

# PNU WiFi 무선랜 서비스 품질 분석 및 개선 연구



Team: 무야호

부산대학교 전기컴퓨터공학부 정보컴퓨터공학전공

School of Electrical and Computer Engineering, Computer Engineering Major

Pusan National University

2021년 5월 14일

지도교수: 김 종 덕

# 목 차

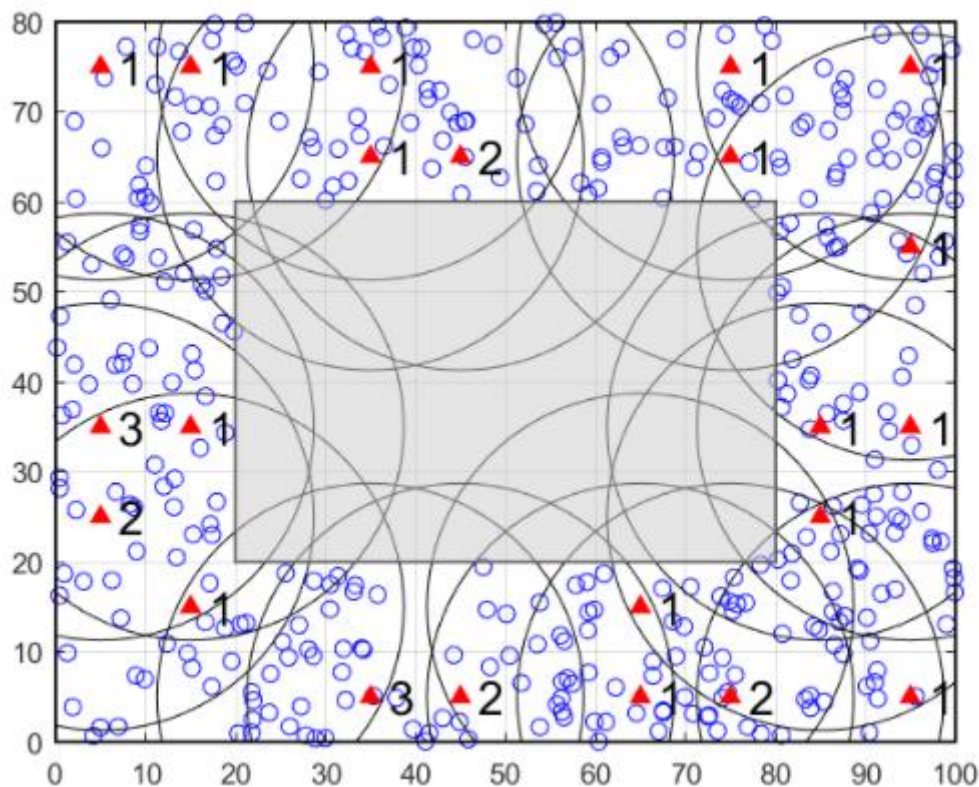
<b>1. 과제 배경 및 목적.....</b>	<b>4</b>
1.1 과제 배경	
1.2 과제 목적	
<b>2. PNU-WiFi 분석.....</b>	<b>5</b>
2.1 사용 패턴을 기준으로 한 건물 분류	
2.2 불균형 위치 선정 방법	
2.3 PNU-WiFi 서비스 음영지역 분석	
<b>3. 문제 해결.....</b>	<b>6</b>
3.1 문제 정의	
3.2 WiFi 6 특징	
3.2.1 OFDMA	
3.2.2 MU-MIMO	
3.2.3 BSS Color	
3.3 알고리즘	
3.3.1 강화학습	
3.4 시뮬레이션	
<b>4. 과제 세부 요구사항.....</b>	<b>10</b>
4.1 WiFi 6 자원	
4.2 PNU-WiFi의 공간적인 특성	
4.3 PNU-WiFi의 시간적인 특성	

<b>5. 개발 일정 및 역할 분담 .....</b>	<b>12</b>
5.1 추진 체계 및 일정	
5.2 구성원 역할 분담	
<b>6. 참고문헌.....</b>	<b>13</b>

# 1. 과제 배경 및 목적

## 1.1 과제 배경

다양한 스마트기기들이 널리 보급됨에 따라 무선랜 사용이 급증하면서 대규모 무선랜 서비스는 공공장소나 산업 현장에 배치되었다. 무선랜 기술이 보편화 되면서 WiFi망의 사용자들은 많은 양의 데이터와 다양한 서비스를 요구하지만 대규모 무선랜은 사용자의 수요를 효율적으로 대응하지 못해 서비스 안정성이 크게 저하되어 있다.



