

برآورد عملکرد تکنیک‌های چند حاملی OFDM و CDMA-DS-MC برای مخابرات خطوط انتقال قدرت با به کارگیری اکولایزر مناسب

■ نواب قانعی (شرکت برق منطقه ای فارس، شیراز، ایران)
علیرضا ملاح زاده (بخش برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر، بوشهر، ایران)

**واژه‌های کلیدی: مخابرات سیستم قدرت (PLC)،
OFDM، CDMA-DS-MC، نویز ضربه ای، فیدینگ
کانال، تخمین کانال.**

۱- مقدمه

استفاده از خطوط PLC موجود برای ارسال دیتا و مخابرات چند رسانه ای نظیر اینترنت، صوت و تصویر روز به روز بیشتر مورد توجه محققان قرار می‌گیرد زیرا از یک طرف احتیاج به پرداخت هزینه‌های سنگین جهت کابل کشی مجدد نمی‌باشد و همچنین در همه جا در دسترس می‌باشد. برای ارسال اطلاعات از طریق PLC مشکلات عدیده ای از جمله تغییرات مکرر امپدانس شبکه، تضعیف، تغییرات زمانی پاسخ فرکانسی کانال، تداخل‌های مختلف و نویز وجود دارد. نویزهای ایجاد شده در کانال PLC برخلاف دیگر کانال‌ها به صورت جمع شونده نیست و به صورت نویز ضربه ای و پیش زمینه می‌باشد. نویز پیش زمینه شبهه ایستا و دارای چگالی طیف توان کم و در تمام بازه فرکانسی بصورت یکنواخت پراکنده است اما نویزهای ضربه ای دارای چگالی طیف توان بسیار قوی در محدوده فرکانسی کمی می‌باشد. تأثیرات چند مسیریگی کانال ناشی از اکوهای دریافتی از مسیرهای مختلف باعث می‌شود که سیگنال دیتا کانال فرکانس گزین را تجربه کند. به همین سبب استفاده از تکنیک‌های مدولاسیون جدید گریز ناپذیر می‌باشد. از مزایای تکنیک OFDM ساده بودن طراحی جبرانگرها می‌باشد. این تکنیک در دهه ۶۰ میلادی مورد بررسی قرار گرفته بود [۸]. اما بدلیل پیچیدگی پیاده سازی سخت افزاری در آن زمان، اخیراً با استفاده از تکنولوژی DSP پیاده سازی این روش مقرون به صرفه و قابل اجرا شده است.

از طرف دیگر، در تکنیک MC-DS CDMA می‌توان به طور

چکیده:

این مقاله به بررسی عملکرد تکنیک‌های OFDM و تکنیک Multi Carrier Direct Sequence CDMA در کانال PLC می‌پردازد. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان می‌دهد که با استفاده از تکنیک OFDM و MC-DS CDMA می‌توان سرویس‌های با نرخ بیت و قابلیت اطمینان بالا، بر روی سیستم PLC ارسال نموده و تا حد زیادی می‌توان بر مشکل چند مسیریگی و نویزهای ضربه ای ایجاد شده ناشی از خطوط انتقال قدرت فائق آمد و BER را تا حد زیادی کاهش داد. ضمناً نشان داده شده است که نرخ خطا در تکنیک MC-DS CDMA در ازای کاهش نرخ ارسال دیتا کاهش می‌یابد لازم به ذکر است که در تکنیک MC-DS CDMA با افزایش تعداد کاربرها می‌توان نرخ ارسال دیتای موثر را افزایش داد.



OFDM گذاشته می شود و در گیرنده این فاصله زمانی هنگام گرفتن FFT حذف می شود (شکل ۱)).

۳- مدل کانال

پاسخ ضربه کانال در سیستم PLC، معمولاً به صورت یک کانال چند مسیره می باشد [۳]:

$$h(t, \tau) = \sum_{l=1}^L \alpha_l(t) \cdot \delta(t - \tau_l) \quad (2)$$

که در آن $\alpha_l(t)$ ضرایب فیدینگ (که اعداد مختلفی می باشند)، L تعداد کل مسیرهای کانال چندمسیره می باشد. جدول (۱) ضرایب کانال و تاخیرهای متناظر در مسیرهای مختلف، برای سناریوی فوق الذکر را نشان می دهد [۳].

شماره تب	۱	۲	۳	۴
تأخیر نسبی $\tau(\mu s)$	۰	۰.۲	۰.۳	۰.۳
ضریب تلفات α	۰.۳	۰.۱	۰.۲	۰.۱

جدول (۱): پارامترهای مدل کانال PLC [۳].

