다중 무선 네트워크 휴대 장치를 위한 에너지 효율적인 네트워크 인터페이스 선택 기법

(Energy Efficient Selection Scheme for Multiple Wireless Network Interfaces of Mobile Devices)

김 봉 재 † 민 홍 †
(Bongjae Kim) (Hong Min)

구 본 철 † 정 진 만 †
(Bonchul Gu) (Jinman Jung)

조 유 근 †† 허 준 영 †††
(Yookun Cho) (Junyoung Heo)

홍 지 만 ††††
(Jiman Hong)

· 본 연구는 2010년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(2010-0028263), 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업(NIPA-2010-(C1090-1021-0010)), 그리고 2010년도 한성대학교 교내연구비 지원의 연구결과로 수행되었음
· 이 논문은 2010 한국컴퓨터종합학술대회에서 '다중 무선 네트워크 휴대 장치를 위한 네트워크 인터페이스 선택 기법'의 제목으로 발표된 논문을 확장한 것임

† 학생회원 : 서울대학교 컴퓨터공학부
bjkim@os.snu.ac.kr
hmin@os.snu.ac.kr
bcgu@os.snu.ac.kr
jmjung@os.snu.ac.kr
†† 종신회원 : 서울대학교 컴퓨터공학부 교수
ykcho@os.snu.ac.kr
††† 종신회원 : 한성대학교 컴퓨터공학과 교수
jyheo@hansung.ac.kr
†††† 종신회원 : 숭실대학교 컴퓨터공학과 교수
jiman@ssu.ac.kr
(Corresponding author임)

논문접수 : 2010년 8월 9일
심사완료 : 2010년 10월 27일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

요 약 최근에 출시되는 모바일 단말기들은 여러 개의 무선 통신 네트워크 인터페이스를 갖는 멀티모드 형태이다. 따라서, 특정 무선 통신 인터페이스에 종속되지 않고 에너지의 소비를 줄이기 위하여 네트워크의 환경에 따라 좀 더 에너지 효율적인 네트워크 인터페이스를 선택하여 사용할 수 있다. 본 논문에서는 다수의 무선 통신 인터페이스를 갖는 휴대 장치를 위한 에너지 효율적인 네트워크 인터페이스 선택 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 데이터 통신을 위해 폴링을 이용하여 좀 더 에너지 효율적인 네트워크 인터페이스를 선택한다. 또한, 제안하는 기법이 에너지 소비 측면에서 더욱 효율적임을 보인다.

키워드 : 다중 무선 네트워크, 네트워크 인터페이스 선택

Abstract Recent mobile devices have multiple wireless network interfaces. Therefore, we can use a more energy efficient network interface for reducing energy consumption' according to the network environment without depending on a specific network interface. In this paper, we propose an energy efficient wireless network interface selection scheme for mobile devices with multiple wireless network interfaces. The proposed scheme selects a more energy efficient network interface for data communication by using polling. Also, we show that our scheme is more efficient in terms of energy consumption.

Key words : Multiple Wireless Network, Network Interface Selection

1. 서 론

최근 아이폰과 같은 사용자 친화적인 스마트 폰과 모바일 기기들의 활성화로 무선 통신 환경 및 산업에 큰 변화가 야기되고 있다. 특히 최근에 출시된 모바일 단말들은 3GPP[1], WiFi[2], WiBro[3] 등 여러 개의 무선 통신 인터페이스를 갖는 멀티모드 형태로 출시되어, 다양한 매체를 통해 특정 네트워크에 구속되지 않고 저비용으로 최상의 무선 통신 서비스를 제공 받을 수 있다. 다중 무선 통신 환경에서 사용자가 선호하는 통신매체를 선정하고, 사용자의 이동과 상황의 변화에 따라 적합한 매체로 변경해주는 이기종간 MIH(Media Independent Handover) 기술은 IIEEE 802.21에 의해 표준화가 이루어졌고[4], 이와 관련된 많은 연구들이 진행되고 있다.

