

이동 Ad-hoc 네트워크 환경에서의 적응형 네트워크 토폴로지 구성

김명일^o 신수미
한국과학기술정보연구원
{mikim^o, sumi}@kisti.re.kr

Adaptive Network Topology Configuration in Mobile Ad-hoc Networks

Myungil Kim^o Sumi Shin
Korea Institute of Science and Technology Information (KISTI)

요 약

이동 Ad-hoc 네트워크(MANET) 환경은 기존의 서버/클라이언트 구조인 유선 네트워크와 달리 이동 노드만으로 구성된 네트워크로서, 노드들의 이동이 빈번하게 발생하는 매우 동적인 특성을 가지고 있다. 따라서 서버의 도움 없이 노드들 스스로 네트워크 토폴로지를 효과적으로 구성하고 이를 적절히 유지하는 기법이 요구된다. 본 논문에서는 메모리, 프로세싱, 배터리와 같은 노드 정보와 가용 대역폭, 서비스중인 노드의 수와 같은 네트워크 정보를 이용하여 적응적으로 네트워크 토폴로지를 구성하는 기법을 제시한다. 이 기법은 새로운 노드의 네트워크 참여 여부를 결정하는 토폴로지 디스커버리와 기존 노드의 탈퇴 및 위치 이동 등과 같은 상황에 적응적으로 대처하는 토폴로지 유지 기법으로 구성된다. 또한 기간망에 연결되지 않는 독립 Ad-hoc 네트워크와 기간망에 연결되는 통합 Ad-hoc 네트워크 간의 빠른 전환을 위한 네트워크 설정 자가 구성기법을 제시한다.

1. 서 론

MANET(Mobile Ad-hoc Networks)은 이동 노드들이 동적으로 임의의 네트워크 토폴로지(topology)를 자가 구성(self-organizing)할 수 있는 네트워크 시스템을 의미하는 것으로, 최근에 그 중요성이 부각되어 IETF(Internet Engineering Task Force)의 MANET 워킹 그룹에서 연구가 활발히 진행중이다[1]. 1970년대에서 1980년대의 MANET에 대한 연구는 주로 통신 인프라가 구축되어 있지 않은 전장에서 이동 노드끼리의 통신을 가능하도록 하기 위한 군사적 목적을 위해 수행되었으나, 1990년대 들어서는 소형 정보 단말기의 생산 및 수요의 증가나 무선 통신 기술 등의 발전에 힘입어 상업적인 분야에서 연구가 활발히 진행중이다.

MANET 환경은 노드들의 움직임에 따라 토폴로지가 동적으로 변화하는 특성을 가지므로 기존의 유선 라우팅 프로토콜을 적용하기 매우 어렵다. 이러한 이유로 MANET과 관련된 연구는 주로 라우팅 프로토콜 자체에 대한 연구가 주를 이루고 있으나, 네트워크 토폴로지를 효과적으로 구성하고 이를 적절히 유지하는 기법에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 본 논문에서는 MANET 환경에 최적화된 적응형 네트워크 토폴로지 구성 기법을 설계하고 이를 효과적으로 유지할 수 있는 기법을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 MANET 환경에서 네트워크 토폴로지 구성을 위한 기존의 기법들을 소개하고, 3장에서는 본 논문에서 제시하는 적응형 네트워크 토폴로지 구성 및 유지 기법을 제시한다. 마지막으로 4장에서는 결론과 향후 연구방향에 대해 논의한다.

2. 관련연구

Ad-hoc 네트워크는 그림 1과 같이 크게 기간망과의 연동 없이 피어간(peer-to-peer) 통신을 수행하는 독립(isolated) Ad-hoc 네트워크(그림 1-a)와 기존에 구축되어 있는 기간망에 연결되는 통합(integrated) Ad-hoc 네트워크(그림 1-b)로 구분될 수 있다. 독립 Ad-hoc 네트워크는 인프라에 직접 연결되지 않기 때문에 네트워크 토폴로지의 구성을 제어하는 것이 기간망에 직접 연결되는 통합 Ad-hoc 네트워크에 비해 상대적으로 어렵다.

