

이기종 무선망에서의 다양한 트래픽 환경이 고려된 에너지 효율적인 수직적 핸드오프 기법에 대한 연구

서 성 훈[†] · 이 승 찬^{††} · 송 주 석^{†††}

요 약

현재 사용되고 있는 대표적인 무선 네트워크 접속 기술들로는 높은 이동성을 지원하는 휴대 전화망인 WWAN(Wireless Wide Area Networks), 높은 대역폭을 지원하는 WLAN(Wireless Local Area Networks), 그리고 방송 및 데이터를 수신할 수 있는 WDMB(Wireless Digital Multimedia Broadcasting) 등을 들 수 있다. 그러나 각각의 기술들은 각각 이동성 및 데이터 전송률, 그리고 데이터의 방향성 등의 한계를 내포하고 있다. 이러한 제약점을 극복하기 위해, 서로 다른 접속 기술을 상황에 따라 전환하여, 현재 서비스 받고 있는 데이터 접속을 끊김 없이 연결해 주어야 하는 수직적 핸드오프(Vertical Handoff) 기법에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.

본 논문에서는 WWAN 인터페이스를 기반으로, 단말에 장착되어 있는 다른 인터페이스들(WLAN과 WDMB)에 대한 에너지 소모를 최소화하여 전체 시스템의 생명시간(Life time)을 최대화 하는 인터페이스 선택 알고리즘과 망구조를 제안한다. 또한 다양한 서비스에 대한 트래픽을 분석하여 망단에 존재하는 사용자 버퍼를 관리하고 이를 수직적 핸드오프의 기준으로 활용하여 기존 방식들에 비교하여 전체적 에너지 소모가 기존 기법 대비 각각 75%(WDMB 우선), 34%(WLAN 우선) 절감됨을 보인다.

키워드 : 에너지 효율, 수직적 핸드오프, 다양한 트래픽

Power Aware Vertical Handoff Algorithm for Multi-Traffic Environment in Heterogeneous Networks

SungHoon Seo[†] · SeungChan Lee^{††} · JooSeok Song^{†††}

ABSTRACT

There are a few representative wireless network access technologies used widely. WWAN is cellular based telecommunication networks supporting high mobility, WLAN ensures high data rate within hotspot coverage, and WDMB support both data and broadcasting services correspondingly. However, these technologies include some limitations especially on the mobility, data rate, transmission direction, and so on. In order to overcome these limitations, there are various studies have been proposed in terms of "Vertical Handoff" that offers seamless connectivity by switching active connection to the appropriate interface which installed in the mobile devices.

In this paper, we propose the interface selection algorithm and network architecture to maximize the life time of entire system by minimizing the unnecessary energy consumption of another interfaces such as WLAN, WDMB that are taken in the user equipment. In addition, by using the results of analyzing multiple types of traffic and managing user buffer as a metric for vertical handoff, we show that the energy efficiency of our scheme is 75% and 34% than typical WLAN for WDMB and WLAN preferred schemes, correspondingly.

Key Words : Power Aware, Vertical Handoff, Multi-Traffic

1. 서 론

정보통신 기술의 발전으로 다양한 무선 네트워크가 등장하였다. 현재 가장 널리 쓰이는 무선 네트워크 기술로는 휴대

전화 통신망인 WWAN, 무선 인터넷 접속 기술인 WLAN, 그리고 멀티미디어 방송 서비스를 이용하기 위한 WDMB를 들 수 있다. 이러한 인터페이스들은 각기 서로 다른 상황 특성들을 가지고 있기 때문에 단독적으로 사용함에 있어 많은 제약사항을 가지고 있다(표 1 참조).

먼저 W-CDMA와 cdma2000 1X EV-DO와 같은 대표적인 3세대 WWAN 기술은 언제 어디서든지 휴대 단말에서 접속이 가능하고, 이동 중에도 끊김 없이 접속을 유지해 줄 수 있는 반면, 데이터 전송 대역폭이 상대적으로 낮다.

* 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성·지원사업의 연구결과로 수행되었음.

