

دستور کار پروژه

درس سیگنال ها و سیستم ها

دکتر امینی

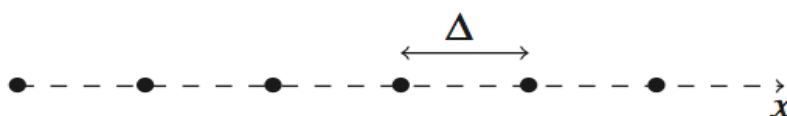
موضوع پروژه: پیاده سازی یک رادار برای تشخیص زاویه و فاصله اجسام نسبت به یک مبدا مشخص در فضای دو

بعدی

توضیحات تئوری: در ابتدا توضیحی از روش کار این نوع رادار ارائه می دهیم. پس از مطالعه و درک مفاهیم اصلی

این بخش، می توانید به قسمت بخش عملی رفته و رادار خود را پیاده سازی کنید!

فرض کنید M عدد آنتن داریم که کنار هم روی یک خط صاف همانند شکل زیر قرار گرفته اند.



فرض کنید امواجی به شکل $e^{j\omega_0 t}$ ارسال شده اند و بازتاب های آن از سطح اجسام نیز همین فرم را دارند؛ یعنی این موج های تولیدی، به اجسام موجود در فضای اطراف این آنتن ها برخورد کرده و بازتاب آن ها توسط این آنتن ها دریافت می شوند. هر کدام از این آنتن ها در نقش یک گیرنده عمل می کند. در اینجا برای سادگی ما فرض می کنیم که تمامی این مراحل در یک لحظه انجام می شوند. یعنی اگر بخواهیم از رادار در لحظه t_0 استفاده کنیم، امواج دریافتی توسط آنتن ها را در همان لحظه را داریم.

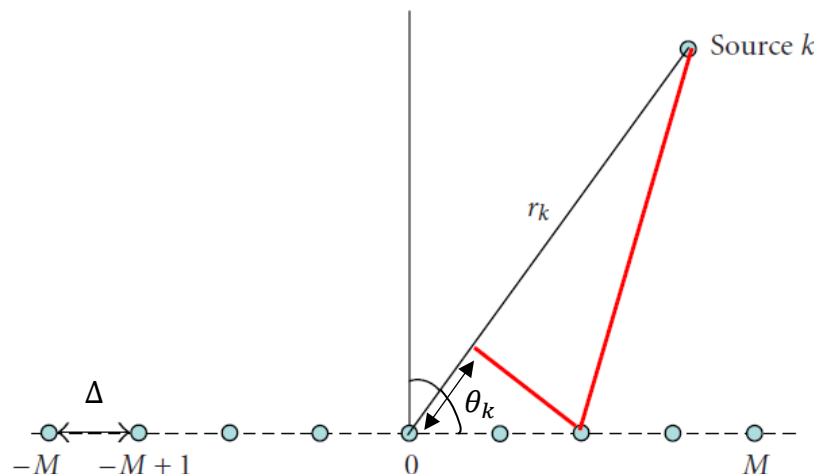
سپس فرض کنید که تعداد فردی آنتن داریم و آنتن وسط را به عنوان مبدا در نظر می گیریم. هم چنین K جسم هم در زاویه های θ_k نسب به این مبدا قرار گرفته باشند. می توان نشان داد که پس از بازتاب امواج از اجسام مورد نظر، سیگنال هایی با رابطه زیر توسط هر آنتن دریافت می شود: (در یک لحظه خاص از زمان)

$$x_m(t) = \sum_{k=1}^K e^{j\tau_{mk}} s_k(t) + n_m(t)$$

در این رابطه، $s_k(t)$ موج بازتابی دریافت شده در آنتن مرکزی به ازای هر جسم است. این موج هم چنان یک موج سینوسی است که دامنه آن متناسب با فاصله جسم تغییر کرده است. آنتن های دیگر، موج بازتابی را به یک تاخیر

نسبت به آنتن مرکزی دریافت می کنند. در شکل بعد، وضعیت برای یک جسم رسم شده است. اندازه اختلاف فاز و تاخیر در دریافت موج، متناسب با اختلاف فاصله آنتن ها تا جسم مورد نظر است. برای سادگی می توان این اختلاف طول را برابر اختلاف برابر با طول مستقیم نمایش داده شده فرض کرد.

