

باسمه تعالی



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی برق

گزارش پروژه درس سیستم های مخابراتی

نگارش:

علی اکبری: ۴۰۰۱۰۰۶۸۴

امیرحسین نقدی: ۴۰۰۱۰۰۲۶۹

علی صادقیان: ۴۰۰۱۰۰۱۴۶۴

امیررضا تانوردی: ۴۰۰۱۰۰۸۹۸

امیررضا دهقانی میبدی: ۴۰۰۱۰۰۱۱۹۷

استاد درس: دکتر محمد مهدی مجاهدیان

زمستان ۱۴۰۲

مدولاسیون اندیس^۱

مدولاسیون اندیس به خانواده ای از تکنیک های مدولاسیون اشاره دارد که برای جاسازی اطلاعات^۲ به حالت های فعال سازی برخی منابع/بلوک های ساختمانی متکی هستند. منابع / بلوک های ساختمانی می توانند فیزیکی باشند. آنتن، حامل فرعی^۳، شکاف زمانی^۴، حامل فرکانسی^۵ و ... مثال هایی از این دست هستند. اگرچه تکنیک های مدولاسیون اندیس از ابتدای دهه ی اخیر به صورت اکادمیک مورد توجه قرار گرفته اند، شرکت های بزرگ فناوری تنها اخیراً به پتانسیل غیر قابل انکار آن ها پی برده اند.

برخی از مزایای مدولاسیون اندیس به شرح زیر هستند:

- انعطاف پذیری ذاتی با تعداد قابل تنظیم موجودیت^۶ های انتقال فعال.
- توانایی انتقال انرژی ذخیره شده از موجودیت های غیرفعال به موجودیت های فعال برای به دست آوردن خطای بهبود یافته
- افزایش بازده طیفی بدون افزایش پیچیدگی سخت افزار به دلیل استفاده از ابعاد جدید برای انتقال دیجیتال اطلاعات

سیستم های راداری و ارتباطی توام^۷

به اشتراک گذاری باندهای فرکانس بین رادار و سیستم های ارتباطی توجه قابل توجهی را به خود جلب کرده است، زیرا می تواند از استفاده کم از منابع طیفی تخصیص داده شده دائمی جلوگیری کند و در نتیجه کارایی را بهبود بخشد. علاوه بر این، تقاضای فزاینده ای برای سیستم های رادار و ارتباطی وجود دارد که پلت فرم سخت افزاری و همچنین باند فرکانس را به اشتراک می گذارند، زیرا این موضوع نه تنها طیف را کاهش می دهد، بلکه از طریق همکاری کامل بین هر دو عملکرد، از عملیات سنجش و سیگنال دهی سود می برد. با این وجود، موفقیت به اشتراک گذاری طیف و سخت افزار بین رادار و سیستم های ارتباطی به شدت به طراحی های مشترک رادار و ارتباطات با کیفیت بالا بستگی دارد.

^۱ index modulation

^۲ information embedding

^۳ sub carrier

^۴ time slot

^۵ frequency carrier

^۶ entity

^۷ joint radar and communication system

مدل سیستم

سیستم معرفی شده در مقاله، از ویژگی های چیرپ FMCW^۸ به عنوان اندیس برای مخابره ی اطلاعات استفاده میکند. همچنین، کاربرد اصلی این سیستم حسگری راداری^۹ است. فرکانس حامل (f_c)، پهنای باند (B) و، به عنوان اندیس برای مدولاسیون اطلاعات ارسالی مورد استفاده قرار گرفته اند. می توانیم سیگنال ارسالی را با معادله ی زیر نمایش دهیم:

$$x(t) = e^{j2\pi(\frac{1}{T}at^2 + \beta t + \gamma)}$$

که در آن، $t \in [0, T_c]$ و α و β و γ پارامتر های چیرپ هستند. همچنین برای فرکانس حامل و پهنای باند داریم:

$$f_{(min)} \leq f_{(min)} + k\Delta_f \leq f_{(max)}, B_{(min)} \leq B_{(min)} + l\Delta_B \leq B_{(max)}$$

جاسازی اطلاعات، در فرکانس و پهنای باند صورت میگیرد. اگر L نشان دهنده ی تعداد اعداد ممکن برای پهنای باند و M نشان دهنده ی تعداد اعداد ممکن برای فرکانس باشد داریم:

$$\log_2(ML) = \text{encoded bits}$$

با توجه به محدوده ی پهنای باند داده شده، $400MHz \leq B \leq 700MHz$ میتوانیم ۷ بیت را در پهنای باند ارسال کنیم. همچنین با توجه به محدوده ی فرکانس داده شده $100MHz \leq f \leq 100MHz$ - میتوانیم ۶ بیت را در پهنای باند ارسال کنیم.

برای پردازش چیرپ بازتاب شده، آن را با یک نمونه از چیرپ فرستاده شده مخلوط^{۱۰} می کنیم. به این عمل de-ramp گفته می شود که حاصل آن، سیگنال بیت^{۱۱} است و فرکانس آن، نشان دهنده ی فاصله از هدفی است که سیگنال از آن بازتاب شده. بنابراین، فاصله از هدف را می توان با آنالیز طیف^{۱۲} سیگنال بیت به دست آورد. روند کلی تشخیص، به این صورت است که کتابخانه ای از تمام چیرپ های ممکن می سازیم. پس از دریافت و تقسیم بندی، هر چیرپ را نرمالیزه می کنیم و با گرفتن fft، آن را با تمام fft هایی که داریم مقایسه می کنیم. در نهایت، fft با کمترین فاصله را به عنوان خروجی شناسایی می کنیم.

