بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

(پلی تکنیک تهران)

دانشکده: مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان

بهبود عملکرد سیستم مخابراتی طیف گسترده با بکارگیری کدهای سوراخ شده

استاد راهنما

دکتر حسن آقایی نیا

دانشجو

محمد لاری

بسمه تعالي

تاريخ : .....
شماره : .....

فرم اطلاعات پايان نامه
كارشناسي ارشد و دكترا

دانشگاه صنعتي اميركبير
(پلي تكنيک تهران)

معاونت پژوهشي
فرم پروژه تحصيلات تكميلي ۷

مشخصات دانشجو
نام و نام خانوادگي :محمد لاری ■ دانشجوي آزاد ☐ بورسيه ☐ معادل

شماره دانشجويي: ۸۴۱۲۳۱۲۶ دانشكده : برق رشته تحصيلي: برق - مخابرات

نام و نام خانودگي استاد راهنما : دكتر حسن آقایی نیا

عنوان به فارسي: بهبود عملکرد سیستم مخابراتی طیف گسترده با بکارگیری کدهای سوراخ شده

عنوان به انگليسي: Performance Improvement of Spread Spectrum Communication systems, Using Punctured Codes

نوع پروژه: كارشناسي ارشد ☐ **كاربردي** ■ **بنيادي** ■ **توسعه اي** ☐ **نظري**

تاريخ شروع: تير ۱۳۸۵ تاريخ خاتمه :دی ۱۳۸۶ تعداد واحد: ۶

سازمان تامين كننده اعتبار :

واژه هاي كليدي به فارسي : تابع خودهمبستگی –تابع همبستگی متقابل –حذف تداخل چندکاربره –کدهای سوراخشده –رادارهای طیف گسترده –سنکرون‌سازی

واژه هاي كليدي به انگليسي : Auto correlation function – Cross correlation function – Multiuser Spread spectrum radar - Synchronization -interference cancellation – Punctured codes

---

نظرها و پيشنهادها به منظور بهبود فعاليت هاي پژوهشي دانشگاه:

استاد راهنما:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما : تاريخ:

نسخه ۱: معاونت پژوهشي
نسخه ۲ : كتابخانه و به انضمام دو جلد پايان نامه به منظور تسويه حساب با كتابخانه و مركز اسنادومدارک علمي

پیش گفتار

یک کد طیف‌گسترده مناسب، باید دارای مشخصات متعددی باشد. تابع خودهمبستگی آن تا حد امکان نزدیک به بهینه باشد و تنها در شیفت صفر، مقدار بزرگی داشته باشد. تابع همبستگی متقابل آن با کدهای دیگر، تا حد امکان در تمام شیفت‌ها برابر صفر باشد. از نظر کاربر خارج از سیستم، تا حد امکان مشابه نویز و غیرقابل پیش‌بینی باشد. این مشخصات و مشخصات دیگری که در ادامه در پایان‌نامه ذکر می‌شود، بصورت یکجا در یک کد موجود نیست. علاوه بر آن، در صورت وجود، اگر ساختار کد بهینه برای همه آشکار باشد، امنیت آن به‌شدت کاهش می‌یابد. زیرا یکی از دلایل استفاده از سیستم مخابراتی طیف‌گسترده، مخابره امن اطلاعات می‌باشد. بنابراین نمی‌توان انتخاب یا طراحی کد گسترده‌کننده در سیستم مخابراتی طیف‌گسترده را محدود به کدهای موجود نمود. علاوه بر اهمیت کدهای گسترده‌کننده، با توجه به لزوم سنکرون‌سازی کد در گیرنده برای استخراج اطلاعات، می‌توان گفت که سیستم مخابراتی طیف‌گسترده، نسبت به سیستم‌های مخابراتی معمول، از پیچیدگی بیشتری نیز برخوردار است.

مبنای تعریف این پروژه، بررسی یک ایده (ایده سوراخ‌کردن کدها)، برای بهبود مشخصات کدهای گسترده‌کننده در سیستم مخابراتی طیف‌گسترده و همچنین بهبود در مشخصات سیستمی آن می‌باشد. ایده سوراخ‌کردن کدها، از کدهای تصحیح‌کننده خطای کانولوشنی سوراخ‌شده گرفته شده است. سوراخ‌کردن کد در کدهای تصحیح‌کننده خطای کانولوشنی برای کاهش پیچیدگی کدگشا در گیرنده استفاده می‌شود ولی این ایده در کدهای طیف‌گسترده می‌تواند مزایای مختلفی داشته باشد، که در این پایان‌نامه بررسی خواهد شد. سوراخ‌کردن کد طیف‌گسترده، به معنی حذف تعدادی از بیت‌ها یک کد اولیه و ساخت یک کد جدید می‌باشد. حذف بیت‌ها بصورت تصادفی انجام می‌شود. به