✓ (1) این طول را برحسب زاویه θ_k و شماره آنتن، m بدست آورید. حال آیا می توانید رابطه ای برای τ_k پیشنهاد دهید؟



در نهایت، به خاطر اصل برهم نهی، به ازای اجسام مختلف، موج های بازتابی با هم جمع می شوند و سیگنال نهایی را مطابق رابطه گفته شده می دهند. منطقی است برای سیگنال دریافتی، یک نویز ناخواسته جمع شونده نیز متصور باشیم. در رابطه قبل m ، موقعیت نسبی آنتن مورد نظر نسبت به آنتن مبدا را نشان می دهد که می تواند مثبت، منفی یا صفر باشد. حال اگر فاصله بین آنتن ها (Δ در شکل بالا) را برابر نصف طول موج ارسال شده یعنی $\frac{2\pi c}{\omega_0}$ در نظر بگیریم، رابطه ساده تر می شود. شکل صفحه بعد و شکل قبلی می تواند در فهم بهتر این موضوع به شما کمک کند.

حال که در یک لحظه خاص از زمان هستیم، می توانیم کل آنتن های استفاده شده را به چشم یک دنباله نگاه کنیم. یعنی آن را به شکل یک دنباله به صورت $x[m]$ ببینیم که مقادیر آن از رابطه داده شده بدست می آیند.

نکته اصلی از تامل در این مورد بدست می آید که دنباله داده شده مانند یک دنباله سینوسی با فرکانس $\cos\theta$ (مکانی) می باشد. لذا اگر از این سیگنال مکانی! $(x[m])$ تبدیل فوریه گسسته بگیریم، انتظار داریم در فرکانس $\cos\theta$ ضربه

ببینیم. اما از آنجا که تعداد آنتن های ما محدود است، گویا سیگنال ما محدود در حوزه مکان است و لذا در حوزه فرکانس ضربه نخواهیم دید، اما باز هم در همان مقدار قبلی قله خواهیم داشت.

✓ (۲) اگر تنها یک جسم حاضر باشد، شکلی که در حوزه فرکانس انتظار داریم ببینیم را محاسبه کنید. دقت کنید که $s_k(t)$ در هر لحظه مقدار ثابتی است، پس در حوزه مکان می توان به آن به شکل یک ضریب ثابت نگاه کرد.

در سوال قبل، در مورد حالتی بحث کردیم که فقط یک جسم در فضا داریم. اگر چند جسم در زوایای مختلف داشته باشیم، باز هم تمام صحبت های قبلی درست است، فقط طبق قضیه جمع آثار، به جای داشتن یک قله در حوزه فرکانس، چند قله خواهیم داشت که باز هم از روی همان قله ها می توان کسینوس زوایای اجسام را یافت.

از روی این مدل ساده، می توان اطلاعاتی هم در مورد دوری یا نزدیکی (و یا کوچکی یا بزرگی) جسم تشخیص داده شده بدست آورد. این موضوع به شدت سیگنال بازتابی از جسم مورد نظر بستگی دارد. به عبارت دیگر، هرچه اندازه سیگنال دریافتی توسط آنتن ها بیشتر باشد، یا جسم بزرگتری داریم و یا نزدیک تر. تاثیر این موضوع را می توان در اندازه قله های مشاهده شده برای هر زاویه بررسی کرد. هرچه اندازه قله مربوط به یک زاویه بزرگ تر باشد، جسم ما در آن زاویه نزدیک تر (یا بزرگ تر) است. این موضوع را در صفحه رادار خود با کمرنگ و پررنگ کردن نقاط نمایش داده شده برای هر جسمی که تشخیص می دهید، نشان خواهید داد. برای ساده تر شدن مدل، فرض می کنیم اندازه قله ها با مجذور فاصله از مبدا رادار رابطه عکس دارند.

در این پروژه، سیگنال های ورودی هر آنتن به ازای لحظات مختلف از زمان به شما داده شده است. همانطور که ذکر شد، برای تطابق بیشتر با دنیای واقعی، به سیگنال هایی که به شما تحویل داده ایم، نویزی گاوسی با انحراف معیار کم افزوده شده است. می توانید از ایده های مختلفی برای دقیق تر شدن پاسخ نهاییتان استفاده کنید! شما باید در هر لحظه، از سیگنال های مکانی تبدیل فوریه گرفته، قله های آن و فرکانس های متناظر با آن ها را بیابید و زوایایی

که جسمی در آن قرار دارد را به عنوان خروجی برگردانید. توضیحات دقیق تر در بخش توضیحات عملی آمده است.

داده‌ای که در اختیار شما قرار گرفته است، به صورت یک ماتریس $M \times T$ است که M تعداد آنتن‌ها و T تعداد نقاط زمانی است که در آن‌ها ثبت انجام داده‌ایم.

یک کد اصلی در اختیار شما قرار داده شده است که توضیحات مربوط به تابع‌ها و بخش‌های مختلف را می‌توانید در آن مطالعه کنید.

