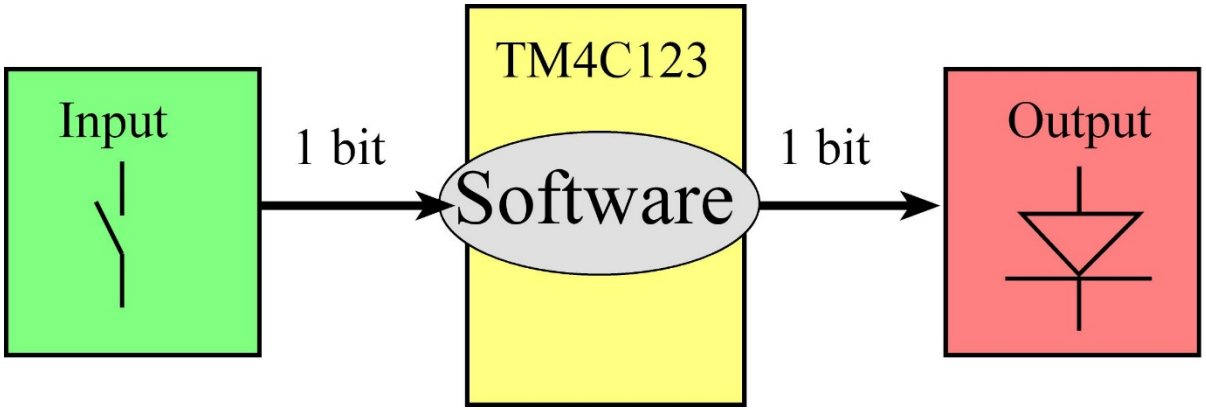
01076001
วิศวกรรมคอมพิวเตอร์เบื้องต้น
Introduction to Computer Engineering

Arduino #5

Finite State Machine

FSM : Finite State Machine

- งานบางประเภท เราสามารถใช้วิธีการบางอย่างมาใช้เขียนโปรแกรม เพื่อให้งานง่ายขึ้น
- **ตัวอย่าง :** กำหนดให้ระบบหนึ่งมี Input 1 บิต และ Output 1 บิต กำหนดให้ระบบนี้อ่านข้อมูลทุกวินาที (หมายถึง 1 วินาทีอ่านข้อมูล 1 ครั้ง) จากนั้นจะนำข้อมูลไปบวกสะสม โดยหากข้อมูลในระบบเป็นเลขคี่ Output จะมีค่าเป็น 1 และหากข้อมูลในระบบเป็นเลขคู่ Output จะมีค่าเป็น 0 โดยแสดงผลออกทาง LED

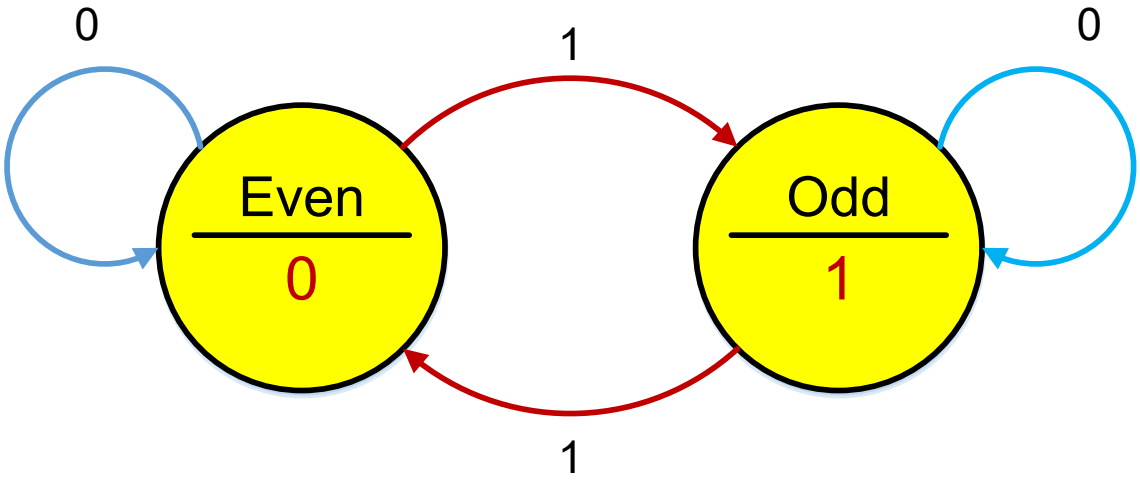


FSM : Finite State Machine

- เป็นวิธีการหนึ่งที่มีการนำไปใช้มากในเรื่องต่างๆ โดยเฉพาะในงานที่สามารถกำหนดเป็น “สถานะ” (state) ต่างๆ ได้
- หลักการพื้นฐานของ FSM คือ การแยกสิ่งที่จะทำ (policies) ออกจากกลไกการทำงาน (mechanisms) ซึ่งจะเป็นผลให้การปรับปรุงหรือปรับเปลี่ยนการทำงานสามารถทำได้อย่างสะดวกมากขึ้น
- องค์ประกอบของ FSM ประกอบด้วย Input, Output, State และ State Transition
- การทำงานของ FSM โดยย่อ คือ ระบบจะเปลี่ยน state ไปตาม Input ที่เข้ามาเพื่อสร้าง output ไปตามที่ต้องการ

