

# 지연 허용 스마트폰 어플리케이션을 위한 배터리 인지 데이터 전송

최 옥 영\*, 정 송°

## Battery-Aware Data Transmission for Delay-Tolerant Smartphone Applications

Okyoung Choi\*, Song Chong°

요 약

최근 스마트폰 사용량이 증가하고 에너지 소모량도 크게 증가함에 따라, 스마트폰 사용자들이 배터리부족으로 많은 불편을 겪고 있다. 이에 따라 스마트폰의 에너지 관리 및 절약을 위한 연구가 많이 이루어지고 있다. 본 연구에서는 먼저 배터리 고갈로 인한 사용자의 불편함을 피하기 위하여, 스마트폰 사용자의 에너지 사용 패턴 분석을 통한 배터리 잔량 예측 모델을 제안한다. 제안한 예측 모델을 기반으로 지연허용 응용을 위한 에너지 효율적 데이터 전송방법을 제안한다.

**Key Words** : smartphone, energy, wireless communication, delay-tolerant applications

### ABSTRACT

As energy consumptions of smartphone increase, many smartphone users suffer from the lack of energy. Thus, many researches have been studied to save energy consumed in smartphone. To avoid inconvenience from the battery depletion, we first propose a remaining energy prediction model derived from the analysis on energy consumption pattern. Based on the model, we propose the energy efficient

data transmission method for delay-tolerant applications.

### I. 서 론

최근 수년간 스마트 폰은 우리 삶의 큰 부분으로 떠올랐다. CISCO는 단일 스마트폰이 37대의 피쳐폰에 해당하는 네트워크 트래픽을 생산해내고 있으며, 2019년 까지 스마트폰의 데이터 트래픽 생산량이 전체의 3/4에 도달할 것으로 예상하고 있다<sup>[1]</sup>. 이러한 이유로 스마트폰의 에너지 사용량은 매년 급격히 증가하고 있으며, 사용자들은 배터리 부족으로 많은 불편을 겪고 있다. 이에 따라 스마트폰의 네트워크 인터페이스를 통해 소모되는 에너지를 절약하기 위한 연구들이 이루어졌다<sup>[2,3]</sup>. 스마트폰 사용자는 셀룰러와 Wi-Fi망 등이 혼재된 이중 망 환경에 있으며, 셀룰러망은 항상 액세스가 가능하지만 에너지 효율성이 낮고 Wi-Fi망은 액세스 포인트를 만났을 때만 간헐적으로 사용 가능한 반면 에너지 효율성이 높다 (에너지 소모 대비 데이터 전송량이 셀룰러보다 3~4배 높다)<sup>[3]</sup>. 따라서 지연을 허용하는 데이터 트래픽의 경우, Wi-Fi망을 통한 전송기회를 기다려 최대한 활용함으로써 전력 소모를 크게 줄일 수 있다.

또한, 사용자의 스마트폰 에너지 사용 패턴을 분석하여 스마트폰 에너지 관리에 이용할 필요성이 있다. 예를 들어, 에너지 소모 패턴 분석 및 미래의 에너지 잔량을 예측을 통해, 지연 가능한 작업의 수행 여부를 결정하는 것이다. 이를 위해서는 미래의 스마트폰 배터리 잔량을 견고(robust)하게 예측 하는 것이 필요한데, 그렇지 못할 경우 사용자가 원하지 않은 배터리 고갈이 발생하기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 스마트폰 사용자의 배터리 소모 패턴을 분석하여 배터리 잔량 예측 모델을 제안한다. 이를 기반으로 특정시간까지 배터리가 고갈될 확률이 일정 이하로 보장될 경우에만 에너지소모를 최소화 하며 데이터 트래픽을 주어진 시간 내에 셀룰러 혹은 Wi-Fi망을 통해 전송하는 방법을 제안한다.