همانطور که گفتیم، می‌توان روند کلی را به مراحل زیر تقسیم کرد:

[کل مراحل زیر برای یک لحظه زمانی است، پس برای مشاهده وضعیت در طی زمان، باید حلقه‌ای در زمان داشته باشیم.]

- 1- محاسبه تبدیل فوریه گسسته مکان
- 2- پیدا کردن قله‌های مربوط به این تبدیل
- 3- تبدیل فرکانس متناظر با قله‌ها به زوایای اجسام و تعیین شدت دوری
- 4- رسم صفحه رادار

هر یک از این بخش‌ها به صورت کلی توضیح داده می‌شوند و سوالات و انتظارات ما نیز در ادامه آورده شده‌اند:

1- محاسبه تبدیل فوریه گسسته مکان:

این تبدیل را به صورت زیر می‌توان تعریف کرد:

$$X(e^{j\omega}) = \sum_{-\infty}^{\infty} x[m]e^{-j\omega m}$$

توجه کنید در اینجا، فرکانس ω پیوسته است. پس امکان پیاده سازی واقعی آن وجود ندارد. هم‌چنین می‌دانیم این تبدیل با فرکانس $2 \times \pi$ روی محور فرکانس متناوب است، پس کافی است آن را در بازه $[-\pi: \pi]$ محاسبه کنیم. پارامتری با عنوان دقت فرکانسی در تابع مربوط به این تبدیل آورده شده است که محور فرکانس را با این واحد، گسسته کرده‌ایم. یعنی $\omega = n \Delta\omega : n \in Z$. در نظر بگیرید که قرار است یک محور پیوسته را با این دقت گسسته کنید.

2- پیدا کردن قله‌ها:

برای پیدا کردن قله‌ها، از تابعی آماده در متلب استفاده کردیم. این تابع ماکسیموم‌های محلی را پیدا می‌کند، اما می‌تواند یک ورودی بگیرد و شرط بگذارد تا این بیشینه‌های محلی، از این مقدار خاص بیشتر باشند.

✓ (3) با استفاده از تولید تابع داده، تعداد اجسام موجود را برابر یک قرار دهید. شکلی که مشاهده می‌کنید را گزارش کنید.

✓ (4) با مشاهده نمودار اندازه تبدیل فرکانسی، آیا می‌توانید ایده‌ای برای اینکه این آستانه را برابر چه چیزی می‌توان قرار داد، بدهید؟

3- تبدیل فرکانس متناظر قله‌ها به زوایای اجسام:

در این بخش و در تابع مربوط به پیدا کردن اجسام، به دنبال یافتن زوایای اجسام از روی فرکانس متناظر با قله‌ها هستیم. با توجه به انتظاری که از محل رخ دادن این قله‌ها و رابطه آن با زاویه جسم داریم:

✓ (5) زاویه مربوط به هر جسم در داده‌هایی که در اختیارتان قرار گرفته است را با تکمیل تابع مورد نظر بدست آورید.

اگر محاسباتی را که در بخش‌های قبل انجام دادید، به یاد آورید، متوجه می‌شوید که اندازه قله‌ها شامل اطلاعاتی مربوط به فاصله اجسام می‌تواند باشد.

✓ (6) با مشاهده تابع نوشته شده، شرح دهید چطور می‌توان به صورت حدودی، فاصله جسم را بدست آورد.

4- رسم صفحه رادار:

این تابع به صورت کامل به شما داده شده است و می‌توانید مطابق حالت آورده شده در کد اصلی، از آن استفاده کنید.

✓ (7) در این بخش می‌خواهیم دقت رادار موجود را بسنجیم؛ بدین منظور دوباره با استفاده تولید داده راداری، حالتی را در نظر بگیرید که تنها دو جسم داشته باشیم. لازم نیست دو جسم متحرک باشند، و می‌توانند ساکن باشند. زاویه‌ای که این دو جسم نسبت به هم دارند را به مرور کم کنید، تا آنجایی که کد دیگر نتواند حضور دو جسم را تشخیص دهد. این کمترین زاویه‌ای است که دو جسم می‌توانند از نظر رادار داشته باشند و جدا تشخیص داده شوند. این زاویه بدست آمده و نمودار تبدیل فرکانسی در این حالت را در گزارش خود بیاورید.

✓ (8) دنبال راهکاری هستیم تا بتوانیم این دقت را افزایش دهیم. می‌خواهیم پارامترهای دخیل در مساله را تغییر دهیم. در ابتدا با افزایش دقت محور فرکانسی، دقت نهایی رادار را بدست آورید. آیا تغییری در این دقت مشاهده شد؟ نمودار تبدیل فرکانسی را به ازای دقت‌های مختلف فرکانسی رسم کنید.

