

# [인공지능] 2차 결과 보고서

2018920002 컴퓨터과학부 고다현

## 1. 실행 환경

구분	값
운영체제	Windows 10
개발 도구	Visual Studio Code
언어	C++

## 2. 코드 설명

- main.cpp
  - n차원의 input을 생성한다.
  - AND, OR, XOR gate에 대한 perceptron을 만들어 학습시킨다.
- Perceptron.h
  - AND, OR, XOR gate 각각에 맞게 perceptron을 학습시키도록 구현하였다.
  - Perceptron 클래스 안에 calculate 함수, learning 함수 등이 정의되어 있다.
    - calculate 함수 : output을 계산
    - learning 함수 : weight를 업데이트해 perceptron을 학습시킴
    - repeat\_learning 함수 : 학습이 완료될 때까지 루프를 실행
      - 학습이 완료되지 않았는데 더이상 weight의 값이 변하지 않으면 루프를 종료
  - Learning rate(c)는 0.1로 설정하였다.
  - 초기 weight값은 [-1.0, 1.0) 범위 내의 실수로 한정하였다.

## 3. 실행 결과

### AND gate

학습에 성공하였다.

- 결과 화면
  - 6회 만에 학습에 성공했음을 확인할 수 있다.

```

AND gate learning
[Round1]
weight0 : -0.729046   weight1 : 0.670017   weight2 : 0.937736
output : 1   1   1   1   error_cnt : 3
[Round2]
weight0 : -0.429046   weight1 : 0.570017   weight2 : 0.837736
output : 1   1   1   1   error_cnt : 3
[Round3]
weight0 : -0.129046   weight1 : 0.470017   weight2 : 0.737736
output : 1   1   1   1   error_cnt : 3
[Round4]
weight0 : 0.170954    weight1 : 0.370017   weight2 : 0.637736
output : 0   1   1   1   error_cnt : 2
[Round5]
weight0 : 0.370954    weight1 : 0.270017   weight2 : 0.537736
output : 0   1   0   1   error_cnt : 1
[Round6]
weight0 : 0.470954    weight1 : 0.270017   weight2 : 0.437736
output : 0   0   0   1   error_cnt : 0
Learning successfully.

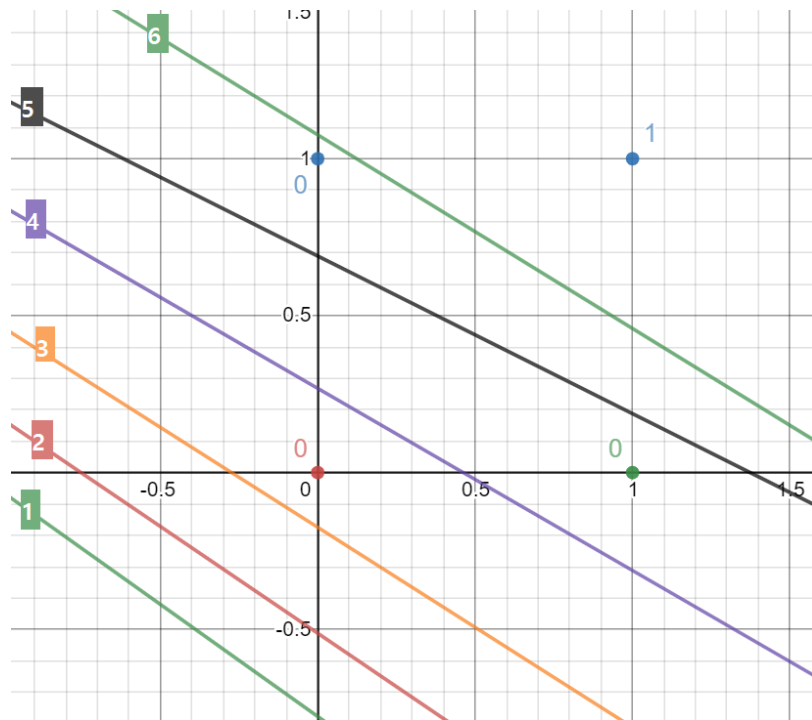
```

- Learning 과정 그래프

다음은  $x_1, x_2$ 의 target과 매 Round별 learning 결과를 직선 그래프로 나타낸 것이다.

