

저전력 모바일 IP 스토리지를 위한 재구성 가능 선반입 버퍼 기반 WLAN 전력제어[†]

남영진*, 최민석*, 최재현*

*대구대학교 컴퓨터·IT공학부

e-mail:{yjinam, mschoi, inothing}@daegu.ac.kr

WLAN Power Control based on Reconfigurable Prefetch Buffer for Low-Power Mobile IP Storage

Young Jin Nam*, Minseok Choi*, Jae Hyun Choi*

*School of Computer & Information Technology, Daegu University

요 약

본 논문에서는 저전력 모바일 IP 스토리지를 위한 재구성 가능 선반입 버퍼 기반의 WLAN 전력제어 기법을 제안한다. 제안된 기법은 주어진 모바일 IP 스토리지에 있는 멀티미디어 콘텐츠의 품질에 따라 선반입 버퍼의 크기를 자동적으로 결정하고 멀티미디어 콘텐츠가 실행되는 동안 *On-Off* 동작을 기반으로 WLAN 전력을 동적으로 제어한다. 제안된 기법을 PXA270 기반 모바일 단말, 임베디드 리눅스 2.6.11, 인텔 iSCSI 참조 코드, 그리고 Cisco Aironet 350 PCMCIA WLAN 카드를 사용하여 구현하고 성능을 평가한 결과 모바일 단말의 소모전력이 1.5배 이상 개선됨을 확인하였다.

1. 서론

모바일 단말 및 디지털 기기에는 필수적으로 플래시 메모리와 하드디스크와 같은 임베디드 스토리지가 장착되어 있다. 하드디스크는 PMP나 디지털 TV, 디지털 캠코더와 같이 대용량의 데이터를 저장하기 위한 용도로 많이 사용되고 있고 플래시 메모리는 디지털 카메라, PDA, 그리고 MP3 플레이와 같이 적은 용량의 데이터를 저장하기 위한 용도로 많이 사용된다. 최근에는 멀티미디어 콘텐츠가 고품질화 됨에 따라 요구되는 저장공간의 크기도 커지고 있다. 그러나 하드디스크는 기계적인 동작 요소로 인해 소모전력이 플래시 메모리보다 큰 편이며 플래시 메모리는 하드디스크에 비해 용량에 따른 비용이 크다[1]. 이에 대한 대안으로 최근 발전하고 있는 모바일 단말의 네트워킹 기능을 활용한 모바일 IP 스토리지의 사용을 고려할 수 있다. 모바일 IP 스토리지는 네트워크를 통하여 실제 데이터를 원격지에 있는 스토리지 서버에 저장하고 읽어오기 때문에 모바일 단말의 저장공간 제약을 극복할 수 있고 확장성이 좋다[2]. 모바일 IP 스토리지를 모바일 단말에서 사용하기 위해서는 WLAN을 사용하여야 하는데 모바일 단말의 전력 소모전력에서 WLAN의 소모전력이 차지하는 비중이 상당히 큰 편이다[3]. 따라서 모바일 단말의 WLAN 전력을 제어할 필요가 있다.

본 논문에서는 저전력 모바일 IP 스토리지를 위한 재구

성 가능 선반입 버퍼 기반의 WLAN 전력제어 기법을 제안한다. 제안된 기법은 주어진 모바일 IP 스토리지에 있는 멀티미디어 콘텐츠의 품질에 따라 선반입 버퍼의 크기를 자동적으로 결정하고 멀티미디어 콘텐츠가 실행되는 동안 *On-Off* 동작을 기반으로 WLAN 전력제어를 동적으로 수행한다.

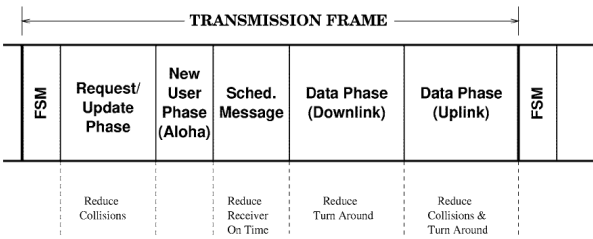
2. 관련연구

WLAN 전력제어 기법은 크게 MAC 수준에서의 제어 기법과 응용 수준에서의 제어 기법으로 구분할 수 있다. MAC 수준의 제어 기법으로는 EC-MAC과 LAPS이 있고 응용 수준의 제어 기법으로는 AADPM와 STPM이 있다.

