

재현 가능한 스마트폰 성능 평가를 위한 모바일 네트워크 에뮬레이션 환경

김예성⁰, 장청청, 성노섭, 김지홍
서울대학교 컴퓨터공학부

A Mobile Network Emulation Environment for Repeatable Smartphone Performance Evaluations

Yeseong Kim⁰, Qingqing Zhang, Nosub Sung, Jihong Kim
Seoul National University

요 약

네트워크를 통한 작업이 활발히 이루어지는 스마트폰 환경에서의 사용자의 경험 및 단말의 성능은 무선 네트워크 환경에 따라 크게 변화한다. 그러나 무선 네트워크 환경은 시간, 공간적 환경에 따라 크게 변화할 수 있기 때문에, 이러한 특성은 올바른 성능 평가를 하는데 큰 제약으로 작용한다. 본 논문에서는 네트워크 환경의 불안정성이 스마트폰 작업의 성능을 측정하는데 어떠한 영향을 주는지를 밝히고, 안정적인 네트워크 성능을 제공하기 위한 새로운 모바일 네트워크 재현 환경을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 환경을 통하여 네트워크를 사용하는 작업들의 성능을 측정하였을 때 최대 80%이상 안정적으로 평가가 가능함을 확인하였다.

1. 서 론

스마트폰과 같은 모바일 장치에서의 사용자의 경험은, 그 사용자와의 상호작용을 통해 이루어지는 작업의 성능에 의해 크게 좌우된다. 더불어 이러한 상호 작용에 의해 발생하는 작업은 무선 네트워크를 이용하여 서버와 정보를 교환하는 일을 빈번히 수반하기 때문에, 무선 네트워크 환경은 그 작업의 전체 성능을 결정하는데 매우 중요한 요소이다. 이러한 네트워크 환경은 Wi-Fi, 3G, 4G와 같이 여러 가지가 될 수 있고 각 네트워크 환경의 성능은 매우 상이하므로, 이에 따른 작업의 성능도 크게 달라질 수 있다. 따라서, 무선 네트워크 환경과 스마트폰 작업의 성능의 상관 관계를 밝히는 것은 효율적인 스마트 장치를 설계하고 응용을 구현하는데 매우 중요한 필요 요건이다.

하지만, 스마트폰에서 사용하는 무선 네트워크 환경은 그 내재적인 특성에 의해 효율적으로 통제하기 어렵다. 예를 들어, 3G나 4G LTE와 같은 라디오 장치에 의해 제공되는 네트워크 환경은, 모바일 장치가 연결되는 시간, 공간적 환경에 따라 그 신호 세기가 매우 자주 바뀔 수 있으며, 동시에 서로 다른 단말이 접근 가능하기 때문에 혼잡 상황이 발생할 경우 그 안정성이 확보되지 않는다. Wifi와 같은 근거리 모바일 네트워크 환경도 유사하게, 동시에 몇 개의 단말이 해당 Wifi를 위한 AP에 연결하여 통신 하는지에 따라 그 성능이 크게 바뀔 수 있다. 이러한 무선 네트워크 환경의 불안정성은, 사용자의 상호작용에 의해 발생하는 작업의 성능을 평가하는데 있어 그 결과의 신뢰성을 크게 떨어뜨리게 된다. 또한,

다양한 네트워크(3G, 4G, Wifi 등)의 상이한 성능으로 인해 해당 네트워크를 지원하는 단말이 없이는 정확한 작업의 성능 평가도 어려워진다.

본 논문에서는 무선 네트워크 장치 환경의 불안정성이 모바일 장치의 성능을 평가하는데 어떠한 영향을 미치는지를 분석하고, 이를 통하여 안정적인 네트워크 환경을 제공하는 해결 방안이 필요함을 보인다. 더불어, 이러한 안정적이고 다양한 네트워크 환경을 제공하기 위한 새로운 모바일 네트워크 재현 환경을 제안하고 이에 대한 설계 방법을 설명한다. 본 논문에서 제안하는 기법을 활용했을 때 기존 평가 방법에 비해 60% 이상 안정적인 모바일 장치의 성능 평가와 단일 네트워크 환경을 제공하는 단말에서 다양한 네트워크 환경에 따른 성능 평가가 가능함을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 무선 네트워크 환경의 변화가 작업의 성능에 큰 영향을 줄 수 있음을 보인다. 3장에서는 안정적인 성능 평가 환경을 위한 새로운 모바일 네트워크 재현 환경을 제안하고 그 설계에 대하여 설명한다. 4장에서는 논문에서 제안한 환경에서 안정성의 정략적인 평가와 다양한 환경에서 응용의 성능 변화를 평가하고, 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구에 대해 논의한다.

