

# 멀티코어 기반의 실시간 시스템을 위한 발열량 고려한 태스크 할당 기법

## (Technique for Task Allocation on Multicore-based Real-time System)

이 창 하<sup>†</sup>, 송 옥<sup>†</sup>, 김 지 흥<sup>†</sup>

<sup>†</sup>서울대학교 컴퓨터공학과

Changha Lee, Wook Song, Jihong Kim

School of Computer Science and Engineering, Seoul National University

Abstract : For multicore real-time system, the methods, which are global and partitioned scheduling, that typically schedule the system can be two. In global scheduling, the policy schedules a given taskset by not assigning tasks onto specific cores. In partitioned scheduling, however, a task is assigned to a specific core statically. we studied the latter case in this paper. We propose a thermal-aware task-allocation technique which takes into account of the steady-state temperature.

Keywords : 멀티코어, 실시간 시스템, thermal-aware, DVFS

### 1. 소개

멀티코어 기반의 실시간 시스템에서 태스크들을 스케줄링 할 때 크게 글로벌과 파티션 스케줄링으로 나눌 수 있다. 전자의 경우는 하나의 큐에 모든 태스크들을 넣고 여러 코어에 할당하는 정책이다. 그렇기 때문에 각 태스크는 어느 코어에도 할당될 수 있는 장점이 있다. 후자의 경우는 태스크들을 나누어 하나의 코어에 할당하는 정책으로 한번 할당된 태스크는 다른 코어로 이주하지 않는 이상 계속 똑같은 코어에서 실행되게 된다. 본 논문은 후자의 스케줄링에서 태스크들을 코어에 나눌 때 각 태스크의 발열 특성으로 고려해서 나누는 휴리스틱 알고리즘을 제시한다. 발열 특성은 태스크의 스테이-

스태이트 온도에 의해 나타내어 진다. 태스크 셋을 각 코어에 할당할 때 각 코어 이용률과 스케줄러빌리티를 검증하여 이용률에 여유가 있어서 DVFS를 적용시킬 수 있는 경우에 DVFS를 적용시킨다. DVFS를 적용시킬 수 있는 많은 경우의 수가 있을 수 있다. 이 때 우리는 우리가 제시하는 휴리스틱 기법으로 최적의 태스크 할당을 하도록 한다. 시스템 모델은 기본적으로 DVFS가 제한된 몇 단계의 레벨을 가지기 때문에 여유 이용률은 있지만 상황에 따라서 DVFS가 적용되지 못하는 경우도 있다. 만약 DVFS가 적용되지 못하는 경우에도 발열량 균등 분배하는 휴리스틱 알고리즘을 이용할 수 있지만 본 논문에서는 자세히 다루지 않고 DVFS가 가능한 경우만을 고려한다.

우리가 구현한 멀티코어 실시간 시뮬레이터와 Hotspot 온도 모델을 통해 실험한 결과는 시스템 최고 온도가 낮아지는 것을 보여 준다.

### II. 기법

#### 1. 개요

1) 본 논문은 BK21 사업에 의하여 지원되었으며, 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 (No. 20100018873) 수행되었습니다. 본 연구를 위해 연구장비를 지원하고 공간을 제공한 서울대학교 컴퓨터 연구소와 IDEC에 감사드립니다.

멀티코어 시스템에서 실시간 태스크들을 스케줄링 하는 방법에 크게 두 가지가 있다. 글로벌과 파티션이 있는데 앞서 설명했듯이 우리가 제안하는 기법은 파티션 스케줄링을 기반으로 주어진 태스크셋을 여러 코어에 할당하는 것이다. 파티션 스케줄링은 글로벌 스케줄링과 다르게 스케줄러빌리티를 각 코어로 한정해 각각에 할당된 태스크 셋을 검사한다. 즉, 각각의 하나의 코어에서 스케줄러빌리티를 검증하면 되기 때문에 문제의 범위가 싱글코어로 줄어들게 된다.

