

# 데이터 송수신이 필수적인 환경에서의 스마트폰의 멀티코어와 멀티쓰레드에 따른 성능 및 전력 분석

이 옹 희\*, 김 황 남<sup>o</sup>

## Empirical Study on Performance and Power Consumption in Multi-Core and Multi-Threaded Smartphones

Woonghee Lee\*, Hwangnam Kim<sup>o</sup>

### 요 약

하드웨어의 발전으로 많은 기기가 휴대화 됨에 따라 많은 어플리케이션이 데이터 송수신을 필요로 하게 되었다. 또한 Application Processor (AP)의 발전으로 인해 스마트폰에서도 멀티 코어 및 멀티 쓰레드의 활용이 필수가 되었다. 따라서 본 논문은 데이터 송수신과 프로세싱이 동시에 이루어지는 시스템에서 다양한 데이터 통신 속도, 코어 수, 쓰레드 수를 활용하여 성능을 평가 하고 전력 소모를 분석하였으며, 성능 향상과 효율적인 전력소모 측면에서의 적절한 쓰레드 수를 결정할 수 있는 방향을 제시한다.

**Key Words** : Data transmission, Smartphone, Multi-core, Multi-thread, Power consumption

### ABSTRACT

Due to the advance of hardware, various devices have mobility features, and many applications need the data transmission. In addition, it is essential for latest smartphones to utilize multi-cores and multi-threads because of the enhancement of Application Processor. Therefore, this paper analyzes the performance/power consumption according to transmission rate, the number of cores, and that of threads in the system that is supposed to conduct data transmission and processing simultaneously. Through the analysis, this paper provides a direction for the proper number of threads in terms of performance improvement and efficient power consumption.

### 1. 서 론

기술의 발전으로 인해 우리 주위의 많은 장치들이 소형화 및 휴대화 되고 있으며, 온라인 통계 포털 사이트 스태티스타는 2013년 우리나라 인구의 73%가 스마트폰을 사용하고 있다고 보도하였을 정도로 많은 인구가 스마트폰을 사용하고 있다<sup>1)</sup>. 하드웨어의 발전으로 스마트폰의 성능은 예전의 PC에서 수행하던 대

부분의 기능을 수행할 수 있을 정도로 향상되었으며, 소프트웨어의 발전으로 스마트폰에서 사용할 수 있는 어플리케이션들은 더욱 다양해지고 클라우드 컴퓨팅이나 localization<sup>8,9)</sup> 등 다양한 서비스가 스마트폰에서 가능해졌다. 이러한 어플리케이션들의 상당수는 데이터 송수신을 필요로 하며, 이 경우 멀티 쓰레드의 사용은 필수이다. 안드로이드 OS의 경우 기본적으로 메인쓰레드가 아닌 별도의 쓰레드를 두어 데이터 송

\* 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. NRF-2013R1A1A2010388)

<sup>o</sup> First Author : School of Electrical Engineering, Korea University, tgorevenge@korea.ac.kr, 학생회원

<sup>o</sup> Corresponding Author : School of Electrical Engineering, Korea University, hnkim@korea.ac.kr, 중신회원

논문번호 : KICS2014-05-202, Received May 29, 2014; Revised August 6, 2014; Accepted August 6, 2014

수신을 하도록 구현되어 있으며, 추가적인 프로세싱을 필요로 할 경우 또 다른 쓰레드를 추가하여야 한다. 이처럼 스마트폰에서도 PC와 같이 멀티쓰레드의 활용이 필수가 되었다.

스마트폰의 경우 PC와는 달리 CPU와 GPU, 그리고 통신 칩과 같은 부가기능들이 하나로 합쳐져 칩셋으로 구현된 Application Process (AP)가 장착되어 있으며, PC의 CPU와 같이 스마트폰에서 가장 핵심적인 역할을 한다. 최근 10년 사이에 스마트폰의 AP는 싱글 코어에서 멀티 코어 형태로 발전하였으며, 많은 프로세싱을 더욱 효과적으로 할 수 있도록 멀티 쓰레드에 더욱 알맞게 발전해 왔다. 위에서 말하였듯 스마트폰에서 구현되는 대부분의 어플리케이션이 데이터 송수신을 필요로 하므로 데이터 송수신을 담당하는 쓰레드들과 프로세싱을 담당하는 쓰레드들이 구별되어 구현되어야 하며, 이는 대부분의 어플리케이션이 멀티 쓰레드를 사용한다는 것을 의미한다. 또한 싱글 코어에서 멀티 코어로 발전함에 따라 멀티 쓰레드를 활용한 프로세싱은 성능 향상을 이끌 수 있는 필수적인 방법이 되었다. 하지만 쓰레드를 무조건 많이 사용하는 것은 오히려 오버헤드로 작용할 수 있으며, 이는 많은 쓰레드의 사용이 무조건적인 성능향상을 의미하지 않음을 뜻한다. 또한 스마트폰이 무선기기라는 특성상, 효율적인 전력 사용을 고려한 컴퓨팅이 구현되어야 한다. 따라서 다양한 상황에 따른 적절한 쓰레드 수를 설정하고 활용하는 것이 매우 중요하며<sup>12</sup> 이는 스마트폰의 성능에 직접적인 영향을 미치게 된다. 과거부터 멀티 쓰레드의 성능을 분석하는 연구는 활발하게 진행되어 왔다<sup>3,41</sup>. 하지만 스마트폰을 활용한 멀티코어 및 멀티쓰레드 연구는 상대적으로 많지 않으며, 스마트폰에서 활용되는 대부분의 어플리케이션들이 데이터 송수신을 필요로 한다는 점에서 단순한 멀티 코어와 멀티 쓰레드에 관한 성능 분석이 아닌, 데이터 송수신을 포함한 환경에서의 성능 분석이라는 점에서 더욱 의미를 가진다.

