이 문제는 노드들이 새로운 네트워크에 접속하기 위해서 새로운 식별자가 요구된다는 것을 의미한다.

전투무선망(CNR : Combat Network Radio)은 반이중 회로를 제공하고 단일 채널 또는 개별적인 주파수를 사용하는 네트워크 내에 무선 조작이다. 기동 부대에서 CNR은 육군, 해군, 공군간의 지휘통제, 전투지원, 그리고 전투근무지원 작전을 위한 주요 통신수단이다. CNR을 사용하는 네트워크를 보면, 네트워크 요소로부터 전술 데이터를 수집하고 상급 부대와 통신을 유지하기 위해 일반적으로 리더 노드가 있다. 또한, 대대급(Battalion) 이하 작전은 다중 CNR이 그룹 기반으로 수행된다. 그러므로 만약 그룹이 새로운 지역으로 이동하여 새로운 네트워크에 가입하기를 원한다면, 그룹 내 모든 CNR들은 동시에 IP 주소를 요구하게 된다.

Mobile Ad hoc Network(MANET)의 주소할당 방식은 Stateful, Stateless, 그리고 Hybrid 크게 세 가지 방식으로 분류할 수 있다<sup>[1,2]</sup>. Stateful 방식은 이미 할당된 주소에 대한 상태 정보를 유지하고 새로 합류하는 노드에게 고유한 주소를 할당하는 중앙 엔티티를 사용한다<sup>[3~7]</sup>. 이 방식은 모든 노드가 중앙 엔티티에 연결할 수 있다고 가정되어야 한다. 이와 대조적으로 Stateless 방식은 노드가 스스로 주소를 만들어서 중복 주소 검사(DAD : Duplicate Address Detection)를 통해 주소의 유일함을 검증한다<sup>[10~12]</sup>. 이 방식은 중앙 엔티티를 필요로 하진 않지만 DAD 과정으로 인하여 높은 오버헤드가 발생된다. Hybrid 방식은 신뢰성을 개선하기 위해 Stateful 방식과 Stateless 방식을 결합하는 방식으로 매우 복잡한 단점이 있다<sup>[13,14]</sup>.

MANET에서 효율적인 주소할당에 대한 많은 기법들이 제안되었다. 하지만 기존 기법들은 리더 노드의 존재 및 그룹 단위로 IP 주소 요청 및 할당과 같은 군 작전의 기능과 요구사항을 고려하지 않았다. 비록 그룹 단위로 IP 주소 할당 방법에 대한 연구는 없었지만, 이와 유사한 몇 가지 기법은 있다. D-DAAP<sup>[8]</sup> 및 T-DAAP<sup>[9]</sup>은 제안하는 기법과 유사한 네트워크 병합에 대한 구체적인 메커니즘을 다룬다. 양 기법은

Stateful 방식을 기반으로 리더를 통한 효율적인 네트워크 병합 과정을 제안하였다. D-DAAP는 두 네트워크 간에 구체적인 메시지 교환절차를 통하여 네트워크 병합에 대한 해결방안을 제안하였고, 이후에 T-DAAP는 네트워크의 계층적 구조를 통해 D-DAAP를 보강하였다. 하지만, 양 기법은 주소 조각 모음(Reclamation) 과정에 의한 많은 메시지 교환으로 높은 오버헤드가 발생된다.

따라서 D-DAAP와 T-DAAP를 기초로 전술 MANET 환경에 적합한 그룹 단위 동적 주소할당 기법(G-DAAP : Grouped units Dynamic Address Assignment Protocol)을 제안한다. 제안하는 기법에서는 리더노드가 주소 정보를 유지하고 노드들은 간단한 메시지 교환 절차를 통해 IP 주소의 요청 및 할당에 대한 정보를 이용할 수 있다. 또한, 제안하는 기법은 Quality of Service(QoS) 지원이 보장되는 IEEE 802.11e EDCA+NJ를 기반으로 성능을 बे가시킨다. 여기서 IEEE 802.11e EDCA+NJ는 기존 EDCA MAC 프로토콜의 사용자 우선순위에 대한 AC매핑 테이블과 MAC 프레임 제어 필드에 Network Join(NJ)를 추가하여 그룹 단위 이동 단말들에게 더욱 신속하게 주소를 할당한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제안하는 기법은 2장에서 자세히 설명하고, 제안하는 기법의 성능은 3장에서 평가된다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

## 2. 그룹 단위 동적 주소 할당 기법

이 절에서는 전술 MANET 환경에 적합한 시스템 모델과 제안하는 IP 주소 할당 절차를 설명한다.

