

گزارش کار

طراحی و پیاده‌سازی دروازه تک‌کاناله شبکه LoRaWAN

نگارش

جابر بابکی

شهریور ۱۳۹۷

چکیده

شبکه‌های دوربرد با توان پایین (LPWAN) دسته‌ای از فناوری‌های ارتباطی بی‌سیم هستند که امکان برقراری اتصالات با نرخ داده پایین را در پهنه جغرافیایی وسیع و با مصرف توان باتری کم فراهم می‌کنند. ویژگی‌های مذکور، این شبکه‌ها را به گزینه‌ای مناسب جهت اتصال حسگرها و هوشمندسازی شهرها و صنایع تبدیل کرده است. این شبکه‌ها از اجزای کلیدی اینترنت اشیاء به شمار می‌روند چراکه موجب اتصال دستگاه‌هایی می‌شوند که به پهنای باند کمتری نسبت به اکثر دستگاه‌های استاندارد نیاز دارند. همچنین توان مصرفی پایین برای اشیاء سبب افزایش طول عمر باتری و کاهش هزینه نگهداری آن‌ها می‌شود ازجمله مهم‌ترین فناوری‌های LPWAN می‌توان به LoRaWAN اشاره کرده که به دلیل استفاده از باند فرکانسی آزاد مورد توجه قرار گرفته است. به دلیل نوپا بودن فناوری اینترنت اشیاء، هنوز شبکه‌های دوربرد با توان پایین بومی در کشور ایجاد نشده است. فلذا خلا وجود یک شبکه دوربرد با توان پایین بومی که از یک سو بر اساس نیازمندی‌های خاص پروژه‌های داخل کشور ایجاد شده و امکان سفارشی‌سازی آن وجود دارد و از سوی دیگر از بعد امنیت و کارایی و مقیاس‌پذیری قابل اتکا باشد احساس می‌شود. یکی از اجزای مهم تشکیل دهنده شبکه دوربرد با توان پایین دروازه‌ها (Gateway) هستند که از یک سو با دستگاه‌های انتهایی و از سوی دیگر با پلتفرم نرم‌افزاری در ارتباط هستند. ازجمله مهم‌ترین وظایف دروازه‌ها انتقال اطلاعات از دستگاه‌های انتهایی به سمت پلتفرم، و برعکس انتقال دستورات و اطلاعات از پلتفرم به دستگاه انتهایی هست. طراحی این دروازه برای شبکه LoRaWAN در قالب سه فاز اصلی در نظر گرفته شده است که در فاز اول فناوری‌های موجود شناسایی و راه‌اندازی شده است در فاز دوم مقایسه و ارزیابی فناوری‌های موجود صورت گرفته است و در فاز سوم امکان‌سنجی شبکه بومی بر اساس بهبود شبکه‌های موجود انجام می‌گیرد.

واژه‌های کلیدی:

شبکه دوربرد با توان پایین بومی، اینترنت اشیاء، امکان‌سنجی و طراحی، سفارشی‌سازی، LoRaWAN

فصل اول مقدمه.....	۱
۱-۱- فناوری LoRaWAN	۴
فصل دوم بررسی و ساخت دروازه LoRaWAN.....	۷
۱-۲- دروازه LoRaWAN.....	۸
۲-۲- شناسایی تجهیزات مرتبط با ساخت دروازه تک کاناله.....	۹
۱-۳-۲- Transceiver Module LoRa	۹
۲-۳-۲- Raspberry Pi	۱۰
۳-۳-۲- Antenna	۱۲
۳-۲- ساخت دروازه تک کاناله.....	۱۳
۱-۳-۲- ماژول LoRa SX1278 و اتصال با Raspberry Pi	۱۴
فصل سوم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری.....	۲۰
فصل چهارم منابع و مراجع.....	۲۱

شکل ۱-۱- مثالی از شبکه دور برد با توان کم.....	۲
شکل ۲-۱- مثالی از کلاس A شبکه LoRaWAN.....	۴
شکل ۱-۲- شبکه LoRaWAN.....	۸
شکل ۲-۲- ماژول‌های فرستنده و گیرنده LoRa.....	۱۰
شکل ۳-۲- رزبری پای ۳ مدل B.....	۱۲
شکل ۴-۲- قطعات موردنیاز.....	۱۳
شکل ۵-۲- تصویر پشت ماژول SX1278.....	۱۴
شکل ۶-۲- پین‌های رزبری پای.....	۱۵
شکل ۷-۲- اتصال ماژول به رزبری پای.....	۱۶
شکل ۸-۲- دروازه تک کاناله.....	۱۷
شکل ۹-۲- محیط سیستم‌عامل رزبین.....	۱۸
شکل ۱۰-۲- تنظیمات SPI.....	۱۸

