



دانشکده مهندسی کامپیوتر

گزارش پروژه درس طراحی سیستم‌های دیجیتال

استاد:

دکتر فصحتی

بردیا ماندگار | 401170637

پرسش هشتم

الف) در این سوال قصد داریم یک ماژول برای کنترل ورودی و خروجی یک پارکینگ طراحی کنیم. این پارکینگ در کل 700 ماشین ظرفیت دارد و فضای آن در هر لحظه به نحوی بین دانشجویان و کارمندان دانشگاه و سایر افراد تقسیم می‌شود.

این ماژول را ParkingController می‌نامیم. ورودی‌ها و خروجی‌های آن در زیر لیست شده است که مفهوم هر یک در صورت سوال ذکر شده است.

```
input clk,
input car_entered,
input is_uni_car_entered,
input car_exited,
input is_uni_car_exited,
output reg [9:0] uni_parked_cars,
output reg [9:0] parked_cars,
output reg [9:0] uni_vacated_space,
output reg [9:0] vacated_space,
output uni_is_vacated_space,
output is_vacated_space
```

از آنجایی که در زمان‌های متفاوت از روز این تقسیم ظرفیت به گونه‌ای متفاوت انجام می‌شود، مدار کنترلی باید درکی از زمان داشته باشد. برای این منظور متغیر زیر را تعریف می‌کنیم.

```
integer second;
```

همچنین یک پارامتر مهم برای ما در طی محاسبات و تولید سیگنال‌ها می‌تواند ظرفیت سایر افراد باشد. با داشتن این پارامتر، می‌توانیم با کم کردن آن از ظرفیت کلی، ظرفیت دانشجویان و کارمندان دانشگاه را به راحتی بدست آوریم. داشتن ظرفیت هر گروه نیز

برای این مهم است که تعیین کنیم آیا جای خالی برای ماشین جدید وجود دارد یا خیر. پس این پارامتر کلیدی را نیز به صورت زیر تعریف می‌کنیم.

```
integer total_others_space;
```

می‌توانیم فرض کنیم این مدار اولین بار از ساعت 8 صبح فعال می‌شود. در آن لحظه ظرفیت دانشجویان و کارمندان دانشگاه 500، و ظرفیت سایرین 200 است. بنابراین پارامترهای آن را در یک بلاک initial مطابق کد زیر مقداردهی می‌کنیم.

```
initial begin
    second = 8 * 3600;
    uni_parked_cars = 0;
    parked_cars = 0;
    uni_vacated_space = 500;
    vacated_space = 200;
    total_others_space = 200;
end
```

همچنین خروجی‌های uni_is_vacated_space و is_vacated_space به سادگی برحسب خروجی‌های دیگر بدست می‌آیند. بنابراین آنها را از نوع wire تعریف کرده و با دستور assign مقداردهی می‌کنیم.

```
assign uni_is_vacated_space = (uni_vacated_space > 0);
assign is_vacated_space = (vacated_space > 0);
```

حال منطق این ماژول را در یک بلاک always نسبتاً بلند تعیین می‌کنیم. این بلاک صرفاً با لبه بالارونده clock فعال می‌شود. در ابتدای آن بررسی می‌کنیم آیا در مرز بین دو ساعت مختلف قرار گرفته‌ایم یا خیر. سپس در صورت مثبت بودن پاسخ، ساعت‌های خاص را

