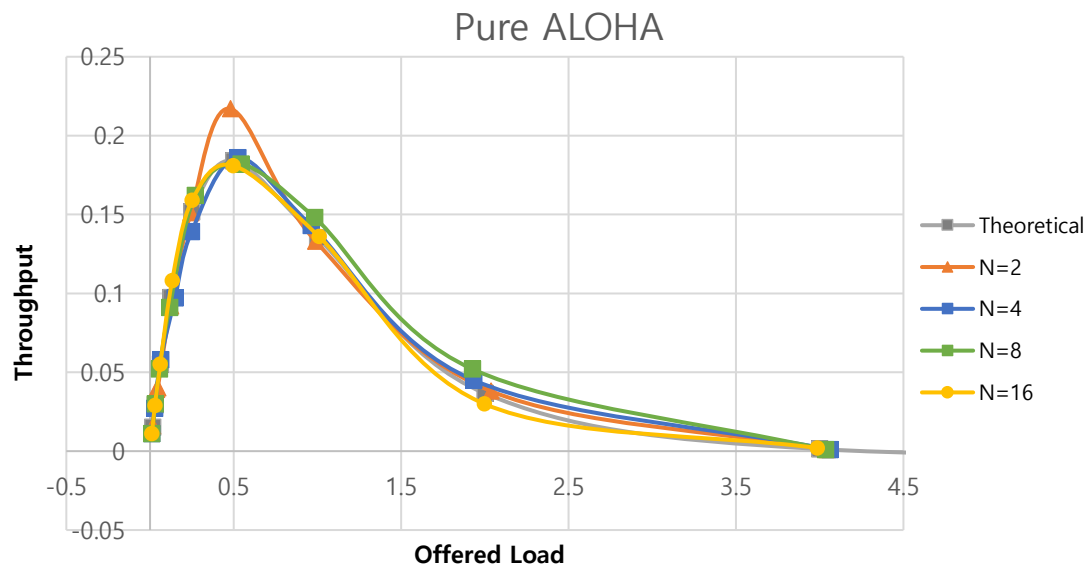


통신네트워크 Project #3

2018142059 김서영

<Simulation Result>

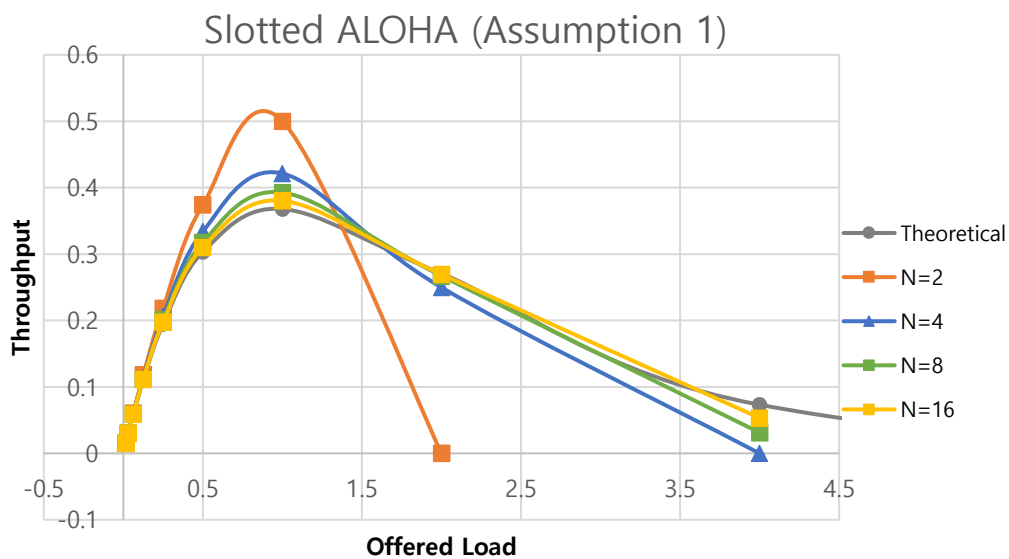
• Pure ALOHA



Pure ALOHA에 대해 simulation을 수행하였을 때 노드의 개수 N에 따른 Offered load vs Throughput의 그래프는 위와 같이 나타났다. Theoretical 그래프의 식은 $S = G * e^{-2G}$ 이다.

