

전력 피크 감소를 위한 스케줄링 알고리즘의 성능 평가 및 분석

성민영*

¹서울시립대학교 기계정보공학과

Evaluation and Analysis of Scheduling Algorithms for Peak Power Reduction

Minyoung Sung^{1*}

¹Dept. of Mechanical and Information Engineering, University of Seoul

요약 전력 피크 감소는 전력 공급자 뿐 아니라 사용자에게도 점점 중요한 기술이 되고 있다. 전기 부하 스케줄링은 기기의 주기적 작동 시간을 여러 개의 시간 조각들로 분리하고 여러 기기들에 대해 작동 시간 조각들을 통합적으로 교차 배치하여 전력 피크를 줄이는 기법이다. 본 논문에서는 부하 스케줄링 알고리즘인 EDF, LSF, TCBM, lazy 스케줄러의 성능을 분석하고 개선 방안을 제시한다. 분석을 위해 스케줄링 정책들을 분산제어 시뮬레이션 환경에서 구현하고, 실제 전력 사용 데이터를 이용한 광범위한 실험을 통해 전력 편차, 스위칭 횟수, 온도 범위 위반 비율 등의 관점에서 스케줄링 정책별 성능 특성을 논한다. 또한, 과도한 스위칭 방식을 위해 제한적 선점 기능을 제안하고 그 효과를 입증한다. 실험결과, 스케줄러 용량을 실제 전력 요구에 맞춰 설정하면 성능이 극대화됨을 확인하였으며, 스케줄링을 통해 150W 보다 큰 전력편차를 가지는 비율이 원래 21.5%에서 3.2%까지 감소함을 알 수 있었다.

Abstract Peak power reduction is becoming increasingly important not only for grid operators but also for residential users. The scheduling of electric loads tries to reduce the power peak by splitting the power-on period of an electric device into multiple smaller ones and by interleaving the on-periods of every device in a holistic way. This paper analyzes the performance of EDF, LSF, TCBM, and lazy scheduling algorithms and proposes the enhancement schemes. For analysis, we have implemented the scheduling policies in a simulation environment for distributed control systems. Through extensive experiments using real power traces, we discuss their performance characteristics in terms of power deviation, switch count, and temperature violation ratio. To prevent excessive switching, we propose to employ the concept of limited preemptibility and evaluate its effect on performance. It is found that the best performance is achieved when the scheduler capacity is dynamically adjusted to the actual power demand. The experiment results show that, by load scheduling, the probability of having a power deviation greater than 150W is reduced from 21.5% down to 3.2%.

Key Words : Electric load scheduling, limited preemptibility, peak power reduction, performance evaluation.

1. 서론

근래 들어, 전력 수요 집중에 의한 대규모 정전 사고, 원자력 발전소의 안전성 문제 발생 등에 따라 사용 전력 절감 기술에 대한 관심이 증대되고 있다. 전력 피크 감소

는 전력 집중을 완화하여 전력 공급자로 하여금 전력 생산 및 전송 비용을 줄이고 예비전력을 효율적으로 운영할 수 있게 하는 등 큰 이점을 제공한다 [1]. 또한, 스마트 미터가 보급되고 피크 수요 및 전력 사용 시간대에 따른 실시간 변동 전력요금제가 도입되면서 전력 피크 감소는

본 논문은 2013년도 서울시립대학교 교내학술연구비에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Minyoung Sung (Univ. of Seoul)

Tel: +82-2-6490-2394 email: mysung@uos.ac.kr

Received February 27, 2015

Revised March 24, 2015

Accepted April 9, 2015

Published April 30, 2015

이제 전력 사용자에게도 중요한 기술이 되고 있다.

