

Mobile Ad Hoc Network에서의 Relational MANET Autoconfiguration Protocol(RMAP)

준회원 나 상 준*, 정회원 이 수 경**, 송 주 석*

Relational MANET Autoconfiguration Protocol(RMAP) for Mobile Ad Hoc Networks

Sang-joon Ra* *Associated Member*, Su-kyoung Lee**, Joo-seok Song* *Regular Members*

요 약

지금까지 MANET을 위한 다양한 주소 할당 방식들이 제안되어왔으나 대부분 IP 주소 충돌 해결에 치중함으로써 주소 할당에 따르는 지연 및 비효율적인 주소 공간 사용이라는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 노드간의 메시지 교환을 통하여 IP 주소를 균등하고 안정적으로 설정하고 IP 주소가 할당되는 순간 parent-child 관계를 형성하여 회수 가능한 주소에 대한 상태 정보를 유지함으로써 주소 공간의 이용률을 높이는 Relational MANET Autoconfiguration Protocol(RMAP)을 제안한다. 시뮬레이션을 통하여 RMAP이 IP 주소의 회수율뿐 아니라 주소 설정 지연 시간, 노드 간 IP 주소의 균등한 할당 측면에서 기존의 방식보다 우수함을 알 수 있었다.

Key Words : MANET, IP address, IP autoconfiguration protocol

ABSTRACT

Several IP autoconfiguration techniques for MANET have been proposed by this time. But most of them concentrate on dealing with address duplication, so they have problems with latency and inefficient address space utilization. In this paper, we proposed a new IP autoconfiguration technique, namely Relational MANET Autoconfiguration Protocol(RMAP). This technique distributes IP addresses effectively by exchanging messages and recovers IP addresses by applying parent-child relationship. Simulation experiments are conducted to demonstrate the enhancement of the proposed algorithm over other known algorithms regarding latency, uniform distribution, and IP address recovery ratio.

I. 서 론

최근 Mobile Ad Hoc Network(MANET)에서의 라우팅 기법들이 활발히 연구되고 있으며 이러한 프로토콜들은 네트워크 형성 이전의 노드 설정을 가정하고 있다. MANET에서는 네트워크 관리자나 기반 시설이 존재하지 않고, 각 노드는 이동성을 가

지고 있으므로 미리 일정한 IP 주소를 할당한다는 것은 불가능하다. 따라서 노드들의 주소를 자동으로 설정하고 이를 관리해주는 주소 설정 프로토콜은 MANET에서 필수적인 요소라 할 수 있다^[1].

주소 설정 프로토콜의 가장 중요한 조건은 노드들의 IP 주소가 서로 중복되지 않아야 한다는 것이다. 만약 중복되어 생성될 경우에는 이를 빠르게 감

* 연세대학교 컴퓨터과학과(dreamytree@empal.com, jssong@emerald.yondek.ac.kr), ** 세종대학교 정보통신대학원(sklee@sejong.ac.kr)
논문번호 : KICS2005-03-124, 접수일자 : 2005년 3월 26일

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학IT연구센터 육성·지원사업의 연구결과로 수행되었음

지하여 IP 주소를 재설정해주어야 하는데 이를 위한 추가 작업으로 Duplicate Address Detection (DAD)이 수행된다²⁾. 주소 설정 프로토콜의 또 다른 중요한 조건은 IP 주소를 재사용할 수 있어야 한다는 것이다. 노드가 네트워크를 떠나거나 종료되는 경우에는 IP 주소 공간의 효율적인 사용과 재사용을 위하여 IP 주소는 반드시 회수되어야 한다³⁾.