직선 그래프 옆에 적힌 숫자는 각 Round를 나타낸다.

6번째 학습 후 AND gate의 동작을 하고 있음을 확인할 수 있다.

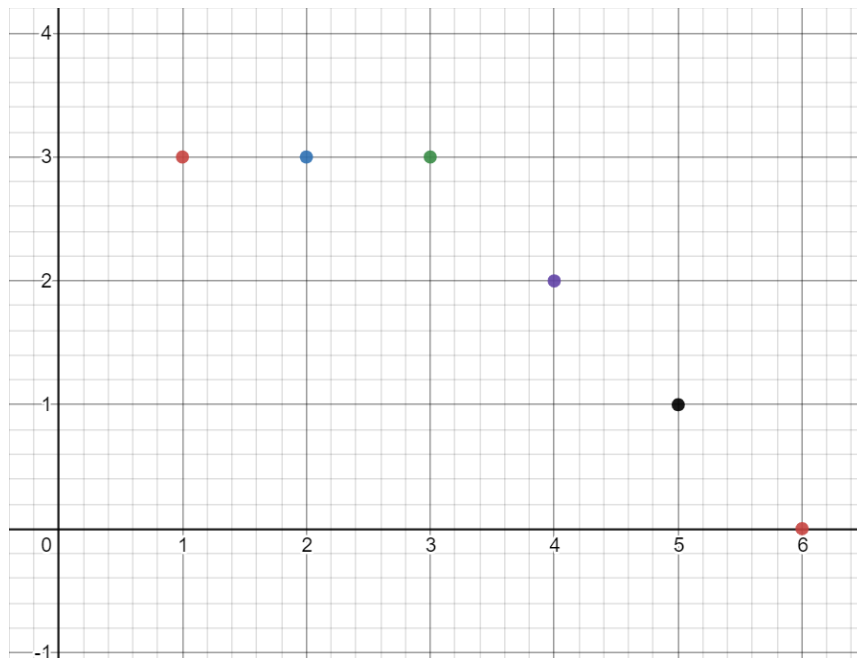


- error 그래프

다음은 매 Round별 error 횟수를 나타낸 그래프이다.

x축은 Round, y축은 error 횟수이고, input이 2차원일 때, 최대 error 횟수는 4이다.

6번째 학습 후 error 횟수가 0이 되었다.



## OR gate

학습에 성공하였다.

- 결과 화면

12회 만에 학습에 성공했음을 확인할 수 있다.