[그림 1] PNU WiFi 음영지역

분석 대상 서비스는 부산대학교 장전캠퍼스에서 운용중인 무선랜 서비스이다. PNU WiFi는 약 1,600여개의 AP들을 운용 중이며 약 30,000명의 사용자에게 서비스를 제공하고 있다. 해당 무선랜 서비스는 자원을 효율적으로 활용하고 있지 않다. 예를 들어, PNU WiFi의 AP들은 서비스 영역을 최대로 설정되어 운용중이다. 이 상황은 AP들 간의 서비스 영역을 간섭하여 서비스 품질을 저하한다. 그러므로 효율적으로 무선랜 서비스를 운용하고 서비스 전체의 품질을 향상하기 위해 무선랜 서비스 상태 분석 기술을 개발하고 자원 할당의 최적화 전략을 수립할 필요가 있다.

## 1.2 과제 목적

본 과제는 PNU WiFi 서비스의 품질 저하 원인을 AP의 분포와 간섭효과를 분석하여 파악하고 이를 보완하여 개선방안을 연구, 제안하는 것을 목표로 한다.

또한 PNU WiFi를 사용하는 캠퍼스 내의 모든 구성원이 실시간으로 WiFi 상태에 대한 정보를 수집하고 그에 따라 자원이 효율적으로 분배될 수 있게 하는 PNU WiFi 정보 시스템을 개발하고자 한다.

## 2. PNU-WiFi 분석

PNU-WiFi 서비스 불편의 다양한 원인들 중 특정 AP에 다수의 이용자가 몰리는 AP 집중현상에 초점을 두고 진행한 결과를 분석해보았다. 교내 건물 중 AP 자원의 불균형이 일어나는 지역을 찾기 위해 다음 두 가지 방법을 사용한다.

### 2.1 사용 패턴을 기준으로 한 건물 분류

시뮬레이션을 진행할 때 이용자가 많은 건물일수록 효과가 크게 나타나므로 이용자가 많은 건물을 우선 대상으로 하였다. MAC 수가 많은 건물일수록 이용자가 많은 건물이라고 생각하여 MAC수가 평균 이상인 건물을 우선적으로 분류했다. 후에 건물을 용도에 따라 1차 그룹화, 데이터 사용량과 사용 패턴에 따라 2차 그룹화하여 데이터 사용량을 분석했다.

### 2.2 불균형 위치 선정 방법

위에서 분류한 그룹으로부터 불균형이 가장 심하게 나타나는 건물의 층을 선정한다. Fairness를 구하는 여러 기법이 존재하는데 그 중 Jain's fairness index를 사용하여 불균형 위치를 선정했다.

$$\mathcal{J}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{(\sum_{i=1}^n x_i)^2}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2}$$

[그림 2] Jain's fairness index 방정식

이 방정식은 n명의 사용자가 있을 때 자원 분배의 공정성을 평가한다. 여기서  $x_i$ 는  $i$  번째 연결에 대한 처리량이며 결과는  $1/n$ 에서 1까지이며 모든 사용자가 동일한 할당을 받을 때 최댓값 1을 가진다. 방정식을 이용해 각 그룹의 Jain's index value를 구하고 가장 불균형이 심한 위치를 선정하였다.

## 2.3 PNU-WiFi 서비스 음영지역 분석

수치 상 불균형이 나타난 위치와 실제 위치를 비교해보았다. 그 결과 AP가 과도하게 설치되어 있거나, 좁은 공간 안에 여러 대의 AP가 설치되어 있는 경우 한 AP에만 집중적으로 연결이 되며 사용되지 않고 낭비되는 AP가 존재한다는 것을 볼 수 있었다.

하지만 시뮬레이션에서는 AP가 설치된 위치의 특성을 고려하지 않았기 때문에 수치 상 불균형만으로 개선이 필요하다고 할 수 없다. 도서관과 학생회관 같은 곳은 위치적 특성과 공간 용도를 고려했을 때 불균형이 발생할 수 밖에 없다고 보인다.

