



اصول فیلترهای تطبیقی

الگوریتم‌ها و تحلیل عملکرد

تصنیف:

دکتر محمد شمس اسفندآبادی

دانشیار دانشگاه تربیت مدرس شهید رجائی

سرشناسه	: شمس اسفندآبادی، محمد، ۱۳۵۷ -
عنوان و نام پدیدآور	: اصول فیلترهای تطبیقی الگوریتم‌ها و تحلیل عملکرد/محمد شمس اسفندآبادی.
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری	: ۱۸۰ ص.: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۷۵-۰
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
موضوع	: پالایه‌های تطبیقی
موضوع	: Adaptive filters
شناسه افزوده	: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
شناسه افزوده	: Shahid Rajaee Teacher Training University
رده بندی کنگره	: ۶۲۱/۳۸۱۵۳۲۴ TK ۷۸۷۲ ۱۳۹۵ ۸ ش ۲ /
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۸۱۵۳۲۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۴۶۳۶۱۶۸



دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

عنوان	: اصول فیلترهای تطبیقی الگوریتم‌ها و تحلیل عملکرد
تصنیف	: دکتر محمد شمس اسفندآبادی، عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
ویراستار علمی	: دکتر محمد شمس اسفندآبادی
ویراستار ادبی	: دکتر یداله بهمنی
نوبت چاپ	: اول - بهار ۱۳۹۶
انتشارات	: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
لیتوگرافی	: رجاء نقشینه
چاپ	: شریف
طراح جلد	: محمد مشتاقی
ناظر چاپ	: محمد معتمدی‌نژاد
صفحه‌آرا	: محمد جواد رحیمیان
کارشناسان	: نیره فیروزی/ طاهره کیا/ علی رضایی اهوئویی
شمارگان	: ۱۰۰۰ جلد
قیمت	: ۲۵۰,۰۰۰ ریال
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۷۵-۰
	ISBN: 978-600-6594-75-0

کلیه حقوق این اثر برای مؤلفان و مترجمان و دانشگاه تربیت دبیر شهیدرجایی محفوظ است.

نشانی: تهران، لویزان - کد پستی ۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸ - صندوق پستی ۱۶۳ - ۱۶۷۸۵ - تلفن: (۲۶۳۲) ۹ - ۲۲۹۷۰۰۶۰،
 تلفکس: ۲۲۹۷۰۰۴۲، پست الکترونیکی: publish@srttu.edu، وب سایت: publish.srttu.edu

فهرست

عنوان	شماره صفحه
فهرست علائم و نشانه‌ها	۱
عملگرهای ریاضی	ج
کلمات اختصاری	۵
پیشگفتار	ح
فصل اول: مقدمه	
۱-۱- مفاهیم اولیه فیلترهای تطبیقی	۱
۲-۱- ویژگی یک فیلتر تطبیقی	۲
۱-۲-۱- کاربرد	۲
۲-۲-۱- ساختار یک فیلتر تطبیقی	۳
۳-۲-۱- الگوریتم	۴
۳-۱- ساختار کلی کتاب	۴
مراجع	۶
فصل دوم: الگوریتم‌های تندترین شیب	
۱-۲- مقدمه	۷
۲-۲- مسأله‌ی تخمین خطی	۷
۳-۲- روش تندترین شیب	۸
۱-۳-۲- انتخاب جهت جستجو	۹
۲-۳-۲- روش نیوتن	۱۰
۴-۲- الگوریتم‌های با شیب تصادفی	۱۱
۱-۴-۲- الگوریتم حداقل میانگین مربعات (LMS)	۱۲
۲-۴-۲- چندنمونه از کاربردهای فیلترهای تطبیقی	۱۳
۱-۲-۴-۲- شناسایی سیستم	۱۳
۲-۲-۴-۲- تخمین کانال تطبیقی	۱۴
۳-۲-۴-۲- مدل کردن معکوس	۱۶
۴-۲-۴-۲- متعادل سازکانال تطبیقی	۱۷
۵-۲-۴-۲- متعادل ساز با باز خورد تصمیم	۱۹
۶-۲-۴-۲- پیش بینی کننده خطی	۲۲

