

(출판용 작성양식) \* 저자정보 포함

# 모바일 임베디드 시스템에서의 사용자 정보에 따른 트레이스 자동 생성 및 재연 도구

김창무<sup>0</sup>, 이성진, 하건수, 김지홍  
서울대학교 컴퓨터공학부  
{kyuirs, chamdoo, air21c, jihong}@davinci.snu.ac.kr

## Usage Profile-based Automatic Trace Generation and Replay Tools for Mobile Embedded Systems

Changmoo Kim<sup>0</sup>, Sungjin Lee, Keonsoo Ha, Jihong Kim  
School of Computer Science and Engineering, Seoul National University

### 요 약

최근 모바일 기기들이 급속도로 발전하면서 다양한 기능이 추가되고 응용프로그램도 많아졌다. 또한 오픈 플랫폼 스마트폰의 등장으로 응용프로그램 개발은 더욱 가속화되고 복잡해지고 있다. 복잡하고 다양해진 응용프로그램에 최적화된 시스템을 설계하기 위해서는 사용자의 응용프로그램 사용 성향을 고려해야 한다. 그러나 현재까지 이러한 역할을 해주는 도구가 전무한 실정이다. 이에 따라 모바일 임베디드 환경에서 응용프로그램에 따라 편리하게 시스템의 성능을 시험하고 최적화에도 도움을 줄 수 있는 도구를 개발하였다.

이 도구의 주된 기능은 응용프로그램을 동작시키면서 생성된 트레이스를 수집하고 수집한 트레이스를 재연하는 것이다. 사용자의 여러 가지 사용 형태를 입력받아 자동으로 응용프로그램을 동작시킨다. 일반적인 사용 패턴으로 휴대폰 응용프로그램을 동작시켜서 트레이스를 생성한 결과, 가상적으로 만들어내는 트레이스에서는 관찰할 수 없었던 특징들이 나타났다. 이렇게 실제 시스템에서 얻은 트레이스는 모바일 임베디드 시스템의 연구에 많은 도움이 될 것이다.

### 1. 서 론

모바일 기기가 빠르게 보급되면서 휴대폰을 비롯하여, PDA, MP3 플레이어, PMP 등 다양한 형태의 모바일 기기들이 널리 사용되고 있다. 이러한 기기들에 탑재되는 프로세서 기술의 향상과 저장장치의 대용량화로, 모바일 임베디드 환경에서의 응용 프로그램은 다양해지고 복잡해지고 있는 추세이다. 더욱이 Google 의 안드로이드나 Trolltech 의 Qtopia Phone Edition, Openmoko의 Neo Freenummer 등의 모바일 오픈 플랫폼들의 등장으로, 많은 프로그래머들이 모바일 임베디드 시스템 환경에서 응용프로그램 개발하기 용이해졌고, 최근에는 사용자들이 데스크톱 환경에서만 가능했던 풀 브라우징, 3D 게임과 같은 응용프로그램들을 모바일 임베디드 시스템 환경에서 이용하고자 하기 때문에 그 추세는 점차적으로 심화될 것이다.

이런 응용 프로그램들을 위해서, 모바일 임베디드 시스템에서는 응용프로그램의 특성과 사용자의 응용프로그램 이용 성향을 고려한 시스템 최적화가 요구 된다. 모바일 환경은 데스크톱 환경에 비하여 성능, 에너지, 시스템 자원 등이 상대적으로 열악하기 때문에, 수준 높은 응용프로그램이 사용자가 원하는 수준으로 동작하는 것을 보장할 수 없기 때문이다. 모든 응용프로그램이 수월하게 동작할 수 있도록 최고 사양의 시스템을 설계하는 것이 방법이 될 수 있지만, 그러한 방법은 생산 단가, 시스템 설계의 복잡함 등의 이유로 현실적이지 않다. 따라서 소프트웨어 레벨에서 각 응용프로그램의 특성과 사용자의 사용 패턴을 고려하여 최적화 하는 것이 보다 현실적인 대안이라고 할 수 있다.

