
무선 분산 시스템을 이용한 멀티 인터페이스 무선 메쉬 네트워크 테스트베드

윤미경* · 양승철* · 김종덕*

Multi-interface Wireless Mesh Network Testbed
using Wireless Distribution System

Mi-kyung Yoon* · Seung-chur Yang* · Jong-deok Kim*

이 논문은 2009년 교육과학기술부로부터 연구비를 지원받았음
(지역거점연구단육성사업/차세대물류IT기술연구사업단)

요 약

무선 메쉬 네트워크는 네트워크 구성의 용이성과 비용적인 장점으로 각광받고 있는 무선 백본 네트워크 기술이다. 최근 상용화된 제품이 출시되고 있지만, 대부분의 기존 연구 기술은 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하였다. 본 논문에서는 실제 상황을 고려하여 무선 메쉬 네트워크 테스트베드를 구축하였다. 본 테스트 베드는 무선 분산 시스템(Wireless Distribution System)과 브릿지를 응용하여 멀티채널 멀티 인터페이스와 동적인 위치기반 라우팅 프로토콜을 지원한다. 위치기반 라우팅 프로토콜은 링크 채널 변화와 물리적 거리를 고려한 메트릭을 이용하여 무선 간섭에 강하게 설계하였다. 그리고 메쉬 클라이언트들은 중앙 집중 주소 관리 서버를 통해 주소를 할당 받아 통신하며, 간이 망 네트워크 관리 프로토콜을 통해 망을 관리하도록 설계 및 구현하였다.

ABSTRACT

Wireless Mesh Network(WMN) is wireless backbone networks technique which has ease of network configuration and cost of advantage. Recently, WNM released a new product, but most of existing research and technology analysis the performance through the simulation. This paper build the wireless mesh network testbed for actual situation. Testbed supports multi-channel multi-interface using bridge, the Wireless Distribution System and dynamic location-based routing protocol. This routing protocol strongly design against wireless interference using metric for link channel change and real distance. Then, the address of mesh clients assigned by the centralized address management server. Mesh clients is designed and implemented to manage network through Simple Network Management Protocol.

키워드

Wireless Mesh Network, Wireless Distribution System, Bridge, Routing, Testbed

I. 서 론

이동 단말이 주로 사용하게 되는 유선망 기반의 무선 랜 서비스는 넓은 범위의 서비스 지원을 위한 네트워크 확장의 어려움이 존재한다. 이를 해결하기 위해 최근 많은 연구가 되고 있는 기술이 무선 메쉬 네트워크이다. 무선 메쉬 네트워크는 적은 비용으로 구축이 용이하여 이동 단말에 넓은 범위의 지속적인 서비스가 가능하다.

무선 메쉬 네트워크는 MANET(Mobile Ad-hoc Network)과 달리 실용성에 초점이 맞추어져 있는 기술이다. 최근 무선 메쉬 네트워크 관련 많은 연구가 진행되고 있는데, 대부분의 연구들이 메쉬 네트워크를 직접 구현하기 보다는 시뮬레이션을 통한 성능을 분석하는 것이 대부분이다. 그리고 무선 메쉬 네트워크를 구현한 연구들도 IP기반의 MANET 라우팅 프로토콜을 사용하여 멀티채널을 지원하지 못하고 단일 채널 단일 인터페이스 기반으로 네트워크를 구축하였다.

단일 채널 단일 인터페이스로 구성된 메쉬 네트워크는 인접한 주변 노드들의 통신으로 인한 채널 간섭 때문에 End-to-End 처리량이 떨어지고, 동시에 여러 개의 서비스를 처리하기 어려운 단점이 있다. 그렇기 때문에 동시에 여러 서비스를 처리 할 수 있는 멀티채널 멀티 인터페이스 기반의 무선 메쉬 네트워크에 대한 연구가 필요하다. 멀티채널 멀티 인터페이스를 사용하는 경우 목적

지로의 데이터 전송 시 채널 스위칭에 따른 End-to-End 딜레이는 증가 할 수 있지만, 전체 네트워크 관점에서는 다른 채널을 사용하는 인접한 링크인 경우 동시에 데이터 전송이 가능하므로 데이터 처리량을 증가 시킬 수 있다.

