
적응적 타임아웃 기반 전력관리 SRN 모델링

Power Management SRN Modeling based on Adaptive Timeout

노철우, 김경민
신라대학교 컴퓨터정보공학부

Cheul-Woo Ro(cwro@silla.ac.kr), Kyung-Min Kim(sillamin@silla.ac.kr)

요약

전력관리는 전력상태 전환과 시스템 부하 (workload)에 의존성이 있다. 시스템 모델은 전력상태 전환과 시스템 큐에 대한 추계적 모델들로 구성된다. 본 논문에서는 다양한 전력관리 기법을 위한 추계적 모델들을 개발한다. 추계적 프로세스에 기반한 전력관리 모델은 시스템 큐와 다양한 모델링 기능을 표현할 수 있는 페트리 넷의 확장형인 SRN (Stochastic Reward Nets)을 이용하여 개발된다. 적응적 타임아웃 기반 전력관리 SRN 모델을 개발하고 기존 전력관리기법인 greedy, N-Policy 기법과 전력소모 및 성능비교를 수행한다.

■ 중심어 : | 전력 관리 | 페트리 넷 | SRN(Stochastic Reward Nets) |

Abstract

Power management (PM) depends on the power state transition and system workload. The system model is composed of corresponding stochastic models of the power state and system queue. In this paper, stochastic models which can handle various PM techniques are developed. SRN (Stochastic Reward Nets), an extended Petri-Net, has facilities that represent system queue and various modelling functions. The SRN is employed for developing PM models. An adaptive timeout PM model is also introduced and the power consumption and performance of this model are compared with other existing PM techniques models such as greedy and N-Policy techniques.

■ keyword : | Power Management | Petri Nets | SRN(Stochastic Reward Nets) |

1. 서론

배터리로 전력을 충당하는 무선 단말기로 이루어지는 무선망 환경은 효율적인 전력관리가 요구된다. 무선 단말기 전력은 데이터 통신을 담당하는 무선 랜카드에서 대부분이 소모된다[1]. 무선 랜카드가 사용하는 전력을 줄이는 것이 효율적인 전력관리를 위해 중요하다.

무선 랜카드가 패킷을 전송하지 않을 동안에 소모되는 전력은 패킷을 전송하는 동안에 소모되는 전력보다

상당히 적다. 예를 들면, 오리콘 무선 랜카드는 송신모드에서 285mA를 소모하고 수신모드에서 185mA를 소모하는 반면에 패킷을 전송하지 않을 때는 9mA만 소모한다[2].

IEEE 802.11은 무선 랜카드가 소비하는 전력을 절약하기 위해 주기적으로 활성 상태와 수면 상태를 반복하는 절약모드(Power Save Mode)를 정의하고 있다. 활성(active)상태에서 송수신 작업을 수행하고, 작업을 수행하지 않을 때는 수면(sleep)상태로 전환하여 전력 소

모를 줄인다[3].

효율적인 전력관리를 위해 무선 랜카드의 수면상태에 머무는 시간을 증가시키고 활성상태와 수면상태의 전환횟수를 줄여야한다.

본 논문은 전력을 절약할 수 있는 수면상태의 이용가능성을 분석한다. 이 가능성은 전력 상태, 시스템 부하, 성능 규제(constraints) 등에 의존하게 된다. 성능의 손실이 없거나 손실 허용이 감수될 수 있는 조건하에 수면상태의 시간을 증가시킬 수 있다. 성능측면에서 큰 손실을 허용하지 않고 전력관리를 위해 시스템 전체 부하를 항상 추적할 수 있다는 점을 가정하면, 전력관리는 전력상태 매개변수와 시스템 부하(workload) 즉 시스템 큐 관련 매개 변수에 의존성이 있다[4]. 본 논문에서는 이들 매개변수들을 제어할 수 있는 모델을 개발하고 전력관리 기법에 따른 전력 소모와 성능을 비교한다. 추계적 마르코프 프로세스의 복잡한 해석적 분석대신 페트리 넷 모델에 보상 개념과 다양한 모델링 특성을 추가한 SRN(Stochastic Reward Net)[5]을 사용하여 전력관리를 위한 모델들을 개발하고 새로운 전력관리 기법과 기존 기법과의 성능분석을 수행한다.