2. 네트워크 환경과 모바일 작업 성능의 관계

일반적으로 스마트폰의 수많은 작업은 무선 네트워크 장치를 통하여 네트워크 상의 서버와 통신을 하며 이루어진다[1]. 예를 들어 대표적인 스마트폰 응용인

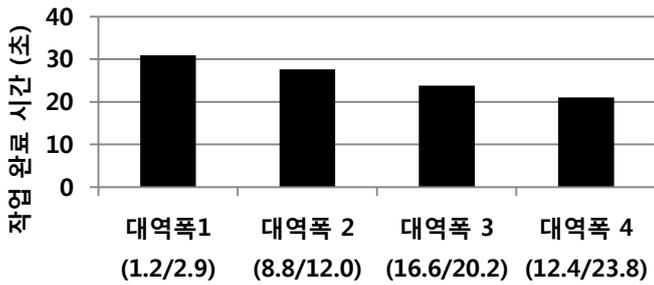


그림 1 대역폭 변화에 따른 이메일 응용 시작 작업의 완료 시간 변화. 괄호 안은 (수신 대역폭/송신 대역폭) (단위 Mbit/s).

이메일, 브라우저, 카카오톡과 같은 메신저 등은, 서버에서 자료를 받아오거나 다른 사용자와의 정보 교환을 위해 무선 네트워크를 통하여 데이터를 송수신한다. 이러한 작업들의 성능은, 일반적인 컴퓨팅 환경과 유사하게 연산 성능 및 입출력 성능에 의해 결정된다. 여기서 연산 장치의 성능은 외부 요인에 의해 크게 변하지 않으며, 대표적인 입출력 기능을 담당하는 저장장치의 성능 또한 eMMC와 같은 플래시 저장장치를 이용하기 때문에 작업의 성능에 영향을 주지 않을 만큼 충분히 빠른 것으로 알려져 있다. 따라서, 스마트폰 응용 작업의 성능은 현재 연결되어 있는 네트워크 환경에 매우 큰 영향을 받게 된다.

그림 1은 넥서스 4 안드로이드 레퍼런스 기기를 대상으로, 서로 다른 네트워크 대역폭 상에서 이메일 응용 시작에 걸리는 작업 완료 시간이 어떻게 달라지는지를 측정한 그래프이다. 작업 완료 시간은 응용을 시작하기 위해 입력을 인가한 시점부터 메일함에 있는 모든 메일의 내용 및 첨부 파일을 네트워크 상에서 가져오고 더 이상 화면 변화가 없는 시점까지를 기준으로 측정하였다. 이 결과에서 볼 수 있는 바와 같이, 작업 완료 시간은 대역폭에 따라 약 10초정도의 차이를 보인다. 유사한 결과를 다른 응용의 작업들을 대상으로도 확인할 수 있었다. 따라서, 응용의 성능은 네트워크 성능에 큰 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있다.

그러나, 스마트폰은 3G, 4G, Wifi와 같은 여러 종류의 무선 네트워크 인터페이스에 연결될 수 있기 때문에, 현재 사용하고 있는 무선 네트워크의 품질에 의해 작업 수행 시간이 크게 변화하게 된다. 예를 들어, 현재 가장 빠른 대역폭을 가지는 4G와 3G의 대역폭은 10배 이상 차이가 날 수 있다[2, 3]. 따라서 같은 네트워크 인터페이스를 사용한다고 하더라도, 그 신호 세기 및 혼잡 정도에 의해 그 대역폭이 크게 달라질 수 있다.

