와이브로에서의 IPv6에 대한 연구

안진섭, 손주항, 이효준, 김민택
한국전자통신연구원 이동통신연구단 이동통신기술기획팀
{jsahn, spson1, hjlee04, mtkim}@etri.re.kr

A Study on IPv6 Deployment over WiBro

Jinsub Ahn, Juhang Sohn, Hyo Jun Lee, Mintaig Kim
Mobile Telecommunication Planning Team, ETRI

요 약

WiBro는 IEEE 802.16에 이동성을 추가한 것으로서 현재 IPv4만을 지원하는데, IPv6를 적용할 경우 발생할 수 있는 문제점들은 최근에 이르러서야 이슈가 되고 있다. WiBro MAC은 IP 프로토콜 설계시 기본이 되는 이더넷과 많은 차이점이 존재한다. 망 구성요소들의 점대다(point-to-multipoint) 연결 형태와 상향링크 멀티캐스트 불가능으로 인해 정상적인 IP 멀티캐스팅/브로드캐스팅 동작이 어렵기 때문이다. 또한 이더넷과 같이 48비트 MAC 주소를 사용하는 것이 아니라 16비트 CID를 사용하기 때문에 IPv6를 적용할 경우 IPv6 Address Auto-Configuration, Neighbor Discovery, Duplicate Address Detection, Multicast Listener Discovery 등에서 정상적인 동작이 불가능하다. 이에 본 논문은 WiBro의 IPv6에서 MLD 프로토콜 적용방안과 무선자원을 효과적으로 사용하는 방법을 제시한다.

1. 서론

WiBro(Mobile WiMax)는 휴대전화처럼 언제 어디서나 이동하면서 초고속 인터넷을 이용할 수 있는 서비스로 한국이 국제 표준화를 주도한 차세대 무선 인터넷 서비스이다. 유선 초고속 인터넷은 접속 장소의 고정성, 이동전화 무선 인터넷은 낮은 속도와 비싼 사용요금과 단말기의 성능 한계, 무선랜 초고속 인터넷은 이용할 수 있는 공간의 제약이라는 단점이 존재한다. WiBro는 이러한 기존 인터넷 서비스의 단점을 보완해서 새롭게 등장한 서비스이다. 시속 120Km/h의 고속이동 중에도 인터넷 접속이 가능하고, 콘텐츠가 제한된 이동무선 인터넷과 달리 유선인터넷과 동일한 수준의 웹 접속이 가능하다.

WiBro 표준은 "IEEE 802.16e draft 12"[1]를 기준으로 하여 "2.3GHz 휴대인터넷 표준 - 물리 계층 및 매체접근제어 계층"[2] 이 2005년 12월에 완료되었다.

IEEE 802.16 WG은 2006년 12월부터 기존 IEEE 802.16 표준 기반의 단말 및 기지국 장비와 상호호환성을 유지하면서 ITU-R에서 정의될 IMT-Advanced의 시스템 요구사항을 만족시키는 IEEE 802.16m[3] 표준규격 개발을 진행 중에 있다.

이와 관련하여 국내에서는 IEEE 802.16m에 해당하는 WiBro Evolution을 ETRI에서 2008년까지 개발완료를 목표로 진행 중이다. WiBro Evolution은 WiBro 시스템보다 저비용/고품질의 고속 이동 인터넷 서비스 제공이 가능하다. 기존 WiBro 보다 셀 반경이 크고, 약 300 Km/h의 고속이동성 지원, 400Mbps급 전송속도, TDD 및 FDD 방식을 동시 제공할 수 있는 고효율 시스템이다.

WiBro 관련 기술의 국제표준화 활동으로는 IETF 16ng WG[4]이 2006년 7월부터 IEEE 802.16과 WiBro의 MAC/PHY를 토대로 IP 계층에서의 문제점들에 대한 여러 가지 해결방안들에 대해 논의하고 있다. IETF 16ng WG은 IEEE 802.16 네트워크에 IPv6 적용 시 문제점에 대한 정의와 해결방안들에 대한 목표를 정의해 놓고, internet-draft 4건에 대한 지속적인 업데이트와 함께 2007년 12월까지 표준화 완료를 목표로 하고 있다.