본 논문에서는 실제 환경에 적용 가능한 무선 메쉬 네트워크의 테스트베드를 구축을 위해, 멀티 인터페이스를 가지는 노드를 사용하여 멀티채널 데이터 전송이 가능한 메쉬 네트워크를 구현하려 한다. 그리고 WDS-Bridging 방법을 사용하여 네트워크를 구성하는 노드들 간의 관리 프레임 줄임으로써 데이터 전송 처리율을 높이려 하였다. 또한 멀티채널 사용으로 인한 기존 연구들이 사용한 MANET 라우팅 프로토콜 적용의 어려움을 해결하기 위해 멀티채널을 고려하는 WBMR (WDS-Bridging Mesh Routing) 프로토콜을 설계 및 구현하였다. WBMR 프로토콜은 IP 계층 라우팅이 아닌 링크 특성 반영을 위한 MAC 계층 라우팅 프로토콜로서 메쉬노드 간 동적인 링크 구성과 데이터 전송을 위한 동적인 라우팅을 제공하려 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존 메쉬 네트워크 구현 연구 내용과 3장에서는 메쉬 네트워크 구현을 위한 WBMR 라우팅 프로토콜 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 메쉬 네트워크 구성을 위한 노드구현에 대한 설명과, 5장 결론으로 마무리 짓는다.

표 1 무선 메쉬 네트워크 구현 관련 연구
Table. 1 Related work of WMN Implementation

이름	라우팅 프로토콜		메쉬 링크		규모	특징
	방법	메트릭	구성	채널		
Layer 3 WMN [1]	nOLSRv2 (L3)	Hop count	Dynamic	SC	55 nodes	Rate-switch control
Pisa Univ. [2]	HWMP (L2)	Airtime	Static	SC	4 nodes	Using WDS
Davis Univ. [3]	L2 routing	-	Static	SC	4 nodes	Using WDS, Centralized Management
MeshCluster [4]	AODV-ST (L3)	ETT	Dynamic	SC	4 nodes	Mobility Management
Wisemesh [5]	OLSR (L3)	ETX	Dynamic	SC	70 nodes	Mobility Management
SCATS [6]	Static routing	-	Static	MC	7 nodes	Traffic Control
UCSB MeshNet [7]	AODV (L3)	Hop count	Dynamic	SC	30 nodes	Management, Monitoring

II. 관련연구

기존 무선 메쉬 네트워크를 구현한 연구 중 본 논문에서 이야기 하려하는 내용과 비슷한 접근 방식을 가지는 연구들이 몇 가지 있다. 본 연구에서 사용한 **WDS-Bridging** 방식을 이용하여 무선 메쉬 네트워크를 구축한 연구들은 대부분 단일 채널 단일 인터페이스 기반의 노드들이 링크를 정적으로 생성하여 네트워크를 구성하였다.

표 1은 무선 메쉬 네트워크를 구현한 기존의 연구들을 정리한 표이다. 표에서 볼 수 있듯이 대부분의 메쉬 네트워크 구현 연구들이 **IP** 계층 라우팅 프로토콜인 기존의 **MANET** 라우팅 프로토콜을 사용하여 단일 채널 구성을 하였고, 멀티채널을 사용한 연구라도 메쉬 노드 간의 링크 구성을 정적으로 하여 메쉬 네트워크의 특징인 실용성이 떨어진다.

본 논문에서는 기존 연구의 링크 특성을 반영하지 못한 **IP** 계층 라우팅 프로토콜 대신 링크 특성을 반영하는 **WBMR** 프로토콜을 사용하여 멀티채널을 사용하는 동적인 링크를 구성하도록 구현 하였다.

