
성능 모니터링 카운터를 이용한 모바일 프로세서의 전력 예측

2008. 6. 30

순천향대학교 컴퓨터공학부

윤희성, 심재원, 이상정

llovevr2@gmail.com, piring@gwbs.net, silee@sch.ac.kr

목 차

1. 서 론

2. PXA320 프로세서 성능 모니터링 카운터

3. 회귀분석 모델

4. 실험 및 성능 평가

4.1 실험환경

4.2 전력측정

4.3 예측성능 평가

5. 결 론

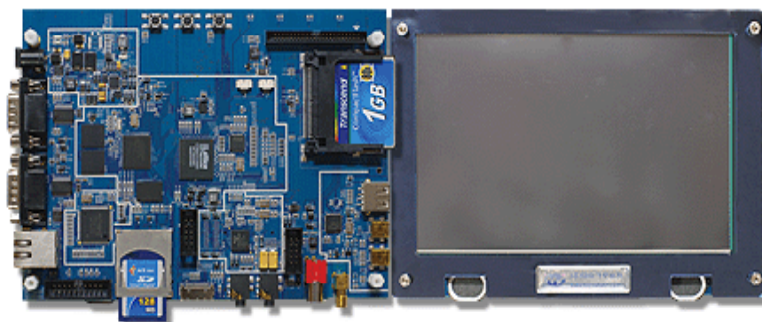
1.서론

- ◆ 최근 컴퓨터 시스템의 설계와 관리에서 **전력 및 에너지**는 주요 관심사
- ◆ 프로세서의 전력소모는 실행 중인 프로그램의 **워크로드의 특성과 상관관계**를 가짐
 - ✓ 프로그램 실행 시의 전력소모 변화를 예측할 수 있음
- ◆ 모바일 프로세서에서 실행되는 프로그램의 워크로드를 10ms 단위로 모니터링
- ◆ Xscale 마이크로아키텍처 기반의 **Marvell PXA320** 프로세서 사용

3

2. PXA320 프로세서 성능 모니터링 카운터

- ◆ Marvell 사의 PXA320 (Monahans) / ARM 11 프로세서
 - ✓ Intel XScale 마이크로아키텍처 기반
 - ✓ 4개의 **32비트 성능 카운터**를 제공
 - ✓ 70개의 성능 이벤트들 중에서 모니터링 되는 이벤트를 지정 가능



4

2. PXA320 프로세서 성능 모니터링 카운터

◆ 성능 이벤트 목록

이벤트 넘버	이벤트 설명
0x00	L1 Instruction cache miss requires fetch from external memory.
0x01	L1 Instruction cache cannot deliver an instruction.
0x02	Stall due to a microarchitecture register data dependency.
0x03	Instruction TLB miss.
0x04	Data TLB miss.
0x05	Branch instruction retired.
0x06	Branch mispredicted.
0x07	Instruction retired.
0x08	L1 Data cache buffer full stall
0x09	L1 Data cache buffer full stall
0x0A	L1 Data cache access.
0x0B	L1 Data cache miss.
...	생략

5

2. PXA320 프로세서 성능 모니터링 카운터

◆ 전력소모와 밀접한 관련이 있는 4개의 성능 이벤트와 타임 스탬프 카운터 (Time Stamp Counter) 사용

◆ 전력예측을 위해 선택된 성능 이벤트들

- ✓ 실행 명령어 수 (INST), L2 캐시 미스 (L2MISS), 데이터 종속으로 인한 스톱 (DATASTALL), 분기예측 미스 (BRMISS)

6

2. PXA320 프로세서 성능 모니터링 카운터

◆ 실행 명령어 수

- ✓ 파이프라인 상에서 실행 완료되는 명령어의 수
- ✓ IPC (Instruction Per Cycle)를 반영하는 값으로 성능을 나타냄
- ✓ IPC 값이 클수록 높은 성능을 의미하며 이 값이 클수록 전력 소모량은 증가함

◆ L2 캐시 미스

- ✓ 프로세서가 외부 메모리를 액세스하는 빈도를 의미함
- ✓ 캐시 미스 발생 시, 외부 메모리로부터의 응답을 기다리며, 이 값이 클수록 전력 소모량은 감소됨