그러나 모바일 임베디드 시스템 설계에서 사용자의 응용프로그램 사용에 대한 고려가 중요하게 인식되지 않고 있고, 체계적으로 설계에 반영시키려는 노력이 전무한

상황이다. 먼저 사용자의 응용프로그램 사용에 대한 연구가 많이 되어 있지 않고, 그에 대한 관심이 많지 않았기 때문이다. 그리고 고려해야 할 응용프로그램의 종류와 기능이 너무 다양한 상황에서, 사용자 행동을 변화시키면서 이를 일일이 시도한다는 것이 현실적으로 불가능하기 때문이다. 그 결과, 사용자의 응용프로그램 사용을 대략적으로 예상하여 그 행동을 시뮬레이션하는 방법이 시스템의 테스트나 최적화에 주로 사용되는데, 이는 실제 시스템에서의 동작과 동일하다고 볼 수 없다. 따라서 다양한 사용자의 응용프로그램 사용을 실험할 수 있도록 도와줄 수 있는 도구가 필요하다.

이를 위해 본 연구에서는 여러 가지 응용프로그램들을 동작시키면서 생성된 시스템 함수들을 수집하고 이를 재연하는 도구를 개발했다. 주어진 사용자의 사용 형태에 따라 응용프로그램들을 자동으로 동작시킬 뿐만 아니라 트레이스를 편집하고 분석할 수도 있다. 이 도구를 이용하여 기존의 가상적으로 만들어내는 트레이스와는 다른 정확한 트레이스를 얻을 수 있다. 트레이스를 분석하여 사용 형태에 따른 응용 프로그램들의 파일 I/O 패턴을 알 수도 있다. 또한 트레이스를 재연 시키면서 파일 시스템이나 메모리의 관리 정책 등 시스템의 성능을 평가하는 것도 가능하다.

이 도구의 기여로 다음과 같이 세 가지를 들 수 있다.

- 정확성: 실제 시스템에서 응용프로그램을 동작시키면서 트레이스를 추출하기 때문에 가상적으로 만든 트레이스보다 정확하다. 최근 발표된 휴대폰 응용프로그램을 사용하였고 다양한 사용자 패턴을 입력받아 실험이 가능하다. 또 마우스 이벤트 핸들러를 간단히 수정하였으므로 오버헤드가 매우 작다.
- 편의성: 사용자의 패턴을 간단하게 입력할 수 있고 시뮬레이션 도구와 수집 도구의 사용법도 쉽다. 수집된 트레이스의 편집, 분석까지 가능한 통합된 도구 모음으로 편의성이 증대된다.
- 이식성: 임베디드 리눅스 GUI 구현의 대표적 환경인 Qt를 수정하여 구현하였기 때문에 Qt기반의 응용프로그램들에 대해 실험이 가능하다. Qt외의 환경에도 이식이 용이하다.

실제로 휴대폰 응용프로그램을 동작시켜 얻어낸 파일 I/O 트레이스를 이용하여 플래시 메모리의 파일 시스템 성능을 테스트하는 데에 사용해 보았고 도구의 유용함을 확인할 수 있었다.

다음 장에서는 개발한 도구들의 전체 구조를 살펴본다. 구현에 대해 자세히 설명한 부분이 3장이고 수집된 벤치마크를 분석한 결과가 4장에서 소개된다. 마지막으로 5장에서 결론을 내린다.

## 2. 트레이스 도구의 전체 구조

개략적인 구조는 그림1을 통해 알 수 있다. 크게 세 부분으로 나눌 수 있는데 시뮬레이터, 리눅스와 Qt, 그리고 실험할 응용프로그램이 포팅된 보드, 트레이스를 수집과 재연 도구로 구성된다.

