بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد

آقای علیرضا رامز پایان نامه ۶ واحدی خود را با عنوان پیاده سازی سخت افزاری دیکودر برای کدهای LDPC در تاریخ ۱۳۹۰/۱۲/۲۰ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده، پذیرش آنرا برای اخذ درجه کارشناسی ارشد الکترونیک پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر ابومسلم جان نثاری	استادیار	
استاد مشاور	دکتر حمید سعیدی	استادیار	
استاد ناظر	دکتر عبدالرضا نبوی لیشی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر صمد شیخائی	استادیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر عبدالرضا نبوی لیشی	دانشیار	

آیین‌نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی و فناوری دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیأت علمی، دانشجویان، دانش‌آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد زیر را رعایت نمایند:

ماده ۱- حق نشر و تکثیر پایان نامه/ رساله و درآمدهای حاصل از آنها متعلق به دانشگاه می باشد ولی حقوق معنوی پدید آورندگان محفوظ خواهد بود.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان‌نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و با تایید استاد راهنمای اصلی، یکی از اساتید راهنما، مشاور و یا دانشجو مسئول مکاتبات مقاله باشد. ولی مسئولیت علمی مقاله مستخرج از پایان نامه و رساله به عهده اساتید راهنما و دانشجو می باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش‌آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

ماده ۳- انتشار کتاب، نرم افزار و یا آثار ویژه (اثری هنری مانند فیلم، عکس، نقاشی و نمایشنامه) حاصل از نتایج پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی کلیه واحدهای دانشگاه اعم از دانشکده ها، مراکز تحقیقاتی، پژوهشکده ها، پارک علم و فناوری و دیگر واحدها باید با مجوز کتبی صادره از معاونت پژوهشی دانشگاه و براساس آئین نامه های مصوب انجام شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه یافته ها در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان‌نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق معاونت پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این آیین‌نامه در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ۸۷/۴/۱ در شورای پژوهشی و در تاریخ ۸۷/۴/۲۳ در هیأت رئیسه دانشگاه به تایید رسید و در جلسه مورخ ۸۷/۷/۱۵ شورای دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب در شورای دانشگاه لازم‌الاجرا است.

«اینجانب علیرضا ایمنی دانشجوی رشته مهندسی برق - الکترونیک ورودی سال تحصیلی ۸۸
مقطع کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر متعهد می شوم کلیه نکات مندرج در آئین نامه حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهش های علمی دانشگاه تربیت مدرس را در انتشار یافته های علمی مستخرج از پایان نامه / رساله تحصیلی خود رعایت نمایم. در صورت تخلف از مفاد آئین نامه فوق الاشعار به دانشگاه وکالت و نمایندگی می دهم که از طرف اینجانب نسبت به لغو امتیاز اختراع بنام بنده و یا هر گونه امتیاز دیگر و تغییر آن به نام دانشگاه اقدام نماید. ضمناً نسبت به جبران فوری ضرر و زیان حاصله بر اساس برآورد دانشگاه اقدام خواهم نمود و بدینوسیله حق هر گونه اعتراض را از خود سلب نمودم»

امضا:

تاریخ: ۱۳۹۱/۱۰/۳۰

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه کارشناسی ارشد/ ~~رساله دکتری~~ نگارنده در رشته مهندسی برق الکترونیک است که در سال ۱۳۹۰ در دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی ~~سرکار~~ ~~خانم~~/جناب آقای دکتر ابومسلم جان نثاری ، مشاوره ~~سرکار خانم~~/جناب آقای دکتر حمید سعیدی و مشاوره سرکار خانم/جناب آقای دکتر ــــــــ از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب علیرضا رامز دانشجوی رشته مهندسی برق الکترونیک مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: علیرضا رامز

تاریخ و امضا: ۲۰/۱۱/۱۳۹۱

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق-الکترونیک (گرایش مدار و سیستم)

پیاده سازی سخت افزاری دیکودر برای کدهای LDPC

علیرضا رامز

استاد راهنما:

دکتر ابومسلم جان نثاری

استاد مشاور:

دکتر حمید سعیدی

اسفند ۱۳۹۰

چکیده

امروزه ارسال و دریافت اطلاعات به شکل صحیح بر روی کانال‌های نویزی یک فاکتور بسیار مهم در ارتباطات بی سیم به شمار می‌رود. به همین علت کدهای تصحیح خطا توسعه زیادی پیدا کرده‌اند. در سالیان اخیر کدهای چک پریتی با چگالی کم (LDPC) به واسطه قدرت تصحیح خطای قابل ملاحظه‌شان توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند و به همین علت برای استاندارد های مختلف نسل جدید سیستم‌های مخابراتی از جمله سیستم‌های وایمکس و WLAN پیشنهاد گردیده‌اند. در کنار مزیت‌های بسیار این نوع کدگذاری، استفاده از آن‌ها در سیستم‌های مخابراتی سیار بی‌سیم با چالش‌هایی روبرو است. از این رو، مسئله پیاده سازی کارآمد دکودر برای این کدها به صورت جدی مطرح می‌باشد. هدف این پژوهش در وهله اول پیاده سازی با بیشترین دقت و با کمترین خطای پیاده سازی نسبت به شبیه سازی رفتاری است. در این بین کدهای QC-LDPC برای سیستم وایمکس طراحی و بهترین الگوریتم برای پیاده سازی کد طراحی شده، انتخاب شده است. سپس بستر سخت افزاری (Xilinx Virtex 4 XC4VLX160)FPGA برای پیاده سازی انتخاب شده است، تا با استفاده از خاصیت انعطاف پذیری آن، تأثیر پارامتر های مختلف دخیل در کدهای LDPC در طراحی این کدها عملاً مشاهده شده و در نهایت بعد از تصمیم گیری در مورد خصوصیات نهایی کد به عنوان قدم بعدی پیاده سازی در سطح ASIC انجام پذیرد.

کلید واژه:

کدهای چک پریتی با چگالی کم،LDPC،کدگذاری کانال،پیاده سازی سخت افزاری،دکودر کانال، وایمکس، QC-LDPC