그림 2는 동일한 3G 및 Wifi 네트워크 인터페이스를 사용하여, 동일한 이메일 응용 시작 작업에 대해서 걸리는 작업 완료 시간을 총 다섯 번 측정하여, 3G의 경우 SKTelecom의 무선망을 이용하였고, Wifi는

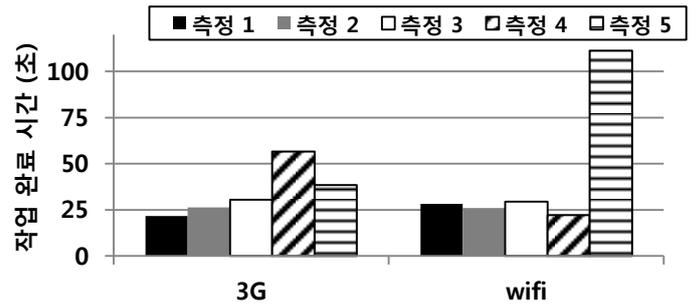


그림 2 동일 네트워크 인터페이스를 사용하여 다섯 번 측정했을 때의 이메일 응용 시작 작업의 완료 시간 변화.

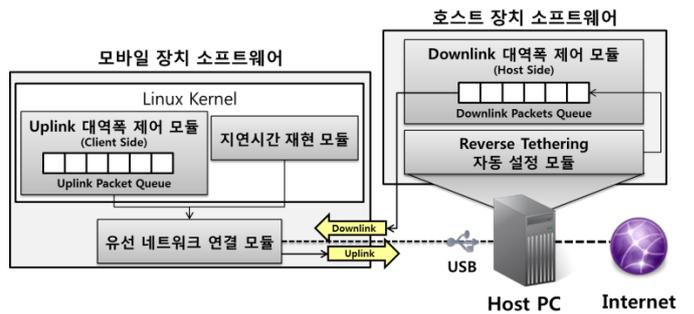


그림 3 모바일 네트워크 재현 환경의 설계.

여러 단말이 동시에 연결이 일어나는 환경에서 측정되었다. 위 결과에서 확인할 수 있듯이, 동일한 인터페이스를 활용한다 할지라도 3G의 경우 30초 이상의 차이가 나는 경우가 있었으며, 비교적 안정적이라고 알려진 Wifi의 경우에도 혼잡도가 가중됨에 따라 최대 80초이상 차이가 나는 경우가 있었다.

따라서, 같은 작업의 성능을 측정한다 할지라도 네트워크 측정 환경을 통제하지 않고서는 평가된 결과가 매우 달라지는 것을 알 수 있다. 이러한 네트워크 환경의 불안정성은 시스템과 응용을 설계하고 평가하는데 올바르게 못한 결과를 가져올 수 있다. 예를 들어 어떠한 시스템 수준의 성능 최적화 기법을 설계하고 이를 적용하기 전 후의 성능을 측정하여 비교한다 할지라도, 그 측정의 차이가 신뢰성에 영향을 줄만큼 매우 큰 변인으로 작용할 수 있다.

3. 안정적인 성능 평가를 위한 네트워크 재현 환경

3.1 모바일 네트워크 재현 환경의 설계

성능 평가 환경을 안정적으로 제공하기 위하여, 본 논문에서 제안하는 방법은 크게 세가지 부분으로 구성된다. 그림 3은 논문에서 제안하는 네트워크 재현 환경의 대략적인 설계 구성도를 나타낸다. 먼저 유선 네트워크 연결 모듈은 유선 네트워크를 활용하는 PC를 통하여 네트워크에 연결함으로써 안정적인 네트워크 환경을 제공하고, 대역폭 제어 모듈은 서로 다른 무선 인터페이스의 대역폭을 재현한다. 마지막으로 지연 시간 재현 모듈은 라디오 네트워크 환경에서 최초 무선망에 접속할 때 발생하는 연결 지연 시간을 재현한다.



그림 4 모바일 장치에서 대역폭 제한 시나리오의 예

3.2 유선 망을 활용한 안정적인 네트워크 환경 구현

성능 평가의 신뢰성을 확보하기 위해서는 안정적인 네트워크 환경을 스마트 폰 단말에 제공할 수 있어야 한다. 본 논문에서 제안하는 기법은 테더링 기술[4]을 활용하여 모바일 단말에서 유선 네트워크 환경을 사용할 수 있게 한다. 테더링 기술은 이종간의 기기를 USB나 블루투스 와 같은 매체로 서로 연결하여, 한 기기의 네트워크 환경을 다른 기기에서 이용할 수 있게 한다.

