

실시간 운영체제의 저전력을 위한 DVS 예측 스케줄링 방법

안.희.탁 김.종.태
성균관대학교 정보통신공학부

DVS Predictive Scheduling Technique for Low Power Real time Operating System

Hee Tak Ahn Jong Tae Kim

School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

Abstract - 마이크로 프로세서의 클럭 속도를 공급 전압에 따라 변화게 하는 방법을 Dynamic Voltage Scaling 방법이라 한다. 이것은 운영체제를 내장한 컴퓨터 시스템의 에너지 소비 효율성을 높일 수 있는 매우 효과적인 방법이다. 본 논문에서는 Dynamic Voltage Scaling 방법을 응용하여 실시간 운영체제의 스케줄링 방법을 제안하였다. 이 방법은 다음에 실행할 태스크의 양을 예측하여 적절하게 공급전압과 클럭 속도를 조절함으로써 에너지 소비 효율성을 높였다.

1. 서 론

최근 여러 분야에 걸쳐 수많은 모바일 및 임베디드 컴퓨터 시스템 기기들이 소개되고 있다. 이 기기들은 대부분 여러 가지 기능을 손쉽게 구현하고 사용자의 편의성을 높이기 위해 실시간 운영체제를 내장하고 있다. 이러한 모바일 및 임베디드 컴퓨터 시스템 기기들의 대부분은 에너지 공급을 배터리에 의존하고 있는데 이는 에너지 공급이 작고 한정적임을 의미한다. 따라서 이 기기들을 개발하는데 있어서 에너지 소비는 매우 중요하게 생각해야 할 지표이다.

그동안 DVS 방법을 이용하여 RTOS의 에너지 효율성을 높이는 방법들이 제시되었다. 하지만 이 방법들은 대부분 경성형(hard) 실시간 운영체제를 대상으로 하고 있다. 왜냐하면 경성형 시스템은 완전하게 예측가능하기 때문에 DVS 방법을 적용하여 최적의 에너지 효율이 가능하다. 하지만 경성형 실시간 운영체제는 고급적인 운영체제 기능을 사용할 수 없고, 그 용도가 한정적이라는 단점이 있다. 하지만 연성형 실시간 운영체제는 경성형 실시간 운영체제보다 실시간성이 떨어지긴 하지만 다양한 기능과 약간의 실시간성을 필요로 하는 멀티미디어, 통신, 방송 등과 같은 분야에 폭넓게 사용될 수 있다.

본 논문에서는 실행 주기가 일정한 Rate Monotonic 경성형 시스템이나 우선순위 선점형 스케줄링 방식의 연성형(soft) 실시간 운영체제에 적용할 수 있는 방법에 대해 기술한다. Dynamic Voltage Scaling 방법의 효율성을 위해서는 voltage schedule 알고리즘이 중요하다. 본 논문에서는 우선순위 선점형의 연성형 실시간 시스템의 에너지 소비 효율성을 높이기 위한 voltage schedule 알고리즘 방법에 대해 기술하였다.

2. 본 론

2.1 Dynamic Voltage Scaling 기술

Dynamic Voltage Scaling은 마이크로 프로세서의 공급전압을 변경하여 에너지 소비 효율성을 높일 수 있는 방법이다. 일반적으로 CMOS 회로에서 에너지 소비는 공급전압의 제곱에 비례한다. 아래는 에너지 소비에 관한 식이다[1].

$$P = CNV_{DD}^2f$$

C_L : CMOS circuit output load capacitance

N : the average number of switching activities for clk cycle

V_{DD} : supply voltage

f : the clock frequency

다시 말해, 이는 디지털 시스템에서의 에너지 소비의 주원인이 공급전압 임을 뜻하는 것이다.

$$Power Consumption \propto V_{DD}^2$$

CMOS 회로 특성상 공급전압을 낮추면 발생하는 단점이 있다.

- 노이즈 면역성(noise immunity)이 낮아 진다
- 추가적인 전압 레벨 컨버터(voltage level converter)가 필요하다
- 스위칭 지연시간(switching delay)가 증가한다.