## II. 관련 이론

하드웨어의 발전으로 많은 기기들이 휴대화되고 통신 기술이 발전함에 따라 데이터 송수신은 많은 어플리케이션에서 필수 기능이 되고 있다. 또한 휴대 기기가 많아짐에 따라 다양한 장치들로부터 수집되는 데이터들로 인해 데이터의 크기와 수는 기하급수적으로 증가하고 있으며, 이를 처리하는 프로세싱의 복잡도 역시 상당히 증가하였다. 따라서 여러 프로세싱을 동

시에 처리해야하는 서비스의 경우 멀티 쓰레드는 필수적인 기술이며, 서비스의 성능을 향상시킬 수 있는 중요한 요소이다. 하지만 단순히 쓰레드를 무한정 증가시키는 것이 곧 성능향상을 의미하는 것은 아니며, 상황에 따른 적절한 수의 쓰레드 사용과 프로그래밍이 동반되었을 때 최적의 성능을 얻게 된다. 최적의 쓰레드 수를 결정하거나, 멀티쓰레드와 멀티코어와의 성능 관계 등을 다룬 다양한 연구들과 관련 이론들이 존재한다. 하지만 이러한 연구들의 대부분은 스마트폰이 아닌 PC에서의 성능분석을 수행하였으며, 본 연구가 데이터 송수신을 고려한 스마트폰의 멀티코어와 멀티쓰레드에 대한 연구라는 점에서, 본 연구와 비교할 만큼 유사성을 가진 기존 연구는 많지 않다. 따라서 본 논문의 실험 분석에서 활용한 병렬 컴퓨팅 및 멀티 쓰레드에 관한 두 가지 이론에 대해서 설명한다.

### 2.1 암달의 법칙 (Amdahl's law)

암달의 법칙은 컴퓨터 시스템을 개선할 때 기준보다 전체적으로 얼마만큼의 성능 향상이 가능한지를 계산하는 데 사용한다.  $P$ 는 전체 시스템에서 성능향상이 가능한 부분의 비율을 의미하며,  $S$ 는 시스템의  $P$  부분에서 성능 향상이 일어난 비율을 의미할 때, 암달의 법칙<sup>6</sup>에 따르면 전체 시스템의 성능향상 비율  $A$ 는 아래의 수식 (1)을 통해 구할 수 있다. 즉 어떤 시스템이 개선되었을 때 그 시스템의  $P$ 만큼의 부분에서  $S$ 만큼의 성능향상이 일어났다면, 전체시스템에서의 비율  $A$ 만큼의 성능향상을 이끌 수 있다.

$$A = 1 / \{(1-P) + P/S\} \quad (1)$$

멀티 쓰레드를 통해 성능향상을 이끌기 위해서는 병렬화가 가능한 부분에 멀티 쓰레드를 사용해야 한다. 하나의 작업에서 직렬화 되어 있는 부분을 완전히 제거할 수 없기 때문에, 속도 향상에는 항상 한계가 따르며, 한 시스템에서 더욱 많은 부분이 병렬화가 가능하다면 멀티 쓰레드를 통해 더욱 큰 성능 향상을 얻을 수 있다.

### 2.2 Parallel slowdown

Parallel slowdown<sup>71</sup>은 병렬 컴퓨팅에서 병렬화를 증가시킬 때 성능 향상이 발생하다가 어느 한 시점에서부터 오히려 성능 저하가 발생하는 현상을 말한다. Parallel slowdown의 주원인은 프로세싱 노드들 간에 커뮤니케이션 오버헤드이다. 프로세싱 노드의 수가 증가할 경우 더욱 많은 시간을 노드들 간에 커뮤니케이

선에 사용해야 하고, 이러한 오버헤드가 프로세싱 노드를 추가하여 얻을 수 있는 병렬화의 효과보다 커질 때 전체 시스템의 성능은 저하되기 시작한다. 그림 1은 프로세싱 노드 수의 증가에 따른 성능 향상을 보여주는 모식도이며, Parallel slowdown의 발생을 보여주고 있다.

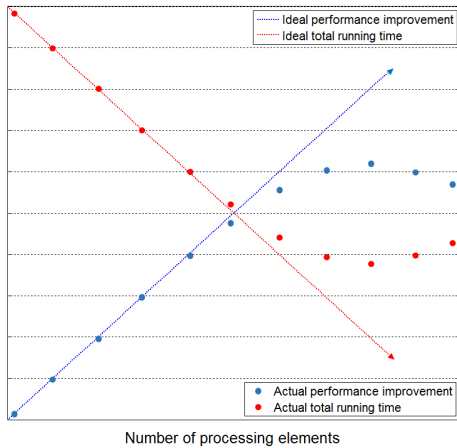


그림 1. 병렬화에 따른 성능 향상의 모식도  
Fig. 1. Diagram of performance improvement from parallelization