صفحه

فهرست جداول

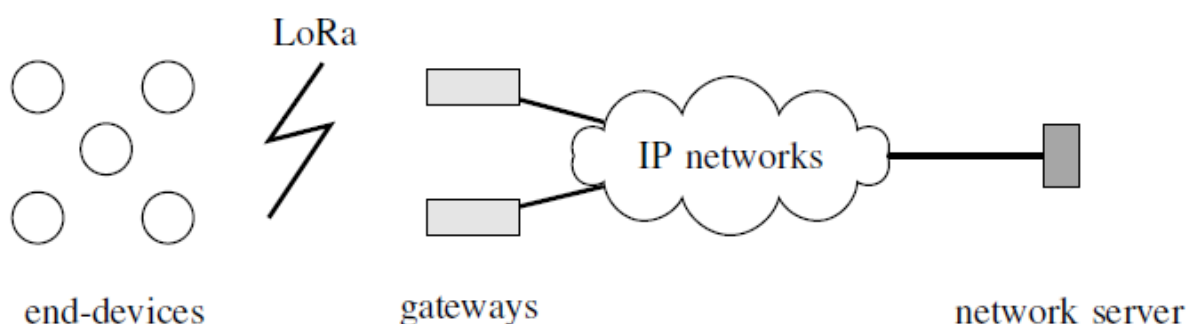
جدول ۱-۱- تنظیمات با فاکتور گسترش.....	۵
جدول ۱-۲- مشخصات مدل‌های مختلف رزبری پای.....	۱۱
جدول ۲-۲- لیست قطعات مورد نیاز برای ساخت دروازه تک کاناله.....	۱۳
جدول ۳-۲- توضیحات پین‌ها Error! Bookmark not defined.	۱۵
جدول ۴-۲- اتصالات ماژول و رزبری پای.....	۱۶

فصل اول

مقدمه

مقدمه

شبکه‌های دوربرد با توان پایین (LPWAN) دسته‌ای از فناوری‌های ارتباطی بی‌سیم هستند که امکان برقراری اتصالات با نرخ داده پایین را در پهنه جغرافیایی وسیع و با مصرف توان (باتری) کم فراهم می‌کنند. این شبکه‌ها در پاسخ به نیازی متفاوت از روند توسعه شبکه‌های بی‌سیم شکل گرفته‌اند بدین معنا که امکان اتصال ارزان و به‌صرفه تعداد بسیار زیادی گره که پیش از این قابل تصور نبود را فراهم می‌کنند. ویژگی‌های مذکور، این شبکه‌ها را به گزینه‌ای مناسب جهت اتصال حسگرها و هوشمند سازی شهرها و صنایع تبدیل کرده است. این شبکه‌ها از اجزای کلیدی اینترنت اشیاء به شمار می‌روند چراکه موجب اتصال دستگاه‌هایی می‌شوند که به پهنای باند کمتری نسبت به اکثر دستگاه‌های استاندارد نیاز دارند. همچنین توان مصرفی پایین برای اشیاء سبب افزایش طول عمر باتری و کاهش هزینه نگهداری آن‌ها می‌شود. شکل ۱ مثالی از یک شبکه دوربرد با توان پایین را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۱- مثالی از یک شبکه دوربرد با توان پایین

به‌طور عمده فناوری‌های LPWAN را می‌توان به دو دسته باند فرکانسی آزاد و باند فرکانسی غیر آزاد تقسیم کرد، از جمله برخی فناوری‌های مهم LPWAN در این دو دسته را می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۱]:

LoRaWAN -

SigFox -

فناوری LoRaWAN به دلیل مصرف بهینه انرژی (باتری) با توجه به پشتیبانی از محدوده جغرافیایی

گسترده و دلایل زیر به عنوان فناوری LPWAN محبوب تر است [۲].

- **گستره جغرافیایی:** گستره جغرافیایی ارتباطی - فناوری Sigfox بین ۱۱ تا ۱۵ کیلومتر هست و از این نظر بهتر از LoRaWAN است اما گستره جغرافیایی ارتباطی LoRaWAN با توجه به پهنای باند، مناسب است [۳].

- **متن باز بودن:** در مورد LoRaWAN مستندات زیادی در مورد چگونگی پیاده سازی، ساختار بسته ها و موارد مختلف وجود دارد [۳].

- **قابلیت ردیابی:** بر اساس مطالعاتی که انجام شده است قابلیت ردیابی در فناوری - LoRaWAN وجود دارد [۲].

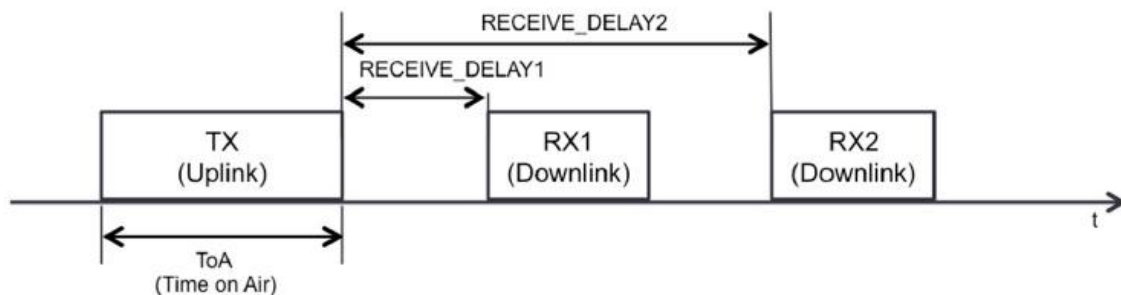
- **پهنای باند:** پهنای باندی که در فناوری LoRaWAN استفاده می شود، بزرگتر از پهنای باند مورد استفاده در فناوری SigFox است و این باعث می شود محوشدگی چند مسیری (multipath fading) کمتری در محیط های شهری رخ دهد [۳].

با توجه به موارد فوق الذکر، این مستند پیشنهاد امکان سنجی و طراحی یک دروازه بومی را برای شبکه های LoRaWAN ارائه می نماید.

۲-۱- فناوری LoRaWAN

فناوری LoRaWAN تشکیل شده از مدولاسیون LoRa^۱ و پروتکل ارتباطی کنترل دسترسی رسانه (MAC)^۲ برای مدیریت ارتباطات بین دستگاه انتهایی و دروازه‌ها است.

