분산 무선 네트워크 환경에서의 이동성 관리를 통한 효율적인 에너지 사용에 관한 연구

A Study on the Efficient Energy Management using Mobility Management in Distributed Wireless Network Environments

김 태 경*
Tae-Kyung Kim

요 약

분산 무선 네트워크에서 작업을 수행하기 위해서는 이동 단말기에 안정적인 전원의 공급이 필수적인 요소이다. 본 논문에서는 무선 네트워크에서 작업을 수행하기에 제한적인 조건인 전원문제의 해결을 위해서 모바일 단말기들의 이동성 관리를 통한 분산 작업을 효율적으로 수행하는 방안을 제시하였다. 에너지 사용량은 통계모델을 통하여 분석할 수 있으며, 또한 이동성 관리를 통해서 모바일 단말기 내에서 분산작업 수행시에 필요한 에너지 필요량을 예측할 수 있다. 그러므로 본 논문을 통하여 정규적인 이동성을 가지는 이동 단말기들을 통하여 안정적으로 분산 작업을 수행할 수 있는 알고리즘 및 그 유효성을 제시하였다.

Abstract

Providing the sufficient energy to the mobile device is essential to process the job in distributed wireless network. To solve the restrained conditions of energy problems of mobile devices, this paper suggests the efficient method of processing the distributed job using mobility management in wireless network. Energy consumption can be analyzed using the statistical model and required energy of processing the distributed job in mobile device can be predicted using the mobility management. Therefore, this paper suggests the reliable algorithm to process distributed job through the mobile devices with regular mobility and shows the efficiency of the suggested algorithm.

☞ Keyword : Mobility Management, Energy Management, Mobile Grid, 이동성 관리, 에너지 관리, 모바일 그리드

1. 서 론

이동통신이 보편화됨에 따라 통신서비스가 유선에서 무선으로 급속하게 이동 중에 있으며, 대부분의 사용자가 유선통신과 무선통신을 같이 이용하는 현상이 보편화되면서 사용자의 편리성 증진을 위해 유선과 무선 통신서비스 간 애플리케이션, 단말기, 인프라 등의 비호환성을 극복하려는 기술적인 시도가 본격화 되고 있다. 또한 무선 기술 발전에 따라 사용자가 네트워크에 접속하거나 다양한 단말기를 컨트롤하는 환경이 끊임없이 개선돼 이를 활용한 새로운 서비스들이 등장하게 되었으며, 무선 사용자 중심의 컴퓨팅 환경이 중요하게 되었다.

본 논문에서는 분산 무선 네트워크 환경에서 무선 단말기를 이용하여 필요한 정보의 수집 및 간단한 연산을 수행하는 모바일 그리드[1]의 효율적인 전력 사용에 관한 연구를 수행하였다. 배터리의 성능은 무선 네트워크 환경에서 분산 작업을 수행하는데 있어서 필수적인 요소인데, 이는 작업을 수행할 이동 단말기의 배터리의 수명이

* 정 회 원 : 서일대학 정보전자과 교수
tkkim@seoil.ac.kr
[2007/01/12 투고 - 2007/01/18 심사 - 2007/01/25 심사완료]

작업을 수행하는데 필요한 시간보다 적을 경우에는 그 이동 단말기에 작업을 할당할 수 없으며, 또한 작업 수행 이후에도 배터리의 용량이 남아 있지 않을 경우에는 이동 단말기의 사용자에게 큰 불편을 줄 수 있기 때문이다.

이동 단말기에서 작업수행중의 시간에 대한 전력 소비량은 장비의 종류 및 모델에 따라 차이가 발생하게 된다. 그러므로 예측 모델을 이용하여 각 이동 단말기에서 사용되는 전력량을 적응성 있게 적용하므로 장비 별로 적정한 전력 필요량을 산출할 수 있다.

본 논문의 구성은 일반적인 이동 단말기의 전력 성능이 2장에서 제시되었으며, 전력 소비에 영향을 미치는 거리와 이동성과 관련된 내용을 3장에서 제시하였다. 4장에서는 모바일 단말기 전력 사용량을 예측할 수 있는 모델을 제시하였으며, 마지막 5장에서는 결론 및 향후 연구계획을 기술하였다.

