

IP 기반 무선 인터넷 접속망에서의 효율적인 패킷 전달 방법

중신회원 노병희*

An Efficient Packet Forwarding Method for an IP-based Wireless Internet Access Network

Byeong-hee Roh* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 IP 기반 무선 인터넷 접속망 환경에서 효율적인 패킷 전달 방법을 제안한다. 패킷 전달은 연결형(connection-oriented) 기반으로 패킷 전달 이전에 구성된 플로우(flow)에 따라 이루어진다. 이를 위하여, 무선 인터넷 접속망에서의 플로우 구성 방법과 패킷 전달을 위한 변형된 IPv6(modified-IPv6) 헤더를 정의하였다. 또한, 무선 단말의 이동성을 지원하기 위한 방안과 제안한 방법의 구현 방안을 설명하였다. 제안 방법의 성능 분석을 위하여, 무선 인터넷 접속망에서의 패킷 전달 지연 시간을 분석하였다. 수치 해석을 통한 성능 분석 결과는 제안 방법이 매우 효율적임을 보여준다.

ABSTRACT

In this paper, we propose an efficient packet forwarding method for an IP-based wireless Internet access network. Packets are forwarded along with a flow, that is a kind of connection-oriented connection and established before delivering packets. For this purpose, we also propose a flow resolution method and a modified IPv6 header for delivering packet in the wireless Internet access network. In addition, the method to support the mobility of mobile stations is explained, and the implementation issues are discussed. In order to estimate the performance of the proposed method, we analyzed the delay time to deliver packets in the wireless Internet access network. The numerical results show that the proposed method is very efficient, in the view point of delay.

1. 서론

최근 몇 년 동안 무선 통신과 인터넷 사용자는 비약적으로 증가하는 추세를 보이고 있다. 이에 따라, 정보 통신 시장의 패러다임은 유선 기반에서 무선 기반으로, 음성 위주의 서비스에서 데이터 서비스 위주로 빠르게 변화되어 가고 있다. 이러한 패러다임의 변화는 무선 인터넷이라는 새로운 서비스 기술을 창출하게 되었다. 무선 인터넷은 정보 통신 기술 발전의 두 축인 인터넷과 무선통신을 결합하

여 인터넷 서비스를 무선망의 무선 및 이동 단말기를 통하여 제공하기 위한 기술이다. 무선 통신망이 2.5세대, 3세대를 거치면서 점차 광대화되어 갈수록 이러한 무선 단말을 통한 인터넷 접속의 비중은 더욱 증가하게 될 것으로 예상된다.

그러나, 무선 통신은 기존의 전화 서비스에서와 같은 음성 서비스를 기반으로 발전하여 왔고, 인터넷은 데이터 서비스를 기반으로 발전하여 왔으므로 서비스 제공 방식과 다루는 트래픽의 특성이 매우 상이한 특징을 갖고 있다. 무선 통신은 단말이 고정되지 않고 이동하며, 제한된 대역과 상대적으로 큰

* 아주대학교 정보통신대학 정보및컴퓨터공학부(bhroh@madang.ajou.ac.kr)
논문번호 : 010111-0522, 접수일자 : 2001년 5월 22일

전송 에러율을 갖는 열악한 전송 환경을 갖고 있다. 반면에, 인터넷은 단말이 고정된 환경을 대상으로 하고 있으며, 전송에 의한 에러는 매우 작은 특성을 갖는다. 또한, 무선망의 고속화 정도는 유선망의 고속화 정도에 비하여 현저히 낮다. 이러한 무선망과 인터넷의 상이한 특성들은 무선 인터넷 응용 서비스의 효율적인 제공을 어렵게 하는 요인이 되고 있다. 특성이 다른 두 통신망을 직접 연동하여 무선 인터넷 서비스를 제공하는 것은 바람직하지 않다. 따라서, 현재까지 제안되는 많은 무선 인터넷 인프라 구조들은 그림 1과 같이 무선망과 인터넷간에 무선 인터넷 접속망을 두고 있다.

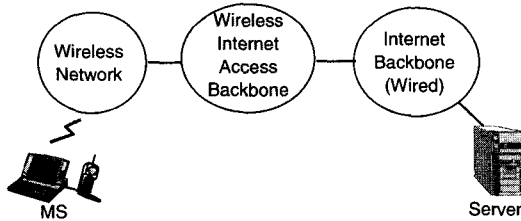


그림 1. 무선 인터넷 응용을 위한 전형적인 망 구조

무선 인터넷 접속망의 형태로서 IP 기반의 방식들이 제안되고 있다. IP 기반의 무선 인터넷 접속망들은 기존의 회선 기반의 장치들 대신에 라우터와 같은 IP 기반의 장치들로 구성되어 인터넷으로 부터의 IP 패킷들을 직접 처리하는 방식을 사용한다. 3GPP (3rd Generation Partnership Project)의 GPRS (General Packet Radio Service)^[1] 와 3GPP2의 WIP(Wireless IP)^[2]는 IP 기반의 무선 인터넷 접속망의 대표적인 표준들이다. 그리고, 무선 인터넷 접속 환경에서 무선 인터넷 단말의 이동성을 지원하기 위한 Mobile IP^[3], HAWAII (Handoff-Aware Wireless Access Internet Infrastructure)^[4], Cellular IP^[5], TeleMIP (Telecommunications-Enhanced Mobile IP)^[6] 등이 제안되고 있다. 그리고, MPLS 기반의 무선 인터넷 접속망^[7,8] 등 다양한 형태의 모델들이 계속 제안되고 있다.

무선 인터넷 서비스들이 제공되면서, 모든 무선 단말들에도 IP 주소의 부여가 요구되고 있다. 또한, xDSL, 케이블 모뎀, B-WLL (broadband-wireless local loop) 등과 같은 다양한 접속망 기술들은 가정 에까지 인터넷 접속을 확장시키면서, 많은 가정내 단말과 정보 가진 기기에 까지 IP 주소의 요구가 확대되고 있다. 이에 따라, 32비트의 현재의 IPv4

주소들은 곧 고갈되어 심각한 문제가 될 것으로 예상됨에 따라, 128비트의 확장된 주소를 갖는 IPv6^[9] 방식이 나오게 되었다. IPv6 데이터그램 헤더는 다른 확장 필드가 없을 때 40 바이트가 된다. IPv6의 큰 헤더 크기는 상대적으로 작은 크기의 메시지 응용이 추가 될 무선 인터넷 환경에서는 IP 데이터그램 헤더 오버 헤드의 문제를 더욱 증가시켜 대역 이용 효율을 저하 시킬 수 있다. 또한, 무선 환경에서는 전달되는 패킷의 각 비트에서 오류가 발생할 가능성이 유선망에 비하여 상대적으로 높다. 이러한 비트 오류는 패킷의 오류를 유발 할 수 있는데, 이러한 패킷 오류의 확률은 패킷의 길이에 비례하여 악화된다. 따라서, 긴 헤더를 갖는 패킷은 작은 헤더를 갖는 패킷에 비하여 패킷 오류가 발생할 가능성이 매우 크다.