### III. 멀티 코어 및 멀티 쓰레드에 관한 성능 분석

스마트폰에서 구동되는 많은 어플리케이션이 데이터 송수신을 필요로 하며, 스마트폰의 AP의 발전으로 병렬 컴퓨팅이 가능해짐에 따라, 데이터 송수신이 필수적인 작업에서의 코어 수와 쓰레드 수의 변화에 따른 성능 변화를 확인하기 위한 실험을 수행하였다. 데이터 송수신 속도를 UDP 5Mb/s, 10Mb/s, 15Mb/s로 나누어 실험함으로써 데이터 송수신 속도에 따른 영향을 관찰하였으며, 다양한 기기들에서 다양한 개수의 쓰레드를 사용하여 프로세싱을 수행하였다. 다양한 요인에 관한 분석을 통해 이러한 요인들이 성능에 미치는 영향을 확인하고자 하였으며, 실험에 사용한 기기들의 세부사양은 표 1과 같다. 표 1에서 보여주는 세 가지 기기를 사용하여 실험을 진행하였으며, 그림 2에서와 같이 하나의 Access Point를 통해 UDP 데이터를 송수신 하며 동시에 프로세싱을 하도록 하였다.

프로세싱으로는 이미지 프로세싱에 자주 사용되는 경계선 검출과 DCT(Discrete Cosign Transform)를 수행하도록 하였으며, 쓰레드 수를 바꿔가며 프로세싱 시간을 측정하였다. 각 쓰레드 수당 각각 다섯 번씩

표 1. 실험에 사용된 기기들의 세부사양  
Table 1. The detail specification of devices used in experimentations

|       | Nexus One                   | Galaxy S II<br>LTE             | Galaxy S III     |
|-------|-----------------------------|--------------------------------|------------------|
| AP    | Qualcomm Snapdragon QSD8250 | Qualcomm Snapdragon S3 APQ8060 | Samsung Exynos 4 |
| Cores | 1                           | 2                              | 4                |
| Clock | 1                           | 1.5                            | 1.4              |

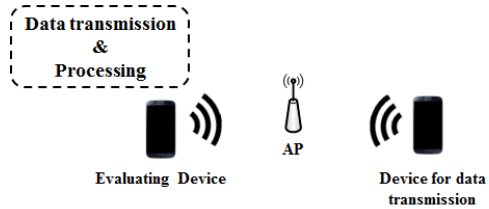


그림 2. 실험 환경  
Fig. 2. Environment of experiments

실험을 수행하여 데이터를 수집하였으며, 평균과 표준편차 값을 사용하여 분석하였다.

#### 3.1 Nexus One (싱글 코어)

Nexus One은 싱글 코어를 탑재한 스마트폰으로 2010년 1월에 출시되었다. 위에서 설명한 바와 같이 다양한 통신 속도로 데이터 송수신을 하는 환경에서 프로세싱을 할 때 쓰레드 수를 변경해가며 실험을 진행하였다. 기본적으로 Nexus One은 싱글코어이며 기기의 성능이 다른 기기들에 비해 상대적으로 낮으므로, 큰 연산을 수행하는 작업에서 쓰레드 수를 증가시키는 것이 기기에게 큰 무리가 될 수 있다. 실제 수행한 실험에서도 쓰레드가 증가함에 따라 연산이 중지되는 등의 시스템 오류가 많이 발생하였고, 그에 따라 쓰레드수를 2개까지만 증가시켜 실험을 진행하였다. 하지만 쓰레드가 증가할수록 성능이 저하됨을 이전 연구<sup>5)</sup>에서 확인하였기 때문에, 추가적인 실험은 불필요하다고 판단되었으며 그 결과는 그림 3과 같다. 기본적으로 통신 속도가 빨라질수록 처리해야하는 연산이 증가하기 때문에 동시에 수행되는 프로세싱에 소요되는 시간은 증가하게 된다. Nexus One은 싱글코어이므로 멀티코어보다 멀티쓰레딩에 적합하지 않고, 또한 연산이 큰 작업에 멀티쓰레딩이 적용될 경우, 여러 쓰레드를 사용한 병렬 컴퓨팅이 오히려 AP에 큰 부담을 줘 성능이 저하될 수 있다. 그림 3에서 역시 쓰레드 수가 증가할 경우 성능저하가 매우 큰 것을 확인할 수 있으며, 표 2를 보더라도 쓰레드 수가 증가할

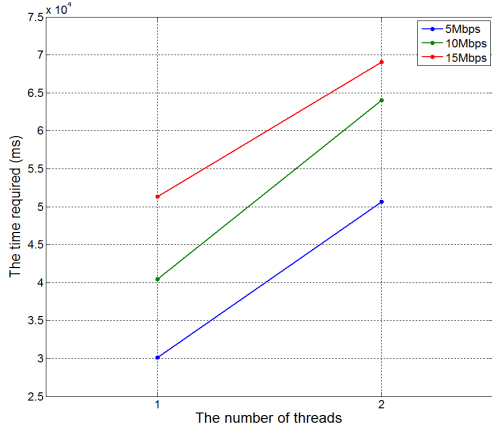


그림 3. Nexus One의 성능 실험 결과  
Fig. 3. The result of performance evaluation of Nexus One

표 2. Nexus One의 쓰레드 수에 따른 성능 향상 비율 (%)  
Table 2. The performance improvement ratio of Nexus One depending on the number of threads (%)

| Thread | Transmission rate |        |        |
|--------|-------------------|--------|--------|
|        | 5Mb/s             | 10Mb/s | 15Mb/s |
| 2      | -68.19            | -58.40 | -34.47 |

경우 오히려 성능저하가 크게 발생하였음을 알 수 있다. 표 2의 값들은 쓰레드 수가 1에서 2로 증가하였을 때의 성능 향상 비율을 의미한다. 또한 실험 결과의 표준편차 값을 나타낸 표 3을 보면, 쓰레드를 하나만 사용하였을 경우 보다 멀티 쓰레딩을 하였을 경우 전체적으로 표준편차 값이 더 커졌음을 알 수 있다. 이는 여러 쓰레드로 연산을 수행하는 것이 오히려 AP에게 부담이 되어 더 불안정한 성능을 보인다는 것을 의미한다.