† 준 회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과 박사과정

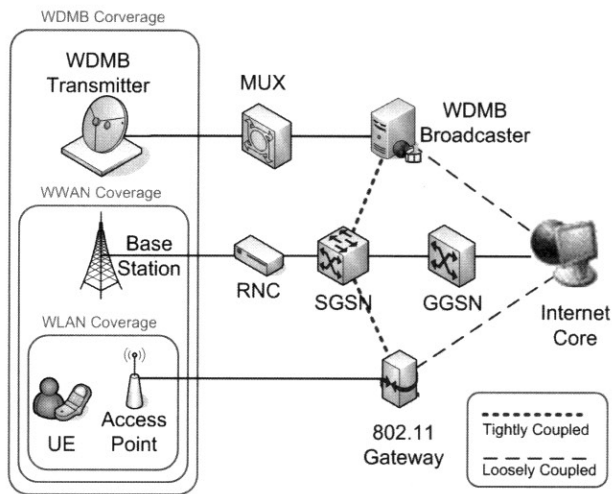
†† 준 회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과 석사과정

††† 종신회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과 정교수

논문접수 : 2005년 7월 21일, 심사완료 : 2005년 8월 18일

〈표 1〉 무선 접속 비교

| | WWAN | | WLAN | WDMB |
|-----------------|----------------------|------|-------------------------|-------|
| | cdma2000 1x EV-DO | UMTS | IEEE 802.11 a/b/g | DVB-H |
| 최대 전송률 (bps) | 144K | 2M | 11~54M | 310K |
| 전송범위 (Km) | 1~10 | 1~10 | 0.05~0.1 | 5~30 |
| 전송방향 (무선구간) | 양방향 | 양방향 | 양방향 | 단방향 |



(그림 1) 수직적 핸드오프를 지원하기 위한 망 구성도

한편, T-DMB(Terrestrial-DMB)와 DVB-H(Digital Video Broadcasting-Handheld)등의 WDMB 기술은 WWAN 보다 높은 수준의 대역폭을 제공하고, WWAN 수준의 이동성을 제공하지만, 오직 송신기로부터 단말기로의 데이터 전송만이 가능한 단방향 전송 방식이라는 제약사항을 갖는다.

이러한 제약사항을 극복하기 위해서는 다중 인터페이스를 통해서 데이터 전송 및 에너지 효율을 최대화 시킬 수 있는 수직적 핸드오프 기술이 필요하다. 수직적 핸드오프를 지원하기 위해서는, 동일한 단말기에 여러 개의 망 접속 인터페이스가 탑재되어야하고, 사용자의 필요에 따라 가장 효율적인 인터페이스를 선택할 수 있는 알고리즘 정책이 필요하다.

일반적인 수직적 핸드오프 기법은 단말의 모든 인터페이스의 전원을 켜놓고 현재 단말의 신호의 세기와 같은 무선 자원의 가용 여부를 판단해야 한다. 이는 데이터 전송에 관여하지 않는 인터페이스의 전원을 켜놓아야 하므로 불필요한 에너지 소모를 초래하게 된다. 본 연구는 이와 같은 에너지 낭비를 줄이기 위한 인터페이스 선택 알고리즘을 제안한다.

본 연구는 (그림 1)과 같이 다양한 무선 접속 인터페이스들이 하나의 수신 노드(단말)에 장착되어 있음을 가정하고, 상황에 따라 다른 인터페이스를 통해 데이터를 수신 받을 수 있는 망구조를 기반으로 한다. 데이터 전송률을 보장하기 위하여, WWAN망의 구성요소인 SGSN(Serving GPRS

Support Node)의 사용자 버퍼에 들어오는 패킷 분석 결과를 인터페이스 선택 알고리즘에 필요한 하나의 핸드오프 기준(handoff metric)으로 사용한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 기존의 수직적 핸드오프 기법들에 대한 각각의 특징을 살펴보고 문제점들을 도출한다. 3장에서는 단말에 장착되어 있는 다른 인터페이스들(WLAN과 WDMB)에 대한 에너지 소모를 최소화시켜 전체 시스템의 생명시간(Life time)을 최대화 시켜줄 수 있는 인터페이스 선택 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 3장에서 제시한 인터페이스 선택 알고리즘이 기존 방식들과 비교하여 에너지 소모가 얼마나 줄어들었는지에 대한 성능 분석 결과를 제시한다. 마지막으로 본 연구에서 제안한 기법에 대한 결론을 내리고 향후 과제에 대하여 언급한다.