فناوری LoRaWAN دارای سه نوع دستگاه (کلاس A، B، C) در لایه MAC است که هر کلاس قابلیت‌های مختلف را تعریف می‌کند. دستگاه‌های کلاس A از دسترسی ALOHA برای فراسو استفاده می‌کنند [۳]. پس از ارسال موفقیت‌آمیز یک فریم کلاس A، برای دریافت پاسخ در طول دو پنجره منتظر دریافت می‌شود [۳]. کلاس B طراحی شده برای برنامه‌هایی که ترافیک ارسالی از سرور به دستگاه‌های انتهایی زیاد است. در این کلاس دروازه‌ها با فرستادن beacons به صورت دوره‌ای زمان‌بندی را برای دستگاه‌های انتهایی همگام می‌کنند بدون اینکه انتقال موفقی در فراسو انجام شده باشد [۳]. کلاس C همیشه در حال گوش دادن به سرور هست به جز موقع‌های که می‌خواهد داده‌ای را ارسال بکند [۳].



شکل ۲-۱- کلاس A در LoRaWAN [۵].

مدولاسیون LoRa یک مدولاسیون طیف گسترده چرپی (CSS)^۳ است، در این روش سه پارامتر فاکتور گسترش (SF)^۴، Code Rate و پهنای باند تعریف شده است. فاکتور گسترش برابر است با تعداد بیتی که

^۴Long Rang

^۵Media Access Control

^۶Chrip Spread Spectrum

^۷Spread Factor

در هر Symbol مدولاسیون LoRa انتقال داده می‌شود که باعث می‌شود کاربران مختلف با کدهای عمود بر هم بتوانند در یک زمان و در یک فرکانس انتقال داشته باشند و در فضای کد از یکدیگر جدا شوند. Code Rate به تعداد بیت مورد نیاز که باید اضافه شود تا تشخیص و تصحیح خطا انجام شود. همچنین پهنای باندی کانال در LoRaWAN برابر است با ۱۲۵ کیلوهرتز و یا ۵۰۰ کیلوهرتز [۲].

تعداد بیت‌هایی که در یک ثانیه می‌توان ارسال کرد با توجه به فاکتور گسترش و پهنای باند از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$DR = SF \cdot \frac{BW}{2^{SF}} \cdot CR$$

$$SF = \{7, 8, 9, 10, 11, 12\}$$

$$CR = \frac{r}{r+n} \quad n = 1, 2, 3, 4$$

$$BW = \{125, 500\}$$

جدول زیر را با توجه به فاکتور گسترش مختلف و پهنای باند متفاوت ترسیم شده است [۵].

Range	Receiver Sensitivity γ	Time-on-air (10 byte packet)	SNR	Bitrate	Sperad factor
2 km	-123dbm	56 ms	-7.5	5469bps	7
4 km	-126dbm	103 ms	-10	3125 bps	8
6 km	-129dbm	205 ms	-12.5	1758 bps	9
8 km	-132dbm	371 ms	-15	977 bps	10
11 km	-134.5dbm	741 ms	-17.5	537 bps	11
14 km	-137dbm	1483 ms	-20	293 bps	12

جدول ۱-۱- تنظیمات با فاکتور گسترش

با توجه به جدول ۱ در حالتی که فاکتور گسترش برابر با ۷ است، حداکثر نرخ بیت ۵ کیلوبیت بر ثانیه و پوشش ۲ کیلومتری دارد و در حالتی که از فاکتور گسترش ۱۲ استفاده شود نرخ بیت ۲۹۳ بیتی و پوشش ۱۴ کیلومتری حاصل می‌شود.

فصل دوم

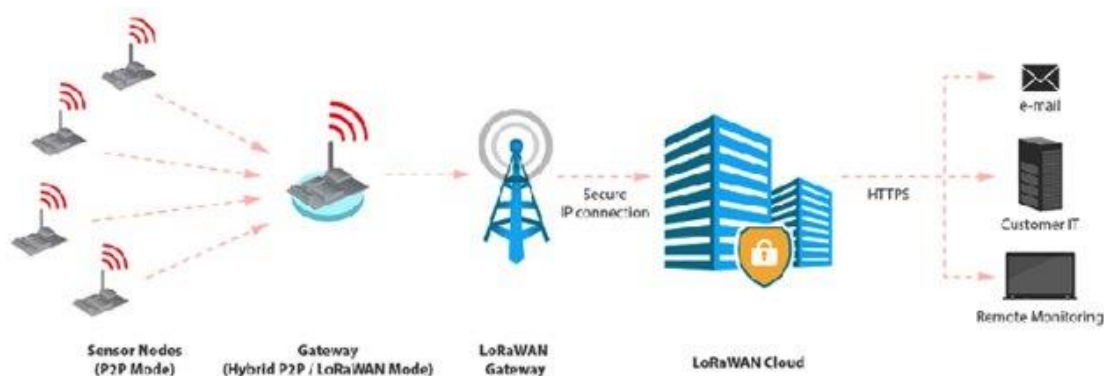
بررسی و ساخت دروازه LoRaWAN

بررسی و ساخت دروازه LoRaWAN

به منظور درک بهتر از وظایف و محدودیت‌های دروازه شبکه LoRaWAN و بررسی عملکرد این دروازه‌ها به عنوان رابطی بین دستگاه‌های انتهایی و پلتفرم، در این بخش تجهیزات مرتبط با ساخت دروازه شناسایی و بررسی شده است.

۲-۱- دروازه LoRaWAN

عملکرد اصلی دروازه‌ها هدایت بسته‌های دریافتی که از دستگاه‌های انتهایی دریافت کرده، به سمت پلتفرم است همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است دروازه پل ارتباطی بین پلتفرم و دستگاه‌های انتهایی است که از یک سو ارتباط LoRa با دستگاه‌های انتهایی برقرار می‌کند و از سوی دیگر از طریق پروتکل IP با سرور LoRaWAN در ارتباط هستند.



