제3장 게임트리

학습 목표

- 미니맥스 알고리즘을 살펴본다.
- 알파베타 가지치기 알고리즘을 이해한다.

이번장에서 다루는 게임의 종류

- 이번 장에서는 게임을 위한 프로그램을 작성하는 문제를 생각해보자. 설명을 단순화하기 위해 우리는 다음과 같은 속성을 가진 게임만 고려할 것이다. 바둑이나 체스가 여기에 속한다.

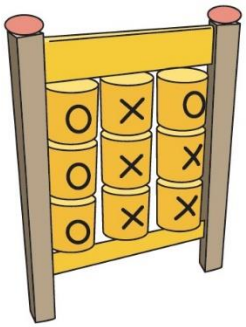
- 두 명의 경기자 - 경기자들이 연합하는 경우는 다루지 않는다.
- 제로썸 게임 - 한 경기자의 승리는 다른 경기자의 패배이다. 협동적인 승리는 없다.
- 차례대로 수를 두는 게임만을 대상으로 한다. (순차적인 게임)

인공지능과 게임

- 게임은 예전부터 인공지능의 매력적인 연구 주제였다.
- Tic-Tac-Toe나 체스, 바둑과 같은 게임은 추상적으로 정의할 수 있고 지적 능력과 연관이 있는 것으로 생각되었다.
- 이들 게임은 비교적 적은 수의 연산자들을 가진다. 연산의 결과는 엄밀한 규칙으로 정의된다.

게임의 정의

- 2인용 게임
- 두 경기자를 MAX와 MIN으로 부르자.
- 항상 MAX가 먼저 수를 둔다고 가정한다.



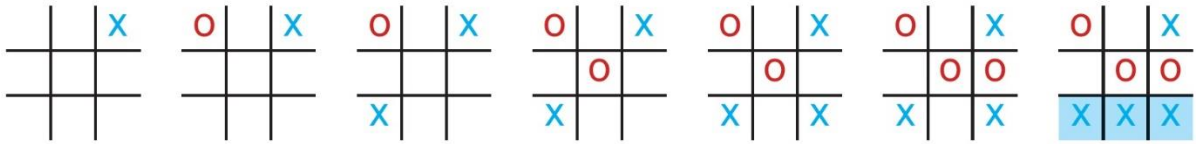


그림 3-1 Tic-Tac-Toe 게임

Tic-Tac-Toe의 게임 트리

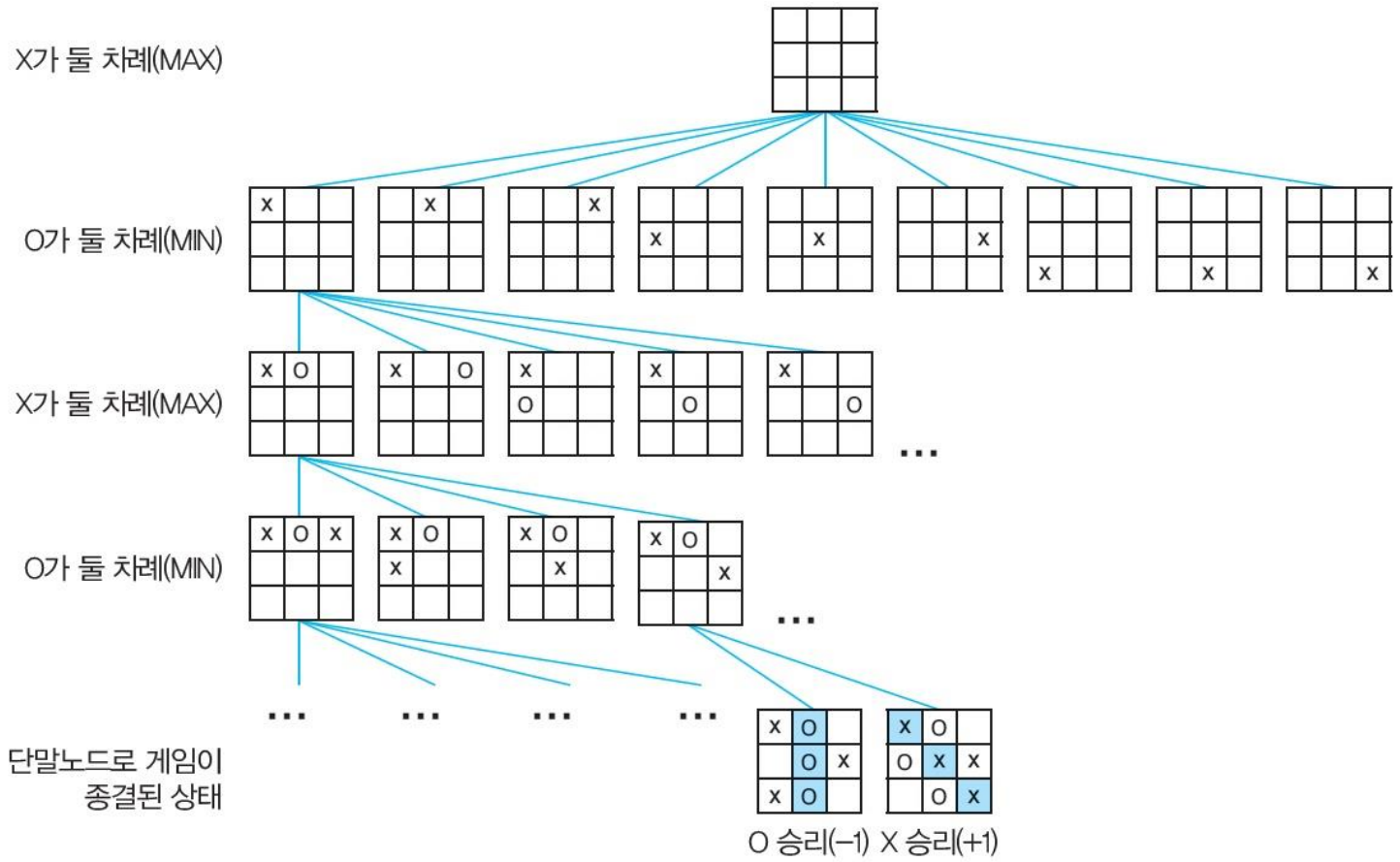


그림 3–2 틱택토 게임의 게임 트리(일부)

