



لورستر هوشمند

آزمایشگاه سخت افزار

دانشکده مهندسی کامپیوتر

محمدرضا عبدی ۹۷۱۱۰۲۸۵
حمیدرضا کامکاری ۹۷۱۱۰۱۷۷
یگانه قره داغی ۹۷۱۰۶۲۱۶

خرداد ۱۴۰۱

چکیده

روند خودکار سازی فعلی خانه‌ها قدمی مهم برای کاهش مصرف بی‌اندازه برق و تسهیل زندگی افراد خانه است. انواع لوسترها و تجهیزات روشنایی از جدیدترین وسایل اضافه شده به لوازم خانگی هوشمند هستند. هدف از این پروژه طراحی یک لوستر هوشمند است که بتواند به کمک یک برنامه به لوازم جانبی هوشمند دیگر (مانند تلفن‌های همراه) متصل شود و توسط آن به صورت خودکار یا دستی تنظیم شود. این دستگاه جزو یک شبکه اینترنت اشیا (Internet of Things) است و با استفاده از یک برنامه موبایل قابل مدیریت است. در این گزارش به توضیح قابلیت‌ها، محدودیت‌ها، قطعات و جزئیات پیاده‌سازی لوستر هوشمند در ۶ بخش می‌پردازیم.

فهرست مطالب

۴	۱	قابلیت‌های لوستر هوشمند
۵	۲	محدودیت‌های اولیه لوستر هوشمند
۶	۳	قطعات مورد استفاده
۱۱	۴	طراحی مدار
۱۴	۵	برنامه موبایل
۱۶	۶	توضیحات کد

۱ قابلیت‌های لوستر هوشمند

با توجه به اهداف پروژه در خودکار سازی روشنایی خانه^۱، قابلیت‌های زیر برای محصول در نظر گرفته شده‌اند:^۲

- در اولین مرحله این لوستر می‌تواند به کمک سنسوری بر اساس شرایط محیطی مانند وضعیت پرده‌ها یا روشنایی طبیعی بازخورد بدهد؛ در صورت زیاد بودن شدت نور محیط، روشنایی لوستر کاهش و در صورت کم بودن شدت نور افزایش می‌یابد. میزان حساسیت نسبت به روشنایی و میزان روشنایی مورد نیاز می‌تواند بر اساس نیاز کاربر تغییر کند. به عنوان مثال پارامتر اندازه اتاق می‌تواند در تنظیمات تاثیر داده شود. یعنی برای اتاق‌های بزرگتر شدت نور به هنگام روشن بودن بیشتر باشد.
- می‌توان تنظیمات روشنایی لوستر را به صورت خودکار یا دستی تنظیم کرد. در صورت انتخاب حالت دستی، کاربر می‌تواند میزان روشنایی ثابتی را انتخاب کند.
- کاربر می‌تواند شاخه (اتاق‌های مختلف خانه) دلخواه خود را انتخاب کند و تنظیمات هر کدام از قسمت‌ها را به صورت جداگانه انجام دهد.
- کاربر می‌تواند از میان حالت‌های^۳ مختلف ارائه شده برای زیبایی یا رقص نور استفاده نماید.
- تمامی تنظیمات مذکور می‌توانند توسط یک برنامه موبایل سازگار با دستگاه‌های مبتنی بر سیستم عامل‌های مختلف همانند Andriod و IOS در لوستر اعمال شوند.

^۱ کاهش مصرف برق و تسهیل استفاده نسبت به لوسترهای مرسوم
^۲ جزئیات قابلیت‌ها در توصیف برنامه موبایل به صورت کامل توضیح داده می‌شود.
^۳ Mode

۲ محدودیت‌های اولیه لوستر هوشمند

در هنگام پیاده‌سازی و استفاده از پروژه با محدودیت‌هایی مواجه می‌شویم که در ادامه آن‌ها را تشریح می‌کنیم:

- چالش اصلی اتصال تعداد زیادی دیود ساطع نور⁴ LED با نورهای متغیر به برد برای شبیه‌سازی یک لوستر واقعی است. در نهایت با اتصال ۴۰ قطعه LED به یک منبع خارجی ۵ ولت و کنترل آن بوسیله خروجی PWM و دو ترانزیستور (برای دو شاخه – کد این پروژه قابلیت پشتیبانی از تعداد شاخه‌های بیشتر را نیز دارد) لوستر را شبیه‌سازی کردیم.
- در برخی موارد، برنامه‌های گوشی‌های هوشمند با اتصال خود به سیستم روشنایی سازگار نیستند. در این پروژه سعی شده‌است که یک برنامه موبایل سازگار با سیستم‌عامل‌های مانند Android و IOS مختلف برای برطرف شدن این مشکل ارائه شود.
- با وجود اینکه این موضوع کمتر و کمتر اتفاق می‌افتد، اما هر اتصال WiFi ای گاهی اوقات دچار اختلال می‌شود. با توجه به اینکه لوستر هوشمند بستری بر پایه IoT است، بدون اتصال WiFi نمی‌توان از تنظیمات لوستر بهره برد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که دکمه‌ها و یا کلیدهای سخت‌افزاری همچنان برای تنظیمات پایه موجود باشد.