MIH 기술의 핵심은 서로 다른 형태의 통신매체 사이에서 매체 간 전환이 필요할 때 사용자의 서비스를 끊김(seamless) 없이 유지하면서, 빠른 시간 내에 전환이 이루어질 수 있도록 하는 것이다. 이를 위해서 QoS (Quality of Service) 만족을 위한 무선 통신 품질평가 및 선택과 이동성을 고려하기 위한 Mobile IP와 같은 프로토콜들이 유기적으로 연계되어야 한다. 현재 MIH 기술에 대한 표준화는 마무리 단계에 있으며, 이를 바탕

으로 실제 프레임워크를 구성하고 성능을 평가하는 연구들이 진행되고 있다. 또한 분석된 성능 평가 지표들을 바탕으로 성능을 향상시키기 위한 연구들도 진행 중이다.

또한 모바일 단말기는 대부분 배터리를 통해 동작으로 하도록 하드웨어가 구성이 되어 있어, 에너지를 효율적으로 사용하는 것이 매우 중요하다. 그러나 모바일 단말기 수준에서 에너지 효율적으로 MIH를 지원할 기법에 대한 연구는 미비하다. 본 논문에서는 다중 네트워크 인터페이스를 탑재한 모바일 단말에서 에너지 효율적으로 MIH를 지원하기 위한 기법을 제안한다. 저비용을 사용하여 고품질의 서비스를 받기 원하는 사용자의 요구사항을 만족하기 위해서, 적절한 통신 매체를 찾기 위한 폴링 기법에 대해 서술하며, 비용 분석을 통해 에너지 효율적인 폴링 주기를 도출한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 이기종 무선 네트워크 사이에 MIH를 지원하기 위한 기존 연구에 대해서 간략히 설명하고 3절에서는 다중 무선 환경에서 효율적인 통신망을 선택할 수 있는 네트워크 인터페이스의 폴링 기법을 제안한다. 그리고 4절에서는 제안된 기법의 효율성을 시뮬레이션을 통해서 알아본 후, 5절에서는 향후 연구방향에 대해서 소개하고 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

이기종 무선 환경에서 사용자에게 끊김 없는 서비스를 제공하기 위한 MIH 기술의 연구는 표준화, 프레임워크 설계, 성능 향상을 위한 성능 분석 등으로 구분할 수 있다.

2.1 MIH 표준화 연구

무선 통신 기술의 발달과 모바일 기기들의 성능이 급속하게 향상되면서 다양한 모바일 응용 및 산업 모델이 등장하게 되었고, 이는 다양한 무선 통신 매체 사이의 전환 프로토콜의 필요성을 야기시켰다. IEEE에서는 2003년부터 핸드오버(handover) 기술에 대한 정의와 표준화 그룹을 구성하기 시작했으며, 2004년부터 본격적인 표준화 활동을 진행했다. 현재 MIH 기술에 대한 서비스 표준화는 완성 단계에 있으며, a, b, c 세 개의 워크 그룹(Work Group)에서 보안 향상을 위한 기술 개발, 다운링크 전용 기술 개발, 단일 통신(single radio) 환경하에서 최적의 통신 기술 개발이라는 주제로 표준화를 진행하고 있다[5].

2.2 MIH 프레임워크

MIH 프레임워크 연구는 IEEE에서 진행한 서비스 표준화를 바탕으로 AP(Access Point) 또는 기지국 단에서 MIH를 효율적으로 지원하기 위한 메커니즘과 프로토콜을 설계하는 작업을 진행하고 있다. [6]에서는 그림 1과

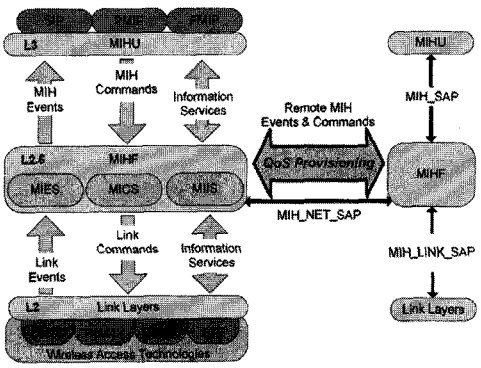

그림 1 향상된 MIH 프레임워크

같이 데이터 링크 계층(data link layer-L2)과 네트워크 계층(Network Layer-L3) 사이에 새로운 계층(L2.5)을 설계하여 서비스 품질을 향상시키는 기법을 제안하였다.