2. 이동 단말기의 전력 성능

이동 단말기 전력의 사용량은 장비의 종류에 따라 그리고 같은 장비라도 다양한 모델에 따라 그 값이 달라질 수 있다. Lucent WaveLAN PCMCIA Wireless Ethernet card의 필요한 전력량은 표 1과 같다[2].

(표 1) WaveLAN PCMCIA Wireless Ethernet card의 전력 요구량

State	Documented	Measured
suspended	0W	0W
receive	1.48W	1.52W
transmit	3.00W	3.10W

표1에서 suspended는 대기상태, receive는 수신 그리고 transmit는 전송 시의 전력 사용량을 나타낸 것이다. 또한 [3]의 연구 조사에 의하면 TM5600 프로세서는 수행시간 도중에 표 2와 같이 전력 소비를 하는 것으로 조사되었다.

(표 2) TM 5600의 전력 소비량

Freq. (MHz)	Voltage (V)	Power (W)
300	1.2	1.3
400	1.225	1.9
533	1.35	3.0
600	1.5	4.2
667	1.6	5.3

현재 많은 연구자들에 의해 무선 통신에서 단말기의 배터리 사용 기간을 연장시키기 위한 연구가 수행되고 있다. 특히 통신 프로토콜에 전력 소비 효율을 높이기 위한 연구가 프로토콜 설계자들에 의해서 수행되고 있으며, 그 예로 power-efficient MAC 프로토콜과 power- efficient 라우팅 등이 있다.

전력소비는 크게 두 가지 항목으로 나누어 볼 수 있는데 하나는 통신과 관련된 전력 소비이고 나머지 하나는 통신 이외의 전력 소비와 관련되어 있다. 통신 이외의 전력소비로는 장비의 디스플레이, 키보드, 디스크, 메모리 그리고 CPU로 인한 전력소비이다. [4]의 연구에 의하면 Wi-Fi card의 경우 Send/Recv Mode에서는 900-1400mW를 소비하며, Sleep Mode의 경우에는 50mW를 소비하는 것으로 측정이 되었다. LCD 디스플레이[5]은 Backlight Mode에서 Superbright 상태에서는 2.8W를 소비하고, Power Save 상태에서는 1.72W를 소비하는 것으로 조사되었다. 그러나 이러한 전력의 소비량은 장비의 종류 및 모델에 따라 그 측정값이 다르게 나타나게 된다. 일반적으로 이동 단말기의 전력성능은 거리와 이동성에 의해서 영향을 받게 된다. 특히 거리가 멀어질수록 통신을 하기 위한 전력량이 증가하게 된다. 그러므로 작업의 분배 시에 가능하면 근거리에 있는 전력이 충분한 모바일 단말기에게 작업을 할당하여 에너지 소비량을 최소로 하여야 한다.

본 논문에서는 기존에 많이 수행되었던 배터리의 효율적인 사용 측면이 아닌, 이동 단말기의 배터리 성능에 대한 예측을 통해 분산 무선 네트워크에서 효율적으로 작업을 수행하는 방안을 연구하였다. 이동하는 단말기에서 전력소비의 변화에 영향을 미칠 수 있는 요소로는 거리와 이동성을 들 수 있다.

2.1 거리에 의한 전력 소비량

무선 네트워크에서 모바일 단말기의 배터리의 용량을 효율적으로 사용하기 위해서는 거리에 대한 고려가 필수적이다. 이는 기지국으로부터 먼 거리의 단말기는 큰 전파를 송출해야 되기 때문이다. 무선 네트워크에서 거리를 고려한 통신 방법으로는 평균적인 모바일 단말기의 거리를 측정하여 이 평균 거리보다 모바일 단말기를 중계해 주는 역할을 하는 프락시 시스템에 근접하였을 때 통신을 하는 방식으로 에너지 효율을 높이는 방법을 사용하고 있다[4].

그러나 분산 무선 네트워크 환경에서 작업을 수행하는 경우에는 한정된 시간 이내에 작업의 수행이 이루어져야 하므로, 이동 단말기들이 가까이 접근하기까지 기다렸다가 작업을 수행하는 것은 비효율적이다. 그러므로 본 논문에서는 거리를 고려한 전력 소비량을 예측할 수 있는 수식을 제시하였으며, 예측된 전력 소비량을 만족하는 경우에는 근거리에 있는 모바일 단말기에 작업을 할당하여 전력 소비가 최소가 되도록 하였다.