Light-emitting diode⁴

۳ قطعات مورد استفاده

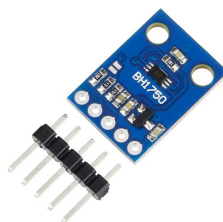
لواستر از دو شاخه LED تشکیل شده و میزان ولتاژ ورودی هر کدام از این شاخه‌ها از طریق پورت مربوطه روی برد Arduino و ترانزیستور (MOSFET IRF640) کنترل می‌شود. برای پیاده‌سازی منطق لواستر از برد Arduino Mega استفاده می‌کنیم که از طریق سنسورهای تشخیص نور (BH1750FVI) نور محیط را تشخیص می‌دهد و بر اساس پیش‌فرض‌هایی که در سرور IOT چیده شده میزان ولتاژ خروجی‌های آنالوگ را تنظیم می‌کند. از طرفی برای اتصال به اینترنت اشیا یک سرور کوچک خانگی را روی ماژول ESP-01S ESP8266 اجرا می‌کنیم. این سرور تنظیمات کنترل لواستر را در خود دارد و با استفاده از گوشی همراه و اتصال به آن سرور می‌توانیم این تنظیمات را کنترل کنیم. می‌توان در این پروژه از برد Arduino Uno نیز استفاده کرد. در جدول زیر می‌توان هزینه برآورد شده قطعات و هزینه‌های پروژه را مشاهده کرد (هزینه کل معادل با ۷,۵۸۰,۰۰۰ ریال است).

نام قطعه	تعداد	هزینه
ماژول سنجش شدت نور GY-۳۰ با سنسور BH1750FVI	۱	۷۰۰,۰۰۰
ماژول وای ESP8266 فای	۱	۴۵۰,۰۰۰
آردوینو مگا R۳ ۲۵۶۰	۱	۴,۵۰۰,۰۰۰
کابل USB به Type-B USB مخصوص آردوینو	۱	۲۰۰,۰۰۰
اورل LED در دو رنگ اصلی	۴۰	۲۴۰,۰۰۰
کابل ۳۰ سانتی‌متر به ماده (۱ بسته ۴۰ عددی)	۱	۷۰,۰۰۰
کابل جامپر مخصوص برد (بسته ۶۰ عددی)	۲	۷۰۰,۰۰۰
برد برد مدل MB-۱۰۲ بدون ماژول تغذیه	۲	۷۰۰,۰۰۰
مقاومت	۱۰	۲۰,۰۰۰

جدول ۱: برآورد هزینه قطعات

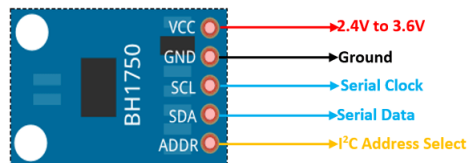
لیست قطعات و شرح پین‌های آن‌ها به شرح زیر است:

۱. سنسور روشنایی BH1750FVI^۵



شکل ۱: سنسور روشنایی BH1750FVI

^۵ ما مقادیر lux را از BH1750 از طریق باس I2C دریافت می‌کنیم. ADC در IC روشنایی آنالوگ را به مقدار لوکس دیجیتال تبدیل می‌کند. سپس این داده‌ها با کمک پین‌های I2C یعنی SCL و SDA به میکروکنترلر منتقل می‌شوند. SCL برای ارائه پالس ساعت و SDA برای انتقال مقدار lux استفاده می‌شود.