2. 관련 연구 및 동향

2.1 관련 연구

[1]에서는 망의 상황에 따라서 판단되는 접속점(access point)에 대한 불필요한 핸드오프와 핑퐁 효과(ping-pong Effect)를 줄이기 위한 단과단 이동성 관리 시스템을 제안한다. 이 방식은 망과 단말 구성요소의 대부분을 수정해야하므로 비용대비 표준 동향 측면의 비효율성을 내재하고 있고 인터페이스 선택에 있어 잔여 에너지 효율에 대한 고려가 부족하다.

[1, 2, 3]에서는 단말에 장착된 WLAN 인터페이스를 데이터 송수신이 존재하지 않는 대기 상태에서 주기적으로 비콘 신호를 확인하여 데이터의 수신 여부와 가용한 접속점의 존재 여부를 판단한다. 따라서 데이터 송수신이 존재하지 않는 경우에도 인터페이스의 구동에 필요한 일정량의 에너지를 소모해야 된다는 단점을 내포하고 있다.

[4]에서는 WLAN 인터페이스의 불필요한 구동을 줄여 에너지 소모를 최소화 하기위해 GPS(Global Position System) 기술을 사용하여 현재 단말이 접속 가능한 AP로 진입 혹은 퇴장하였는지의 여부를 판단한다. 하지만 GPS 기능을 사용하기 위해 소모되는 에너지와, 단말의 위치에 해당하는 좌표를 얻기 위해 필요한 지연 시간에 대한 고려가 부족하다.

2.2 표준화 동향

IEEE 802.21 작업반[9]에서는 인텔과 루슨트를 중심으로 이기종망간 핸드오프 관련한 표준화를 진행중에 있으며, 향후 유비쿼터스 통합 네트워크의 등장에 대비하여 IETF, ITU-T/R, 3GPP, 3GPP2 등 에서도 활발히 논의되고 있다. 또한 DVB-H는 2004년 11월, ETSI에 의해 사용자 휴대단말에 방송 서비스를 전송하기 위한 기술 표준으로 채택되었다.

본 논문에서는 위에서 언급된 기존의 기법들이 가지고 있는 문제점들을 보완하여, 전력소모를 최소화 하고 전송 효율을 높일 수 있는 방법론을 제시한다.

3. 제안 모델

3.1 구축 환경

본 연구에서는 대기상태에서의 전력소모가 가장 적고(표 2 참조) 인프라가 폭넓게 구축되어 있는 WWAN을 중심으로 한 강결합 구성(tightly coupled approach)을 바탕으로 통합망을 구성한다.

강결합 구성은 (그림 1)에서 볼 수 있듯이, WLAN의 하위 망과 WDMB의 하위 망이 WWAN의 SGSN에 연결되어 있다. 패킷은 SGSN까지 IP(Internet Protocol)형태로 관리되고, 이하 구조에서는 각각의 무선 프로토콜 형식에 부합되는 형태로 변환되어 최종적으로 무선 단말에 전달되게 된다. 강결합 구성은 외부망을 통해 연결되는 약결합 구성(loosely coupled approach)에 비해 전송 데이터에 대한 빠른 라우팅 경로 설정 및 망 관리의 용이성을 제공한다.

또한 사용자 단말에는 WWAN, WLAN, 그리고 WDMB 인터페이스가 탑재되어 있으며, 데이터 전송 및 에너지 효율을 고려하여 가장 적합한 인터페이스를 선택하는 알고리즘이 적용된다. 본 연구는 데이터 패킷이 외부 망으로 부터 사용자 단말로 전달되는 과정인 하향 전송(downlink)만을 고려한다.