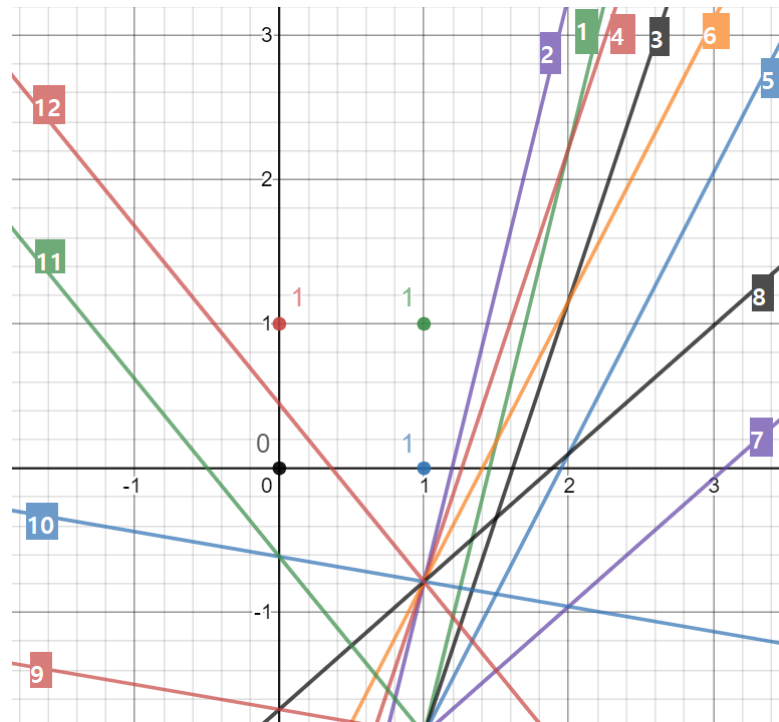
```
OR gate learning
[Round1]
weight0 : -0.557932  weight1 : -0.383666  weight2 : 0.0944412
output : 1  1  1  1  error_cnt : 1
[Round2]
weight0 : -0.457932  weight1 : -0.383666  weight2 : 0.0944412
output : 1  1  0  1  error_cnt : 2
[Round3]
weight0 : -0.457932  weight1 : -0.283666  weight2 : 0.0944412
output : 1  1  1  1  error_cnt : 1
[Round4]
weight0 : -0.357932  weight1 : -0.283666  weight2 : 0.0944412
output : 1  1  0  1  error_cnt : 2
[Round5]
weight0 : -0.357932  weight1 : -0.183666  weight2 : 0.0944412
output : 1  1  1  1  error_cnt : 1
[Round6]
weight0 : -0.257932  weight1 : -0.183666  weight2 : 0.0944412
output : 1  1  0  1  error_cnt : 2
[Round7]
weight0 : -0.257932  weight1 : -0.0836659  weight2 : 0.0944412
output : 1  1  1  1  error_cnt : 1
[Round8]
weight0 : -0.157932  weight1 : -0.0836659  weight2 : 0.0944412
output : 1  1  0  1  error_cnt : 2
[Round9]
weight0 : -0.157932  weight1 : 0.0163341  weight2 : 0.0944412
output : 1  1  1  1  error_cnt : 1
[Round10]
weight0 : -0.0579319  weight1 : 0.0163341  weight2 : 0.0944412
output : 1  1  0  1  error_cnt : 2
[Round11]
weight0 : -0.0579319  weight1 : 0.116334  weight2 : 0.0944412
output : 1  1  1  1  error_cnt : 1
[Round12]
weight0 : 0.0420681  weight1 : 0.116334  weight2 : 0.0944412
Learning successfully.
```

- Learning 과정 그래프

다음은  $x_1, x_2$ 의 target과 매 Round별 learning 결과를 직선 그래프로 나타낸 것이다.

직선 그래프 옆에 적힌 숫자는 각 Round를 나타낸다.

12번째 학습 후 OR gate의 동작을 하고 있음을 확인할 수 있다.

