بسم الله الرحمن الرحیم



پایان‌نامه دوره کارشناسی

مهندسی برق – الکترونیک

**عنوان پروژه:**

مشارکت ربات ها در حل مسئله ماز

**استاد راهنما:**

دکتر نصور باقری

**دانشجویان:**

محسن رحیمی و امیرحسین رحمانی

**بهمن ماه ۱۴۰۰**

****

**تأييديه اتمام پروژه**

تأییدیه اتمام پروژه

گواهی مي­شود که آقایان/خانم­ها **محسن رحیمی** و **امیرحسین رحمانی** دانشجویان رشته مهندسی برق گرايش (یا گرایش­های) **الکترونیک** دانشکده مهندسی برق به شماره دانشجويي **3961331038** و **3961331036** پايان­نامه مقطع كارشناسي که دارای **3** واحد بوده است را با عنوان مشارکت رباتها برای حل مسئله ماز تحت نظارت استاد **دکتر نصور باقری** به­ترتیب با نمره ........ و ........ در تاريخ ......................... به اتمام رسانده­اند.

نسخه نهايي پايان­نامه و فايل آن (به صورت DOCو PDF) مطابق با ساختار کلی و دستورالعمل مصوب دانشکده تهيه و تحويل آموزش دانشكده شده است.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| ردیف | عنوان | نام و نام خانوادگی | امضاء |
| 1 | استاد راهنمای پروژه |  |  |
| 2 | مسؤول پروژه­های گروه |  |  |
| 3 | مدیر گروه |  |  |
| 4 | رئیس یا معاون آموزشی و پژوهشی دانشکده |  |  |

**تشکر و قدردانی:**

از همه کسانی که در این پایان نامه ما را یاری رساندند بخصوص دکتر باقری کمال تشکر را داریم.

**چکیده:**

توسعه سریع تکنولوژی‌ها ما را به برنامه ریزی دقیق برای بهترین انتخاب سوق می‌دهد. این فناوری و نوآوری ها باعث این شده است که کار افراد را در زندگی آسان تر کند. در این مقاله، ربات حل ماز با مهارت نقشه برداری و بومی سازی مستقل توسعه یافته است. درگام اول، ربات حل ماز با سه حسگر فاصله سنج اوولتراسونیک طراحی شده است که برای تشخیص دیوار برای جلوگیری از برخورد و برای تشخیص موانع استفاده می شود. همچنین انتظار می‌رود از ربات در محیطی که برای انسان غیرقابل دسترس است استفاده شود. علاوه بر این، مکان هایی نیز وجود دارد که استفاده از ربات ها تنها راه رسیدن به هدف است. ما با موفقیت توانایی حل ماز را بر روی ربات پیاده سازی کرده ایم. نتیجه آزمایش به‌این صورت بود که ربات می تواند ماز را با موفقیت بدون برخورد با دیوارها حل کند و همچنین مسیر صحیح را در حافظه خود ذخیره کند و در انتهای مسیر یعنی موقعی که به هدف رسید مسیر ذخیره شده را برای ربات همکار ارسال کند. در این طراحی، امکان ارسال موقعیت به ربات های دیگر تعبیه‌شده هست.

**کلید واژه ها:**

ماز- میکروماوس- ربات حل ماز - الگوریتم - گراف - پیمایش گراف - میکروکنترلر - - ATmega328

سنسور ها

**مقدمه**

در این پروژه هدف پیاده سازی الگوریتم برای حل ماز و پیدا کردن مسیر صحیح و ارسال آن به ربات هدف است که در پنج فصل تهیه شده است.

**فصل اول :**

در فصل اول مقدمه ای از ربات های ماز تاریخچه و همچنین الگوریتم های مختلف و معروف برای حل آن پرداخته شده است.

**فصل دوم :**

در این فصل راجع به خواست پروژه و هدف آن توضیح داده شده است.

**فصل سوم :**

در این فصل که تحت عنوان تئوری سازی تنظیم شده راجع به انتخاب الگوریتم برای حل پروژه صحبت می‌شود.

**فصل چهارم :**

ابزارها و راه‌اندازی آن: در این فصل به معرفی ابزارها و نحوه راه اندازی آن‌ها روی پلتفرم آردواینو بررسی می‌شود.

**فصل پنجم :**

پیاده سازی در عمل: پیاده سازی الگوریتم بر روی میکروATmega328 و تست الگوریتم نوشته شده در محیط واقعی آخرین فصل را تشکیل می‌دهد.

**فهرست عناوین**

[فصل اول – مقدمه ای بر ربات های ماز 1](#part1)

[1-1- تاریخچه2](#seson11)

[2-1- مقدمه ای بر ربات های حل ماز2](#seson21)

[3-1- الگوریتم های حل ماز 4](#seson31)

[4-1- کارایی 4](#seson41)

[فصل دوم – خواست و هدف پروژه 5](#part2)

[فصل سوم-تئوری سازی 8](#part3)

[1-3- انتخاب مسیر9](#seson13)

[2-3- انتخاب الگوریتم برای حل ماز10](#seson23)

[3-3- پیمایش در گراف ها و نحوه پیاده سازی آن ها11](#seson33)

[1-3-3- جستجوی اول سطح 11](#seson133)

[2-3-3- پیمایش عمق اول 15](#seson233)

[4-3- الگوریتم های معروف و نحوه پیاده سازی آن ها17](#seson43)

[1-4-3- الگوریتم تصادفی ماوس 17](#seson143)

[2-4-3- الگوریتم دنبال کردن دیواره ها 18](#seson243)

[3-4-3- الگوریتم pledge18](#seson343)

[4-4-3- الگوریتم Trémaux's19](#seson443)

[5-4-3- الگوریتم Dead-end filling21](#seson543)

[6-4-3- الگوریتم بازگشتی 21](#seson643)

[7-4-3- الگوریتم کوتاه ترین مسیر22](#seson743)

[8-4-3- الگوریتم Flood Fill23](#seson843)

[5-3- روش های ارتباطی بین دو دستگاه27](#seson53)

[6-3- انتقال بی‌سیم27](#seson63)

[1-6-3- انتقال رادیویی 28](#seson163)

[2-6-3- انتقال مایکروویو 28](#seson263)

[3-6-3- انتقال مادون قرمز 29](#seson363)

[4-6-3- انتقال نوری 30](#seson463)

[فصل چهارم- ابزارها و راه اندازی آن‌ ها 32](#part4)

[1-4- معرفی میکروکنترلر30](#seson14)

[2-4- انتخاب سنسور ها و نحوه راه اندازی آن ها31](#seson24)

[3-4- سنسور فاصله سنج اولتراسونیک 32](#seson34)

[1-3-4- طرز کار اولتراسونیک37](#seson134)

[2-3-4- نحوه ایجاد موج فراصوتی 37](#seson234)

[3-3-4- نحوه عملکرد pulseIn38](#seson334)

[4-3-4- کد نوشته شده برای اندازه گیری مسافت سنسور تا مانع در آردواینو 38](#seson434)

[4-4- انتخاب موتور40](#seson44)

[5-4- PID کنترلر چیست؟45](#seson54)

[1-5-4- پیاده سازی PID کنترلر با استفاده از Arduino46](#seson154)

[2-5-4- کد نوشته شده در نرم افزار Arduino برای پیاده سازی PID کنترلر 47](#seson254)

[6-4- درایور موتور48](#seson64)

[1-6-4- درایورهای مختلف موتور برای ربات های خود ران49](#seson164)

[7-4- ماژول درایور موتور L298Nو راه‌اندازی آن50](#seson74)

[1-7-4- راه‌اندازی درایور L298N با آردوینو 50](#seson174)

[2-7-4- کد نوشته شده برای راه اندازی ماژول L298N 51](#seson274)

[8-4- ماژول درایور موتور L9110S و راه‌اندازی آن53](#seson84)

[1-8-4- راه اندازی ماژول درایور L9110S با آردوینو54](#seson184)

[2-8-4- کد نوشته شده برای راه اندازی ماژول L9110S54](#seson284)

[9-4- ماژول وایرلس nRF24L0156](#seson94)

[1-9-4- راه‌اندازی ماژول nRF24L0157](#seson194)

[2-9-4- کد نوشته شده برای راه اندازی ماژول nRF24L01 57](#seson294)

[10-4- انتخاب منبع تغذیه59](#seson104)

[11-4- پارامترهای عملکرد باتری 60](#seson114)

[فصل پنجم- پیاده سازی در عمل 65](#part5)

[1-5- ساخت مسیر 66](#seson15)

[2-5- ساخت ربات 67](#seson25)

[3-5- الگوریتم نوشته شده در نرم افزار Arduino69](#seson35)

[4-5- نتایج به‌دست آمده 71](#seson45)

[5-5- کارهایی که در ادامه می‌توان انجام داد 71](#seson55)

[پیوست1 72](#پیوست1)

[منابع 92](#منابع)

**فهرست تصاویر**

[شکل1-1: مسیر ماز 2](#شکل11)

[شکل1-2: ربات میکرو ماوس3](#شکل21)

[شکل3-1: نمونه از مسیر های ماز 9](#شکل13)

[شکل3-2: نمونه از مسیر های ماز 9](#seson23)

[شکل3-3: مسیر ماز انتخاب شده برای حل مسئله ماز 10](#seson33)

[شکل3-4: نظریه گراف 11](#شکل43)

[شکل3-5: جستجوی گراف براساس روش BFS 11](#شکل53)

[شکل3-6: جستجوی گراف براساس BFS 12](#شکل63)

[شکل3-7: نمونه‌ی عملی از پیمایش گراف براساس الگوریتم BFS 14](#شکل73)

[شکل3-8: جستجوی گراف براساس DFS 14](#شکل83)

[شکل3-9: نمونه‌ی عملی از پیمایش گراف براساس DFS 16](#شکل93)

[شکل3-10: الگوریتم دنبال کردن دیواره‌ها 17](#شکل103)

[شکل3-11: الگوریتم PLEDGE 17](#شکل113)

[شکل3-12: طیف‌های الکترومغناطیسی 25](#شکل123)

[شکل3-13: انتقال رادیویی 25](#شکل133)

[شکل3-14: انتقال مایکروویو 26](#شکل143)

[شکل3-15: انتقال نوری 27](#شکل153)

[شکل3-16: ماژول وایرلس nRF24L01 28](#شکل163)

[شکل4-1: آردوینو مدل اونو 30](#شکل14)

[شکل4-2: سنسور شدت نور 32](#شکل24)

[شکل4-3: طرز کار سنسور اوولتراسونیک 36](#شکل34)

[شکل4-4: طرز کار سنسور اوولتراسونیک 37](#شکل44)

[شکل4-5: مدار راه‌اندازی سنسور شدت نور 37](#شکل54)

[شکل4-6: موتور گیربکسی پلاستیکی 44](#شکل64)

[شکل4-7: یک سیستم فیدبک با کنترل کننده PID45](#شکل74)

[شکل4-8: کنترل موتور ها از طریق PWM با PID کنترلر 46](#شکل84)

[شکل4-9: ماژول درایور l298N 50](#شکل94)

[شکل4-10: مدار راه‌انداز موتور DC به‌وسیله ماژول Lm298N و آردوینو در نرم‌افزار پروتئوس50](#شکل104)

[شکل4-11: ماژول درایور L9110S 53](#شکل114)

[شکل4-12: مدار راه انداز 2 موتور DC به وسیله درایور L9110S با آردوینو 54](#شکل124)

[شکل 4-13: شماتیک nRF24L01 برای خروجی 50 اهم RF 54](#شکل134)

[شکل 4-14: نحوه راه‌اندازی ماژولnRF24L01 با Arduino 57](#شکل144)

[شکل5-1: پیاده سازی ماز طراحی شده66](#شکل15)

[شکل5-2: پیاده سازی نهایی ربات در محیط واقعی نمونه 4چرخ 68](#شکل25)

[شکل 5-3. پیاده سازی نهایی ربات در محیط واقعی نمونه 3 چرخ68](#شکل35)

[شکل5-4: محیط نرم افزار Arduino 69](#شکل45)

**فصل اول**

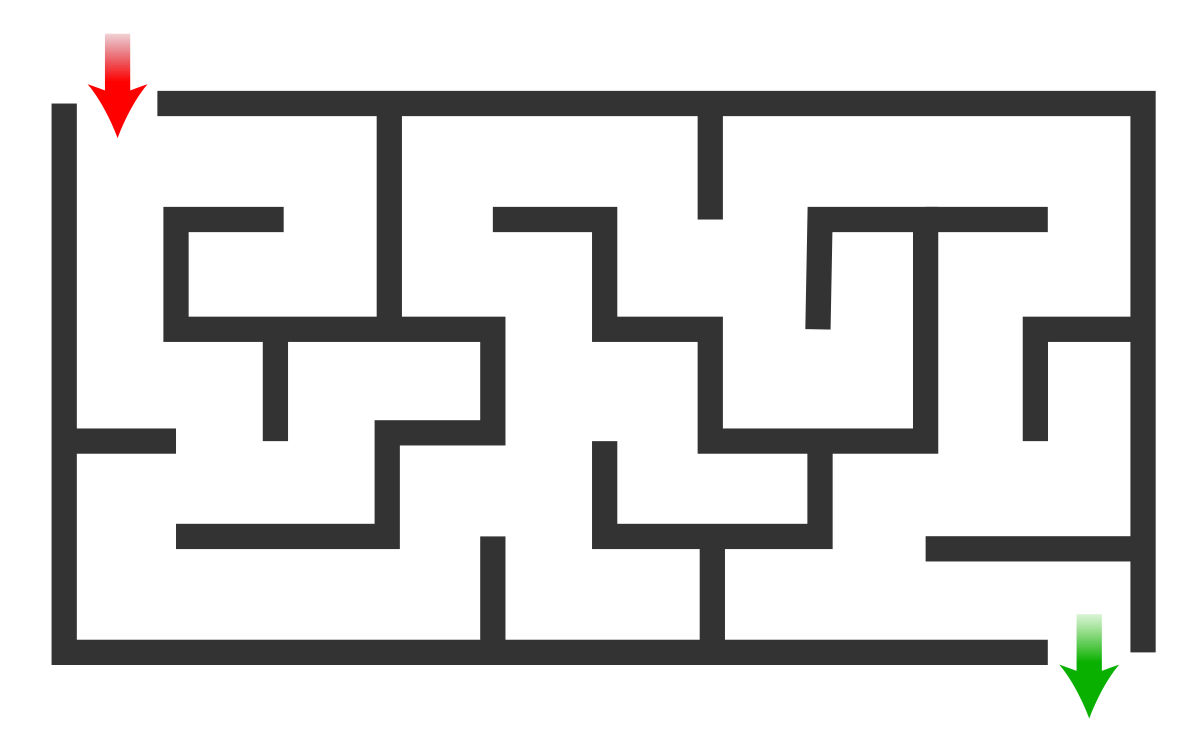
مقدمه‌ای بر ربات های ماز

**1-1- تاریخچه ربات های حل ماز ( میکروماوس)**

میکروماوس[[1]](#footnote-1) رویدادی است که در آن ربات های کوچک ماز 16\*16 را حل می‌کنند. که از اواخر دهه 1970 آغاز شد. رویداد‌ها در سراسر جهان برگزار می‌شوند و در بریتانیا، ایالات متحده، ژاپن،سنگاپور،هند،کره جنوبی محبوبیت بیشتری دارند و در کشور های شبه قاره مانند سریلانکا محبوب هست. [1]

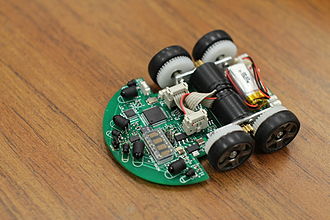
**2-1- مقدمه ای بر ربات های حل ماز**

ربات های ماز یا میکرو ماوس ها گروهی از ربات ها هستند که میتوانند یک مسیر ناشناخته را طی کنند و به مقصد برسند .مسیر ناشناخته در مسابقات و ازمایش ها یک ماز است و در عمل میتواند یک شهر یا یک مکان نامشخص باشد. [1]  
در زیر تصویر یک نمونه ماز را مشاهده میکنید.



شکل 1-1: مسیر ماز

همچنین در تصویر زیر نمونه ای ربات حل ماز را مشاهده می‌کنید.



شکل 1-2: ربات میکروماوس [1]

ماز از سلول ها و شبکه های 16\*16 تشکیل شده است که هرکدام 180 میلی متر مربع با دیوارهایی به ارتفاع 50 میلی متر است. ربات های ماز، ربات‌های کاملا مستقلی هستند که باید بدون کمک راه خود را از یک موقعیت شروع از پیش تعیین شده به سمت نقطه مرکزی ماز پیدا کنند.

ربات های ماز باید مکان خود را رهگیری کنند، دیواره ها را در حین کاوش کشف کنند، ماز را ترسیم کنند و تشخیص دهد که چه زمانی به هدف رسیده است. پس از رسیدن به هدف، ماوس آن مسیر را در کمترین زمان ممکن اجرا خواهد کرد.

مسابقات میکرو ماوس تحت عنوان UK[[2]](#footnote-2), UCLA [[3]](#footnote-3)IEEE و کنفرانس ها تحت عنوان Minos[[4]](#footnote-4) به طور منظم برگزار می‌شوند. [1]

## **میکرو ماوس نیم سایز - Half-Size Micromouse**

نسخه جدیدی از میکرو‌ ماوس که نیم سایز نامیده می‌شود که در 30 امین مسابقات میکرو ماوس در سال 2009 در ژاپن با عنوان robolaboN معرفی شد. در نسخه جدید بجای ماز 16\*16، در مسابقات جدید از ماز 32\*32 استفاده شد.که ابعاد سلول ها و دیوار ها به نصف کاهش پیدا کرد. [1]

**1-3- الگوریتم های حل ماز**

ماوس ها می‌توانند از الگوریتم های مختلف جستجو استفاده کنند. الگوریتم های جستجو متداول از جمله روش Bellman flood-fill ، Dijkstra’s ، الگوریتم معروف جست و جو معروف و صنعتی A\* در میان الگوریتم های مختلف پیمایش گراف ها و پیمایش درخت استفاده کرد. [1]

**4-1- کارایی**

ربات های ماز یا همان ماوس ها بسته به طرح های ماز می‌توانند با سرعت بیش از سه متر در ثانیه حرکت کنند. برخی از بهترین سازندگان میکروموس عبارتند از: یوسوکه کاتو، نگ بنگ کیات و فومیتاکا ناکاشیما هستند. رکورد جهانی کنونی 3.921 ثانیه و در اختیار نگ بنگ کیات است. [1]

عملکرد ربات ها در سال های اخیر به طور قابل توجهی بهبود یافته است. از سال 2015، ماوس های برنده احتمالا با شتاب رو به جلو و ترمز بالای 10 متر بر ثانیه حرکت کنند. Micromice از جمله ربات‌های خودران با بالاترین عملکرد هستند.