## 3. 문제 해결

### 3.1 문제 정의

본 과제의 목적은 AP간의 불필요한 커버리지 중첩을 최소화시켜 필요한 AP의 최소 개수를 산정하고 최적의 배치 방법을 제시하는 것이다. 이 문제에는 세 가지 제약조건이 있다.

$$s. t. \begin{cases} C1 : \sum_{j=1}^{|A|} a_{i,j} = |S|, i \in S; \\ C2 : \sum_{i=1}^{|S|} \gamma_i = |S|; \\ C3 : CR_{area} \geq \beta\%. \end{cases}$$

$A$  : The set of APs

$S$  : The set of STAs

$\delta_x$  : Throughput of STA  $x$

$IR_{coverage}$  : The intersaction ratio of AP coverage

$CR_{area}$  : The AP coverage ratio to building area

첫 번째 제약조건 C1은 모든 STA를 어떠한 AP와 연결하는 것이다.  $a_{i,j}$ 는 만약 STA  $i$ 가 AP  $j$ 에 연결되어 있으면 1이고 그렇지 않으면 0이다. 모든 STA이 어떤 AP에 연결된다면  $a_{i,j}$ 의 총합은 STA의 개수  $|S|$ 와 같다.

두 번째 제약 조건 C2는 모든 STA이 일정 수준의 처리율(Throughput)을 넘는 것이다.  $\gamma_x$ 는 만약 STA  $x$ 의 처리율  $\delta_x$ 가 최소 처리율  $\rho$ 보다 크면 1이고 그렇지 않으면 0이다. 제약 조건 C1과 마찬가지로 모든 STA이 기준 처리율을 넘는다면  $\gamma_i$ 의 총합은 STA의 개수  $|S|$ 와 같다.

마지막 제약 조건 C3는 AP의 서비스 커버리지가 건물 면적의  $\beta\%$  보다 큰 것이다.  $CR_{area}$ 는 빌딩 면적에 대한 AP 커버리지의 비율을 말한다. 우리는 위 세 가지 제약조건을 최대한 만족시키는 AP 위치를 선정하는 것을 본 과제의 핵심으로 정의한다.

