

# Stochastic Activity Network 모델을 이용한 HNCP 홈 네트워크 성능 평가

이제민, 명관주, 이감록, 전요셉, 권옥현,  
서울대학교 전기 컴퓨터공학부  
e-mail : ljmpaul@cisl.snu.ac.kr

## Performance Evaluation of HNCP Home Network Using Stochastic Activity Network Models

Jae-Min Lee, Kwan-Ju Myoung, Kam-Rok Lee, Joseph Jeon, and Wook Hyun Kwon  
School of Electrical Engineering and Computer Sciences,  
Seoul National University

### Abstract

In this paper, performance evaluation of HNCP home networks using stochastic activity network models is proposed. HNCP is a home network protocol for controlling and monitoring home appliances using power line communication. a CSMA/CA with packet drop method is used in HNCP MAC layer. Using the proposed stochastic activity network models, performances of HNCP home networks with error-free environment and error environment are evaluated.

### I. 서론

전력선 통신망에 기반한 홈네트워크 프로토콜로서 HNCP(Home Network Control Protocol) 스펙이 제안되었다[1]. HNCP 스펙의 유용성을 증명하기 위한 여러 가지 분석이 제시되었다[2,3].

[2]의 논문에서는 HNCP 홈네트워크를 큐잉 모델을 이용하여 분석하였다. 그러나 이 논문에서는 HNCP 홈네트워크 사용된 임의의 회사의 모델 파라미터를 기준으로 하였고 제안된 MAC 모델에서 binary exponential backoff 부분을 평균값으로 가정하여 분석

하였다. [3]의 논문에서는 실제 실험을 기반으로 평균 전송지연시간에 대한 분석을 하였다. 그러나, 이것은 1 대1 모델에서 분석한 것으로 다수의 노드가 포함된 HNCP 홈네트워크 성능을 평가하는 것에는 어려움이 있다. 또한, HNCP 스펙에서는 MAC(Medium Access control) 으로 CSMA/CA를 사용한다는 것만 언급을 하고 최대, 최소 Contention Window 크기, slot의 크기 등은 결정되지 않았으므로 HNCP 홈 네트워크 성능을 최적화 하기 위해서는 HNCP MAC 성능에 대한 정확한 분석이 필요하다.

본 논문에서는 Stochastic Activity Network(SAN) 모델을 제안하여 다수의 노드가 포함된 HNCP 홈네트워크에서의 MAC 성능에 대해 분석하였다. 이때 에러가 없는 환경과 에러가 있는 환경을 전제로 하였다. 에러가 있는 환경은 실제 전력선 통신환경을 모델링한 것으로 에러에 대한 파라미터는 [3] 논문의 실험값을 사용하였다.

본 논문은 2장과 3장에서 본논문에서 사용하는 SAN과 HNCP MAC에 대해 설명한다. 4장에서는 제안된 HNCP SAN 모델에 대해 설명하고 5장에서 성능평가 결과를 제안한다. 마지막으로 6장에서 결론 및 향후 연구방향에 대해 언급한다.

### II. Stochastic Activity Network

Stochastic Activity Network 은 Petri-Net을 확률적으로 확장한 모델로서 input gate, output gate, case가 추가되어 있어 하나의 트랜지션에 대한 확률적인 모델을 쉽게 구현할 수 있다. SAN에서 사용되는 주된 프리미티브는 다음 그림1과 같다.

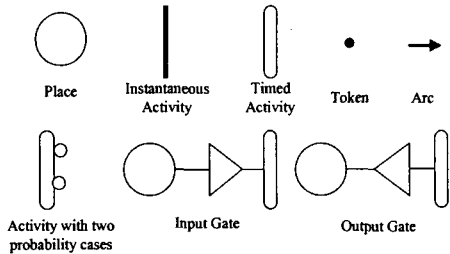


그림1. SAN 프리미티브 오브젝트

Places - 모델로 표시된 시스템의 상태를 나타낸다. 각각의 Place는 일정 개수의 Token을 가진다. 이것을 그 Place의 마킹이라고 한다.

Activities - transition과 같이 시스템에서의 동작을 표시한다. Timed activity와 Instantaneous activity로 구분되며 Timed activity는 일정시간의 시간 경과를 가지는 activity로 이 시간 경과에 일반적인 확률 분포를 가진다. Instantaneous activity는 그 동작의 시간 경과가 무시할 수 있을 만큼 작을 경우를 나타낸다. 또한 Case probability를 가진 Activity가 있다. 이때 각 case에 확률을 할당할 수 있으며 이는 동작 후의 불확실성을 모델링할 수 있다.

