

# 랜덤액세스 네트워크에서의 지연된 베이시안 제어의 영향

Jie Liu, Hu Jin  
한양대학교, 전자공학과

liujie@hanyang.ac.kr, hjin@hanyang.ac.kr

## Effect of Delayed Bayesian Control in Random Access Networks

Jie Liu, Hu Jin  
Department of Electrical and Electronic Engineering, Hanyang University

### 요약

랜덤액세스 네트워크를 운영함에 있어 가장 어려운 부분은 네트워크에 있는 사용자 수를 모르는 것이다. 또한 이러한 사용자들의 패킷 전송은 랜덤으로 이루어 지기에 채널에서는 Idle, Success, Collision 현상이 확률적으로 발생한다. 채널에 대한 관찰을 통하여 Bayesian Estimation 을 응용하면 네트워크에 있는 사용자수를 확률적으로 추정 가능하며 그에 따른 사용자들의 최적의 전송확률을 도출할 수 있다. 본 논문에서는 사용자들의 패킷 전송 확률 업데이트에 지연이 있을 경우에 대한 전송 제어에 대하여 토의한다.

### I. 서론

Slotted ALOHA (S-ALOHA)는 랜덤액세스 네트워크 운영을 위한 가장 클래식한 프로토콜이며 그 성능향상을 위한 연구는 꾸준히 진행되어 왔다. Rivest [1]는 pseudo-Bayesian Broadcasting (PBB) 알고리즘을 제안함으로써 네트워크의 사용자 수를 모르는 상황에서 최대 Throughput 0.368 packets/slot 을 달성 가능함을 보여주었다. 그 핵심아이디어로는 채널에서의 Idle, Success, Collision 현상에 대한 관찰을 통하여 Slot 마다 사용자 수를 Bayesian Estimation 방식으로 추정하고 최적의 전송 확률을 도출하여 사용자들한테 적용하였다. 하지만 현실적으로 기지국은 실시간으로 최적의 전송 확률을 사용자들한테 알려주기 어려울 수 있으며 본 논문에서는 이러한 상황에서의 전송 제어를 위한 알고리즘을 제안하고 그 성능을 분석하고자 한다.

### II. 본론

네트워크에서의 채널 시간은 Slot 으로 균등하게 나누어져 있으며 하나의 Slot 의 길이는 패킷 하나를 전송하는 시간에 해당된다. 네트워크에 있는 활성화된 사용자들은 Unit-Size 버퍼를 갖고 있으며 버퍼에 있는 패킷 전송이 성공적으로 이루어 지면 비활성화 상태로 된다. 활성화 되어 있는 사용자들은 확률  $p$  로 패킷을 전송한다. 따라서 하나의 Slot 에서 동시에 전송하는 사용자의 수에 따라 채널에서는 Idle, Success, Collision 현상이 발생할 수 있다. 오직 한 명의 사용자가 전송하는 경우에 Success 현상이 발생한다. 네트워크에 새로운 사용자들은 Poisson 프로세스로 도착하며 평균 Arrival Rate 은  $\lambda$  (packets/slot)이다. 패킷의 수신자인 기지국은 주기적으로 전송확률  $p$  를 Broadcast 할 수 있으며 그 주기를  $T_{update}$  로 정의한다.  $T_{update}$  의 값이 1 이면 매 Slot 마다 전송 확률을 Update 하게 된다.  $T_{update}$  의 값이 작을 수록 네트워크에서의 Control Overhead 가 커지게 되며 네트워크 운영에서 부담이 커지게 되지만 실시간으로 네트워크서의 패킷 전송을 최적으로 제어할 수 있기에 보다 높은 성능을 달성할 수 있다.