지금까지 다양한 주소 설정 프로토콜들이 제안되어 왔으나 대부분이 IP 주소 충돌 해결에 치중함으로써 IP 주소 공간의 비효율적인 사용 및 주소 할당에 따르는 지연의 문제점을 가지고 있다 또한 노드가 비정상적인 종료를 할 경우에는 IP 주소를 전혀 회수하지 못함으로써 주소 공간이 낭비된다는 문제점도 가지고 있다. 본 논문에서는 IP 주소가 할당되는 순간 노드 간에 parent-child 관계를 설정하고 회수 가능한 주소에 대한 명확한 상태 정보를 유지함으로써 주소 공간 이용률을 높이는 Relational MANET Autoconfiguration Protocol (RMAP)을 제안한다. 아울러 RMAP은 통신에 참여하는 모든 노드들에게 주소 할당 부하를 분산시킴으로써 주소 설정에 따른 오버헤드를 줄이고자 한다

2장에서 기존의 주소 설정 프로토콜들을 살펴보고 3장에서 개선된 방식의 RMAP을 설명한다. 4장에서 RMAP의 시작과 노드 간의 통신 동작을 기술하고 5장에서 RMAP의 성능을 IP 주소 회수율 및 설정 지연 시간 IP 주소의 균등한 할당 측면에서 평가한다. 마지막으로 6장에서는 결론을 맺는다.

II. 주소 설정 프로토콜

2.1 기존의 주소 설정 프로토콜

주소 설정 프로토콜은 stateless approach⁴⁾와 stateful approach⁵⁾로 나눌 수 있다. Stateless approach에서는 노드들이 서로 독립적으로 자신의 IP 주소를 생성하여 그것을 네트워크 상의 모든 노드들로부터 이용가능하다는 확인을 얻어낸 후 사용하게 된다. 이 방식은 다른 노드들로부터 ACK를 받는 추가의 DAD 작업이 필요하므로 그에 따른 할당 지연 시간이 길어진다는 단점이 있다

Stateful approach에서는 노드들이 IP 주소 할당에 대한 정보를 유지하는 주소 테이블을 갖는다 이 테이블을 유지하는 방식에 따라 크게 3가지로 분류된다⁶⁾. 첫 번째는 주소 테이블을 네트워크 내의 한 노드가 모두 관리하는 것이다 이 방식은 한 노드에서 IP 주소 할당에 대한 정보를 모두 유지하고 있

기 때문에 부하가 집중된다는 단점과 그 노드의 통신이 끊어질 경우 모든 정보가 사라지게 된다는 문제점이 있다. 두 번째 방식은 모든 노드들이 동일한 주소 테이블을 유지하는 것이다 이 방식은 모든 노드에서 똑같은 정보를 유지, 관리하고 있기 때문에 한 노드의 통신이 끊어지는 경우가 발생하더라도 다른 노드들에서 정보가 유지될 수 있다는 장점이 있지만 노드들이 가지고 있는 주소 테이블들 간의 동기화 작업이 필요하고 그에 따른 오버헤드 문제가 발생한다는 것이 가장 큰 단점이라고 할 수 있다. 마지막 방식은 각각의 노드들이 multiple disjoint 테이블을 가지며 서로 중복되지 않은 정보를 유지하는 것이다. 이 방식은 주소 설정 프로토콜 중에서 짧은 지연 시간과 효율적인 주소 할당 기법을 가진 것으로 알려져 있으며 한 노드에서 IP 주소에 대한 모든 정보를 유지하는 위험성이 없고 서로 중복되지 않은 정보를 유지함으로써 노드들 간의 주소 테이블 동기화 문제도 해결한 방식이다

2.2 Multiple Disjoint 테이블을 이용한 주소 설정 프로토콜

[7]에서 제안하는 Dynamic Configuration and Distribution Protocol(DCDP)은 IP 주소의 충돌이 일어나지 않는 stateful approach의 한 종류로서, multiple disjoint 테이블을 이용한 방식으로 가장 잘 알려진 대표적인 프로토콜이다 DCDP는 사용 가능한 모든 주소 pool이 미리 네트워크에 할당되어 있다는 가정 하에 시작한다. 최초의 노드는 DCDP 서버로 동작하게 되며 전체 주소 pool을 받게 된다. 노드는 그중 가장 첫 번째 주소를 자신의 IP 주소로 설정하고 나머지 주소들은 주소 pool로 저장하게 된다. 이때 네트워크에 새로운 노드가 생성될 경우 자신이 가지고 있는 유효한 주소 pool을 새로운 노드에게 나누어주게 되는데 새로운 노드는 마찬가지로 이것을 넘겨받아 그 중 하나를 자신의 IP 주소로 설정하고 나머지는 주소 pool로 저장한 후에 또 하나의 DCDP 서버로 동작하게 된다