최근, 전력 피크를 줄이는 방법 중 하나로 전력 부하 스케줄링 (electric load scheduling) 기법이 몇몇 연구자들에 의해 제안되어 연구되고 있다 [2-5]. 전기 기기들 중에는 에어컨, 냉장고, 제습기 등과 같이 일정한 작동 (power-on)/ 정지(power-off) 주기가 있는 장치들이 존재한다. 이들은 온도 혹은 습도를 설정 범위 내로 유지할 수만 있다면, 각 주기의 작동 시간을 여러 개의 작은 시간 조각으로 나누어 주기 내에서 분산시킬 수 있다는 특징을 갖는다. 여러 장치들에 대해 이러한 작동 시간 조각들을 전체적인 관점에서 적절히 교차 배치 (interleaving) 한다면, 장치들이 동시에 작동하여 발생하는 전력 피크를 크게 감소시키고 전체적으로 완만한 전력 사용 경향을 구현할 수 있다.

그러나 이러한 전력 피크 감소를 위한 부하 스케줄링의 잠재성과 장점에도 불구하고 성능 및 장단점에 대한 실제적인 평가 및 심층적인 분석은 이루어지지 않고 있다. 기존 연구들은 설정 온도 위반율, 스위칭 횟수 등과 같은 중요한 성능 척도를 다루지 않았거나 [2,3,5] 실제 전력 부하가 아닌 합성된 부하를 사용하였다 [2,4,5]. 특히, 몇몇 전기 기기들은 작동을 시작할 때 순간적으로 높은 전력 피크를 발생시키므로, 잦은 스위칭은 피크 절감 목적에 반할 수 있고 기기 수명을 단축하는 원인이 될 수 있다. 또한, 인위적인 전력 스케줄러로 인해 설정 온도 혹은 습도 범위를 벗어나는 기간이 연장된다면, 사용자의 불쾌감을 유발하여 최상위 가치인 제품 고유의 기능성을 훼손하는 심각한 결과를 가져올 수 있다. 실제 전력 사용 데이터가 아닌 합성된 주기적 전력 수요를 실험에 사용한 것도 또한 기존 연구들의 한계인데, 그것은 많은 기기들이 외부 환경 및 사용자 행동 양식에 따라 가변적인 전력 수요를 갖고 있어 합성적 전력 부하가 실제 환경을 정확히 반영하지 못할 수 있기 때문이다.

본 논문에서는 전력 피크 감소를 위한 대표적인 알고리즘인 EDF (Earliest Deadline First) [2], LSF (Least Slack First) [3], TCBM (Thermal Comfort-Band Maintenance) [4], lazy 스케줄링 [5] 정책들을 분산 제어 시뮬레이션 환경에서 구현하고, 실제 전력 부하 트레이스를 이용한 광범위한 실험을 통해 부하 스케줄링 기법의 성능을 평가하고 분석한다. 성능 척도로는 전력 편차, 스위칭 횟수, 온도 범위 위반 비율을 사용하였다. 전력 부하로는 UMass Smart* 프로젝트에서 제공하는 가정용

냉장고의 전력 부하 실측 데이터를 사용하였다.

본 논문의 의의는 크게 두 가지로 요약될 수 있다. 첫째, 본 연구에서는 핵심 성능 척도의 설정, 실제적인 분산 제어 환경, 그리고 실제 전력 부하를 이용한 실험을 통해 부하 스케줄링 알고리즘의 성능에 대한 면밀한 평가 및 분석을 제시한다. 스케줄링 방식에 따른 비교 결과는 제품 설계자에게 전력 피크 절감 시스템의 장단점 및 성능 특성에 대한 유용한 직관을 제공할 수 있다. 둘째, 성능 개선을 위해 제한적 선점성 (limited preemptibility) 개념을 소개하고 이를 부하 스케줄링에 적용했을 때의 성능 개선 효과를 검증한다 [6]. 실험 결과에 따르면 원래의 완전 선점형 (fully preemptive) 스케줄링 정책은 과도한 스위칭을 발생시킬 수 있는 것으로 나타났다. 제한적 선점성은 기기가 작동을 시작하면 정해진 비선점 기간 동안 중단(선점)되지 않는 것을 보장한다. 다양한 비선점 기간에 대한 실험을 통해 제한적 선점성이 성능을 크게 개선함을 보인다.