۲۳	 حذف نویز ۷-۲-۴-۲
۲۴	 الگوریتم حداقل میانگین مربعات نرمالیزه شده (NLMS) ۳-۴-۲
۲۵	 الگوریتم حداقل میانگین مربعات نرمالیزه شده بانرمالیزه کردن قدرت ۴-۴-۲
۲۶	 گونه‌های مختلف LMS ۵-۴-۲
۲۷	 الگوریتم علامت خطا حداقل میانگین مربعات ۱-۵-۴-۲
۲۷	 الگوریتم علامت داده حداقل میانگین مربعات ۲-۵-۴-۲
۲۸	 الگوریتم علامت داده- علامت خطا حداقل میانگین مربعات ۳-۵-۴-۲
۲۸	 الگوریتم علامت دوگانه حداقل میانگین مربعات ۴-۵-۴-۲
۲۸	 الگوریتم توان دوم حداقل میانگین مربعات ۵-۵-۴-۲
۲۹	 الگوریتم حداقل میانگین مربعات نشست کننده ۶-۵-۴-۲
۲۹	 الگوریتم حداقل میانگین چهارم ۷-۵-۴-۲
۲۹	 الگوریتم اندازه حداقل میانگین مخلوط ۸-۵-۴-۲
۳۰	 الگوریتم تصویرافاین ۶-۴-۲
۳۳	 الگوریتم‌های کور ۷-۴-۲
۳۳	 الگوریتم CMA1-2 ۱-۷-۴-۲
۳۳	 الگوریتم CMA2-2 ۲-۷-۴-۲
۳۴	 الگوریتم RCA ۳-۷-۴-۲
۳۴	 الگوریتم MMA ۴-۷-۴-۲
۳۵	 الگوریتم حداقل میانگین مربعات با اندازه‌ی گام متغیر ۸-۴-۲
۳۶	 الگوریتم حداقل میانگین مربعات با اندازه‌ی گام متغیر ۱-۸-۴-۲
۳۶	 الگوریتم RVS-LMS ۲-۸-۴-۲
۳۶	 الگوریتم KVS-LMS ۳-۸-۴-۲
۳۶	 الگوریتم VSS-NLMS نوع اول ۴-۸-۴-۲
۳۷	 الگوریتم VSS-NLMS نوع دوم ۵-۸-۴-۲
۳۸	 الگوریتم حداقل مربعات بازگشتی (RLS) ۹-۴-۲
۳۹	 جمع بندی کلی ۵-۲
۴۰	 مراجع
	فصل سوم: فیلتر تطبیقی جامع
۴۳	 مقدمه ۱-۳
۴۴	 پیش زمینه‌ای بر حل کننده های تکراری معادله خطی ۲-۳
۴۷	 شرط همگرایی ۱-۲-۳