DCDP 방식은 IP 주소의 충돌이 일어나지 않으므로 추가의 DAD 작업이 필요하지 않다는 장점이 있지만 주소 pool이 서로 불균형있게 할당되어 노드 간의 차이가 크게 벌어지는 현상이 발생한다 또한 새로운 노드들이 적은 범위의 주소 pool을 가진 노드로부터 IP 주소를 받을 경우, 이를 할당해준 노드의 주소 pool은 점차 줄어들어 결국엔 아무런 유효 IP 주소도 남지 않게 된다. 따라서 새로 생성된

노드가 유효한 주소를 가지고 있지 않는 이웃 노드에게 자신의 IP 주소를 요청할 경우, 네트워크의 다른 노드들이 유효한 IP 주소를 가지고 있다라고 이를 할당 받을 수가 없게 된다. 또한 DCDP에는 IP 주소를 회수하는 기능이 없으므로 이를 재사용할 수 없다는 문제점을 가지고 있다.

[8]에서 제안한 Buddy System은 DCDP에 IP 주소 회수 알고리즘을 적용한 프로토콜이다 Buddy System에서는 노드가 통신을 종료할 경우 이를 이웃 노드에게 알리기 위한 bye 호출을 내보내게 되는데, 만약 노드가 전력 소모 등의 이유로 갑자기 종료되거나 네트워크를 떠나게 되는 경우에는 bye 호출을 보내지 못하게 되므로 IP 주소는 전혀 회수되지 못하고 재사용할 수 없게 된다.

III. Relational MANET Autoconfiguration Protocol(RMAP)에서의 주소 할당 알고리즘

본 논문에서 제안하는 RMAP은 multiple disjoint 테이블을 이용한 기존 방식들의 단점을 보완하고 노드의 종료시 IP 주소를 효율적으로 회수하도록 하는 새로운 주소 설정 프로토콜이다 RMAP에서의 주소 할당 동작은 다음과 같은 단계를 거친다

Step 1) 네트워크에 새로운 노드 k가 생성되었다고 하자. 노드 k는 자신의 IP 주소를 요청하는 address_request 메시지를 이웃 노드들에게 보낸다

Step 2) 네트워크의 기존 노드들은 이미 종료된 다른 노드로부터 회수한 유효 IP 주소들의 범위인 address_range를 가지는데, address_request 메시지를 받을 경우 회수한 address_range 중 하나를 address_reply 메시지에 실어 자신의 IP 주소와 함께 새로운 노드 k에게 보낸다. 만약 이미 회수한 address_range를 가지고 있지 않다면 자신의 address_range를 반으로 나누어 뒷부분에 해당하는 address_range의 범위를 IP 주소와 함께 보내게 된다.

Step 3) 새로운 노드 k는 이웃 노드들로부터 받은 address_reply 메시지를 분석하여 가장 넓은 범위의 address_range를 가진 노드(이하 노드 j)를 선택하고, parent 요청을 하는 parent_request 메시지를 노드 j의 IP 주소로 보낸다.

Step 4) 노드 j는 새로운 노드 k의 parent 노드가 되며 노드 k에게 부여한 부분을 제외한 나머지 부분으로 자신의 address_range를 재설정한다. 또한

노드 k를 자신의 child 노드로 지정함과 동시에 parent_reply 메시지를 보내어 child 노드가 IP 주소의 사용을 시작할 수 있도록 한다. 노드 j는 다음과 같은 테이블을 유지한다.

- Address_Range_Table_j : 노드 j가 생성될 때 parent 노드로부터 받은 address_range와 종료된 노드로부터 회수한 address_range를 저장한다.

표 1. Address_Range_Table

Address_Range	Type
129.1.1.13-129.1.1.21	S
129.1.1.32-129.1.1.38	R
129.1.1.50-129.1.1.58	R
...	...