• Slotted ALOHA

- Assumption 1



Assumption 1을 따르는 Slotted ALOHA에 대한 simulation에 대해 수행하였을 때 노드의 개수에

다른 Offered Load vs Throughput의 그래프는 위와 같이 나타났다. Theoretical 그래프의 식은 $S = G * e^{-G}$ 를 사용하였다. N=2의 그래프는 Offered Load가 4일 때의 Throughput이 나타나지 않는데, 이는 노드의 수보다 더 많은 Transmit 시도가 일어날 수 없기 때문으로, 실제 Theoretical offered Load가 4이더라도, Experimental offered load는 최댓값인 노드의 수=2.0으로 나타난다.

N=2

Offered load= Expected value of Transmitted Frame/sec

Throughput= # of success/sec

(Theoretical Offered load Theoretical throughput), (Experimental Offered load Experimental throughput)

(0.015625 0.01538276)	(0.01544700 0.01531700)
(0.031250 0.03028854)	(0.03095000 0.03043200)
(0.062500 0.05871332)	(0.06269400 0.06082200)
(0.125000 0.11031211)	(0.12585800 0.11798200)
(0.250000 0.19470020)	(0.24936900 0.21854500)
(0.500000 0.30326533)	(0.50010100 0.37413900)
(1.000000 0.36787944)	(1.00125600 0.49981200)
(2.000000 0.27067057)	(2.00000000 0.00000000)
(4.000000 0.07326256)	(2.00000000 0.00000000)

▲Slotted ALOHA Assumption 2의 simulation 결과 중 N=2일 때.

Simulation을 구현하기 위한 코드의 핵심 부분은 다음과 같다.

Slotted_Aloha_1.c

```
...
while(totalRate <= 4.0/ Slot)
{
    p=sqrt((totalRate)/N); //probability that a node will transmit a frame
    channel = IDLE;
    total_frame_transmitted = 0;
    suc = 0;
    txEndTime = -1;
    tick = 0;
}

...

while(tick < SIMTIME) //Time slots
{
    for(int i=0; i < N; i++)
    {
        frame_transmitted=0;
```

```

//Fill the codes (frame_transmitted)//
//Arrival
if(rnd() >= p) continue;

//Transmission
if(rnd()<p)
{
    total_frame_transmitted++;
    frame_transmitted++;
}

if(channel == IDLE && frame_transmitted!=0)
{
    channel = TRANSMIT;
}

else if(frame_transmitted!=0)
{
    channel = COLLISION;
}
}

//Channel
if(channel==TRANSMIT)
{
    suc++;
}
channel = IDLE;

...

printf("\n");
fprintf(fp, "(%.6f %.8f)\t(%.8f %.8f)\n",
    totalRate * Slot,
    totalRate * Slot * exp(-1 * totalRate * Slot),
    (double)(total_frame_transmitted) / SIMTIME * Slot,
    (double)(suc) / SIMTIME * Slot);

```

Assumption 1에서의 offered load(transmission 시도 횟수)는 packet이 생성될 확률 p 와 패킷을 전송할 확률 p 의 곱이라고 할 수 있다. 따라서, 앞에서의 pure ALOHA와 같은 offered load를 simulation에 적용하기 위해서는 $p = \sqrt{(totalRate)/N}$ 하여야 한다.

또한, Channel에서 하나의 노드만이 Frame을 전송할 때만 Collision이 일어나지 않고 정상적으로 Transmit 되도록 코드를 작성하였다.