7

2. PXA320 프로세서 성능 모니터링 카운터

◆ 데이터 종속으로 인한 스틀

- ✓ 명령 파이프라인 상에서 데이터 종속관계 등으로 파이프라인이 정지되는 횟수를 나타냄
- ✓ 스틀 횟수가 증가할수록 프로세서의 성능은 저하되며 전력 소모량은 감소됨

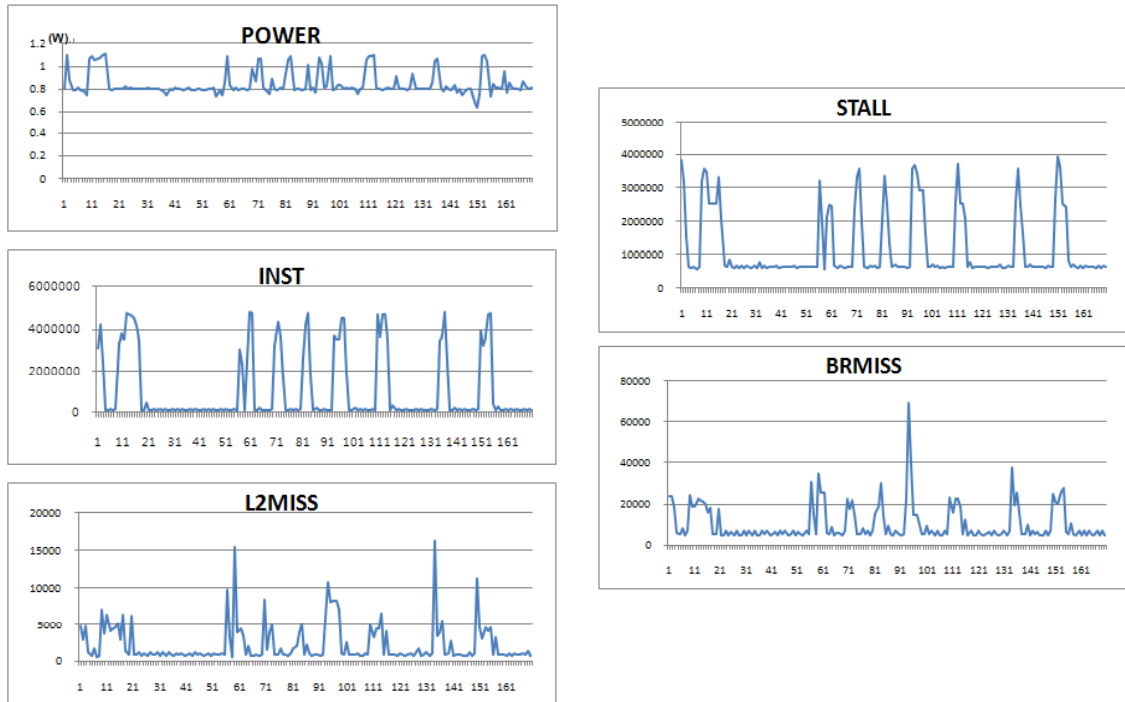
◆ 분기에측 미스

- ✓ 분기에측이 실패하는 횟수를 나타냄
- ✓ 분기에측 미스가 발생하면 파이프라인 상의 잘못된 예측된 경로의 명령을 취소하고 올바른 경로의 명령을 다시 페치 (fetch)함
- ✓ 분기에측 미스 발생 횟수가 많을수록 불필요한 전력소모를 유발

8

2. PXA320 프로세서 성능 모니터링 카운터

◆ 전력 소모와 성능 이벤트 변화



9

2. PXA320 프로세서 성능 모니터링 카운터

◆ 모든 성능 카운터는 10ms 단위로 모니터링을 실시함

- ✓ 타임스탬프 카운터를 10ms 단위로 오버플로우가 발생하도록 초기화
- ✓ 오버플로우 발생시 PMI (Performance Monitoring Interrupt) 핸들러 호출
- ✓ PMI 핸들러는 EBS (Event-Based Sampling) 기법을 사용하여 LKM (Loadable Kernel Module)로 구현