스케줄링 알고리즘에는 EDF(earliest deadline first scheduling)을 사용한다. 태스크의 주기와 마감시간이 같다고 가정하고 있기 때문에 스케줄러빌리티는 한 코어에 할당된 태스크들의 이용률의 합이 1이 안된다면 스케줄할 수 있다.

2. 태스크 발열 특성

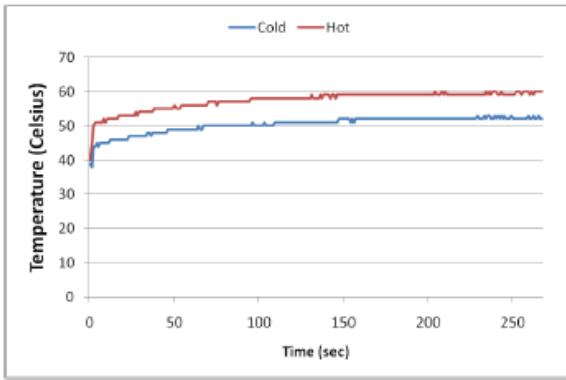


그림 1. Hot 태스크와 Cold 태스크의 스테디-스테이트 온도차에 대한 그래프

태스크의 발열량은 한 코어에 할당된 태스크를 쉬는 시간없이 계속 수행했을 때 더 이상 온도가 오르지 않는 온도인 스테디-스테이트 상태일 때의 온도를 가지고 특정짓게 된다. 발열량이 높다는 것은 이 온도가 다른 태스크의 온도보다 상대적으로 높다는 것을 의미한다.

그림 1에서 볼 수 있듯이 Hot이라고 정의한 태스크는 Cold라고 정의한 태스크보다 대략 8도 정도의 온도차가 남을 알 수 있다. 실험은 실제 시스템 인텔 퀴드 코어에서 이루어졌다. OS는 리눅스 2.6.24에서 실행되었으며 실험은 하나의 태스크를 한 코어에만 할당하고 나머지 3개의 코어는 어떠한 태스크도 실행되지 않는 상태로 진행했다.

3. 동기 예제

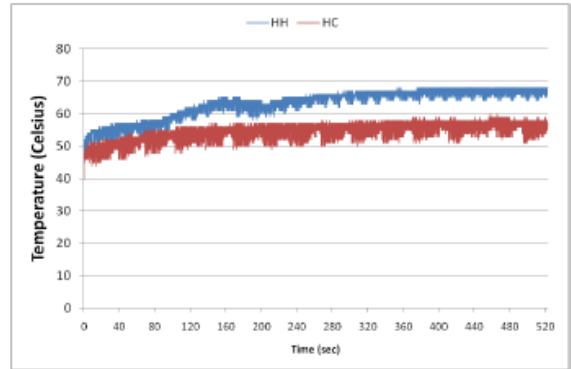


그림 2. Hot 태스크 두 개를 할당한 코어(HH)와 Cold와 Hot 태스크 각각 하나씩 할당한 코어(HC)의 온도 그래프

그림 2의 실험 결과는 그림 1에서 실험했던 같은 환경에서 실행돼 나온 것이다. 보는 바와 같이 한 코어에 hot 태스크 두 개를 할당에 실행했을 때와 hot 태스크와 cold 태스크를 할당해 실행했을 때의 온도의 차이를 나타낸 그래프이다. 각 코어에서 실행시에는 이용률을 모두 1로 설정하고 실행했기 때문에 코어의 쉬는 시간이 없이 실험이 완료 되었다. 결과에서 알 수 있듯이 발열량이 높은 태스크들을 한 코어에 실행시키는 것보다 발열량이 낮은 태스크들을 섞어서 실행시키는 것이 온도를 낮출 수 있다.

하지만 만약 발열량 높은 태스크들이 모여 있는 코어의 주파수를 낮출 수 있다면 발열량이 낮은 태스크들이 할당된 코어와 같은 효과를 낼 수 있을 것이다. 우리는 발열량을 고려하여 높은 발열량을 모아 주파수가 낮은 코어에 할당하고 주파수를 낮출 수 없는 코어에 상대적으로 발열량이 낮은 태스크들을 할당한다.

