

IPv6 기반 동적인 이동 네트워크에서의 Fault Tolerant 메커니즘¹⁾

*장정규^o **김원태 *박용진

*한양대학교 전자통신컴퓨터 공학과

{jkjang^o, yjpark}@hyuee.hanyang.ac.kr

**한국전자통신연구원 임베디드SW연구단 무선인터넷플랫폼팀

wtkim@etri.re.kr

Fault Tolerant Mechanism in Dynamic Multi-homed IPv6 Mobile Networks

*Jung-Gyu Jang^o **Won-Tae Kim *Yong-Jin Park

*Department of Electronics and Computer Engineering

Hanyang University

**Embedded Software Research Division, ETRI

요 약

동적인 이동 네트워크는 다종의 무선 Ad-hoc 네트워크들로 구성된 독립적인 WPAN(Wireless Personal Network)이 모인 이동 네트워크의 한 종류이다. 휴대폰과 같은 모바일 장치들이 동적인 이동 네트워크에서 모바일 라우터로 동작하기 때문에 트래픽 과부하, 네트워크 신뢰도, 에너지 소모율 등의 네트워크 fault와 관련된 문제점들이 제시된다. 따라서 동적인 이동 네트워크에서 fault tolerant 메커니즘은 필수적인 이슈가 될 것이다. 본 논문에서는 빠른 경로 변경 메커니즘과 추가적인 모바일 라우터 선정 메커니즘을 이용하여 향상된 fault tolerant 메커니즘을 제시한다. 최종적으로 모의실험을 통해 에너지 소모율과 패킷 손실 측면에서의 효율성을 보여줄 것이다.

1 서 론

유비쿼터스 환경에서 가장 필수적인 이슈는 복잡한 이종망에서 끊임이 없는 이동성을 지원하는 것이다. 모바일 장치들의 글로벌한 이동성을 지원하기 위해서 IETF Mobile IPv6가 가장 적합한 해결책일 것이다. 하지만 MIPv6는 모바일 장치 단위의 이동성만을 지원하기 때문에 네트워크의 이동성을 지원하기에는 적합하지 않다 [1][2]. 이로 인해 네트워크의 이동성은 IETF NEMO(Network Mobility)를 통해서 효율적으로 서비스 될 수 있다 [3][4].

본 논문에서 제안하는 동적인 이동 네트워크는 NEMO의 기본환경 아래에서 고정된 모바일 라우터를 사용하는 대신 휴대폰과 같은 개인 모바일 장치가 동적으로 모바일 라우터로 선정되어 네트워크의 이동성을 지원하는 환경이다. 동적인 이동 네트워크는 'NEMO basic support protocol'의 (n, n, n (다중 모바일 라우터, 다중 홈 에이전트, 다중 모바일 네트워크 프리픽스)) 모델을 네트워크 모델의 기본 구조로 삼고 있다. 이종망이 연결되어야 하는 이동 네트워크와 모바일 장치는 다중 네트워크 인터페이스를 갖기 때문에 이에 따른 load sharing과 모바일 라우터의 fault detection, avoidance 등의 기술들이 필요하다.

최근에 이러한 다중 네트워크 인터페이스에 대한 연구가 monami6 워킹그룹을 통해 활발히 이루어지고 있다 [5].

우리는 이동 네트워크의 트래픽이 집중될 가능성이 큰 모바일 라우터에서의 fault tolerance와 fault avoidance를 위해 빠른 경로 재선정 메커니즘과 적절한 수의 모바일 라우터 선정 메커니즘을 제안한다.

2 동적인 이동 네트워크의 기본구조

NEMO의 기본개념은 고정된 모바일 라우터를 통해서 이동 네트워크를 외부와 연결하여 네트워크의 이동성을 지원할 수 있다는 것이다. 모바일 라우터를 이용함으로써 Mobile IPv6에서의 기본 개념을 확장하여 네트워크 전체의 이동성을 보장할 수 있다. 하지만 고정된 모바일 라우터가 없는 네트워크 상황에서는 이러한 서비스를 제공할 수 없다는 단점이 존재한다. 또한 지금의 3세대 이동통신처럼 모든 모바일 장치가 직접 외부망과 연결되는 구조에서 고속, 다량의 데이터 전송을 위해서는 많은 에너지 소모가 요구된다.