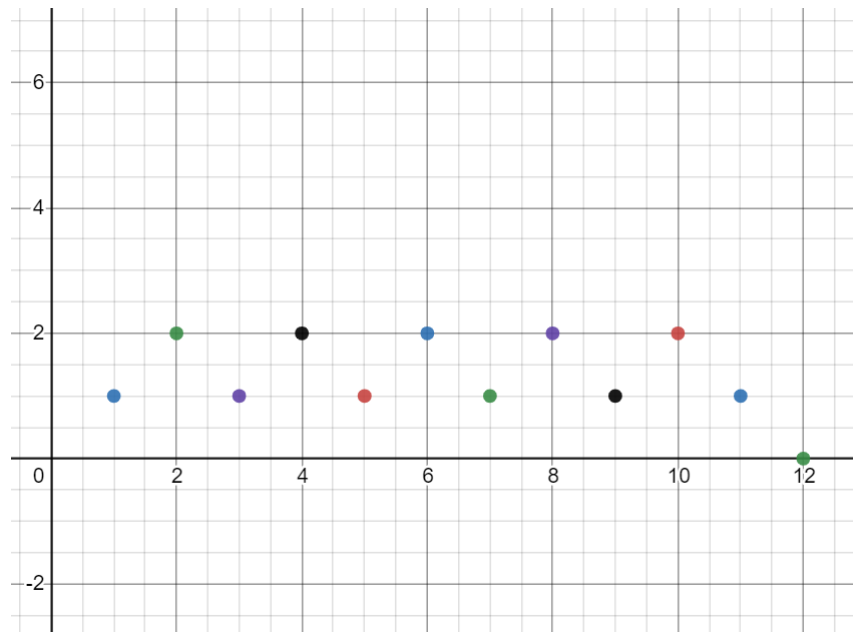


- error 그래프

다음은 매 Round별 error 횟수를 나타낸 그래프이다.

x축은 Round, y축은 error 횟수이고, input이 2차원일 때, 최대 error 횟수는 4이다.

12번째 학습 후 error 횟수가 0이 되었다.



## XOR gate

학습에 성공하지 못했다.

- 결과 화면

20회 학습 후 더이상 weight의 값이 변하지 않아 학습이 종료되었고, 학습에 실패했다.