### 2.1 시스템 모델

제안하는 기법은 전술 MANET 환경을 고려하여 Fig. 1과 같이 계층적 구조를 가지는 지상군 대대급 토폴로지를 고려한다. 이 네트워크 안에는 헤더 노드(HN : Header Node), 리더 노드(LN : Leader Node), 그리고 일반 노드(CN : Common Node)로 세 가지 형태의 노드가 있다.

먼저 HN는 네트워크당 유일하게 존재하는 노드이다. HN은 기본적으로 새롭게 접속하는 CN에게 IP를 할당하고, LN에게는 IP 주소 풀(Pool)을 나누어 준다. 또한 주기적으로 LN과 정보를 공유하여 네트워크 내에 모든 IP 풀 정보를 갱신(Update)한다. 때때로 HN은 자신

의 네트워크 내로 주소 조각 모음(Reclamation) 과정을 실행하여 유휴 IP 주소를 수집한다. 만약 HN의 기능을 상실했을 경우 후임 HN 선출과정을 통해 인프라망과 단절되는 치명적인 문제점을 예방한다(리더선출과정에 관하여 기존에 많은 알고리즘 연구가 되어 있다<sup>[15]</sup>).

LN는 HN 또는 타 LN으로부터 IP 주소 풀을 받아서 네트워크에 접속하는 CN에게 IP를 할당하고, 이탈하는 CN에게 IP 주소를 회수한다. LN은 주기적으로 자신의 IP 주소 풀 정보를 HN에게 보고하며, 필요시 책임 범위 내에 주소 조각모음(Reclamation) 과정을 실행하여 유휴 IP 주소를 수집한 후에 HN에게 보고한다.

CN는 단지 HN과 LN간의 정보를 전달(Relay) 외에 특별한 기능이 없다.

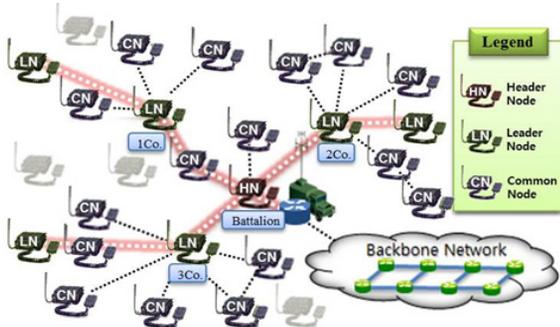


Fig. 1. CNR topology of MANET environment

## 2.2 G-DAAP 절차(Mechanism)

백본 네트워크와 분리되어 독립적인 네트워크로 이동 중인 1개 중대가 타 대대 네트워크로부터 IP 주소를 할당받는 과정은 아래와 같다.

### 2.2.1 Case 1. 에이전트 측 Free IP 주소가 충분할 때

Fig. 2는 제안하는 기법이 IP 주소 할당을 위해 충분한 IP 주소 풀을 보유하고 있을 경우에 대한 절차를 보여 준다. 이동 중인 중대 안에 노드 B가 다른 대대의 네트워크에 가입하기 위하여 그룹 IP 요청(Group IP request), 네트워크 아이디(Network\_id), 노드 수, 그리고 타임 스탬프(Time stamp)를 포함하는 헬로우 메시지를 전송하면, 노드 A는 오버히어링(Overhearing)하고 있는 노드들 중에 가장 먼저 헬로우 메시지를 수신한 노드이다. 노드 A는 자신의 네트워크 아이디와 다른 네트워크 아이디를 포함한 노드 B의 헬로우 메시지를 보고 IP 주소를 할당 과정이 시작됨을 인지한다. 여기

서 서로 링크를 맺고 있는 노드 A와 B 중 IP 주소를 할당하는 노드 B가 에이전트(Agent)가 되고 반대로 IP 주소를 할당받는 노드 A가 코에이전트(Coagent)가 된다. 각 노드(A, B)는 주소 할당 과정이 시작되었음을 알리는 “agent handover message”를 각각 자신의 리더 노드에게 보낸다. 에이전트 노드 A는 자신이 소속한 네트워크의 사용 중인 IP 주소와 사용 가능한 IP 주소를 포함한 정보를 리더 노드로부터 이양 받는다. 마찬가지로 코에이전트 노드 B도 자신의 리더노드로부터 IP 주소 정보를 “Agent Hand-over Message”를 통하여 이양 받는다. 그러므로 노드 A, B 모두 자신의 리더 노드로부터 각각 자신의 네트워크 내 IP 주소 정보를 수집하게 된다. 이후에 노드 A는 자신의 네트워크 내의 IP 주소 정보를 노드 B에게 “Agent Information Forward Message”를 통해 보낸다. 노드 B는 “Conflict IP Detection Process” 과정을 통하여 노드 A로부터 받은 정보와 노드 B 자신의 네트워크 내의 정보를 비교한다. 따라서 노드 B는 중복 IP 주소와 사용 가능한 IP 주소를 식별할 수 있으므로 중복 IP 주소를 사용 가능한 IP 주소로 변경하고, 또한 자신의 네트워크 아이디를 에이전트 네트워크 아이디로 수정한다. 노드 B는 새롭게 변경된 네트워크 아이디, 중복 IP 주소, 새로운 IP 주소를 포함한 “Modified Information Update Message”를 자신의 네트워크와 에이전트 노드 A에게 전달한다. 이 메시지를 수신한 코에이전트 측 네트워크는 주소 정보를 확인하고 자신의 네트워크 아이디 및 IP 주소 정보를 수정한다. 최종적으로 양 네트워크는 하나의 네트워크로 통합 된다. 따라서 이동 중인 중대는 접속하고자 하는 대대로부터 IP 주소를 효율적으로 할당받으므로 빠르게 인프라망에 접속할 수 있다.