10

3. 회귀분석 모델

- ◆ 수집된 성능 이벤트 데이터를 이용하여 성능을 예측하는 모델 개발
- ◆ 선형 회귀분석 (linear regression analysis) 사용
 - ✓ 주어진 설계영역에서 종속변수와 독립변수 간의 관계를 수학적으로 표현하는 모델
 - ✓ 설계영역의 임의의 지점에서 종속변수를 예측하기 위해 사용

11

3. 회귀분석 모델

◆ 선형 회귀분석 식

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j X_{ji} + e_i$$

- ✓ y_i 는 독립변수 x_1, x_2, \dots 값에 의해 결정되는 i th 종속 변수의 값
- ✓ β_j 는 변수 X_j 의 계수이며, e_i 는 i th 예측값의 에러를 나타내는 값

$$MSE = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \sum_{j=1}^k \beta_j X_{ji})^2$$

- ✓ MSE (Mean Square Error)를 최소화하는 최소자승법 (least square method)을 사용하여 β_j 를 결정

12

3. 회귀분석 모델

- ◆ 본 논문에서 독립변수는 L2 캐시미스, 실행 명령어 수, 데이터 스톱, 분기미스 이벤트임

$$\text{Power} = \beta_0 + \beta_1 \text{INST} + \beta_2 \text{L2MISS} \\ + \beta_3 \text{DATASTALL} + \beta_4 \text{BRMISS}$$

- ✓ $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ 는 회귀 계수 (regression coefficients)로 각 항의 상대적인 기여도를 의미

- ◆ 추출된 회귀계수

회귀계수	회귀계수 값
β_0	0.766
β_1	$0.5 * 10^{-6}$
β_2	$1.36 * 10^{-8}$
β_3	$2.89 * 10^{-8}$
β_4	$-2.62 * 10^{-6}$

13

4. 실험 및 성능 평가

4.1 실험환경

- ✓ 리눅스 커널 2.6.14 상에서 동작되는 Microvision 사의 MV320-LCD 개발보드를 사용
- ✓ 임베디드 프로세서의 벤치마크인 MiBench 사용
 - JPEG 디코더와 GSM 디코더 벤치마크를 선정
- ✓ 벤치마크 데이터로는 대용량의 입력 데이터 세트인 MiDataSets 을 사용
 - MiBench 벤치마크 프로그램에 대해 각각 20개의 입력 데이터 세트를 제공
 - 홀수 번호의 10개 데이터 (트레이닝 데이터)를 이용하여 성능 이벤트 데이터를 수집, 전력예측 모델을 구축

14

4. 실험 및 성능 평가

- 전력 예측 모델의 정확도를 검증하기 위해 짝수번호 10개의 입력데이터 (예측 데이터)를 사용
- ✓ 실험 시 CPU 부하에 영향을 미칠 수 있는 부가적인 프로세스, 드라이버들은 비활성화 시킴
 - LCD 드라이버, AC97, 로그 데몬 등
- ✓ 실험시 프로세서의 동작 주파수는 806MHZ로 고정