2. 전력 부하 스케줄링

전기 기기들은 크게 인터랙티브 (interactive) 혹은 백그라운드 (background) 형으로 분류될 수 있다. 인터랙티브 기기는 작동이 전적으로 사용자에게 의해 결정되는 장치로서 TV, 전자레인지, 세탁기 등이 이에 해당한다. 반면, 백그라운드 기기는 사용자의 간섭 없이 자동으로 작동/정지된다. 대부분의 기기는 인터랙티브 형이라 인위적인 스케줄링이 어렵지만, 일부 백그라운드 기기들은 어느 정도의 스케줄링을 허용한다.

이러한 스케줄링 가능한 백그라운드 기기들은 중앙 제어형 부하 스케줄링을 통해 전력 피크를 감소시키는 것을 가능하게 한다. Fig. 1은 Smart* 전력 트레이스 일부를 도식화한 것으로, 2012년 4월 한 가정에서의 시간에 따른 기기별 전력 소비를 보이고 있다 [1]. 냉장고 (FridgeRange), 히터 (DuckHeaterHRV), 셀러 (CellarOutlets) 등의 백그라운드 기기들이 작동/정지 사이클을 반복하고 있다. 이들 장치들은 많은 경우 동시에 동작하여 높은 전력 피크를 발생시키고 있음을 알 수 있다. 만약 이 장치들의 각 작동 시간 구간을 여러 개의 작은 구간들로 나누고 장치들이 동시에 작동하는 것을 최소화하도록 구간들을 배치한다면 전력 피크를 크게 줄일 수 있다.

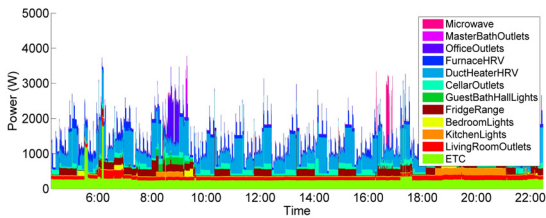


Fig. 1. Energy consumption by a house

이러한 스케줄 가능한 백그라운드 기기로는 그 밖에도 에어컨, 제습기, 환기 장치 등 다양한 장치가 존재한다. 특히, 에어컨, 히터처럼 높은 전력 사용량을 갖는 기기들이 이 부류에 포함되어 있어, 부하 스케줄링의 효과가 작지 않음을 예상할 수 있다.

전력 피크 감소를 위한 부하 스케줄링 정책으로서 EDF, LSF, TCBM, lazy 스케줄링 등이 제안되었다. EDF와 LSF는 전통적 실시간 태스크 스케줄링의 변형이며 TCBM, lazy 스케줄링은 온도를 기반으로 하는 기법이라 할 수 있다.

EDF는 다음 주기의 시작 시점을 종료시한(deadline)으로 정하고, 종료시한이 가장 임박한 기기를 우선적으로 작동시키는 스케줄링 정책이다 [2]. LSF에서는 가장 작은 슬랙(slack)을 갖는 기기를 우선적으로 작동시킨다 [3]. 전통적인 실시간 태스크 스케줄링 이론에서는 슬랙을 종료시한까지의 시간에서 남은 실행시간을 뺀 값으로 정의하고 있다. 이러한 개념을 전력 부하 스케줄링 환경에 응용하면, 슬랙은 기기 본래의 목적(예들 들어, 온도 혹은 습도 유지)을 위반하지 않으면서 안전하게 작동을 미룰 수 있는 최대 시간으로 정의할 수 있다.

TCBM [4] 과 lazy 스케줄링 [5] 은 많은 유사점을 갖고 있다. 이들 정책들은 기기의 현재 온도와 설정 온도 범위를 기준으로 규칙을 정하고 이 규칙에 따라 기기들을 동작 혹은 정지시킨다. 동작 중인 기기들의 사용 전력 합이 스케줄러 용량을 넘어서게 되면 기기를 하나씩 정지시키게 되는데, lazy 스케줄러는 임의의 동작 중인 기기를 정지시키는데 반해 TCBM은 가장 온도가 낮은 기기(냉장고, 에어컨과 같이 온도를 낮추는 것이 장치의 목적일 경우)를 정지시킨다는 점에서 차이가 있다.