본 논문에서는 이러한 문제들을 해결하기 위한 방안으로서, IP-기반의 무선 인터넷 접속망에서 패킷을 효율적으로 전달하기 위한 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 방법은 외부 패킷망으로 부터 도착하는 IP 데이터그램들의 IP 헤더를 간략화하면서 이 간략화된 헤더를 무선망에서 이동성 (mobility) 지원과 연계시킴으로써, 전체적인 무선 인터넷 응용의 효율을 높일 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장에서는 무선 인터넷 접속망에 대한 개념에 대하여 서술하고, 제3장에서는 본 논문에서의 IP-기반 무선 인터넷 환경에서 패킷을 효율적으로 전달하는 방법에 대하여 설명한다. 제4장에서는 무선 인터넷망에서의 지연 성능을 분석하고, 제5장에서는 이의 수치 해석 결과를 보이고, 제안 방법의 효율성에 대하여 고찰한다. 끝으로, 제6장에서는 결론을 맺는다.

II. IP-기반 무선 인터넷 접속망 구조

대부분의 무선 인터넷 접속망들은 유선 기반의 인터넷과 무선망간의 접속점과 무선 단말의 이동성을 기준으로 하는 구조를 갖는다. 이러한 구조를 그림 2에 나타내었다.

그림 2 에서 IGR (Internet Gateway Router)는 외부 인터넷과의 접속을 위한 게이트웨이 라우터이고, WGR (Wireless network Gateway Router) 은 무선망과의 접속을 위한 게이트웨이 장치이다. 3GPP의 GPRS^[1]에서는 GGSN이 IGR의 역할을 수행하고, SGSN이 WGR의 역할을 수행한다. 3GPP2의 WIP^[2]에서는 PDSN이 IGR의 역할을 수행하며,

WGR의 기능은 IP-기반의 무선 인터넷 접속망내의 라우터에 내포된다.

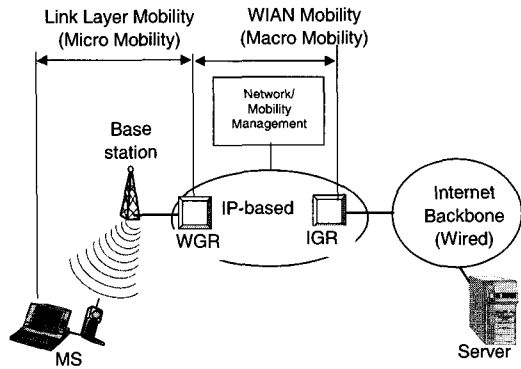


그림 2. IP-기반 무선 인터넷 접속망 구조

이동성 (mobility)은 크게 한 도메인 (domain)내의 BS (base station)간의 이동인 마이크로 이동성 (micro mobility)과 도메인간의 이동인 매크로 이동성 (macro-mobility)로 구분된다. 마이크로 이동성은 2계층의 링크 계층에서 지원되며, 매크로 이동성은 Mobile IP^[3]와 같은 3계층의 IP 계층에서 지원된다. Mobile IP는 이러한 마이크로 이동성과 매크로 이동성의 구분없이 모든 이동성을 동일한 범주에서 다루므로, BS간에 자주 발생 가능한 마이크로 이동성에 대하여는 비효율적이다. 이를 보완하기 위한 마이크로 이동성을 지원하는 방법들로서 HAWAII^[4], Cellular IP^[5], TeleMIP^[6]등과 같은 방법들이 제안되고 있다. 이들 방법들은 이동성을 지원하기 위하여 단말의 IP 주소를 기반으로 하고 있다.

IP-기반의 무선 인터넷 접속망 (Wireless Internet Access Network, WIAN)은 기존 인터넷에서와 달리 무선망에서의 이동성을 지원하기 위한 망관리와 이동성 관리 기능과 관련되어 이루어진다. 이를 위하여, 외부 인터넷망과 구분되는 기능을 갖는 망 기능이 무선 인터넷 접속망에 요구된다. GPRS의 경우에는 이를 위하여 외부의 인터넷망과 구분된 별도의 IP 망을 구성하며, 외부 인터넷과의 IP 연결은 GPRS 내부에서는 GTP (GPRS Tunneling Protocol)[10]에 의한 터널링을 통하여 지원된다. GPRS에서의 패킷 전달을 위한 프로토콜 스택을 그림 3에 나타내었다.

그림 3에서 보는 바와 같이, GPRS 망 내에서의 IP 데이터 패킷의 전송은 GPRS망 내부에서는 GTP에 의한 새로운 IP 망에 의한 것으로서, 외부 인터

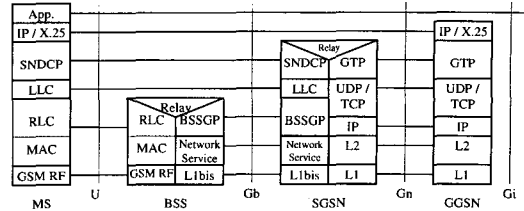


그림 3. GPRS의 Packet Transmission Plane의 프로토콜 스택

넷에서의 IP 데이터그램은 GTP 프로토콜에 인캡슐레이션 되어 새로운 UDP/IP 패킷을 통하여 GGSN과 SGSN간의 전달이 이루어진다. SGSN은 downlink로의 패킷 전달을 구분하기 위하여 GTP 헤더상에 Flow Label을 지정하여, 이 Flow Label에 따라 BSS로 패킷 전달을 수행한다. 이와 같이 GGSN에서 부터 MS까지의 연결에서 외부 인터넷에서의 IP 주소를 포함하는 IP 데이터그램 헤더의 peer-to-peer 관점에서 IP 계층이 관여하는 기능은 존재하지 않는다.

