

# 요구 발생시 라우트 유지관리를 수행하는 향상된 TORA 알고리즘 제안

박준희\* 문경덕\* 김상하\*\*

\*한국전자통신연구원

\*\*충남대학교 컴퓨터학부

{juni,kdmoon}@etri.re.kr, shkim@cclab.cnu.ac.kr

## A Propose of an Advanced TORA for On-Demand Route Maintenance

Jun-Hee Park\* Kyoung-Deuk Moon\* Sang-Ha Kim\*

\*ETRI

\*\*Dept. of Computer Science, Chungnam National University

### 요 약

본 논문에서는 Ad Hoc 네트워크에서의 라우팅 알고리즘인 TORA의 라우팅 유지관리 방법에서 발생하는 비효율적인 컨트롤 패킷들을 줄이는 방법을 제안한다. Adv-TORA에서는 DN(Downstream)이 소멸되는 노드에서 STP(Stop) 패킷을 주변 노드에 발송하여 끊어진 경로로 데이터 패킷이 발송되는 것을 사전에 방지한다. 또, DN 소멸 노드의 주위에서 그래프의 재 구성 작업이 일어났던 TORA와는 상이하게, 단순히 지역적 라우트 경로를 초기화 시킴으로서 TORA의 컨트롤 패킷 부담을 줄인다. 또한, 통신에 참여하지 않는 노드들의 불필요한 라우트 정보 유지를 최소화하고, 라우트 요구 발생 시에만 라우트 재 구성 작업을 수행한다.

### 1. 서론

이동 단말의 라우팅에 대한 연구는 셀룰라 폰, PCS와 같은 단말의 전화망에서의 이동성 연구(Location Management), PDA, 랩탑(Laptop)등 인터넷에 직접 연결되는 단말에 대한 연구(Mobile IP), 그리고 블루투스(Bluetooth)와 같은 피코 셀(Pico Cell) 단위의 무선 통신 장비가 내장되는 가정 내 정보가전 및 야전의 군수 장비등과 같은 단말에 대한 연구(Ad Hoc Routing) 등으로 구분 할 수 있다. 특히, Ad Hoc 네트워크 분야는 블루투스와 인터넷 정보가전의 등장으로 그 수요가 급속히 확대되어 가고 있는 분야이다.

Ad Hoc 네트워크는 상기한 두 가지 무선 네트워크 환경과는 근본적으로 다른 특성을 가지고 있다 [1,2,3]. 첫째, 상호간의 연결성이 유달리 동적이다. 즉, 모든 노드가 이동성에 제약이 없기 때문에 망의 형상(Topology)이 항상 변화한다. 둘째, 네트워크의 초기화를 위한 어떠한 조치도 취해지지 않는다. 즉, 특별한 관리 노드(Base Station) 없이 네트워크가 자

체적으로 구성되고(Self-Organizing, Self-Configuring) 사라진다. 셋째, 이동 단말들은 다른 이동 단말들의 통신을 지원하기 위하여 라우터의 역할을 수행한다.

Ad Hoc 네트워크는 기존의 무선 네트워크 환경이 갖는 한계점들을 그대로 가지고 있다. 높은 파워 소모, 낮은 대역폭, 높은 오류율 등이 그것이다. 특히, 이동 단말들의 배터리 소모는 Ad Hoc 라우팅 프로토콜들에게도 가장 큰 이슈로 거론되고 있으며, 이를 위하여 망 구성 및 제어를 위한 신호 메시지, 즉 컨트롤 패킷들의 수를 줄이기 위한 방법들이 Ad Hoc 라우팅 프로토콜의 주요 목적이라 할 수 있다. 실제로 Ad Hoc 라우팅 프로토콜들의 성능은 라우트를 찾고, 유지하는 동안 발생하는 컨트롤 패킷의 수로서 평가한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2 장에서는 관련연구를 Proactive/Reactive의 관점에서 살펴보고, 3 장에서는 본 논문에서 거론 하는 알고리즘의 원형

모델인 TORA 에 대해서 간단하게 살펴본다. 4 장에서는 본 논문에서 제안하고 있는 향상된 TORA (Advanced TORA) 프로토콜에 대해서 설명한다. 5 장에서는 Adv-TORA 의 장단점을 기술하고, 마지막으로 6 장에서는 향후 진행 되어야 할 과제에 대해서 알아본다.