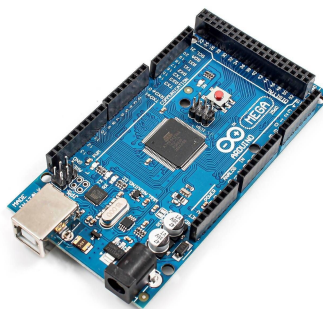


شکل ۲: شرح پین‌های BH1750FVI

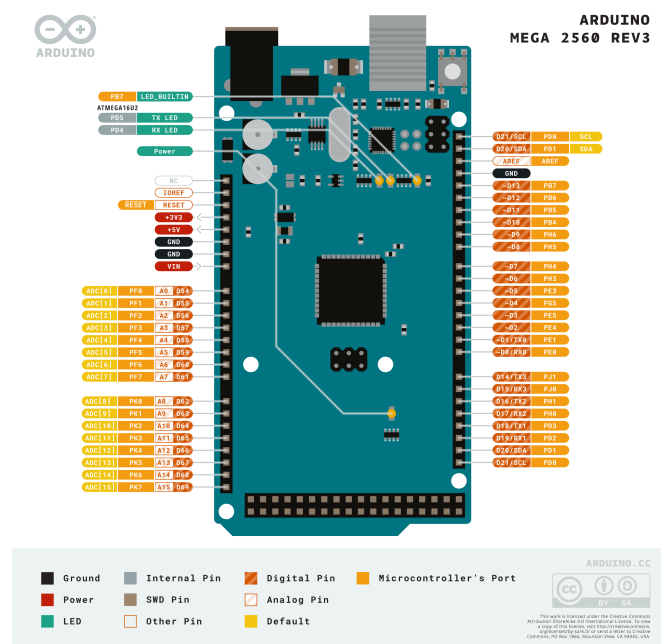
Pin Number	Pin Name	Description
1	VCC	Power supply for the module can be 2.4V to 3.6V, typically 3.0V is used
2	GND	Ground of the module, connected to ground of the circuit
3	SCL	Serial Clock Line, used to provide clock pulse for I2C communication
4	SDA	Serial Data Address, used to transfer the data through I2C communication
5	ADDR	Device address pin, used to select the address when more than two modules are connected

شکل ۳: تنظیمات پین‌های BH1750FVI

۲. برد آردوینو مگا : Arduino Mega 2560 R3

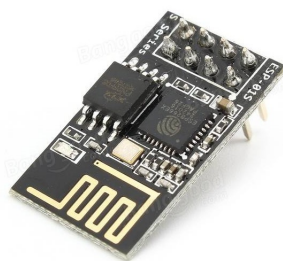


شکل ۴: برد Arduino Mega 2560 R3



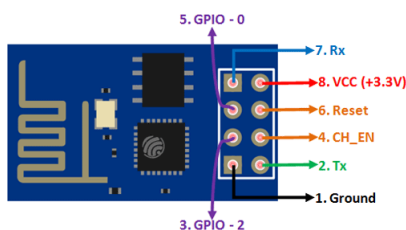
شکل ۵: شرح پین‌های R3 Arduino Mega 2560

۳. ماژول وای‌فای : ESP-01S ESP8266



شکل ۶: ماژول وای‌فای ESP-01S ESP8266

این ماژول می‌تواند هم به عنوان یک نقطه دسترسی و هم به عنوان یک ایستگاه متصل به وای‌فای کار کند، بنابراین به راحتی داده‌ها را واکشی کرده و در اینترنت آپلود کند. همچنین می‌تواند با استفاده از API، داده‌ها را از اینترنت واکشی کند و به هر اطلاعاتی که در اینترنت موجود است دسترسی داشته باشد. این ماژول فقط با ولتاژ ۳.۳ ولت کار می‌کند و هر ولتاژی بیش از ۷.۳ ولت باعث از بین رفتن ماژول می‌شود.



شکل ۷: شرح پین‌های ESP-01S ESP8266

Pin Number	Pin Name	Pin Function
1	Ground	Ground
2	GPIO1	General purpose IO, Serial Tx1
3	GPIO2	General purpose IO
4	CH_PD	Active High Chip Enable
5	GPIO0	General purpose IO, Launch Serial Programming Mode if Low while Reset or Power ON
6	RESET	Active Low External Reset Signal
7	GPIO3	General purpose IO, Serial Rx
8	VCC	Power Supply

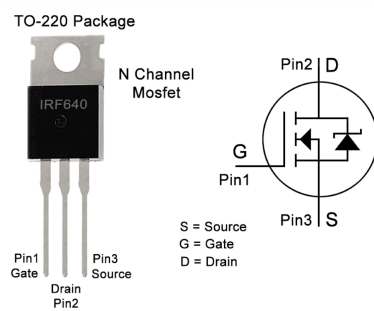
شکل ۸: تنظیمات پین‌های ESP-01S ESP8266 (در اینجا پین GPIO1 همان TX و GPIO3 همان TX است. همچنین CH_PD معادل CH_EN در شرح پین است.)