거리에 따른 신호의 세기는 전계 강도를 통해 표현하게 되며, 이는 수신 전파세기를 나타내는 수치로서 그 값이 적을수록 전파의 세기가 약함을 의미하게 된다. 단위로는 dBm을 사용하며, 일반적으로 양호한 전계강도는 -90dBm 이상의 전계 강도이고, 강전계는 -60dBm 이상의 전계 강도를 의미한다. 즉 이동 단말기에서는 이 전계 강도를 이용해서 프락시 시스템과의 거리를 판단하여 전력 레벨을 조정하게 되므로 모바일 단말기의 전력 소비량을 예측할 수 있다.

이동통신 환경에서 기지국과 이동국 사이의 무선 구간에서 발생하는 경로손실을 고려해보면, 거리에 따른 전자파의 크기는 $1/R^{3\sim5}$ 정도의 비율로 줄어들게 된다. 그러므로 만약 거리의 비율이 10배가 되면, 수신 전력은 1/1,000 ~ 1/100,000 정도 작은 크기로 수신되게 된다.

2.2 모바일 단말기의 이동성 관리

모바일 단말기의 이동성은 크게 두 가지로 분류할 수 있는데, 이는 정규적인 이동(regular mobility)과 임의의 이동(random mobility)으로 나누어 볼 수 있다. 정규적인 이동의 경우에는 모바일 단말기의 이동을 예측하여, 데이터의 전송 및 수신시에 프락시 서버와의 거리를 계산하여 모바일 단말기의 전력관리에 이용할 수 있으며, 어디로 이동할지 예측할 수 없는 임의의 이동의 경우에는 작업의 할당 시에 가장 가까운 거리에 있는 모바일 단말기에 대한 정보를 이용하여 작업을 할당해야 한다.

다음의 표 3은 운송수단과 보행자의 이동 패턴을 제시하였으며, 이 표에서는 보행자, 자동차, 버스에 대해서 이동형태, 도로 형태의 밀집도, 경로 예측도, 이동 성향, 공간의 규칙성, 시간의 규칙성, 규칙성의 변화정도 그리고 네트워크의 크기를 나타낸 것이다 [6].

(표 3) 운송수단과 보행자의 이동 패턴

	Pedestrian	Car	Bus
Movement limitation	Very low	Medium	Medium
Road topology density	High	Medium	Medium
Path predictability (Predefined)	Random	Random	Yes
Mobility disposition	Random Stop-and-start	Random Stop-and-start	Regular Stop-and-start

Space regularity	Irregular	Irregular	Regular
Time regularity	Irregular	Irregular	Regular
Regularity variance	High	High	Medium
Network scale (size)	Small	Medium	Medium

2.2.1 이동의 제한성

자동차, 버스 그리고 기차와 같은 운송수단의 이동 패턴은 도로의 형태에 따라서 이동하도록 제한되어 있다. 예를 들면, 기차나 항공기의 경우에는 미리 설치되어 있는 기찻길이나 항공기 노선을 따라 이동하며, 버스의 경우에는 약속된 버스 정거장을 따라 이동하게 되어 이동성에 있어서 제한을 받게 된다. 보행자도 길을 따라 이동하기는 하나 길의 형태가 운송수단의 도로 형태보다 훨씬 밀집된 형태를 가지고 있으며, 운송수단에 비해서 이동의 제한을 덜 받게 된다.

2.2.2 정규성

공공 운송수단의 이동 패턴은 규칙적이고 반복적인 특성을 가지고 있다. 이 운송수단들은 같은 경로를 지나 지정된 장소에 정차하게 되며, 기차나 지하철의 경우에는 그 시간이 더욱 철저하게 지켜지게 된다. 또한 버스의 경우에도 GPS를 통해서 어느 정거장에서 어느 정거장으로 이동하고 있는지에 대한 정보를 비교적 정확하게 그 움직임을 알아낼 수 있다.

현실적으로 무선 네트워크에서 분산 작업을 수행하기 위해서는 많은 이동 단말기들의 자원들이 필요하게 되며, 또한 이동의 제한성 및 정규성을 가지는 것이 작업을 안정적으로 수행하는데 필요하다.

