

تخمین کانال متغیر با زمان و آشکارسازی داده در سیستمهای MIMO-OFDM با استفاده از فیلتر ذره ای (Particle Filter)

سمیه خسروآزاد^۱، دکتر حسین خوشبین^۲

^۱دانشگاه فردوسی مشهد، و مرکز پژوهش مخابرات و کامپیوتر، s.khosroazad@gmail.com

^۲دانشگاه فردوسی مشهد، eephkg@hotmail.com

چکیده - از آنجا که اطلاع دقیق از حالت کانال برای آشکارسازی همدوس در یک سیستم بیسیم MIMO-OFDM امری مهم و ضروری است، کیفیت اجرایی سیستم MIMO-OFDM عمدتاً به میزان دقت در تخمین کانال بستگی دارد. این مقاله یک روش تخمین کانال متغیر با زمان بر پایه فیلتر ذره ای (PF یا Particle Filter) برای سیستمهای بیسیم MIMO-OFDM ارائه می دهد. فیلتر ذره ای بر پایه نمونه گیری اهمیت زنجیره ای (SMC یا Sequential Importance Sampling) و تئوری بیز، ابزار قدرتمندی در پردازش سیستمهای غیرخطی و غیرگوسی، از جمله تخمین کانالهای بیسیم به شمار می رود. روش ارائه شده در این مقاله با فرض اینکه گیرنده هیچ اطلاعات پیشینی از مشخصات آماری کانال ندارد، به کمک رشته های آموزشی و فیلتر ذره ای پارامترهای کانال متغیر با زمان را به طور لحظه ای ردیابی می کند. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که این روش، بر پایه فیلتر ذره ای اجرای بهتری نسبت به روشهای بر پایه فیلتر کالمن دارد.

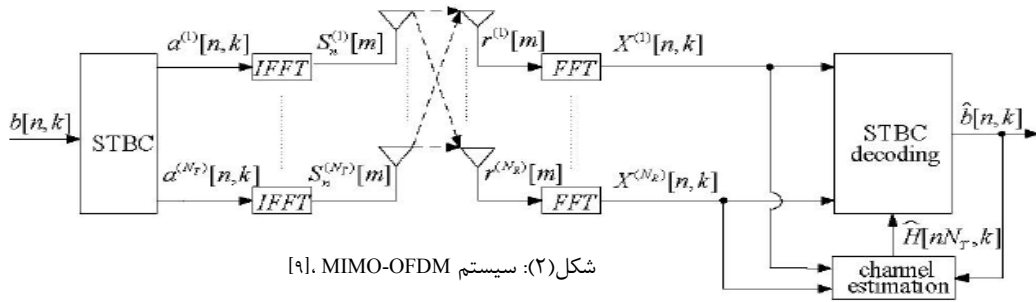
کلید واژه- مخابرات بیسیم، کانال متغیر با زمان، ردیابی کانال، سیستمهای MIMO-OFDM، Particle Filter، فیلتر کالمن

(Sequential Monte Carlo) است [۶]، که در آن از نمایش ذره

ای چگالیهای احتمالاتی، برای تخمین پارامترهای یک توزیع دلخواه استفاده می شود. یک روش تخمین کانال با استفاده از فیلتر ذره ای برای سیستمهای MIMO در [۷] ارائه شده است. این روش بر پایه این فرض است که گیرنده اطلاع دقیق از تحقق تارکنندگی کانال AR [۸] دارد. روش ارائه شده در [۸] هم با همین فرض برای سیستمهای با کدینگ فضا- زمان (STC) یا Space time code)، پیاده سازی شده است، لیکن در بسیاری مواقع گیرنده از مشخصات کانال، از جمله نرخ تارکنندگی آن، آگاهی نداشته و امکان پیاده سازی یک مدل مناسب برای کانال ممکن نیست. در [۹] روشی بر پایه فیلتر ذره ای برای ردیابی کانال در سیستم MIMO-OFDM ارائه شده است که در آن گیرنده بدون استفاده از مدل کردن تغییرات حالت کانال، کانال را در حوزه فرکانس به خوبی ردیابی می کند. هر چند در این روش از سمبلهای آموزشی با حالت اول، یعنی ارسال تونهای پایلوت در زیرحاملهای معین و در تمام سمبلهای OFDM ارسالی، استفاده می کند که به این ترتیب پهنای باند زیادی به آموزش اختصاص می یابد. ما در این مقاله روشی برای ردیابی کانال متغیر با زمان در سیستم MIMO-OFDM پیشنهاد می دهیم که علاوه بر اینکه گیرنده هیچ آگاهی از پارامترهای کانال ندارد، در عین حال از سمبلهای آموزشی حالت دوم، یعنی ارسال یک سمبل پایلوت OFDM به طور متناوب با دوره معین، در طی ارسال سمبلهای OFDM داده، استفاده می کند، که به این