본 논문의 성능 평가에 사용된 스케줄러의 특징 중 하나는 튜닝 가능한 제한적 선점성을 갖도록 했다는 것이다. 완전 선점적인 스케줄러는 과도한 동작/정지 스위칭을 야기하여 기기의 수명에 심각한 악영향을 가할 수 있다. 특히, 일부 장치들은 동작을 시작할 때 순간적으로

높은 전력 피크를 발생시키므로 과도한 스위칭은 전력 피크 감소라는 본연의 목적에도 반할 수 있다.

이 문제를 해결하기 위해 우리는 제한적 선점성 [6] 개념을 도입하여 종래의 부하 스케줄러를 확장하였다. 각 기기는 정해진 크기의 비선점 구간을 가지며, 일단 동작이 시작되면 이 구간이 끝난 후에야 선점(중단)이 일어날 수 있다. 3절에서는 다양한 비선점 구간 크기에 대한 실험 결과의 제시를 통해 제한적 선점성의 이점을 검증하였다.

3. 스케줄링 알고리즘의 성능 평가

3.1 실험 환경

성능 평가를 위해 산업용 제어 프로그래밍 환경에서 4개의 대표적인 스케줄링 알고리즘을 구현하였다. 전기 부하 스케줄링의 실험 환경은 많은 면에서 산업 자동화에 사용되는 분산 제어 시스템과 유사하다. 스케줄러는 분산된 기기들의 상태정보를 수신하고 계산 결과로 결정된 명령을 송신하는 일을 주기적으로 반복 수행한다. 각 기기들은 전달받은 상위 수준의 명령을 기초로 하여 기기 고유의 제어 논리 (예를 들어 냉장고의 압축기 제어)를 수행한다. 이러한 이유로 본 논문에서는 IEC 61131-3 프로그래밍 규정 [7] 을 따르는 표준화된 산업용 제어 플랫폼을 실험 환경으로 선택하였다.

Fig. 2는 시뮬레이션 환경을 보인 것이다. IEC 61131-3을 준수하는 오픈 소스 자동화 개발 환경인 Beremiz [8]에서 FBD (Function Block Diagram) 와 ST (Structured Text) 프로그래밍 언어를 이용하여 부하 제어 및 전기 기기의 동작을 작성하였다. 제작된 제어 논리는 1초 주기마다 반복 실행되도록 하여 시간 기반 (time-driven) 시뮬레이션을 구현하였다.

입력으로는 실제 가정용 냉장고의 4 주간의 전력 소비 기록을 사용하였다. 이 기록은 2012년 4월 어느 가정에 있는 냉장고의 전력 사용량을 초 단위로 측정된 것이다 [1]. 동작 중일 때의 전력 사용량은 평균 120 W였으며 평균 주기는 90 분, 주기 당 평균 동작 시간은 50 분이었다. 실험에서는 전력 기록의 각 1 주간의 데이터를 서로 다른 냉장고 장치로 취급하고 4 개의 데이터를 동시에 입력하여 4 대의 냉장고가 같이 동작하는 상황을 구현하였다.