그림 4는 G.729 코덱을 적용한 인터넷 전화 응용을 위한 패킷이 GPRS를 통하여 전달되는 형식을 보여준다. 기존 인터넷에서도 인터넷 전화등의 멀티미디어 데이터 전송에서 패킷 오버헤드의 문제는 망 효율성의 문제점으로 지적되어 왔다. GPRS에서는 GTP를 사용하여 외부 패킷들을 인캡슐레이션시킴으로써 이러한 헤더 오버헤드의 문제를 가중시키게 된다. 특히, IPv6에서와 같이 IP 데이터그램 헤더의 길이가 매우 커지는 경우의 헤더 오버헤드 문제는 더욱 심각해질 것이다.

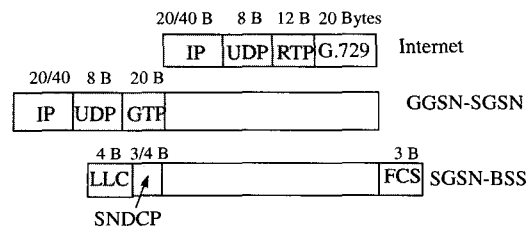


그림 4. GPRS에서의 G.729 인터넷 전화용 패킷 전달

III. 제안된 패킷 전달 방법

1. 패킷 전달 방법

패킷 전달을 위하여 무선 단말이 무선 인터넷 서비스 접속을 위한 세션을 구성시 무선 단말에서부터 플로우(flow)를 구성하는 것을 기본 개념으로 한다. 플로우는 송신측과 수신측간의 패킷 전달 경로

상의 각 노드에서 설정되는 플로우 레이블 (flow label)들의 집합으로서 정의된다. 따라서, 플로우는 일종의 연결형 (connection-oriented) 기반의 패킷 전달 경로라고 할 수 있다.

본 논문에서의 플로우는 IGR과 무선 단말간의 패킷 전달 경로상에서 정의되며, 플로우 레이블로서 (OutPort, FlowNum)의 쌍을 사용한다. 여기에서 OutPort는 이 플로우 레이블을 정의한 노드에서 패킷을 전달하는데 사용할 출력 포트를 의미하고, FlowNum은 이 출력 포트를 통하여 전달될 패킷 플로우를 다른 플로우들과 구분하기 위한 것이다. 각 노드에서는 이 FlowNum에 대하여 패킷이 하향 방향(downstream direction)의 다음 노드로 전달될 때 갱신될 플로우 레이블의 정보를 저장하는 플로우 테이블을 관리한다. 플로우의 구성과 패킷 전달의 예를 그림 5에 나타내었다.

무선 단말은 도착 패킷을 IP 상위의 트랜스포트 계층 (TCP 또는 UDP)에 전달하여야 하므로 OutPort는 IP 계층에서 구분되는 트랜스포트 계층 번호를 지정하고, FlowNum은 다른 플로우들과 구분하기 위하여 선정된다. 그림 5에서는 무선 단말에서 플로우 레이블로서 (O₁, F₁)이 할당되었다. 플로우 레이블이 할당된 후 무선 단말은 자신이 속한 셀을 담당하는 BSS에 이 플로우 레이블을 전달한다. 이러한 전달 메커니즘으로는 IP switching^[11]에서의 Flow Label Resolution Protocol 또는 또는 RSVP^[12]에서의 RESV 메시지의 루트 정보를 사용할 수 있다.

무선 단말로부터 플로우 레이블 정보를 전달받은 BSS는 무선단말로의 출력 포트 (wireless channel)를 OutPort로 지정하고 다른 플로우들과 구분되는 새로운 FlowNum을 이 플로우에 할당한다. 그림 5에서는 (O₂, F₂)가 지정되었다. BSS는 OutPort O₂에서 관리되는 플로우 테이블에 FlowNum F₂를 인덱스로 하여 무선단말에서 전달되어 온 (O₁, F₁)을 저장한다. 이후에 BSS는 자신의 플로우 레이블 정보를 무선 인터넷 접속망의 WGR에 전달한다. WGR에서도 마찬가지로 (O₃, F₃)의 플로우 레이블을 할당하고, 이 정보를 BSS로의 출력 포트인 O₃에서 관리하는 플로우 테이블에 저장하고, 새로 할당된 플로우 레이블 정보를 IGR로부터 WGR까지의 경로상에 있는 바로 다음의 라우터에 전달한다. 다음 라우터를 선정하는 방법은 더 연구를 필요로 한다. 이와 같은 과정이 반복되어 IGR에 도착하면, IGR에서는 그림 5에서와 같이 플로우 레이블 (O_N, F_N)을 할당하고, 외부 인터넷망으로 부터의 패킷들을 플로우에 매핑시키기 위한 Routing-Flow Conversion (RFC) 테이블에 이 플로우 정보를 저장한다. RFC 테이블은 IGR에서 송신/수신측 IP 주소, 송신/수신측 Port Number등으로 구분되는 connection identifier (cid)를 사용하여 플로우 정보를 찾아내는데 사용된다.

이러한 플로우를 통하여 패킷을 전달하기 위하여, 본 논문에서는 그림 6과 같이 변형된 IPv6 헤더 형식 (modified-IPv6)을 정의하여 사용한다. 그림 6에서 보는 바와 같이, Ver, FlowNum과 Payload