〈표 2〉 망 접속 인터페이스 상태별 에너지 소모율

| 에너지소모율 (watt) | | 전송 상태 | | |
|---------------|------|-----------------------|-------|-------|
| | | 대기상태 | 상향전송 | 하향전송 |
| WWAN | GSM | 0.08 | 1.75 | 2.85 |
| | CDMA | 0.099 | 2.805 | 0.495 |
| WLAN | | 0.75(절전) 1.97(비절전) | 7.19 | 7.45 |
| DVB-H | | 0.73 | | |

3.2 인터페이스 선택 기법

3.2.1 트래픽 형식 및 버퍼관리

SGSN에는 WWAN 핵심망 외부에서 진입하는 패킷 데이터에 대한 사용자 버퍼가 존재하며, 버퍼에 진입하는 트래픽의 분석 결과는 핸드오프의 기준으로 사용된다. <표 3>은 사용자 응용에 필요한 트래픽의 형태에 따라 각각의 형식을

〈표 3〉 사용자 응용에 필요한 트래픽 형태별 서비스 분류

| 데이터\형식 | 일시적 발생 | 지속적 유지 |
|--------|---------------|-------------------|
| 일반 | 1 (이메일 전송) | 3 (FTP, P2P) |
| 실시간 | 2 (웹문서) | 4 (스트리밍, VoIP) |

1~4번으로 정의한다.

<표 3>에서 실시간 데이터는 빠른 응답 시간과 낮은 지연시간으로 전송이 이루어져야 하는 트래픽 형식으로, 많은 양의 데이터가 지속적으로 유지되어야 하는 스트리밍과 VoIP 서비스, 적은 양의 데이터를 순간적으로 보내는 웹페이지 보기가 이에 속한다.

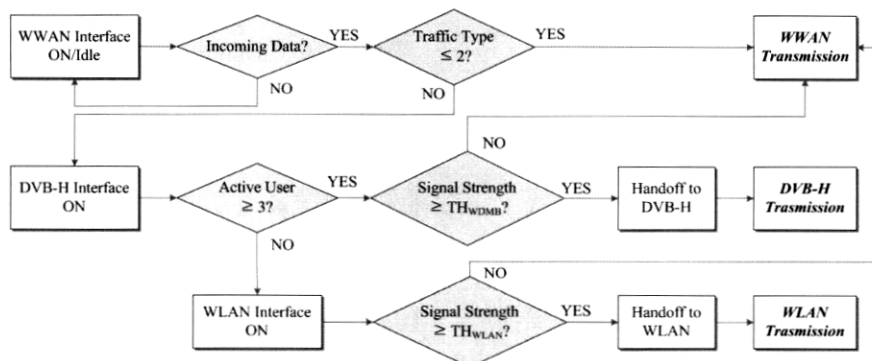
일반 데이터는 응답시간이나 접속지연 등은 고려하지 않아도 되는 형식으로서, 큰 파일의 데이터를 지속적으로 보내는 FTP나 P2P 서비스, 비 주기적으로 순간적인 데이터를 전송하는 이메일 송/수신이 이에 속한다.

여러 형태의 트래픽들은 SGSN에 위치한 사용자 버퍼에서 중첩되어 들어올 수 있는데, 트래픽 형식이 높은 서비스에 의해수직적 핸드오프 수행 여부가 결정된다. 만약 버퍼에 들어오는 서비스들이 모두 트래픽 형식 3에 못 미치는 경우에는 단말은 WWAN 인터페이스를 통해 데이터를 수신하게 되고, 한 가지 이상의 서비스가 트래픽 형식 3과 같거나 높으면, 단말에게 페이징 채널을 통해 인터페이스 선택 과정을 수행하도록 알린다.

3.2.2 사용자 연결 수에 따른 핸드오프 고려

DVB-H는 IP Datacast(이하 IPDC) 기법을 이용하여 일대일(One-to-one)의 유니캐스트 전송을 할 수 있다. IPDC는 시간 슬롯으로 나누어진 DVB-H의 전송 프레임에 유니캐스트 슬롯을 삽입하여 해당하는 IP를 가진 노드로 전송시킬 수 있는 기법이다.