۴۷	 ۳-۳ مثال‌ها
۴۷	 ۳-۳-۱- فیلتر بازگشتی و رابطه‌ی آن با الگوریتم Gauss-Seidel
۴۸	 ۳-۳-۲- حل معادله‌ی وینر- هاف
۴۹	 ۳-۴-۴- معادله‌ی وینر هاف پیش شرطی شده
۵۰	 ۳-۴-۱- سرعت همگرایی
۵۰	 ۳-۵-۵- ارتباط حل کننده‌های تکراری معادله خطی و فیلترهای تطبیقی
۵۱	 ۳-۵-۱- آسان‌ترین تخمین
۵۲	 ۳-۵-۲- یادآوری تعریف متغیرها
۵۲	 ۳-۶- تخمین‌های مختلف از ماتریس پیش شرطی کننده
۵۳	 ۳-۷-۷- محقق نمودن الگوریتم‌های فیلترهای تطبیقی
۵۳	 ۳-۷-۱- تحقق الگوریتم LMS
۵۳	 ۳-۷-۲- تحقق الگوریتم NLMS
۵۴	 ۳-۷-۳- تحقق الگوریتم AP
۵۵	 ۳-۷-۴- تحقق الگوریتم RLS
۵۵	 ۳-۷-۴-۱- الگوریتم RLS با چارچوب پنجره‌ی لغزان
۵۵	 ۳-۷-۴-۲- الگوریتم RLS با وزن نمایی
۵۶	 ۳-۷-۵- تحقق فیلترهای تطبیقی حوزه تبدیل (TDAF)
۵۸	 ۳-۷-۶- تحقق فیلترهای تطبیقی زیرباند (SAF)
۶۱	 ۳-۸- فیلتر تطبیقی جامع
۶۲	 ۳-۹- سه استراتژی برای ماتریس پیش شرطی کننده
۶۲	 ۳-۱۰- توسعه‌ی الگوریتم‌های فیلتر تطبیقی
۶۳	 ۳-۱۰-۱- الگوریتم‌های برپایه‌ی استراتژی شماره ۱ برای ماتریس پیش شرطی کننده
۶۳	 ۳-۱۰-۲- الگوریتم‌های برپایه‌ی استراتژی شماره ۲ برای ماتریس پیش شرطی کننده
۶۴	 ۳-۱۰-۳- الگوریتم‌های برپایه‌ی استراتژی شماره ۳ برای ماتریس پیش شرطی کننده
۶۵	 ۳-۱۱-۱۱- تحقق الگوریتم‌های دیگر فیلترهای تطبیقی
۶۵	 ۳-۱۱-۱- فیلترهای تطبیقی بلوکی (BAF)
۶۷	 ۳-۱۱-۱-۱- فیلتر تطبیقی بلوکی حداقل میانگین مربعات (BLMS)
۶۸	 ۳-۱۱-۱-۲- فیلتر تطبیقی بلوکی حداقل میانگین مربعات نرمالیزه شده (BNLMS)
۶۹	 ۳-۱۱-۱-۲- انتخاب‌های مختلف طول بلوک L
۶۹	 ۳-۱۱-۲- فیلترهای تطبیقی استفاده‌ی مجدد از داده (DR-AF)
۶۹	 ۳-۱۱-۲-۱- فیلترهای تطبیقی حداقل میانگین مربعات استفاده‌ی مجدد از داده

۷۰	 نرمالیزه شده
۷۱	 خانواده الگوریتم‌های تصویرافاین (APA) ۳-۱۱-۳
۷۲	 الگوریتم فیلتر تطبیقی با اندازه‌ی گام متغیر ۱۲-۳
۷۲	 معادله فیلتر تطبیقی جامع با اندازه‌ی گام متغیر ۱-۱۲-۳
۷۴	 فیلتر تطبیقی VSSBNLMS ۱-۱-۱۲-۳
۷۷	 فیلتر تطبیقی زیرباند با اندازه‌ی گام متغیر (VSSSAF) ۲-۱-۱۲-۳
۷۹	 فیلتر تطبیقی VSSNDRLMS ۳-۱-۱۲-۳
۸۱	 نتایج شبیه سازی ۱۳-۳
۸۲	 نتایج شبیه سازی در الگوریتم VSSBNLMS ۱-۱۳-۳
۸۳	 نتایج شبیه سازی در الگوریتم VSSNDRLMS ۲-۱۳-۳
۸۶	 نتایج شبیه سازی در الگوریتم VSSPRSAF ۳-۱۳-۳
۹۰	 جمع بندی ۱۶-۳
۹۲	 مراجع
	فصل چهارم: تحلیل عملکرد حالت ماندگار فیلترهای تطبیقی
۹۵	 مقدمه ۱-۴
۹۷	 بررسی عملکرد حالت ماندگار فیلتر تطبیقی جامع ۲-۴
۹۷	 استفاده از رابطه‌ی انرژی (الگوریتم‌های برپایه‌ی رابطه‌ی جامع (۳-۱۱۰)) ۱-۲-۴
	 استفاده از رابطه‌ی وزن دار شده انرژی (الگوریتم‌های برپایه‌ی رابطه‌ی جامع (۳-۹۸)) ۲-۲-۴
۱۰۲	 (۹۸)
۱۰۵	 استفاده از تحلیل عملکرد گذرا ۳-۲-۴
۱۰۶	 رابطه‌ی بین ماتریس پیش شرطی کننده و ماتریس خودهمبستگی ۳-۴
۱۰۷	 نتایج شبیه سازی ۴-۴
۱۰۹	 نتایج شبیه سازی در الگوریتم TDAF ۱-۴-۴
۱۰۹	 نتایج شبیه سازی در الگوریتم BNLMS ۲-۴-۴
۱۱۱	 نتایج شبیه سازی در الگوریتم PRSAF ۳-۴-۴
۱۱۴	 جمع بندی ۵-۴
۱۱۵	 مراجع
	فصل پنجم: تحلیل عملکرد ردیابی فیلترهای تطبیقی
۱۱۷	 مقدمه ۱-۵
۱۱۸	 بررسی عملکرد ردیابی فیلتر تطبیقی جامع ۲-۵