우리는 이러한 이동성 지원에서의 문제점을 해결하기 위해 동적으로 구성되는 이동 네트워크를 제안하며 이를 DynaMoNET(Dynamic Mobile Network)로 명명할 것이다. 이는 그림 1에서 보는 바와 같이 고정된 모바일 라우터를

¹⁾ 이 연구에 참여한 연구자의 일부는 "2단계 BK21 사업"의 지원비를 받았음.

이용하지 않고 동적으로 모바일 장치를 모바일 라우터로 선정함으로써 언제 어디서나 이동 네트워크를 구성하는 것이 가능하도록 하였다. 또한 모바일 라우터 이외의 각 모바일 장치는 모바일 라우터로 선정된 노드를 통해 외부 망과 연결됨으로써 기존 3세대 이동통신에 비해 에너지 소모를 절감할 수 있다.

DynaMoNET의 네트워크 내부는 IEEE 802.11 또는 IEEE 802.15를 이용하는 무선 Ad-hoc 네트워크로 구성됨으로써 저전력 통신으로 모바일 라우터와 연결되어 전체 네트워크의 수명을 향상시킬 수 있다.

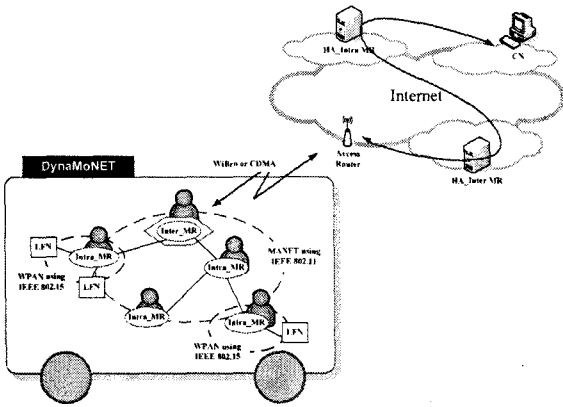


그림 1. DynaMoNET의 기본구조

네트워크 각 참여자들의 모바일 장치들은 WPAN을 구성하고 이에 속해있는 모바일 장치들 중 라우터로 동작하는 장치인 intra-MR들(예: 개인 휴대폰)은 서로 무선 Ad-hoc 네트워크를 구성하여 서로를 연결하는 동적인 네트워크가 이루어진다. 이 intra-MR들 중 3장에서 소개될 token 알고리즘을 통해 DynaMoNET을 외부와 연결하는 다중의 GMR(Gateway Mobile Router)를 선정한다. 앞서 언급한 듯이 이러한 모바일 라우터의 선정은 고정된 모바일 라우터의 필요성을 제거함으로써 동적으로 언제 어디서든 이동 네트워크를 구성할 수 있다.

또한 GMR로 선정된 장치들을 제외한 다른 모바일 장치들은 저전력의 네트워크를 구성함으로써 전체 네트워크의 수명을 향상시킬 수 있다. GMR에서의 집중된 트래픽과 외부 네트워크와의 고속의 장거리 통신을 통한 GMR들의 많은 에너지 소모는 추가적인 GMR의 선정과 주기적인 GMR의 재선정을 통해 해결될 수 있다. 이렇게 트래픽이 GMR들에 집중되는 환경에서 끊임이 없고 신뢰성 있는 통신을 위해서는 GMR의 통신 불능상태를 보장하기 위한 fault tolerant 메커니즘이 필수적으로 요구된다.

3 DynaMoNET의 Fault Tolerant 메커니즘

3.1 token 알고리즘을 이용한 DynaMoNET의 구성

여러 모바일 노드가 이동 네트워크에 참여하게 되면 이

중 적절한 노드를 판단하여 GMR로 선정하여야 한다. GMR로 동작이 가능한가를 여러 요소를 통해 확인함으로써 적절한 노드를 선정하여야 한다. 이러한 요소들은 노드의 이용 가능한 배터리의 수명, 수신신호 강도, 이용 가능한 bandwidth 등이 포함될 것이다.

