

کاربرد الگوریتم کالمن در متعادل سازی وفقی کانال مخابراتی HF

وحید طباطبائی وکیل

عباسعلی شریفی

دانشیار دانشکده برق دانشگاه علم و صنعت

دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی مالک اشتر

abbasalisharifi@yahoo.com

چکیده:

در این مقاله عملکرد الگوریتم وفقی کالمن روی متعادل کننده تصمیم گیرنده با فیدبک (DFE) برای کانال مخابراتی HF بررسی و شبیه سازی می شود. لذا ابتدا کانال مخابراتی HF بر اساس مدل کانال پیشنهادی توسط گروه رادیویی اتحادیه بین المللی ارتباطات (ITU-R) در باند پایه شبیه سازی می شود. (این شبیه ساز مشخصات کانال را به عنوان پارامترهای ورودی گرفته و کانال متناظر آن را شبیه سازی می کند). سیگنال ارسالی از کانال شبیه سازی شده سیگنال Qpsk باند پایه با نرخ ارسال 2400 b/s می باشد که پس از عبور از کانال با نویز سفید گوسی جمع شونده (AWGN) ترکیب شده و وارد متعادل کننده می شود. با تنظیم وفقی ضرایب متعادل کننده با روش کالمن سیگنال اصلی را بازسازی می کنیم و با مقایسه با سیگنال ارسالی مقادیر احتمال خطا را در سیگنال به نویزهای مختلف در حالت های مختلف کانال HF بدست می آوریم. در این شبیه سازی طول فریم ها را 240 سمبل اختیار کرده ایم که 40 سمبل در ابتدای هر فریم را به عنوان دنباله آموزشی برای تنظیم اولیه ضرایب متعادل کننده استفاده می کنیم. نتایج شبیه سازی برای 100 فریم ارسالی (24000 سمبل) بررسی شده است.

واژگان کلیدی:

کانال HF، فیدینگ، گسترش زمانی، گسترش فرکانسی، متعادل کننده وفقی

۱- مقدمه:

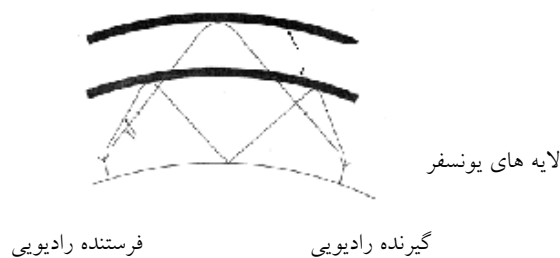
باند فرکانس رادیویی بین 3 تا 30 مگاهرتز را باند HF می نامیم. انتشار امواج رادیویی HF ناشی از انعکاسات یونسفر می باشد، این لایه به شدت تحت تأثیر فعالیت های خورشیدی بوده و در نتیجه مشخصات کاملاً متغیر و تصادفی دارد و با مشکلاتی چون فیدینگ - گسترش زمانی - گسترش فرکانسی مواجه هستیم که این عوامل تداخل بین سمبلی (ISI) بوجود می آورند که این امر محدود کننده سرعت ارسال اطلاعات می باشد و از سوی دیگر ما مایل به افزایش هرچه بیشتر سرعت انتقال اطلاعات هستیم بنابراین باید تداخل بین سمبل ها را کاهش دهیم.

روشی که در طی این مقاله به آن پرداخته ایم استفاده از متعادل کننده های وفقی غیرخطی می باشد. لذا برای این کار یک نمونه شبیه ساز کانال HF بر اساس مدل واترسون شبیه سازی کرده و با اعمال سیگنال مدوله شده باند پایه Qpsk با نرخ 2400 بیت بر ثانیه به کانال و ترکیب آن با نویز، اثر متعادل کننده غیرخطی با الگوریتم کالمن را در جبران سازی وفقی کانال HF بررسی می کنیم.