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... **ج**

فهرست شکل‌ها ..... **د**

فصل ۱: مقدمه **۱**

۱-۱- پیشگفتار ۲

۱-۲- انگیزه و اهداف پروژه ۳

۱-۳- ساختار پایان نامه ۴

فصل ۲: برخی مفاهیم در مورد کدهای LDPC **۵**

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۲- کدگذاری کانال ۶

۲-۲-۲- حد شانون ۷

۲-۲-۳- کد های تصحیح خطا ۹

۲-۲-۴- کدهای بلوکی ۱۰

۲-۳- کدهای LDPC ۱۲

۲-۳-۱- تاریخچه ۱۲

۲-۳-۲- نمایش کدهای LDPC ۱۳

۲-۳-۳- الگوریتم‌های مبتنی بر گراف ۱۹

۲-۳-۴- دسته بندی کدهای LDPC ۲۴

۲-۳-۵- ساخت و انکودینگ کدهای LDPC ۲۵

۲-۴- بررسی روش‌های پیاده سازی دکودر ۲۶

۲-۴-۱- مقایسه پیاده سازی آنالوگ و دیجیتال ۲۶

۲-۴-۲- بررسی ساختارهای پیاده سازی ۳۱

۲-۵- جمع بندی فصل ۳۵

فصل ۳: طراحی مدل رفتاری **۳۶**

۳-۱- مقدمه ۳۷

۳-۲- کدهای QC-LDPC ۳۷

۳-۲-۱- ماتریس پریتی چک برای وایمکس ۳۹

۳-۳- دکودینگ ۴۱

۳-۳-۲- دکدینگ با روش تصمیم گیری سخت ۴۲

۳-۳-۳- دکدینگ با روش تصمیم گیری نرم ۴۴

۳-۳-۴- الگوریتم دکدینگ کدهای LDPCدر فضای لگاریتمی ۴۷

۳-۳-۵- الگوریتم Min-Sum و نسخه بهبود یافته آن ۴۹

۳-۴- بررسی پارامترها موثر در دکودینگ ۵۲

۳-۴-۱- تأثیر تعداد تکرارها بر عملکرد سیستم ۵۲
۳-۴-۲- تأثیر تعداد بیت‌های کوانتیزیشن بر عملکرد سیستم ۵۴
۳-۵- نتیجه گیری ۵۶
فصل ۴: پیاده سازی ۵۷
۴-۱- مقدمه ۵۸
۴-۲- پیاده سازی نیمه موازی کدهای QC-LDPC و حل مشکل تداخل حافظه برای آن‌ها ۵۸
۴-۳- روش همپوشانی پیام ۶۰
۴-۴- نتایج پیاده سازی ۶۲
فصل ۵: نتیجه گیری و ارائه پیشنهادها ۶۷
۵-۱- مقدمه ۶۸
۵-۲- نتیجه گیری ۶۸
۵-۲-۱- ارائه پیشنهادات ۶۹
فهرست مراجع ۷۰

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول (۳-۱) مقادیر مختلف z برای نرخ‌ها و طول مدهای مختلف برای سیستم وایمکس..... ۴۱
جدول (۳-۲) مروری بر روی پیام‌های دریافتی و ارسالی توسط گره‌های Cدر مرحله دوم از الگوریتم message passing [۲۴] ۴۳
جدول (۳-۳) مرحله سوم الگوریتم دکدینگ توصیف شده - گره‌های Vبا استفاده از پیام‌های پاسخ از گره‌های C برای یافتن مقدار بیت رأی گیری می‌کنند [۲۴]..... ۴۴
جدول (۴-۱) نتایج پیاده سازی بر روی Xilinx FPGA virtex4lx160..... ۶۴
جدول (۴-۲) مقایسه سطح تراشه و توان مصرفی دکودر پیشنهادی با کارهای مشابه ۷۱

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل (۲-۱) شمای کلی یک سیستم مخابراتی ۷
شکل (۲-۲) ماتریس پریتی چک یک کد بلوکی خطی به طول (۵,۱۰)..... ۱۳
شکل (۲-۳) گراف تنر یک کد بلوکی خطی به طول (۵,۱۰)..... ۱۵
شکل (۲-۴) نمایش گراف عاملی تابع توزیع احتمال پسین توأم برای کلمات کد شکل (۲-۳) ۱۹
شکل (۲-۵) یک گره کلی در گراف عامل به همراه پیغام‌های ورودی و خروجی..... ۲۰
شکل (۲-۶) پیغام‌های ورودی و خروجی در (الف) گره پریتی چک (ب) گره متغیر ۲۳
شکل (۲-۷) ماتریس پریتی چک و گراف متناظر یک کد LDPC بی قاعده..... ۲۵
شکل (۲-۸) یک جمع کننده ساده آنالوگی با چهار ورودی ۲۸
شکل (۲-۹) یک جمع کننده ساده دیجیتالی با چهار ورودی با استفاده از سه Full-Adder..... ۲۸
شکل (۲-۱۰) گراف تنر و ساختار پیاده سازی موازی آن [۴۰]..... ۳۲
شکل (۲-۱۱) ساختار پیاده سازی سری یک دکودر LDPC ۳۲
شکل (۲-۱۲) ساختار پیاده سازی نیمه موازی یک دکودر LDPC..... ۳۳
شکل (۲-۱۳) گراف تنر یک کد LDPC..... ۳۴
شکل (۳-۱) ماتریس پریتی چک برای سیستم وایمکس ۳۹
شکل (۳-۲) ماتریس H_{b2} بخشی از ماتریس H_b که در سیستم وایمکس استفاده شده است ۴۰
شکل (۳-۳) ماتریس H طراحی شده به طول ۲۳۰۴ و نرخ 5/6..... ۴۱
شکل (۳-۴) یک گراف تنر برای نمایش کد LDPC [۲۴] ۴۳
شکل (۳-۵) محاسبه $r_{ji}(b)$ و $q_{ij}(b)$ [۲۴]..... ۴۶
شکل (۳-۶) بررسی تأثیر پارامتر β در الگوریتم OMS..... ۵۱
شکل (۳-۷) مقایسه عملکرد الگوریتم‌های BP، MS و OMS الف) نمودار BER در مقابل Eb/N0 ب) نمودار FER در مقابل Eb/N0 ..... ۵۲
شکل (۳-۸) بررسی تأثیر تعداد تکرارها برای کد طراحی شده برای سیستم وایمکس الف) نمودار BER در مقابل Eb/N0 ب) نمودار FER در مقابل Eb/N0..... ۵۴
شکل (۳-۹) بررسی تأثیر تعداد بیت‌های کوانتیزیشن برای تعداد تکرار های ۳۰ و ۴۰ الف) نمودار BER در مقابل Eb/N0 ب) نمودار FER در مقابل Eb/N0..... ۵۵
شکل (۴-۱) زیر ماتریس یک کد QC-LDPC..... ۵۹
شکل (۴-۲) مشکل تداخل در دسترسی به حافظه و راه حل آن..... ۶۰
شکل (۴-۳) روش همپوشانی پیام..... ۶۱
شکل (۴-۴) ماتریس پریتی چک یک کد QC-LDPC..... ۶۲
شکل (۴-۵) شروع به کار دکودر..... ۶۳
شکل (۴-۶) شروع پروسه دکودینگ..... ۶۳
شکل (۴-۷) اتمام پروسه دکودینگ..... ۶۴