✓ (9) مشاهده قسمت قبل را با محاسبات ریاضی توجیه کنید و سعی کنید روشی ریاضی برای فهمیدن دقت این روش راداری ارائه کنید. لازم نیست محاسبات را انجام دهید، اما باید روش لازم برای فهمیدن دقت را ارائه کنید. (راهنمایی: به شکل تابعی که برای تبدیل فرکانسی در حالت یک جسم بدست آوردید، و به شکل نمودارهایی که برای داده‌های با چند جسم مشاهده کردید، بسیار دقت کنید!)

✓ (10) حال تعداد آنتن‌ها را افزایش دهید. می‌توانید این تعداد را به صورت نمایی افزایش دهید! مثلاً 500 آنتن، 2500 آنتن، 10000 آنتن و چک کنید که آیا تغییری در دقت نهایی رادار حاصل می‌شود؟ نمودار تبدیل فرکانسی را به ازای تعداد آنتن‌های مختلف رسم کنید.

✓ (11) یک مجموعه داده در اختیار شما قرار گرفته است. **Data_1** را باز کنید و مراحل ذکر شده را با استفاده از کد اصلی بر روی آن پیاده کنید. پس از انجام کد، خروجی‌های شما در پوشه‌ای با نام **Results** ذخیره شده‌اند. نتایج شما را از روی فایل‌های موجود در این پوشه ارزیابی خواهیم کرد. در گزارش خود، چند نمودار مربوط به اندازه تبدیل فرکانسی بر حسب فرکانس بیاورید و قله‌های یافته شده در آن‌ها را نمایش دهید. تابع موجود تمام امکانات لازم را در اختیار شما گذاشته است.

✓ (12) به این شکل از مجموعه آنتن‌های راداری، ULAs (Uniform Linear Arrays) می‌گویند. با جست‌وجو، در مورد روش‌های دیگر برای تشخیص زاویه اجسام توضیح دهید. توضیحات کلی کافی هستند.

- در نهایت، شما باید کارهای زیر را انجام داده باشید:

○ پاسخ به سوالات 1 تا 12، که باید در گزارش خود به صورت کامل همراه با نمودارها و

شکل‌های خواسته شده تایپ کنید. می‌توانید برای بهتر مشخص شدن نتایج، از نمودارهای

دیگری که صلاح می‌دانید نیز استفاده کنید.

○ نتایج خروجی برای Data_1. این نتایج در پوشه Results ذخیره شده‌اند.

**** نکاتی که باید به آن‌ها توجه کنید! ****

- هر بار که کد را برای یک مجموعه داده ورودی (چه داده‌ای که خودتان ساخته‌اید، و چه داده‌ای که به شما داده شده است) ران می‌کنید، اطلاعات قبلی که در پوشه Results قرار داشتند، پاک می‌شوند. پس اگر آن‌ها را لازم دارید، در جایی دیگر ذخیره کنید.
- در کدی که در اختیار شما قرار گرفته است، یک شرط پایان در نظر گرفته شده است. اگر رادار در 10 تکرار زمانی نتواند حضور یک یا چند شی را تشخیص دهد، جست‌وجو را پایان می‌دهد. می‌توانید این شرط را بردارید یا به شرط دلخواه خود تبدیل کنید.
- مجموعه کد اصلی، توابع و داده‌ای که در اختیار شما قرار گرفته‌اند، برای آنکه مسائل خواسته شده را انجام دهید، به صورت بهینه تنظیم شده‌اند؛ اما شما شاید بخواهید در آن‌ها علاوه بر تغییرات خواسته شده، تغییرات دیگری اعمال کنید. (به طور مثال، در تابع مربوط به تولید داده، شاید بخواهید دقت زمانی و تعداد تکرارهای زمانی را تغییر دهید. هم‌چنین توصیه می‌کنیم در همین تابع، واریانس نویز جمع‌شونده را یکبار برابر صفر قرار دهید تا حالت ایده‌آل را نیز مشاهده کنید) این کار اگر در راستای کنجکاوی شما باشد، بسیار عالی است، اما باید هر تغییری که اعمال کرده‌اید را به صورت دقیق در گزارش خود عنوان کنید؛ وگرنه به عنوان خطا در نظر گرفته می‌شوند.

- نتایج خود را با فرمت زیر آپلود کنید:

گزارش کار خود را به پوشه اصلی پروژه اضافه کنید و تمام محتویات این پوشه، به غیر از پوشه داده‌ها را در فایل با نام `Project_StudentNumber_FamilyName.zip` آپلود کنید.