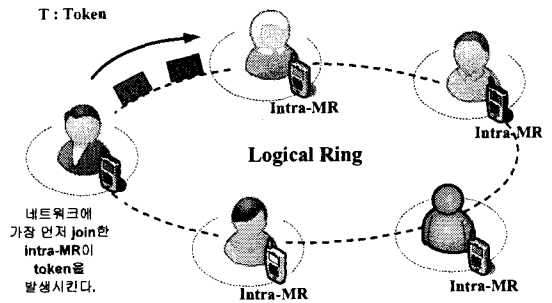


그림 2. Token을 통한 다중 GMR의 선정

그림 2와 같이 이동 네트워크에 가장 먼저 join한 intra-MR이 주위의 intra-MR을 발견하면 그 수를 감지하게 되고 GMR 동작 가능성을 확인하기 위한 요소들의 정보가 들어있는 다수의 token을 logical ring을 통해 순차적으로 발생시켜 적절한 수의 GMR을 선정하여 DynaMoNET을 구성하게 된다. 이때 token이 담고 있는 정보를 통한 GMR로써 동작의 적절성 판단은 그림 3과 같은 순서를 통해 가능할 것이다.

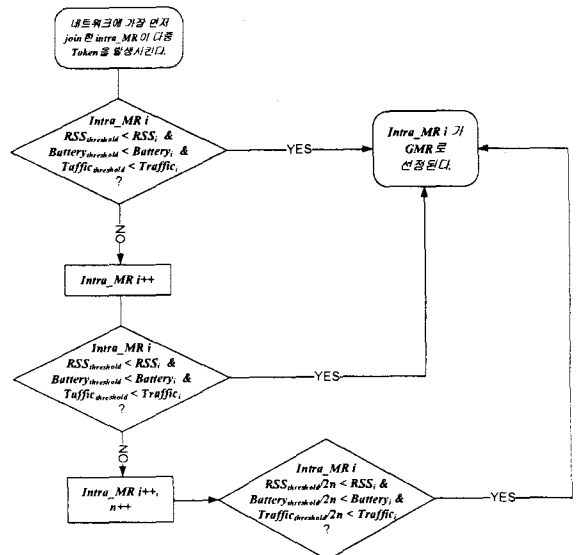


그림 3. GMR로 동작할 적절한 intra-MR의 선정.

Token이 갖고 있는 각 요소의 threshold값을 이용하여 intra-MR이 조건에 만족하는지를 확인하고 만약 모든 intra-MR이 조건에 만족하지 못한다면 threshold값을 절반으로 줄여 다시 조건에 만족하는 intra-MR을 logical

ring을 통해 확인한다. 이때 결정되어야 할 token의 수는 4장의 모의실험의 결과를 바탕으로 결정하게 될 것이다.

3.2 빠른 경로 재선정과 추가 GMR 선정을 통한 Fault Tolerant 메커니즘

Token 발생을 통해 구성된 *DynaMoNET*은 다중의 GMR이 선정된 이동 네트워크 환경이다. 네트워크 내부의 intra-MR들은 서로 무선 Ad-hoc망을 구성하여 GMR과 연결되고 intra-MR들과 외부망과의 통신은 항상 GMR을 통해 연결되어야 한다. 이러한 구조로 인해 GMR은 다수 intra-MR의 트래픽을 해결하여야 하는 bottleneck point가 될 수 있다.

집중된 트래픽으로 인한 GMR의 트래픽 과부하 상태는 이 GMR을 통해 외부와 연결되는 intra-MR들의 연결에 심각한 영향을 줄 가능성이 크다. 따라서 이러한 상황을 극복하기 위해 트래픽 과부하 상태의 GMR은 트래픽의 일부를 다른 GMR로 재선정하는 메커니즘이 필요하다. 우리는 이러한 트래픽 과부하 상태를 IPv6 redirect message 활용으로써 해결할 수 있다. GMR은 자신이 갖고 있는 트래픽 과부하 threshold값을 이용해 이 값을 초과하게 만든 트래픽의 intra-MR에게 IPv6 redirect message를 보낸다. Redirect message를 받은 intra-MR은 이 정보를 확인하여 다른 GMR로 경로를 재선정함으로써 빠르고 끊임 없이 fault tolerance를 실행할 수 있다. IPv6 redirect message의 활용은 가장 빠르게 경로를 재선정하여 fault tolerance를 실행할 수 있는 방법이 될 것이다.

김 없는 통신에 치명적인 단점이 된다 [6]. Router solicitation방식은 intra-MR이 GMR에 직접 주기적으로 요청하여 GMR의 정보를 얻어오는 반면 이런 전송과 수신에 따른 control message의 양이 증가하게 된다. 따라서 트래픽 과부하 상태의 GMR이 직접 redirect message를 통해 intra-MR에 정보를 보내고 빠르게 경로를 재선정할 수 있는 redirect방식이 가장 적합한 경로 재선정 방식이 될 것이다.