شکل (۴-۸) مقایسه نتایج پیاده سازی و شبیه سازی رفتاری الف) نمودار BER در مقابل Eb/N0 ب) نمودار FER در مقابل Eb/N0 ..... ۶۵

فصل اول

مقدمه

۱-۱- پیشگفتار

بخش ارتباطات بی سیم و ذخیره سازی اطلاعات طی سالیان اخیر رشد بسیار زیادی داشته است و در این بین ارسال و دریافت اطلاعات به شکل صحیح بر روی کانال‌های نویزی یک فاکتور بسیار مهم محسوب می‌شود. به همین علت امروزه، کدهای تصحیح خطا[1] توسعه زیادی پیدا کرده‌اند و کدهای متنوعی ارائه شده‌اند که هدف تمامی آن‌ها دستیابی به یک ارتباط با قابلیت اطمینان بالا است.

تصحیح خطا عبارت است از توانایی گیرنده در بازسازی اطلاعات اولیه ارسال شده از فرستنده که پس از عبور از کانال مخدوش شده است، می‌باشد. در واقع ایده اصلی یک کد تصحیح خطا، اضافه کردن اطلاعات به پیام اصلی آماده ارسال است؛ تا اطلاعاتی که پس از عبور از کانال (خط تلفن، کابل اینترنت و...) یا قرار گرفتن بر روی حافظه (دیسک سخت، دی وی دی و...) دچار خطا شده‌اند، را بتوان در گیرنده بازیابی کرد [۱].

به طور کلی برای تصحیح خطا از دو روش می‌توان استفاده کرد، روش FEC [2] که یک راه حل با ارتباط یک طرفه است و روش ARQ[3] که به صورت دو طرفه ارتباط برقرار می‌کند. در روش ARQ، زمانی که خطایی در گیرنده تشخیص داده می‌شود، یک پیغام به فرستنده ارسال می‌شود که در خواست دوباره ارسال شدن پیام اصلی را دارد و این عمل تا زمانی که گیرنده پیام دریافتی را بدون خطا تشخیص دهد یا خطا در حد قابل قبولی کم باشد، ادامه خواهد یافت. روش ARQ در حالتی که خصوصیات کانال ناشناخته و ظرفیت آن متغیر باشد (مانند اینترنت)، روش مناسبی است [۲]. اما واضح است که در این حالت تأخیر زیادی در پروسه انتقال اطلاعات خواهیم داشت. به علاوه زمانی که نرخ ارسال اطلاعات بالا باشد، دوباره ارسال کردن اطلاعات باید به صورت مکرر انجام شود، که این باعث کاهش ظرفیت گذردهی[4] خواهد شد. بنابراین اکثر سیستم‌های امروزی از روش FEC برای تصحیح خطا استفاده می‌کنند.