**فصل** دوم

**خواست و هدف پروژه**

**خواست پروژه**:

**عنوان پروژه:** مشارکت ربات ها برای حل مسئله ماز

**مشخصات کیفی، بلوک دیاگرام پروژه :**

مسئله تعریف شده به این شکل است که دو ربات وجود دارد 1- ربات اصلی [[5]](#footnote-5) 2- ربات همکار[[6]](#footnote-6)

مسئله تعریف به یکی از دو شکل زیر میتواند انجام شود:

شکل اول:

ربات اصلی باید موقعیت مکانی خود را توسط سنسورها نسبت به موانع بخواند، سپس موقعیت خود را به ربات همکار ارسال کند ربات ها باید به کمک هم ماز از پیش تعیین شده را حل کنند و به مسیر انتهایی برسند.

شکل دوم:

ربات اصلی ابتدا مسیر درست ماز را باید با بهره گیری از هوش خود پیدا کند سپس مسیر درست را برای ربات همکار ارسال کند تا ربات همکار در کوتاه ترین زمان مسیر صحیح را بپیماید و به مقصد تعیین شده برسد.

**شرح پروژه :**

ربات اصلی با توجه به سنسور هایی که باید برای آن انتخاب شود موقعیت خود را نسبت به موانع میخواند سپس با توجه به الگوریتم انتخابی شروع به حرکت در ماز تعیین شده میکند بعد از کاوش کردن در ماز باید مسیر صحیح را ذخیره کند هم چنین در طول مسیر باید بتواند برروی موتور های خود کنترل داشته باشد تا با شتاب مناسب و ترمز های به موقع بتواند ماز را حل کند و در انتها باید بتواند با ربات همکار ارتباط برقرار کند که برای ارتباط با ربات همکار میتوانیم از ماژول های وایفای و وایرلس برای برقراری این ارتباط استفاده کنیم که ربات اصلی باید مسیر صحیح ذخیره شده بعد رسیدن به مقصد نهایی برای ربات همکار ارسال کند، سپس ربات همکار بعد از دریافت اطلاعات باید شروع به پیمودن مسیری که ربات اصلی فرستاده میکند تا به مقصد هدف برسد.

**مراحل و فازهای انجام پروژه:**

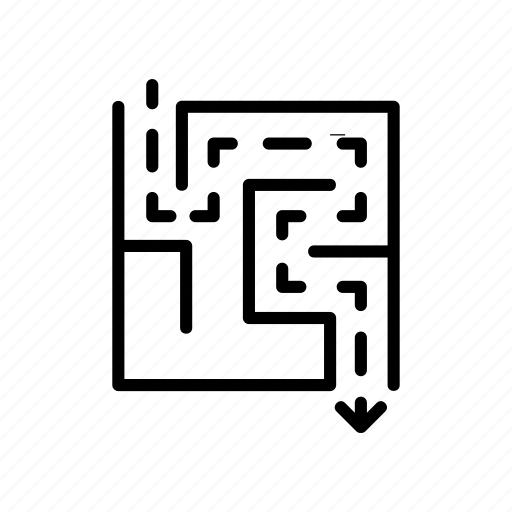
در ابتدا باید مسیر ماز طراحی و انتخاب شود، در مرحله بعد باید انتخاب شود با چه تکنولوژی و الگوریتم و ابزاری قرار است کار کنیم( برای تصمیم گیری در این باره باید به میزان بودجه و وقت خود نگاه کنیم) بعد از تصمیم گیری در این باره باید، ابزارهای لازم و مناسب تهیه شوند. سپس باید ربات طراحی شود که با توجه به مسیری که طراحی شده ابعاد ربات و طراحی آن صورت می‌گیرد. بعد از این مراحل به سراغ پیاده سازی الگوریتم برروی تکنولوژی انتخابی می‌رویم بعد از پیاده سازی الگوریتم و طراحی ربات ها در مرحله آخر باید به سراغ پیاده سازی آن در محیط واقعی برویم بعد از انجام مرحله نتیجه نهایی باید در قالب گزارش پایانی گردآوری و تهیه شود.

**فصل سوم**

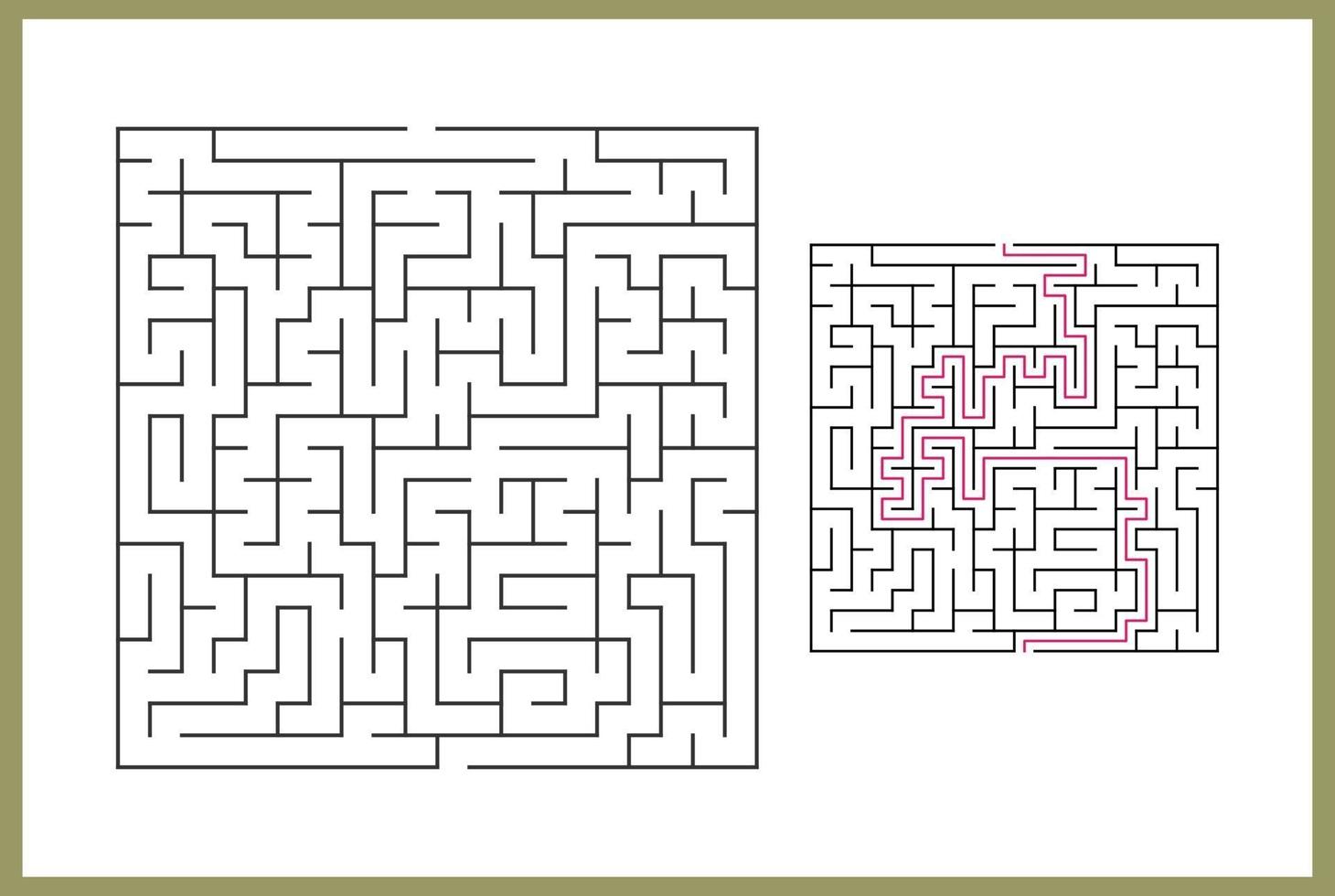
**تئوری سازی**

**1-3- انتخاب مسیر**

ماز ها می‌توانند مسیرهای بسیار پیچیده یا مسیر های ساده باشند که در زیر چند نمونه از مسیر های ماز آورده شده است.



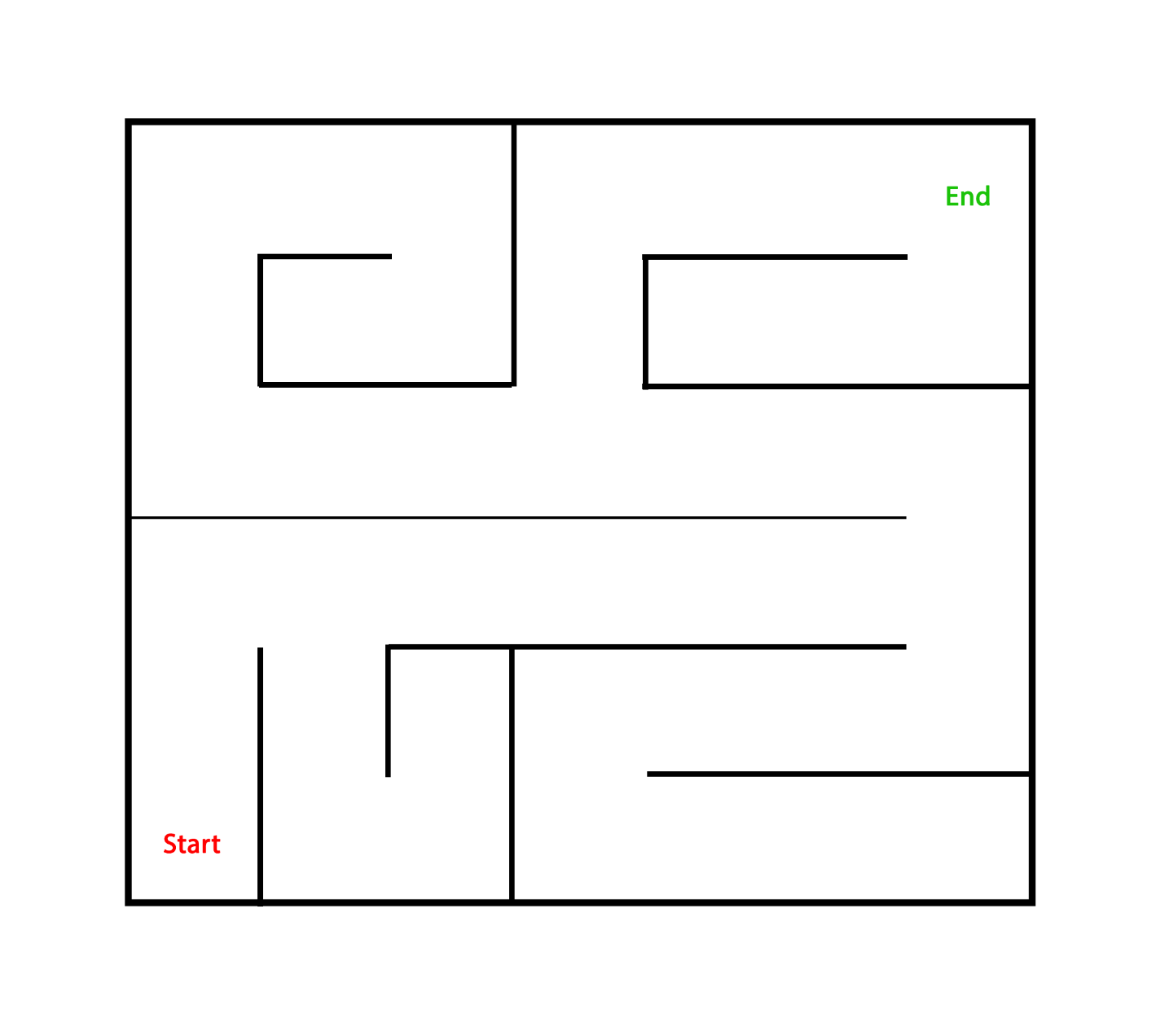
شکل 3-1: نمونه از مسیر های ماز



شکل 3-2: نمونه از مسیرهای ماز

برای این پروژه ماز زیر را به عنوان مسیر انتخابی برای پروژه خود انتخاب شد :

که همانطور که مشاهده میکنید یک ماز 6\*6 است. که باید بر اساس مسیر انتخابی و خواسته پروژه، الگوریتم انتخاب و طراحی شود.



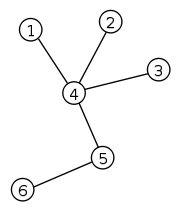
شکل 3-3: مسیر ماز انتخاب شده برای حل مسئله ماز

**2-3- انتخاب الگوریتم برای حل ماز**

همانطور که در فصل اول صحبت شد برای حل ماز الگوریتم های زیادی وجود دارد که چند تا از معروف ترین الگوریتم های حل ماز را در قسمت اول نام برده شد و حالا در این قسمت مفصل تر راجع به این الگوریتم ها و هم چنین الگوریتم های پیمایش گراف ها و درخت ها صحبت می‌شود.

الگوریتم های حل ماز ارتباط نزدیکی با نظریه گراف ها دارند. اگر بتوان مسیر های ماز به روش مناسب بکشد می‌توان نتیجه را شبیه درخت کرد.

**درخت**: در نظریه گراف، درخت یک گراف بدون جهت است که در آن هر دو راس توسط یک مسیر به هم متصل شده است یا به به طور معادل یک گراف همبند و بدون دور است. [2]



شکل 3-4: نظریه گراف [2]

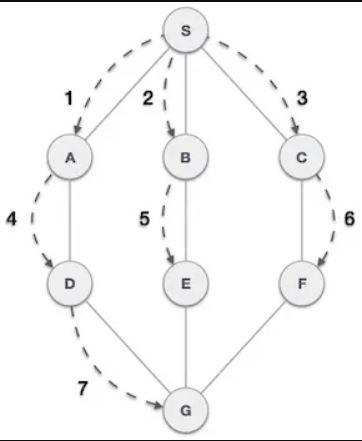
**3-3- پیمایش در گراف ها و نحوه پیاده سازی آن ها:**

**پیمایش گراف** به معنی بازدید از تک‌تک رأس‌های گراف به نحوی خاص است. مسئله پیمایش درخت حالت خاصی از پیمایش گراف است. برای این چند الگوریتم وجود دارد. [2]

شکل 3-5: جستجوی گراف براساس روش BFS [2]

## **3-3-1- جستجوی اول سطح[[7]](#footnote-7)**

الگوریتم جستجوی سطح-اول، گراف را با حرکت در سطح پیمایش می‌کند و از صف برای به‌خاطرسپاری رأس‌های بعدی جهت جستجو استفاده می‌کند و زمانی که وارد یک بن‌بست شود، از تکرار بهره می‌گیرد. [3]



شکل 3-6: جستجوی گراف براساس .BFS [3]

در مثال فوق الگوریتم سطح-اول ابتدا از رأس A به B به E و به F می‌رود و. سپس به C و در نهایت از G به D می‌رود. قواعد این پیمایش چنین هستند: [3]

* قاعده اول: از رأس بازدید نشده مجاور بازدید کن. آن را به صورت بازدید شده نشانه‌گذاری کن، آن را نمایش بده و در صف درج کن.
* قاعده 2: اگر هیچ رأس مجاوری وجود ندارد، نخستین رأس را از صف خارج کن.
* قاعده 3: قواعد 1 و 2 را تا زمانی که صف خالی شود ادامه بده.

**پیاده سازی الگوریتم جستجوی سطح اول BFS در زبان C++**[4]

#include<iostream>

#include <list>

using namespace std;

// This class represents a directed graph using

// adjacency list representation

class Graph

{

int V; // No. of vertices

// Pointer to an array containing adjacency

// lists

list<int> \*adj;

public:

Graph(int V); // Constructor

// function to add an edge to graph

void addEdge(int v, int w);

// prints BFS traversal from a given source s

void BFS(int s);

};

Graph::Graph(int V)

{

this->V = V;

adj = new list<int>[V];

}

void Graph::addEdge(int v, int w)

{

adj[v].push\_back(w); // Add w to v’s list.

}

void Graph::BFS(int s)

{

// Mark all the vertices as not visited

bool \*visited = new bool[V];

for(int i = 0; i < V; i++)

visited[i] = false;

// Create a queue for BFS

list<int> queue;

// Mark the current node as visited and enqueue it

visited[s] = true;

queue.push\_back(s);

// 'i' will be used to get all adjacent

// vertices of a vertex

list<int>::iterator i;

while(!queue.empty())

{

// Dequeue a vertex from queue and print it

s = queue.front();

cout << s << " ";

queue.pop\_front();

// Get all adjacent vertices of the dequeued

// vertex s. If a adjacent has not been visited,

// then mark it visited and enqueue it

for (i = adj[s].begin(); i != adj[s].end(); ++i)

{

if (!visited[\*i])

{

visited[\*i] = true;

queue.push\_back(\*i);

}

}

}

}

// Driver program to test methods of graph class

int main()

{

// Create a graph given in the above diagram

Graph g(4);

g.addEdge(0, 1);

g.addEdge(0, 2);

g.addEdge(1, 2);

g.addEdge(2, 0);

g.addEdge(2, 3);

g.addEdge(3, 3);

cout << "Following is Breadth First Traversal "

<< "(starting from vertex 2) \n";

g.BFS(2);

return 0;

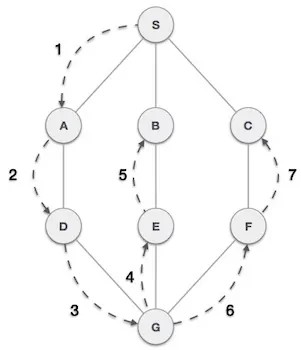
}



شکل 3-7: نمونه‌ی عملی از پیمایش گراف براساس الگوریتم BFS [4]

خروجی کد برای گراف بالا براساس الگوریتم پیمایش اول سطح BFS به این صورت است:

Breadth First Search: 2 0 3 1

****

**2-3-3- پیمایش عمق اول[[8]](#footnote-8)**

الگوریتم جستجوی عمق –اول طوری یک گراف را پیمایش می‌کند که اولویت آن با پیمایش عمقی گراف است و از یک پشته برای به‌خاطرسپاری رأس‌های بعدی جهت جستجو استفاده می‌کند و زمانی که وارد یک بن‌بست شود، از تکرار بهره می‌گیرد. [3]

شکل 3-8: جستجوی گراف براساس DFS. [3]

الگوریتم پیمایش عمق-اول همان طور که در شکل فوق مشخص است، ابتدا از S به A به D به G به E به B می‌رود، سپس به F و در نهایت به C می‌رود. قواعد این پیمایش چنین است:

* قاعده 1: به رأس بازدید نشده مجاور برو. آن را به صورت بازدید شده علامت‌گذاری کن. آن را وارد پشته بکن.
* قاعده 2: اگر رأس مجاوری نمانده باشد، یک رأس را از پشته pop کنید. همه رئوسی که رأس‌های مجاور ندارند، از پشته pop می‌شوند.
* قاعده 3: قاعده 1 و قاعده 2 را تا زمانی که پشته خالی شود، ادامه بده.