Input gate - 연결된 place의 마킹에 의한 조건식에 의해 뒤에 연결된 activity의 동작 여부를 결정한다.

Output gate - 연결된 Activity의 동작 완료 후 뒤에 연결된 Place의 마킹을 결정한다.

본 논문에서는 SAN 모델을 분석하기 위해 UltraSAN 툴을 사용한다. UltraSAN은 SAN 모델을 위한 Graphic editor를 제공하고 global variable를 설정하여 성능 분석을 위한 여러 가지 실험을 할 수 있도록 설정할 수 있다. 또한 해석적인 방법이나 시뮬레이션을 이용한 성능 분석이 가능하다. 자세한 것은 [4]를 참조한다.

### III. HNCP 홈 네트워크에서의 MAC

HNCP는 저속 전력선 통신 기반에서 가전기기를 제어 및 감시하기 위한 프로토콜로서 4계층 구조를 가진다. 전체 패킷의 구조는 다음 그림 2와 같다.

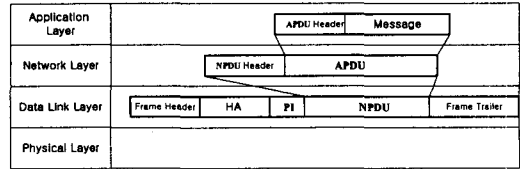


그림 2. HNCP 패킷 구조 및 계층 구조

HNCP 홈 네트워크에서는 9600 bps의 전력선 통신을 사용하며 최대 MAC 프레임 길이는 124 byte이며 최소는 14 byte 이다.

HNCP 홈 네트워크에서의 MAC은 CSMA/CA를 사용하여 이는 전력선도 무선과 거의 비슷한 특성을 가지고 있기 때문이다. 그러므로, 본 논문에서는 HNCP MAC를 IEEE 802.11 Basic Access based two-way handshaking DCF(distributed coordination function)을 사용한다는 가정하에 각각의 파라미터를 결정한다[5]. Basic Access 방법은 다음과 같다. 임의의 스테이션에서 프레임을 전송하려면

- 1) 채널을 센싱한다.
- 2) 만약 채널이 DIFS(DCF interface Space) 보다 긴 시간동안 idle 이면 프레임을 전송하고 ACK 프레임을 기다린다.
- 3) 다음과 같은 경우 backoff 모드로 들어간다. a) 채널이 DIFS(또는 NACK 응답 후 EIFS) 보다 짧은 시간에 free 인 경우, b) 정해진 시간내에 ACK가 도착하지 않은 경우, c) 같은 스테이션에서 연속으로 프레임을 전송할 경우

성공적인 프레임 수신 후에 수신 스테이션에서는 ACK를 전송한다.

Backoff 방법은 Slotted binary exponential backoff 방법을 사용한다. backoff 시간은 식(1)에 의해 결정되고 BackoffCounter는  $[0, CW]$  사이의 uniform distribution을 가진다.

$$BackoffTime = BackoffCounter \times aSlotTime \quad (1)$$

$$CW = (aCW_{min} + 1)2^{b^c} - 1 \quad (2)$$

또한 CW는 식(2)에 의해 결정된다. 또한 채널이 busy 인 상태에서는 backoff 된 스테이션에서는 backoff counter의 카운트를 중단하고 idle 일 경우 backoff counter의 카운트를 재개한다. 현재 최소 CW크기는 정해져 있지 않다. 그러므로 본 논문에서는 16 slot에서 128 slot을 최소 CW 크기로 하여 성능을 분석한다. 그리고, 스펙에 의해 최대 3회 재전송하고 이때 CW 크기는 증가한다. 최대 3회 재전송으로 실패할 경우 이 패킷은 전송실패로 상위 계층에 보고하고 drop시킨 후 다음 패킷을 재전송한다.

HNCP MAC 성능분석을 위한 파라미터는 다음 표

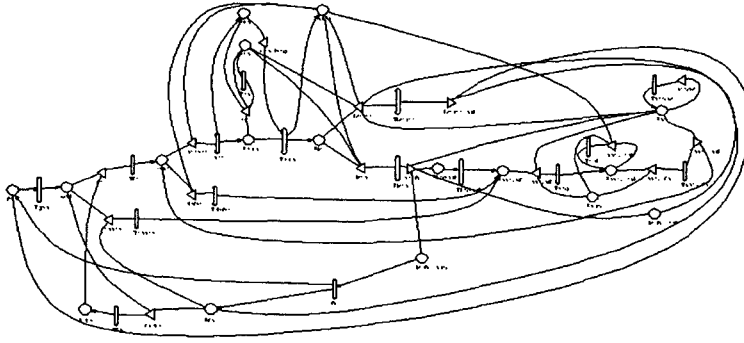


그림 3. 스테이션 subset 모델

1과 같이 결정한다.

