

主題

Ad Hoc 네트워크 기술

충남대학교 김 상 하 한국전자통신연구원 박 준 희, 신 재 욱, 김 재 호

차 례

- I. 서론
- II. Ad Hoc 라우팅 프로토콜
- III. Ad Hoc MAC 기술
- IV. IETF 동향
- V. 결론 및 향후 연구 방향

I. 서론

MANET(Mobile Ad hoc NETWORK)은 네트워크 구조를 필요로 하지 않는 무선 단말들의 그룹으로 구성된 네트워크이다. 이러한 특성은 네트워크의 배치(Deployment)를 용이하게 하여, PAN(Personal Area Networking), HAN(Home Area Network) 작전 시 및 수색과 구조 작업 시의 통신 환경 등 많은 분야에서 실제적으로 활용이 가능하다. 또한, 무선에서의 이동성 지원에 관한 기술이 쏟아지면서 MANET은 더욱 주목을 받는 연구 분야가 되어가고 있다.

이렇듯 MANET의 중요성이 부각되고 있음에도 불구하고 MANET의 상업적인 배치는 극히 제한되고 있는 것이 현실이다. 여기에는 표준화 문제, 광범위한 영역에서의 배치를 위한 기반 구조 등 많은 문제점이 있지만, 그 밖에도 MANET이 무선 네트워크의 근본적인 구조가 되기 위해서 거론되어야 할 많은 기술적인 논점들이 있다. MANET을 이해하기

위해서 가장 먼저 점검해야 할 기술은 라우팅 프로토콜이다. 즉, 라우팅 프로토콜의 효율성, 성능, 오류 복구 기능, 그리고 배터리 소비 등의 측면에서의 이해가 선행되어야 한다. 그리고, LLC(Logical Link Control)와 MAC(Media Access Control) 레벨에서 MANET을 지원하기 위한 기능을 이해해야 하며, MANET을 기존의 유선 네트워크와 연결하기 위한 기존 구조와 프로토콜의 개선이 필요하다. 또한, MANET에서 자주 발생하는 지연 문제와 재 라우팅 문제를 수용하기 위한 TCP 계층의 확장이 필요하다 [1,2].

본 논고에서는 상기한 많은 논점들 중에서 MANET에서의 라우팅 프로토콜과 MAC 계층에 관련된 논점만을 기술하고자 한다. 본 논고의 구성은 다음과 같다. II장에서는 라우팅 프로토콜의 일반에 관하여 기술한다. 우선 현재 많은 경로를 통해서 제안된 라우팅 알고리즘들을 큰 범주로 구분하여 설명하고, 각 분야의 대표적인 라우팅 프로토콜에 대해서 기술한다. III장에서는 일반적으로 가장 잘 알려진

MAC 표준인 802.11과 802.15 에 대해서 기술한 후, Ad Hoc 네트워크를 위해서 제안된 MAC 알고리즘 들에 대해서 기술한다. IV장에서는 최근의 IETF 동향에 대해서 기술하며, V장에서는 향후 MANET에서 해결해야 할 문제와 MANET이 기반 기술로 활용될 것으로 예상되는 연구 분야에 대해서 기술하고 결론을 맺는다.

II. Ad Hoc 라우팅 프로토콜

1. Ad Hoc 라우팅 특성

유선망에서 무선망으로의 진화는 새로운 라우팅 패러다임의 탄생을 필요로 했다. '어떻게 찾아가느냐?'에서 '현재 어디에 있느냐?'는 질문에 대한 해결책을 찾는 것이 주된 과제가 되었다. 즉, 유선으로 구축된 인프라 망을 기반으로, 이동하는 단말들의 현재 '위치 관리(Location Management)'가 라우팅의 관건이었다고 할 수 있다. 셀룰라 망에서의 위치관리 기술과 제3세대 망구조의 기반 기술인 MIP (Mobile IP) 기술이 그러한 배경을 가지고 있다고 말할 수 있다. 한편, 무선망의 한 부류인 MANET은 이러한 기존 유선 및 무선망의 라우팅에서 고려하지 않았던 문제들에 직면하게 된다. 무선 구간을 제외하고는 안정된(고정된) 망구조를 갖는 셀룰라망과 달리, MANET의 경우 고정된 망구조가 없으며, 수시로 망 구조가 변모할 뿐만 아니라 망장비의 역할을 담당하는 각 이동 노드의 전력에 상당한 제한을 갖고 있다.

이와 같은 MANET의 특성은 다음과 같이 정리될 수 있다. 우선, 기존의 무선망의 성격을 그대로 계승한다. 즉, 일정 주파수 대를 통신을 위해서 공유하고, 공유하는 공간에서의 물리적인 간섭에 의해 오류율이 높으며, 각 이동 노드는 자유롭게 이동할 수 있다. 이러한 특성에 첨가하여 MANET의 가장 큰 특징은

망의 기반 시설이 존재하지 않는다는 점이다. 즉, 앞에서 기술한 바와 같이 라우팅 기능을 전담했던 셀룰라 망의 BS(Base Station) 혹은 MIP(Mobile IP)의 HA(Home Agent)와 FA(Foreign Agent)같은 기반 시설을 활용할 수 없고, 이러한 환경에서 멀티 홉 네트워킹 기능을 수행하기 위해서는 이동 노드 자신이 라우팅 기능을 수행할 수 있어야 한다. 이와 같이 이동 노드들이 라우터가 되면 결국 망의 토폴로지가 수시로 변경되는 네트워크 구조가 발생하게 된다. 또한, 사전 계획 없이 생성되거나, 군사 작적과 같이 특수한 목적 등에 의해, 불특정 시공간상에 생성되게 되는 Ad Hoc 네트워크의 특성상 중앙에서 통신을 제어할 수 있는 노드가 없이 모든 이동 노드가 스스로 망을 구성(Self-Organizing) 할 수 있어야 한다. 또한, 각 노드들은 특정한 도메인의 네트워크 주소를 갖지 않기에, 이를 지원하기 위해서 MANET에서는 호스트-명시 라우팅(Host-Specific Routing)이 사용된다.

