

## 멀티 홉 멀티 라디오 애드 혹 네트워크에서 상황인지 지원을 위한 전송 특성 분석

진현석<sup>o</sup>, 고양우, 이동만  
한국정보통신대학교 공학부  
{hsjin<sup>o</sup>, newcat, dlee}@icu.ac.kr

### An analysis of transmission characteristic for supporting context-awareness in multi-hop multi-radio ad hoc network

Hyunseok Jin<sup>o</sup>, Yangwoo Ko, Dongman Lee  
School of Engineering, Information and Communications University

#### 요 약

기술의 발전과 함께 최근의 모바일 장치들은 복수의 서로 다른 무선 인터페이스를 동시에 장착한 멀티 라디오 환경을 가지게 되었고, 이러한 장치들로 구성된 애드 혹 네트워크는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 새로운 요구와 함께 다양한 활용 가능성을 가지고 있다. 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서는 사용자나 서비스, 장치에 따라 상황정보가 다양하게 나타날 수 있고, 그것을 네트워킹에 반영하기 위한 수단으로 멀티 라디오 환경이 사용될 수 있으므로, 멀티 라디오 환경의 특성을 정확히 파악하고 어떻게 그 특성을 활용할 수 있는가를 분석하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 멀티 라디오 애드 혹 네트워크에 관한 관련 연구 분석과 함께 기존의 연구가 지원하지 못한 멀티 라디오 환경의 특성을 지적하고, 시뮬레이션을 통하여 멀티 라디오 환경의 특성과 활용 요소에 대하여 분석하였다. 시뮬레이션 결과는 시나리오에 따라 인터페이스의 선택이 가지는 trade-off를 보여주고 서로 다른 인터페이스의 혼합된 사용이 네트워크에 미치는 영향에 대해 설명하고 있으며, 결과적으로 시뮬레이션을 통해 얻은 멀티 라디오의 특성을 상황인지 애드 혹 네트워킹에 활용할 수 있는 시스템 디자인을 제안한다.

#### 1. 서론

무선 애드 혹 네트워크는 중앙 집중적인 관리의 기반 시설 없이 이동 노드들 간에 무선 통신으로 데이터를 주고 받을 수 있는 네트워크를 말하며, 기술의 발달과 응용의 요구에 따라 수 년간 정보통신 연구의 큰 부분을 차지해왔다. 규모에 따른 무선 애드 혹 네트워크의 분류에서 PAN(Personal Area Network)은 개인이 가지는 장치들과 그 주변 장치를 연결하는 네트워크를 의미한다. PAN을 구성하기 위한 무선 통신 기술은 IEEE 802.11, Bluetooth, UWB, ZigBee 등 여러 가지가 있을 수 있는데, 최근의 모바일 장치들은 위의 다양한 통신 인터페이스를 동시에 장착하는 경우가 많아지고 있다. 이와 같이 복수의 서로 다른 네트워크 인터페이스를 동시에 사용하여 구성되는 애드 혹 네트워크를 멀티 라디오 (multi-radio) 애드 혹 네트워크라고 부르며 앞으로 더욱 이질적이고 복잡해질 수 있는 유비쿼터스 네트워크 환경에서 새로운 요구와 함께 많은 활용 가능성을 가지고 있다.

한편, 멀티 라디오 모바일 장치를 가지는 사용자들이 만나서 형성되는 애드 혹 네트워크는 다양한 상황정보(context)를 가질 수 있다. PAN 또는 여러 개의 PAN이 만나서 형성되어지는 그룹 규모의 네트워크에서 멤버들이 연결되는 형태는 경우에 따라 달라질 수

있으며, 서로 다른 요구사항을 가진다. 예를 들어, 사용자 간의 관계가 통신의 형태에 영향을 끼칠 수 있다. 내가 가지고 있는 장치들 간에 필요한 네트워크 대역폭과 패턴은 나의 장치와 다른 사람을 연결하는 네트워크의 그것과 다를 것이며, 다른 사람과의 통신 경우에도 나와 친밀도가 높은 사람과 그렇지 않은 사람과의 차이가 발생할 것이다. 장치의 유형에 따라서도 네트워크에 대한 요구사항은 달라질 수 있는데, 주기적으로 적은 데이터를 주고 받는 장치와 순간적이고 연속적으로 많은 데이터를 주고 받아야 하는 장치는 전혀 다른 요구 사항을 지닌다. 또한, 장치가 가지는 자원상태에 따라서 통신의 요구가 달라질 수 있다.