본 논문의 구현에서는 유선 네트워크를 사용하는 Host PC와 스마트폰을 USB로 연결한 후, 가상의 네트워크 인터페이스를 양 기기에 생성한다. 그 후 Host PC에 생성된 네트워크 인터페이스의 Routing Table을 수정하여, 스마트폰에서 전달되는 패킷을 실제 유선 네트워크 인터페이스로 전달하고, 반대로 네트워크 망에서 들어오는 패킷을 모바일 디바이스로 전달한다.

3.3 무선 네트워크 대역폭 및 지연 시간 재현

3.2절에서 구현한 환경에서 제공되는 대역폭은 일반적으로 무선망이 제공하는 대역폭보다 매우 크다. 따라서, 서로 다른 인터페이스의 네트워크 처리량을 재현하기 위해서는 해당 대역폭의 제한이 필요하다. 이를 위하여 대역폭 제어 모듈에서는, 리눅스 커널에 탑재되어 있는 Traffic Control 모듈을 이용하여 송수신되는 패킷들을 각 방향에 대하여 지연 시킴으로써 목적 대역폭에 맞게 네트워크 처리량을 제한한다. 그러나 모바일 장치에서 uplink와 downlink의 대역폭 제한을 수행하는 것은 보다 높은 재현 환경의 안전성을 위해서 바람직하지 않다. 모바일 장치가 송신자가 되는 uplink의 경우에는 queue에 있는 패킷의 양을 알고 있으므로, 단순히 queue에서 PC로 보내지는 패킷의 양을 조절하여 대역폭 제한이 가능하다. 그러나 PC에서 모바일 장치로 전달되는 downlink의 경우는 다르다. 그림 4는 모바일 장치에서 대역폭 제한을 하는 시나리오를 나타낸다. 제한된 대역폭은 6KB/s이고 각 패킷은 1KB라고 가정했을 때, 그림 4의 첫 번째 구간(0~1초)과 같이 제한된 대역폭을 넘는 패킷은 버려지고 TCP protocol에 의해서 재전송이 요청될 것이다. 이러한 버려진 패킷의 재전송은 두 번째 혹은 세 번째 구간에서 이루어 질 수도 있고, 그보다 더 늦은 시간에 이루어 질 수 있다. 만약 버려진 패킷의 재전송이 3초 이후에 이루어지면, 기존에 의도된 3초(18KB)보다 오랜 시간이 걸릴 수 있다. 실제로 PC의 대역폭은 모바일 장치보다 높은 대역폭을 가지고 있으므로, 이러한 버려지는 패킷의 수는 매우 많고, 이 때문에 실제 제한한 대역폭보다 낮은 성능을 보여주는 것을 확인했다. 그러므로 높은 안전성을 가진

네트워크 환경 구성을 위하여 PC에서 모바일 장치로 전달하는 링크에 대역폭 제한 모듈을 적용하고 queue의 있는 패킷을 제한한 대역폭에 따라서 모바일 장치로 전송하도록 구현했다.

또한, 3G나 4G와 같은 라디오 네트워크 환경은 최초 무선망에 접속할 때 0.5~2초정도의 지연 시간을 가지게 된다. 이 지연 시간은 스마트폰에서 일어나는 작업들의 성능에 매우 큰 영향을 미치므로[2], 지연 시간 재현 모듈을 통하여 이를 재현하였다. 지연 시간 재현 모듈은 Netfilter를 이용한 별도의 커널 모듈로 구현되어 있다. Netfilter는 송수신 되는 패킷을 관찰하여 이를 지연시키거나 버리는 일을 할 수 있어, 방화벽과 같은 환경을 구현하는데 활용된다. 라디오 네트워크에서는 일정시간 패킷 전송이 일어나지 않으면 무선 망과의 연결이 해제되므로, 패킷이 전송되는 시간을 관찰하여, 일정시간 이후에 전송되어 실제로는 재 접속을 요구하는 패킷들을 강제로 지연시킴으로써 지연시간을 재현하였다.