시뮬레이터는 호스트 컴퓨터에서 동작하며 사용자의 정보를 받아 보드와 연동하여 응용프로그램을 동작시킨다. 그리고 보드에는 Qt를 기반으로 하는 Qtopia Phone Edition(이하 QPE)을 포팅하였다. 휴대폰에 사용되는 프로그램으로 일정 관리, 게임, 문자 및 메모장 기능과 같은 각종 응용프로그램들이 포함되어 있다[1]. Strace가 보드에서 응용프로그램과 같이 수행되면서 트레이스를 수집한다. 수집된 트레이스는 성능을 시험하고 최적화하려는 시스템에서 재연 도구에 의해 사용된다.

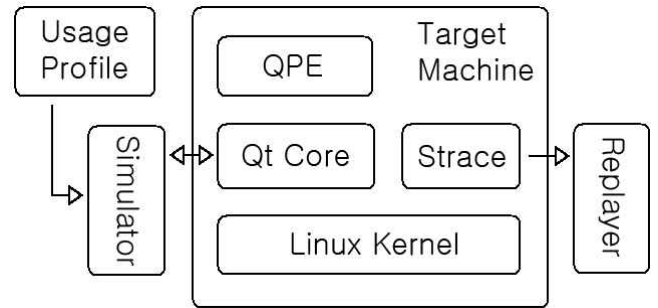


그림 1. 트레이스 도구의 전체 구조

## 3. 트레이스 도구의 구현

### 3.1 개발 환경

인텔 PXA255 Xscale 프로세서를 탑재하고 240X320 해상도의 터치스크린 LCD가 달린 팜팜테크의 타이눅스 박스이다[2]. 여기에 2.4.19의 리눅스 커널을 올리고 QPE 4.3.0을 포팅하기 위해 glibc 2.3.6을 사용하는 root 파일 시스템을 구성했다. 하드웨어의 사양이 낮은 편이었지만 포팅이 가능했고 구동에 무리가 없었다. 다른 보드로의 포팅도 어렵지 않을 것이다.

### 3.2 사용자 시뮬레이션 도구

먼저 응용프로그램을 직접 동작시키면서 마우스 동작 기록을 저장한다. 이 마우스 로그를 이용해 자동으로 응용프로그램을 동작시킬 수 있게 된다.

시뮬레이션 도구는 사용자 패턴을 파일 형태로 입력받는다. 입력 파일에는 각각의 응용프로그램을 동작시키는 로그파일 이름과 하루 동안의 사용 횟수, 시간대별 사용 빈도가 들어간다. 이 입력 정보에 맞추면서 하루 동안의 시뮬레이션 순서를 랜덤하게 만들고 결과를 출력파일에 저장한다. 그리고 시각을 확인하면서 정해진 시각에 마

우스 로그를 LAN을 통해 UDP패킷으로 보드에 전송하여 응용프로그램을 동작시키게 된다.

### 3.3 트레이스 수집 도구

트레이스를 수집하기 위해 Strace를 이용하였다. 트레이스를 얻고자하는 응용프로그램을 모니터링하면서 시스템 함수를 보고 트레이스를 작성해주는 프로그램이다. 편의상 많은 정보들 중에서 파일 입출력 정보를 따로 출력하도록 Strace 4.5.16 버전을 수정하였다. 또 트레이스가 발생한 시각도 추가로 기록하게 하였다.

### 3.4 트레이스 재연 도구

생성된 트레이스를 입력받아 그대로 재연해주는 도구이다. 트레이스의 시각 정보를 이용하여 같은 시간 간격으로 동작한다. 기존의 파일을 열어서 읽는 동작을 재연하기 위해서는 필요한 파일들이 있어야 하기 때문에 미리 만들어 주는 기능이 포함되어 있다. 또한 재연할 때에 트레이스에 없는 동작도 원하는 만큼 추가할 수 있도록 하였다. 파일의 읽기/쓰기 같은 동작 외에 모바일 기기의 파일 다운로드/삭제를 고려하기 위해서이다.