۱- مقدمه

از آنجا که یک سیستم MIMO-OFDM که از ترکیب سیستم چند ورودی- چند خروجی (MIMO)، کدینگ فضای زمان، و OFDM تشکیل شده، می تواند بهره طیفی و نرخ ارسال داده بالایی را در کانالهای همراه با تارکنندگی فراهم آورد، سیستمهای MIMO-OFDM برای مخابرات پهن باند بیسیم نسل بعدی انتخاب شده اند. در سیستمهای MIMO-OFDM کد شده در فضای زمان، تخمین پارامترهای کانال در فرایند آشکارسازی داده از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. به همین دلیل روشهای تخمین کانال زیادی برای سیستمهای MIMO-OFDM تاکنون ارائه شده است. روشهای تخمین کانال که بر پایه فیلترهای وفقی عمل می کنند [۱]، شامل روشهای LMS (Least Mean Square) [۲]، انواع فیلتر کالمن [۳]، و RLS (Recursive Least Square) [۴]، برای سیستمهای MIMO-OFDM پیشنهاد شده اند. به دلیل اینکه روشهای تخمین کانال بر مبنای فیلترهای وفقی اغلب روشهای ردیابی خطی هستند، این روشهای خطی نمی توانند به نحو مطلوبی برای ردیابی یا تخمین کانالهای بیسیم غیرخطی و غیرگوسی بکار روند. به این ترتیب فیلتر ذره ای (PF) [۵] یک ابزار قدرتمند برای پردازش سیگنال به طور زنجیره ای، با گستره وسیعی از کاربردها در تمام علوم، از جمله علوم مهندسی، است [۵]. فیلتر ذره ای یک روش زنجیره ای مونت کارلو SMC



شکل (۲): سیستم MIMO-OFDM [۹].

تخت در نظر گرفت [۹]، در این بخش با استفاده از این ویژگی، به پیاده سازی الگوریتم فیلتر ذره ای برای ردیابی کانال متغیر با زمان در یک سیستم MIMO-OFDM می پردازیم. در این مقاله از الگوریتم فیلتر ذره ای در حوزه فرکانس، برای ردیابی کانال استفاده شده است و فرض بر این است که گیرنده هیچ اطلاعی از مشخصات کانال، از جمله نرخ تارکنندگی آن ندارد. کانال در سیستم پیاده سازی شده به صورت یک فرایند AR درجه یک، مدل شده است، به طوری که:

$$\mathbf{h}_{k+1} = \beta \mathbf{h}_k + \mathbf{v}_k \quad (۴)$$

برای تعیین مقدار پارامتر β و واریانس نویز σ_v^2 ، با توجه به [۹] می دانیم که برای تاخیر زمانی τ ، اتوکورلیشن فرایند تارکنندگی کانال عبارت است از:

$$E[\mathbf{h}_k \mathbf{h}_{(k-\tau)}^*] = \mathbf{J}_0(2\pi f_D \tau) \mathbf{I} \quad (۵)$$

که در این رابطه \mathbf{I} ماتریس یکانی، $\mathbf{J}_0(\cdot)$ تابع بسل درجه صفر، τ تاخیر زمانی، و f_D فرکانس داپلر کانال را نشان می دهد. از طرفی داریم:

$$f_D = \frac{v}{c} f_c \quad (۶)$$

که v سرعت حرکت نسبی فرستنده و گیرنده، c سرعت انتشار نور، و f_c فرکانس حامل است. با برابر قرار دادن اتوکورلیشن رابطه (۴) با اتوکورلیشن (۵)، برای تاخیر زمانی $\tau = \{0, T_s\}$ به ترتیب خواهیم داشت:

$$\beta^2 + \sigma_v^2 = 1 \quad \tau = 0 \quad (a) \quad (۷)$$

$$\beta = \mathbf{J}_0(2\pi f_D T_s) \quad \tau = T_s \quad (b)$$

که در رابطه دوم $1/T_s$ نرخ نمونه برداری است. برای مثال اگر نرخ تارکنندگی نرمالیزه شده مورد نظر $f_D T_s = 0.01$ (معادل با یک نرخ تارکنندگی سریع) در نظر گرفته شود، آنگاه $\beta = 0.999$ و $\sigma_v^2 = 1.972 \times 10^{-3}$ بدست می آید که این مقادیر، اندازه های در نظر گرفته شده در شبیه سازیهای این مقاله است. در اینجا از رشته های آموزشی، ارسال یک سمبل OFDM معلوم در هر N_{train} ارسال سمبلهای OFDM داده، در کنار فیلتر ذره ای برای ردیابی کانال کرده ایم، به طوری که عملکرد الگوریتم به ازای $N_{train} < 1000$ نتایج مطلوبی را بدست می دهد و به این ترتیب کاهش قابل ملاحظه ای در اختصاص پهنای باند به آموزش به همراه دارد. برای استفاده از الگوریتم PF

ترتیب کاهش قابل توجهی در پهنای باند اختصاص داده شده به پایلوت به همراه دارد. الگوریتم پیشنهادی در این مقاله، فرایند ردیابی کانال را در حوزه فرکانس انجام می دهد. در ادامه چگونگی مدل کردن یک سیستم MIMO-OFDM در بخش ۲ توضیح داده شده، و سپس بخش ۳ به ردیابی کانال با استفاده از الگوریتم PF پیشنهادی می پردازد. بخش ۴ به نمایش نتایج شبیه سازی و بخش ۵ به جمع بندی و نتیجه گیری روش پیشنهادی در ردیابی کانال می پردازد.

