



طراحی سامانه‌ی مدیریت خانه‌ی هوشمند

مقدمه

دنیای دیجیتال امروز خدماتی را برای مردم فراهم کرده که زندگی را آسان‌تر و ایمن‌تر ساخته است. امکاناتی که سیستم‌های دیجیتال در اختیار کاربران قرار می‌دهند علیرغم تعدد و تنوع، می‌توانند روزانه زندگی فردی و جمعی را مدیریت کرده و از مشکلاتی که از بی‌دقتی ما انسان‌ها نشأت می‌گیرد جلوگیری کنند. این سامانه‌ها از هوشمندی نسبی برخوردار هستند. یکی از این امکانات، سامانه مدیریت خانه هوشمند^۱ است. خانه‌های هوشمند مانند سایر موارد مرتبط با تکنولوژی، به سرعت در حال توسعه و گسترش هستند. با ظهور اینترنت چیزها^۲ که هدف آن مرتبط کردن تمام دستگاه‌ها با شبکه جهانی اینترنت است، خانه‌های هوشمند به عنوان یکی از اجزای مهم این تکنولوژی مطرح شده است.

با توجه به این که ما انسان‌ها بیش از ۹۰ درصد زمان خود را در ساختمان‌ها سپری می‌کنیم و همچنین بیش از ۴۰ درصد مصرف انرژی در بیشتر کشورها در ساختمان‌ها مصرف می‌شود، در بیشتر جوامع توسعه یافته و در حال توسعه ساختمان هوشمند بسیار مورد توجه واقع شده است. ساختمان هوشمند با زیر شاخه‌هایی نظیر خانه هوشمند، دفتر کار هوشمند، هتل هوشمند، بیمارستان هوشمند و ... شناخته می‌شود. در تمام این موارد، هدف اصلی از هوشمندسازی، پیاده‌سازی مواردی مانند روشنایی هوشمند، سیستم سرمایش و گرمایش هوشمند، پرده و کرکره هوشمند، سیستم حفاظتی هوشمند، سیستم چندرسانه‌ای هوشمند و سایر موارد از این دست می‌باشد.

شرح کلی سامانه

پروژه پایانی درس طراحی کامپیوتری سیستم‌های دیجیتال، طراحی یک سیستم مدیریت خانه‌ی هوشمند است که از کاربر، حسگرها و وسایل هوشمند داده‌های مختلفی را دریافت کرده و با تحلیل و بررسی آن‌ها، وضعیت ابزارهای مختلف را مشخص می‌کند و یا هشدارهایی تولید می‌کند. هدف از این پروژه آشنایی دانشجویان با طراحی یک سامانه نهفته بی‌درنگ است. در این سامانه دمای اتاق، میزان روشنایی و رمز ورود به سامانه قابل پیکربندی است. مجموعه‌ای از ورودی‌های فرضی مانند حسگر دما، احتراق و گاز منواکسید کربن وجود دارد که داده‌ی ورودی را به سامانه‌ی پردازش و کنترل ارسال می‌کند و هشدار مناسبی داده می‌شود. با توجه به دمای ورودی از حسگر و دمای تعیین شده، سامانه سرمایشی-گرمایشی روشن شده و برای مدت‌زمان مناسبی با شدت مناسبی روشن می‌ماند. با توجه به روز یا شب بودن و میزان روشنایی پیکربندی شده، میزان بسته یا باز بودن کرکره یا تعداد لامپ روشن مشخص می‌گردد. برای پیاده‌سازی پروژه پیشنهاد می‌شود دو فاز طراحی در نظر گرفته شود. در فاز اول مدارهای مورد نیاز برای بخش‌های مختلف به طور مستقل طراحی شود. سپس، در فاز نهایی با توجه به کارکرد سامانه، بخش‌های طراحی شده در فاز اول با یکدیگر ترکیب شده و یک ماشین حالت جهت کنترل توأم آن‌ها و ایجاد هشدار یا پیکربندی وسایل طراحی گردد.