여기서 중요한 점은 전압레벨을 낮추면 스위칭 지연시간이 증가한다는 점이다. 즉, 공급전압을 줄이면 스위칭 지연시간 증가로 인해 결국 처리 속도가 줄어든다는 점이다. 즉, 공급전압을 낮추면 에너지 소비가 줄어드는 것점이 있지만 마이크로 프로세서의 처리시간이 증가한다는 단점이 있다. CMOS 회로에서 공급전압에 대한 지연시간에 관한 식은 다음과 같다.

$$Delay = K \frac{V_{DD}}{(V_{DD} - V_T)^2}$$

K : Constant

V_T : the threshold voltage of transistors

에너지 소비는 공급전압의 제곱에 비례하지만 클럭 주파수에 정비례한다. Dynamic Voltage Scaling 방법은 일반적으로 전압을 낮추어 발생하는 에너지 소비효율이 처리 시간 증가보다 높다는데 그 의미가 있다. 즉, 실시간성이 높아 빨리 처리해야하거나 일의 양이 많은 태스크에는 높은 공급전압을 주고, 실시간성이 낮거나 처리해야 할 양이 적은 태스크에는 낮은 공급 전압을 주면 시스템 전체의 에너지 소비 효율성을 높일 수 있다.

다음 [표1]은 ARM7D 프로세서의 공급전압별 에너지 소비효율성에 대해 기술하고 있다.

Clock(MHz)	Voltage	MIPS/watt
33	5	185
20	3.3	579

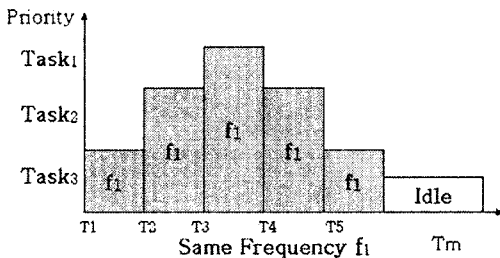
[표 1] ARM7D의 공급전압별 에너지 소비

위 표를 보면 ARM7D 마이크로 컨트롤러의 경우 5V의 공급전압에서는 33MHZ로 동작하며, 3.3V의 공급전압에서는 20MHZ로 동작한다. 이것을 에너지 측면에서 보면 33MHZ at 5V는 185MIPS/watt 이고, 20MHZ at 3.3V는 579MIPS/watt이다. 즉, 속도는 $(33-20)/33 = 40\%$ 가량의 줄어든 반면 에너지 소비는 $(579-185)/579 = 68\%$ 가량이 줄었다. 즉, 공급전압을 줄이면 속도보다 에너지 소비가 더욱 크게 줄어드는 것을 알 수 있다.

2.2 실시간 시스템 저전력 기술

연성형 실시간 시스템은 실시간성이 높은 중요한 태스크를 가능한 빨리 처리하지만 미리 정해진 마감시간이 있는 것은 아니다. 또한 일반적으로 실시간성이 높은 태스크가 실시간성이 낮은 태스크보다 높은 우선순위를 할당받아 우선적으로 처리된다. 이는 실시간성이 낮은 태스크는 처리 지연에 관해서는 시스템은 관심을 가지고 있지 않다는 것을 뜻한다.

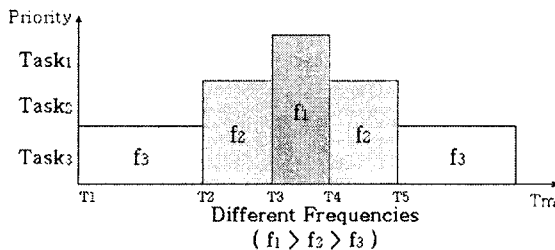
다음 그림.1은 태스크가 3개있는 연성형 시스템의 에너지 소비에 관한 그림이다.



[그림 1] DVS를 적용하지 않은 연성형 시스템

모든 같은 DVS를 적용하지 않고 모든 같은 클럭 주파수에 모든 태스크를 처리하고 있다.