II. 전력관리

전력관리에 대한 기존 연구로는 주기적으로 상태를 전환하는 기법, 큐에 남아 있는 패킷의 유무에 따라 무조건 상태전환을 수행하는 기법과 일정 시간동안 전송되는 데이터가 없으면, 타임아웃을 통해 상태를 전환하는 기법이 있다. [6][7]에서는 동적인 전력관리를 위해 무선 랜카드의 활성상태와 수면상태의 동적인 상태 변화와 패킷 송수신 패킷에 대한 해석적 분석을 위하여 추계적 마르코프 프로세스를 사용한 점이 주목할 만하다. 전력관리 기법은 시스템 부하를 관찰하고 언제 어떻게 전력상태 전환을 수행할지를 정의한다.

주기적 기법은 활성과 수면 상태의 시간 간격을 일정하게 유지하면서 주기적으로 상태전환을 반복한다. 주기적 기법의 단점은 전송할 패킷이 큐에 없음에도 불구하고 주기적으로 활성 상태로 전환함으로써 전력 소모

를 가져올 수 있고, 트래픽이 적을 때는 상당히 긴 수면 상태를 가지게 된다.

greedy 기법은 패킷이 큐에 있으면 바로 활성 상태가 되어 송수신을 수행하고 패킷이 없으면 바로 수면 상태로 전환한다. 이 기법은 잦은 상태전환으로 인한 전력 소모를 가져올 수 있다. N-policy 기법은 큐에 N개의 패킷이 모인 후 활성 상태가 되어 송수신을 수행하고 패킷이 없으면 수면 상태로 전환한다.

타임아웃 기법은 활성 상태에서 전송할 패킷이 없으면 타이머를 작동시켜 일정 시간 전송 패킷을 기다린다. 타임아웃 전에 전송패킷이 큐에 들어오면 활성 상태를 유지하여 서비스를 계속하고, 타임아웃까지 큐에 패킷이 없으면 수면상태로 전환된다. 이 기법은 상태스위칭 시간과 상태 전환 횟수를 줄일 수는 있으나 주어지는 타임아웃 기간 동안 전력 소모를 가져올 수 있으므로 타임아웃 값을 얼마로 하느냐가 전력관리의 중요 항목이 된다.

본 논문에서는 수면 구간과 타임아웃의 시간 길이를 트래픽 특성에 따라 동적으로 변경시켜 전력 사용의 효율을 증가시키는 시간 길이 적응기법(T-Policy)을 제안한다.

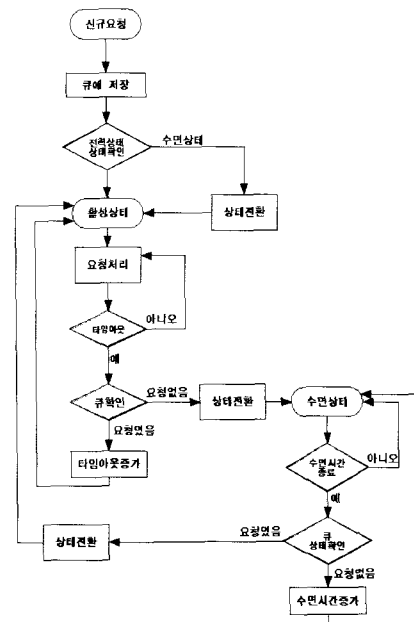


그림 1. T-Policy 기법

[그림 1]은 제안된 T-Policy기법의 흐름도를 보여준다. 패킷의 신규 요청이 발생하면, 패킷은 우선 큐에 저장된다. 시스템은 전력 상태를 확인하여 수면 상태이면 활성화상태로 전환하여 요청을 처리한다. 요청처리 시 타이머를 작동시킨다. 타임아웃이 발생하면 큐를 확인하여 패킷이 있으면 타임아웃을 증가시킨 후 다시 패킷 요청을 처리하고, 패킷이 없으면 수면상태로 전환한다. 수면시간이 종료되면 큐를 확인하여 요청 패킷이 없으면 수면시간을 증가시키고, 요청 패킷이 있으면 활성화상태로 전환하여 패킷 요청을 처리한다.

