پروژه درسی

درس ریزپردازنده و زبان اسمبلی

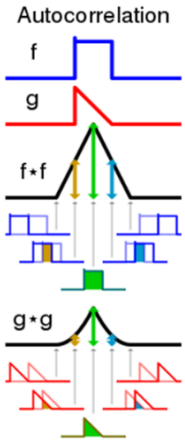
نیم‌سال اول ۱۴۰۵–۱۴۰۴

پروژه تعریف شده برای این درس شامل پیاده‌سازی یک سیستم پردازش سیگنال دیجیتال است که در گروه‌های دونفری انجام و تحویل داده می‌شود. بخشی از پروژه شامل شبیه‌سازی نرم‌افزاری و نوشتن گزارش اجباری بوده و مکمل نمره نهایی است ولی قسمت پیاده‌سازی سخت‌افزاری اختیاری بوده و به عنوان نمره اضافه در نظر گرفته شده است[۱].

توضیح

هدف این پروژه طراحی یک سیستم تشخیص نواک[۲] (گام) صوت انسان از طریق تکنیک خودهمبستگی[۳] است.

یک الگوریتم آشکارساز گام صوت[۴]، تقریبی از فرکانس پایه یا گام یک سیگنال شبه‌متناوب مانند آواهای صدادار انسان را به‌دست می‌دهد. آواهای صدار به آن دسته از صداهای تولید شده توسط انسان گفته می شود که حین تولید آوا، تارهای صوتی حنجره مرتعش شوند. محدوده فرکانس پایه صدای انسان‌ها متنوع است ولی عموما در بازه ۸۵ تا ۳۵۰ هرتز جای می‌گیرد. هرچه صدای گوینده بم تر باشد (مانند صدای آقایان) مقدار فرکانس پایه کمتر و بالعکس هر چه صدای گوینده زیرتر باشد (مانند صدای خانم‌ها) مقدار فرکانس پایه بیشتر است.



الگوریتم‌های PDA متنوعی در حوزه زمان و فرکانس معرفی شده است. الگوریتم مورد نظر در این پروژه بر پایه محاسبه خودهمبستگی سیگنال صوت ورودی در حوزه زمان استوار است.

تابع خودهمبستگی یک سیگنال گسسته (مانند سیگنال صوت نمونه‌برداری شده) بر حسب یک تاخیر عبارتست از مقدار همبستگی (ضرب داخلی یا نقطه‌ای) سیگنال با تاخیر یافته خودش. به عبارت دیگر، در ساده‌ترین حالت، برای یک سیگنال گسسته x(n) با انرژی متناهی، تابع خودهمبستگی بر حسب تاخیر l عبارتست از:

$$R_x(l) = \sum_{n \in Z} x(n)x(n-l)$$

در صورت محاسبه تابع فوق برای یک سیگنال، دوره تناوب (متناظر با معکوس فرکانس پایه (گام صوت) ورودی) برابر با مقدار تاخیر متناظر با اولین قله غیرصفر دیده شده در تابع خودهمبستگی خواهد بود. در شکل زیر، مقدار تابع خودهمبستگی سیگنال ورودی برای حالتی که صوتی در ورودی دریافت نمی‌شود و حالتی که صوت با گام مشخصی در آن موجود است نشان داده شده است.

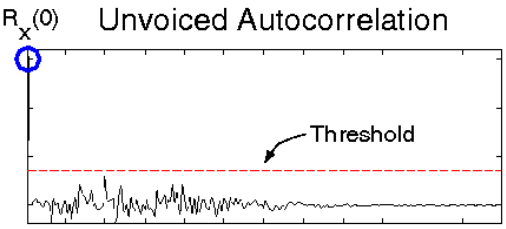
---

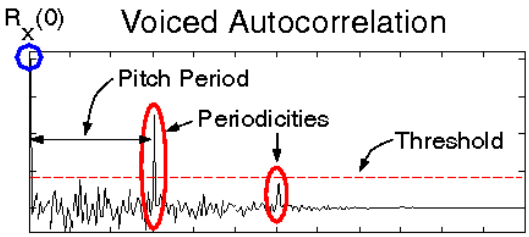
[۱] ایده این پروژه برای درس ریزپردازنده توسط جناب آقای دکتر شکفته مطرح شده است.