FSM : Finite State Machine

- จากตัวอย่าง สถานะ (state) คือ สถานะที่ Output เป็น 1 และ สถานะที่ Output เป็น 0 (มีทั้งหมด 2 สถานะ)
- สิ่งที่ต้องการคือ เมื่อนับได้เลขคี่ ให้ Output เป็น 1 หากนับได้เลขคู่ ให้ Output เป็น 0
- กลไกการทำงาน คือ การนับและให้ Output
- หาก state ปัจจุบันเป็น เลขคู่ ถ้า Input เป็น 0 จะอยู่ state เดิม แต่ถ้าเป็น 1 จะเปลี่ยน state เป็นเลขคี่ (output จะเปลี่ยนตาม state)



FSM : Finite State Machine

- 5 ส่วนประกอบที่สำคัญของ FSM
  1. A finite set of states คือ จะต้องสามารถระบุจำนวน state ในระบบที่แน่นอนได้ โดยหนึ่งใน state เหล่านั้นจะเป็น Initial State
  2. A finite set of external inputs คือ จะต้องสามารถระบุจำนวน Input ที่แน่นอน
  3. A finite set of external outputs คือ จะต้องสามารถระบุจำนวน Output ที่แน่นอน
  4. เงื่อนไขที่แน่นอนของการเปลี่ยน state ได้แก่ เงื่อนไข input ของการเปลี่ยน state และจะเปลี่ยนไป state ใด เมื่อมี Input แบบใด
  5. ข้อกำหนดของ output ที่ state นั้นจะส่งออกมา

FSM : Finite State Machine

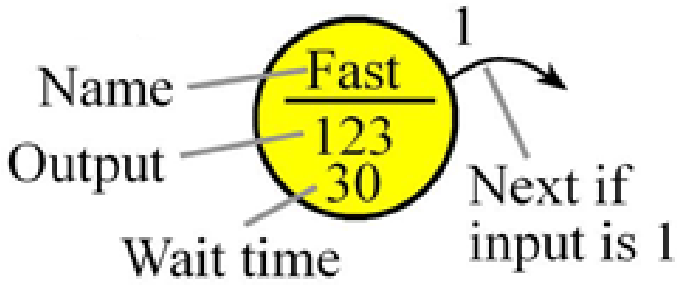
- องค์ประกอบของ FSM สามารถแสดงโดย State Transition Graph ตามรูป
  - Name เป็นชื่อของ state
  - Output เป็นค่าของข้อมูล Output ที่ส่งออก ณ State นั้น

    Output = g(CurrentState)
  - Wait time เวลาที่ delay ใน State นั้น
  - Next State บอกถึง State ถัดไป

    ซึ่งจะเปลี่ยน State ตาม Input ที่เข้ามา

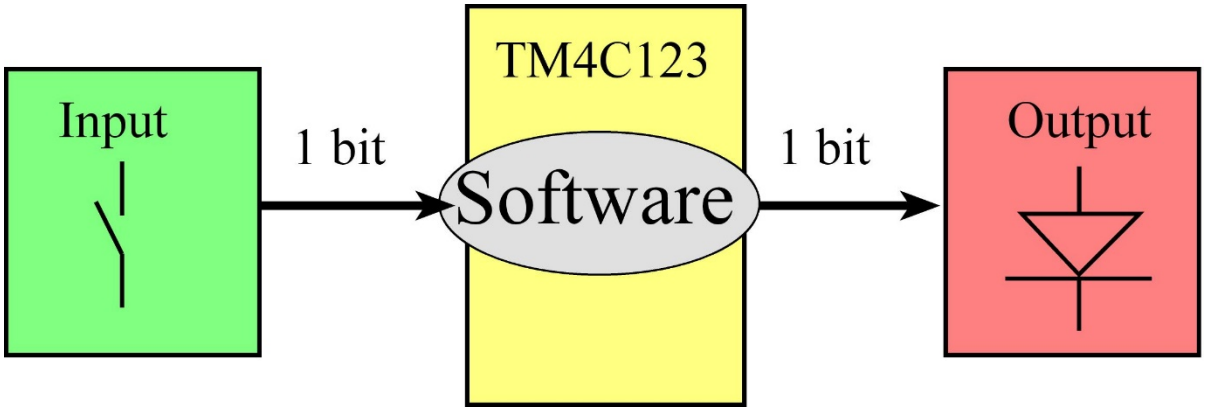
    (ดังนั้น Next State สามารถมีได้หลายเส้นทาง)

    NextState = f(Input, CurrentState)