این ترتیب که الگوهای حذف، مشابه کدهای تصحیح‌کننده خطای کانولوشنی، بصورت تصادفی ایجاد می‌شود و با جستجو، بهترین الگو انتخاب می‌شود. معیار انتخاب می‌تواند هر مشخصه‌ای از کد یا سیستم که قصد بهبود آن را داریم، باشد. در این پایان‌نامه در دو فصل بهبود مشخصات تابع خودهمبستگی کد و تابع همبستگی متقابل کد با استفاده از کدهای سوراخ‌شده، بررسی شده است. در یک فصل هم استفاده از کدهای سوراخ‌شده در مرحله سنکرون‌سازی، برای افزایش سرعت سنکرون‌سازی استفاده شده است.

ایده کدهای سوراخ‌شده طیف‌گسترده، برای اولین بار در این پایان‌نامه مطرح شده است. هدف این پایان‌نامه نشان دادن مزایا و قابلیت‌ها و موارد کاربرد این کدها می‌باشد. بررسی‌های انجام شده که در ادامه آورده شده است، نشان‌دهنده قابلیت‌های این روش می‌باشد. ادامه بررسی‌های بیشتر نیز می‌تواند به رفع نواقص احتمالی روش و عملیاتی‌کردن روش منجر شود. بنابراین سوراخ‌کردن را می‌توان یک روش دانست، که می‌تواند مستقل از نوع کد، بر روی کدهای مختلف اجرا شود، و مشخصاتی از آن را بهبود بخشد.

در ابتدا بهبود مشخصه تابع خودهمبستگی کد طیف‌گسترده مدنظر بوده است. برای این منظور کد را طوری سوراخ کرده‌ایم که اندازه لب‌های فرعی این تابع تا جای ممکن کوچک شود. این کار در کدهای طیف‌گسترده سیستم راداری نیز انجام شده است. مشخصه دوم که بهبود آن موردنظر بوده است، تابع همبستگی متقابل در سیستم دسترسی چندگانه و کاهش تداخل در این سیستم‌ها می‌باشد. برای انجام این کار، کد را در گیرنده (فرضاً گیرنده ساده فیلتر منطبق) طوری سوراخ می‌کنیم تا تداخل کاربر فعال با کاربران تداخل‌کننده کم شود. در انتها رابطه‌ای برای متوسط زمان سنکرون‌سازی کد طیف‌گسترده دلخواه ارائه شده و از کدهای طیف‌گسترده سوراخ‌شده برای کاهش متوسط زمان سنکرون‌سازی استفاده کرده‌ایم.

فصل ۱

مقدمه‌ای بر مخابرات

طیف گسترده

در این فصل که جنبه مقدماتی دارد، در ابتدا سیستم مخابراتی طیف‌گسترده شامل فرستنده و گیرنده، بطور مختصر بررسی می‌شود. سپس مختصری از ریاضیات لازم برای درک بهتر ساختار کدهای طیف‌گسترده توضیح داده می‌شود. در انتها نیز مهم‌ترین مشخصاتی که معمولاً کدهای طیف‌گسترده با توجه به آنها مقایسه می‌شوند، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۱- سیستم مخابراتی طیف‌گسترده

شروع استفاده یا کشف سیستم طیف‌گسترده به اوایل قرن ۲۰ میلادی برمی‌گردد. ابتدایی‌ترین کارها، تغییر فرکانس حامل سیستم مخابراتی در فرستنده با الگویی معلوم بود. این سیستم در حال حاضر با نام سیستم مخابراتی طیف‌گسترده پرش فرکانسی[1] شناخته می‌شود. در جنگ جهانی دوم ایالات متحده آمریکا سیستمی سری برای ارتباط مقامات عالی‌رتبه، با استفاده از مخابرات طیف‌گسترده ایجاد کرد. یکی از بهترین نوآوری‌ها در زمینه مخابرات طیف‌گسترده، فعالیت‌های دو هنرمند در سال ۱۹۴۱ میلادی بود. فعالیت‌ها بر روی سیستم طیف‌گسترده ادامه پیدا کرد تا اینکه در دهه ۸۰ میلادی اولین سیستم‌های طیف‌گسترده بصورت صنعتی مورد استفاده قرار گرفت. از آن به بعد استفاده از مخابرات طیف‌گسترده بیشتر و روز به روز استفاده از این سیستم‌ها در مخابرات غیرنظامی نیز افزایش یافته است. سیستم موقعیت‌یاب ماهواره‌ای GPS و سیستم‌های مخابرات سیار مانند سیستم مشهور IS-95 و استاندارد شبکه‌های بی‌سیم IEEE-802.11 نمونه‌ای از سیستم‌های متداول کنونی هستند که از مخابرات طیف‌گسترده استفاده می‌کنند [1].