Slotted ALOHA의 throughput을 구하기 위하여 먼저 slotted ALOHA의 efficiency 식을 미분하여 최적의 p 의 값을 다음과 같이 구하였다.

$$\text{Transmission Success Probability} = Np(1-p)^{N-1}$$

이에 대해 미분하면,

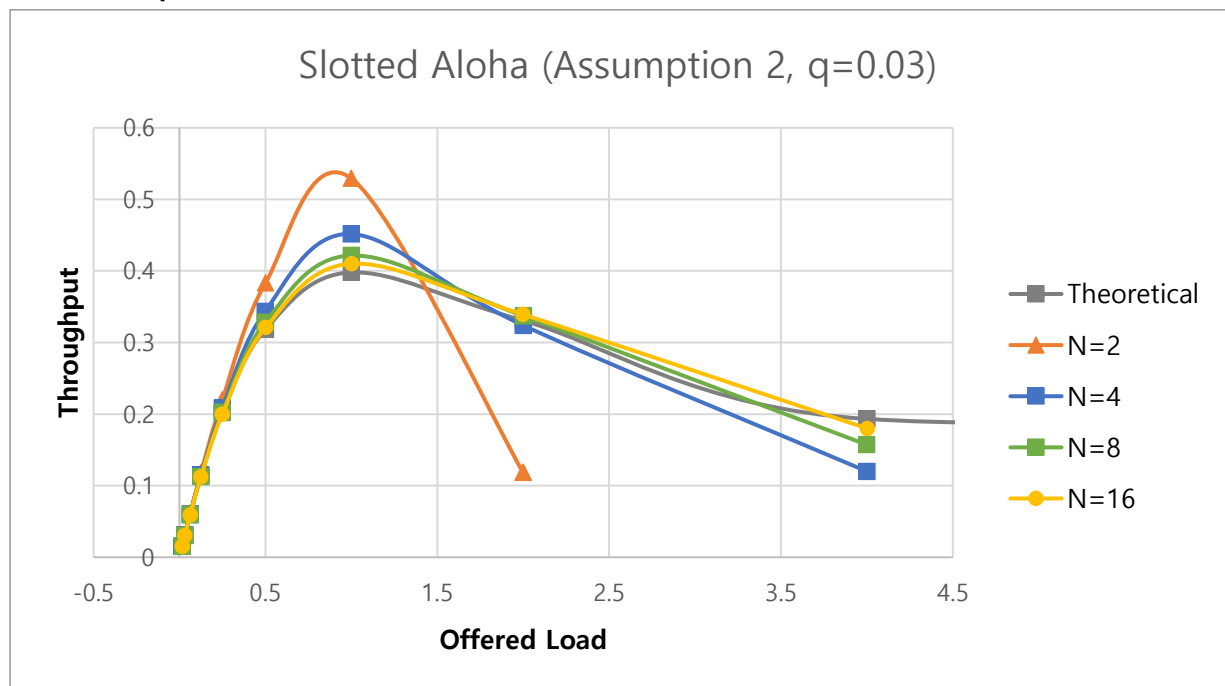
$$\begin{aligned} & N(1-p)^{N-1} - Np(N-1)(1-p)^{N-2} \\ &= N(1-p)^{N-2}\{(1-p) - p(N-1)\} \\ &= N(1-p)^{N-2}(1-Np) \end{aligned}$$

최적의 p 인 p^* 값은 $1/N$ 임을 알 수 있다. 이 $p^* = 1/N$ 를 p 에 대입하고, $N \rightarrow \infty$ 한 극한값을 구하면

$$\lim_{N \rightarrow \infty} (1 - 1/N)^{N-1} = 1/e$$

으로 maximum efficiency를 구할 수 있으며, 이를 이용하여 시뮬레이션 코드에서 Offered Load가 totalRate * Slot일때, Theoretical Throughput 은 totalRate * Slot * $\exp(-1 * \text{totalRate} * \text{Slot})$ 로 둘 수 있다.