**پیاده سازی الگوریتم جستجوی اول عمق در زبان C++** [5]

// C++ program to print DFS

// traversal for a given given

// graph

#include <bits/stdc++.h>

using namespace std;

class Graph {

// A function used by DFS

void DFSUtil(int v);

public:

map<int, bool> visited;

map<int, list<int> > adj;

// function to add an edge to graph

void addEdge(int v, int w);

// prints DFS traversal of the complete graph

void DFS();

};

void Graph::addEdge(int v, int w)

{

adj[v].push\_back(w); // Add w to v’s list.

}

void Graph::DFSUtil(int v)

{

// Mark the current node as visited and print it

visited[v] = true;

cout << v << " ";

// Recur for all the vertices adjacent to this vertex

list<int>::iterator i;

for (i = adj[v].begin(); i != adj[v].end(); ++i)

if (!visited[\*i])

DFSUtil(\*i);

}

// The function to do DFS traversal. It uses recursive

// DFSUtil()

void Graph::DFS()

{

// Call the recursive helper function to print DFS

// traversal starting from all vertices one by one

for (auto i : adj)

if (visited[i.first] == false)

DFSUtil(i.first);

}

// Driver Code

int main()

{

// Create a graph given in the above diagram

Graph g;

g.addEdge(0, 1);

g.addEdge(0, 9);

g.addEdge(1, 2);

g.addEdge(2, 0);

g.addEdge(2, 3);

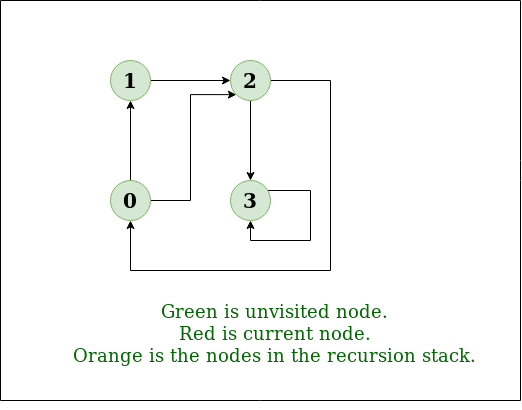
g.addEdge(9, 3);

cout << "Following is Depth First Traversal \n";

g.DFS();

return 0;

}



شکل 3-9: نمونه‌ی عملی از پیمایش گراف براساس DFS [5]

**خروجی** کد برای گراف بالا براساس جستجوی اول عمق به صورت زیر است:

**Output:** DFS from vertex 1 : 1 2 0 3

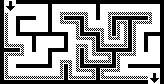
**3-4- الگوریتم های معروف و نحوه پیاده سازی آن ها**

حال که دو نمونه از پرکاربرد ترین الگوریتم های جستجوی گراف‌ها را دیدیم به سراغ الگوریتم های مشهور حل ماز می‌رویم و میبینیم به چه صورت در الگوریتم های معروف و صنعتی ماز از الگوریتم های پیمایش گراف ها استفاده شده برای بهینه کردن الگوریتم برای پیدا کردن کوتاه ترین مسیر برای حل ماز.

چند نمونه از الگوریتم های ماز عبارتند از:

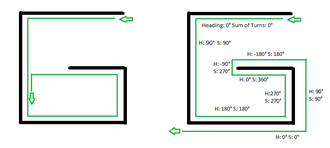
**1-4-3- الگوریتم تصادفی ماوس [[9]](#footnote-9):**

این روش یک روش پیش پا افتاده و ساده برای حل ماز است که می‌تواند توسط یک ربات غیر هوشمند پیاده سازی شود. این روش به این صورت است که ماوس باید مسیر جاری را دنبال کند تا به یک تقاطع برسد و سپس تصمیمی ‌تصادفی در مورد مسیر بعدی باید بگیرد. اگرچه چنین روشی همیشه سرانجام مسیر مناسب را پیدا میکند، اما این الگوریتم یه الگوریتم بهینه نیست و بسیار کند است. [6]

**2-4-3****- الگوریتم دنبال کردن دیواره ها[[10]](#footnote-10):**

یکی از متداول ترین و شناخته شده ترین روش برای عبور از ماز ها با دنیال کردن دیواره ها است. که به عنوان قانون دست راست یا دست چپ نیز شناخته می‌شود. اگر ماز ساده باشد، یعنی همه­ی دیواره­ها به یکدیگر یا فضای بیرونی ماز متصل باشند، این تضمین وجود دارد که با حفظ تماس یک دست به دیواره­ای که از آن شروع به حرکت می­کنیم،

شکل 3-10: الگوریتم دنبال کردن دیواره‌ها [6]

 بتوان از Mazeخارج شد . ولی Maze ساده نباشد، این الگوریتم به یافتن خروجی در قسمت­های گسسته کمکی نمی­کند. این الگوریتم یک پیمایش درخت اول عمق است. [6]

**3-4-3- الگوریتم :pledge**

ماز های گسسته را می‌توان به روش دنبال کردن دیواه ها حل کرد، در صورتی که ورودی و خروجی ماز روی دیواره های خارجی ماز قرار داشته باشند . [6]

شکل 3-11: الگوریتم PLEDGE [6]

چنانچه از درون ماز شروع به حرکت کنیم، ممکن است الگوریتم دنبال کردن دیواره ها در قسمت گسسته ای که شامل خروجی نیست دائما یک حلقه را طی کند.الگوریتم Pledge می‌تواند این گونه مسائل را حل کند.

الگوریتم Pledge برای رفع موانع، به طی یک مسیر اختیاری نیاز دارد. هنگام مواجهه با مانع، یک دست (مثال دست راست) را در امتداد مانع نگه می‌داریم در حالیکه زوایای چرخش شمرده می‌شود. وقتی دوباره در راستای مسیر اصلی قرار گرفتیم و جمع زاویه ای چرخش ها برابر صفر شد، می‌توان مانع را ترک کرد و در راستای مسیر اصلی حرکت نمود. این الگوریتم به شخص اجازه ی جهت یابی را در شروع از هر نقطه برای خارج از مازهای دوبعدی ، را می‌دهد. [6]

## **4-4-3- الگوریتم Trémaux's**

الگوریتم ترمو، که توسط چارلز پیر ترمو [[11]](#footnote-11)ابداع شد، یک روش کارآمد برای یافتن راه خروج از ماز است که برای مشخص کردن یک مسیر نیاز نیاز به کشیدن خطوط روی زمین دارد و تضمین می‌شود که برای هر ماز خوش تعریف که تقاطع های کاملا مشخص دارد کار کند. اما تضمینی برای یافتن کوتاه ترین مسیر وجود ندارد . [6]

الگوریتم براساس قوانین زیر کار می‌کند: [6]

* هر مسیری را که دنبال میکنید یک بار باید علامت بزنید.علائم باید در هر دو انتهای مسیر قابل مشاهده باشند. بنابراین، اگر آنها به عنوان علائم فیزیکی ساخته می‌شوند، نه این‌که به عنوان بخشی از یک الگوریتم رایانه ذخیره شوند، باید همان علامت در هر دو انتهای مسیر ایجاد شود.
* هرگز نباید وارد مسیری که در آن دو علامت وجود دارد شوید
* اگر به تقاطعی رسیدید که هیچ علامتی ندارد (به جز احتمالا موردی که در مسیری که وارد شده اید)، یک مسیر بدون علامت دلخواه انتخاب کنید، آن را علامت بزنید.
* در غیر این صورت:
  + اگر مسیری که وارد آن شده اید فقط یک علامت داشت، بچرخید و از آن مسیر برگردید و آن را علامت بزنید. به طور خاص باید این مورد هر وقت که بن بست رسیدید رخ دهد.
  + اگر نه، یکی از مسیرهای باقیمانده را با کمترین علامت ( در صورت امکان بدون علامت، و در غیر این‌صورت یک) انتخاب کنید، و آن مسیر را دنبال کنید و آن را علامت بزنید.

قانون بچرخ و برگرد[[12]](#footnote-12) به طور موثر هر ماز دارای حلقه را به یک ماز ساده تبدیل می‌کند. هرگاه راهی را پیدا کنیم که که حلقه ای را ببندد، آن را به عنوان یک بن بست در نظر می‌گیریم و برمیگردیم. بدون این قانون یعنی اگر به جای برگشتن به عقب، خودسرانه مسیر دیگری را دنبال کنیم، ممکن است دستری به بخش های هنوز کشف نشده ماز را قطع کنیم. زمانی که در نهایت به هدف رسیدید، مسیرهایی که دقیقا یکبار علامت گذاری شده اند، درواقع راه بازگشت به نقطه شروع را نشان میدهند. اگر خروجی وجود نداشته باشد، این روش شما را به نقطع شروع باز میگرداند که در آن همه مسیر ها دوبار علامت گذاری شده اند. در این مورد، هر مسیر دقیقا دوبار، یک بار در هر جهت طی می‌شود.

اساسا این الگوریتم که در قرن نوزدهم کشف شد، حدود صد سال بعد به عنوان جستجو در عمق [[13]](#footnote-13)مورد استفاده قرار گرفت. که پیش تر راجع به الگوریتم جستجو در عمق در گراف ها صحبت کردیم. [6]

## **5-4-3- الگوریتم Dead-end filling**

الگوریتم Dead-end filling یک الگوریتم برای حل ماز است که بن بست ها را پر می‌کند، و تنها راه های صحیح را باز می‌گذاریم. می‌توان از این الگوریتم برای حل ماز روی کاغذ یا برنامه های کامپیوتری استفاده کرد. ام این روش برای ماز های نا شناخته مناسب نیست چراکه در این روش باید تمام ماز را بررسی کند. روش بدین صورت است که ابتدا باید همه بن بست ها در ماز را پیدا کنیم و سپس مسیر را از هر بن بست تا رسیدن به اولین تقاطع پرکنیم. [6]

## **3-4-6- الگوریتم بازگشتی [[14]](#footnote-14)**

اگر یک پیشنمایش از ماز به شما داده شود، یک الگوریتم بازگشتی ساده می‌تواند به شما بگوید چگونه به پایان برسد. به الگوریتم یک مقدار X,Y اولیه داده می‌شود. اگر مقدار X,Y روی دیوار نباشند، متد خود را با تمام مقادیر X,Y مجاور بررسی می‌کند و مطمئن می‌شود که قبلا از مقادیر X,Y استفاده نکرده است. اگر مقادیر X,Y مربوط به نقاط انتهایی باشد، تمام نمونه های قبلی را به عنوان مسیر صحیح ذخیره می‌کند. [6]

این روش درواقع یک پیمایش اول عمق از گراف هاست که بر حسب نقاط سلول ها و یا شبکه بیان می‌شود.

**در ادامه نمونه کدی از الگوریتم بازگشتی در زبان جاوا آمده است:** [6]

boolean[][] maze = new boolean[width][height]; // The maze

boolean[][] wasHere = new boolean[width][height];

boolean[][] correctPath = new boolean[width][height]; // The solution to the maze

int startX, startY; // Starting X and Y values of maze

int endX, endY; // Ending X and Y values of maze

public void solveMaze() {

maze = generateMaze(); // Create Maze (false = path, true = wall)

for (int row = 0; row < maze.length; row++)

// Sets boolean Arrays to default values

for (int col = 0; col < maze[row].length; col++){

wasHere[row][col] = false;

correctPath[row][col] = false;

}

boolean b = recursiveSolve(startX, startY);

// Will leave you with a boolean array (correctPath)

// with the path indicated by true values.

// If b is false, there is no solution to the maze

}

public boolean recursiveSolve(int x, int y) {

if (x == endX && y == endY) return true; // If you reached the end

if (maze[x][y] || wasHere[x][y]) return false;

// If you are on a wall or already were here

wasHere[x][y] = true;

if (x != 0) // Checks if not on left edge

if (recursiveSolve(x-1, y)) { // Recalls method one to the left

correctPath[x][y] = true; // Sets that path value to true;

return true;

}

if (x != width - 1) // Checks if not on right edge

if (recursiveSolve(x+1, y)) { // Recalls method one to the right

correctPath[x][y] = true;

return true;

}

if (y != 0) // Checks if not on top edge

if (recursiveSolve(x, y-1)) { // Recalls method one up

correctPath[x][y] = true;

return true;

}

if (y != height - 1) // Checks if not on bottom edge

if (recursiveSolve(x, y+1)) { // Recalls method one down

correctPath[x][y] = true;

return true;

}

return false;

}

**7-4-3- الگوریتم کوتاه ترین مسیر[[15]](#footnote-15)**

هنگامی‌که یک ماز چندین راه حل دارد، حل کننده ممکن است بخواهد کوتاه ترین مسیر را از ابتدا تا انتها پیدا کند. الگوریتم های مختلفی برای پیدا کردن کوتاه ترین مسیرها وجود دارد که بیشتر آن ها از نظریه گراف ها می‌آیند که پیشتر راجع به آن ها صحبت کردیم. [6]

یکی از الگوریتم های کوتاه ترین مسیر را با پیاده سازی یک الگوریتم پیمایش اول-عمق پیدا می‌کند. در حالی که الگوریتم A\* از تکنیک اکتشافی استفاده می‌کند. الگوریتم پیمایش سطح اول(BFS) از یک صف برای بازدید از سلول ها به ترتیب فاصله از شروع تا پایان استفاده می‌کند.

هر سلول بازدید شده باید فاصله خود را از ابتدا دنبال کند یا این‌که بررسی کند که کدام سلول مجاور نزدیکتر به شروع باعث اضافه شدن آن به صف شده است. هنگامی که مکان انتهایی یافت شد، مسیر سلول ها را به سمت عقب تا شروع کوتاه ترین مسیر دنبال می‌کند، پیمایش سطح اول در ساده ترین شکل ممکن محدودیت های خود را دارد مانند پیدا کردن کوتاه ترین مسیر در گراف های وزن‌دار. [6]

# 8-4-3- الگوریتم [Flood Fill](https://stackoverflow.com/questions/37207022/flood-fill-algorithm-maze)

الگوریتم Flood Fill یکی از بهترین الگوریتم های حل ماز است. این الگوریتم مقادیری را به هریک از خانه ها یا سلول ها اختصاص می‌دهد که این مقادیر نشان دهنده فاصله هر سلول روی ماز تا سلول مقصد است. [7]

**طرزکار الگوریتم Flood Fill** [7]

طرزکار الگوریتم بر مبنای BFS

1. یک صف از جفت اعداد ایجاد کنید.
2. مقدار دهی اولیه را وارد صف کنید.
3. یک آرایه دو بعدی برای مکان های بازدید شد ایجاد و مقدار دهی کنید به عنوان مثال vis[][].
4. تا زمانی که صف خالی نباشد مراحل 4.1 تا 4.6 را تکرار کنید.

* یک عنصر جلویی را از صف بگیرید.
* آن را از صف پاک کنید.
* ذخیره کردن مقدار/ رنگ فعلی در مختصاتی که از صف خارج شده است. (مقدار قبلی)
* مقدار/ رنگ فعلی که از صف خارج شده است را بروز کنید.
* هر 4 جهت را بررسی کنید یعنی (x+1,y), (x-1,y) ، (x,y+1) ، (x,y-1) معتبر است یا خیر اگر معتبر بود بررسی کنید مقدار آن در آن مختصات باید برابر با مقدار یا رنگ قبلی باشد و مقدار آن در مختصات در آرایه‌ی vis[][] باید 0 باشد.
* اگر همه شرایط بالا درست باشد، مختصات مربوطه را در صف وارد کنید و به عنوان 1 در آرایه vis[][] قرار دهید.
* آرایه 2 بعدی را چاپ کنید.

**پیاده سازی این الگوریتم در زبان C++** [7]

// C++ program for above approach

#include <bits/stdc++.h>

using namespace std;

// Function to check valid coordinate

int validCoord(int x, int y, int n, int m)

{

if (x < 0 || y < 0) {

return 0;

}

if (x >= n || y >= m) {

return 0;

}

return 1;

}

// Function to run bfs

void bfs(int n, int m, int data[][8],

int x, int y, int color)

{

// Visiting array

int vis[101][101];

// Initialing all as zero

memset(vis, 0, sizeof(vis));

// Creating queue for bfs

queue<pair<int, int> > obj;

// Pushing pair of {x, y}

obj.push({ x, y });

// Marking {x, y} as visited

vis[x][y] = 1;

// Until queue is empty

while (obj.empty() != 1)

{

// Extracting front pair

pair<int, int> coord = obj.front();

int x = coord.first;

int y = coord.second;

int preColor = data[x][y];

data[x][y] = color;

// Popping front pair of queue

obj.pop();

// For Upside Pixel or Cell

if (validCoord(x + 1, y, n, m)

&& vis[x + 1][y] == 0

&& data[x + 1][y] == preColor)

{

obj.push({ x + 1, y });

vis[x + 1][y] = 1;

}

// For Downside Pixel or Cell

if (validCoord(x - 1, y, n, m)

&& vis[x - 1][y] == 0

&& data[x - 1][y] == preColor)

{

obj.push({ x - 1, y });

vis[x - 1][y] = 1;

}

// For Right side Pixel or Cell

if (validCoord(x, y + 1, n, m)

&& vis[x][y + 1] == 0

&& data[x][y + 1] == preColor)

{

obj.push({ x, y + 1 });

vis[x][y + 1] = 1;

}

// For Left side Pixel or Cell

if (validCoord(x, y - 1, n, m)

&& vis[x][y - 1] == 0

&& data[x][y - 1] == preColor)

{

obj.push({ x, y - 1 });

vis[x][y - 1] = 1;

}

}

// Printing The Changed Matrix Of Pixels

for (int i = 0; i < n; i++)

{

for (int j = 0; j < m; j++)

{

cout << data[i][j] << " ";

}

cout << endl;

}

cout << endl;

}

// Driver Code

int main()

{

int n, m, x, y, color;

n = 8;

m = 8;

int data[8][8] = {

{ 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1 },

{ 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0 },

{ 1, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 1 },

{ 1, 2, 2, 2, 2, 0, 1, 0 },

{ 1, 1, 1, 2, 2, 0, 1, 0 },

{ 1, 1, 1, 2, 2, 2, 2, 0 },

{ 1, 1, 1, 1, 1, 2, 1, 1 },

{ 1, 1, 1, 1, 1, 2, 2, 1 },

};

x = 4, y = 4, color = 3;

// Function Call

bfs(n, m, data, x, y, color);

return 0;

}

خروجی الگوریتم به صورت زیر در می‌آید:

1 1 1 1 1 1 1 1

1 1 1 1 1 1 0 0

1 0 0 1 1 0 1 1

1 3 3 3 3 0 1 0

1 1 1 3 3 0 1 0

1 1 1 3 3 3 3 0

1 1 1 1 1 3 1 1

1 1 1 1 1 3 3 1

خب تا اینجا با معروف ترین الگوریتم های حل ماز آشنا شدیم حالا برای قسمت انتهایی یعنی برای زمانی که ربات اصلی مسیر درست را پیدا کرد و قرار است با ربات همکار جهت تبادل اطلاعات ارتباط برقرار کند صحبت میکنیم که چگونه ربات می‌تواند با ربات همکار ارتباط برقرار کند.