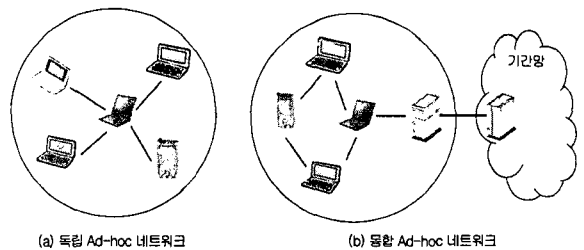


그림 1 이동 Ad-hoc 네트워크의 형태

이동 노드들만으로 구성된 독립 Ad-hoc 네트워크에서는 클라이언트/서버 환경과 달리 서비스를 제공하는 서버가 따로 존재하지 않기 때문에 노드들이 가지고 있는 자원을 최대한 공유할 수 있는 방법이 제공되어야 한다. 그러나 MANET 환경은 노드의 이동성으로 인해 네트워크 토폴로지가 빈번하게 변화하게 되어 다음과 같은 문제점을 야기한다.

▶ 새로운 이동 노드의 네트워크 연결 및 기존 이동

노드의 네트워크 단절(disconnection)은 네트워크의 안정성을 떨어뜨린다.

- ▶ 노드들 사이에 공유된 데이터의 일관성을 유지하기 어렵다.
- ▶ 데이터를 전송중인 노드 네트워크 단절은 데이터 전송의 신뢰성을 떨어뜨린다.

이러한 문제를 해결하기 위해서는 네트워크 토폴로지를 신뢰성 있고 신속하게 구성하는 것이 중요하다.

이동 에이전트 기술을 이용한 Ad-hoc 네트워크에서의 토폴로지 구성기법[2]은 이동 노드에 설치된 고정 에이전트와 노드와 노드 사이를 자유롭게 이동하는 이동 에이전트를 이용한다. 이동 에이전트는 각 노드의 메모리 용량, 네트워크 성능, 프로세싱 능력 등의 정보를 수집하여 고정 에이전트에 전달하고, 고정 에이전트는 이러한 정보를 이용하여 네트워크 토폴로지를 디스커버리(discovery) 하거나 재구성한다. 이 기법은 다양한 정보를 활용하여 최적의 토폴로지를 구성한다는 장점이 있지만, 많은 정보를 계산하는데 따른 시간지연으로 인해 신속한 토폴로지 구성이 어렵다는 단점이 있다. 또한 전체적인 시스템 성능이 이동 에이전트의 성능에 영향을 많이 받는다.

적응형 링 토폴로지[3]는 그림 2와 같이 지리적으로 가까운 위치에 있는 이동 노드들을 Ward라는 그룹으로 구성하고 통신을 수행한다. Ward 내의 이동 노드간 통신은 일반적인 링 토폴로지를 따르며, Ward와 Ward 간의 통신은 각 Ward에 하나씩 존재하는 Ward 마스터를 통하여 링 형태의 통신을 수행한다. 이 기법은 새로운 노드가 한 Ward에 진입하면 새로운 노드와 기존의 노드간의 메시지 교환을 통해 새로운 링을 구성한다. 또한 노드의 이동성을 Ward 내 이동(intra-ward mobility)과 Ward 간 이동(inter-ward mobility)으로 분리하여 융통성 있는 이동성 관리 기법을 적용한다. 그러나 이 기법은 Ward 마스터에 문제가 발생할 경우 Ward 간 통신이 되지 않는다는 점과 Ward 마스터를 새로 선출하는데 따른 지연이 발생한다는 문제점이 있다. 또한 링 형태의 토폴로지 구성의 특성상 확장이 용이하지 않다는 문제점이 있다.

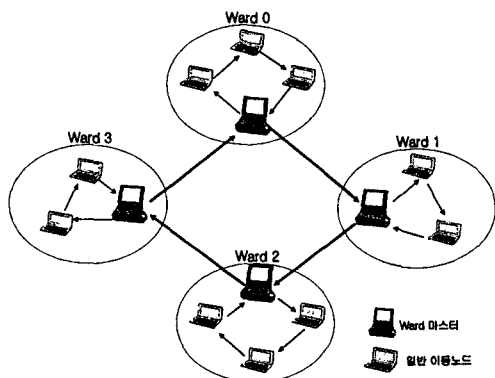


그림 2 적응형 링 토폴로지 구성

이 밖에도 이동 노드의 위치 정보를 기반으로 하는 계층적 구성 기법[4], 노드간의 클러스터링을 이용하는 기법[5] 등이 있다.

3. 적응형 네트워크 토폴로지 구성 기법

본 논문에서 제시하는 적응형 토폴로지 구성을 위한 MANET 시스템의 구성요소는 다음과 같다.