멀티 라디오 장치들을 사용하여 구성된 애드 혹 네트워크에서 위와 같은 상황정보를 반영하기 위해 멀티 라디오 환경의 특성을 파악하고 어떻게 그 특성을 활용할 수 있는지를 분석하는 것이 중요하다. 멀티 라디오 애드 혹 네트워크를 위한 기존의 관련 연구에서는 서로 다른 인터페이스를 가지는 장치를 연결하기 위한 기법을 비롯하여, 처리량을 높일 수 있는 라우팅 프로토콜을 만드는 시도와 멀티 라디오로 구성된 PAN을 구성하려는 시도가 있었지만, 멀티 홉 멀티 라디오 애드 혹 네트워크를 지원하면서 서비스

또는 장치의 상황정보에 맞게 네트워크의 멀티 라디오 특성을 조정할 수 있는 기법을 제안하지는 못했다. 본 연구에서는 기존의 멀티 라디오 애드 혹 네트워크 관련 연구들의 시도와 한계점을 지적하고, 유비쿼터스 네트워크에서 상황인지 멀티 홉 멀티 라디오 애드 혹 네트워크를 효율적으로 지원하기 위해 사용 가능한 멀티 라디오의 활용 요소와 그 영향을 시뮬레이션을 통해 알아보도록 하겠다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 멀티 라디오 애드 혹 네트워크에 관한 기존 연구들을 분석하고 이들 연구가 가지는 한계점을 지적하며, 3장에서는 상황인지 멀티 홉 멀티 라디오 애드 혹 네트워크를 더 효과적으로 지원하기 위한 설계 고려 사항들을 설명하며, 4장에서는 시뮬레이션을 통해 실제로 멀티 라디오의 고려 사항들이 네트워크의 성능에 어떤 영향을 끼치는지 살펴본다. 5장에서는 위에서 발견한 멀티 라디오의 고려 사항들을 실제 네트워크에 반영하기 위한 구조를 제안하며, 6장에서 결론 및 향후 과제를 설명하며 맺는다.

## 2. 관련 연구

멀티 라디오를 위한 DSR의 변형된 기법(DSR-variation)[1]은 애드 혹 네트워크에서 가능한 다양한 시나리오에서 서로 다른 종류의 네트워크 인터페이스를 지원하기 위한 라우팅 프로토콜을 제시한다. 라우팅 프로토콜에 대한 이전의 많은 연구가 있었지만, 이 연구 이전의 어떤 것도 네트워크의 확장성과 인터넷으로의 연결을 위해 서로 다른 인터페이스를 지원하는 문제를 다루지 못했다. 이 연구는 DSR을 변형하여 애드 혹 네트워크가 서로 다른 링크 계층을 가지는 환경으로 확장할 수 있도록 하는 기법을 제시한다. 기법에서는 각각의 노드가 애드 혹 네트워크에서 통신 가능하도록 하기 위하여 모든 노드와 노드가 가지는 인터페이스들에게 독립된 식별자를 부여한다. 이 기법을 사용하여 애드 혹 네트워크를 계층적 인터넷에 결합시킬 수 있고, 모바일 IP를 통하여 인터넷으로부터 애드 혹 네트워크에 들어오거나 나가는 이동 노드들에 대한 지원을 할 수 있다. 동시에 이 기법은 계층 구조를 도입하면서 균일한 애드 혹 네트워크의 확장성을 개선하고, 애드 혹 네트워크에 참여하는 모든 노드가 어디서든 접근 가능하도록 만들 수 있다.