**5-3- روش های ارتباطی بین دو دستگاه**

روش‌های مختلفی برای انتقال اطلاعات وجود دارد که هر کدام از آن‌ها در جای خود کاربردی هستند. می‌بایست با توجه به کاربرد و امکانات موجود، بهترین روش را انتخاب کرده تا با بهترین هزینه به بالاترین کیفیت دست یابیم.

چون در این پروژه اطلاعات باید به روش بی سیم انتقال یابد بنابراین از روش های دیگر ارتباطی نظیر با سیم صحبت نمی‌شود.

**6-3- انتقال بی سیم:**

انتقال بی سیم شکلی از رسانه های هدایت نشده است. ارتباط بی سیم هیچ پیوند فیزیکی بین دو یا چند دستگاه وجود ندارد و بصورت بی سیم این ارتباط شکل می‌گیرد. سیگنال های بی سیم در هوا پخش می‌شوند و توسط آنتن های مناسب دریافت و تفسیر می‌شوند.

زمانی که آنتن به مدار الکتریکی یک کامپیوتر یا دستگاه بی سیم متصل می‌شود، داده های دیجیتال را به سیگنال های بی سیم تبدیل می‌کند و در محدوده فرکانسی خود پخش می‌شود. گیرنده در سمت دیگر این سیگنال ها را دریاقت و آن ها را به داده های دیجیتال تبدیل می‌کند.

یه قسمت کوچکی از طیف های الکترو مغناطیسی را می‌توان برای انتقال بی سیم استفاده کرد . [8]



شکل 3-12: طیف‌های الکترومغناطیسی. [8]

**1-6-3- انتقال رادیویی[[16]](#footnote-16)**

فرکانس های رادیویی آسان تر تولید می‌شوند و به دلیل طول موج بالایی که دارند می‌توانند از طریق دیواره ها و ساختارها به طور یکسان نفوذ کند. فرکانس های رادیویی به شش باند تقسیم می‌شوند.

امواج رادیویی در فرکانس های پایین‌تر می‌توانند از دیوارها عبور کنند، درحالی که فرکانس های رادیویی بالاتر می‌توانند در خط مستقیم حرکت کنند و به عقب برگردند. قدرت امواج فرکانس پایین در مسافت های طولانی به شدت کاهش پیدا می‌کند. امواج رادیویی فرکانس بالا قدرت بیشتری دارند. [8]

فرکانس های پایین تر مانند باند های VLF, LF, MF می‌توانند 1000 کیلومتر را بروی سطح زمین طی‌کنند. [8]

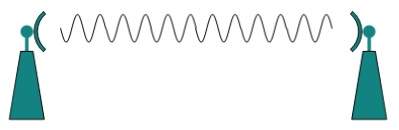
شکل 3-13: انتقال رادیویی. [8]



**3-6-2- انتقال مایکروویو[[17]](#footnote-17)**

امواج الکترومغناطیسی بالای 100 مگاهرتز تمایل دارند در یک خط مستقیم حرکت کنند و سیگنال ها را می‌توان با تابش آن امواج به سمت یک ایستگاه خاص ارسال کرد. از آنجایی که امواج مایکروویو در خطوط مستقیم حرکت می‌کنند، فرستنده و گیرنده هردو باید در یک راستا باشند تا کاملا در خط دید هم دیگر قرار بگیرند.

امواج مایکروویو می‌توانند دارای طول موج بین 1 میلی متر تا 1 متر و فرکانس بین 300 مگاهرتز تا 300 گیگاهرتز باشند. [8]



شکل 3-14: انتقال مایکروویو. [8]

آنتن های مایکروویو امواج را متمرکز می‌کنند و پرتویی را از آن می‌سازند. همانطور که در تصویر بالا نشان داده شده است، چندین آنتن را می‌توان برای رسیدن به نقاط دورتر تراز کرد. امواج مایکروویو فرکانس بالاتری دارند و در دیوار نفوذ نمی‌کنند.

انتقال مایکروویو به شدت به شرایط آب و هوایی و فرکانس مورد استفاده بستگی دارد. [8]

**3-6-3- انتقال مادون قرمز[[18]](#footnote-18)**

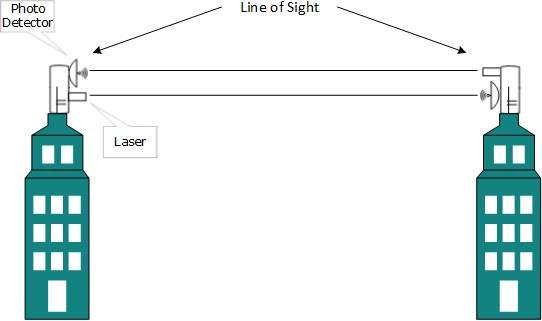
موج مادون قرمز بین طیف مرئی و امواج مایکروویو قرار دارد. دارای طول موج 700 نانومتر تا 1 میلی متر و محدوده فرکانس از 300 گیگاهرتز تا 400 تتاهرتز است. [8]

امواج مادون قرمز برای اهداف ارتباطی با برد بسیار کوتاه همانند تلویزیون و ریموت ها استفاده می‌شود. مادون قرمز در یک خط مستقیم حرکت می‌کند، ازین رو طبیعتا جهت دار است. به دلیل محدوده فرکانس بالا، مادون قرمز نمی‌تواند از موانع مانند دیوار عبورکند. [8]

**4-6-3- انتقال نوری[[19]](#footnote-19)**

بالاترین طیف الکترومغناطیسی که می‌تواند برای انتقال داده استفاده شود، سیگنالینگ اپتیک یا نوری است. که این امر به وسیله لیزر محقق می‌شود. [8]

به دلیل استفاده از نور، فرکانس تمایل دارد که کاملا در خط مستقیم حرکت کند. بنابراین فرستنده و گیرنده باید در خط دید هم دیگر باشند. از آنجایی که انتقال لیزر یک جهته است، در هردو انتهای ارتباط، لیزر و ردیاب باید عکس هم نصب شوند. پرتو لیزر عموما 1 میلی متر عرض دارد، در نتیجه دقت کار برای تراز کردن دو گیرنده که دور از هم قرار دارند به وسیله منابع لیزر بالاست. [8]



شکل 3-15: انتقال نوری [8]

لیزر به عنوان فرستنده (TX) و آشکارسازهای عکس به عنوان گیرنده (RX) کار می‌کند.

لیزرها نمی‌توانند از موانعی مانند دیوار ها، باران، مه غلیظ نفوذ کنند. علاوه بر آن، پرتو لیزر توسط باد، دمای اتمسفر یا تغییر دما در مسیر تغییر می‌کند. لیزر یک انتقال داده امن است زیرا آسیب زدن به لیزر با عرض 1 میلی متر بدون قطع کانال ارتباطی بسیار دشوار است. [8]

خب راجع به روش های انتقال داده بی سیم به صورت کلی صحبت شد. به طور خاص برای این پروژه از روش وایرلس برای ایجاد این ارتباط بین دو دستگاه استفاده شده است.

برای ارتباط وایرلس بین دو دستگاه از ماژول NRF24L01 استفاده شده است، راجع این ماژول و روش راه اندازی آن به طور مفصل در فصل بعد پرداخته شده است.



شکل 3-16: ماژول وایرلس NRF24L01

این چیپ در واقع یک ماژول بسیار عالی برای ارسال و دریافت اطلاعات از طریق وایرلس با خطای بسیار پایین است. چون فرکانس بالایی در حدود 2.4 گیگاهرتز دارد براحتی از اجسامی ‌همانند دیوار و موانع دیگر عبور می‌کند و باعث می‌شود برد بیشتری به ما بدهد.

**فصل چهارم**

**ابزارها و راه‌اندازی آن ها**

**1-4- معرفی میکروکنترلر[[20]](#footnote-20) استفاده شده**

ابتدا یه تعریفی از میکروکنترلر داشته باشیم ببینم میکروکنترولر چیست؟

**میکروکنترولر چیست؟**

میکروکُنترولر (به انگلیسی: Microcontroller) گونه‌ای ریزپردازنده است که دارای حافظه دسترسی تصادفی (RAM) و حافظه فقط‌خواندنی (ROM)، تایمر، پورت‌های ورودی و خروجی (I/O) و درگاه ترتیبی (Serial Port پورت سریال) درون خود تراشه است، و می‌تواند به تنهایی ابزارهای دیگر را کنترل کند. به عبارت دیگر یک میکروکنترلر، مدار مجتمع کوچکی است که از یک CPU کوچک و اجزای دیگری مانند تایمر، درگاه‌های ورودی و خروجی آنالوگ و دیجیتال و حافظه تشکیل شده‌است.

میکروکنترولر یا ریز کنترل گر یک تراشه IC است که درواقع مغز ربات شما است که برای کنترل دستگاه های دیگر برنامه نویسی می‌شود. [12]

**انواع میکروکنترلر**

میکروکنترلرها انواع گوناگونی دارند. میکروکنترلرهای ARM ، [میکروکنترلرهای AVR](https://fannibargh.com/introducing-avr-microcontrollers/) ، میکروکنترلر atxmega، میکروکنترلرهای plc، میکروکنترلرهای 8051 و غیره بخشی از انواع میکروکنترلر است.

برای ساخت ربات های میکروماوس بسته به وقت و هزینه و کارایی که از ربات انتظار دارید می‌توانید یکی از میکروکنترلر ها را انتخاب کنید.

خب با توجه به وقت محدودی که در اختیار داشتیم از پلت فرم آردوینو [[21]](#footnote-21) استفاده کردیم که این پلت فرم از میکرو کنترلر AVR Atmega328 ساخته شده است.

حال برای آن که بیشتر با آردواینو آشنا بشیم به تصویر زیر نگاه کنید که یک نمونه از پلت فرم آردوینو است.

**آردوینو**

**آردوینو** (به انگلیسی: Arduino) یک پلتفرم سخت‌افزاری و نرم‌افزاری متن‌باز است. پلتفرم آردوینو شامل یک میکروکنترلر تک‌بردی متن‌باز است که قسمت سخت‌افزار آردوینو را تشکیل می‌دهد. علاوه بر این، پلتفرم آردوینو یک نرم‌افزار آردوینو IDE که به منظور برنامه‌نویسی برای بردهای آردوینو طراحی شده‌است و یک بوت لودر نرم‌افزاری که بر روی میکروکنترلر بارگذاری می‌شود را در بر می‌گیرد. پلتفرم آردوینو به منظور تولید سریع و ساده پروژه‌های سخت‌افزاری تعاملی و ساخت وسایلی که با محیط تعامل داشته باشند طراحی شده‌است،البته بردهای آردوینو اهداف آموزشی را نیز دنبال می‌کنند. [13]



شکل 4-1: آردوینو مدل اونو [13]

**توجه داشته باشید همانطور که در توضیحات بالا اشاره شد آردواینو ابزار مناسبی برای ساخت دستگاه های صنعتی و حرفه ای نیست و صرفا به عنوان یک ابزار مناسب و سریع و ارزان برای اهداف آزمایشگاهی و آموزشی و پروژه های ساده و نیمه حرفه ای دانشگاهی و ... مناسب است.**

اگر قصد ساخت ربات حرفه ای برای مقاصد تجاری و صنعتی و مسابقات مختلف رسمی را دارید آردوینو گزینه مناسبی نیست.

**2-4- انتخاب سنسور ها و نحوه راه‌اندازی آن**

خب بعد از این‌که میکرو مورد نظر را انتخاب کردیم برای این‌که بتوانیم مانع ها را در مسیر تشخیص دهیم باید سنسور هایی را انتخاب کرد که بتوانند این کار را انجام دهند که در ادامه به چند نمونه ازین سنسور ها اشاره شده است.

**سنسور:**

سنسور (sensor)يعني حس کننده و از کلمه  sens به معني حس کردن گرفته شده و مي تواند کميت هايي مانند فشار، حرارت، رطوبت، دما، و … را به کميت هاي الکتريکي پيوسته (آنالوگ) يا غيرپيوسته (ديجيتال) تبديل کند.

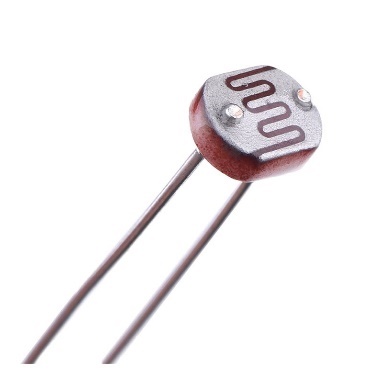
**اما سنسور ها در ربات :**

سنسورها اغلب براي درک اطلاعات تماسي، تنشي، مجاورتي، بينايي و صوتي بهکار ميروند. عملکرد سنسورها بدينگونه است که با توجه به تغييرات فاکتوري که نسبت به آن حساس هستند، سطوح ولتاژي ناچيزي را در پاسخ ايجاد ميکنند، که با پردازش اين سيگنالهاي الکتريکي ميتوان اطلاعات دريافتي را تفسير کرده و براي تصميمگيريهاي بعدي از آنها استفاده کرد.  
خب در این پروژه چون با سنسور های محیطی سرکار دارد فقط به این سنسور ها اشاره شده است.

**سنسور محیطی چیست؟**

این سنسور ها درواقع اطالاعات رو از میحط خارج و موقعیت ربات با اشیای اطراف را دریافت می‌کنند.

برای این‌که بتوان موقعیت ربات با موانع اطرافش را دریافت کرد می‌توان از سنسور هایی نظیر سنسور نوری، سنسور حسگر مجاورتی مادون قرمز، آلتراسونیک، سنسور IR و.. استفاده کرد. [18]

**سنسور شدت نور**

برخی از سنسور ها تنها دو پایه دارند. این سنسور ها درواقع، مقاومت هایی هستند که در اثر قرار گیریدر وضعیت های مختلف، مقاومت آن ها تغییر می‌کند. [18]

سنسور شدت نور یکی از این سنسور هاست. در اثر افزایش شدت نور، مقاومت الکتریکی این سنسور کاهش می‌یابد. [18]

شکل 4-2: سنسور شدت نور[18]

با توجه به این‌که آردواینو نمی‌تواند مقاومت را مستقیما اندازه گیری کند،

باید به طریقی تغییرات در مقاومت سنسور را به تغییرات ولتاژ تبدیل کرد. [18]

یکی از رایج ترین روش‌ها برای این کار، استفاده از تقسیم ولتاژ است.

**3-4-** **سنسور فاصله سنج اولتراسونیک[[22]](#footnote-22)**

ماژول فاصله سنج اولتراسونیک با ارسال یک موج صوتی و محاسبه زمان بازگشت موج به سنسور پس از برخورد با مانع، فاصله سنسور تا مانع را محاسبه کند. این سنسور برای ساخت ربات های ماز و ربات های obstacle avoidance و کاربردهایی ازین قبیل استفاده می‌شود. [16]

****

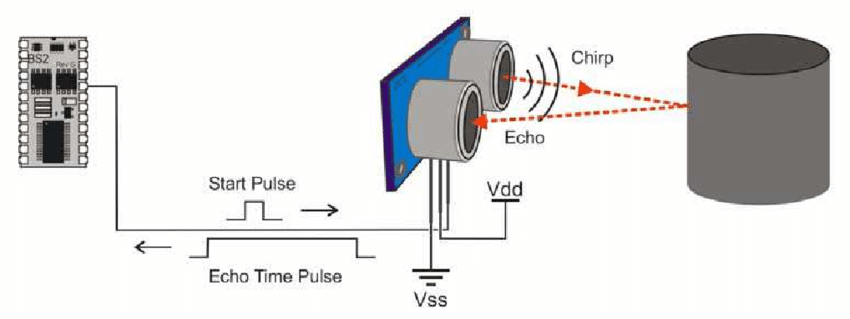
شکل 4-3: طرز کار ماژول اوولتراسونیک

همانوطر که در تصویر بالا می‌بینید ماژول HC-SR04 چهار پایه دارد. پایه های VCC و GND به ترتیب به 5 ولت و GND آردواینو متصل می‌شود. و دو پایه دیگر یعنی Trig و Echo به پین های دیجیتال آردواینو متصل می‌شود هرچند در آردواینو میتواند پایه های آنالوگ را هم به دیجیتال تبدیل کرد بنابراین در صورت کمبود فضا می‌توانید از پایه های آنالوگ آردواینو به عنوان پایه های دیجیتال استفاده کنید. [18]

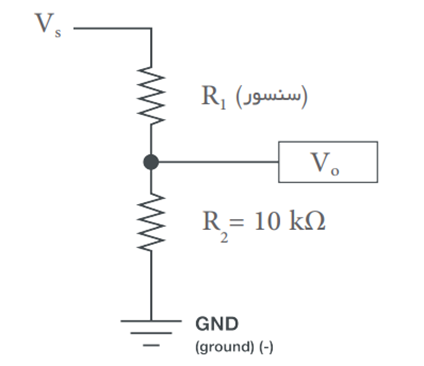
**1-3-4- طرز کار اولتراسونیک:**

با ارسال موج فراصوتی توسط سنسور فاصله سنج اولتراسونیک و محاسبه زمان بازگشت آن پس از برخورد با مانع، میتوان فاصله سنسور تا مانع را بدست آورد. امواج فراصوتی مانند امواج صوتی، با سرعت 340 متر بر ثانیه در فضا حرکت می‌کنند.