۲- شبیه سازی کانال مخابراتی HF :

(۱) گسترش زمانی

همانطوریکه در شکل (۱) دیده می شود یک موج رادیویی HF می تواند از چندین مسیر مختلف به گیرنده برسد. هر کدام از این مسیرها دارای مسافتی متفاوت از دیگر مسیرهاست به همین علت امواج رادیویی با طی مسیرهای متفاوت و صرف زمان های متفاوت به گیرنده می رسند این پراکندگی از انتشار چند مسیری ناشی می شود. [1]



شکل (۱) مثالی از مسیرهای ممکن انعکاس موج در یونسفر

(۲) گسترش فرکانس

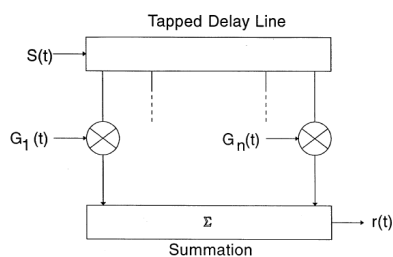
گسترش فرکانس بر روی هر مسیر انتشار خاص ناشی از تغییرات زمانی ارتفاع لایه انعکاس دهنده و چگالی الکترون (در نتیجه ضریب انعکاس) در طول مسیر می باشد [1]

(۳) فیدینگ

انتشار امواج آسمانی به کمک یونسفر ثابت نیست بلکه در معرض نوسانات مختلف قرار دارد زیرا شرایط انعکاس و در نتیجه شدت میدان در ایستگاه گیرنده بطور پیوسته در حال تغییر است بنابراین یک افزایش و کاهش پیوسته، سریع و اتفاقی در توان دریافتی گیرنده وجود دارد که این پدیده را فیدینگ گویند و معمولاً در مدتی کمتر از ثانیه و تا چند دقیقه بطول می انجامد. [2]

۱-۲ مدل شبیه ساز کانال HF

این مدل یک مدل شبیه ساز باند پایه است که یک ساختار خط تأخیر وزن داده شده (TDL) ^۱ مطابق شکل (۲) دارد برای پهنای باند کمتر از ۱۲ کیلوهرتز طراحی میشود. [2]



شکل (۲) مدل شبیه ساز واترسون

$s(t)$: سیگنال باند پایه ارسالی

$r(t)$: سیگنال باند پایه دریافتی

$G_i(t)$: تابع بهره مسیر برای مسیر i ام که اینها فرآیندهای گوسی مختلط مستقل هستند.

این مدل بر اساس چهار تا فرض زیر توسط واترسون^۱ پیشنهاد شده است. [2]

فرض اول (فیدینگ رایلی)

$G_i(t)$ ها فرآیندهای گوسی مختلط هستند.

قسمت حقیقی و موهومی $G_i(t)$ ها فرآیندهای گوسی با متوسط صفر و واریانس یکسان هستند بنابراین دامنه (پوش) فرآیند گوسی مختلط دارای توزیع رایلی می باشد که فیدینگ رایلی می نامیم. فاز فرآیند گوسی مختلط دارای توزیع یکنواخت خواهد بود. که این فرض برای حدود ۱۰ دقیقه و کمتر از آن درست است.

فرض دوم (استقلال $G_i(t)$ ها)

فرض می شوند که $G_i(t)$ ها مستقل آماری باشند. $E(G_i(t)G_j^*(t)) = 0$

فرض سوم (طیف توان گوسی)

فرض می شود $G_i(t)$ ها طیف توان $V(f)$ دارند که شکل گوسی دارند.

$$V_i(f) = p_i / \sqrt{2\pi\sigma_i^2} e^{-((f-f_i)^2 / 2\sigma_i^2)} \quad (1)$$

f_i : شیف داپلر

$2\sigma_i$: گسترش فرکانس (گسترش داپلر) یا نرخ فیدینگ

p_i : گین توان

فرض چهارم (استقلال مسیرها)

مثلاً $n < 100$ تا مسیر وجود دارد که این مسیرها به مسیرهای سیگنال فیزیکی مربوط می شوند (لایه های یونسفر) و مستقل از همدیگر می باشند.

گروه رادیویی اتحادیه بین المللی مخابرات (ITU-R)^۲ حالت های مختلف کانال مخابراتی را از نظر کیفیت کانال بصورت جدول زیر تقسیم بندی کرده است. این تقسیم بندی که بر اساس گسترش فرکانسی و گسترش زمانی است کانال را به سه حالت کانال خوب^۳، کانال متوسط^۴ و کانال ضعیف^۵ تعریف کرده است.