[7]에서는 서버 측면에서 MIH를 빠르게 진행할 수 있도록 하는 네트워크 구조를 설계하고, 각 무선 통신의 품질을 설정한 기준에 따라 평가하여 고품질의 서비스를 제공할 수 있도록 하는 알고리즘을 설계하였다.

2.3 MIH 성능향상

[8]에서는 MIH의 성능을 최적화하기 위해서 각 계층에서 필요로 하는 성능지표들을 정의하고, 계층 간의 정보 공유를 통해서 성능을 향상시켜주는 기법을 제안하였다. 또한 다중 스트리밍을 지원하는 SCTP(Stream Control Transmission Procotol)을 통해서 MIH의 서비스를 최적화하는 기법도 고안하였다. [9]에서는 저수준의 통신 신호를 모델링하여 MIH 과정에서 모바일 기기와 이를 관리하는 매니저 사이의 통신 메시지를 분석하였다. 분석 결과를 바탕으로 MIH 과정에서 유발되는 오버헤드를 도출하고, 패킷 손실로 인한 재전송을 줄이는 방법을 제안하였다.

3. 네트워크 인터페이스 선택 기법

3.1 가정

다중 네트워크 인터페이스를 가지는 모바일 단말기에 네트워크 인터페이스 장치는 Primary, Standby 2개가 존재한다고 가정한다.

Primary 인터페이스는 Standby 인터페이스에 비해 단위 시간당 에너지 소모가 적으면서 품질 좋은 서비스를 제공하기 때문에 일반적으로 Primary 인터페이스를 통해 통신을 하는 것이 Standby 인터페이스를 통해 통신하는 것보다 효율적이라고 가정한다. 또한, Standby 인터페이스는 Primary 인터페이스와 반대로 단위시간당 에너지 소모가 더 크지만, 항상 네트워크에 연결이 될 수 있는 네트워크 인터페이스라고 가정한다.

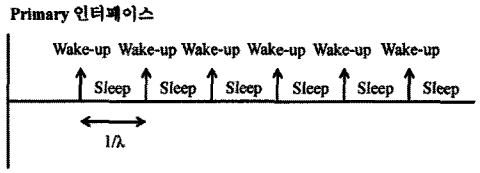

그림 2 Primary 인터페이스 동작

앞에서 가정 했듯이, Primary 인터페이스는 Standby 인터페이스에 비해서 단위시간당 에너지 소모가 적다. 따라서 네트워크 작업 수행 시 배터리 소모를 최소화하기 위해 되도록 Primary 인터페이스를 사용하는 것이 바람직하다. 하지만 Primary 인터페이스는 항상 통신이 가능한 상태가 아니므로 통신이 가능한지 주기적으로 Wake-up과 Sleep을 반복하여 확인하여야 한다. 이는 Primary Interface를 항상 켜서 확인하는 것 보다 일반적으로 효율적이라고 생각할 수 있다. 이를 위해 Primary 인터페이스는 그림 2와 같이 λ의 폴링률(polling rate)로 주기적으로 폴링(Polling) 작업을 수행하여 Primary 인터페이스의 사용 가능 여부를 확인한다. 이런 폴링 과정을 통해서 Primary 인터페이스가 사용이 가능하게 된다고 가정한다. 또한 Primary 인터페이스가 활성화된 이후의 네트워크 통신은 Primary 인터페이스를 통해서 계속적으로 이루어질 수 있다고 가정한다. 마지막으로 네트워크 인터페이스의 핸드오버에 따르는 비용은 무시한다.

3.2 모델링 기호 및 의미

폴링 기법을 이용한 네트워크 인터페이스 선택 기법을 모델링하기 위해 모델링에 사용한 기호는 표 2와 같으며, 각각의 의미는 다음과 같다.