2. Ad Hoc 라우팅 기술

1990년대 초반 MANET에 대한 요구가 발생하면서 다양한 라우팅 프로토콜들이 제안되고 검증되었다. MANET의 라우팅 알고리즘들은 소스와 목적지 간의 루트 설정이라는 기본 목적 이외에 이동 단말의 배터리 문제, 컨트롤 패킷 최소화 문제 등의 중요한 목적이 있다. 이러한 라우팅 알고리즘들을 분류할 때, 다음과 같은 범주로 분류할 수 있다.

가. Proactive vs. Reactive

DSDV(Destination-Sequenced Distance Vector) [3] 알고리즘은 유선망의 distance vector [4] 알고리즘을 MANET에 적용한 알고리즘으로서, 유선망의 라우팅 프로토콜과 같이 사용자의 라우팅 요구가 발생하기 이전에 모든 라우팅 정보를 각

라우터의 전달 테이블(Forwarding Table)에 저장하고 있도록 하는 알고리즘이다. 이와 같은 알고리즘은 라우팅 요구에 대한 응답 시간이 빠른 장점은 있지만, 라우팅을 위한 컨트롤 패킷을 너무 많이 발생시켜 단말의 배터리를 과도하게 낭비하는 문제점이 있다. 이러한 형태의 라우팅 알고리즘을 proactive(5) 라우팅 알고리즘이라고 하며, DSDV 이외에 WRP(6) 등이 여기에 해당된다.

Reactive(5) 알고리즘은 proactive 알고리즘과 대조되는 개념으로 평소에는 라우팅을 위한 컨트롤 패킷을 발생하지 않다가, 사용자에게 의해서 실제 라우팅 요구가 발생할 때 라우팅 정보를 찾는 방법이다. Reactive 방식은 on-demand 방식이라고도 하며, proactive 방식에 비해서 라우팅 응답 시간이 길다는 단점이 있는 반면, 망 트래픽과 단말의 배터리 소모를 획기적으로 줄일 수 있다는 장점이 있으며, 실제로도 proactive 방식보다 선호되는 방식이다. 현재 DSR(7), AODV(8), TORA(9) 등등 대부분의 라우팅 알고리즘이 reactive한 방식을 취하고 있다.

나. Clustering-based Routing

MANET은 중앙 제어 노드가 없는 완전 분산 네트워크이기 때문에 망 관리가 상당히 어려운 네트워크이다. 그러나, 클러스터링 기법을 통해서 마치 무선망의 BS(Back Bone)와 같은 CH(Cluster Header) 간에 무선 백본이 있는 상태로 망을 재구성하여 이러한 기반 시설을 활용하여 CH에서만 라우팅을 수행하도록 고안된 것이 클러스터링 기반 라우팅 알고리즘이다. CGSR(10)과 같은 알고리즘이 이 부류에 속한다.

다. Location-Aware Routing

GPS(Global Positioning System)를 이용한 물리적 좌표 정보를 이용해서 라우팅을 위한 컨트롤

패킷을 줄일 수 있는 알고리즘으로 LAR(Location Aided Routing)(11)이 최초로 적용한 알고리즘이다. 그밖에도 ZHLS(12), GRID(13) 등의 알고리즘에서 좌표를 기반으로 GRID를 생성하여 라우팅 패킷의 발생을 최소화 하여 라우팅을 효율적으로 수행하는 알고리즘들이 개발되었다.

라. Path longevity-Aware Routing

MANET에서의 라우팅 문제는 소스와 목적지간 경로를 찾는 것 뿐만 아니라, 유지 관리 하는 문제까지도 이어진다. 즉, 급격히 가변되는 토폴로지에 의해서 언제 경로가 절단될지 알 수 없기 때문이다. 최적의 경로를 찾았다고 해도, 그 경로가 자주 절단된다면, 절단된 경로를 복구하기 위해 또 다른 라우팅 패킷 발생이 불가피해진다. 이러한 문제를 극복하기 위해서 다중 경로를 알아낼 수 있는 MANET의 특성을 이용하여, 좀 더 오래 유지될 수 있는 경로를 우선적으로 선택하는 방법을 취하는 라우팅 프로토콜이 이 분야에 해당된다. ABR(14)이 여기에 해당된다.

마. Energy-Aware Routing

앞에서 거론한 바와 같이 Ad Hoc 네트워크를 포함한 무선 네트워크에서의 가장 큰 문제점 중의 하나가 배터리 소모 문제이다. 루트를 설정하는데 있어서 소모되는 배터리를 메트릭(Metric)으로 이용하는 라우팅 프로토콜들이 계속해서 제안되고 있다. MTPR, MBCR, MMBCR [15] 등의 알고리즘이 이 범주에 속한다.

