

باسمه تعالی



دانشگاه صنعتی شریف

دانشکده مهندسی برق

تمرین سری دوم

دستیاران آموزشی : محمد حسین باقریان، محمد جواد محمدی

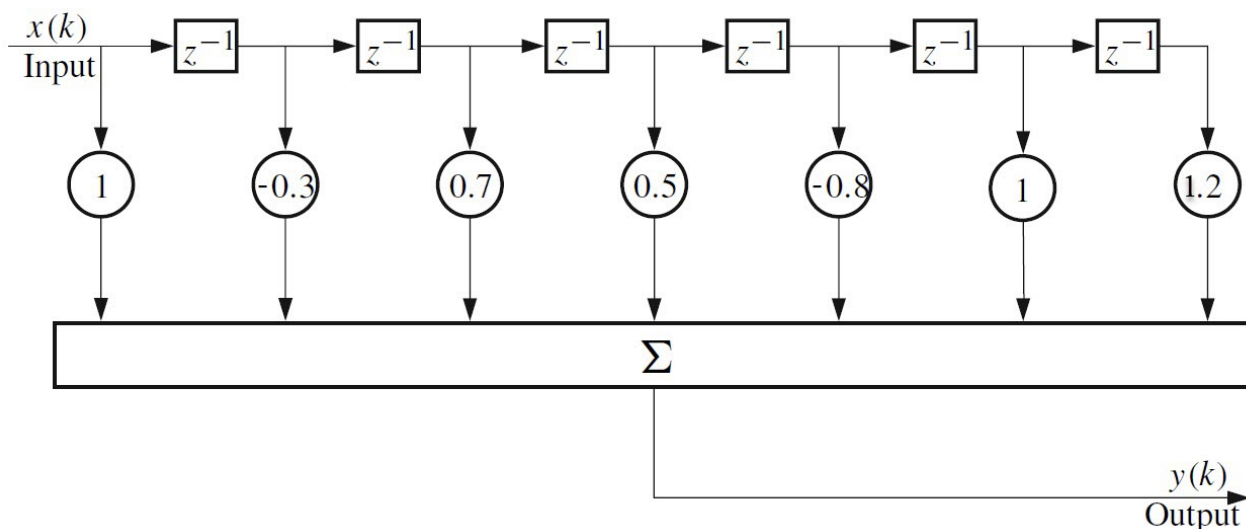
استاد درس : دکتر ایمان غلامپور

نیم‌سال ۲-۱۴۰۳

## ۱ تمرین اول

فیلتری به صورت شکل ۱ در نظر بگیرید. ما می‌خواهیم این فیلتر را بر روی یک سیستم نهفته به صورت fixed-point به گونه‌ای طراحی کنیم که ضرایب آن بدین فرمت باشند:

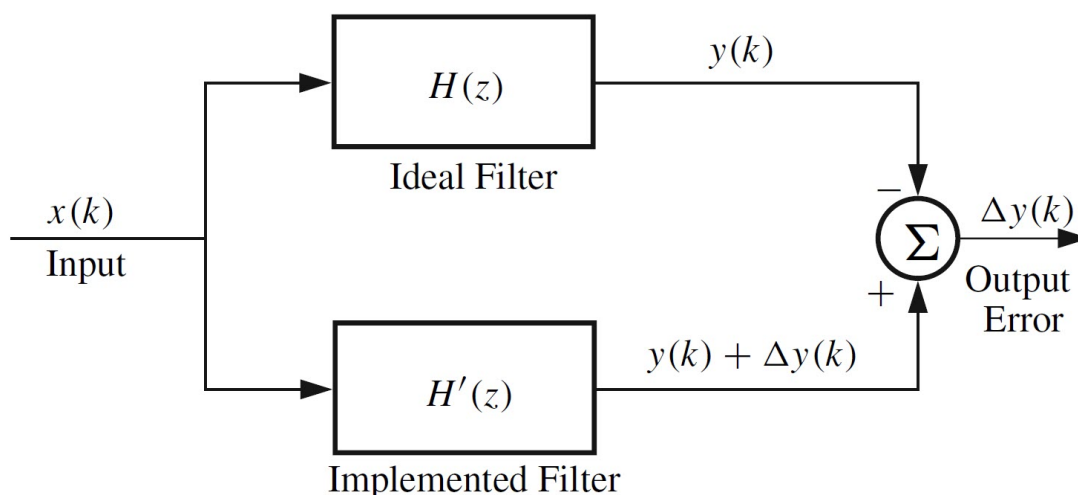
$$\langle \text{sign bit} \rangle \langle 2 \text{ bits} \rangle . \langle 8 \text{ bits} \rangle \quad (1)$$



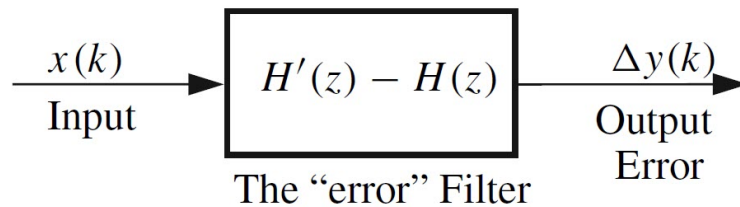
شکل ۱: فیلتر FIR مورد نظر برای پیاده‌سازی

توجه شود که مقادیر کامل ضرایب فیلتر در شکل ۱ نشان داده شده‌اند. حالت ایده‌آل ضرایب این فیلتر همین ضرایب هستند و حالت پیاده‌سازی شده (تقریبی) آن به صورتی است که فرمت fixed-point اشاره شده در ابتدای سوال برقرار باشد.