GMR의 트래픽 과부하 상태에 따른 경로 재선정에 있어서 다중의 GMR을 통해 트래픽을 분산하는 방식이 고려되었다. 하지만 만약 모든 GMR이 트래픽 과부하 상태로 인해 더 이상의 트래픽을 받아들이지 못한다면 경로 재선정은 불가능하게 될 것이다. 따라서 이러한 경우 경로의 재선정이 아닌 추가 GMR을 선정하여 트래픽의 집중을 분산하여야 한다. 이는 그림 3에서 보여준 GMR의 적합성 판단의 순서로 새로운 token을 발생시켜 가능하다. 더 이상 트래픽의 경로 재선정이 불가능하다는 것을 발견한 GMR은 새로운 token을 발생시키고 그림 3의 과정을 거쳐 새로운 GMR을 선정하여 이 GMR로 트래픽을 분산시킴으로써 네트워크의 fault tolerance를 보장할 수 있다.

4. 모의실험

표 2와 같이 시뮬레이터는 NS-2를 이용하였고 *DynaMoNET* 내부는 IEEE 802.11을 이용하여 Ad-hoc망을 구성하였다. 또한 flow의 경우 CBR 패킷으로 1024 bytes를 전송하여 GMR이 각 intra-MR의 트래픽을 처리하는 것을 확인하였고 *DynaMoNET*의 노드가 30, 150개 일 때의 차이를 확인하였다.

| ITEMS | VALUE |
|---|-------------------|
| Simulation tool | NS-2 |
| MANET MAC | IEEE 802.11 |
| Bandwidth of external network interface | 2Mbps |
| Packet size | 1024 bytes |
| Radio coverage range of MANET | 50m |
| Simulation Area | 500m x 500m |
| Traffic pattern | Constant bit rate |
| Number of nodes | 30, 150 |

표 2. 모의실험 환경

DynaMoNET 내부의 intra-MR은 IEEE 802.11과 IEEE 802.15를 이용하는 반면 외부망과 연결되어야 하는 GMR은 Wibro와 같은 IEEE 802.16의 광대역 무선 네트워크를 이용하여야 한다. 지금까지 무선랜의 경우보다 IEEE 802.16을 이용한 장거리 통신의 경우 더 많은 에너지를 소모하여야 한다고 알려져 있다 [7-9]. 따라서 외부망과 연결되어야 하는 GMR의 경우는 intra-MR보다 더 많은 에너지 소모가 요구된다. 만약 fault tolerance를 위해 제한되지 않은 수의 GMR을 선정한다면 전체 네트워크의 수명을 단축시키는 요인이 될 것이다. 따라서 네트워크 전체의 에너지 소모량과 GMR에서의 트래픽 처리 측면들을 고려하여 적절한 수의 GMR을 선정해야만 한다. 본 논문에서

| | Redirect 방식 | Advertisement 방식 | Solicitation 방식 |
|----------------------|--------------------------------|-------------------------------|--|
| 활용되는 Control message | Redirect message | Router advertisement message | Solicitation and Advertisement message |
| GMR 변경 시간 | Redirect message transmit time | Router advertisement interval | Solicitation transmit time + advertisement transmit time |
| Control overhead | $R \cdot n + BU + BA$ | $A \cdot n + BU + BA$ | $S \cdot n + A \cdot n + BU + BA$ |
| 경로 재선정 시간 | FAST | Very SLOW | NORMAL |
| Overhead 량 | NOMAL | LOW | HIGH |

R : Redirect message, A : Router advertisement message
 S : Router solicitation message
 BU : Binding update, BA : Binding acknowledgement message
 n : intra-MR과 GMR의 홑 수.

표 1. Redirect message 활용의 효율성

표 1은 Redirect message를 이용함으로써 얻을 수 있는 효율성을 비교한 것이다. Router advertisement방식의 경우는 가장 적은 control message를 발생시키지만 intra-MR이 자신이 이용하고 있는 GMR의 상태 정보를 얻을 수 있는 router advertisement message의 interval이 최소 4초의 간격이 되므로 경로를 변경하는데 있어서 끊

는 GMR의 수와 전체 노드의 수에 따른 네트워크의 총 에너지 소모량과 GMR에서의 패킷손실을 모의실험을 통해 파악함으로써 GMR의 적절한 수를 판단하였다.

