



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

پروژه‌ی پایانی

سیستم‌های ریزپردازنده‌ای و مدارهای واسطه

نیم‌سال دوم ۱۳۹۸



دانشکده مهندسی برق

## کنترل هوشمند دمای محیط

هدف از این پروژه طراحی سیستمی برای کنترل هوشمند دمای یک اتاق است.

طرح کلی سیستم به شرح زیر می‌باشد:

یک اتاق را در نظر بگیرید. سیستم گرمایشی این اتاق شامل یک رادیاتور (شوفاژ) است. کنترل دما با استفاده از تنظیم شیر این رادیاتور صورت خواهد گرفت. بدین صورت که دما به طور پیوسته اندازه‌گیری شده و سپس با استفاده از یک موتور متصل به شیر رادیاتور، دما روی میزان معینی تنظیم خواهد شد. شیر رادیاتور هم بین زاویه‌ی 0 درجه (خاموش) تا زاویه‌ی 270 درجه (کاملاً باز) می‌تواند تغییر کند.

وضعیت اتاق شامل دما، درجه‌ی شیر رادیاتور و وضعیت باز یا بسته بودن درب اتاق نیز توسط SMS به شخص فرستاده خواهد شد.

کنترل مقدار دما هم با توجه به شرایط زیر صورت خواهد گرفت:

به صورت پیش‌فرض، وضعیت باز یا بسته بودن درب اتاق ارزیابی خواهد شد. در صورت بسته بودن درب، رادیاتور مستقل از دمای اتاق، خاموش خواهد بود. در صورت باز بودن درب، شیر رادیاتور چنان تنظیم خواهد شد تا دمای اتاق روی  $27^{\circ}\text{C}$  ثابت بماند. حالت دومی هم به غیر از حالت پیش‌فرض وجود دارد. این که شخص می‌تواند با فرستادن SMS، سیستم را از حالت پیش‌فرض خارج کند. یعنی هم بتواند مقدار دما را روی هر عددی تنظیم کند و هم بتواند وابستگی تنظیم دما به وضعیت درب را تغییر بدهد.

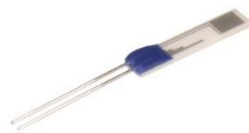
این سیستم شامل بخش‌های زیر خواهد بود:

## بخش اول – اندازه‌گیری دما

برای اندازه‌گیری دما روش‌های مختلفی می‌توانند به کار برده شوند. این روش‌ها به طور کلی به دو دسته‌ی آنالوگ و دیجیتال تقسیم می‌شوند. در این پروژه قصد داریم از سنسورهای آنالوگ استفاده کنیم.

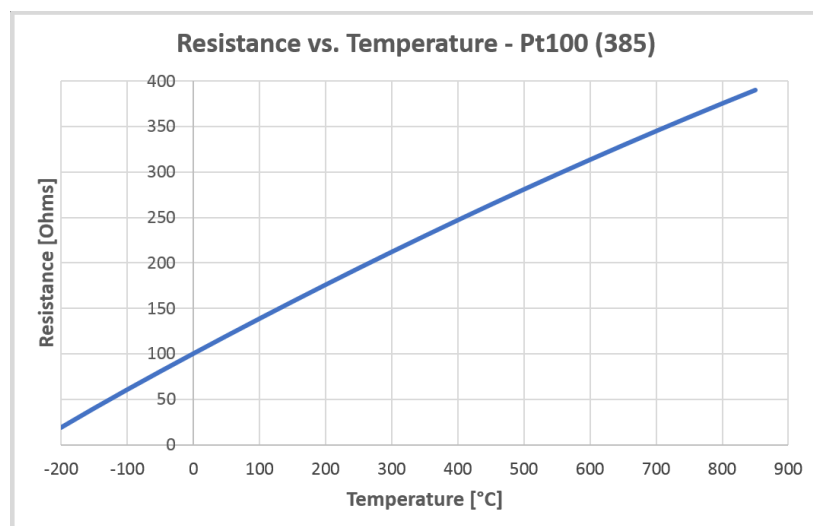
عملکرد این سنسورها به این صورت است که تغییرات دما را به تغییرات قابل اندازه‌گیری توسط مدارات الکترونیکی تبدیل می‌کنند (در واقع زیرمجموعه‌ی transducer ها هستند).