¹ Smart Home Management System

² Internet of Things

فاز اول (طراحی واحدهای پردازشی)

در فاز اول پروژه، بخش پردازشی امکاناتی که در سامانه‌ی خانه‌ی هوشمند وجود دارد طراحی می‌شود. در این فاز، بخش‌های مختلف به صورت مستقل از هم طراحی می‌شوند. این بخش از پروژه از ۵ بخش (۳ بخش اجباری و ۲ بخش اختیاری) جهت راه‌اندازی حسگرها و ماژول‌ها تشکیل شده است.

ماژول ۱: حسگر دما (تبدیل ولتاژ به دما)

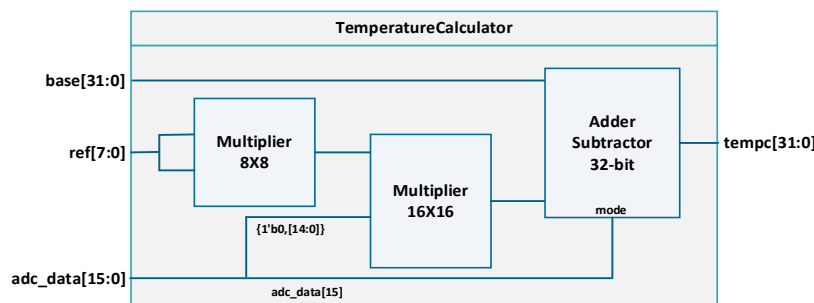
فرض کنید در خانه‌ی هوشمند یک ماژول دماسنج وجود دارد. ارتباط با دماسنج از طریق مبدل آنالوگ به دیجیتال انجام می‌گیرد. در این سامانه ابتدا دمای محیط به وسیله‌ی دماسنج دیجیتالی به مقدار ولتاژ مناسب تبدیل می‌شود. سپس ولتاژ که یک کمیت پیوسته و آنالوگ است، با استفاده مبدل آنالوگ به دیجیتال به داده‌ی دیجیتال تبدیل می‌شود. داده‌ی به دست آمده یک داده‌ی خام بوده و لزوماً برابر با مقدار دمای محیط نیست و باید به داده‌ی مناسبی تبدیل شود.

از رابطه‌ی ۱ جهت تبدیل داده‌ی خام (خروجی مبدل آنالوگ به دیجیتال) به داده‌ی مورد انتظار (دمای محیط) استفاده می‌شود.

$$temp_c = base + \left\lfloor \frac{(ref^2 \times adc_data)}{64} \right\rfloor \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

- خروجی $temp_c$ دمای محیط برحسب سلسیوس است و عددی ۳۲ بیتی با نمایش مکمل ۲ است.
- ورودی ref ولتاژ کاری ماژول است که توسط سیستم تعیین می‌شود و عددی ۸ بیتی در مبنای مکمل ۲ است.
- ورودی $base$ ضریب محیطی برای حسگر است که توسط کارخانه تنظیم می‌شود و ۳۲ بیتی در مبنای مکمل ۲ است.
- ورودی adc_data خروجی مبدل آنالوگ به دیجیتال است و عددی ۱۶ بیتی با نمایش مقدار-علامت است.

شکل ۱ نحوه‌ی پیاده‌سازی این عملیات را نشان می‌دهد.



شکل ۱: سامانه حسگر دما

ماژول ۲: حسگر گاز و دود (تشخیص دهنده‌ی دنباله بیتی)

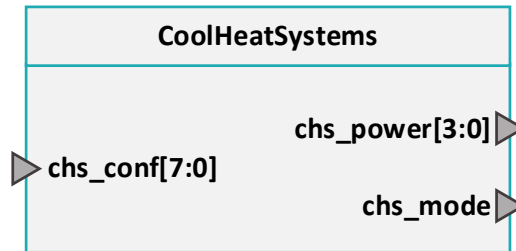
مدار تشخیص گاز و دود دارای یک ورودی تک بیتی (din) و یک کلاک (clk) است و با توجه به دنباله‌ی بیتی مشاهده شده، یک خروجی سه بیتی (gas_mode) تولید می‌کند که هر بیت در صورتی برابر یک می‌شود که غلظت گاز مربوطه از حد آستانه بیشتر باشد. جدول ۱ دنباله‌ی بیتی مورد نظر برای غلظت غیرمجاز هر گاز را نشان می‌دهد. بدیهی است که ممکن است چند گاز مختلف به صورت همزمان از حد آستانه بیشتر باشند. جهت طراحی از هر نوع ماشین حالتی می‌توان استفاده کرد. ابتدا ماشین حالت مدار را رسم نموده و سپس کد VHDL متناظر آن را توصیف نمایید.