Tic-Tac-Toe 게임 트리의 크기

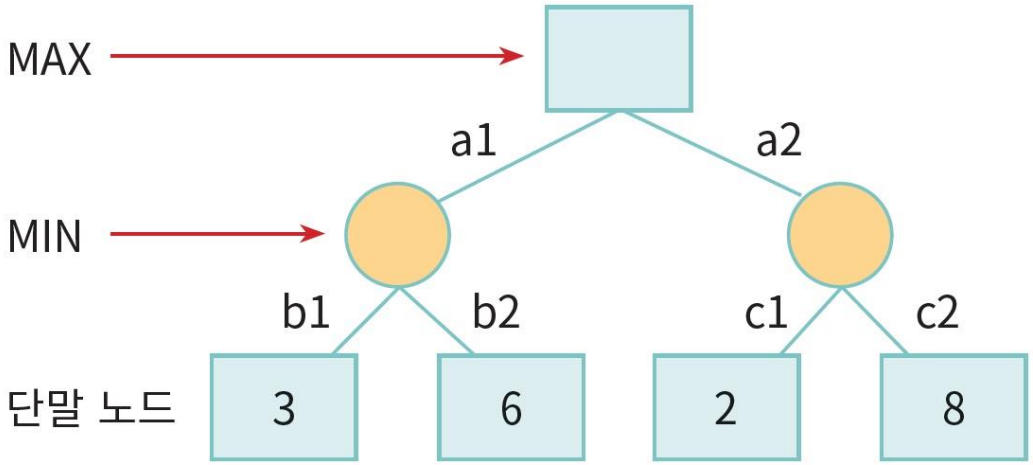
- Tic-Tac-Toe의 게임 트리는 크기가 얼마나 될까?

- Tic-Tac-Toe 게임 보드는 3×3 크기를 가지고 있고 한 곳에 수를 놓으면 다른 사람이 놓을 수 있는 곳은 하나가 줄어들게 된다.

  $9 \times 8 \times 7 \times \ldots \times 1 = 9! = 362{,}880$

미니맥스 알고리즘

- 안전하게 하려면 상대방이 최선의 수를 둔다고 생각하면 된다.