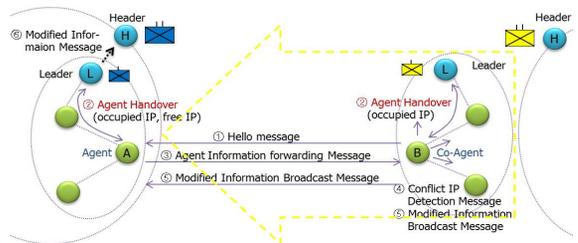


Fig. 2. IP address assignment for a single group

그룹 이동시 토폴로지 형태가 변할 수 있다. 그래서 네트워크 토폴로지가 분산된 형태로 접속을 예상할 수

있다. 이때 타임 스탬프 정보를 포함하는 헬로우 메시지를 통해 가장 먼저 링크를 맺은 노드가 앞선 접속과정을 수행하게 되고, 나머지 접속 노드는 타임 스탬프 순서에 따라 접속과정을 거쳐 네트워크가 병합된다.

2.2.2 Case 2. 에이전트 측 Free IP 주소가 부족할 때

Fig. 3과 같이 노드 A는 이동해 오는 중대의 노드 수 보다 할당 가능한 Free IP 주소의 수가 부족할 수 있다. 이럴 경우 Free IP 주소가 부족한 LN는 링크를 맺고 있는 인접 LN들에게 Free IP 주소 요청 메시지(FIQ : Free IP request message)를 방송(Broadcast)한다. Free IP 주소 요청 메시지를 받은 인접 LN들은 요청한 LN에게 사용 가능한 Free IP 주소 수를 포함하여 응답 메시지(FIR : Free IP response message)를 보낸다. 여러 FIR를 수신한 LN은 이 중에서 가장 IP 주소 풀이 많은 LN을 선택하여 잉여 IP 주소를 얻는다. 만약 인접 LN도 잉여 IP 주소가 부족하다면, 인접 LN는 릴레이(FLM : Free IP relay message) 역할을 통해 HN까지 잉여 IP 주소를 요청하여 할당한다.

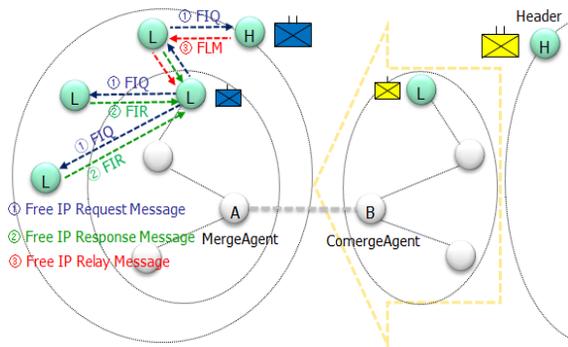


Fig. 3. IP address assignment under a lack of free IP addresses

2.2.3 Case 3. 네트워크 전체 Free IP 주소가 부족할 때

만약 에이전트 측 네트워크 전체에 할당 가능한 Free IP 주소의 수가 IP 주소를 요청하는 코에이전트 측의 노드 수 보다 적을 경우, IP 주소는 지휘관과 같은 우선순위가 높은 노드부터 우선적으로 할당되어야 한다. 그러므로 코에이전트는 주소 할당의 우선순위를 정하기 위해 자신의 네트워크와 에이전트 네트워크의 정보를 비교한다. 노드의 주소할당 우선순위는 헬로우

메시지에 포함된 노드 아이디에 따라 분류될 수 있다. 코에이전트는 에이전트 네트워크 내에 낮은 우선순위를 갖는 노드들의 IP 주소를 회수하여 중복 IP 주소 검출 과정(Conflict IP detection process) 동안 자신의 네트워크 내에 높은 우선순위를 가지는 노드들에게 할당해 준다. 이후에 코에이전트는 “modified information update message”를 통하여 갱신된 IP 주소를 방송한다.