- Assumption 2



Assumption 2에서 $q=0.03$ 일 때 N 의 변화에 따른 Offered Load vs Throughput 그래프는 위에 나타난 것과 같다. Assumption 1에서와 같이 $N=2$ 의 그래프는 Offered Load가 4일 때의 Throughput이 나타나지 않는다. Theoretical 그래프의 식은 $S = G * (1 + e^{-G})$ 이다.

Assumption 2에 대한 Simulation을 구현하기 위한 코드의 핵심 부분은 다음과 같다.

Slotted_Aloha_2.c

```
...
while(totalRate <= 4.0/ Slot)
{
    p=sqrt((totalRate)/N); //probability that a node will transmit a frame
    q = 0.03;
    channel = IDLE;
    total_frame_transmitted = 0;
    suc = 0;
    txEndTime = -1;
    tick = 0;
}
...
while(tick < SIMTIME) //Time slots
{
    frame_transmitted = 0;
    transmitted_without_collision = 0;

    for(int i=0; i < N; i++)
    {
        //Fill the codes (frame_transmitted)//
        //Arrival: Frame obtained when prob < p
        if(rnd() >= p) continue;

        //Transmission: Frame transmitted when prob < p
        if(rnd()<p)
        {
            total_frame_transmitted++;
            frame_transmitted++;

            //Frame can be transmitted without collision when prob < q
            if(rnd()<q) transmitted_without_collision ++;
        }

        if(channel == IDLE && frame_transmitted==1)
        {
            channel = TRANSMIT;
        }

        else if(frame_transmitted-transmitted_without_collision > 1)
        {
            channel = COLLISION;
        }
    }
}
```

```

//Channel
if(channel==TRANSMIT)
{
    suc+=frame_transmitted;
}
else if(channel==COLLISION)
{
    suc+=transmitted_without_collision;
}
channel = IDLE;
...

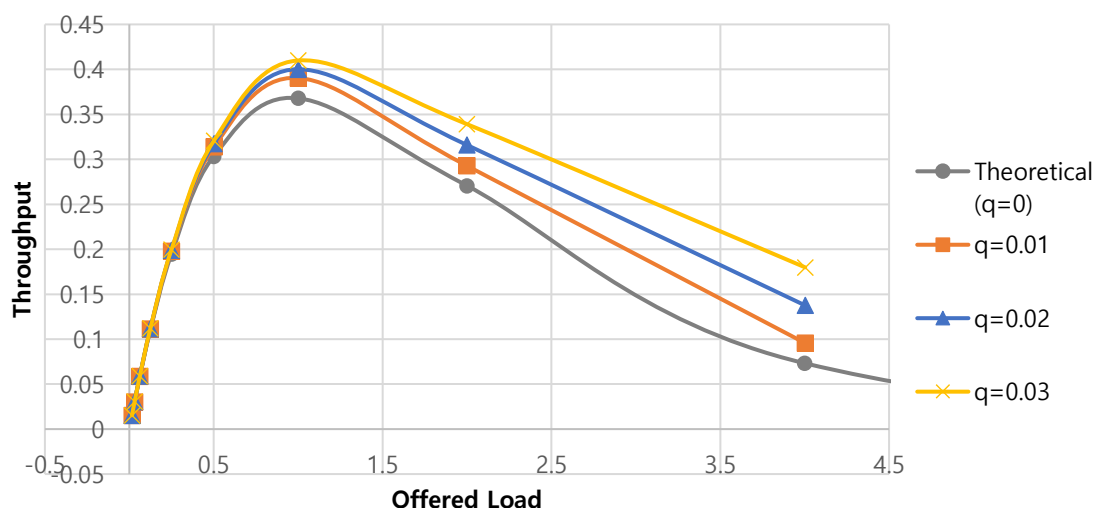
```

Slotted Aloha Assumption 2에서는 먼저 q 값을 지정해준다. 또한 전송 시도되는 frame의 수와 collision이 일어나지 않는 전송의 수를 각 time slot마다 구하여, 전송 시도되는 frame의 수가 0일 때 Channel은 IDLE, 1개일 때 Channel은 정상적으로 Transmit하며, (전송 시도되는 frame의 수 - Collision 없이 일어나는 전송의 수)가 2 이상이 되면 Collision이 일어난다고 분류하였다.