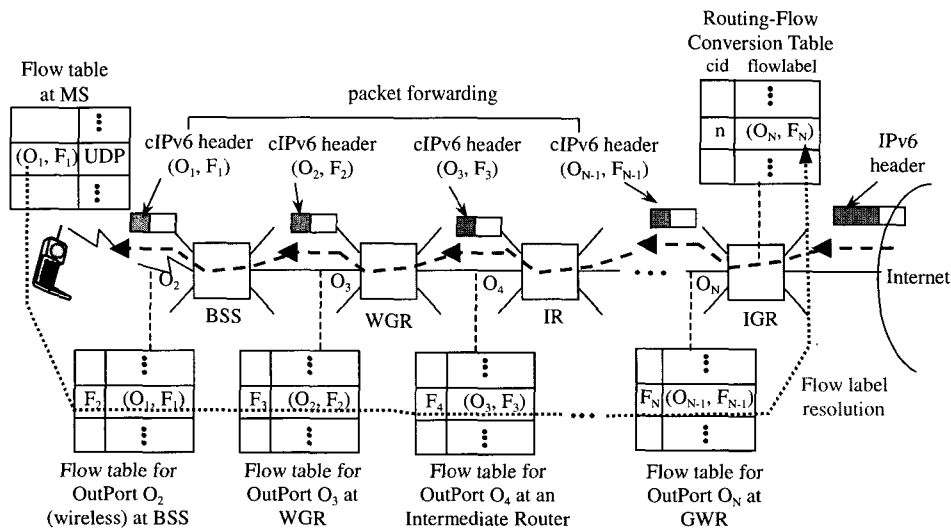


그림 5. 플로우 구성 및 패킷 전달

Length 필드들은 각각 IPv6의 Version, Flow Label 필드와 Payload Length 필드들의 크기와 위치가 동일하다. Option 필드는 IPv6에서의 Next Header와 Hop Limit 필드들을 포함하는 부분으로서 IPv6의 이들 필드들을 그대로 사용할 수도 있고, 다른 용도로 사용할 수도 있다. OutPort 필드는 IPv6에서의 Traffic Class 필드에 해당한다. 본 논문에서의 패킷 전달 방식에서는 OutPort가 플로우 레이블 정보에서 바로 지정되므로, 필요한 트래픽 제어 기능의 설정을 플로우 구성시 플로우 레이블에 지정할 수 있으므로, 대치 가능하다. modified-IPv6 헤더에서는 IPv6의 32 바이트 크기의 송신/수신 IP 주소가 제거되므로 헤더 오버 헤드를 크게 줄일 수 있다.

0	4	12	16	31
VER	OutPort	FlowNum		
Payload Length		Option		

그림 6. 플로우를 통한 패킷 전달을 위한 변형된 IPv6 (modified-IPv6) 헤더 형식

패킷 전달 과정은 다음과 같다. 외부 인터넷으로부터 패킷이 도착하면, IGR은 수신 패킷 헤더에서 cid를 추출하여 이 cid에 해당하는 플로우 레이블인 (O_N, F_N) 를 찾아낸다. 패킷은 O_N 에 해당하는 출력 포트를 통하여 다음 라우터로 전달되며, 이때 전달되는 패킷의 modified-IPv6 헤더의 플로우 레이블은 전달될 라우터가 보내온 플로우 레이블 정보인 (O_{N-1}, F_{N-1}) 가 된다. 이와 같은 방식으로 무선 단말로 패킷이 전달되고, 무선 단말에서는 O_1 에 해당하는 트랜스포트 계층으로 패킷을 전달하여 응용 서비스를 수행한다.

2. 이동성 지원 방법

본 논문에서의 패킷 전달은 플로우를 따라 이루어지므로, 무선 단말이 이동시 플로우상에서 플로우 레이블의 변경이 이루어지는 노드들에서의 플로우 레이블들을 변경함으로써 이동성을 지원할 수 있다. 이를 위하여, 무선 단말이 새로운 셀로 들어가기 전에 플로우를 변경하는 make-before-break 방법을 그림 7에 나타내었다.

그림 7에서와 같이, 플로우 상의 각 노드는 플로우 레이블과 이 플로우의 종단인 무선 단말의 IP 주소와 플로우 레이블 정보 $[I_A, (O_i, F_i)]$ 를 보유한다. $[I_A, (O_i, F_i)]$ 는 이 플로우 형성을 시작한 무선 단말의 IP 주소와 플로우 레이블 정보로서, 그

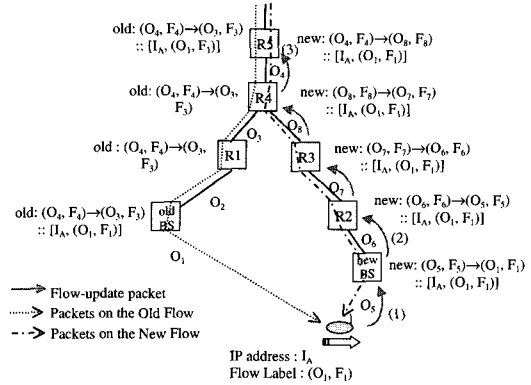


그림 7. 무선 단말의 이동에 의한 플로우의 변경 과정

림 5에서의 플로우 구성시에 전달된다. 플로우 변경 절차는 다음과 같다.

(1) 무선 단말이 old_BS에서 new_BS가 속한 셀로 이동시에 Flow-update packet을 new_BS에 전달한다. 이 Flow-update packet에는 무선 단말의 플로우 레이블과 무선 단말 및 IGR의 IP 주소가 포함된다.

(2) new_BS는 이 플로우를 위한 플로우 레이블을 새로 할당하고, Flow-update packet을 3.1절에서 설명한 바와 동일한 방법으로 upstream 방향의 라우터에 전달한다.

(3) Flow-update packet을 받은 라우터는 다음의 두가지 조건이 만족할 경우, downstream 방향으로의 플로우 레이블 정보를 변경하고, Flow-update packet의 전달을 종료한다.

- i) 자신의 플로우 레이블내에 이 플로우에 대한 무선 단말의 IP 주소와 플로우 레이블과 동일한 항목이 존재.
- ii) 플로우상 패킷이 전달될 출력 포트가 Flow-update packet이 수신된 포트와 동일.

이러한 조건들이 동시에 만족하지 않을 경우에는 새로운 플로우 레이블을 할당하고, upstream 방향으로 Flow-update packet을 전달하여, 플로우 변경 절차를 계속 수행한다. 이와 같은 과정을 통하여 변경된 플로우가 그림 7에 함께 나타나 있다.

3. 제안 방법의 구현

(1) IPv6 라우터와의 연동 구현

IPv6 라우터와의 연동을 위하여는 IPv6 패킷과 modified-IPv6 헤더의 구분을 위한 IPv6 소프트웨어의 수정이 요구된다. modified-IPv6 헤더는 IPv6와

형태가 유사하므로, 다음과 같은 방식으로 쉽게 구분할 수 있다. 즉, modified-IPv6에서의 Flow Number값을 일정한 값(T_h) 이상이 되도록 설정하도록 하면, Flow Label을 검사하여 이 값이 $0 \sim T_h$ 범위에 속하면 IPv6 방식에 따라 패킷을 처리하고, $T_h \sim 2^{20}$ 에 속하면 modified-IPv6 방식에 따라 패킷을 처리할 수 있다. 이 경우에, 플로우를 구성하고, 구성된 플로우에 따라 modified-IPv6 헤더를 갱신하기 위한 별도의 소프트웨어 모듈이 추가되어야 한다.

