

Small-IoT 환경에서 이기종 네트워크를 활용한 스마트 모바일 단말의 에너지 효율적 실시간 컴퓨팅 기법

임성화^{**†}

^{**†}남서울대학교 멀티미디어학과

Energy-efficient Real-time Computing by Utilizing Heterogenous Wireless Interfaces of the Smart Mobile Device in Small-IoT Environments

Sung-Hwa Lim^{**†}

^{**†}Department of Multimedia, Namseoul University

ABSTRACT

For smart mobile devices, the wireless communication module is one of the hardware modules that consume the most energy. If we can build a multi-channel multi-interface environment using heterogeneous communication modules and operate them dynamically, data transmission performance can be highly improved by increasing the parallelism. Also, because these heterogeneous modules have different data rates, transmission ranges, and power consumption, we can save energy by exploiting a power efficient and low speed wireless interface module to transmit/receive sporadic small data. In this paper, we propose a power efficient data transmission method using heterogeneous communication networks. We also compared the performance of our proposed scheme to a conventional scheme, and proved that our proposed scheme can save energy while guaranteeing reasonable data delivery time.

Key Words : Smartphones, Energy Consumption, Heterogenous Wireless Networking, Multi-channel and Multi-Interface

1. 서 론

하드웨어 기술의 발달로, 스마트폰과 같은 스마트 모바일 기기의 하드웨어 성능은 하루가 다르게 강력해지고 있다. 이러한 무선 기기들의 소형화 및 지능화로 웨어러블 컴퓨팅을 기반으로 한 small Internet of Things (small-IoT) 또는 Internet of small Things 환경이 우리의 일상생활 속에서 확대되고 있다. 이러한 small-IoT 환경에서는 대부분의 통신 데이터들이 다수의 소형 장치에서 작은 대역폭을 가

진 통신망을 통하여 전송되는 작은 크기의 데이터들이 주를 이룬다. 이러한 작은 모바일/무선 장치들로 이루어진 웨어러블 또는 PAN(Personal Area Network) 기반의 small IoT 환경에서 스마트폰과 같은 스마트 모바일 단말은 기존의 사용자와 인터넷을 연결하는 중요한 매개체의 역할 뿐만 아니라 센서 에지(Sensor Edge) 또는 네트워크 에지(Network Edge)의 기능을 겸하게 되므로 그 중요성과 활용도가 더욱 커져가고 있다.

이와같이 스마트 모바일 단말의 역할이 커짐에 따라, 사용시간과 작업 부하, 그리고 통신 트래픽 량이 커짐으로써, 에너지 소모량이 급격히 증가하게 된다. 그러나 배

[†]E-mail: sunghwa@nsu.ac.kr

터리 기술의 발전은 이에 부합하지 못하고 있으며 그 격차는 기하급수적으로 벌어지고 있다 [11]. 배터리에 의존할 수 밖에 없는 스마트 모바일 단말의 에너지 소비량 급증은 서비스의 중단과 같은 사용자 만족도 급격한 저하로 이어질 수 있다.

무선통신 장치는 스마트 모바일 단말의 에너지를 가장 많이 소비하는 장치 중 하나이다. 스마트 모바일 단말에는 이러한 무선 통신 장치들이 이기종으로 여러개가 탑재된다. 이러한 이기종 통신장치를 활용하여 비대칭 MCM (Multi-Channel Multi-Interface) 환경을 소프트웨어적으로 구축한다면 병렬성의 증가로 데이터 전송 성능을 향상시킬 수 있다. 또한 이러한 이기종 장치들은 데이터 전송속도, 전송 범위, 그리고 전력 소모량이 각각 다르다. 그러므로 전송 데이터의 크기, 전송 마감시간, 전송 목적지 등을 고려하여 실시간 성능을 보장하면서 에너지 소비를 최소화 하는 최적의 통신 장치를 활용하는 기법이 필요하다.