[1] Frequency Hopping Spread Spectrum

اساس سیستم‌های طیف‌گسترده، گسترش طیف سیگنال ارسالی به‌منظور کاهش احتمال دریافت[۱] و مقابله با جمینگ پالسی[۲] می‌باشد. فرض کنید فرستنده می‌خواهد توان محدودی را برای گیرنده بفرستد. در این صورت اگر گیرنده غیرمجاز در حال جاروب‌کردن طیف فرکانسی در حوالی فرکانس حامل فرستنده باشد، با توجه به ماهیت باند باریک اکثر سیگنال‌ها و سیستم‌ها، گیرنده غیرمجاز قادر به دریافت توان ارسالی فرستنده می‌باشد. اما اگر فرستنده همان توان محدود خود را در گستره وسیعی از طیف فرکانسی پخش کند، چگالی طیفی توان کاهش می‌یابد و حتی ممکن است زیر سطح توان نویز قرار گیرد. به این ترتیب احتمال دریافت توسط کاربر غیرمجاز کاهش می‌یابد. با توجه به گسترش طیف، جمرها که معمولاً توان خود را در پهنای باند محدودی متمرکز می‌کنند، تنها بخشی از پهنای باند سیگنال ارسالی را تخریب می‌کنند. بنابراین مقاومت در برابر جمینگ هم بالا می‌رود.

سیستم‌های طیف‌گسترده دو نوع عمده دارند. سیستم‌های طیف‌گسترده دنباله مستقیم[۳] و سیستم‌های طیف‌گسترده پرش فرکانسی[۴]. در سیستم طیف‌گسترده دنباله مستقیم، سمبل ارسالی در یک رشته با دوره سمبل (دوره چیپ) کمتر از دوره سمبل داده‌ها ضرب می‌شود. به این ترتیب پهنای باند افزایش می‌یابد. در سیستم طیف‌گسترده پرش فرکانسی، فرکانس حامل هر چند لحظه یکبار تغییر می‌کند. الگوی تغییر در این سیستم و رشته ضرب‌شونده در روش دنباله مستقیم در واقع یک

---

[1] Low Probability of Intercept

[2] Pulse Jamming

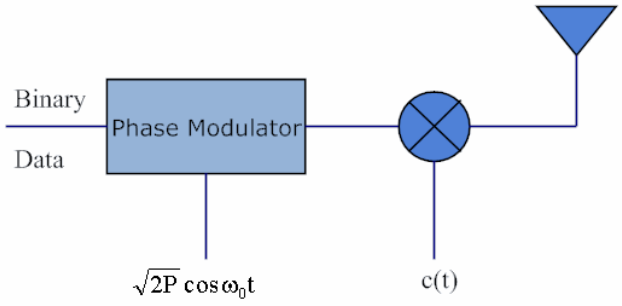
[3] Direct Sequence Spread Spectrum

[4] Frequency Hopping Spread Spectrum

رشته شبه تصادفی است که در فصل۲ بیشترتوضیح داده می‌شود. برای توضیحات بیشتر راجع به مطالب کلی سیستم طیف‌گسترده می‌توان به مراجع [2] تا [4] مراجعه کرد.

۱-۱-۱- سیستم طیف‌گسترده دنباله مستقیم

شکل ۱. *فرستنده سیستم مخابرات طیف‌گسترده با مدولاسیون BPSK*



در شکل۱ بلوک دیاگرام ساده فرستنده سیستم مخابراتی طیف‌گسترده با مدولاسیون BPSK نشان داده شده است (سیستم به نحو ساده‌تری نیز قابل پیاده‌سازی است). داده‌های باینری پس از مدولاسیون، در یک ضرب‌کننده، در کد باینری c(t) ضرب می‌شود و سیگنال بصورت (۱) از آنتن ارسال خواهد شد.

$$x(t) = \sqrt{2P}c(t)\cos(\omega_0 t + \theta_d(t)) \qquad (۱)$$

اگر دوره بیت داده‌های باینری برابر T_b باشد، طیف سیگنال بعد از مدولاتور بصورت تابع سینک[1] حول فرکانس f_0 می‌باشد. با توجه به شکل تابع سینک، پهنای باند این سیگنال بصورت

[1] Sinc Function

تقریبی برابر $2/T_b$ می‌باشد. چگالی طیفی توان سیگنال قبل از ضرب در کد گسترده‌کننده بصورت (۲) است.