3. 모바일 단말기 전력 소비 예측

전력소비량은 각 이동 장비 별 혹은 모델 별로 다르게 측정되므로, 본 논문에서는 각각의 전력 소비량을 인자로 표현하여 전력 소비량 예측 모델을 제시하였다. 일반적으로 모바일 단말기에서의 전력 소비량은 다음의 수식에 의해서 구할 수 있다.

$$energy = pt_p + nt_t$$

여기서, p는 모바일 단말기의 프로세서가 작업을 수행하는데 필요한 필요 전력량을, t_p는 작업 수행 시간을 나타내고, n은 수신 및 전송에 필요한 전력 필요량, t_t는 전송에 필요한 시간을 의미한다. 위의 수식에 앞서 수행된 연구결과인 작업 수행[7]과 전송 시간[8]에 대한 식을 대입하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$energy = p(\frac{1}{1-\rho}w) + n[(\frac{\alpha}{\beta}+1)(\frac{D}{3.0\times10^8}+\frac{\overline{M}}{B}+\frac{\overline{M}}{B-\lambda\overline{M}})]$$

여기서 ρ 시스템에서 작업의 활용률(utilization rate)을 나타내며, w 는 시스템에서 분산 작업을 수행하기 위해 필요한 시간을 의미한다. 또한 α는 무선 네트워크에서의 단절률(disconnection rate)이고, β는 재-연결율(reconnection rate)을 의미하며, D 는 서비스를 요청한 시스템에서 서비스를 수행한 시스템까지의 거리를 의미하며, $\overline{M}$은 패킷의 평균적인 크기를, B는 사용된 대역폭 그리고 λ 는 패킷의 도착률(arrival rate)을 나타낸다.

이 수식에서 정확한 p와 n의 값을 측정하기 위해서 본 논문에서는 예측 모델을 이용하였다. [9]의 연구에 의하면 AR(1), AR(2), AR(3), MA(1), MA(2)와 같은 auto-regressive and moving average model 중에서 실제 데이터를 통한 분석

의 결과로 AR(1) 모델이 계산 복잡도와 정확한 예측값 측면에서 좋은 성능을 나타내는 것으로 분석되었다.

정확한 전력 요구량을 예측하기 위해서 사용한 방식은 다음과 같다. 단위시간당 작업을 수행하기 위해서 필요한 전력량을 $p_0, p_1, p_2, \cdots, p_n$ 이라고 하면, 이러한 시계열 값을 이용해서 (n+1)구간의 전력 요구량을 예측할 수 있다. p_{n+1}을 실제 작업 수행을 위해 필요한 전력량이라고 하고, $\hat{p}_{n+1}$을 필요한 전력 예측량 이라고 하면 first-order autoregressive process (AR(1))는 다음과 같이 주어지게 된다[10].

$$\tilde{p}_t = \phi_1 \tilde{p}_{t-1} + a_t$$

단, a_t는 평균이 0인 랜덤 변수이고, $-1 < \phi_1 < 1$이다. 만약 p_t가 0이 아닌 평균값 μ를 갖는다면 $\tilde{p}_t = p_t - \mu$이고, 그렇지 않으면 $\tilde{p}_t = p_t$가 된다.

주어진 프로세스에서 AR(1) predictor가 p_t와 ϕ_1의 값을 측정하면 다음 시간 구간의 예측값을 구할 수 있다. $\hat{\mu}$를 측정된 평균치라 하고, $\hat{\phi}_1$을 ϕ_1의 측정치를 나타낸다고 하면 $\hat{p}_{n+1}$의 예측값은 다음과 같이 주어지게 된다.

$$\hat{p}_{n+1} = \hat{\mu} + \hat{\phi}_1 (p_n - \hat{\mu})$$

여기서 평균값 $\hat{\mu}$와 매개변수 $\hat{\phi}_1$를 구하는 것은 AR(1) 측정값을 구하는데 있어서 중요한 문제이다. 본 논문에서는 이 두 가지 매개변수를 측정하기 위해서 최근의 관찰된 값을 이용하여 슬라이딩 윈도우 기법으로 계산을 수행하였다. m개의 측정된 유효한 전력 사용값 $(m \le n)$을 이용하여 $\hat{\mu}$을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{\mu} = \frac{\sum_{i=0}^{m-1} p_{n-1}}{m}$$