یک نمونه‌ی معروف از این نوع سنسورها ، سنسورهای دمای مقاومتی ( Resistance Temperature Detector) هستند. این سنسورها، المان‌هایی دو سر هستند که میزان مقاومت بین این دو سر متناسب با تغییرات دما، تغییر می‌کند. به عنوان مثال می‌توان سنسور PT100 را نام برد. این سنسور در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل ۱: سنسور دمای PT100

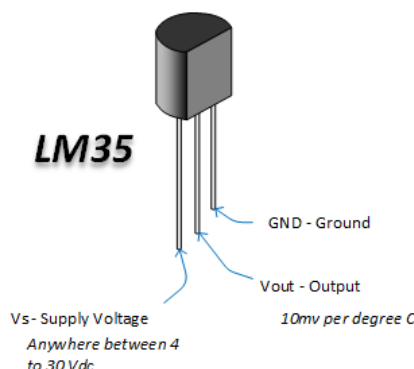
منحنی تغییرات مقاومت با دما برای سنسور PT100 در زیر آورده شده است:



شکل ۲: منحنی مقاومت-دما برای سنسور PT100

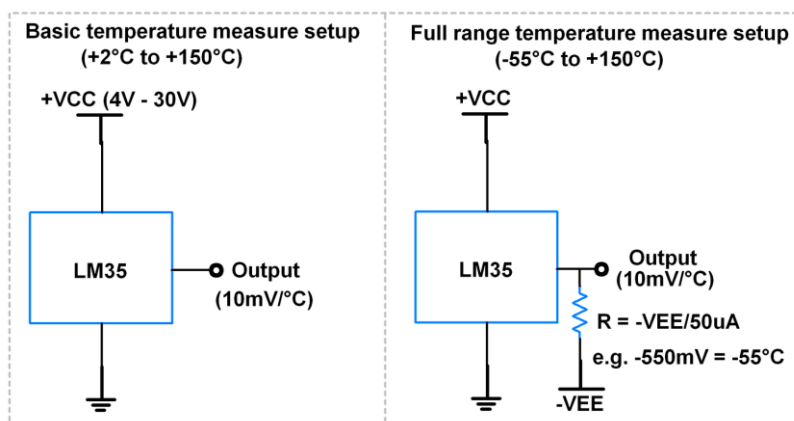
با توجه به این که منحنی فوق با تقریب خوبی خطی است، پس نیاز به look up table نیست و با یک فرمول ساده می‌توان مقاومت را به دما تبدیل کرد. برای اندازه‌گیری مقدار مقاومت سنسور توسط میکروکنترلر

بایستی ولتاژی متناسب با مقاومت تولید کرد و سپس این ولتاژ را توسط واحد ADC میکروکنترلر اندازه‌گیری کرد. برای تولید ولتاژ متناسب با مقاومت هم می‌توان از یک مدار تقسیم ولتاژ مقاومتی، بهره برد. نوع دیگری از سنسورهای دمای آنالوگ هم هستند که ولتاژ متناسب با دما ایجاد می‌کنند. به عنوان نمونه سنسور دمای LM35 را می‌توان نام برد. این سنسور در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل ۳: سنسور دمای LM35

این سنسور دارای سه پایه است، پایه‌های کناری تغذیه‌ی سنسور و پایه‌ی وسط خروجی سنسور است. خروجی سنسور در دمای  $0^{\circ}\text{C}$  برابر  $0\text{mV}$  است و به ازای هر درجه‌ی سانتیگراد افزایش دما، خروجی آن  $10\text{mV}$  افزایش می‌یابد. همانند قبل با استفاده از واحد ADC میکروکنترلر می‌توان دما را اندازه گرفت. شکل زیر نحوه‌ی استفاده از این سنسور را در دو مد کاری نشان می‌دهد:

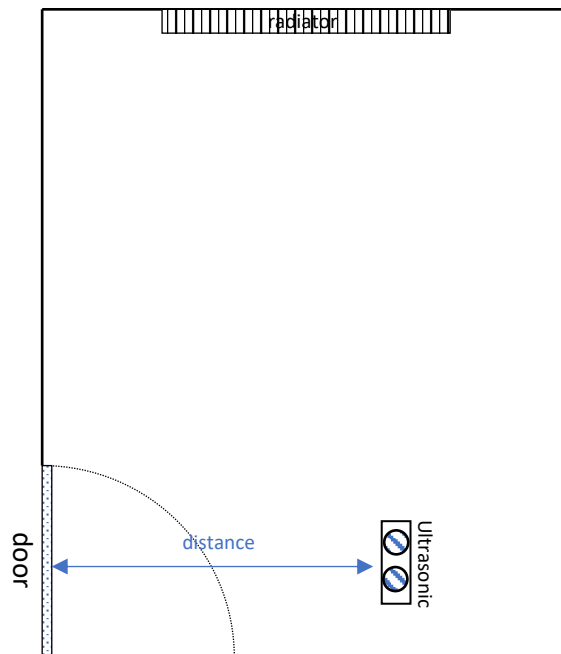


شکل ۴: مدهای کاری سنسور دمای LM35

دقت این سنسور برابر  $1^{\circ}\text{C}$  است. برای این پروژه نیازی به اندازه‌گیری دماهای منفی وجود ندارد.

## بخش دوم - تعیین وضعیت درب اتاق

فرض کنید اتاق مورد نظرمان به شکل زیر است:



شکل ۵: موقعیت درب اتاق

می‌خواهیم وضعیت باز یا بسته بودن درب اتاق را در هر لحظه بدانیم. بسته به موارد مختلفی می‌توان از روش‌های گوناگون زیادی استفاده کرد. روش انتخابی برای این پروژه، استفاده از مسافت‌سنج می‌باشد. یعنی ماژول مسافت‌سنج را در فاصله‌ی معینی از درب قرار می‌دهیم. زمانی که درب بسته است، یک جسم در فاصله‌ای برابر  $distance$  مطابق شکل فوق قرار دارد. با باز شدن درب، این فاصله افزایش می‌یابد. یکی از روش‌های معمول برای سنجش فاصله، استفاده از ماژول‌های مسافت‌سنج ultrasonic است.

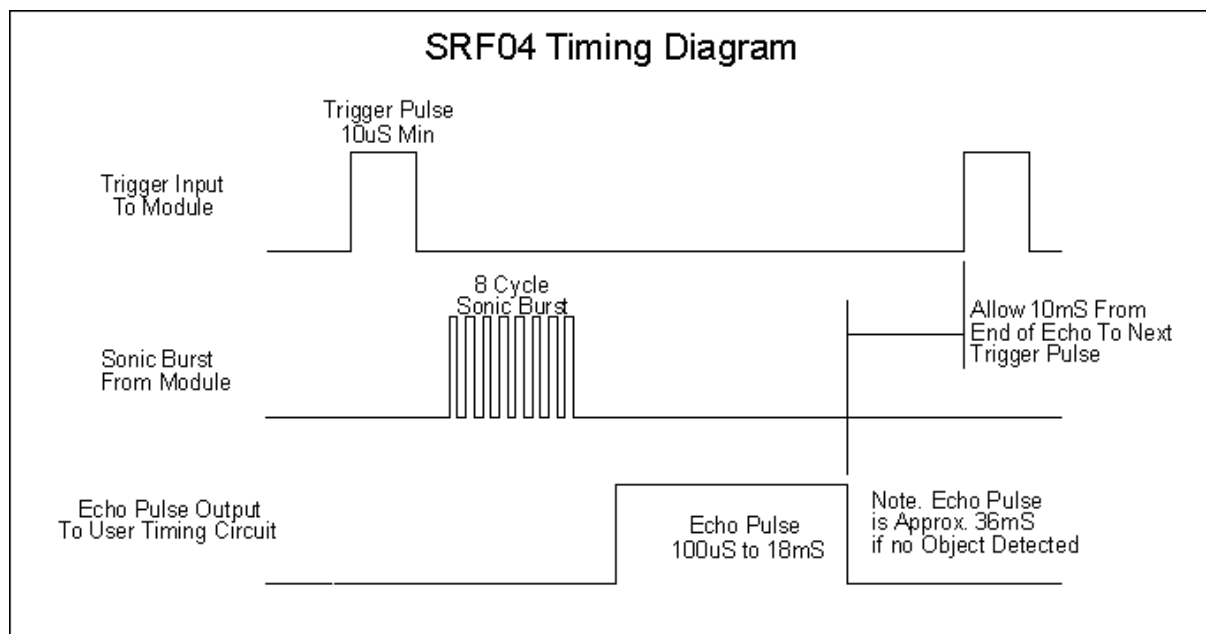
عملکرد این ماژول‌ها همانند رادار می‌باشد. برای سنجش فاصله، ابتدا یک سیگنال صوتی (در محدوده‌ی فراصوت) توسط فرستنده فرستاده می‌شود. این سیگنال پس از برخورد با جسم، بازتاب یافته و در نهایت توسط گیرنده دریافت می‌شود. با اندازه‌گیری زمان بین ارسال و دریافت و در نظر گرفتن سرعت صوت می‌توان فاصله را محاسبه کرد.