## 3.2 WiFi 6 특징

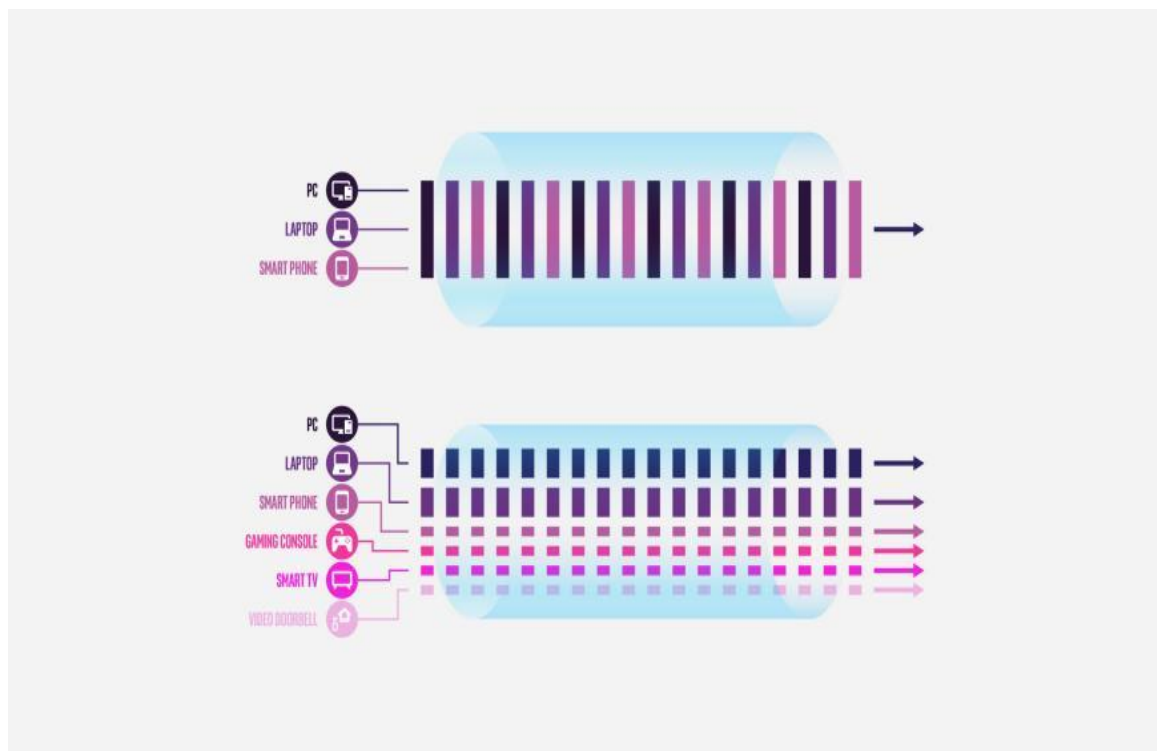
### 3.2.1 OFDMA

PNU-WiFi는 현재 WiFi 6(802.11ax)를 운용중이다. 학교라는 공공시설에서 사용되는 무선 네트워크인 만큼 여러 클라이언트들이 접속하는 혼잡한 환경 속에서도 높은 품질을 제공하여야 한다. WiFi 6(802.11ax)는 그 방법으로 충돌 감소와 전송 지연 개선을 위해 OFDMA(직교 주파수 분할 다중 액세스)를 적용하여 처리량을 증가시켰다.

OFDMA를 사용하면 채널 대역폭(Bandwidth)의 부반송파 간격을 RU(자원단위)로 더 작은 부분으로 그룹화 할 수 있다. RU는 더욱 세분화된 Tones로 분할된다. 기존 WiFi 5(802.11ac)의 부반송파 간격 312.5KHz보다 4배 작은 78.125KHz를 WiFi 6(802.11ax)에서 사용하여 해당 값을 가지고 대역폭에 대한 Tones 수를 계산할 수 있다.

$$\text{Number of tones} = \frac{\text{Bandwidth in MHz}}{\text{Subcarriers in MHz}}$$

이러한 Tones는 거의 대부분 데이터 전송에 사용되며 따라서 하나의 RU는 최소 26개에서 최대 996개의 Tones로 구성된다. 아래는 WiFi 5의 데이터처리 방식(위)과 OFDMA를 적용한 WiFi 6의 데이터 처리방식(아래)을 그림으로 나타낸 것이다.



[그림 3] OFDMA 데이터 처리 방식

### 3.2.2 MU-MIMO

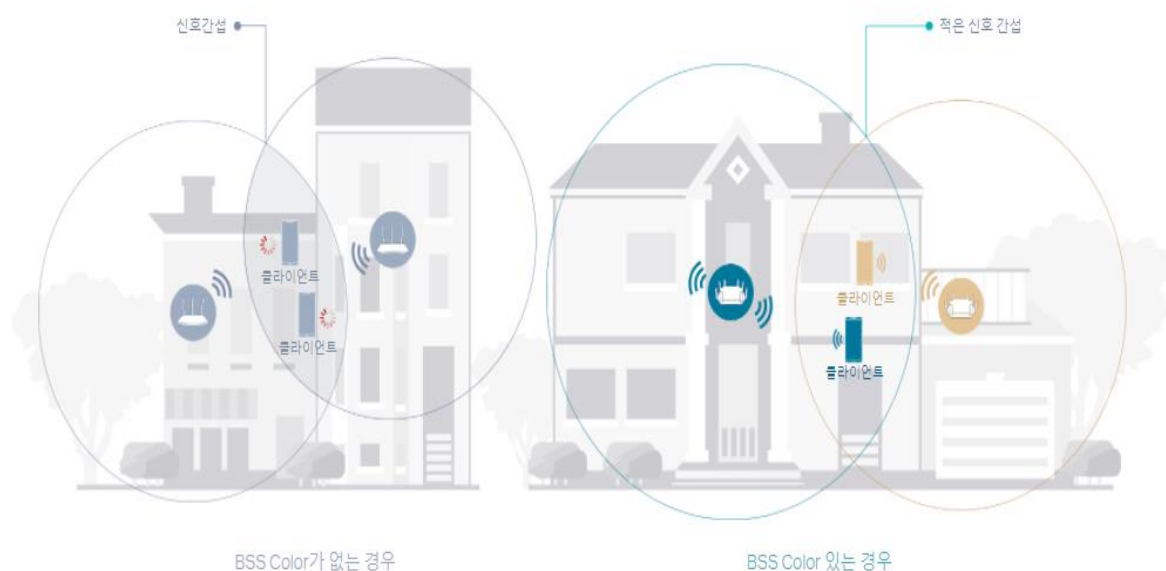
여러 사용자가 대역폭의 품질을 낮추지 않고 동시에 AP를 사용하기 위해서 MU-MIMO(Multi-User Multiple Input Multiple Output)을 사용한다. 이는 기존 MIMO 방식에서 Endpoint와 안테나의 수를 늘린 것이다. 이러한 장점으로 사용 가능한 용량들을 공유하여 시간 변화에 따른 요구사항들을 모두 충족 시킬 수 있다.