Small-IoT 스마트 모바일 단말의 에너지 소비를 줄이기 위해 하드웨어 모듈별로 (예, 디스플레이, 무선통신 모듈 등) 저전력 하드웨어 설계 [5, 6], 저전력 무선통신 프로토콜 개발 [7, 8], 그리고 에너지 효율적인 하드웨어 제어 기법 [9, 12]에 대한 연구가 많이 진행되었다. 그러나 하드웨어 모듈 단위에 대한 저전력 설계가 이루어 져어도, 소프트웨어 차원에서 전력소모가 큰 모듈들(예: 무선통신 모듈이나 디스플레이 모듈 등)을 방만하게 사용한다면, 에너지 낭용으로 인하여 급격한 배터리 방전이 야기될 수 있다 [13]. WiFi와 같은 무선 통신 모듈들은 스마트 모바일 단말의 에너지를 가장 많이 소비하는 모듈들 중 하나이다 [4, 3].

요즘의 스마트 모바일 단말은 WiFi와 5G와 같은 고속의 통신 장치 이외에도, 블루투스나 NFC와 같은 저속/저전력의 이기종 통신장치들이 같이 탑재된다. 이러한 통신장치들은 각각 전송속도, 전송범위, 그리고 전력소모량에서 큰 차이를 갖는다. 이러한 이기종 무선 통신장치들을 활용하여 에너지 효율성을 높이려는 목적으로 MCM 기능을 소프트웨어 적으로 구현한다면 최적의 에너지 소비하에서 요구되는 성능을 보장할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 D2D (Device to Device) 네트워크를 기반으로 하는 small IoT 환경에서 하나의 스마트 모바일 단말에서 여러 종류의 무선 통신을 제공한다는 점을 착안하여, 이기종 통신망을 활용한 전력 효율적인 데이터 전달 기법을 제안한다. 스마트 모바일 단말에서 이기종 통신망을 활용하면 동시에 두 개 이상의 노드와 병렬로 통신을 할 수 있다. 이 경우 이기종 통신망을 활용하여 MCM (Multi-Channel Multi-Interface)를 구현하는 것이며, 이때 무선 인터

페이스 마다 대역폭과 소비전력이 다른 비대칭 환경이 구성된다. 이러한 비대칭 MCM 환경을 소프트웨어적으로 구현하면, 데이터의 특성에 따른 차등적인 데이터 전송이 가능하다. 본 논문에서는 스마트 모바일 단말의 비대칭 MCM 환경에서 전송 데이터의 크기와 대상 노드의 위치, 그리고 데이터 전송 데드라인 등에 따라 적절한 대역폭과 전력소모량을 갖는 인터페이스를 할당함으로써 실시간 요구사항을 만족하면서도 에너지 소모를 최소화하는 이기종 통신망 할당기법을 제안한다. 이를 위해 에너지 보존적 이기종 통신망 할당 알고리즘을 개발하고, 성능분석으로 통해 성능을 검증한다.

본 논문의 구조는 다음과 같다. 2절에서는 본 논문에서 가정하는 시스템 모델을 설명하고, 3절에서 제안 기법을 소개한다. 4절에서는 성능분석 과정과 결과를 제시하고, 5절에서 결론을 맺는다.

2. 시스템 모델

본 논문에서는 스마트 모바일 단말들끼리 무선 환경에서 직접통신을 하는 D2D (Device to Device) 네트워크 환경 가정한다. D2D 네트워크 환경에서는 무선 애드혹 네트워크를 통해 무선 단말 또는 장치들끼리 무선으로 통신을 할 수 있다 [14]. 또한, 본 논문에서 가정하는 MCM 모델은 [2]를 참조하였으며, Fig 1에서 그 예시를 나타내고 있다. 스마트 모바일 단말은 대역폭이 좁고 전력소모가 작은 경량 무선 인터페이스 (Light Wireless Interface: Light WI)와 대역폭이 넓고 전력 소모가 많은 중량 무선 인터페이스 (Heavy WI)를 탑재한다.