따라서 Collision이 없다면 전송되는 모든 frame이 전송에 성공하고, Collision이 발생한다면 collision 없이 일어나는 전송들만 전송에 성공하는 것으로 세었다.

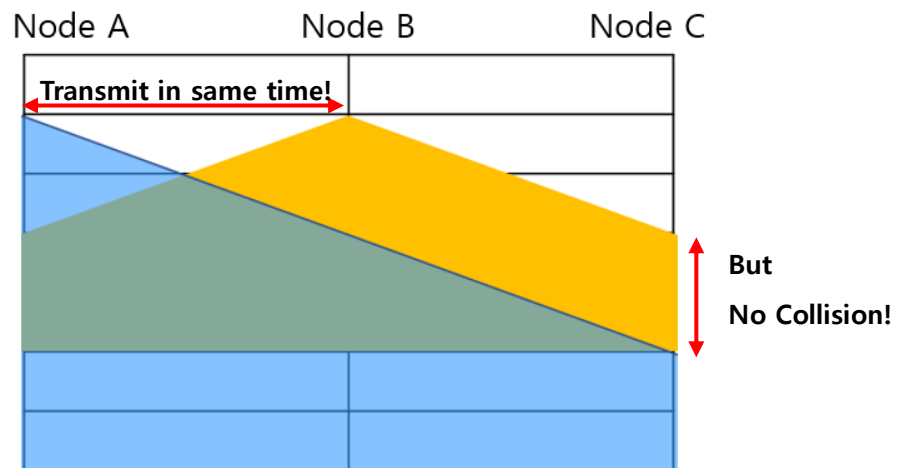
- 설정한 q 값 (0.01, 0.02, 0.03)에 따라 throughput은 다음과 같이 변화한다.

Slotted ALOHA (Assumption 2, N=16)