현재 WiBro의 IPv6 적용에서 가장 큰 문제점은 RAS와 PSS의 통신 및 구성이 점대다(point to multipoint) 형태라는 것이다. 근본적으로 하향링크 멀티캐스트만 가능하므로 이더넷과 같이 모든 노드들의 IP 멀티캐스팅/브로드캐스팅 동작이 불가능하며, 48비트 MAC 주소를 사용한 통신을 하지 않으므로 IPv6가 필요로 하는 많은 동작들이 제약을 받게 된다는 것이다. 예를 들면 IPv6 호스트는 Link-local Unicast Address 와 Global Unicast Address를 자동 설정할 수 있는데, 이 과정에서 NDP[5]의 RS(Router Solicitation), RA(Router Advertisement)를 사용한다. RS와 RA의 목적지 IP 주소는 멀티캐스트 주소로서 WiBro MAC 계층에서 멀티캐스트가 지원되지 않는다면 IPv6 호스트가 network prefix를 얻을 수 없기 때문에 호스트는 Link-local Unicast Address와 Global Unicast Address를 설정 할 수 없을 것이다.

이러한 WiBro에서의 IPV6 문제점들에 대한 표준이 "와이브로에서의 IPv6 기술"[6]에 정의되었지만 대부분 IPv6 Address Auto-Configuration, Neighbor Discovery, IPv6 Prefix model, Duplicate Address Detection 등 주로 ICMPv6[9]에 대한 것으로서 MLD[10] 프로토콜에 대한 내용은 포함되어 있지 않다.

이에 대해 본 논문에서는 WiBro의 IPv6에서 MLD 프로토콜 적용방안과 무선자원을 효과적으로 사용하는 방법을 제시한다.

2. 관련연구

2.1. WiBro 망 구조의 특징

WiBro는 기본적으로 점대다(point-to-multipoint) 연결 특성을 갖고 있다. 즉, 하나의 ACR에 연결된 모든 PSS들은 반드시 ACR을 거쳐서 서로 통신을 하게 되며, 또한 ACR은 특정 연결에 속한 여러 PSS들에게 동시에 데이터를 보낼 수도 있다. 따라서 같은 ACR에 접속되어 있는 PSS들이 동일한 prefix를 가지고 있더라도 서로 직접 통신을 할 수 없다. IEEE 802.16/WiBro 표준은 하향링크 멀티캐스트만 정의하고 있기 때문에 PSS→ACR의 상향링크 멀티캐스트는 불가능하다. 그러므로 PSS가 전송한 멀티캐스트 패킷은 ACR이 유니캐스트 방식으로 처리해야 한다.

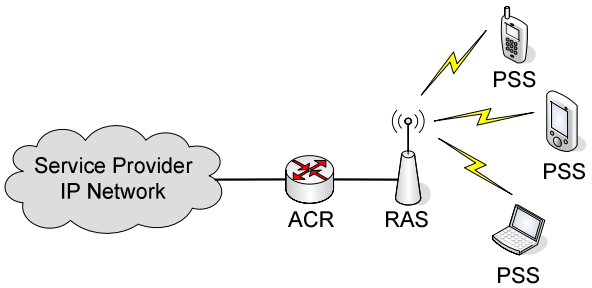

그림 1. WiBro의 point-to-multipoint 구조

2.2. WiBro의 Convergence Sublayer

IEEE 802.16과 WiBro의 Convergence Sublayer에는 ATM, IPv4, IPv6, Ethernet CS 등 11종류가 있다. "와이브로에서의 IPv6 기술"[6]에서 WiBro는 항상 IPv6 CS를 사용하는 것으로 정의하였다.

Convergence Sublayer의 주요 기능은 그림 2와 같이 IP 및 TCP/UDP 헤더내의 필드들을 이용하여 Flow Classification 및 CID(Connection ID)의 mapping 수행이다.

