

Ad Hoc 네트워크에서의 전력관리기술

한상범^o 서혜숙 이근호 황중선
고려대학교 컴퓨터학과

sbhan@kt.co.kr , suh@kida.re.kr , root1004@netlab.korea.ac.kr , hwang@disys.korea.ac.kr

Power Management for Ad hoc Networks

Sang-bum Han^o Heyi-sook Suh Keun-ho Lee Chong-sun Hwang
Dept. of Computer Science, Korea University

요 약

Ad Hoc 네트워크를 구성하는 노드들은 대부분 소형의 휴대용 기기이며 축전지를 전원으로 사용함에 따라 가용 전력에 한계를 가지고 있다. 따라서 축전지의 사용방법에 따라 망의 성능과 노드의 이동성이 영향을 받게 되므로 전력의 관리에 매우 중요한 이슈이다. 본 논문에서는 전력관리 방안을 그 접근방법에 따라 하드웨어와 네트워킹 프로토콜 측면으로 나누어 분석하였다. 하드웨어 측면에서는 Ad Hoc을 구성하는 장치들의 전력사용 형태와 전력관리 기술, 사용되는 축전지의 성능에 대하여 기술하였으며 네트워킹 프로토콜 측면에서는 계층별 적용 가능한 전력관리 기술을 논의하고 향후 연구되어야 할 과제와 발전방향을 결론으로 제시하였다.

1. 서 론

무선통신 기술과 무선 네트워킹을 위한 프로토콜이 발전되면서 이동통신 단말기의 수요가 폭발적으로 늘었고 이를 바탕으로 성능 또한 비약적으로 발전하였다. 단말기는 고기능을 유지하면서도 매우 작은 크기로 소형화가 진행되었으나 축전지의 경우 그 만큼의 발전을 이루지는 못하였다. 아직도 재충전 없이 만 하루를 사용할 수 있는 이동 컴퓨터는 흔하지 않은 실정이다.

동적인 네트워크의 구성이 특징인 Ad Hoc 네트워크에서 전력관리는 매우 중요한 이슈이다. 단말기 자체가 전력을 효율적으로 사용하도록 설계되어야 함은 물론, 네트워킹 관련 프로토콜도 전력관리 측면에서의 고려가 필요하다. Ad Hoc 네트워크에서 단말기는 그 각각이 라우터처럼 동작하거나 중계노드가 되어 망의 중계기 역할을 하기도 한다. 이런 경우 네트워킹 프로토콜이 전력관리 측면에서 최적화가 되어있다면 망 전체의 신뢰성과 생존성을 높이게 될 것이다.

본 논문에서는 제 2장에서 전력관리의 하드웨어적 접근 방법을 기술한다. 축전지의 종류와 특성, 단말기의 모드별 전력소모량, 장치 자체의 시스템적인 전력제어 방법을 논의한다. 제 3장에서는 네트워킹 프로토콜 측면에서의 접근으로 네트워크 계층별 최적화 방안을 기술하였다. 제 4장에서는 향후 전력관리를 위하여 해결되어야 할 기술적 문제점과 향후 발전 방향을 전망하였다.

2. 하드웨어 측면의 전력관리

2.1 축전지

휴대용 단말기에 주로 적용되는 축전지는 니켈카드뮴(Ni-cd), 니켈수소(Ni-MH), 리튬이온(Li-ion)이 있으며 최근 리튬이온에서 한 단계 더 발전된 리튬폴리머(Li-polimer)전지가 사용된다. 축전지의 성능을 표현할 때 통상 다음 4개의 인자[1]로 표현이 가능하다.

- (a) 자기방전을 : 사용하지 않음에도 방전되는 비율.
- (b) 사이클 수명 : 충, 방전 반복가능 횟수.
- (c) 동작온도범위 : 정상 사용이 가능한 온도범위.
- (d) 에너지 밀도 : 체적 및 중량 대비 충전용량

또한 축전지의 성능을 판단함에 완전 방전하지 않고 재충전을 하는 경우 성능이 저하되는 메모리효과와 유무도 고려되어야 한다.