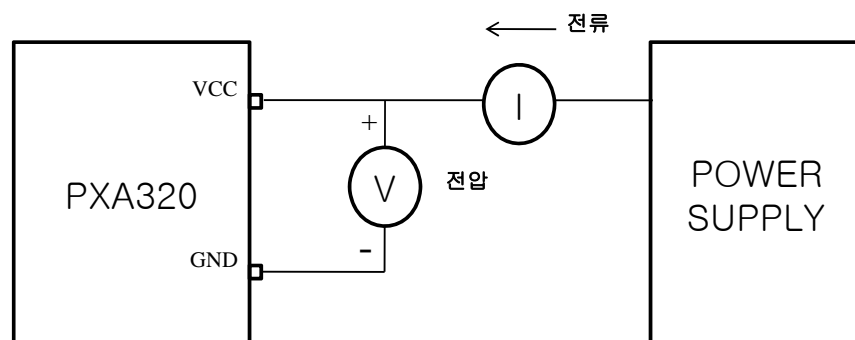
15

4. 실험 및 성능 평가

4.2 전력측정

◆ 프로세서 전력 구성도

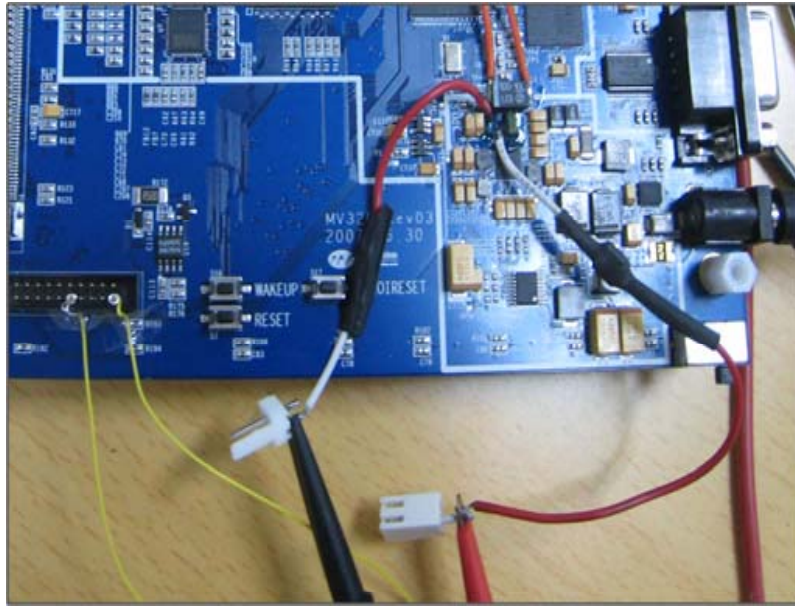
- ✓ 전류 측정을 위해 프로세서의 VCC에 직렬 연결된 인덕터를 분리하고 디지털 멀티미터를 직렬로 연결