جدول ۱: دنباله‌ی بیتی و خروجی متناظر

دنباله‌ی بیتی مربوطه	خروجی	نوع گاز
1011101010	001	متان
101010010011	010	کربن مونو اکسید
100100100	100	کربن دی اکسید

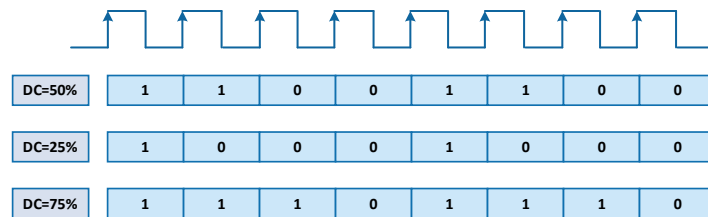
ماژول ۳: سامانه سرمایش و گرمایشی (تولید پالس عرض)

سامانه‌ی سرمایشی و گرمایشی در دو بخش پیکربندی می‌شود. درجه‌ی تولید گرما یا سرما به وسیله‌ی یک عدد ۸ بیتی (chs_conf) مشخص می‌شود. اگر تعداد بیت‌های یک در این عدد ۸ بیتی عددی زوج باشد بخش کولر ($chs_mode = 0$) و در صورتی که عددی فرد باشد بخش گرم‌کننده ($chs_mode = 1$) روشن می‌شود. تعداد یک‌ها نیز قدرت آن (chs_power) را مشخص می‌کند. به عنوان مثال اگر ورودی عدد 00101001 باشد، بخش تولید کننده گرما با قدرت ۳ روشن می‌شود. شکل ۲ نحوه‌ی پیاده‌سازی این عملیات را نشان می‌دهد.



شکل ۲: سیستم تولیدکننده سرما و گرما

در بخش مشخص کردن سرعت فن سامانه از چرخه‌ی کار استفاده می‌شود. در این سیستم جهت ایجاد سرعت‌های مختلف، در خروجی مدار به طور متناوب اعداد یک یا صفر ارسال می‌شوند، به این صورت که برای یک بازه‌ی مشخص (تعداد کلاک مشخص) تعدادی یک ارسال کرده و در مابقی بازه به طور مکرر صفر ارسال می‌کند. تعداد یک‌های ارسالی به صورت درصد بیان شده و چرخه‌ی کار (Duty-Cycle) نامیده می‌شود. به عنوان مثال، اگر طول دوره تناوب برابر ۱۲۸ باشد (۱۲۸ کلاک) آنگاه چرخه‌ی کار ۵۰ درصد به این معناست که در ۶۴ کلاک اول عدد یک به خروجی فرستاده شود و در ۶۴ کلاک بعدی عدد صفر ارسال شود. چرخه‌ی کار ۲۵ درصد ($\frac{32}{128}$) نیز به این معناست که در ۳۲ کلاک اول عدد یک به خروجی فرستاده شود و در ۹۶ کلاک بعدی عدد صفر ارسال شود. ورودی این بخش یک عدد ۸ بیتی با نام speed است که $\frac{speed}{256}$ مشخص کننده چرخه‌ی کار است. خروجی نیز تک بیتی (pwd_data) است. شکل ۳ نمونه‌ی دو بیتی از این سیستم را نشان می‌دهد.