[2] Pitch

[3] Autocorrelation

[4] Pitch Detection Algorithm (PDA)



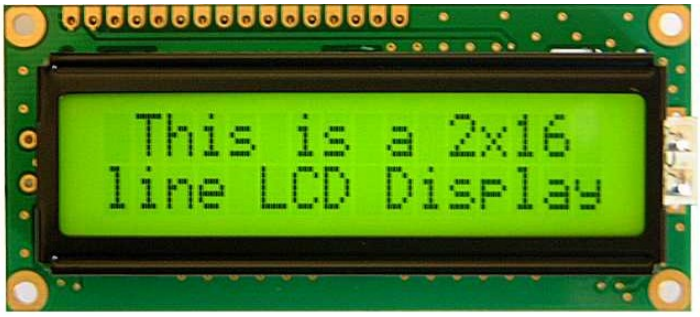


در این پروژه فرض بر این است که سیستم نهایی با استفاده از یک برد NUCLEO-F401RE پیاده‌سازی می‌شود، بنابراین میکروکنترلر مورد استفاده STM32F401RE خواهد بود.

در پیاده‌سازی نهایی، سیگنال صوت ورودی با نرخ مشخصی نمونه‌برداری شده و در یک بافر داخلی ذخیره می‌گردد، سپس تابع خودهمبستگی آن محاسبه شده و در آن اولین قله غیرصفر که اندازه آن از یک حد آستانه بیشتر است جستجو می‌شود. نرخ نمونه‌برداری، دقت (تعداد بیت‌های) انتخابی از خروجی مبدل آنالوگ به دیجیتال، اندازه بافر داخلی و حد آستانه آشکارسازی گام صوت همگی جزو پارامترهای طراحی هستند که در پیاده‌سازی و ارائه نهایی باید کاملا مشخص شود که چگونه انتخاب شده‌اند. پس از به‌دست آوردن فرکانس پایه، نت متناظر با خروجی آن را با استفاده از جداول فرکانس نت‌های موسیقی استخراج کرده و در یک نمایش‌گر LCD کاراکتری 2x16 نشان دهید.

توضیحات LCD کاراکتری

LCD کاراکتری ابزاری برای نمایش اطلاعاتی است که شامل حروف، اعداد و همچنین برخی کاراکترهای گرافیکی می‌شود. یک صفحه نمایشگر LCD مانند صفحه ماشین حساب است که همراه با آی سی کنترلر و مدارهای جانبی‌اش وعموما با لامپ پشت صفحه (back light) در یک بسته پیش‌ساخته و در دو نوع کاراکتری و گرافیکی عرضه می شود.



تقریبا همه LCD های متنی دارای ۱۶پایه هستند که ۸ خط آن مربوط به فرستادن یا خواندن داده‌ها یا دستورالعمل‌ها است و پایه‌های دیگر نیز مربوط به خطوط کنترل و ولتاژهای تغذیه است. لیست کامل پایه‌ها و عملکرد هریک از آن‌ها به‌ترتیب زیر است.

جدول زیر پایه های LCD کاراکتری را به صورت کامل توضیح داده است.

شماره پایه	نماد	کاربرد	اتصال خارجی
۱	V_{SS}	زمین (GND)	پایانه منفی منبع تغذیه
۲	V_{DD}	V_{CC}	ولتاژ تغذیه ۵+ ولت
۳	V_{EE}	تنظیم کنتراست	به ولتاژ ۵+ ولت متصل می‌شود (برای داشتن کنتراست قابل تنظیم این پایه به پتانسیومتر خارجی وصل می‌شود.)
۴	RS	انتخاب رجیستر (داده / دستور)	به پین‌های کنترل‌کننده میکرو کنترلر وصل می‌شود وقتی RS=0 رجیستر دستور و هنگامی‌که RS=1 رجیستر داده انتخاب می‌شود.
۵	R/W	انتخاب عملیات (خواندن / نوشتن)	به پین‌های کنترل‌کننده میکروکنترلر وصل می‌شود برای خواندن باید R/W=1 و برای نوشتن مقداری روی رجیستر R/W=0 باشد.
۶	E	فعال‌سازی LCD	به پین‌های کنترل کننده میکروکنترلر وصل می‌شود. با اعمال یک پالس پایین رونده به این پایه تغییرات مدنظر در LCD اعمال می‌شوند.
۷ - ۱۰	DB0 – DB3	چهار خط اول گذرگاه داده (این چهار خط در مد چهار بیتی فعال نیستند)	به پین‌های داده میکروکنترلر وصل می‌شود
۱۴ - ۱۱	DB4 – DB7	چهار خط دوم گذرگاه داده (این چهار خط در مد چهار بیتی فعال هستند)	به پین‌های داده میکروکنترلر وصل می‌شود
۱۵	LED+ (Anode)	قطب مثبت پس‌زمینه	به پایانه ۵+ ولت وصل می‌شود
۱۶	LED- (Cathode)	قطب منفی پس‌زمینه	به پایانه منفی منبع تغذیه وصل می‌شود.