۱۱۸	 ۱-۲-۵- استفاده از رابطه‌ی انرژی (الگوریتم‌های برپایه‌ی رابطه‌ی جامع (۳-۱۱۰))
	 ۲-۲-۵- استفاده از رابطه‌ی وزن‌دار شده‌ی انرژی (الگوریتم‌های برپایه‌ی رابطه‌ی جامع (۳-۳))
۱۲۳	 ((۹۸
۱۲۷	 ۳-۵- نتایج شبیه‌سازی
۱۲۸	 ۱-۳-۵- نتایج شبیه‌سازی در الگوریتم TDADF
۱۳۱	 ۲-۳-۵- نتایج شبیه‌سازی در الگوریتم PRSAF
۱۳۱	 ۴-۵- جمع‌بندی
۱۳۲	 مراجع
	فصل ششم: تحلیل عملکرد گذرای فیلترهای تطبیقی
۱۳۵	 ۱-۶- مقدمه
۱۳۶	 ۲-۶- عملکرد گذرای فیلترهای تطبیقی جامع
۱۳۶	 ۱-۲-۶- بررسی عملکرد گذرای الگوریتم‌های برپایه‌ی رابطه‌ی جامع (۳-۹۸)
۱۴۰	 ۲-۲-۶- بررسی عملکرد گذرای الگوریتم‌های برپایه‌ی رابطه‌ی جامع (۳-۱۱۰)
۱۴۲	 ۳-۶- محدوده‌های پایداری الگوریتم‌های فیلترهای تطبیقی
	 ۱-۳-۶- محدودیت‌های پایداری الگوریتم‌های فیلترهای تطبیقی برپایه‌ی رابطه‌ی جامع (۳-۳)
۱۴۳	 (۹۸
۱۴۳	 ۱-۱-۳-۶- همگرایی در میانگین
۱۴۳	 ۲-۱-۳-۶- همگرایی در میانگین مربع
	 ۲-۳-۶- محدوده‌های پایداری الگوریتم‌های فیلترهای تطبیقی براساس رابطه‌ی جامع (۳-۳)
۱۴۴	 (۱۱۰
۱۴۴	 ۱-۲-۳-۶- همگرایی در میانگین
۱۴۴	 ۲-۲-۳-۶- همگرایی در میانگین مربع
۱۴۵	 ۴-۶- نتایج شبیه‌سازی
۱۴۶	 ۳-۴-۶- نتایج شبیه‌سازی در الگوریتم BNLMs
۱۴۶	 ۴-۴-۶- نتایج شبیه‌سازی در الگوریتم TDADF
۱۴۹	 ۵-۴-۶- نتایج شبیه‌سازی در الگوریتم PRSAF
۱۵۳	 ۵-۶- محدوده‌های پایداری الگوریتم‌های مختلف فیلترهای تطبیقی
۱۵۳	 ۶-۶- جمع‌بندی
۱۵۷	 مراجع
۱۵۹	 واژه‌نامه فارسی-انگلیسی
۱۶۲	 واژه‌نامه انگلیسی-فارسی