شکل ۳: نمونه‌ی دو بیتی از واحد تولید عرض پالس

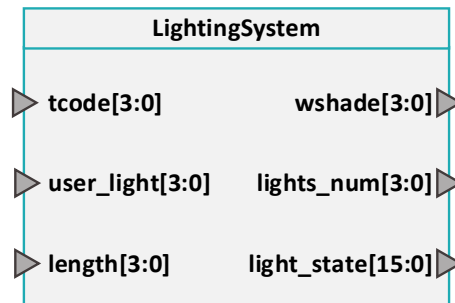
ماژول ۴: سامانه روشنایی (مدیریت چراغ و کرکره) (اختیاری)

در این سامانه با توجه به ساعات شبانه روز روشنایی خانه پیکربندی می‌شود. در هنگام شب برای روشن کردن اتاق‌ها از چراغ و در هنگام روز از نور آفتاب (با باز کردن مقداری از کرکره) استفاده می‌شود. در جدول ۲ تعداد لامپ‌های روشن و میزان باز بودن کرکره پنجره مشخص شده است. میزان باز بودن کرکره با یک عدد چهار بیتی (خروجی $wshade$) مشخص می‌گردد. تعداد لامپ‌ها ۱۶ عدد است که توسط یک عدد چهار بیتی ($user_light$) تعداد لامپ‌های روشن مشخص می‌شود. این داده‌ی چهار بیتی به یک دیکدر ۴ به ۱۶ خاص منظوره داده می‌شود تا روشن یا خاموش بودن هر لامپ را مشخص کند. در این دیکدر، داده‌های خروجی مینترم‌هایی که از عدد ورودی کوچکتر هستند یک و مابقی مینترم‌ها صفر می‌شود. به عنوان مثال، اگر ورودی (تعداد لامپ‌های روشن) برابر ۶ باشد، خروجی‌های ۰ الی ۵ برابر یک و خروجی‌های ۶ الی ۱۵ برابر صفر می‌شود. برای هر بازه‌ی ساعتی یک کد چهار بیتی با نام $tcode$ در نظر گرفته شده است که در جدول ۲ نیز قابل مشاهده است. شکل ۴ ورودی‌ها و خروجی‌های مدار کلی را مشخص می‌کند.

جدول ۲: تعداد لامپ‌های روشن و میزان باز بودن کرکره

تعداد لامپ‌های روشن	درصد باز بودن کرکره	کد	بازه‌ی ساعتی
.	٪۱۰۰	0001	۷:۰۰ الی ۱۱:۰۰
.	٪۷۵	0010	۱۱:۰۰ الی ۱۵:۰۰
نسبت مساحت به محیط اتاق*	توسط کاربر مشخص می‌شود.	0100	۱۵:۰۰ الی ۱۸:۰۰
توسط کاربر مشخص می‌شود	٪۰	1000	۱۸:۰۰ الی ۲۳:۰۰
.	٪۰	0000	بقیه موارد

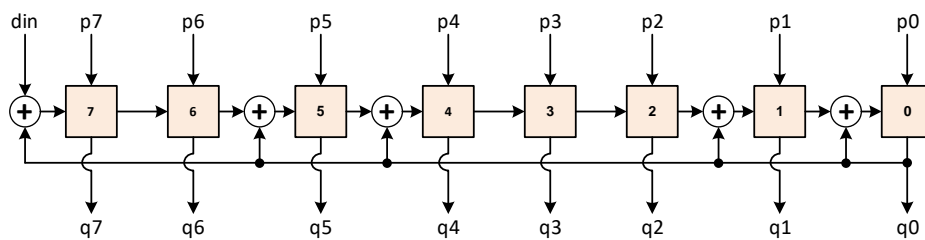
* اتاق‌ها مربعی شکل هستند و طول اتاق با یک عدد چهار بیتی (length) مشخص می‌شود.



شکل ۴: نمونه‌ی دو بیتی از واحد تولید عرض پالس

ماژول ۵: رقص نور اتاق کودک (اختیاری)

برای اتاق کودک یک چراغ‌نما قرار داده شده است که به طور تصادفی رنگ‌های متفاوتی را نشان می‌دهد. جهت روشن کردن تصادفی چراغ‌ها از واحد CRC³ استفاده شده است. شکل ۵ ساختار داخلی این سیستم را نشان می‌دهد. ابتدا یک عدد در ثبات‌ها از طریق تنظیمات کاربر قرار داده می‌شود. سپس در هر کلاک یک داده ۸ بیتی جدید تولید می‌شود. عملیات \oplus معادل xor است.