[표 1] 축전지 성능 비교

구분	자기 방전을	사이클 수명	동작 온도범위	에너지 밀도	메모리 효과
Ni-cd	1	1	-10~85	1	있음
Ni-Mh	1	1	-10~85	1.4	있음
Li-ion	0.23	1.5	-10~60	2	없음
Li-polimer	0.23	1.5	-10~60	1.9	없음

[표 1]은 축전지의 종류별 성능을 나타낸 것으로 니켈카드롬 전지의 성능을 1로 보았을 때 상대적인 수치를 나타내었다. 성능을 의미하는 수치만을 살펴보면 Li-ion이 가장 우수한 것으로 나타나지만 실제로는 폭발의 위험등이 있어 Li-polimer가 가장 우수하다. 그러나 그 이외에도 축전지별 특성도 고려되어야 한다. 예를 들어 한 순간에 얼마 많은 량의 전류를 방전할 수 있는지를 나타내는 순간 방전율은 Ni-cd가 가장 우수하다.

2.2 APM (Advance Power Management)

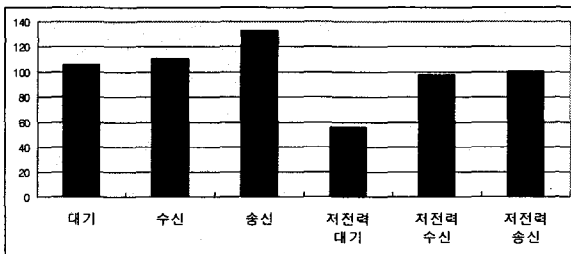
APM은 장치의 시스템 차원에서 행해지는 전력관리 방법이다. 단말기는 CPU와 메모리, LCD등 몇 개의 부분으로 구성되어 있는데 각 부분의 필요도와 전력사용량에 따라 우선순위를 두고 전력을 제어한다. 예를 들어 LCD의 백라이트는 가장 전력소모가 많으며 가장 우선적으로 전력을 통제하게 된다. APM에서는 [표 2]와 같이 몇 개의 상태를 구분하고 상황에 따라 상태를 변경하여 전력을 관리하게 된다.

[표 2] APM에서의 상태 및 동작

System state	Characteristics
Full on	시스템 가동, APM 전력관리를 하지 않는 상태
APM Enabled	시스템은 전력관리 상태에 있으며 필요한 경우 각 장치의 전원이 통제될 수 있다.
APM Standby	시스템과 대부분의 장치가 저 전력상태. 이벤트에 의해 APM Enabled상태로 전이 가능.
APM Suspend	CPU의 clock이 정지하고 메모리만 유지됨. 이벤트에 의해 APM Enabled상태로 전이 가능.
Off	전원차단

2.3 송신 전력의 관리

무선 송신은 많은 전력을 필요로 한다. 또한 IEEE 802.11b 같은 장치는 무선출력을 제어할 수 있으므로 상황에 따라 무선출력을 제한하는 정책이 필요하게 된다. 예를 들어 송신전력의 절감을 위해 multi hop을 사용하는 경우 무선출력을 적게 할 수 있다는 장점이 있는 반면 RTS, CTS의 교환을 위한 트래픽이 추가로 발생한다는 단점이 있으므로 전략적인 선택이 필요하게 된다.



[그림 1] 무선 랜 카드(Compaq WL100)의 상태별 전력소모량

3. 프로토콜 측면에서의 전력관리

3.1 데이터 링크 계층

데이터 링크 계층에서 전력의 소모는 재송신 요구의 억제와 sleep mode의 적절한 사용에 좌우된다. 데이터 링크 계층은 두개의 노드 사이의 오류 없는 전송기능을 제공하며 이를 위하여 잘못된 패킷을 감지하는 경우 ARQ를 보내어 패킷을 다시 전송하게 하는 기법을 사용한다. Ad Hoc 네트워크에서는 인접채널에 의한 혼신이나 전송에러 등이 수시로 발생하므로 재전송 요구 또한 대단히 많아진다. 한 가지 가능한 기법은 송신노드가 송신을 한 후 ack를 기다리지 않고 수신노드는 채널의 상태가 완전한 수신 가능한지 감지하여 재전송 요구를 보내는 것이다.[2] 이 기법은 불필요한 전력을 줄여주지만 전송지연이 문제된다. 또 다른 방법은 처음에는 가장 낮은 출력으로 전송을 시작하여 문제가 발생하면 점차 출력을 올려가는 방법이다.[3] 이 방법은 전송 에러를 줄여주지만 망의 SIR(signal to interference ratio)를 증가시킨다.