(2) GPRS와의 연동 구현

GPRS에서는 SGSN이 GGSN에 downstream 방향으로의 패킷들을 구분하기 위하여 GTP 헤더에 삽입될 플로우 레이블값을 전달한다. GGSN은 외부로부터의 패킷이 도착시에 이 패킷을 GTP에 인캡슐레이션 시키면서 GTP 헤더의 플로우 레이블 필드에 SGSN이 전달한 플로우 레이블 값을 삽입한다. 이러한 GPRS 방식에 본 논문에서의 방식을 적용하기 위한 방법은 다음과 같다. SGSN은 세션 구성시 BSS로부터 플로우 레이블 정보를 전달받고, 새로운 플로우 레이블 정보를 할당할 후 이 플로우 레이블 정보를 GGSN에 전달한다. GGSN은 도착 패킷의 IPv6 헤더를 modified-IPv6 헤더로 변경후, modified-IPv6의 FlowNum 값을 GTP 헤더의 플로우 레이블 필드에 동일하게 적용시키면 된다. 이때, GTP 헤더의 플로우 레이블 필드의 크기는 16비트이므로, modified-IPv6를 위한 플로우 레이블의 최대값은 $2^{16}-1$ 로 제한되어야 한다. GGSN에서 SGSN까지는 GPRS의 방식을 통하여 패킷을 전달하고, SGSN 이후부터는 본 논문에서의 방식을 적용하면 된다.

IV. 제안 방법의 효율성 분석

1. 패킷 전달의 효율성

제안 방법은 플로우에 의한 연결형의 패킷 전달 방식을 사용한다. 이러한 연결형의 특징은 패킷 경로 선정의 오버헤드를 줄일 수 있다. 즉, 기존의 IP 라우팅을 위한 next hop 경로 선정을 위한 complexity는 라우팅 엔트리수가 N 일 때 $O(\log N)$ 이나, 제안 방식은 modified-IPv6 헤더의 플로우 레이블에 출력 포트에 대한 정보를 포함하므로 라우팅 엔트리를 검색할 필요가 없다. 따라서, 경로 선정의 complexity는 $O(1)$ 이므로 라우팅 엔트리 수에 무관하게 항상 일정하다. 또한, 각 연결은 플로우로서 각

노드에서 구분이 되므로 per-flow 기반의 QoS 지원이 가능하다. QoS의 지원은 다양한 queuing 및 scheduling 방식들을 사용하여 이루어질 수 있다.

2. 패킷 전달 지연 시간의 성능 분석

여기에서는 본 논문에서의 제안 방식의 효율성을 나타내기 위한 성능 척도로서 패킷 전달의 평균 지연 시간을 사용한다. 이때, 라우터 내에서의 처리 지연 (큐잉 지연)이외의 전달 지연 (propagation delay) 등은 무시하기로 한다. 성능 분석을 위한 망의 구조는 그림 8과 같다.

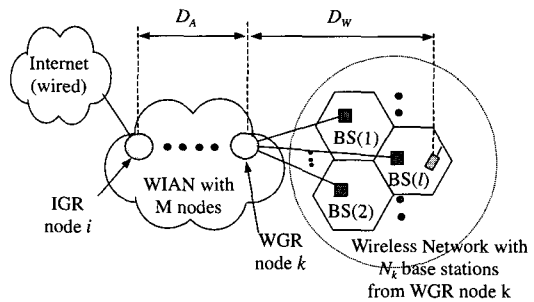


그림 8. 성능 분석을 위한 GPRS 기반 무선 인터넷망 모델

WIAN (Wireless Internet Access Network) 망내의 노드 수를 M 이라고 가정한다. 각 노드에서의 라우팅은 라우팅 확률 행렬 (routing probability matrix) $Q = (q_{ij}, j = 1, 2, \dots, M)$ 에 의하여 결정된다. 이때, q_{ij} 는 노드 i 를 떠나서 다음 노드 j 로 라우팅 될 확률로서, 이전의 라우팅 이력과는 독립이라고 가정하기로 한다. 이때, 외부에서 또는 다른 노드에서 라우팅되어 노드 i 에 도착된 패킷이 서비스를 마치고 WIAN을 떠날 확률을 q_0 라 하면, 이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$q_0 = 1 - \sum_{j=1}^M q_{ij} \tag{1}$$

WIAN 내부 망으로의 외부 패킷의 도착율이 평균 γ 의 Poisson 분포를 따르고, 패킷의 길이는 평균이 m 인 지수 분포를 따른다고 가정한다. 외부로부터의 도착 패킷이 WIAN으로 유입되는 시작 노드로서 노드 i 가 선택될 확률을 q_0 라 하기로 하면, 노드 i 에로의 외부 패킷의 도착율은 $\gamma_i = q_0 \gamma$ 가 된다.

각 노드 i 에서의 패킷의 도착율은 다음에 의하여 구해진다^[16].

$$\lambda(I - Q) = \gamma \tag{2}$$

여기에서 I 는 단위 행렬, $\lambda = [\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_M]$ 이고 $\gamma = [\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_M]$ 이다.

$D_{i,0}$ 를 노드 i 에 도착한 패킷이 서비스를 완료하고 WIAN을 떠나기 전까지 망내에 머문 평균 시간이라 하면, $D_{i,0}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D_{i,0} = D_i + \mathbf{q}_i D_0 \quad (3)$$

여기에서 $D_i = (\mu_i(1 - \rho_i))^{-1}$ 로서 노드 i 에서의 평균 지연 시간을 나타내고, $\rho_i = \lambda_i / \mu_i$, $\mathbf{q}_i = [q_{i1}, \dots, q_{iM}]$, $D_0 = [D_{1,0}, \dots, D_{M,0}]^T$ 이고 $[\cdot]^T$ 는 전치 행렬 (transpose matrix)를 나타낸다. 식 (3)을 정리하면 다음과 같은 관계식을 구할 수 있다.

$$D_{i,0} = D_i + \sum_{n=0}^{\infty} \mathbf{q}_i \mathbf{Q}^n D \quad (4)$$

여기에서 $D = [D_1, \dots, D_M]^T$ 이다. 이로부터, 패킷이 WIAN에서 평균적으로 머문 시간은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D_A = \sum_{k=1}^M q_{0k} D_{i,0} \quad (5)$$

GWR에는 해당하는 노드 k 에는 N_k 개의 BS (base station)들 BS(1), ..., BS(N_k)이 연결되어 있고, 노드 k 에서 WIAN을 떠나는 패킷들은 확률 q_i^k ($i=1, \dots, N_k$)에 따라 BS(i)에 전달된다고 가정하기로 한다. 한 BS가 관리하는 무선 링크에서의 대기 시간을 구하기 위한 무선 링크의 모형은 그림 9와 같다.