4. 실험 결과

4.1 네트워크 환경 안전성 평가

3장에서 설명한 제안한 성능 평가 환경을 Nexus 4 에 탑재된 안드로이드 4.3 (Jellybean)에 구현하였다. 실험에서는 실측된 평균 대역폭 및 지연 시간을 바탕으로 3G, Wifi, 4G가 연결된 상황을 재현하고, 네트워크를 사용하는 성능을 측정하여 얼마나 안정적인 네트워크 환경이 제공되는지를 평가하였다. 실험 대상 작업으로, 2장에서 설명한 바 있는 이메일 응용 시작에 소요되는 작업 완료 시간, 브라우저에서 위키 백과의 "china" 페이지가 열리는데 걸리는 작업 완료 시간, 브라우저에서 61.43 MB의 리눅스 커널 소스 파일을 다운로드 하는 작업 완료 시간을 대상으로 수행하였다.

실제 네트워크 인터페이스와의 안전성 비교를 위하여 평균 절대 백분 편차(MAPD)를 사용하였다. 각 작업에 대하여 여러 번 측정된 값의 집합을 $M = \{m_1, m_2, \dots, m_N\}$ 이라고 할 때, MAPD는 다음과 같이 계산된다.

$$MAPD(M) = \frac{\sum_{i=1}^N |m_i - e_i|}{\sum_{i=1}^N m_i}$$

각 실측치 m_i 에 대한 기대 값 e_i 은, 평균치부터 얼마나 안정적인지를 계산하기 위하여 모든 실측치 m_i 의 평균값을 사용하였다.

그림 4는 실제 3G, Wifi를 사용했을 때와 본 논문에서 제안하는 재현 환경을 활용했을 때, 각 작업 완료

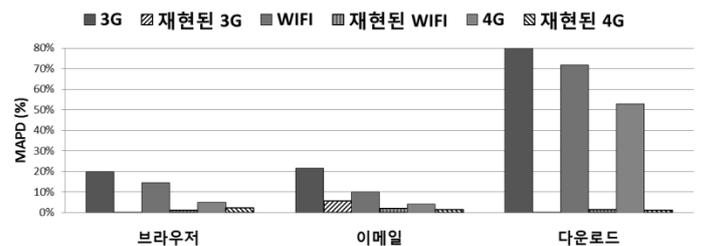


그림 5 실제 네트워크 인터페이스 환경과 모바일 재현 환경과의 안전성(MAPD) 비교.

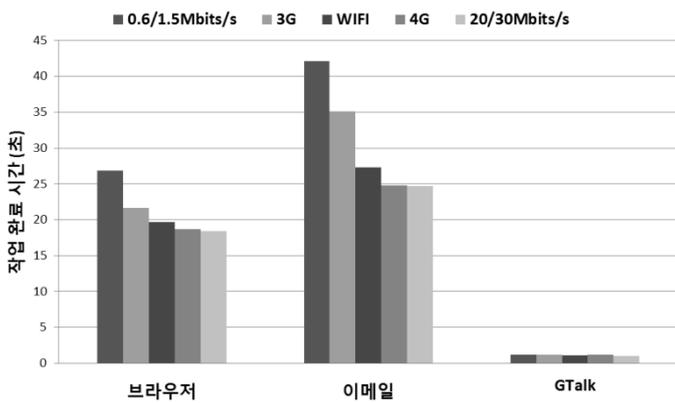


그림 6 다양한 네트워크 환경에 따른 응용의 성능 변화.

시간들을 다섯 번 측정하여 계산된 MAPD값을 나타낸다. 제안한 재현 환경은 모든 경우에서 5% 미만의 평균 편차를 보임을 확인할 수 있었다. 또한, 모든 작업-네트워크 환경 조합에 대해서, 항상 제안한 재현 환경이 우수한 안정성을 보였으며, 3G 환경의 이메일 응용 시작 작업에서는 20% 안정적으로 성능 측정이 가능하며, 다운로드의 경우 최대 80% 안정적으로 성능 측정이 가능함을 확인하였다.