راهنمایی: در ادامه، علاوه بر واژه‌های "فیلتر ایده‌آل" و "فیلتر پیاده‌سازی شده"، عبارت "فیلتر خطا" نیز آمده است که منظور از آن فیلتری است که تابع تبدیل آن برابر اختلاف تابع تبدیل فیلتر ایده‌آل و تابع تبدیل فیلتر پیاده‌سازی شده است. در شکل‌های ۲ و ۳ این موضوع را ملاحظه می‌کنید.



شکل ۲: فیلترهای ایده‌آل و پیاده‌سازی شده



شکل ۳: فیلتر خطا

اکنون با توجه به این توضیحات، به سوالات زیر پاسخ کامل دهید:

(الف) تابع تبدیل و پاسخ ضربه را برای فیلتر پیاده‌سازی شده بدست آورید.

(ب) تابع تبدیل و پاسخ ضربه را برای فیلتر خطا بدست آورید.

(ج) با فرمت double-precision فیلتر ایده‌آل را شبیه‌سازی کنید.

(د) با فرمت fixed-point اشاره شده در ابتدای سوال فیلتر پیاده‌سازی شده را شبیه‌سازی کنید.

(ه) با توجه به دو قسمت اخیر، پاسخ ضربه فیلتر خطا را محاسبه کنید.

(و) مقدار پارامتر SOS (sum of squares) را برای پاسخ ضربه (جذر مجموع مربعات مقادیر پاسخ ضربه) در فیلتر ایده‌آل شبیه‌سازی شده و فیلتر خطای شبیه‌سازی شده بدست آورید. سپس نسبت مقدار پارامتر بدست آمده برای این دو فیلتر را نشان دهید.

(ز) به ازای ورودی‌های زیر خروجی ایده‌آل را با خروجی بدست آمده از نمایش‌های Q5.2، Q5.6 و Q5.9 مقایسه کنید. در صورتی که نمایش‌های ارائه شده موجب تداخل در عملکرد فیلتر می‌شود نمایش مناسب را در جهت دست یافتن به خطای کمینه بیابید.

$$x1 = [12.32, 12.421, 13.98, 12.98, 13.2142, 15.78, 12.80, 12.27]$$

$$x2 = [11.2, 13.4, 15.8, 16.7, 13.2, 1.3, 5.6, 7.8]$$

## ۲ تمرین دوم

### ۱.۲ بخش اول

مشابه روندی که در جزوه موجود می‌باشد، یک فیلتر دلخواه (به طور مثال بیضوی) در نرم افزار متلب طراحی کرده و سپس آن را تبدیل به فیلترهای مرتبه دوم نمایید (SoS) آنگاه با عبور دادن نویز گوسی با توان صفر دسی بل از آن، خروجی فیلتر را ایجاد کنید (خروجی ایده‌آل). پس از آن، محاسبات فیلتر را روی fixed point تنظیم کنید و با اعمال ترکیب‌های متفاوت از روش‌های نرمالیزاسیون و طرز مرتب‌سازی فیلترهای مرتبه دوم (که در زیر آورده شده) در تنظیمات فیلتر، خروجی‌های متفاوت را به شکل مشابه به دست آورید

$$norms = \{ 'l1', 'L1', 'l2', 'linf', 'Linf' \};$$

$$order = \{ 'up', 'down' \};$$

از خروجی‌های به دست آمده FFT گرفته و نتایج را با حالت ایده‌آل مقایسه کنید.

پیشنهاد: در صورت واضح نبودن خروجی FFT ها، می‌توانید با اعمال فیلتر ساویتزکی-گولی (Savitzky-Golay) (با دستور sgolayfilt در متلب) - یا موارد مشابه آن - به FFT تولید شده، خروجی نرم شده و قابل تحلیل را به دست آورید.