$\hat{\phi}_1$의 측정치는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{\phi}_1 = \frac{\sum_{i-0}^{m-1} (p_{n-i} - \hat{\mu})(p_{n-1-i} - \hat{\mu})}{\sum_{i-0}^{m-1} (p_{n-i} - \hat{\mu})(p_{n-i} - \hat{\mu})}$$

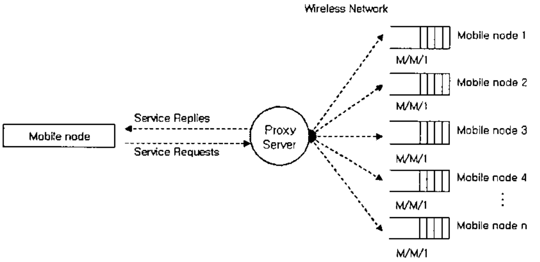
그러므로 이 수식에서 거리의 측정값을 이용하면, 배터리의 성능을 고려하면서 효율적인 작업 할당이 가능하다. 즉 현재 거리에서의 네트워크 전송을 위한 전력 소비량은 AR(1) 모델을 통해서 예측이 가능하다. 또한 작업의 완료시에 수행된 결과를 반환하기 위한 데이터 전송에 필요한 전력량은 3.2.2에서 제시한 정규적인 이동을 하는 모바일 단말기의 경우, 그 작업이 완료된 시점에서의 위치에 대한 예측이 가능하므로, 예측된 거리값을 이용하여 결과 반환을 위한 데이터 전송의 전력 사용량에 대한 측정이 가능하며, 임의의 이동을 하는 모바일 단말기의 경우에는 일정 시간간격 동안의 측정된 거리의 값을 이용하여 결과의 반환시의 거리의 값으로 이용이 가능하다. 그러므로 모바일 단말기의 이동패턴에 의한 거리값을 이용하여 좀 더 구체적인 분산작업을 수행하기 위한 이동단말기의 에너지 소비량을 예측할 수 있다.

4. 시뮬레이션 및 성능평가

본 논문에서 제시한 알고리즘의 유용성을 제시하기 위해서 수학적인 분석방법을 사용하였다. 작업을 수행할 이동 단말기의 선택은 기존의 모바일 그리드에서 수행하던 방식인 CPU와 대역폭,

디스크, 그리고 메모리를 고려하던 방식과 본 논문에서 제시한 이동 경로를 예측하여 배터리의 사용량을 예측할 수 있는 방식 사이의 작업수행 시간을 비교하였다.

성능평가를 수행한 모델과 알고리즘은 다음과 같다.



(그림 1) 분산 무선 작업수행 모델

(표 4) 모바일 그리드 작업할당 알고리즘

```
Begin
  management server checks the available mobile nodes;
  collecting the available resources information of mobile nodes;
  ordering the mobile nodes according to CPU, bandwidth, disk, memory, battery;
  calculating network response time from management server to each mobile nodes;
  partitioning and allocating subtasks to each mobile node according to response time
End
```

성능 평가에서 사용된 인자는 다음과 같다.

- 병렬 분산 프로그램을 수행하기 위해 필요한 전체 시간 : 2000 sec
- 모바일 그리드 시스템에서 가용한 모바일 단말기의 수 : 1 ~ 10 nodes
- 최대 이동속도 : 10 m/s로 가정하였다.

일반적으로 보행자의 속도는 시속 2~4km 이고, 도시에서의 자동차의 평균속도는 12~27km, 교외에서는 47~53km 이나 본 논문에서는 10m/s로 가정하고 수학적 분석을 수행하였다. 이동성은 랜덤하게 이동하는 방식과 정규적으로 이동하는 방식을 사용하였다.