3. Ad Hoc 라우팅 프로토콜 예제

본 단원에서는 reactive 알고리즘으로 DSR과 AODV, location-aware 라우팅 알고리즘으로 LAR, path longevity-aware 라우팅 알고리즘으로

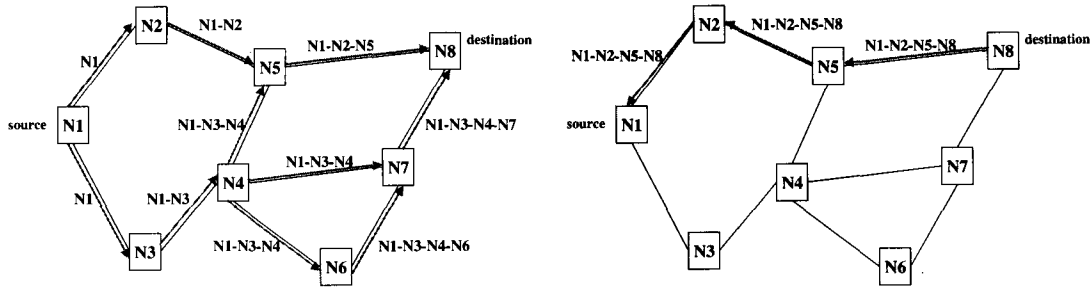


그림 1. DSR route discovery 절차 [5]

로 ABR에 대해서 기술한다.

가. DSR(7)

Proactive, table-driven 방식의 단점을 극복 위해서 고안된 방식이 reactive, on-demand 방식이다. 라우팅 요구가 없을 때는 라우팅 패킷의 발송을 하지않고, 요구가 발생할 때만(on-demand) 라우팅을 위한 동작을 취하는 알고리즘이다. DSR과 AODV가 대표적인 알고리즘이며, 이 알고리즘들을 기점으로 이후 제안되는 대부분의 알고리즘은 on-demand를 기반으로 한다.

DSR은 유선 망의 source routing을 그대로 ad hoc 네트워크에 적용한 것이다. Source routing의 특성상 라우팅 경로의 중간에 있는 노드들은 라우팅 테이블을 가지고 있지 않는다. 먼저 소스는 목적 노드를 찾기 위해서 flooding 기반으로 루트 경로 보고 필드를 포함한 루트 요구 패킷을 방송하고, 중간 노드에서는 자신의 노드 이름을 루트 경로 보고 필드에 덧붙여서 다시 방송한다. 목적 노드가 요구 패킷을 받을 때에는 소스에서 목적 노드까지의 가능한 경로가 보고되며, 목적노드는 그 중 하나를 선택하여 소스노드에게 전송(unicast)한다.

DSR은 루트 discovery 과정과 루트 유지

(maintenance)과정으로 구분된다. 그림 1은 DSR discovery 과정의 예를 보여준다. DSR에서 각 노드들은 라우팅 테이블 대신 루트 캐시를 갖고 있다. 각 노드들은 자신을 경유해서 전달되는 라우팅 패킷들을 기반으로 현재 유효한 루트들과, 링크가 절단된 루트들에 대한 정보를 수집하여 이를 유지한다. 이것은 라우팅의 요구가 발생할 경우 빠른 라우팅 설정에 활용된다.

나. AODV(8)

AODV도 상기한 DSR과 비슷한 절차를 통해 루트를 찾는다. AODV가 DSDV와 다른 점은 on-demand 특성을 갖는다는 점, sequence 넘버를 하나씩 증가한다는 점, 그리고 broadcast ID를 사용한다는 점이다. 또한, DSR과 가장 큰 차이점은 모든 노드에서 라우팅 테이블을 구성하고 있어서 패킷 헤더의 라우팅 정보에 라우팅 경로를 포함할 필요가 없다는 것이다.

루트 요구가 발생한 소스에서는 그림 2와 같은 RREQ 패킷을 방송한다. <src addr, broadcast id> 쌍은 패킷의 uniqueness를, <src/dest sequence #> 필드는 정보의 freshness를 나타낸다. 이때, 소스 노드는 자신이 가지고 있는 목적 노드

src address	src sequence#	broadcast id	dest address	dest sequence#	hop count
-------------	---------------	--------------	--------------	----------------	-----------

그림 2. AODV RREQ Packet Format(8)

의 sequence 넘버를 <dest sequence #> 필드에 기록하여 방송한다. 중간 노드에서는 RREQ패킷이 이전에 수신한 패킷이 아닐 경우 <hop count>를 증가시키고 패킷의 정보를 기억한 후 다시 방송한다. 이 과정에서 모든 중간 노드들은 자신이 소스 노드에 게 패킷을 발송할 때 필요한 라우팅 정보를 테이블에 저장한다 (reverse path setup). RREQ 패킷을 수신한 목적 노드는 <dest sequence #> 필드 값이 자신이 가지고 있는 것보다 작을 경우에만 RREP (응답) 패킷을 소스에게 전송(unicast)한다. RREP 패킷을 수신하는 중간 노드에서는 목적 노드로의 루트를 테이블에 저장한다(forward path setup)

다. ABR[14]

ABR은 기존의 라우팅 알고리즘이 가장 짧은 경로를 찾는 것과는 달리 이동노드나 라우터가 움직일 수 있는 이동환경의 특징을 살려 연결이 오래 유지될 수 있는 longevity라는 요소를 도입하여 경로를 선택하는 라우팅 방법이다. 이러한 longevity는 이웃하는 이동 노드간에 associativity ticks을 관리하여 루트 선택 시 사용할 수 있도록 한다. associativity는 이동노드가 이웃 노드의 beacon을 수신하여 이를 계산하는 것에 의하여 측정 할 수 있으며, 이를 기반으로 한 이웃 노드들의 longevity 정보를 항상 관리한다. ABR에서의 루트 선택은 목적지에서 이루어지며, 높은 associativity tick을 갖는 것을 그 어떤 것 보다 우선하여 선택한다. ABR 프로토콜은 reactive 프로토콜로서 루트 찾기(discovery), 루트 재 설정, 그리고 루트 삭제 단계를 갖는다. 루트 찾기는 source가 destination으로 데이터를 보내고자 할 때 이루어지며, Broadcast Query(BQ), reply 메시지에 의하여 수행된다. 먼저 source에서 그 이웃에게로 BQ 메시지를 전송하고, 이때 BQ내에 associativity ticks 정보가 포함될 수 있도록