활성상태에서 타이머 작동 후 타임아웃 시 큐에 패킷이 존재하면 타이머 값을 증가시켜 그 다음 주기의 타임아웃 구간을 증가된다. 타이머 구간 증가는 다음 식 (1) 로 구간 값을 결정한다.

$$I_i = \min(i * I_0, I_m) \quad (1)$$

I_m 는 허용할 수 있는 최대 타이머 값이다. 또한 수면 상태에서도 수면상태 구간이 지나면 다시 큐의 상태를 체크하고 큐에 패킷이 없으면 이전 수면구간보다 긴 수면구간을 적용시킨다.

III. 시스템 모델

1. 페트리 넷트와 SRN

모델링 도구로 잘 알려진 추계적 페트리 넷트는 모델 규격을 명세화할 수 있는 다양한 그래픽 기능을 가지고 있으며 대응되는 연속시간 마르코프 체인(CTMC)의 해에 의해 페트리 넷트 모델의 해를 구할 수 있다. 추계적 페트리 넷트는 각 천이에 발사시간을 할당한 페트리 넷트의 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)[5]은 최소한 하나의 즉시천이가 발사 가능한 무형(vanishing) 마킹과 시간 천이들의 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 SRN이다[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 에 있는 토큰 수에 대한 함수로 기술된다. SRN에서 모든 출력 값은 보상률 함수의 기댓값으로 표현된다. 시스템의 성능지표 값을 얻기 위해서는 SRN 모델에 적당한 보상률 값을 배정하여 구할 수 있다. SRN 모델의 해를 구하기 위해 SRN 소프트웨어 도구인 SPNP[8]를 사용한다. SRN은 SPNP에 의해 마르코프 보상 모델(MRM)로 변환되며 MRM의 성분분석으로 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 기대값으로 성능지표를 계산한다.

2. 패킷 발생, 전송 및 큐잉 모델

[그림 2]는 시스템에서 발생된 패킷이 큐에 저장되고 처리되는 SRN 모델이다. 전형적인 M/M/1/b 큐잉모델로 추계적 서비스 처리 과정을 보여준다.

신규 패킷의 요청이 발생되면 패킷은 즉시 처리되지 않고 큐에 저장되고 시스템은 무선 랜카드의 상태를 확인하고 무선 랜카드의 상태가 활성화상태이면 처리되고 그렇지 않으면 큐에서 대기한다.

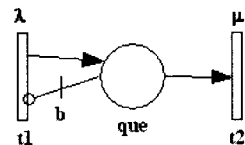


그림 2. 시스템

천이 $t1$ 은 도착율 λ 의 포아송 분포를 갖는 패킷의 요청 또는 도착을 나타내고, 천이 $t2$ 는 서비스 처리율 μ 의

지수분포를 갖는 서비스 즉 패킷 전송을 나타낸다. 장소 *que*는 시스템 큐를 나타내며, 요청된 패킷은 *que*에 토큰으로 쌓이게 된다. 장소 *que*때에 쌓이는 토큰은 시스템에서 대기 중인 패킷을 나타낸다. 이때 큐의 최대 크기는 *b*이며 이는 *t1*과 *que* 사이의 다중 금지 아크로 모델링된다. 큐에 저장된 패킷은 다음 절의 전력관리 기법에 따라 *t2*에 의해 처리된다. 무선 랜카드의 전력상태가 활성상태에 있을 때 패킷을 전송해야 하므로 *t2*의 발사 조건은 다음 [표 1]로 주어진다.