EC-MAC(Energy Conserving Medium Access Control)은 경쟁 기반의 예약 과정에서 재전송으로 인한 전력 소모를 최소화하는 비경쟁 기반의 예약을 수행한다[4]. 그림 5는 EC-MAC에서 사용되는 프레임 구조이다. FSM(Frame Synchronization Message)는 동기화 정보와 상향 링크에서의 스테이션의 예약 순서 정보를 포함하고 있다. 요청/업데이트 단계에서는 FSM 들어있는 순서에 따라 각 스테이션의 새로운 연결 요청이 이루어진다. 이 단계에서 액세스 포인트는 명확한 전송 예약 순서가 있기 때문에 충돌을 피할 수 있다. 새 사용자 단계에서는 새로운 스테이션이 등록된다. 또한 데이터 전송 스케줄을 계산하기 위하여 액세스 포인트에게 시간을 알려주고 액세스 포인트는 데이터 전송 단계를 위한 슬롯 권한을 포함한

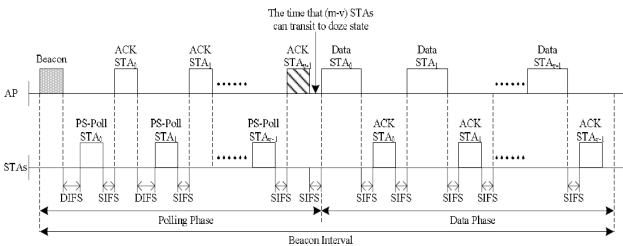
[†] 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITA-2009-C1090-0902-0045)

스케줄 메시지를 브로드 캐스팅한다. EC-MAC은 중앙에서 스케줄을 관리하여 때문에 경쟁을 피하고 재전송으로 인한 전력소모를 줄일 수 있다.



(그림 1) EC-MAC 프로토콜의 프레임 구조[4]

LAPS(Load-Aware Power Saving)는 그림 2와 같이 PS-Poll 단계와 데이터 전송 단계를 분리하여 대량의 데이터를 전송할 때는 PS-Poll 단계를 우선적으로 모두 보낸 후 데이터 전송 단계에서 데이터를 한꺼번에 전송한다[5]. 이 단계 동안 PS-Poll를 보내지 않은 스테이션을 Sleep 시켜서 소모 전력을 줄인다.



(그림 2) PFDL(PS-Poll First Data Later) 동작[5]

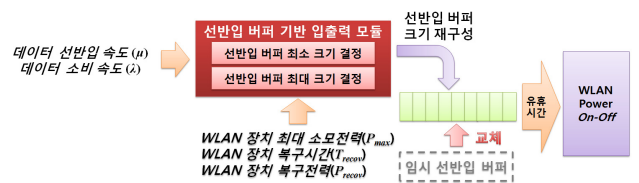
STPM(Self-Tuning Wireless Network Power Management) 기법은 네트워크 응용의 접근 패턴과 목적, 네트워크 장치의 특징을 고려하여 WLAN의 전력을 제어한다[6]. STPM은 다음과 같은 경우 PSM에서 CAM으로 변환한다. 첫 번째는 응용에 명시된 최대 지연시간이 PSM의 최대 지연시간보다 작을 때이다. 두 번째는 PSM에서의 전송 비용이 CAM에서의 전송 비용보다 클 때이다. STPM은 새로운 전송 지시가 발생할 때마다 예상 시간과 에너지를 분석한다. 세 번째로 대용량 전송이 예상될 때이다. STPM은 이전에 전송되는 되는 길이의 분포를 생성하여 발생할 전송을 예측한다. STPM은 전송할 것이 없거나 PSM에서 다음 전송을 수행하는 것에 이득이 있을 것이라고 예상될 경우 PSM으로 변환한다. STPM은 CODA와 같은 분산 파일 시스템에서 에너지 소모가 감소하지만 멀티미디어 스트리밍 환경에서는 향상을 기대하기 어렵다.

AADPM(Adaptive Application-Driven WLAN Power Management)은 WLAN의 특성을 이용하여 break-even 값을 설정하고 최근의 전송 유희 주기 히스토리를 이용하여 다음의 유희 주기를 예측한다[7]. AADPM 정책은

크게 Wait-for-Server-Response 유희주기와 User-Think-Time 유희 주기로 구분된다. Waitfor-Server-Response 유희 주기에서 break-even 값이 유희시간 보다 크면 도즈 상태로 있을 수 있는 시간인 T_{sleep} 를 계산하고 WLAN의 전력모드를 도즈 상태로 변환한다. 그리고 T_{sleep} 만큼 경과하면 PSM-static으로 동작하다가 받을 데이터가 있으면 CAM 상태로 변환된다.