$$S_d(f) = 0.5PT_b\{\sin c^2(f-f_0)T_b + \sin c^2(f+f_0)T_b\} \quad (۲)$$

کد باینری c(t) یک رشته شبه‌تصادفی باینری با دوره بیت T_c می‌باشد. دوره بیت کد c(t) را دوره چیپ[1] می‌نامیم. این کد در سیستم مخابراتی طیف‌گسترده از اهمیت بالایی برخوردار است و توضیحات بیشتر درباره کدهای شبه‌تصادفی در فصل۲ داده می‌شود. برای عملکرد هرچه بهتر سیستم طیف‌گسترده معمولاً $T_c << T_b$ است و در هر بیت داده معمولاً N چیپ کد ضرب می‌شود (در اکثر موارد N برابر یک دوره تناوب کد گسترده‌کننده در نظر گرفته می‌شود). به این ترتیب سیگنال ارسالی از آنتن را می‌توان بصورت داده‌های باینری کد c(t) فرض کرد که بصورت BPSK مدوله شده‌است. به این ترتیب طیف سیگنال ارسالی از آنتن بصورت تابع سینک حول فرکانس f_0 می‌باشد. با توجه به شکل تابع سینک، پهنای باند این سیگنال بصورت تقریبی برابر $2/T_c$ می‌باشد. چگالی طیفی توان سیگنال بعد از ضرب در کد گسترده‌کننده بصورت (۳) است.

$$S_d(f) = 0.5PT_c\{\sin c^2(f-f_0)T_c + \sin c^2(f+f_0)T_c\} \quad (۳)$$

اگر شرط $T_c << T_b$ برقرار باشد، مشخص است که طیف سیگنال گسترده شده است. با توجه به توان ثابت ارسالی، چگالی طیفی توان کم می‌شود و حتی ممکن است زیر چگالی طیف توان نویز قرار گیرد. در این صورت آشکارسازی این سیگنال برای گیرنده غیرمجاز بسیار دشوار است. به این سیستم که گسترش طیفی، با ضرب سیگنال در یک کد شبه‌تصادفی انجام می‌شود، سیستم طیف‌گسترده دنباله مستقیم گفته می‌شود.

vii

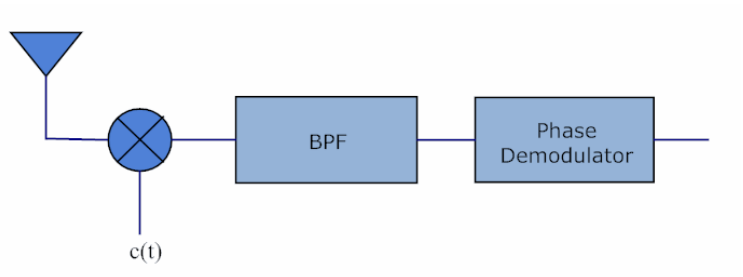
[1] Chip Duration

در شکل۲ بلوک دیاگرام ساده‌ای از گیرنده سیستم مخابراتی طیف‌گسترده با مدولاسیون BPSK نمایش داده شده است. اگر تأخیر بین فرستنده و گیرنده، در گیرنده تخمین زده شود و به نحوی حذف شود، سیگنال دریافتی بصورت (۴) خواهد بود.

$$r(t) = k\sqrt{2P}c(t)\cos(\omega_0 t + \theta_d(t)) + n(t) \qquad (۴)$$

در رابطه (۴) k تضعیف مسیر و n(t) نویز کانال می‌باشد.

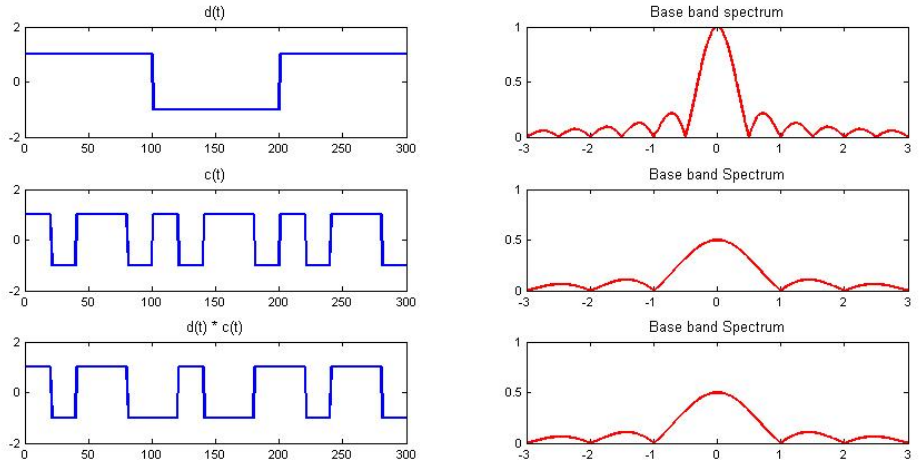
شکل۲. *گیرنده سیستم مخابراتی طیف‌گسترده با مدولاسیون BPSK*