MR-LQSR[2]은 멀티 라디오를 사용하는 정적인 무선 커뮤니티 네트워크를 위하여 개발된 라우팅 프로토콜이다. 프로토콜은 상위 계층 응용이 Wi-Fi 또는 WiMAX 기술을 사용한 무선 메쉬 네트워크로 연결될 수 있도록 해주는 MCL(Mesh Connectivity Layer)과 함께 동작한다. MCL은 링크 계층과 네트워크 계층 사이의 중간 계층을 구현한다. 그것은 복수의 물리 어댑터 사이에서 다중 송신을 할 수 있는 능력을

가지는 가상의 네트워크 어댑터로서 동작한다. MCL은 DSR의 최적화된 버전인 MR-LQSR을 사용하여 패킷을 라우팅한다. MR-LQSR 프로토콜은 노드마다 가지는 무선 인터페이스의 개수가 네트워크에서 쓰이는 채널의 개수와 같다고 가정한다. 프로토콜은 네트워크의 모든 노드를 식별하고 모든 가능한 링크에 가중치를 부여한다. 그렇게 하기 위해, 채널 할당 정보, 대역폭, 그리고 loss rate을 포함하는 링크의 정보들이 네트워크의 모든 노드로 전파된다. 이 전파는 DSR 쿼트를 패킷의 전달과 결합되어 이루어진다. 각 노드로 전파된 링크 정보는 각 링크의 ETT(Expected Transmission Time), ETX(Expected Transmission Count), WCETT(Weighted Cumulative ETT) metric을 계산하는데 쓰이게 되는데, 최종적인 metric인 WCETT는 높은 처리량을 지원하는 경로와 낮은 지연 시간을 보장하는 경로를 선택하기 위한 trade-off를 표현하면서 멀티 라디오 라우팅을 가능하게 해 준다.

PAN-on-Demand[3]는 모바일 장치가 스스로를 PAN 으로 조직화하고, 사용자의 명시적인 간섭 없이 데이터를 공유할 수 있도록 해 주는 시스템이다. PAN-on-Demand는 네트워크에서 성능이 낮은 장치들의 에너지 요구를 줄여주기 위해 조직화와 통신에 있어서 centralized 방식을 취하고 있다. 이 기법은 DSTPM(distributed self-tuning power management) 알고리즘을 사용하여 응용의 요구에 맞도록 네트워크의 동작을 적응시키고 있다. PAN-on-Demand는 네트워크의 사용도가 낮을 때는 운영을 위한 최소한의 에너지만을 사용하지만, 네트워크의 사용도가 높을 때는 높은 대역폭과 낮은 지연시간의 통신을 제공하기 위하여 서로 다른 라디오 기술들 사이를 전환하며, power-saving 전략들을 사용하고 있다. PAN-on-Demand는 또한, 멤버들의 통신 패턴에 맞추기 위해 네트워크의 구조를 재구성한다. 만약 장치가 활발하게 통신을 하면 그 노드는 네트워크의 허브로 옮겨지게 되는데, 이것은 데이터의 전달 경로를 단축시킴으로써 성능을 향상시키고 배터리의 지속시간을 연장시킨다. 또한 재구성은 활발하게 통신하지 않는 멤버들이 네트워크 인터페이스를 끄거나 에너지 절약 정책을 사용하게 함으로써 전체 소모 에너지를 줄일 수 있다.

AODV-MR[4]은 잘 알려진 애드 혹 라우팅 프로토콜인 AODV의 multi-homing 확장으로서, 무선 메쉬 네트워크에서 멀티 라디오를 활용하여 네트워크의 제한된 대역폭과 확장성을 개선하려는 연구이다. AODV-MR에서는 각각의 인터페이스에 번호를 부여하여 라우팅 테이블과 알고리즘에서 복수의 라디오 인터페이스를 지원하도록 확장되어 있다. AODV-MR 프로토콜은 인터페이스의 다양성을 활용하고, 각각의 인터페이스를 한번에 정확히 한 개의 채널로 운용한다.

데이터의 통신이 복수의 채널 위에서 동시에 동작하는 것은 참가하는 노드들에게 보다 적은 경쟁을 유발시킬 뿐 아니라, 네트워크의 성능을 상당히 개선시킬 수 있다. 라우팅 메트릭으로는 hop-count를 사용한다.

Haggle[5]은 모바일 사용자를 지원하기 위한 네트워크 구조에 관한 연구 중 하나이다. 현재의 모바일 컴퓨팅 환경은 infrastructure 중심의 형태로 구성되어 있다. 이러한 방식의 문제점은 사용자의 요구가 종종 로컬의 자원 접근만으로 충족이 되는 것에도 불구하고 infrastructure를 사용해야 하는 상황에서 발생한다. Haggle은 PSN(Pocket Switched Networking)에서 이러한 문제를 극복하기 위한 비동기식, 데이터 중심 네트워크 구조를 제시한다. Haggle은 응용이 네트워크에게 고수준의 메타데이터를 포함하는 ADUs(application-layer data units)를 전달하는 구조를 제시한다. 메타데이터는 네트워크에서 식별과 보안, 사용자가 영명한 목적지로의 데이터 전송 문제를 다룬다. 무엇보다 Haggle에서는 라우팅을 포함하는 네트워크 레벨의 동작에 트래픽의 특성과 같은 응용계층의 요구를 반영하는 모델을 보임으로써, 보다 동적인 네트워크의 구성에 대한 가능성을 보여주고 있다.