در اواخر دهه نود میلادی، کشف مجدد کد های چک پریتی با چگالی کم[5] (LDPC) [۳] و ظهور کد های توربو[6] [۴] که زیر مجموعه ای از کدهای FEC هستند؛ موجب تحول چشم گیری در زمینه‌ی کدهای تصحیح خطا شد. کد های توربو و LDPC به واسطه قدرت تصحیح خطای قابل ملاحظه‌شان برای استاندارد های مختلف نسل جدید سیستم‌های مخابراتی پیشنهاد گردیده‌اند. همچنین بسیاری از الگوریتم‌های آشکار سازی، تخمین و همزمانی با الهام از

1 Error Correcting Codes
2 Forward Error Correction
3 Automatic Repeat reQ uest
4 Throughput
5 Low Density Parity Check
6 Turbo codes

الگوریتم‌های کد برداری این کدها که به صورت تکراری و با محاسبات نرم به نتیجه همگرا می‌گردند، ارائه شدند.

اما استفاده از این کدها در سیستم‌های مخابراتی سیار بی‌سیم با چالش‌هایی روبرو است، چرا که از یک سو در چنین کاربردهایی توان پردازشی محدودی در اختیار داریم و از سوی دیگر الگوریتم‌های دیکود کننده ارائه شده برای این کدها به حجم عظیمی از محاسبات نیاز دارند. خصوصاً در مواردی که برای رسیدن به عملکرد مطلوب از کدهای با طول بلند استفاده می‌شود، حجم محاسبات و توان مصرفی دکودر افزایش خواهد یافت. ضمن آن که در مخابرات بی‌سیم وضعیت کانال متغیر بوده و تخمین پارامترهایی از کانال که مورد نیاز دکودر است نیز بار محاسباتی گیرنده را افزایش می‌دهد. در نهایت، هزینه پیاده سازی دکودر به عنوان یک عامل مهم در به‌کارگیری این کدها در سیستم‌های نسل آینده‌ی مخابراتی مطرح است. از این رو، مسئله پیاده سازی کارآمد دکودر برای این کدها به صورت جدی مطرح می‌باشد.

در سالیان اخیر، کدهای LDPC توجه زیادی را به خود جلب کرده‌اند، چرا که این کدها نسبت به کدهای توربو دارای برتری‌های محسوسی می‌باشند [۵, ۶] . اول، دکدینگ کد های LDPC به طور کامل می‌تواند به صورت موازی انجام گیرد و در نتیجه به صورت بالقوه دارای سرعت بسیار بالاتری نسبت به کد های توربو است. دوم اینکه، برای کد های LDPC، دکودر های با پیچیدگی بسیار کمتری تحت الگوریتم دکدینگ انتشار گمان[1] نسبت به دکودر های توربو می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. سوم آنکه کدهای توربو تعداد تکرار[2] ثابتی در دکودر خود دارند، که باعث می‌شود زمان دکودینگ زمان ثابتی باشد. اما در کدهای LDPC تعداد تکرار متغیر است، به این معنی که اگر بعد از چند تکرار خطای رخ داده در اطلاعات تصحیح شود، دکودر عملیات را متوقف خواهد کرد. این مسئله به خصوص در SNR[3] های بالا که تعداد خطا بعد از گذر از کانال کمتر است، بیشتر قابل مشاهده است. به همین علت در حال حاضر از کد های LDPC به عنوان مهم‌ترین کد تصحیح خطا در سیستم‌های مخابرات نوین و ذخیره سازی مغناطیسی یاد می‌شود.

۱ – ۲ – انگیزه و اهداف پروژه

با توجه به رشد روز افزون سیستم‌های مخابراتی و کدگذاری کانال به عنوان بخشی جدا نشدنی از این سیستم‌ها،

1 Belief Propagation
2 Iteration
3 Signal to Noise Ratio

انگیزه های زیادی برای پیاده سازی کدهای با بهره کدینگ بالا و کدهای LDPC به عنوان زیر مجموعه بسیار مهمی از این کدها، وجود دارد. به خصوص آنکه مطالعات انجام شده در ایران در این زمینه معطوف به بخش‌هایی غیر از پیاده سازی بوده است و به این علت حرکت به سمت پیاده سازی سخت افزاری، امری مهم می‌نماید.