이러한 환경에서 스마트 모바일 단말은 다음의 두가지 형태로 통신을 할 수 있다. 참고로 Fig 1은 아래의 설명 중 첫번째에 해당되는 시나리오를 나타내고 있다. 1) 하나의 다른 스마트 모바일 단말과 Heavy WI와 Light WI를 동시에 사용하여 두개의 채널을 연결하여 통신한다. 즉, 두 종류의 트래픽이 동시에 전달된다. 2) 두 개의 다른 스마트 모바일 단말과 동시에 통신을 한다. 즉, 하나의 단말과는 Heavy WI를 통해서, 또 하나의 단말과는 Light WI를 통해서 통신한다.

효율적인 전력관리를 위해 Heavy WI와 Light WI 모두 DPM (Dynamic Power Management) 방식을 적용한다. DPM에서 WI 모듈은 통신 상태에 따라 idle, transmit (i.e., Tx), receive (i.e., Rx), 그리고 sleep 상태를 갖는다. 이 중 idle, Tx, 그리고 Rx 상태를 활성화 상태로 부르고, sleep 상태는 비활성화 상태로 부른다. WI 모듈이 idle 상태로 지정된 시간 이상 지속되면 자동으로 비활성화 상태인 sleep 상태로 전환된다.

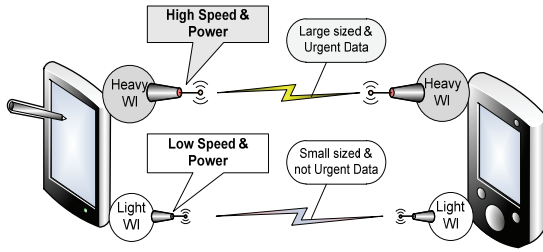


Fig. 1. Heterogeneous MCMC.

3. 이기종 무선통신을 활용한 MCMC 구현 기법

앞장의 설명과 같이 WiFi와 같은 Heavy WI 만을 이용한 기존의 네트워킹 방식에서는 1) 소량의 데이터를 산발적 전송해야 하는 경우 전력 효율이 좋지 않게 되며 2) 전송 거리 내에서 여러 개의 모바일 단말들과 동시에 통신할 경우 동일 채널 사용으로 인해 throughput이 급감한다.

근접거리로의 소량의 산발적인 데이터 통신은 Heavy WI 대신 Light WI를 활용한다면, 전력 소비 절감 효과와 함께 Heavy WI의 throughput 급감 문제도 개선할 수 있다. 이러한 기존 방식의 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 이기종 동적 MCMC 기법을 제안한다. 즉, Fig 2는 본 논문에서 제안하는 이기종 동적 MCMC 알고리즘을 나타

- $deadline_i$: Tx deadline of packet i to next hop
 - WI_x : x -th wireless interface
 - $NextD$: Next relaying node to reach D
 - $TxTime_x(i)$: Expected time to transmit i through WI_x
 - $TxE_x(i)$: Expected energy consumed to transmit i through WI_x

```

1 On sending packet  $i$  to destination  $D$ ,
2  $WList\_Next\_D \leftarrow$  List of available  $WIs$  to connect
   $NextD$ 
3  $smallest \leftarrow$  sufficient large energy value
4  $smallest\_idx \leftarrow 0$ 
5 FOR ( $k=0$ ;  $WList\_Next\_D.length$ ;  $k++$ )
6 IF ( $(TxTime_{WList\_Next\_D[k]}(i) < deadline_i)$  AND
  ( $TxE_{WList\_Next\_D[k]}(i) < smallest$ ))
7    $smallest \leftarrow TxE_{WList\_Next\_D[k]}(i)$ 
8    $smallest\_idx \leftarrow k$ 
9 END
10 END
11 Transmit  $i$  through  $WList\_Next\_D[smallest\_idx]$ 
  
```

Fig. 2. Proposed Algorithm.

내고 있다. 제안 기법은 패킷 i 를 전송할 때 (1라인), 전송 대상과의 통신 거리가 유효한 무선 통신 인터페이스들의 목록을 $WList_Next_D$ 에 저장한다(2라인). 마감시간 내에 해당 패킷을 전송할 수 있는 무선 인터페이스들 중 에너지 소비량이 가장 적은 무선 인터페이스를 선택하고 (3-10라인), 해당 무선 인터페이스를 통해 데이터를 전송(11라인) 하는 방식으로 동작한다.