بررسی می‌کنیم. ساعت‌های خاص، ساعت‌هایی هستند که تقسیم‌بندی ظرفیت در آن تغییر می‌کند که عبارتند از: 13، 14، 15، 16 و 8. اگر در یک ساعت خاص قرار داشتیم، پارامتر total_others_space را طبق دستور صورت سوال تغییر می‌دهیم و بر اساس آن، تمام خروجی‌های دیگر ساخته می‌شوند. سپس یک ثانیه زمان را به جلو می‌بریم. در مرحله بعدی بررسی می‌کنیم که آیا ماشینی قرار است وارد یا خارج شود یا خیر. در هر حالت مجدداً بررسی می‌کنیم که آن ماشین مربوط به یک دانشجو یا کارمند دانشگاه است یا خیر و بر اساس آن، تعداد ماشین‌های پارک شده و ظرفیت خالی آن گروه به روز می‌شود. کد این بلاک به صورت زیر است.

```
always @(posedge clk) begin
    if (second % 3600 == 0)
        if (second == (24 + 8) * 3600) begin
            second = 8 * 3600;
            total_others_space = 200;
            uni_vacated_space = 700 - total_others_space - uni_parked_cars;
            parked_cars = (parked_cars > total_others_space) ? total_others_space
: parked_cars;
            vacated_space = total_others_space - parked_cars;
        end
        else begin
            if (second == 13 * 3600 || second == 14 * 3600 || second == 15 *
3600)
                total_others_space = total_others_space + 50;
            else if (second == 16 * 3600)
                total_others_space = total_others_space + 150;
            uni_parked_cars = (uni_parked_cars > 700 - total_others_space) ? (700
- total_others_space) : uni_parked_cars;
            uni_vacated_space = 700 - total_others_space - uni_parked_cars;
            vacated_space = total_others_space - parked_cars;
        end

        second = second + 1;

        if (car_entered) begin
            if (is_uni_car_entered && uni_vacated_space > 0) begin
                uni_parked_cars = uni_parked_cars + 1;
                uni_vacated_space = uni_vacated_space - 1;
            end
            else if (~is_uni_car_entered && vacated_space > 0) begin
```

```

        parked_cars = parked_cars + 1;
        vacated_space = vacated_space - 1;
    end
end

if (car_exited) begin
    if (is_uni_car_exited && uni_parked_cars > 0) begin
        uni_parked_cars = uni_parked_cars - 1;
        uni_vacated_space = uni_vacated_space + 1;
    end
    else if (~is_uni_car_exited && parked_cars > 0) begin
        parked_cars = parked_cars - 1;
        vacated_space = vacated_space + 1;
    end
end
end
end

```

در پایان کد نهایی ماژول به شکل زیر خواهد بود.

```

module ParkingController (
    input clk,
    input car_entered,
    input is_uni_car_entered,
    input car_exited,
    input is_uni_car_exited,
    output reg [9:0] uni_parked_cars,
    output reg [9:0] parked_cars,
    output reg [9:0] uni_vacated_space,
    output reg [9:0] vacated_space,
    output uni_is_vacated_space,
    output is_vacated_space
);

integer second;
integer total_others_space;

initial begin
    second = 8 * 3600;
    uni_parked_cars = 0;
    parked_cars = 0;
    uni_vacated_space = 500;
    vacated_space = 200;
    total_others_space = 200;

```

```

end

assign uni_is_vacated_space = (uni_vacated_space > 0);
assign is_vacated_space = (vacated_space > 0);

always @(posedge clk) begin
    if (second % 3600 == 0)
        if (second == (24 + 8) * 3600) begin
            second = 8 * 3600;
            total_others_space = 200;
            uni_vacated_space = 700 - total_others_space - uni_parked_cars;
            parked_cars = (parked_cars > total_others_space) ? total_others_space
: parked_cars;
            vacated_space = total_others_space - parked_cars;
        end
        else begin
            if (second == 13 * 3600 || second == 14 * 3600 || second == 15 *
3600)
                total_others_space = total_others_space + 50;
            else if (second == 16 * 3600)
                total_others_space = total_others_space + 150;
            uni_parked_cars = (uni_parked_cars > 700 - total_others_space) ? (700
- total_others_space) : uni_parked_cars;
            uni_vacated_space = 700 - total_others_space - uni_parked_cars;
            vacated_space = total_others_space - parked_cars;
        end
    end

    second = second + 1;

    if (car_entered) begin
        if (is_uni_car_entered && uni_vacated_space > 0) begin
            uni_parked_cars = uni_parked_cars + 1;
            uni_vacated_space = uni_vacated_space - 1;
        end
        else if (~is_uni_car_entered && vacated_space > 0) begin
            parked_cars = parked_cars + 1;
            vacated_space = vacated_space - 1;
        end
    end

    if (car_exited) begin
        if (is_uni_car_exited && uni_parked_cars > 0) begin
            uni_parked_cars = uni_parked_cars - 1;
            uni_vacated_space = uni_vacated_space + 1;
        end
        else if (~is_uni_car_exited && parked_cars > 0) begin
            parked_cars = parked_cars - 1;
            vacated_space = vacated_space + 1;
        end
    end
end

```

```
        end
    end
end

endmodule
```

سپس جهت بررسی صحت عملکرد مدار، به سراغ طراحی ماژول Testbench می‌رویم. ویژگی یک ماژول Testbench خوب، بررسی هرچه دقیق‌تر حالت‌های مختلف ورودی است. هدف ما نیز طراحی چنین ماژولی است.