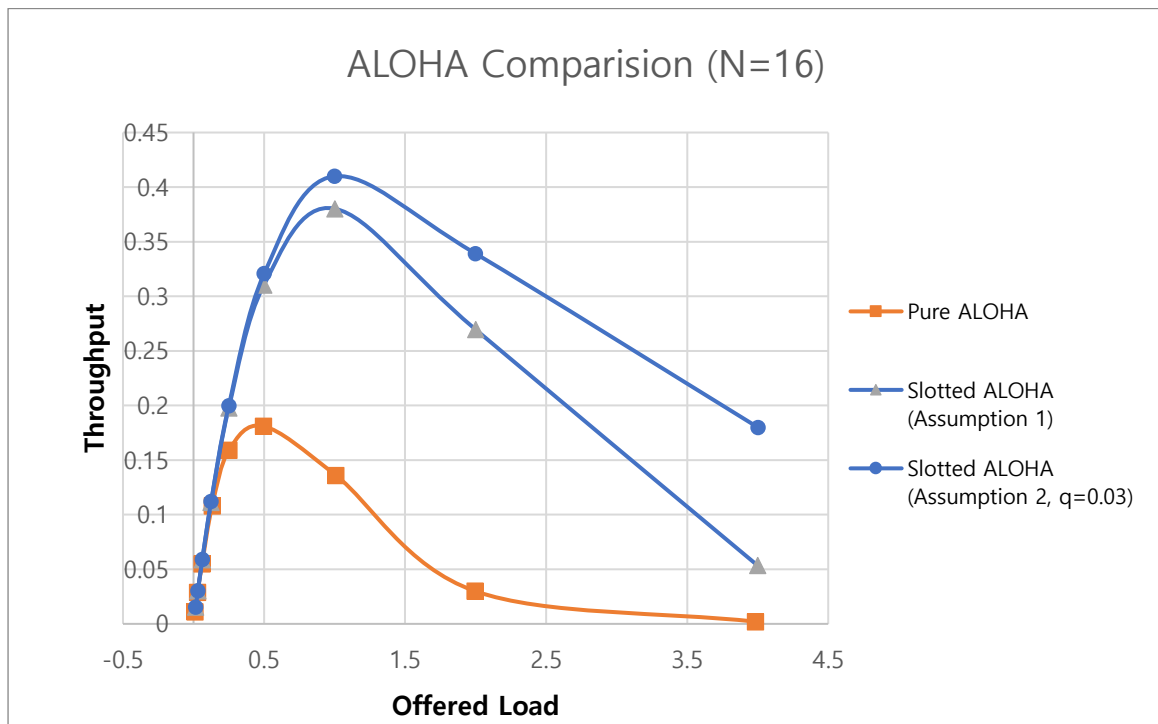


여러 개의 Frame이 Transmission되는 상황에서도 어떤 Transmission은 충돌하지 않을 확률 q 값이 증가함에 따라 Slotted 비슷한 Offered Load에서 Slotted ALOHA의 Throughput이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

서로 다른 노드에서 여러 프레임을 같은 동시에 전송하는데도 Collision이 일어나지 않는 상황은 노드들 간의 Propagation Delay가 존재하기 때문에 벌어진다. 노드 A와 노드 B가 노드 C로 프레임 Transmission을 동시에 시작할 때, 노드 A와 노드 C의 거리가 노드 B와 노드 C간의 거리보다 더 멀다고 가정하면 아래 그림과 같이 노드 C에 서로 다른 시간에 도착하여 Collision 없이 모두 제대로 전송될 수 있기 때문이다.



• Offered load(G) vs Throughput(S) 비교 설명



– Pure ALOHA

Pure ALOHA에서 Offered load(G) vs Throughput(S)는 $S = G * e^{-2G}$ 로 나타난다. 또한 Collision이 일어나지 않을 확률 $= p * (1 - p)^{N-1} * (1 - p)^{N-1} = p(1 - p)^{2(N-1)}$ 을 미분하여 다음과 같이 최적의 p를 구하고, 이를 통해 max efficiency를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & (1 - p)^{2(N-1)} - p(1 - p)^{2(N-1)-1} * 2(N - 1) \\ & = (1 - p)^{2(N-1)-1} \{(1 - p) - 2p(N - 1)\} \\ & \text{becomes 0 when } p = p^* = \frac{1}{2e} \approx 0.18 \end{aligned}$$

– Slotted ALOHA (Assumption1)

Slotted ALOHA(Assumption 1)에서 Offered load(G) vs Throughput(S)는 $S = G * e^{-G}$ 로 나타난다. 또한 Collision이 일어나지 않을 확률 $= p * (1 - p)^{N-1} = p(1 - p)^{(N-1)}$ 을 미분하여 다음과 같이 최적의 p를 구하고, 이를 통해 max efficiency를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & N(1 - p)^{N-1} - Np(N - 1)(1 - p)^{N-2} \\ & = N(1 - p)^{N-2} \{(1 - p) - p(N - 1)\} \\ & = N(1 - p)^{N-2} (1 - Np) \\ & \text{becomes 0 when } p = p^*, \text{ then max efficiency is } \frac{1}{e} \approx 0.37 \end{aligned}$$

이는 pure ALOHA와 비교했을 때 약 2배이며, 이를 simulation 그래프에서도 확인할 수 있다.