شکل ۲-۱- شبکه LoRaWAN

به‌طور کلی وظایف دروازه LoRaWAN شامل موارد زیر است:

- انتقال و دریافت بسته‌های LoRa در لایه فیزیکی
- انجام زمان‌بندی‌های فروسو
- دریافت بسته از هزاران دستگاه تحت پوشش
- توانایی رمزگذاری پیام‌ها قبل از ارسال
- تغییر فاکتور گسترش بسته بر اساس فاصله دستگاه انتهایی
- قابلیت دریافت فایل XML و JSON تنظیمات از پلتفرم

در یک نگاه کلی می‌توان دروازه را به دو دسته زیر تقسیم کرد:

- دروازه‌های تک کاناله: این نوع دروازه در یک لحظه یک کانال و یک فاکتور گسترش را در حال گوش دادن هستند.
- دروازه‌های چند کاناله: این نوع دروازه در یک لحظه در حال گوش دادن بر روی چندین کانال است و دستگاه‌های انتهایی می‌توانند با فاکتورهای گسترش مختلف ارسال کنند.

۲-۲- شناسایی تجهیزات مرتبط با ساخت دروازه تک کاناله

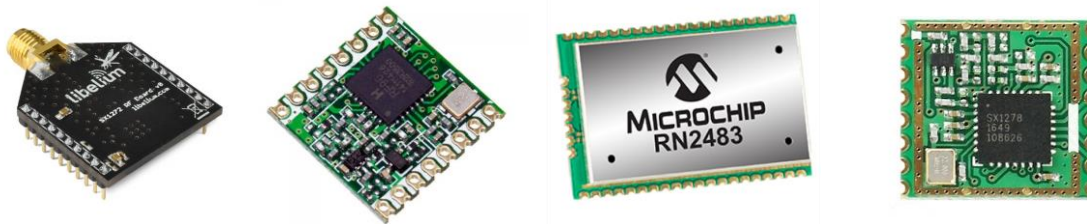
در این مرحله تجهیزات سخت‌افزاری مورد نیاز برای ساخت دروازه مورد شناسایی قرار خواهند گرفت. به‌طور کلی برای ساخت یک دروازه تک کاناله به تجهیزات زیر نیاز است:

- Transceiver Module LoRa
- Raspberry Pi
- Antenna

Transceiver Module LoRa - ۱-۲-۲

شرکت Semtech به عنوان مالک تراشه‌های LoRa (از سال ۲۰۱۲ شرکت Semtech پتنت LoRa را از شرکت Cycleo خریده است) در حال تولید و فروش و توسعه این تراشه‌ها است. همچنین این شرکت از سال ۲۰۱۵ مجوز درجه حفاظت یا کد آی‌پی (IP code) را به چند شرکت از جمله شرکت HopeRF جهت تولید تراشه‌های LoRa را داده است. در حال حاضر چندین شرکت در حال تولید ماژول‌های فرستنده گیرنده LoRa هستند که تراشه LoRa توسط چند شرکت ساخته می‌شود. از جمله معروف‌ترین ماژول‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد که در تصویر شماره ۲-۲ نشان داده شده است:

- Waspnote از شرکت Libelium
- RFXxxW از شرکت HopeRF
- RN2483 از شرکت Microchip
- LoRaSX1278 از شرکت Semtech



شکل ۲-۲- ماژول‌های فرستنده و گیرنده LoRa

این ماژول‌ها در باند فرکانسی ۸۶۸، ۴۳۳ و ۹۱۵ مگاهرتز موجود می‌باشند. و مناسب کاربردهای زیر مناسب هستند:

- کاردهای خانگی
- خانه هوشمند
- کنترل از راه دور
- شبکه حس‌گرهای بی‌سیم

Raspberry Pi-۲-۲-۲

رزبری پای که از سال ۲۰۰۶ در فرایند توسعه بوده است، یک رایانه کوچک است که اجزای آن روی یک برد اصلی با اندازه کارت‌بانکی سوار شده‌اند. این رایانه سیستم‌عامل رَزبِین (Raspbian) را اجرا می‌کند که نسخه‌ای اختصاصی از لینوکس برای این دستگاه است.