표 3. 쓰레드 수에 따른 프로세싱 시간 결과의 표준편차 (Nexus One)  
Table 3. The standard deviation of the time required depending on the number of threads (Nexus One)

| Thread | Transmission rate |        |        |
|--------|-------------------|--------|--------|
|        | 5Mb/s             | 10Mb/s | 15Mb/s |
| 1      | 452.7             | 1103.3 | 1623.9 |
| 2      | 3650              | 4440.9 | 2833.6 |

### 3.2 Galaxy S II LTE (듀얼 코어)

Galaxy S II LTE는 듀얼 코어를 탑재한 스마트폰으로 2011년 8월에 출시되었다. 실험 방법은 Nexus One을 사용한 실험과 같으나, 쓰레드 수를 좀 더 다양하게 변화시켜가며 프로세싱을 진행하였으며, 그림 4

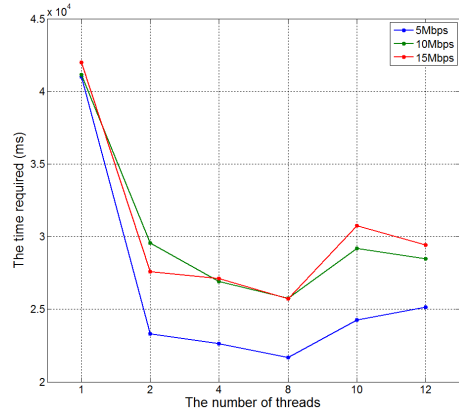


그림 4. Galaxy S II LTE의 성능 실험 결과  
Fig. 4. The result of performance evaluation of Galaxy S II LTE

는 실험 결과를 나타내고 있다. 그림 4에 따르면 하나의 쓰레드로 프로세싱을 진행하였을 때 보다, 멀티 쓰레드를 사용한 경우가 훨씬 성능이 좋은 것을 알 수 있다. 쓰레드 수가 8개까지 증가함에 따라 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있으며, 그 이후에는 성능이 오히려 저하되는 것을 알 수 있다. 이는 쓰레드 수에 따른 성능향상 비율을 나타낸 표 4를 보았을 때 더 정확히 알 수 있다. 쓰레드를 1개에서 2개로 증가시켰을 때 증가 폭이 가장 크며 그 이후로 계속 해서 쓰레드 수를 증가시키며 따라 성능이 증가되기는 하나 그 향상 폭이 크지 않다가, 쓰레드 수가 8개에서 10개로 증가하는 시점부터 오히려 성능 저하가 발생하였음을 알 수 있다. 이는 특정한 시점 이후에는 쓰레드 수의 증가가 오히려 오버헤드로 작용하여 Parallel slowdown이 발생하였음을 확인할 수 있는 결과이다. 또한 그림 5를 보면 알 수 있듯, 멀티 쓰레드를 사용하였을 경우 표준편차가 더욱 작으며, 이는 여러 쓰레드를 활용하여 프로세싱을 하는 것이 더욱 안정적이고, AP가 다수의 쓰레드를 동시에 잘 제어하였음을 보여준다. 암

표 4. Galaxy S II LTE의 쓰레드 수에 따른 성능 향상 비율 (%)  
Table 4. The performance improvement ratio of Galaxy S II LTE depending on the number of threads (%)

| Thread | Transmission rate |         |         |
|--------|-------------------|---------|---------|
|        | 5Mb/s             | 10Mb/s  | 15Mb/s  |
| 2      | 43.11             | 28.12   | 34.32   |
| 4      | 2.91              | 8.94    | 1.68    |
| 8      | 4.28              | 4.30    | 5.13    |
| 10     | - 11.91           | - 13.29 | - 19.47 |
| 12     | - 3.63            | 2.48    | 4.33    |

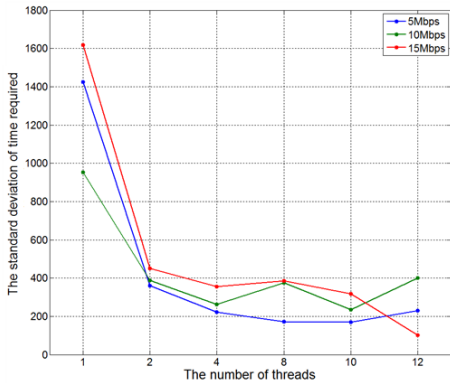


그림 5. 프로세싱 시간 결과의 표준편차 값 (Galaxy S II LTE)  
 Fig. 5. The result of standard deviation of time required (Galaxy S II LTE)

달의 법칙에 따라 시스템의 성능향상 비율을 분석한 결과로는 평균 1.7을 얻어, 약 70퍼센트의 성능향상이 있었음을 알 수 있다.