کانال ضعیف	کانال متوسط	کانال خوب	پارامترها
۲	۱	۰/۵	گسترش زمانی (میلی ثانیه)
۱	۰/۵	۰/۱	گسترش فرکانسی (هرتز)

۱- Watterson

۲ - Radio communication group of International Telecommunication Union

۳ - ITU-R good channel

۴ - ITU-R moderate channel

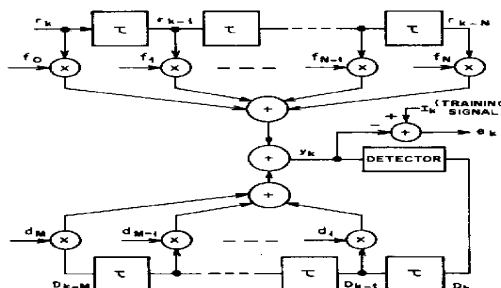
۵ - ITU-R poor channel

بر اساس این استاندارد و توصیه ITU-R-520-2 در مرجع [5]

- کانال دو مسیری
- مقدار شیفیت داپلری صفر در نظر گرفته می شود.

۳- شبیه سازی متعادل کننده وفقی غیرخطی (DFE) :

مدل متعادل کننده غیرخطی که شبیه سازی کرده ایم مطابق شکل (۳) می باشد.



شکل (۳) : متعادل کننده DFE

مقدار τ را برابر با T (زمان ارسال دو سمبل متوالی) گرفته ایم. (حالت فاصله سمبلی).
 هر فریم ارسالی شامل ۲۴۰ سمبل می باشد که ۴۰ سمبل آن به عنوان دنباله آموزشی برای تنظیم اولیه ضرایب می باشد.
 طول متعادل کننده را ۹ ضریب در مسیری پیشرو و ۵ ضریب در مسیر پسرو اختیار کرده ایم که با توجه به نرخ ارسال سمبل ها، این متعادل کننده تا ۷/۵ میلی ثانیه گسترش زمانی را می تواند پوشش دهد.

الگوریتم کالمن: [6],[7],[8],[9],[10]

$$y_k = \sum_{j=0}^N f_j r_{k-j} + \sum_{j=1}^M d_j D_{k-j}$$

$$X_k = (r_k, \dots, r_{k-N}, D_{k-1}, \dots, D_{k-M})^T$$

$$W_k = (f_{0k}, \dots, f_{Nk}, d_{1k}, \dots, d_{Mk})^T$$

$$y_k = W_k^H X_k, e_k = I_k - W_k^H X_k$$

I_K سیگنال مطلوب می باشد. مربع خطای وزن داده شده E_k برابر مقدار زیر است:

$$E_k = \sum_{j=0}^k \lambda^{k-j} |e_j|^2 \quad (0 < \lambda < 1 \text{ فاکتور فراموشی است})$$

ضرایب متعادل کننده که برای حداقل کردن E_k محاسبه می شوند به صورت زیر بدست می آید:

$$W_k = W_{k-1} + G_k e_k^*$$

$$G_k = p_{k-1} X_k / (\lambda + X_k^H p_{k-1} X_k) \quad G_k \text{ بردار بهره کالمن می باشد:}$$

و ماتریس کواریانس P طبق رابطه زیر بروز می شود:

$$p_k = \lambda^{-1} (p_{k-1} - G_k X_k^H p_{k-1})$$

این الگوریتم با شرط اولیه p_0 و انتخاب مقدار λ به عنوان الگوریتم کالمن برای تنظیم ضرایب متعادل کننده استفاده می شود.

۴- نتایج شبیه سازی

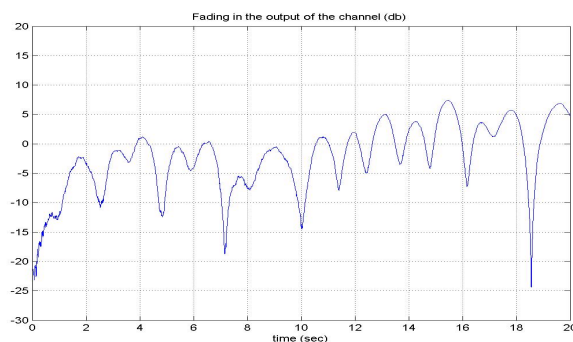
نتایج شبیه سازی را برای حالت کانال خوب و ضعیف بررسی می کنیم:

$$\tau_1 = 0, \tau_2 = 0.5ms$$

$$2\sigma = 0.1hz \quad \text{الف) ITU-R good channel و}$$

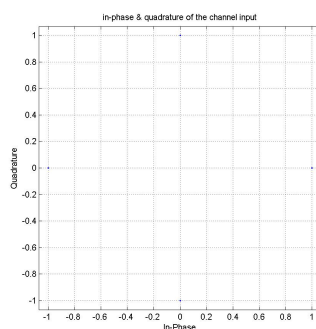
$$p_1 = -5db, p_2 = -10db$$

شکل (۴) نیز تغییرات دامنه خروجی (فیدینگ) کانال شبیه سازی شده را برای ۱۰۰ فریم ارسالی (به مدت ۲۰ ثانیه) نشان می دهد.

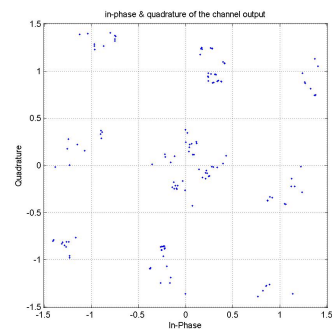
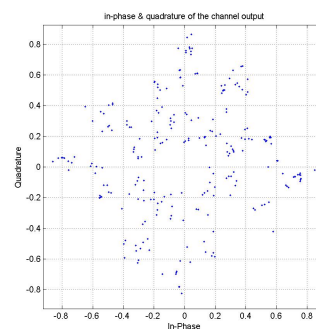
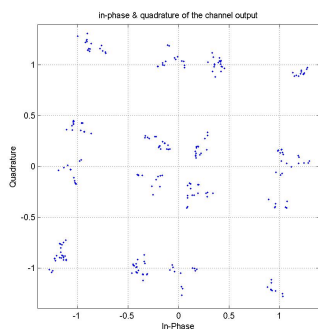


شکل (۴) تغییرات دامنه خروجی (فیدینگ) کانال

منظومه سیگنال ورودی و خروجی کانال برای چند فریم ارسالی بدون در نظر گرفتن نویز مطابق شکل (۵) بدست آمده است.



الف) ورودی کانال



ب) حالت های مختلف خروجی کانال

شکل (۵): منظومه سیگنال الف) ورودی کانال ب) خروجی کانال

$$\tau_1 = 0, \tau_2 = 2ms$$

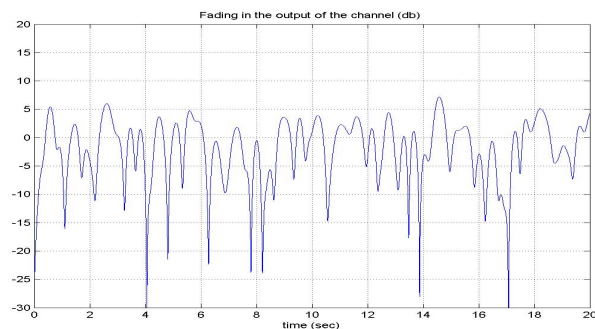
$$2\sigma = 1hz$$

ب) ITU-R poor channel و

$$p_1 = -10db, p_2 = -10db$$

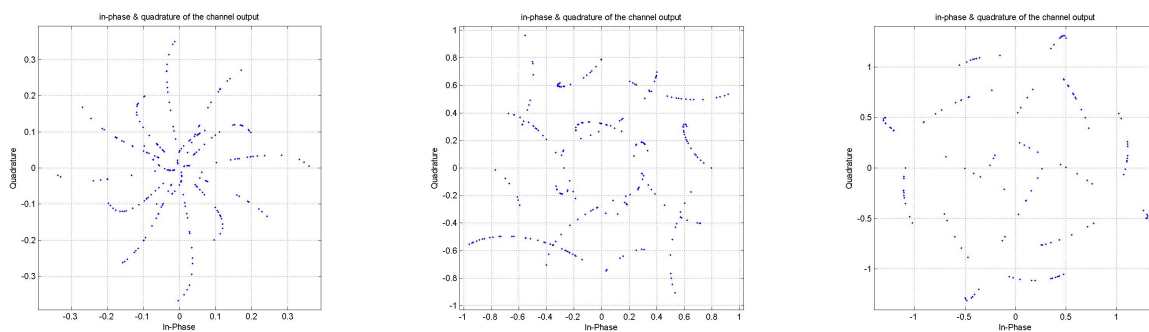
شکل (۶) نیز تغییرات دامنه خروجی (فیدینگ) کانال شبیه سازی شده را برای ۱۰۰ فریم ارسالی (به مدت ۲۰ ثانیه) نشان

می دهد.