4. 할당 알고리즘

시스템이 이용할 수 있는 최대 이용률은 코어의 개수에 비례한다. 즉, 코어의 개수가 2개이라면 이용률의 최대치는 2가 되는 것이다. 예를 들어 기법을 설명하자면, 2.3Ghz의 최대 주파수를 가지는 4개의 코어가 있다고 가정한다면 그림 3과 같다. 여기서 가정하고 있는 주파수 모델은 총 3단계를 가지고 있다. 2.3Ghz, 1.6Ghz, 1.1Ghz이다. 주어진 태스크 셋은 Hot 태스크 2, Cold 태스크 1로 총 이용률 3을 가진다.

DVFS를 적용시키지 않은 상태로 할당을 할 경우 그림 4와 같은 경우가 생길 수 있다.

다 상대적으로 높은 온도를 갖게 될 것이다.

### III. 실험

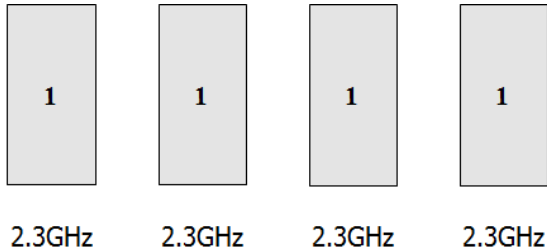


그림 3. 최대 주파수가 2.3Ghz 4개의 코어

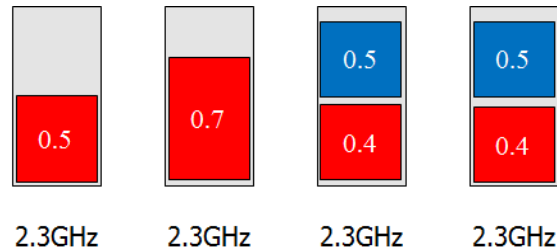


그림 4. Hot 태스크 2과 Cold 태스크 1로 이루어진 태스크 셋을 2.3Ghz 코어 4개에 할당

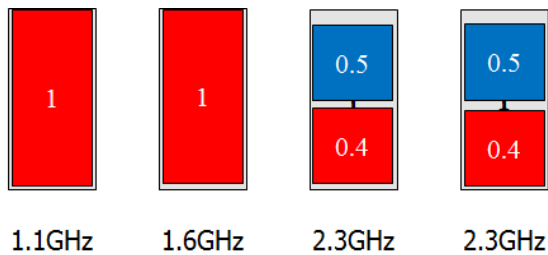


그림 5. Hot 태스크 2과 Cold 태스크 1로 이루어진 태스크 셋을 DVFS 적용한 코어 4개에 할당

그림 5는 그림 4에 할당된 코어 2개에 DVFS를 적용시킨 경우이다. DVFS 적용시에 가장 크게 영향을 받는 태스크들은 발열량이 높은 태스크들이다. 그렇기 때문에 DVFS 가능한 코어들에 최대한 많은 발열량이 높은 태스크들을 할당한다. DVFS를 적용시키지 못하는 코어에게는 최대한 발열량이 낮은 태스크들을 할당하며 만약 발열량이 높은 태스크들이 남아있다면 최대한 균등하게 나누어 남아있는 코어에게 할당한다. 한쪽으로 몰아서 할당하게 된다면 그림 2에서 본 것과 같이 균등하게 분배하지 않은 코어보

멀티코어 실시간 시스템에서 실험하기 위해 직접 구현 멀티코어 실시간 시뮬레이터를 이용한다. 온도에 대한 측정을 시뮬레이터에서 하기 위해선 온도 모델이 필요하다. 많은 온도 연구에 널리 쓰이는 Hotspot 모델을 이용한다. 이미 많은 연구에서 쓰이고 검증된 모델이기 때문에 본 논문에서는 별도로 검증을 하지 않는다. 우리가 제시한 기법을 위한 온도 모델은 따로 필요하지 않기 때문에 Hotspot 모델은 기법의 검증을 위한 온도 측정을 위한 것이다.