IPDC를 사용하는 경우 데이터 전송 속도는 현재 DVB-H 망을 통해 서비스 받고 있는 사용자의 수의 영향을 받는다. 본 연구에서는 <표 4>와 같이 사용자 수에 대한 DVB-H의 IPDC 전송률을 4단계로 분류하고, 가용한 전송률을 하나의 핸드오프 기준으로 사용한다. 사용자 단계가 2 이하인 경우



(그림 2) 수직적 핸드오프를 위한 인터페이스 선택 알고리즘 흐름도

<표 4> 접속 사용자의 밀집도에 따른 데이터 전송률

| 사용자 단계 | 데이터 전송률(Kbps) |
|-----------|---------------|
| 1 (높음) | 1.25 |
| 2 (보통) | 44 |
| 3 (낮음) | 144 |
| 4 (매우 낮음) | 310 |

에, DVB-H 인터페이스의 전송률은 WWAN 인터페이스의 최대 전송률에 미치지 못하므로 DVB-H 인터페이스로 전환하는 것은 효율적이지 못하다.

3.2.3 인터페이스 선택 기법

사용자의 휴대 단말은 SGSN의 사용자 버퍼에 데이터가 들어오면 (그림 2)와 같은 인터페이스 선택 알고리즘을 수행한다.

표 3에서 분류한 트래픽 형식에서 3번과 4번은 한순간에 많은 양의 데이터를 전송하게 되므로 데이터 전송률이 높은 인터페이스를 선택한다. 인터페이스 선택 알고리즘은 (그림 5)와 같이 시스템의 생명 시간을 최대화하기 위하여 전력 소모율이 낮은 DVB-H 인터페이스로의 핸드오프 수행을 우선적으로 고려한다.

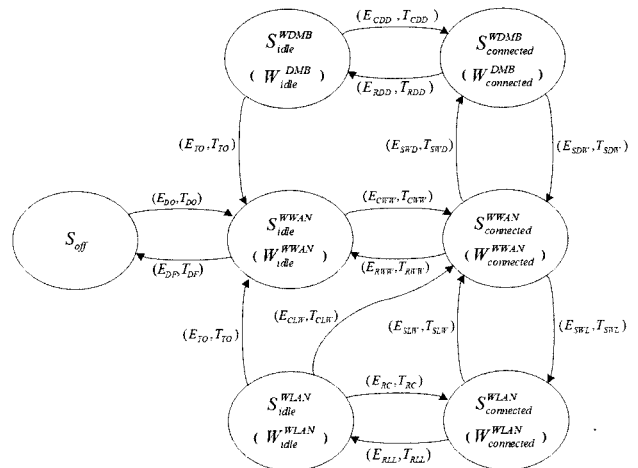
DVB-H 인터페이스로 전환하기 위해서, 단말은 DVB-H 인터페이스를 활성화 시킨 후 접속된 사용자의 수에 대한 정보<표 4>를 획득한다. 사용자의 단계가 3보다 크면 DVB-H 인터페이스를 통한 데이터 전송이 WWAN 인터페이스를 이용한 것과 비교할만한 속도(144Kbps)를 지원할 수 있으므로 DVB-H 인터페이스로의 연결 변경을 시도하게 된다. 다음으로, 실제 DVB-H 인터페이스로 통해 연결된 신호의 세기가 최소한의 기준치(TH_{WDMB})를 제공할 수 있는지를 확인한다. 신호의 세기가 기준치보다 크면 현재 WWAN으로 연결되어 있던 데이터 통신을 DVB-H 인터페이스로 전환하는 수직적 핸드오프가 발생된다.

DVB-H에서 획득한 사용자 단계가 1이나 2이면, 전송률이 더 높은 WLAN 인터페이스로의 핸드오프를 고려하게 된다. 우선 사용자 휴대 단말의 WLAN 인터페이스를 작동시키고 신호의 세기를 확인하여, 기준치(TH_{WLAN})보다 크다면 단말은 현재의 연결을 WLAN 인터페이스로 전환한다.