این ماژول را ParkingController_tb می‌نامیم. حال متغیرهای متناظر با ورودی‌ها و خروجی‌های ماژول اصلی را به ترتیب از نوع reg و wire تعریف می‌کنیم.

```
reg clk;
reg car_entered;
reg is_uni_car_entered;
reg car_exited;
reg is_uni_car_exited;

wire [9:0] uni_parked_cars;
wire [9:0] parked_cars;
wire [9:0] uni_vacated_space;
wire [9:0] vacated_space;
wire uni_is_vacated_space;
wire is_vacated_space;

integer i;
```

سپس یک instance از ماژول ParkingController می‌سازیم و متغیرهای تعریف شده را به عنوان argument به آن می‌دهیم تا عملکرد آن را مورد آزمون قرار دهیم.

```
ParkingController uut (
    .clk(clk),
    .car_entered(car_entered),
    .is_uni_car_entered(is_uni_car_entered),
    .car_exited(car_exited),
```

```
.is_uni_car_exited(is_uni_car_exited),
.uni_parked_cars(uni_parked_cars),
.parked_cars(parked_cars),
.uni_vacated_space(uni_vacated_space),
.vacated_space(vacated_space),
.uni_is_vacated_space(uni_is_vacated_space),
.is_vacated_space(is_vacated_space)
);
```

در مرحله بعد در یک بلاک initial متغیرها را مقداردهی اولیه می‌کنیم و همچنین دوره تناوب clk را نیز 2 واحد زمانی تعیین می‌کنیم.

```
initial begin
    clk = 1;
    car_entered = 0;
    is_uni_car_entered = 0;
    car_exited = 0;
    is_uni_car_exited = 0;
    forever #1 clk = ~clk;
end
```

حال در یک بلاک initial دیگر ورودی‌های مختلف را می‌سازیم. سعی شده است تا در 6 مجموعه تست مختلف عملکرد مدار مورد آزمون قرار گیرد.

• تست 1

این تست مربوط به ساعت 8:00 است. در این زمان می‌بایست 500 جایگاه به دانشجویان و کارمندان دانشگاه اختصاص یابد و 200 جایگاه به سایر افراد. در این تست 600 دانشجو/کارمند دانشگاه و 300 فرد عادی سعی می‌کنند تا ماشین خود را در پارکینگ پارک کنند، اما فقط به تعداد ظرفیت مشخص شده این امر قابل انجام است و سایر افراد موفق به پارک کردن در پارکینگ نمی‌شوند. سپس 600 درخواست خروج از طرف افراد دانشجو/کارمند دانشگاه و 300 درخواست خروج از طرف افراد دیگر به مدار ارسال می‌شود ولی مدار پس از خالی شدن پارکینگ از