하고 중간 노드들에서는 그들의 정보를 추가하여 목적지까지 전송되도록 한다. 목적지에서는 여러 개의 BQ 메시지를 수신하게 되고 이들 중 tick 정보에 기반 하여 최적의 경로를 선택하여 reply하게 된다. 이렇게 만들어진 경로 중 한 노드라도 빠지게 되면 경로 재 설정이 필요하다. ABR에서는 경로 재 설정 시 과도한 제어 트래픽을 피하기 위하여 지능적으로 지역화(localize) 한다. 이 때 사용되는 메시지는 Localized Query(LQ), Route Notification (RN)이다. 경로 삭제는 source가 더 이상 정보를 송신할 필요가 없을 때 Route Delete(RD)메시지에 의하여 방송되어 일어난다. 이러한 ABR 프로토콜을 위하여 새로운 패킷 헤더와 라우팅 테이블 엔트리 가 정의되고, 아울러 이웃노드에 대한 테이블도 관리된다.

라. LAR(11)

LAR은 ad hoc 네트워크에서 처음으로 위치 정보를 활용하는 개념을 도입한 알고리즘이다. 위치 정보의 제공은 GPS(Global Positioning System)가 하는 것으로 가정하고 있다. 즉, 모든 노드들은 GPS와 교신할 수 있는 장비를 가지고 있어야 한다. GPS는 노드에게 물리적인 위치(좌표) 정보를 제공한다. LAR에서 정의하는 용어로는 Request Zone (RZ)과 Expected Zone(EZ)이 있다.

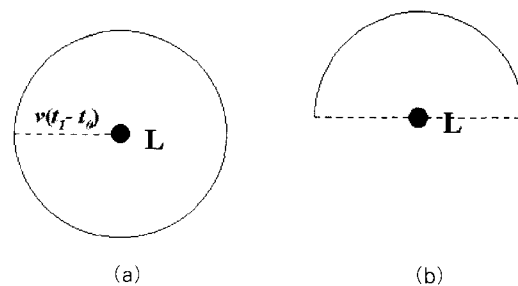
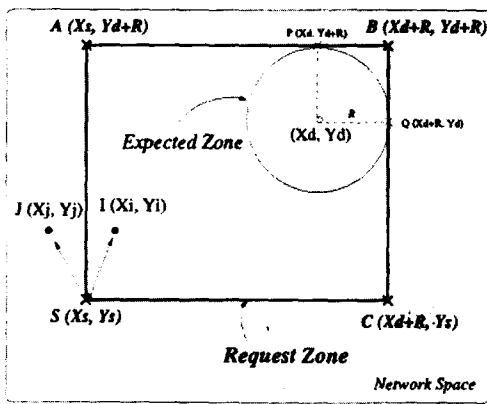
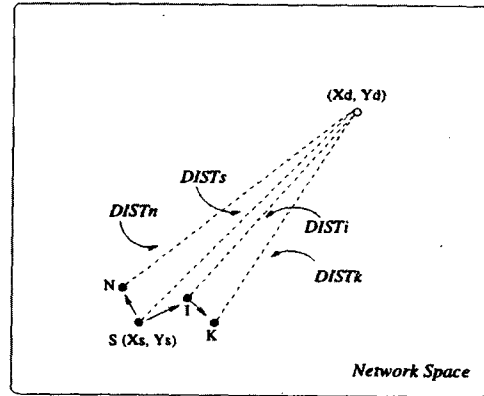


그림 3. LAR Expected Zone [11]

한 노드가 특정 시간 t_0 에 L이라는 위치에 있고 v 라는 속도로 움직이고 있었다고 가정할 때, 일정한 시간이 흐른 후 t_1 이라는 시간에 노드가 있는 곳은 그림 3(a)와 같이 예상할 수 있다. 이때 노드의 방향성까지 알고 있다면 그림 3 (b)와 같이 더욱 영역을 최소화 할 수 있을 것이다.



(a) Scheme 1



(b) Scheme 2

그림 5. LAR Schemes[11]

RZ은 EZ을 계산한 후 소스 노드가 라우팅 요구 패킷을 전송할 영역을 말한다. 그림 4와 같이 소스 노드 S와 EZ 사이에 있는 중간 노드의 위치에 따라 RZ는 달라질 수 있다. 이와 같이 LAR은 목적노드의 현재 위치를 추적하여 RZ의 범위를 축소할 수 있으므로, 라우팅을 위한 컨트롤 패킷이 흘러 다니는