## 2. 관련 연구

1990 년대 초부터 개발되기 시작한 Ad Hoc 라우팅 프로토콜들은 크게 Proactive 와 Reactive[4], 또는 Table Driven 방식과 Source-Initiative 방식[3] 등으로 구분될 수 있다. “서비스 레벨의 요구에 의해 라우트 찾기가 수행되는가”의 물음에 대한 각 알고리즘들의 동작이 구분의 원리라 할 수 있다. 즉, On-Demand 라우트 생성 및 유지관리가 발생하는지 그렇지 않은지가 Ad Hoc 라우팅 프로토콜을 구분하는 주요 키라고 할 수 있다.

Table-Driven(Proactive) 프로토콜은 주기적으로(Periodically) 그리고 연속적으로(Continuously) 라우팅 정보를 교환하면서 라우팅 테이블을 미리 결정해 놓는 방법이다. 이 방법의 장점은 라우팅 요구에 대한 응답 시간이 적다는 것이다. 단점은 지속적인 라우팅 메시지의 전달이 많은 트래픽(Traffic)을 유발시키고, 대역폭을 낭비하며, 많은 전력 소모를 가져온다. DSDV[1], CGSR[5], WRP[6]등이 여기에 해당된다.

Source-Initiative(Reactive) 프로토콜은 라우트에 대한 요구가 발생할 경우에 라우트를 생성하기 위한 작업이 일어난다. 이 방법의 장점은 불필요한 라우팅 메시지를 최소화 하여 대역폭 낭비를 줄이고, 전력 소모를 최대한 감소시킬 수 있다는 것이다. 단점은 라우트 요구에 대한 응답시간이 크다는 것이다. DSR[2], AODV[7], TORA[8] 등이 여기에 해당된다.

## 3. TORA (Temporally Ordered Routing Algorithm)

TORA 는 Height 기반의 라우팅 알고리즘이다. 모든 노드는 자신의 Height 를 가지고 있으며 주변 노드의 Height 와 비교하여 링크의 상태를 결정할 수 있다. Height 는 세 자리의 레퍼런스 레벨( $r$ ,  $oid$ ,  $r$ )과 두 자리의 델타( $\delta$ ,  $i$ ), 총 5 개의 쌍으로 구성된다. TORA 에서는 QRY(Query), UPD(Update), CLR(Clear)의 세 가지 패킷을 주고 받으며, 라우트 생성-유지 관리-제거의 세 가지 절차를 통해서 라우트를 생성 관리 한다. 각 노드에서 관리하는 자료구조는 주변노드의 Height, 주변노드와의 링크 상태(Upstream(UP), Downstream(DN), Undirected(UN)), 라우트 요청 플래그(RR) 등이다.

라우트에 대한 정보가 전혀 없는 상황에서 한 노드(node A)가 다른 한 노드(node Z)에게로 메시지 전송을 원하는 경우, A 는 QRY 패킷을 발송하여 Z 로 가는 길을 찾는다. 이때, 모든 노드의 Height 는 NULL = (-, -, -, node id) 이다. 단, 노드 Z 의 Height 는 ZERO = (0, 0, 0, 0, Z)가 된다. ZERO 는 가장 낮은 Height 이고, NULL 은 가장 높은 Height 로 정의되고 있다. 이

러한 초기화 상태에서 QRY 패킷을 받는 중간 노드들은 정의된 절차[8]를 따라 동작을 하여, QRY 패킷 혹은 UPD 패킷을 발송하여 라우트를 생성한다.

TORA 에서 강조하는 가장 큰 장점은 라우트의 효율적인 관리 방법이다. 우선, 목적지에 대한 다중 경로를 제공하기 때문에 하나의 링크에 오류가 발생되어도 다른 경로가 있을 경우 컨트롤 패킷 교환 없이 라우트가 유지 된다. 만일 링크의 고장으로 인해 연결된 노드(node N)가 Downstream 이 없어질 경우에는 정의된 TORA 의 라우트 유지 관리 절차[8]에 의해서 부분적으로(Locally) DAG 의 재 구성(Reconstruction) 작업이 일어난다.

링크의 절단으로 그래프의 분리 현상이 일어날 경우에는, 목적 노드가 포함되어 있지 않은 그래프에 속한 노드들의 라우팅 정보는 모두 제거되어야 한다. 이 과정은 라우트 제거 절차[8]를 통해서 이루어진다.