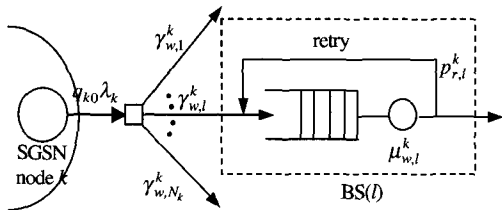


그림 9. 무선망 구성 모델

무선 단말에 대한 연결 서비스를 제공하는 GWR 노드 k 로 부터의 출력되는 트래픽은 λ_k 의 Poisson 분포를 따르게 된다. 노드 k 의 출력 패킷들이 GPRS 망을 떠나서 무선망으로 유입될 확률은 q_{k0} 이고, 이 패킷들이 BS(i) ($i=1, \dots, N_k$)에 유입되는 트래픽은 $\gamma_{w,i}^k = q_{k0} \lambda_k q_i^k$ 의 Poisson 분포를 따르게

된다. 이 BS(i)에서의 서비스 시간은 평균 서비스율 $\mu_{w,i}^k$ 의 지수 분포를 따른다고 가정하고, 무선 링크에서의 비트 오류 확률을 $b_{k,i}$ 이라 하면 무선망에서 패킷이 재전송될 확률 $p_{r,i}^k$ 는 다음과 같다.

$$p_{r,i}^k = \sum_{N \geq T} f(N) \sum_{x=T}^N \binom{N}{x} b_{k,i}^x (1 - b_{k,i})^{N-x} \quad (6)$$

여기에서, $f(N)$ 은 패킷의 길이가 N 일 확률, ($T-1$)는 FEC(Forward Error Control)등에 의하여 복구 가능한 최대 에러 비트수를 의미한다. 즉, 도착 패킷에서 T 개 이상의 비트 에러가 발생한 경우에 이 패킷은 재전송되어야 함을 의미한다. 이로부터, 패킷이 무선 링크에서 머무는 평균 시간은 다음과 같이 구해진다^[17].

$$D_{W,i}^k = \frac{1 - p_{r,i}^k}{(1 - p_{r,i}^k) \mu_{w,i}^k - \gamma_{w,i}^k} \quad (7)$$

식 (7)로부터, 무선 링크에서의 평균 지연 시간은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$D_W = \sum_{k=1}^M D_{W,i}^k P_k \quad (8)$$

여기에서 $D_W^k = \sum_{i=1}^{N_k} q_i^k D_{W,i}^k$, P_k 는 외부에서 WIAN내 임의의 노드에 도착한 패킷이 노드 k 에서 WIAN을 떠날 확률로서 다음과 같이 쉽게 구해진다.

$$P_k = \sum_{i=0}^M q_{0i} \sum_{n=0}^{\infty} \mathbf{q}_i \mathbf{Q}^n \mathbf{a}_k \quad (9)$$

이때, $\mathbf{a}_k = [a_{1k}, a_{2k}, \dots, a_{Mk}]^T$ 이다.

식 (7)과 (9)로부터, 전체 평균 지연 시간은 다음과 같이 구해진다.

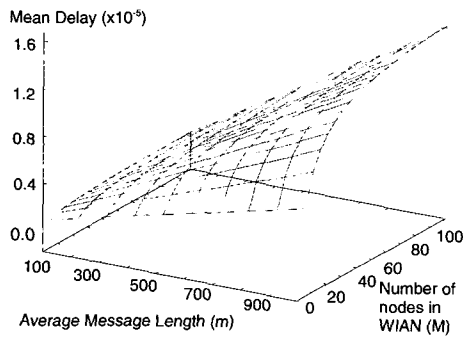
$$D_T = D_A + D_W \quad (10)$$

V. 수치 해석 결과

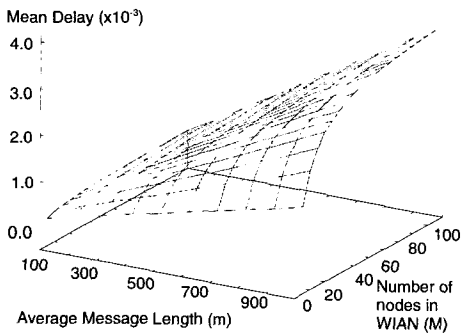
실험을 위하여, WIAN내의 노드의 링크 속도는 100 Mbps로 하였고, 라우팅 행렬 Q 는 다음과 같이 설정하였다. WIAN내의 노드수를 M 이라 할때, 모든 $1 \leq i, j \leq M$ 에 대하여 $q_{i0} = 0.1$, $q_{0i} = 1/M$ 이고, $i=j$ 일 때 $q_{ij} = 0$, $i \neq j$ 일 때 $q_{ij} = (1 - q_{i0})/M$ 으로 하였다. 외부 패킷의 평균 도착율 γ 는 패킷의 평균 길이 (m)에 대하여 각 노드들에서의 트래픽 intensity (ρ)가 일정

하도록 결정하였다.

그림 10은 ρ 가 각각 0.5와 0.8인 경우의 제안 방식이 적용 안된 경우의 WIAN내에서의 패킷 지연을 보여준다. 그림 10에서 P_{ratio} 는 WIAN내 전체 패킷들중에서 제안 방식을 적용한 패킷의 비율을 의미한다. 평균 메시지 길이가 길어질수록, WIAN 내의 노드수가 증가할수록 지연이 증가함을 알 수 있다.



