دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه الکترونیک

پایان‌نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته برق الکترونیک

عنوان:

طراحی و شبیه سازی هسته دیجیتال برای یک فرستنده وگیرنده ZigBee در فرکانس 2.4 GHz برای کاربردهای WSN

استادان راهنما:

دکتر قادر کریمیان و دکتر جعفر صبحی

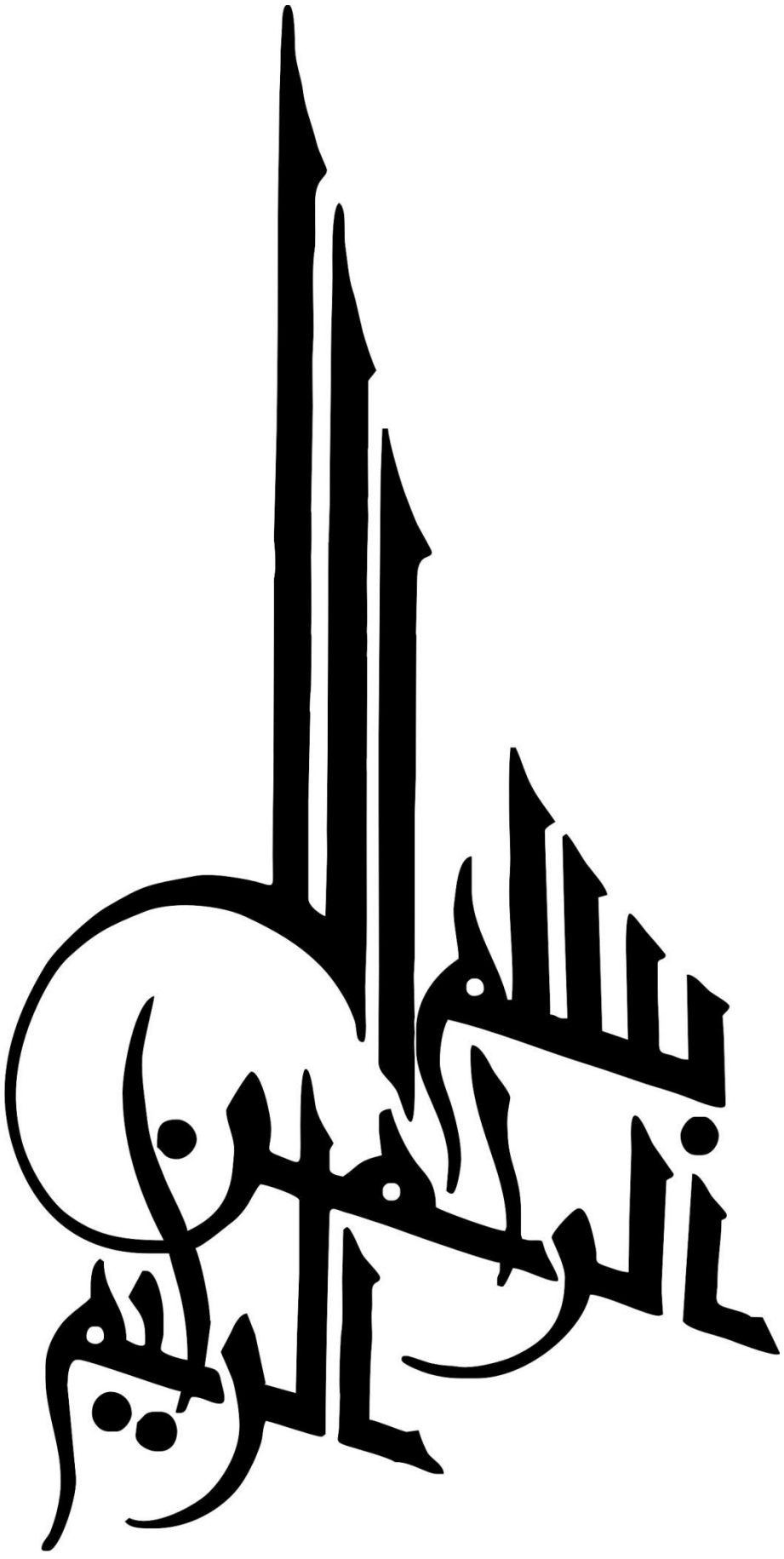
استاد مشاور:

دکترمیرجواد موسوی‌نیا

پژوهشگر:

سید سامان عقیلی

بهمن ۱۳۹۰


بسم الله الرحمن الرحيم

تقدیم به خانواده عزیزم

تقدیر و تشکر

حمد و ستایش خدای را سزد که هرچه هست از لطف اوست.

بر خود لازم میدانم از زحمات اساتیدی که از ابتدای دوران تحصیل تا کنون من را درکسب علم و دانش یاری نمودند، خصوصاً اساتید محترم گروه الکترونیک دانشکده مهندسی برق وکامپیوتر دانشگاه تبریز، تشکر و سپاسگزاری نمایم.

همچنین از خانواده عزیزم که همیشه در کنار من بوده و با فداکاری‌ها وزحمات بی‌دریغ خود زمینه موفقیت من را فراهم ساختند تشکر و قدردانی مینمایم.

بهترین تشکراتم را تقدیم به اساتید ارجمندم دکتر قادر کریمیان و دکتر جعفر صبحی می‌نمایم که در طول این دوره از محضر ایشان استفاده فراوانی نمودم وبا همه فراز و نشیب‌ها همواره پشتیبان من بوده‌اند.