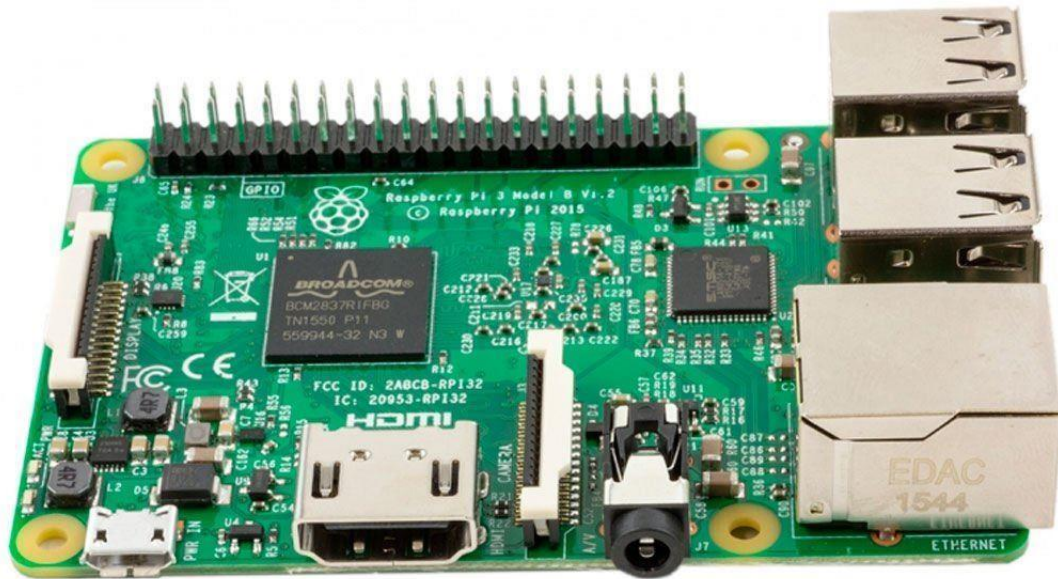
این رایانه قادر به اجرای نرم‌افزارهای اداری ساده، بازی‌های سطح پایین، دسترسی به اینترنت و ایمیل، پخش رسانه و بسیاری ویژگی‌های دیگر است که معمولاً از یک رایانه قرن ۲۱ انتظار می‌رود. رزبری پای همه این کارها را با شمار محدودی از اجزای سخت‌افزاری و به کمک یک پردازنده ARM با قیمت بسیار پایین انجام می‌دهد.

دو دسته‌بندی برای نام‌گذاری مدل‌های رزبری وجود دارد. پای ۱، پای ۲ و پای ۳ نشان نسل‌های مختلف است مدل‌های پای ۱ بین سال‌های ۲۰۱۲ الی ۲۰۱۴، مدل‌های پای ۲ سال ۲۰۱۵ و مدل‌های پای ۳ از سال ۲۰۱۶ به بعد تولید شدند، بنابراین مدل‌های ۳ به روزترین نسخه‌های موجود در بازار و بهتر از مدل‌های پای ۱ و پای ۲ می‌باشند.

مدل A، A+ و B، B+ مشخص کننده قدرت و ویژگی‌های کامپیوترهای Raspberry Pi می‌باشند و داشتن مدل B به معنای بهتر بودن از مدل A است و پلاس بودن نشان‌دهنده پرقدرت بودن است. مدل دیگری به نام رزبری پای زیرو (Zero) موجود است که برای پروژه‌های ساده با قیمت ۵ دلار به فروش می‌رود که نمی‌توان آن را با مدل‌های A و B مقایسه کرد. در تصویر جدول ۴ ویژگی‌ها و قیمت مدل‌های مختلف کامپیوترهای رزبری پای آورده شده است و در تصویر ۴ شکلی از رزبری پای ۳ را نشان دادیم.

Pi Zero	Pi 1 Model A+	Pi 1 Model B+	Pi 2 Model B	Pi 3 Model B
1 GHz 32-bit Single Core processor	700 MHz 32-bit Single Core processor	700 MHz 32-bit Single Core processor	900 MHz 32-bit Quad Core processor	1.2 GHz 64-bit Quad Core Processor
512 MB RAM	512 MB RAM	512 MB RAM	1 GB RAM	1 GB RAM
Broadcom VideoCore IV GPU	Broadcom VideoCore IV GPU	Broadcom VideoCore IV GPU	Broadcom VideoCore IV GPU	Broadcom VideoCore IV GPU
2 micro USB ports	1 micro USB port	1 micro USB port	1 micro USB port	1 micro USB port
No USB ports	1 USB port	4 USB ports	4 USB ports	4 USB ports
1 mini HDMI port, no HDMI	1 HDMI port, no mini HDMI	1 HDMI port, no mini HDMI	1 HDMI port, no mini HDMI	1 HDMI port, no mini HDM
1 microSD slot	1 SD/MMC slot	1 microSD slot	1 microSD slot	1 microSD slot
No dedicated audio port	3.5mm audio out port	3.5mm audio out port	3.5mm audio out port	3.5mm audio out port
No Wi-Fi, No Ethernet	No Wi-Fi, No Ethernet	No Wi-Fi, Ethernet via USB Adapter	No Wi-Fi, Ethernet via USB Adapter	Onboard Wi-Fi, Ethernet port
No Bluetooth	No Bluetooth	No Bluetooth	No Bluetooth	Bluetooth 4.1
65x30 mm (Half of Standard Pi Size)	85.60x56.5 mm (Standard Pi Size)	85.60x56.5 mm (Standard Pi Size)	85.60x56.5 mm (Standard Pi Size)	85.60x56.5 mm (Standard Pi Size)
\$5	\$20	\$25	\$35	\$35

جدول ۱-۲- مشخصات رزبری پای مدل‌های مختلف



شکل ۲-۳- رزبری پای ۳ مدل B

Antenna - ۳-۲-۲

یکی از مسائل مهم در زمینه توسعه راهکارها و محصولات اینترنت اشیاء، به کارگیری مناسب آنتن است که کمتر مورد توجه قرار می گیرد. استفاده از آنتن ها با گین های مختلف بر روی شدت توان دریافتی (RSSI) تأثیرگذار است. نحوه محاسبه اندازه آنتن به صورت زیر است:

$$c = \lambda \times f$$

$$L = \frac{1}{4} \times \lambda$$

$$c = \text{speed of light} = 299792458 \text{ m/s}$$

$$\lambda = \text{wavelength (m)}$$

$$f = \text{frequency} = 868000000 \text{ Hz (This frequency applies to Europe)}$$

$$L = \text{antenna length (m)}$$

۲-۳- ساخت دروازه تک کاناله

برای ساخت دروازه تک کاناله نیاز به تجهیزات زیر است:

ردیف	نام اقلام مصرفی	تعداد	فی (ریال)	جمع کل
۱	LoRa Module LoRaSX1278	۱	۱,۳۰۰,۰۰۰	۱,۳۰۰,۰۰۰
۲	+Raspberry Pi 3 Model B	۱	۱,۵۰۰,۰۰۰	۱,۵۰۰,۰۰۰
۳	Antenna 433mhz	۱	۱۰۰,۰۰۰	۱۰۰,۰۰۰
۴	Toshiba micro Class10 16GB	۱	۳,۳۵۰,۰۰۰	۳,۳۵۰,۰۰۰
۵	Jumper wires 20 cm long (6x male-male and 3x male-female)	۴۰	۱۰۰,۰۰۰	۱۰۰,۰۰۰
۶	Case original Raspberry	۱	۱۴۰,۰۰۰	۱۴۰,۰۰۰
۷	پاور آداپتور ۵ ولت ۲,۸ آمپر	۱	۴۳۰,۰۰۰	۴۳۰,۰۰۰

جدول ۲-۲- لیست قطعات موردنیاز برای ساخت دروازه تک کاناله

تصاویر این قطعات در شکل ۲-۴ نشان داده شده است.

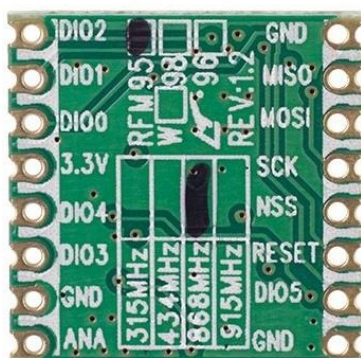


شکل ۲-۴- قطعات موردنیاز

۲-۳-۱- ماژول SX1278 LoRa و اتصال با Raspberry Pi

ماژول SX1278 با پشتیبانی از رابط SPI می‌تواند به راحتی با انواع میکروکنترلرها، کامپیوترها و پردازنده‌هایی که از پورت SPI پشتیبانی می‌کنند ارتباط برقرار کند. این ماژول از دسته ماژول‌های ISM بوده و با فرکانس آزاد ۴۳۳ مگاهرتز کار می‌کند. طراحی بر پایه تراشه SX1278 باعث شده تا به خوبی از شبکه‌های LoRa پشتیبانی کند. مشخصات این ماژول به شرح زیر است:

- پشتیبانی از طیف فرکانسی LoRa
- باند فرکانسی آزاد ۴۳۳ مگاهرتز
- حساسیت دریافت ۱۳۶dBm-
- حداکثر توان خروجی ۲۰dBm
- رابط استاندارد UART
- فعال‌سازی از طریق پورت سریال
- پشتیبانی از شبکه‌های ستاره



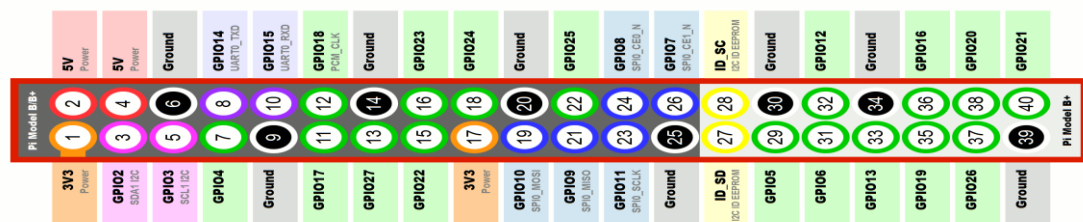
شکل ۲-۵- تصویر پشت ماژول SX1278

توضیحات پین‌های ماژول SX1278 در جدول ۲-۳ نشان داده شده است:

Number	Name	Type	Description
1	Ground	-	Exposed ground pad
2	Ground	-	Exposed ground pad
3	3.3v	-	Input Supply voltage
4	Reset	I/O	Reset trigger input
5	DIO0	I/O	Digital I/O, software configuration
6	DIO1/DCLK	I/O	Digital I/O, software configuration
7	DIO2/DATA	I/O	Digital I/O, software configuration
8	DIO3	I/O	Digital I/O, software configuration
9	Ground	-	Exposed ground pad
10	DIO4	I/O	Digital I/O, software configuration
11	DIO5	I/O	Digital I/O, software configuration
12	SCK	I	SPI Clock input
13	MISO	O	SPI Data output
14	MOSI	I	SPI Data input
15	NSS	I	SPI Chip select input
16	ANA	-	Antenna

جدول ۲-۳- توضیحات پین‌ها

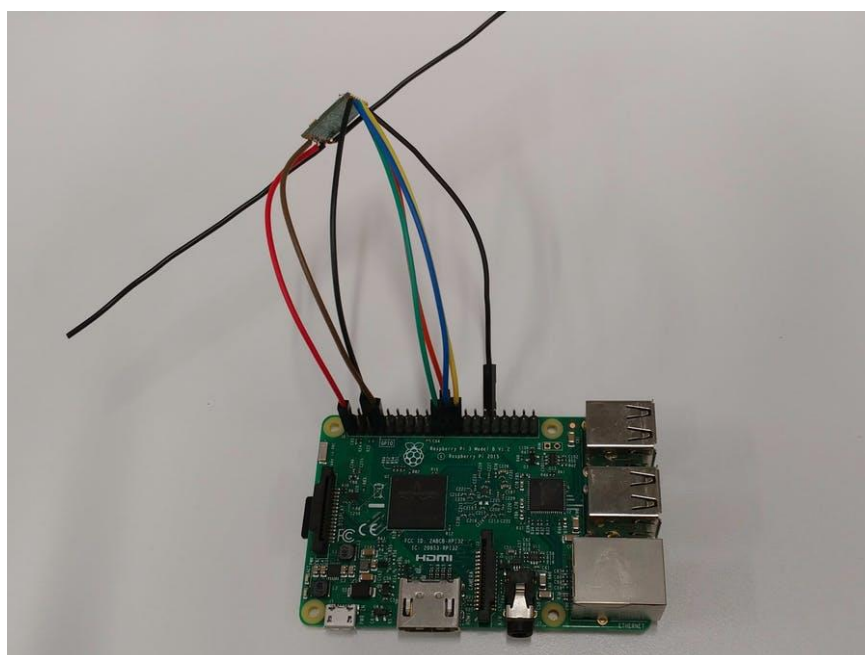
رزبری پای دارای ۴۰ پین I/O است در تصویر ۲-۶ مشخص است، برای اتصال ماژول SX1278 به این پین‌ها طبق جدول شماره ۹ عمل می‌کنیم.