- ▶ MONC(MOBile Nodes Cluster) : 하나의 작은 네트워크 서비스 단위로써 헤드노드와 백업노드를 각각 하나씩 가지고 있으며, 다수의 일반노드로 구성되어 있다. MONC 내에서의 노드들은 자유롭게 통신을 수행할 수 있다.
- ▶ 헤드노드(head node) : MONC의 대표 노드로서 새로운 노드의 진입, 기존 노드의 탈퇴 등을 결정하고, MONC내 이동노드들의 정보를 유지한다. 타 노드에 비해 높은 프로세싱 능력과 메모리 용량을 가진다. 이웃하는 MONC와의 통신 통로가 된다.
- ▶ 백업노드(backup node) : 헤드노드에 문제가 발생한 경우에 헤드노드를 대신하는 노드로서, 헤드노드의 모든 정보를 저장하고 있다. 헤드노드는 일반노드 중에서 성능이 가장 좋은 노드를 선택하여 결정한다.
- ▶ 일반노드(normal node) : MONC에서 네트워크 서비스를 이용하는 이동노드로서, 헤드노드나 백업노드에 비해 상대적으로 프로세싱 능력이 떨어진다.

3.1 토폴로지 디스커버리 (topology discovery)

이동노드가 네트워크 서비스를 이용하기 위해서는 기존에 구성된 MONC에 참여해야 하는데, 이렇게 노드가 네트워크 작업을 수행하기 위해 자신의 위치 정보를 기반으로 높은 성능의 네트워크 서비스를 받을 수 있는 MONC를 찾는 과정을 토폴로지 디스커버리라고 한다. 이동노드는 기존에 운영되고 있는 MONC에 참여하여 네트워크 작업을 수행하기 위해 자신의 위치 정보를 기반으로 최고 성능의 네트워크 서비스를 받을 수 있는 MONC를 디스커버리해야 한다.

우선, 이동노드는 자신의 정보(위치, 가용 메모리 및 프로세싱 파워, 가용 배터리 양)를 주변의 노드들에게 브로드캐스트 방식으로 전송한다(디스커버리 메시지). 이러한 정보를 수신한 주변노드는 자신이 속해 있는 MONC의 헤드노드에게 이 정보를 전달한다. 헤드노드는 새로운 이동노드로부터 수신한 정보를 기반으로 하여 이 이동노드가 자신의 MONC에 참여함으로써 발생할 수 있는 영향(네트워크 대역폭 부족, 제어 메시지 증가 등)을 계산한다. 만일 새로운 이동노드의 조건이 MONC의 수락 임계치를 만족하면 해당 노드를 수락하고(수락 메시지 전송), 그렇지 않을 경우에는 거절한다(거절 메시지 전송). 즉, 기존 토폴로지에 미치는 영향을 최소화하고, 이동노드 자신은 최고 성능의 네트워크 서비스를 받을 수

있도록 한다. 수락 메시지를 받은 이동노드는 헤드노드에 즉시 확인 메시지를 전송하여 MONC에 참여하게 되며, 그 이후에 수신되는 타 MONC의 수락 메시지는 무시한다. 일정 시간이 지난후에 거절 메시지만을 받았거나, 어떤 메시지도 수신하지 못한 이동노드는 다시 디tm 커버리 메시지를 브로드캐스트한다.

헤드노드는 일정 주기로 새로운 이동노드 수락을 위한 MONC의 수락 임계치를 재계산한다. 즉, MONC 내 일반노드의 숫자가 적거나 가용 대역폭이 많은 경우에는 임계치를 낮춰 새로운 이동노드가 쉽게 MONC에 참여할 수 있도록 한다.

3.2 토폴로지 유지 (topology maintenance)

새로운 노드의 추가 및 일반노드의 탈퇴, 일반노드의 위치이동 등과 같이 동적인 MANET 환경에서 신속한 토폴로지 구성 및 변경을 위한 기법이 요구된다. 즉, 구성된 네트워크 토폴로지를 안정적으로 운영하기 위해서는 토폴로지를 구성하고 있는 이동 노드들의 상태를 정확하고 신속하게 파악하는 것이 중요하다. 헤드노드는 일반 노드들의 남은 전원 용량, MONC 내에서의 지리적 위치 등과 같은 이동 노드의 정보와 제공할 수 있는 무선 대역폭, 네트워크 혼잡도 및 지연 시간 등과 같은 무선 네트워크의 상태 정보를 수집하여 특정 노드가 토폴로지에서 단절되는 것을 예측하고 대처할 수 있어야 한다. 이를 위해서는 다음과 같은 기법이 필요하다.