표 1. *t2*의 발사조건 함수

<i>t2</i> 의 발사조건 함수	
if(<i>#active</i> >0) return(1); else return(0);	

3. 전력관리 모델

다음은 시스템에서 패킷의 발생 및 전송 처리를 수행하는 동안, 무선 랜 카드의 전력 상태를 관리하는 전력 상태 기법들에 대한 SRN모델을 보여준다.

3.1 주기적, greedy와 N-Policy 기법의 SRN 모델

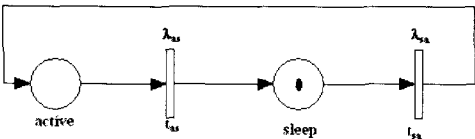


그림 3. 주기적, greedy와 N-Policy SRN모델

[그림 3]은 주기적, greedy와 N-Policy 기법의 SRN 모델이다. 장소 *active*와 장소 *sleep*은 각각 무선 랜카드의 활성상태와 수면상태를 나타낸다. *sleep*의 토큰(검은 점)은 현 전력상태가 수면상태임을 나타낸다. 주기적, greedy, 그리고 N-Policy 기법은 [그림 3]의 SRN 모델에서 상태전환 천이 *t_{as}*와 *t_{sa}*에 대한 발사조건을 어떻게 주느냐에 따라 결정된다.

주기적 기법은 발사조건 없이 주어진 주기 구간에 따라 상태전환을 수행한다. greedy 기법은 *que*에 신규 패킷이 발생하면 바로 활성상태 *active*로 전환 (*t_{sa}* 발사)되어 서비스를 수행하게 한다. N-Policy 기법은 수면

상태에서 신규 패킷이 발생되면, [그림 2]의 시스템 큐인 *que*에 *N*개의 패킷이 쌓일 때 까지 수면상태로 기다린 후 활성상태로 전환 (*t_{sa}* 발사)하여 서비스한다.

두 기법에서 상태 전환 천이 *t_{sa}*의 발사조건 함수는 [표 2]로 주어진다. greedy 기법과 N-Policy 기법들은 모두 활성상태에서 수면상태로의 전환은 큐에 패킷이 없을 경우임으로 *t_{as}*의 발사 조건은 *que*에 토큰이 없는 경우이다.

표 2. *t_{as}*와 *t_{sa}*의 발사조건 함수

<i>t_{as}</i> 의 발사조건 함수	
if(<i>#que</i> =0) return(1); else return(0);	
<i>t_{sa}</i> 의 발사조건 함수	
greedy	if(<i>#que</i> >0) return(1); else return(0);
N-Policy	if(<i>#que</i> > <i>N</i>) return(1); else return(0);

3.2 타임아웃 SRN 모델

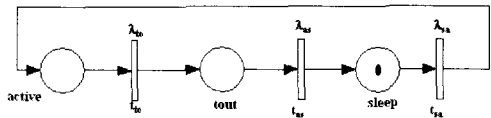


그림 4. 타임아웃 SRN 모델

[그림 4]는 타임아웃 기법을 나타내는 SRN 모델이다. 수면상태 *sleep*에서 수면 시간인 $1/\lambda_{sa}$ 초가 지난 후에 천이 *t_{sa}*가 발사되어 활성상태로 전환된다. 활성상태 *active*에서 타임아웃 구간 ($1/\lambda_{to}$ 초) 후에 *tout*에서 [그림 2]의 *que*에 패킷이 없으면 타임 아웃되어 활성상태에서 수면상태로 전환된다.

3.3 T-Policy 모델

[그림 5]는 본 논문에서 제안한 T-Policy 기법의 SRN 모델이다. 타임아웃 기법에 큐의 상태를 고려하여 타임아웃 값과 수면시간을 변화시킨다.