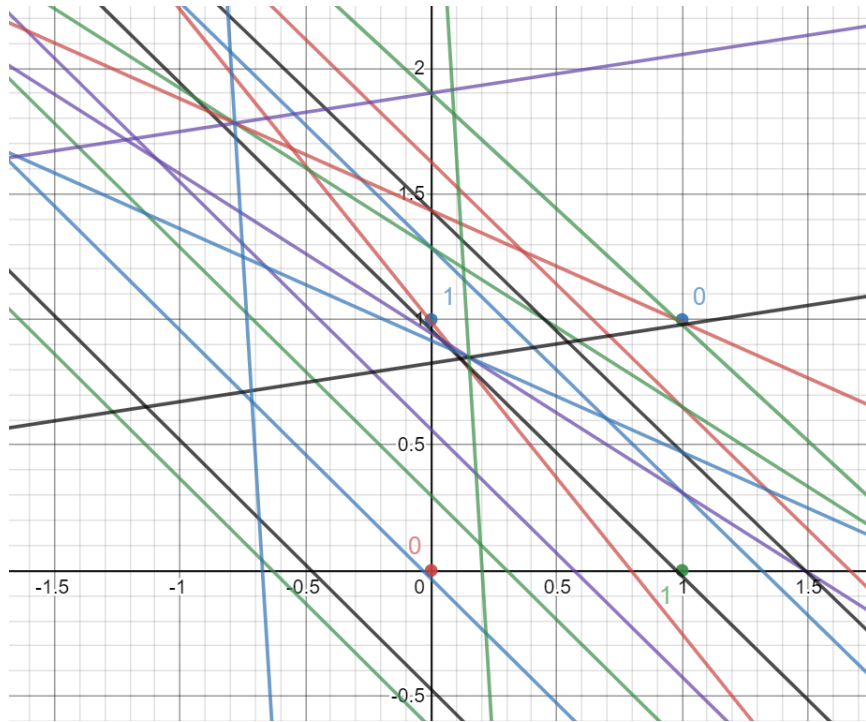
```
XOR gate learning
[Round1]
weight0 : -0.623236   weight1 : 0.985763   weight2 : 0.992923
output : 1   1   1   1   error_cnt : 2
[Round2]
weight0 : -0.423236   weight1 : 0.885763   weight2 : 0.892923
output : 1   1   1   1   error_cnt : 2
[Round3]
weight0 : -0.223236   weight1 : 0.785763   weight2 : 0.792923
output : 1   1   1   1   error_cnt : 2
[Round4]
weight0 : -0.023236   weight1 : 0.685763   weight2 : 0.692923
output : 1   1   1   1   error_cnt : 2
[Round5]
weight0 : 0.176764    weight1 : 0.585763   weight2 : 0.592923
output : 0   1   1   1   error_cnt : 1
[Round6]
weight0 : 0.276764    weight1 : 0.485763   weight2 : 0.492923
output : 0   1   1   1   error_cnt : 1
[Round7]
weight0 : 0.376764    weight1 : 0.385763   weight2 : 0.392923
output : 0   1   1   1   error_cnt : 1
[Round8]
weight0 : 0.476764    weight1 : 0.285763   weight2 : 0.292923
output : 0   0   0   1   error_cnt : 3
[Round9]
weight0 : 0.376764    weight1 : 0.285763   weight2 : 0.292923
output : 0   0   1   1   error_cnt : 2
[Round10]
weight0 : 0.376764    weight1 : 0.185763   weight2 : 0.292923
output : 0   0   0   1   error_cnt : 3
[Round11]
weight0 : 0.276764    weight1 : 0.185763   weight2 : 0.292923
output : 0   1   0   1   error_cnt : 2
[Round12]
weight0 : 0.276764    weight1 : 0.185763   weight2 : 0.192923
[Round12]
weight0 : 0.276764    weight1 : 0.185763   weight2 : 0.192923
output : 0   0   1   1   error_cnt : 2
[Round13]
weight0 : 0.276764    weight1 : 0.0857626   weight2 : 0.192923
output : 0   0   0   1   error_cnt : 3
[Round14]
weight0 : 0.176764    weight1 : 0.0857626   weight2 : 0.192923
output : 0   1   0   1   error_cnt : 2
[Round15]
weight0 : 0.176764    weight1 : 0.0857626   weight2 : 0.0929227
output : 0   0   1   1   error_cnt : 2
[Round16]
weight0 : 0.176764    weight1 : -0.0142374   weight2 : 0.0929227
output : 0   0   0   1   error_cnt : 3
[Round17]
weight0 : 0.076764    weight1 : -0.0142374   weight2 : 0.0929227
output : 0   1   0   1   error_cnt : 2
[Round18]
weight0 : 0.076764    weight1 : -0.0142374   weight2 : -0.00707735
output : 0   0   1   1   error_cnt : 2
[Round19]
weight0 : 0.076764    weight1 : -0.114237    weight2 : -0.00707735
output : 0   0   0   1   error_cnt : 3
[Round20]
weight0 : -0.023236    weight1 : -0.114237    weight2 : -0.00707735
output : 1   0   0   1   error_cnt : 4
Learning failed.
```

- Learning 과정 그래프

다음은 x1, x2의 target과 매 Round별 learning 결과를 직선 그래프로 나타낸 것이다.

20번 째 학습 후 더이상 weight값이 업데이트되지 않아 학습을 종료했고,

결국 XOR gate의 동작을 해내지 못했다.

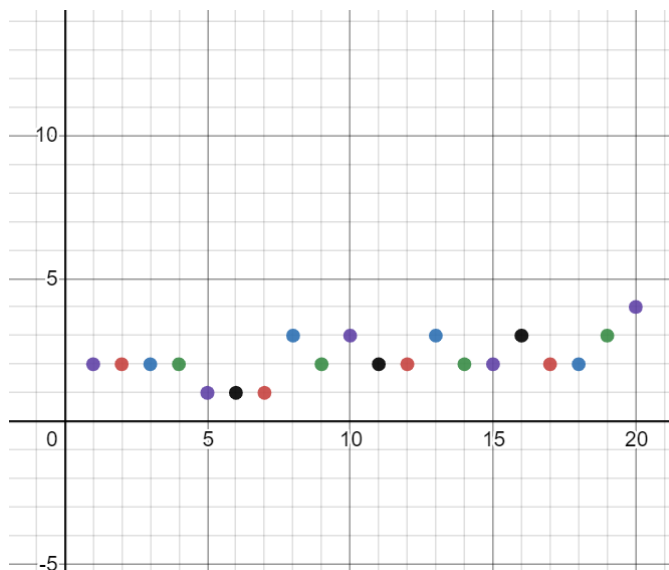


- error 그래프

다음은 매 Round별 error 횟수를 나타낸 그래프이다.

x축은 Round, y축은 error 횟수이고, input이 2차원일 때, 최대 error 횟수는 4이다.