(a) $\rho=0.5$



(b) $\rho=0.8$

그림 10. 제안 방식이 적용 안된 경우($P_{ratio}=0$)의 패킷 전달 지연

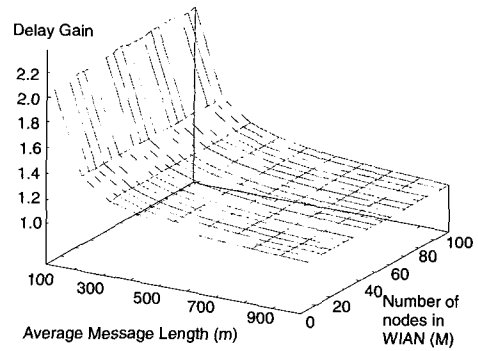
그림 11은 제안 방식을 사용한 경우의 패킷 지연을 그림 10의 지연과 비교하였을 때의 지연 이득(delay gain)을 비교하였다. 지연 이득은 다음과 같이 정의하였다.

$$Delay\ gain = D_w^E / D_w^P$$

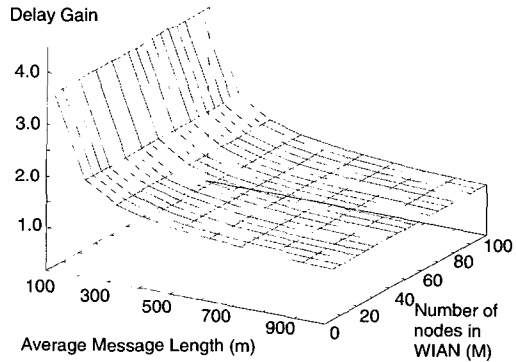
여기에서 D_w^E 는 제안 방식을 적용하지 않은 경우의 패킷 지연이고, D_w^P 는 제안방식을 적용한 경우의 패킷 지연을 의미한다.

그림 11에서 보는 바와 같이, 트래픽 인텐시티가 일정한 경우에, 평균 패킷 길이가 짧아질수록 제안

방식에 의한 패킷 지연 이득이 커짐을 알 수 있다. 반면에 노드의 수가 증가할 경우에는 지연 이득이 변화가 없음을 알 수 있다. 즉, 노드의 수에 무관하게 일정한 지연 이득을 구할 수 있음을 말해 준다. 또한, ρ 가 큰 경우가 작은 경우에 비하여 지연 이득이 크게 됨을 알 수 있다.



(a) $\rho=0.5$



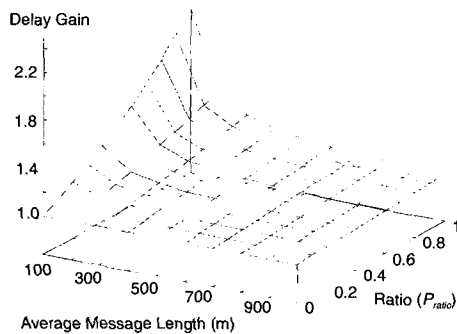
(b) $\rho=0.8$

그림 11. m, M 변화시 WIAN내 지연 이득 ($P_{ratio}=1$)

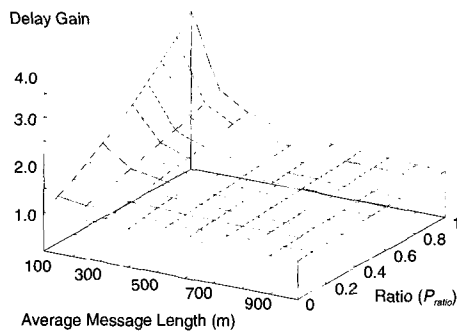
그림 12는 WIAN내 노드의 수(M)를 10으로 고정한 경우에 대하여 평균 패킷 길이와 패킷 비율(P_{ratio})에 대한 지연 이득을 보여준다. 제안 방식의 패킷 비율이 증가할 수록 지연 이득이 증가함을 알 수 있다.

그림 10-12의 결과들로부터 다음과 같은 결론을 도출할 수 있다. i) 트래픽 인텐시티(ρ)가 일정한 경우에는 평균 패킷 길이(m)가 짧을수록 지연이득이 커지게 된다. ii) 평균 패킷 길이 (m)가 일정한 경우에는, ρ 가 클수록 -네트워크내에 트래픽이 증가할 수록 - 지연 이득이 커짐을 알 수 있다. iii) 네트워크의 크기에 상관없이 동일한 m, ρ 에 대하여는 일정한 지연 이득이 보장된다. 이때, 라우팅을

위한 경로 탐색을 위한 복잡성이 기존 방식의 $O(\log N)$ 에 비하여 제안 방식은 $O(1)$ 으로 감소하게 되므로서 추가적인 지연 이득을 기대할 수 있으나, 이러한 내용은 결과에 반영되지 않았음에 주의한다. 따라서, 이러한 복잡성의 효과를 추가할 때 제안 방식의 이득은 더 증가하게 될 것으로 기대된다.



(a) $\rho=0.5$



(b) $\rho=0.8$

그림 12. m, P_{ratio} 변화에 따른 WIAN내 지연 이득 ($M=10$ 고정)

그림 13은 $T=1$ 인 경우 (즉, FEC가 적용 안된 경우)에 있어서, 비트 오류 확률이 각각 $10^{-2}, 10^{-3}, 10^{-4}, 10^{-5}$ 인 경우에 대하여 패킷 재전송 확률을 보여주고 있다. 평균 패킷의 길이가 짧을수록 제안 방식을 적용하는 경우가 비트 오류에 대하여 더 나은 성능을 보여줄 수 있다. 식 (7)에 의하여, 재전송 확률이 작아지면, 무선 링크에서의 지연도 함께 감소하게 되고, 또한, 재전송 확률이 일정할때는, 평균 패킷의 길이($\mu_{w,i}^k$)가 짧을수록, 평균 지연이 감소하게 됨을 직관적으로 알 수 있다. 이로부터, 제안된 패킷 전송 방법은 무선 링크에서도 평균 지연 시간을 감소시킬 수 있다.