가장 주목받는 방안은 PAMAS(Power Aware Multi Access protocol with Signaling for Ad Hoc Networks)[4]이다. PAMAS는 어느 노드가 상대방 노드에게 패킷을 전송할 때 이웃한 모든 노드가 그 신호를 수신하느라 전력을 소모하게 되는데 이를 방지하기 위하여 송신하는 노드와 수신노드 이외에는 모두 sleep mode로 전환토록 하여 전력의 낭비를 줄이자는 의도이다. 이를 위하여 PAMAS에서는 RTS/CTS전송을 위한 Signaling channel이 따로 존재한다. 노드는 전송할 패킷이 없고 이웃 노드가 전송중인 경우, 또는 이웃 노드 2개가 서로 송, 수신 중인 경우 sleep mode로 전환되거나 shut off된다. 이 방식에서 power off, 또는 sleep mode인 노드에게 데이터를 보내려는 경우와 sleep mode인 노드가 언제 깨어날 것인지가 문제인데 이는 control channel을 이용하여 probe와 response 메시지를 주고 받음으로 해결한다.

3.2 네트워크 계층

유선네트워크에서는 end-to-end 사이의 최대한의 소용과 최소한의 지연이 강조되었다. 따라서 경로는 최소한의 hops나 최소한의 지연을 목표로 결정된다. 그러나 무선네트워크에서는 모바일 호스트의 lifetime을 최대로 해야 한다는 관점에서 최선의 경로를 선택해야 한다.[5] 따라서 라우팅은 최소의 전력소모를 목표로 하게 되지만 end-to-end 간의 소용율은 저하될 수 있다. 만일 송신출력을 충분히 높인다면 소용율은 향상되지만 다른 모바일 호스트에 전파간섭을 일으키고 밴드 전체를 어지럽혀 모든 콜이 block되는 경우도 발생할 수 있다. 네트워크 계

중에서의 전력 절감은 망을 구성하는 각 노드의 중계 부하를 줄이고 라우팅 노드의 선택 시 해당노드의 축전지 용량을 고려하는 기법을 필요로 한다. 또한 제어 메시지를 억제하고 사이즈를 최적화할 필요가 있다. 전송에 소요되는 전력 소모량을 최소화 한다는 것과 각 노드의 전력소모를 전체 노드에 골고루 분산시켜 망의 lifetime을 향상시킨다는 서로 다른 목표를 위하여 여러 가지 기법이 제안되었다.

3.2.1 Minimum Total Transmission Power Routing (MTPR)

통상 무선통신에서 통달에 필요한 전력은 $1/d^n$ 으로 표현되며 이때 거리가 가까운 경우 $n=2$, 먼 경우엔 $n=4$ 를 적용한다. 성공적인 전송을 위해서는 호스트 n_i 에 수신되는 SNR(Signal to Noise Ratio)이 임계치 Ψ 보다 커야하며 임계치 Ψ 는 BER(Bit Error Ratio)과 밀접한 관계에 있다. 성공적인 전송을 위한 SNR은 식(1)과 같이 표현되며 전체 경로의 소요전력은 식(2)로 표현된다. 식(3)에서 모든 경로 A 에서 가장 적은 전력의 경로를 선택한다.

Ψ = 호스트 n_j 의 출력

G_{ij} = 호스트 n_i 와 n_j 간의 경로 이득

$$SNR_j = \frac{P_i G_{i,j}}{\sum_{k \neq i} P_k G_{k,j} + \eta_j} \Psi_j(BER), \tag{1}$$

$$P_i = \sum_{i=0}^{D-1} P(n_i, n_{i+1}) \text{ for all node } n_i \in \text{route}, \tag{2}$$

$$P_k = \min_{i \in A} P_i, \tag{3}$$

즉, MTPR은 가능한 모든 경로 중에서 가장 전력의 소모가 적은 경로를 찾아 사용한다. 그러나 이 방법도 단점이 있는데 노드의 lifetime에 대한 보장이 전혀 없으며 결국 소모 전력이 가장 적은 경로로 짧은 전송거리를 가진 많은 홉으로 경로로 선택하게 되므로 end-to-end간의 지연이 너무 길어지게 된다.