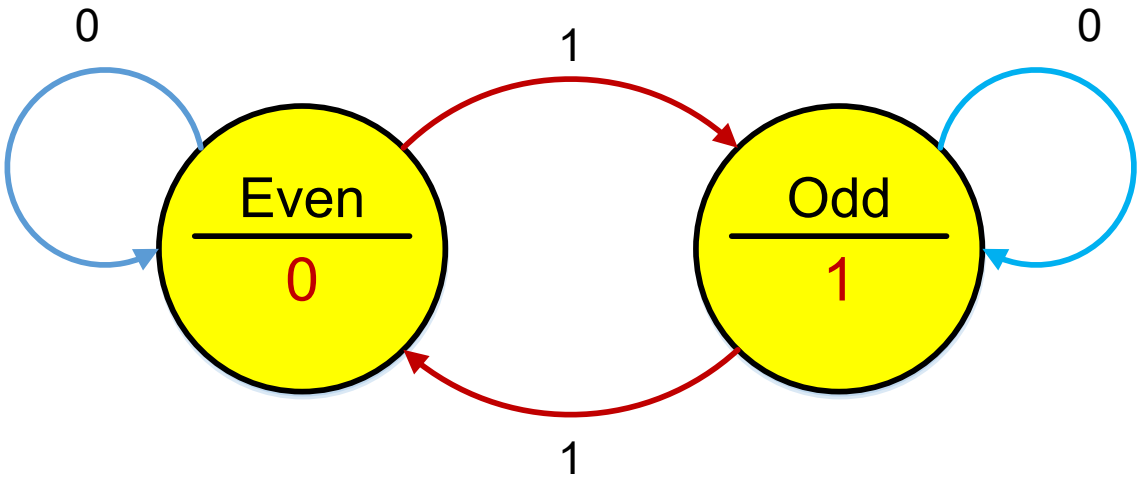
FSM : Finite State Machine

- **ตัวอย่าง :** กำหนดให้ระบบหนึ่งมี Input 1 บิต และ Output 1 บิต โดยระบบนี้จะอ่านข้อมูลทุกวินาที (หมายถึง 1 วินาทีอ่านข้อมูล 1 ครั้ง) จากนั้นจะนำข้อมูลไปบวกสะสม โดยหากข้อมูลในระบบเป็นเลขคี่ Output จะมีค่าเป็น 1 และหากข้อมูลในระบบเป็นเลขคู่ Output จะมีค่าเป็น 0 โดยแสดงผลออกทาง LED



FSM : Finite State Machine

- สามารถเขียนเป็น state diagram ได้ดังนี้
  - กำหนดให้มี 2 state เนื่องจาก Output จะมี 0 หรือ 1 เท่านั้น
  - หาก state ปัจจุบันเป็น เลขคู่ ถ้า Input เป็น 0 จะอยู่ state เดิม แต่ถ้าเป็น 1 จะเปลี่ยน state เป็นเลขคี่ (output จะเปลี่ยนตาม state)



C Struct

- ในภาษา C จะมีโครงสร้างข้อมูลแบบหนึ่งเรียกว่า struct หรือ structure

```
struct state {
    unsigned char out;
    unsigned int wait;
} st;
```

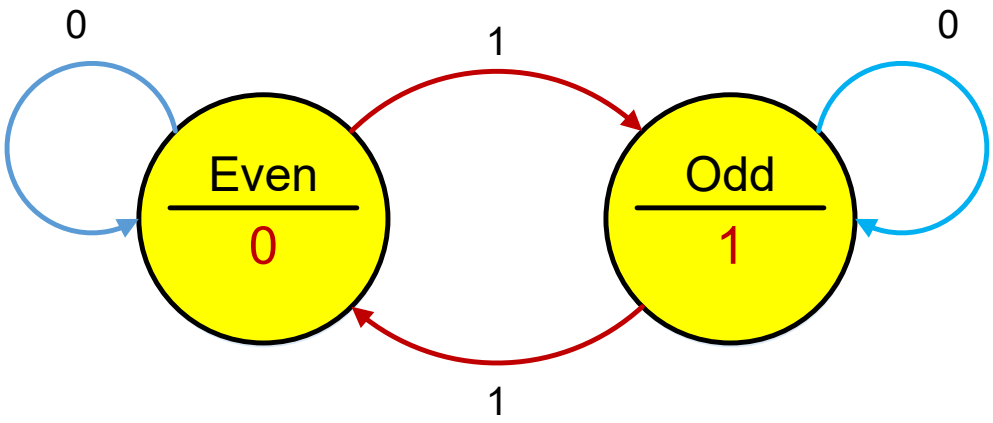
```
struct state {
    unsigned char out;
    unsigned int wait;
} ;
struct state st;
```

- state คือ data type ของ struct (ยังไม่มีตัวตน) st เป็น instance ของ struct มีตัวตนแล้ว สามารถนำไปเก็บข้อมูลได้
- สามารถใช้ typedef struct state Stype ได้ ซึ่งเมื่ออ้างถึง Stype จะมีค่าเท่ากับการอ้าง struct state
- การอ้างถึงข้อมูลใน struct จะใช้ st.out, st.wait

FSM : Finite State Machine

- โปรแกรมรับ Input จาก Switch ทุก 1 วินาที หากเป็นเลขคู่ให้ LED ดับ หากเป็นเลขคี่ให้ LED ติด

```
#define even 0
#define odd 1
struct state {
        unsigned char out;
        unsigned int wait;
        unsigned char next[2];
}
typedef struct state SType;
Stype  FSM[2] = {
      {0,1000,{even,odd}},
      {1,1000,{odd,even}}
};
```




```
unsigned char cState=even;

while (1) {
   digitalWrite(LED, FSM[cState].out);
   delay(FSM[cState].wait);
   input = digitalRead(PIN);
   cState = FSM [cState].next[input];
}
```