어떤 경우에는 그룹 단위로 자신의 네트워크를 이탈할 수 있다. 이럴 경우 LN은 떠나기 전에 모든 IP 주소를 HN에게 반납하고 떠난다.

2.3 IEEE 802.11e EDCA+NJ 기반의 G-DAAP

Table 1. User priority and AC mapping

우선 순위	사용자 우선순위	802.1D Designation	Access Category(AC)
낮음	1	BK	AC_BK
	2	-	AC_BK
	0	BE	AC_BE
	3	EE	AC_BE
	4	CL	AC_VI
	5	VI	AC_VI
↓	6	VO	AC_VO
	7	NC	AC_VO
높음			

G-DAAP의 절차가 진행되기 위해서 먼저 두 네트워크 간에 MAC 계층에서 빠른 접속이 필요하다. 그룹 단위로 이동하여 작전을 수행하는 전술적 상황에서는 보다 빠른 네트워크 접속이 요구된다. 즉, 작전을 수행하는 그룹에게 네트워크 접속의 우선권이 필요하다. 지금까지 경쟁 기반의 CSMA, 비경쟁 기반의 TDMA, 등 MAC 프로토콜은 다양하게 많은 연구가 진행되어 왔다. 그 중에서 네트워크 접속의 사용자 우선순위를 정의하는 MAC 프로토콜로써 IEEE 802.11e EDCA가 대표적이다. IEEE 802.11e EDCA방식은 Table 1과 같이 8개의 사용자 우선순위를 가진 트래픽에 차별화된 채널접근 방법을 제공한다<sup>[7]</sup>. 우선순위를 포함하는 QoS 데이터 프레임의 전송을 위해 EDCA는 4개의 AC를 정의한다. 응용프로그램에서 서로 다른 사용자 우선순위를 가지고 MAC 계층으로 도착하는 트래픽을

해당 AC로 매핑하고, 각 AC별로 차별화된 전송을 제공한다. 여기서 제안하는 MAC 프레임은 우선순위가 높은 AC\_VO에 매핑되는 Network Control(NC)의 예비 필드에 네트워크 병합의 의미로 Network Join(NJ)을 정의한다.

또한, IEEE 802.11 MAC 프레임은 Fig. 4와 같이 표준화 되어 있다<sup>[17]</sup>. 여기서 MAC 프레임 제어필드 중 예비필드(Reserved)인 '000110'을 네트워크 접속 필드로 추가한다.

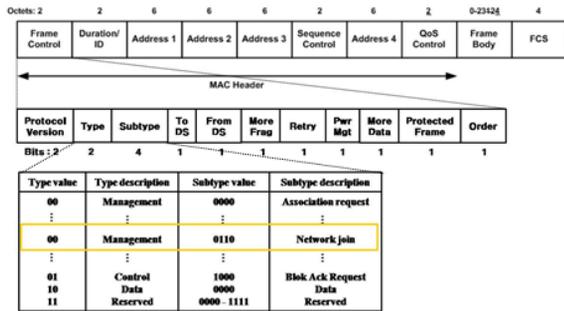


Fig. 4. Control field in IEEE 802.11e MAC frame

IEEE 802.11e EDCA는 AC에 속한 프레임을 전송하기 위한 경쟁에 있어서 DCF가 사용하는 DIFS, CWmin, CWmax 대신에 각각 AIFS[AC], CWmin[AC], CWmax[AC]를 사용한다. AIFS[AC]와 CWmin[AC]의 값이 작을수록 높은 우선순위를 가지며, 이에 따라 채널접근 지연시간이 짧아진다. 하나의 메시지를 전송하는 주기를 DIFS부터 ACK까지로 한다면, 3-way-hand shaking에 따라 두 대표 노드 사이에 접속은 세 주기가 필요하다. 그룹 단위로 이동하는 MANET 환경에서는 노드들이 밀집될 가능성이 많다. 즉, 두 네트워크의 병합을 위해서 대표 노드가 접속을 맺을 때 한 주기에 메시지를 보낸 후 램덤 백-오프 시간에 따라 바로 다음 메시지를 보낼 가능성이 적으므로 다소 지연시간이 발생할 수 있다.