## 4. 향상된 TORA 프로토콜

TORA 에서는 한 노드의 Query 가 발생하면 QRY 패킷이 도달하는 반경내의 모든 노드들은 목적지(node Z)에 대한 동일한 DAG 를 갖는 효과가 발생 된다. 즉, 한 노드의 요구에 의해서 모든 노드들의 목적지에 대한 경로를 알 수 있게 된다. 이러한 장점들은 오히려 유지 관리 시에 단점으로 작용하게 된다. 즉, 모든 노드가 라우트를 요구하고 있지는 않은 상황임에도 불구하고 라우트 정보를 지속적으로 유지 관리해야 하는 부담이 발생하는 것이다. 실제로 통신에 참여하고 있지 않은 중간 노드들도 라우트의 절단이 일어난다면 많은 UPD 패킷들을 주고 받으며 DAG 의 재 구성 작업에 참여하게 된다. 본 논문에서는 TORA 의 이러한 문제점들을 수정한 Adv-TORA 를 제안한다.

Adv-TORA 의 기본 아이디어는 라우트 유지 관리를 하지 않는 것이다. 즉, 한 노드에서 링크 절단에 의해서 Downstream 이 없어진 경우에, TORA 와 같이 UPD 를 주고 받으며 DAG 의 재 구성을 시도하지 않고, 단순히 STP(STOP) 패킷을 발송하여 주변 노드들에게 자신에게 더 이상 패킷을 날리지 않도록 알려주기만 하는 간단한 동작만을 한다. STP 패킷에 의해서 Downstream 이 없어지는 노드들도 똑 같은 동작을 행한다.

Adv-TORA 는 TORA 의 유지 관리 작업을 모두 생략하기 때문에 TORA 의 Height 인자를 대폭 축소할 수 있다. 즉, 유지 관리를 위해서 사용되던 레퍼런스 부분이 사라진다. 결국 Adv-TORA 의 Height 는 델타( $\delta$ ,  $i$ ) 부분만 남게 된다.

Adv-TORA 는 TORA 와 같은 라우트 생성 절차를 거친다.

Adv-TORA 의 라우트 유지 관리 절차는 다음과 같다. 링크 절단에 의해서 노드 D 가 DN(Downstream)이 없어진 경우([그림 1](b))에 노드 D 는 주변 노드에게 STP 패킷을 발송하고, 주변 노드와의 링크 상태를 UN(Undirected)상태로 세팅한다([그림 1](c)). D 로부터 STP 패킷을 받은 B 는 자신이 가지고 있는 주변

노드와의 링크 정보 중 D-B 링크 정보를 D와 같이 UN으로 세팅한다. D와의 링크가 소멸되었지만 B는 A,E와의 링크 상태가 DN이므로 아직 DN이 남아 있는 상태이다. 그러므로, 아무런 패킷 발송을 하지 않는다. 반면, D로부터 STP를 수신한 A는 B와 같이 A-D 링크의 상태를 UN으로 세팅한다. 이때, A는 A-D DN 링크의 소멸로 인하여 DN 링크가 하나도 남지 않게 된다. A는 자신이 더 이상 F를 목적 노드로 하는 패킷을 전송할 수 없음을 알고, UP 링크들의 상태를 UN으로 바꾸고 주변 노드들에게 STP 패킷을 발송한다([그림 1](d)). A로부터 STP 패킷을 수신하는 노드는 C, B, D 등이다. C는 C-A 링크의 상태를 UN으로 변경하고, 자신에게 다른 하나의 DN 링크가 남아 있음을 검증한 후 동작을 마친다. B도 B-A의 링크 상태를 UN으로 변경하고, B-E 링크의 상태가 DN임을 확인한 후 동작을 멈춘다. D는 STP 패킷을 받는 링크의 상태가 이미 UN 링크임을 확인하고 아무런 동작도 취하지 않는다.

이와 같은 라우트 유지 관리 절차는 라우트 제거 절차를 자동적으로 실행해 주는 효과가 발생한다. 즉, 기존의 TORA 알고리즘을 적용할 경우 DAG의 재구성 작업 후 B-E 링크와 A-C 링크의 절단이 발생하면 A,B,D 노드 간에 UPD 패킷 및 CLR 패킷을 주고 받았던 것에 반해, 아무런 패킷 교환 없이 자동적으로 노드들이 라우트 경로에서 제거 된다.

### 5. 분석 및 기대 효과

Adv-TORA는 라우트 유지 관리 비용을 최소화 하는데 초점을 맞춘 프로토콜이다. Ad Hoc 네트워크를 구성하는 단말들에게 요구되는 가장 큰 사안은 전력소모의 최소화이다. 이것은 더 작은 패킷을 이용해서 라우팅을 가능케 하는 기술을 필요로 하고, 늦은 응답 시간의 부담에도 불구하고 On-Demand 라우팅 알고리즘이 Proactive 라우팅 알고리즘보다 인정 받는 이유가 된다.