یک نمونه‌ی پرکاربرد از این ماژول‌ها، ماژول HC-SR04 است. این ماژول در شکل زیر نشان داده شده است:



شکل ۶: ماژول التراسونیک HC-SR04

گیرنده و فرستنده‌ی این ماژول به ترتیب با R و T مشخص شده‌اند. این ماژول دارای چهار پایه‌ی VCC و GND و Trig و Echo می‌باشد. نحوه‌ی کار با این ماژول به این صورت است که پس از وصل تغذیه، برای سنجش مسافت ابتدا یک پالس با سطح ولتاژ high و به مدت حداقل 10us باید به پایه‌ی Trig اعمال شود. با دریافت این پالس، ماژول شروع به تولید ۸ پالس متناوب با فرکانس 40KHz می‌کند. سپس، پایه‌ی Echo به مقدار منطقی 1 تغییر حالت می‌دهد و پس از دریافت موج بازتابی از جسم مورد نظر، دوباره پایه‌ی Echo به سطح 0 برمی‌گردد. شکل زیر سیگنال‌های ذکر شده را نشان می‌دهد:



شکل ۷: سیگنال‌های مربوط به عملکرد ماژول HC-SR04

با اندازه‌گیری مدت زمان 1 بودن پایه‌ی Echo (زمان رفت و برگشت از ماژول تا جسم) و داشتن سرعت صوت (340m/s) می‌توان به راحتی فاصله از جسم را محاسبه کرد.

این ماژول توانایی سنجش فاصله حدودا بین 2cm تا 3m را دارد. اگر هم جسمی در این محدوده وجود نداشته باشد، اندازه‌ی پالس Echo برابر 36ms می‌شود.

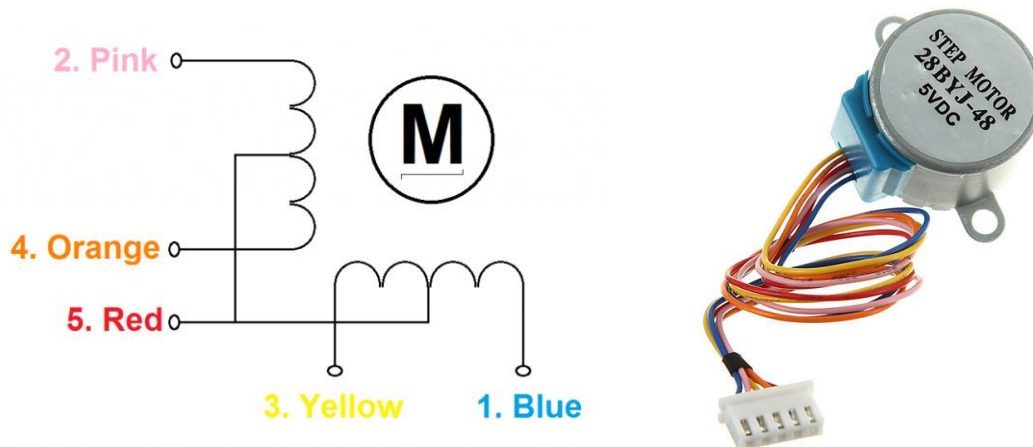
توجه کنید که گیرنده و فرستنده‌ی ماژول باید به سمت جسم مورد نظر (و موازی با سطح آن) قرار گرفته باشد و حداکثر انحرافی که بدون مشکل می‌توان فاصله را اندازه گرفت، برابر  $15^\circ$  است. پس ماژول را طوری قرار می‌دهیم تا موازی با درب اتاق باشد.