۴. ترانزیستور: MOSFET IRF640



شکل ۹: ترانزیستور MOSFET IRF640

ماژول IRF640 یک ماسفت با N کانال است که برای اهداف سوئیچینگ با سرعت بالا طراحی شده است. این قابلیت سوئیچینگ با سرعت بالا می‌تواند در برنامه‌هایی که سرعت سوئیچینگ در آنها بسیار مهم است بسیار مفید باشد. در لوستر هوشمند، روشنایی LED ها به سرعت توسط PWM تغییر کند. در اینجا با توجه به اینکه منبع ولتاژ خارجی است (باتری)، باید از یک ماسفت استفاده کنیم.

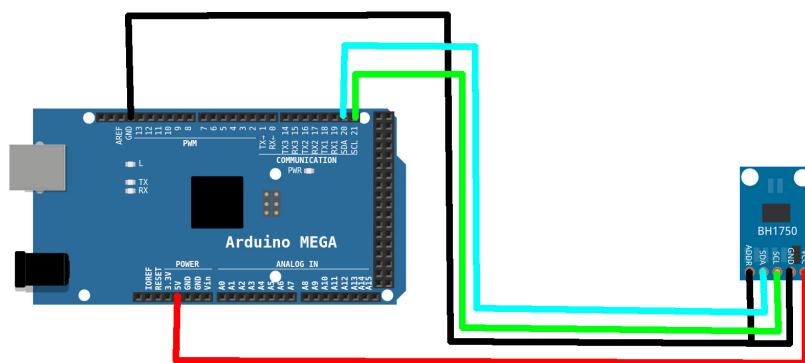


شکل ۱۰: ترانزیستور MOSFET IRF640

۴ طراحی مدار

مدار نهایی لوستر هوشمند در طی سه مرحله طراحی شده است. در مرحله اول مدار سنسور روشنایی بسته شد تا بتوانیم روشنایی تعداد کمی LED را تحت تاثیر نور محیط تغییر دهیم. در مرحله دوم دو شاخه ۲۰ تایی از LED ها را متصل کرده و به کمک منبع خارجی روشن می‌کنیم. در آخرین مرحله ماژول وای‌فای را برای برقراری ارتباط میان برنامه موبایل و آردوینو وصل می‌کنیم. هر کدام از مراحل به تفصیل در ادامه این بخش تشریح می‌شوند.

۱. اتصال سنسور روشنایی: در این مرحله ماژول BH1750 برای تشخیص نور را برد آردوینو طبق شکل زیر وصل می‌کنیم. همانطور که مشاهده می‌شود، پورت‌های SCL و SDA به پورت مربوطه با همان اسم در آردوینو متصل شده‌اند. VCC را به ۵ ولت و ADO و GND را به زمین متصل کردیم.