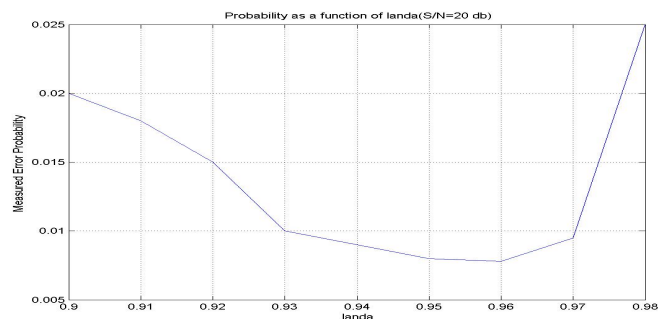
شکل (۶) تغییرات دامنه خروجی (فیدینگ) کانال

منظومه سیگنال خروجی کانال برای چند فریم ارسالی بدون در نظر گرفتن نویز مطابق شکل (۷) بدست آمده است.



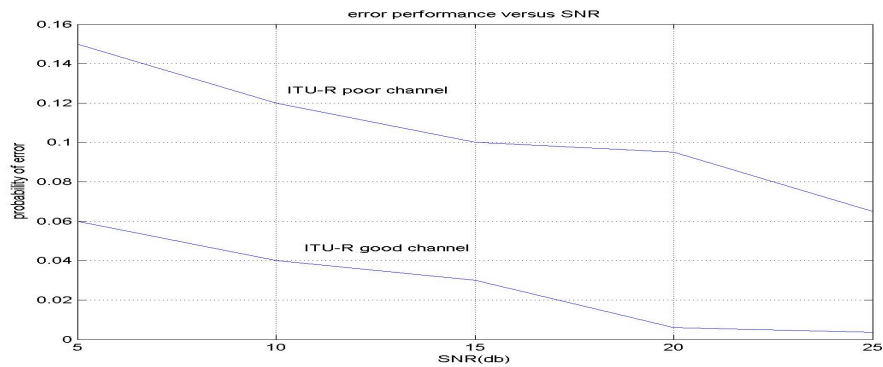
شکل (۷): منظومه سیگنال خروجی کانال

مقدار λ را در الگوریتم کالمن از ۰/۹ تا ۰/۹۹ تغییر داده و به ازای این مقادیر مقدار احتمال خطا را در سیگنال به نویز ۲۰ دسی بل در حالت کانال خوب ITU-R محاسبه می کنیم. همانطوریکه از شکل زیر پیداست مقدار λ حول ۰/۹۶ بهینه است.



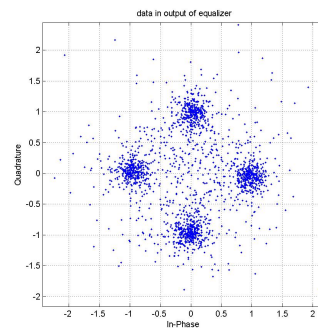
حال برای هر دو حالت فوق خروجی کانال را با نویزهای با توان مختلف جمع کرده و با انتخاب مقدار λ برابر ۰/۹۶، الگوریتم کالمن را پیاده سازی میکنیم.

منحنی احتمال خطا بر حسب سیگنال به نویز مطابق شکل (۸) بدست آمده است:

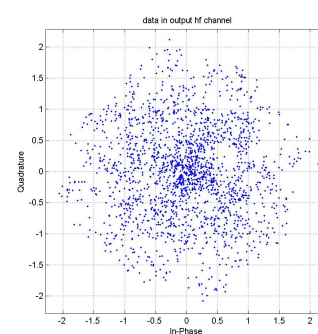


شکل (۸): منحنی احتمال خطا بر حسب سیگنال به نویز

شکل (۹) نیز ورودی و خروجی متعادل کننده را در حالت کانال ضعیف برای ۱۰ فریم ارسالی در سیگنال به نویز ۲۰ دسی بل نشان می دهد.



