

تابع هیوریستیک در نظر گرفته شده برای این سوال مجموع فاصله‌های منتهن هر خانه با خانه هدفش با در نظر گرفتن امکان شیفت سطرها و ستون‌ها ضرب در ۱۰ است. ابتدا توجه داریم که در این سوال به دنبال بدست آوردن جواب اپتیمال نیستیم لذا admissible بودن heuristic اهمیت چندانی ندارد. در ازای آن به دنبال هرچه سریع‌تر بدست آوردن یک جواب هستیم که ضریب ۱۰ در انتهای مجموع فاصله‌های منتهن در این امر به ما کمک می‌کند.

```
def heuristic_function(current_state: np.array, goal_state: np.array) -> int:
    h = 0
    n = current_state.shape[0]
    for i in range(n):
        for j in range(n):
            num = goal_state[i, j]
            num_position_in_current_state = np.argwhere(current_state == num)[0]
            x_diff, y_diff = np.abs(num_position_in_current_state - [i, j])
            h += min(x_diff, n - x_diff) + min(y_diff, n - y_diff)
    return 10 * h
```

همانطور که گفته شد فاصله منتهن یک نقطه تا نقطه هدفش با توجه به امکان شیفت در نظر گرفته می‌شود به این معنا که برای مثال در حالت $n=5$ خانه‌ی هدف یک خانه ۴ خانه بالای آن باشد به این معنا که خانه مورد نظر در سطر آخر و خانه هدف در سطر اول باشد می‌توان تنها با یک شیفت ($n-4$) به پایین خانه مورد نظر را به هدف رساند بنابراین هنگام جمع فاصله‌های منتهن از $\min(x_diff, n-x_diff)$ و $\min(y_diff, n-y_diff)$ استفاده می‌کنیم.

در ادامه به بررسی عملکرد الگوریتم خود در مقایسه با BFS می‌پردازیم:

```
2
0 3
1 2
2 1
3 0
A* time is: 0.19 seconds
Count of nodes expanded in A* is: 5
BFS time is: 0.19 seconds
Count of nodes expanded in BFS is: 19
```

```
3
7 5 6
2 3 1
0 4 8
4 1 5
2 0 3
6 8 7
A* time is: 0.26 seconds
Count of nodes expanded in A* is: 72
BFS time is: 4.12 seconds
Count of nodes expanded in BFS is: 13787
```

```
4
2 14 3 12
8 9 11 1
15 5 4 0
6 7 10 13
2 9 11 12
5 4 1 8
10 0 15 7
6 14 3 13
A* time is: 0.25 seconds
Count of nodes expanded in A* is: 16
BFS time is: 5.44 seconds
Count of nodes expanded in BFS is: 10118
```

همانطور که مشخص است A^* در زمان کمتر و با اکسپند نقاط کمتری به جواب می‌رسد چرا که به صورت هدف‌مند نقاط را اکسپند می‌کند. توجه داشته باشید که واحد زمانی نمایش داده شده در خروجی کدها ثانیه است. همچنین کد این مقایسه کننده در فایل زیپ همراه این فایل آورده شده است.