هر یک از جمعیت‌ها، دیگر در را برای خروج باز نمی‌کند، چرا که اصلاً ماشینی برای خارج شدن وجود ندارد!

```
$display("-----Test Part
1-----");
$display("-----Start
Time: 08:00-----");

car_entered = 1;
is_uni_car_entered = 1;
for (i = 0; i < 600; i=i+1)
    #2;
is_uni_car_entered = 0;
for (i = 0; i < 300; i=i+1)
    #2;
car_entered = 0;

#2;
car_exited = 1;
is_uni_car_exited = 1;
for (i = 0; i < 600; i=i+1)
    #2;
is_uni_car_exited = 0;
for (i = 0; i < 300; i=i+1)
    #2;
car_exited = 0;
```

```
# -----Test Part 1-----
# -----Start Time: 08:00-----
# Time:    0, Uni Parked Cars:    1, Parked Cars:    0, Uni Vacated Space: 499, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time:    2, Uni Parked Cars:    2, Parked Cars:    0, Uni Vacated Space: 498, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time:    4, Uni Parked Cars:    3, Parked Cars:    0, Uni Vacated Space: 497, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time:    6, Uni Parked Cars:    4, Parked Cars:    0, Uni Vacated Space: 496, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time:    8, Uni Parked Cars:    5, Parked Cars:    0, Uni Vacated Space: 495, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time:   10, Uni Parked Cars:    6, Parked Cars:    0, Uni Vacated Space: 494, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time:   12, Uni Parked Cars:    7, Parked Cars:    0, Uni Vacated Space: 493, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time:   14, Uni Parked Cars:    8, Parked Cars:    0, Uni Vacated Space: 492, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time:   16, Uni Parked Cars:    9, Parked Cars:    0, Uni Vacated Space: 491, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time:   18, Uni Parked Cars:   10, Parked Cars:    0, Uni Vacated Space: 490, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time:   20, Uni Parked Cars:   11, Parked Cars:    0, Uni Vacated Space: 489, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time:   22, Uni Parked Cars:   12, Parked Cars:    0, Uni Vacated Space: 488, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time:   24, Uni Parked Cars:   13, Parked Cars:    0, Uni Vacated Space: 487, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time:   26, Uni Parked Cars:   14, Parked Cars:    0, Uni Vacated Space: 486, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time:   28, Uni Parked Cars:   15, Parked Cars:    0, Uni Vacated Space: 485, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time:   30, Uni Parked Cars:   16, Parked Cars:    0, Uni Vacated Space: 484, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time:   32, Uni Parked Cars:   17, Parked Cars:    0, Uni Vacated Space: 483, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
```

- تست 2

این تست مربوط به ساعت 13:00 است. در این زمان می‌بایست 450 جایگاه به دانشجویان و کارمندان دانشگاه اختصاص یابد و 250 جایگاه به سایر افراد. در این تست 5 دانشجو/کارمند دانشگاه و 5 فرد عادی ماشین خود را در پارکینگ پارک می‌کنند و پس از مدتی از آن خارج می‌کنند.

```
$display("-----Test
Part 2-----");

$display("-----Start
Time: 13:00-----");
#32398;

car_entered = 1;
is_uni_car_entered = 1;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
is_uni_car_entered = 0;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
car_entered = 0;

#2;
car_exited = 1;
is_uni_car_exited = 1;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
is_uni_car_exited = 0;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
car_exited = 0;
```

```

# -----Test Part 2-----
# -----Start Time: 13:00-----
# Time: 36000, Uni Parked Cars: 1, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 449, Vacated Space: 250, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 36002, Uni Parked Cars: 2, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 448, Vacated Space: 250, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 36004, Uni Parked Cars: 3, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 447, Vacated Space: 250, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 36006, Uni Parked Cars: 4, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 446, Vacated Space: 250, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 36008, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 445, Vacated Space: 250, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 36010, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 1, Uni Vacated Space: 445, Vacated Space: 249, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 36012, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 2, Uni Vacated Space: 445, Vacated Space: 248, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 36014, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 3, Uni Vacated Space: 445, Vacated Space: 247, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 36016, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 4, Uni Vacated Space: 445, Vacated Space: 246, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 36018, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 445, Vacated Space: 245, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 36022, Uni Parked Cars: 4, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 446, Vacated Space: 245, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 36024, Uni Parked Cars: 3, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 447, Vacated Space: 245, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 36026, Uni Parked Cars: 2, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 448, Vacated Space: 245, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 36028, Uni Parked Cars: 1, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 449, Vacated Space: 245, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 36030, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 450, Vacated Space: 245, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 36032, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 4, Uni Vacated Space: 450, Vacated Space: 246, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 36034, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 3, Uni Vacated Space: 450, Vacated Space: 247, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 36036, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 2, Uni Vacated Space: 450, Vacated Space: 248, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 36038, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 1, Uni Vacated Space: 450, Vacated Space: 249, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 36040, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 450, Vacated Space: 250, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1