16

4. 실험 및 성능 평가

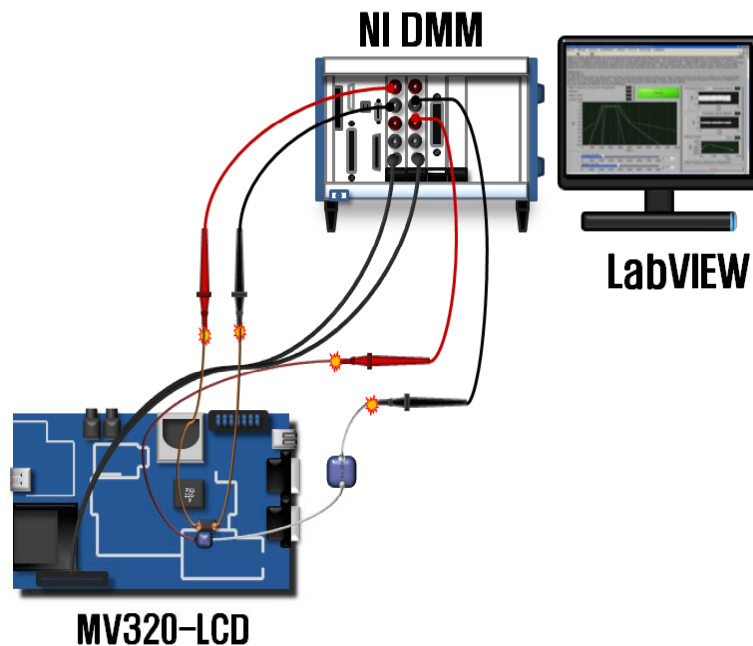
◆ 전류 측정을 위해 외부로 분리된 파워 인덕터



17

4. 실험 및 성능 평가

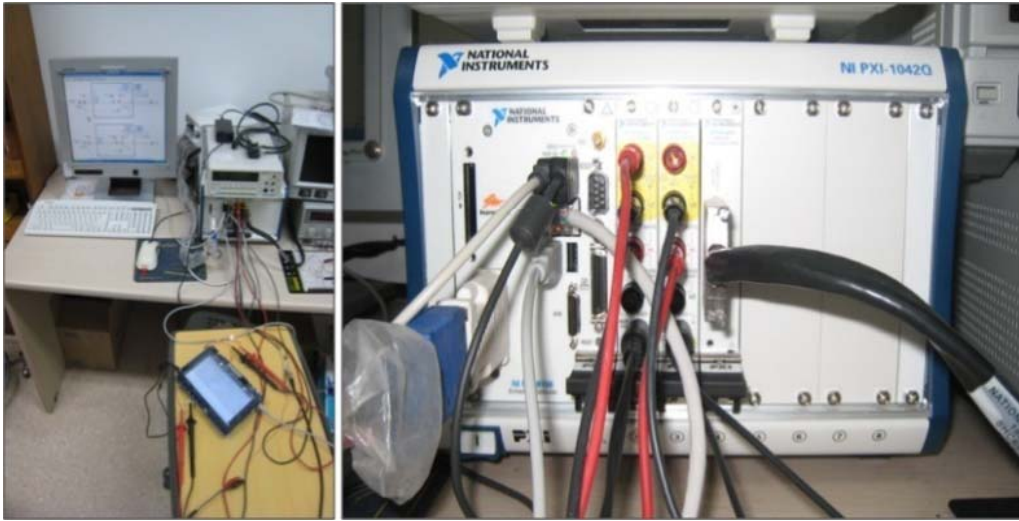
◆ MV320-LCD, 전력 측정 장비 연결 구성도



18

4. 실험 및 성능 평가

◆ 전력측정 실험환경

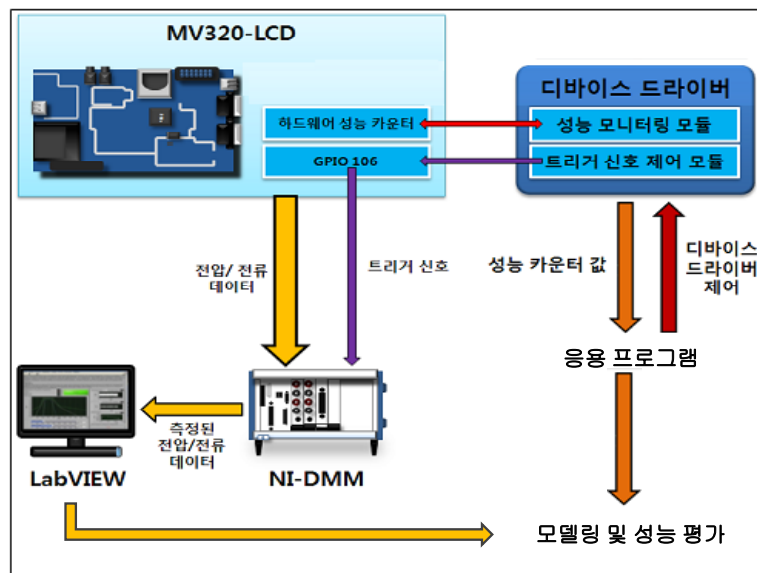


19

4. 실험 및 성능 평가

◆ 전력측정 실험환경