لازم به ذکر است که مسافت طی شده توسط موج فراصوتی از ارسال تا برگشت، دو برابر فاصله سنسور از مانع است; در نتیجه برای بدست آوردن فاصله، باید مسافت طی شده توسط موج، در بازه ارسال تا دریافت موج را تقسیم بر دو کرد. [18]

****

شکل4-4: طرز کار ماژول اوولتراسونیک [18]

باتوجه به سرعت بالای موج فراصوتی، در محاسبات و کدنویسی از واحد میکروثانیه ( ثانیه) استفاده می‌شود. در نتیجه سرعت صوت به جای 340 متر بر ثانیه 0.034 سانتی متر بر میکروثانیه محاسبه می‌شود. [16]

Vo =Vs\* (1)

شکل 4-5: مدار راه اندازی سنسور شدت نور [18]

**2-3-4- نحوه ایجاد موج فراصوتی:**

برای ایجاد موج فراصوتی، ابتدا 2 میکروثانیه، پایه Trig در وضعیت LOW قرار داده می‌شود تا اطمینان حاصل شود که پین Trig از قبل در وضعیت HIGH قرار ندارد. سپس به مدت 10 میکروثانیه، این پین در وضعیت HIGH قرار داده می‌شود. با استفاده از دستور pulseIn در آردواینو، زمان رسیدن پالس ارسالی به پین Echo اندازه گیری و به مسافت تبدیل می‌شود. [18]

**3-3-4- نحوه عملکرد pulseIn**

دستور pulseIn منتظر می‌ماند که pin، در وضعیت فعال قرار گیرد به عنوان مثال

pulseIn(echoPin,HIGH);

در دستور بالا آردواینو منتظر می‌ماند که پین Echo در وضعیت HIGH قرار گیرد وقتی یک پالس HIGH به پین می‌رسد، دستور pulseIn، مدت زمانی که پین در وضعیت LOW بوده تا ابتدای دریافت پالس HIGH را برمی‌گرداند. [18]

**4-3-4- کد نوشته شده برای اندازه گیری مسافت سنسور تا مانع در آردواینو:**

int trigPin=3;

int echoPin=2;

long duration;

int distance;

int incomingByte = 0; // for incoming serial data

void setup() {

pinMode(trigPin,OUTPUT);

pinMode(echoPin,INPUT);

Serial.begin(9600);

}

void loop() {

Serial.print(“Distance: “);

Serial.println(getDistanceFromSensor());

}

int getDistanceFromSensor(){

digitalWrite(trigPin,LOW);

delayMicroseconds(2);

digitalWrite(trigPin,HIGH);

delayMicroseconds(10);

digitalWrite(trigPin,LOW);

duration=pulseIn(echoPin,HIGH);

distance=duration\*0.034/2;

return distance;

}

در این پروژه از از سه سنسور اولتراسونیک برای تشخیص موانع در جهات مختلف اسفاده شده. در صورت وقت کافی می‌توانید از ترکیب سنسور های نوری و IR و اولتراسونیک استفاده کنیده برای بالا بردن دقت هرچند باید به سایز ربات خود هم دقت کنید بعد سنسور مورد نظر را انتخاب کنید.

استفاده از سه سنسور برای اینکار اشکالاتی را ایجاد کرد و این حالت استفاده از سه سنسور اولتراسونیک برای ساخت ربات های حرفه ای اصلا توصیه نمی‌شود و این‌که با وجود سه سنسور اما باز هم قسمت هایی از فضا را ممکن است پوشش ندهد. اگر قرار است از این سنسور ها در بهینه ترین حالت استفاده کنید بهتر است از یک سروو موتور 180 درجه استفاده کنید که در این حالت ما فقط نیاز به یک سنسور اولتراسونیک داریم و چرخش های 180 درجه سروو موتور باعث می‌شود فضای بسیار بیشتری توسط سنسور پوشش داده شود و همچنین دقت کار بالا رود، اما همیشه دقت، کاهش سرعت را به همراه دارد و با اینکار عملا سرعت را از دست می‌دهید ولی در عوض دقت را بدست می‌آورید این حالت برای ربات هایی که نیاز به سرعت دارند مانند ربات های میکرو ماوس و .. مناسب نیست و برای اینکار باید سنسور های مناسب به تعداد مورد نیاز برای پوشش کل فضا و همچنین دقت کافی استفاده شود.

**4-4- انتخاب موتور**

موتورها یکی از مکانیزم های اصلی حرمت ربات ها هستند. موتور ها انواع مختلفی دارند که هرکدام از آنها وظایف خاصی را انجام می‌دهند. بعضی از موتور ها را می‌توان به چرخ هایی متصل کرد که روبات را به اطراف حرکت دهد. بر اساس پروژه مورد نظر باید موتور خود را انتخاب کنیم که برای اینکار باید یکسری فاکتورها در انتخاب موتور را در نظر بگیریم که در ادامه به آن اشاره می‌کنیم.

**عوامل مهم در انتخاب موتور :** [9]

1. سرعت : سرعت همان حداکثر دور موتور است که معمولاً با دور در دقیقه یا RPM اندازه گیری می‌شود. 1 دور در دقیقه به این معنی است که محور موتور هر دقیقه یک بار کاملاً به دور دایره می‌چرخد که بسیار کند است. حتی یک موتور DC بسیار ارزان نیز دارای سرعت حداقل 1000 RPM است.
2. گشتاور : گشتاور اندازه گیری میزان قدرت خروجی موتور است. یعنی حداکثر وزنی که موتور می‌تواند بلند کند چقدر است.

به طور معمول ، هرچه دور موتور بیشتر باشد ، گشتاور آن کمتر است و بالعکس. بنابراین در طراحی و ساخت ربات، پیدا کردن موتورهایی با تعادل مناسب سرعت و گشتاور امری بسیار مهم است.

**محرک های ربات**

سه نوع محرک در ربات ها وجود دارد:

* **Pneumatic actuators**
* **Hydraulic actuators**
* **Electric actuators**

اکثریت قریب به اتفاق ربات ها از موتورهای الکتریکی استفاده می‌کنند که اغلب از موتورهای DC گیربکس دار و بدون جاروبک در روبات های قابل حمل یا موتورهای AC در ربات های صنعتی و ماشین های CNC استفاده می‌کنند. این موتورها اغلب در سیستم هایی با بارهای سبک تر ترجیح داده می‌شوند و شکل غالب حرکت چرخشی است. [9]

که در اینجا به طور خاص روی موتور های الکتریکی تمرکز شده است.

موتورهای الکتریکی: این نوع موتور ها انرژی الکتریکی را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کنند. امروزه این نوع موتور ها رایج ترین نوع موتور در ساخت ربات ها است. آن ها همچنین در ربات هایی با اندازه‌های مختلف به خوبی عمل می‌کنند، نسبت به توان خروجی خود فشرده هستند و دارای آلودگی ناچیز هستند.

اگرچه موتور های الکتریکی رایج ترین نوع موتور در ساخت ربات ها هستند اما مشکلاتی نیز دارند نظیر این‌که سیستم فرمان پیچیده تری در مقایسه با سایر انواع موتورها نیاز دارند. [9]

**انواع موتور های الکتریکی** [9]

* موتورهای جریان متناوب [[23]](#footnote-23)(AC): جریان متناوب در پریزهای دیواری رایج موجود است.موتورهای AC از این منبع انرژی برای تولید القای الکترومغناطیسی استفاده می‌کنند. مهندسان از مکانیسم‌های AC در موقعیت هایی که نیاز به سرعت ثابت دارند، استفاده می‌کنند. با این حال، این موتورها برای استفاده در صنعت رباتیک مناسب نیست و برای مقیاس های صنعتی بزرگ و با گشتاور بالا هستند.
* موتور های جریان مستقیم [[24]](#footnote-24)(DC): معمولا این نوع موتورها با باتری تغذیه می‌‌شوند.مکانیسم‌های DC در طیف وسیعی از اندازه ها ظاهر می‌شوند و محدوده های بار بسیار متغیر، به علاوه زمان پاسخ و تحرک سریع در مقایسه با مدل هایی که از برق شهرتغذیه می‌شوند ارائه می‌کنند.
* سروو موتور [[25]](#footnote-25)ها: این موتورها به طور خلاصه “Servo” نامیده می‌شوند، از جمله سرووهای صنعتی، برخی از دقیق ترین موتور های موجود هستند.آنها در حین کار از تنظیمات خطای فوری پشتیبانی می‌کنند. اگر به موقعیت یابی دقیق به همراه گشتاور بالا در پکیج کوچک نیاز دارید، این موتورها برای بازوهای رباتیک و دیگر انواع ربات و کوبات [[26]](#footnote-26)عالی هستند. هنگام کار با سرووها ممکن است بین حرکات تاخیر وجود داشته باشد.
* موتور های پله ای [[27]](#footnote-27)یا استپر موتور ها : استپر موتور یا استپ موتور یا موتور پله ای یک موتور براشلس الکتریکی dc است که یک دور کامل 360درجه را به تعدادی پله یا استپ مساوی تقسیم میکند .این موتور ها می‌توانند تا هنگام نگه داشتن یک جسم، گشتاور بالا و همچنین موقعیت‌‌یابی دقیق برای هر مرحله را فراهم کنند. دقت این موتورها در حدود 0.01 درجه و 0.1 میلی متر است. گشتاور کلی مشابه موتورهای سروو است. کارکرد موتورهای پله ای نسبت به انواع دیگر از نظر تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز تا حدودی گران تر است.

**چگونه موتور مناسب برای ربات خود انتخاب کنیم؟**

برای انتخاب موتور برای پروژه های رباتیک بعدی خود می‌توانید نکات بالا را مرور کنید. با این حال قبل این‌که یکبار دیگر موارد بالا را بخوانید، لیستی از ویژگی هایی که در ربات خود نیاز دارید ایجاد کنید.

میتوانید به عنوان مثال این سوال ها را در لیست خود بپرسید.

**ربات چه وظیفه‌ای را انجام خواهد داد، و میزان خطای شما برای حرکات آن چقدر باید باشد؟**

**محیط مورد نظر را از نزدیک مطالعه کنید تا درک لازم برای آلودگی نیز درک کنید، آلودگی موتور نه تنها عامل اصلی خرابی موتورها است، بلکه تهدیدی برای کیفیت محصول در محیط های تولیدی ریسک گریز هست.**

**نکات اصلی دیگر در انتخاب موتور که باید به آن دقت شود:** [9]

* **نسبت اندازه به توان:[[28]](#footnote-28)** در چه مقیاسی می‌سازید؟ آیا ربات نیاز به حرکت در محیط های باریک دارد یا قدرت موتور مهم تر از اندازه است؟
* **محدودیت های بار[[29]](#footnote-29):** انواع درایوهایی که برای ربات خود انتخاب می‌کنید به گشتاور کافی برای مقابله با بارهای مورد انتظاری که حمل می‌کند نیاز دارند.
* **دقت:** وقتی ربات در حال حرکت هست، تحمل انحراف چقدر است؟ آیا به موتوری نیاز دارید که تصحیح خطا را در لحظه انجام دهد؟
* **قابلیت اطمینان[[30]](#footnote-30):** بخش تعمیر و نگهداری شما چقدر پرسنل دارد؟ هرچند وقت یکبار میخواهید تعمیر و نگهداری ربات خود را انجام دهید؟
* **مصرف منابع:** موتور های پله ای در حالت آماده به کار نیز انرژی مصرف می‌کنند، اما گاهی اوقات آنها تنها انتخاب هستند.

خب راجع موتور های مختلف صحبت شد که بسته به پروژه مورد نظر باید انتخاب شوند چرا که بدون موتور ها عملا ربات هیچ است و باید در انتخاب موتور دقت لازم را بشود.

اما برای این پروژه چون وقت بسیار محدود بود و باید بسرعت تصمیم گیری میشد از موتور های گیربکسی پلاستیکی استفاده شده است.



شکل 4-6: موتور گیربکسی پلاستیکی

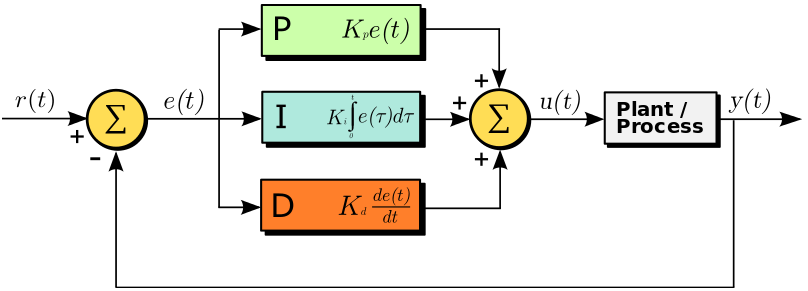
همانطور که در تصویر بالا می‌بینید موتور های گیربکسی پلاستیکی به این شکل هستند، اما متاسفانه این نوع موتور ها که در بازار هست از کیفیت بسیار پایینی برخوردار هستند و تراز کردن موتور ها برای این‌که با سرعت مشابه حرکت کنند کار دشواری است. چرا که این موتور ها رو برد به خوبی عمل نمی‌کنند و در پیاده سازی رباتتان به درستی عمل نمی‌کنند و انتظارات را برآورده نمی‌کند در این پروژه برای هر ربات از دو عدد ازین موتورهای گیربکسی استفاده شده اما روی برد متاسفانه یکی از موتور جریان بیشتری می‌کشد و تند تر می‌چرخد. که برای حل این موضوع می‌توان از ترانزیستور های قدرتی نظیر TIP42 بهمراه خازن عدسی استفاده شود تا جریان و ولتاژ تقریبا یکسان به موتور ها برسد و موتورهایتان بصورت مشابه حرکت کند. اما این موتور ها از دقت خوبی برخوردار نیستند و بعد از تجربه کردن پیشنهاد می‌شود از این نوع موتور ها برای ساخت چنین ربات هایی استفاده نشود تنها مزیت این نوع موتور ها قیمت آن است که ارزان قیمت هستند اما برای مصارف حرفه ای و دقیق مناسب نیستند. در صورت داشتن بودجه کافی از موتورهای باکیفیت تر DC یا استپر موتور ها یا سروو موتور ها با قابلیت تنظیم PWM استفاده کنید تا در اجرا پروژه به مشکل نخورید و ربات بدرستی تست ها را پشت سر بگذارد.

همچنین یکی دیگر از راهکارهایی که می‌توان برای حل این موضوع استفاده کرد، استفاده از PID کنترلر است. که در سیستم های کنترل خطی با این کنترل کننده آشنا شدیم.

**5-4-** **PID کنترلر چیست؟**

PID مخفف انتگرال [[31]](#footnote-31)و مشتق[[32]](#footnote-32)است**.** این نام از روش هایی در مورد نحوه برخورد چنین کنترل کننده ای با اغتشاش در سیستم گرفته شده است. با این حال، چنین کنترل کننده ای فقط در سیستم های دارای فیدبک وجود دارد. [14]

سیستم فیدبک دار سیستمی است که بخشی از خروجی به ورودی فیدبک می‌شود.



شکل4-7: یک سیستم فیدبک با کنترل کننده PID [14]

عملکرد این کنترل کننده به این صورت است که سیگنال یا سیگنال هایی را به عنوان خطا از ورودی دریافت می‌کند و سپس عملیاتی را روی آن انجام می‌دهد و در نهایت خروجی شان باهم جمع می‌شود. خروجی این مجموعه همان خروجی کنترل کننده PID است که برای اصلاح خطا به سیستم فیدبک داده می‌شود. [14]

فرمول استاندارد PID به شکل زیر است:

y(t)= *Kp* (*e(t)* + ) (2)

با توجه به رابطه بالا تابع تبدیل به صورت زیر به‌دست می آید:

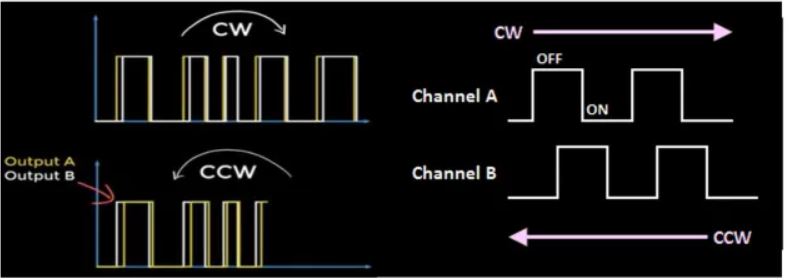
Gc= *Kp* + *Kd S* (3)

با استفاده از PID کنترلر می‌توان خطا را تا حد زیادی کاهش داد و سرعت موتور ها با تقریب زیادی مشابه شوند. [14]

**1-5-4- پیاده سازی PID کنترلر با استفاده از Arduino :**

برای اینکه بتوان از PID کنترلر استفاد شود باید از موتور های دارای انکودر چرخشی [[33]](#footnote-33)یا رمزگذار چرخشی استفاده شود تا با استفاده از آن بتوان موقعیت شفت و در نهایت موقعیت چرخ های ربات را مشخص کرد. [14]

کاری که باید انجام داد این است که هر زمان که چرخ از موقعیت خود خارج شد، موتور بچرخد، علاوه بر این موتور از طریق مدولاسیون عرض پالس، یا همان PWM کنترل می‌شود هرچه عرض پالس بیشتر باشد موتور تندتر می‌چرخد. [14]



شکل 4-8: کنترل موتور ها از طریق PWM با PID کنترلر

**2-5-4- کد نوشته شده در نرم افزار Arduino برای پیاده سازی PID کنترلر:**

#include <PID\_v1.h>

#define PIN\_INPUT 0

#define PIN\_OUTPUT 3

//Define Variables we'll be connecting to

double Setpoint, Input, Output;

//Specify the links and initial tuning parameters

double Kp=2, Ki=5, Kd=1;

PID myPID(&Input, &Output, &Setpoint, Kp, Ki, Kd, DIRECT);

void setup()

{

//initialize the variables we're linked to

Input = analogRead(PIN\_INPUT);

Setpoint = 100;

//turn the PID on

myPID.SetMode(AUTOMATIC);

}

void loop()

{

Input = analogRead(PIN\_INPUT);

myPID.Compute();

analogWrite(PIN\_OUTPUT, Output);

}

**6-4- درایور موتور**

یک کنترل کننده موتور یک دستگاه الکترونیکی است (معمولا به شکل یه مدار بدون پوشش و محفظه است) که به عنوان یک دستگاه واسطه بین میکروکنترلر، یک منبع تغذیه یا باتری و موتورها عمل می‌کند.اگرچه میکروکنترلر (مغز ربات) سرعت و جهت موتور را مشخص میکند، اما به دلیل محدودیت زیاد در تغذیه خروجی (جریان و ولتاژ) نمی‌تواند آن ها را مستقیما هدایت کند. از طرف دیگر درایور موتور میتواند جریان را در ولتاژ مورد نظر فراهم کند اما نمیتواند تصمیم بگیرد که موتور تا چه میزان سریع بچرخد.بنابراین، میکروکنترلر و کنترل کننده موتور باید باهم کار کنند تا موتور به طور مناسبی حرکت کند. معمولا میکروکنترلر میتواند از طریق یک روش ارتباطی ساده مانند UART(serial) یا PWM به کنترل کننده موتور دستوالعملی برای چگونگی تغذیه موتور بدهد. هم چنین برخی از کنترل کننده های موتور را می‌توان به صورت دستی و با استفاده از ولتاژ آنالوگ کنترل کرد (معمولا با یک پتانسیومتر ایجاد می‌شود).اندازه و وزن فیزیکی کنترل کننده موتور می‌تواند بسیار متفاوت باشد، از یک دستگاه کوچکتر از نوک انگشتتان برای کنترل یک ربات کوچک sumo تا یک کنترل کننده سنگین وزن چند کلیوگرمی. اندازه و وزن کنترل کننده ربات معمولا کمینه تاثیر را روی ربات دارد، تا زمانی که شما با ربات‌های خیلی کوچک و یا هواپیماهای بدون سرنشین کار می‌کنید که در این حالت کوچکترین وزن‌ها هم تاثیرگذار خواهد بود. اندازه کنترل کننده موتور معمولا به حداکثر جریانی که میتواند فراهم کند وابسته است. جریان بیشتر به معنی استفاده از سیم هایی با قطر بزرگتر است. [15]

**درایور موتور Motor Driver** از مدارهای مهم در رباتیک و پروژه‌های مختلف می‌باشد. دسته بندی **درایور موتور** بر اساس نوع تراشه و میزان ولتاژ و به خصوص جریان عبوری از درایور اهمیت دارد. انواع **درایور موتور Motor Driver** برای فرمان به موتور DC موتور Stepper و یا سرو موتور Servo Motor Driver را بررسی کنید. از آنجایی که راه اندازی موتورهای مختلف نیاز به تامین جریان و ولتاژ مجزا دارد، برای مدیریت موتور Motor هم نیاز به تراشه و مدار **کنترل موتور Motor Driver** می‌باشد. همانطور که توضیح داده شد، بر اساس جریان عبوری و ولتاژ قابل عبور توسط ماژول دسته بندی می‌شوند.