네트워크에서의 활성화된 사용자 수에 대한 분포를 Poisson 으로 가정하고 Slot  $t$ 에서의 분포의 평균을  $\nu_t$ 로 설정한다. 채널에서의 Idle, Success, Collision 에 해당되는  $\nu_t$ 의 업데이트는 Bayesian Rule 에 기반하여 계산할 수 있으며 그 결과를 아래의 제안하는 알고리즘에 정리하였다. Idle 현상이 발생하면 현재의 추정 사용자수보다 실 사용자수가 적음을 설명하며 알고리즘의 Line 3 과 같이  $\nu_t$  값을 줄여준다. Success 현상이 발생하면 현재의 추정 값이 나뉘 정확함을 의미하며 알고리즘의 Line 5 와 같이  $\nu_t$ 를 업데이트 한다. 만약 Collision 현상이 발생하면 현재의 추정 값보다 사용자 수가 더 많음을 의미하며 알고리즘의 Line 7 과 같이 업데이트 한다. 매  $T_{update}$  마다 최적의 전송 확률의 현재의 추정 사용자 수 값에 기반하여 Line 10 과 같이 업데이트하여 기지국은 사용자들에게 Broadcast 한다.

#### Algorithm:

1. Do the following at  $t = 1, 2, \dots$
2. If the current slot is **idle** then
3.  $\nu_t = \max(\nu_{t-1} - \nu_{t-1} \cdot p, 1)$
4. Else if the current slot is **success** then
5.  $\nu_t = \max(\nu_{t-1} - \nu_{t-1} \cdot p + 1, 1)$
6. Else if the current slot is **collision** then
7.  $\nu_t = \max\left(\nu_{t-1} + \frac{(\nu_{t-1}p)^2 e^{-\nu_{t-1}p}}{1 - e^{-\nu_{t-1}p} - p \nu_{t-1} e^{-\nu_{t-1}p}}, 1\right)$
8. End if
9. If every  $T_{update}$  slot then
10.  $p = \min\left(\frac{1}{\nu_t}, 1\right)$
11. Broadcast  $p$  for the use in the next slot.
12. End if

### III. 결과

랜덤액세스 네트워크에 대한 시뮬레이션을 수행을 통해 제안하는 알고리즘의 성능을 분석하였다. 아래의 그림은 네트워크의 사용자들의 Arrival rate 에 따른 Average access delay 성능을 보여준다. 특히 다양한  $T_{update}$  의 값을 설정하며 결과를 도출하였다. 그림에서 보여주듯이  $T_{update}$  가 클 수록 Average access delay 는 더 커지는 것을 확인 할 수 있지만 Stable 한 Arrival rate 영역은 비슷함을 확인할 수 있다.

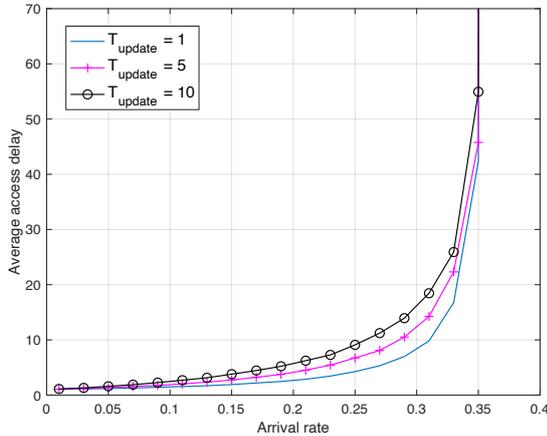


Fig. 1: Average access delay vs. arrival rate

### IV. 결론

본 논문에서는 랜덤액세스 네트워크에서의 전송 확률을 활성화된 사용자 수에 대한 추정 값을 이용하여 실시간으로 제어하는 알고리즘을 제안하였다. 특히 전송 확률을 매 Slot 마다 업데이트하기 어려운 현실적인 문제를 고려하였으며 업데이트 주기가 시스템 성능에 일으키는 영향을 관찰하였다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 '5G 기반 IoT 핵심기술 개발 사업'의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2020-0-00167, 5G+ 스마트시티 환경에서 무선 연결성 효율 증대를 비면허대역 Massive IoT 무선 접속 핵심 기술 개발)

### 참 고 문 헌

- [1] Rivest R. L. "Network control by Bayesian broadcast." *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. IT-33, no. 3, pp. 323-328, Apr. 1987.