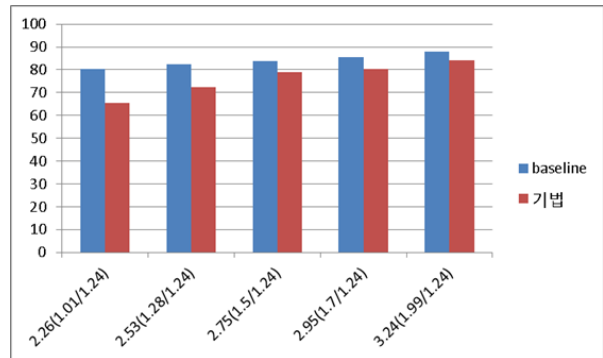


그림 6. 코어 4개일 때 이용률에 따른 기법과 baseline의 온도 차이

실험은 기법을 적용시킨 것과 baseline과 비교하여 실험을 하였다. 여기서 baseline은 DVFS를 적용시키지 않고 태스크들을 worst-fit binpacking 알고리즘으로 할당한다. 코어는 총 4개이며 주어진 태스크 셋을 4개의 코어에 할당한다.

그림 6은 총 5개의 이용률을 가진 태스크 셋을 실험한 결과를 나타낸 그래프이다. 이용률이 낮을 수록 온도차는 크게 났다. 최소 5도에서 최고 13도까지 온도차가 나는 것을 알 수 있다. DVFS 영향을 많이 받는 건 이용률이 높을 수록 좋다는 건 직관적으로 알 수 있다.

### IV. 결론

칩의 온도 상승은 칩의 수명과 패키징 재료의 내구성에 영향을 미칠 뿐만 아니라 시스템 효율을 급격히

떨어뜨리고, 수명을 단축시킨다. 칩의 방열이 충분치 않으면 IC칩의 온도가 높아져 칩 자체 혹은 패키징 수지가 열화하게 된다. 패키징 수지의 열화는 시스템 효율의 저하와 칩의 단수명화를 직접적으로 초래하게 된다. 더욱이 칩의 온도 상승은 칩의 오작동을 초래하기도 한다. 실시간 시스템과 같은 안정성이 최고로 중요한 시스템에서 온도 상승에 따른 이와 같은 불안정한 요소를 고려할 필요가 있다. 우리는 태스크 셋을 코어에 할당할 시에 어느 정도 감안할 수 있는 기법을 제안하여 태스크 발열에 대한 아무런 고려 없는 시스템과의 차이를 실험을 통해 보여주었다.

앞으로 추가적으로 연구되어야 할 일은 태스크 할당 뿐만 아니라 태스크들을 스케줄링할 때에도 온도에 대한 고려해 스케줄링하는 것이다. 이를 위한 연구를 진행할 예정이다.

## 참고 문헌

- [0] T.P. Baker. A comparison of global and partitioned edf schedulability tests for multiprocessors. In Technical Report at
- [1] J. Choi, C.-Y. Cher, H. Franke, H. Hamann, A. Weger, and P. Bose. Thermal-aware task scheduling at the system software level. In Proc. of ISLPED, pages 213 . 218, 2007.
- [2] N. Fisher, J.-J. Chen, S. Wang, and L. Thiele. Thermal-aware task allocation and scheduling for embedded systems. In Proc. of RTAS, pages 131 . 140, 2009.
- [3] M. Huang, J. Renau, S.-M. Yoo, and J. Torrellas. A framework for dynamic energy efficiency and temperature management. In Proc. of MICRO, pages 202.213, 2000.
- [4] H. Aydin and Q. Yang. Energy-aware partitioning for multiprocessor realtime systems. In Proc. of IPDPS, page 113.2, 2003.