3.2.2 Minimum Battery Cost Routing (MBCR)

라우트 경로 전체의 전력 소모량은 망 전체로 볼 때에는 중요한 지표이나 각 노드마다의 개별적인 lifetime을 반영하지는 못한다. 만일 전체 소모 전력이 가장 적은 경로만을 계속 사용한다면 이 경로에 있는 노드들은 얼마 가지 않아 전지를 모두 소모하고 사라지게 될 것이다. MBCR은 각 노드의 전지 잔량을 0부터 100까지의 cost로 표현하도록 한 후 축전지 잔량을 감안하여 라우팅 경로를

설정하는 것이다. 식(4)는 노드 i 의 축전지 cost, 식(5)는 경로 j 의 Battery cost, 식(6)은 모든 경로 A에서 cost가 가장 적은 경로의 선택을 표현한다.

$$f_i(c_i^j) = \frac{1}{c_i^j} \tag{4}$$

$$R_j = \sum_{i=0}^{D_j-1} f_i(c_i^j). \tag{5}$$

$$R_j = \min\{R_j | j \in A\}, \tag{6}$$

이 방법은 망의 각 노드들이 평균적인 축전지 잔량을 유지하도록 하여 망의 lifetime을 향상시킬 수 있으나 축전지 잔량이 가장 작은 노드가 경로에 포함될 가능성을 배제할 수 없다. 만일 잔량이 가장 작은 노드가 포함된다면 어떠한 경우보다 가장 life time이 짧은 망이 될 것이다.

3.2.3 Min-Max Battery Cost Routing(MMBCR)

MMBCR은 MBCR의 단점을 보완하기 위한 방법이다. 가장 cost가 큰 Critical 노드를 찾고 Critical 노드의 cost가 가장 작은 경로를 선택한다. 이 방법을 사용함으로써 축전지 잔량이 가장 작은 노드가 경로에 포함되는 일은 막을 수 있으나 전체적인 전력 소모량이 항상 최자임을 보장하지는 못한다는 단점이 존재한다.

4. 결론

Ad Hoc 네트워크에서 각 노드는 휴대용 단말기이다. 이 단말기의 이동성과 lifetime은 축전지의 성능에 크게 좌우된다. 또한 Ad Hoc 네트워크의 특성상 모든 노드가 라우팅의 요소가 될 수 있으므로 각 노드의 생존성은 망의 성능과 직결된다. 네트워크의 신뢰성 향상과 lifetime 연장을 위하여 축전지의 성능을 높이는 연구는 계속되어 왔지만 아직도 만족스럽지 못한 상황이다. 따라서 전력의 관리는 단순히 축전지의 성능향상에만 기대할 수 없으며 단말기 하드웨어에서 프로토콜의 각 계층별로 전반적인 개선이 필요하다.

각 장에서 여러 기술의 장, 단점을 분석하였다. 향후 지속적으로 개선되어야 할 사항으로는 APM에서 사용자의 키 조작 등 외부 이벤트뿐만 아니라 무선 채널의 신호로 sleep mode에 들어가거나 wake-up이 가능해야 할 것이다. 데이터 링크 계층에서는 송, 수신 동작이 없을 때 sleep mode에 들어갔다가 제어채널의 신호로 wake-up하는 기능을 필요로 한다. 네트워크 계층에서는 제어메시지의 빈도와 길이를 가급적 억제하려는 노력이 더욱 필요하다.

참고문헌

- [1] C. -K. Toh "Ad Hoc Mobile Wireless Networks",
Prentice Hall, 2002
- [2] P. Latteieri, C. Schurgers, and M. B. Srivastava,
"Adaptive Link Layer Strategies for Energy Efficient
Wireless Networking," *ACM WINET*.
- [3] A. Alwan *et al.*, "Adaptive Mobile Multimedia
Networks," *IEEE Pers. Commun.*, Apr. 1996.
- [4] S. Singh and C. S. Raghavendra, "PAMAS-Power
Aware Multi-Access protocol with Signaling for Ad
Hoc Networks,"
ACM Commun. Rev., July 1998.
- [5] C. -K. Toh, "Maximum Battery Life Routing to
Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad
Hoc Networks" *IEEE Communications Magazine*, June
2001