- ▶ 이동노드 및 무선 네트워크 자원 정보 수집
- ▶ 이동노드의 단절 가능성 예측 및 단절 가능성에 높은 노드에 대한 점진적(graceful) 자원 회수
- ▶ 예측을 벗어나 단절된 이동노드 디스커버리

위와 같은 기능은 신속성과 정확성이 매우 중요한데, 이를 위해서 노드 사이를 이동할 수 있는 일종의 소프트웨어 프로그램인 자율형 이동 에이전트(autonomous mobile agent)를 활용한다. 자율성을 가진 이동 에이전트는 해당노드가 네트워크에 연결되지 않은 경우에도 이웃 네트워크를 이동 하면서 여러 가지 기능을 수행할 수 있다.

3.3 네트워크 설정 자가 구성 (self-configuration)

기간망에 연결되지 않는 독립 Ad-hoc 네트워크와 기간망에 연결되는 통합 Ad-hoc 네트워크 간의 빠른 전환을 위해서는 네트워크 설정 자가 구성기법이 요구된다. 네트워크 인프라에 연결되지 않는 독립 Ad-hoc 네트워크와 달리 네트워크 인프라에 연결되는 통합 Ad-hoc 네트워크는 인터넷과 같은 기존의 유선 망 서비스를 이용할 수 있다. 이를 위해서는 IP 주소, DNS 서비스, 서비스 탐색 등과 같은 IP 네트워크에 필수적인 정보를 설정해야 한다. 이와 같이 IP 네트워킹에 필요한 설정이 사용자나 관리자의 제어 없이 자동으로 수행되도록 하는 자동 네트워킹 기술이 필요하다.

네트워크 토폴로지가 동적으로 변화하는 Ad-hoc 네트워크에서 기존의 DNS 서버를 통해 DNS 서비스를 제공하는 것은 매우 어렵다. 따라서, 네트워크 관리자의 도

움 없이 DNS 서비스를 제공할 수 있는 네이밍 기법과 인터넷에서 제공되는 서비스의 위치를 탐색할 수 있는 기능이 필요하다. MNR(Multicast Name Resolution)[6]과 IETF의 SLP(Service Location Protocol)[7]와 같은 기존의 기법들은 유선 네트워크를 위해 설계되어 있으며, 교환되는 제어 메시지의 양이 많아 MANET 환경에 적합하지 않다. 본 논문에서는 헤드노드가 모든 일반노드의 정보를 제어하므로 네트워크 설정 및 서비스 위치 탐색은 헤드노드를 통해 이루어진다. 따라서 교환되는 제어 메시지를 최소화함으로써 신속한 네트워크 설정 자가 구성이 가능하다.

4. 결 론

본 논문에서는 노드들의 이동이 빈번하여 네트워크 토폴로지의 구성이 어려운 MANET 환경에서 각 이동노드의 정보와 무선 네트워크 정보를 적절히 활용하는 적응형 토폴로지 구성 및 유지 기법을 설계하였다. 또한 기간망에 연결되지 않는 독립 Ad-hoc 네트워크와 기간망에 연결되는 통합 Ad-hoc 네트워크 간의 빠른 전환을 위해서는 네트워크 설정 자가 구성기법을 제시하였다. 향후에는 이러한 기법들의 성능 검증을 위해 각 기능을 수학적으로 모델링하고 테스트베드를 구축하여 그 성능을 검증해야 할 것이다.

참고문헌

- [1] IETF Mobile Ad-Hoc Networks (MANET) Working Group [On-line]. Available: <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
- [2] N. Migas, W.J. Buchana and K.A. McArtney, "Mobile Agents for Routing, Topology Discovery, and Automatic Network Reconfiguration in Ad-Hoc Networks," *The 10th IEEE International Conference on Engineering of Computer-Based Systems*, pp.200-206, 2003.
- [3] David H. Ratner, "Roam: A Scalable Replication System for Mobile and Distributed Computing," Technical Report UCLA-CSD-970044, 1998.
- [4] J. Sucec and I. Marsic, "Location Management for Hierarchically Organized Mobile Ad-Hoc Networks," *IEEE Conference on Wireless Communications and Networking*, Vol.2, pp.603-607, 2002.
- [5] S. Norita, M. Itoh and A. Kajiwara, "Ad-hoc Radio Network of Cluster Architecture with Backup Node," *The 11th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Vol.2, pp.757-761, 2000.
- [6] 정재훈, 박정수, 김형준, "Unmanaged Network에서의 DNS 서비스와 서비스 탐색을 위한 Multicast Name Resolution의 설계 및 구현," *Joint Conference on Communications and Informations 2003*, 2003.
- [7] J. Veizades, et al., "Service Location Protocol", RFC2165, 1997.