همچنین از کلیه دوستان و هم اتاقی‌های عزیزم بویژه آقایان علی صباغی‌فر، کامبیز نظامی، هومن دهقانی، مهدی سیدین، ، میرمجید قاسمی، علیرضا خلیل زاده، نوید وفایی، امیر وافی، ابوذر غفاری، سلمان نخجیرکان، مهرداد احمدی، محمد احمدلو، سهند محرمی و سایرین که در طول این دو سال همواره در کنار من و همراه من در سختی‌ها و شادی‌هایم بوده اند تشکر و قدردانی ویژه دارم.

در آخرجای دارد که از همکارانم در گروه WSN ،بویژه مهندس صحافی و مهندس فرهانیه، که به مدت یکسال صمیمانه درکنار من بوده و مرا یاری نمودند تشکر نمایم.

سید سامان عقیلی

بهمن ۱۳۹۰

نام خانوادگی دانشجو: **عقیلی** نام: **سید سامان**

عنوان پایان‌نامه: **طراحی و شبیه سازی هسته دیجیتال برای یک فرستنده وگیرنده ZigBee در فرکانس 2.4 GHz برای کاربردهای WSN**

استاد راهنمای اول: **دکتر قادر کریمیان** استاد راهنمای دوم: **دکتر جعفر صبحی**

استاد مشاور: **دکتر میر جواد موسوی‌نیا**

مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد رشته: برق گرایش: الکترونیک-طراحی مدار مجتمع آنالوگ

دانشکده: برق و کامپیوتر تاریخ فارغ‌التحصیلی: بهمن ۱۳۹۰ تعداد صفحه: ۱۰۲

کلید واژه‌ها: **هسته دیجیتال، پردازنده‌ی باند پایه، فرستنده-گیرنده، دمدولاتور، WSN، IEEE802.15.4، ZIGBEE، BER، PER، DSSS، MSK، FPGA، Verilog**

چکیده:

ارتباطات بی‌سیم برد کوتاه با توان مصرفی پایین، بیشترین تقاضا را بین همه ارتباطات بی‌سیم دارا است. دستگاه های ارتباطی که بتوانند با یک باتری، بدون نیاز به تعویض آن، به مدت چندین سال به کار خود ادامه دهند، می‌توانند پیاده سازی کاربردهایی که در آن‌ها تعویض باتری غیر ممکن یا بسیار گران است را امکان‌پذیر سازند.

استاندارد IEEE 802.15.4/ZIGBEE برای پوشش کاربرد هایی با توان مصرفی پایین و همچنین هزینه نهایی ساخت ارزان، به عرصه تکنولوژی عرضه شده است ؛ بطوری که به علت مدت عملکرد کوتاه این دستگاه هادر زمان روشن بودنشان، که کمتر از ۱٪ می‌باشد، منبع تغذیه این دستگاه ها سال ها عمر می‌کند[1] .

.امروزه روند طراحی و ساخت این دستگاه‌ها به سمت یک سیستم روی چیپ ،شامل قسمت‌های آنالوگ و دیجیتال سوق پیدا کرده است.پردازنده‌ی باند پایه یکی از قسمت‌های مهم فرستنده-گیرنده‌ی IEEE802.15.4/ZIGBEE می‌باشد که به صورت آنالوگ یا دیجیتال پیاده‌سازی می‌شود. در این پایان نامه یک پردازنده‌ی باند پایه دیجیتال با پیچیدگی بسیار پایین برای این فرستنده-گیرنده در فرکانس 2.45GHz ارائه شده است که عملکرد خوبی در مقابل سایر کارهای انجام شده دارد.پردازنده ارائه شده دارای حجم سخت افزاری بسیار پایینی می باشد و در پیاده‌سازی سخت افزاری آن از تکنیک‌های کاهش توان استفاده شده است و می‌تواند در SNR=6.8dB به PER=1% برسد.

این پردازنده ابتدا در نرم افزار MATLAB و سپس توسط کد Verilog به صورت سخت افزاری روی FPGA مدل Stratix پیاده سازی شده است. همچنین قابل Layout وساخت در تکنولوژی 0.18um می‌باشد.