4.2 네트워크 환경에 따른 응용의 성능 평가

앞서 설명한 바와 같이 네트워크 환경과 응용의 성능은 밀접한 관계를 가지고 있다. 최신 모바일 장치는 3G, Wifi, 4G, 4G-Advance와 같이 다양한 네트워크 환경을 지원하며, 이에 따른 응용의 성능 측정은 일정한 사용자 경험을 보장해야 하는 응용 개발자에게 매우 중요한 정보가 될 수 있다. 예를 들어, 개발한 응용이 4G와 같은 네트워크 환경에서는 원활한 성능을 보여주지만, 3G와 Wifi를 이용하는 경우에도 이와 같은지 평가하고 최적화를 수행해야 할 것이다. 이러한 평가를 위해서는 기본적으로 각 네트워크를 지원하는 모바일 장치가 모두 필요하다. 게다가 여러 장치를 사용하여 네트워크 환경에 따른 성능을 평가하더라도, 모바일 장치간의 구성요소(CPU, RAM, storage 등)로 인하여 안정적인 평가가 어렵다.

본 논문에서 제안한 모바일 네트워크 재현 환경에서는 하나의 모바일 장치에서 서로 다른 네트워크 환경을 재현함으로써 이에 따른 성능 평가가 가능하다. 그림 6은 서로 다른 네트워크 5가지 환경에 따른 각 응용의 성능 차이를 나타낸다. 각 환경은 순서대로 3G보다 느린 경우, 3G, Wifi, 4G, 4G보다 높은 대역폭을 가진 네트워크를 나타낸다. 브라우저와 이메일 응용의 경우에는 4G까지 사용할 때까지 응용의 성능이 높아지다가 그보다 더욱 높은 대역폭을 제공해도 더 이상의 성능 개선은 없다는 것을 알 수 있다.

(할꺼 : 그림 6바꾸고, 설명 조금 고치고!!!)

5. 결론

스마트폰의 무선 네트워크 환경의 불안정성에 의하여 네트워크를 사용하는 작업을 안정적으로 평가하기

어려우며, 이는 평가된 결과의 신뢰성을 크게 저해할 수 있다는 제약점을 가지고 있었다.

본 논문에서는 테더링 기술을 활용하여 안정적인 네트워크 환경을 확보하고 무선 네트워크 환경을 재현함으로써, 스마트폰 성능 평가의 신뢰성을 확보 할 수 있는 새로운 평가 환경을 제안하였다. 이를 통하여 최대 80%이상 안정적인 성능 평가가 가능함을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 방법을 활용하여 무선 네트워크가 지원되지 않는 임베디드 환경에서 무선 네트워크를 재현할 수 있을 것으로 기대하며, 미래의 네트워크 환경에서의 응용의 성능 변화를 평가할 수 있을 것이다. 향후 이러한 네트워크 환경에 따른 응용의 성능 평가에 기반하여 높은 네트워크 성능을 요구하지 않는 응용에 대해서 보다 느린 네트워크를 사용(Wifi ↔ 4G 등)하여 응용의 성능 하락 없이 에너지 이득을 취할 수 있는 동적 네트워크 설정에 대한 연구를 진행할 계획이다.

감사의 글

이 연구를 위해 연구장비를 지원하고 공간을 제공한 서울대학교 컴퓨터 연구소에 감사드립니다. 이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단-차세대정보컴퓨팅기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012-006417).

참고 문헌

- [1] 김예성, 송욱, 김지홍., “네트워크 사용 경향성을 활용한 스마트폰 네트워크 에너지 최적화 기법,” 정보과학회 한국컴퓨터종합학술대회. 제39권 제1호(A), pp.152-154, 2012.
- [2] F. Qian, Z. Wang, A. Gerber, Z.M. Mao, S. Sen, and O. Spatscheck., “Characterizing radio resource allocation for 3G networks,” In IMC, pp. 137-150, 2010.
- [3] J. Huang, F. Qian, A. Gerber, Z.M. Mao, S. Sen, O. Spatscheck, “A close examination of performance and power characteristics of 4G LTE networks,” In MobiSys, pp. 225-238, 2012.
- [4] <http://en.wikipedia.org/wiki/Tethering>