미니맥스(minimax) 알고리즘

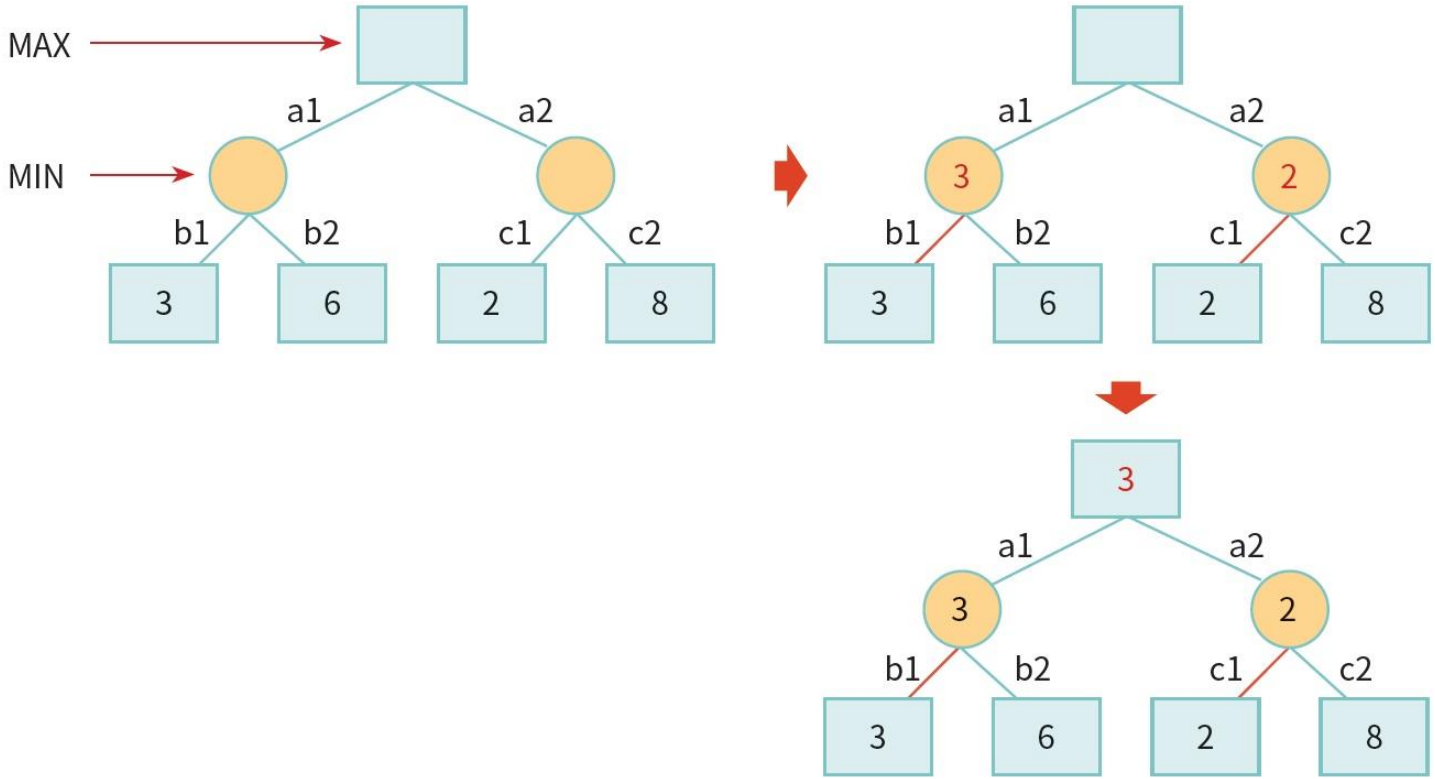


그림 3–4 미니맥스 알고리즘

틱택토 게임에서의 미니맥스