20번 째 학습 후, 학습에 실패했다고 판단하여 error 횟수가 4인 상태로 학습을 종료했다.



## 4. 분석 및 고찰

### Learning rate에 따라 결과가 다르다

위 결과는 Learning rate를 0.1로 설정했을 때의 결과이다. AND gate는 학습 6회만에, OR gate는 학습 12회만에 학습에 성공하였고, XOR gate는 20번째 학습 후 학습이 불가하다고 판단하여 종료하였다. 만약 Learning rate를 다르게 설정한다면 어떤 결과가 나올까? 초기 weight값 등 다른 조건은 모두 동일한 상태에서 Learning rate를 점점 크게 설정해 학습시켜보았다. 0.2부터 1.0까지는 0.1단위로 증가시키고, 1.0 이상부터는 1.0단위로 10.0까지 증가시켰다.

Learning rate 값이 증가할수록 대체로 학습속도가 빨라지는 듯 했지만 학습속도가 항상 증가하는 것은 아니며, 일부 값에서는 오히려 감소했다. 이를 통해 다음과 같은 결론을 내렸다.

1. 다른 조건이 모두 동일할 때, Learning rate에 따라 학습속도가 다르다.
2. Learning rate가 너무 작으면 학습속도가 느리다.
3. 그렇다고 Learning rate가 클수록 무조건 학습속도가 빠른 것도 아니다.
4. Learning rate가 너무 크면 한 스텝이 너무 커서 global minimum에 도달하지 못해 학습에 실패할 것 같다.

따라서 적절한 Learning rate를 구하는 방법이 필요할 것 같다.

## 초기 weight 값에 따라 결과가 달라진다

perceptron 구현 시 초기 weight 값이 랜덤으로 설정되도록 했다. 초기 weight값을 제외한 다른 조건이 모두 동일한 상태일 때, 초기 weight값에 따라 학습 속도와 학습 성공시 최종 weight값이 매번 달랐다. 따라서 적절한 초기 weight 값을 구하는 방법이 필요할 것 같다.

## 최적의 weight?

각 gate의 동작을 수행하도록 하는 weight는 한 가지가 아니라 여러 개가 가능한데, 이중 좀 더 나은 weight가 존재할까? AND, OR gate는 동작이 단순하지만, 더 복잡한 동작을 요구하는 perceptron일수록 최적의 weight 값이 필요할 것 같다.

## XOR gate 학습에 실패한 이유

몇 번의 학습을 거치면 error 횟수가 0에 도달해 루프를 탈출하는 AND, OR gate와 달리, XOR gate는 어느 시점부터는 더이상 weight값이 업데이트되지 않아 error 횟수가 0에 도달하지 못한 상태로 무한루프에 걸렸다. 무한루프에 걸리는걸 막기 위해 학습이 완료되지 않았는데 더이상 weight의 값이 변하지 않으면 루프를 종료해 학습을 종료하는 구문을 추가하였다.

XOR gate의 [learning 과정 그래프]를 참고했을 때, 하나의 직선으로는 (0,1), (1,0) 과 (0,0), (1,1)을 두 부분으로 나눌 수 없으므로 이는 **non-linear problem**임을 알 수 있다. 따라서 perceptron이 적절한 직선 수식을 찾지 못한 채 학습에 실패한 것은 당연한 일이다. non-linear problem을 해결하기 위해서는 **multi-layer perceptron**이 필요하다.