4. 성능 분석

제안 기법의 성능을 검증하기 위해 성능분석을 통해 기존 기법과의 성능비교를 하였다. 실제 환경에 대한 모사를 위하여 다음과 같은 가정을 하였다. 가정과 실험 파라미터 들은 기존 관련 연구[1, 10]의 설정 값을 참조하였다.

- 스마트 모바일 단말은 한 개의 heavy WI(즉 WiFi)와 한 개의 light WI를 탑재한다. Heavy WI로는 WiFi가 사용되었고, light WI는 Bluetooth가 사용되었다 [10].
- 각 WI의 데이터 속도와 전력 소비량은 [1, 10]을 참조 하였고, Table 1에서 나타내고 있다.
- 실험 시나리오는 다음과 같다. 실험 대상인 스마트 모바일 단말은 heavy WI의 무선 통신 거리 내의 다른 스마트 모바일 단말과 데이터 통신을 하는 동시에, light WI의 무선 통신 거리 내의 또 다른 스마트 모바일 단말과 데이터 통신을 한다.
- 실험의 단순화를 위해, 실험 대상 단말에서 heavy WI 거리 내의 단말과는 Tx 통신만 발생하고, light WI 거리 내의 무선 통신의 경우 Rx 통신만 발생한다고 가정한다.
- 실험 대상 단말에서 light WI 거리 내의 단말과의 통신 트래픽 량 (즉, Rx 트래픽 량) 대비 heavy WI 거리 내의 단말과의 통신 트래픽 량 (즉, Tx 트래픽 량)을 $heavy\ WI\ Traffic\ Ratio$ 로 정의한다.
- 스마트 모바일 단말에서 동일한 WI를 이용하여 동시에 n 개의 노드와 통신을 할 경우 동일 채널을 공유함에 따라 throughput은 $1/n$ 이 된다.
- 실험은 총 10,000 Mb의 데이터를 전송하는 것으로 하며, heavy WI 트래픽과 light WI 트래픽의 양은 10,000 Mb 내에서 heavy WI Traffic Ratio 값에 따라 달라진다.
- 데이터 전송은 유희 시간 없이 일괄적으로 이루어진다.
- 측정하는 에너지 소비량은 총 데이터(즉, 10,000Mb) 전송 시 소비된 총 에너지를 J 단위로 표현한다.
- 측정하는 전송 시간은 총 데이터 전송 시에 걸리는 시간을 초 단위로 표현한다.

Table 1. Parameters of WIs

WI	Energy expenditure	Transmission speed
WiFi	Rx=1240mW Tx=1255mW	54Mbps
Bluetooth	Rx=115.5mW Tx=128.7mW	3Mbps

* Rx: receive mode, Tx: transmit mode.

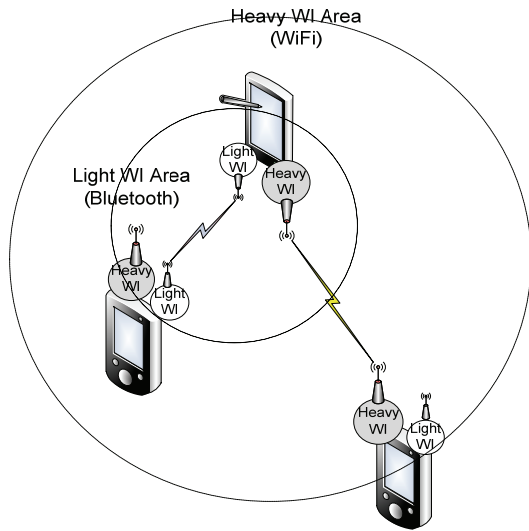


Fig. 3. Scenario for the performance analysis.

성능평가를 위하여 기존의 기법을 본 논문에서 제안하는 기법의 에너지 소비량과 전송 시간을 비교하였다. 각 기법에 대한 설명은 다음과 같다.