3. 제안된 기법

본 논문에는 저전력 모바일 IP 스토리지를 위한 재구성 가능 선반입 버퍼 기반의 WLAN 전력제어 기법을 제안한다. 그림 3은 제안된 기법의 개념적인 동작 구조를 나타낸 것이다.

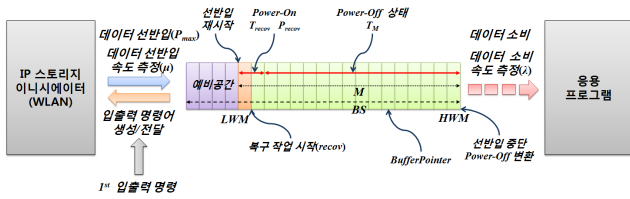


(그림 3) 재구성 가능 선반입 버퍼 기반 WLAN 전력제어

제안된 기법은 주어진 멀티미디어 콘텐츠의 품질에 따라 선반입 버퍼의 크기를 자동적으로 결정하고 멀티미디어 콘텐츠가 실행되는 동안 On-Off 동작을 기반으로 WLAN 전력제어를 동적으로 수행한다. 이때 멀티미디어 콘텐츠의 품질과 관련된 파라미터는 데이터 선반입 속도와 데이터 소비속도이고 이 값들은 임시 선반입 버퍼를 이용하여 초기에 결정된다.

3.1 선반입 버퍼 기반의 전력제어 및 파라미터

그림 4와 표1은 제안된 기법의 선반입 버퍼 구조와 파라미터를 나타낸 것이다. 선반입 버퍼는 셀의 집합으로 이루어져 있는데 셀은 선반입 버퍼에서 데이터가 저장되는 논리적인 최소 저장단위로서 선반입 버퍼 크기는 선반입 버퍼의 전체 셀의 수이다. 따라서 선반입 버퍼의 전체 크기는 선반입 버퍼 크기와 셀의 크기를 곱한 값이다. 선반입 버퍼 기반의 동작을 살펴보면 응용 프로그램으로부터 IP 스토리지 장치에 있는 데이터 읽기 명령어가 전달되면 IP 스토리지 장치 정보와 데이터 오프셋 정보를 추출하여 다음의 읽기 명령을 계속적으로 생성하여 IP 스토리지 이니시에이터로 전달하고 IP 스토리지 이니시에이터로 들어오는 데이터를 선반입 버퍼에 저장한다. 이 때 선반입 속도를 모니터링 한다. 응용 프로그램은 선반입 버퍼에서 자신이 필요한 데이터를 읽어가고 이 때 데이터 소비 속도가 측정된다.



(그림 4) 선반입 버퍼 구조

<표 1> WLAN 전력제어 파라미터

| 파라미터명 | 설명 |
|---------------|----------------------|
| μ | 데이터 선반입 속도(IOPS) |
| λ | 데이터 소비 속도(IOPS) |
| P_{max} | 데이터 선반입 시 소모전력 |
| T_{recov} | 전력 복구 시 지연시간 |
| P_{recov} | 전력 복구 시 소모전력 |
| M | 선반입 버퍼 셀의 수(예비공간 제외) |
| T_M | Power-Off 상태 유지시간 |
| BufferPointer | 사용 중인 선반입 버퍼 셀의 위치 |
| Recov | 복구 시작 시점 |
| HWM | 선반입 버퍼의 최대 임계치 |
| LWM | 선반입 버퍼의 최저 임계치 |

선반입 버퍼가 최고치(HWM)까지 채워지면 선반입은 일시적으로 중단되고 WLAN 전력을 Power-Off로 제어한다. 이때, Power-Off로 제어하기 위해서는 식(1)을 만족하여야 하고 식 (2)에 의해서 WLAN을 Power-On 시키는데 소요되는 복구 시간을 고려한 복구 시점을 결정한다. 선반입 버퍼의 데이터가 최저치(LWM)까지 소비되면 선반입은 다시 시작된다.