فهرست مطالب

تقدیر و تشکر ..... ث

فهرست مطالب ..... ح

فهرست شکل ها ..... ر

فهرست جدولها ..... ش

۱ مقدمه ۱

۱-۱ انگیزه تحقیق ۱

۱-۲ پیکربندی پایان نامه ۲

۲ مروری بر استاندارد IEEE 802.15.4/ZIGBEE ۴

۲-۱ مخابرات برد کوتاه ۴

۲-۲ مبانی استاندارد IEEE 802. 15.4/ZIGBEE ۶

۲-۲-۱ توپولوژی و اجرای شبکه ۸

۲-۲-۲ امنیت ۹

۲-۲-۳ کاربردهای ZIGBEE ۱۰

۲-۲-۴ باندهای فرکانسی ۱۰

۲-۲-۵ مشخصات لایه ی فیزیکی IEEE 802.15.4/2450MHZ ۱۲

۲-۲-۵-۱ مدولاسیون و گسترده‌سازی ۱۲

۲-۲-۵-۲ ساختار داده‌ها ۱۶

۲-۲-۵-۳ مشخصات رادیویی باند 2450MHZ ۱۷

۲-۲-۵-۳-۱ میزان حساسیت ۱۷

۲-۲-۵-۳-۲ ویژگی‌های بلاکر ۱۷

۲-۲-۵-۳-۳ گستره‌ی دینامیکی ۱۸

۲-۲-۵-۳-۴ خطای نرخ سمبل ۱۸

۲-۲-۵-۴ مشخصات عمومی رادیویی IEEE 802.15.4 ..... ۱۸
۲-۲-۵-۴-۱ توان ارسالی ۱۸
۲-۲-۵-۴-۲ دامنه‌ی بردار خطا (ENM) ۱۸
۲-۲-۵-۵ خلاصه‌ای از ویژگی‌های استاندارد ۱۹
۲-۳ ZIGBEE در مقابل سایر استانداردهای برد کوتاه ۲۰
۳ ساختار باند پایه در فرستنده-گیرنده IEEE802.15.4/ZIGBEE در فرکانس 2.4GHz ۲۱
۳-۱ ساختار کلی فرستنده ـ گیرنده IEEE 802.15.4/ZigBee ۲۱
۳-۲ کارهای قبلی ۲۲
۳-۳ ساختار فرستنده ۲۴
۳-۳-۱ مدولاسیون ۲۵
۳-۳-۲ شکل دهی پالس ۳۰
۳-۴ ساختار گیرنده ۳۱
۳-۴-۱ تشخیص بسته ی اطلاعات (Packet Detection) ۳۱
۳-۴-۲ همزمان سازی (Synchronization) ۳۲
۳-۴-۲-۱ همزمان‌سازی زمان‌بندی ۳۶
۳-۴-۲-۲ بازیابی فرکانس حامل ۳۸
۳-۴-۲-۳ بازیابی فاز حامل ۴۰
۳-۴-۲-۴ روش‌های مشترک ۴۲
۳-۴-۳ دمدولاسیون و De-Spreading ۴۲
٤ طراحی باند پایه ی دیجیتال و شبیه سازی در MATLAB ۴۴
۴-۱ فرستنده ی دیجیتال باند پایه ۴۴
۴-۲ گیرنده ی دیجیتال باند پایه ۴۵
۴-۲-۱ بلوک تشخیص دهنده ی بسته ی اطلاعات ۴۵
۴-۲-۲ بلوک محاسبه گر فاز ۴۶

۴-۲-۳ بلوک همزمان سازی زمان بندی ۴۷
۴-۲-۴ بلوک حذف آفست فرکانسی ۴۸
۴-۲-۵ دمدولاتور ۴۸
۴-۲-۶ همزمان ساز بسته اطلاعات و De-Spreading ۴۹
۴-۳ شبیه سازی فرستنده ـ گیرنده دیجیتال باند پایه در MATLAB ۵۱
۵ پیاده سازی سخت‌افزاری ۶۴
۵-۱ روش پیاده سازی ۶۴
۵-۲ پیاده سازی فرستنده ۶۵
۵-۲-۱ بلوک clk_gen ۶۵
۵-۲-۲ بلوک bit2.symbol ۶۷
۵-۲-۳ بلوک sym2chip ۶۷
۵-۲-۴ بلوک par2ser ۶۷
۵-۲-۵ بلوک diffencoder ۶۸
۵-۲-۶ بلوک pulseshaping_IQ ۶۸
۵-۲-۷ بلوک delay ۷۰
۵-۲-۸ نتایج پیاده سازی فرستنده ۷۰
۵-۳ پیاده سازی گیرنده ۷۱
۵-۳-۱ بلوک packet_det ۷۱
۵-۳-۲ بلوک phase_co ۷۳
۵-۳-۳ بلوک expectation_co ۷۵
۵-۳-۴ بلوک max_finder ۷۶
۵-۳-۵ بلوک foc ۷۷
۵-۳-۶ بلوک preamb_remove ۷۷
۵-۳-۷ بلوک chip2sym ۷۸

۵-۳-۸ بلوک sym2bit ۷۹
۵-۳-۹ نتایج پیاده سازی گیرنده ۷۹
٦ نتیجه گیری و پیشنهادات ۸۱
۶-۱ نتیجه گیری ۸۱
۶-۲ پیشنهادات ۸۲
منابع ۸۳

فهرست شکل ها

شکل ۲-۱ گروه بندی استانداردهای بی سیم برد کوتاه[1].....۵

شکل ۲-۲ چارت استاندارد های بی سیم برد کوتاه [4].....۵

شکل ۲-۳ لایه های پروتکل شبکه بی سیم ZIGBEE [1] ۷

شکل ۲-۴ نمونه های توپولوژی یک به یک و ستاره [6].....۸

شکل ۲-۵ کاربردهای استاندارد بی سیم ZIGBEE.....۱۱

شکل ۲-۶ باند های فرکانسی IEEE 802.15.4/ZIGBEE [4].....۱۱

شکل ۲-۷ گسترده سازی و Despreading می تواند SNR را بهبود دهد واثر تداخل را کم کند [1] ۱۴