따라서 그룹 주소할당을 위해 두 대표 노드간 접속을 시도할 때 NJ를 확인하면 기존의 3주기 메시지 교환을 한번에 보장할 수 있는 간소화된 MAC 프로토콜을 제안한다. 제안하는 MAC 프로토콜은 Fig. 5(c)과 같이 AIFS와 백-오프 시간을 생략하여 두 노드간 접속을 맺기까지를 한 주기로 한다. 즉, 최초 코에이전트 노드가 램덤 백-오프에 따라 메시지를 보내면 ACK를 받은 후 바로 데이터를 보낸다. 작업시간(Duration

time)이 포함된 데이터를 수신한 주변 노드들은 침묵하므로 충돌을 회피한다. 또한, 표준에 따라서 데이터 크기가 RTS 및 CTS 임계치(Threshold) 보다 작으므로 RTS와 CTS는 활용하지 않는다. 즉, 매우 작은 데이터 크기로 인해 충돌 발생 확률이 극히 희박하고, 만약 히든노드에 의한 충돌 발생 시 재전송을 시도한다. 그러므로 제안하는 IEEE 802.11e EDCA+NJ 프로토콜은 G-DAAP의 접속 지연시간을 단축할 수 있다.

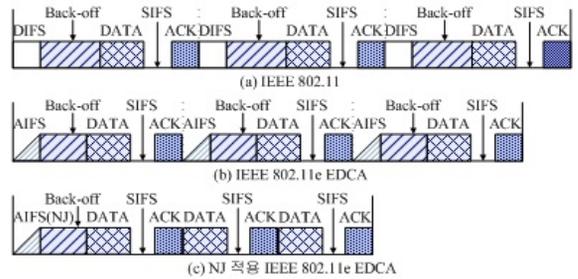


Fig. 5. The proposed MAC channel access procedure

### 3. 성능 평가

실험환경은 1개 지상군 대대에 256개 IP가 운용 가능하고, 대대 예하에 3개 중대로 분산되어 각각 64개의 IP 주소 풀(Pool)이 나뉘어져 있다. 여기서 네트워크 주소와 브로드캐스트 주소를 뺀 주소만 사용 가능하다. 즉, 한 개 중대의 IP 주소는 62개이다. 성능평가는 수식적 분석과 컴퓨터 시뮬레이션(MATLAB)을 통해 검증한다. 먼저 같은 제공로드(Offered load)에서 G-DAAP는 D-DAAP 및 T-DAAP와 주소할당 지연시간을 비교한다. 그리고 G-DAAP을 IEEE 802.11 및 IEEE 802.11e EDCA 그리고 제안하는 MAC 프로토콜인 IEEE 802.11e EDCA+NJ에 각각 적용하여 충돌횟수에 따른 전송 지연시간을 비교한다.

#### 3.1 IP 주소 할당 지연시간(Delay)

네트워크 접속에 대한 시간은 배제하고 순수 메시지 교환절차에 따라 IP 주소를 요청하고 할당받는데 걸리는 지연시간을 분석한다. 각 프로토콜별 메시지 교환 횟수는 Table 3과 같이 요약할 수 있다. 여기서 N은 새롭게 가입하는 그룹 내의 노드 수이고, P는 HN 또는 LN이 보유한 Free IP 주소 수이다.

D-DAAP는 에이전트 및 코에이전트 측 모두 IP 주

소 조각 모음을 실행하는 반면에 T-DAAP는 코에이전트 측에만 실행한다. 그러므로 T-DAAP의 주소 조각 모음의 메시지 교환 수가 D-DAAP의 절반이 된다. G-DAAP는 타 기법에 비해 전송적 MANET에서 불필요한 Reclamation, Merge Response, 그리고 Collected Address를 수행하지 않으므로 IP 주소할당 절차를 간소화 할 수 있다.

Table 2. Number of message exchanges according to protocol type

Table of Message	D-DAAP	T-DAAP	G-DAAP
Hello Message	2	2	2
Merge Detect	-	1	2
Merge Request	1	1	1
Reclamation	2	1	-
Merge Response	2+N+(62-P)	1+N	-
Merge Invalidate	1	-	-
IP Update	1	1	1
SUM	71+N-P	7+N	8

Case 1과 같이 기본적인 IP 주소할당 기법은 다음과 같이 설명된다. G는 이동하는 그룹의 토폴로지 변경에 따른 그룹의 수이고, M는 각 프로토콜별 기본적인 메시지 수이며, T는 전체 메시지 수이다. 만약 에이전트 측 리더 노드의 잉여 IP 주소(Free IP)가 IP 주소를 요청하는 노드의 수 보다 적으나, 잉여 IP 주소(Free IP)를 보유한 LN 또는 HN가 인접해 있다면, Case 2와 같은 방법으로 주소할당을 할 수 있다. 여기서 Case 2에 따른 추가적인 메시지의 수는 2라고 가정한다. 따라서 수식으로 표현하면

$$T = \begin{cases} G \cdot M & N \leq P \\ G \cdot (M+2), & P < N \end{cases} \quad (1)$$