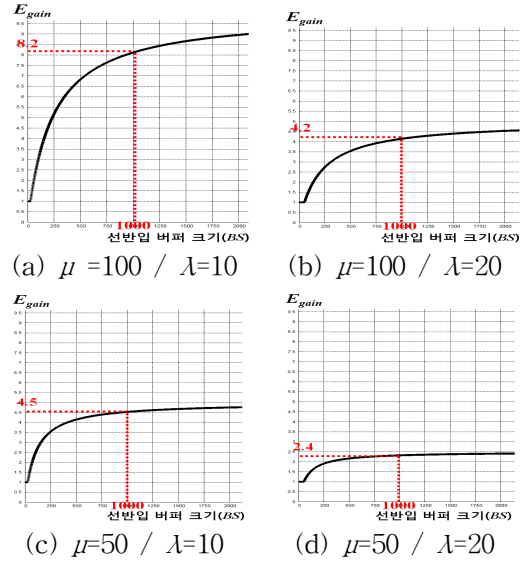
$$T_M > T_{recov}, T_M = \frac{M}{\lambda} \quad (1)$$

$$recov = LWM + T_{recov} \times \lambda \quad (2)$$

멀티미디어 콘텐츠 재생 시 데이터 소비 속도가 빨라져 예상된 Power-Off 상태 유지시간보다 실제 시간이 단축되는 경우가 발생할 수 있다. 이런 경우를 대비해서 LWM 앞에 예비 데이터 공간을 설정한다.

3.2 선반입 버퍼 크기 재구성

선반입 버퍼 기반의 WLAN 전력제어 시 소모에너지 개선율은 그림 5와 같이 데이터의 선반입 속도와 데이터 소비 속도, 선반입 버퍼의 크기에 따라 상당한 차이를 보인다. 데이터 선반입 속도와 데이터 소비 속도는 WLAN과 콘텐츠에 따라 변하기 때문에 제어하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 최적의 에너지 개선율을 나타낼 수 있도록 선반입 버퍼의 크기를 재구성한다. 제안된 기법은 데이터 선반입 속도와 데이터 소비 속도를 측정하고 이 값들과 WLAN 전력제어 파라미터들을 이용하여 선반입 버퍼의 최소 크기와 최대 크기를 구한다.



(그림 5) WLAN 소모에너지 개선을 변화

우선, Power-Off 상태 유지시간을 고려하여 선반입 버퍼의 최소 크기를 결정하는 방법을 살펴본다. μ 값과 λ 값은 임시 선반입 버퍼 사용 시 측정된 데이터 선반입 속도와 데이터 소비 속도 중 최대값을 사용한다. 선반입 버퍼의 데이터를 소비하는 속도는 BS/λ 이다. 이 값은 T_{rec} 보다 커야하므로 선반입 버퍼의 최소 크기는 식 (3)를 만족하여야 한다.

$$BS > \lambda \times T_{recov} \quad (3)$$

그림 5에 나타난 바와 같이 선반입 버퍼의 크기가 일정 크기 이상이 되면 에너지 효율은 크게 개선되지 못한다. 따라서 적정 수준에서 선반입 버퍼의 크기 값을 결정해 주어야 한다. 이를 위해서 제안된 기법에서는 개선을 그래프의 접선 기울기(β)가 0에 근접한 접점을 선반입 버퍼 크기 값을 선반입 버퍼 최대 크기로 결정한다. 따라서 개선을 그래프의 도함수를 이용하여 선반입 버퍼의 최대 크기를 구하는 식 (4)을 도출한다.

$$T = \frac{P_{max}}{\mu - \lambda}, R = \frac{P_{max}}{\lambda}, Q = T_{recov} \times P_{recov} \text{ 이면,}$$

$$BS = \frac{-T^2 + \sqrt{(T \times Q)^2 - T^2 \times (Q^2 - \frac{(T+R) \times Q}{\beta})}}{T^2} \quad (4)$$

4. 성능평가

표 2는 제안된 기법의 성능을 평가하기 위하여 사용된 환경과 콘텐츠 사양이다. 콘텐츠 품질은 모바일 단말에서 일반적으로 많이 사용되는 QVGA급을 사용하였다. 표 3은 사용된 WLAN 카드의 전력소모 파라미터 값이다.

<표 2> 실험 환경 및 콘텐츠 사양

| | | |
|----------------|----------------|------------------------------|
| H/W | CPU | 인텔 Bulverde PXA270 520MHz |
| | WLAN | Cisco Aironet 350 11Mbps |
| S/W | 운영체제 | 임베디드 리눅스 2.6.11 |
| | IP 스토리지 | Intel-iscsi-2.0.17 |
| | 셀 크기 | 4096 바이트 |
| 콘텐츠 | 비디오 코덱 | XVID, MPEG2 |
| | 해상도 | QVGA(320×240) |
| | 비트레이트 | 512Kbit, 256Kbit |
| | 프레임 | 25fps |
| 선반입 버퍼 상한크기 | 3000개(=11.7MB) | |
| 전력측정 | NI PCI-4070 | |