```

• تست 3

این تست مربوط به ساعت 14:00 است. در این زمان می‌بایست 400 جایگاه به دانشجویان و کارمندان دانشگاه اختصاص یابد و 300 جایگاه به سایر افراد. در این تست 5 دانشجو/کارمند دانشگاه و 5 فرد عادی ماشین خود را در پارکینگ پارک می‌کنند و پس از مدتی از آن خارج می‌کنند.

```

$display("-----Test Part
3-----");
$display("-----Start
Time: 14:00-----");
#7158;

car_entered = 1;
is_uni_car_entered = 1;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
is_uni_car_entered = 0;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
car_entered = 0;

#2;
car_exited = 1;
is_uni_car_exited = 1;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
is_uni_car_exited = 0;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)

```

```
#2;
car_exited = 0;
```

```
# -----Test Part 3-----
# -----Start Time: 14:00-----
# Time: 43200, Uni Parked Cars: 1, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 399, Vacated Space: 300, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 43202, Uni Parked Cars: 2, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 398, Vacated Space: 300, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 43204, Uni Parked Cars: 3, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 397, Vacated Space: 300, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 43206, Uni Parked Cars: 4, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 396, Vacated Space: 300, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 43208, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 395, Vacated Space: 300, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 43210, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 1, Uni Vacated Space: 395, Vacated Space: 299, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 43212, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 2, Uni Vacated Space: 395, Vacated Space: 298, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 43214, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 3, Uni Vacated Space: 395, Vacated Space: 297, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 43216, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 4, Uni Vacated Space: 395, Vacated Space: 296, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 43218, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 395, Vacated Space: 295, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 43222, Uni Parked Cars: 4, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 396, Vacated Space: 295, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 43224, Uni Parked Cars: 3, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 397, Vacated Space: 295, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 43226, Uni Parked Cars: 2, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 398, Vacated Space: 295, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 43228, Uni Parked Cars: 1, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 399, Vacated Space: 295, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 43230, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 400, Vacated Space: 295, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 43232, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 4, Uni Vacated Space: 400, Vacated Space: 296, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 43234, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 3, Uni Vacated Space: 400, Vacated Space: 297, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 43236, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 2, Uni Vacated Space: 400, Vacated Space: 298, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 43238, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 1, Uni Vacated Space: 400, Vacated Space: 299, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 43240, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 400, Vacated Space: 300, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
```

• تست 4

این تست مربوط به ساعت 15:00 است. در این زمان می‌بایست 350 جایگاه به دانشجویان و کارمندان دانشگاه اختصاص یابد و 350 جایگاه به سایر افراد. در این تست 5 دانشجو/کارمند دانشگاه و 5 فرد عادی ماشین خود را در پارکینگ پارک می‌کنند و پس از مدتی از آن خارج می‌کنند.

```
$display("-----Test
Part 4-----");
$display("-----Start
Time: 15:00-----");
#7158;

car_entered = 1;
is_uni_car_entered = 1;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
is_uni_car_entered = 0;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
car_entered = 0;

#2;
car_exited = 1;
is_uni_car_exited = 1;
```

```

for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
is_uni_car_exited = 0;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
car_exited = 0;

```

```

# -----Test Part 4-----
# -----Start Time: 15:00-----
# Time: 50400, Uni Parked Cars: 1, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 349, Vacated Space: 350, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 50402, Uni Parked Cars: 2, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 348, Vacated Space: 350, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 50404, Uni Parked Cars: 3, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 347, Vacated Space: 350, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 50406, Uni Parked Cars: 4, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 346, Vacated Space: 350, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 50408, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 345, Vacated Space: 350, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 50410, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 1, Uni Vacated Space: 345, Vacated Space: 349, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 50412, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 2, Uni Vacated Space: 345, Vacated Space: 348, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 50414, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 3, Uni Vacated Space: 345, Vacated Space: 347, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 50416, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 4, Uni Vacated Space: 345, Vacated Space: 346, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 50418, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 345, Vacated Space: 345, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 50422, Uni Parked Cars: 4, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 346, Vacated Space: 345, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 50424, Uni Parked Cars: 3, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 347, Vacated Space: 345, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 50426, Uni Parked Cars: 2, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 348, Vacated Space: 345, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 50428, Uni Parked Cars: 1, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 349, Vacated Space: 345, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 50430, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 350, Vacated Space: 345, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 50432, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 4, Uni Vacated Space: 350, Vacated Space: 346, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 50434, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 3, Uni Vacated Space: 350, Vacated Space: 347, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 50436, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 2, Uni Vacated Space: 350, Vacated Space: 348, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 50438, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 1, Uni Vacated Space: 350, Vacated Space: 349, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 50440, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 350, Vacated Space: 350, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1