- * Type S : 자신의 address_range
- Type R : 회수한 address_range

- Child_Table_j : 자신의 child 노드에 대한 정보를 유지하며 child 노드의 IP 주소와 address_range를 저장한다.

노드 j는 child로 지정된 노드 k의 IP 주소와 address_range를 자신의 address_range_table_j에 저장하게 된다.

표 2. Child_Table

IP Address	Address_Range
129.1.1.12	129.1.1.13-129.1.1.21
129.1.1.31	129.1.1.32-129.1.1.38
129.1.1.49	129.1.1.50-129.1.1.58
...	...

Step 5) Child 노드는 parent 노드로부터 받은 address_range 중 제일 첫 번째 것을 자신의 IP 주소로, 나머지 부분은 자신의 address_range로 설정한다. 동시에 새로운 노드인 child 노드와 IP 주소를 할당해준 parent 노드는 parent-child간의 통신을 시작하게 된다.

이후 노드 k가 새로 생성된 노드(이하 노드 m)에게 자신의 address_range를 할당해 주어 노드 m의 parent 노드가 될 경우, address_range를 부여하고 재설정된 범위를 range_update 메시지에 실어 자신의 parent인 노드 j에게 보낸다. 노드 j는 child_table_j에서 노드 k의 address_range를 찾아 새로운 노드 m에게 할당한 부분을 제외한 현재의 address_range로 이를 재설정하게 된다

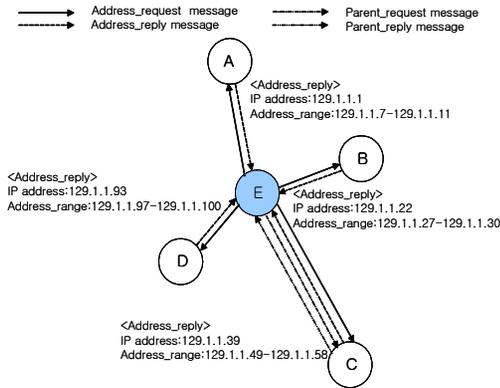


그림 1. RMAP에서의 IP 주소 할당 동작

표 3. 노드 E가 생성되기 전

Node	IP Address	Address_Range
A	129.1.1.1	129.1.1.2-129.1.1.11
B	129.1.1.22	129.1.1.23-129.1.1.30
C	129.1.1.39	129.1.1.40-129.1.1.58
D	129.1.1.93	129.1.1.94-129.1.1.100

표 4. 노드 E가 생성된 후

Node	IP Address	Address_Range
A	129.1.1.1	129.1.1.2-129.1.1.11
B	129.1.1.22	129.1.1.23-129.1.1.30
C	129.1.1.39	129.1.1.40-129.1.1.48
D	129.1.1.93	129.1.1.94-129.1.1.100
E	129.1.1.49	129.1.1.50-129.1.1.58

그림 1은 RMAP에서의 IP 주소 할당 동작을 예를 들어 도식화한 것이다. 노드 A, B, C, D는 표 3에 나타나있는 IP 주소와 address_range를 가진 노드들이며 이미 종료된 노드로부터 회수한 address_range는 갖고 있지 않은 노드들이다. 표 4는 모든 동작이 끝난 후 노드 A, B, C, D, E의 IP 주소와 address_range의 상태를 보여주고 있다.

IV. RMAP의 시작과 노드 간의 통신

4.1 RMAP의 시작

네트워크에 최초로 노드가 생성되면 제일 먼저 주변의 이웃 노드들에게 IP 주소를 얻기 위한 address_request 메시지를 보낸다. 일정 시간동안 아무런 address_reply 메시지를 받지 못한다면, 이 노드는 자신이 네트워크 상의 유일한 노드라는 것을 판단

하고 전체의 주소 pool을 소유하게 된다. 이때 주소 pool 중 가장 첫 번째 것을 자신의 IP 주소로, 나머지는 자신의 address_range로 설정하게 된다.