### II. 스마트폰 에너지 사용 패턴 분석

스마트폰 에너지 사용 패턴을 분석하기 위하여, 두

\* 이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (B0190-16-2017, IoT 기기의 물리적 속성, 관계, 역할 기반 Resilient/Fault-Tolerant 자율 네트워킹 기술 연구)

• First Author : KAIST, School of Electrical Engineering, okyoung@netsys.kaist.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : KAIST, School of Electrical Engineering, songchong@kaist.edu, 종신회원

논문번호 : KICS2016-07-167, Received July 28, 2016; Revised August 12, 2016; Accepted August 30, 2016

명의 갤럭시 노트2 사용자의 배터리 잔량 정보를 5분 간격으로 26일간 측정하였다. 측정된 5분당 에너지 소모량을 30분 단위로 합친 양을  $s(t)$ 라고 하자 ( $t \in \{1, 2, \dots, 1248\}$ ). 즉,  $s(t)$ 는 시간이  $30 \times (t-1) + 1$ 분부터  $30 \times t$ 분까지 소모한 에너지를 의미한다. 측정된  $s(t)$ 는 (30분 단위의) 에너지 소모량 프로세스  $X(t)$ 의 하나의 실현이며,  $X(t)$ 는 시간  $t$ 에 대해 독립항등분포(i.i.d.)이고  $X(t)$ 의 평균 및 분산이 각각  $s(t)$ 의 표본평균( $\mu$ ) 및 표본분산( $\sigma^2$ )과 같다고 가정하겠다. 이때,  $n/2$ 시간 동안의  $X(t)$ 의 합인  $\sum_{\tau=t}^{t+n-1} X(\tau)$ 의 분포는 중심극한정리<sup>[4]</sup>에 따라  $n$ 이 커질수록 평균이  $n\mu$  및 분산이  $n\sigma^2$ 인 Gaussian분포( $N(n\mu, n\sigma^2)$ )로 수렴한다. 이는 그림 1, 2에서 확인할 수 있다. 그림 1에서와 같이,  $n=1$ 인 경우의 측정값  $s(t)$ 의 빈도분포(파랑색)와  $N(\mu, \sigma^2)$ (빨간색)은 꽤 차이가 있다. 반면에 그림 2에서와 같이,  $n=16$ 인 경우의 측정값  $\sum_{\tau=t}^{t+15} s(\tau)$ 의 빈도분포(파랑색)와  $N(16$

$\mu, 16\sigma^2)$ (빨간색)은 상당히 유사함을 확인할 수 있다. 즉, 긴 시간 동안의 에너지 소모량일수록 Gaussian분포에 잘 맞는다. 본 논문에서는 임의의 자연수  $n$  뿐 아니라 임의의 양의 실수  $n$ 에 대해서도,  $n/2$ 시간 동안의 에너지 소모량  $X_n$ 이  $N(n\mu, n\sigma^2)$ 로 추정한다고 가정하겠다. 본문에서는 생략하지만, 다른 사용자에 대해서도 그림 1, 2와 유사한 결과를 확인하였다.

이와 같이 Gaussian분포로 추정한 에너지 소모 패턴을 이용하여  $n/2$ 시간 후의 배터리 고갈 확률을 예측해 볼 수 있다. 현재 배터리 잔여 에너지가  $e_0$ 라고 하면,  $n/2$ 시간 후의 배터리 고갈(에너지 잔여량이 없는 상황)확률은 다음과 같이 표현 된다.

$$\Pr(X_n > e_0) \tag{1}$$

$$< \min_{k > 0} \{ E[\exp(kX_n)] / \exp(ke_0) \} \tag{2}$$

$$= \min_{k > 0} [ \exp(kn\mu + k^2n\sigma^2/2) / \exp(ke_0) ] \tag{3}$$

$$= \exp(-(e_0 - n\mu)^2 / (2n\sigma^2)) \tag{4}$$

수식 (1)은 배터리 고갈의 정의로부터 유도되며, 수식 (2)는 chernoff bound<sup>[5]</sup>에 따라 유도 된다. 수식 (3)은  $Y \sim N(\mu, \sigma^2)$ 의 모멘트생성함수  $E(\exp(tY))$ 가  $\exp(t\mu + \sigma^2 t^2/2)$  라는 사실을 통해 유도되며, 수식 (4)는 (3)을 최소화 하는  $k$ 를 찾아 얻어진다. (3)을 최소화하는  $k$ 는  $(e_0 - n\mu) / (n\sigma^2)$ 이며, (3)의  $k$ 에 대한 미분결과가 0이 되도록 하는 값이다.