IP 주소 할당과 상관없고 패킷 전송에 따른 IP 주소 할당을 방해하는 백그라운드 노드를 정의한다. 백그라운드 노드는 포아송 과정에 따라 파라미터  $\lambda$  packets/sec로 패킷이 발생한다<sup>[16]</sup>.  $\tau$ 는 종단과 종단간의 지연시간을 의미한다. 송신자가 IP 주소 할당을 위해 메시지를 전송하면, 만약  $\tau$  동안에 백그라운드 노

드로부터 패킷 도달(packet arrival)이 없다면 그 메시지는 성공적으로 수신될 수 있다.  $P_s$ 는 IP 주소 할당을 위한 메시지 전송이 성공적일 확률이다.  $P_s$ 를 얻기 위해서  $\tau$  동안에 백그라운드 노드 k로부터 패킷도착(packet arrival)의 수인  $P(k)$ 를 확률적으로 먼저 구해야 한다.  $P(k)$ 는 아래 수식과 같이 표현될 수 있다.

$$P(k) = \frac{(\lambda \cdot \tau)^k}{k!} \cdot e^{-\lambda \cdot \tau} \quad (2)$$

IP 주소 할당에 대한 메시지는 k가 0일 때 성공적으로 전송될 수 있기 때문에 식 (2)를 통하여  $P_s$ 를 쉽게 구할 수 있다. 그러므로  $P_s$ 는 아래 식 (3)과 같다.

$$P_s = P(0) = e^{-\lambda \cdot \tau} \quad (3)$$

만약 메시지 당 시도횟수를  $N_t$ 라 한다면, 이것은 아래 식 (4) 같이 표현된다.

$$N_t = P_0 \cdot \sum_{k=1}^{\infty} k \cdot (1 - P_0)^{k-1} = \frac{1}{P_0} = e^{\lambda \cdot \tau} \quad (4)$$

시도하는 동안에 대기시간(interval)로써  $t_0$ 는 같은 값으로 가정한다. 그러므로 각 기법에 대한 주소할당 지연시간은 식 (5)~(7)과 같다.

$$D_{D-DAAP} = e^{\lambda \cdot \tau} \cdot (72 + N - P) \cdot t_0 \quad (5)$$

$$D_{T-DAAP} = e^{\lambda \cdot \tau} \cdot (8 + N) \cdot t_0 \quad (6)$$

$$D_{G-DAAP} = e^{\lambda \cdot \tau} \cdot 8 \cdot t_0 \quad (7)$$

Fig. 6은 시간당 평균 패킷의 수인 제공로드( $\lambda \cdot \tau$ )의 함수로부터 각 기법에 대한 지연시간을 나타낸다.

D-DAAP에서 IP 주소 할당을 위해 메시지 교환 수는 잉여 IP 주소(Free IP)의 수 (P)에 따라 달라진다. P가 최대값(P = 62) 일 때, D-DAAP는 최상의 지연 성능을 보여준다. 이것은 에이전트 네트워크 내에 노드가 존재하지 않기 때문에 에이전트 측의 “merge response message”를 생성할 필요가 없음을 의미한다. 반면에, T-DAAP 및 G-DAAP는 P 값과 상관없이 같은 지연 성능을 가진다. D-DAAP와 T-DAAP의 지연시간

은 낮은 제공로드( $\lambda \cdot \tau$ )와 함께 소규모로 시작하지만, 이 기법들의 메시지 오버헤드는 기하학적으로 증가한다. 한편, G-DAAP는 다른 기법과 비교했을 때 작은 메시지 오버헤드로 매우 짧은 지연시간을 가지게 된다. 이것은 G-DAAP와 다른 기법들 사이에 지연 성능의 차이가 제공로드( $\lambda \cdot \tau$ )와 함께 넓어지는 것을 관찰할 수 있다. 따라서 G-DAAP는 무거운 트래픽 환경에서 다른 기법들 보다 더 적합함을 의미한다.

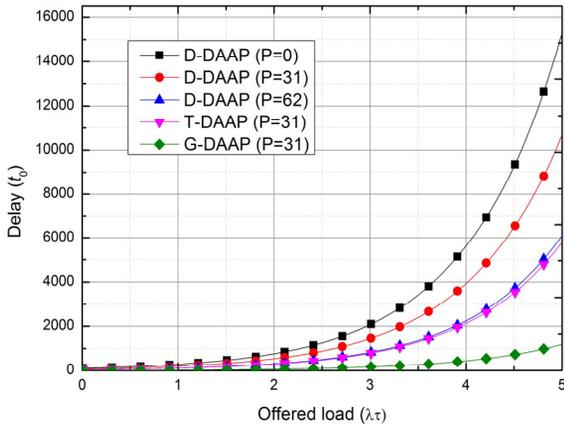


Fig. 6. Delay vs. Offered load ( $G = 1, N = 31$ )

### 3.2 충돌 횟수에 따른 접속 지연시간(Delay)

기존 IEEE 802.11 및 IEEE 802.11e EDCA와 제안하는 MAC 프로토콜인 IEEE 802.11e EDCA+NJ 간에 충돌횟수에 따른 전송 지연시간을 비교한다. 전송속도는 IEEE 802.11을 기준으로 2Mbps로 설정하며, 큐잉시간 및 전송시간은 포함되지 않았다. 성능평가를 위한 파라미터는 표준을 참고하여 Table 3과 같다. 여기서 각 주기 내 충돌 횟수는 동일하다고 가정한다.