표1. HNCP MAC 파라미터

Parameter	value
<i>aSlotTime</i>	0.2 msec
<i>aPLPropagationTime</i>	0.001 msec
<i>aCCATime</i>	0.1 msec
<i>aRxTxTrunaroundTime</i>	0.05 msec
<i>DIFS</i>	15 msec (75slots)
<i>SIFS</i>	3 msec (15 slots)
<i>Timeout</i>	75 msec (375 slots)
<i>aCWmin</i>	16, 32, 64, 128 slots
<i>bcnax</i>	2
<i>MaxFrameLength</i>	124 bytes
<i>MinFrameLength</i>	14 bytes
<i>ACK</i>	5 bytes
<i>B (data rate)</i>	9600 bps
<i>MaxReTxNumber</i>	3, 4

#### IV. HNCP MAC SAN 모델

##### 4.1 Error-free 환경에서의 HNCP 모델

본 논문에서 제안된 HNCP MAC에 대한 SAN 모델은 하나의 스테이션에 대한 subset 모델과 이를 중첩해서 다수의 노드를 가진 HNCP 홈 네트워크를 모델링한 composed 모델로 구분된다. 하나의 스테이션 subset 모델은 그림 3과 같고 기본적인 CSMA/CA 모델은 [5]에서 제안한 모델을 기반으로 한다. 하나의 스테이션은 트래픽 생성 파트, 채널 센싱 파트, binary exponential backoff 방법 파트로 나누어져 있으며 composed 모델은 그림 4의 (a)와 같다. 스테이션 subset 모델에서 Place **free**는 free 버퍼를 나타내며, activity **Tgen**에 의해 하나의 프레임이 전송대기상태인 place **wait**로 토큰이 이동한다. **Tgen**은

exponential distribution을 가진다. 채널의 상태는 place **busy**와 **vuln**의 마킹에 의해 표시되며 만약 채널이 busy 이면 backoff 모드로 들어간다. 채널이 idle 이면 place **vuln**, **busy**에 마킹이 없는 상태를 의미한다. place **vuln**과 activity **Tvuln**은 채널을 센싱하고 전송을 시작하기전 다른 스테이션에서 전송을 시작해서 충돌이 발생하는 상황을 모델링한 것으로서 place **vuln**에 마킹이 있으면 이 프레임의 전송은 실패로 보고 activity **Ttxcoll**을 동작한 후 backoff 모드로 들어간다.

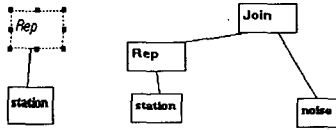
만약 **vulnerable** 기간에도 충돌이 발생하지 않으면 이 프레임은 정상적으로 전송한 것으로 판단하여 activity **Ttxsucc**을 동작한다. 이때 place **Pbc** 값을 0으로 마킹하여 **bc**를 0으로 정의하고 place **free**에 token을 추가한다. 또한, 전송할 프레임이 있으면 activity **Icnse**를 통해 backoff 모드로 들어가고 전송할 프레임이 없으면 **Tgen**을 통해 place **wait**에 token을 추가한다. **Ttxsucc**, **Ttxcoll**은 uniform distribution을 가진다.

backoff 모드에서는 먼저 랜덤하게  $[0, CW]$ 의 값을 선택한 후 place **Bnum**에 저장한다. 이후 activity **Tslot**을 동작하여 backoff counter를 카운트한다. 이후 **bc**값을 나타내는 place **Pbc**를 증가시킨 후 다시 채널을 센싱한다. 이때 재전송 횟수를 카운트하여 **MaxReTxNumber**와 같으면 이 패킷은 drop한 후 place **free**에 token을 추가한다.

##### 4.2 Error 환경에서의 HNCP 모델

PLC 통신에서 여러 가지 노이즈나 채널 감쇄에 의한 에러에 의해 채널이 busy인 상태로 있을 수 있다. 이는 다음 노이즈 생성 subset 모델로 표현할 수 있고 그림4의 (b)와 같이 4.1 절에서 제안된 composed 모델

에 join으로 추가할 수 있다. 그림5는 제안된 노이즈 생성 subset 모델과 composed 모델이다. 이때 activity noise\_gen은 exponential distribution으로 표시하며 실험에 의한 PER = 0.06을 사용하였다.