DVB-H와 WLAN으로 핸드오프가 된 이후에도 사용자의 휴대 단말은 주기적으로 신호의 세기를 측정하여 신호가 미약한 경우에 다시 핸드오프를 할 준비를 해야 한다. 본 연구에서 제안한 알고리즘에서는 핸드오프가 필요한 시점에만 인터페이스를 구동하므로, 단말에 탑재된 인터페이스에 의한 불필요한 에너지 낭비를 줄일 수 있다.

3.3 에너지 관리 기법

본 논문에서는 에너지 소모율을 최소화하기 위하여 에너지 관리 기법을 제시한다. 효율적인 에너지 관리를 위하여 에너지 소모를 대기(Idle), 연결(Connected), 전이(Transition) 상태로 나눈다. 따라서 전체 에너지 소모율은 다음 식 1과



(그림 3) 인터페이스 상태 전이도 (에너지 소모)

같이 각 상태들의 합으로 나타낼 수 있다.

$$E_{tot} = \sum W_{idle} + \sum W_{connected} + \sum W_{transition} \quad (식 1)$$

대기 상태는 데이터를 전송하지 않고 인터페이스만을 켜 놓은 상태이며 연결 상태는 각 인터페이스가 데이터를 전송하고 있는 상태를 의미한다. 전이 상태는 각 인터페이스의 대기, 혹은 연결 상태가 다른 상태로 전이될 때 소모되는 전력으로, 각각의 상태 전이시에 소모되는 전력은 서로 다르다. 각 인터페이스들에 대한 상태 전이도 및 각 상태 전이 별 에너지 소모량은 (그림 3)과 같다.

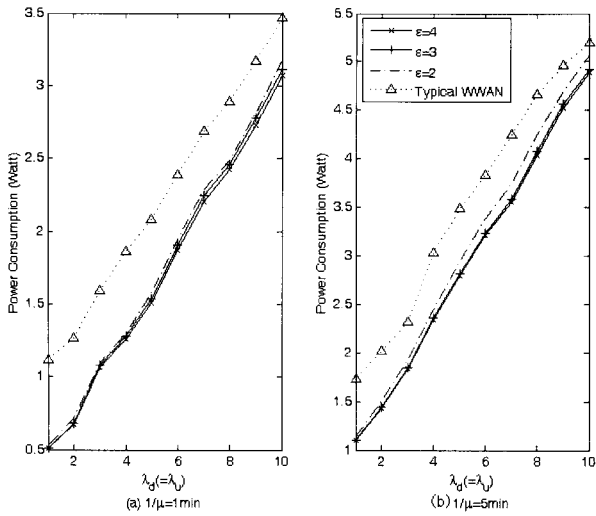
4. 성능 분석

전체적인 시스템의 에너지 소모량을 분석하기 위하여, 실제 망 환경과 유사하도록 ns-2[12]를 이용하여 구현하였다. 기반구조를 구성하기 위한 W-CDMA 환경은 EURANE 확장 [13]을 적용하였으며, WLAN환경과 WDMB 환경은 <표 5>와 같은 환경으로 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 수행의 간략화를 위해서 상태 전이되는 동안의 에너지 소모량은 무시하고, 대기 상태와 연결 상태에 대한 에너지 소모량을 계산한다.

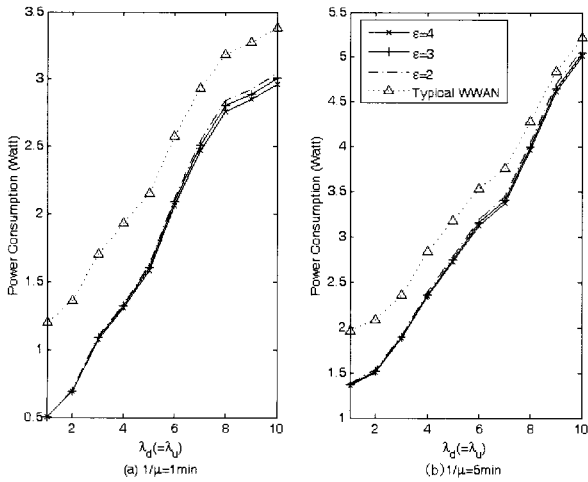
트래픽 특성별 차별화를 주기위해서 4가지의 다른 특성을 가진 on/off 트래픽을 생성하도록 하였으며, 각 트래픽들은 전송 구간(on-period) 동안 지수형태(exponential)로 발생되