فهرست علائم و نشانه‌ها

$x(n)$	نمونه سیگنال ورودی
$\underline{x}(n)$	بردار $M \times 1$ بعدی از سیگنال ورودی $\underline{x}(n) = [x(n), x(n-1), \dots, x(n-M+1)]^T$
$d(n)$	نمونه سیگنال مطلوب
$\underline{d}(n)$	بردار $K \times 1$ بعدی از سیگنال مطلوب $\underline{d}(n) = [x(n), x(n-1), \dots, x(n-K+1)]^T$
$X(n)$	ماتریس $M \times K$ بعدی سیگنال ورودی $X(n) = [\underline{x}(n), \underline{x}(n-1), \dots, \underline{x}(n-K+1)]$
$v(n)$	نمونه سیگنال نویز اندازه گیری شده
$\underline{v}(n)$	بردار $K \times 1$ بعدی از سیگنال نویز اندازه گیری شده $\underline{v}(n) = [v(n), v(n-1), \dots, v(n-K+1)]^T$
$q(n)$	متغیر تصادفی
$\underline{q}(n)$	بردار متغیر تصادفی
R	ماتریس خودهمبستگی سیگنال ورودی
r	بردار همبستگی متقابل بین سیگنال ورودی و سیگنال مطلوب
Q	ماتریس خودهمبستگی متغیر تصادفی $\underline{q}(n)$
$R(n)$	تخمین ماتریس خودهمبستگی
$r(n)$	تخمین بردار همبستگی متقابل
$\underline{h}(n)$	بردار $M \times 1$ بعدی از ضرایب فیلتر تطبیقی
μ	اندازه‌ی گام
$\underline{h}_t$	جواب صحیح معادله وینر - هاف
$e(n)$	خطای خروجی
$\underline{e}(n)$	بردار خطای خروجی
$\underline{\varepsilon}(n)$	بردار $M \times 1$ خطای وزنها $\underline{\varepsilon}(n) = \underline{h}_t - \underline{h}(n)$
$e_p(n)$	خطای تخمین پسین
$\underline{e}_p(n)$	بردار خطای تخمین پسین
$e_a(n)$	خطای تخمین پیشین
$\underline{e}_a(n)$	بردار خطای تخمین پیشین
C	ماتریس پیش شرطی کننده
$C(n)$	تخمین ماتریس پیش شرطی کننده

$W(n)$	ماتریس وزن دارشده
σ_v^2	واریانس نویز اندازه گیری شده
σ_q^2	واریانس متغیر تصادفی $q(n)$
I	ماتریس واحد
ε	پارامتر تنظیم
λ	ضریب فراموشی
F	ماتریس بانک فیلتری که ستونهای آن پاسخ ضربه کانالهای بانک فیلتر می باشند.

عملگرهای ریاضی

عملگرهای ریاضی که در تدوین کتاب از آن‌ها استفاده شده است.

$ \cdot $	اندازه یک متغیر اسکالر
$\ \cdot\ $	اندازه اقلیدسی یک بردار
$\ t\ _{\Sigma}^2$	اندازه اقلیدسی وزن دار یک بردارستونی که بصورت $t^T \Sigma t$ تعریف می شود.
$Tr(\cdot)$	مجموع عناصرروی قطراصلی یک ماتریس
$(\cdot)^T$	ترانپاده یک بردار یا ماتریس
$(\cdot)^{-1}$	وارون یک ماتریس یا یک عدداسکالر
$E\{\cdot\}$	امیدریاضی
$A \otimes B$	ضرب کرونکر ماتریسهای A و B .
$\oplus$	مدول
$\langle \cdot, \cdot \rangle$	ضرب داخلی دوبردار
$diag\{\dots\}$	ماتریس قطری با عناصر $\{\dots\}$ روی قطراصلی و صفدربقیه موقعیتها
$vec(T)$	تبدیل ماتریس T ، $M \times M$ بعدی به یک بردارستونی t با اندازه $M^2 \times 1$ بعدی، با قراردادن پشت سر هم ستون‌های ماتریس T
$vec(t)$	تبدیل یک بردارستونی t ، $M^2 \times 1$ بعدی به یک ماتریس T ، $M \times M$ بعدی
$\lambda_{\max}(\cdot)$	بزرگترین مقدارویژه یک ماتریس
$\Re^+$	مجموعه داده های مثبت
∇	گرادیان
$\sum_{i=1}^n a_i$	مجموع a_1 تا a_n که برابر است با $a_1 + a_2 + \dots + a_n$

