

## 22-1 데이터통신 과제 3

- Radio resource management with ns-3 simulator

2017-19651 이혜민

### 1. Introduction

본 과제에서는 ns-3 simulator 를 통해 Radio resource 관리를 시뮬레이션해보고, 성능 평가를 진행하였다.

### 2. Problem solving

세 문제 모두 combination 에서 채널 간의 구분은 두지 않고 AP 만 구분한다. 따라서 1115, 1119, 5551, 9991 은 같은 case 에 해당하며 5111 과 1115 는 다른 case 에 해당한다.

#### 2-1. Problem 1

```
hyemnie@hyemnie:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run "rrm.cc --scen=1 --rate=70 --ch=1111"
[0/2] Re-checking globbed directories...
ninja: no work to do.
Scenario number: 1
Downlink data rate: 70Mb/s
AP 0 channel number: 1
AP 1 channel number: 1
AP 2 channel number: 1
AP 3 channel number: 1
Run Simulation.
AP 0's throughput: 58.828 Mbit/s
AP 1's throughput: 14.0784 Mbit/s
AP 2's throughput: 11.8272 Mbit/s
AP 3's throughput: 41.4792 Mbit/s
Average_throughput: 31.5532 Mbit/s
```

Worst case 는 모든 AP 에 같은 채널을 할당한 경우이다. 하나의 채널에 많은 AP 가 할당될 수록 각 AP 가 사용할 수 있는 resource 는 줄어들기 때문에 이 경우 가장 낮은 throughput 값을 가지게 된다. 채널 1, 5, 9 간의 차이는 없으며 1111, 5555, 9999 인 경우 모두 동일한 throughput 값을 가진다. 평균 throughput 은 31.5532Mbps 로 가장 낮으나 각 AP 의 throughput 은 차례로 약 58, 14, 11, 41 Mbps 로 차이가 있다.

```
hyemnie@hyemnie:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run "rrm.cc --scen=1 --rate=70 --ch=5119"
[0/2] Re-checking globbed directories...
ninja: no work to do.
Scenario number: 1
Downlink data rate: 70Mb/s
AP 0 channel number: 5
AP 1 channel number: 1
AP 2 channel number: 1
AP 3 channel number: 9
Run Simulation.
AP 0's throughput: 69.7648 Mbit/s
AP 1's throughput: 65.6264 Mbit/s
AP 2's throughput: 44.7776 Mbit/s
AP 3's throughput: 69.5016 Mbit/s
Average_throughput: 62.4176 Mbit/s
```

```
hyemnie@hyemnie:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run "rrm.cc --scen=1 --rate=70 --ch=1559"
[0/2] Re-checking globbed directories...
ninja: no work to do.
Scenario number: 1
Downlink data rate: 70Mb/s
AP 0 channel number: 1
AP 1 channel number: 5
AP 2 channel number: 5
AP 3 channel number: 9
Run Simulation.
AP 0's throughput: 69.7648 Mbit/s
AP 1's throughput: 65.6264 Mbit/s
AP 2's throughput: 44.7776 Mbit/s
AP 3's throughput: 69.5016 Mbit/s
Average_throughput: 62.4176 Mbit/s
```

Throughput 을 높이려면 3 개의 채널을 4 개의 AP 에 최대한 나누어 할당해야 한다. 따라서 3 개의 채널에 각각 AP 2 개, 1 개, 1 개로 나누어 할당되는 경우들 가운데에서 Best case 를 찾을 수 있다. 0~3 번의 AP 중 어떤 두

개의 AP를 같은 채널에 할당해야 하는지를 찾기 위해 모든 경우의 수를 시뮬레이션한 결과, AP 1번과 2번에 같은 채널을 할당하고 0번, 3번 AP가 채널을 하나씩 점유하여 사용하는 case (5119, 1559, ...)가 average\_throughput이 62.4176Mbps로 가장 높게 나타났다. 이는 각 AP는 좌표가 고정되어 있지만 station의 경우 AP를 기준으로 완전히 같은 거리에 배치되어 있지 않고 AP마다 조금씩 다르게 배치되어 있기 때문에 path loss가 다르기 때문으로 보인다. 아래 station의 좌표를 나타낸 코드에서도 랜덤한 값을 주는 GetValue를 사용하고 있음을 확인할 수 있다.

```
Vector staPos[nAps][3];
Ptr<UniformRandomVariable> x = CreateObject<UniformRandomVariable> ();
for(uint32_t i = 0; i < nAps; i++){
    for(uint32_t j = 0; j < staVec[i].GetN(); j++){
        staPos[i][j] = Vector(apPos[i].x+x->GetValue(-7, 7), apPos[i].y+x->GetValue(-7, 7), 1.5);
    }
}
```

따라서 각 AP마다 동일한 resource를 배정함에도 가질 수 있는 최대 throughput이 다르고, 이는 worst case에서 모든 AP가 같은 채널을 사용할 때 각 AP의 throughput이 크게 차이나는 것에서도 확인할 수 있다.