FSM : Finite State Machine

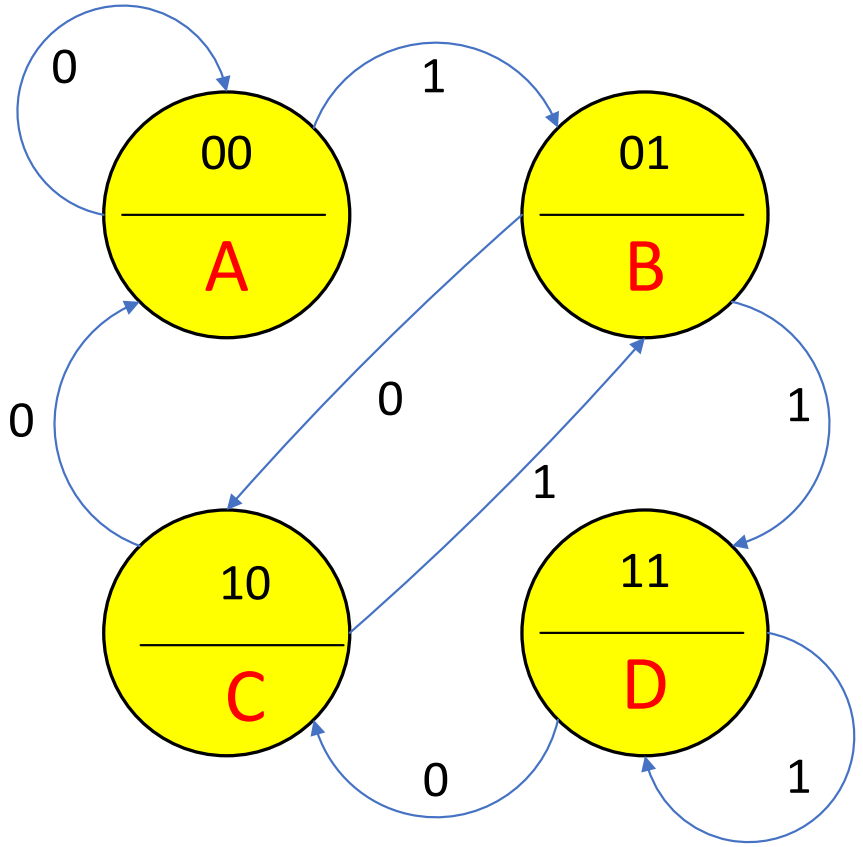
- สรุป
  - จำนวน State จะแปรตามจำนวน Output
  - เงื่อนไขในการเปลี่ยน state จะแปรตาม Input
  - ในแต่ละ state ต้องไล่เงื่อนไขให้ครบ เช่น ถ้ามี 2 Input จะต้องมี 4 เงื่อนไข ถ้ามี 3 Input ก็จะต้องมี 8 เงื่อนไข

FSM : Finite State Machine

- Activity ให้เขียน FSM Diagram และเขียนโปรแกรมรับ Input จาก Switch จำนวน 1 ตัวทุก 1 วินาที โดยรับ 2 ครั้งติดกัน โดยเริ่มที่ 00
  - หากเป็นเลข 00 ให้แสดง A ที่ Serial Monitor
  - หากเป็นเลข 01 ให้แสดง B ที่ Serial Monitor
  - หากเป็นเลข 10 ให้แสดง C ที่ Serial Monitor
  - หากเป็นเลข 11 ให้แสดง D ที่ Serial Monitor