III. WBMR (WDS-Bridging Mesh Routing)

WDS-Bridging 방법을 이용하여 구성한 노드들이 무선 메쉬 네트워크를 구축하기 위해서는 데이터 전송 경로 설정을 위한 라우팅 프로토콜이 필요하다. 또한 기존의 **MANET** 라우팅 프로토콜들은 멀티채널을 고려하지 않은 것이 대부분이어서 사용하였을 경우 브릿지의 포워딩 방법으로 인해 브로드캐스트 패킷이 증가하는 문제가 생긴다. 멀티채널인 경우 각 채널로 브로드캐스트 패킷을 전송하는데 브릿지는 받은 패킷을 다른 인터페이스 즉 다른 채널로 플러딩 하기 때문에 동일한 브로드캐스트 패킷을 두 번 전송하는 일이 발생한다.

본 논문에서 제안하는 라우팅 방법인 **WBMR** 프로토콜은 **WDS-Bridging** 사용으로 인해 발생하는 문제를 해결하고 멀티채널을 사용하는 노드를 위한 최적의 데이터 전송 경로를 찾을 수 있다. 그리고 멀티채널을 사용으로 인해 발생하는 브로드캐스트 문제를 방지하기 위해 데이터 전송 시마다 브로드캐스트 패킷으로 경로를 탐색하는 요구 기반 방식(**On-demand** 또는 **Reactive**)을 사

용하지 않고, 네트워크 전체의 노드 정보를 각 노드가 테이블로 유지하는 테이블 관리 방식 (**Table-driven** 또는 **Proactive**)을 사용하였다. 네트워크의 정보를 테이블로 관리하기 때문에 무선 메쉬 네트워크의 토폴로지가 변하여도 주기적으로 라우팅 테이블이 업데이트되기 때문에 경로 선택에 어려움이 없다.

WBMR 프로토콜은 목적지 까지 경로의 채널 변화 비용과 링크 품질 중 해당 노드의 신호세기를 가중하여 경로 선택을 위한 주요 메트릭으로 사용하고, 이 메트릭을 사용하여 가장 좋은 경로를 결정하도록 한다.

그림 1은 **WBMR** 프로토콜이 동작함에 따라 유지되는 라우팅 테이블을 나타낸 것이다. 노드들이 주기적으로 전송하는 **BNM** 프레임과 이동 단말에 서비스를 제공하는 노드들이 **STA**의 **Association** 여부에 따라 전송하는 정보로 라우팅 테이블이 유지된다.

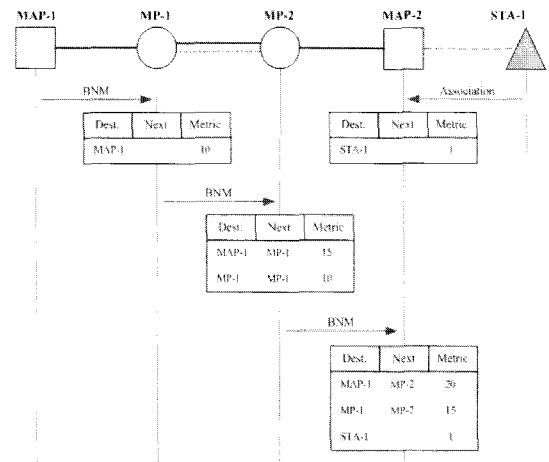


그림 1 WBMR 프로토콜 동작 과정
Fig. 1 WBMR Protocol Process

WBMR 프로토콜은 주변 메쉬 노드를 탐색하고 정보를 수집하는 이웃탐색(**Neighbor discovery**)과 경로 탐색 (**Route discovery**) 그리고 데이터 전송 경로 결정을 위한 경로 결정(**Route decision**) 단계로 나누어진다. 각 단계에 대해 다음에서 자세히 설명한다.