## 2-2. Problem 2

AP 0 ~ 3이 각각 station을 3, 2, 1, 1개 갖는 경우는 Problem 1과 다른 best channel combination을 가진다. Station이 가장 많은 AP 0과 그 다음으로 많은 AP 1에 각각 채널을 하나씩 할당하고, stations이 한 개인 AP 2, 3이 채널을 공유하는 case (1599, 5911, ...)에서 가장 높은 throughput을 기록함을 확인하였다.

```
hyemmie@hyemmie:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run "rrm.cc --scen=2 --rate=70 --ch=5911"
[0/2] Re-checking globbed directories...
ninja: no work to do.
Scenario number: 2
Downlink data rate: 70Mb/s
AP 0 channel number: 5
AP 1 channel number: 9
AP 2 channel number: 1
AP 3 channel number: 1
Run Simulation.
AP 0's throughput: 101.007 Mbit/s
AP 1's throughput: 101.242 Mbit/s
AP 2's throughput: 46.2336 Mbit/s
AP 3's throughput: 46.1608 Mbit/s
Average throughput: 73.661 Mbit/s
```

이 경우 AP의 station 개수가 다른 path loss와 같은 변수들을 지배하기 때문에 station 개수 순서대로 우선순위를 두어 채널을 할당해야 한다.

## 2-3. Problem 3

- Problem 1 combination + station {1, 1, 1, 1}

Problem 1에서 구한 channel combination인 1559에 대해 station을 {1, 1, 1, 1}, traffic rate를 30, 70, 100Mbps로 변화시키면 average throughput은 각각 29.799Mbps, 62.4176Mbps, 76.6752Mbps로 증가하는 양상을 보인다. 일반적으로 Traffic rate가 증가할수록 같은 시간 내에 더 많은 패킷을 전송할 수 있기 때문에 나타난 결과이나, 특히 살펴봐야 할 점으로는 30Mbps의 경우 모든 AP에서 29.7~29.9의 Mbps의 결과가 나온 점이다. 이 경우 traffic rate가 충분히 느려 채널을 공유하는 AP 1, AP 2의 경우에도 collision 없이 모든 패킷을 전송했기 때문으로 보인다. Traffic rate를 70, 100Mbps로 증가시킬 경우 채널을 독점하고 있는 AP 0,

AP 3 의 경우 각각 약 69, 99 Mbps 로 모든 패킷을 전송하는 데에 반해 채널을 공유하는 AP 1, AP 2 의 경우 throughput 이 collision 으로 인해 traffic rate 만큼 증가하지 않았다.

```
hyemmie@hyemmie:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run "rrm.cc --scen=1 --rate=30 --ch=1559"
[0/2] Re-checking globbed directories...
ninja: no work to do.
Scenario number: 1
Downlink data rate: 30Mb/s
AP 0 channel number: 1
AP 1 channel number: 5
AP 2 channel number: 5
AP 3 channel number: 9
Run Simulation.
AP 0's throughput: 29.9152 Mbit/s
AP 1's throughput: 29.7024 Mbit/s
AP 2's throughput: 29.7808 Mbit/s
AP 3's throughput: 29.7976 Mbit/s
Average_throughput: 29.799 Mbit/s
hyemmie@hyemmie:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run "rrm.cc --scen=1 --rate=70 --ch=1559"
[0/2] Re-checking globbed directories...
ninja: no work to do.
Scenario number: 1
Downlink data rate: 70Mb/s
AP 0 channel number: 1
AP 1 channel number: 5
AP 2 channel number: 5
AP 3 channel number: 9
Run Simulation.
AP 0's throughput: 69.7648 Mbit/s
AP 1's throughput: 65.6264 Mbit/s
AP 2's throughput: 44.7776 Mbit/s
AP 3's throughput: 69.5016 Mbit/s
Average_throughput: 62.4176 Mbit/s
hyemmie@hyemmie:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run "rrm.cc --scen=1 --rate=100 --ch=1559"
[0/2] Re-checking globbed directories...
ninja: no work to do.
Scenario number: 1
Downlink data rate: 100Mb/s
AP 0 channel number: 1
AP 1 channel number: 5
AP 2 channel number: 5
AP 3 channel number: 9
Run Simulation.
AP 0's throughput: 99.3832 Mbit/s
AP 1's throughput: 69.4904 Mbit/s
AP 2's throughput: 38.864 Mbit/s
AP 3's throughput: 98.9632 Mbit/s
Average_throughput: 76.6752 Mbit/s
```