타임아웃 후에도 패킷이 있을 경우는 타임아웃 값을 증가시키고, 수면상태 시간이 지난 후 패킷이 없을 경우는 수면시간을 증가시킨다. [그림 5]에서 수면상태 시간 $1/\lambda_{sz}$ 이 지난 후 큐의 상태를 확인하고 패킷이 있을

경우 t_{as} 에 의해 활성상태로 전환되지만 패킷이 없을 경우는 t_{ss} 에 의해 다시 $1/\lambda_{sa}$ 만큼 수면시간을 증가시킨다.

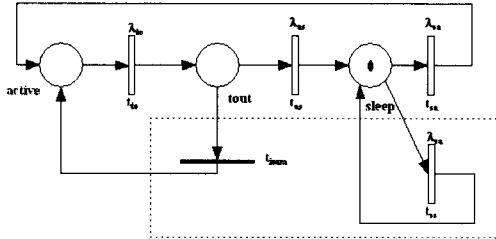


그림 5. T-Policy 모델

활성상태 *active*에서도 타임아웃 시간 $1/\lambda_{to}$ 이 지난 후에 패킷이 있을 경우 즉시천이 t_{imm} 가 발생되어 다시 타임아웃 시간만큼 활성상태를 유지한다. [표 3]은 T-Policy의 해당 천이에 대한 발사조건 함수이다.

표 3. T-Policy의 t_{as} 와 t_{sa} 발사조건 함수

t_{imm} 의 발사조건 함수
if(#("que")>0) return(1); else return(0);
t_{sa} 의 발사조건 함수
if(#("que")>0) return(1); else return(0);
t_{ss} 의 발사조건 함수
if(#("que")=0) return(1); else return(0);

4. 도달성 그래프와 마르코프체인

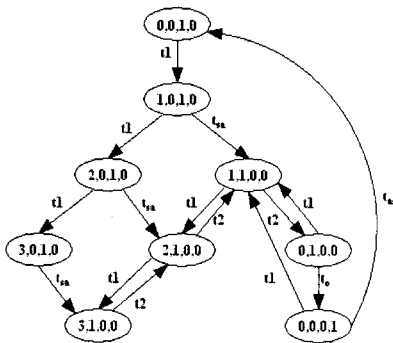


그림 6. T-Policy 도달성 그래프

[그림 6]은 [그림 5] SRN 모델로부터 생성되는 큐 크기가 3인 T-Policy의 도달성 그래프를 나타낸다. 큐 토큰 수 (큐에서 대기하고 있는 평균 패킷 수), 활성상태, 수면상태 그리고 타임아웃을 각각 i, j, k, l 로 나타내면 각 노드(i, j, k, l)의 모든 상태공간은 식(2)와 같다.

$$S = \{s = (i, j, k, l) | 0 \leq i \leq b\} \quad (2)$$

여기서, j 가 1이면 활성상태이고 0이면 활성상태가 아니다. k 가 1이면 수면상태이고 0이면 수면상태가 아니다. [그림 7]은 [그림 6]의 도달성 그래프와 동형인 CTMC를 보여준다[5]. [그림 7]의 각 마킹은 큐 토큰 수, 전력상태, 타임아웃을 나타낸다. 전력상태가 0이면 수면상태를 나타내고 1이면 활성상태를 나타낸다.

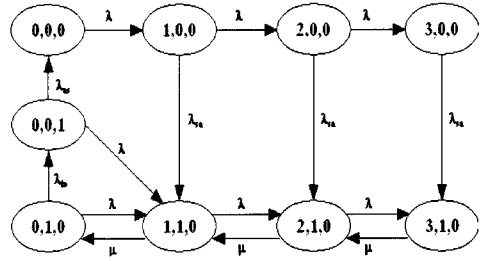


그림 7. T-Policy의 CTMC

IV. 성능지표 및 수치결과

1. 성능지표

무선 랜카드의 전력관리 기법에 따른 전력소모량을 비교분석한다. 전력소모량 E_{total} 은 전력상태에 머무는 동안에 소비되는 전력 E_{state} 과 상태교환시 발생하는 전력 $E_{switching}$ 그리고 전송시 발생하는 전력 E_{trans} 의 합이다. 다음 식(3), (4), (5)로 나타낼 수 있다.