با ضرب سیگنال دریافتی در c(t)، اثر آن در سیگنال دریافتی از آنتن حذف می‌شود. به این ترتیب طیف سیگنال که در فرستنده پهن شده بود، جمع می‌شود. فیلتر میان‌گذر بر روی فرکانس f_0 با پهنای باند مناسب (تقریباً $2/T_b$) سیگنال مطلوب را از نویز و تداخل‌های باندهای کناری جدا می‌کند. در ادامه سیگنال حاصل مانند سیگنالی با مدولاسیون BPSK به مدولاتور BPSK فرستاده می‌شود تا داده‌های باینری استخراج شوند. در شکل۳ نمایشی از داده‌ها d(t) و کد گسترده‌کننده c(t) و ضرب آنها به همراه شکل طیفی آنها در باند پایه آورده شده است.

سیستم طیف‌گسترده دنباله مستقیم با انواع دیگر مدولاسیون‌ها و کدهای غیرباینری نیز قابل پیاده‌سازی می‌باشد. کدهای غیرباینری و در کل هر ساختاری که سیستم فرستنده و گیرنده سیستم طیف‌گسترده را پیچیده کند، معمولاً کاربرد زیادی ندارد.

شکل۳. *داده باینری و کد گسترده‌کننده و ضرب آنها به همراه طیف*



۱-۱-۲- سیستم طیف‌گسترده پرش فرکانسی

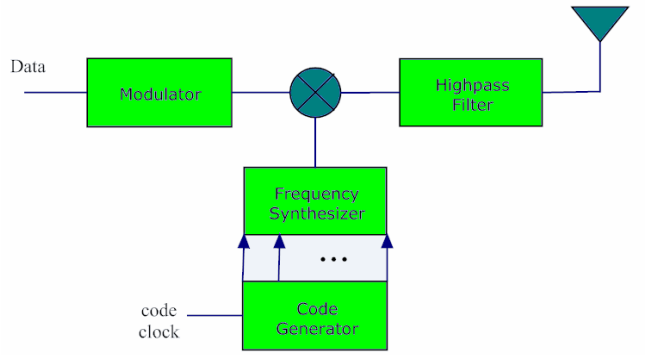
سیستم طیف‌گسترده پرش فرکانسی را می‌توان یک سیستم مخابراتی معمولی دانست که فرکانس حامل خود را طبق الگویی خاص در بازه‌های زمانی مختلف تغییر می‌دهد. اگر این تغییر در بازه طیفی وسیعی انجام شود، سیستم حاصل خواص سیستم‌های مخابراتی طیف‌گسترده را خواهد داشت و احتمال دریافت آن توسط گیرنده غیرمجاز بسیار کم و تخریب آن توسط عملیات جمینگ دشوار خواهد بود.

مانند سیستم‌های مخابراتی طیف‌گسترده دنباله مستقیم، در این سیستم‌ها نیز کدهای شبه‌تصادفی از اهمیت زیادی برخوردار هستند و الگوی پرش فرکانس را مشخص می‌کنند.

شکل۴ فرستنده سیستم مخابراتی طیف‌گسترده پرش فرکانسی را نشان می‌دهد. همانطور که مشخص است، در بخش انتهایی (upconverter) یک سنتزکننده فرکانسی قرار دارد که با توجه به کدی که در ورودی آن قرار می‌گیرد، روی یک فرکانس خاص قفل می‌شود و با استفاده از فیلتر

بالاگذر، فرکانس حامل مناسب انتخاب می‌شود. کدی که در ورودی سنتزکننده فرکانسی قرار می‌گیرد یک کد شبه‌تصادفی می‌باشد و با هر کلاک یک شیفت پیدا می‌کند. بنابراین فرکانس حامل در هر کلاک تغییر می‌کند. اگر سرعت تغییر فرکانس حامل سریعتر از دوره بیت باشد ($T_c < T_b$)، سیستم حاصل سیستم پرش فرکانسی سریع[۱] است. اگر سرعت تغییر فرکانس حامل کندتر از دوره بیت باشد ($T_c > T_b$)، سیستم حاصل سیستم پرش فرکانسی کند[۲] است.