- *Conventional*: 기존의 heavy WI만을 사용하여 통신하는 방식이다. 스마트 모바일 단말은 heavy WI인 WiFi만을 사용하여 주변 노드들과 통신을 한다.
- *HeteroMCM*: 본 논문에서 제안하는 알고리즘 (Fig. 2)에 따라 대용량 트래픽은 heavy WI를 이용해 통신하고, 저용량 트래픽은 light WI를 이용해 통신하는 방식이다.

본 실험에서는 대용량 트래픽은 Tx 통신을, 저용량 트래픽은 Rx통신으로 가정하였다. 총 10,000Mb의 데이터를 수신 또는 송신하는데 발생하는 에너지 및 시간에 대해 *Conventional* 과 *HeteroMCM*의 성능을 분석하였다.

Fig 4는 heavy WI traffic ratio (i.e., Tx ratio)를 변화시키면서 각 기법에서 발생하는 총 전력 소비량을 나타낸 그래프

이다. 전반적으로 제안 기법인 *HeteroMCM*의 에너지 소모량이 최대 4배 가량 적은 것으로 나타났다. 이는 전력소모가 상대적으로 낮은 *LightWI*를 사용하여 일부 데이터를 전송받았기 때문인 것으로 보인다. Tx ratio가 증가함에 따라 *HeteroMCM* 기법의 에너지 소비량이 증가하는 추세를 보이는데, 이는 Tx ratio가 증가함에 따라 *LightWI*를 사용하여 전송받는 데이터의 양이 줄어들기 때문으로 보인다.

Fig 5는 Tx Ratio의 변화에 따른 *conventional*과 *HeteroMCM* 기법 간의 데이터 전송 완료 시간의 비교 결과를 나타낸다. 결과 그래프 상에서는 Tx Ratio가 0.93을 기점으로 *HeteroMCM*의 전송완료 시간이 *Conventional* 보다 낮아짐을 볼 수 있다. 이는 *LightWI*의 전송속도가 *HeavyWI*보다 현저히 낮으므로, *LightWI*를 통한 데이터 전송량이 증가할수록 전체 데이터의 전송완료 시간이 늘어날 수밖에 없기 때문이다. 즉, 본 논문에서 제안하는 *HeteroMCM* 기법은 *LightWI*의 전송 비율이 *HeavyWI*보다 특정 비율 이상 작은 경우에 효과적일 수 있음을 예상할 수 있다.

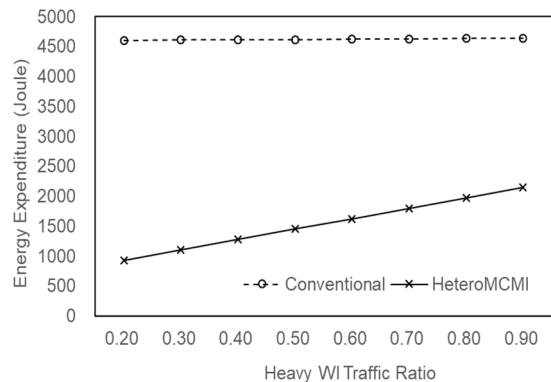


Fig. 4. Energy consumption by varying heavy WI traffic ratio.

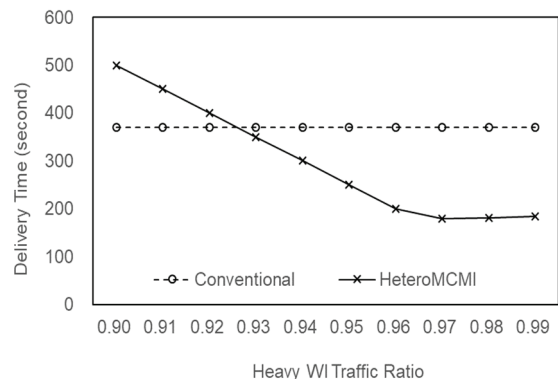


Fig. 5. Delivery completion time by varying heavy WI traffic ratio.

