

# 열 평형 상태를 이용한 프로세서 전력 모델 계산<sup>1)</sup>

전상우<sup>o</sup> 김현희 김지홍

서울대학교 컴퓨터공학과

aradia4@snu.ac.kr, hh0726@davinci.snu.ac.kr, jihong@davinci.snu.ac.kr

## Processor Energy Model Calculation using Heat Equilibrium

Sang-Woo Jun<sup>o</sup>, HyunHee Kim, Jihong Kim

School of Computer Science and Engineering, Seoul National University

최근 마이크로프로세서의 공정 기술이 발전함에 따라 프로세서 칩의 전력 밀도가 높아지고, 그 결과로 발열량이 증가하여 신뢰성을 떨어뜨리며, 성능에도 영향을 끼치고 있다. 기존 연구에서는 하드웨어 성능 카운터를 사용한 전력과 발열 모델을 사용하여 예측하고 대처하는 방법으로 이 문제를 해결하고자 하였다. 즉 프로세서가 처리하는 명령의 개수와 캐시 미스의 개수 등 각 성능 카운터 이벤트 당 소모하는 에너지가 일정하다는 관측 하에 성능 카운터 이벤트의 횟수를 통해 전력 소비를 예측하는 것이다. 하지만 초기에 모델을 정립할 때는 별도의 기기를 통해 수동으로 전력을 측정해야 하므로 그 결과들이 다양한 상황에서 사용되기 어려웠다. 따라서 본 논문에서는 열평형 상태에 도달한 물체에는 유입되는 열량과 발산하는 열량이 동일하다는 사실에 착안하여, 일정한 성질의 작업을 반복하는 벤치마크를 실행하면서 프로세서가 도달하는 평형 상태를 측정하여 전력과 발열 모델을 계산하는 방법을 제안하고자 한다.

일정한 성질의 작업을 반복하는 특정 코어의 온도가 일정하게 유지될 경우 코어로 유입되는 열량과 코어로부터 발산되는 열량은 평형을 이룰 것이며, 그 상태는 [그림 1]과 같은 공식으로 표현할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 모델의 단순함을 유지하기 위해 코어가 처리한 명령의 개수와 코어에서 일어난 캐시 미스의 개수를 사용한 전력 모델을 사용하였다. 이 두 이벤트를 선택한 이유는 코어의 전력 사용에 이 둘이 가장 큰 영향을 끼치는 것으로 알려졌기 때문이다.

$$\begin{aligned} & A \times \text{Temperature}_{\text{Stable}} \\ &= P \times \text{Count}_{\text{Instructions}} + Q \times \text{Count}_{\text{CacheMiss}} \\ &+ X \times \text{TempDiff}_{\text{Core1}} + Y \times \text{TempDiff}_{\text{Core2}} \\ &+ Z \times \text{TempDiff}_{\text{Core3}} + B \times \text{Speed}_{\text{Fan}} + \text{Const} \end{aligned}$$

[그림 1 - Core 0의 열평형 상태의 열 입출력]

즉, 코어에서 발산되는 열량은 코어의 온도( $\text{Temperature}_{\text{Stable}}$ )와 팬의 회전 속도( $\text{Speed}_{\text{Fan}}$ )에 비례하며, 코어로 유입되는 열량은 코어가 처리하는 명령의 개수( $\text{Count}_{\text{Instructions}}$ ), 캐시 미스의 횟수( $\text{Count}_{\text{CacheMiss}}$ ), 그리고 다른 코어들과의 온도차( $\text{TempDiff}_{\text{Core}(n)}$ )에 비례하는 것이다.

코어가 처리하는 명령의 수나 캐시 미스의 수 등 성질이 다른 작업을 반복하도록 하며 각 평형 상태를 조사하면 [그림 1]의 공식을 풀 수 있으며, 따라서 전력과 발열 모델을 얻을 수 있다. 본 연구에서는 [표 1]과 같은 테스트셋을 사용하여 [표 2]와 같은 인자들을 얻을 수 있었다.

1) 본 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단과 한국연구재단-미래기반기술개발사업(첨단융복합분야)의 지원을 받아 (No. 20100018873, No. 2010-0020724) 수행되었습니다.

[표 1 - 모델 계산을 위한 테스트셋의 구성]

Set	Core 0	Core 1	Core 2	Core 3	FanSpeed
0					50%
1	M				50%
2	H				50%
3	H	H			50%
4	H		H		50%
5	H			H	50%
6					100%

M(miss\_cache): 캐시 미스가 많은 벤치마크  
 H(hit\_cache): 캐시 미스가 적은 벤치마크  
 빈칸: 아무것도 실행하지 않음

[표 2 - Intel Quad-Core의 모델 인자]

	Core0	Core1	Core2	Core3
Core0	0	-	-	-
Core1	2.28	0	-	-
Core2	0.56	1.52	0	-
Core3	0.92	1.54	1.42	0
Instruction	$8.4 \times 10^{-6}$	$2.9 \times 10^{-6}$	$3.0 \times 10^{-6}$	$3.1 \times 10^{-6}$
CacheMiss	$7.0 \times 10^{-4}$	$2.6 \times 10^{-4}$	$9.7 \times 10^{-4}$	$3.4 \times 10^{-4}$
Fan	12.8	12.7	16.7	16.6
Constant	53583.2	51585.5	51178.8	51054.09

본 연구의 모든 실험은 Speedstep을 사용하지 않은 Intel Core 2 Quad Q9400상의 Linux 커널 2.6.32에서 행해졌으며, 이렇게 계산한 발열 모델로 벤치마크 프로그램 실행 중의 온도를 예측한 결과 평균 3° C 내외의 오차가 관찰되었다.

본 연구에서 제안한 방법은 프로세서에 주어진 자원들만을 사용하여 모델을 계산할 수 있으며, 모든 과정을 완전히 자동화할 수 있다는 장점이 있다. 발열 모델의 경우 기체가 놓인 상황이나 팬 속도 등에 따라 인자들이 변할 수 있기 때문에 기존 연구들에서 제안한 수동적인 방법은 적용이 제한될 수밖에 없었다. 본 연구의 결과를 통해 모델의 계산이 용이해지면서 이를 이용한 전력 및 발열 조절 방안들이 널리 사용될 수 있을 것으로 예상된다.