۲- سیستم MIMO-OFDM

همانطور که شکل (۲) نشان می دهد، با استفاده از N_T آنتن فرستنده، N_R آنتن گیرنده، n سمبل OFDM، و N زیر حامل در سیستم MIMO-OFDM، بردارهای سمبل ارسالی عبارت است از:

$$\mathbf{a}[n, k] = [a^{(1)}[n, k] \dots a^{(N_T)}[n, k]]^T, \quad n \in \mathbb{Z}, \quad k = 0 \dots N-1 \quad (۱)$$

که $a^{(n)}[n, k]$ سمبل ارسال شده در زمان n ، زیرحامل k و آنتن n ام را نشان می دهد. n مین سمبل OFDM، $\mathbf{S}_n[m]$ را می توان با گرفتن عکس تبدیل فوریه از $\mathbf{a}[n, k]$ و جاگذاری (Cyclic CP Prefix) با طول L_{CP} بدست آورد:

$$\mathbf{S}_n(m) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{NN_T}} \sum_{k=0}^{N-1} \mathbf{a}[n, k] e^{j2\pi mk/N}, & m = -L_{CP}, \dots, N-1 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (۲)$$

در این مقاله کانال سیستم MIMO-OFDM، یک کانال WSSUS (Wide-Sense Stationary Uncorrelated Scattering) در نظر گرفته شده، و رابطه بین ورودی و خروجی سیستم را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\mathbf{X}[n, k] = \mathbf{H}[n, k] \mathbf{a}[n, k] + \eta[n, k] \quad (۳)$$

که در آن $\mathbf{X}[n, k]$ ، $\mathbf{H}[n, k]$ ، و $\eta[n, k]$ همگی ماتریسهای $N_R \times N_T$ بوده، و $\mathbf{a}[n, k]$ ماتریس $N_T \times N_T$ است. $\eta[n, k]$ نویز سفید گوسی است که دارای توزیع $N(0, \sigma_\eta^2)$ است.

۳- تخمین کانال

از آنجا که سیستم OFDM را می توان به صورت یک سیستم با مجموعه ای از ارسالهای موازی روی زیرکانالهای با تارکنندگی

در ردیابی کانال به طور لحظه ای، الگوریتم پیشنهادی در این مقاله نیاز به یک مرحله پیش پردازش برای محاسبه واریانس نویز در حوزه فرکانس دارد.

۳-۱- الگوریتم پیش پردازش:

برای استفاده از فیلتر ذره ای در ردیابی کانال به طور لحظه ای، نیاز به آگاهی از ماتریس واریانس نویز، σ_n^2 ، برای بدست آوردن تابع توزیع احتمال پیشین، داریم که با رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$\sigma_n^2 = \frac{W_T}{SNR} \quad (8)$$

که در آن، W_T توان سیگنال ارسال شده، و SNR نسبت سیگنال به نویز سیستم است. با توجه به رابطه (۳) و استفاده از الگوریتم LS (Least Square) برای تخمین کانال داریم:

$$\hat{\mathbf{H}}[n, k] = \mathbf{a}[n, k]^{-1} \mathbf{x}[n, k] \quad (9)$$

به این ترتیب، تابع توزیع احتمال تابع تبدیل کانال، در حوزه فرکانس، می تواند با استفاده از ماتریس واریانس نویز، بدست آید. اکنون می توان الگوریتم فیلتر ذره ای را برای تخمین دقیق کانال بکار برد.

۳-۲- فیلتر ذره ای

فیلتر ذره ای یک تکنیک جدید برای بدست آوردن تابع توزیع احتمال پسین (pdf) بر پایه تئوری بیز است. الگوریتم فیلتر ذره ای از روشهای مونت کارلو زنجیره ای (SMC) است، که در آن از نمایش ذره ای چگالیهای احتمالاتی، برای تخمین پارامترهای یک توزیع دلخواه استفاده می شود. به دلیل اینکه تابع توزیع احتمال پسین تمامی اطلاعات آماری ممکن متغیر حالت را در بر دارد، استفاده از این روش برای تخمین کانال عملکردی بسیار نزدیک به روشهای بهینه دارد. در این مقاله از الگوریتم PF برای ردیابی ضرایب کانال به عنوان متغیر حالت، به نحوی که در ادامه توضیح داده شده، استفاده شده است.