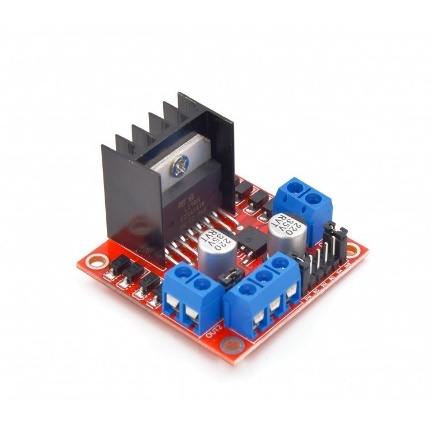
**درایور موتور Motor Driver** یا راه انداز موتور برای به حرکت در آوردن موتور به کار می‌روند. این نوع مدارها به ازای اطلاعات دریافتی از میکرو و یا کنترل کننده، ولتاژ مورد نیاز موتور را تامین می‌کنند.

**4-6-1- درایورهای مختلف موتور برای ربات های خودران:**

همانطور که پیش‌تر اشاره شد ربات های خودران توسط یک میکروکنترلر کنترل می‌شوند. از درایور های Fireblade و Viper Motor می توان برای ارتباط میکرو با موتور استفاده کرد. به غیر از این درایو ها چند درایور موتور با جریان پایین نظیر L298N ، L9110 ، L293D و... وجود دارد.

L293D در شیلدهای مختلف مانند Auton Shield, Xbee Shield, Starter Shield استفاده می‌شوند. چراکه در موتورهای جریان پایین که معمولا در ربات های خودران کوچک استفاده می‌شود بهترین است.

L298N یک درایور دو موتوره است که می‌تواند به شما کمک کند تا موتور هایی که حداکثر 2 آمپر جریان دارند مانند موتور های BO ، موتور های گیربکسی متصل کند.برای موتور های رابطی که جریان بالا می‌کشند، می‌توان سری Fireblade series – Fireblade 10A , Fireblade 30A (بدون کنترل سرعت) یا درایور موتور وایپر[[34]](#footnote-34) (کنترل کننده سرعت) با توجه به کاربرد مورد نظر انتخاب کرد.در این پروژه به طور خاص دو ماژول درایور L298N و L9110 راه اندازی می‌شود.

**7-4- ماژول درایور L298N و راه اندازی آن :**

این درایور یکی از ارزان ترین و کاربردی ترین ماژول های کنترل موتور در بازار می باشد که می توان با آن دو موتورdc و بعضی از استپ موتور ها را با این درایور راه‌اندازی کرد.

شکل 4-9: .ماژول درایور L298N

**1-7-4- راه‌اندازی درایور L298N با آردوینو**



شکل 4-10: مدار راه‌انداز موتورهای dc به‌وسیله ماژول Lm298N و آردوینو در نرم‌افزار پروتئوس

همانطور که در تصویر بالا مشاهده می‌شود برای راه اندازی موتور های dc با استفاده از این ماژول باید به‌این‌صورت عمل شود. موتور ها باید به پایه های Out1 و Out2 و یا Out3 و Out4 متصل شوند. پایه 12 ولت ماژول باید به سر مثبت باتری متصل شود و پایه Gnd باید به سر منفی باتری و آردوینو و پایه 5 ولت ماژول به 5 ولت آردوینو متصل شود.

سپس پایه های ورودی ماژول به پایه های دیجیتال آردوینو متصل شود و اینکه برای کنترل سرعت موتور باید پایه های En ماژول به پایه های pwm آردوینو که با علامت `~` مشخص شده است متصل شود تا به توان از طریق دستور anlogWrite(en,pwm) آردوینو می‌توان سرعت موتور ها را کنترل کرد.

**2-7-4- کد نوشته شده برای راه اندازی ماژول L298N**

کد نوشته شده براساس مدار بالا که در شکل (4-10) نشان داده شده است نوشته شده است:

#define MA1 6 // Motor A pins

#define MA2 7

#define MB1 8 // Motor B pins

#define MB2 9

#define EnB 10

#define EnA 5

#define PWM\_RIGHT 200

#define PWM\_LEFT 200

void setup() {

// put your setup code here, to run once:

pinMode(MA1, OUTPUT);

pinMode(MA2, OUTPUT);

pinMode(MB1, OUTPUT);

pinMode(MB2, OUTPUT);

pinMode(EnA, OUTPUT);

pinMode(EnB, OUTPUT);

}

void loop() {

forward();

delay(1000);

Stop();

}

void forward() { //function of forward

digitalWrite(MA1, HIGH);

digitalWrite(MA2, LOW);

digitalWrite(MB1, LOW);

digitalWrite(MB2, HIGH);

analogWrite(EnA, PWM\_LEFT);

analogWrite(EnB, PWM\_RIGHT);

}

void backward() { //function of backward

digitalWrite (MA1, HIGH);

digitalWrite (MA2, 0);

digitalWrite (MB1, HIGH);

digitalWrite(MB2, 0);

analogWrite(EnA, PWM\_LEFT);

analogWrite(EnB, PWM\_RIGHT);

}

void Stop() { //function of stop

digitalWrite(MA1, LOW);

digitalWrite(MA2, LOW);

digitalWrite(MB1, LOW);

digitalWrite(MB2, LOW);

analogWrite(EnA, PWM\_LEFT);

analogWrite(EnB, PWM\_RIGHT);

}

void turnLeft() { //function of turn left

digitalWrite(MA1, HIGH);

digitalWrite(MA2, LOW);

digitalWrite(MB1, LOW);

digitalWrite(MB2, HIGH);

analogWrite(EnA, PWM\_LEFT);

analogWrite(EnB, PWM\_RIGHT);

}

void turnRight() { //function of turn right

digitalWrite(MA1, LOW);

digitalWrite(MA2, HIGH);

digitalWrite(MB1, HIGH);

digitalWrite(MB2, LOW);

analogWrite(EnA, PWM\_LEFT);

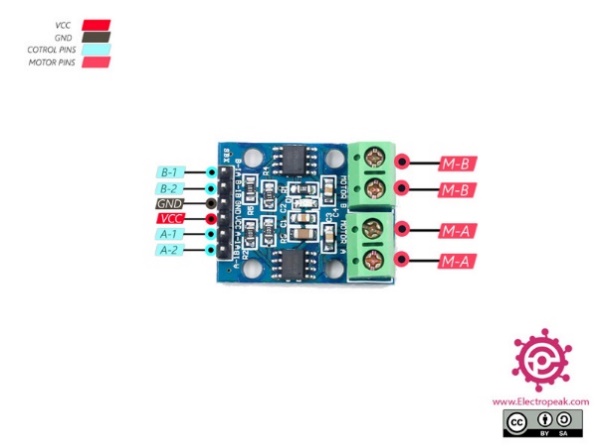
analogWrite(EnB, PWM\_RIGHT);

{

**8-4- ماژول درایور L9110S و راه اندازی آن :**

این ماژول یک ماژول درایور دوکاناله جمع وجور و ارزان قیمت برای راه اندازی موتور ربات های کوچک است. این ماژول دارای دو تراشه دارایور موتور مستقل است که هرکدام از آن‌ها می‌توانند تا 800 میلی آمپر جریان را افزایش دهند. ولتاژ کاری این ماژول بین 2.5 تا 12 ولت است، که این ماژول را قادر می‌سازد با هر میکروکنترلر 3.3 و 5 ولت استفاد شود.

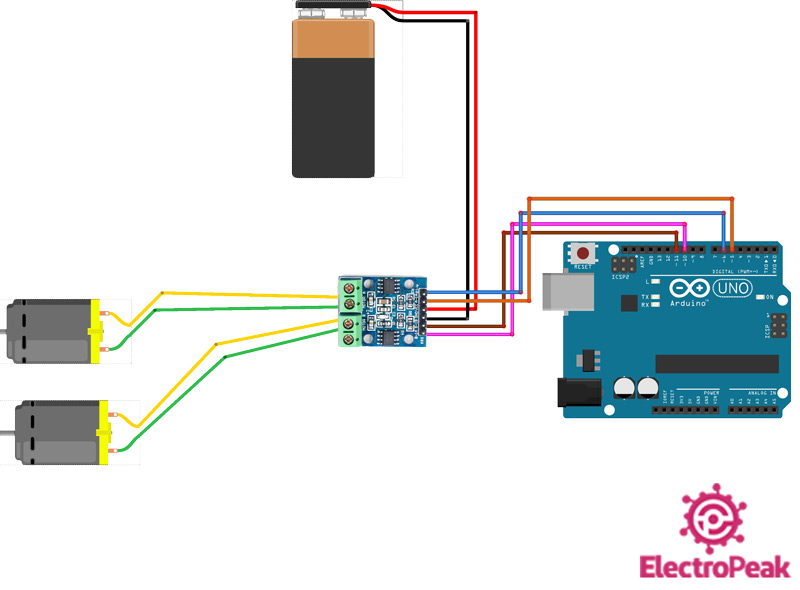
موتورها از طریق دو ترمینال پیچی به ماژول متصل می‌شوند. سیگنال مدولاسیون عرض پالس PWM برای کنترل سرعت موتور و یک خروجی دیجیتال برای تغییر جهت استفاده می‌شود. ماژول همچنین می تواند برای راه اندازی استپر موتورهای 4 سیمه 2 فاز نیز استفاده شود. نصب آن روی ربات یا پروژه های دیگر به آسانی انجام می‌‌شود.



شکل 4-11: ماژول درایور L9110S

**1-8-4- راه اندازی ماژول درایور L9110S با آردوینو:**

راه اندازی این ماژول درایو بسیار شبیه به ماژول L298N است با این تفاوت که این ماژول پایه En ندارد.

****

شکل 4-12: مدار راه انداز 2 موتور DC به وسیله درایور L9110S با آردوینو

**2-8-4- کد نوشته شده برای راه اندازی ماژول L9110S**

کد نوشته شده برای مدار بالا که در شکل (4-12) نشان داده شده است نوشته شده است:

#define MA1 5 // Motor A pins

#define MA2 6

#define MB1 10 // Motor B pins

#define MB2 11

#define PWM\_RIGHT 200

#define PWM\_LEFT 200

void setup() {

pinMode(MA1, OUTPUT);

pinMode(MA2, OUTPUT);

pinMode(MB1, OUTPUT);

pinMode(MB2, OUTPUT);

}

void loop() {

forward();

delay(1000);

turnLeft();

delay(1000);

turnRight();

delay(1000);

Stop();

}

void forward() { //function of forward

analogWrite(MA1, PWM\_RIGHT);

digitalWrite(MA2, LOW);

digitalWrite(MB1, LOW);

analogWrite(MB2, PWM\_Left);

}

void backward() { //function of backward

analogWrite(MA1, PWM\_RIGHT);

digitalWrite (MA2, 0);

analogWrite(MB1, PWM\_RIGHT);

digitalWrite(MB2, 0);

}

void Stop() { //function of stop

digitalWrite(MA1, LOW);

digitalWrite(MA2, LOW);

digitalWrite(MB1, LOW);

digitalWrite(MB2, LOW);

}

void turnLeft() { //function of turn left

analogWrite(MA1, PWM\_RIGHT);

digitalWrite(MA2, LOW);

digitalWrite(MB1, LOW);

analogWrite(MB2, PWM\_LEFT);

}

void turnRight() { //function of turn right

digitalWrite(MA1, LOW);

analogWrite(MA2, PWM\_RIGHT);

analogWrite(MB1, PWM\_LEFT);

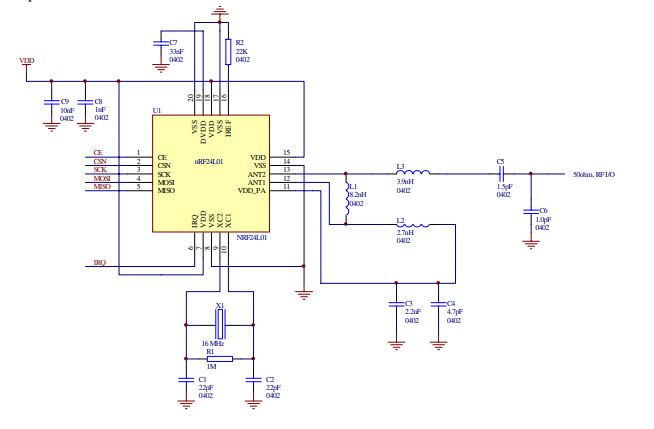
digitalWrite(MB2, LOW);

{

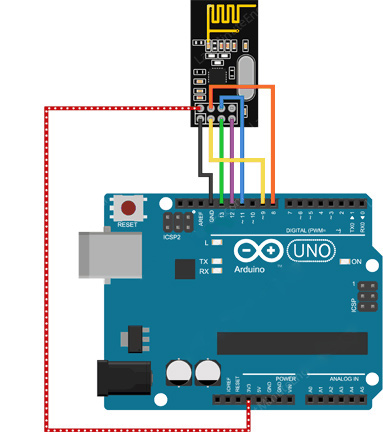
**9-4- ماژول وایرلس nRF24L01 و راه‌اندازی آن**

ارتباط بيسيم دو يا چند برد آردوينو در بسياري از كاربرد‌هاي صنعتي نظير مانيتور كردن داده سنسور‌ها، كنترل ربات‌ها، اتوماسيون خانگي و … مورد نياز خواهد بود. يك راه حل ارزان قيمت و مطمئن براي ايجاد ارتباط RF دو طرفه استفاده از ماژول +nRF24L01 که یک ماژول فرستنده-گیرنده تولید شرکت Nordic Semiconductor است. nRF24L01 یک فرستنده رادیویی تک تراشه‌ای برای فرکانس کاری 2.4-2.5GHz در باند ISM است. فرستنده و گیرنده از یک سینت سایزر[[35]](#footnote-35) فرکانسی کاملا یکپارچه، یک منبع تغذیه، یک تقویت کننده، یک نوسان ساز کریستالی، یک دمدولاتور، مدلاتور و موتور پروتکل توان خروجی پیشرفته ShockBurst™ ، کانال های فرکانسی تشکیل شده است. و به راحتی قابل برنامه ریزی از طریق رابط SPI با مصرف جریان بسیار پایین است. [16]

**1-9-4- راه‌اندازی ماژول nRF24L01:**

****

شکل 4-13: شماتیک nRF24L01 برای خروجی 50 اهم RF [16]

****

شکل4-14: نحوه راه‌اندازی ماژولnRF24L01 با Arduino

**2-9-4- کد نوشته شده برای راه اندازی ماژول nRF24L01**

الگوریتم نوشته شده براساس مدار بالا که در شکل (4-14) نشان داده شده است نوشته شده است

**کد آردواینو فرستنده**

//Include Libraries

#include < SPI.h >

#include < nRF24L01.h >

#include < RF24.h >

//create an RF24 object

RF24 radio(9, 8); // CE, CSN

//address through which two modules communicate.

const byte address[6] = "00001";

void setup()

{

radio.begin();

//set the address

radio.openWritingPipe(address);

//Set module as transmitter

radio.stopListening();

}

void loop()

{

//Send message to receiver

const char path[] = "Correct Path";

radio.write(&path, sizeof(path));

delay(1000);

}

**کد آردواینو گیرنده**

//Include Libraries

#include < SPI.h >

#include < nRF24L01.h >

#include < RF24.h >

//create an RF24 object

RF24 radio(9, 8); // CE, CSN

//address through which two modules communicate.

const byte address[6] = "00001";

void setup()

{

while (!Serial);

Serial.begin(9600);

radio.begin();

//set the address

radio.openReadingPipe(0, address);

//Set module as receiver

radio.startListening();

}

void loop()

{

//Read the data if available in buffer

if (radio.text style="color:blue;">available())

{

char path[32] = {0};

radio.read(&path, sizeof(path));

Serial.println(path);

}

}

**10-4****- انتخاب منبع تغذیه**

منبع تغذیه ربات های کوچک را باتری ها تشکیل می دهند. باتری ها انواع مختلفی دارند که باید براساس پروژه موزد نظر انتخاب شوند. یکیاز نکاتی که باید در انتخاب باتری ها دقت شود، قابل شارژ بودن یا نبودن آن است. برای صرفه جویی در هزینه انتخاب باتری قابل شارژ می‌تواند بهترین گزینه باشد، درست است در ابتدا هزینه بیشتری پرداخت خواهید کرد اما با چند بار شارژ کردن این باتری هزینه ها جبران خواهد شد. یکی دیگر از مواردی که اهمیت دارد، اندازه است. به طور کلی باتری‌ها با سلول های بزرگ تر عمر طولانی تری دارند. ولتاژ های بالاتر به سلول های بیشتری نیاز دارد. در حالی که ممکن است پردازنده شما احتمالا فقط به منبع تغذیه 5 ولت در چند 10 میلی آمپر نیاز داشته باشد درحالی که موتور ها و سنسور ها به ولتاژ های بالا و ظرفیت زیاد نیاز دارند. [17]

به ‌عنوان مثال یک ربات میکروماوس با موتور پله‌ای[[36]](#footnote-36)برای اینکه بتواند بهترین عملکرد دینامیکی خود را داشته باشد، نیاز به یک یا چند جفت سلول برای دادن ولتاژ 15 یا بیشتر داشته باشد، هنگامی که استپرها کاملا انرژی دارند. ممکن است 2 آمپر بکشند ربات شما باید حداقل 15 دقیقه در حالت آماده به کار بماند. که در این شرایط مدیریت منابع تغذیه مهم خواهد شد. موتورها باید در صورت عدم نیاز خاموش شوند، سنسور ها باید برای مدت زمان کمتری پالس شوند و از بیش از حد چشمک زدن چراغ ها جلوگیری شود. این یک پیکره‌بندی آسان برای مدیریت بهتر منبع تغذیه بود. به‌عنوان مثال افت 8 ولت در 200 میلی آمپر رگولاتورها را بسیار داغ می‌کند که برای جلوگیری از داغ شدن رگولاتور ها باید از هیت سینک استفاده شود. [17]

### **4-11- پارامترهای عملکرد باتری**

**ولتاژ پایانه:**

ولتاژ بین پایانه‌های باتری را ولتاژ پایانه می‌نامند که با ولت اندازه گیری می‌شود. معمولا یک سلول، ولتاژی از ۱ تا ۲ ولت دارد (اگر دانشمندان از گاز فلورین با پتانسیل کاهش ۲.۸۷ و فلز لیتیوم با -۳.۰۵ برای گرفتن ۵.۹۲ ولت استفاده کنند، چه می‌شود؟ فقط یک خیال پردازی …) . با **اتصال چندین باتری (در واقع سلول) به صورت سری**، **ولتاژ بالاتر**ی را می‌توان به دست آورد. [17]

**ولتاژ مدار باز:**

وقتی باتری نه در حال شارژ است و نه خالی شدن، در این هنگام ولتاژ پایانه به عنوان ولتاژ مدار باز شناخته می‌شود.