تصویر ۲-۶- پین‌های رزبری پای

SX1278	Raspberry Pi
3.3V	1
GND	6
DIO0	7
RESET	11
NSS	22
MOSI	19
MISO	21
SCK	23

جدول ۲-۴- اتصالات ماژول و رزبری پای



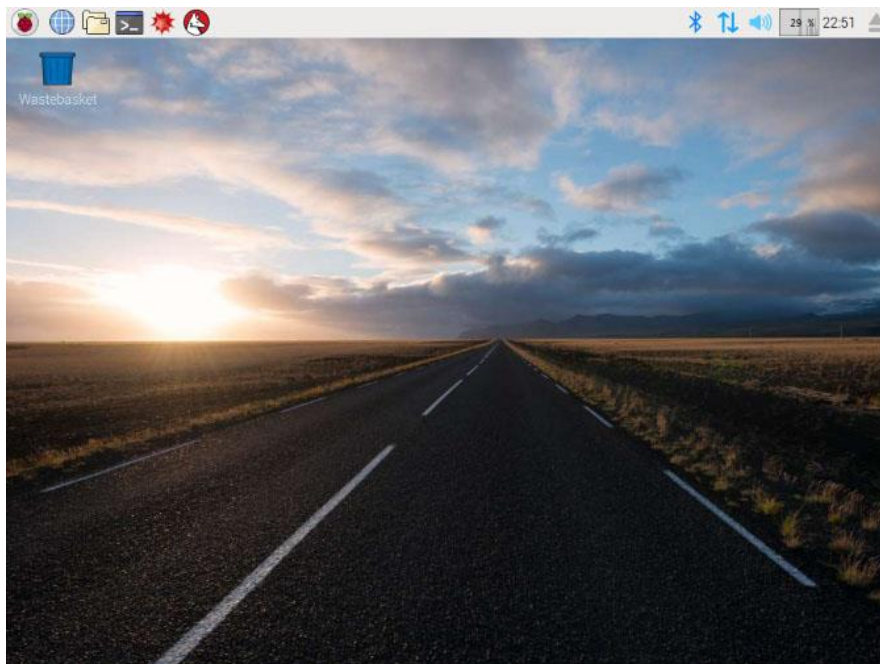
شکل ۲-۷- اتصال ماژول به رزبری پای

بعد از اتصال ماژول به رزبری آنتن را به پین ANA ماژول اتصال داده و رزبری پای را درون جعبه قرار می‌دهیم.



شکل ۲-۸- دروازه تک کاناله

برای راه اندازی این دروازه ابتدا باید سیستم عاملی را بر روی کارت حافظه قرار داد. به همین جهت به سایت اصلی رزبری پای مراجعه کرد و سیستم عامل رزبین را دانلود و بر روی کارت حافظه می نویسیم. سپس کارت حافظه را درون رزبری پای قرار می دهیم و با وصل کردن برق رزبری پای آن را اجرا می کنیم.