<표 5> 시뮬레이션 환경

| 환경 변수 | 값 |
|-------------|--|
| WLAN 에너지 소모 | $W_{idle}^{WLAN} = 0.75$ Watt $W_{connected}^{WLAN} = 7.0$ Watt |
| WDMB 에너지 소모 | $W_{idle}^{WDMB} = 0.73$ Watt $W_{connected}^{WDMB} = 1.0$ Watt |
| WWAN 에너지 소모 | $W_{idle}^{WWAN} = 0.1$ Watt $W_{connected}^{WWAN} = 2.0$ Watt |



(그림 4) WDMB > WLAN 인 경우의 에너지 소모율



(그림 5) WDMB < WLAN 인 경우의 파워 소모율

도록 하였다. 전체 시뮬레이션은 1시간동안 수행하였다.

먼저, (그림 4)는 WDMB의 우선순위를 WLAN 보다 더 높게 설정하여 단말의 전체 에너지 소모율을 구한 것이다. ϵ 는 표 4에 나타난 사용자 밀집도를 나타낸다($\epsilon=1$ 인 경우 제외). ϵ 값이 커질수록 데이터 전송률이 높아져서 에너지 소모율이 상대적으로 낮아지게 되며, ϵ 값이 낮아지면, WWAN이나 WLAN 인터페이스를 이용하여 데이터를 수신해야 하므로 에너지 소모율은 증가하게 된다.

시뮬레이션 수행에 있어 λ_d 와 λ_u 값은 각각 단위시간 동안 단말에서의 업링크, 다운링크가 발생될 확률이다. (이 두 값들은 항상 동일하다고 가정한다.) $1/\mu$ 은 하나의 데이터 전송이 지속되는 시간을 나타낸다. $1/\mu=5$ 분인 경우 (그림 4) b) 데이터 수신을 위한 에너지 소모가 증가하기 때문에 전체적인 에너지 소모가 $1/\mu=1$ 분인 경우(그림 4) a)보다 증가되었음을 확인할 수 있다.

비교 대상이 되는 결과는 수직적 핸드오프를 수행하기 위해 단말의 모든 인터페이스를 항상 켜놓고 있는 일반적인 기법(typical WWAN)이다. 이 기법은 데이터 전송에 관여하

지 않는 인터페이스를 켜놓아야 하므로 에너지 소모가 크다. 본 연구에서 제안하는 기법은 일반적인 기법에 비해 평균 75%의 에너지를 절감할 수 있음을 확인할 수 있다.

(그림 5)는 반대로 WLAN의 우선순위가 WDMB 보다 높은 경우이다. 이 경우 WDMB에 우선 순위를 둔 (그림 4)의 결과와 비교하였을 때 전체적인 에너지 소모량이 평균 27%가 증가되었다. 이는 WLAN의 에너지 소모가 WDMB의 그것보다 높기 때문이다. WLAN에 우선순위를 둔 기법은 비교 대상이 되는 일반적인 기법에 비하여 에너지 소모율이 34% 적음을 확인할 수 있다. 하지만 제안된 기법의 에너지 소모량은 트래픽이 좀 더 빈번하게 발생됨에 따라서 일반적인 기법에 비교하여 차이가 줄어들음을 확인할 수 있다(그림 5) b).