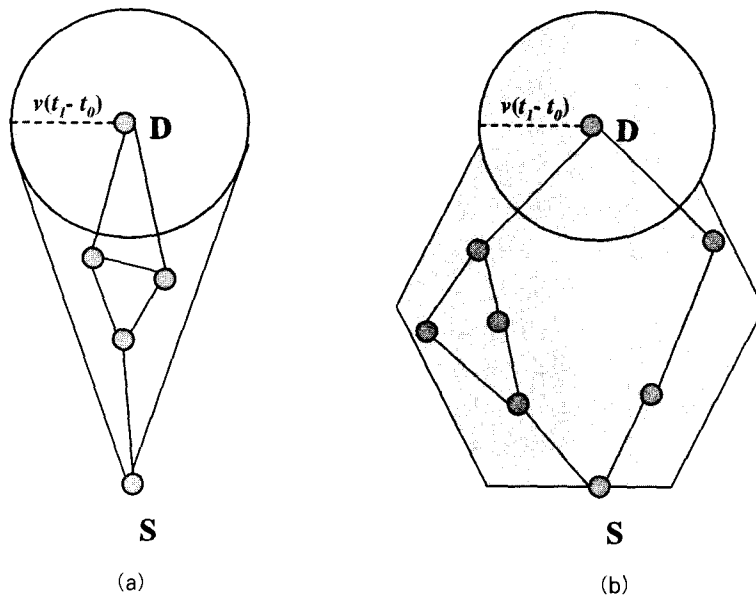


그림 4. LAR Requested Zone [11]

범위를 제한할 수 있다.

이를 위해 LAR에서는 그림 5와 같이 두 가지 Scheme을 제공하고 있다. 두 가지 Scheme 모두 목적노드의 EZ의 경계와 소스노드의 현재 위치를 꼭 지점으로 하는 사각형으로 RZ를 결정한다. Scheme 1의 경우, 소스 노드(S)는 목적노드와 자신의 좌표를 루트 요구 패킷에 포함하여 전송을 하고, 중간 노드들은 두 좌표를 통하여 RZ를 계산한 후 자신이 RZ의 영역에 포함되는지를 판단하여, 포함되면 패킷 Forwarding을 계속하고, 그렇지 않으면 Discard한다. 노드 I의 경우 전자에, 노드 J의 경우는 후자에 해당된다. Scheme 2의 경우 소스 노드는 이전에 알고 있던 목적 노드의 위치와 현재 자신의 위치와의 거리(DIST)를 계산하여 이 정보를 목적 노드의 좌표와 함께 루트 요구 패킷에 삽입하여 전송한다. 패킷을 수신한 노드들은 자신과 목적 노드의 거리를 계산하여 소스 노드가 보낸 거리 정보와 비교한다. 이때 적당한 threshold를 결정하여 그 범

위를 벗어날 경우 무시(discard)하고, 그렇지 않을 경우 전달(forwarding)한다. 예를 들어서, $DIST_n + threshold$ 이면 노드 N에서는 패킷을 무시하고, 그렇지 않으면 패킷을 계속 전달한다.

III. Ad Hoc MAC 기술

1. IEEE 802.x Activities

IEEE 802.X 작업 그룹 중에서 무선 관련 표준에 대해서 살펴보면, 802.11 wireless LAN[16], 802.15 wireless PAN[17], 802.16 broadband wireless access standard가 있다. 본 단원에서는 ad hoc망에서 사용 가능한 WLAN과 WPAN 기술에 대해 살펴본다.

IEEE 802.11 무선랜[16]은 지역 내에서 STA (Station)들에게 무선 연결성 제공 즉, 유선랜의 물

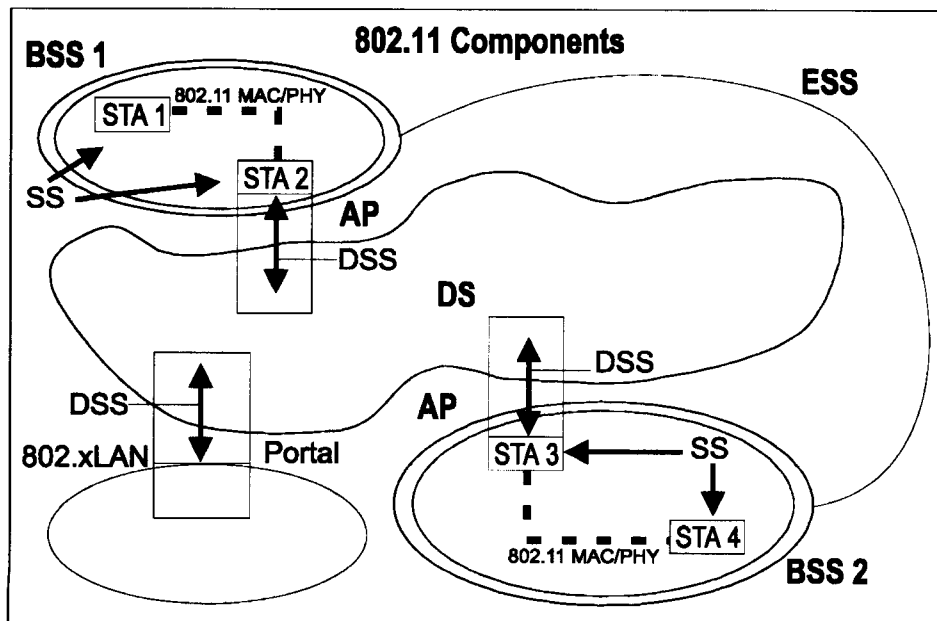


그림 6. IEEE 802.11 네트워크 구조

리매체를 무선으로 대체하는 것을 목적으로 한다. 무선랜의 구성요소는 그림 6과 같다. 각 STA들은 802.11 MAC과 PHY 기능을 가지며, 기본적인 BSS(Basic Service Set)를 구성한다. STA들로만 구성된 IBSS(Independent BSS)내에서 각 STA는 Ad-hoc 모드로 동작 가능하며 서로 직접 통신을 한다. DS(Distribution System)은 BSS들을 연결하기 위한 시스템으로 각 BSS는 AP(Access Point)를 통해 DS에 접속되며 서로 연결된다. BSS들과 DS는 ESS(Extended Service Set)를 구성하며, portal을 통해 802.11이 아닌 망과 연결가능 하다.