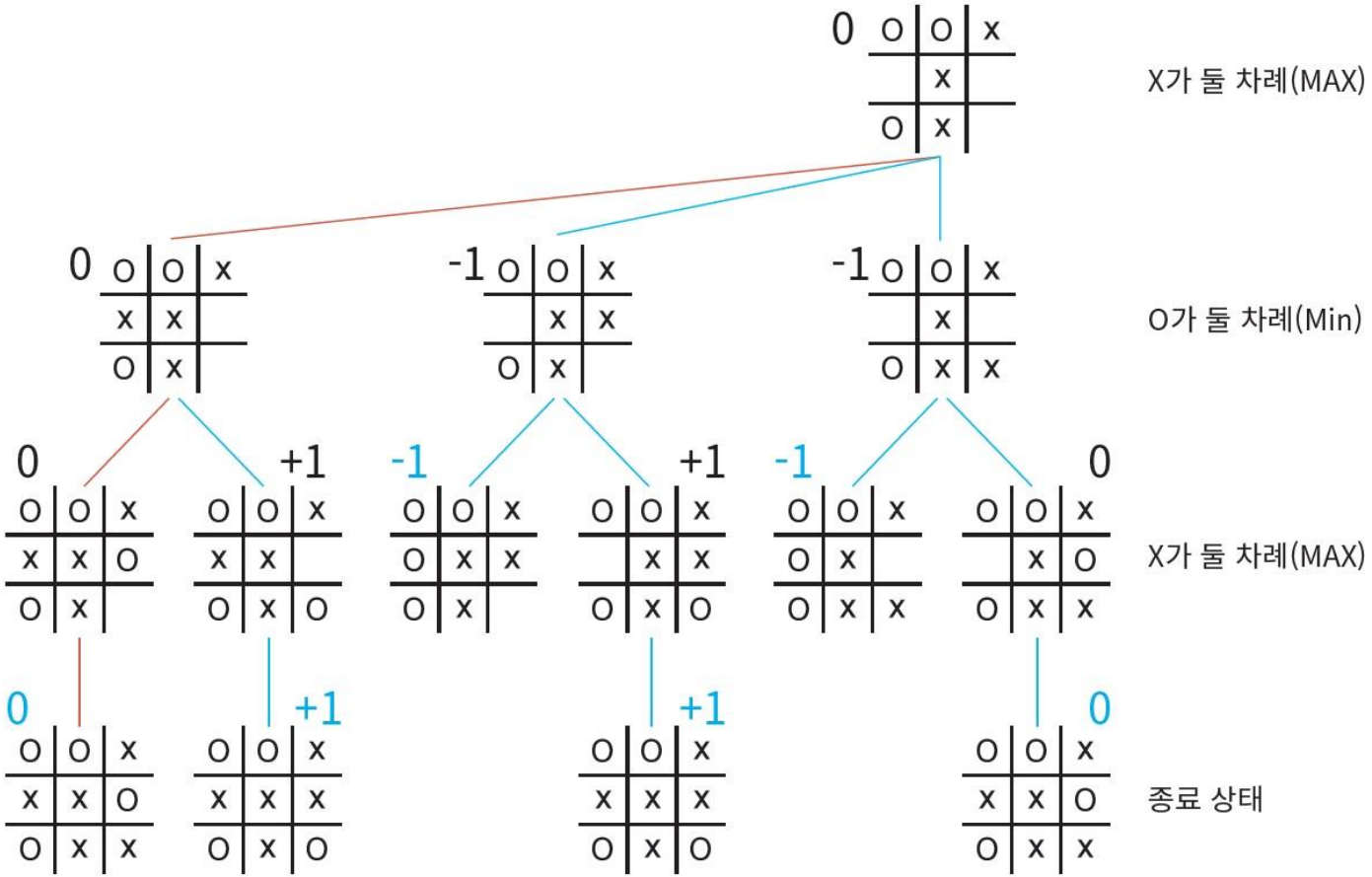
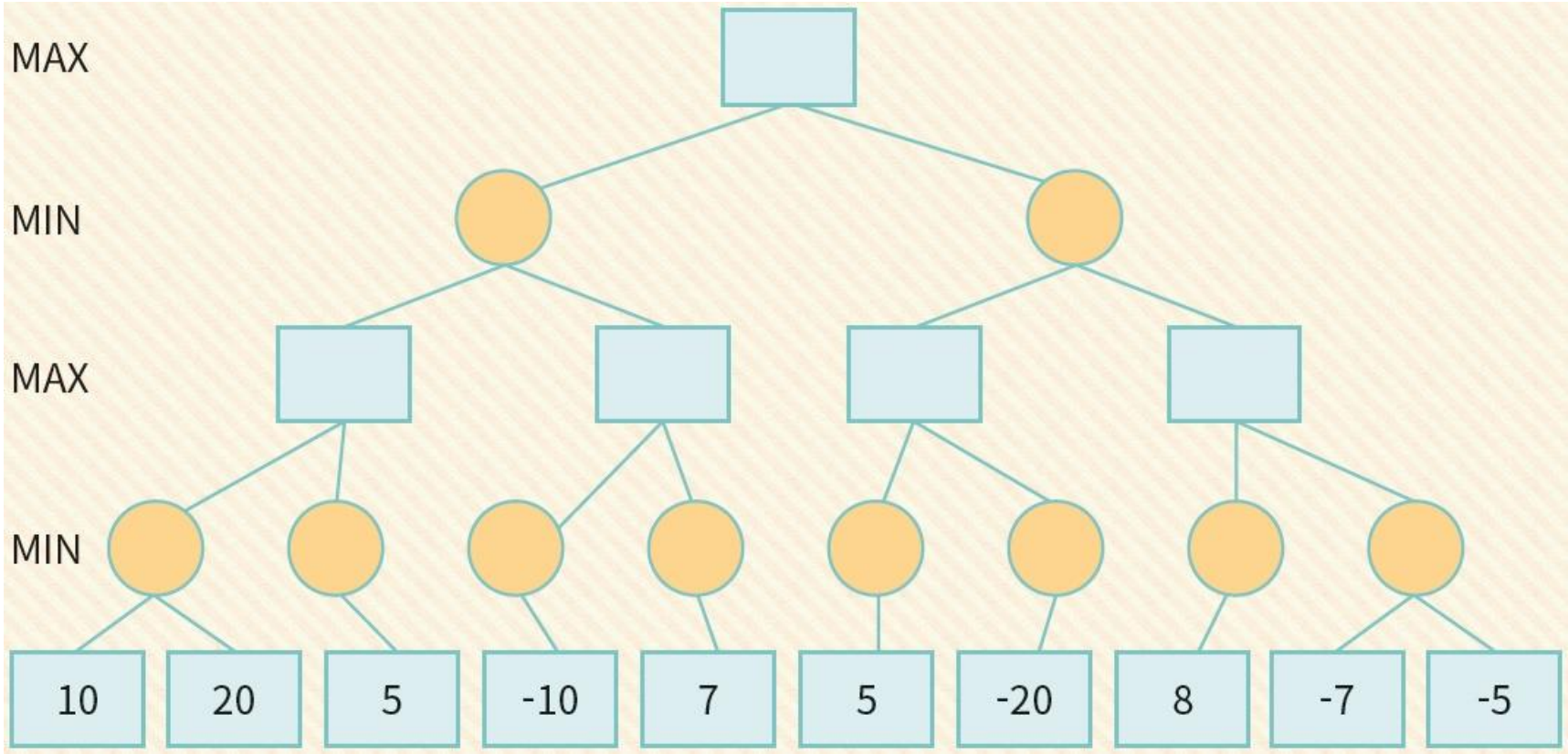