5. 결 론

제안된 인터페이스 선택 기법의 사용으로 단말은 현재 수행 가능한 인터페이스 중 에너지 소모를 최소화 할 수 있는 인터페이스로 전환할 수 있다. WWAN 망을 이용한 다른 인터페이스들에 대한 제어를 통해, 데이터 송/수신이 이루어지지 않는 인터페이스의 전원을 차단함으로써 에너지 소모율을 낮출 수 있으며, 시뮬레이션을 통해 각각 75%(WDMB 우선), 34%(WLAN 우선)의 에너지 절감 효과를 확인하였다.

그러나 인터페이스의 상태 전이 시 소모되는 에너지 소모에 대한 고려 및 인터페이스를 기동하기 위해 걸리는 시간에 대한 고려가 추가적으로 필요하다. 또한 본 연구에서 제안된 기법은 다운링크 데이터에 대한 버퍼의 관리를 통해서만 진행되므로 업링크 데이터를 고려한 연구의 수행은 향후과제로 남겨놓는다.

참 고 문 헌

- [1] C. Guo, et al, "A Seamless and Proactive End-to-End Mobility Solution for Roaming across Heterogeneous Wireless Networks," *IEEE JSAC*, Vol.22, No.5, pp.834-848, June, 2004.
- [2] E. Gustafsson, and A. Jonsson, "Always Best Connected," *IEEE Wireless Communications*, Vol.10, No.1, pp.49-55, Feb., 2003.
- [3] R. Chakravorty, P. Vidales, K. Subramanian, I. Pratt, and J. Crowcroft, "Performance Issue with Vertical Handovers - Experiences from GPRS Cellular and WLAN Hot-spots Intergration," *IEEE Proceedings Percom: Pervasive Computing and Communications*, 2004.
- [4] M. Ylianttila, et al, "Analysis of handoff in a location-aware vertical multi-access network," *Elsevier B.V*, 2004.
- [5] K. Mahmud, M. Inoue, H. Murakami, M. Hasegawa, and H. Morikawa, "Energy Consumption Measurement of Wireless Interfaces in Multi-Service User Terminals for Heterogeneous Wireless Networks," *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E88-B,

No.3, March, 2005.

- [6] Khaled Mahmud, et al, "Energy Consumption Measurement of Wireless Interfaces in Multi-Service User Terminals for Heterogeneous Wireless Networks," IEICE Trans. Commun, Vol.E88-B, No.3, March, 2005.
- [7] IEEE 802.21-MIH(Media Independent Handoff), <http://www.ieee802.org/21>.
- [8] ITU-R SG6 WP 6M: Interactive and multimedia broadcasting.
- [9] ETSI: WorldDAB, www.worlddab.org.
- [10] The Network Simulator 2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- [11] EURANE, Enhanced UMTS Radio Access Network Extensions for ns-2, <http://www.ti-wmc.nl/eurane>.

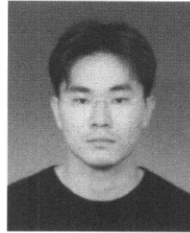
서 성 훈



e-mail : hoon@emerald.yonsei.ac.kr
 2000년 한성대학교 정보시스템공학과 (학사)
 2002년 연세대학교 컴퓨터과학과(석사)
 2004년~현재 연세대학교 컴퓨터과학 박사과정

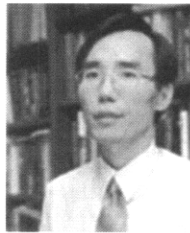
관심분야: Integration of Wireless LAN and Cellular Networks, Mobile Communications

이 승 찬



e-mail : chanyi@emerald.yonsei.ac.kr
 2005년 연세대학교 컴퓨터산업공학부 (학사)
 2005년~현재 연세대학교 컴퓨터과학과 석사과정
 관심분야 : 무선 네트워크, 네트워크 보안

송 주 석



e-mail : jssong@emerald.yonsei.ac.kr
 1976년 서울대학교 전기공학과(학사)
 1979년 한국과학기술원 전기전자공학 (석사)
 1988년 Univ. of California at Berkeley, 컴퓨터과학(박사)

1988년~1989년 Assistant Professor in Naval Postgraduate School

1989년~현재 연세대학교 컴퓨터과학과 정교수

관심분야: Information Security, Cryptography, Protocol Engineering