سیگنال دریافتی $\mathbf{X}[n, k]$ به صورت زیر بیان می شود [۹]:

$$\mathbf{y}_{0:t} = [y_0, \dots, y_t] \quad (10)$$

راه حل بیزین برای محاسبه توزیع پسین $p(h_t | \mathbf{y}_{0:t})$ با رابطه (۱۱) بدست می آید [۹]:

$$p(\mathbf{h}_{0:t} | \mathbf{y}_{0:t}) \propto p(\mathbf{h}_0 | \mathbf{y}_0) \prod_{k=1}^t p(\mathbf{y}_k | \mathbf{h}_k) p(\mathbf{h}_k | \mathbf{h}_{k-1}) \quad (11)$$

که در اینجا \mathbf{h}_t ، تابع تبدیل زیرحاملهای مختلف را نشان می دهد.

$$p(h_t | \mathbf{y}_{0:t}) = \frac{p(y_t | h_t) p(h_t | \mathbf{y}_{0:t-1})}{p(y_t | \mathbf{y}_{0:t-1})} \quad (12)$$

که $p(y_t | \mathbf{y}_{0:t-1})$ ، فاکتور نرمالیزاسیون، و $p(h_t | \mathbf{y}_{0:t-1})$ تابع توزیع احتمال پیشین است. تابع توزیع احتمال $p(y_t | h_t)$ ، به عنوان تابع شباهت، معلوم است.

برای محاسبه رابطه (۱۱) به طور بازگشتی، روش نمونه گیری اهمیت زنجیره ای (SIS یا Sequential Importance Sampling)، به طوری که در شکل (۳) نشان داده شده، به کار می رود. همانطور که این شکل نشان می دهد نقاط دایره ای، توزیع ذرات و قطر آنها وزن ذرات را نشان می دهد. با فرض اینکه همه ذرات در زمان t وزن یکسانی داشته باشند، ما توزیع احتمال پسین را که منحنی نشان داده شده در شکل (۳) است رسم می کنیم، و سپس وزن ذرات در زمان $t+1$ را با استفاده از توزیع احتمال پسین در زمان t به روز می کنیم. به این ترتیب می بینیم که وزن ذرات، یعنی قطر نقاط دایره ای، در مکانهایی که مقدار تابع توزیع احتمال بزرگتر است، بیشتر می شود و در مقابل، در مکانهایی که مقدار تابع توزیع احتمال کوچکتر است، وزن ذرات کمتر می شود. بنابراین می توان با استخراج ذرات و وزنها، مربوط به آنها توزیع پسین را به شکل زیر بیان کرد:

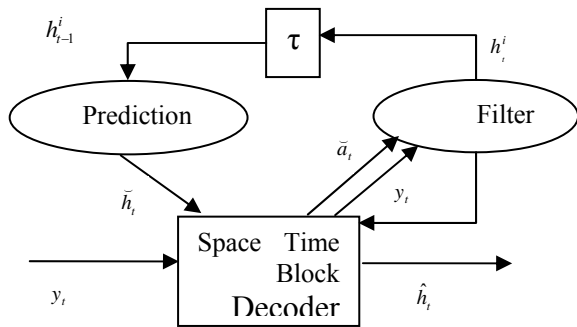
$$p(h_t | \mathbf{y}_t) = \sum_{i=1}^{N_p} w_i' \delta(h_t - h_t^i) \quad (13)$$

که در آن w_i' توسط رابطه (۱۴) به روز می شود.

$$w_i^j = w_{i-1}^j \frac{p(y_t | h_t^i) p(h_t | h_{t-1}^i)}{q(h_t | h_{t-1}^i, y_t)} \quad (14)$$

$q(h_t | h_{t-1}, y_t)$ ، تابع توزیع پیشنهادی است، که بهترین انتخاب برای آن توزیع پسین است. در فرایند SIS ابتدا N_p ذره به طور تصادفی تولید می شوند به نحوی که فضای حالت مورد نظر (یعنی $p(h_t | \mathbf{y}_{0:t})$)، به اندازه کافی با این ذرات پوشیده شود. هر چه تعداد ذرات بیشتر باشد تخمین دقیق تری را می توان بدست آورد. سپس وزن هر ذره با استفاده از توزیع شباهت (Likelihood distribution)، و با استفاده از رابطه (۱۴) به روز می شود. اما مشکل مهم SIS پدیده انحطاط است. یعنی وزن ذرات به سرعت کاهش یافته و بعد از چند تکرار اولیه تمام نمونه ها، به جز تعداد کمی از آنها، از بین می روند. برای غلبه بر این مشکل می توان از الگوریتم نمونه گیری مجدد استفاده کرد. ایده اصلی در روش نمونه گیری مجدد، حذف نمونه های با وزن کم، و تمرکز روی نمونه های با وزن زیاد است، شکل (۴) چگونگی عملکرد این الگوریتم را به خوبی نشان می دهد.