식 1은 *DynaMoNET* 내부의 전체 노드 중 GMR로 동작하는 노드의 수를 백분율로 나타낸 것이다. 이 ρ 값을 5%, 20%, 40%, 60%로 두어 모의실험을 함으로써 GMR의 수에 따른 에너지 소모량과 패킷손실을 파악하였다. 식 2는 기존 3세대 네트워크를 이용하였을 경우 전체 네트워크의 에너지 소모량과 *DynaMoNET*을 사용하였을 경우의 전체 네트워크의 에너지 소모량을 비교하여 gain으로 나타내었다.

$$\rho = \frac{\text{GMR로 선정된 노드의 수}}{\text{DynaMoNET의 전체 노드의 수}} \times 100(\%) \quad (\text{식1})$$

$$\text{Gain} = \left(1 - \frac{\text{기존 3G 경우의 전체 전력소모량}}{\text{DynaMoNET 경우의 전력소모량}}\right) \times 100(\%) \quad (\text{식2})$$

그림 4는 기존 3세대 네트워크에서와 같이 이동 네트워크 내부의 모든 모바일 노드들이 직접 외부망과 연결되는 방식과 *DynaMoNET*의 경우처럼 각 GMR만이 외부망과 연결되고 intra-MR들은 Ad-hoc망으로 연결되는 방식의 에너지 소모량을 gain에 따라 나타낸 결과이다. X축은 전체 노드에서의 GMR 비율에 따른 ρ 값을 나타내고 Y축은 식 2에서 나타내는 gain을 표시하였다.

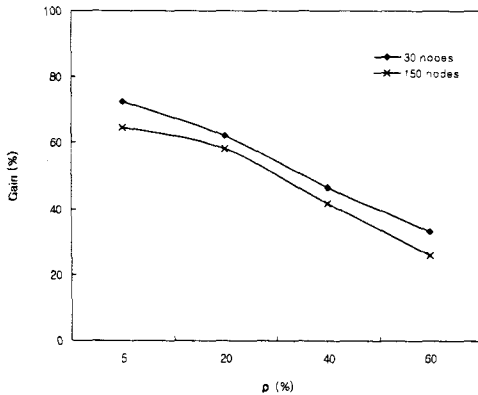


그림 4. *DynaMoNET*의 에너지 gain

이 그림을 통해 ρ 값이 5%일 경우 *DynaMoNET*은 전체 노드가 직접 외부망과 연결되는 방식에 비해 60~80%의 에너지 소모를 줄일 수 있다는 것을 알 수 있다. 또한 ρ 값이 커질수록 GMR로 동작하는 노드의 수가 많아져 에너지 소모량이 많아지므로 gain값이 감소되는 것을 볼 수 있다. 이 결과를 통해 너무 많은 노드가 GMR로 동작하게 된다면 에너지 소모량이 급격히 증가하여 전체 네트워크의 수명을 단축시키게 된다는 것을 볼 수 있다.

그림 5와 6은 각각 *DynaMoNET*의 총 노드 수가 30개, 150개일 때 GMR에서의 패킷손실을 나타내었다. 그림과

같이 ρ 값이 증가함에 따라 전체 GMR의 수가 증가함으로써 GMR에서의 패킷손실이 급격히 감소함을 볼 수 있다. *DynaMoNET*에서의 GMR이 증가함에 따라 하나의 GMR에서 처리하는 트래픽량이 감소하기 때문에 트래픽 과부하의 가능성이 급격히 낮아진다. 또한 총 노드의 수가 30개인 경우보다 150개일 경우 네트워크 내부에서의 control message의 양도 증가하므로 더 많은 패킷손실이 발생한다. 따라서 *DynaMoNET*의 총 노드 수가 증가하면 더 높은 비율의 ρ 값을 선정해주어야 할 것이다.