**منحنی ولتاژ:**

**منحنی ولتاژ** یک باتری افت ولتاژ پیشرونده را هنگام تخلیه نشان می‌دهد. [17]

**منحنی تخلیه:**

باتری‌ها معمولا تمایل دارند هنگام کار از لحاظ ولتاژ افت کنند. تعداد کمی از باتری‌ها ولتاژ اولیه خود را تا زمان تخلیه کامل حفظ می‌کنند. این تخلیه در ولتاژ به صورت نموداری در برابر زمان نشان داده می‌شود. هر چه منحنی صاف‌تر باشد، باتری بهتر است؛ اکثر باتری‌های قدیمی دارای تخلیه شیب‌دار بودند و باتری‌های جدیدتر البته صاحب برند معتبر، منحنی تخلیه صاف دارند. خیلی بعید است بتوانید برای یک باتری قلمی عادی که از بازار می خرید، خصوصاً در ایران انتظار دریافت منحنی باتری داشته باشید. چرا که اغلب فروشندگان قطعات تخصصی متاسفانه و با ابراز ناراحتی زیاد از این مساله، سواد و تخصص کافی در ارائه اطلاعات فنی محصول خود را ندارند! غیر از این مورد تولید کننده هم ممکن است برای یک باتری با کاربرد ساده مثلاً اسباب بازی و مشابه آن منحنی ارائه ندهد. اما در لوازم حساس تر مثلاً یک ربات پرنده، یک دستگاه نظامی خرید باتری خیلی شوخی به نظر نمی رسد. [17]

**ظرفیت ذخیره سازی:**

مقدار جریانی است که باتری می‌تواند در واحد زمان تأمین کند که با آمپر-ساعت اندازه‌گیری می‌شود (برای باتری‌ها معمولاً **میلی آمپر ساعت** است). مثلا اگر باتری ۲۰۰۰ میلی آمپر ساعت است، یعنی باتری می‌تواند ۲ آمپر یا ۲۰۰۰ میلی آمپر جریان را برای مدت یک ساعت تأمین کند. اگر ربات فقط ۱۰۰۰ میلی آمپر جریان مصرف می‌کند، باتری حدودا ۲ ساعت کار می‌کند. حالا دیگر باید تفاوت بین mA و mAh این است که در مقایسه باتری ها با یکدیگر آمپر ساعت از آمپر تنها خیلی مهم تر است. معمولاً روی تمام باتری‌ها عدد **میلی آمپر** نوشته شده. با **اتصال موازی باتری‌ها** (در واقع سلول‌ها) می‌توان **جریان خروجی بالاتر** را بدست آورد. [17]

**:C-rate**

این مورد برای یک طراح ربات خیلی مهم نیست، اما خُب … C-rate میزان **شارژ و دشارژ باتری** است که با توجه به **ظرفیت ذخیره سازی** آن که معمولا mAh یا Ah است، بیان می‌شود.C1 به معنای تخلیه کل انرژی ذخیره شده در ۱ ساعت است وC۰.۵به معنای تخلیه کل انرژی در ۲ ساعت است. مثلاً، یک باتری با ۱.۵ میلی آمپر ساعت، در صورت تخلیه با C1، جریان ۱۵۰۰ میلی آمپر، برای یک ساعت می‌دهد. اگر همان باتری C۰.۵باشد، ۷۵۰ میلی آمپر در ۲ ساعت تخلیه می‌شود. معمولا اکثر باتری‌ها C1 هستند. [17]

**توان:**

مقدار توان باتری در واحد حجم است که با وات بر متر مکعب اندازه گیری می‌شود. [17]

**تعداد دوره:**

به تعداد دفعاتی گفته می‌شود که باتری شارژ و خالی (قابل استفاده برای **باتری‌های شارژشونده**)می‌شود، پیش از اینکه عملکرد به زیر حد انتظار برسد. [17]

**ماندگاری:**

مدت زمانی که باتری می‌تواند بدون استفاده در قفسه یا فروشگاه سالم بماند. [17]

**طول عمر:**

مدت زمان تا پیش از **افت عملکرد باتری**؛ چه استفاده شده چه استفاده نشده. [17]

**دما:**

عملکرد اکثر باتری‌ها با تغییر دما کاهش می‌یابد. بهتر است که باتری انتخاب کنید که با کمی تغییر دما عملکرد آن افت نکند. [17]

**انواع باتری ها**

* لیتیم
* نیکل ـ کادمیم
* باتریهای هیبرید نیکل ـ فلز[[37]](#footnote-37)
* باتریهای لیتیم ـ یون[[38]](#footnote-38)
* ...

برای اینکه ربات عملکرد بهتری داشته باشد و موتور ها و سنسور ها در بهترین عملکرد خود قرار داشته باشند بهتر است منبع تغذیه میکروکنترولر را از سنسورها و موتور ها مستقل شود.

دراین پروژه برای میکرو از باتری کتابی V9 و منبع تغذیه موتور ها وسنسور ها نیز از باتری لیتیوم یونی 18650 استفاده شده است.

از مزایای باتری لیتیوم یونی میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

* باتری های لیتیوم یونی عمر طولانی دارند
* قابل شارژ می‌باشند
* چگالی انرژی بالایی دارند
* و ...

در کنار مزیت هایی که دارند معایبی نیز دارا هستند از جمله این‌که این باتری ها در مقایسه با سایر باتری ها:

* از وزن بالایی برخوردارند
* فضای زیادی را اشغال می‌کنند
* و همچنین تخلیه شارژ نسبتا بالایی دارند.

خب تا اینجا با وسایلی که می‌توان یک ربات میکروماوس و ربات حل ماز هوشمند با ویژگی هایی که در پروژه تعریف شده ساخت و نحوه راه‌اندازی آن ها صحبت شد.

در بخش بعدی راجع به پیاده سازی الگوریتم و پیاده سازی نهایی ربات صحبت خواهد شد.

فصل پنجم

پیاده سازی در عمل

**5-1- ساخت مسیر**

خب در بخش های قبل راجع‌به کلیات پروژه و شیوه انجام آن به صورت تئوری صحبت شد، حالا در این قسمت یعنی بخش آخر راجع پیاده سازی عملی مطالب گفته شده در بخش های قبل پرداخته می شود.

خب حالا باید ماز طراحی شده را در واقعیت پیاده سازی شود. شکل (5-1) پیاده سازی ماز انتخابی در محیط واقعی می باشد.



شکل 5-1: پیاده سازی ماز طراحی شده

**5-2- ساخت ربات**

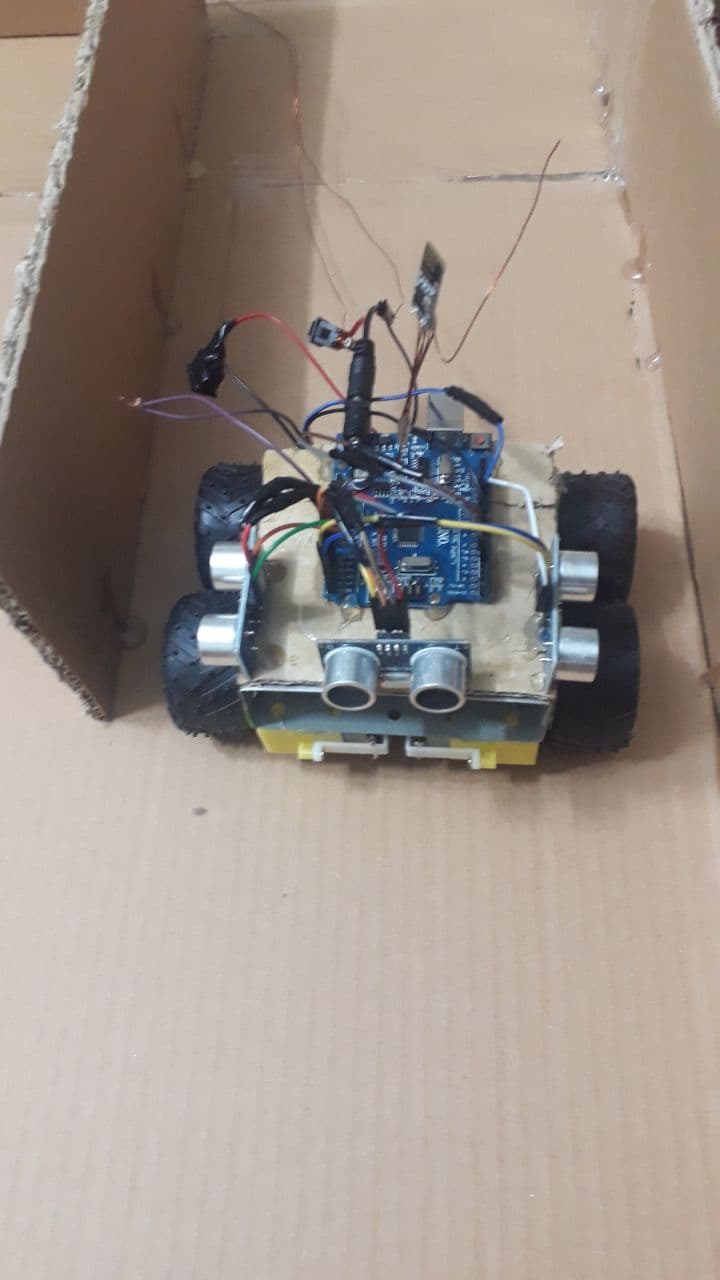
در قسمت های قبل راجع به ابزارهایی که می‌شود یک ربات میکروماوس یا ربات حل ماز را ساخت صحبت شد.

در این قسمت به صورت عملی ربات حل مسئله ماز برای این پروژه طراحی و ساخته می‌شود.

وسایل مورد نیاز:

* موتور گیربکسی RPM100
* باتری لیتیوم یونی 18650
* باتری کتابی V9
* ماژول درایور L9110S
* پلتفرم آردوینو
* ماژول اوولتراسونیک
* ماژول وایرلس nRF24L01

دو نمونه ربات برای پروژه ساخته شده نمونه 4 چرخ و نمونه 3 چرخ که در ادامه تصویر آن ها گذاشته شده است.



شکل 5-2: پیاده سازی نهایی ربات در محیط واقعی نمونه 4چرخ



شکل 5-3: پیاده سازی نهایی ربات در محیط واقعی نمونه 3 چرخ

**5-3- الگوریتم نوشته شده در نرم افزار Arduino**

چون در پروژه هدف ارسال مسیر صحیح به ربات همکار است، بنابراین از الگوریتم هایی که نمی‌تواند مسیر را رهگیری کند نمی‌توان استاده کرد الگوریتم هایی نظیر دنبال کردن دیواره‌ها الگوریتم های تصادفی و...

همانطور که در قسمت های قبل گفته شد، ربات باید بتواند مسیر را رهگیری کند و در پشته [[39]](#footnote-39)ذخیره کند تا در انتهای مسیر ماز یعنی وقتی‌که به هدف رسید بتواند مسیر ذخیره شده در پشته را به ربات همکار ارسال کند.

برای همین برای این پروژه از ترکیب الگوریتم پیمایش گراف ها به روش BFS و الگوریتم FLOOD FILL استفاده شده است.



شکل 5-4: محیط نرم افزار Arduino

**توضیحات الگوریتم نوشته شده:**

برای اینکه بتوانیم مسیر درست را در stack ذخیره کنیم و درواقع نقشه مسیر صحیح را بدست آوریم از یک آرایه به عنوان path استفاده شده است چون ماز انتخابی 36 خانه دارد ما از یک آرایه 36 خانه‌ای برای اینکار استفاده کردیم که جهت های حرکت ربات در خانه هایی که ربات در آن قرار می‌گیرد در این آرایه ذخیره می‌شود. وقتی ربات بین دوراهی قرار می‌گیرد برای اینکه مسیر های پیش رو ربات پیش بینی شود آرایه‌ی دیگری با عنوان Mode قرار داده شده که مقدار اولیه آن نال هست، و وقتی ربات در دوراهی قرار گرفت شماره خانه مورد نظر و نوع دو راهی با کارکترهای A (چپ و راست)، B (راست و مستقیم)، C (چپ و مستقیم) در این آرایه ذخیره می‌شود و همچنین در آرایه دیگری با عنوان two\_way موقعیت هایی که ربات در دوراهی قرار گرفته در آن ذخیره می‌شود، سپس به‌وسیله تابع رندوم، ربات بصورت تصادفی یک مسیر را برای حرکت انتخاب می کند، که جهت انتخابی ربات به‌همراه موقعیت ربات در آرایه دیگری با عنوان cur\_dir ذخیره می‌شود. در این حالت 2 سناریو پیش می‌آید:

**سناریو اول:** مسیر انتخابی ربات صحیح باشد و مانعی بر سر راه ربات نباشد که ساده ترین حالت ممکن است و ربات به صورت عادی ادامه مسیر را طی می‌کند.

**سناریو دوم:** که چالش برانگیز است، این است که مسیر انتخابی ربات بن بست باشد که ربات باید مسیر طی شده را باز گردد و مسیر دیگری را انتخاب کند خب برای اینکار چون موقعیت حالت قبل ربات را ذخیره کرده بودیم ربات را به موقعیت قبلی برمیگردانیم و همچنین چون مسیر های طی شده اشتباه هستند باید از stack خارج شوند و همچنین جهت انتخابی جدید با جهت قبلی جایگزین شود، که ما این کار را در تابع turn\_back() انجام دادیم به‌این صورت فقط مسیر های صحیح در آرایه Path ذخیره می‌شود و همینطور موقعیت های مشابه نیز به همین صورت طی می‌شود تا موقعی که ربات به انتهای مسیر ماز یعنی مقصد برسد سپس آرایه ذخیره شده که درواقع مسیر صحیح ماز از ابتدا تا مقصد است و نقشه صحیح ماز ما است را برای ربات همکار از طریق وایفای ارسال می شود چون ماژول nRF24l01 نمی‌تواند بصورت همزمان بیشتر از 32 بایت داده را ارسال کند به همین علت ما بصورت بیت به بیت داده ها را ارسال کردیم و دراین حین ربات همکار منتظر دریافت اطلاعات می‌ماند بعد از دریافت اطلاعات و بررسی معتبر بودن اطلاعات، شروع به خواندن نقشه ارسالی می کند سپس براساس نقشه حرکت می‌کند تا به مقصد تعیین شده برسد.

**کد نوشته شده در نرم‌افزار Arduino**

کد نوشته شده در پیوست 1 آورده شده است.

سورس کد پروژه برای پیاده سازی مشارکت ربات ها برای حل مسئله ماز در<https://github.com/amir-original/maze-robot> موجود است.

**4-5- نتایج بدست آمده**

الگوریتم در نرم افزار Arduinoنوشته شده و از طریق شبیه ساز و ترمینال نرم افزار تست شده و نتایج بدست آمده با نتایج مورد انتظار پروژه همخوانی داشته است.

**5-5- کارهایی که در ادامه می‌توان انجام داد**

از جمله کارهایی که می‌توان انجام داد این است که الگوریتم نوشته شده را بر روی یکی از میکروهای Xmega پیاده سازی کرد و همچنین بجای موتورهای گیربکسی از موتور های dc با کیفیت بالاتر و یا از استپر موتور ها استفاده شود و در محیط واقعی تست انجام شود دوباره و نتایج بدست آمده با نتایج قبلی مقایسه شود. و همچنین می‌توان امکان پیدا کردن کوتاه ترین مسیر را نیز به الگوریتم نوشته شده اضافه کرد و کارهایی از این دست.