– Slotted ALOHA (Assumption2)

Slotted ALOHA Assumption 2에서는 비슷한 Offered Load에서도 Assumption 1보다 더 많은 Throughput이 나타난다. 이는 q에 의해서 Offered Load가 얼마가 되더라도 최소한 q*Offered Load만큼의 Transmit은 Collision 없이 성공할 수 있기 때문이다. 따라서 Offered load(G) vs Throughput(S)는 대략 $S = G * (q + e^{-G})$ 로 생각할 수 있다.

• Slotted ALOHA(description, q=0.03)

i) 1개의 node만이 Frame을 전송해서 전송에 성공한 상황

```
Time slot 99: (Arrival) Fresh Frame obtained at node 0 (prob < p)
Time slot 99: (Transmission) Transmit at node 0 (prob < p)
Time slot 99: (Arrival) No Frame Obtained at node 1 (prob >= p)
Time slot 99: (Transmission) node 1 has no Frame to transmit
Time slot 99: (Arrival) Fresh Frame obtained at node 2 (prob < p)
Time slot 99: (Transmission) No Transmit at node 2 (prob >= p)
Time slot 99: (Arrival) No Frame Obtained at node 3 (prob >= p)
Time slot 99: (Transmission) node 3 has no Frame to transmit
Time slot 99: (Channel) Transmit Success !!
```


ii) 어떤 node도 Frame을 전송하지 않은 상황

```
Time slot 97: (Arrival) No Frame Obtained at node 0 (prob  $\geq p$ )
Time slot 97: (Transmission) node 0 has no Frame to transmit
Time slot 97: (Arrival) No Frame Obtained at node 1 (prob  $\geq p$ )
Time slot 97: (Transmission) node 1 has no Frame to transmit
Time slot 97: (Arrival) Fresh Frame obtained at node 2 (prob  $< p$ )
Time slot 97: (Transmission) No Transmit at node 2 (prob  $\geq p$ )
Time slot 97: (Arrival) No Frame Obtained at node 3 (prob  $\geq p$ )
Time slot 97: (Transmission) node 3 has no Frame to transmit
Time slot 97: (Channel) No Transmit !!
```

iii) 여러 개의 node가 Frame을 전송했지만 collision이 발생하지 않은 상황

```
Time slot 18: (Arrival) Fresh Frame obtained at node 0 (prob  $< p$ )
Time slot 18: (Transmission) Transmit at node 0 (prob  $< p$ )
Time slot 18: (Arrival) No Frame Obtained at node 1 (prob  $\geq p$ )
Time slot 18: (Transmission) node 1 has no Frame to transmit
Time slot 18: (Arrival) No Frame Obtained at node 2 (prob  $\geq p$ )
Time slot 18: (Transmission) node 2 has no Frame to transmit
Time slot 18: (Arrival) Fresh Frame obtained at node 3 (prob  $< p$ )
Time slot 18: (Transmission) Transmit at node 3 (prob  $< p$ )
Time slot 18: (Channel): Many Frames, but no collision in 0 node !!
Time slot 18: (Channel): Many Frames, but no collision in 3 node !!
```

iv) 여러 개의 node가 Frame을 전송해서 Collision이 발생한 상황

```
Time slot 95: (Arrival) Fresh Frame obtained at node 0 (prob  $< p$ )
Time slot 95: (Transmission) Transmit at node 0 (prob  $< p$ )
Time slot 95: (Arrival) Fresh Frame obtained at node 1 (prob  $< p$ )
Time slot 95: (Transmission) Transmit at node 1 (prob  $< p$ )
Time slot 95: (Arrival) No Frame Obtained at node 2 (prob  $\geq p$ )
Time slot 95: (Transmission) node 2 has no Frame to transmit
Time slot 95: (Arrival) Fresh Frame obtained at node 3 (prob  $< p$ )
Time slot 95: (Transmission) Transmit at node 3 (prob  $< p$ )
Time slot 95: (Channel) Collision !!
```