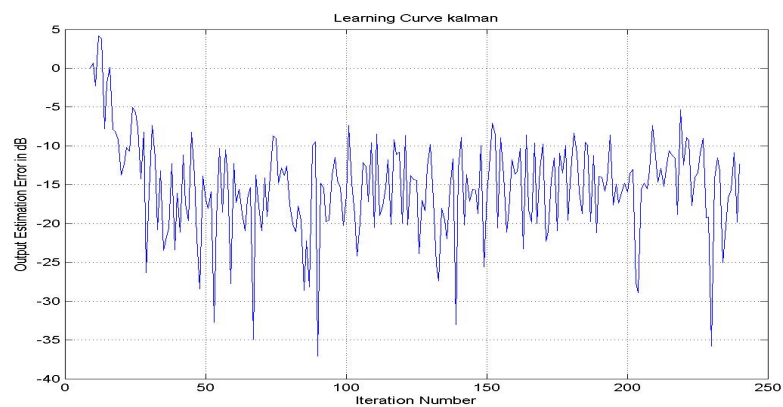
(ب)



(الف)

شکل (۹): منظومه سیگنال (الف) ورودی متعادل کننده (ب) خروجی متعادل کننده

منحنی خطا نیز برای یک فریم ارسالی مطابق شکل (۱۰) بدست آمده است.



شکل (۱۰): منحنی خطا برای یک فریم ارسالی



نتیجه گیری:

در این مقاله اثر کانال HF در دو حالت مختلف روی منظومه سیگنال ورودی Qpsk, 2400 b/s باند پایه بررسی شد و نتیجه گرفته شد که کانال HF حتی در شرایط کانال خوب نیز (ITU-R good channel) اعوجاجات فاز و دامنه روی سیگنال ایجاد می کند که بدون استفاده از متعادل ساز، آشکارسازی سیگنال اصلی امکان پذیر نیست. با استفاده از یک متعادل کننده غیرخطی با ۹ ضریب پیشرو و ۵ ضریب پسرو، الگوریتم کالمن در دو حالت کانال خوب و کانال ضعیف ITU-R در سیگنال به نویزهای مختلف بررسی شد، انتخاب مقدار فاکتور فراموشی λ حول ۰.۹۶، انتخاب بهینه نشان داد و با این مقدار از λ عملکرد الگوریتم از نظر احتمال خطا بررسی شد و نتیجه گرفتیم که دو عامل گسترش فرکانسی (نرخ فیدینگ) و نویز محدودیت اصلی این کانال، در بدست آوردن احتمال خطای مطلوب می باشد چرا که با افزایش مقدار گسترش فرکانسی و کاهش سیگنال به نویز میزان احتمال خطا افزایش پیدا می کرد.

منابع و مراجع:

- [1] Masline N.M , " HF communication ", A system approach , pitman publishing 1987.
- [2] Timothy C.Giles , " On the design on hf radio modems " , P.H.D thesis in the university of Adelaide , December , 1998.
- [3] Paul S.Cannon,Matthew j.Angling,and Bengt Lundborg , " Characterization and modeling of the HF communications channel " , center for propagation and Atmospheric Research, QinetiQ , Malvern, wr143ps, UK,2002
- [4] Timothy C.Giles and Ian Willoughby , " simulation of high frequency voice band radio channels " , defence science and technology organization , south Australia, 1995, IEEE.
- [5] ITU, " Recommendation 520-1 use of high frequency ionospheric channel simulators " Recommendation and report of ITU-R , vol iii,pp.57-58,Geneva.
- [6] Keishi Murkakami , Koji Ueda , Michiaki Takano and Tadashi Fujino , " Design of an adaptive kalman equalizer and it's performance over fading multipath channels " , communication systems development lab, japan, CH2846-4/90 1998 IEEE
- [7] Evangelos Eleftheriou , David D.Falconer , " Adaptive equalization techniques for HF channels " IEEE journal on selected areas in communication vol,sac - 5, no.2.
- [8] Mun Keat Chan , B.Eng , " Adaptive signal processing algorithms for non gaussian signals " ,P.H.D thesis in the Queen's university of Belfast, September 2002.
- [9] Faik Eken , Erol Hepsaydir , fikri Atmaca , " Performance study of kalman adaptive equalizer for high speed data transmission over the hf channel " Aselsan military electronics .ind .inc . Ankara,Turkey,CH2458-8/88 1988,IEEE.
- [10] Simon Haykin , " Adaptive filter theory " ,1995.