그림 3–5 틱택토 게임에서 미니맥스 알고리즘

Lab: 미니맥스 알고리즘 실습



미니맥스 알고리즘

```
function minimax(node, depth, maxPlayer)
    if depth == 0 or node가 단말 노드 then
        return node의 휴리스틱 값
    if maxPlayer then
        value ← −∞
        for each child of node do
            value ← max(value, minimax(child, depth − 1, FALSE))
        return value
    else   // 최소화 노드
        value ← +∞
        for each child of node do
            value ← min(value, minimax(child, depth − 1, TRUE))
        return value
```

미니맥스 알고리즘의 시간 복잡도

- 미니맥스 알고리즘은 게임 트리에 대하여 완벽한 깊이 우선 탐색을 수행한다. 만약 트리의 최대 깊이가 m이고 각 노드에서의 가능한 수가 b개라면 최대최소 알고리즘의 시간 복잡도는 $O(b^m)$이다.

- 바둑은 경우의 수가 약 316!이다. 이것을 계산해보면 약 10^{761}로 추산된다. 전체 우주는 약 10^{80}개의 원자 만을 포함하는 것으로 추정된다.

Tic-Tac-Toe 구현

```
# 보드는 1차원 리스트로 구현한다.
game_board = [' ', ' ', ' ',
              ' ', ' ', ' ',
              ' ', ' ', ' ']


# 비어 있는 칸을 찾아서 리스트로 반환한다.
def empty_cells(board):
    cells = []
    for x, cell in enumerate(board):
            if cell == ' ':
                cells.append(x)
    return cells

# 비어 있는 칸에는 놓을 수 있다.
def valid_move(x):
    return x in empty_cells(game_board)
```

Tic-Tac-Toe 구현

```
# 위치 x에 놓는다.
def move(x, player):
    if valid_move(x):
        game_board[x] = player
        return True
    return False

# 현재 게임 보드를 그린다.
def draw(board):
    for i, cell in enumerate(board):
        if i%3 == 0:
            print('\n----------------')
        print('|', cell , '|', end='')
    print('\n----------------')

# 보드의 상태를 평가한다.
def evaluate(board):
    if check_win(board, 'X'):
        score = 1
    elif check_win(board, 'O'):
        score = -1
    else:
        score = 0
    return score
```

Tic-Tac-Toe 구현

```
# 1차원 리스트에서 동일한 문자가 수직선이나 수평선, 대각선으로 나타나면
# 승리한 것으로 한다.
def check_win(board, player):
    win_conf = [
        [board[0], board[1], board[2]],
        [board[3], board[4], board[5]],
        [board[6], board[7], board[8]],
        [board[0], board[3], board[6]],
        [board[1], board[4], board[7]],
        [board[2], board[5], board[8]],
        [board[0], board[4], board[8]],
        [board[2], board[4], board[6]],
    ]
    return [player, player, player] in win_conf

# 1차원 리스트에서 동일한 문자가 수직선이나 수평선, 대각선으로 나타나면
# 승리한 것으로 한다.
def game_over(board):
    return check_win(board, 'X') or check_win(board, 'O')
```

```
# 미니맥스 알고리즘을 구현한다.
# 이 함수는 순환적으로 호출된다.
def minimax(board, depth, maxPlayer):
    pos = -1
    # 단말 노드이면 보드를 평가하여 위치와 평가값을 반환한다.
    if depth == 0 or len(empty_cells(board)) == 0 or game_over(board):
        return -1, evaluate(board)

    if maxPlayer:
        value = -10000  # 음의 무한대
        # 자식 노드를 하나씩 평가하여서 최선의 수를 찾는다.
        for p in empty_cells(board):
            board[p] = 'X'                  # 보드의 p 위치에 'X'을 놓는다.

            # 경기자를 교체하여서 minimax()를 순환호출한다.
            x, score = minimax(board, depth-1, False)
            board[p] = ' '                  # 보드는 원 상태로 돌린다.
            if score > value:
                value = score               # 최대값을 취한다.
                pos = p                     # 최대값의 위치를 기억한다.
    else:
        value = +10000  # 양의 무한대
        # 자식 노드를 하나씩 평가하여서 최선의 수를 찾는다.
        for p in empty_cells(board):
            board[p] = 'O'                  # 보드의 p 위치에 'O'을 놓는다.

            # 경기자를 교체하여서 minimax()를 순환호출한다.
            x, score = minimax(board, depth-1, True)
            board[p] =  ' '                 # 보드는 원 상태로 돌린다.
            if score < value:
                value = score               # 최소값을 취한다.
                pos = p                     # 최소값의 위치를 기억한다.
    return pos, value      # 위치와 값을 반환한다.
```