기존 WiFi 5(802.11ac)에서는 4개의 채널을 제공하였으나 WiFi 6(802.11ax)에서는 8개의 채널을 제공한다. 이는 8개의 입력과 8개의 출력을 사용 할 수 있어 두 배 이상의 속도 향상을 나타낸다.

### 3.2.3 BSS Color

기존의 WiFi 5(802.11ac)에서 AP간의 간섭이 발생하면 서로 Noise를 듣고 순차적으로 전송을 하여야 했다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 WiFi 6(802.11ax)에서 BSS Color라고 하는 고유 식별기능을 도입하였다.

AP는 서로 각기 다른 고유 Color를 가지며 해당 Color가 로컬네트워크와 일치하지 않다면 Noise를 무시하고 전송을 계속한다. 이로써 여러 AP가 서로 연결되어있는 클라이언트를 구별해낼 수 있고 대기시간을 크게 감소시킨다. 아래의 그림은 WiFi 5(왼쪽)와 BSS Color를 적용한 WiFi 6(오른쪽)의 신호 간섭을 나타낸 것이다.



[그림 4] BSS Color



### 3.3 알고리즘

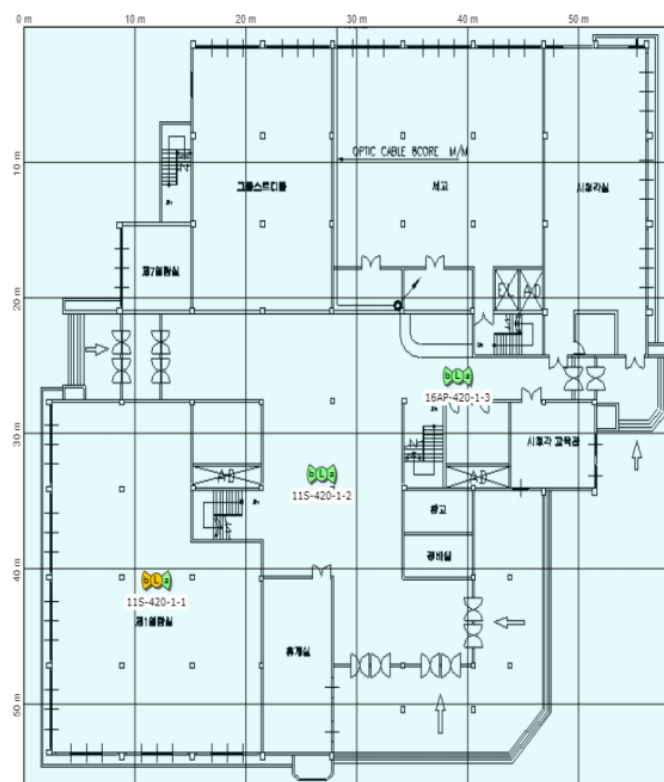
#### 3.3.1 강화학습

유동인구가 많은 공공장소에서는 STA(Station)의 위치가 동적으로 변화한다. 따라서 기존에 입력된 결과에 대한 학습 방식이 아닌 행동에 따른 보상을 통해 최적의 행동을 찾는 강화학습을 기반으로 한다.