$$E_{state} = \#(active) \times E_{active} + \#(sleep) \times E_{sleep} \quad (3)$$

$$E_{switching} = rate(t_{as}) \times E_{as} + rate(t_{sa}) \times E_{sa} \quad (4)$$

$$E_{total} = E_{state} + E_{switching} + rate(t_2) \times E_{trans} \quad (5)$$

전력소모와 패킷 지연으로 나타낼 수 있는 성능은 상반관계에 있게 된다. 전력소모와 지연비용을 함께 고려한 전력비용을 계산할 수 있다. 전력비용은 식 (6)로 나타낼 수 있다.

$$Cost = E_{total} + \omega \times \#(que) \quad (6)$$

전력소모와 전력비용의 두 성능 지표에서 사용된 식들은 SRN 모델에서 장소와 천이에 대한 보상 개념을 사용하여 수월하게 성능지표를 계산하게 된다. $\#(장소)$ 는 시스템이 해당 장소에 토큰이 있을 확률(토큰이 한 개인 경우)과 평균 토큰 수를 나타낸다. 즉, $\#(active)$ 와 $\#(sleep)$ 은 활성상태와 수면상태에 있을 확률을 나타내고 $\#(que)$ 는 패킷 지연을 나타내는 큐에서 대기하고 있는 평균 패킷 수를 나타낸다. $rate(천이)$ 는 모델에서 주어진 입력 데이터 값에 대한 실제 처리된 값(발사된 수)로 실제 도착된 횟수 또는 처리된 횟수를 나타낸다. 즉, $rate(tas)$ 는 활성상태에서 수면상태로 전환률을 나타내며 $rate(t2)$ 는 패킷 처리율을 나타낸다. 이들 값들은 SRN 모델로부터 구해진 도달성 그래프와 이와 동형인 CTMC를 생성한 후 여기에 보상값을 부여함으로써 계산되어 지며 SRN 모델의 소프트웨어 도구인 SPNP로부터 구해진다[5][10][11].

2. 수치결과

표 4. 입력변수

입력 변수	값
서비스처리율 (ψ)	0.67(1.5초)
활성상태 소모전력(E_{active})	726mW
수면상태 소모전력(E_{sleep})	132mW
서비스 패킷 처리를 위한 소모전력(E_{trans})	1089mW
활성상태에서 수면상태로 전환시간(λ_a)	0.1 (10초)
활성상태에서 수면상태로 전환시 소모전력(E_a)	132mW
수면상태에서 활성상태로 전환시간(λ_s)	0.6 (1.6초)
활성상태에서 수면상태로 전환시 소모전력(E_{st})	726mW

전력소모량과 전력비용을 하기 위해 사용된 입력변수 값은 [표 4]와 같다. 활성상태와 수면상태에서 각각 726mW, 132mW 전력을 소모한다[9].

[표 5]는 입력 트래픽 λ_a 가 0.3인 경우 타임아웃과 T-Policy기법에 적용한 타임아웃 값에 따른 전력소모량을 비교한 결과이다. 두 기법 모두 타임아웃 값이 증가할수록 전력소모량은 감소하고, T-Policy기법이 타임아웃 기법보다 전력을 적게 소모함을 알 수 있다. T-Policy기법과 타임아웃 기법의 전력소모량의 차이는 타임아웃 값이 0.3일 때 즉 입력 트래픽과 동일할 때 가장 큰 차이를 보였다.

표 5. 타임아웃(λ_{to})에 따른 전력소모량

λ_{to}	Timeout	T-Policy	Timeout-T-Policy
0.1	0.9154	0.8977	0.0178
0.3	0.8272	0.8022	0.0250
0.5	0.7807	0.7561	0.0246
0.7	0.7519	0.7289	0.0230
0.9	0.7324	0.7110	0.0214
1.1	0.7183	0.6983	0.0200
1.3	0.7076	0.6888	0.0187
1.5	0.6992	0.6815	0.0177

[그림 8]은 전력기법의 입력 트래픽에 따른 전력소모량을 비교한 결과이다. 여기서 구해진 전력 소모량의 단위는 W(Watt)이다.