شکل ۲-۸ آفست چیپ در OQPSK [6] ۱۵

شکل ۲-۹ نمونه ی دنباله چیپ ها ی باند پایه با شکل دهی پالس.....۱۵

شکل ۲-۱۰ عملکرد گسترده سازی و مدولاسیون در باند 2.4 GHz [1].....۱۶

شکل ۲-۱۱ قالب بسته اطلاعات.....۱۷

شکل ۲-۱۲ محاسبه EVM [6].....۱۹

شکل ۳-۱ ساختار فرستنده-گیرنده ی IEEE802.15.4/ZIGBEE ۲۲

شکل ۳-۲ ساختار کلی باند پایه در فرستنده ی IEEE802.15.4/ZIGBEE.....۲۴

شکل ۳-۳ دیاگرام نجومی سیگنال OQPSK ۲۵

شکل ۳-۴ شکل موج های QPSK [9].....۲۷

شکل ۳-۵ شکل موج های سیگنال MSK [9].....۲۹

شکل ۳-۶ شکل دهنده پالسی با معماری DDS [24] ۳۰

شکل ۳-۷ ساختار کلی باند پایه در گیرنده ی IEEE802.15.4/ZIGBEE.....۳۱

شکل ۳-۸ بلوک دیاگرام الگوریتم تشخیص بسته ی اطلاعات ۳۲

شکل ۳-۹ (الف)سیگنال I تولید شده در فرستنده ی باند پایه دیجیتال (ب)سیگنال دریافت شده ی I در قسمت باند پایه ی دیجیتال گیرنده ۳۴

شکل ۳-۱۰ (الف)فاز سیگنال تولید شده در فرستنده ی باند پایه دیجیتال (ب)فاز سیگنال دریافت شده در قسمت باند پایه ی دیجیتال گیرنده ۳۴

شکل ۳-۱۱ ساختار الگوریتم های همزمان سازی(الف) ساختار فیدبک (ب)ساختار فیدفوروارد .۳۵

شکل ۳-۱۲ (الف)نمومه برداری از فاز سیگنال MSK در با زمان درست واشتباه (ب)اثر خطای

زمان بندی روی فاز سیگنال MSK (ج)سیگنال MSK بعد از همزمان سازی زمان بندی..... ۳۷
شکل ۳-۱۳ بلوک دیاگرام کلی روش DM..... ۳۸
شکل ۳-۱۴ (الف)خطای آفست فرکانسی (ب)اثر خطای آفست فرکانسی روی فاز سیگنال MSK
(ج)سیگنال MSK بعد از حذف خطای آفست فرکانسی ۳۹
شکل ۳-۱۵ بلوک دیاگرام تخمین زن فرکانس حلقه بسته [26] ۴۰
شکل ۳-۱۶ (الف)اثر خطای آفست فاز روی سیگنال MSK (ج)سیگنال MSK بعد از حذف خطای
آفست فاز ۴۱
شکل ۳-۱۷ (الف)کدکننده ی تفاضلی (ب) دیکدر تفاضلی ۴۱
شکل ۳-۱۸ دمدولاتور تفاضلی با مدار اصلاح خطا..... ۴۳
شکل ۴-۱ طرح بلوک دیاگرامی فرستنده باند پایه دیجیتال ارائه شده ۴۴
شکل ۴-۲ طرح بلوک دیاگرامی گیرنده ی باند پایه دیجیتال ارائه شده ۴۵
شکل ۴-۳ همزمان سازی چیپ های ورودی ۵۰
شکل ۴-۴ (الف)فرستنده-گیرنده ی باند پایه دیجیتال پیاده سازی شده در MATLAB
Simulink (ب)فرستنده-گیرنده ی IEEE802.15.4/ZIGBEE پیاده سازی شده در MATLAB
Simulink..... ۵۲
شکل ۴-۵ (الف)چیپ های ارسالی (ب)سیگنال MSK شاخه ی I (ب) سیگنال MSK شاخه ی Q
..... ۵۴
شکل ۴-۶ نمودار BER-Eb/N0 برای رزولوشن های مختلف ADC ۵۵
شکل ۴-۷ خروجی بلوک تشخیص دهنده ی بسته اطلاعات برای طول های مختلف L ۵۶
شکل ۴-۸ نمودار BER-Eb/N0 برای مقادیر مختلف n ۵۷
شکل ۴-۹ نمودار BER-Eb/N0 برای مقادیر مختلف کوانتیزاسیون q..... ۵۸
شکل ۴-۱۰ ترخ خطای بلوک همزمان سازی زمان بندی ۵۹
شکل ۴-۱۱ نمودار خطای گیرنده ی باند پایه ی دیجیتال برای مقادیر مختلف آفست فرکانسی
برحسب Eb/N0..... ۶۰
شکل ۴-۱۲ نمودار خطای گیرنده ی باند پایه ی دیجیتال برای مقادیر مختلف آفست فرکانسی
برحسب SNR ۶۰
شکل ۴-۱۳ نمودار PER گیرنده ی باند پایه ی دیجیتال برای حداکثر آفست فرکانسی ۶۲
شکل ۴-۱۴ (الف) مقاومت گیرنده ی باند پایه ارائه شده در برابر آفست های زمانی مختلف (ب)
مقاومت گیرنده ی باند پایه [41] در برابر آفست های زمانی مختلف..... ۶۲