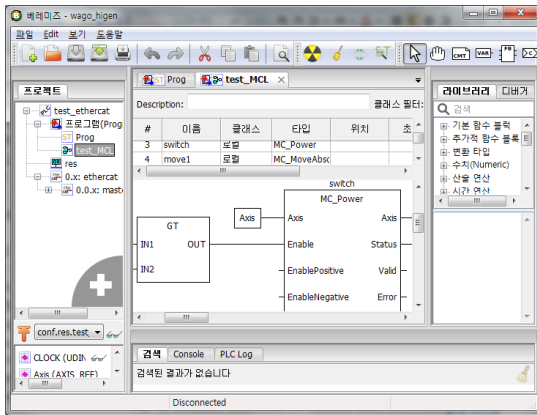


Fig. 2. Simulation environment for electrical load scheduling

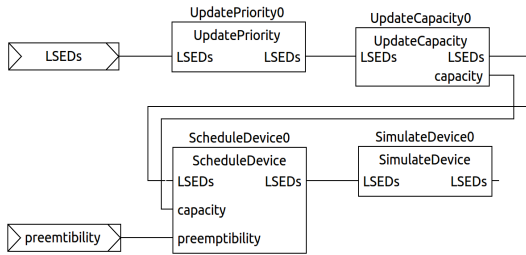


Fig. 3. Function block diagram for load control loop

부하 제어 루프에 대한 함수블록도(FBD)를 Fig. 3에 보였다. 제어 논리는 크게 UpdatePriority, UpdateCapacity, ScheduleDevices, ActuateDevices 등으로 구성된다. 함수블록의 좌측, 우측 링크는 각각 입력 출력에 해당한다. 매 주기마다 함수블록도가 왼쪽에서 오른쪽으로 해석되면서 모든 함수블록들이 실행된다. LSEdS 변수는 냉장고 장치들을 나타내며, 내부적으로 주기, 동작 시간 간격, 현재 온도와 같은 관련 정보를 표현하는 논리를 포함하고 있다.

각 스케줄링 정책은 UpdatePriority와 ScheduleDevices 두 개의 함수블록에 의해 실현된다. UpdatePriority는 각 정책에 따라 장치들에게 우선순위를 부여한다. ScheduleDevices는 장치들의 우선순위, 선점성(preemptibility), 용량(capacity) 등을 바탕으로 어느 장치를 동작시키고 정지시킬지를 결정한다.

UpdateCapacity는 스케줄러의 용량을 갱신한다. 용량이란 동시에 동작하는 기기의 평균 개수로 정의되며 이상적으로 용량은 기기의 실제 전력 요구(demand)를 합한 값이다. 실험에 사용된 냉장고는 평균적으로 50분 / 90분 = 0.56의 전력 요구를 가지므로, 스케줄러의 이상적 평균 용량은 0.56 x 4대 = 2.24이다.

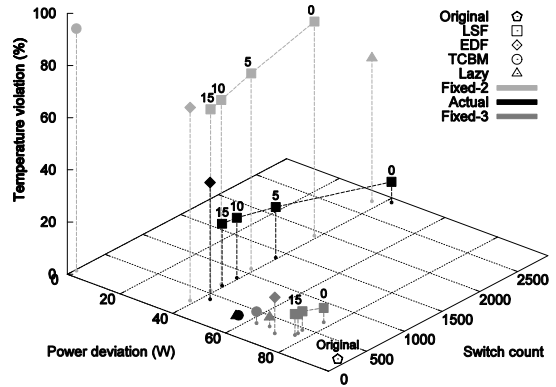


Fig. 4. Deviation in total power, per-device switch count, and temperature band violation ratio obtained by load scheduling

3.2 성능 평가 결과

성능 척도로는 총 전력 사용값의 편차, 스위칭 횟수, 온도 위반 비율을 사용하였다. 전력 편차는 전력 평균과 각 전력 측정값의 차이에 대한 절대값으로 정의되며 전력 피크 완화 정도를 표현한다. 스위칭 횟수는 각 기기별로 작동 및 정지 횟수를 모두 합한 값이다. 온도 위반 비율은 전체 시간에서 실제 온도가 설정된 온도 범위에서 벗어난 기간의 비율로 정한다.

실험 결과를 Fig. 4에 보였다. LSF의 경우, 각 점 옆의 숫자는 설정된 비선점 구간의 크기를 분 단위로 표시한 것이며 0은 완전 선점형을 의미한다. 실험에서는 Fixed-2, Fixed-3, Actual 등 세 종류의 스케줄러 용량 값에 대해 실험하였다. Fixed-2와 Fixed-3는 각각 용량을 2와 3의 값으로 고정했을 경우이며 용량이 실제 전력 요구의 평균보다 낮을 때와 높을 때에 해당한다. 반면 Actual 설정은 스케줄러 용량이 동적으로 실제 요구에 맞춰지는 상황을 나타낸다.

실험 결과, 스케줄링 정책과 관련 없이, 부하 스케줄링은 다소의 스위치 횟수 및 온도 위반을 통해 상당한 수준의 사용 전력 피크의 감소를 가져오는 것으로 파악되었다. 원래 97 W에 달했던 전력 편차는 스케줄링을 통해 약 40 W 수준으로 감소하였다.

TCBM과 lazy 스케줄러는 온도 범위 준수 관점에서 가장 우수한 것으로 나타났다. Fixed-3, Actual 처럼 용량이 요구되는 전력을 충족하도록 적절히 설정되었을 경우 TCMB과 lazy 스케줄러는 가장 낮은 온도 위반율을 보였다. 그러나 Fixed-2와 같이 용량 설정이 너무 낮을 때에는

과도한 온도 위반 혹은 스위치 횟수를 초래하는 것을 관찰할 수 있었다.

반면, LSF와 EDF 정책은 각각 스위치 횟수와 온도 위반 비율을 희생하면서 더 많은 전력편차 감소를 이루려는 특성을 가지고 있었다. Actual 용량 설정에서 두 정책은 매우 낮은 전력 편차를 보였다. 그러나 TCBM, lazy 스케줄러와 마찬가지로 매우 낮은 용량 설정 (Fixed-2) 하에서는 온도 위반과 스위치 횟수가 허용할 수 없는 수준으로 증가하는 것으로 나타났다. EDF는 TCBM과 함께 매우 낮은 스위칭 횟수를 유지하는 성향을 가짐을 알 수 있었다.

주목할 점은 스케줄러 용량 설정은 성능에 매우 큰 영향을 미친다는 것이다. 용량이 실제 전력 요구에 맞춰 조절되었을 때 최적의 성능을 가져옴을 알 수 있었다. 용량 값이 실제 요구보다 낮을 경우 심각한 온도 위반 혹은 과도한 스위칭을 유발하는 반면, 용량 값이 너무 높을 경우 전력 편차 감소 효과가 미미하여 부하 스케줄링 본래의 목적을 달성하지 못할 수 있다.

이러한 사실은 부하 스케줄링 기법의 향후 연구 중 하나는 전기 장치의 요구를 정확히 예측하는 기법에 대해 진행되어야 함을 암시한다. Fig. 4에서 Fixed-3에 대한 결과를 보면, 스케줄러 용량이 평균 이상으로 설정된 경우에도 온도 위반이 일어남을 알 수 있다. 그것은 냉장고의 전력 수요가 큰 편차를 갖기 때문에 유발된 것으로 파악되었다. 냉장고의 전기 사용을 분석한 결과, 수요값은 0.32에서 0.93까지 변화하는 것으로 나타났으며 수요가 높은 기간에서 Fixed-3 설정도 일시적으로 빈번한 온도 위반을 유발하는 것으로 나타났다. 그러나 수요값을 정확히 예측하는 것은 기기에 따라 매우 어려운 일이 될 수 있다. 예를 들어 냉장고의 경우 전력 수요값은 저장한 음식물의 양, 문열림 시간, 외부 온도 등 다양한 요소에 의

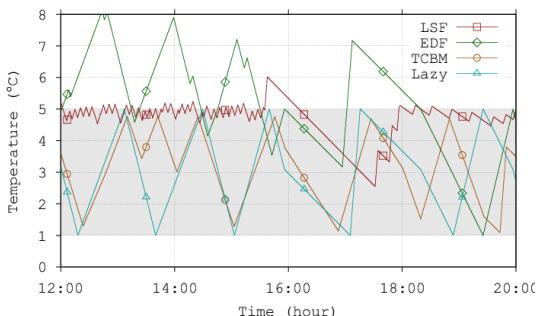


Fig. 5. Internal temperature of the refrigerator

해 결정되며 정확한 예측을 위해서는 기계학습 등의 고급 예측 기법이 필요할 수 있다.

실험 결과는 또한 본 연구에서 제안한 제한적 선점이 지나치게 높은 스위칭 횟수를 방지하는데 매우 효과적임을 보여주고 있다. 특히, LSF는 원래의 완전 선점형 방식에서 다른 정책에 비해 매우 높은 스위칭 횟수를 보였는데, 제한적 선점의 도입이 이러한 약점을 크게 개선하여 LSF를 경쟁력 있는 정책으로 만들음을 알 수 있다.

Fig. 5는 스케줄링 정책에 따른 냉장고 내부 온도 변화의 추이를 보인 것이다. 회색 영역은 설정 온도 범위를 나타낸 것이다. EDF는 낮은 온도 위반을 보이며 LSF는 완전 선점 모드에서 매우 빈번한 작동/정지를 반복하는 것을 확인할 수 있다. TCBM과 lazy 스케줄러는 온도 위반이 거의 발생하지 않았으며, 장치의 스위칭을 적게 발생시켜 온도범위를 충분히 활용하는 것을 알 수 있다.

앞의 Fig. 4에 나타난 것처럼 원래의 스케줄링 정책은 많은 온도 위반을 유발한다. 특히, EDF는 다른 정책들에 비해 높은 온도 위반 비율을 보였다. 온도 준수 성능이 좋았던 TCBM과 lazy 스케줄러 또한 스케줄러 용량이 요구 수준보다 낮으면 온도 위반 비율이 급격히 높아지는 것으로 나타났다. 짧지 않은 기간의 온도 위반은 장치 고유의 기능을 훼손할 수 있으므로 우선적으로 개선되어야 할 사항이다.

본 연구에서는 설정 온도 준수율을 높이기 위해 기존 스케줄러를 수정하였다. 즉, 기기가 온도 범위의 상한에 도달할 경우, 스케줄러 용량과 상관없이 장치를 무조건 동작하도록 하였다. Fig. 6은 수정된 스케줄링 정책을 이용하여 실험한 결과이다. 온도 위반 비율이 크게 감소한

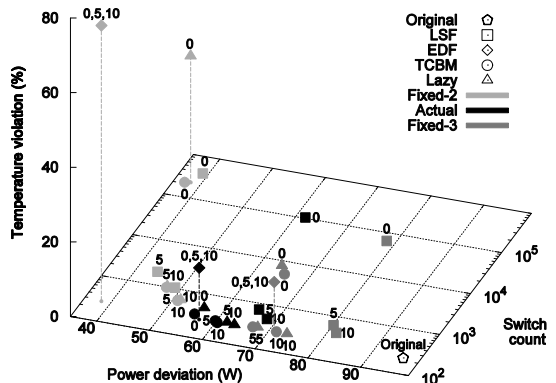


Fig. 6. Deviation in total power, per-device switch count, and temperature band violation ratio obtained by load scheduling

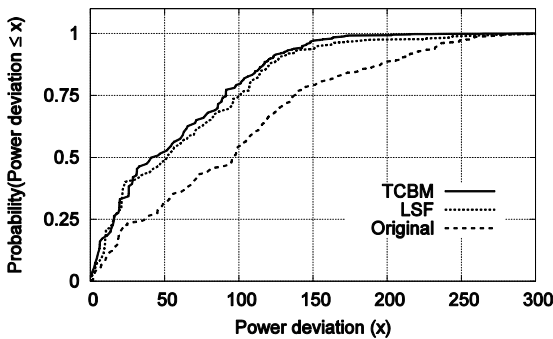


Fig. 7. Cumulative probability for power deviation in LSF and TCBM

것을 알 수 있다. 이러한 무조건적 동작 정책은 스위칭 횟수를 전반적으로 증가시키는 것으로 나타났는데, 제한적 선점 기능은 스위칭 횟수를 합리적인 수준으로 유지하는데 크게 기여하는 것으로 나타났다. 그러나 스케줄러 용량이 매우 부족할 경우에는 스위칭 횟수가 크게 상승하는 것을 피할 수 없었으며, 적절한 용량 설정의 중요성이 다시 한 번 확인되었다.

부하 스케줄러가 전력 사용량을 평탄화하는 정도를 확인하기 위해 LSF와 TCBM, 두 대표적인 정책에 대해 측정된 전력 편차에 대한 누적 분포 그래프를 조사하였다. Fig. 7에 나타난 것처럼 부하 스케줄링은 전력 편차를 감소시키는데 매우 효과적인 것으로 확인되었다. 150 W 보다 큰 전력 편차를 가지는 비율은 원래 21.5 % 이었는데 LSF 및 TCBM 정책을 이용하여 부하를 스케줄링한 결과, 각각 6.4 %와 3.2 %로 크게 감소하였다.

4. 결론

스케줄링 가능한 백그라운드 전기 기기에 대한 통합적 부하 스케줄링은 상당한 전력 피크 감소를 달성할 수 있다. 본 논문에서는 실제 전력 사용 데이터를 이용하여 사용 전력의 편차, 온도 범위 위반 비율, 스위칭 횟수 등 핵심 성능 척도를 측정한 광범위한 실험을 통해 부하 스케줄링 정책의 성능을 평가하고 분석하였다.

실험 결과, 부하 스케줄링 정책은 전력 편차를 줄여 전력 피크를 줄이는데 매우 효과적이지만, 과도한 온도 위반과 스위칭 횟수를 유발할 수 있음을 알 수 있었다. 본 연구에서는 제한적 선점 기능과 온도 범위 초과 시의 무

조건적 동작 기능을 포함하도록 스케줄러를 확장하는 것을 제안하고 실험을 통해 이들이 성능을 크게 개선함을 입증하였다. 성능 평가 결과에서 주목할 점은 부적절한 스케줄러 용량 설정은 심각한 온도 위반 혹은 과도한 스위칭을 유발하며, 용량이 실제 전력 요구에 맞춰졌을 때 최적의 성능을 얻을 수 있다는 것이다.

References

- [1] S. Barker, A. Mishra, D. Irwin, E. Cecchet, and P. Shenoy, "Smart*: an open data set and tools for enabling research in sustainable homes," in Proc. of workshop on Data Mining Applications in Sustainability, Aug. 2012.
- [2] T. Facchinetti and M. L. Della Vedova, "Real-time modelling for direct load control in cyber-physical power systems," IEEE Trans. Industrial Informatics, vol. 7, no. 4, pp. 689-698, Nov. 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TII.2011.2166787>
- [3] S. Barker, A. Mishra, D. Irwin, P. Shenoy, and J. Albrecht, "SmartCap: flattening peak electricity demand in smart homes," in Proc. IEEE Conference on Pervasive Computing and Communications, pp. 67-75, Mar. 2012.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/PerCom.2012.6199851>
- [4] G. Karmakar, A. Kabra, and K. Ramaritham, "Coordinated scheduling of thermostatically controlled real-time systems under peak power constraint," in Proc. IEEE Real Time and Embedded Technology and Applications Symposium, pp. 33-42, Apr. 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/RTAS.2013.6531077>
- [5] T. X. Nghiem, M. Behl, R. Mangharam, and G. J. Papps, "Green scheduling of control systems for peak demand reduction," in Proc. IEEE Conference on Decision and Control and European Control Conference, pp. 5131-5136, Dec. 2011.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/CDC.2011.6161164>
- [6] G. C. Buttazzo, M. Bertogna, and G. Yao, "Limited preemptive scheduling for real-time systems. A survey," IEEE Trans. Industrial Informatics, vol. 9, no. 1, pp. 3-15, Feb. 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TII.2012.2188805>
- [7] K.-H. John and M. Tiegelkamp, "IEC 61131-3: programming industrial automation systems," Springer, 2010.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-12015-2>

- [8] I. Kim, T. Kim, M. Sung, E. Tisserant, L. Bessard, and C. Choi, "An open-source development environment for industrial automation with EtherCAT and PLCopen motion control," in Proc. IEEE Conference on Emerging Technologies & Factory Automation, Sep. 2013.

DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/ETFA.2013.6648122>

성 민 영(Minyoung Sung)

[정회원]



- 1995년 2월 : 서울대학교 컴퓨터 공학과 (공학사)
- 1997년 2월 : 서울대학교 컴퓨터 공학과 (공학석사)
- 2002년 8월 : 서울대학교 전자컴퓨터공학부 (공학박사)
- 2002년 10월 ~ 2006년 8월 : 삼성전자 SW연구소

- 2012년 9월 ~ 현재 : 서울시립대학교 기계정보공학과 부교수

<관심분야>

시스템소프트웨어, 실시간시스템