مطابق با شکل (۵)، با دریافت سیگنال y_{t+1} ، واحد کدبردار در گیرنده از متوسط این ذرات پیش بینی شده، \tilde{h}_t ، برای بدست آوردن تخمین نامناسبی از سنبلهای ارسالی، $\tilde{a}[n, k]$ ، استفاده می کند. این تخمین نامناسب، به بخش فیلتر فرستاده می شود، تا از آن برای به روز کردن تخمین ضرایب کانال استفاده کند.

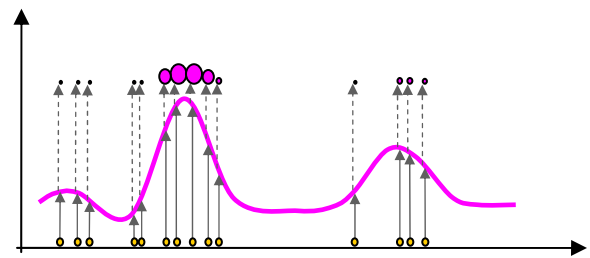


شکل (۵): بلوک دیاگرام ردیابی- آشکارسازی توام در سیستم MIMO-OFDM

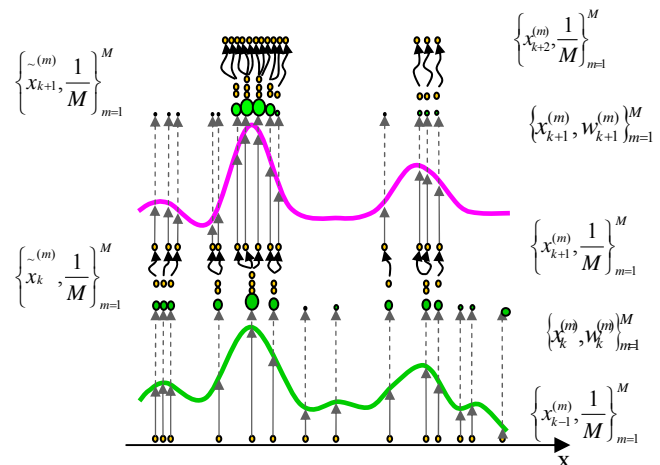
۴- نتایج شبیه سازی:

سیستم شبیه سازی بکار رفته در این مقاله، یک سیستم MIMO-OFDM، ۲×۲ است. پارامترهای سیستم، مطابق با پارامترهای در نظر گرفته شده در [۹]، عبارتند از: فرکانس حامل ۴GHz، عرض باند ۶ MHz، تعداد زیرحاملها ۳۲، و نوع مدولاسیون QPSK در نظر گرفته شده است. کانالهای بیسیم، از هر آنتن فرستنده به هر آنتن گیرنده، با تارکنندگی ریلی، و با انتشار مستقل در هر مسیر در نظر گرفته شده اند. طیف داپلر کانال، مطابق با مدل جیکس، و نرخ تارکنندگی داپلر زمانی (Time-Doppler fading rate) نرمالیزه شده، $f_D T_s = 0.01$ ، (یک نرخ تارکنندگی سریع)، قرار داده شده است. نوع کدینگ فضای زمان (Space Time Block Coding یا STBC)، الموتی با نرخ کد ۱/۲ و روش کدبرداری مربوط به آن، الگوریتم بیشترین شباهت (ML) است. پیاده سازی الگوریتم PF، برای تخمین کانال با طول ۲، در حوزه فرکانس بکار رفته است، و با تخمین همین کانال، به روش فیلتر کالمن مقایسه شده است.

شکل (۶) نشان می دهد که اجرای MSE الگوریتم فیلتر ذره ای (PF) به مقدار قابل توجهی بهتر از فیلتر کالمن بوده، و با افزایش تعداد ذرات، همانطور که انتظار می رود میزان MSE کاهش می یابد. برای مثال در احتمال خطای 10^{-3} اجرای MSE الگوریتم PF با $N_p=100$ حدود ۹dB بهتر از اجرای فیلتر کالمن است. این نتیجه با توجه به این نکته که الگوریتم PF در اینجا تمام مراحل ردیابی کانال را در حوزه فرکانس انجام می دهد، در حالی که



شکل (۳): نمایش نمونه گیری اهمیت زنجیره ای از چگالی احتمال پسین



شکل (۴): فرایند نمونه گیری مجدد

به طور کلی گامهای اجرایی الگوریتم PF، را می توان به ترتیب زیر بیان کرد:

مرحله شروع: انتخاب تعداد N_p ذره، یعنی تولید ذرات $h_0^i, h_0^i \sim p_0, i = 1, \dots, N_p$ که توزیع اولیه بوده، و در اینجا همان تابع توزیع پیشنهادی در نظر گرفته شده است. وزن اولیه تمام ذرات نیز $1/N_p$ است.