```

• تست 5

این تست مربوط به ساعت 16:00 است. در این زمان می‌بایست 200 جایگاه به دانشجویان و کارمندان دانشگاه اختصاص یابد و 500 جایگاه به سایر افراد. در این تست 5 دانشجو/کارمند دانشگاه و 5 فرد عادی ماشین خود را در پارکینگ پارک می‌کنند و پس از مدتی از آن خارج می‌کنند.

```

$display("-----Test Part
5-----");
$display("-----Start
Time: 16:00-----");
#7158;

car_entered = 1;
is_uni_car_entered = 1;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
is_uni_car_entered = 0;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
car_entered = 0;

```

```

#2;
car_exited = 1;
is_uni_car_exited = 1;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
is_uni_car_exited = 0;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
car_exited = 0;

```

```

# -----Test Part 5-----
# -----Start Time: 16:00-----
# Time: 57600, Uni Parked Cars: 1, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 199, Vacated Space: 500, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 57602, Uni Parked Cars: 2, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 198, Vacated Space: 500, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 57604, Uni Parked Cars: 3, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 197, Vacated Space: 500, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 57606, Uni Parked Cars: 4, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 196, Vacated Space: 500, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 57608, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 195, Vacated Space: 500, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 57610, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 1, Uni Vacated Space: 195, Vacated Space: 499, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 57612, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 2, Uni Vacated Space: 195, Vacated Space: 498, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 57614, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 3, Uni Vacated Space: 195, Vacated Space: 497, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 57616, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 4, Uni Vacated Space: 195, Vacated Space: 496, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 57618, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 195, Vacated Space: 495, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 57622, Uni Parked Cars: 4, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 196, Vacated Space: 495, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 57624, Uni Parked Cars: 3, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 197, Vacated Space: 495, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 57626, Uni Parked Cars: 2, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 198, Vacated Space: 495, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 57628, Uni Parked Cars: 1, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 199, Vacated Space: 495, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 57630, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 5, Uni Vacated Space: 200, Vacated Space: 495, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 57632, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 4, Uni Vacated Space: 200, Vacated Space: 496, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 57634, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 3, Uni Vacated Space: 200, Vacated Space: 497, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 57636, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 2, Uni Vacated Space: 200, Vacated Space: 498, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 57638, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 1, Uni Vacated Space: 200, Vacated Space: 499, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 57640, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 200, Vacated Space: 500, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1

```

• تست 6

این تست مربوط به ساعت 8:00 روز بعد است. در این زمان می‌بایست مجدداً 500 جایگاه به دانشجویان و کارمندان دانشگاه اختصاص یابد و 200 جایگاه به سایر افراد.

در این تست نیز 600 دانشجو/کارمند دانشگاه و 300 فرد عادی سعی می‌کنند تا ماشین خود را در پارکینگ پارک کنند، اما فقط به تعداد ظرفیت مشخص شده این امر قابل انجام است و سایر افراد موفق به پارک کردن در پارکینگ نمی‌شوند. سپس هیچ یک از این افراد تا ساعت 13:00 ماشین خود را خارج نمی‌کند و به ناچار در آن ساعت، 50 ماشین متعلق به دانشجو/کارمند دانشگاه از پارکینگ خارج می‌شود تا جا برای افراد دیگر باز شود (مثلاً با صاحب آن ماشین‌ها تماس گرفته می‌شود تا فوراً برای خارج کردن ماشین خود اقدام کنند)! بدین ترتیب 50 ظرفیت خالی برای سایر افراد ایجاد می‌شود.

```

$display("-----Test Part
6-----");
    $display("-----Start
Time: 08:00-----");
    #115170;

    car_entered = 1;
    is_uni_car_entered = 1;
    for (i = 0; i < 600; i=i+1)
        #2;
    is_uni_car_entered = 0;
    for (i = 0; i < 300; i=i+1)
        #2;
    car_entered = 0;

    #34200;