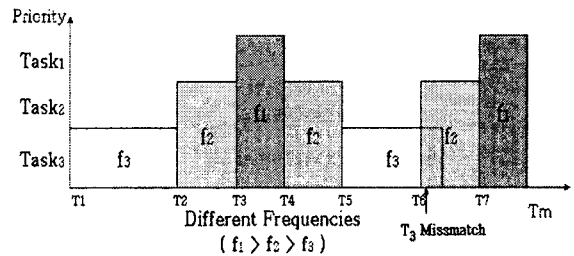
다음 [그림2]는 DVS를 적용하여 각각 다른 클럭 주파수로 태스크를 처리하고 있다. 여기서 유심히 봐야할 점은 우선순위나 낮은 태스크에게 DVS를 적용하고 있다는 점이다.



[그림 2] DVS를 적용한 연성형 시스템

에너지 소비는 [그림2]의 DVS를 적용한 [그림2]가

[그림1]보다 분명히 작다. 그렇지만 태스크3의 처리 지연시간이 많이 늘어남을 볼 수 있다. 다음 [그림3]은 태스크3가 제대로 처리 되지 않을 가능성 더욱 높아진다.



[그림 3] DVS를 적용한 시스템의 오류 가능성

위 [그림3]은 태스크2의 실행시간 이전(T6)에 태스크3가 모두 처리 되지 않았음을 나타낸다. 에너지는 소비는 감소하였지만 처리시간보다 프로세서 속도를 더욱 낮추었기 때문이다.

2.3 예측 DVS 기술

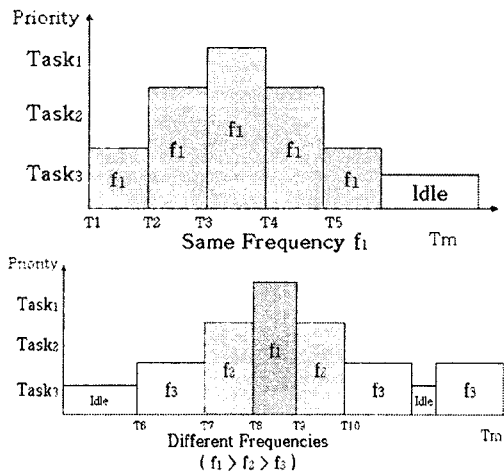
우선순위가 낮은 태스크의 처리 가능성을 높이기 위해서는 태스크처리를 예측하여 DVS를 적용하여 스케줄링하였다. 여기서 프로세서 사용율이 사용된다.

프로세서 사용율은 가장 우선순위가 낮은 idle 태스크를 이용한다. 처리해야할 응용 태스크가 없어 프로세서가 idle 태스크만 처리할 경우에 프로세서 사용율은 0%가 되며, 반대로 idle 태스크가 한번도 처리되지 않았을 경우엔 프로세서 사용율이 100%가 된다.

프로세서 사용율은 다음 식에 의해 계산 된다.

$$PU_{(\%)} = 100 \left(1 - \frac{Cnt \text{ Idle Task}}{MaxCnt \text{ for Idle Task}} \right)$$

다음 [그림4]는 프로세서 사용율에 의해 DVS를 적용한 것이다. 이 경우 태스크3가 오류 없이 처리 되는 것을 알 수 있다.



[그림 4] Predictive Scheduling for DVS

다시 말해 프로세서 사용율이 일정수 이하일 경우에만 DVS를 적용한 것이다. 이 방법은 정해진 태스크의 주기와 마감시간이 있고, 동적 우선순위 변경이 없는 경성형 Rate Monotonic 스케줄링 방법에서는 최적의 DVS 스케줄링이 가능할. 연성형 실시간 시스템에서는 우선 순위가 낮은 태스크의 처리 오류를 방지하기 위해서 적당한 프로세서 사용율을 유지해야 한다. 프로세서 사용율이 높아질수록 에너지 소비가 감소하지만 우선순위가 낮은 태스크의 처리 오류가 발생할 가능성이 높아진다.

2.2.4 평가 모델 및 시뮬레이션

본 논문에서는 마이크로 프로세서가 사용하는 에너지에 관해서만 기술하고 있다. 본 논문에서는 ARM8 프로세서[2]를 이용하였으며, 다음은 ARM8 프로세서의 클럭 주파수에 따른 에너지 소비 효율성에 관한 표이다.