4.2 네트워크를 떠나거나 통신을 종료하는 노드

Child 노드 k가 네트워크를 떠나거나 종료될 경우에는 자신의 parent인 노드 j에게 child_delete 메시지를 보내어 이를 알려주게 된다. 노드 j는 child_table_j에 있는 노드 k에 대한 내용을 삭제하고 재사용을 위하여 IP 주소와 address_range를 사용할 수 있는 상태로 변경한다.

4.3 Parent 노드와 Child 노드간의 통신

노드의 종료를 알리기 위해 child_delete 메시지가 쓰이지만, MANET 노드의 특성상 전력 소모 등의 이유로 이를 알리지 못하고 비정상적으로 종료되는 경우가 많이 발생한다. Parent 노드 j는 child 노드 k와 주기적으로 hello 메시지를 주고받게 되는데 만약 일정한 time interval 동안 노드 k로부터 아무런 응답을 받지 못할 경우 노드 j는 노드 k를 찾기 위한 child_search 메시지를 브로드캐스트 한다. 이후 주변으로부터 아무런 응답을 받지 못한다면, 노드 j는 child 노드 k가 네트워크를 떠나거나 종료되었다고 간주하고 자신의 child_table에 있는 노드 k의 IP 주소와 address_range를 address_range_table_j로 옮겨 이를 재사용할 수 있는 상태로 변경한다.

4.4 Address_Range의 균등한 분배

Parent 노드와 child 노드가 주기적으로 주고받는 hello 메시지를 통해 address_range에 대한 내용을 서로 교환하게 된다. 두 노드의 address_range가 어느 threshold 이상 차이가 나면 많은 쪽에서 적은 쪽으로 address_range를 나누어 주어 전체 노드들의 균형있는 address_range를 유지한다. 어느 한 노드가 자신의 address_range를 변경할 경우에는 이를 자신의 parent 노드에게 알려주기 위하여 range_update 메시지를 보내야 한다. 이것을 수신한 parent 노드는 child_table에 있는 해당 노드의 address_range를 재설정하게 된다.

4.5 노드의 이동

노드가 이동하여 child 노드 k와 parent 노드 j가 직접 통신할 수 없게 되면 child 노드는 new_parent_request 메시지를 통하여 자신의 현재 이웃 노드들 중 새로운 parent 노드를 결정하게 된다. New_parent_request 메시지를 수신한 이웃 노드들

은 자신의 child 노드의 수를 new_parent_reply 메시지에 담아 노드 k에게 보내게 되는데, 노드 k는 그 중 child 노드 수를 가장 적게 가진 노드(이하 노드 p)를 자신의 새로운 parent 노드로 결정하게 된다. 새로운 parent로 지정된 노드 p는 노드 k의 IP 주소와 address_range를 자신의 child_table_p에 추가하고, 노드 k의 이전 parent 노드인 j에게 이를 알리는 메시지를 보낸다 노드 j는 노드 k에 대한 항목을 자신의 child_table_j에서 삭제하게 되고, child 노드 k와 새로 선택된 parent 노드 p는 주기적으로 hello 메시지를 보내어 서로의 상태를 유지하게 된다.

V. 성능 평가

본 논문에서 제안한 RMAP을 적용한 모델과 DCDP를 적용한 모델의 성능을 비교 분석하기 위해 시뮬레이션 하였다. 네트워크 토폴로지는 800×800(m²)이며, 각 노드는 200(m)의 전송범위와 최대 5(m/s)의 이동 속도를 가진다. 노드의 수는 45개이며 사용된 IP 주소의 수는 총 2000개 이다.

그림 2는 주소 할당 비율에 따른 평균 지연 시간을 보여주는 그래프이다. DCDP의 경우 주소 할당 비율이 증가할수록 이웃 노드로부터 address_range가 0인 address_reply 메시지를 받을 확률이 높아지게 되고, 이에 따라 지연 시간에 타임 아웃이 추가되므로 평균 지연 시간이 증가되는 추세를 보인다. RMAP의 경우 노드들 간의 address_range를 균형 있게 유지함으로써 네트워크에 유효한 IP 주소가 있는 이상 정상적으로 이를 할당해 줄 수 있다 따라서 기본적인 평균 지연 시간은 이웃 노드와의 통신에 걸리는 시간, 즉 통신 메시지(address_request, address_reply, parent_request, parent_reply)의 수 4×(홉 딜레이)인 상수로 유지된다.