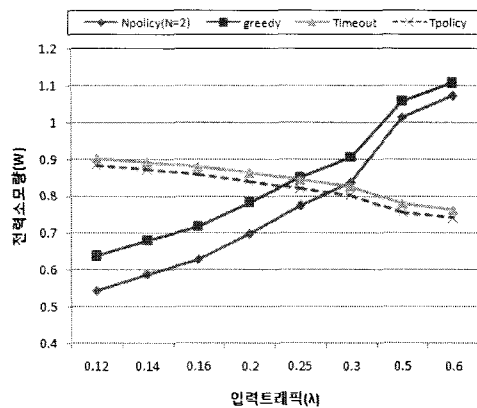


그림 8. 입력트래픽에 따른 전력소모량

패킷 지연인 큐의 상태를 고려한 greedy기법, N-Policy기법은 입력 트래픽이 증가할수록 전력소모량

이 증가하고, 타임아웃기법과 T-Policy기법은 입력 트래픽이 증가할수록 전력 소모량이 감소하는 것을 보여준다. 입력 트래픽 λ 가 0.3이상인 경우 전력 소모량이 타임아웃기법과 T-Policy기법이 적어짐을 알 수 있다.

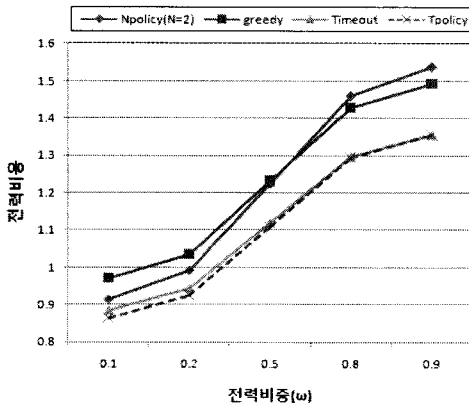


그림 9. 전력비중에 따른 전력비용($\lambda=0.3$)

[그림 9]는 입력 트래픽 λ 가 0.3인 경우 전력 비중 ω 에 따른 전력비용을 비교한 결과이다. 전력 비중이 증가될수록 전력비용은 증가한다. 큐의 상태를 고려하는 greedy기법과 N-Policy기법에서 $\omega=0.8$ 일 때 greedy기법이 N-Policy기법보다 전력비용이 줄어든다.

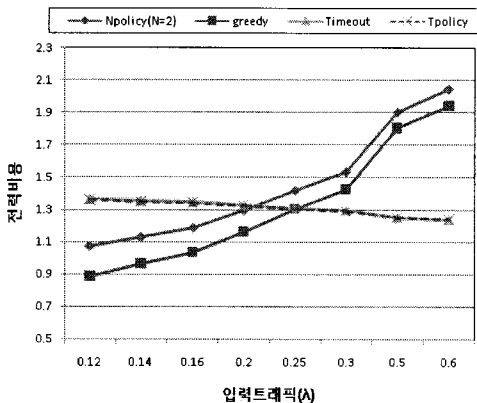


그림 10. 입력트래픽에 따른 전력비용

[그림 10]은 $\omega=0.8$ 인 경우의 입력 트래픽에 따른 전력

비용을 비교한 결과이다. 입력트래픽이 증가할수록 전력소모량은 greedy 기법이 N-Policy기법보다 많았으나 전력비용은 그 반대로 적어짐을 알 수 있으며 전체적으로는 T-policy 기법이 가장 적은 전력 소모와 전력비용을 가짐을 보여준다.

전력 소모량과 마찬가지로 입력 트래픽 λ 가 0.3이상인 구간에서 타임아웃기법과 T-Policy기법이 greedy 기법과 N-Policy기법 보다 적어짐을 알 수 있고 그 차이가 커짐을 보여준다.