پارامتر های سیستم، در زیر آمده اند. همچنین: 0.1μ ثانیه به عنوان زمان محافظت^{۱۳} در نظر گرفته شده است، که ISI را کاهش می دهد و در جداسازی سیگنال ها به ما کمک می کند.

$$f_c = 62/64GHz$$

$$f_s = 2 \times 10^9 \text{ samples/sec}$$

$$T_c = 15/2 \text{ microseconds}$$

FMCW chirp^۸
radar sensing^۹
mix^{۱۰}
beat^{۱۱}
spectral analysis^{۱۲}
guard time^{۱۳}

receiver

روش پیشنهاد شده برای استخراج اطلاعات از chirp دریافت شده و دیکدینگ آن مبتنی بر محاسبه تبدیل فوریه سیگنال و سپس استفاده از تخمین گر (Maximum Likelihood) ML است. در این روش پس از دریافت سیگنال پیام آن را به حوزه فرکانس مختلف می کنیم و سپس فاصله تبدیل فوریه سیگنال نرمالایز شده با تبدیل فوریه تمام سیگنال های استاندارد نرمالایز شده مقایسه می کنیم. کمترین فاصله تبدیل فوریه ها چیرپ موردنظر را برای ما آشکار می کند. همانطور که واضح است این روش تا حد زیادی نسبت به نویز مقاوم است. البته ساخت دریافت کننده ای که بتواند برای استخراج اطلاعات تبدیل فوریه سیگنال را محاسبه کرده و با سیگنال های استاندارد مقایسه کند بسیار پرهزینه است.

برای رهایی از زمان لازم برای محاسبه تبدیل فوریه سیگنال می توانیم از تخمین گر در حوزه زمان استفاده کنیم که در این حالت با کاهش پهنای باند فرکانسی سیگنال زمان انجام محاسبات در حوزه زمان بسیار بالا می رود و اصلا برای سیگنال های محدود در حوزه فرکانس مناسب نیست.

روش دیگری که توصیه می شود و نسبت به محاسبه تبدیل فوریه راحت تر است. استفاده از تبدیل فوریه سریع STFT سیگنال است. همانطور که می دانیم برای کد گذاری سیگنال دو مولفه پهنای باند و فرکانس ابتدایی سیگنال برای ما مهم هستند لذا داشتن این دو مولفه برای آشکار سازی پیام مخابره شده کفایت می کند. این تخمین گر نسبت به تخمین گر های قبلی سریعتر است و زمان و حجم اطلاعات کمتری مصرف می کند در نتیجه گیرنده ارزانتری در اختیار ما خواهد گذاشت. تنها مشکل این نوع از تخمین گر مقاوم نبودن نسبت به نویز در مقابله با روش قبلی است که نسبت به روش قبلی حساسیت بیشتری به نویز دارد. به طوری که اگر سیگنال نویزی شده باشد و با نرخ نمونه برداری عادی فرکانس ابتدایی و پهنای باند قابل تشخیص نباشند باید پنجره بزرگتری برای STFT در نظر گرفت و در نتیجه زمان بیشتری برای استخراج اطلاعات نیاز خواهیم داشت.

با توجه به الگوریتم های حریص می توانیم داخل لوپ با یک threshold می توانیم تنک ترین جواب ممکن را پیدا کنیم. این نوع الگوریتم ها بسیار سریع تر هستند و تنها ایرادشان اضافه کردن اندکی خطا در هر مرحله هست که در نهایت در جواب نهایی تاثیری ندارند. برای تعیین threshold می توان با چند بار اجرای الگوریتم و محاسبه خطا مقدار بهینه را پیدا کرد.

Transfer One-Bit

۱.۰ Up Chirp/Down Chirp

برای ارسال یک بیت به کمک تحلیل فرکانسی می توان تغییرات ناشی از رفتار فرکانسی را دنبال کرد. یکی از این رفتار ها را می توان به کمک کاهش یا افزایش فرکانس چیرپ دریافتی مدل کرد به طوری که افزایش فرکانس و یا کاهش آن را می توان به عنوان یک پیام مخابره شده در نظر گرفت. این رفتار دوگانی را می توان به عنوان یک بیت پیام در نظر گرفت به طوری که کاهش فرکانس با بیت ۰ و افزایش فرکانس با بیت ۱ نشان داده شود.

۱.۱.۰ Down Chirp

$$\theta = -\alpha t + \beta \longrightarrow x(t) = (\exp \jmath \pi (-\frac{\alpha}{\gamma} t^2 + \beta t + \gamma))$$

۲.۱.۰ Up Chirp

$$\theta = \alpha t + \beta \longrightarrow x(t) = \exp(\jmath \pi (\frac{\alpha}{\gamma} t^2 + \beta t + \gamma))$$

۲.۰ On-off keying

این نوع از مخابره پیام که ساده ترین نوع مخابره است، را می توان به عنوان نوعی از ASK در نظر گرفت به طوری که ارسال پیام با دامنه غیر صفر را با بیت یک و ارسال پیام با دامنه صفر که هیچ مولفه فرکانسی برای تحلیل ندارد را با بیت صفر نمایش داد.

۳.۰ results

نمونه ای از سیگنال ارسالی ، دریافت شده و پردازش شده:

