

## 추계적 프로세스 기반 동적 전력 관리

### Dynamic Power Management based on Stochastic Processes

노철우, 김경민, 폴 무두시  
신라대학교

Ro Cheul Woo, Kim Kyung Min, Paul Muthusi  
Silla University

#### 요약

동적 전력 관리는 서로 다른 전력소모를 갖는 전력상태들을 시스템 구성 요소에 할당하고 상황별로 전력상태를 관리함으로써 시스템의 전력 소모를 현저하게 줄여줄 수 있다. 전력관리의 주 기능은 구성요소의 상태천이를 언제 수행하느냐이며 이를 위하여 추계적 프로세스에 기반한 동적 전력관리 모델을 개발한다. 동적 모델은 시스템 큐와 다양한 모델링 기능을 표현할 수 있는 페트리 넷의 확장형인 SRN(Stochastic Reward Nets)을 이용하여 개발되며 성능분석을 함께 수행한다.

#### Abstract

Dynamic power management reduces the power consumption of the system by switching system components into different power states, which have different power consumption levels. The main function of a power management is to decide when to perform state transitions. In this paper, a power management model based on stochastic processes is introduced. This model is developed using SRN (Stochastic Reward Nets), which has facilities to represent system queue and various modeling functions.

## I. 서론

배터리 기반의 무선 네트워크 환경에서 시스템의 효율적인 전력관리가 요구된다. 시스템에서 패킷을 전송하지 않을 동안에 소모되는 전력은 패킷을 전송하는 동안에 소모되는 전력보다 상당히 적다. 예를 들면, 오리온 무선 랜 카드는 송신모드에서 285mA를 소모하고 수신모드에서 185mA를 소모하는 반면에 패킷을 전송하지 않을 때는 9mA만 소모한다[1].

무선 랜 카드는 패킷 전송 시 활동(active)상태를 가지고, 무전송시는 전력소모를 줄이기 위하여 수면(sleep)상태로 전환시키는 전력관리를 가진다. 효율적인 전력관리를 위해서 무선 랜 카드가 수면상태에 머무는 시간을 증가시키고 활동상태와 수면상태의 전환횟수를 줄여야한다. 전력관리에 대한 기존 연구로는 무선 랜 카드가 일정 시간동안 전송되는 데이터가 없으면, 타임아웃을 통해 활동상태에서 수면상태로 전환되는 방식에 대한 연구가 있었고, 동적인 전력관리를 위해 무선 랜 카드의 활동상태와 수면상태의 동적 상태 변화와 패킷 송수신 요청에 대한 해석적 분석을 추계적 마르코프 프로세스를 사용한 점이 주목할 만하다[2,3]. 본 논문에서는 추계적 마르코프 프로세스의 복잡한 해석적 분석대신 페트리 넷 모델에 보상 개념과 다양한 모델링 특성을 추가한 SRN(Stochastic Reward Net)[4,5]을 사용하여 모델링 및 성능분석을 수행한다.

## II. 페트리 넷과 SRN

모델링 도구로 잘 알려진 추계적 페트리 넷은 모델 규격을 명세화할 수 있는 다양한 그래픽 기능을 가지고 있으며 대응되는 연속시간 마르코프 체인(CTMC)의 해에 의해 페트리 넷 모델의 해를 구할 수 있다. 추계적 페트리 넷은 각 천이에 발사시간을 할당한 페트리 넷의 확장모델이다. 천이가 지수분포의 발사시간을 가지는 천이를 시간천이(timed transition)이라고 하고 0의 발사시간을 가지는 천이 즉 시간의 지체 없이 바로 발사되는 천이를 즉시천이(immediate transition)이라고 한다. GSPN(Generalized SPN)[4]은 최소한 하나의 즉시천이가 발사 가능한 무형(vanishing) 마킹과 시간천이들의 마킹인 유형(tangible) 마킹으로 구성된다. GSPN에 마킹 종속, 다중 금지 아크, 가드 함수 등의 모델링 기능을 강화하여 복잡한 시스템을 간결한 모델로 모델링할 수 있게 해준 모델이 Stochastic Reward Net(SRN)이다[5]. SRN에서 각 유형 마킹은 하나 이상의 보상률(reward rate)을 배정받을 수 있다. 시간천이의 발사율, 다수의 입출력 아크 그리고 하나의 마킹에 대한 보상률과 같은 파라미터는 SRN에서 장소에 있는 토큰 수에 대한 함수로 기술된다. SRN에서 모든 출력 값은 보상률 함수의 기댓값으로 표현된다. 시스템의 성능 지표 값을 얻기 위해서는 SRN 모델에 적당한 보상률 값을 배정하여 구할 수 있다. SRN 모델의 해를 구하기 위해 SRN 소

소프트웨어 도구인 SPNP[6]를 사용한다. SRN은 SPNP에 의해 마르코프 보상 모델(MRM)로 변환되며 MRM의 성능분석으로 SRN에서 지정한 성능지표를 구하게 된다. 즉 SRN 모델은 다음 단계에 의하여 해석적-수치적으로 해를 구한다.

첫째, 모델로부터 도달성 그래프가 생성되며 둘째, 도달성 그래프는 MRM으로 변환된다. 셋째, MRM은 수치적으로 해를 구하며, 마지막으로 구해진 해의 기댓값으로 성능지표를 계산한다.

### III. 시스템 모델링

시스템으로부터 무선 랜 카드에 서비스를 요청하면 요청된 패킷을 큐에 저장되고 무선 랜 카드의 상태가 활동상태가 되면 서비스된다. 활동상태에서 패킷 송수신이 완료되면 다음 요청이 있기 전까지 무선 랜 카드는 수면상태로 전환된다.

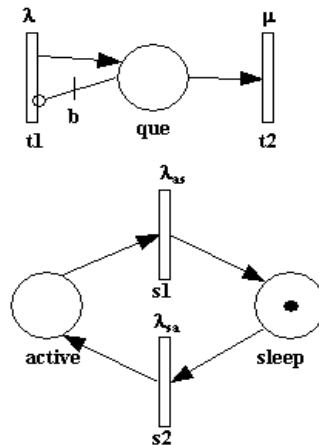
그림 1은 무선 랜 카드의 전력소모를 분석하기 위한 SRN 모델이다. 장소 que는 발생된 패킷이 저장되는 큐이고, 장소 active와 sleep은 각각 무선 랜 카드의 활동상태와 수면상태를 나타낸다. 천이 t1은 서비스의 요청을 나타내고, 요청된 패킷의 도착률은  $\lambda$ 이고 포아송 분포를 따른다. 천이 t2는 패킷 전송을 나타내며, 서비스 처리율(패킷 전송율)은  $\mu$ 이고 지수분포를 따른다.

천이 s1과 s2는 무선 랜 카드의 활동 전이를 나타낸다. 즉, 천이 s1은 활동상태에서 수면상태로 전이를  $\lambda_{as}$ 로 전이되며, 천이 s2는 수면상태에서 활동상태로 전이를  $\lambda_{sa}$ 로 전이된다.

무선 랜 카드의 초기 상태는 수면상태로 장소 sleep의 초기 마킹을 1로 둔다. 시스템으로부터 요청이 발생되면 장소 que에 패킷이 쌓이게 된다. 큐의 크기는 b이고 천이 t1에서 장소 que로 다중금지 아크로 나타낸다. 큐에 있는 패킷은 천이 t2에 의해 서비스되는 데, 천이 t2는 무선 랜 카드가 활동상태에 있는 경우에만 서비스됨으로 천이 t2는 표 1의 천이 발사조건 함수에 의해 처리된다. 무선 랜 카드의 상태는 큐에 패킷이 쌓이면, 수면상태에서 활동상태로 천이 s2에 의해 전이된다. 천이 s2의 발사조건은 장소 que에 있는 토큰 즉 패킷의 수가 0보다 큰 경우이다. 또한, 장소 que에 토큰이 없으면 무선 랜 카드는 활동상태에서 수면상태로 천이 s1에 의해 전이된다. 천이 s1의 발사조건은 장소 que에 토큰이 없는 경우이다.

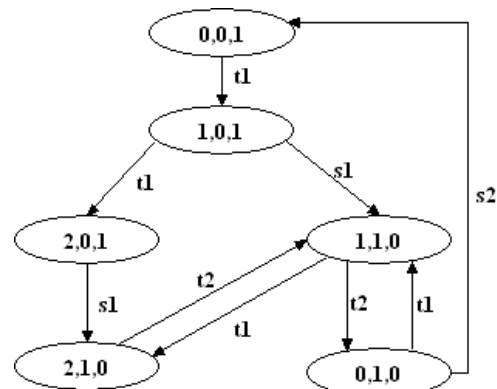
[표 1] 천이 발사조건 함수

천이	천이 발사조건 함수
s1	if ( #("que")=0 ) return(1); else return(0); }
s2	if ( #("que") >0 ) return(1); else return(0); }
t2	if ( #("active") >0 ) return(1); else return(0); }



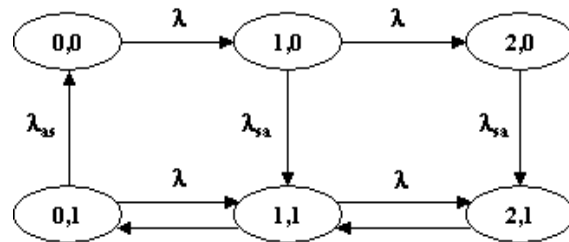
▶▶ 그림 1. SRN 모델

그림 2는 그림1 SRN모델에 대한 도달성 그래프이다. 각 노드는 그림 1의 장소 (queue, active,sleep)의 토큰 수로 표현되는 마킹을 나타낸다.



▶▶ 그림 2. 도달성 그래프

그림 3은 큐의 크기가 2인 경우의 그림 2에 대응되는 마르코프 체인이다. 각 마킹 상태  $(k1,k2)$ 에서  $k1$ 은 큐에 있는 패킷의 수를,  $k2$ 는 전력상태로 활동상태이면 1이고, 수면상태이면 0이다.



▶▶ 그림 3. 마르코프 체인

### IV. 성능분석 및 수치결과

본 논문에서는 무선 랜 카드의 활동상태와 수면상태의 확률값과 전력소모량을 성능지표로 사용한다. 무선 랜 카드가 활동상태에 있을 때 40w를 소비하고, 수면상태에서는 0.1w를 소비한다고 가정하면 식 1은 무선 랜 카드의 전력소모량을 나타낸다.

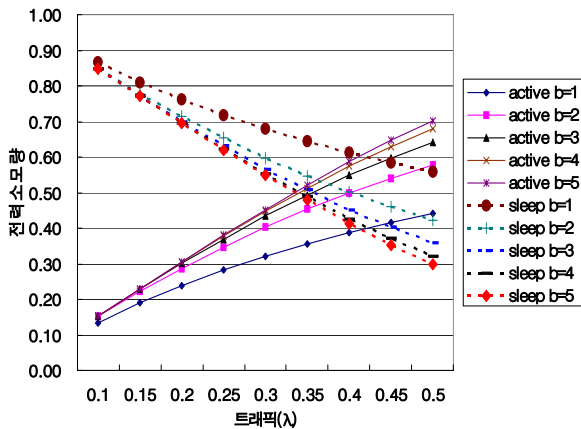
$$E = (40*\#active + 0.1*\#sleep)*td \quad (1)$$

#active와 #sleep은 무선 랜 카드가 활동상태와 수면상태에 있을 확률을 나타내고, td는 시스템의 수행시간을 나타낸다. 수치계산을 위한 SRN 모델에서의 매개변수 값은 표 2와 같다.