در این پژوهش بستر سخت افزاری FPGA [1] برای پیاده سازی انتخاب شده است، تا با استفاده از خاصیت انعطاف پذیری آن، تأثیر پارامتر های مختلف دخیل در کدهای LDPC در طراحی این کدها عملاً مشاهده شده و در نهایت بعد از تصمیم گیری در مورد خصوصیات نهایی کد، به عنوان قدم بعدی پیاده سازی در سطح ASIC [2] انجام پذیرد.

۱-۳- ساختار پایان نامه

این پایان نامه در پنج فصل تنظیم شده است. در فصل اول مقدمه ای در مورد کلیات پروژه، اهداف و انگیزه انجام آن بیان شد. در فصل دوم برخی مفاهیم در مورد کدگذاری کانال، از جمله کدهای تصحیح خطا و کدهای بلوکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس توضیحاتی در مورد کدهای LDPC داده شده، و مسائلی از قبیل انکودینگ، ساخت، انواع روش‌های پیاده سازی و... در مورد این کدها بیان می‌شود. در فصل سوم در ابتدا کدهای QC-LDPC را معرفی کرده و سپس در مورد ماتریسی که برای استاندارد وایمکس با استفاده از این کدها ساخته‌ایم، مطالبی گفته خواهد شد؛ و سپس در ادامه به بررسی روش‌های دکودینگ و مراحل آن می‌پردازیم و الگوریتم بهبود یافته یکی از آن‌ها را توضیح خواهیم داد. در پایان فصل در مورد پارامترهای موثر در طراحی صحبت کرده و مقادیر مناسب آن‌ها برای پیاده سازی را انتخاب می‌کنیم. در فصل چهارم ابتدا در مورد یکی از مشکلات پیاده سازی کدهای QC-LDPC بحث و برای آن راه حلی ارائه می‌دهیم. سپس روش هم پوشانی پیام را برای افزایش حداکثر گذردهی معرفی می‌کنیم. در انتها نتایج پیاده سازی ارائه شده و عملکرد آن با مدل رفتاری و کارهای مشابه مقایسه می‌شود. در پایان در فصل پنجم به نتیجه گیری وارائه‌پیشنهادات‌خواهیم‌پرداخت.

1 Field-programmable gate array
2 Application-specific integrated circuit

فصل دوم

برخی مفاهیم در مورد کدهای

LDPC

۲ – ۱ – مقدمه

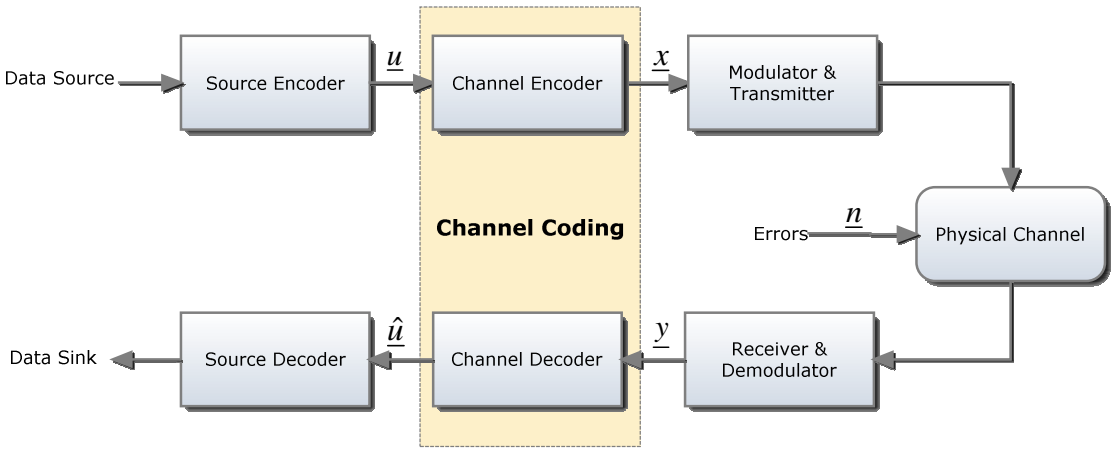
در این فصل ابتدا توضیح مختصری درباره کدگذاری کانال[1]، کدهای تصحیح خطا و حد شانون خواهیم داد. سپس به بررسی کدهای بلوکی[2] می‌پردازیم. در ادامه فصل در مورد کدهای LDPC صحبت خواهیم کرد. تاریخچه کوتاهی در مورد این کدها گفته شده و سپس در مورد نوع نمایش، دسته بندی و طریقه ایجاد کدهای LDPC توضیحاتی داده می‌شود. در پایان فصل، روش‌های پیاده سازی آنالوگ و دیجیتال مورد بررسی قرار می‌گیرد، مزایا و معایب آن‌ها بیان می‌شود و در مورد علل انتخاب رویکرد دیجیتال توضیح داده خواهد شد و در نهایت روش‌های پیاده سازی دکودر به صورت دیجیتال بررسی می‌شود.