Tic-Tac-Toe 구현

```
player='X'
# 메인 프로그램
while True:
    draw(game_board)
    if len(empty_cells(game_board)) == 0 or game_over(game_board):
        break
    i, v = minimax(game_board, 9, player=='X')
    move(i, player)
    if player=='X':
        player='O'
    else:
        player='X'

if check_win(game_board, 'X'):
    print('X 승리!')
elif check_win(game_board, 'O'):
    print('O 승리!')
else:
    print('비겼습니다!')
```

실행결과

```
---------------
|  ||  ||  |
---------------
|  ||  ||  |
---------------
|  ||  ||  |
---------------

---------------
| X ||  ||  |
---------------
|  ||  ||  |
---------------
|  ||  ||  |
---------------

---------------
| X ||  ||  |
---------------
|  || O ||  |
---------------
|  ||  ||  |
---------------
...
---------------
| X || X || O |
---------------
| O || O || X |
---------------
| X || O || X |
---------------
비겼습니다!
```

알파베타 가지치기

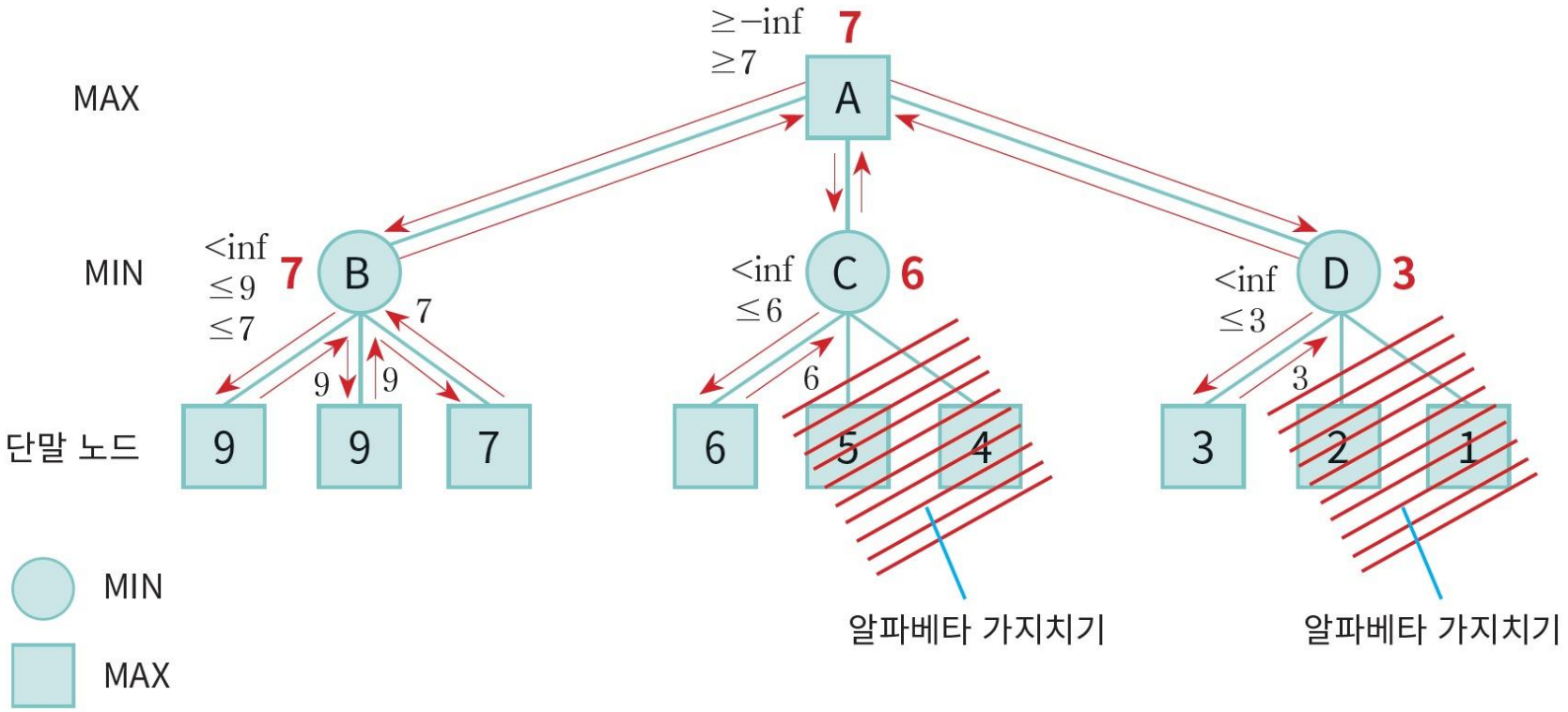


그림 3–6 알파베타 가지치기

알파베타 가지치기

- 미니매스 알고리즘에서 형성되는 탐색 트리 중에서 상당 부분은 결과에 영향을 주지 않으면서 가지들을 쳐낼 수 있다.
- 이것을 알파베타 가지치기라고 한다.
- 탐색을 할 때 알파값과 베타값이 자식 노드로 전달된다. 자식 노드에서는 알파값과 베타값을 비교하여서 쓸데없는 탐색을 중지할 수 있다.
- MAX는 알파값만을 업데이트한다. MIN은 베타값만을 업데이트한다.