4. 결 론

D2D 네트워크를 기반으로 하는 small IoT 환경에서 스마트 모바일 단말이 WiFi와 같은 Heavy WI 만을 이용하여 데이터 통신을 할 경우 소량의 데이터를 산발적 전송해야 하는 경우 전력 효율이 좋지 않게 되며, 전송 거리 내에서 여러 개의 모바일 단말들과 동시에 통신할 경우 동일 채널 사용으로 인해 throughput이 급감하는 문제가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 스마트 모바일 단말의 이기종 통신망을 활용하여 이기종 MCMI 기반의 전력 효율적인 데이터 전달 기법을 제안하였고, 성능분석으로 통해 성능을 검증하였다. 성능 분석을 통해 기존 기법에 비해 제안 기법의 에너지 소비량은 최대 1/4, 데이터 전송 완료 시간은 1/2이 줄어들음을 보였다.

향후에는 전송 데이터의 크기와 대상 노드의 위치, 그리고 데이터 전송 데드라인 등에 따라 적절한 대역폭과 전력소모량을 갖는 인터페이스를 할당함으로써 실시간 요구사항을 만족하면서도 에너지 소모를 최소화하는 최적화 기법을 연구할 예정이다.

감사의 글

이 논문은 2020년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

참고문헌

- O. O. Kazeem, O. O. Akintade, and L. O. Kehinde, "Comparative Study of Communication Interfaces for Sensors and Actuators in the Cloud of Internet of Things," *International Journal of Internet of Things*, Vol. 6, No. 1, pp. 9-13, 2017.
- Sung-Hwa Lim, Y. Ko, C. Kim, N. H. Vaidya, "Design and Implementation of Multicasting for Multi-Channel Multi-Interface Wireless Mesh Networks," *Wireless Networks*, Vol. 17, No. 4, pp. 955-972, May, 2011.
- Xia, F., Hsu, C., Liu, X. et al. "The power of smartphones. *Multimedia Systems*," no. 21, pp. 87-101, 2015.
- A. Carroll and G. Heiser, "An analysis of power consumption in a smartphone," in *Proc. USENIX*, Berkeley, USA, 2010, pp.21-21.
- D. Brooks, V. Tiwari, and M. Martonosi, "Wattch: A framework for architectural-level power analysis and optimization," *IEEE/ACM International Symposium on Computer Architecture*, 2000.
- C.-L. Su, C.-Y. Tsui, A.M. Despain, "Saving power in the control path of embedded processors," *IEEE Design & Test of Computers*, vol.11, 1994.
- B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan, and R. Morris, "Span: An Energy-Efficient Coordination Algorithm for Topology Maintenance in Ad Hoc Wireless Networks," *ACM MobiCom*, July 2001.
- E.-S. Jung and N. H. Vaidya, "An Energy Efficient MAC Protocol for Wireless LANs," *IEEE Infocom*, June 2002.
- A. Vahdat, A. Lebeck, C. S. Ellis, "Every joule is precious: the case for revisiting operating system design for energy efficiency," *ACM SIGOPS European Workshop*, 2000.
- Martin Woolley, "Bluetooth® Core Specification Version 5.3 Feature Enhancements," whitepaper, Bluetooth SIG, June 2021.
- J. A. Paradiso and T. Stamer, "Energy scavenging for mobile and wireless electronics," *IEEE Pervasive computing*, vol. 1, pp. 18-27, 2005.
- W. Yuan, K. Nahrstedt, "Energy-efficient soft real-time CPU scheduling for mobile multimedia systems," *ACM symposium on Operating systems principles*, 2003.
- Sung-Hwa Lim, "User Experience Assisted Energy-Efficient Software Design for Mobile Devices on the big.LITTLE Core Architecture," *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol. 19, No. 1, pp.23-28, 2021.
- Kiwan Kim, "Performance Analysis of MANET Routing Protocols with Various Data Traffic," *Journal of the Semiconductor & Display Technology*, Vol. 20, No. 2, pp.67-72, 2021.

접수일: 2021년 9월 2일, 심사일: 2021년 9월 13일,
게재확정일: 2021년 9월 16일