Table 3. Parameter for performance evaluation

Parameters	802.11	EDCA	EDCA+NJ
TSlot	20 $\mu$ s	20 $\mu$ s	20 $\mu$ s
TSIFS	10 $\mu$ s	10 $\mu$ s	10 $\mu$ s
TDIFS	50 $\mu$ s	-	-
TAIFS(AC_VO)	-	50 $\mu$ s	50 $\mu$ s
TData	184 $\mu$ s	184 $\mu$ s	184 $\mu$ s
TAck	56 $\mu$ s	56 $\mu$ s	56 $\mu$ s

한편, 백-오프 시간  $T_{Back-off}$ 은 IEEE 802.11 일 때 식 (8)와 같다.

$$T_{Back-off}(k) = \sum_{i=0}^k \frac{1}{2^{ECW_{min+i}}} \cdot \left( \sum_{j=0}^{2^{ECW_{min+i}-1}} j \right) \cdot T_{slot}, (0 \leq k \leq 5) \quad (8)$$

IEEE 802.11e EDCA 및 IEEE 802.11e EDCA+NJ 일 때 식 (9)와 같다.

$$T_{Back-off}(k) = \sum_{i=0}^k \frac{1}{2^{ECW_{min+i}}} \cdot \left( \sum_{j=0}^{(2^{ECW_{min+i}})-1} j \right) \cdot T_{slot}, (0 \leq k \leq 5) \quad (9)$$

따라서 네트워크 접속을 위해서 요청 메시지에 대한 각 MAC의 전송 지연시간은 아래 식 (10)~(12)와 같다. 여기서 델타( $\delta$ )는 충돌횟수를 나타낸다.

$$D_{802.11} = 3 \cdot \left[ \sum_{k=0}^{\delta} (T_{DIFS} + T_{Back-off}(k)) + T_{Data} + T_{SIFS} + T_{Ack} \right] \quad (10)$$

$$D_{EDCA} = 3 \cdot \left[ \sum_{k=0}^{\delta} (T_{AIFS} + T_{Back-off(AC)}(k)) + T_{Data} + T_{SIFS} + T_{Ack} \right] \quad (11)$$

$$D_{EDCA+NJ} = \sum_{k=0}^{\delta} (T_{AIFS} + T_{Back-off(AC)}(k)) + 3(T_{Data} + T_{SIFS} + T_{Ack}) \quad (12)$$

Fig. 7은 최초 MAC 계층에서 두 네트워크가 접속을 맺을 때 지연시간을 나타낸다. 즉, 제안하는 G-DAAP를 충돌횟수( $\delta$ )에 따른 전송 지연시간으로 IEEE 802.11, IEEE 802.11e EDCA, 그리고 제안하는 MAC 프로토콜 IEEE 802.11e EDCA+NJ를 기반으로 비교한다. 그 결과 그래프를 통해서 그룹 주소 할당(NJ)에 대한 사용자 우선순위를 정의하고 백-오프 시간과 AIFS를 줄인 IEEE 802.11e EDCA+NJ를 기반으로 G-DAAP를 적용했을 때 가장 성능이 우수하다. 또한, 충돌 횟수가 늘어날수록 제안하는 MAC 기반에서 G-DAAP의 전송 지

연시간이 다른 MAC 프로토콜에 비해 현저히 작아짐을 볼 수 있다.