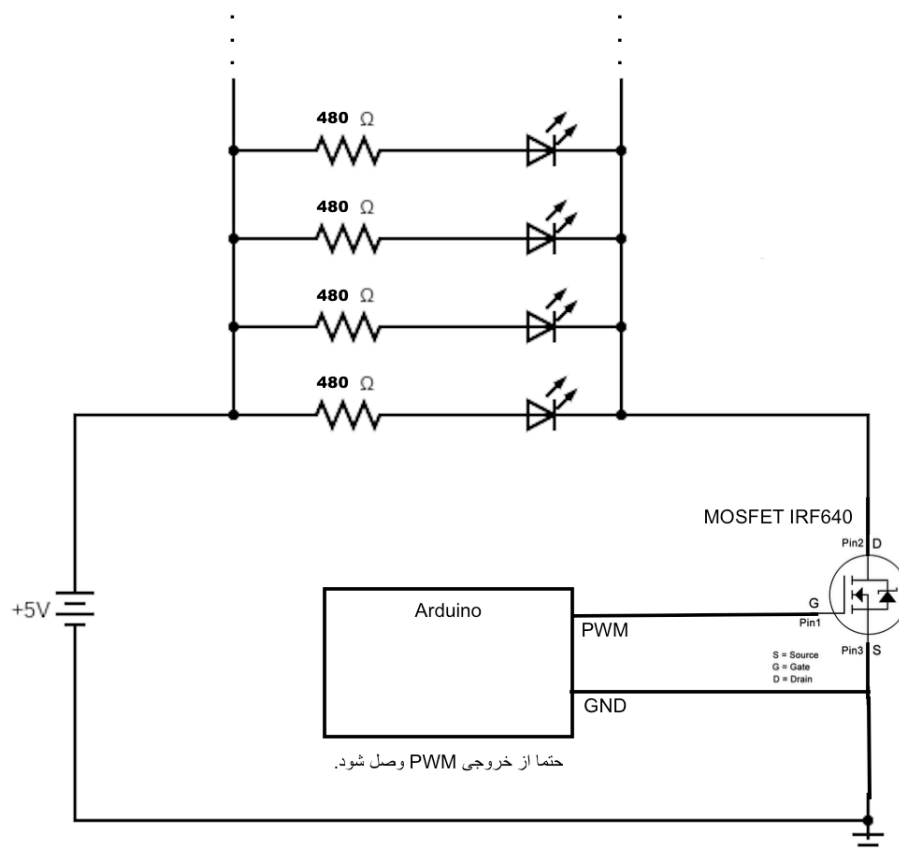


شکل ۱۱: شماتیک مدار تشخیص نور.

با استفاده از رابطه‌ای ساده ورودی به دست آمده از سنسور را با فرمولی تبدیل به Brightness می‌کنیم که از طریق PWM قابل کنترل است. مقدار ورودی سنسور را می‌توان با عددی ممیز شناور در بازه ۰ تا 2^{16} مدل کرد. اما به علت کاربرد ما که نور محیطی است، این مقدار خروجی با استفاده از آزمایش مقداری بین ۰ و ۵۰۰ به دست آمد. پس از scale کردن این مقدار بین صفر و یک مقدار روشنایی خروجی را به صورت عددی اعشاری به دست آوردیم که پس از ضرب شدن در ۲۵۵ به ما عدد روشنایی LED ها را می‌دهد.

۲. اتصال ۴۰ LED برای شبیه‌سازی عملکرد لوستر: هدف از این آزمایش این مرحله، بستن یک لوستر شامل ۴۰ قطعه LED، اتصال آن به منبع خارجی، همچنین کنترل آن با ترانزیستور و در نهایت تقسیم ۴۰ LED به دو شاخه مستقل از هم است.

ابتدا، مدار آردوینو شامل سنسور مرحله قبل را بر اساس شماتیک زیر تکمیل می‌کنیم. از ترانزیستور MOSFET IRF640 برای کنترل و یک باتری ۵ ولتی به عنوان منبع خارجی استفاده می‌کنیم.



شکل ۱۲: شماتیک مدار اتصال ۲۰ LED موجود در یک شاخه. هرکدام از شاخه به یکی از پین‌های PWM شماره ۶ یا ۷ آردوینو متصل می‌شوند.

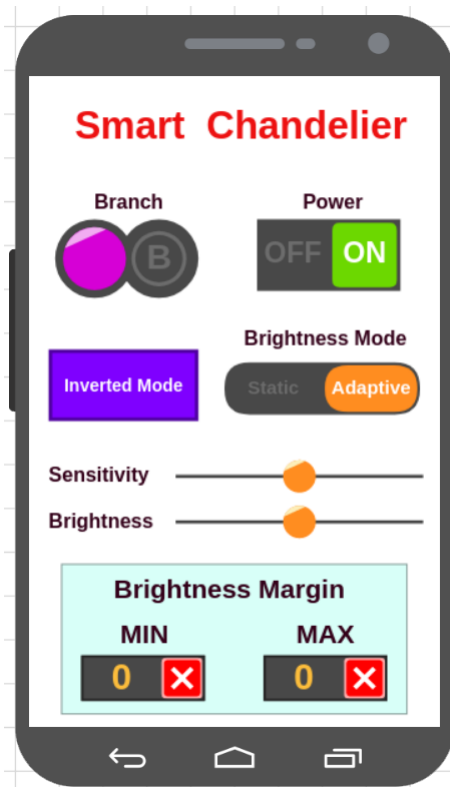
در این مدار، LED ها به باتری وصل هستند و خروجی PWM به گیت کنترل ترانزیستور MOSFET IRF640 متصل است. می‌دانیم که PWM به کمک روشن و خاموش کردن سریع می‌تواند روشنایی را کنترل کند. در اینجا، بجای اتصال مستقیم PWM به LED ها، به گیت ترانزیستور متصل شده و آن را به سرعت قطع و وصل می‌کند. یعنی ترانزیستوری میان باتری و LED است که سرعت قطع و وصل کردن آن با PWM تنظیم می‌شود.

۳. اتصال ماژول وای‌فای: برای ارتباط میان موبایل اپ و آردوینو به کمک ماژول وای‌فای ESP-01S، ESP8266، مدار را در مراحل زیر تکمیل می‌کنیم (دقت کنید که هنگام آپلود کردن کد باید پین‌های RX و TX قطع شوند):

- (آ) پین RX در ماژول ESP را به پین TX آردوینو متصل می‌کنیم.
- (ب) پین TX در ماژول ESP را به پین RX آردوینو متصل می‌کنیم.
- (ج) پین CH_PD یا Enable در ماژول ESP را به پین +3V آردوینو متصل می‌کنیم.
- (د) پین VCC در ماژول ESP را به پین +3V آردوینو متصل می‌کنیم.

۵ برنامه موبایل

متناسب به قابلیت‌های لوستر، یک برنامه موبایل طراحی کرده‌ایم که بتوان در آن تنظیمات نام‌برده مربوط به لوستر هوشمند را انجام داد. شماتیک برنامه به شکل زیر است:



شکل ۱۳: شماتیک اپلیکیشن موبایل

در نهایت می‌توان با نصب کردن برنامه موبایل و اتصال آن به ESP و آردوینو، تنظیمات موردنظر را انجام داد. این تنظیمات و گزینه‌های موجود در این موبایل اپ به شرح زیر است:

- تنظیم حساسیت سنسور نوری: کاربر می‌تواند با انتخاب عددی میان ۱۰ الی ۱۵۰ (توسط slider)، میزان حساسیت سنسور نور را تنظیم کند (عدد کمتر معادل حساسیت کمتر است؛ یعنی میزان نور با تغییرات بیشتری نسبت به عددی بیشتر تغییر می‌کند).
- دکمه روشن و خاموش: کاربر می‌تواند تمامی چراغ‌های لوستر (شاخه مورد نظر) را خاموش یا روشن کند.
- انتخاب شاخه: کاربر می‌تواند انتخاب کند که متغیرهای تغییر داده شده، مربوط به کدام شاخه باشند (هر شاخه، مستقل از شاخه دیگر حالت‌های مختلف و دکمه‌های متفاوت دارد).

- حالت استاتیک یا داینامیک (Adaptive): کاربر می‌تواند با حالت استاتیک یک مقدار خاص را برای روشنایی انتخاب کرده و تمامی LED های لوستر با آن مقدار تنظیم می‌شوند. در حالت داینامیک نیز مقدار روشنایی لوستر با سنسورهای تنظیم می‌شود.
- تنظیم حداکثر و حداقل میزان روشنایی: کاربر می‌تواند با انتخاب عددی میان ۰ تا ۲۵۵ (توسط slider)، حداقل و حداکثر میزان روشنایی یک شاخه را تعیین کند. بنابراین روشنایی یک شاخه، محدود به این دو عدد می‌شود و نمی‌تواند مقداری خارج از این بازه بگیرد.
- مودهای مختلف لوستر: مودهای متفاوت که می‌توانند شامل لوستر را در حالت تنظیم داینامیک عادی یا رقص نور (همانند گزارش اول) تنظیم کنند (این حالت‌ها در قسمت‌های بعدی تکمیل می‌شوند). یکی از مودهای در نظر گرفته شده برای این قسمت حالت In-verted min to max است که در آن نور دو شاخه به صورت معکوس با همدیگر کم و زیاد می‌شود.

۶ توضیحات کد

بخش اولیه کد شامل ورودی‌هایی است که کاربر از طریق UI وارد می‌کند و همانطور که در شکل زیر می‌بینید در قالب فرمت struct آمده‌است:

```
1 // this structure defines all the variables
2 // and events of the control interface
3 struct {
4
5     // input variables
6     int8_t sensitivity;
7     // =-100..100 slider position
8     uint8_t power;
9     // =1 if switch ON and =0 if OFF
10    uint8_t branch;
11    // =0 if select position A, =1 if position B, =2
12    // if position C, ...
13    int8_t brightness;
14    // =-100..100 slider position
15    uint8_t inverted_mode;
16    // =1 if button pressed, else =0
17    int16_t min_brightness;
18    // 32767.. +32767
19    int16_t max_brightness;
20    // 32767.. +32767
21    uint8_t brightness_mode;
22    // =1 if switch ON and =0 if OFF
23
24    // other variable
25    uint8_t connect_flag;
26    // =1 if wire connected, else =0
27
28 } RemoteXY;
```

این ورودی در بخش حلقه اصلی کد به ازای شاخه انتخابی در یک ساختار Config به ازای هر شاخه ذخیره می‌شوند. ساختار Config به ازای هر شاخه یک زیر نوع به فرم زیر است.

```
1
2 // This struct contains configurations
3 // for each of the branches
4 struct Config{
5     int8_t sensitivity;
6     // =-100..100 slider position
7     uint8_t power;
8     // =1 if switch ON and =0 if OFF
```



```

9   int8_t brightness;
10  // =-100..100 slider position
11  uint8_t inverted_mode;
12  // =1 if button pressed, else =0
13  int16_t min_brightness;
14  // 32767.. +32767
15  int16_t max_brightness;
16  // 32767.. +32767
17  uint8_t brightness_mode;
18  // =1 if switch ON and =0 if OFF
19  };
20  Config branch_conf[branch_num];

```

در ابتدای کار این مقادیر به صورت زیر مقداردهی اولیه می‌شوند.

```

1  // Activate all the configurations
2  // and setup default configurations per each branch
3  for (int i = 0; i < branch_num; i++) {
4      conf_activated[i] = 1;
5      branch_conf[i].power = 0;
6      branch_conf[i].sensitivity = 0;
7      branch_conf[i].brightness = 0;
8      branch_conf[i].inverted_mode = 0;
9      branch_conf[i].min_brightness = 0;
10     branch_conf[i].max_brightness = 255;
11 }

```

و به صورت زیر در هر مرحله مقادیر ورودی شاخه از طریق UI به ازای شاخه مورد نظر وارد می‌شود. لازم به ذکر است که برنامه به نحوی زده شده که اگر بیشتر از دو شاخه نیز داشته باشیم باز هم بدون هیچ مشکلی کار کند.

```

1  RemoteXY_Handler ();
2  int setup_branch_index = RemoteXY.branch;
3
4  // Setup the current branch according
5  // to the current input of the UI
6  branch_conf[setup_branch_index].sensitivity = \
7      RemoteXY.sensitivity;
8  branch_conf[setup_branch_index].power = \
9      RemoteXY.power;
10 branch_conf[setup_branch_index].brightness = \
11     RemoteXY.brightness;
12 branch_conf[setup_branch_index].inverted_mode = \
13     RemoteXY.inverted_mode;
14 branch_conf[setup_branch_index].min_brightness = \

```

```

15 RemoteXY.min_brightness;
16 branch_conf[setup_branch_index].max_brightness = \
17 RemoteXY.max_brightness;
18 branch_conf[setup_branch_index].brightness_mode = \
19 RemoteXY.brightness_mode;
20
21 // Setup whether the config is activated or not for the pins
22 // (This comes to use when we set a pin to inverted mode)
23 for (int i = 0; i < branch_num; i++) {
24     int prv = (i - 1 + branch_num) % branch_num;
25     if (branch_conf[prv].inverted_mode == 1) {
26         conf_activated[i] = 0;
27     } else {
28         conf_activated[i] = 1;
29     }
30 }

```

توجه کنید اگر مقدار conf-activated به ازای یکی از شاخه‌ها غیر فعال باشد یعنی در حلقه اصلی مقدار خروجی این شاخه از روی شاخه‌های دیگر محاسبه می‌شود و لازم به مقدار دهی آن نیستیم. توجه کنید اگر شاخه‌ای شاخه قبلش روی حالت inverted تنظیم شده باشد یعنی این شاخه و قبلی به صورت رقص نور و سنکرون باهم تغییر می‌کنند و شاخه قبلی مقدار خروجی این شاخه را تنظیم می‌کند.

در بخش بعدی از حلقه اصلی روی تمامی شاخه‌ها پیمایش می‌کنیم و به ازای شاخه‌هایی که باید مقدار خروجی‌شان را تعیین کنیم بر اساس مقادیر داده شده در branch-conf مقدار خروجی این پین را تنظیم می‌کنیم.

مقدار خروجی بر اساس ورودی بر اساس چهار تا از پارامترهای کانفیگ هر شاخه تنظیم می‌شود:

- اگر مقدار conf.power برابر با صفر باشد یعنی این شاخه غیر فعال شده و در نتیجه مقدار خروجی آن مستقل از هر چیز دیگری برابر صفر است.

- مقدار conf.brightness-mode به شاخه می‌گوید که ورودی سنسور را در این شاخه لحاظ کنیم یا نه. در صورتیکه این مقدار صفر باشد، مقدار خروجی برابر conf.min خواهد بود و در صورتیکه برابر یک باشد به صورت adaptive از روی ورودی سنسور خروجی‌اش تنظیم می‌شود. مقدار خروجی بر اساس ورودی سنسور یک تابع خطی است. ابتدا تابع زیر را در نظر بگیرید که اسکیل کردن یک مقدار ratio بین دو بازه استفاده می‌شود.

$$scale(l, x, r) = (1 - x) \times l + x \times r$$

و مطابق با فرمول زیر مقدار ورودی سنسور را تبدیل به عددی بین صفر و یک می‌کنیم

$$b = 1 - \min\left(1, \frac{x}{scale(s_{\min}, s, s_{\max})}\right)$$

این خروجی باید بین brightness-max و brightness-min تنظیم شود و به صورت زیر این کار انجام می شود.

$$out = scale(brightness_{min}, b, brightness_{max})$$

توجه کنید به ازای این کد خاص مقدار s_{min} و s_{max} به ترتیب برابر ۱۰ و ۱۵۰ شده اند که محدوده بیشترین نور و کمترین نور در اتاق محل آزمایش است. همچنین مقدار s نیز یک پارامتر قابل تنظیم است که از طریق ورودی UI و مقدار conf.sensitivity تنظیم می شود.

- مقدار conf.inverted-mode برابر صفر یا یک است که اگر برابر یک باشد یعنی این شاخه و شاخه بعدی رقص نور انجام می دهند. برای پیاده سازی این رقص نور مقدار خروجی آیت بعدی که برابر با out بود را در نظر می گیریم و به ترتیب مقدار این شاخه و بعدی اش را مطابق دنباله زیر تنظیم می کنیم:

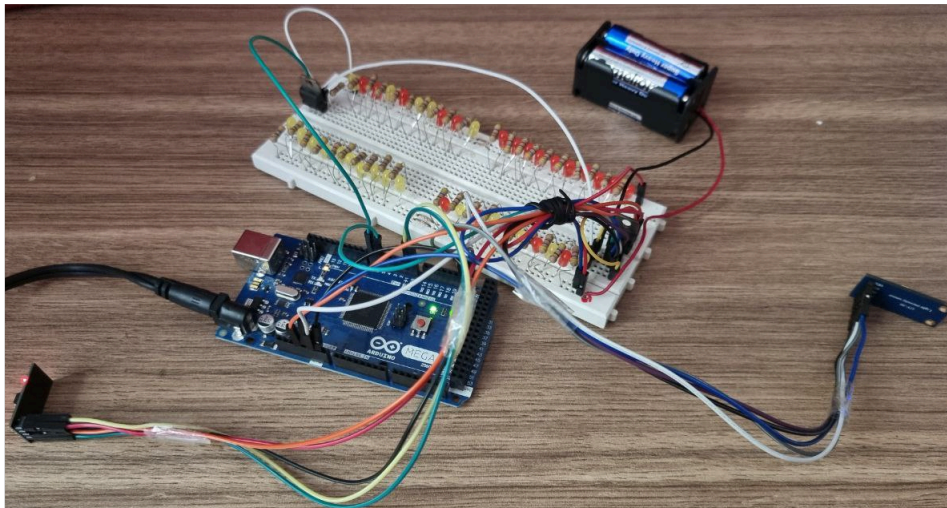
$$< (\frac{out}{2}, \frac{out}{2}), (\frac{out}{2} + 1, \frac{out}{2} - 1), (\frac{out}{2} + 2, \frac{out}{2} - 2) \dots >$$

برای اینکه فرمت خروجی پویا باشد از یک پارامتر شمارنده به اسم next-branch-counter بهره بردیم و این مقدار هر سری در بین بازه ای معقول قرار می گیرد و به شاخه اول اضافه می شود و از شاخه دوم کم می شود. به این ترتیب همیشه جمع اندازه خروجی این دو شاخه متوالی برابر با مقدار خروجی ای است که به ازای شاخه اولی تنظیم شده بود.

برای اطلاعات بیشتر از بخش های کد می توانید سورس کامل را در پیوست های پروژه به همراه مستندات کامل مشاهده نمایید.

جمع بندی

در این پروژه قصد داشتیم که یک لوستر هوشمند طراحی کنیم که بتواند با توجه به نیازمندی های کاربر روشنایی دو اتاق در خانه را شبیه سازی کند. کاربر می تواند بوسیله برنامه موبایل و به طریق بی سیم از میان حالت های ارائه شده انتخاب کند یا تنظیمات خودش را اعمال نماید. برای ادامه دادن این کار می توان تنظیمات ساعت های روشنایی را طبق برنامه کاربر نیز به برنامه اضافه کرد.
مدار نهایی در شکل زیر قابل مشاهده است:
(لینک ویدیو عملکرد لوستر هوشمند)



شکل ۱۴: مدار نهایی لوستر هوشمند