TORA는 처음 한 번만 Reactive 동작을 하고, 나머지는 Proactive한 동작을 하는 라우팅 알고리즘이다. Adv-TORA는 TORA의 Proactive한 부분을 Reactive하게 변형한 알고리즘이다. 이 과정에서 TORA에서 가지고 있는 라우트 제거 절차는 소멸되고 유지 관리를 위한 복잡한 절차도 STP 패킷 전송의 한 동작으로 축소된다.

Adv-TORA는 TORA에서 불필요하게 일어났던 그래프 재구성 동작을 제거하였다. 통신에 참여 하지 않으면서도 항상 라우팅 정보를 가지고 있어야 했던 단점을 보완하여 컨트롤 패킷의 수를 크게 줄일 것으로 기대된다.

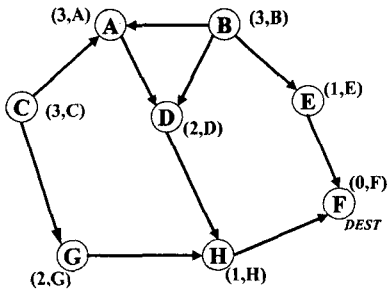
### 6. 향후 과제

본 논문에서는 Ad Hoc 네트워크의 주요 라우팅 알고리즘 중 하나인 TORA에 대해 알아보고, TORA를 개선한 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 알고리즘의 동기는 라우트 유지 관리를 On-Demand로 처리하겠다는 것이었고, 결국 아무런 라우트 유지 관리

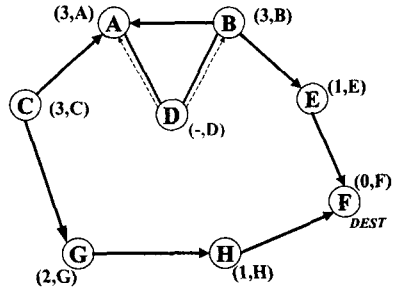
동작을 하지 않는 것이 가장 좋은 유지 관리 방법이 될 수 있다는 것을 제안하였다.

### 7. 참고 문헌

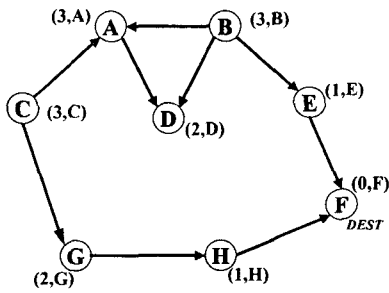
- [1] C.E.Perkins and P.Bhagwat, "Highly Dynamic Destination-Sequenced Distance-Vector Routing(DSDV) for Mobile Computers," *Comp. Commun. Rev.*, Oct. 1994, pp. 234-44.
- [2] D.A.Maltz, J.Broch, J.Jetcheva, and D.B.Johnson, "The Effects of On-Demand Behavior in Routing Protocols for Multi-Hop Wireless Ad Hoc Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications Special Issue on Mobile and Wireless Networks*. Aug. 1999.
- [3] E.M.Royer and C.K.Toh, "A Review of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks," *IEEE Personal Communications*, Apr. 1999.
- [4] M. R. Pearlman and Z.J. Haas, "Determining the Optimal Configuration for the Zone Routing Protocol," *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Aug. 1999
- [5] C.-C.Chiang, H.-K.Wu, W.Liu, and M.Gerla, "Routing in Clustered Multihop, Mobile Wireless Networks with Fading Channel," *Proc. IEEE SICON '96*, Apr. 1996, pp. 197-211.
- [6] S. Murthy and J.J. Garcia-Luna-Aceves, "An Efficient Routing Protocol for Wireless Networks," *ACM Mobile Networks and Applications Journal*, Special issue on Routing in Mobile Communication Networks, 1996
- [7] C.E.Perkins and E.M.Royer, "Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing," *Proceedings of 2<sup>nd</sup> IEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, Feb. 1999.
- [8] V.D.Park and M.S.Corson, "A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks," *In Proceeding of INFOCOM'97*, Apr. 1997.



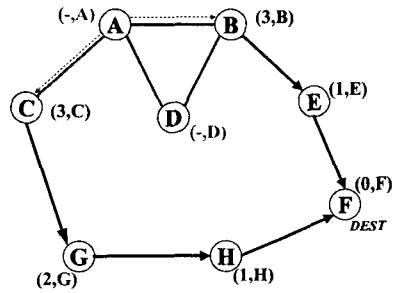
(a) 목적 노드가 F인 Original DAG



(c) DN이 없어진 D의 동작



(b) D-H 링크의 절단 □ D의 DN이 없어짐



(d) D의 STP에 의해 DN이 없어진 A의 동작

[그림 1] Adv-TORA의 라우트 유지 관리 절차