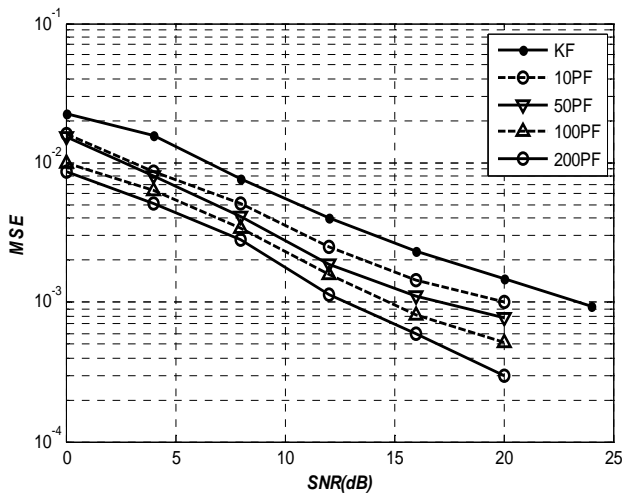
به روز کردن وزنها: با استفاده از تابع شباهت وزنها به روز می شوند، یعنی: $w_t^i = w_{t-1}^i p(y_t | h_t^i), i = 1, \dots, N_p$ ، سپس وزنها نرمالیزه می شوند.

نمونه گیری مجدد: اگر عدد موثر ذرات کمتر از حد آستانه باشد، یعنی $N_{eff} \leq N_{th}$ ، الگوریتم نمونه گیری مجدد اجرا شده، و وزن تمام ذرات برابر $1/N_p$ قرار داده می شود.

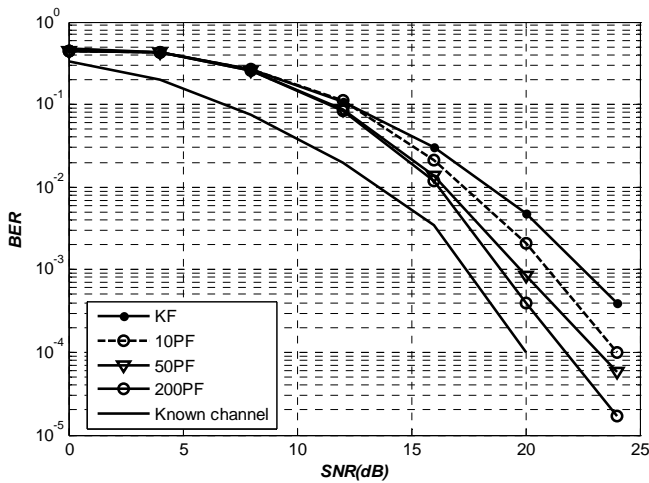
تخمین $p(h_t | y_t)$ با استفاده از رابطه (۱۳).

تکرار: در مرحله t+1، الگوریتم از گام دوم تکرار می شود.

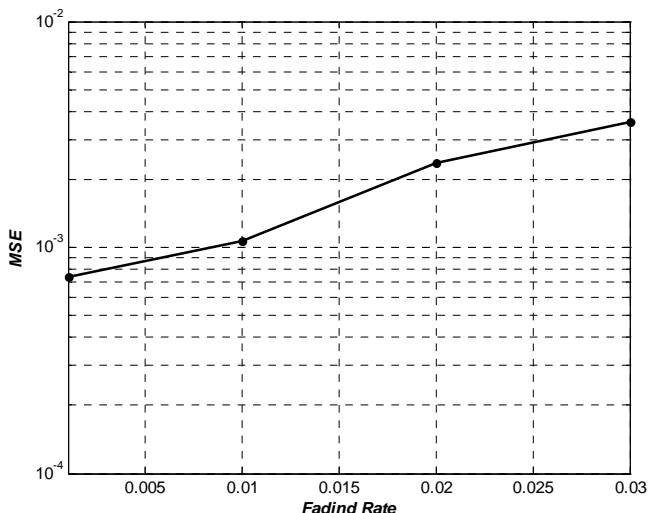
در این مقاله، از آنجا که الگوریتم پیشنهادی، بدون استفاده از مدل فضای حالت کانال، کانال را در حوزه فرکانس ردیابی می کند، پس از بدست آوردن تخمین بهینه ضرایب کانال در تکرار tام، ذرات مجدداً در فضای احتمال خطای این تخمین، یعنی $p(y_t | h_t)$ ، پراکنده شده، و از آنها به عنوان ذرات پیش بینی شده برای تکرار t+1ام استفاده می شود. در این مرحله،



شکل (۶): نمایش سطح کارایی MSE



شکل (۷): نمایش نرخ خطای بیت (BER)