شکل ۵: تولیدکننده عدد تصادفی



شکل ۶: شماتیک تولیدکننده عدد تصادفی

³ Cyclic Redundancy Check



فاز دوم: پیکربندی و واحد کنترل

در فاز دوم (نهایی پروژه) یک واحد حافظه جهت ذخیره‌ی داده‌های پیکربندی توسط کاربر طراحی می‌شود. در این بخش یک واحد کنترل جهت بررسی درستی رمز عبور نیز قرار داده می‌شود.

ماژول ۶: واحد حافظه

یک ثبات عریض است که هر بخش از آن مربوط به تنظیمات یک ماژول است. جدول ۳ جزئیات آن را نشان می‌دهد.

جدول ۳: تعداد لامپ‌های روشن و میزان باز بودن کرکره

شرح	نام ورودی در ماژول	ماژول	شماره بیت‌ها
ولتاژ کاری حسگر دما	ref	۱	mem [7:0]
چرخه‌ی کار سامانه سرعت فن	chs_conf	۳	mem [15:8]
تعداد لامپ روشن یا میزان باز بودن کرکره	user_light	۴	mem [19:16]
طول یک ضلع اتاق مربعی	length	۴	mem [23:20]
مقدار اولیه ثبات در مدار رقص نور	p	۵	mem [31:24]
مقدار داده در مدار رقص نور	din	۵	mem [32]
رمز ورود سیستم	userpass	۷	mem [34:33]

در نظر داشته باشید که در یک حافظه باید کل داده‌ی ورودی همزمان عوض شود. لذا باید روشی در نظر بگیرید که فقط بخش مورد نظر را تغییر دهید.

ماژول ۷: واحد پیکربندی و رمز عبور

در این واحد ابتدا رمز عبور بررسی می‌شود و در صورت درستی آن، محتوای حافظه تغییر داده می‌شود.

سامانه در ابتدا در حالت «بیکار» قرار دارد (حالت A). کاربر باید ابتدا با فعال کردن ورودی request، سامانه را وارد حالت «فعال» نماید (حالت B). سپس سامانه منتظر می‌ماند تا کاربر رمز عبور دو بیتی را وارد کرده و دکمه‌ی تأیید (confirm) را فشار دهد. در صورتی که رمز عبور درست باشد، سامانه وارد حالت «درخواست» می‌شود (حالت C) و در غیر این صورت، سامانه به حالت «تله» (حالت E) می‌رود.

اگر سامانه وارد حالت «درخواست» شود، منتظر می‌ماند تا کاربر یک داده ۳۵ بیتی را وارد نموده و دکمه‌ی confirm را انتخاب کند تا در لبه‌ی فعال ساعت بعدی، سامانه اطلاعات را در ثبات‌های مربوطه ذخیره کند (حالت D). در تمام این مراحل اگر کاربر ورودی request را صفر کند، سامانه بلافاصله به حالت «بیکار» می‌رود.

آزمون محک

برای بررسی درستی عملکرد هر یک از مدارها یک فایل محیط آزمون^۴ طراحی کنید. سامانه دارای یک کلاک بوده و برای همه‌ی مدارهای ترتیبی یکسان است.

نحوه‌ی انجام و تحویل پروژه

کدها باید سنتزپذیر باشند و در نرم‌افزار Xilinx ISE Design Suite خطا (Error) نداشته باشید ولی برای برخی از ماژول‌ها هشدار (Warning) قابل قبول است.

^۴ Testbench File



ارزیابی پروژه

ارزیابی از سه بخش اصلی تشکیل شده است.