DSR-variation은 애드 혹 네트워크에서 서로 다른 인터페이스를 지원하는 연결 방법에 대하여 제안하였지만 그 이상의 기능 또는 성능을 보장하지 못하고, MR-LQSR의 경우에는 멀티 라디오 네트워크가 가질 수 있는 다양한 메트릭을 반영하고 있지만 link state 라우팅에 기반을 둔 정적인 커뮤니티 네트워크를 목적 대상으로 하는 한계가 있다. 반면 AODV-MR은 distance vector 라우팅 기반의 동적인 라우팅을 보장하지만, 모든 노드가 가지고 있는 인터페이스의 개수와 활용방식(한 노드에서 active 상태로 사용되고 있는 인터페이스의 종류)가 동일하다는 가정의 한계가 있고, 연구의 목적이 경로의 다양성과 간섭의 최소화를 통한 처리량의 증가에만 치중된 경향이 있다. PAN-on-Demand는 각각의 노드가 가지는 특성과 멀티 라디오의 특성을 활용하여 모바일 장치에 중요한 전력 소모와 응답 지연 시간을 줄이는 데 기여를 했지만 연구의 대상인 PAN이 단일 홈 네트워크로 제한되는 한계가 있다. 위에서 언급된 연구의 한계를 극복하면서, 상황인지 애드 혹 네트워킹을 효율적으로 지원하려면 멀티 라디오의 활용요소에 대한 보다 더 정확한 분석과 함께, Haggle과 같은 동적인 접근 방법이 필요하다.

3. 설계 고려 사항

3.1. 멀티 라디오 환경의 특성

멀티 라디오 환경에서 각각의 라디오를 지원하기 위해서는 서로 다른 종류의 인터페이스들이 각각

독립적인 채널을 유지하면서 동작하게 된다. 인터페이스들은 같은 채널을 유지하는 인터페이스와 통신이 가능하고, 복수의 서로 다른 인터페이스들은 동시에 동작 가능하지만 서로 간의 성능 차이가 존재한다. 표 1은 멀티 라디오 환경을 위한 무선통신 기술들의 특성을 비교해 보여주고 있다. 각 라디오는 원래의 목적에 맞도록 고유한 특성을 가졌으며, 특히 네트워크의 성능에 많은 영향을 미치는 전송 속도와 장치의 성능에 많은 영향을 미치는 소모 전력에 있어서 큰 차이를 보인다. 라디오 인터페이스의 성능 차이는 상황인지 애드 혹 네트워킹에서 상황정보를 반영하기 위한 수단으로 쓰일 수 있다.

	ZigBee (802.15.4)	Bluetooth (802.15.1)	UWB (802.15.3a)	Wi-Fi (802.11b)
주파수 대역	868/915MHz, 2.4GHz	2.4~2.480GHz	3.1~10.6GHz	2.4GHz, 5GHz
전송 속도	~250Kbps	~1Mbps	~500Mbps	~11Mbps
통신 거리	~75m	~100m	~10m	~100m
N/W상 기기 #	255(최대65 만대)	8대	-	256대
소모 전력	~0.04W	~0.1W	~0.1W	1.5~2W
배터리 수명	2~3년	4~8시간	-	1~3시간
복잡도 /비용	단순/저비용	복잡/고비용	단순/-	복잡/고비용
집계 가격	\$1.5	\$5	-	-
N/W 구성	P2P, star, mesh	P2P, star	P2P, mesh	P2P, star
응용 분야	단순 원격제어, 센서분야	기기간 데이터통신 분야	기기간 고화질 스트리밍 분야	대용량 데이터 통신분야

표 1. 멀티 라디오를 위한 무선통신 기술비교

3.2. 멀티 라디오 환경에서 노드 간의 경로 설정

멀티 라디오 환경이 가지는 복수의 서로 다른 인터페이스는 기존의 네트워크에서 가능하지 않았던 형태의 네트워크를 만들 수 있다. 먼저, 멀티 라디오 환경에서는 완전히 서로 다른 인터페이스를 가지는 노드라고 할지라도 중간 노드의 연결을 통해서 통신 연결이 가능할 수 있다. 이 경우 중간 노드는 양 쪽의 노드가 가지는 인터페이스를 모두 제공해야 하며, 자신의 필요 이상으로 에너지를 소모하는 대신 양쪽 노드에 대하여 새로운 연결을 가능하게 할 수 있다.