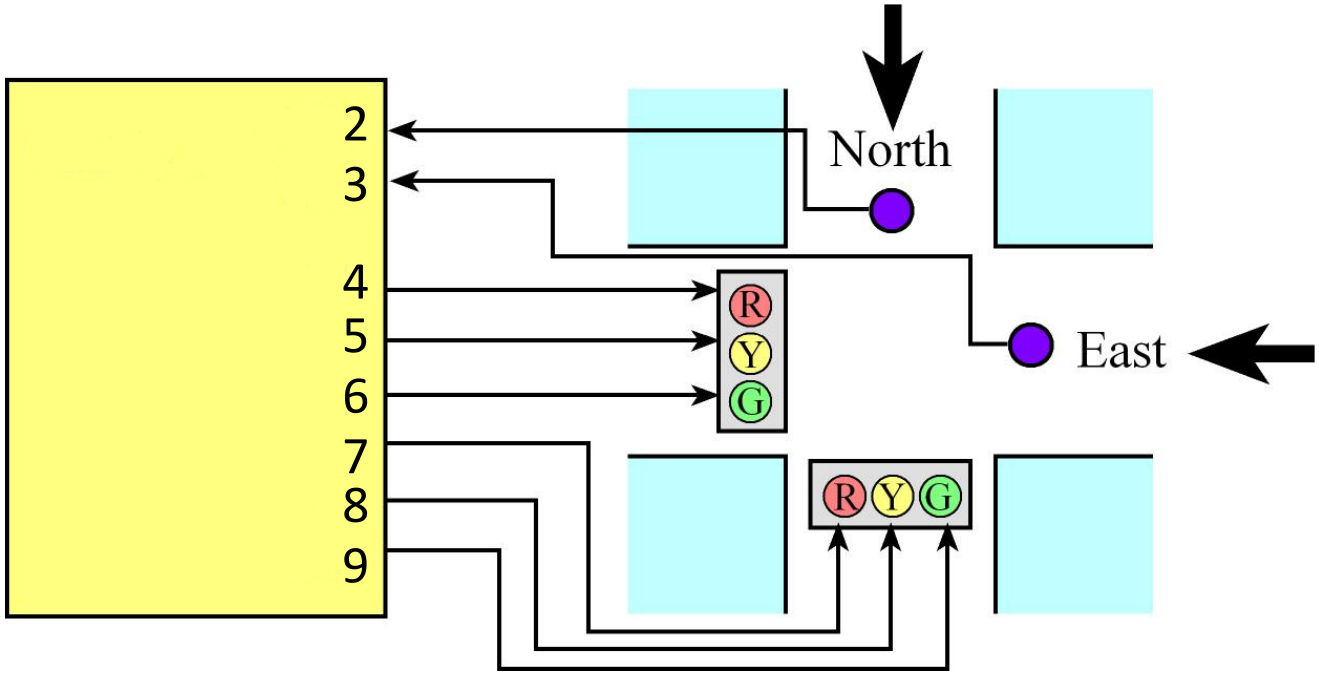
FSM : Finite State Mach

- มี 4 state กำหนดให้ชื่อ state 00, 01, 10, 11
- Output เป็น A, B, C, D



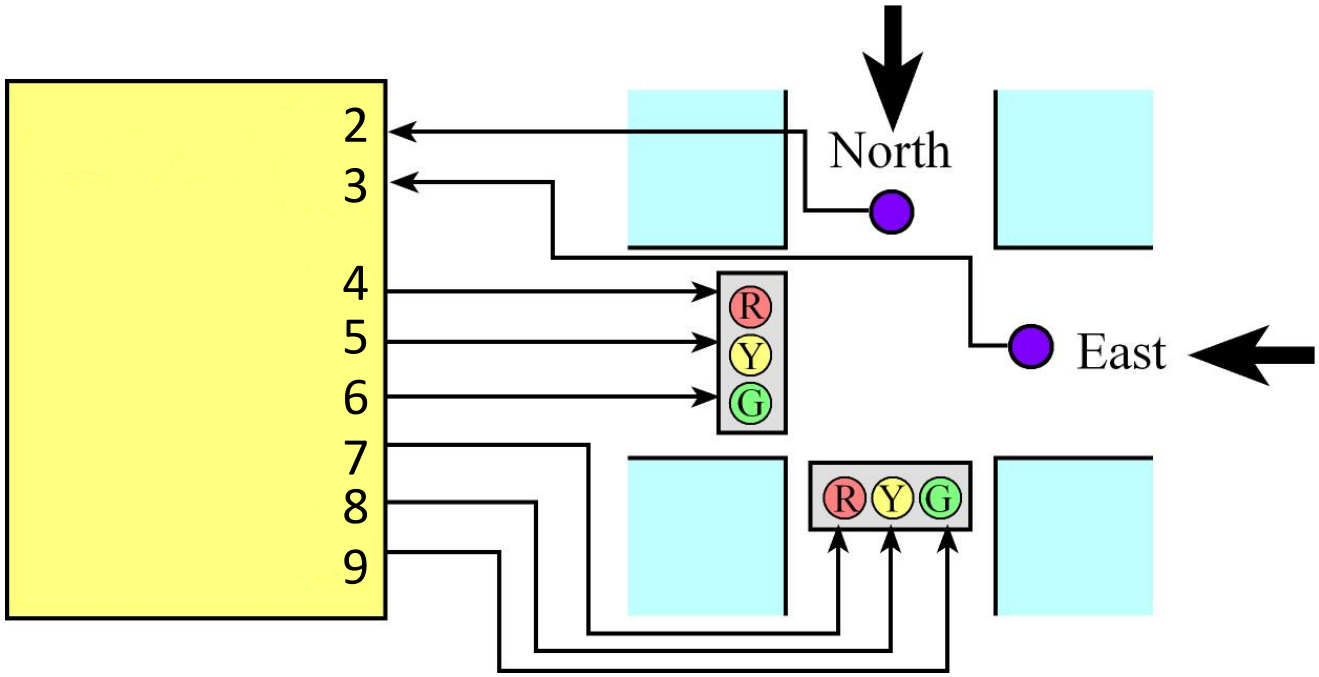
FSM : Finite State Machine

- Example : ให้ออกแบบส่วนควบคุมไฟจราจร สำหรับ 4 แยกแห่งหนึ่ง โดยรถวิ่งทางเดียว โดยมีเป้าหมายลดการจราจร และลดการรอไฟแดง ระบบมีเซ็นเซอร์ตรวจจับรถยนต์ที่รอแต่ละด้าน



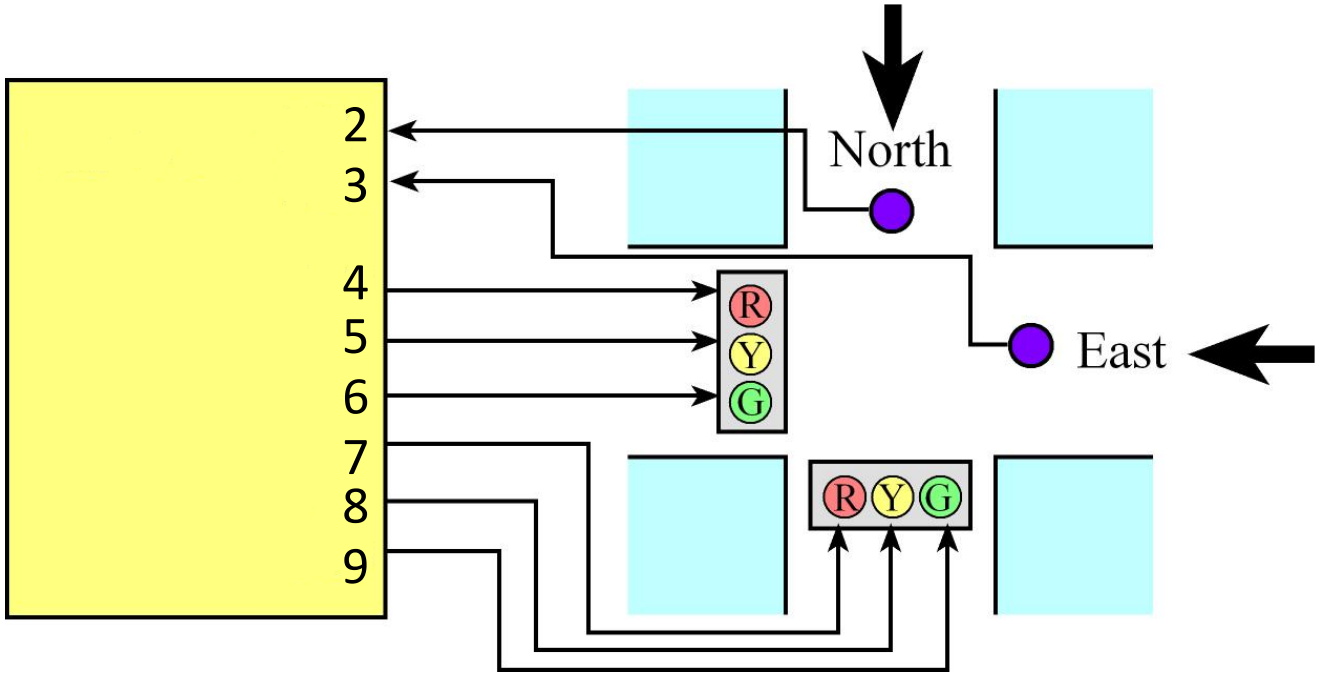
FSM : Finite State Machine

- Input : 2=0, 3=0 คือ ไม่มีรถรอทั้งสองด้าน
  2=0, 3=1 คือ มีรถรอที่ด้าน East
  2=1, 3=0 คือ มีรถรอที่ด้าน North
  2=1, 3=1 คือ มีรถรอทั้งสองด้าน