- Problem 1 combination + station {3, 2, 1, 1}

같은 Problem 1 의 channel combination 에서 station 을 {3, 2, 1, 1}, traffic rate 는 마찬가지로 30, 70, 100Mbps 로 변화시키는 경우의 결과는 아래와 같다.

```
hyemmie@hyemmie:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run "rrm.cc --scen=2 --rate=30 --ch=1559"
[0/2] Re-checking globbed directories...
ninja: no work to do.
Scenario number: 2
Downlink data rate: 30Mb/s
AP 0 channel number: 1
AP 1 channel number: 5
AP 2 channel number: 5
AP 3 channel number: 9
Run Simulation.
AP 0's throughput: 89.2248 Mbit/s
AP 1's throughput: 56.8624 Mbit/s
AP 2's throughput: 29.4896 Mbit/s
AP 3's throughput: 29.8592 Mbit/s
Average_throughput: 51.359 Mbit/s
hyemmie@hyemmie:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run "rrm.cc --scen=2 --rate=70 --ch=1559"
[0/2] Re-checking globbed directories...
ninja: no work to do.
Scenario number: 2
Downlink data rate: 70Mb/s
AP 0 channel number: 1
AP 1 channel number: 5
AP 2 channel number: 5
AP 3 channel number: 9
Run Simulation.
AP 0's throughput: 101.007 Mbit/s
AP 1's throughput: 55.5856 Mbit/s
AP 2's throughput: 45.0856 Mbit/s
AP 3's throughput: 69.6304 Mbit/s
Average_throughput: 67.8272 Mbit/s
hyemmie@hyemmie:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run "rrm.cc --scen=2 --rate=100 --ch=1559"
[0/2] Re-checking globbed directories...
ninja: no work to do.
Scenario number: 2
Downlink data rate: 100Mb/s
AP 0 channel number: 1
AP 1 channel number: 5
AP 2 channel number: 5
AP 3 channel number: 9
Run Simulation.
AP 0's throughput: 101.03 Mbit/s
AP 1's throughput: 56.9968 Mbit/s
AP 2's throughput: 54.0288 Mbit/s
AP 3's throughput: 99.2936 Mbit/s
Average_throughput: 77.8372 Mbit/s
```

Traffic rate 가 30Mbps 인 경우는 위와 마찬가지로 AP 순서대로 station 의 개수를 고려하여  $30 * 3, 3 * 2, 30$ , 30Mbps 에 가까운 throughput 값을 보였다. 70, 100 Mbps 의 경우 station 이 1개이고 채널도 독점하고 있는 AP 3 만 70, 100 에 가까운 throughput 을 보였으며 나머지 AP 0, 1, 2 의 경우 traffic rate 을 70 에서 100 으로 증가시켜도 throughput 이 크게 증가하지 않고 동일한 값을 보였다. 이는 충분히 station 이 많고 채널도 공유하고 있기 때문에 collision 이 발생하고 traffic rate 를 70Mbps 에서 100Mbps 로 증가한다고 해도 throughput 이 이를 따라 증가하지 않는 것으로 보인다.