پیوست 1: الگوریتم نوشته شده در نرم افزار Arduino

کد مربوط به ربات اصلی[[40]](#footnote-40):

/\*\*

\* Main Robot

\* Cooperation of Multiple Robots to Solve Maze Tasks

\* The circuit:

\* 1.Arduino Uno

\* 2.Dc Motor 100RPM

\* 3.L9110S

\* 4.Ultrasonic HC-SR04

\* 5.Nrf24l01

\* Created At 20/12/2021

\* By Amirhossein Rahmani & Mohsen Rahimi

\*/

/\*Initilize WIFI Madule\*/

#include <SPI.h>

#include <nRF24L01.h>

#include <RF24.h>

#include <printf.h>

RF24 radio(9, 8); // (CE, CSN) for ARD Nano

/\* Initilize Driver L9110s \*/

#define MA1 5 // Motor A pins

#define MA2 6

#define MB1 10 // Motor B pins

#define MB2 11

#define PWM\_RIGHT 200

#define PWM\_LEFT 200

#define DST 11

/\*initialize all ultrasonics\*/

int trigPinLeft=A5;

int echoPinLeft=A4;

int trigPinRight=A1;

int echoPinRight=A0;

int trigPinFront=A3;

int echoPinFront=A2;

//

long duration;

int distance;

int cell=-1;

bool isFindCorrectPath=false;

bool deadend=false;

int send\_count=0;

int data;

uint32\_t path[36],two\_way[36]={0,0,0,0,0,0,

0,0,0,0,0,0,

0,0,0,0,0,0,

0,0,0,0,0,0,

0,0,0,0,0,0,

0,0,0,0,0,0};

/\*\*

\* All modes that the robot must choose between that

\* mode : null,A:RL(Right and Left open),B:FR(Front and Right open),C:LF(Front and Left open)

\* curr\_dir: `F`:Forward,`R`:turn Right,`L`:turn Left

\*/

char mode[36],curr\_dir[36]={'\0','\0','\0','\0','\0','\0',

'\0','\0','\0','\0','\0','\0',

'\0','\0','\0','\0','\0','\0',

'\0','\0','\0','\0','\0','\0',

'\0','\0','\0','\0','\0','\0',

'\0','\0','\0','\0','\0','\0'};

const byte address[6] = {'R','x','A','A','A'};

uint32\_t correct\_path[36];

void setup() {

Serial.begin(9600); // opens serial port, sets data rate to 9600 bps

pinMode(trigPinFront,OUTPUT);

pinMode(echoPinFront,INPUT);

pinMode(trigPinRight,OUTPUT);

pinMode(echoPinRight,INPUT);

pinMode(trigPinLeft,OUTPUT);

pinMode(echoPinLeft,INPUT);

pinMode(MA1, OUTPUT);

pinMode(MA2, OUTPUT);

pinMode(MB1, OUTPUT);

pinMode(MB2, OUTPUT);

analogWrite(MA1, LOW);

analogWrite(MA2, LOW);

analogWrite(MB1, LOW);

analogWrite(MB2, LOW);

//setup wifi

radio.begin();

radio.setAutoAck(1);

radio.enableAckPayload();

radio.setRetries(5,15);

radio.openWritingPipe(address);

radio.setPALevel(RF24\_PA\_MAX);

radio.stopListening();

}

void loop() {

Stop();

delay(5000);

//just front open

if(isLeftWall() && isRightWall() && !isFrontWall()){

forward();

path[++cell]=1;

Serial.println("forward first");

delay(100);

Stop();

}

//just right open

else if(isLeftWall() && !isRightWall() && isFrontWall()){

path[++cell]=2;

turnRight();

delay(50);

forward();

delay(100);

Serial.println("right");

}

//just left open

else if(!isLeftWall() && isRightWall() && isFrontWall()){

path[++cell]=3;

turnLeft();

delay(50);

forward();

delay(100);

Serial.println("left");

}

//left and right open

else if(!isLeftWall() && !isRightWall() && isFrontWall()){

int rand\_=random(1,3);

//choose random way between left and right

if(rand\_==1){

path[++cell]=2;

curr\_dir[cell]='R';

turnRight();

delay(50);

forward();

delay(100);

Serial.println("right 1");

}

if(rand\_==2){

path[++cell]=3;

curr\_dir[cell]='L';

turnLeft();

delay(50);

forward();

delay(100);

Serial.println("left..");

}

two\_way[cell]=1;

mode[cell]='A';//LR

Stop();

delay(70);

}

//left and front open

else if(!isLeftWall() && isRightWall() && !isFrontWall()){

int rand\_=random(1,3);

//choose random way between left and front

if(rand\_==1){

path[++cell]=1;

curr\_dir[cell]='F';

forward();

delay(100);

Serial.println("forward..");

}

if(rand\_==2){

path[++cell]=3;

curr\_dir[cell]='L';

turnLeft();

delay(50);

forward();

delay(100);

Serial.println("left..");

}

two\_way[cell]=1;

mode[cell]='C';//LF

Stop();

delay(70);

}

//right and front open

else if(isLeftWall() && !isRightWall() && !isFrontWall()){

int rand\_=random(1,3);

//choose random way between right and front

if(rand\_==1){

path[++cell]=1;

curr\_dir[cell]='F';

forward();

delay(100);

Serial.println("forward..");

}

if(rand\_==2){

path[++cell]=2;

curr\_dir[cell]='R';

turnRight();

delay(50);

forward();

delay(100);

Serial.println("right 2");

}

two\_way[cell]=1;

mode[cell]='B';//FR

Stop();

delay(70);

}

//Deadend left and right and front wall

else if(isDeadend()){

Serial.println("Deadend");

turnRight();

//turn back 180deg

delay(2000);

Serial.println("turn back 180deg");

Stop();

deadend=true;

}

//turn back if is deadend

if(deadend){

turn\_back();

delay(1000);

}

//right and left and front open all dir open

if(isAllDirOpen()){

Serial.println("all dir open");

Serial.println("forward");

forward();

delay(4000);

Stop();

path[++cell]=1;

if(isAllDirOpen()){

Stop();

delay(2000);

Serial.println("End maze..");

isFindCorrectPath=true;

//End maze and send path to another robot

copy(path,correct\_path,36);

}

}

/\*\*

\* after solve maze and find correct path send correct path to Fellow robot

\*/

while(isFindCorrectPath){

Stop();

Serial.println("Stop Motor");

if(send\_count==0){

send\_correct\_path\_to\_fellow\_robot();

}else{

Serial.println("Already Sended.");

}

delay(400);

}

}

void turn\_back(){

for(;two\_way[cell]!=1;cell--){

if(path[cell]==1){

forward();

Serial.println("turn back :forward");

delay(100);

Stop();

}else if(path[cell]==2){

turnLeft();

delay(50);

forward();

delay(100);

Serial.println("turn back: left");

}else if(path[cell]==3){

turnRight();

delay(50);

forward();

delay(100);

Serial.println("turn back: right");

}

path[cell]=0;

delay(5000);

Stop();

}

//two way

if(two\_way[cell]==1){

if(mode[cell]=='A' && curr\_dir[cell]=='L'){

forward();

Serial.println("two turn back: forward");

delay(100);

Stop();

path[cell]=2;

}

if(mode[cell]=='A' && curr\_dir[cell]=='R'){

forward();

Serial.println("two turn back: forward");

delay(100);

Stop();

path[cell]=3;

}

//left and front open

if(mode[cell]=='C' && curr\_dir[cell]=='F'){

turnRight();

delay(50);

forward();

delay(100);

path[cell]=3;

Serial.println("two turn back : right");

}

if(mode[cell]=='C' && curr\_dir[cell]=='L'){

turnLeft();

delay(50);

forward();

delay(100);

Serial.println("turn back: left");

path[cell]=1;

}

//right and front open

if(mode[cell]=='B' && curr\_dir[cell]=='F'){

turnLeft();

delay(50);

forward();

delay(100);

Serial.println("two turn back: left");

path[cell]=2;

}

if(mode[cell]=='B' && curr\_dir[cell]=='R'){

turnRight();

delay(50);

forward();

delay(100);

Serial.println("two turn back: right");

path[cell]=1;

}

}

Stop();

delay(180);

deadend=false;

exit;

}

void forward() { //function of forward

analogWrite(MA1, LOW);

analogWrite(MA2, PWM\_LEFT);

analogWrite(MB1, LOW);

analogWrite(MB2, PWM\_RIGHT);

}

void backward() { //function of backward

analogWrite(MA1, HIGH);

analogWrite(MA2, 0);

analogWrite(MB1, HIGH);

analogWrite(MB2, 0);

}

void Stop() { //function of stop

analogWrite(MA1, LOW);

analogWrite(MA2, LOW);

analogWrite(MB1, LOW);

analogWrite(MB2, LOW);

}

void turnLeft() { //function of turn left

analogWrite(MA1, PWM\_LEFT);

analogWrite(MA2, LOW);

analogWrite(MB1, LOW);

analogWrite(MB2, PWM\_RIGHT);

}

void turnRight() { //function of turn right

analogWrite(MA1, LOW);

analogWrite(MA2, PWM\_LEFT);

analogWrite(MB1, PWM\_RIGHT);

analogWrite(MB2, LOW);

}

/\*\*

\* get distance(cm) by ultarsonic sensor

\*/

int getDuration(int trigPin,int echoPin){

digitalWrite(trigPin,LOW);

delayMicroseconds(5);

digitalWrite(echoPin,LOW);

digitalWrite(trigPin,HIGH);

delayMicroseconds(10);

digitalWrite(trigPin,LOW);

duration=pulseIn(echoPin,HIGH);

return duration;

}

int rightSensor(){

long duration=getDuration(trigPinRight,echoPinRight);

return (duration\*0.034/2);

}

int leftSensor(){

long duration=getDuration(trigPinLeft,echoPinLeft);

return (duration\*0.034/2);

}

int frontSensor(){

long duration=getDuration(trigPinFront,echoPinFront);

return (duration\*0.034/2);

}

bool isLeftWall(){

if(leftSensor()<DST){

return true;

}else{

return false;

}

}

bool isRightWall(){

if(rightSensor()<DST){

return true;

}

return false;

}

bool isFrontWall(){

if(frontSensor() < DST){

return true;

}

return false;

}

bool isAllDirOpen(){

if(!isLeftWall() && !isRightWall() && !isFrontWall())

return true;

else

return false;

}

bool isDeadend(){

if(isFrontWall() && isRightWall() && isLeftWall()){

return true;

}else{

return false;

}

}

void send\_correct\_path\_to\_fellow\_robot(){

Serial.println("Sending...");

for (int j = 0; j < 32; j++) {

data=correct\_path[j];

radio.write(&data, sizeof(data));

Serial.println(data);

delay(1000);

}

Serial.println("sended successed");

send\_count=1;

}

// Function to copy 'len' elements from 'src' to 'dst'

void copy(uint32\_t\* src, uint32\_t\* dst, int len) {

memcpy(dst, src, sizeof(src[0])\*len);

}}

کد مربوط به ربات همکار[[41]](#footnote-41):

/\*\*

\* Fellow Robot

\* Cooperation of Multiple Robots to Solve Maze Tasks

\* The circuit:

\* 1.Arduino Uno

\* 2.Dc Motor 100RPM

\* 3.L9110S

\* 4.Ultrasonic HC-SR04

\* 5.Nrf24l01

\* Created At 20/12/2021

\* By Amirhossein Rahmani & Mohsen Rahimi

\*/

/\*Initilize WIFI Madule\*/

#include <SPI.h>

#include <nRF24L01.h>

#include <RF24.h>

#include <printf.h>

RF24 radio(9, 8); // (CE, CSN) for ARD Nano

const byte address[6] = {'R','x','A','A','A'};

#define MA1 5 // Motor A pins

#define MA2 6

#define MB1 10 // Motor B pins

#define MB2 11

#define PWM\_RIGHT 200

#define PWM\_LEFT 120

bool start\_=false;

bool is\_read\_data=false;

int j=-1;

int path[32];

int data;

int count=0;

/\*\*

\* path=1 --> move forward

\* path=2 --> turn right

\* path=3 -->turn left

\*/

void setup() {

Serial.begin(9600); // opens serial port, sets data rate to 9600 bps

pinMode(MA1, OUTPUT);

pinMode(MA2, OUTPUT);

pinMode(MB1, OUTPUT);

pinMode(MB2, OUTPUT);

radio.begin();

radio.setAutoAck(1);

radio.enableAckPayload();

radio.setRetries(5,15);

radio.openReadingPipe(1,address); // for Ard. NANO

radio.setPALevel(RF24\_PA\_MAX);

radio.startListening();

}

void loop() {

if(!is\_read\_data){

while(isDataAvailable()){

read\_data();

if(count>32){

is\_read\_data=true;

if(isValidData()){

start\_=true;

Serial.println("Data read and is valid.");

}else{

Serial.println("Data read and is not valid check your connection.");

}

}

count++;

}

}

if(start\_){

for(int i=0;i<36;i++){

if(path[i]==1){

forward();

delay(100);

Stop();

}

if(path[i]==2){

turnRight();

delay(50);

forward();

delay(100);

Stop();

}

if(path[i]==3){

turnLeft();

delay(50);

forward();

delay(100);

Stop();

}

delay(4000);

Stop();

}

start\_=false;

//end maze

}

}

void forward() { //function of forward

analogWrite(MA1, LOW);

analogWrite(MA2, PWM\_LEFT);

analogWrite(MB1, LOW);

analogWrite(MB2, PWM\_RIGHT);

}

void backward() { //function of backward

analogWrite(MA1, HIGH);

analogWrite(MA2, 0);

analogWrite(MB1, HIGH);

analogWrite(MB2, 0);

}

void Stop() { //function of stop

analogWrite(MA1, LOW);

analogWrite(MA2, LOW);

analogWrite(MB1, LOW);

analogWrite(MB2, LOW);

}

void turnLeft() { //function of turn left

analogWrite(MA1, PWM\_LEFT);

analogWrite(MA2, LOW);

analogWrite(MB1, LOW);

analogWrite(MB2, PWM\_RIGHT);

}

void turnRight() { //function of turn right

analogWrite(MA1, LOW);

analogWrite(MA2, PWM\_LEFT);

analogWrite(MB1, PWM\_RIGHT);

analogWrite(MB2, LOW);

}

bool isDataAvailable(){

if (radio.available()) {

Serial.print("Received Data : ");

return true;

}

Serial.println("Not Receiving !!!");

return false;

}

void read\_data(){

if (j<32){

radio.read(&data, sizeof(data));

path[++j]=data;

Serial.println(path[j]);

delay(1000);

}

}

bool isValidData(){

int count=0;

for(int i=0;i<32;i++){

if(path[i] > 0 && (path[i]==1 || path[i]==2 || path[i]==3)){

return true;

}

if(path[i]==0){

count++;

}

delay(500);

}

if(count>30){

return false;

}

}

منابع

1. Wikipedia, accessed 10 October 2021, <https://en.wikipedia.org/wiki/Micromouse>
2. Wikipedia, accessed 15 November 2021, <https://en.wikipedia.org/wiki/Graph_theory>
3. Faradars On July 2020, accessed 10 November 2021, <https://blog.faradars.org/graph-data-structure/>
4. GeeksforGeeks On October 2021, accessed 14 November 2021, <https://www.geeksforgeeks.org/breadth-first-search-or-bfs-for-a-graph/>
5. GeeksforGeeks On  November 2021, accessed 17 November 2021, <https://www.geeksforgeeks.org/depth-first-search-or-dfs-for-a-graph/>
6. Wikipedia, accessed 19 November 2021,<https://en.wikipedia.org/wiki/Maze-solving_algorithm>
7. Archana Choudhary On November 2021, accessed 18 November 2021, <https://www.geeksforgeeks.org/flood-fill-algorithm/>
8. Tutorialspoint, accessed 8 December 2021, <https://www.tutorialspoint.com/data_communication_computer_network/wireless_transmission.htm>
9. Megan R. Nichols On November 2020, accessed 28 November 2021,<https://roboworld.com/how-to-select-the-right-motor-for-your-robot/>
10. Deep Jain On July 2020, accessed 15 November 2021, <https://www.baeldung.com/java-solve-maze>
11. Last Minute Engineers, accessed 29 November 2021 , <https://lastminuteengineers.com/nrf24l01-arduino-wireless-communication/>
12. Wikipedia, accessed 12 December 2021 ,<https://en.wikipedia.org/wiki/Microcontroller>
13. Wikipedia, 10 December ,2021,<https://en.wikipedia.org/wiki/Arduino>
14. Roland Pelayo On May 2019, accessed 20 December 2021, <https://www.teachmemicro.com/arduino-pid-control-tutorial/>
15. Abbas Batalblo On February 2018, accessed 20 December 2021, <https://www.sanatbazar.com/tech/electronic/item/248>
16. Nordic Semiconductor ASA- Single chip 2.4 GHz Transceiver nRF24L01- Vestre Rosten 81, N-7075 Tiller, Norway, Norway, March 2006
17. Robochip On July 2021, accessed 25 November 2021, [https://robochip.ir/blog-25014](https://robochip.ir/blog-%D8%A8%D8%A7%D8%AA%D8%B1%DB%8C-%D8%B1%D8%A8%D8%A7%D8%AA-%D9%87%D8%A7/)

[18]کتاب راهنمای عملی الکترونیک – شرکت کنکاش- 1396

**Abstract:**

The rapid development of technologies leads us to careful planning for the best choice. These technologies and innovations have made people's work easier in life. In this paper, a maze solving robot is developed with independent mapping and localization skills. In the first step, the maze-solving robot is designed with three ultrasonic distance sensors, which are used to detect the wall to prevent collisions and to detect obstacles. The robot is also expected to be used in an environment that is inaccessible to humans. In addition, there are places where the use of robots is the only way to reach the goal. We have successfully implemented the ability to solve the maze on the robot. The result of the experiment was that the robot could successfully solve the maze without hitting the walls, as well as save the correct path in its memory and send the saved path to the fellow robot at the end of the path, when it reaches the target. In this design, it is possible to send locations to other embedded robots.

Keywords:

Maze – Micro mouse – Algorithm – Graph – Graph navigation – Micro Controller – ATmega 328 – Sensors



Faculty of Electrical Engineering

Department of Electronic

B.Sc. Thesis

Title:

**Cooperation of Multiple Robots to Solve Maze Tasks**

Supervisor:

**Dr. Nasour Bagheri**

By:

**Mohsen Rahimi & Amirhossein Rahmani**

February 2022

1. Micromouse [↑](#footnote-ref-1)
2. UK Micromouse and Robotics Society [↑](#footnote-ref-2)
3. Micromouse USA - USA Micromouse Fans Sit [↑](#footnote-ref-3)
4. Minos - UK Micromouse and Robotics Society [↑](#footnote-ref-4)
5. Main Robot [↑](#footnote-ref-5)
6. Fellow Robot [↑](#footnote-ref-6)
7. Breadth\_first search [↑](#footnote-ref-7)
8. ### Depth First

   [↑](#footnote-ref-8)
9. ## Random mouse algorithm

   [↑](#footnote-ref-9)
10. ## Wall follower

    [↑](#footnote-ref-10)
11. Charles Pierre Trémaux [↑](#footnote-ref-11)
12. turn around and return rule [↑](#footnote-ref-12)
13. depth-first search. [↑](#footnote-ref-13)
14. ## Recursive algorithm

    [↑](#footnote-ref-14)
15. ## Shortest path algorithm

    [↑](#footnote-ref-15)
16. ## Radio Transmission

    [↑](#footnote-ref-16)
17. ## Microwave Transmission

    [↑](#footnote-ref-17)
18. Infrared Transmission [↑](#footnote-ref-18)
19. Light Transmission [↑](#footnote-ref-19)
20. Microcontroller [↑](#footnote-ref-20)
21. Arduino [↑](#footnote-ref-21)
22. Ultrasonic sensor [↑](#footnote-ref-22)
23. Alternating current (AC) motors [↑](#footnote-ref-23)
24. Direct current (DC) motors [↑](#footnote-ref-24)
25. **Servo motors** [↑](#footnote-ref-25)
26. cobot [↑](#footnote-ref-26)
27. Stepper motors [↑](#footnote-ref-27)
28. **Size to power ratio** [↑](#footnote-ref-28)
29. **Load limits** [↑](#footnote-ref-29)
30. **Reliability** [↑](#footnote-ref-30)
31. **Integral** [↑](#footnote-ref-31)
32. #### **Derivative**

    [↑](#footnote-ref-32)
33. rotary encoder [↑](#footnote-ref-33)
34. Viper motor driver [↑](#footnote-ref-34)
35. synthesizer [↑](#footnote-ref-35)
36. Stopper Motor [↑](#footnote-ref-36)
37. nickel-metal hybrid [↑](#footnote-ref-37)
38. Lithium-Ion [↑](#footnote-ref-38)
39. Stack [↑](#footnote-ref-39)
40. Main Robot [↑](#footnote-ref-40)
41. fellow-robot [↑](#footnote-ref-41)