- PXA320 프로세서의 성능 카운터와 10ms 단위 인터럽트 발생을 위해 리눅스상의 디바이스 드라이버 제작



20

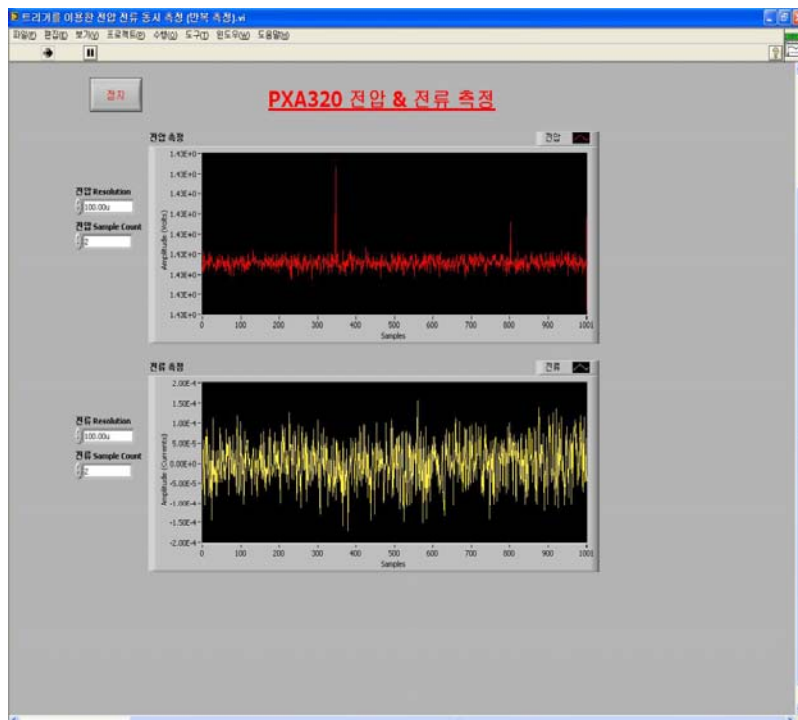
4. 실험 및 성능 평가

- 드라이버는 10ms마다 트리거 신호를 생성하여 GPIO 인터페이스를 통해 디지털 멀티미터 (NI PXI-4071 DMM) 로 트리거 신호를 전송
- 디지털 멀티미터는 트리거 신호를 수신할 때마다 전류, 전압을 측정
- 측정된 전류, 전압은 LABVIEW 소프트웨어가 탑재된 컨트롤러 (NI PXI-8106) 에서 수집되고 파일로 저장됨