### 3.3 Galaxy S III (쿼드 코어)

Galaxy S III는 쿼드 코어를 탑재한 스마트폰으로 LTE 표준모델은 2012년 9월에 출시되어, 실험에 사용한 세 개의 기기 중 가장 최근에 출시된 기기이다. 실험 방법은 Galaxy S II LTE로 진행한 실험 방법과 같으며, 그림 6은 그 결과를 나타내고 있다. 그림 6을 보면, Galaxy S II LTE를 사용한 실험과 같이 Galaxy S III를 이용한 실험 역시 하나의 쓰레드로 프로세싱을 진행하였을 때 보다, 멀티 쓰레드를 사용한 경우가 훨씬 성능이 좋은 것을 알 수 있다. 쓰레드 수가 8개까지 증가함에 따라 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있으며, 그 이후에는 Parallel slowdown으로

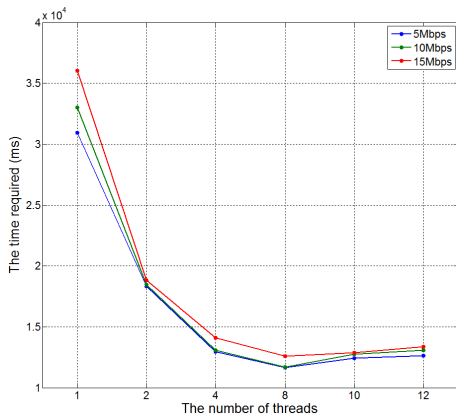


그림 6. Galaxy S III의 성능 실험 결과  
 Fig. 6. The result of performance evaluation of Galaxy S III

인해 성능이 오히려 저하되는 것을 알 수 있다. 이는 쓰레드 수에 따른 성능향상 비율을 나타낸 표 5를 보았을 때 더 정확히 알 수 있으며, 쓰레드 수가 1개에서 2개로 증가할 때 가장 큰 성능 향상 폭을 보이고 그 이후에도 꾸준한 성능 향상 폭을 보이다가, 쓰레드 수가 8개에서 10개로 증가하는 시점에서 오히려 성능이 저하되었음을 알 수 있다. 하지만 데이터 송수신 속도에 많은 영향을 받았던 Galaxy S II LTE와는 달리 Galaxy S III는 데이터 송수신 속도보다 쓰레드 수에 영향을 더 받는 것을 알 수 있다. 이는 데이터 송수신에 사용하는 연산이 전체 프로세싱에 큰 비중을 차지하지 않음을 의미하며, 좀 더 다양한 프로세싱을 동시에 잘 작업할 수 있음을 보여준다. 이는 프로세싱 시간 결과의 표준편차 값을 나타낸 그림 7에 의해서도 확인할 수 있는데, 쓰레드 수가 많아질수록 표준편차 값이 감소하는 것을 볼 수 있으며 그 값이 매우 작음을 알 수 있다. 이는 Galaxy S III가 멀티 쓰레드를 잘 제어하였음을 보여주는 결과이며, 많은 쓰레드를 사용하여 더욱 안정적인 성능을 낼 수 있음을 의미한다. 또한 압달의 법칙에 따라 시스템의 성능향상 비

표 5. Galaxy S III의 쓰레드 수에 따른 성능 향상 비율 (%)  
 Table 5. The performance improvement ratio of Galaxy S III depending on the number of threads (%)

| Thread | Transmission rate |        |        |
|--------|-------------------|--------|--------|
|        | 5Mb/s             | 10Mb/s | 15Mb/s |
| 2      | 40.69             | 44.10  | 47.77  |
| 4      | 29.36             | 29.07  | 25.09  |
| 8      | 10.17             | 10.68  | 10.73  |
| 10     | -6.84             | -9.07  | -2.38  |
| 12     | -1.57             | -2.39  | -3.60  |

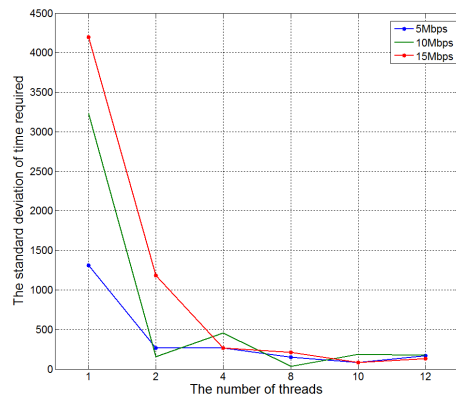


그림 7. 프로세싱 시간 결과의 표준편차 값 (Galaxy S III)  
 Fig. 7. The result of standard deviation of time required (Galaxy S III)

율을 분석한 결과, 평균 2.78을 얻어 매우 효과적으로 쓰레드를 활용하였음을 알 수 있다.