- بخش اول ارزیابی از طریق شبیه‌سازی طرح است.
- بخش دوم ارزیابی از طریق سنتزپذیر بودن کد است که در ارائه حضوری (یا مجازی) بررسی خواهد شد.
- بخش سوم ارزیابی از طریق پرسش شفاهی حضوری (یا مجازی) است که هنگام تحویل پروژه باید به آن‌ها پاسخ دهید. هر یک از اعضای گروه باید به طور مستقل بر کلیه مدارهای طراحی شده تسلط کامل داشته باشند و برای مازول‌هایی که به طراحی نیاز دارند، مانند رسم جدول کارنو، رسم ماشین حالت و ... باید بر بروی کاغذ رسم نموده و هنگام ارائه‌ی پروژه تحویل دهند.
- یک گزارش یک الی دو صفحه‌ای از طراحی خود آماده کنید و موارد مورد نیاز را در آن بنویسید. نام، نام خانوادگی و شماره دانشجویی هر یک از اعضای گروه را در صفحه اول آن بنویسید.
- مازول‌های ۴ و ۵ اختیاری است که هر کدام ۲۰ درصد نمره اضافی دارد.
- مازول‌ها باید سنتزپذیر باشند. اگر مداری سنتزپذیر نباشد ولی کارکرد درستی داشته باشد ۵۰ درصد نمره آن لحاظ می‌شود.
- فازهای اختیاری هر کدام ۲۰ درصد نمره اضافی دارند. برای پروژه ۲/۵ نمره در نظر گرفته شده است و بخش‌های اختیاری نیز ۱ نمره اضافی دارد.
- در طول ارائه شفاهی از ابزار و کدهای نوشته شده و مفاهیم طراحی سوال‌هایی پرسیده می‌شود. در صورتی که دانشجو به بخشی از کدهای نوشته شده یا ابزار تسلط کافی نداشته باشد، نمره صفر لحاظ خواهد شد.

ریز نمرات پروژه پایانی

نمره (درصد)	اجزای مدار ترکیبی سامانه مدیریت خانه هوشمند	
۱۵	پیاده‌سازی مدار ضرب‌کننده ۸ بیتی	ماژول ۱ (حسگر دما)
	پیاده‌سازی مدار ضرب‌کننده ۱۶ بیتی	
	پیاده‌سازی مدار جمع‌کننده-تفریق‌کننده ۳۲ بیتی	
۱۵	پیاده‌سازی تشخیص‌دهنده‌ها به طور مستقل	ماژول ۲ (حسگر گاز و دود)
	پیاده‌سازی تشخیص‌دهنده‌ها همپوشان	
۱۵	کارکرد درست مدار داخلی	ماژول ۳ (سامانه سرمایش و گرمایشی)
	کارکرد درست برای وظیفه کار متفاوت	
(۲۰)	پیاده‌سازی بخش دیکدر	ماژول ۴ (فاز اختیاری: سامانه روشنایی)
	پیاده‌سازی براساس جدول مربوطه	
	کارکرد درست سیستم به طور جامع	
(۲۰)	پیاده‌سازی مدار داخلی	ماژول ۵ (فاز اختیاری: رقص نور)
	پیاده‌سازی تولیدکننده عدد تصادفی	
۱۵	کارکرد درست حافظه	ماژول ۶ (واحد حافظه)
	نوشتن و خواندن محتوای درست	
۲۰	پیاده‌سازی ماشین حالت	ماژول ۷ (واحد کنترلی)
	بررسی درستی رمز عبور به با استفاده از مقایسه‌کننده	
	ذخیره اطلاعات درست	
-	گزارش توابع و مدارهای طراحی شده	گزارش
۲۰	پاسخ به پرسش‌های شفاهی، تسلط به ابزار و کد نوشته شده	تسلط و پرسش شفاهی



زمان‌بندی پروژه

تحویل پروژه به صورت حضوری روز دوشنبه مورخ ۲۶ تیر ماه ۱۴۰۲ خواهد بود.

انجام پروژه به صورت انفرادی یا گروه‌های دو نفره خواهد بود.

زمان‌بندی تحویل هر گروه به صورت دقیق متعاقبا اعلام خواهد شد.

گروه‌های خود (انفرادی یا گروهی) را تا روز سه‌شنبه مورخ ۲۳ خرداد ماه ۱۴۰۲ از طریق ایمیل به آدرس ایمیل زیر با موضوع **VHDL-Group** به تدریس‌یار اعلام نمائید. ایمیل ارسالی باید شامل نام، نام خانوادگی و شماره دانشجویی اعضای گروه باشد. فقط یکی از اعضای گروه اطلاعات خواسته شده را ارسال نماید.

motamediraad[AT]gmail[DOT]com

توجه داشته باشید که در صورت عدم تعیین گروه در موعد مقرر، پروژه تحویل گرفته نخواهد شد و نمره صفر لحاظ خواهد شد.