شکل ۴. *فرستنده سیستم مخابراتی طیف‌گسترده پرش فرکانسی*



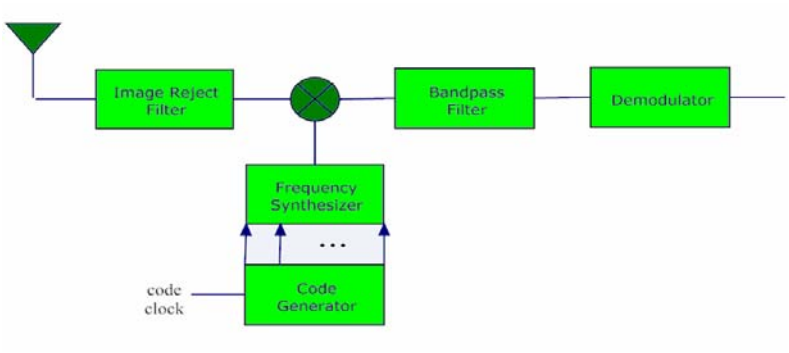
در شکل۵ گیرنده سیستم مخابراتی طیف‌گسترده پرش فرکانسی نمایش داده شده است. اگر تأخیر بین فرستنده و گیرنده در گیرنده تخمین زده شود و به نحوی حذف شود، سیگنال دریافتی پس از فیلتر حذف‌کننده فرکانس تصویر، در فرکانس مناسب ضرب می‌شود و انتقال فرکانسی بصورت مناسب انجام می‌شود. ولی اگر این تأخیر درست تخمین زده نشود و یا گیرنده غیرمجاز باشد و الگوی فرکانس‌های حامل را در اختیار نداشته باشد، انتقال فرکانسی که در ضرب‌کننده انجام می‌شود منجر به تولید فرکانس دیگری می‌شود که از فیلتر میان‌گذر عبور نمی‌کند و اطلاعاتی در مدولاتور استخراج نمی‌شود.

x

[1] Fast Frequency Hop

[2] Slow Frequency Hop

شکل۵. *گیرنده سیستم مخابراتی طیف‌گسترده پرش فرکانسی*



برای اطلاعات دقیق‌تر درباره سیستم‌های طیف‌گسترده دنباله مستقیم و پرش فرکانسی، به مراجع [2] تا [4] مراجعه شود.

۱-۱-۳- سنکرون‌سازی

در بخش ۱-۱-۱- و ۱-۱-۲- فرض کردیم که تأخیر بین فرستنده و گیرنده به نحوی در گیرنده تخمین زده شود. با این فرض می‌توان اثر کد گسترده‌کننده را در سیستم طیف‌گسترده دنباله مستقیم با ضرب دوباره کد با فاز صحیح در گیرنده حذف کرد. با این فرض در سیستم طیف‌گسترده پرش فرکانسی نیز قادر خواهیم بود سیگنال دریافتی را با فرکانس حامل مناسب مخلوط کرده و انتقال فرکانسی را بصورت صحیح انجام دهیم. برای تخمین این تأخیر، یک مرحله اساسی در تمام سیستم‌های مخابراتی طیف‌گسترده وجود دارد که به این مرحله سنکرون‌سازی گویند. اگر مرحله سنکرون‌سازی در سیستم مخابراتی طیف‌گسترده با موفقیت انجام نشود، عکس عملیات گسترش طیف که در فرستنده انجام شده است، صورت نمی‌پذیرد و هیچ داده‌ای استخراج نمی‌شود. این مرحله

در سیستم‌های مخابراتی معمول نیز وجود دارد ولی معمولاً خطای تخمین در سیستم مخابراتی معمول به کاهش نسبت توان سیگنال به توان نویز[1] منجر می‌شود و خطا افزایش پیدا می‌کند ولی در سیستم مخابراتی طیف‌گسترده، خطای تخمین موجب می‌شود طیف گسترده‌شده در فرستنده دوباره در گیرنده جمع نشود و درواقع هیچ داده‌ای استخراج نشود.

برای سادگی در توضیحات، سیستم مخابراتی طیف‌گسترده دنباله مستقیم را درنظر می‌گیریم. در اکثر سیستم‌های مخابراتی، فرستنده و گیرنده از هم فاصله نسبتاً زیادی دارند. علاوه بر فاصله که سبب تأخیر بین فرستنده و گیرنده می‌شود، پدیده‌های دیگری مانند چندمسیری[2] و محوشوندگی[3] هم سبب تأخیر بین فرستنده و گیرنده می‌شود. بنابراین سیگنال ارسالی با تأخیری نامعلوم به گیرنده می‌رسد. این تأخیر سبب می‌شود فاز حامل نامعلوم باشد.