(표 5) 작업의 수행시간 비교

모바일 노드 수	이동성 고려	이동성 미고려
1	20881.1	20881.1
2	11943.8	11992.5
3	8371	8404.2
4	6453.9	6491.9
5	5360.1	5396.2
6	4668.4	4707.2
7	4141.3	4183.0
8	3826.3	3858.7
9	3588.1	3617.2
10	3395.8	3434.5

표 5에서 제시된 바와 같이, 이동성을 고려해서 작업을 수행하는 경우가 고려하지 않는 경우보다 빠른 시간에 작업을 수행하는 것으로 나타났으며, 이동 단말기의 수가 증가할수록 작업수행 시간이 줄어드는 것을 알 수 있다. 이는 전력 사용량을 예측하여 작업을 할당하였으므로, 전력문제로 인한 작업의 지연이 적어지기 때문이다.

5. 결론 및 향후 연구계획

무선 네트워크의 사용이 일반화됨에 따라, 무선 네트워크를 이용한 다양한 어플리케이션들이 개발되고 있다. 그중에서도 이동 단말기를 이용한 센서 및 작업수행을 위해서 본 연구에서는 이동 단말기의 이동성 관리를 통한 에너지를 효율적으로 사용하는 방안을 제시하였다.

이동 단말기의 경우에는 지속적인 배터리의 충전이 어렵기 때문에 전원이 충분하지 않을 경우에는 안정적인 작업 수행이 곤란하며, 특히 이동성을 고려하지 않은 경우에는 원거리 전송으로 인한 많은 전원의 사용 및 전원의 부족 시에 작업을 재 할당해야 하는 문제가 발생할 수 있다.

그러므로 본 논문에서는 이동성을 고려한 에너지 사용량을 고려해서 작업을 수행하는 방안을 제시하였으며, 성능평가를 통해서 제안한 알고리즘의 유효성을 제시하였다.

향후 연구계획으로는 모바일 그리드를 Ad-hoc 네트워크 및 인터넷과 연결시켜 실질적인 작업 수행이 이루어지는 애플리케이션을 개발하는 것이며, 이를 통하여 이동 단말기들을 가지고 있는 유용한 기능들을 효과적으로 활용하는 방안에 대한 연구를 수행할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] F. Berman, G. Fox, T. Hey, The Grid: past, present, future, Grid Computing - Making the Global Infrastructure a Reality, Wiley and Sons, 2003.

[2] R. Kravets, P. Krishnan, "Power Management Technique for Mobile Communication," Mobicom 98, Dallas Texas USA, 1998.

[3] G. P. Box, F. M. Jenkins, and G. C. Reinsel, Time Series Analysis Forecasting and Control Third Edition, Prentice Hall, 1994.

[4] S. Chakraborty, D. K. Y. Yau, and J. C. S. Lui, "On the Effectiveness of Movement Prediction To Reduce Energy Consumption in Wireless Communication", In Proc. ACM SIGMETRICS, San Diego, CA, June 2003.

[5] S. Pasricha et. al., "Reducing Backlight Power Consumption for Streaming Video Applications on Mobile Handheld Devices", Workshop on Embedded Systems for Real-Time Multimedia, Oct. 2003.

[6] 백은경, "IPv6 네트워크 이동성의 성능 향상", 박사학위 논문, Aug. 2004.

[7] 김태경, 서희석, "모바일 그리드에서의 작업 할당 스케줄링 알고리즘에 관한 연구", 한국시뮬레이션학회 논문지 제15권 3호, 2006년 9월.

[8] Kim,T.K., Byeon,O.H., Chun,K.J., and Chung, T.M., "Specifying Policies for Service Negotiations of Response Time," The International Conference on Computational Science 2004 (ICCS 2004), June 2004.

[9] G. P. Box, F. M. Jenkins, and G. C. Reinsel, Time Series Analysis Forecasting and Control Third Edition, Prentice Hall, 1994.

[10] G. P. Box, F. M. Jenkins, and G. C. Reinsel, Time Series Analysis Forecasting and Control Third Edition, Prentice Hall, 1994.

◐ 저 자 소 개 ◑

김 태 경(Tae-Kyung Kim)

1997년 단국대학교 수학교육과(이학사)
2001년 성균관대학교 대학원 정보통신공학과(공학석사)
2005년 성균관대학교 대학원 전기전자및컴퓨터공학과(공학박사)
2006~현재 서일대학 정보전자과 교수
관심분야 : 네트워크 보안, 모바일 그리드, USN
E-mail : tkkim@seoil.ac.kr