표 2 모델링 기호 및 의미

기호	의미
T	네트워크 통신에 사용된 시간, 단위시간의 배수
α	단위 시간당 Primary 인터페이스의 에너지 소모량
β	단위 시간당 Standby 인터페이스의 에너지 소모량
γ	Primary 인터페이스의 폴링 동작시 에너지 소모량
λ	Primary 인터페이스의 폴링률(polling rate)
λT	네트워크 통신 시간인 T시간 동안의 폴링 횟수
$Energy(\lambda, T)$	T 시간 동안 λ주기로 폴링하여 네트워크 통신을 수행하였을 때의 평균 에너지 소모량

3.3 네트워크 인터페이스 선택 기법 모델링

아래의 그림 3은 Primary 인터페이스와 Standby 인터페이스 각각이 네트워크 통신에 사용 되어 동작되는 과정을 나타낸다.

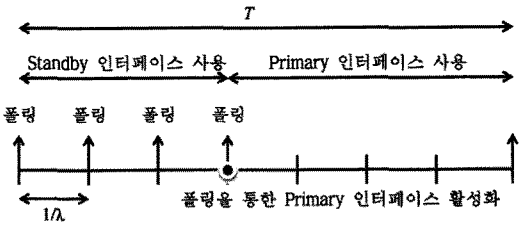

그림 3 네트워크 통신 동작

네트워크 통신 동작에서 확인 할 수 있듯이 전체 통신 시간이 T이고, 기본적으로 Standby 인터페이스를 사용하여 통신을 시작한다. 폴링률(polling rate)에 의해 1/λ의 시간마다 폴링을 통해 Primary 인터페이스가 네트워크 통신에 사용이 될 수 있는지의 여부를 확인한다. 만약, 폴링을 통해 Primary 인터페이스가 네트워크 통신에 사용될 수 있다면 폴링 이후에는 Primary 인터페이스가 네트워크 통신에 사용이 된다.

그림 3의 네트워크 통신 동작 그림에서는 4번째 폴링 동작에서 Primary 인터페이스가 네트워크 통신에 사용이 가능한 것을 확인한 상황이고, 4번째 폴링 이후에는 Primary 인터페이스를 통해서 네트워크 통신을 진행한다.

이때의 에너지 소모 비용은 폴링에 의한 에너지 소모량, Standby 인터페이스 사용에 의한 에너지 소모량, Primary 인터페이스 사용에 의한 에너지 소모의 합으로 표현이 가능하다. T를 1이라는 단위시간으로 가정하면 그림 3 예에서의 에너지 소모량은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Energy(7,1) = 4\gamma + 3\frac{1}{7}\beta + 4\frac{1}{7}\alpha$$
$$= 4\gamma + \frac{3}{7}\beta + \frac{4}{7}\alpha$$

그림 3을 확장하여 폴링률(polling rate)의 변화에 의한 평균 에너지 소모량을 일반화하면, 아래와 같이 평균 에너지 소모량을 구할 수 있다.

$$Energy(\lambda, T) = \frac{1}{\lambda T}\sum_{n=1}^{\lambda T}\gamma n + (\frac{n}{\lambda T})\beta + (\frac{\lambda T - n}{\lambda T})\alpha$$
$$= \frac{1}{\lambda T}\sum_{n=1}^{\lambda T}\gamma n + \frac{1}{\lambda T}(n\beta + (\lambda T - n)\alpha)$$

λT는 단위 시간당 λ의 폴링률(polling rate)로 네트워크 통신에 사용된 시간인 T시간에 Primary 인터페이스에 폴링을 수행하는 횟수이다.

위의 수식에서 표현하고 있는 폴링률에 따른 에너지 소비량인 $Energy(\lambda, T)$는 각각의 폴링 시점에서 폴링이 성공하여 Primary 인터페이스를 네트워크 통신 인터페이스로 사용하여 통신하는 경우의 에너지 소모량의 합에 모든 폴링이 가능한 수(λT)로 나누어주는 것으로 구할 수 있다. 각각의 폴링 시점에서의 에너지 소모량은

앞의 예와 동일하게 폴링에 의한 에너지 소모량, Standby 인터페이스 사용에 따른 에너지 소모량, 폴링 이후 Primary 인터페이스 사용에 따른 에너지 소모량의 합으로 표현할 수 있다. 각각의 폴링 시점에서 Primary 인터페이스가 사용이 되어 소비되는 에너지의 합을 전체 폴링 시점의 수로 나눈 값으로 표현 할 수 있다.