802.11은 단일 MAC으로 여러 PHY을 지원한다. 802.11 MAC에서는 기본적으로 CSMA/CA(Collision Avoidance) 기반의 비동기식의 데이터 전송 서비스와 stop-and-wait 방식의 에러 제어와 흐름 제어를 제공하며, 선택적으로 AP 상에 있는 PC(Point Coordinator)에 의해 제공되는 time bounded service를 제공한다. 보안 서비스로는 공유 키 방식의 인증 서비스와 WEP(Wired Equivalent Privacy) 기반의 기밀성 서비스를 제공한다. 또한, 관리 서비스로 전원 관리와 동일 ESS 내에서의 로밍을 위한 scanning 및 joining 서비스를 제공한다.

IEEE 802.15 WPAN(17)은 산업체 규격인 블루투스의 MAC/PHY을 IEEE에서 표준화한 802.15.1과 POS(Personal Operating Space) 즉, 반경 10m 내에서 20Mbps 이상의 전송률 제공을 목적으로 하는 802.15.3이 있다. WPAN은 piconet 단위로 구성되며 마스터로 동작하는 하나의 디바이스와 연관된 슬레이브로 동작하는 디바이스들로 구성된다. 마스터는 동기, 트래픽 전송을 위한 연결 설정/제어, 디바이스 정보 유지 등의 기능을 수행한다.

블루투스의 채널 구조는 타임 슬롯 형태로 나누어져 있으며, 액세스 제어를 위해 TDD(Time-

Division Duplex) 스킴이 사용된다. 마스터와 슬레이브간에는 동기식 연결형 링크 또는 비동기식 비연결형 링크가 설정될 수 있다.

802.15.3 에서는 PNC(Piconet Coordinator)가 마스터 역할을 수행하며, TDMA 방식의 액세스 제어 구간인 비경쟁 구간에서 스트림 기반의 데이터 서비스와 리피터 서비스를 제공한다. 또한, PNC는 새로운 디바이스로 핸드오버 가능하며 동적인 채널 선택 기능을 가지고 있다. 동일 채널 및 영역에서 하나이상의 piconet이 child piconet 또는 neighbor piconet을 형성할 수 있다.

2. Ad Hoc Wireless MAC Protocols

Ad Hoc 채널 접근에는 무선 채널의 특성상 hidden terminal 문제와 exposed terminal 문제가 발생할 수 있다. 본 절에서는 이를 해결하기 위해 제안된 여러 MAC 프로토콜들을 소개한다. [25]

가. MACA(Multiple Access with Collision Avoidance)

MACA는 RTS-CTS-Data 형태의 3-way handshake를 사용한다. 송신자는 채널을 예약하기 위하여 RTS(Request To Send)를 보내고, 이를 수신한 송신자 주변의 다른 노드들은 데이터를 송신할 수 없게 된다. 수신자는 전송을 허락하기 위하여 송신자에게 CTS(Clear To Send)를 보낸다. 이는 수신자 주변의 노드들이 데이터를 송신할 수 없도록 한다. CTS를 받은 송신자는 채널을 통해 데이터를 전송하게 된다. RTS와 CTS를 주고 받는 기간에는 경쟁 방식이므로 충돌이 발생할 수 있으나, 데이터는 경쟁 없이 전송이 가능해 진다.

나. MACA-BI(Multiple Access with Collision Avoidance By Invitation)

MACA-BI는 MACA와는 달리 RTR-Data 형태의 2-way handshake를 사용한다. 수신자가 주변의 노드들에게 RTR(Ready To Receive)를 보낸 후 이를 받은 노드들 중에서 전송할 데이터가 있는 노드가 Data를 수신자에게 전송하게 된다. 수신자는 송신자가 보낼 데이터가 있는지의 여부를 알 수 없으므로 bursty traffic의 경우에는 MACA에 비해 성능이 떨어지게 된다. 이런 단점을 극복하기 위하여 송신자의 버퍼가 어느 수준 이상 채워지는 경우와 같이 필요 시 송신자가 RTS를 보낼 수 있도록 확장된 방식을 이용하기도 한다.

다. PAMAS(Power-Aware Multi-Access Protocol with Signaling)

PAMAS[18]는 MACA에 기반을 두고 있으며, 독립된 신호 채널을 이용한다. RTS와 CTS는 신호 채널을 통해 전송되며, 노드가 데이터를 전송하거나 수신하지 않을 때는 전원을 절약하기 위하여 신호 채널만을 감시할 수 있다.

라. DBTMA(Dual Busy Tone Multiple Access)

DBTMA[19]는 PAMAS와 같이 독립된 신호 채널을 사용한다. RTS를 받은 수신자는 CTS를 보낸 후 동시에 데이터 전송이 완료될 때까지 신호 채널에 busy tone을 전송하며, 송신자는 수신자로부터 CTS를 받고 데이터 전송을 시작하면서 신호 채널에 busy tone을 전송한다. Busy tone을 받는 노드들은 데이터를 전송할 수 없다. 이 방식은 일반적인 RTS-CTS 방식 보다 성능이 우수한 것으로 알려져 있다.