```

```

# -----Test Part 6-----
# -----Start Time: 08:00-----
# Time: 172800, Uni Parked Cars: 0, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 500, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 172812, Uni Parked Cars: 1, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 499, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 172814, Uni Parked Cars: 2, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 498, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 172816, Uni Parked Cars: 3, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 497, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 172818, Uni Parked Cars: 4, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 496, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 172820, Uni Parked Cars: 5, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 495, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 172822, Uni Parked Cars: 6, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 494, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 172824, Uni Parked Cars: 7, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 493, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 172826, Uni Parked Cars: 8, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 492, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 172828, Uni Parked Cars: 9, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 491, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 172830, Uni Parked Cars: 10, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 490, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 172832, Uni Parked Cars: 11, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 489, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 172834, Uni Parked Cars: 12, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 488, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 172836, Uni Parked Cars: 13, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 487, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 172838, Uni Parked Cars: 14, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 486, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 172840, Uni Parked Cars: 15, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 485, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 172842, Uni Parked Cars: 16, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 484, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 172844, Uni Parked Cars: 17, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 483, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1
# Time: 172846, Uni Parked Cars: 18, Parked Cars: 0, Uni Vacated Space: 482, Vacated Space: 200, Uni Vacancy: 1, Other Vacancy: 1

```

لازم به ذکر است خروجی تست‌های 1 و 6 به دلیل طولانی بودن به طور کامل قرار نگرفته‌اند. لذا توصیه می‌شود لطفاً اقدام به run کردن Testbench بفرمایید.

در پایان نیز در یک بلاک initial به مانیتور کردن خروجی‌ها پرداختیم.

```

initial begin
    $monitor("Time: %6d, Uni Parked Cars: %d, Parked Cars: %d, Uni Vacated Space:
%d, Vacated Space: %d, Uni Vacancy: %b, Other Vacancy: %b",

```

```
        $time, uni_parked_cars, parked_cars, uni_vacated_space,  
vacated_space, uni_is_vacated_space, is_vacated_space);  
    end
```

در پایان کد نهایی ماژول به شکل زیر خواهد بود.

```
module ParkingController_tb;  
  
    reg clk;  
    reg car_entered;  
    reg is_uni_car_entered;  
    reg car_exited;  
    reg is_uni_car_exited;  
  
    wire [9:0] uni_parked_cars;  
    wire [9:0] parked_cars;  
    wire [9:0] uni_vacated_space;  
    wire [9:0] vacated_space;  
    wire uni_is_vacated_space;  
    wire is_vacated_space;  
  
    integer i;  
  
    ParkingController uut (  
        .clk(clk),  
        .car_entered(car_entered),  
        .is_uni_car_entered(is_uni_car_entered),  
        .car_exited(car_exited),  
        .is_uni_car_exited(is_uni_car_exited),  
        .uni_parked_cars(uni_parked_cars),  
        .parked_cars(parked_cars),  
        .uni_vacated_space(uni_vacated_space),  
        .vacated_space(vacated_space),  
        .uni_is_vacated_space(uni_is_vacated_space),  
        .is_vacated_space(is_vacated_space)  
    );  
  
    initial begin  
        clk = 1;  
        car_entered = 0;  
        is_uni_car_entered = 0;  
        car_exited = 0;  
        is_uni_car_exited = 0;
```



```

    forever #1 clk = ~clk;
end

initial begin
    $display("-----Test
Part 1-----");
    $display("-----Start
Time: 08:00-----");

    car_entered = 1;
    is_uni_car_entered = 1;
    for (i = 0; i < 600; i=i+1)
        #2;
    is_uni_car_entered = 0;
    for (i = 0; i < 300; i=i+1)
        #2;
    car_entered = 0;

    #2;
    car_exited = 1;
    is_uni_car_exited = 1;
    for (i = 0; i < 600; i=i+1)
        #2;
    is_uni_car_exited = 0;
    for (i = 0; i < 300; i=i+1)
        #2;
    car_exited = 0;

    $display("-----Test
Part 2-----");
    $display("-----Start
Time: 13:00-----");
    #32398;

    car_entered = 1;
    is_uni_car_entered = 1;
    for (i = 0; i < 5; i=i+1)
        #2;
    is_uni_car_entered = 0;
    for (i = 0; i < 5; i=i+1)
        #2;
    car_entered = 0;

    #2;
    car_exited = 1;
    is_uni_car_exited = 1;
    for (i = 0; i < 5; i=i+1)
        #2;