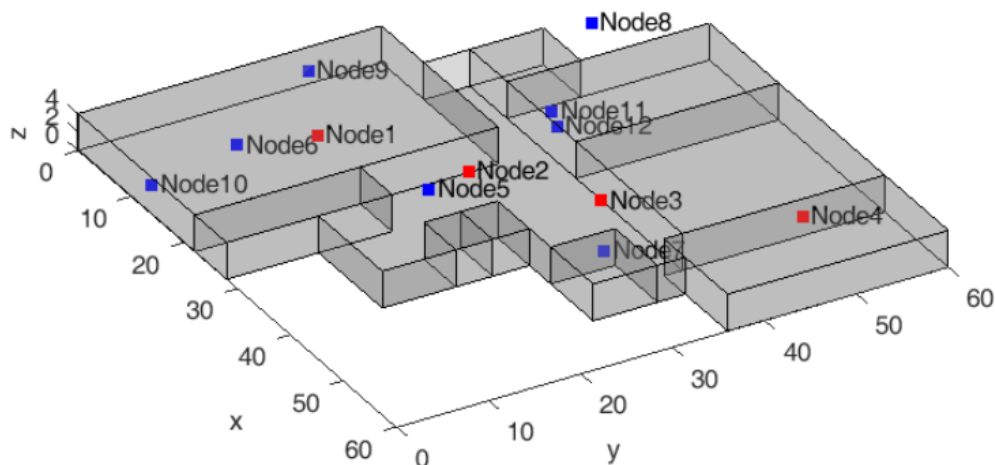
강화학습의 가장 기본적인 알고리즘인 Q-Learning(Q-학습) 알고리즘은 각 상태 변화와 행동에 따른 결과값을 저장하여 평균 보상이 가장 큰 경우를 결정한다. 문제 제시에서 나타낸 3가지 제약사항을 시간에 따라 변화시키고 처리율(Throughput)에 대해 학습을 진행한다.

### 3.4 시뮬레이션

문제 해결 방안 제시를 위해 MATLAB의 WLAN Toolbox를 활용한다. 교내 환경과 비슷한 환경을 구성하고 문제 해결을 위한 시뮬레이션을 진행한다. 대표적으로 자연대 연구실험동, 새벽별도서관 그리고 제6공학관의 건물 환경을 구현한다. 해당 건물마다 현재 설치되어있는 AP의 위치와 동일한 위치에 AP를 생성하고 랜덤하게 움직이는 Station을 구현한다. 시뮬레이션 진행을 통해 최적의 Throughput을 찾아낸다.



[그림 5] 새벽별도서관 1층 AP 위치 도면



[그림 6] MATLAB으로 구현한 새벽별 도서관 1층

## 4. 과제 세부 요구사항

### 4.1 WiFi 6 자원

WiFi 6(802.11ax)에서는 RU와 대역폭(Bandwidth) 간의 상관관계를 통해 사용자마다 Tone 수를 다르게 할당한다. 온라인 강의가 도입된 현재 교내 수업들에게는 실시간 음성 및 비디오 기능이 OFDMA의 주요 대상이다. 이러한 Station에게는 많은 Tone을 제공하고 우선순위가 낮은 사용자에게는 적은 양의 Tone을 제공하여 사용용도에 따른 효율성을 높여야 한다.

RU 할당량의 결정은 AP에서 클라이언트의 트래픽 유형과 전송에 사용할 수 있는 양에 따라 결정된다. AP는 주기적인 Sounding 매커니즘을 통해 클라이언트의 버퍼 상태를 학습한다. 아래는 채널 폭 mapping에 따른 부반송파(Subcarrier)를 나타낸 것이다. 해당 자료를 통해 tone 개수와 대역폭에 따른 OFDMA 사용자 수를 알 수 있다.

RU type	20 MHz BW	40 MHz BW	80 MHz BW	80+80/160 MHz BW
26-tone RU	9	18	37	74
52-tone RU	4	8	16	32
106-tone RU	2	4	8	16
242-tone RU	1	2	4	8
484-tone RU	N/A	1	2	4
996-tone RU	N/A	N/A	1	2
2x996-tone RU	N/A	N/A	N/A	1

[그림 7] Tone과 대역폭에 따른 사용자 수

## 4.2 PNU-WiFi의 공간적인 특성

PNU-WiFi는 교내에 설치된 만큼 서비스 품질을 효과적으로 운용하기 위해 공간적인 특성을 고려하여야 한다. 공간적인 특성은 두 가지로 나뉘볼 수 있는데 AP간의 간격과 물리적 장애물의 위치이다.