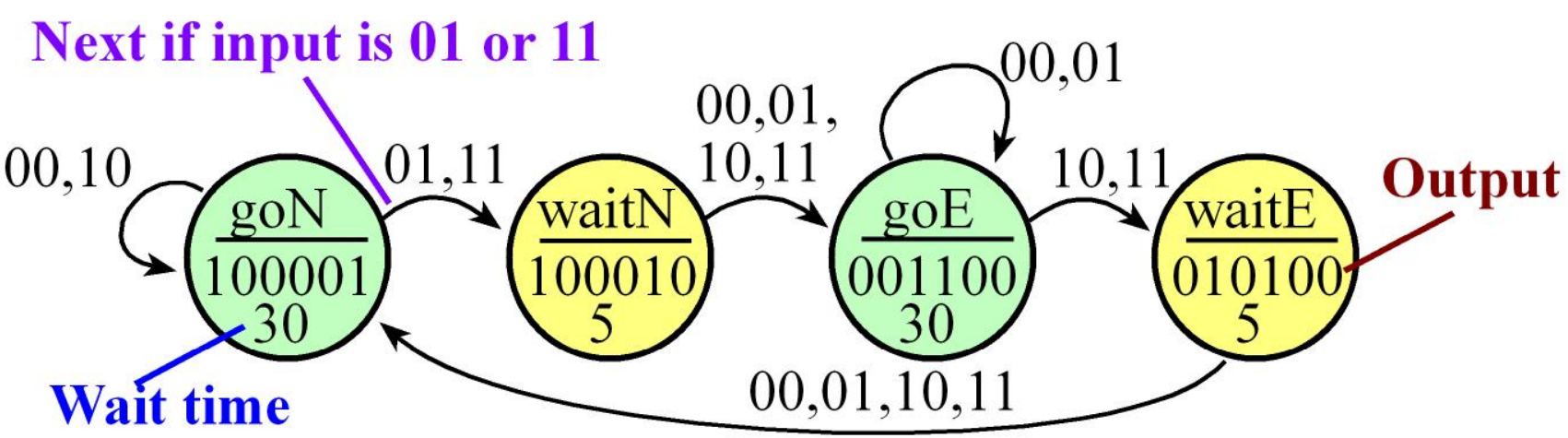


FSM : Finite State Machine

- Output: Pin 4,5,6,7,8,9 (East แดง เหลือง เขียว, North แดง เหลือง เขียว)
- State: goN, 100 001 East ไฟแดง, North ไฟเขียว
  waitN, 100 010 East ไฟแดง, North ไฟเหลือง
  goE, 001 100 East ไฟเขียว, North ไฟแดง
  waitE, 010 100 East ไฟเหลือง, North ไฟแดง