V. 결론 및 향후과제

전력관리는 전력 상태와 시스템 부하의 두 요소를 함께 고려해야 하며, 이들 두 요소는 CTMC에 기반한 추계적 모델로 처리될 수 있다. 본 논문에서는 추계적 모델을 복잡한 해석적 분석방법대신 모델에서 보상 개념과 발사조건 함수에 의하여 쉽게 표현함으로써 다양한 전력관리를 보다 수월하게 수행할 수 있는 SRN 모델링 기법을 제시하였다.

또한 전력소모량과 시스템 큐에서 대기 중인 패킷 수를 나타내는 지연비용은 상반관계에 있다. 이 두 요소를 함께 고려한 전력비용을 정의하고 모델링에 의하여 적응적 타임아웃 기법과 다른 전력관리 기법과의 성능 비교를 수행하였다.

타임아웃 및 수면상태 구간의 값을 동적으로 변화시키고 트래픽에 따른 최적 구간 값을 구하는 최적화 문제가 향후 연구과제이다.

참고 문헌

- [1] 송명렬, “저전력 무선접속에서 비콘 탐색”, 한국통신학회논문지, 제32권, 제2호, pp.365-372, 2007.
- [2] C. Poellabauer and 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.

[3] IEEE 802.11 Standard, "Part II : Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," IEEE Computer Society, 1999.

[4] L. Benini, A. Bogliolo, and G. D. Micheli, "A survey of design techniques for system-level dynamic powermanagement," IEEE Trans. ,Vol. 8, pp.299-316, 2000.

[5] G. Ciardo, A. Blakemore, and P. F. Chimento, "Automated generation and analysis of Markov reward models using stochastic reward nets," Linear Algebra, Markov Chains, Queuing Models, IMA Volumes in Mathematics and its Applications(C. Meyer & R. J. Plemmons, Eds), Vol.48, pp.145-191, 1993.

[6] G. A. Paleologo and L. Benini, "Policy Optimization for Dynamic Power management," Proceedings of Design Automation Conference, pp.182-187, 1998(6).

[7] Q. Qinru and M. Pedran, "Dynamic power management based on continuous time Markov decision processes," ACM, pp.555-561, 1999.

[8] K.S.Trivedi, "SPNP Users Manual, Version 6.0," Technical report, Duke Univ., 1999.

[9] B. Bougard, S. Pollin, G. Lenoir, D. P. L. Van, F. Catthoor, and W. Dehaene, "Energy-aware radio link control for OFDM-based WLAN," IEEE Workshop on Signal Processing Systems, pp.18-23, 2004.

[10] C. I. Oliver, H. Choi, and K. S. Trivedi, "Performance Evaluation of Client-Server Systems," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol.4, No.11, pp.1217-1229, 1993(11).

[11] Mainkar and K. S. Trivedi, "Sufficient Conditions for the Existence of a Fixed point in Stochastic Reward Net-Based Iterative

Models," IEEE Transactions on Software Engineering archive, Vol.22, No.9, pp.640-653, 1996(9).

저자 소개

노철우(Cheul-Woo Ro)

중신회원



- 1980년 2월 : 서강대학교 물리학과(학사)
- 1982년 2월 : 동국대학교 전자계산학과(석사)
- 1995년 8월 : 서강대학교 전자계산학과(박사)

• 1991년 ~ 현재 : 신라대학교 컴퓨터정보공학부 정교수

<관심분야> : 이동통신 시스템, 통신 프로토콜 설계/검증/시험, 페트리 넷 모델링 및 성능, RFID, 임베디드 시스템

김경민(Kyung-Min Kim)

정회원



- 1993년 2월 : 신라대학교 전자계산학과(이학사)
- 2000년 8월 : 신라대학교 컴퓨터교육학과(교육학석사)
- 2005년 ~ 현재 : 신라대학교 컴퓨터정보공학부 박사과정

<관심분야> : 이동통신 시스템, 페트리 넷 모델링 및 성능, RFID, 임베디드 시스템