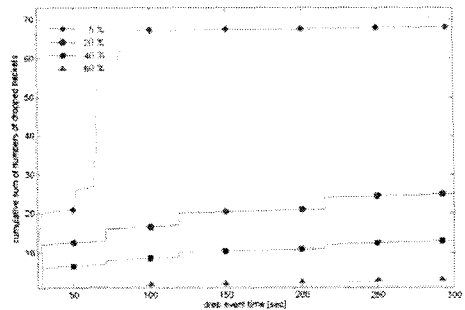


그림 5. 30개 노드의 경우 패킷손실

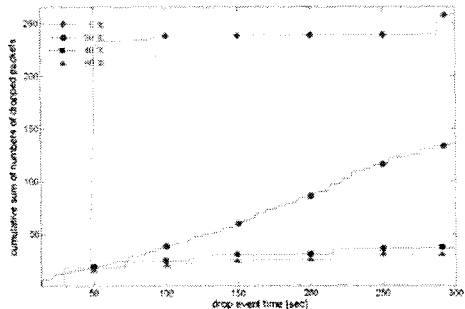


그림 6. 150개 노드의 경우 패킷손실

모의실험의 두 결과를 비교하였을 때 ρ 값이 높을수록 더 많은 전체 네트워크의 에너지 소모량을 보였고 더 적은 GMR에서의 패킷손실을 보였다. 따라서 적절한 GMR의 수는 이 두 사항을 모두 고려하여 결정되어야 한다는 것을 알 수 있다. 패킷손실을 줄이기 위해 많은 노드를 GMR로 선출한다면 전체 네트워크의 수명이 급격히 감소하게 될 것이고 네트워크의 에너지 소모량을 줄이기 위해 너무 적은 노드를 GMR로 선출한다면 전체 네트워크가 트래픽 과부하의 상황에 놓일 가능성이 크다. 두 실험 결과를 통해 30개의 노드일 경우 ρ 의 값은 20~30%로 선정하는 것이 가장 적절한 GMR의 수가 되고 150개의 경우 30%~40%의 적절한 GMR 수를 얻을 수 있다.

5. 결론

*DynaMoNET*은 기존 *NEMO*의 환경에 비해 어디서나 동

적으로 구성될 수 있고 고정된 모바일 라우터가 필요하지 않는 장점을 갖고 있다. 또한 네트워크 내부의 intra-MR들은 단거리의 저전력 네트워크를 구성함으로써 에너지 소모량을 줄일 수 있는 장점을 갖고 redirect message와 추가 GMR 선정 메커니즘을 이용함으로써 빠른 fault tolerant 메커니즘을 제공한다.

4장의 모의실험의 결과는 *DynaMoNET*이 구성될 때 선정되어야 하는 GMR의 적절한 수를 보여주었다. 이 결과를 토대로 에너지 소모량을 줄이는 동시에 신뢰성 있는 이동 네트워크를 구성하는 것이 가능하다. 따라서 본 논문에서 제안한 fault tolerance를 제공하고 있는 *DynaMoNET*은 현실적인 이동 네트워크 환경에서 3G망과 *NEMO*의 단점을 보완할 수 있는 이동 네트워크 환경이라 할 수 있다.

참고문헌

- [1] D. Johnson, C. Perkins and J. Arkko, "Mobility Support in IPv6", RFC 3775, June 2004.
- [2] T. Ernst, "Network Mobility Support Goals and Requirements", IETF draft-ietf-nemo-requirements-05, October 24, 2005.
- [3] V. Devarapalli, R. Wakikawa, A. Petrescu and P. Thubert, "Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol", IETF RFC3963, January 2005.
- [4] H.-Y. Lach, C. Janneteau, A. Petrescu, "Network mobility in beyond-3G systems," IEEE Communications Magazine, Volume 41, issue 7, July 2003 Page(s):52 - 57.
- [5] IETF monami6 WG, "www.nautilus6.org/ietf/monami6", March, 2006.
- [6] T. Narten, E. Nordmark and W. Simpson, "Neighbor Discovery for IP Version 6 (IPv6)", IETF RFC2461, December 1998.
- [7] Bluetooth Special Interest Group (BluetoothSIG), "http://www.lexikon-definition.de/Bluetooth_SIG", 2006.
- [8] Benjie Chen, Kyle Jamieson, Hari Balakrishnan, and Robert Morris, "Span: An Energy-Efficient Coordination Algorithm for Topology Maintenance in Ad Hoc Wireless Networks", 2001 ACM.
- [9] Jaehyuk Jang, Sunghyun Choi, and Kwanghun Han, "Adaptive Power Saving Strategies for IEEE 802.16e Mobile Broadband Wireless Access," to appear in Proc. APCC 2006, Busan, Korea, Aug. 31-Sept. 2, 2006.