멀티 라디오 환경에서 또 다른 중요한 고려사항은 경로에서의 인터페이스 선택 문제이다. 단일 인터페이스 단일 채널 통신에서는 고려할 필요할 필요가 없지만, 복수의 인터페이스를 사용하는 멀티 라디오 환경에서는

하나의 경로라 하더라도 인터페이스의 선택에 따라 다른 종류의 네트워킹이 가능하다. 이전과 같은 공통 인터페이스 한 개를 통한 통신 뿐 아니라, 필요한 구간에 대하여 복수의 인터페이스를 동시에 사용하여 연결을 하는 것이 가능할 수 있다.

4. 성능 분석

본 장에서는 앞서 언급된 멀티 라디오 환경의 설계 고려 사항들이 실제로 네트워크에 어떤 영향을 미치는지를 ns-2 시뮬레이션 [6]을 통하여 테스트하고 분석해 보도록 한다. 시뮬레이션에서는 서로 다른 2개의 인터페이스를 장착하고 있는 3개의 노드로 구성된 link를 가정하고 여기서 모든 가능한 path를 통하여 트래픽을 발생시켜서 성능 metric을 평가해 본다. 그림 1에서 보이는 바와 같이 A, B, C 3개의 노드는 각각 타입 1과 타입 2의 서로 다른 인터페이스를 장착하고 있다. 타입 1 인터페이스는 일반적인 Wi-Fi의 성능을 가지고 있고, 타입 2의 인터페이스는 설정을 통하여 Bluetooth와 같은 성능을 가지도록 하여 차별을 두었다. 2개의 서로 다른 인터페이스를 가지고 있는 2개의 노드 사이에서 데이터를 전송할 수 있는 경로는 3가지이므로, 노드 A에서 노드 C까지의 가능한 경로 시나리오는 모두 9가지가 되고 이 모든 경우에 대하여 지정된 시간 동안 트래픽을 흘려 보낸 뒤, 목적지 노드까지의 전송량(throughput)과 전체 노드의 전력 소모를 분석하였다. 데이터 전송을 위한 프로토콜로는 직접 제작한 간단한 무선 ARQ 모델(1)과, AODV 위에서 TCP, FTP를 사용하는 모델(2)의 2가지를 실험하였다.

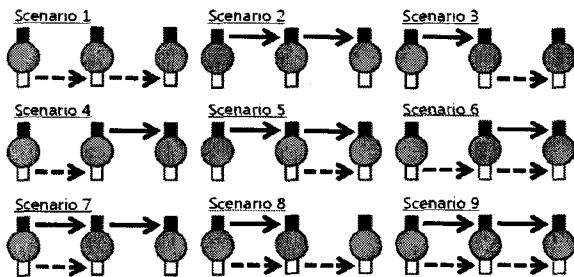
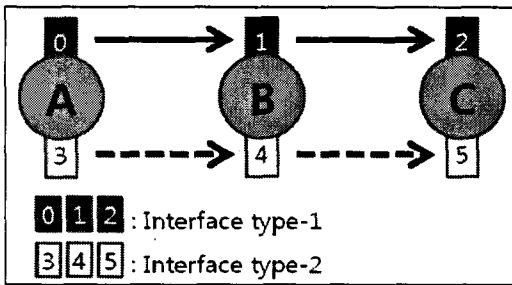


그림 1. 시뮬레이션 시나리오

	Interface type-1 (Wi-Fi setting)	Interface type-2 (Bluetooth-like setting)
Propagation model	Two-way ground reflection	Two-way ground reflection
Data rate	11Mb	1Mb
Idle mode power consumption	1.44W	0.24W
Sleep mode power consumption	0.001W	0.001W
Transmission power consumption	1.72W	0.69W
Receive power consumption	1.86W	0.49W
Environment setting		
Simulation time	100sec	
Examined protocol	(1)SimpleARQ, (2)TCP on AODV	
Traffic type	(1)Periodic send, (2)FTP	
Packet size	(1)200byte, (2)500byte	