(a) Error-free 환경 (b) Error 환경  
그림 4. composed 모델

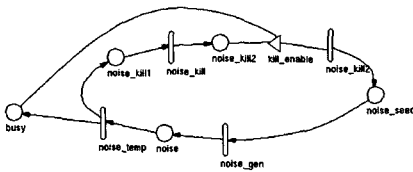


그림 5. 노이즈 생성 subset 모델

## V. 성능 분석

제안된 모델에 대한 성능 분석은 다음과 같다. 성능 지표로는 throughput,  $S$ 와 mean waiting time,  $W$ 가 사용되었고 HNCP 홈 네트워크에  $N$ 개의 스테이션이 포함되어 있고 각 스테이션의 buffer 크기는  $K$ 이다. 전체 홈네트워크에서의 트래픽 양은 virtual load,  $V$ 에 의해 표시한다.  $T_{gen}$ 에서의  $\lambda$ 는 고정된 프레임 길이  $L$ 인 프레임을 전송할 경우를 가정한다. 본 논문에서는  $L=50$  bytes를 가정한다. 이때 virtual load와 throughput, mean waiting time은 다음 식(3), (4), (5)에 의해 구할 수 있다.

$$V = \frac{N\lambda L}{B} \quad (3)$$

$$S = \frac{E\{\#T_{gen}\}NL}{B} \quad (4)$$

$$W = \frac{(K - E\{\#free\})}{E\{\#T_{gen}\}} \quad (5)$$

여기서  $E\{\#T_{gen}\}$ 는 activity  $T_{gen}$ 의 평균 동작 시간을 나타내고  $E\{\#free\}$ 는 place  $free$ 의 평균 마킹 개수를 나타낸다. 그림 6은  $N=20$ ,  $CW_{min} = 128$ ,  $MaxReTxNumber = 3$ 에서 throughput과 mean waiting time에 대한 시뮬레이션 결과에 대한 그래프이다. 노이즈에 의해 throughput은 감소하고 mean waiting time은 증가한 것을 볼 수 있다.

## V. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 HNCP 홈 네트워크에 대한 성능 분석을 위한 SAN 모델을 제안하였다. 향후 성능 분석 결과를 바탕으로 최적의 파라미터를 선택하고 성능향상을 위한 방법에 대한 연구를 할 예정이다.

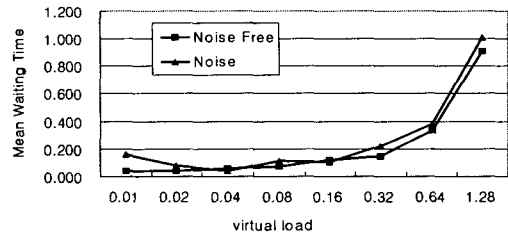
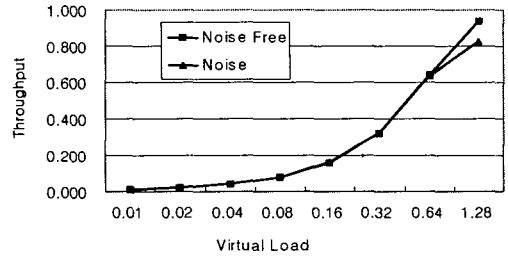


그림 6. 시뮬레이션 결과

## 참고문헌

- [1] Home Network Control Protocol Spec. Ver. 1.0, PLC Forum Korea, 2003
- [2] 이재민, 명관주, 김동성, 권옥현, 고범석, 김요희, "전력선 통신에서의 HNCP 홈네트워크의 전송지연 분석", 2002 대한 전자 공학회 추계학술대회 학술지, Vol. 25, No. 2, pp. 653-656
- [3] 이감독, 이재민, 명관주, 권옥현, 김요희, "전력선 환경을 고려한 CSMA/CA MAC 프로토콜의 성능 분석", 2003 대한 전기학회 하계학술대회 학술지, Vol. 4, No. 1, pp2663-2665, 2003
- [4] UltraSAN User's Manual Ver. 3.0, Center of Reliable and High-Performance Computing Coordinated Science Lab, Univ. of Illinois at Urbana-Champaign, 1995
- [5] R. German and A. Heindl, "Performance Evaluation of IEEE 802.11 Wireless LANs with Stochastic Petri Nets," Proceedings of 8th workshop on Petri Nets and Performance Models, pp. 44-53, 1999