마. MARCH(Media Access with Reduced Handshake)

MARCH[20]는 여러 hop을 거쳐 전달되는 통신에서 제어 정보를 줄여 성능을 향상하기 위한 방법으로 송신자와 첫번째 노드 사이에서는 RTS-CTS-Data 형태의 3-way handshake 방식을 사용하고, 그 이후에는 CTS-Data 형태의 2-way handshake 방식을 사용한다. 중간 노드들은 이전 노드에서 보내는 CTS 정보를 이용하여 자신에게 데이터가 전달될 것이라는 예측하고 RTS 없이 CTS를 보내 이전 노드가 자신에게 데이터를 보낼 수 있도록 한다. 즉, 송신자와 첫번째 노드 사이에서는 송신자 주도 방식을 사용하고 그 이후에는 수신자 주도 방식을 사용한다.

IV. IETF 동향

IETF MANET(Mobile Ad hoc Network) 워킹 그룹은 이동 ad hoc 네트워크에 대한 라우팅 프로토콜의 표준화를 위해 1997년 7월에 구성되었다. MANET은 라우터 기능을 포함한 다수의 이동 호스트들이 무선 링크를 통해 구성하는 자율적인 시스템으로 정의되며, 망 토폴로지의 동적인 변화, 전송 대역폭 및 전력상의 제약, 그리고 제한된 물리적 보안 등의 특징을 가진다.

MANET 워킹 그룹의 단기적인 목표는 도메인내(intra-domain) 유니캐스트 라우팅 프로토콜 및 네트워크 계층 상의 관련 지원 기술을 표준화하는 데에 있다. 여기에는 어드레싱, 보안, 그리고 상·하위 계층과의 정합 관련 문제들이 포함된다. 장기적인 목표로는 앞서 개발된 유니캐스트 라우팅에 기초하여 멀티캐스트, QoS와 같은 좀 더 진보된 형태의 이동성 서비스 제공 기술을 개발하는 데에 있다. 2002년 4월 현재 MANET 워킹 그룹으로부터 하나의 RFC

(RFC 2501 : Mobile Ad hoc Networking : Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations)가 작성 완료된 상태이며, 13 개의 워킹 그룹 드래프트가 개발 및 검토 중이다.

RFC 2501에서는 MANET의 기본 개념 및 MANET 라우팅 프로토콜의 성능 평가 기준에 대해서 기술하고 있다. 성능 평가의 정성적인(qualitative) 기준으로는 분산된 동작 체계, 라우팅 루프-방지, 요구-기반 동작 체계, proactive 동작 체계, 보안성 및 "sleep" 모드 지원 등이 있으며, 정량적인(quantitative) 기준으로는 단-대-단 데이터 전송률 및 지연, 루트 탐색 시간, 효율성, 그리고 비순차적으로 전달된 데이터의 비율 등이 있다. 이와 같은 기준에 의한 라우팅 프로토콜의 성능 평가는 네트워크 크기, 네트워크 연결성, 토폴로지 변화율, 링크 대역, 단방향 링크 비율, 트래픽 패턴, 이동성, 그리고 "sleep" 모드의 비율 및 천이 주기 등으로 정의되는 네트워크 컨텍스트 상태에서 이루어지는 것을 규정하고 있다.

현재 워킹 그룹 드래프트로 제안된 여러 라우팅 프로토콜 중에서 AODV 방식이 IESG에 RFC experimental 후보로서 제안된 상태로서, MANET 라우팅 프로토콜 중에서는 가장 먼저 RFC로 채택될 가능성을 가지고 있다.[21]

V. 결론 및 향후 연구 방향

본 논고에서는 MANET에 대한 주요 논점들 중 라우팅 프로토콜들과 MAC 계층에 대해서 중점적으로 기술하였다. MANET의 라우팅 프로토콜은 Proactive 프로토콜로서 DSR과 AODV에 대해서 기술하였고, longevity of path-aware 프로토콜로서 ABR, 그리고 location-aware 프로토콜로서 LAR에 대해서 기술하였다. 또한, MAC 프로토콜로

는 현재 표준화가 진행중인 IEEE 802.11 계열과 802.15 계열의 MAC에 대해서 비교해 보았고, ad hoc MAC으로서 제안된 다양한 프로토콜에 대해서 간략히 기술하였다.

Ad Hoc 기술이 현재 직면하고 있는 문제들은 물리계층에서의 주파수 대역 할당 문제부터 시작해서, 응용 계층의 killer application 개발 및 이동 네트워크 패러다임을 수용하는 프로그램 모델 제안 등등 많은 논점들이 편재되어 있으며, 이러한 문제들이 하나 하나 해결되어 갈 것으로 예상된다.

현재 이러한 ad hoc 통신 환경을 기반으로 진행되고 있는 미래형 컴퓨팅 환경 프로젝트로서 IBM의 Pervasive Computing[22], Motorola의 PIANO 프로젝트, UCB의 Smart Dust 센서 네트워크 프로젝트[23], 그리고 EPFL의 Terminodes 프로젝트[24] 등이 있으며, 이러한 연구가 완료되는 시점에는 실 생활 공간 어느 곳의 어느 장비라도 네트워킹 및 컴퓨팅이 가능한 시대가 도래할 것으로 예상되고, 이러한 기술들의 기반 구조로서 MANET 환경이 이용될 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] M. Naghshineh, "Editor's Note," IEEE P Communications, Feb., 2001.
- [2] P. Kermani and N.H.Vaidya, "Guest E Advances in Mobile Ad Hoc Network IEEE Personal Communications, Feb.
- [3] C.E.Perkins and P.Bhagwat, "Highly D Destination-sequenced Distance-Routing(DSDV) for Mobile Computers," Commun. Rev., Oct. 1994, pp.234-44.
- [4] A.S.Tannenbaum, Computer Networks Ch.5 The Network Layer, pp.339~478, Hall, 1996.
- [5] E.M.Royer and C.K.Toh, "A Review of

- Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks," IEEE Personal Communications, Apr. 1999.
- [6] S. Murthy and J.J.Gracia-Luna-Aceves, "A Routing Protocol for Packet Radio Networks." Proc. of ACM Mobile Computing and Networking, Nov. 1995.
- [7] D. B. Johnson, "Routing in Ad Hoc Networks of Mobile Hosts," Proc. of the IEEE Workshop on Mobile Computing Systems Applications, Dec. 1994.
- [8] C.E.Perkins and E.M.Royer, "A On-Demand Distance Vector Routing," Proc. of 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, Feb. 1999.
- [9] V.D.Park and M.S.Corson, "A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks," Proc. of INFOCOM Apr. 1997.
- [10] C.-C.Chiang, H.-K.Wu, W.Liu, and "Routing in Clustered Multihop, Wireless Networks with Fading Channels," Proc. of IEEE SICON '96, Apr. 1997, pp. 197-211.
- [11] Y.B. Ko and N.H.Vaidya, "Location-Routing(LAR) in Mobile Ad Hoc Networks," Proc. of the 4th Annual Int'l Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'98), Oct. 1998.
- [12] M.Joa-Ng and I-T.Lu, "A peer-to-zone-based two-level link state routing protocol for mobile ad hoc networks," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Aug. 1999.
- [13] W.-H.Liao, Y.-C.Tseng, and J.-P. "GRID: A Fully Location-Aware Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks," <http://citeseer.nj.nec.com/310846.html>
- [14] C.-K.Toh, "A Novel Distributed Routing Protocol To Support Ad-Hoc Mobile Computing," Proc. of 1996 IEEE 15th Annual Int'l. Phoenix Conf. on Computer and Communications, Mar. 1996, pp. 480-86.
- [15] C.-K.Toh, "Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad Hoc Networks," IEEE Communications Letters, Jun. 2001, pp.138 - 147.
- [16] "IEEE 802.11 Local and Metropolitan Area Networks: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer Specifications," ISO/IEC 8802- 11:1999
- [17] "Draft Standard for Part 15.3: Wireless Medium Access Control and Physical Layer Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks (WPAN)," IEEE P802.15.3/D0.8, Nov. 2001.
- [18] S. Singh and C.S.Raghavendra, "Power Aware Multi-Access Protocol Signaling for Ad hoc Networks," in Computer Communications Review, Jun. 1999.
- [19] Z.J.Haas and J.Deng, "Dual Busy Multiple Access(DBTMA) - Performance Results," Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference(WCNC), Sep. 1999.
- [20] C.-K.Toh, V.Vassiliou, G.Guichal, C.-H.Shih, "MARCH: A Medium Access Control Protocol for Multihop Wireless Ad Hoc Networks," Proc. of IEEE Mobile Communications, Oct. 2000.

- [21] IETF MANET WG, <http://www.org/html.charters/manet-charter.html>
- [22] IBM Corporation, "IBM Pervasive Computing Web Page," 2000. <http://ww-3.ibm.com/pvc>
- [23] V.S.Hsu, J.M.Kahn, and K.S.J. Pister, "Wireless Communications for Smart Dust," in UC Berkely Electronics Research Laboratory Memorandum M/98/2, Jan. 1998.
- [24] L.Blazevic, L.Buttyan, S.Capkun, S. J.P.Hubaux, and J.Y.Le Boudec, "Self-Organization in Mobile Ad Hoc Networks: the Approach of Terminodes," IEEE Communications Magazine, vol. 39, Jun. 2001.
- [25] C.-K.Toh, "Ad Hoc Mobile Wir Networks - Protocols and Systems," Prentice Hall PTR, 2001.



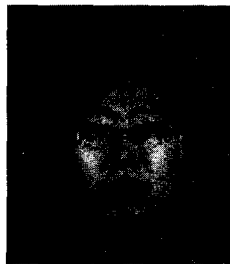
김 상 하

1980년 서울대학교 화학과 (학사), 1984년 U. of Houston 화학과(석사), 1989년 U. of Houston 전산학과(박사), 1989년 HNSX Supercomputers Inc. 자문위원, 1990년~1991년 시스템공학 연구소 선임연구원, 1992년~현재 충남대학교 컴퓨터 과학과 교수 <관심분야> 컴퓨터 네트워크, 이동통신, 분산 컴퓨팅



박 준 희

1995년 2월 충남대학교 컴퓨터과학과(학사), 1997년 2월 충남대학교 대학원 컴퓨터과학과(석사), 1997년 1월~1999년 7월 시스템공학연구소 네트워크컴퓨팅연구부 연구원, 1999년 8월~현재 한국전자통신연구원 정보가전연구부 선임연구원 <관심분야> 이동 Ad Hoc 네트워크, 홈 네트워크, 홈 네트워크 미들웨어



신 재 욱

1992년 2월 경북대학교 전자계산학과(학사), 1994년 2월 경북대학교 대학원 전자계산학과(석사), 1994년 3월~현재 한국전자통신연구원 이동 Ad- hoc 네트워크연구팀 선임연구원 <관심분야> 이동 Ad- hoc 네트워크, 이동통신프로토콜, 이동성관리



김 재 호

1999년 2월 충남대학교 컴퓨터과학과(학사), 2001년 2월 충남대학교 대학원 컴퓨터과학과(석사), 2000년 12월~현재 한국전자통신연구원 <관심분야> IP Mobility, Mobile Multicast, Mobile TCP, IP QoS, Wireless MAC