شکل ۴-۱۵ BER گیرنده ی ارائه شده در این کار و [16] ۶۳
شکل ۵-۱ معماری فرستنده ۶۶
شکل ۵-۲ شکل موج های بلوک clk_gen ۶۷
شکل ۵-۳ سیگنال های بلوک bit2symbol تا انتهای بلوک diffencoder ۶۸
شکل ۵-۴ نمونه های موج سینوسی برای شکل دهی پالس..... ۶۹
شکل ۵-۵ سیگنال های بلوک pulseshaping_IQ..... ۷۰
شکل ۵-۶ معماری گیرنده..... ۷۲
شکل ۵-۷ ساختار بلوک packet_det ۷۳
شکل ۵-۸ تخمین تابع tg^{-1} با n=5 ..... ۷۴
شکل ۵-۹ سیگنال های بلوک phase_co ۷۵
شکل ۵-۱۰ ساختار بلوک expectation_co ۷۶
شکل ۵-۱۱ سیگنال های بلوک max_finder ۷۷
شکل ۵-۱۲ ساختار بلوک preamb_remove..... ۷۸
شکل ۵-۱۳ ساختار بلوک chip2sym..... ۷۹

فهرست جدول‌ها

جدول ۲-۱ نرخ تبادل اطلاعات،نوع مدولاسیون و فرکانس های عملکرد [1].....۱۲
جدول ۲-۲ جدول نگاشت سمبل به چیپ [6].....۱۳
جدول ۲-۳ خلاصه ی مشخصات استاندارد IEEE802.15.4/ZIGBEE ۱۹
جدول ۲-۴ خلاصه ی استانداردهای برد کوتاه بی سیم [4].....۲۰
جدول ۴-۱ حداقل فاصله بین کدهای فرستاده شده در IEEE802.15.4 [4].....۵۱
جدول ۴-۲ مشخصات کلی فرستنده-گیرنده ی IEEE802.15.4/ZIGBEE.....۵۳
جدول ۴-۳ پارامترهای بهینه ی باند پایه ی دیجیتال ۵۹
جدول ۴-۴ مقایسه پردازنده های باند پایه ی دیجیتال ۶۳
جدول ۵-۱ نتایج پیاده سازی فرستنده روی FPGA توسط نرم افزار QuartusII.....۷۱
جدول ۵-۲ نتایج پیاده سازی گیرنده روی FPGA توسط نرم افزار QuartusII.....۸۰

۱ مقدمه

۱-۱انگیزه تحقیق

شبکه‌های حسگر بی‌سیم[1](WSN) یکی از مهم‌ترین دستاوردهای بشر در حوزه‌ی فناوری می‌باشد. فناوری‌ای که زندگی انسان درون را در زمینه‌ی ارتباطات بهبود بخشید. در حال حاضر شبکه‌های حسگر بی‌سیم یکی از موضوعات فعال تحقیقاتی در علوم کامپیوتر و ارتباطات است که هر ساله تعداد بی‌شماری کارگاه و کنفرانس در این زمینه برگزار می‌شود. یک شبکه‌ی حسگر بی‌سیم به یک شبکه از حسگرهای خود راهبر گفته می‌شود که با فاصله پخش شده‌اند و برای اندازه‌گیری گروهی برخی از کمیت‌های فیزیکی یا شرایط محیطی به کار می‌روند. علاوه بر یک یا چند حسگر، هر گره شبکه معمولاً مجهز به یک فرستنده و گیرنده‌ی رادیویی، یک میکروکنترلر کوچک (هسته‌ی دیجیتال) و یک منبع انرژی است. با توجه به کاربرد WSN در زمینه‌های مختلف بحث مصرف توان و قیمت تمام شده یک چالش اساسی برای افزایش گستره‌ی عملکرد این شبکه‌ها می‌باشد.

علاوه بر این در بعضی کاربردها از قبیل حسگرهای توکار، برچسب‌های هوشمند، کاربردهای خانگی و برچسب‌های زیرزمینی برای سیستم‌های با مسیریابی کور، نیازمند عمر باتری زیاد به خاطر در دسترس نبودن این حسگرها و همینطور دوام بالا علیرغم قیمت تمام شده‌ی این حسگرها می‌باشند. در دهه‌های اخیر استانداردهای زیادی برای برآورده شدن چنین کاربردهایی معرفی شده‌اند. IEEE802.

[1] . Wireless Sensor Network

15.4/ZIGBEE به عنوان یک نمونه از شبکه‌های بی‌سیم خصوصی[1] (WPAN) یکی از استانداردهای مهم با توان پایین است. این استاندارد سرعت‌های پایین و محدوده‌های عملیاتی کوچک را پشتیبانی می‌کند و توان مصرفی آن ده‌برابر کمتر از بلوتوث می‌باشد. IEEE 802.15.4/ZIGBEE تنها در کمتر از ۰.۱٪ زمان روشن بودن خود عمل می‌کند (زمان وظیفه کم)[2]، بنابراین توان مصرفی فعال کاهش می‌یابد. علاوه بر این استاندارد ویژگی‌های دیگری نیز دارد که باعث می‌شود طراحان آنالوگ و دیجیتال بتوانند با کم کردن توان نیز همچنان به عملکرد مناسب دست پیدا کنند. IEEE 802.15.4 مشخصات لایه‌ی فیزیکی[3] و لایه‌ی MAC[4] و ZIGBEEE مشخصات لایه‌های بالاتر پروتکل از Network تا Application را تعریف می‌کنند. لایه‌ی فیزیکی دارای بخش‌های رادیویی، پردازشی و کنترلی می‌باشد. پیاده‌سازی این بخش‌ها به صورت مجزا و متصل کردن آنها توسط یک بورد می‌تواند توان مصرفی و همین‌طور هزینه‌ی تمام شده را افزایش دهد. لیکن امروزه روند طراحی و ساخت توسط محققین و شرکت‌ها به سوی طراحی تمام این بخش‌ها به صورت مجتمع و به صورت یک سیستم روی چیپ[5] (SOC) سوق پیدا کرده است، کاری که امروزه غول‌های ساخت مدارات مجتمع در دنیا مانند Texas Instrument، ATMEL و Microchip به سوی آن گام برداشته‌اند. این پروژه در دانشگاه تبریز و در غالب یک گروه هفت نفره در حال انجام می باشد.پیاده‌سازی بخش باند پایه[6] در این سیستم‌ها به صورت آنالوگ و دیجیتال و یا ترکیبی از این دو و همچنین به صورت نرم‌افزاری و با استفاده از ریز پردازنده های عمومی ممکن می‌باشد. اما افزایش توان مصرفی هزینه‌ای است که باید در قبال پیاده‌سازی آنالوگ و یا نرم‌افزاری این بخش متحمل شد. پیاده‌سازی دیجیتال باند پایه به صورت یک پردازنده‌ی کمکی به‌عنوان یک بخش از مدار مجتمع SOC می‌تواند علاوه بر کاهش توان و هزینه، عملکرد بهتری را نیز برای این بخش به ارمغان بیاورد.