4. 네트워크 인터페이스 선택 기법 비용 분석

4.1 비용 분석 방법

폴링을 이용한 네트워크 인터페이스 선택 비용 분석의 편리성을 위해 T는 단위시간인 1로 고정하고 λ를 단위시간에서의 폴링률(polling rate)로 생각하여 λ에 따라 폴링 기법에 의한 에너지 소모를 비교하고 분석한다. 또한, 추가적으로 α, β, γ에 따른 에너지 소모 경향도 비교 분석한다.

에너지 소모 효율성을 분석하기 위해 절대적인 에너지 소모량을 계산하는 것이 아니고 에너지 소비 비율을 통해서 폴링 기법을 이용한 네트워크 인터페이스 선택 알고리즘이 에너지 소비 측면에서 효율적이라는 것을 분석한다.

에너지 소비 비율이 1.0이라는 의미는 네트워크 통신에서 Standby 인터페이스만을 사용할 때의 에너지 소비 비율이다. 기본적으로 폴링을 사용하지 않는다면 네트워크 통신의 에너지 소비 비율은 1.0이 될 것이다.

4.2 비용 분석 결과

그림 4는 α, β, γ가 각각 0.5, 1.0, 0.01일 때, 폴링률(polling rate)의 변화에 따른 에너지 소비 비율을 나타낸다. 즉, 그래프에서 확인 할 수 있듯이 폴링을 통해 Primary 인터페이스를 네트워크 통신에 사용하면 에너지 소비를 줄일 수 있다. 하지만 폴링률이 너무 큰 경우에는 폴링에 따른 비용이 점차적으로 커지므로 문제가 된다는 것을 그래프에서 확인할 수 있다. 위의 환경에서는 최적의 폴링률에서 약 60%정도의 에너지가 감소함을 알 수 있다. 또한 최적의 폴링률 지점이 존재하는 것을 확인 할 수 있다. 또한, 이 지점에서 에너지 소비 비율이 최소가 된다.

다음 그림 5는 α와 β가 각각 0.5, 1.0일 때, 폴링의 비용의 증가와 폴링률의 변화에 의한 에너지 소비 비율의 변화를 보여준다. 폴링의 비용이 작을수록 효과적인 것을 알 수 있다. 하지만, 폴링에 필요한 비용이 상대적으로 크고 폴링률이 너무 크게 되면 폴링을 사용하는 것이 에너지 소비 측면에서 비효율적이라는 것을 확인할 수 있다. 또한 폴링 비용이 적을수록 폴링률을 높이는 것이 효율적이라는 것을 확인할 수 있다. 이는 Primary 인터페이스가 활성화 될 때, 바로 사용할 수 있으면 에너지 소비 측면에서 최적이라는 것과 연관하여 생각할 수 있다.

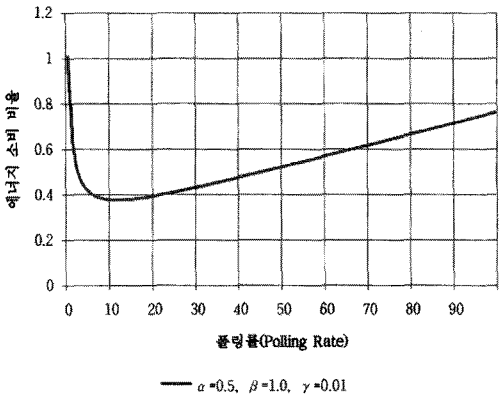

그림 4 폴링률에 의한 에너지 소비 비율 변화 (α=0.5, β=1.0, γ=0.01)

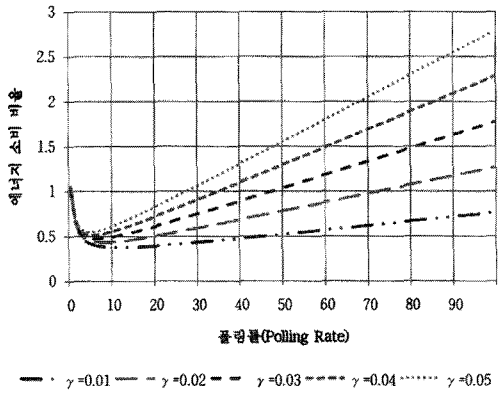

그림 5 폴링 비용에 의한 에너지 소비 비율 변화 (α=0.5, β=1.0)

