گزارش فنی بررسی روش دریافت $DTMF$ با استفاده از

$STM32F407$ و $SIM5300EA$

مقدمه

در گزارش قبلی، ساختار اولیه سیستم کنترل LED از طریق تماس تلفنی بررسی شد. پس از بررسی مستندات ماژول، مشخص شد مدل $SIM5300E$ رابط صوتی ندارد و برای دریافت صدای تماس باید از مدل $SIM5300EA$ استفاده شود. همچنین در مستندات عمومی، فرمانی برای گزارش مستقیم رقم $DTMF$ دریافتی از طریق $UART$ مشاهده نشد. بنابراین تشخیص کلید فشرده‌شده باید با یک دیکودر خارجی یا به‌صورت نرم‌افزاری در میکروکنترلر انجام شود.

۱- نتیجه بررسی مدل ماژول

تفاوت اصلی دو مدل در بخش صوت است. مدل $SIM5300EA$ دارای ورودی و خروجی صوتی است و صدای تماس را از پایه‌های SPK_P و SPK_N در اختیار مدار خارجی قرار می‌دهد. به همین دلیل برای پروژه‌ای که کاربر هنگام تماس کلیدی مانند عدد ۱ را فشار می‌دهد، استفاده از مدل $SIM5300EA$ ضروری است.

مدل ماژول	وضعیت رابط صوتی	مناسب برای دریافت $DTMF$ تماس
$SIM5300E$	پشتیبانی نمی‌شود	خیر؛ مسیر صوتی در دسترس نیست
$SIM5300EA$	پشتیبانی می‌شود	بله؛ با دیکودر خارجی یا پردازش نرم‌افزاری

۲- روند دریافت و تشخیص $DTMF$

با فشردن هر کلید روی گوشی، دو فرکانس صوتی هم‌زمان تولید می‌شود. برای مثال، کلید ۱ از ترکیب فرکانس‌های 697 و 1209 هرتز تشکیل شده است. ماژول $SIM5300EA$ این صدا را در خروجی صوتی قرار می‌دهد، اما خروجی آن هنوز یک موج آنالوگ است و به‌صورت مستقیم رقم ۱ را به $STM32$ ارسال نمی‌کند.

فشردن کلید روی گوشی
↓
دریافت صدای $DTMF$ توسط $SIM5300EA$
↓
خروجی صوتی آنالوگ از SPK_P و SPK_N
↓
تشخیص فرکانس‌ها با دیکودر یا الگوریتم
↓
ارسال نتیجه دیجیتال به $STM32F407$ و کنترل LED

فرمان‌های AT مربوط به $DTMF$ در راهنمای ماژول برای تولید یا ارسال تن معرفی شده‌اند. در این مستند، رویداد مشخصی برای اعلام $DTMF$ دریافتی مانند «کلید ۱ دریافت شد» ارائه نشده است. به همین دلیل یک مرحله تشخیص مستقل لازم خواهد بود.

۳- روش‌های پیشنهادی برای تشخیص $DTMF$

الف- استفاده از دیکودر سخت‌افزاری

در این روش، خروجی صوتی $SIM5300EA$ پس از عبور از مدار تطبیق به دیکودر $DTMF$ مانند $MT8870$ متصل می‌شود. دیکودر دو فرکانس موجود در سیگنال را تشخیص داده و نتیجه را به‌صورت کد دیجیتال در اختیار $STM32F407$ قرار می‌دهد. سپس میکروکنترلر بر اساس رقم دریافت‌شده، وضعیت LED را تغییر می‌دهد. این روش برای نمونه اولیه ساده‌تر و قابل‌اعتمادتر است، اما به قطعه و مدار اضافی نیاز دارد.

ب- تشخیص نرم‌افزاری در $STM32F407$

در این روش، خروجی صوتی پس از تنظیم دامنه و بایاس به ADC میکروکنترلر متصل می‌شود. $STM32$ سیگنال را با نرخ مشخص، برای مثال ۸ کیلوهرتز، نمونه‌برداری می‌کند و الگوریتم $Goertzel$ قدرت فرکانس‌های $DTMF$ را محاسبه می‌کند. با تشخیص یک فرکانس سطری و یک فرکانس ستونی، رقم فشرده‌شده تعیین می‌شود. این روش قطعه دیکودر را حذف می‌کند و انعطاف بیشتری دارد، اما طراحی مدار ورودی، تنظیم آستانه‌ها و تست در برابر نویز پیچیده‌تر است.

روش	مزیت اصلی	محدودیت اصلی
دیکودر خارجی مانند $MT8870$	پیاده‌سازی ساده و تشخیص پایدار	نیاز به قطعه و مدار اضافی
ADC و الگوریتم $Goertzel$	کاهش قطعات و امکان توسعه نرم‌افزاری	نیاز به نمونه‌برداری و تنظیم دقیق الگوریتم

۴- معماری پیشنهادی سیستم

جزء	وظیفه
$SIM5300EA$	اتصال به شبکه، دریافت تماس و ارائه خروجی صوتی تماس
مدار تطبیق صوت	تنظیم دامنه، حفاظت و آماده‌سازی خروجی صوتی
$MT8870$ یا ADC و $Goertzel$	تشخیص دو فرکانس و تعیین رقم $DTMF$
$STM32F407$	دریافت رقم، اجرای منطق برنامه و کنترل LED
$UART$	ارسال فرمان‌های AT و مدیریت وضعیت تماس
$GPIO$ و LED	نمایش نتیجه اجرای فرمان

۵- مراحل پیشنهادی اجرای عملی

1. اطمینان از استفاده از ماژول $SIM5300EA$ و بررسی پایه‌های صوتی آن.
2. راه‌اندازی تغذیه، سیم‌کارت، آنتن و ارتباط $UART$ با $STM32F407$.
3. بررسی تماس ورودی و پاسخ‌دادن به تماس با فرمان‌های AT.
4. اندازه‌گیری و بررسی سیگنال صوتی خروجی SPK_P و SPK_N.
5. انتخاب روش تشخیص: دیکودر $MT8870$ یا ADC و الگوریتم $Goertzel$.
6. تست تشخیص کلیدهای ۱ و ۲ و اتصال نتیجه به منطق کنترل LED.
7. بررسی عملکرد سیستم در تماس واقعی و شرایط مختلف سطح صدا و نویز.

نکات قابل توجه و چالش‌های احتمالی

ردیف	توضیح	راه‌حل پیشنهادی
1	استفاده اشتباه از $SIM5300E$	تأیید $SIM5300EA$ و وجود پایه‌های صوتی
2	تفاضلی‌بودن خروجی صوتی	استفاده از مدار تطبیق و اتصال‌ندادن مستقیم به ADC
3	خطای تشخیص در اثر نویز	تنظیم دامنه، فیلتر و آستانه‌های تشخیص
4	ثبت چندباره یک کلید	بررسی زمان فشردن و رهاشدن کلید