کلمات اختصاری

MSE	Mean Square Error	متوسط مربع خطا
EMSE	Excess Mean Square Error	متوسط مربع خطای اضافی
MSD	Mean Square Deviation	متوسط مربع انحراف
LMS	Least Mean Squares	حداقل متوسط مربعات
NLMS	Normalized Least Mean Squares	حداقل متوسط مربعات نرمالیزه شده
RLS	Recursive Least squares	حداقل مربعات بازگشتی
APA	Affine Projection Algorithm	الگوریتم تصویر افاین
BAF	Block Adaptive Filter	فیلتر تطبیقی بلوکی
BLMS	Block Least Mean Squares	حداقل متوسط مربعات بلوکی
BNLMS	Block Normalized Least Mean Squares	حداقل متوسط مربعات بلوکی نرمالیزه شده
PRSAF	Pradhan Reddy Subband Adaptive Filter	فیلتر تطبیقی زیرباند
DR-AF	Data-Reusing Adaptive Filter	فیلتر تطبیقی استفاده مجدد از داده
DR-LMS	Data-Reusing Least Mean Squares	حداقل میانگین مربعات استفاده مجدد از داده
NDR-LMS	Normalized Data-Reusing Least Mean Squares	حداقل میانگین مربعات نرمالیزه شده
TDAF	Transform Domain Adaptive Filter	فیلتر تطبیقی حوزه تبدیل
VSS	Variable Step-Size	اندازه گام متغیر
VSSLMS	Variable Step-Size Least Mean Squares	حداقل میانگین مربعات با اندازه گام متغیر
VSSNLMS	Variable Step-Size Normalized Least Mean Squares	
VSSAPA	Variable Step-Size Affine Projection algorithm	
VSSNDRLMS	Variable Step-Size Normalized Data-Reusing Least Mean Squares	
VSSBNLMS	Variable Step-Size Block Normalized Least Mean Squares	
VSSPRSAF	Variable Step-Size Pradhan Reddy Subband Adaptive Filter	
LMF	Least Mean Fourth	حداقل متوسط چهارم
LMMN	Least Mean Mixed Norm	اندازه حداقل متوسط مخلوط
BNDR-LMS	Binormalized Data-Reusing Least Mean Squares	
NLMS-OCF	Normalized Least Mean Squares with Orthogonal Correction Factors	
R-APA	Regularized Affine Projection Algorithm	

PRA	Partial Rank Algorithm	الگوریتم رتبه جزئی
ELT	Extended Lapped Transform	
LOT	Lapped Orthogonal Transform	
DCT	Discrete Cosine Transform	تبدیل کسینوسی گسسته

پیشگفتار

فیلترهای تطبیقی به عنوان یکی از ابزارهای مهم در زمینه‌های مختلف مهندسی کاربرد دارد. شناسایی سیستم، متعادل سازی کانال، حذف اکوی صوتی، پیش بینی کننده خطی، و... از جمله کاربردهای فیلترهای تطبیقی می باشند. کتاب حاضر به عنوان اولین کتاب فارسی در این حوزه تخصصی به رشته تحریر درآمده است و برای دانشجویان مقاطع کارشناسی و به خصوص کارشناسی ارشد و دکتری مفید می باشد. محتوای این کتاب را می توان در سه بخش کلی تقسیم بندی کرد. در بخش اول، الگوریتم های تندترین شیب معرفی می گردند. بخش دوم شامل الگوریتم های کلاسیک و برخی از الگوریتم های نوین فیلترهای تطبیقی خواهد بود. بخش سوم نیز، تحلیل عملکرد فیلترهای تطبیقی در سه حوزه حالت ماندگار، گذرا و ردیابی و همچنین پایداری فیلترهای تطبیقی را شامل خواهد بود.

مطالب ارائه شده در کتاب حاضر از مراجع بسیار معتبر در حوزه فیلترهای تطبیقی استخراج شده که شامل کتاب و مقالات منتشر شده در مجلات پردازش سیگنال می باشد. در انتهای هر فصل مراجع مربوطه آورده شده است. همچنین بیشتر بخش های این کتاب حاصل دستاوردهای پژوهشی اینجانب طی دهه ی گذشته می باشد که سعی شده است به طور شایسته جهت استفاده خوانندگان محترم تدوین و نگارش گردد.

امید است کتاب حاضر در برآوردن نیاز تحقیقاتی دانشجویان و پژوهشگران در این عرصه از علم مفید و موثر باشد.