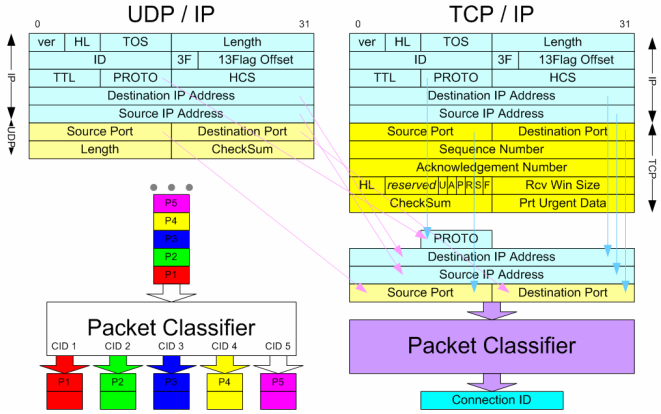

그림 2. Packet Classification Example: TCP/IP & UDP/IP

그리고, 기지국과 단말 사이의 무선구간에서 point-to-multipoint 통신을 하며, 이더넷과 같이 48비트 MAC 주소를 사용하는 것이 아니라 16비트 CID를 사용하여 PSS~RAS의 무선구간에서 통신 연결 관리를 수행한다. 그림 3은 WiBro에서 IPv6 CS를 사용할 때 PSS~ACR 구간에서 구성되는 IPv6 패킷의 구성 형태를 나타낸다.

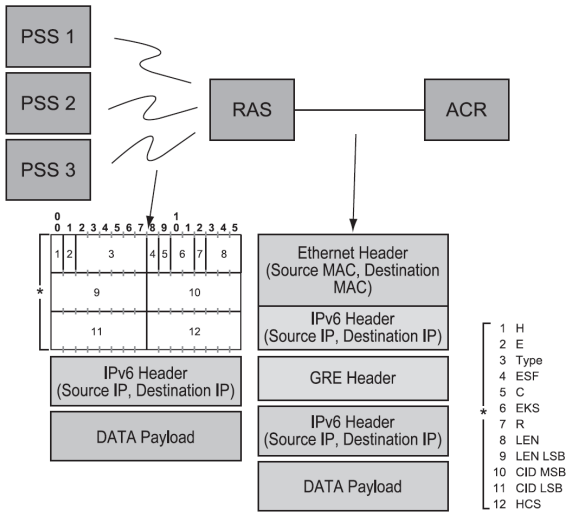

그림 3. WiBro에서 IPv6 CS 적용시 패킷구성 형태

2.3. WiBro에서의 IPv6 적용

WiBro 망에서 IPv6 적용은 PSS, RAS(optional), ACR을 IPv4/IPv6 듀얼스택으로 업그레이드 하면 된다. RAS는 기본적으로 L2 기능을 제공하는 Bridge mode로 동작하므로 IPv6 지원하는데 변경해야 할 것은 없다. 만약 RAS에 관리/설정 목적으로 IPv4가 동작한다면 반드시 IPv6로 업그레이드 해야 한다.

이미 2.1에서 언급한 것처럼 WiBro 망은 native multicast 지원이 불가능하다. 주요 문제점은 WiBro의 IPv6에서 Neighbor Discovery, Duplicate Address Detection, Address Resolution 등 주로 ICMPv6에 대한 것이며, "와이브로에서의 IPv6 기술"에 정의되어 있다.

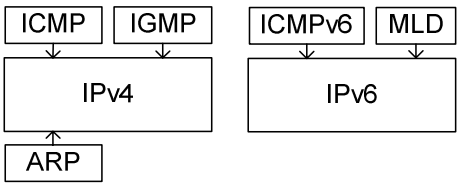

그림 4. IPv4와 IPv6의 Protocol Stack

하지만 IPv6는 그림 4와 같이 IPv6, ICMPv6, MLD로 구성된다. 따라서 WiBro에서 ACR과 PSS의 IPv6가 정상적으로 동작하려면 ICMPv6 뿐만 아니라 MLD 프로토콜에 대한 연구가 추가로 필요하다.

2.4. WiBro의 IPv6 Link model

WiBro의 IPv6 Prefix Model은 구성방식에 따라 per-PSS Prefix Model과 Shared Prefix Model의 두 가지 방식으로 나뉜다.