باید در نظر داشت که LCD کاراکتری دارای دوسری ثبات (رجیستر) است. یکی برای داده و دیگری برای دستورات. یک کد دستور فرایندی است تا LCD وظیفه‌ای را که باید انجام دهد مانند پاک‌کردن صفحه نمایش، تنظیم محل اشاره‌گر صفحه و .... مشخص نماید. یک کد داده که در رجیستر داده ذخیره می‌شود وظیفه آن را دارد تا داده قابل نمایش را به LCD معرفی نماید. داده‌هایی که باید در رجیستر داده قرار گیرند کدهای اسکی مربوط به کاراکترهایی هستند که باید بر روی نمایشگر به نمایش درآیند. جدول زیر کدهای اسکی مربوط به کاراکترهای مختلف را نشان می‌دهد. توجه شود که داده ها باید به فرمت HEX به نمایشگر ارسال شوند.

توضیحات پایه‌ها:

- پایه۳: ولتاژ VEE ولتاژ کنتراست است که میزان روشنایی کاراکترها را روی LCD تنظیم می‌کند. به‌منظور رسیدن به حداکثر روشنایی این پایه را می‌توان به زمین متصل کرد.
- پایه۴: در داخل LCD دو نمونه اطلاعات وجود دارد که توسط پایه RS انتخاب میشوند. درصورتیکه RS=1 باشد کاربر می‌تواند اطلاعاتی را روی LCD بنویسد یا بخواند. اگر RS=0 باشد اطلاعات ورودی به‌عنوان فرمان مشخص می‌شود. LCD این اطلاعات را دریافت و فرمان تعریف شده را اجرا می‌کند.
- پایه ۵: پایه خواندن یا نوشتن است. برای نوشتن روی LCD باید R/W=0 باشد و برای خواندن اطلاعات از LCD باید R/W=1 باشد.
- پایه۶: فعال کردن (E) است.
- پایه های ۷ تا ۱۴: هشت بیت اطلاعات ارسالی به LCD و یا دریافتی از آن هستند.
- پایه های ۱۶ و ۱۵: برای لامپ پشت LCD است.

هنگامی که بخواهیم به LCD دستور خاصی را ارسال کنیم باید کد HEX مربوط به آن دستور را بر روی گذرگاه داده قرار دهیم. در جدول زیر دستورالعمل های مهم و پرکاربرد LCD امده است.

ردیف	دستور	معادل هگزادسیمال
۱	نمایش در یک سطر با آرایه‌های ۷×۵ در مد هشت بیتی	0x30
۲	نمایش در دو سطر با آرایه‌های ۷×۵ در مد هشت بیتی	0x38
۳	نمایش در یک سطر با آرایه‌های ۷×۵ در مد چهار بیتی	0x20
۴	نمایش در دو سطر با آرایه‌های ۷×۵ در مد چهار بیتی	0x28
۵	مد ورود داده‌ها	0x06
۶	خاموش کردن نشانگر و نمایشگر بدون پاک شدن محتویات RAM	0x08
۷	روشن کردن نشانگر و نمایشگر	0x0E
۸	روشن کردن نمایشگر بدون روشن کردن نشانگر	0x0C
۹	نمایش اطلاعات با نشانگر چشمک‌زن	0x0F
۱۰	شیفت دادن همه اطلاعات در حال نمایش به سمت چپ	0x18
۱۱	شیفت دادن همه اطلاعات در حال نمایش به سمت راست	0x1C
۱۲	انتقال نشانگر به سمت چپ به مقدار یک کاراکتر	0x10
۱۳	انتقال نشانگر به سمت راست به مقدار یک کاراکتر	0x14
۱۴	پاک کردن کامل نمایشگر به همراه محتویات RAM	0x01
۱۵	انتقال نشانگر به اولین مکان از اولین خط	0x80
۱۶	انتقال نشانگر به اولین مکان از دومین خط	0xC0

در مد ۸ بیتی پین های ۷ تا ۱۴ ال سی دی به ۸ پین ورودی/خروجی میکرو متصل می‌شود. در مد ۴ بیتی پین های شماره ۱۱ تا ۱۴ از ال‌سی‌دی به میکروکنترلر باید متصل شود. برای شروع کار با ال سی دی لازم است که ابتدا راه اندازی اولیه انجام شود و سپس داده یا دستور مورد نظر برای رجیسترهای مربوطه ارسال گردد. *این کار را باید بدون استفاده از کتابخانه‌های آماده انجام دهید.*