먼저 AP의 개수와 출력은 클수록 좋을 것 같지만 두 가지 사항들이 사용용도와 상황에 따라 적절하게 비율을 갖추지 않는다면 AP간의 간섭이 이루어진다. 간섭이 발생 하는 이유는 AP에서 데이터 전송을 하기 전 Noise의 유무를 파악하기 위해 듣는 과정을 거치게 된다. 이때 다른 AP의 개수가 많거나 출력 범위가 너무 넓어 신호가 기존 AP의 범위 내에 있다면 해당 신호와 충돌을 피하기 위해 전송을 하지 않고 대기하게 된다.

또한 무선 네트워크 기술은 벽이나 바닥과 같은 물리적인 장애물에 의해 영향을 받게 된다. 이러한 장애물들은 전파의 전달을 차단하거나 반사시켜 신호 손실을 유발한다. PNU-WiFi를 모든 사용자들에게 동일한 서비스를 제공하기 위해 이러한 공간적 특성을 고려하여 AP의 위치를 선정하여야 한다.

## 4.3 PNU-WiFi의 시간적인 특성

부산대학교에는 학생들을 위한 다양한 시설이 마련되어 있다. 하지만 각 시설들을 이용하는 학생들의 수는 24시간 일정하게 유지되지 않는다. 학기 중과 방학 그리고 수업이 있는 시간대와 그렇지 않은 시간대의 사용자 수는 큰 차이를 보인다.

현재 온라인 수업과 오프라인 수업을 병행하는 방식으로 인해 교내 학생 수는 학기 중에도 적은 편이지만 방학과 비교하였을 때 다소 차이가 있다. 뿐만 아니라 수업이 없는 저녁 시간대와 주말을 수업이 진행되는 평일 낮 시간대와 비교하면 큰 차이가 있음을 알 수 있다. PNU-WiFi를 항상 좋은 품질로 제공하기 위해서는 이러한 시간적인 특성을 고려하여 알맞은 AP 설정을 하여야 한다.

## 5.개발 일정 및 역할 분담

### 5.1 추진 체계 및 일정

5월		6월				7월					8월				9월			
3주	4주	1주	2주	3주	4주	1주	2주	3주	4주	5주	1주	2주	3주	4주	1주	2주	3주	4주
WiFi 6 및 관련 지식 스터디																		
교내 건물 대상 시뮬레이션																		
						시뮬레이션 결과 분석												
										중간보고서 작성								
											WiFi 정보 시각화 시스템 개발							
											최적화 기법 조사							
											최적화 적용 및 시뮬레이션							
											성능 평가 및 비교							
													문제점 파악 및 오류 수정					
															최종 발표/보고서 준비			

### 5.2 구성원 역할 분담

이름	역할분담
곽민수	<ul style="list-style-type: none"> <li>- WiFi 6 분석 및 최적화 방안 조사/적용 방안 고려</li> <li>- MATLAB을 이용한 부산대학교 교내 건물 환경 구현</li> <li>- 특성에 대한 기계학습 구현</li> </ul>
김도형	<ul style="list-style-type: none"> <li>- WiFi 간섭 원인 파악 및 최적화 방안 조사/적용 방안 고려</li> <li>- MATLAB을 이용한 부산대학교 교내 AP 환경 구현</li> <li>- 발표 도구 제작</li> </ul>
이예경	<ul style="list-style-type: none"> <li>- PNU WiFi 설치 현황 및 데이터 수집</li> <li>- MATLAB을 이용한 동적 Station 환경 구현</li> <li>- WiFi 6특성에 대한 기계학습 구현</li> </ul>
공통	<ul style="list-style-type: none"> <li>- MATLAB을 이용한 시뮬레이션 적용</li> <li>- 성능 평가</li> </ul>

## 6.참고문헌

- [1] 하노겸 외 2명, 2020, "머신러닝 기반 무선 간섭관리 기술 동향", 방송과 미디어
- [2] WiFi 6 OFDMA: Resource unit(RU) allocations and mappings,  
<https://blogs.cisco.com/networking/wi-fi-6-ofdma-resource-unit-ru-allocations-and-mappings>
- [3] WiFi 6(AX WiFi), <https://www.tp-link.com/kr/wifi6/>
- [4] What is Wi-Fi 6?, <https://www.intel.com/content/www/us/en/gaming/resources/wifi-6.html>
- [5] 김종덕, 2021, "Multiplexing #2 CDM, SDM, MIMO", 부산대학교
- [6] 김영우 외 3명, 2020, "캠퍼스범위 대규모 무선랜 환경의 AP 상태 분석", 부산대학교