#### IV. 멀티 코어 및 멀티 쓰레드에 관한 전력 분석

스마트폰과 같은 무선기에서 효율적인 전력소모는 매우 중요한 요소이다. 따라서 스마트폰의 프로세싱 성능을 향상시키는 것뿐만 아니라 전력 효율을 향상시키는 것 역시 매우 중요하다. 따라서 우리는 데이터 송수신이 있는 상황에서 쓰레드 수를 바꿔가며 프로세싱 할 때의 전력소모를 측정하였으며, 하나의 프로세싱을 완료하기까지 소모된 에너지를 계산하였다. 성능 분석 실험과는 달리 전력 분석 실험은 멀티쓰레딩이 적절하게 사용될 수 있다고 판단되는 Galaxy S II LTE와 Galaxy S III만을 사용하여 실험하였으며, Monsoon Power Monitor를 사용하여 전력을 측정하였다. 그림 8은 Galaxy S II LTE를 사용하여 측정된 총 에너지 소모 결과를 보여주고 있다. 여기서 총 에너지 소모란, 하나의 프로세싱을 끝내는데 소모된 일을 의미하며 전력과 시간을 곱한 값이다. 위에서 본 성능 실험 결과와 같이 전력 실험의 결과 역시 하나의 쓰레드를 사용하였을 때 보다 다수의 쓰레드를 사용하여 연산을 하였을 때 에너지 효율이 향상되다가 계속해서 쓰레드 수를 늘림에 따라 효율이 떨어짐을 알 수 있다. 하지만 데이터 송수신이 많을수록 연산이 더 오래 걸렸던 성능 실험과는 달리, 데이터 송수신이 적을수록 더 많은 에너지가 소모되었음을 알 수 있다. 이는, 데이터 송수신의 속도가 빠를 경우 많은 연산으로 인해 전력을 이미 많이 소모하고 있는 상태이기 때문에 추가적인 프로세싱으로 인한 전력소모의 증가폭

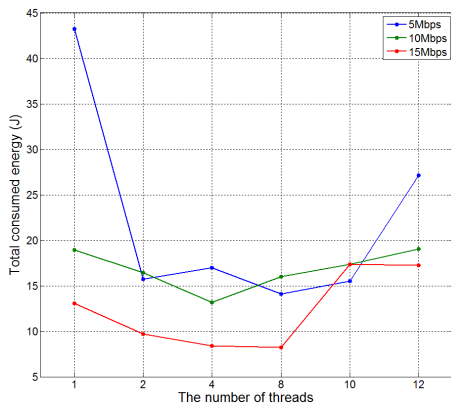


그림 8. Galaxy S II LTE의 총 에너지 소모 결과  
Fig. 8. The result of total consumed energy of Galaxy S II LTE

은 상대적으로 작아지기 때문이며, 성능실험과는 반대의 결과를 얻게 되었다. 이 결과는 전력 소모 결과를 보여주는 그림 9를 보면 더욱 확실하게 알 수 있다.

쿼드코어를 탑재한 Galaxy S III를 사용한 실험 결과는 듀얼코어를 탑재한 Galaxy S II LTE를 사용하여 실험한 결과와 차이를 보인다. 일반적으로 코어수가 많아질수록 프로세싱 성능이 향상되는 것은 사실이며 중요한 요소로 고려된다. 하지만 프로세싱 성능 향상과 함께 멀티코어의 장점으로 언급되는 것이 바로 전력 효율성이다. 코어수가 많아질수록 낮은 작동 클럭으로 여러 코어를 활용하여 프로세싱을 할 수 있기 때문에, 전력 효율성이 더 높아지게 된다. 그림 10은 Galaxy S III를 사용하여 측정된 총 에너지 소모 결과를 보여주고 있으며, 그림 8과 비교했을 때 총 에너지 소모의 값이 매우 일정하며 전체적으로 낮음을 알 수 있다. 또한 소모 전력을 나타내는 그림 11을 보

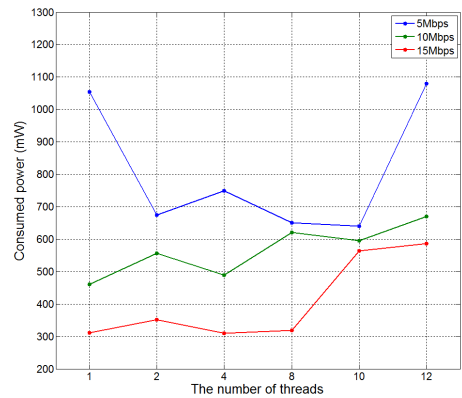


그림 9. Galaxy S II LTE의 전력 소모 결과  
Fig. 9. The result of consumed power of Galaxy S II LTE

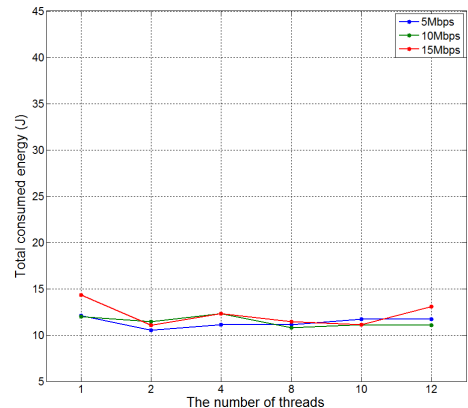


그림 10. Galaxy S III의 총 에너지 소모 결과  
Fig. 10. The result of total consumed energy of Galaxy S III

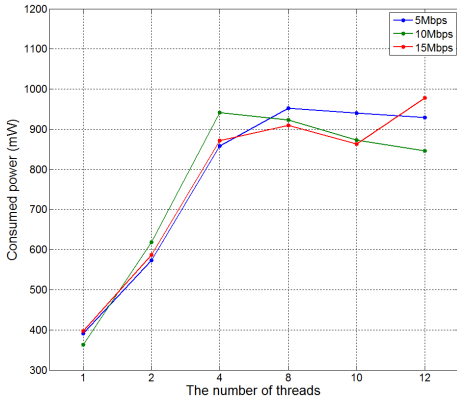


그림 11. Galaxy S III의 전력 소모 결과  
Fig. 11. The result of consumed power of Galaxy S III

면 소모 전력이 데이터 송수신 속도보다 스레드 수에 영향을 받는 것을 알 수 있다. 이는 성능 실험에서 그림 6을 설명하며 이미 언급하였듯, 데이터 송수신에 사용하는 연산이 전체 프로세싱에 큰 비중을 차지하지 않기 때문에 좀 더 다양한 프로세싱을 동시에 잘 작업할 수 있음을 보여준다.