알파베타 알고리즘

```
function alphabeta(node, depth, α, β, maximizingPlayer)
    if depth == 0 or node가 단말 노드 then
        return node의 휴리스틱 값
    if maximizingPlayer then              // 최대화 경기자
        value ← −∞
        for each child of node do
            value ← max(value, alphabeta(child, depth−1, α, β, FALSE))
            α ← max(α, value)
            if α ≥ β then
                break //이것이 β 컷이다.
        return value
    else                                  // 최소화 경기자
        value ← +∞
        for each child of node do
            value ← min(value, alphabeta(child, depth−1, α, β, TRUE))
            β ← min(β, value)
            if α ≥ β then
                break //이것이 α 컷이다.
        return value
```

현재 노드의 최대값이 부모 노드의 값(β)보다 커지게 되면 더 이상 탐색할 필요가 없음

현재 노드의 최소값이 부모 노드의 값(α)보다 작으면 되면 더 이상 탐색할 필요가 없음

알파베타 알고리즘

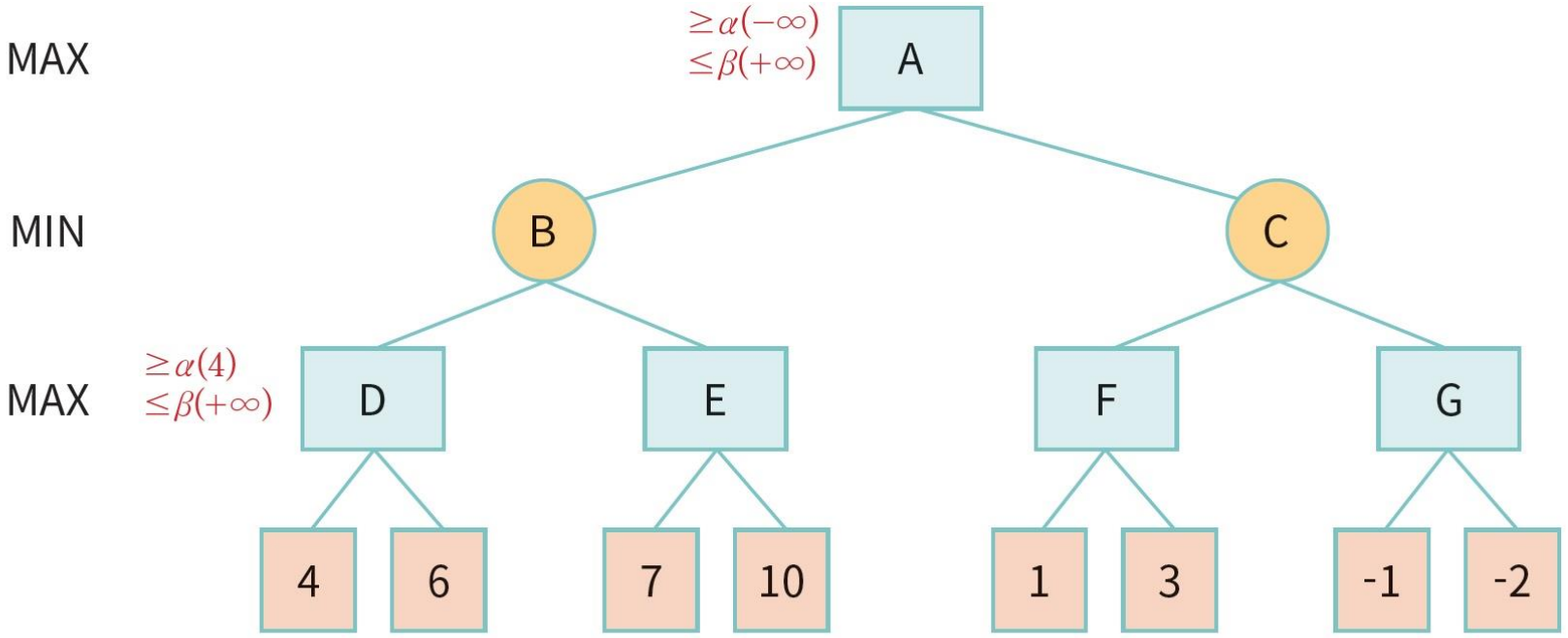