표 2. 시뮬레이션 환경 설정

모델 (1)에서 9개의 시나리오를 동작시킨 결과를 살펴보면, 먼저 시나리오 1, 2번을 통해서 성능이 다른 인터페이스 1개만을 사용하였을 때의 trade-off 관계를 확인할 수 있다. data rate이 높은 타입 1의 인터페이스만을 사용한 시나리오 2는 시나리오 1에 비해 2배 가량 높은 처리량을 낼 수 있지만 그러기 위해서 약 3.3배의 에너지를 소모해야 한다. 이런 관계는 처리량에 민감한 서비스와 에너지 소모에 민감한 장치간의 성능 trade-off를 위한 임계값을 계산하는 데 쓰일 수 있다.

성능 분석을 통하여 얻을 수 있는 또 다른 결론은 다른 종류의 인터페이스를 적절히 혼합하여 사용함으로써 처리량이나 전력 소모 문제를 개선할 수 있다는 것이다. 이 경우 무조건 인터페이스를 많이 사용한다고 해서 성능이 비례하는 것은 아닌데, 중요한 것은 무선전파의 간섭을 피할 수 있는 방향으로 인터페이스를 복합적으로 사용하는 것이다. 그림 2에서 확인할 수 있듯이, 시나리오 3, 4의 처리량은 시나리오 2의 처리량과 거의 같은 결과를 내는 데 반해, 19%의 에너지 절약 효과가 있는데, 이것은 한 종류의 인터페이스를 연달아 사용하는 것보다 다른 종류의 인터페이스를 섞어서 사용하는 것이 결과적으로 에너지 효율을 높인다는 것을 보여준다. 가장 좋은 처리량을 내는 시나리오는 5, 7번인데 이것을 포함해 에너지에 비해 상대적으로 높은 처리량을 내는 시나리오는 다른 종류의 인터페이스를 사용함으로써 인해 전파간 충돌을 피하는 효과를 얻는 것을 알 수 있다. 모든 인터페이스를 동시에 모두 사용하는 9번 시나리오의 경우는 전파간 충돌로 인해 오히려 5, 7번에 비해 낮은

처리량을 얻고 있다.

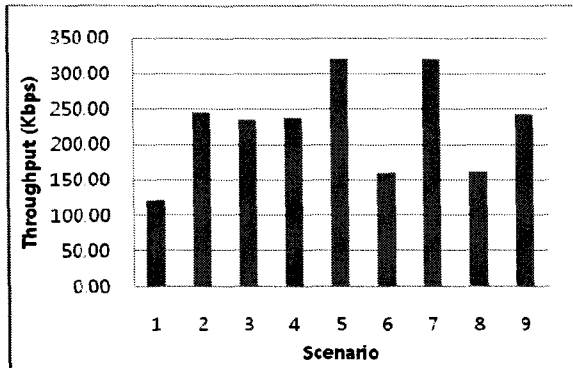


그림 2. 시나리오별 Throughput 측정량(1)

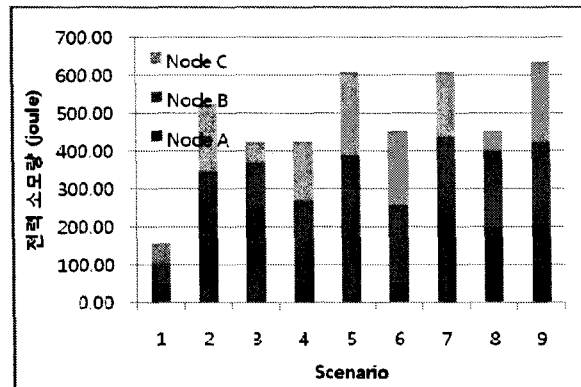


그림 3. 시나리오별 전력 소모량(1)