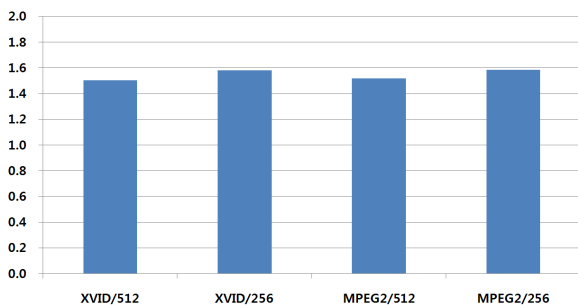
<표 3> WLAN 전력소모 파라미터 값

| | | | | |
|------------------|--------------|------------------|--------------------|---------|
| P_{max} (W) | P_M (W) | P_{rec} (W) | T_{rec} (sec) | β |
| 1.660 | 0.000 | 1.625 | 2.632 | 0.0001 |

표 4는 동영상 재생 시 측정된 파라미터 값이고 그림 6은 동영상 재생 시 측정된 모바일 단말의 소모에너지 개선율이다. 대부분의 경우 상한크기를 초과하는 계산 BS 값을 나타냄으로서 재구성된 최대 크기는 3000개이다. 그리고 소모에너지는 1.5배 이상의 개선율을 나타내었다.

<표 4> 동영상 재생 시 측정 파라미터 값

| 코덱 | 비트 전송률 | μ | λ | Min BS | Max BS |
|-------|--------|-------|-----------|--------|--------|
| | | | | | 계산 BS |
| XVID | 512 | 104 | 24 | 64 | 2782 |
| | 256 | 105 | 10 | 27 | 2782 |
| MPEG2 | 512 | 103 | 19 | 51 | 3000 |
| | 256 | 103 | 15 | 40 | 3208 |
| | | | | | 4824 |
| | | | | | 3000 |
| | | | | | 3719 |



(그림 6) 동영상 재생 시 모바일 단말 소모에너지 개선율

5. 결론

본 논문에서는 본 논문에는 저전력 모바일 IP 스토리지를 위한 재구성 가능 선반입 버퍼 기반의 WLAN 전력 제어 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 모바일 IP 스토리지에 있는 멀티미디어 콘텐츠의 품질에 따라 선반입 버퍼의 크기를 자동적으로 결정하고 멀티미디어 콘텐츠가 실행되는 동안 On-Off 동작을 기반으로 WLAN 전력제어를 동적으로 수행한다. QVGA급 동영상을 재생을 통한 성능평가 결과 모바일 단말의 소모에너지가 1.5배 이상의 개선율을 나타내었다. 이를 통해 멀티미디어 데이터 사용 환경에서 제안된 기법이 높은 소모에너지 개선 효과를 보일 수 있음을 확인할 수 있었다.

향후 연구로 제안된 기법은 멀티미디어 데이터를 사용하는 환경에 초점이 맞춰져 있기 때문에 일반 데이터 사용 환경에 대해서는 큰 효과를 기대하기 어렵다. 따라서 이에 대한 연구를 진행할 예정이다. 또한 다중 네트워크 작업 환경에서 제안된 기법을 적용하기 위한 연구를 진행할 예정이다.

참고문헌

- [1] <http://www.supertalent.com/tools/ssd.php>
- [2] Young Jin Nam, "Prototyping object-based ubiquitous multimedia contents storage for mobile device," *Lecture Notes in Computer Science*, Volume 4159, pp.93-102, 2006.
- [3] A. Acquaviva, T. Simunic, V. Deolalikar, and S. Roy, "Server controlled power management for wireless portable devices," Hewlett Packard Laboratories Technical Report, 2003
- [4] C. E. Jones, K. M. Sivalingam, P. Agrawal, and J. C. Chen, "A survey of energy efficient network protocols for wireless networks," *Wireless Networks*, Volume 7, pp.343-358, 2001.
- [5] F. Zhu and Z. Niu, "Load-Aware power saving mechanism in WLAN," *Wireless Communications and Networking Conference*, pp.2088-2093, 2007.
- [6] M. Anand, E. B. Nightingale, and J. Flinn, "Self-Tuning wireless network power management.," *Wireless Networks*, Volume 11, pp.451-469, 2005.
- [7] Y. Jiao, A. R. Hurson, and B. Shirazi, "Adaptive application-driven WLAN power management," *Pervasive and Mobile Computing*, Volume 3, pp.255-275, 2007.