در گیرنده به سبب حرکت گیرنده یا فرستنده یا اجسام درون کانال، شیفت دوپلر[4] هم داریم. بنابراین ابهام در فرکانس حامل نیز در نظر گرفته می‌شود. مطابق شکل۶ گیرنده با تخمینی از میزان تأخیر و فرکانس حامل کار را شروع می‌کند (این تخمین در ابتدای کار احتمالاً خطای زیادی دارد). در مخلوط‌کننده سیگنال دریافتی با سیگنالی که طبق تخمین تأخیر و فرکانس ساخته شده است ضرب می‌شود و از فیلتر میان‌گذر عبور می‌کند. اگر تخمین تأخیر و فرکانس دارای خطای کمی باشد، طیف گسترده‌شده جمع می‌شود و آشکارساز انرژی[5] مقدار خروجی قابل توجهی خواهد داشت. اگر

[1] Signal to Noise Power Ratio

[2] Multipath

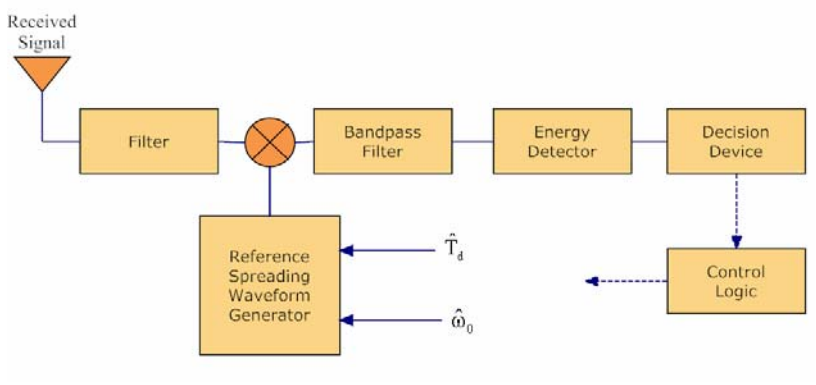
[3] Fading

[4] Doppler Shift

[5] Energy Detector

خروجی آشکارساز انرژی مقدار قابل ملاحظه‌ای نباشد، بخش کنترل‌کننده تخمین خود را تغییر می‌دهد. این تغییر تا زمانی ادامه می‌یابد که خروجی آشکارساز انرژی از سطح آستانه معینی عبور کند.

شکل ۶. *بلوک‌دیاگرام مرحله سنکرون‌سازی*



در روش معمول برای سنکرون‌سازی، تأخیر بصورت واقعی تخمین زده نمی‌شود. بلکه تمام شیفت‌های ممکن کد یکی یکی امتحان می‌شود. اگر کد گسترده‌کننده دارای پریود تکرار N چیپ باشد، تعداد شیفت‌هایی که معمولاً امتحان می‌شود برابر N است. یعنی در هر بار ضرب و تصمیم‌گیری (در هر کلاک) کد به اندازه یک چیپ شیفت پیدا می‌کند (برای دقت بیشتر ممکن است در هربار ضرب و تصمیم‌گیری (در هر کلاک) کد به اندازه کمتر از یک چیپ شیفت پیدا کند). امتحان N شیفت ممکن کد برای پیدا کردن فاز درست ممکن است در یک کلاک یا N کلاک یا چند کلاک انجام شود. اگر در هر کلاک اعتبار یک شیفت از کد بررسی شود، سنکرون‌سازی به‌روش جستجوی سریال[1] انجام می‌شود. اگر در یک کلاک اعتبار تمام شیفت‌های کد بررسی شود، سنکرون‌سازی به‌روش جستجوی موازی[2] انجام می‌شود. بدیهی است که سرعت سنکرون‌سازی در روش جستجوی

[1] Serial Search

[2] Parallel Search

موازی بیشتر ولی سخت‌افزار لازم نیز بیشتر و پیچیدگی نیز بیشتر است. در روشی با پیچیدگی کمتر از جستجوی موازی ولی سریع‌تر از جستجوی سریال، در هر کلاک اعتبار چند شیفت کد بررسی می‌شود. این روش را روش جستجوی سری – موازی[1] گویند.

متوسط زمان سنکرون‌سازی که پارامتر مهمی در سیستم طیف‌گسترده و مقایسه آن به شمار می‌رود، در حالت جستجوی سریال بصورت (۵) می‌باشد [2].

$$\overline{T}_s = (C-1)T_{da}\left(\frac{2-P_d}{2P_d}\right) + \frac{T_i}{P_d} \qquad (۵)$$

در رابطه (۵) ، C برابر تعداد شیفت‌هایی است که باید بررسی شود. اگر ابهام در فرکانس حامل هم داشته باشیم، مقدار C متناسب با آن بازهم افزایش می‌یابد. T_i زمان بررسی یک شیفت (زمان انتگرال‌گیری) از کد و قبول یا رد آن می‌باشد. T_{da} برابر $T_i + P_{fa}T_{fa}$ است که P_{fa} احتمال آلارم خطا[2] و T_{fa} زمانی است که درصورت بروز آلارم خطا باید صرف شود تا سیستم متوجه اشتباه شود. P_d احتمال آشکارسازی[3] می‌باشد. همانطور که مشخص است متوسط زمان سنکرون‌سازی علاوه بر تعداد شیفت‌هایی که باید بررسی شود (C)، به احتمال آلارم خطا (P_{fa}) و احتمال آشکارسازی (P_d) نیز وابسته است. روابط و بررسی دقیق سنکرون‌سازی در مرجع [2] موجود است.

xiv

[1] Serial – Parallel Search

[2] Probability of False Alarm

[3] Probability of Detection

۱-۲- پیش‌نیازهای ریاضی برای تحلیل کدها

در این بخش مقدماتی از ریاضیات لازم برای فهم بهتر ساختار کدهای طیف‌گسترده را بیان می‌کنیم. برای بررسی بیشتر و دقیق‌تر به مراجع [5] تا [7] مراجعه شود.