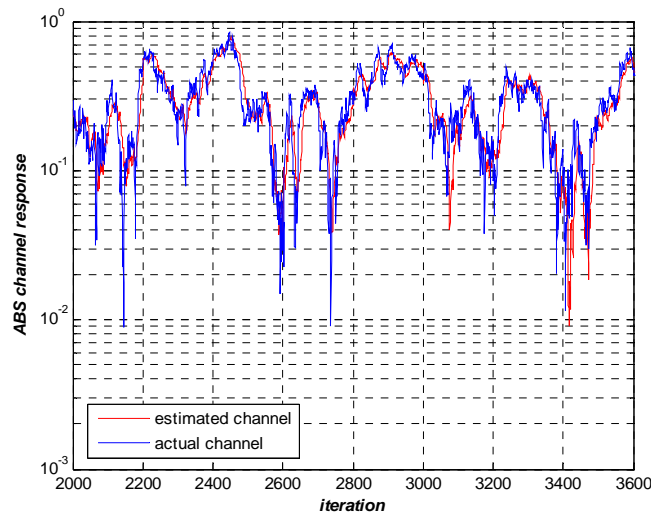
شکل (۸): افزایش MSE به ازای افزایش نرخ تارکنندگی کانال در SNR=15 dB

الگوریتم فیلتر کالمن در حوزه زمان پیاده سازی شده، و سطح کارایی MSE یک الگوریتم در حوزه زمان نتیجه اجرای خیلی بهتری نسبت به پیاده سازی همان الگوریتم در حوزه فرکانس دارد. با این وجود به دلیل قابلیت‌های الگوریتم PF، اجرای این الگوریتم در حوزه فرکانس هم عملکرد بهتری نسبت به فیلتر کالمن دارد. شکل (۷) احتمال خطای آشکارسازی بیت (BER) را برای دو الگوریتم PF و فیلتر کالمن نشان می‌دهد، و سپس آن را با آشکارسازی داده در حالتی که گیرنده آگاهی کامل از کانال دارد مقایسه می‌کند. همانطور که نتایج شبیه سازی در این شکل نشان می‌دهد، اجرای PF همچنان کارتر از فیلتر کالمن بوده، و با افزایش تعداد ذرات میزان خطا به نمودار BER با فرض کانال معلوم نزدیک می‌شود. شکل (۸) افزایش سطح کارایی MSE را با افزایش نرخ تارکنندگی کانال نشان می‌دهد. ردیابی یک کانال متغیر با زمان با نرخ تارکنندگی ۰/۰۱ و SNR=15dB نیز با بزرگنمایی در شکل (۹) نمایش داده شده است. شکل (۱۰) افزایش مقدار MSE کانال را برای حالتی نشان می‌دهد که تعداد سمبل‌های آموزشی نسبت به سمبل‌های داده کاهش یافته، یا به عبارت دیگر تعداد سمبل‌های داده که در فاصله بین ارسال دو سمبل آموزشی ارسال می‌شوند افزایش یافته است، که البته افزایش MSE برای این حالت مطابق با انتظار است، و در نهایت شکل (۱۱) نتیجه شبیه سازی را برای حالتی نشان می‌دهد که طول ضرایب کانال برای هر مسیر بیشتر از ۲ در نظر گرفته شود، در این شکل مقدار کم افزایش MSE برای مقایسه حالات $L=[2, 4, 6]$ نشان داده شده است.

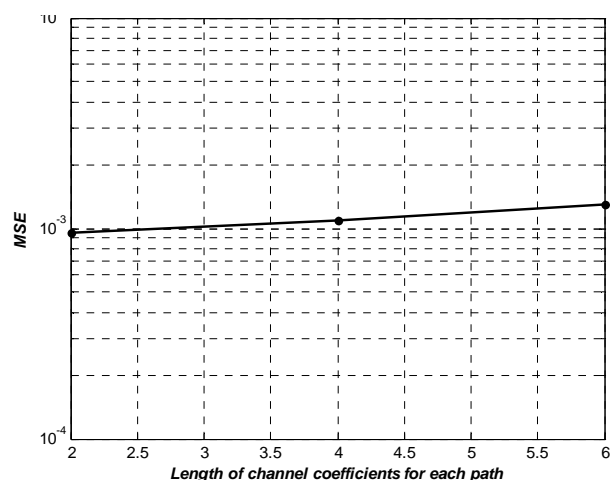
آموزشی، برای حفظ مسیر ردیابی کانال استفاده می کند، به طوری که به ازای هر N_{train} سمبل OFDM یک سمبل آموزشی، ارسال می شود. استفاده از سمبلهای آموزشی به این ترتیب، در مقایسه با سمبلهای پایلوت که در هر سمبل OFDM قرار داده می شوند، به مقدار قابل توجهی در اختصاص پهنای باند به آموزش، صرفه جویی می کند. علاوه بر این، الگوریتم PF پیشنهادی، با این فرض که گیرنده هیچ اطلاعات پیشینی از مشخصات آماری کانال و همچنین نویز ندارد، در حوزه فرکانس، اجرا می شود. نتایج شبیه سازی، ثابت می کند که الگوریتم PF، کاهش چشمگیری در MSE تخمین کانال و همچنین BER، نسبت به روش فیلتر کالمن ایجاد می کند. به این ترتیب، با توجه به این که روشهای بهینه در آشکارسازی داده که بر مبنای معیارهای ML و MMSE کار می کنند، با مشکل افزایش نمایی پیچیدگی آشکارسازی با تعداد آنتنهای فرستنده، همراه هستند و گیرنده هایی با عملکرد اجرایی نیمه بهینه که اغلب مورد استفاده قرار می گیرند با وجود پیاده سازی ساده تر نسبت به گیرنده های بهینه، با محدودیتهای اجرایی خاصی همراه هستند و مهم تر اینکه بیشتر این روشها با مشکل انتشار خطا مواجه اند، فیلتر ذره ای می تواند به عنوان ابزاری قدرتمند، در ردیابی کانالهای بیسیم پویا، با مشخصات غیر خطی و یا خطی به کار رود.