V. 결과 분석 및 적절한 스레드 활용 방향 제시

본 논문에서는 데이터 송수신과 프로세싱이 동시에 이루어지는 상황에서 데이터 전송 속도, 코어와 스레드 수에 따른 컴퓨팅 성능 및 전력소모를 분석하였다. 싱글코어를 탑재한 Nexus One의 경우 멀티스레드를 사용하였을 때 오히려 성능이 저하되었으며 표준편차 값도 증가하는 결과를 보여주었다. 이는 다수의 스레드를 제어하며 연산이 많은 프로세싱을 할 경우 코어에게 많은 부담이 되며, 오히려 성능이 저하될 수 있음을 보여주는 결과이다. 반면에 멀티코어를 가진 Galaxy S II LTE와 Galaxy S III의 경우 멀티 스레드를 활용하여 특정 시점까지 계속해서 성능이 향상됨을 보이다가 특정 시점에서부터 성능이 저하됨을 보였다. 또한 이를 통해 parallel slowdown 현상을 확인할 수 있었으며, 최적의 성능을 내기위한 적절한 스레드 수 선택의 필요성을 확인하였다. 멀티코어를 가진 두 기기 모두 멀티 스레드를 통해 성능이 향상되었지만, 듀얼코어인 Galaxy S II LTE의 경우 스레드 수가 2개 이상으로 증가하였을 경우 성능 향상 폭이 평균 5% 미만으로 감소하였음에 반해 쿼드코어를 가진 Galaxy S III의 경우 스레드 수가 8개 까지 증가함에 따라 최소 10% 이상의 꾸준한 성능 향상 폭을 보였다. 또한 Galaxy S III 실험 결과 값이 Galaxy S II

LTE보다 더욱 안정적으로 나왔으며, 통신 속도에 크게 영향을 받던 Galaxy S II LTE와 비교했을 때 통신 속도에 크게 영향을 받지 않는 결과를 보여주어 좀 더 다양한 프로세싱에 적합함을 확인하였다.

Galaxy S II LTE를 사용한 전력실험에서는 스레드 수가 늘어남에 따라 전력효율이 향상되다가 일정 수 이상부터는 오히려 떨어지는, 성능실험과 비슷한 결과를 얻었다. 또한 통신 속도에 크게 영향을 받았던 성능 실험결과와 같이 전력소모 역시 통신 속도에 많은 영향을 받아, 스레드 수는 상대적으로 전력소모에 크게 영향을 미치지 않는 결과를 확인하였다. 반면 Galaxy S III는 코어수가 더 많은 만큼 전력 효율이 매우 좋았으며, 표준 편차 값도 매우 작았다. 또한 전력 소모가 통신 속도보다 프로세싱에 영향을 많이 받음을 보였으며, 다양한 프로세싱을 동시에 작업하는데 좋은 전력효율로 안정적인 성능을 낼 수 있음을 보였다. 따라서 단순히 성능 측면에서만 아니라 전력효율의 특성에서 스마트폰과 같은 휴대용 기기의 멀티코어화가 매우 합리적인 방향이라는 것을 확인하였다.

결론적으로 싱글코어의 경우 데이터 통신으로 이미 많은 연산이 수행되는 상황에서 멀티스레드를 사용하는 것은 AP에게 무리가 되어 오히려 성능 저하가 발생할 수 있으며, 이러한 상황에서는 멀티 스레드의 활용을 최소화 하는 것이 가장 합리적이라는 결론을 낼 수 있었다. 듀얼코어인 Galaxy S II LTE의 경우 8개의 스레드를 활용할 때 가장 좋은 성능을 내었다. 하지만 스레드 수가 1개에서 2개로 증가할 때는 큰 성능 향상 폭을 보인 반면, 4개 이상부터는 성능 향상 폭이 평균 5% 미만으로 그 값이 크지 않았고 결과의 표준 편차 값이 Galaxy S III보다 상대적으로 커, 일정 수 이상의 많은 스레드를 활용하는 것은 적합하지 않음을 알 수 있었다. Galaxy S III의 경우, 가장 좋은 성능을 낸 스레드 수 측면에서는 Galaxy S II LTE와 같이 8개의 스레드를 활용할 때 가장 좋은 성능을 내었다. 하지만 Galaxy S II LTE와는 달리 8개까지 스레드 수가 증가함에 따라 꾸준한 성능 향상 폭을 나타냈으며, 스레드 수가 증가할수록 표준편차 값이 감소하였다. 또한 압달의 법칙에 따라 계산한 시스템의 성능향상 비율이 2.78로, 1.7의 결과를 얻은 Galaxy S II LTE와 비교했을 때 같은 수의 스레드를 사용하더라도 효과적으로 활용을 하였음을 확인하였다. 따라서 많은 수의 스레드를 충분히 활용할 때 더욱 안정적인 프로세싱 결과를 제공할 수 있다고 판단된다. 위 분석을 종합하면, 스마트폰과 같이 데이터 송수신이 자주 있는 시스템에서 싱글코어 기기의 경우 스레드 수를

최소화하며, 멀티코어 기기의 경우 코어수의 2배 정도의 쓰레드를 활용할 경우 충분한 성능 향상을 발휘하였으며 안정적인 결과 값을 제공하였고, 전력 효율적인 측면에서도 가장 좋은 결과를 낼 수 있다고 할 수 있다.