۱-۲پیکربندی پایان نامه

این پایان‌نامه در پنج فصل تنظیم شده است.فصل دوم استانداردهای برد کوتاه را به سادگی معرفی می‌کند و مروری بر مبانی استاندارد IEEE 802.15.4/ZIGBEE خواهد داشت و در نهایت ویژگی‌های آن در مقابل سایر استانداردهای برد کوتاه بیان می‌شود.فصل دوم به بررسی ساختار کلی باند پایه‌ی

[1] . Wireless Personal Area Network
[2] . Low Duty Cycle
[3] . Physical Layer
[4] . Medium Access Control
[5] . System On Chip
[6] . Baseband

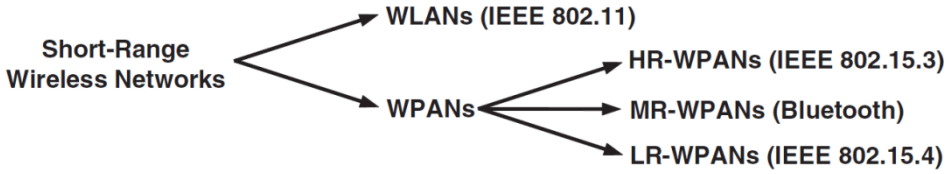
فرستنده-گیرنده‌ی IEEE 802.15.4/ZIGBEE خواهد پرداخت وسپس کارهای انجام شده در زمینه‌ی طراحی و ساخت فرستنده-گیرنده‌ی ZIGBEE وپردازنده‌ی باند پایه بررسی می‌شود، در ادامه اصول طراحی پردازنده‌ی باند پایه بیان می‌شود و ضمن معرفی بخش‌های مختلف آن، الگوریتم‌ها و روش‌های ارائه شده برای هر بخش بررسی می‌شود. در فصل چهارم ساختار پردازنده‌ی باند پایه‌ی ارائه شده معرفی می‌گردد و به بررسی هر یک از بخش‌ها می‌پردازد، سپس نتایج شبیه‌سازی حاصل از پیاده‌سازی ساختار ارائه شده در نرم‌افزار MATLAB ارائه می‌شود و مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرد، همچنین پارامتر-های سیستمی مورد نیاز برای طراحی سخت‌افزاری به دست آورده می‌شود. فصل پنجم مربوط به پیاده سازی سخت افزاری ساختار ارائه شده می‌باشد که جزئیات سخت‌افزار بخش‌های مختلف گیرنده و فرستنده‌ی باند پایه دیجیتال ارائه شده را بیان می‌کند.

۲ مروری بر استاندارد IEEE 802.15.4/ZIGBEE

۲-۱مخابرات برد کوتاه

امروزه تبادل اطلاعات به صورت بی‌سیم در بسیاری از ابزارهای مورد نیاز برای زندگی ما نفوذ کرده است. نیاز ما به ابزارهای سیار، پربهره و در دسترس اهمیت خود را در بسیاری از زمینه‌ها ثابت کرده است؛ سرویس‌های اینترنت بی‌سیم در کافه‌ها یا فرودگاه‌ها، مدیریت صنعتی هوشمند، وسیله‌های نمایش اطلاعات و سیستم‌های ماشین به ماشین (M2M)، سیستم‌های امنیتی هوشمند، همه و همه از این جمله می‌باشند. ویژگی رایج در چنین کاربردهایی برد عملیاتی کوتاه ($<۱۰۰^{m}$) آنها می‌باشد. هر کاربردی ویژگی‌های مورد نیاز خود از قبیل اطلاعات خروجی، توان مصرفی و برد عملیاتی را داراست. این ویژگی‌ها باند فرکانسی، پهنای باند مورد نیاز و توان ارسال شده را مشخص می‌سازد. بخاطر محدودیت پهنای باند موجود و همچنین تداخل ویرانگری که ممکن است بین اطلاعات ارسالی از وسیله‌های مختلف به وجود بیاید، تنظیماتی برای هر ناحیه (اروپا، ژاپن، کانادا و آمریکا) ارائه شده است. این تنظیمات باندهای فرکانسی مجاز که می‌تواند برای کاربردهای مختلف بهره‌برداری شوند، حداکثر توان ارسالی مجاز برای هر فرکانس و همچنین باندهای غیرمجاز را معین می‌کنند. این تنظیمات باعث می‌شود وسیله‌های مختلف با کاربردهای گوناگون به راحتی بتوانند در کنار یکدیگر کار کنند.