모델 (2)에서는 같은 시나리오를 TCP와 AODV를 사용한 환경에서 더 큰 packet size를 설정하여 실험하였다. 결과적으로 처리량에 있어 모델 (1)의 경우보다 높은 결과를 내지만, 시나리오 간의 순위 관계나 에너지 소모와의 관계는 모델 (1)과 유사한 상관관계를 가지고 있는 것을 알 수 있다. 모델 (1)에 비교하여 모델 (2)에서의 특이사항은 유사한 시나리오 5번과 7번이 성능차이를 보이는 것인데, 이것은 TCP 메커니즘과 관련이 있는 것으로 보인다. TCP의 경우 cumulative ACK을 쓰기 때문에 데이터 패킷의 손실이 ACK 패킷의 손실에 비하여 성능에 더 큰 영향을 준다. 본 실험에서와 같이 2층의 네트워크에서는 양쪽 노드에서 가운데 노드로 전송하는 경우에는 hidden terminal 문제로 인한 MAC 계층에서의 패킷 drop이 생길 수 있지만 가운데 노드에서 양쪽 노드로 전송할 때에는 이러한 문제가 없다. 시나리오 7번의 경우 송신측에서 두 개의 인터페이스로 나뉘어서 전송하고 타입 2의 인터페이스는 충돌이 전혀 없으므로 시나리오 5번에 비하여 가운데 노드까지 데이터 패킷이 도달할 가능성이 더 높다. 일단 가운데 노드까지 패킷이

도달하기만 하면 두 시나리오 모두 수신 노드까지 패킷을 전달할 수 있다. 역 방향으로 전송되는 ACK의 경우 시나리오 5번이 같은 이유로 더 잘 전달할 수 있다. 모델(1)의 Simple ARQ에서는 ACK이 오지 않으면 항상 재전송을 하므로 데이터가 손실된 경우나 ACK 손실된 경우나 결과가 같다. 따라서 데이터의 손실이 많이 생기는 시나리오 5번과 ACK의 손실이 많이 생기는 시나리오 7번의 성능이 유사하다. 하지만, TCP의 경우에는 ACK이 손실되더라도 다음 ACK에 의하여 정보가 전달되므로 ACK 손실은 성능에 영향을 덜 미쳐서 데이터의 손실이 상대적으로 적은 시나리오 7번이 더 좋은 성능을 내게 된다.

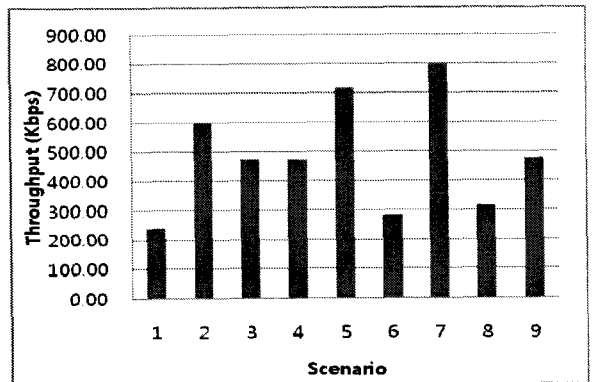


그림 4. 시나리오별 Throughput 측정량(2)

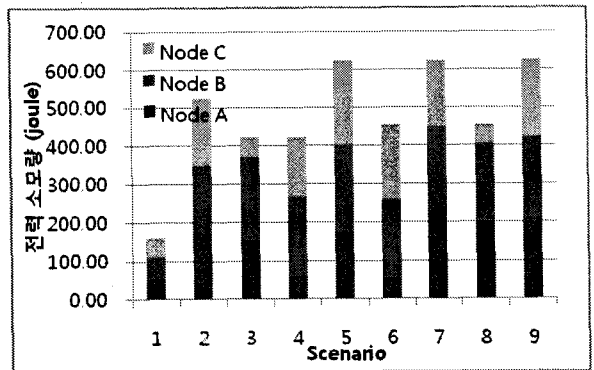


그림 5. 시나리오별 전력 소모량(2)

시뮬레이션 결과를 전체적으로 살펴볼 때, 각각의 인터페이스는 고유한 성능 값을 가지고 있지만, 처리량과 전력 소모량 등의 metric을 복합적으로 분석하는 것을 통해 응용에서 원하는 시나리오의 형태로 인터페이스의 연결을 조정할 수 있는 가능성을 알 수 있다. 또한 한 link에서 가능한 모든 인터페이스를 동시에 사용하는 것이 무조건 나은 성능을 내는 것이 아니라, 간섭을 피할 수 있도록 인터페이스를 복합적으로 동시에 사용하는 것이 에너지

효율과 처리량 면에 있어서 동시에 좋은 성능을 내는 것을 확인할 수 있다.