그림 3은 주소 할당이 완료된 후 RMAP과 DCDP의 노드들이 각각 보유하게 되는 유효한 IP 주소의 개수를 나타낸다. DCDP에서의 노드들은 매우 큰 차이를 보이며 최소 0개부터 최대 250까지의 IP 주소를 가진 노드들의 모습을 나타낸다. 6개 노드들은 IP 주소를 전혀 할당받지 못했음을 볼 수 있는데, 노드의 생성시 IP 주소를 할당 받기 위하여 address_request 메시지를 보낸 후 이웃 노드로부터 address_range가 0인 address_reply 메시지를 받은 노드들이다. 이는 특정 노드들에게 IP 주소가 편중되어 있기 때문에 일어나는 현상으로서, 메시지 교환을 통해

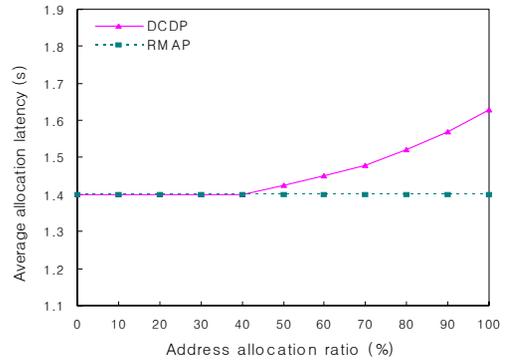


그림 2. 주소 할당 비율에 따른 평균 지연 시간

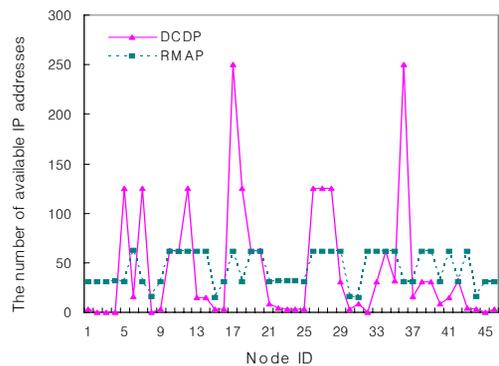


그림 3. 각 노드의 유효 IP 주소 보유수

더 균형하게 할당되어 있는 RMAP에서는 IP 주소를 받지 못한 노드는 존재하지 않았다. RMAP 방식을 적용한 모델에서는 최소 15개부터 최대 62개의 IP 주소를 가진 노드들의 모습을 보여주고 있다. DCDP 방식을 이용한 모델보다 유효한 IP 주소 수에 대한 노드들 간의 차이가 줄고, 더욱 균등하게 IP 주소가 할당되어 있음을 관찰할 수 있다. 각 노드들이 소유한 IP 주소 수에 대한 표준편차는 DCDP에서 61.33, RMAP에서는 17.42이다.

그림 4는 DCDP 방식에 IP 주소 회수 알고리즘을 적용한 Buddy System과 RMAP을 노드의 비정상적인 종료(Buddy system의 bye 호출, RMAP의 child_delete 메시지를 보내지 못하고 갑작스럽게 종료하는 경우)에 따른 IP 주소의 회수율을 비교한 것이다. Buddy system은 노드의 종료를 bye 호출에 전적으로 의존하므로 비정상적 종료의 비율이 커질수록 회수율은 반비례하여 줄어든다. RMAP에서는 노드가 child_delete 메시지를 보내지 않고 종료하더라도 parent 노드가 이를 감지하고 처리할 수 있으므로 대부분의 IP 주소가 회수되었음을 보여준다.