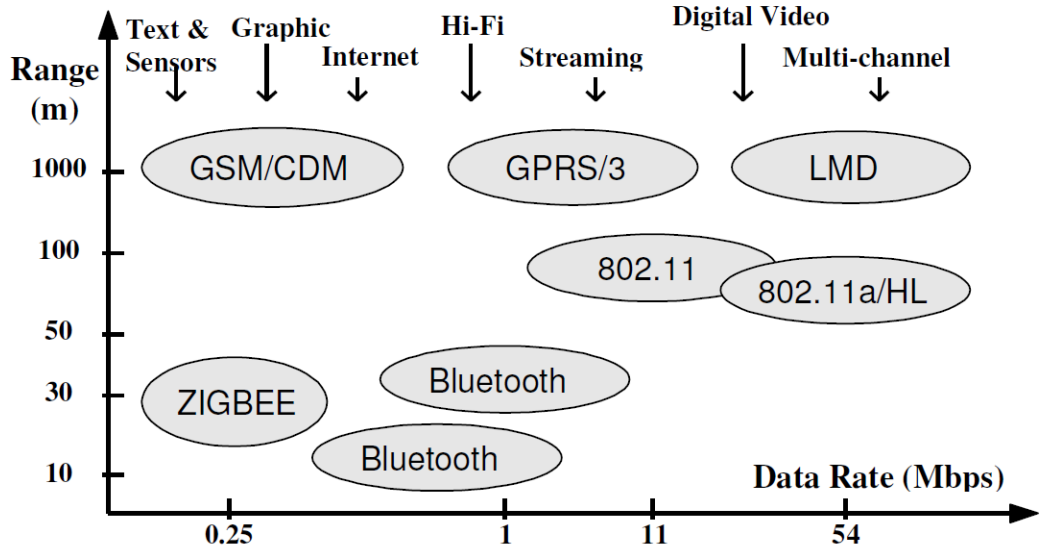
استانداردهای مخابرات بی‌سیم برد کوتاه در دهه‌ی اخیر برای پوشش دادن همه‌ی کاربردهایی با برد کوتاه بوجود آمده‌اند. شکل ۲-۱ یک طبقه‌بندی از این استانداردها را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۱ گروه بندی استانداردهای بی سیم برد کوتاه[1]

در سال 1997، IEEE استاندارد WALNs 802.11 را منتشر کرد که می‌تواند به نرخ دیتای 2Mbs دست پیدا کند. امروزه 802.11b با 11Mbps و 802.11a با نرخ ارسال اطلاعات 54Mbps ، از محبوبیت بیشتری برخوردارند[2]. این استانداردها نرخ دیتای بالایی دارند که آنها را برای بسیاری از کاربردها مناسب می‌سازند. با این همه، WLANS برای وسیله‌های محاسباتی سیار مانند نوت‌بوک‌ها و کامپیوترهای قابل حمل بهینه‌سازی شده‌اند. این وسیله‌های قابل حمل عمدتاً در جای ثابتی قرار می‌گیرند و از یک منبع تغذیه اصلی ـ مانند برق شهر ـ استفاده می‌کنند[3].

اخیراً کاربردهای بیشتری که نیازمند توان پایین‌تر، برد عملیاتی کوتاه‌تر (<۱۰m) و حتی نرخ دیتای پایین‌تری هستند به وجود آمده‌اند. شبکه‌های خصوصی بی‌سیم (WPANs) شروع به تحت پوشش قرار دادن چنین کاربردهایی کرده‌اند که نیازمند ابزارهای سیار می‌باشند که با باتری کار می‌کنند. شکل ۲-۲ نموداری از ارتباطات بی‌سیم با برد کوتاه را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲ چارت استاندارد های بی سیم برد کوتاه [4]

IEEE 802.15.1 (بلوتوث)[1] اولین استانداردی است که برمبنای مصرف توان کم و هزینه‌ی پایین به وجود آمده است. در نوامبر 1999 و حتی قبل از آن استاندارد بلوتوث کامل و منتشر شد [3].

چندین شرکت متوجه نیاز به یک استاندارد بی‌سیم برای دوربین‌ها و ارسال و دریافت داده‌های چند رسانه‌ای شدند که نیاز به نرخ دیتای بالایی دارند. بنابراین شبکه‌های خصوصی بی‌سیم پرسرعت[2] IEEE 802.15.3 (HR – WPANs) شروع به توسعه کردند.