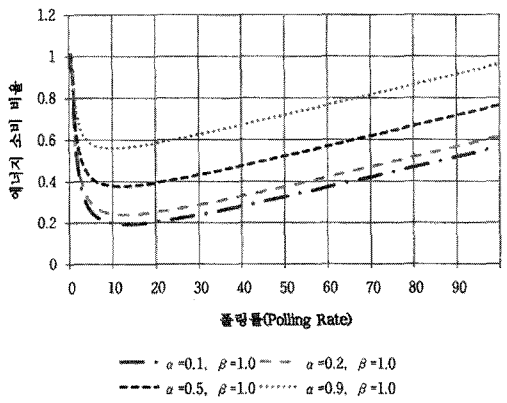

그림 6 α와 β에 의한 에너지 소비 비율 변화 (γ=0.01)

위의 그림 6은 γ가 0.01일 때, α와 β의 비율에 따른

에너지 소비 비율의 변화를 보여준다. α와 β의 비율은 Primary 인터페이스와 Standby 인터페이스의 에너지 소비 측면의 상대적 효율성이라고 할 수 있다. 그림 6의 결과를 보면 α/β가 작을수록 에너지 소비 비율이 작은 것을 확인할 수 있다. 즉, Primary 인터페이스가 Standby 인터페이스와 비교하여 에너지 효율성이 높을수록 폴링 기법이 더 큰 효과를 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구

에너지 소모 측면에서 최악의 경우는 Standby 인터페이스를 전체 네트워크 통신 시간에서 사용하는 것이고, 최상의 경우는 Primary 인터페이스를 전체 네트워크 통신 시간에서 사용하는 것이다.

다중 네트워크 인터페이스를 가지는 경우에서 폴링을 사용하여 에너지 측면에서 더 효율적인 네트워크 인터페이스를 선택하여 사용하는 네트워크 통신 동작을 모델링 하였고, 이 기법의 분석을 통해 네트워크의 환경에 따라 Primary 인터페이스를 사용하는 것이 에너지 소비 측면에서 효율적인 것을 확인하였다. 또한 에너지 소비 비율을 최적화 시키는 폴링률이 존재함을 확인하였다.

추후에는 네트워크 통신에 사용되는 에너지와 더불어 각 네트워크 통신 인터페이스의 사용에 필요한 금적적인 비용 등을 추가로 고려하여 효율적인 네트워크 인터페이스 선택 방법을 분석할 것이다. 또한 최적의 폴링률을 동적으로 찾아서 주기적으로 폴링률을 적용할 수 있는 기법을 연구할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] 3GPP http://www.3gpp.org
[2] WiFi http://www.wi-fi.org
[3] WiBro http://www.wibro.or.kr
[4] M. Li, K Sandrasegaran and T. Tung, "A Multi-Interface Proposal for IEEE 802.21 Media Independent Handover," *International Conference on the Management of Mobile Business*, pp.7-12, 2007.
[5] IEEE 802.21 http://www.ieee802.org/21
[6] P. Neves, F. Fontes, S. Sargento, M. Melo, and K. Pentikousis, "Enhanced Media Independent Handover Framework," *Proc. of IEEE 69th Vehicular Technology Conference (VTC2009-Spring)*, pp.1-5, 2009.
[7] Y. Wang, P. Zhang, Y. Zhou, J. Yuan, F. Liu and G. Li, "Handover Management in Enhanced MIH Framework for Heterogeneous Wireless Networks Environment," *Wireless Personal Communications*, vol.52, no.3, pp.615-636, 2010.
[8] R. Rouil, N. Golmie and N. Montavont, "Media independent handover transport using cross-layer optimized stream control transmission protocol," *Computer Communications*, vol.33, no.9, pp.1075-1085, 2010.
[9] D. Griffith, R. Rouil and N. Golmie, "Performance Metrics for IEEE 802.21 Media Independent Handover (MIH) Signaling," *Wireless Personal Communications*, vol.52, no.3, pp.537-567, 2010.