۲ – ۲ – کدگذاری کانال

شمای کلی یک سیستم مخابراتی جهت ارسال و یا ذخیره سازی داده در شکل (۲-۱) نشان داده شده است. ابتدا سیگنال نمونه برداری شده و به فرم دیجیتال در می‌آید، سپس از انکودر منبع[3] عبور کرده و اطلاعات اضافی آن حذف می‌شود. بنابراین در خروجی انکودر منبع، اطلاعات فشرده‌تری خواهیم داشت. در ادامه رشته ارقام باینری تولید شده که آن را رشته کد نشده[4] می‌نامیم، به بردارهای متوالی که هر یک از آن‌ها را با $\underline{u}$ نشان می‌دهیم تقسیم می‌شوند. این رشته سپس توسط انکدر کانال[5] به بردار کد شده $\underline{x}$ نگاشته می‌گردد و بیت‌های اضافی[6] (که به آن‌ها بیت‌های پریتی[7] نیز گفته می‌شود) برای تصحیح خطا در گیرنده به آن‌ها افزوده می‌شود. سپس این رشته باینری وارد

[1] Channel coding
[2] Block codes
[3] Source encoder
[4] uncoded
[5] Channel encoder
[6] Redundant bits
[7] Parity bits

مدولاتور دیجیتال می‌شود تا اطلاعات به امواج قابل ارسال تبدیل شوند. با عبور از کانال مخابراتی که واسط بین گیرنده و فرستنده است و یا قرار گرفتن بر روی محیط ذخیره اطلاعات، داده های کد شده تحت تأثیر بردار نویز $\underline{n}$ تخریب می‌گردند. البته این فرض، زمانی صادق است که نویز به صورت جمع شونده اثر می‌نماید و هیچ تداخل بین سمبلی نیز وجود ندارد. در قسمت گیرنده ابتدا دمدولاتور سیگنال را به اطلاعات دیجیتال تبدیل می‌کند و آن را به دیکودر کانال[1] می‌فرستد. بنابراین در ورودی دکدر یک بردار نویزی خواهیم داشت که با $\underline{y}$ نمایش داده می‌شود. در چنین شرایطی دکدر با اطلاع از نوع کدگذاری، تلاش می‌کند تا با مشاهده بردار $\underline{y}$؛ بردار $\underline{\hat{u}}$ را به عنوان تخمین مناسبی از بردار ارسالی $\underline{u}$ بدست دهد و سپس اطلاعات را به دکودر منبع[2] می‌فرستد، تا در آنجا اطلاعات از حالت فشرده خارج شوند. احتمال خطای خروجی نهایی به خصوصیات کدگذاری، نوع مدولاسیون و خواص کانال مانند نویز و سطح تداخل مرتبط است [۷] .



شکل (۲-۱) شمای کلی یک سیستم مخابراتی

۲-۲-۲- حد شانون[3]

کلاود شانون در سال ۱۹۴۸ در نظریه اطلاعات ثابت کرد که ارتباطات بر روی کانال نویزی را می‌توان بسیار

[1] Channel decoder
[2] Source decoder
[3] Shannon Limit

بهینه تر انجام داد. بر اساس این تئوری برای اطلاعاتی که از یک کانال نویزی با ظرفیت کانال[۱] C و نرخ[۲] R عبور می‌کنند،کدی وجود دارد که احتمال وقوع خطا در گیرنده آن بسیار کم باشد[۸] .