محمد شمس اسفندآبادی

دانشیار دانشگاه شهید رجایی

دانشکده مهندسی برق

فصل اول

مقدمه

1 - 1 - مفاهیم اولیه فیلترهای تطبیقی

در طی 30 سال گذشته تاکنون پیشرفت‌های زیادی در زمینه‌ی پردازش سیگنال انجام گرفته است. یکی از عملیات‌های مهم پردازش سیگنال، عمل فیلترینگ است. فیلتر وسیله‌ای است که سیگنال ورودی را به سیگنال دیگری تبدیل می‌کند، به‌طوری‌که امکان استخراج سیگنال مطلوب¹ (اطلاعات مطلوب) از سیگنال ورودی فراهم می‌گردد. فیلتر دیجیتال فیلتری است که عمل پردازش روی سیگنال زمان گسسته و به شکل دیجیتالی انجام می‌شود. در فیلترهای تغییر ناپذیر با زمان، پارامترهای داخلی و ساختار فیلتر ثابت است و اگر فیلتر خطی باشد، سیگنال خروجی به‌وسیله‌ی اعمال یک عملگر خطی، روی سیگنال ورودی حاصل خواهد شد. طراحی فیلترهای دیجیتال خطی تغییر ناپذیر با زمان، شامل سه مرحله است:

1- تقریب مشخصه‌ها از روی تابع تبدیل

2- انتخاب ساختار مناسب

3- انتخاب شکل اجرای الگوریتم

هنگامی‌که مشخصه‌های ثابت ناشناخته باشند و یا ویژگی‌های مورد نظر توسط فیلترهای تغییر ناپذیر با زمان برآورده نگردند، فیلترهای تطبیقی مورد استفاده قرار می‌گیرند. فیلتر تطبیقی ذاتاً یک فیلتر غیرخطی است، چرا که مشخصه‌های آن، وابسته به سیگنال ورودی است، بنابراین

¹ Desired signal

شرایط همگنی و جمع پذیری را برآورده نمی‌کند. اما اگر پارامترهای فیلتر را در یک لحظه از زمان تثبیت کنیم، سیگنال‌های خروجی به‌وسیله‌ی یک عملگر خطی روی سیگنال‌های ورودی به‌دست می‌آیند.

از آنجایی که پارامترهای فیلترهای تطبیقی، به‌طور مداوم برای برآورده شدن احتیاجات تغییر می‌کنند، لذا این نوع فیلتر، متغیر با زمان است. معمولاً تعریف معیار عملکرد احتیاج به سیگنال‌های مرجع¹ دارد، که در مرحله‌ی تقریب طراحی فیلتر با مشخصه‌های ثابت، ناشناخته هستند. این توضیحات نشان می‌دهد که طراحی مناسب فیلترهای غیر تطبیقی، نیاز به مشخصات کاملی از سیگنال ورودی و مرجع، برای رسیدن به عملکرد مناسب دارد. متأسفانه در عمل، دسترسی به این اطلاعات به دلیل ناشناخته بودن محیط، امکان پذیر نیست. سیگنال‌ها به‌صورت ترکیب سیگنال مرجع و ورودی و یا در بعضی از موارد هیچ‌کدام از آن‌ها تعریف شده نیستند. در این‌گونه مواقع بایستی ابتدا سیگنال رامدل کرده و سپس فیلتر را طراحی نمود. این مرحله، می‌تواند برای پیاده‌سازی به‌صورت برخط² بسیار مشکل و پرهزینه باشد. راه حل این مشکل، استفاده از فیلتر تطبیقی است که به‌صورت برخط پارامترها را تنها با استفاده از اطلاعات موجود در محیط و از طریق الگوریتمی ساده اصلاح می‌کند. فیلترهای تطبیقی، ساختارها و الگوریتم‌های مختلفی برای اصلاح پارامترهای (ضرایب) فیلتر در جهت محقق کردن معیار عملکرد دارند [1-6].

2-1- ویژگی یک فیلتر تطبیقی

ویژگی کامل یک سیستم فیلتر تطبیقی شامل سه قسمت است:

2-1-1- کاربرد

نوع کاربرد با انتخاب سیگنال‌های مورد نیاز به عنوان ورودی و سیگنال مطلوب خروجی از محیط تعریف می‌شود. در طی سال‌های گذشته تاکنون، فیلترهای تطبیقی در کاربردهای مختلفی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای نمونه متعادل ساز کانال³، حذف اکو⁴، حذف نویز⁵،

¹ Reference signal

² Online

³ Channel equalizer

⁴ Echo cancellation

⁵ Noise cancellation