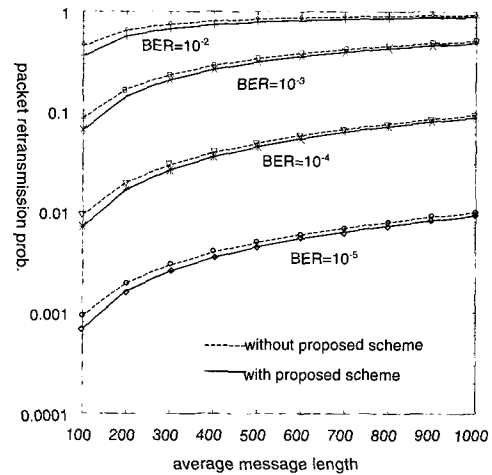


그림 13. 평균 패킷 길이 (m)에 따른 패킷 재전송 확률 ($T=1$)

VI. 결론

본 논문에서는 무선 인터넷 접속망 환경에서 효율적인 패킷 전달 방법을 제안하였다. 패킷 전달은 연결형 (connection-oriented) 기반으로 패킷 전달 이전에 구성된 플로우(flow)에 따라 이루어지며, 이를 위하여 무선 인터넷 접속망에서의 플로우 구성 방법과 패킷 전달을 위한 변형된 IPv6 (modified-IPv6) 헤더를 정의하였다. 또한, 무선 단말의 이동성을 지원하기 위한 방안과 제안한 방법의 구현 방안을 설명하였다. 제안 방법의 성능 분석을 위하여, 무선 인터넷 접속망에서의 패킷 전달 지연 시간을 분석하였다. 분석된 결과를 통하여 패킷 길이가 무선 인터넷 접속망 및 무선망에서의 성능에 어떻게 영향을 미치는지와 본 논문에서 제안하는 방식의 효율성을 보여주었다.

대체적으로, 본 논문에서 제안한 방식은 평균 패킷 길이가 400이하로 짧은 경우에 대하여 지연 이득 측면에서 매우 효율적임을 보여준다. 반면에 평균 패킷의 길이가 400 이상으로 길어지는 경우에는 지연 이득 정도가 매우 작아진다. 이것은 본 논문에서의 방식이 패킷 헤더의 길이를 줄임으로써 지연 이득 효과를 얻게 되는데, 패킷의 길이가 길어지게 되면 전체 패킷 길이에 대한 패킷 헤더 길이의 영향이 작아지게 되는 것에서 기인하는 것으로 판단되어진다. 그러나, 여기에서의 해석은 단순히 패킷의 큐잉 지연에 대한 것으로서, 라우팅을 위한 next hop 경로 선정을 위한 복잡성(complexity)은 반영되어 있지 않다. 4.1.에서 설명된 바와 같이, 기존의

방식에서는 라우팅 엔트리수가 N일 때 $O(\log N)$ 의 계산상의 복잡성에 의한 부가적인 지연이 추가된다. 반면에, 제안 방식은 $O(1)$ 으로서 라우팅 엔트리 수에 무관하게 항상 일정하다. 이러한 추가 지연을 고려한다면, 제안 방법의 지연 이득 성능은 더 증가하게 될 것이다.

본 논문에서 제안한 방법과 관련하여 계속 연구되어야 할 많은 사항들이 존재한다. 우선적으로, 본 논문에서 다루지 않은 이동성 지원 성능에 대하여 제안 방식을 실제로 구현하여 적용하여야 할 필요가 있다. 또한, 플로우 구성시 역방향으로 라우팅 경로를 선정하기 위한 방안에 대한 연구도 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] 3GPP TS 03.60, "Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); Service Description; Stage 2," 1998
- [2] 3GPP2 Specification P.S001-A-1, "Wireless IP Network Standard," v1.0, Dec. 2000
- [3] C. Perkins, "IP Mobility Support," IETF RFC2002, Oct. 1996
- [4] R. Ramjee, T. LaPorta, L. Salgarelli, S. Thuel, K. Varadhan, L.Li, "IP-Based Access Network Infrastructure for Next-Generation Wireless Data Networks," IEEE Personal Communications, Vol.7, No.4, August 2000
- [5] A. Campbell, J. Gomez, S.Kim, A.Valko, C.Ean, Z.Turanyi, "Design, Implementation, and Evaluation of Cellular IP," IEEE Personal Communications, Vol.7, No.4, August 2000
- [6] S. Das, A. Misra, P.Agrawal, S.K.Das, "TeleMIP: Telecommunications-Enhanced Mobile IP Architecture for Fast Intradomain Mobility," IEEE Personal Communications, Vol.7, No.4, August 2000
- [7] 유재필, 김기천, 이윤주, "MPLS망을 적용한 IMT2000 시스템에서의 패킷 데이터 처리 절차," 한국정보처리학회 논문지, 제6권 제11호, 1999년 11월
- [8] B. Jabbari, R. Papneja, E.Dinan, "Label Switched Packet Transfer For Wireless Cellular Networks," IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNS) 2000, Chicago, USA, September 2000
- [9] S. Deering, and R.Hinden, "Internet Protocol Version 6 (IPv6) Specification," IETF RFC 2460, December 1998
- [10] 3GPP TS 09.60, "Digital Cellular Telecommunications System (Phase 2+); General Packet Radio Service (GPRS); GPRS Tunnelling Protocol(GTP) across the Gn and Gp Interface," V7.6.0, September 2000
- [11] P. Newman, and G. Minshall, "IP Switching: ATM under IP," IEEE/ACM Tr. Networking, Vol. 6, No.2, pp.117-129, April 1998
- [12] K. Kim, and B. Roh, "A Hybrid Approach Of Connection Management With Hard and Soft States," submitted to Journal.
- [13] J.Parantainen and S. Hamiti, "Delay Analysis for IP Speech Over GPRS," Proc. of VTV 99, Amsterdam, September 1999
- [14] V. Jacobson, "Compressing TCP/IP Headers for Low-Speed Serial Links," IETF RFC 1144, Feb. 1990
- [15] S.Casner, V.Jacobson, "Compressing IP/UDP/RTP Headers for Low-Speed Serial Links," IETF RFC 2508, Feb. 1999
- [16] P. Harison, and N. Patel, *Performance Modeling of Communication Networks and Computer Architectures*, Addison-Wesley Publishing Company, 1993
- [17] A. Allen, *Probability, Statistics, and Queueing Theory with Computer Science Applications*, 2nd edition, Academic Press, Inc., 1990

노병희(Byeong-hee Roh)

종신회원



1987년 2월 : 한양대학교 전자공학
학과 졸업
1989년 2월 : 한국과학기술원
전기및전자공학과 석사
1998년 2월 : 한국과학기술원
전기및전자공학과 박사
1989년 3월~1994년 3월: 한국통신
통신망 연구소

1998년 2월 ~ 2000년 3월: 삼성전자
현재, 아주대학교 정보및컴퓨터공학부 조교수
<주관심 분야> 멀티미디어 통신