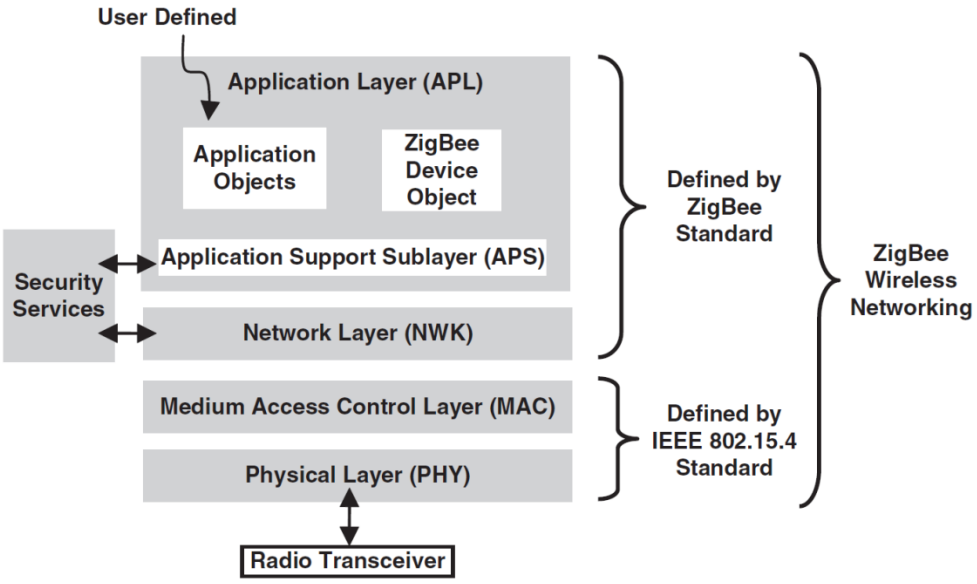
با این حال بعضی کاربردها مانند سنسورها، تگ‌های هوشمند و کاربردهای خانگی نیازمند استانداردی با سرعت بالا و نرخ تبادل داده‌ی زیاد نبودند، بلکه تنها نیازمند یک نرخ دیتای پایین با سرعت کم برای دریافت و ارسال سیگنال‌های کنترلی و سنسوری در ازای مصرف توان فوق‌العاده پایین و قیمت تمام شده کم بودند[5]. چنین ایده‌ای باعث شروع طراحی IEEE 802.15.4 (WPAN – LR) در سال ۲۰۰۰ شد تا اینکه در سال ۲۰۰۳ تکمیل و منتشر شد.

۲-۲مبانی استاندارد IEEE 802. 15.4/ZIGBEE

IEEE 802.15.4 یک استاندارد LR – WPAN است که برای کاربردهایی، نرخ دیتای کم و توان مصرفی پایین طراحی شده است. همانطور که شکل ۲-۳ نشان داده شده است این استاندارد لایه‌ی فیزیکی[3] و لایه‌ی MAC[4] را تعریف می‌کند[1]. لایه‌ی فیزیکی عملیات‌های سطح پایین شبکه از قبیل: گسترش دیتا[5]، ارسال بیت‌ها و امکان دریافت داده‌ها با توجه به عوامل تداخل و غیره را برعهده دارد. از سوی دیگر لایه‌ی MAC بسته‌های اطلاعات را می‌سازد و مقصد دیتا را در حالت ارسال معین می‌کند، در عین حال در حالت دریافت منبع ارسال را تشخیص می‌دهد و بسته‌های دریافتی را تجزیه می‌کند. همچنین این لایه کنترل دسترسی کانال[6] را تأمین می‌کند و پروتکل‌های دسترسی چندگانه کانال[7] را اجرا می‌کند. لایه‌های پایین‌تر وظیفه‌ی فراهم کردن دیتاهای لازم برای لایه‌های بالاتر را دارند. لایه‌های بالایی شبکه توسط ZIGBEE تعریف شده است[6]. ZIGBEE کنسرسیولی متشکل از صدها شرکت بزرگ است که گرد هم آمدند تا استاندارد ارتباطی بی‌سیم ارزان و کاربرد آن را نیز ارائه نمایند تا کمپانی‌ها قادر به تولید محصولات سازگار باشند. با تکمیل استاندارد IEEE802.15.4 در سال ۲۰۰۳

[1] - Bluetooth
[2] . High Rate Wireless Personal Area Network
[3] . Physical Layer
[4] . Medium Access Control
[5] . Data Spreading
[6] . Channel Access Control
[7] . Channel Multiple Access

ZIGBEE Alliance در سال ۲۰۰۴ ویژگی‌های ZIGBEE را تصویب کرد و در سال ۲۰۰۵ استاندارد ZIGBEE را برای عموم منتشر نمود[5].



شکل ۲-۳ لایه های پروتکل شبکه بی سیم ZIGBEE [1]

لایه‌های بالایی که توسط ZigBee Alliance تعریف شده‌اند لایه‌هایی هستند که رابط بین لایه‌های کاربردی[1]-که توسط کاربر اجرا می‌شود ـ و لایه‌ی MAC می‌باشند. لایه‌ی ZigBee دستورات نرم‌افزاری را تفسیر می‌کند و مجموعه‌ی جدید دستورات را به لایه‌ی MAC ارسال می‌نماید، همچنین توابع سطح بالای شبکه از قبیل: شروع و راه‌اندازی شبکه با اضافه یا خارج کردن یک ابزار از شبکه‌ی موجود و کشف مسیر و ذخیره‌ی جدول مسیریابی را پیاده‌سازی می‌کند.

عمر باطری می‌تواند با کاهش مصرف توان وسیله‌ی در حال کار، کاهش یابد. برای یک فرستنده و گیرنده‌ی در حال کار توان مصرفی متوسط شامل جمع وزن‌دار توان مصرفی فعال و غیرفعال آن می‌باشد که در رابطه‌ی (۲-۱) نشان داده شده است.

(۲-۱) [(زمان وظیفه - ۱) × توان غیرفعال] + [زمان وظیفه × توان فعال] = توان مصرفی متوسط

توان فعال، توانی است که وسیله در حالت فرستادن یا دریافت اطلاعات مصرف می‌کند (حالت

[1] . Application Layer