```

```

is_uni_car_exited = 0;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
car_exited = 0;

$display("-----Test
Part 3-----");
$display("-----Start
Time: 14:00-----");
#7158;

car_entered = 1;
is_uni_car_entered = 1;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
is_uni_car_entered = 0;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
car_entered = 0;

#2;
car_exited = 1;
is_uni_car_exited = 1;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
is_uni_car_exited = 0;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
car_exited = 0;

$display("-----Test
Part 4-----");
$display("-----Start
Time: 15:00-----");
#7158;

car_entered = 1;
is_uni_car_entered = 1;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
is_uni_car_entered = 0;
for (i = 0; i < 5; i=i+1)
    #2;
car_entered = 0;

#2;
car_exited = 1;
is_uni_car_exited = 1;

```

```

    for (i = 0; i < 5; i=i+1)
        #2;
    is_uni_car_exited = 0;
    for (i = 0; i < 5; i=i+1)
        #2;
    car_exited = 0;

    $display("-----Test
Part 5-----");
    $display("-----Start
Time: 16:00-----");
    #7158;

    car_entered = 1;
    is_uni_car_entered = 1;
    for (i = 0; i < 5; i=i+1)
        #2;
    is_uni_car_entered = 0;
    for (i = 0; i < 5; i=i+1)
        #2;
    car_entered = 0;

    #2;
    car_exited = 1;
    is_uni_car_exited = 1;
    for (i = 0; i < 5; i=i+1)
        #2;
    is_uni_car_exited = 0;
    for (i = 0; i < 5; i=i+1)
        #2;
    car_exited = 0;

    $display("-----Test
Part 6-----");
    $display("-----Start
Time: 08:00-----");
    #115170;

    car_entered = 1;
    is_uni_car_entered = 1;
    for (i = 0; i < 600; i=i+1)
        #2;
    is_uni_car_entered = 0;
    for (i = 0; i < 300; i=i+1)
        #2;
    car_entered = 0;

    #34200;

```

```

    $stop;
end

initial begin
    $monitor("Time: %6d, Uni Parked Cars: %d, Parked Cars: %d, Uni Vacated Space: %d, Vacated Space: %d, Uni Vacancy: %b, Other Vacancy: %b",
        $time, uni_parked_cars, parked_cars, uni_vacated_space,
        vacated_space, uni_is_vacated_space, is_vacated_space);
end

endmodule

```

ب) در این بخش ابتدا یک پروژه جدید روی نرم افزار Quartus ایجاد کردیم که شامل فایل verilog مازول ParkingController بود. سپس آن را روی ماشین Max2 کامپایل کردیم و سنتز آن با موفقیت انجام شد. با رفتن به قسمت TimeQuest Timing Analyzer و گزینه Fmax Summary توانستیم حداکثر فرکانس clk این مدار را مشاهده کنیم. تصویر زیر گویای مراحل این بخش است.

The screenshot displays the Quartus II 64-bit IDE interface. The Project Navigator on the left shows the project hierarchy for 'ParkingController.v'. The Table of Contents in the center lists various reports, with 'Fmax Summary' selected. The Fmax Summary report on the right shows a table with the following data:

	Fmax	Restricted Fmax	Clock Name	Note
1	7.56 MHz	7.56 MHz	clk	

Below the table, a note states: "This panel reports FMAX for every clock in the design, regardless of the user-specified clock periods. FMAX is only computed for paths where the source and destination registers or ports are driven by the same clock. Paths of different clocks, including generated clocks, are ignored. For paths between a clock and its inversion, FMAX is computed as if the rising and falling edges are scaled along with FMAX, such that the duty cycle (in terms of a percentage) is maintained. Altera recommends that you always use clock constraints and other slack reports for sign-off analysis."