توضیحات تکمیلی

- پس از نمونه‌برداری اولیه و ذخیره در بافر داخلی، گاهی مفید است برای افزایش کیفیت خروجی، پیش از اعمال الگوریتم‌های پردازش سیگنال، طی یک مرحله پیش‌پردازش کیفیت سیگنال را افزایش داد. به‌عنوان نمونه می‌توان با پیدا کردن بیشینه دامنه سیگنال ورودی نمونه‌برداری شده، کل سیگنال را به نسبت مشخصی مقیاس‌بندی کرد تا بیشترین وضوح در محاسبات به‌دست آید.
- هنگام انتخاب نوع داده‌هایی که با آن‌ها کار می‌کنید دقت کنید که در مراحل میانی محاسبه موارد ناخواسته‌ای مانند سرریز مقادیر اتفاق نیفتد.
- برای پیاده‌سازی یک بافر FIFO در نرم‌افزار می‌توانید از ساختمان‌های داده‌ای مانند بافر چرخشی[5] بهره ببرید.

در این صفحه یک مثال عملی به همراه مشخصات ادوات الکترونیکی جنبی و کد نرم‌افزاری نمونه برای خواندن صوت ورودی با استفاده از ADC (و بازتولید آن با استفاده از PWM به عنوان DAC) برای بستر Arduino توضیح داده شده است. ضمنا، در بخش ۳ مستند AN4453 شرکت ST، نمونه تولید صوت با PWM برای یک کاربرد نمونه تشریح شده است.

[5] Circular Buffer, Ring Buffer

گزارش

- گزارش نهایی که توسط گروه‌ها تحویل داده می‌شود باید شامل توضیح دقیق مراحل انجام پروژه، به‌ویژه علت انتخاب پارامترهای طراحی نظیر نرخ نمونه‌برداری و دقت نمایش اعداد کسری باشد.
- گزارش به صورت یک فایل PDF است که به شکلی مناسب حروف‌چینی شده است و کدهای نوشته شده برای پروژه پیوست آن شده است.
- گزارش روز پیش از تحویل پروژه باید ارسال شده باشد.

تحویل

در روز تحویل هر دو عضو گروه با به همراه داشتن یک نسخه از گزارش پروژه و همچنین نمونه سخت‌افزاری پیاده‌سازی شده (در صورت انجام بخش اختیاری) برای تحویل مراجعه می‌کنند.

اعضای گروه در ابتدا یک گزارش شفاهی کوتاه (در حد ۱-۲ دقیقه) در مورد پروژه ارائه می‌کنند که شامل نکات مهم، چالش‌ها، شیوه انجام کار و انتخاب پارامترها می‌باشد.

پس از آن گروه شبیه‌سازی سیستم را انجام خواهد داد و توضیحات لازم را ارائه خواهد نمود. استفاده از ابزارهای برخطی که شکل موج‌های مورد نظر را تولید می‌کنند توصیه می‌شود.

در مرحله بعد در صورتی که گروه پیاده‌سازی سخت‌افزاری را نیز انجام داده باشد، آن را اجرا می‌کند. نحوه ارائه این بخش به این ترتیب است که برد را برنامه‌ریزی کرده و ورودی آن را به خروجی صوت تلفن همراه یا رایانه شخصی خود متصل می‌کنید و سیگنال‌های مدنظر را پخش می‌کنید. خروجی صحیح بر روی نمایش‌گر باید به‌وضوح قابل مشاهده باشد. در روز تحویل هیچ امکاناتی در اختیار شما نیست و تمام ابزارهای لازم برای نمایش اجرای سیستم روی سخت‌افزار را باید همراه داشته باشید.

در حالت پیشرفته ارائه، باید بتوانید آوای مرتبط با جمله اول سرود «ای ایران ای مرز پرگهر» را در میکروفون ورودی برد بخوانید (یا پخش کنید) و سیستم نت‌های صحیح متناظر را پشت سر هم و به تفکیک نمایش دهد.

دقت کنید که وظیفه تک تک اعضای گروه است که کیفیت کار انجام شده و میزان مشارکت خود را به هنگام تحویل اثبات کنند. در صورت سکوت هر یک از اعضا هنگام جلسه تحویل طبیعی است که نمره‌ای به آن‌ها تعلق نخواهد گرفت.

هر گروه باید یک کاور پلاستیکی به همراه داشته باشد که نام اعضای گروه روی آن درج شده است. در صورت ارائه پیاده‌سازی سخت‌افزاری، برد و ملحقات آن درون کاور تحویل داده می‌شود که در انتهای جلسه تحویل پروژه به شما بازگردانده خواهد شد.

موفق باشید

عطارزاده