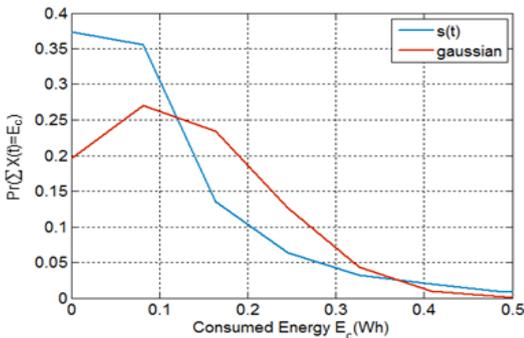


그림 1. 갤럭시 노트2 사용자의 30분 동안의 스마트폰 배터리 소모량의 빈도분포  
Fig. 1. Frequency distribution for energy consumption of GalaxyNote2 user during 30 minutes

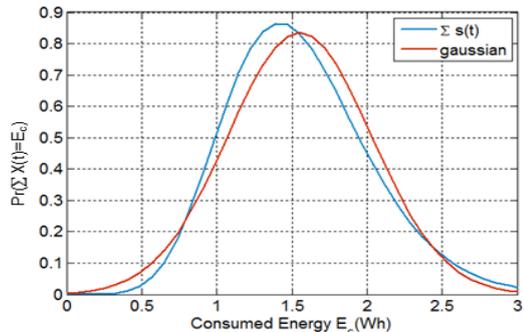


그림 2. 갤럭시 노트2 사용자의 8시간동안의 스마트폰 배터리 소모량의 빈도분포  
Fig. 2. Frequency distribution for energy consumption of GalaxyNote2 user during 8 hours

### III. 배터리 인지 에너지 효율적 데이터 전송 알고리즘

본 연구에서는 그림 3과 같은 지연 허용 모바일 데이터 트래픽의 에너지 효율적 전송 알고리즘을 제안한다. 제안 방법은 스마트폰 앱 업데이트 혹은 클라우드로의 사진 및 동영상등의 업로드 등을 느슨한 제한 시간( $T_{deadline}$ )을 설정하여 전송하는 응용을 대상으로 한다. 따라서 제안 방법은 배터리 고갈로 인한 스마트폰 사용자의 불편함을 피하는 것을 최우선으로 하며, 구체적으로 다음 충전시간( $T$ ) 까지 배터리 고갈 확률이  $\epsilon$ 보다 작을 경우에만 데이터 전송을 수행한다 (알고리즘 line4, 6).

데이터 전송에 있어서 Wi-Fi망을 통한 전송이 셀룰러망을 통한 전송 보다 에너지 효율적이므로<sup>[4]</sup> Wi-Fi를 통해서만 전송을 하는 방법이 에너지를 최소화한다. 하지만, Wi-Fi망은 셀룰러망과 달리 상시 이용가

```

Algorithm 1 Energy Efficient Data Transmission
1) Procedure DataTransmit( $E_0, \mu, \sigma, \varepsilon, T$ )
2)   if  $\Pr(X_n > \varepsilon_0) < \varepsilon$  // where  $n = T - t$ 
3)     if  $t < T_s(t)$ 
4)       TransmitWiFi();
5)     else
6)       TransmitWiFiorCellular();
7)     end
8)   else
9)     NotTransmit();
10)  end
    
```

그림 3. 에너지 효율적 데이터 전송 알고리즘  
Fig. 3. Energy efficient data transmission algorithm

능하지 않으므로 제안 알고리즘은 아래와 같은 방법을 따른다. 먼저, 데이터 전송을 제한시간 내에 마치기 위해 셀룰러망을 통한 전송을 시작해야 하는 시간 ( $T_s(t)$ )를 다음과 같이 정의한다.

$$T_s(t) = T_{deadline} - D(t)/r_c \quad (5)$$

$D(t)$ 는 현재시간  $t$ 에서의 남은 데이터양을,  $r_c$ 는 셀룰러망을 통한 평균전송 속도를 의미한다. 이를 이용하여, 제안 알고리즘은  $T_s(t)$ 까지는 Wi-Fi만으로 전송하고,  $T_s(t)$ 이후에는 Wi-Fi 전송이 불가능한 경우에만 셀룰러망으로 전송한다 (알고리즘 line6).