۱-۲-۱- میدان

میدان F مجموعه‌ای از اعضا با دو عمل جمع و ضرب است که دارای خواص زیر است.

- F با عمل جمع، یک گروه آبلی است.
- اعضای غیرصفر F با عمل ضرب یک گروه آبلی است.
- برای هر $a, b, c \in F$ داریم:

$$a.(b + c) = a.b + a.c$$
$$(b + c).a = b.a + c.a$$

اگر تعداد اعضای مجموعه F محدود باشد، به آن میدان، میدان گالوا[1] گفته می‌شود و بصورت مختصر با GF نمایش داده می‌شود. به عنوان مثال برای هر عدد صحیح اول p، کلاس باقیمانده‌ها به سنج p یک میدان گالوا است که با GF(p) نمایش داده می‌شود. برای هر عدد صحیح $q = p^m$ هم که p عدد صحیح و اول است، تنها یک میدان گالوا بصورت $GF(q) = GF(p^m)$ وجود دارد. به این میدان

[1] Galois Field

(GF(q)) میدان گسترش‌یافته[1] گویند. بیشتر بررسی‌های فصول بعد بر پایه میدان‌های گالوا در حالت باینری می‌باشد. در این حالت عدد صحیح و اول p برابر 2 می‌باشد.

۱-۲-۲- چندجمله‌ای‌های تجزیه‌ناپذیر[2]

به یک چندجمله‌ای f(x) روی GF(p) (ضرایب چندجمله‌ای از GF(p) می‌باشد) از درجه m یک چندجمله‌ای تجزیه‌ناپذیر گفته می‌شود اگر f(x) دارای درجه مثبت باشد و این چندجمله‌ای بر هیچ چندجمله‌ای روی GF(p) با درجه کمتر از m بخش‌پذیر نباشد. به عبارتی اگر g(x) و h(x) دو چندجمله‌ای روی GF(p) باشند، آنگاه f(x) بصورت g(x).h(x) قابل نوشتن نباشد.

اگر $Z_p[x]/f(x)$ نشان‌دهنده کلاس چندجمله‌ای‌ها در سنج f(x) روی GF(p) باشد و f(x) یک چندجمله‌ای تجزیه‌ناپذیر از درجه m باشد، آنگاه این کلاس باقیمانده با دو عمل جمع و ضرب تشکیل یک میدان گالوا روی GF(p) می‌دهد. این میدان را با $GF(p^m)$ نشان می‌دهیم.

[1] Extension Field

[2] Irreducible Polynomial

۱-۲-۳- عنصر اولیه[۱]

اگر α یک عضو میدان F باشد، به کوچک‌ترین عدد ε که $\alpha^{\varepsilon}=1$ باشد، مرتبه α گفته می‌شود. حال اگر $\alpha \in GF(p^m)$ باشد، α یک عنصر اولیه نامیده می‌شود، اگر و تنها اگر مرتبه آن برابر $\varepsilon = p^m - 1$ باشد.

برای هر $\alpha \in GF(p^m)$ چندجمله‌ای مینیمال[۲] α از مرتبه ε یک چندجمله‌ای تجزیه‌ناپذیر $m(x)$ از درجه t روی $GF(p)$ است بطوری که $m(\alpha)=0$ و $m(x)$ بصورت (۶) تعریف شود. در این رابطه t کوچکترین عددی است که $p^t \overset{\text{mod } \varepsilon}{=} 1$

$$m(x) = (x-\alpha)(x-\alpha^p)(x-\alpha^{p^2})(...)(x-\alpha^{p^{t-1}}) \qquad (۶)$$

۱-۲-۴- چندجمله‌ای اولیه[۳]

یک چندجمله‌ای تجزیه‌ناپذیر که چندجمله‌ای مینیمال یک عنصر اولیه در میدان متناظر خود است، یک چندجمله‌ای اولیه گفته می‌شود. برای اعضای $GF(p^m)$ دقیقاً $\varphi(p^m-1)/m$ چندجمله‌ای اولیه وجود دارد. $\varphi(.)$ تابع فی اولر است.

xvii

[1] Primitive Element

[2] Minimal Polynomial

[3] Primitive Polynomial