نرخ کد برای یک کد بلوکی معین به صورت نسبت تعداد بیت‌های حامل اطلاعات (k) به تعداد کل بیت‌های یک کلمه کد (n) تعریف می‌شود از این رو خواهیم داشت $R = \frac{k}{n}$. هر چه R کمتر باشد میزان افزونگی موجود در کلمات کد بیشتر بوده و انتظار می‌رود به ازای کدهایی با طول یکسان، مقاومت کد با نرخ کمتر در برابر خطا بیشتر باشد.

نقطه مقابل شرط فوق‌الذکر نیز مورد توجه است، به این معنا که در صورتی که $R > C$ باشد، احتمال به دست آوردن خطای کم در گیرنده وجود ندارد؛ یعنی تمام کدها، احتمال خطایی بیشتر از یک مقدار معین خواهند داشت و مقدار خطا با افزایش R زیاد خواهد شد. شانون در نظریه خویش ثابت کرد که کدی وجود دارد که می‌تواند از تمام ظرفیت کانال استفاده کند. البته او در مورد چگونگی ساختن این کد صحبتی نکرده است.

در این پژوهش از کانال AWGN [۳] به عنوان مدل کانال مخابراتی استفاده خواهیم کرد. در این مدل بردار بیت‌ها (x) بعد از عبور از کانال، تحت تأثیر مقادیر رندم نویز قرار می‌گیرند. مقدار ولتاژ نویز در هر لحظه که با n نشان داده می‌شود، را می‌توان به صورت یک متغیر که به صورت نرمال توزیع شده است، در نظر گرفت. بنابراین بیت‌های خروجی کانال برابر است با:

$$y_i = x_i + n_i \qquad (۱-۲)$$

جایی که i نشان دهنده مکان بیت در سیگنال نویز و بردار بیت‌های ارسالی و دریافتی است.

بر اساس تئوری شانون، اگر نرخ کدینگ R باشد و اطلاعات از روی کانال AWGN عبور کند، آنگاه حداقل SNR که آن را به صورت نرمالیزه شده به شکل $\frac{E_b}{N_0}$ نشان می‌دهیم (نسبت انرژی بیت به noise power spectral density) به

[1] Channel capacity
[2] Rate
[3] Additive white Gaussian noise

صورت زیر نمایش داده می‌شود:

$$\frac{E_b}{N_0} \geq \frac{2^{2R}-1}{2R} \qquad (۲-۲)$$

۲-۲-۳- کد های تصحیح خطا

در یک دسته بندی کلی تمام کدهای تصحیح خطا را می‌توان به دو گروه کدهای بلوکی و کدهای کانولوشنال[۱] تقسیم بندی نمود [۲]. اساس پردازش کدهای کانولوشنال به صورت بیت به بیت است، حال آن که کدهای بلوکی به صورت بلوک به بلوک پردازش می‌شوند. در واقع انکودر کدهای کانولوشنال تمام رشته اطلاعات را به یک کلمه کد[۲] طولانی تبدیل می‌کند و آن را به صورت قسمت قسمت ارسال می‌کند. حال آن که انکدر کدهای بلوکی هر بلوک را انکد و ارسال می‌کند، سپس به سراغ بلوک بعدی می‌رود. این تقسیم بندی بر اساس ساختار مدار انکدر هر یک از این کدها نیز می‌تواند باشد؛ چرا که انکدر یک کد بلوکی، یک مدار بدون حافظه است که وظیفه نگاشتن یک بلوک از اطلاعات منبع به یک کلمه کد را بر عهده دارد. در حالی که انکدر یک کد کانولوشنال یک مدار دارای حافظه می‌باشد که در آن بیت‌های خروجی در هر لحظه و بیت‌های ورودی در لحظات قبل تعیین می‌گردند.

برای نمونه کدهای ویتربی[۳] به عنوان یکی از بهینه‌ترین کدهای کانولوشنال شناخته می‌شود. کد های همینگ [۴] و RS [۵] هم مثال‌هایی از کدهای بلوکی می‌باشند. از آنجایی که تمرکز ما بر کدهای LDPC است که عضوی از خانواده‌ی خانواده‌ی کدهای بلوکی می‌باشند، در ادامه به بررسی این گروه از کدها می‌پردازیم.

[1] Convolutional Codes
[2] Code word
[3] Viterbi
[4] Hamming
[5] Reed-Solomon