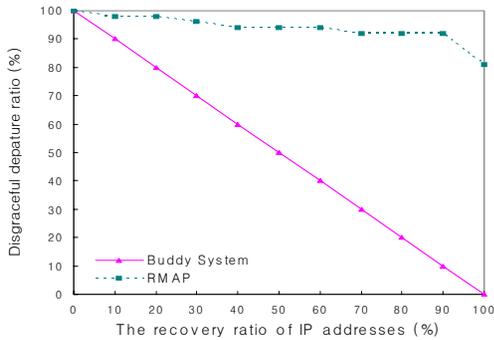


그림 4. 비정상적인 종료에 따른 IP 주소 회수율

VI. 결 론

본 논문에서는 노드간의 메시지 교환을 통하여 IP 주소를 보다 균형있고 안정적으로 설정하고 IP 주소를 효율적으로 회수하여 재사용할 수 있도록 parent-child 관계를 적용한 Relational MANET Autoconfiguration Protocol(RMAP)을 제안하였다. 시뮬레이션 결과 다른 기존의 방식에 비하여 회수율과 지연 시간 그리고 노드 간 IP 주소의 균등한 할당 측면에서 더 좋은 성능 평가 결과를 보였다.

현재 진행 중인 연구는 RMAP에서 교환되는 메시지가 망 성능에 미치는 영향을 분석하고 이에 따른 시뮬레이션 모듈을 확장 중에 있으며 또한 RMAP에 적합한 보안 알고리즘을 적용하고자 한다.

참 고 문 헌

[1] Y.Sun, E.M.Belding-Royer, "A Study of Dynamic Addressing Techniques in Mobile Ad hoc Networks," Wireless Communications and Mobile Computing, pp.315-329, April 2004.

[2] N.H.Vaidya, "Weak Duplicate Address Detection in Mobile Ad Hoc Networks," MOBIHOC 2002, pp.206-216, June 2002.

[3] S.J.Ra, S.K.Lee, J.S.Song, "Dynamic Addressing Technique in MANET Using an Enhanced DCDP," Proc. KISS, Vol.31, No.2, pp.709-711, October 2004.

[4] S.Cheshire, T.Narten, "IPv6 Stateless Address Autoconfiguration," RFC 2462, December 1998.

[5] Y.Sun, E.M.Belding-Royer, "Dynamic Address Configuration in Mobile Ad Hoc Networks,"

UCSB Technical Report 2003-11, June 2003.

[6] K.Weniger, M.Zitterbart, U.Karlsruhe, "Address Autoconfiguration in Mobile Ad Hoc Networks: Current Approaches and Future Directions," IEEE Network, pp.6-11, July/August 2004.

[7] A.Misra, S.Das, A.Mcauley, "Autoconfiguration, Registration, and Mobility Management for Pervasive Computing," IEEE Personal Communication, pp.24-31, August 2001.

[8] M.Mohsin, R.Prakash, "IP Address Assignment in a Mobile Ad Hoc Network," IEEE MILCOM 2002, Anaheim, CA, October 2002.

나 상 준 (Sang-joon Ra)

준회원



2003년 8월 연세대학교 전산학과 (학사)
2003년 9월~현재 연세대학교 컴퓨터과학과 석사과정
<관심분야> 무선통신, MANET, IP autoconfiguration protocol

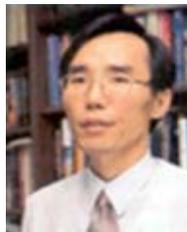
이 수 경 (Su-kyoung Lee)

정회원

1993년 2월 연세대학교 컴퓨터과학과(학사)
1995년 3월 연세대학교 컴퓨터과학과(석사)
2000년 8월 연세대학교 컴퓨터과학과(박사)
2000년 8월~2003년 8월 National Institute of Standards and Technology
2003년 9월~현재 세종대학교 정보통신대학원 교수
<관심분야> Vertical handoff, Optical Internet

송 주 석 (Joo-seok Song)

정회원



1976년 2월 서울대학교 전기공학 과(학사)
1979년 2월 한국과학기술원 전기·전자공학과(석사)
1988년 2월 University of California at Berkeley Ph.D
1997년 3월~현재 연세대학교 컴

퓨터과학과 교수
<관심분야> 유·무선통신, 정보보호