FSM : Finite State Machine

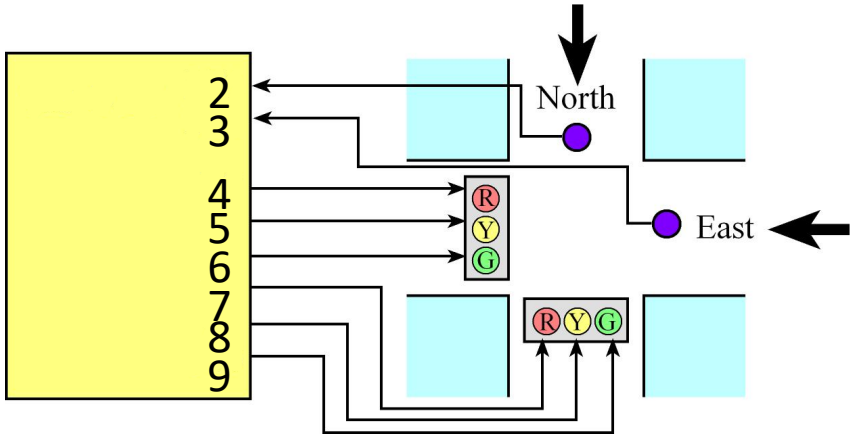


2=0, 3=0 คือ ไม่มีรถรอทั้งสองด้าน

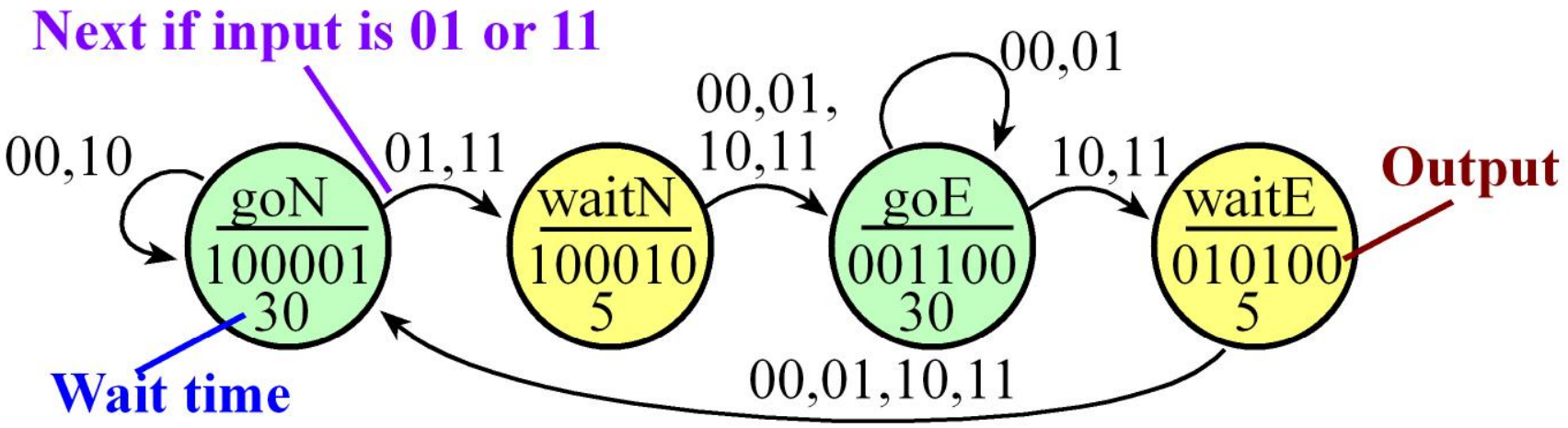
2=0, 3=1 คือ มีรถรอที่ด้าน East

2=1, 3=0 คือ มีรถรอที่ด้าน North

2=1, 3=1 คือ มีรถรอทั้งสองด้าน



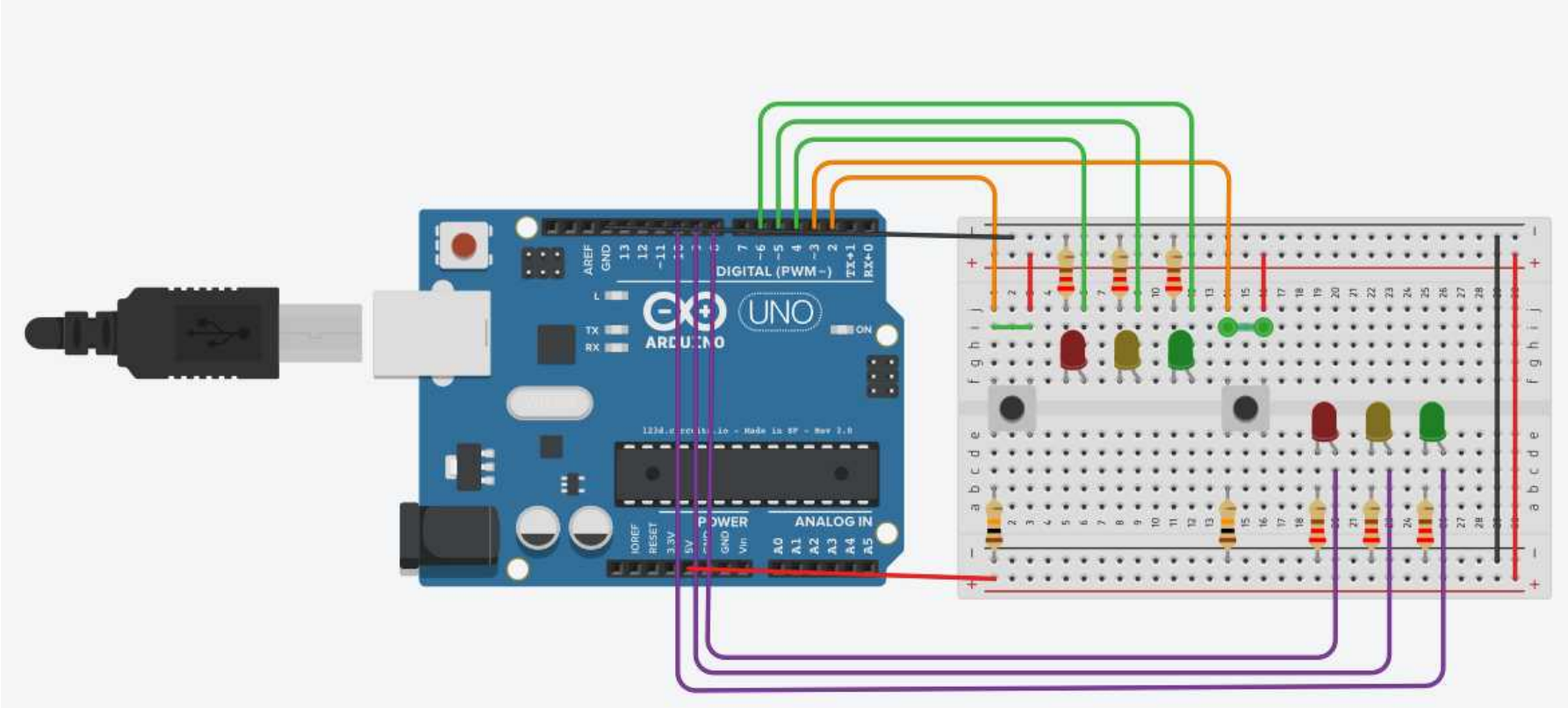
FSM : Finite State Machine



State Transition Table

Num	Name	Lights	Time	In=0	In=1	In=2	In=3
0	goN	100001	30	goN	waitN	goN	waitN
1	waitN	100010	5	goE	goE	goE	goE
2	goE	001100	30	goE	goE	waitE	waitE
3	waitE	010100	5	goN	goN	goN	goN