## ۲.۲ بخش دوم

یک سیستم با پاسخ ضربه زیر را تعریف کنید.

$$h[n] = [-0.9, 0.8, -0.7, 0.5, -0.4, 0.3, -0.2, 0.1, 0.0, 1.0, -0.1, 0.2, -0.3, 0.4, -0.5, 0.7, -0.8, 0.9]$$

سپس یک سیگنال تصادفی با توزیع نرمال به طول  $n$  را به عنوان ورودی سیستم تعریف کنید. (مقدار  $n$  را 300 در نظر بگیرید) این ضرایب را به صورت fixed-point دریاورید. و پاسخ سیستم را یک بار به صورت معمولی و یک بار توسط ضرایب fixed point محاسبه کنید. از هردو سیگنال FFT گرفته و گزارش کنید. (با تابع کانولوشن می‌توانید پاسخ سیستم را محاسبه کنید) خروجی ایده‌آل بدست آمده را با خروجی خود مقایسه کرده و پارامتر SSE (sum square error) را به ازای نمایش‌های Q8.1 ، Q8.2 ، Q8.3 ، Q8.4 ، Q8.5 ، Q8.6 ، Q8.7 و Q8.8 گزارش دهید. نتایج را توجیه کرده و رابطه بین تعداد بیت‌های word ، fraction و نتایج بدست آمده را توضیح دهید.

حال تمامی مراحل بالا را با استفاده از fixed-point toolbox و فیلتر FIR متلب تکرار کنید.

## ۳ تمرین سوم

### ۱.۳ بخش اول

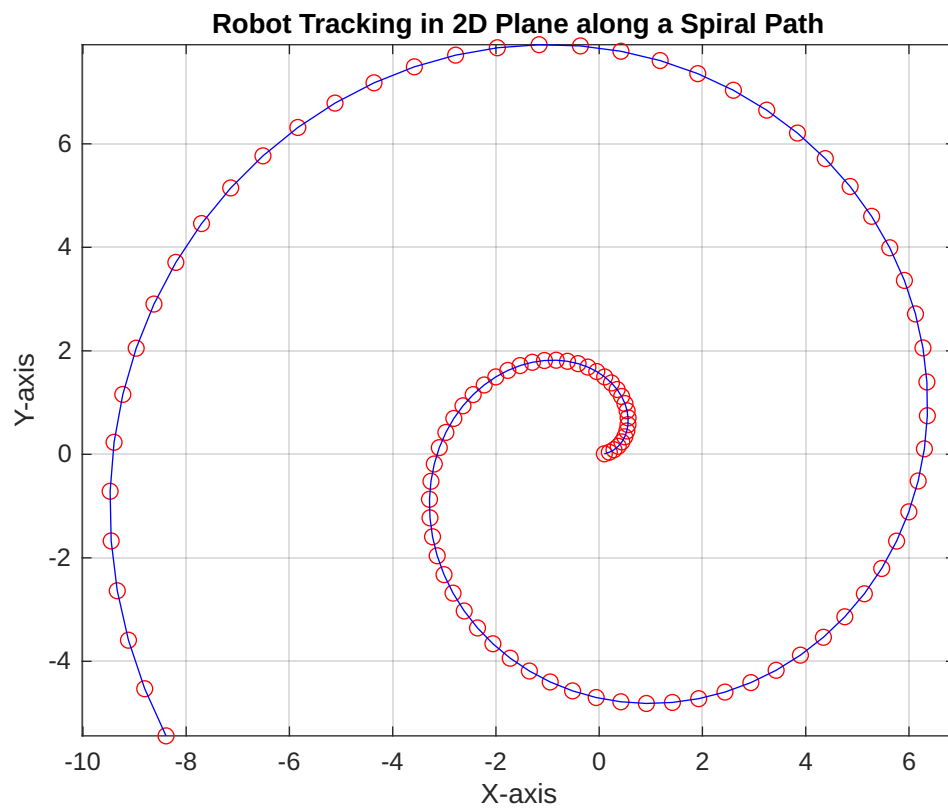
از الگوریتم CORDIC می‌توان به منظور محاسبه توابع مثلثاتی، لگاریتمی و... استفاده کرد. در این بخش از تمرین لازم است ابتدا توابع Sin و Cos به صورت ممیز-ثابت در Matlab پیاده‌سازی شده و کد نوشته شده در بازه مربوط تست و صحت سنجی شود.

### ۲.۳ بخش دوم

در این بخش از تمرین، تصور کنید که مشابه تصویر ۴ یک ربات در نقطه معین  $(0, 0)$  قرار گرفته و یک مسیر مارپیچ را طی می‌کند. در این بخش از تمرین لازم است تا با استفاده از توابع Sin و Cos مسیر حرکت این ربات را مانند شکل مذکور در صفحه X-Y در دو حالت single precision و double precision مقایسه کنید. در قسمت بعد کد نوشته شده را با فرض عدم خروج این ربات از محدوده  $(-10, 10)$  به صورت ممیز-ثابت بازنویسی کرده و تاثیر تعداد رقم اعشار بر روی موقعیت ربات را بررسی کنید.

### ۳.۳ بخش سوم

با توجه به کد نوشته شده در بخش ۱.۳ و در دسترس بودن توابع Sin و Cos از این بخش، در این بخش لازم است تا کد نوشته شده در بخش ۲.۳ بازنویسی شده و نتیجه بدست آمده در این قسمت با بخش قبل مقایسه گردد.



شکل ۴: مسیر حرکت ربات