① per-PSS Prefix Model

"Recommendations for IPv6 in Third Generation Partnership Project (3GPP) Standards 3GPP"[11]에서처럼 주소충돌의 가능성을 원천적으로 배제하기 위해 각각의 PSS 마다 독립적인 IPv6 Prefix를 할당한다. 링크상에는 항상 하나의 ACR과 PSS만이 IPv6 neighbor로서 존재한다. 결국 주소충돌의 가능성을 원천적으로 차단하므로서 Neighbor Discovery 프로토콜 동작을 간소화 시킬 수 있다.

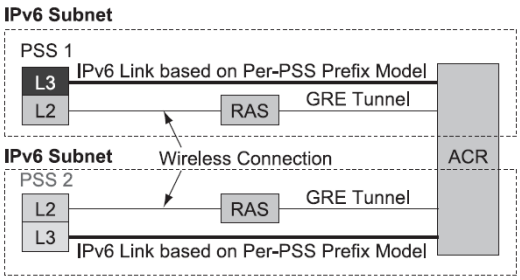

그림 5. per-PSS Prefix Model

② Shared Prefix Model

이 경우 무선랜의 핫스팟영역과 비슷하게 서브넷이 하나의 ACR과 여러 개의 RAS 및 PSS로 구성된다. 따라서 동일한 IPv6 Prefix를 같은 링크에 연결된 다수의 PSS가 공유하여 사용하는 방법이다.

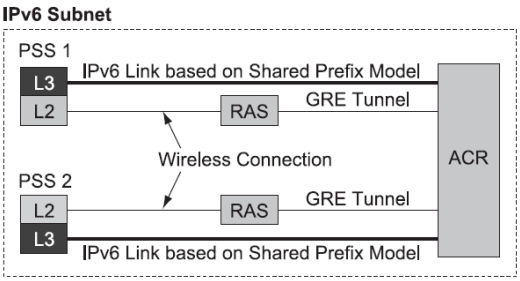

그림 6. Shared Prefix Model

Shared Prefix Model은 per-PSS Prefix Model과 달리 IPv6 Address Auto-configuration 과정에서 Duplicate Address Detection 및 Address Resolution이 반드시 필요하다. 그리고, 동일 서브넷 내에서 PSS간의 패킷은 반드시 ACR을 거쳐서 전달되는데, 이러한 패킷은 Hop limit의 감소 없이 정해진 PSS에게 전달되어야 한다.

3. WiBro에서의 MLD 프로토콜 적용방안

이미 2.3에서 처럼 MLD 프로토콜은 IPv6의 기본구성요소이다. 하지만 현재 WiBro의 IPv6 표준의 주요 내용은 대부분 ICMPv6에 대한 것이다. 따라서 본 논문은 WiBro에 IPv6를 적용할 경우 MLD 프로토콜의 동작에 따른 문제점을 파악하고, 그에 대한 해결방안을 제시한다.

3.1. 멀티캐스트 세션 시작/종료

PSS가 멀티캐스트 세션을 시작하거나 종료하려면 Multicast Listener로서 MLD에 정의된 절차를 따라야 한다. PSS는 멀티캐스트 세션 시작할 때 그림 7과 같이 Current State Report, 세션 종료 시 State Change Report를 전송한다.

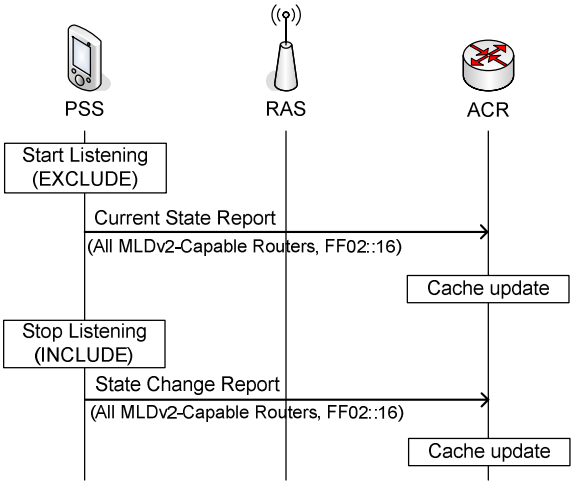

그림 7. 멀티캐스트 세션 시작/종료시 Multicast Listener Report

PSS의 멀티캐스트 세션 시작/종료 부분에서 변경해야 할 부분은 없다. 하지만 ACR은 링크상의 모든 멀티캐스트 주소에 속한 Multicast Listener들의 존재 유/무를 파악해 할 책임이 있다. 따라서 ACR은 링크상의 모든 멀티캐스트 주소(G)와 Source Specific Multicast[12]를 지원하기 위한 (S,G) 채널 정보가 포함된 Authoritative Multicast Address Cache를 관리해야 한다.

그리고, Authoritative Multicast Address Cache는 MLD에서 요구하는 기본적인 기능 외에 추가적으로 각 멀티캐스트 주소의 Multicast Listener 목록을 유지하고, Multicast Listener Report에 따라 이를 업데이트 하도록 한다.

이러한 Authoritative Multicast Address Cache의 가장 큰 목적은 3.2~3.4에서 언급할 MLD General Query, Multicast Address Specific Query, Multicast Address and Source Specific Query를 효율적으로 처리하기 위함이다.

3.2. General Query

멀티캐스트 라우터는 서브넷에서 Multicast Listener의 존재를 확인하기 위해 주기적으로 General Query를 전송한다. 일반적으로 시스코 라우터의 MLD General Query Interval의 기본값은 60초이다.

WiBro에서 MLD General Query는 Prefix Model에 상관없이 ACR에 연결된 모든 PSS에게 유니캐스트로 General Query를 전송해야 하므로 무선자원을 비효율적으로 사용하게 된다. 또한 PSS의 Active/Inactive mode에 상관없이 전송하므로 PSS에 불필요한 부하를 초래

한다. 하지만 ACR이 3.1에서 언급한 Authoritative Multicast Address Cache를 유지한다면 ACR의 MLD General Query와 를 전송할 필요가 없다.

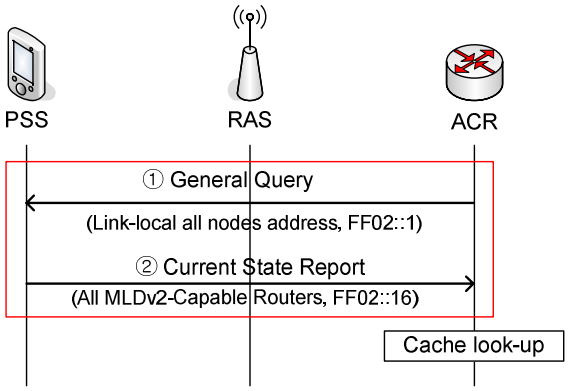

그림 8. MLD General Query와 Multicast Listener Report

단지 Authoritative Multicast Address Cache를 확인하는 것으로 General Query와 Current State Report를 대체할 수 있기 때문이다.

3.3. Multicast Address Specific Query

멀티캐스트 라우터는 링크상의 특정 멀티캐스트 주소(G)에서 Multicast Listener의 존재를 확인하고자 할 때 Multicast Address Specific Query를 전송한다. 보통 멀티캐스트 라우터가 멀티캐스트 주소를 삭제하기 전에 Multicast Address Specific Query를 전송한다. WiBro에 MLD Multicast Address Specific Query 를 적용하기에 앞서 다음과 같이 MLD에 대한 기본적인 이해가 필요하다.

- MLD는 멀티캐스트 주소(G)를 Multicast Listener 존재의 유/무로 관리함
- 각 멀티캐스트 주소(G)에 대한 Multicast Listener 목록은 유지하지 않음

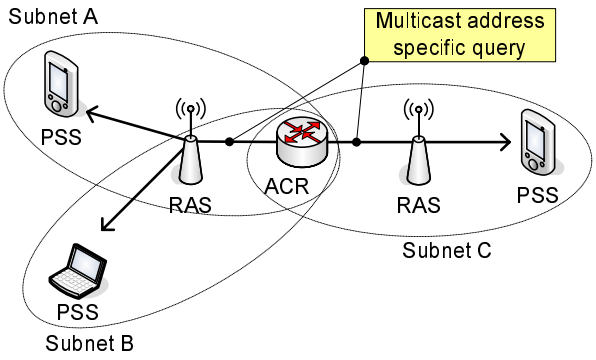

그림 9. WiBro에서 MLD Multicast Address Specific Query 전달

따라서 WiBro에 MLD를 그대로 적용할 때 Multicast Address Specific Query를 해야 한다면 멀티캐스트 주소(G)에 관련이 있는 PSS에게만 Query를 전달하는 것은 근본적으로 불가능하다.

하지만 ACR이 Authoritative Multicast Address Cache를 유지한다면 특정 멀티캐스트 주소(G)에 어떤 PSS가 Multicast Listener인지 알 수 있으므로 효율적인 Query 전달이 가능하다.

3.4. Multicast Address and Source Specific Query

MLD Multicast Address and Source Specific Query는 특정 소스에 대한 멀티캐스트 주소(S,G)의 Multicast Listener 존재를 확인하기 위해 전송한다. 이 Query의 가장 큰 목적은 Source-Specific Multicast를 지원하기 위한 것이다. 3.3의 Multicast Address Specific Query와 같이 ACR이 Authoritative Multicast Address Cache를 유지한다면 Cache의 확인으로 대신할 수 있으므로 Multicast Address and Source Specific Query는 불필요하다.

3.5. Querier Election

서브넷에 라우터가 2대 이상 있을 경우에는 MLD Querier Election 과정을 거쳐 Query를 담당하는 라우터를 선출해야 한다. 하지만 WiBro는 Prefix Model에 상관없이 PSS에게 항상 단 하나의 ACR만 존재하므로 MLD Querier Election에 대해 고려할 필요는 없다.

4. 결론

현재 WiBro는 IPv4를 이용하여 광대역 무선인터넷 서비스 중이지만 차후에는 IPv6까지 지원할 예정이다. WiBro에서 IPv6 적용 문제의 올바른 해결방법은 WiBro의 IPv6 Convergence Sublayer를 적절하게 수정하여 IPv6, ICMPv6, Neighbor Discovery, MLD 등의 프로토콜과 연동이 잘 이뤄지게 하는 것이다. 단지 WiBro의 특성으로 인해 기존 IPv6, ICMPv6, NDP, MLD 등을 수정하는 것은 현실적으로 불가능하기 때문이다.

이를 위해 본 논문은 WiBro망의 특징을 분석하고, WiBro에 MLD 프로토콜을 적용했을 경우에 대한 문제점들의 정리 및 해결방안을 제시하였다.

그 결과 PSS~ACR 구간에서 불필요한 MLD Query 및 Multicast Listener Report 억제, 무선자원의 효율적인 사용, PSS의 battery saving 등이 가능하다. 향후에는 PSS의 무분별한 멀티캐스트 패킷 전송에 대한 차단 방법과 WiBro의 멀티캐스트 관련 보안에 대한 연구가 필요할 것이다.

5. 참고문헌

[1] "IEEE 802.16e/D12, Draft IEEE standard for Local and metropolitan area networks, Part 16 : Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems", October 2005

[2] "2.3GHz 휴대인터넷 표준 - 물리계층 및 매체접근

제어 계층", 한국정보통신기술협회, TTAS.KO-06.0082/R1, 2005년 12월
[3] IEEE 802.16 Task Group m (TGm), http://www.ieee802.org/16/tgm/
[4] IP over IEEE 802.16 Networks (16ng), http://www.ietf.org/html.charters/16ng-charter.html
[5] T.Narten, E. Nordmark, W. Simpson, "Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)", RFC 2461, December. 1998
[6] "와이브로에서의 IPv6 기술", 한국정보통신기술협회, TTAS.KO-10.0210, 2006년 12월
[7] R. Vida and L. Costa, "Multicast Listener Discovery Version 2 (MLDv2) for IPv6", RFC 3810, June. 2004
[8] T. Narten, E. Nordmark, W. Simpson, "Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)", RFC 2461, December. 1998
[9] A. Conta, S. Deering, "Internet Control Message Protocol (ICMPv6) for the Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification", RFC 2463, December. 1998
[10] R. Vida, L. Costa, "Multicast Listener Discovery Version 2 (MLDv2) for IPv6", RFC 3810, June. 2004
[11] M. Wasserman, "Recommendations for IPv6 in Third Generation Partnership Project (3GPP) Standards", RFC 3314, September. 2002
[12] S. Bhattacharyya, "An Overview of Source-Specific Multicast (SSM)", RFC 3569, July. 2003