FSM : Finite State Machine



FSM : Finite State Machine

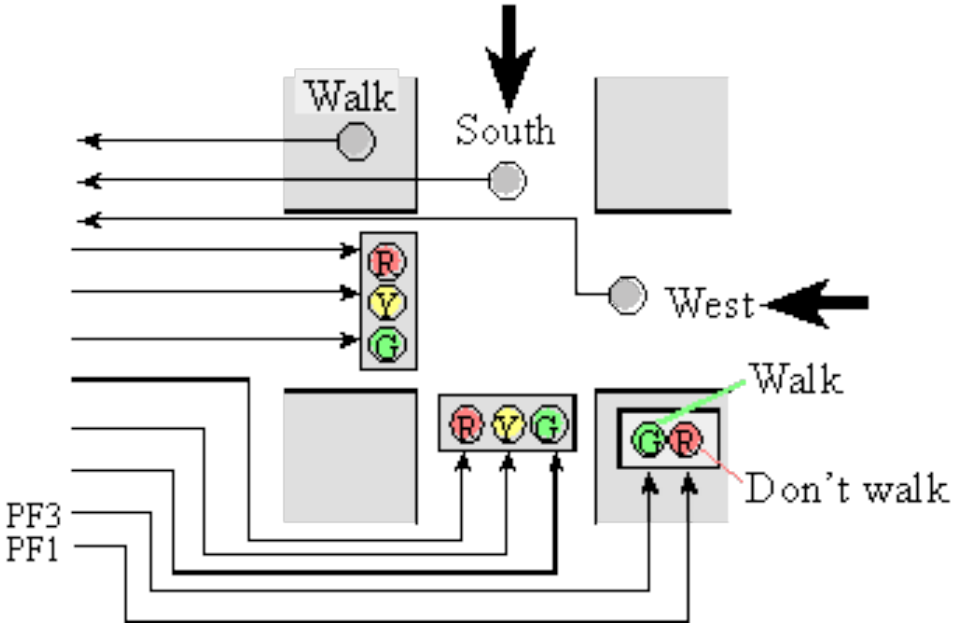
```
#define LED_W_R 4
#define LED_W_Y 5
#define LED_W_G 6
#define WEST_BUTTON_PIN 2

#define LED_S_R 8
#define LED_S_Y 9
#define LED_S_G 10
#define SOUTH_BUTTON_PIN 3

#define goW   0
#define waitW 1
#define goS   2
#define waitS 3

struct State {
  unsigned long ST_Out;     // 6-bit pattern to street output
  unsigned long Time;       // delay in ms units
  unsigned long Next[4];}; // next state for inputs 0,1,2,3

typedef const struct State SType;

SType FSM[4]={
 {B00001100,2000,{goW,goW,waitW,waitW}},
 {B00010100,300,{goS,goS,goS,goS}},
 {B00100001,2000,{goS,waitS,goS,waitS}},
 {B00100010,300,{goW,goW,goW,goW}}
};
```

FSM : Finite State Machine

```
unsigned long S=0;  // index to the current state

void setup() {
  pinMode(LED_W_R, OUTPUT);
  pinMode(LED_W_Y, OUTPUT);
  pinMode(LED_W_G, OUTPUT);
  pinMode(WEST_BUTTON_PIN, INPUT);

  pinMode(LED_S_R, OUTPUT);
  pinMode(LED_S_Y, OUTPUT);
  pinMode(LED_S_G, OUTPUT);
  pinMode(SOUTH_BUTTON_PIN, INPUT);
}

int input,input1, input2;

void loop() {
  digitalWrite(LED_W_R, FSM[S].ST_Out & B00000001);
  digitalWrite(LED_W_Y, FSM[S].ST_Out & B00000010);
  digitalWrite(LED_W_G, FSM[S].ST_Out & B00000100);

  digitalWrite(LED_S_R, FSM[S].ST_Out & B00001000);
  digitalWrite(LED_S_Y, FSM[S].ST_Out & B00010000);
  digitalWrite(LED_S_G, FSM[S].ST_Out & B00100000);

  delay(FSM[S].Time);

  input1 = digitalRead(WEST_BUTTON_PIN);
  input2 = digitalRead(SOUTH_BUTTON_PIN);

  input = input2*2+input1;
  S = FSM[S].Next[input];
}
```

Assignment #5

- ให้สร้างระบบจำลองไฟจราจร 4 แยก แบบ one-way (S->N)(W->E) โดยกำหนดให้มี 3 Sensor ได้แก่ 2 car sensor และ 1 sensor สำหรับคนข้าม
- ข้อกำหนด คือ 1) ต้องไม่มีไฟเหลืองหรือเขียวพร้อมกัน 2 ทาง 2) ถ้ารถวิ่งในทิศทางหนึ่ง ในอีกทิศทางต้องเป็นไฟแดง 3) หากคนข้ามไฟทำงาน ไฟรถต้องแดงทั้ง 2 ทิศทาง 4) ต้องมีการกระพริบเตือนคนข้ามว่าใกล้จะไฟแดงแล้ว โดยกระพริบติดดับ 3 ครั้ง 5) ถ้าไม่มีการกดจะค้างสถานะเดิม 6) ถ้าทุกทางมีรถ/คนหมด จะวนเขียวไปเรื่อยๆ 7) เวลาในแต่ละ state ให้กำหนดได้เอง
- ให้ใช้ delay ในโปรแกรม
  ได้จุดเดียวที่ delay ของ state
  ห้ามใช้ delay หรือ millis()
  กระพริบไฟคนข้าม



Assignment #5

- **การส่งงาน (5 คะแนน)**
  1. ให้ Demo กับ Staff
  2. เอกสารให้ส่งใน MS Teams รายงาน 1 ฉบับ ประกอบด้วย state transition graph, state transition table, รูป, source code และคำอธิบายโดยย่อ

For your attention