## 4 결과

### 4.1 실험 설정

먼저 실제 사용자와 유사하게 시뮬레이션을 하기 위해 일반적인 사용 패턴을 조사하였다. 스마트 폰을 사용하는 사람을 대상으로 응용프로그램별 사용 빈도와 하루 동안 시간대별 사용량을 조사한 연구가 있었다. 이 연구에 따르면 문자 메시지 같은 메신저 기능과 주소록이나 일정관리 같은 PIMS 기능을 가장 많이 사용하였고 다음으로 미디어 플레이어, 웹 브라우저, 게임이었다. 시간대별 사용량은 새벽 4시와 5시에 가장 적고 밤 9시와 10시에 가장 많았다[3]. 이 정보에 따라 QPE를 동작시키고 트레이스를 수집하였다.

### 4.2 실험 결과

하루 동안의 실험을 통해 16만개 정도의 트레이스를 생성하였다. 초당 약 1.9개로 형태별로 분류한 결과를 표 1에서 보여준다. 주로 파일 읽기가 많고 파일을 여는 경우에는 새로 만드는 경우가 많았다. 이 트레이스를 통해 휴대폰 응용프로그램이 주기적으로 로그파일을 생성하는 것과 특정 기능이 수행되기 시작하면서 상당수의 이미지 파일을 로드하는 것을 확인할 수 있었다. 가상적으로 트레이스를 생성할 때에 고려하지 않았던 것들로 실험을 통한 트레이스 수집의 장점을 알 수 있다.

로그파일이 주기적으로 생성되면서 유휴시간이 주기보다 크게 나오지 않았다. 표2는 각 트레이스의 시간 간격

을 보여주는데 10초 정도인 경우가 약 7600번으로 24시간 중에 90%정도를 차지한다. 쉬는 시간은 충분히 많지만 연속으로는 10초만 쉬게 되고 이는 긴 유휴시간을 필요로 하는 시스템에 좋지 않다. 또 로그 파일의 크기가 작기 때문에 파일 시스템의 기본 단위보다 작은 크기의 쓰기가 많이 발생한다. 대부분의 쓰기가 1KB보다 작았다. 이는 저장 공간의 비효율적 사용을 초래할 수 있다.

파일 열기	20,054
새로운 파일 생성	17,466
파일 닫기	20,054
파일 탐색	35,655
파일 읽기	85,259
파일 쓰기	1,450
프로세스 생성	204
프로세스 종료	180

표 1. 트레이스 형태별 분류

1초 미만	153,776
1초 - 10초	1,484
10초 - 20초	7584
20초 이상	11

표 2. 각 트레이스의 시간 간격

## 5 결론

본 연구에서는 사용자 정보에 따라 실제 임베디드 시스템에서 여러 가지 응용프로그램을 동작시켜서 트레이스를 얻어내고 재연하는 도구를 만들었다. 기존의 가상적인 트레이스 생성과는 달리 실제와 동일한 트레이스가 생성되고 편리하게 사용이 가능하며 여러 환경에 포팅하는 것도 용이하다. 모바일 임베디드 시스템의 성능 평가 및 최적화 연구에 도움이 될 것이다.

### 감사의 글

이 연구를 위해 연구장비를 지원하고 공간을 제공한 서울대학교 컴퓨터 연구소에 감사 드립니다. 이 논문은 2008년도 두뇌한국21사업에 의해 지원되었으며, 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. R0A-2007-000-20116-0)입니다.

### 참고문헌

- [1] Online Reference Documentation, <http://doc.trolltech.com>, Nokia Corporation
- [2] 타이눅스 박스 Xt 사용자 매뉴얼, 팜팜테크(주), 2005
- [3] Hannu Verkasalo, Heikki Hammainen, "Handset-Based Monitoring of Mobile Subscribers," Helsinki Mobility Roundtable 2006
- [4] Korea Embedded Linux Project, <http://www.kelp.or.kr>