3.1. 이웃 탐색 (Neighbor Discovery)

WDS-Bridging 방법의 특징인 통신 가능한 링크를 정적으로 입력하지 않고, 동적으로 링크 생성을 하기

위해서는 링크를 맺을 상대편의 정보를 미리 알아야 한다. 이를 위해 주변 노드 정보를 수집하기 위한 이웃 탐색 단계를 수행한다. WBMR에서 이웃 탐색은 노드 자신의 정보와 자신이 가지고 있는 이웃들의 정보를 주기적으로 전송하여 전체 네트워크의 정보를 유지하는 역할을 한다. 자신과 1-hop 관계인 이웃들에게만 알려줌으로써 브로드캐스트 패킷으로 인해 발생하는 문제점을 없앨 수 있다.

주기적으로 전송하는 브로드캐스트 패킷은 BNM (Bridge Neighbor Management) 프레임으로 전송하는 노드 자신의 정보와 자신이 유지하고 있는 이웃 노드의 정보를 보낸다. 노드의 상황에 따라 이웃 노드 정보를 보내지 않을 수도 있고, 이동 단말에 서비스를 제공하는 노드인 MAP와 MAPP는 자신으로부터 서비스를 받고 있는 단말의 정보를 전송할 수 있다.

3.2. 경로 탐색 (Route discovery)

WBMR 프로토콜은 경로를 선택하는 기준인 라우팅 메트릭 결정을 위해 네트워크를 구성하는 노드 간의 링크에 가중치를 주어 최종 메트릭 값에 누적시키는 WCETT(Weighted Cumulative Expected Transmission Time) 방식을 참고하였다.[8] 멀티채널의 특징을 반영하기 위해 경로의 채널 변화 비용을 기본 값으로 하고, 부가적으로 링크 품질을 나타내는 값 중 신호세기 값을 더하여 메트릭을 계산한다. 계산된 메트릭 값 중 가장 작은 값의 경로가 멀티채널을 사용하고, 신호세기도 좋은 경로이므로 라우팅 테이블에 유지한다.

라우팅 메트릭 값은 BNM 프레임의 이웃 정보에 포함되는 정보로 BNM 프레임이 전송 될 때 브로드캐스트 하는 인터페이스별로 계산된다. 이웃 정보를 BNM에 넣어 보낼 때 이전 데이터를 받았던 채널과 다른 채널로 BNM을 전송할 때에는 낮은 weight 값을 더하고, 동일한 채널로 다시 전송할 때에는 높은 가중치를 주어 채널 변화가 많을수록 메트릭 값이 낮아지게 된다. 그리고 링크 품질인 신호세기 값을 몇 단계로 구분하여 품질이 좋을수록 적은 가중치를 더하여 메트릭에 링크의 품질을 반영하였다.

BNM 프레임을 받은 노드는 자신의 라우팅 테이블을 업데이트 한다. 각 노드가 유지하는 라우팅 테이블은 네트워크의 모든 노드들로 가기 위한 이웃 노드의 정보를 가지고 있는데, BNM 프레임에 포함되어 있는 이웃 리스

트를 참고하여 업데이트하거나 추가한다. 라우팅 테이블은 목적지 MAC 주소, 목적지로 가기 위한 이웃 노드 MAC 주소, 라우팅 메트릭, 이웃 노드로 가기 위한 브릿지 포트 번호 등을 가진다.

3.3. 경로 결정 (Route Decision)

각 노드는 경로 탐색 과정을 통해 자신의 라우팅 테이블을 지속적으로 업데이트 한다. 라우팅 메트릭 값이 가장 작은 목적지까지의 경로만 라우팅 테이블에 업데이트함으로써 목적지까지의 최적의 경로를 유지 할 수 있다.

데이터 전송 시에는 주기적으로 업데이트 되는 라우팅 테이블을 참고하여 데이터를 전송할 목적지 MAC 주소에 따른 이웃 노드로 데이터를 전송한다. 라우팅 테이블은 하나의 목적지당 하나의 이웃 정보만 저장하기 때문에 데이터 전송 시 추가적인 계산이 필요 없이 전송이 가능하다.

또한 네트워크의 서비스를 받고 있는 단말의 정보도 라우팅 테이블로 관리하여 단말로의 데이터 전송 시에도 부가적인 동작 없이 바로 데이터 전송이 가능하다.