- Problem 2 combination + station {3, 2, 1, 1}

Problem 2 의 best combination 인 5911 에 대해 traffic rate 를 30, 70, 100 Mbps 로 증가시켰을 때의 결과는 다음과 같다.

```
hyemmi@hyemmi:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run "rrm.cc --scen=2 --rate=30 --ch=5911"
[0/2] Re-checking globbed directories...
ninja: no work to do.
Scenario number: 2
Downlink data rate: 30Mb/s
AP 0 channel number: 5
AP 1 channel number: 9
AP 2 channel number: 1
AP 3 channel number: 1
Run Simulation.
AP 0's throughput: 89.2248 Mbit/s
AP 1's throughput: 59.5392 Mbit/s
AP 2's throughput: 29.7136 Mbit/s
AP 3's throughput: 29.8536 Mbit/s
Average throughput: 52.0828 Mbit/s
hyemmi@hyemmi:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run "rrm.cc --scen=2 --rate=70 --ch=5911"
[0/2] Re-checking globbed directories...
ninja: no work to do.
Scenario number: 2
Downlink data rate: 70Mb/s
AP 0 channel number: 5
AP 1 channel number: 9
AP 2 channel number: 1
AP 3 channel number: 1
Run Simulation.
AP 0's throughput: 101.007 Mbit/s
AP 1's throughput: 101.242 Mbit/s
AP 2's throughput: 46.2336 Mbit/s
AP 3's throughput: 46.1688 Mbit/s
Average throughput: 73.661 Mbit/s
hyemmi@hyemmi:~/ns-allinone-3.36.1/ns-3.36.1$ ./ns3 run "rrm.cc --scen=2 --rate=100 --ch=5911"
[0/2] Re-checking globbed directories...
ninja: no work to do.
Scenario number: 2
Downlink data rate: 100Mb/s
AP 0 channel number: 5
AP 1 channel number: 9
AP 2 channel number: 1
AP 3 channel number: 1
Run Simulation.
AP 0's throughput: 101.03 Mbit/s
AP 1's throughput: 101.27 Mbit/s
AP 2's throughput: 48.7424 Mbit/s
AP 3's throughput: 44.8728 Mbit/s
Average throughput: 73.9788 Mbit/s
```

30Mbps 의 경우 위의 두 case 와 같이 손실 없이 대부분이 전송되는 결과를 보였으며 70Mbps, 100Mbps 의 경우 거의 동일한 average throughput 을 갖는다. 이는 하나의 채널이 최대로 전송할 수 있는 throughput 이 약 101Mbps 로 나타나고 있는데, traffic rate 가 70Mbps 일 때에도 이를 충분히 만족하기 때문에 traffic rate 를 100Mbps 로 올려도 크게 변하지 않는 것으로 보인다.

Problem 1 과 Problem 2 에서 구한 combination 을 station 과 traffic rate 를 통일한 후 비교했을 때, 30Mbps 에서는 average throughput 이 크게 차이가 나지 않는다.

Table 1. Station이 {3, 2, 1, 1}인 경우 average throughput

	Problem 1 combination (1559)	Problem 2 combination (5911)
30Mbps	51.36 Mbps	52.08Mbps
70Mbps	67.83 Mbps	73.66Mbps
100Mbps	77.84 Mbps	73.98Mbps

그러나 70, 100Mbps 인 경우 차이점을 찾을 수 있다. 70Mbps 에서는 Problem 2 에서 구한 combination 이 더 높은 throughput 값을 가진다. 그렇기 때문에 Problem 2 에서 best combination 으로 선택하였다. 그러나 100Mbps 에서는 Problem 1 에서 구한 combination 이 더 높은 throughput 값을 보인다.

이는 Problem 1 combination (1559)의 경우 채널을 독점하는 AP 3 에서 traffic rate 가 70Mbps 일 때는 69Mbps 의 throughput 을, 100Mbps 일 때는 99Mbps 의 throughput 을 보이며 증가하기 때문으로 보인다. Problem 2 combination (5911)의 경우 70Mbps traffic rate 에서 모든 채널이 부하 상태이며 이는 100Mbps 에서도 변하지 않는다. 그러나 Problem 1 combination (1559)의 경우 traffic rate 70Mbps 에서는 Problem 2 combination 보다 약간 작은 결과값을 가지지만 traffic rate 100 Mbps 에서는 채널을 독점하는 AP 3 의 throughput 이 증가하며 Problem 1 을 앞서는 결과를 보이게 된다.

### 3. Discussion

Ns-3 simulator 를 활용하여 다양한 변수를 기준으로 채널 리소스를 할당하였는데, 변수가 조금만 달라져도 최적의 combination 이 변하는 것을 확인할 수 있었다. 또 여러 변수를 고려하여도 하나의 dominant 한 변수가 결과를 결정하는 것 또한 확인할 수 있었다. 실제로 리소스를 관리할 때에는 변수 간의 우선순위와 적용 도메인의 실제 변수 값을 숙지해야 할 것으로 보인다.