[표 2] 매개변수 값

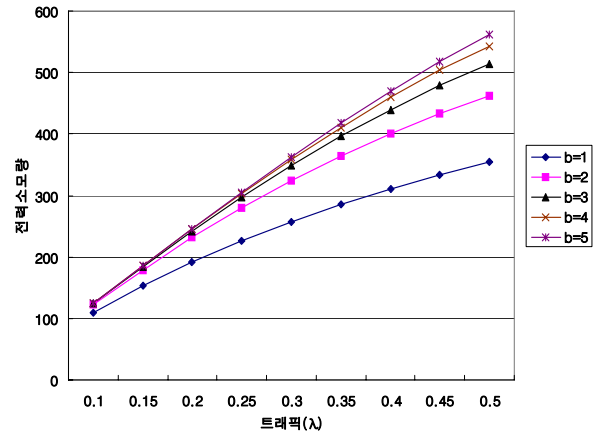
매개변수	값
$\mu$	1/1.5초 = 0.6
td	20초

그림 4는 트래픽에 따른 활동상태와 수면상태의 확률값을 큐 크기에 따른 변화를 보여준다. 트래픽이 증가하고 큐가 커질수록 활동상태의 확률이 커진다.



▶▶ 그림 4. 활동상태와 수면상태 확률값

그림 5는 트래픽에 따른 큐 크기에 따른 전력소모량을 보여준다. 큐의 크기가 클수록 트래픽이 증가될 때 전력소모량이 많음을 알 수 있다.



▶▶ 그림 5. 트래픽에 따른 전력소모량

### V. 결론 및 향후과제

전력소모가 많이 발생할 수 있는 시스템 특성상 전력 소모를 줄일 수 있는 무선 랜 카드의 동적 전력 관리를 위한 추계적 프로세스를 페트리 넷 모델을 이용하여 개발하고, 이 모델을 통하여 전력에 대한 성능분석을 수행하였다. 본 논문에서는 연속시간 마르코프 체인에 기반 한 추계적 프로세스 모델로 시스템 큐와 무선 랜 카드의 전력 상태를 함께 고려한 시스템 동적 특성을 복잡한 해석적 분석 대신 모델에서 보상 개념에 의하여 쉽게 표현함으로써 전력의 동적 관리를 보다 수월하게 수행할 수 있는 방법을 제시하였다. 활동/수면과 대기의 세 전력 상태와 시스템과 랜 카드 전체를 고려한 전력관리 모델개발과 성능분석이 향후 연구과제이다.

#### 참고 문헌

- [1] C. Poellabauer, K. Schwan, "Energy-Aware traffic shaping for wireless real time application", proceeding of the 10th IEEE Real-Time and Embedding Techonology and Application Symposium(RTAS'04), 2004
- [2] G.A. Paleologo, L. Benini, "Policy Optimization for Dynamic Power management", Proceedings of Design Automation Conference, pp.182-187, Jun. 1998.
- [3] Qinru Qiu, M. Pedran, "Dynamic power management based on continuous time Markov deccision processes",ACM, pp.555-561, 1999
- [4] Ajmone-Marsan A., Balbo G., "A class of generalized stochastic Petri nets for the performance evaluation of multiprocessor systems", ACM Trans. Comp.. Systems, Vol.2, No.2, pp.93-122, 1984
- [5] G.Ciardo, A.Blakemore, P.F. Chimento , "Automated generation and analysis of Markov reward models using stochastic reward nets", Linear Algebra,Markov Chains,

Queueing Models, IMA Volumes in Mathematics and its Applications(C. Meyer & R. J. Plemmons, Eds), Vol 48,pp 145-191, 1993

- [6] G.Ciardo, K.S.Trivedi, "SPNP Usrs Manual, Version 5.01", Technical report, Duke Univ., 1998.