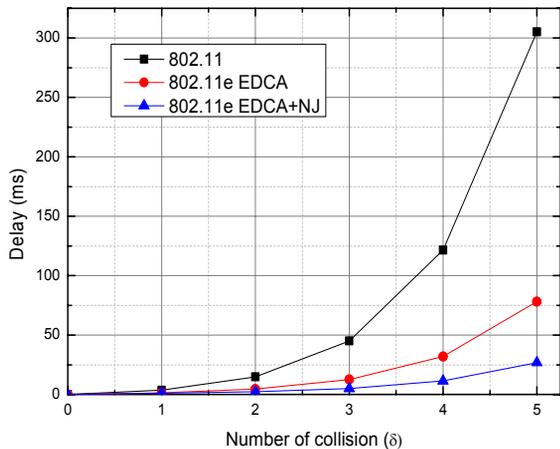


Fig. 7. Delay vs. Number of collisions

#### 4. 결론

본 논문에서는 전술 애드-혹 네트워크에서 그룹화된 유닛들의 네트워크 접속 지연시간을 줄이는 빠른 동적 주소할당 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 IP 주소 할당 절차를 간소화 하고, 전술 네트워크에서 계층적으로 IP 주소 풀을 분산시켜 효율적으로 IP 주소를 관리할 수 있다. 또한 IEEE 802.11e EDCA 프로토콜을 변형한 MAC 프로토콜 기반으로 더욱 빠르게 IP 주소를 할당할 수 있다. 성능평가 결과, 제안하는 기법이 과거 유사한 기법들 보다 IP 주소 할당 지연시간이 감소하고 충돌 횟수에 따른 전송 지연시간이 감소되는 것을 수치 해석 및 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 그러므로 제안하는 기법은 전술적 환경과 같이 그룹 단위로 이동하는 동적 네트워크에 적합하다.

#### 후 기

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2013-(H0301-13-2003)).

#### References

- [1] N. I. Cempaka Wangi, R. V. Prasad, M. Jacobsson, and I. G. M. M. Niemegeers, "Address Autoconfiguration in Wireless Ad Hoc Network: Protocols and Technique," IEEE Wireless Commun. Mag., Vol. 15, pp. 70-80, Feb. 2008.
- [2] K. Weniger and M. Zitterbart, "Address Autoconfiguration in Mobile Ad Hoc Networks: Current Approaches and Future Directions," IEEE Network, Vol. 18, No. 4, pp. 6-11, Jul. 2004.
- [3] S. Nesargi and R. Prakash, "MANETconf: Configuration of Hosts in a Mobile Ad Hoc Network," in Proc. IEEE INFOCOM 2002, New York, pp. 1059-1068, Jun. 2002.
- [4] J. Boleng, "Efficient Network Layer Addressing for Mobile Ad Hoc Networks," in Proc. ICWN'02, Las Vegas, NV, pp. 271-277, Jun. 2002.
- [5] H. Zhou, L. M. Ni, and M. W. Mutka, "Prophet Address Allocation for Large Scale MANETs," in Proc. IEEE INFOCOM 2003, Vol. 2, pp. 1304-1311, Apr. 2003.
- [6] M. Mohsin and R. Prakash, "IP Address Assignment in a Mobile Ad Hoc Network," in Proc. IEEE MILCOM 2002, Anaheim, CA, pp. 856-861, Oct. 2002.
- [7] J. P. Sheu, S. H. Tu, and L. H. Chan, "A Distributed IP Address Assignment Scheme for Ad Hoc Networks," in Proc. IEEE ICPADS'05, Vol. 1, pp. 439-445, Jul. 2005.
- [8] M. R. Thoppian and R. Prakash, "A Distributed for Dynamic Address Assignment in Mobile Ad Hoc Network," IEEE Trans. Mobile Comput., Vol. 5, No. 1, pp. 4-19, Jan. 2006.
- [9] M. F. Al-Mistarihi, M. Al-Shurman, and A. Qudaimat, "Tree-based Dynamic Address Autoconfiguration in Mobile Ad Hoc Networks," Computer Networks, Vol. 55, pp. 1894-1908, 2011.
- [10] C. Perkins, J. Malinen, R. Wakikawa, E. Royer, and Y. Sun, "IP Address Autoconfiguration for Ad Hoc Networks," Internet Draft, Nov. 2001, Work in Progress, <http://people.nokia.net/~charliep/txt/aodvid/autoconf>.

- [11] N. H. Vaiaya, "Weak Duplicate Address Detection in Mobile Ad Hoc Networks," in Proc. ACM MobiHoc 2002, Lausanne, Switzerland, pp. 206-216, Jun. 2002.
- [12] K. Weniger, "Passive Duplication Address Detection in Mobile Ad Hoc Networks," in Proc. IEEE WCNC 2003, New Orleans, LA, pp. 1504-1509, Mar. 2003.
- [13] Y. Sun and E. M. Belding-Royer, "A Study of Dynamic Addressing Techniques in Mobile Ad Hoc Networks," Wireless Commun. Mobile Comput., Vol. 4, pp. 315-329, 2004.
- [14] K. Weniger, "PACMAN: Passive Autoconfiguration for Mobile Ad Hoc Networks," in Proc. IEEE JSAC, Wireless Ad Hoc Networks, Vol. 23, pp. 507-519, 2005.
- [15] S. Mehta, "A Survey on Various Cluster Head Election Algorithms for MANET," in Proc. IEEE NUiCONE, pp. 1-6, 2011.
- [16] R. Rom and M. Sidi, "Multiple Access Protocols: Performance and Analysis," Springer, 1990.
- [17] IEEE Std 802.11e, "Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications," 2007.