\* ماژول SR05 هم نسخه‌ی جدیدتر SR04 است و عملکرد مشابهی دارد.

### بخش سوم – کنترل شیر رادیاتور

برای کنترل و تنظیم شیر رادیاتور، از stepper motor یا servo motor می‌توان استفاده کرد. در این پروژه از stepper motor برای این منظور استفاده خواهیم کرد.

موتورهای پله‌ای (stepper motors) نوع خاصی از موتورهای DC بدون جاروبک هستند که قابلیت تنظیم دقیق موقعیت زاویه‌ای شفت موتور در آن‌ها فراهم شده است. برخلاف موتورهای معمولی، stepper motorها برای کار در سرعت‌های پایین و گشتاور بالا طراحی می‌شوند. در صورت علاقه‌مند بودن می‌توانید ساختار و نحوه‌ی کار موتورهای پله‌ای را مطالعه کنید. در اینجا فقط به نحوه‌ی راه‌اندازی و تنظیم موقعیت موتور اشاره می‌شود. در شکل زیر یک نوع معمول از موتورهای پله‌ای (موتور پله‌ای دو-فاز تک-قطبی) به همراه شماتیک ساختار درون آن نشان داده شده است:



شکل ۸: موتور پله‌ای 28BYJ-48 به همراه شماتیک ساختار درونی

در این موتور، روتور یک آهنربای دائم بوده و استاتور متشکل از چهار سیم‌پیچی می‌باشد. یک طرف همه‌ی سیم‌پیچی‌ها به یکدیگر وصل شده و به صورت سیم مشترک (سیم قرمز در شکل فوق) بیرون می‌آید.

روتور موتورهای پله‌ای دارای تعداد معینی دندانه می‌باشد. این تعداد دندانه‌ها مشخص می‌کنند تا در هر سیکل کامل از مغناطیسی کردن سیم‌پیچی‌ها (که در اصطلاح به آن یک پله می‌گویند)، روتور چند درجه بچرخد. برای یک موتور  $n$  دندانه‌ای، در هر پله، موتور به اندازه‌ی  $\frac{360}{n}$  درجه می‌چرخد. در ادامه به نحوه‌ی چرخاندن موتور به اندازه‌ی یک پله می‌پردازیم. برای این کار باید سیم‌پیچی‌ها با ترتیب مشخصی باردار شوند. اگر مراحل 1 تا 4 را به ترتیب طی کنیم، موتور یک پله خواهد چرخید:

step \ wire	Blue	Pink	Yellow	Orange
1	on	off	off	off
2	Off	on	off	off
3	off	off	on	off
4	off	off	off	on

جدول ۱: مراحل مربوط به طی یک پله به روش full-stepping

فرکانس طی کردن مراحل فوق نیز سرعت طی کردن یک پله را تعیین می‌کند. اما این فرکانس را نمی‌توان به هر اندازه‌ای زیاد کرد. زیرا در این صورت موتور از کارکرد صحیح خود خارج می‌شود.

برای افزایش دقت موقعیت زاویه‌ای موتور، یا می‌توان از موتور با تعداد پله (دندانه)ی بالا استفاده کرد و یا از روشی برای دو برابر کردن دقت استفاده کرد. این روش half-stepping نام دارد.

جدولی همانند جدول ۱ را برای روش half-stepping در گزارش کار بنویسید.

در نهایت با وصل کردن شفت موتور به شیر رادیاتور، می‌توان میزان جریان آب گرم و در نتیجه دمای اتاق را تنظیم کرد.

نحوه‌ی تغییر جهت چرخش موتور را توضیح داده و کد را طوری بنویسید که در هر بار تغییر موقعیت موتور، حداقل میزان چرخش موتور را داشته باشیم.

همانند تمرین دوم و با توجه به جریان‌کشی بالای موتور، بایستی مداری برای درایو موتور نیز استفاده شود.