مراجع

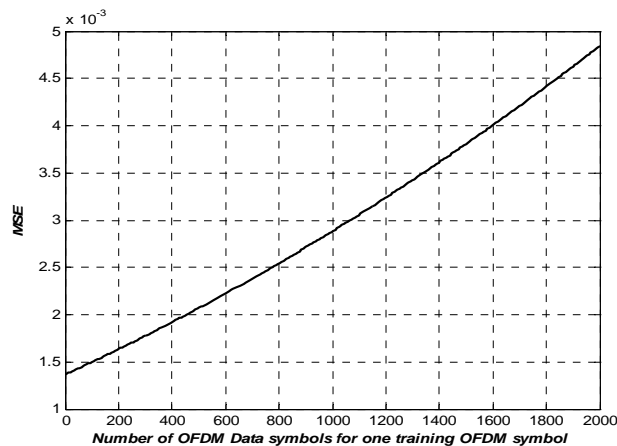
- [1] S.Haykin, Adaptive Filter Theory. (Fourth Edition). Publishing House of Electronics Industry, Beijing, June 2003.
- [2] D.Schafhuber, M.Rupp, G.Matz, F.Hlawatsch, "Adaptive identification and tracking of doubly selective fading channels for wireless MIMO-OFDM systems", SPAWC 2003. 4th IEEE Workshop on 15-18, Pages:417-421, June 2003.
- [3] D.Schafhuber, G.Matz, F.Hlawatsch, "Kalman tracking of time-varying channels in wireless MIMO-OFDM systems", Conference Record of the Thirty-Seventh Asilomar Conference on Volume 2, Pages:1261-1265, 9-12 Nov.2003.
- [4] Yongming Liang, Hanwen Luo, Jianguo Huang, "Adaptive RLS Channel Estimation in MIMO-OFDM Systems", IEEE International Symposium on Communication and Information Technologies, October 12-14, 2005.
- [5] P.M. Djuric, J.H. Kotecha, Jianqi Zhang, Yufei Huang, T. Ghirmai, M.F. Bugallo, J. Miguez, "Particle Filtering", Signal Processing Magazine, IEEE Volume 20, Issue 5, Pages:19-38, Sep. 2003.
- [6] Xiaodong Wang, H. Vincent Poor, Wireless Communication Systems: Advanced Techniques for signal Reception, Publishing House of Electronics Industry, Beijing, September 2005.
- [7] K. Huber, S. Haykin, "Application of particle filter to MIMO wireless communication", Communications, 2003. ICC'03. IEEE International Conference on Volume 4, 11-15, Pages:2311-2315, May 2003.
- [8] W. H. Chin, D.B. Ward, A.G. Constantinides, "Channel tracking for space-time block coded systems using particle filtering", Digital Signal Processing, 2002 14th International Conference on Volume 2, Pages:671-674, vol.2, 1-3 July 2002.
- [9] Y.M. Liang, H.W. Luo, X.X. Zhang, C.G.Y., "Nonlinear Channel Estimation Based on Particle Filtering for MIMO-OFDM Systems", Proc. Of International Conference on Communications, Circuits and Systems, vol.1, pp.347-351, Jun. 2006.



شکل (۹): نمایش ردیابی کانال به ازای $f_D = 0.01$ و $\text{SNR} = 15 \text{ dB}$



شکل (۱۰): افزایش مقدار MSE کانال با افزایش تعداد سمبلهای داده به ازای هر سمبل آموزشی



شکل (۱۱): افزایش مقدار MSE کانال به ازای افزایش ضرایب کانال در هر مسیر، L

۵- نتیجه گیری

در این مقاله مسأله ردیابی کانال را، به کمک روشی جدید بر مبنای الگوریتم فیلتر ذره ای (PF)، در سیستم های MIMO-OFDM، و در یک محیط فرکانس گزین متغیر با زمان، مورد بررسی قرار دادیم. در این روش، فیلتر ذره ای از سمبلهای