그림 3–7 알파베타 가지치기 알고리즘 I

알파베타 알고리즘

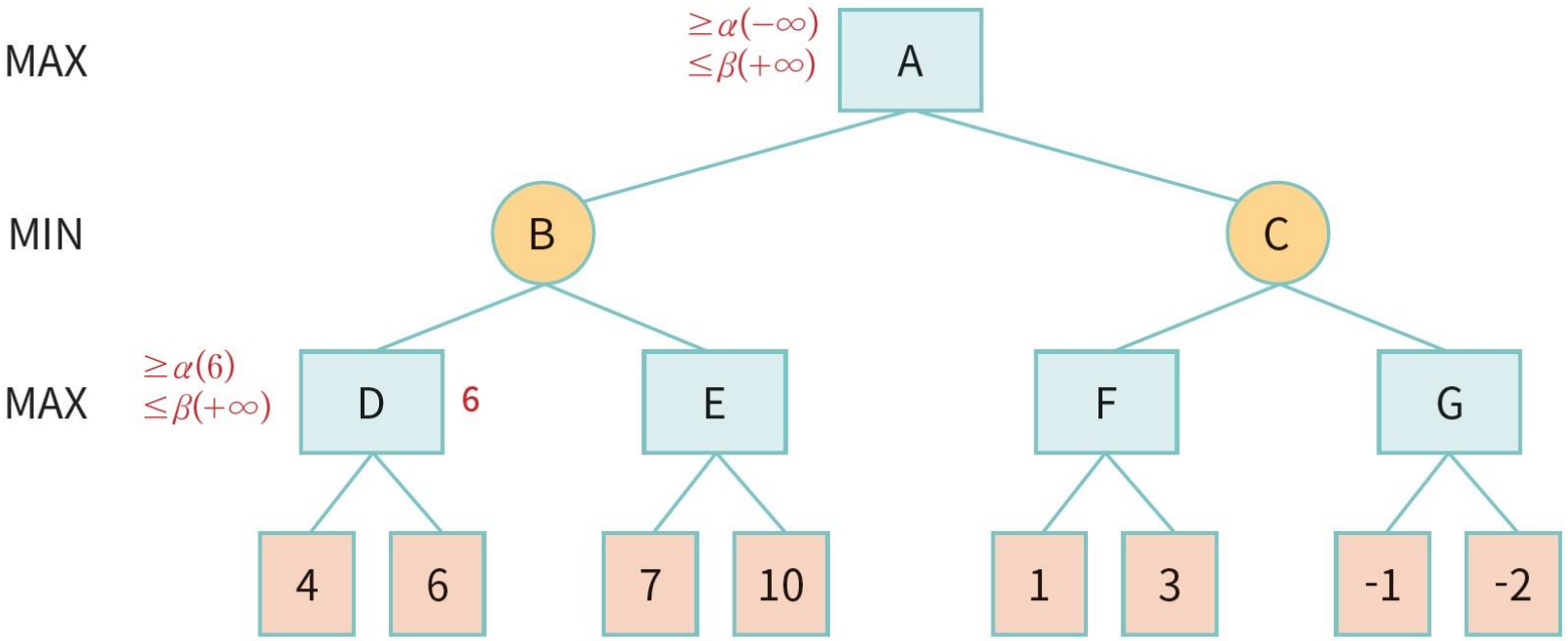


그림 3-8 알파베타 가지치기 알고리즘 II

알파베타 알고리즘

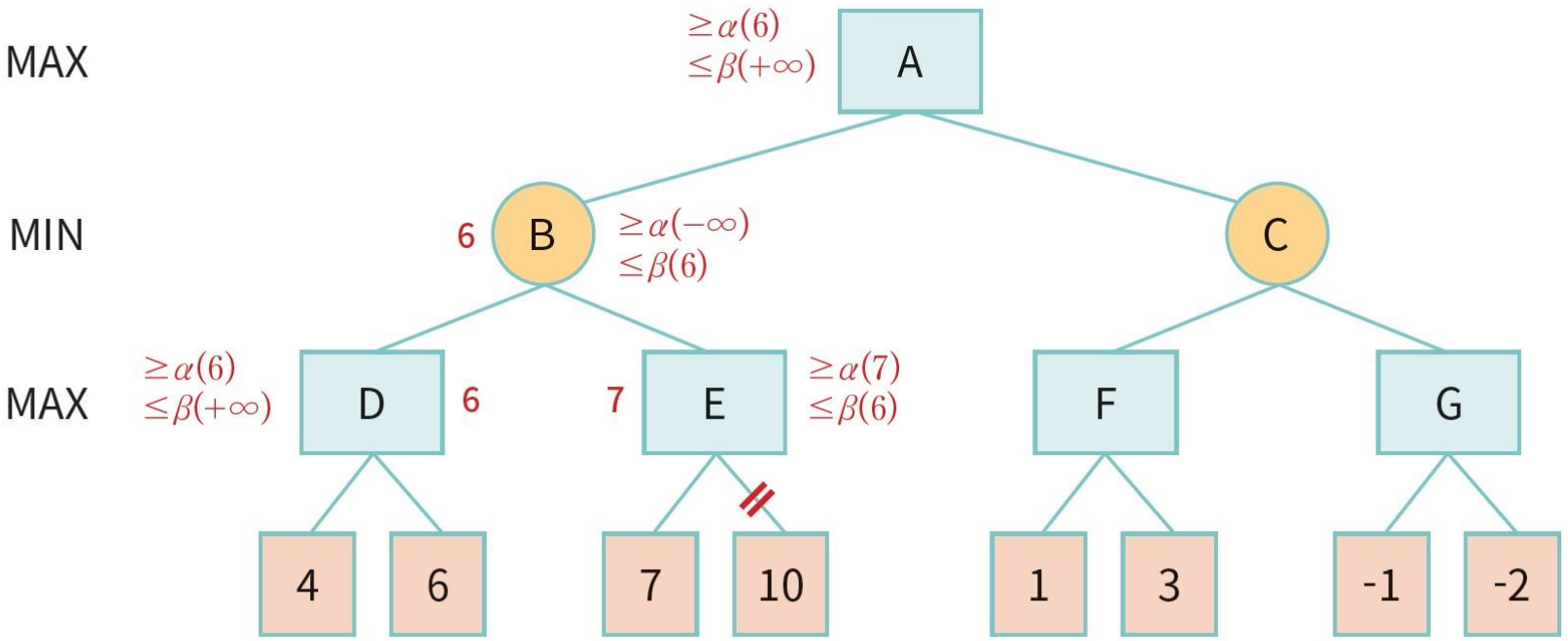


그림 3–9 알파베타 가지치기 알고리즘 III

알파베타 알고리즘

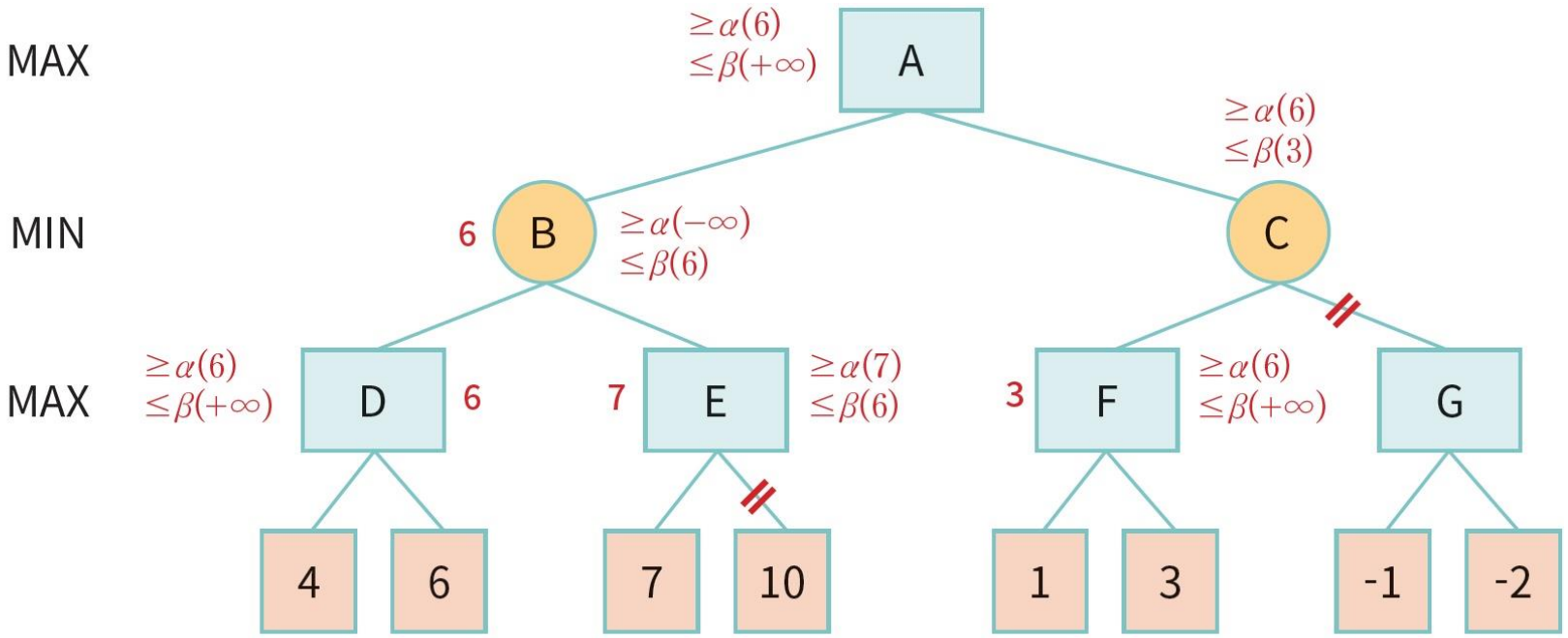


그림 3–10 알파베타 가지치기 알고리즘 IV

불완전한 결정

- 미니맥스 알고리즘은 탐색 공간 전체를 탐색하는 것을 가정한다. 하지만 실제로는 탐색 공간의 크기가 무척 커서 우리는 그렇게 할 수 없다. 실제로는 적당한 시간 안에 다음 수를 결정하여야 한다. 어떻게 하면 될까?
- 이때는 탐색을 끝내야 하는 시간에 도달하면 탐색을 중단하고 탐색 중인 상태에 대하여 휴리스틱 평가 함수(evaluation function)를 적용해야 한다. 즉 비단말 노드이지만 단말 노드에 도달한 것처럼 생각하는 것이다.

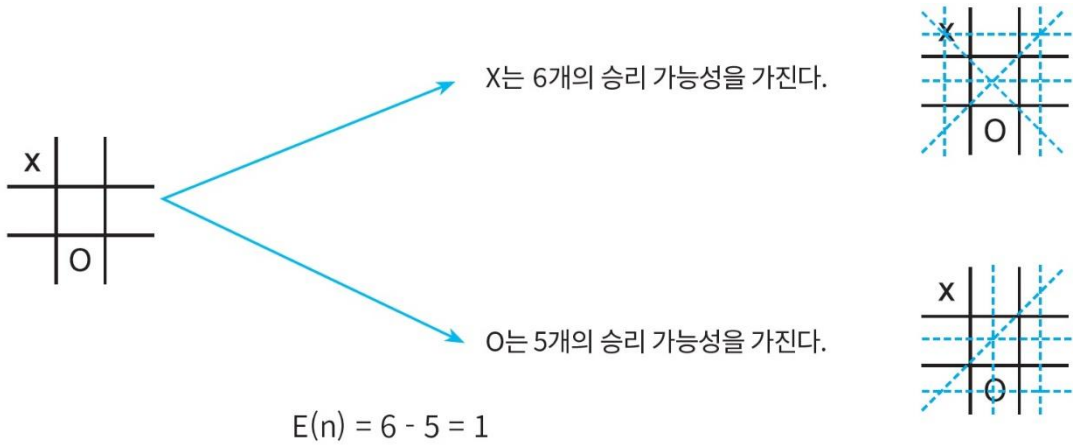


그림 3-11 평가 함수

Summary

- 게임에서는 상대방이 탐색에 영향을 끼친다. 이 경우에는 미니맥스 알고리즘을 사용하여 탐색을 진행할 수 있다. 미니맥스 알고리즘은 상대방이 최선의 수를 둔다고 가정하는 알고리즘이다.
- 두 명의 경기자 MAX와 MIN이 있으며, MAX는 평가 함수값이 최대인 자식 노드를 선택하고 MIN은 평가 함수값이 최소인 자식 노드를 선택한다.
- 탐색 트리의 어떤 부분은 제외하여도 결과에 영향을 주지 않는다. 이것을 알파베타 가지치기(alpha-beta pruning)라고 한다.

Q & A