IV. 메쉬 테스트베드

본 논문에서 구축하려 하는 무선 메쉬 네트워크는 이동 단말에 서비스 제공과 메쉬 백본 망을 구성하는 MAP(Mesh Access Point), MAP의 역할에 유선 게이트웨이 역할을 하는 MAPP(Mesh Access Portal Point), MAP나 MAPP에서 발생하는 트래픽을 릴레이 해주는 MP(Mesh Point)로 구성된다. 3가지 노드 모두 멀티채널 멀티 인터페이스로 구성되며 MAP는 HostAP 인터페이스와 WDS 인터페이스, MAPP는 MAP에 Ethernet 인터페이스를 추가한 구조이며, MP는 WDS 인터페이스 두 개를 가진다. 메쉬 노드들은 기본적으로 리눅스 OS 기반으로 구성하였고, 기본적인 네트워크 구성을 위한 설정을 해주었다. 그림 2는 본 논문에서 구성한 메쉬 노드의 구조를 나타낸 것이고, 하드웨어와 소프트웨어 부분으로 나누어 다음에서 설명하겠다.

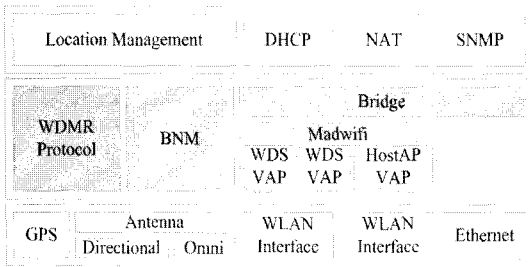


그림 2. 메쉬 노드 구성
Fig. 2 Architecture of Mesh Node

4.1. 하드웨어

Alix(AMD LX based system boards) 임베디드 보드에 리눅스 OS를 설치하여 구현한 라우팅 프로토콜을 비롯한 소프트웨어와 어플리케이션 서비스가 동작하게 하였다. 메쉬 노드 간 불안정한 링크의 품질을 높이기 위한 지향성 안테나, 기본적인 통신을 위한 무지향성 안테나를 사용하였다. 그리고 위치정보 수신을 위한 GPS(Global Positioning System)와 네트워크를 구성하는 링크를 위한 Atheros 칩셋 무선랜 카드를 메쉬 노드 당 2개씩 사용하였다.

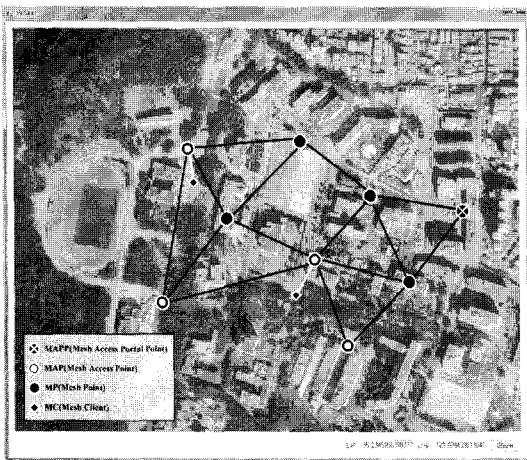


그림 3. 메쉬 테스트베드
Fig. 3 Mesh Testbed

4.2. 소프트웨어

Linux 커널에서 제공하고 있는 Bridge 소스와 오픈 무선랜 드라이버 소스인 Madwifi를 수정하여 라우팅 프로토콜이 동작하게 하였고, GPS로부터 받은 위치정보 처

리를 위한 GPS 위치 정보 관리(Location management) 서비스, 이동 단말에 서비스를 제공하기 위해서 필요한 IP 할당은 DHCP (Dynamic host Configuration Protocol)를 이용하였다. 그리고 더 다양한 서비스 지원을 위해 유선 게이트웨이 역할을 하는 MAPP에 NAT(Network Address Translation)를 사용하여 유선 백본 네트워크로의 접속이 가능하게 하여 단말이 웹서비스를 제공받을 수 있게 하였고, 무선 메쉬 네트워크 전체를 관리하기 위해 SNMP (Simple Network Management Protocol)를 사용하였다.