21

4. 실험 및 성능 평가

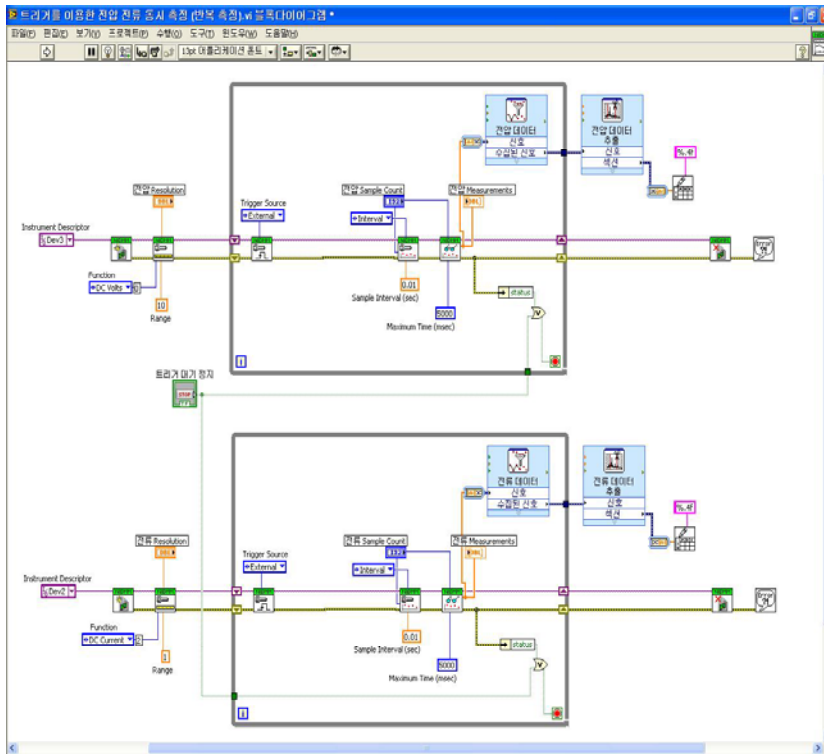
◆ 전압, 전류를 측정하는 랩뷰 프론트 패널



22

4. 실험 및 성능 평가

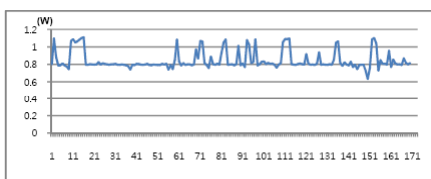
◆ 전압, 전류 측정을 위한 랩뷰 블록 다이어그램



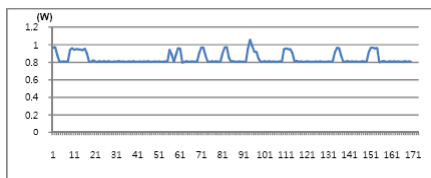
4. 실험 및 성능 평가

4.3 예측성능 평가

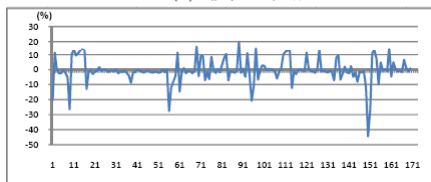
➢ 전력예측 모델을 사용하여 예측 값과 실제 측정 값을 비교



(a) 측정된 전력 값

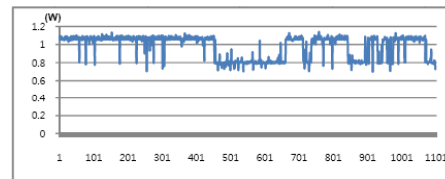


(b) 예측 전력 값

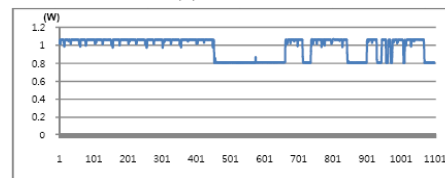


(c) 예측 에러율

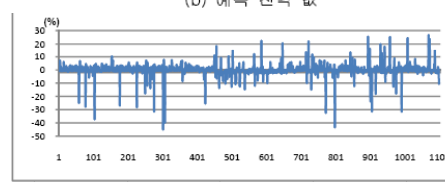
JPEG 벤치마크에 대한 성능 평가



(a) 측정된 전력 값



(b) 예측 전력 값



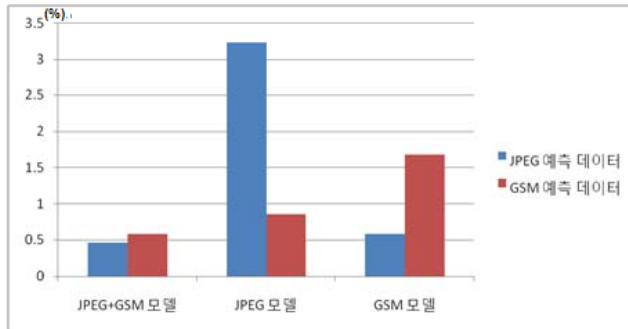
(c) 예측 에러율

GSM 벤치마크에 대한 성능 평가

4. 실험 및 성능 평가

- ✓ 실제측정 전력 값과 예측한 전력 값의 차이인 예측 에러율을 백분율(%)로 계산

$$\frac{Power_{estimated} - Power_{predicted}}{Power_{estimated}} * 100$$



전력예측 에러율

예측모델	JPEG 예측 에러율	GSM 예측 에러율
JPEG+GSM	0.46	0.58
JPEG	3.22	0.85
GSM	0.57	1.6

전력예측 에러율 표

- 광범위한 데이터 세트로부터 추출된 JPEG+GSM 모델이 더 정확한 예측을 하는 것을 확인

25

5. 결론

- ◆ PXA320 모바일 프로세서 상에서 회귀분석 통계 모델을 이용한 전력예측 모델 개발
- ◆ 실행 명령어 수, L2 캐시미스, 데이터 스틀, 분기 미스 성능 이벤트를 10ms 단위로 모니터링 함
- ◆ 평균 0.52% 로 정확하게 전력소모를 예측함
 - ✓ 임베디드 시스템의 DVFS 스케줄러의 판단기준으로 사용가능
- ◆ 향후 더 많은 성능 이벤트들과 벤치마크에 적용 할 예정
 - ✓ 개발된 전력예측 모델을 DVFS를 적용한 동적 전력 관리 기법에 적용할 예정

26

Questions ?



Please contact :

윤 희 성
순천향대학교 컴퓨터공학부
멀티미디어관 M611

Email : iloveyr2@gmail.com