제안 알고리즘의 성능을 검증하기 위해서, 실제로 측정된 26일의 갤럭시 노트2 사용자의 배터리 소모량과 주기적으로 측정된 셀룰러(3G) 및 WiFi 속도 기록 정보 그리고 잘 알려진 두 네트워크의 에너지 소모량<sup>[4]</sup>을 사용하여 Matlab시뮬레이터를 설계하였다. 사용된 측정값에서 WiFi는 전체 시뮬레이션 시간의 1/3정도만 사용가능하며, 3G 및 Wi-Fi의 평균전송속도는 각각 0.76 및 2.30Mbps 그리고 전력소모량은 각각 702 및 1217mW이다. 각 날짜별로 12시에 생성된 2GB크기의 파일을 당일 24시까지 전송해야 되는 시나리오 하에, 제안 알고리즘( $\varepsilon=0.01$ )과 제한시간 기반 알고리즘의 성능을 평가를 수행하였다. 제한시간 기반 알고리즘은 Wi-Fi로만 데이터를 전송하다가 현재 시간이  $T_s(t)$ 보다 커지면 셀룰러망을 통해서도 전송하는 단순하지만 에너지 효율적인 방법이다. 시뮬레이션 결과 그림 4와 같이 제안 알고리즘은 비교 알고리즘에 비해 같은 데이터 전송성공 확률(제한시간 내에 데이터 전송완료)과 절반의 배터리 고갈 성능을 보였다. 구체적으로 2GB의 데이터를 전송 성공하기에는 배터리 소모량이 많은 경우가 있어 두 방법 모두 성공확률이 1보다 낮았으며, 에너지가 충분할 경우에는 두 방법 모두 전송 성공하였기 때문에 같은 성공확률을 보였다. 또한, 제안 알고리즘이 비교 알고리즘의 절반의

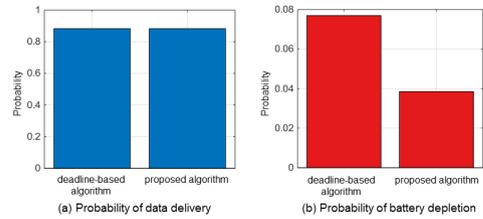


그림 4. 시뮬레이션 결과  
Fig. 4. Simulation results

배터리 고갈확률을 보이는 이유는 비교 알고리즘은  $t$ 가  $T_s(t)$ 보다 클 경우 무조건 셀룰러 전송을 수행하는 반면에, 제안 알고리즘은 배터리가 부족할 경우 전송하지 않다가 후에 여유가 생길 때만 데이터를 전송하기 때문이다. 반면에 전송을 성공한 데이터의 평균 지연시간은 비교알고리즘(약 8시간)이 제안알고리즘(약 10시간)보다 20%정도 낮았다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 스마트폰 사용자의 배터리 부족으로 인한 불편함을 피하기 위하여, 지연허용 모바일 데이터 트래픽을 에너지 효율적으로 전송하는 알고리즘을 제안하였다. 성능평가 결과, 배터리가 고갈되지 않는 선에서 최대한 많은 데이터를 제한시간 내에 전송한 것을 확인할 수 있었다.

#### References

- [1] Cisco, *Cisco visual networking index: global mobile data traffic forecast*, Retrieved Feb. 1, 2016, from <http://www.cisco.com>
- [2] W. Lee and H. Kim, "Empirical study on performance and power consumption in multi-core and multi-threaded smartphones," *J. KICS*, vol 39c, no. 08, Aug. 2014.
- [3] J. Kwak, et al., "Processor-network speed scaling for energy-delay tradeoff in smartphone applications," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol. 24, no. 3, pp. 1063-1660, Jun. 2016.
- [4] H. Bauer, *Measure and integration theory*, Walter de Gruyter, 2001.
- [5] H. Chernoff, "A measure of asymptotic efficiency for tests of a hypothesis based on the sum of observations," *Ann. Math. Stat.*, vol. 23, pp. 493-507, Dec. 1952.