VI. 결론

본 논문에서는 멀티채널의 특성을 반영하는 적합한 라우팅 프로토콜을 설계 및 구현하고, 이를 사용하여 메쉬 노드를 구현하였다. 실제 부산대 캠퍼스에 그림 3과 같이 무선 메쉬 네트워크를 구축하였다. MAPP 1, MAP 4, MP 4개로 구성하였으며, 장애물에 의해 링크가 불안정한 구간은 지향성 안테나를 사용하여 링크의 안정성을 높였다.

현재 실제 환경에 맞게 구축한 테스트베드를 이용하여 메쉬 단말(Mesh client)에 제공되는 통신 서비스의 품질과 성능 분석을 위한 실험이 진행 중이며, 멀티채널 환경과 단일채널 환경에서 구현한 라우팅 프로토콜의 성능 비교를 위한 실험도 진행 중이다. 또한 단말의 네트워크의 단말로의 서비스 지원을 위한 멀티홉 ARP(Address Resolution Protocol) 수행을 위한 라우팅 프로토콜의 추가적인 구현이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2009년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구로서, 관계부처에 감사 드립니다.(지역거점연구단육성사업/차세대물류IT기술연구단)

참고문헌

- [1] K. Mase , Y. Owada , H. Okada , and T. Imai, "A testbed-based approach to develop layer 3 wireless mesh network protocols," *Tridentcom 2008*, No.30, March 2008.
- [2] R.G. Garroppo, S. Giordano, D. Iacono, and L. Tavanti, "On the development of a IEEE 802.11s Mesh Point prototype," *Tridentcom 2008*, No.2, March 2008.
- [3] D. Gupta, J. LeBrun, P. Mohapatra, and C-N. Chuah, "WDS-Based Layer 2 Routing for Wireless Mesh Networks," *WiNTECH 2006*, September 2006.
- [4] K. Ramachandran, M. Buddhikot, G. Chandranmenon, S. Miller, E. Belding-Royer, and K. Almeroth, "On the Design and Implementation of Infrastructure Mesh Network," *WiMesh 2005*, September 2005.
- [5] Heecheol Song, Bong Chan Kim, Jae Young Lee, and Hwang Soo Lee, "IEEE 802.11-based Wireless Mesh Network Testbed," *Mobile and Wireless Communications Summit 2007*, July 2007.
- [6] K. Lan, Z. Wang, M. Hassan, T. Moor, R. Berriman, L. Libman, M. Ott, B. Landfeldt, and Z. Zaidi, "Experiences in Deploying a Wireless Mesh Network Testbed for Traffic Control," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol37, October 2007.
- [7] H. Lundgren, K. Ramachandran, E. Belding-Royer, K. Almeroth, M. Benny, A. Hewatt, A. Touma, and A. Jardosh, "Experiences from the Design, Deployment and Usage of the UCSB MeshNet Testbed," *Wireless Communications IEEE*, Vol13, April 2006.
- [8] R. Draves, J. Padhye, B. Zill, "Routing in Multi-Radio, Multi-Hop Wireless Mesh Networks," *MobiCom 2004*.

저자소개



윤미경(Mi-Kyung Yoon)

2008 부산대학교
정보컴퓨터공학부 학사
2008~현재 부산대학교
컴퓨터공학과 석사과정

※관심분야: 무선통신, 라우팅



양승철(Seung-Chur Yang)

2006 부산가톨릭대학교
컴퓨터정보공학 학사
2008 부산대학교 컴퓨터공학과
석사

2008~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 박사과정

※관심분야: 무선통신



김종덕(Jong-Deok Kim)

1994 서울대학교 계산통계학과
학사
1996 서울대학교 전산과학과 석사
2003 서울대학교 컴퓨터공학과
박사

2004~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 조교수

※관심분야: 무선통신, 이동통신망, RFID/USN