## VI. 결 론

기술이 발전에 따라 과거와는 달리 멀티코어를 탑재한 스마트폰이 출시되고 있으며, 평균 데이터 크기와 그러한 데이터를 처리하는데 필요한 연산의 크기가 갈수록 커짐에 따라, 스마트폰에서도 멀티 쓰레드의 활용이 필수가 되었다. 또한 많은 기기가 휴대화됨에 따라 무선 통신의 활용도가 나날이 커지고 있으며, 최근 출시되는 많은 어플리케이션들은 데이터 송수신을 필요로 하고 있다. 따라서 본 논문에서는 기존 연구들에서 맞추었던 초점과는 달리 데이터 송수신과 프로세싱이 동시에 이루어지는 상황에서 코어와 쓰레드 수에 따른 컴퓨팅 성능 및 전력소모를 분석하였다. 다른 수의 코어를 가진 세 가지 기기를 활용하여 다양한 속도의 데이터 전송이 있는 환경에서 쓰레드 수에 따른 성능을 분석하였으며, 성능분석뿐 아니라 무선기기 측면에서 중요한 요소인 전력 효율을 분석하였다. 따라서 한 가지 측면만 고려한 편향된 분석이 아닌 실질적으로 스마트폰이 사용되는 환경에서의 다양하고 종합적인 분석을 수행하였다. 이를 통해 기기의 특성과 프로세싱 환경을 고려하지 않은 획일적인 컴퓨팅 방법의 적용으로는 최적화가 불가능함을 확인하였으며, 최종적으로 스마트폰에서의 프로그래밍과 쓰레드 활용에 대한 합리적인 방향을 제시하였다.

## References

- [1] F. Richter, The United States Ranks 13th in Smartphone Penetration(2013), Retrieved May 20, 2014, from <http://www.statista.com/chart/405/the-united-states-ranks-13th-in-smartphone-penetration>.
- [2] P. Radojković, V. Čakarević, M. Moretó, J. Verdú, A. Pajuelo, F. J. Cazorla, M. Nemirovsky, and M. Valero, "Optimal task assignment in multithreaded processors: A statistical approach," in *Proc. 17th Int. Conf. Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems(ASPLOS XVII)*, pp. 235-248, New York, USA, Mar. 2012.
- [3] C. Isci, A. Buyuktosunoglu, C. Y. Cher, P. Bose, and M. Martonosi, "An analysis of efficient multi-core global power management policies: Maximizing performance for a given power budget," in *Proc. IEEE/ACM Int. Symp. Microarchitecture (MICRO 39)*, pp. 347-358, Washington, DC, USA, Dec. 2006.
- [4] R. Rabenseifner, G. Hager, and G. Jost, "Hybrid MPI/OpenMP parallel programming on clusters of multi-core SMP nodes," in *Proc. 17th Euromicro Int. Conf. Parallel, Distrib. Network-based Process.*, pp. 427- 436, Weimar, Germany, Feb. 2009.
- [5] W. Lee and H. Kim, "Performance analysis on multi-core and multi-threaded smart phones," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun. 2014 (KICS ICC)*, pp. 148-149, Pyungchang, Korea, Jan. 2014.
- [6] J. L. Gustafson, "Reevaluating Amdahl's law," *Commun. ACM*, vol. 31, no. 5, pp. 532-533, May 1988.
- [7] R. D. Blumofe and D. S. Park, "Scheduling large-scale parallel computations on networks of workstations," in *Proc. IEEE Int. Symp. High Performance Distrib. Computing*, pp. 96-105, San Francisco, USA, Aug. 1994.
- [8] S. Yoo, J. Ahn, and H. Kim, "Localization with limited devices at controlled environment," in *Proc. KICS Int. Conf. Commun. 2012 (KICS ICC)*, pp. 17-18, Pyungchang, Korea, Feb. 2012.
- [9] S. Yoo and H. Kim, "A study on the localization with handicapped mobile device system", in *Proc. KICS Int. Conf. Commun. 2013 (KICS ICC)*, pp. 282-283, Pyungchang, Korea, Jan. 2013.



이 응 희 (Woonghee Lee)



2013년 2월 : 고려대학교 방사선학과(보건학사)  
2013년 2월 : 고려대학교 전기전자전파공학부(공학사)  
2013년 3월~현재 : 고려대학교 전기전자공학과 석사과정  
<관심분야> 통신공학, 네트워크공학

김 황 남 (Hwangnam Kim)



1992년 3월 : 부산대학교 컴퓨터공학과(공학사)  
1994년 2월 : 서울대학교 컴퓨터공학과(공학석사)  
2004년 2월 : 미국 Urbana-Champaign 소재 Illinois 주립대학 컴퓨터과학과(공학박사)

1994~1999년 : LG 전자 주임연구원  
2000~2001년 : Bytemobile 소프트웨어 엔지니어  
2004~2005년 : 미국 Urbana-Champaign 소재 Illinois 주립대학 Post Doctorate Fellow  
2005~2006년 : 삼성전자 책임연구원  
2006~현재 : 고려대학교 전기전자전파공학부 교수  
<관심분야> 통신공학, 네트워크공학, 융합IT, CPS