### 5. 시스템 모듈 디자인

위에서 확인한 바와 같이 멀티 라디오 환경은 동적인 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 네트워크의 성능을 향상시킬 수 있도록 활용가능하며, 여기서는 그러한 시스템을 위해 요구되는 디자인 구조를 제안한다.

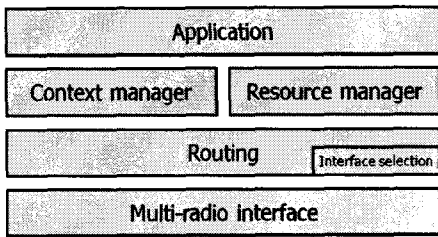


그림 6. 제안하는 시스템 디자인 구조

유비쿼터스 컴퓨팅에서는 사용자간의 사회적 관계를 비롯하여, 서비스의 특정한 패턴, 장치의 자원 상황과 같은 다양한 상황정보가 존재하고 응용 레벨에서는 이러한 정보를 가공하여 네트워크에 전달해 줄 필요가 있다. 그것을 위해 응용과 네트워크 레벨의 가운데에 상황정보 관리자 (context manager), 그리고 자원 관리자 (resource manager)가 필요하며 여기서는 지정된 인터페이스를 제공하여 응용의 특정 의미 정보(semantic)를 전달 가능하게 해 주어야 한다. 그렇게 되면 네트워크 계층은 이전의 정적인 라우팅과 달리 응용의 요구가 반영된 네트워크를 형성하는 데 정보를 사용할 수 있고, 그 수단으로서 멀티 라디오의 특성이 활용될 수 있다.

### 6. 결론 및 향후 과제

본 연구에서는 기술적인 발전과 함께 나타난 멀티 라디오 환경의 특성과 관련 연구들을 살펴보고, 유비쿼터스 네트워크 환경에서 요구되는 응용의 동적인 요구가 멀티 라디오 환경에 반영되어 동작할 수 있도록, 멀티 라디오 환경의 성능 고려 사항에 대하여 알아보았다. 멀티 라디오가 네트워크에서 가지는 새로운 특성과 성능 요소에 대하여 다양한 시나리오의 시뮬레이션을 통하여 비교 분석하였고, 그 결과 응용의 요구에 맞는 네트워크 인터페이스의 선택과 복합적인 활용이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

향후 과제로 멀티 라디오의 성능 시나리오 분석에 있어서, 노드의 이동성이나 실패 요소를 추가하고, 보다 많은 노드를 사용한 멀티 홉 환경에서 생기는 전파간 간섭이나 트래픽의 병목 현상 등에 대하여 분석하는 것이 필요하다. 이와 같은 과정으로 얻을 수 있는 보다 상세한 시뮬레이션 결과를 활용하여, 5장에서 제안한

바와 같이 응용의 요구가 전해졌을 때 멀티 라디오의 성능별 선택과 복합적인 사용을 적용할 수 있는 시스템을 완성하는 것이 연구의 최종 목적이다.

### 7. 참고 문헌

- [1] J. Broch, D. A. Maltz, and D. B. Johnson, Supporting hierarchy and heterogeneous interfaces in multi-hop wireless ad hoc networks. In Workshop on Mobile Computing at I-SPAN, 1999.
- [2] R. Draves, J. Padhye, and B. Zill, Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks, in ACM Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), 2004, pp. 114-128.
- [3] M. Anand, and J. Flinn, PAN-on-Demand: Building self-organizing WPANs for better power management. Tech. Rep. CSE-TR-524-06, Department of Electrical Engineering and Computer Science, University of Michigan, Ann Arbor, MI, 2006.
- [4] A. A. Pirzada, M. Portmann, and J. Indulska, Evaluation of multi-radio extensions to AODV for wireless mesh networks, in Proceedings of the international Workshop on Mobility Management and Wireless Access (MobiWac), 2006. ACM Press, New York, NY, 45-51.
- [5] J. Scott, P. Hui, J. Crowcroft, and C. Diot, Huggle: A networking architecture designed around mobile users, in Proceedings of IFIP Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS), 2006.
- [6] ns-2 simulator, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>