## بخش چهارم – ارتباط با میکروکنترلر از طریق SMS

هدف این قسمت به شرح زیر است:

- با دریافت پیامک حاوی متن "Status" از یک شماره تلفن از پیش تعیین شده، وضعیت فعلی سیستم شامل دمای اتاق، وضعیت درب، درجه‌ی شوفاژ و مد کاری سیستم (Auto بودن یا نبودن مد کاری) به همان شماره ارسال شود. مثلاً متن پیامک ارسالی به شکل زیر باشد:

Temp = 27 deg

Motor\_Pos = 45 deg

Door is Open

Auto Mode is ON

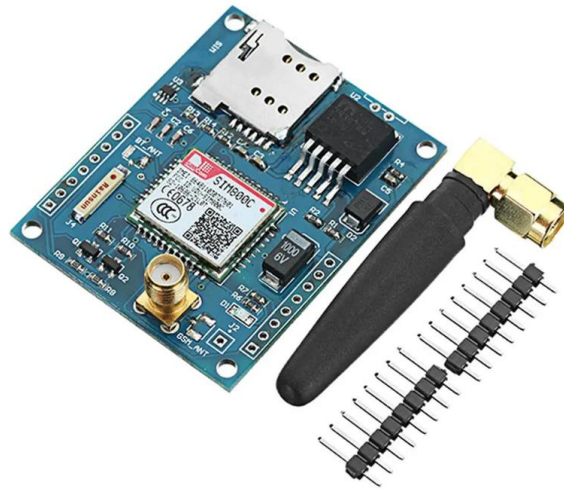
- با دریافت پیامک حاوی متن "Turn on Auto Mode" سیستم به مد پیش فرض (همان Auto Mode) برود یعنی وضعیت درب اتاق در نظر گرفته شود، اگر درب باز بود دما را روی آخرین مقدار تعیین شده تنظیم کند و اگر درب بسته بود رادیاتور را خاموش کند. در نهایت پیام "Auto Mode Turned on" را به همان شماره ارسال کند.

- با دریافت پیامک حاوی متن "Turn off Auto Mode" سیستم از مد پیش فرض خارج شود یعنی مستقل از وضعیت درب اتاق، دما را روی آخرین مقدار تعیین شده تنظیم کند و سپس پیام "Auto Mode Turned off" را به همان شماره ارسال کند.

- با دریافت پیامک حاوی متن "Set Temp to 25 deg" مقدار دمای مطلوب را برابر عدد ارسالی (در این مثال 25°C) قرار دهد و یک پیامک حاوی متن "Temp set to 25 deg" را به همان شماره ارسال کند.

برای ارسال و دریافت SMS، از ماژول‌های GSM استفاده می‌کنیم. با اتصال یکی از این ماژول‌ها به میکروکنترلر، می‌توان کارهایی از قبیل برقراری تماس و تبادل پیامک بین میکرو و یک دستگاه دیگر را انجام داد. دو نمونه‌ی معروف از این ماژول‌ها، SIM800 و SIM900 نام دارند. SIM800 نسخه‌ی جدیدتر می‌باشد. در شکل زیر برد راه‌انداز ماژول SIM800C که یکی از انواع سری SIM800 می‌باشد نشان داده شده است:





شکل ۹: برد راهانداز ماژول SIM800C

برای استفاده از این برد ابتدا یک سیم‌کارت فعال را داخل اسلات مربوطه قرار می‌دهیم. پایه‌های VCC و GND به یک ولتاژ 5V DC وصل می‌شوند. پایه‌های RXD و TXD هم، برای ارتباط با میکروکنترلر، به یکی از واحدهای UART میکروکنترلر وصل می‌شوند. کاربرد پایه‌های دیگر ماژول را در صورت تمایل می‌توانید مطالعه کنید. برای این برد ولتاژ تغذیه می‌تواند بین 5 تا 20 ولت باشد. اما ولتاژ کاری خود ماژول 3.3 ولت است. و این ولتاژ توسط رگولاتور روی برد تامین می‌شود. برای ارتباط با میکروکنترلر، پس از وصل سه پایه‌ی TXD و RXD و GND ماژول به پین‌های RX و TX و GND میکروکنترلر، توسط دستورات معینی می‌توان با ماژول ارتباط برقرار کرد. به این دستورات در اصطلاح، AT Command گفته می‌شود. baud rate پیش‌فرض برای ارتباط سریال با این ماژول برابر 9600bps می‌باشد که بعداً بین 9600 تا 115200 قابل تنظیم است. پس از راه‌اندازی و تنظیم اولیه‌ی UART میکروکنترلر، می‌توان با ارسال متن دستورات ATCommand، کارهای مطلوب را انجام داد. تعدادی از این دستورات در زیر آورده شده‌اند:

AT	Replies with OK for Acknowledgement
AT+CPIN?	Check signal Quality
AT+COPS?	Find service provider name
ATDXXXXXXXXXX;	Call to the specific number, ends with semi-colon,replace X with mobile number
AT+CNUM	Find the number of SIM card (might not work for some SIM)
ATA	Answer the Incoming Call
ATH	Hang off the current Incoming call
AT+COLP	Show incoming call number
AT+VTS=(number)	Send DTMF number. You can use any number on your mobile keypad for (number)
AT+CMGR	AT+CMGR=1 reads message at first position
AT+CMGD=1	Delete message at first position
AT+CMGDA="DEL ALL"	Delete All messages from SIM
AT+CMGL="ALL"	Read all messaged from SIM

AT+CMGF=1	Set SMS configuration. "1" is for text only mode
AT+CMGS = "+91 XXXXXXXXXX">CircuitDigest Text<Ctrl+z>	Sends SMS to a particular number here XXXXXXXXXX. When you see ">" start entering the text. Press Ctrl+Z to send the text.
AT+CNMI=2,2,0,0,0	To receive Live SMS
AT+CGATT?	To check for internet connection on SIM card
AT+CIPSHUT	To close TCP connection, meaning to disconnect form internet
AT+CSTT = "APN","username","Pass"	Connect to GPRS with your APN and Pass key. Can be obtained from Network Provider.
AT+CIICR	Check if SIM card has data pack
AT+CIFSR	Get IP of the SIM network
AT+CIPSTART = "TCP","SERVER IP","PORT"	Used to set a TCP IP connection
AT+CIPSEND	This command is used to send data to server

مثلاً با ارسال دستور "AT" در صورتی که ماژول در حالت کارکرد صحیح خود باشد و ارتباط سریال نیز درست برقرار شده باشد، می‌توان انتظار داشت که در جواب پیام "OK" را دریافت خواهیم کرد. توجه شود که منظور از ارسال دستور "AT" یعنی این که توسط واحد UART ابتدا کاراکتر "A" و سپس کاراکتر "T" را به دنبال آن ارسال کرده و سپس ارسال را پایان می‌دهیم.

برای راحتی تابعی به اسم `send_uart_char` و `send_uart_str` در کد نوشته شده برای میکروکنترلر تعریف کنید. تابع `send_uart_char()` یک کاراکتر را از طریق پورت سریال ارسال می‌کند. همچنین تابع `send_uart_str()` همان کار را برای یک رشته انجام می‌دهد.

حال فرض کنید می‌خواهیم پیامکی حاوی متن "Auto Mode Turned off" را به شماره‌ی "+98 999 123 4567" ارسال کنیم. برای این منظور دستورات زیر را باید اجرا شوند:

```
send_uart_str("AT+CMGF=1");  
send_uart_str("AT+CMGS=\"+989991234567\"");  
send_uart_str("Auto Mode Turned off");  
send_uart_char(26);
```

خط اول حالت مطلوب را روی Text Mode قرار می‌دهد.

خط دوم شماره‌ی گیرنده را مشخص می‌کند.

خط سوم متن پیام ارسالی است.

خط چهارم با ارسال کاراکتر ASCII مربوط به CTRL+Z، انتهای پیام را مشخص می‌کند و با اجرای این خط، پیامک ارسال می‌شود.

برای دریافت پیامک نیز از ATCommand های مربوطه و تعریف یک تابع `read_uart` می‌توان استفاده کرد.

این نکته را هم به خاطر داشته باشید که جریان مورد نیاز ماژول SIM800C در بیشترین حالت به 2A نیز می‌رسد. پس منبع تغذیه نیز بایستی توانایی تامین این مقدار جریان را داشته باشد.

فایل های تحویلی:

۱. پروژه ی نرم افزار Keil uVision

۲. شماتیک کل مدار در نرم افزار Altium Designer

۳. گزارش کار در فرمت PDF

۴. (در صورت کار عملی) فیلم کوتاهی از پروژه ی در حال اجرا

**\*\* مهلت تحویل پروژه ۲۵ مرداد می باشد و به هیچ وجه قابل تمدید نیست\*\***

«موفق باشید»