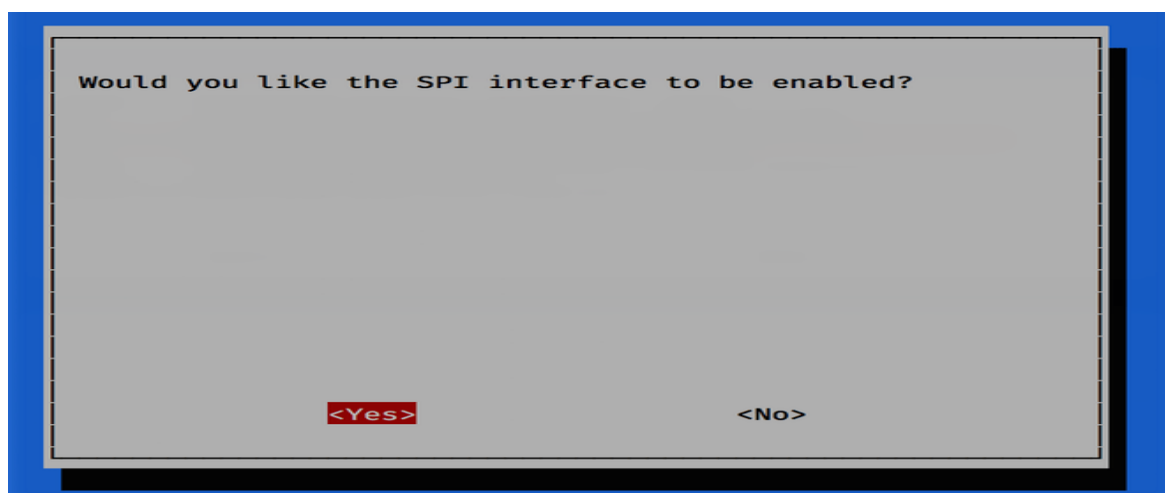
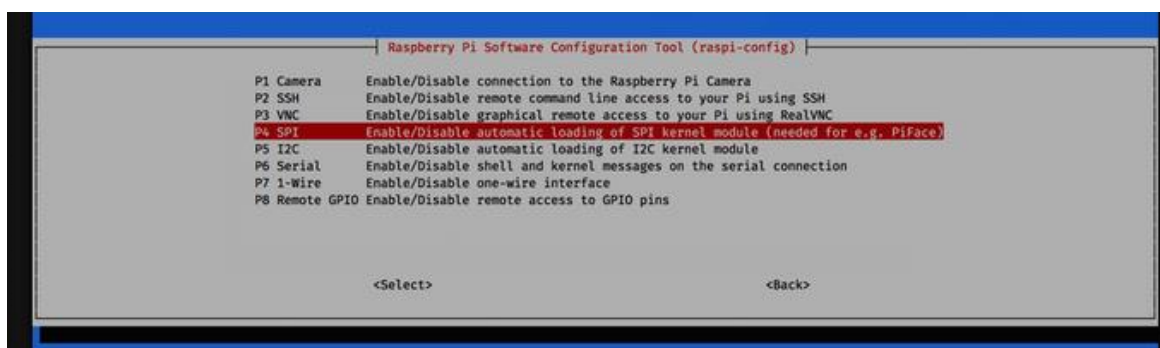
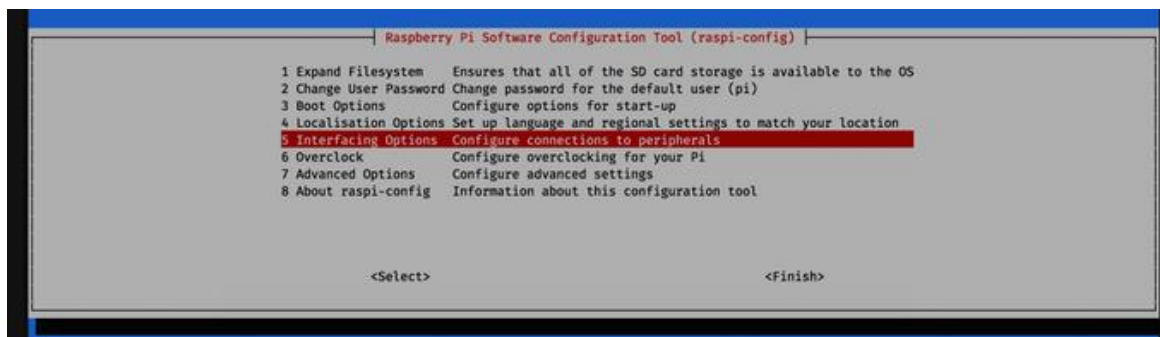
تصویر ۲-۹- محیط سیستم عامل رزبین

برای اجرای برنامه دروازه باید ابتدا کدها را از Git دریافت کنیم:

```
git clone https://github.com/tftelkamp/single_chan_pkt_fwd
```


سپس به تنظیمات raspi-config می‌رویم و رابط را بر روی SPI می‌گذاریم و سیستم را ریستارت می‌کنیم:

```
sudo raspi-config
```



تصویر ۲-۱۰ - تنظیمات SPI

```
sudo shutdown -r now
```

برای کار کردن با GPIO رزبری پای کتابخانه wiringPi را دانلود می‌کنیم:

```
sudo apt-get install wiringpi
```

جهت تغییر کدها (به طور مثال تنظیم IP پلتفرم و همچنین تنظیم فرکانس) با دستور زیر می‌توان این کار را انجام داد:

```
cd ~/single_chan_pkt_fwd  
nano main.cpp
```

و سپس با دستور زیر برنامه را کامپایل کرد:

```
make
```

و با دستور زیر برنامه را اجرا کرد:

```
sudo /home/pi/single_chan_pkt_fwd/single_chan_pkt_fwd
```

پس از اجرای دستور فوق برنامه اجرا شده و منتظر دریافت بسته از طرف فرستنده است و به محض دریافت بسته، آن را به پلتفرم ارسال می‌کند.

۳- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بر اساس بررسی‌های انجام‌شده و توضیحات داده شده می‌توان در یک دسته‌بندی کلی دروازه‌ها را به دسته تک کاناله و چندکاناله تعریف کرد. محدودیت که دروازه‌های تک کاناله دارند به این صورت است که در یک‌زمان و در یک کانال با یک فاکتور گسترش بیشتر نمی‌توان ارسال کرد. در این گزارش ضمن توضیحات مرتبط با شبکه LoRaWAN، نحوه ساخت دروازه‌های تک کاناله به همراه راه‌اندازی آن توضیح داده شد. ساخت دروازه‌ها چه در سطح نرم‌افزار و چه در سطح سخت‌افزار قابل بهبود است.

٤- منابع و مراجع

- [١] Usman Raza, Parag Kulkarni, and Mahesh Sooriyabandara, “*Low Power Wide Area Networks: An Overview*”, *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Secondquarter 2017 Vol 19
- [٢] Ka-Ho Lam, Chi-Chung Cheung and Wah-Ching Lee, “*LoRa-based localization Systems for Noisy Outdoor Environment*”, *Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob)*, Oct. 2017
- [٣] Bernat Carbonés Fargas, “*IOT and Tracking capabilities in LPWANs*”, M.S. thesis, DTU Fotonik, Technical University of Denmark, 2017