Clock(MHz)	Energy/Instruction
10	0.40
20	0.51
30	0.70
40	0.95
50	1.2
60	1.46
70	1.77
80	2.15

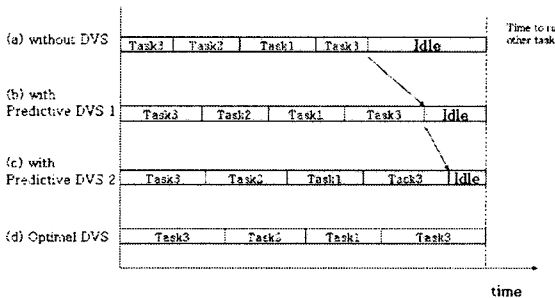
[표 2] ARM8 프로세서의 클럭 주파수별 에너지 소비

위 표는 40MHz와 80MHz의 클럭 주파수가 10MHz의 클럭 주파수에 비해 각각 90%, 540%의 에너지가 더 소비되고 있음을 나타낸다.

다음은 응용 태스크에 관한 표이다.

Task	Instructions to process
1	100
2	100
3	80

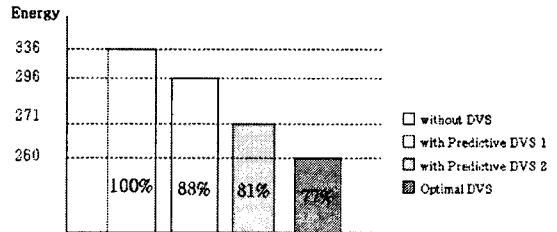
[표 3] 응용 태스크



[그림 5] 각 속도별 태스크 처리

위 [그림5]는 DVS를 적용하지 않은 것(a)과 DVS를 적용한 방법(b),(c),(d)를 나타낸다. (a)는 태스크를 처음 실행할 경우이며, idle 태스크를 통해 프로세서 사용율을 알 수 있다. (b),(c)는 프로세서 사용율을 통해 태스크의 양을 예측하여 DVS를 적용한 것이다. (d)는 Rate Monotonic 방법과 같이 주기와 마감시간을 정확히 알고 있는 경우에 DVS를 적용한 경우이다.

다음 [그림6]은 각 응용 태스크를 각기 다른 속도로 처리한 그림이다. (a)의 경우의 모든 태스크를 프로세서에 50MHz로 처리한 것이고 (b)는 태스크1과 태스크2는 50MHz, 태스크3만을 30MHz로 처리한 것이다. (c)는 태스크1은 50MHz, 태스크2는 40MHz, 태스크3는 30MHz로 처리한 것이다.



[그림 6] 에너지 소비

위 [그림6]은 프로세서 사용율을 통해 다음에 실행될 태스크의 양을 예측하여 DVS를 적용한 경우에 에너지 소비를 나타낸다. DVS를 태스크3개를 각기 다른 클럭 주파수로 처리한 결과 에너지 소비가 최고 23%까지 감소함을 알 수 있다. 본 논문에서 제안한 방법은 응용 프로그램에 따라 에너지 소비 효율성이 충분히 달라질 수 있다. 일의 양이 작거나 우선순위가 높은 태스크의 실행 주기가 크다면 그만큼 에너지 소비 효율성이 좋아질 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서는 실시간 운영체제의 스케줄링에 Dynamic Voltage Scaling 방법을 적용하여 에너지 소비 효율성을 높였다. 이것은 우선순위 선점형의 연성형 실시간 운영체제를 사용하는 같은 모바일 및 임베디드 컴퓨터에 쉽게 적용 수 있으며, 많은 작업이 필요하지도 않다. 우선순위 변동불가이나 IPC사용불가 등 몇 가지 조건을 가정하면 Rate Monotonic 방식의 경성형 시스템에서도 최적의 성능을 발휘할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Yann-Hang Lee, C. M. Krishna, "Voltage-Clock Scaling for Low Energy Consumption in Real-time Embedded Systems", RTCSA '99, Sixth International Conference, Page(s):272 - 279, on 13-15 Dec. 1999
- [2] ARM 8 Data-Sheet, Document Number ARM DDI0080C, Advanced RISC Machines Ltd, 1996
- [3] Thomas D. Burd, "A Dynamic Voltage Scaled Microprocessor System", Solid-State Circuits, IEEE Journal of Volume 35, Issue 11, Nov. 2000 Page(s):1571 - 1580