۴- مدل گیرنده OFDM

سیگنال دریافتی در گیرنده، به صورت زیر خواهد بود:

$$h(t, \tau) = \sum_{l=1}^L \alpha_l(t) \cdot \delta(t - \tau_l) \quad (3)$$

که در آن $\alpha_l(t)$ ضریب فیدینگ کانال مربوط به مسیر l ام بوده و $s(t)$ سیگنال باند پایه ارسالی می باشد و $r(t)$ سیگنال باند پایه دریافتی است و $n(t)$ نویز سیستم PLC می باشد که دارای دو مولفه می باشد. یکی نویز زمینه (background) $w(t)$ یا نویز اصلی، که ناشی از اثر حرارتی در المانهای الکترونیکی در طبقه ورودی گیرنده است و بصورت نویز سفید افزودنی (AWGN) و با واریانس σ^2 در نظر گرفته می شود و دیگری نویز ضربه ای $i(t)$ است که ناشی از کلید زنی در شبکه قدرت و امواج رادیویی SW القا شده بر روی هادیهای خطوط انتقال قدرت می باشد و بصورت $i(t) = b(t) \cdot g(t)$ مدل می گردد. که در اینجا $b(t)$ یک فرآیند تصادفی پواسن و با نرخ متوسط λ عدد بر ثانیه می باشد و $g(t)$ یک فرآیند گوسی سفید می باشد که دارای میانگین صفر و واریانس $10\sigma^2$ می باشد. نویز کانال به صورت:

$$n(t) = w(t) + i(t) = w(t) + b(t) \cdot g(t) \quad (4)$$

خواهد شد. در طول شبیه سازی زمان متوسط رخ دادن پالس های ضربه ای برابر با T_{avg} و پررود زمانی سمبل OFDM برابر با T و توان نویز ضربه ای را 10 برابر توان نویز اصلی و طول زمانی آن را یک دهم طول زمانی سمبل OFDM (یعنی نسبت T_{avg}/T را برابر با 0.1) در نظر گرفته ایم [۳]. پس از گرفتن تبدیل فوریه توسط بلوک FFT سیگنال دریافتی به فرض اینکه ISI نداشته باشیم بصورت ذیل می باشد (سیگنال دریافتی در حوزه فرکانس):

همزمان از مزایای تکنیک OFDM و CDMA استفاده کرد در این تکنیک چیپ های مربوط به هر سمبل دیتا بر روی زیر حامل های مربوط به خود سوار شده و توسط فریم های OFDM ارسال می شود به عبارت دیگر در هر فریم OFDM ارسالی فقط یک چیپ از هر سمبل دیتا ارسال می شود و در صورت خراب شدن چیپ های مربوط به یک سمبل دیتا از روی چیپ های مربوط به سایر فریم های OFDM می توان آن سمبل را بازیابی کرد. همچنین با استفاده از تکنیک در هم نهی می توان از دایورسیتی فرکانسی نیز به صورت همزمان بهره برد.

تخمین کانال در آشکارسازی و بازسازی سمبل های اولیه ارسالی ضروری می باشد. روش های تخمین کانال مبتنی بر به کارگیری پایلوت خاصیت دنبال کنندگی اثر فیدینگ سریع کانال را دارا می باشند، و از آنجا که استانداردهای موجود در اکثر سیستم های مخابراتی، سمبل های پایلوت را برای تخمین کانال، پیش بینی و تعبیه نموده اند، لذا در این مقاله، تخمین کانال سیستم PLC مبتنی بر تکنیک OFDM به کمک پایلوت بررسی گردیده و بهترین روش انتخاب می گردد.

در [۲]، [۴] و [۱۲] مطالعاتی در زمینه بررسی عملکرد نرخ خطای بی تی BER در کانال های PLC تحت شرایط چند مسیریگی کانال انجام گردیده است. در این مقاله مراحل انجام شبیه سازی سیستم PLC مبتنی بر تکنیک OFDM و MC-DS CDMA به همراه تکنیک های تخمین کانال، بطور مفصل بررسی گردیده و الگوریتم مناسب تخمین کانال برای کانال PLC نیز تحت شرایط استاندارد مخابراتی و همانند ماخذ [۱]، بازی پارامترهای مربوط به استاندارد شبکه بیسیم شبکه های محلی WLAN با شماره IEEE 802.11a انجام گردیده است و نشان داده شده است که نرخ خطا در تکنیک MC-DS CDMA در ازای کاهش نرخ ارسال دیتا کاهش می یابد لازم به ذکر است که در تکنیک MC-DS CDMA با افزایش تعداد کاربرها می توان نرخ ارسال دیتا موثر را افزایش داد.

۲- مدل فرستنده OFDM

سیگنال OFDM ارسالی بر روی کانال PLC بصورت زیر است:

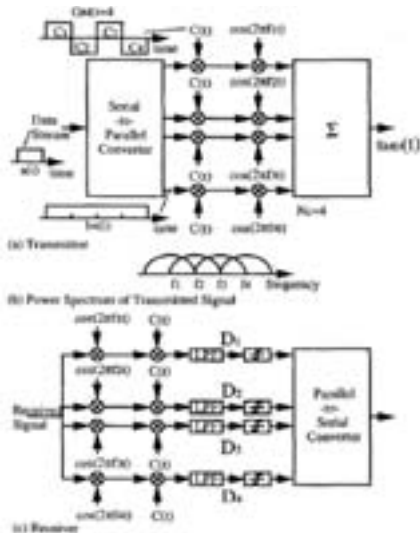
$$s(nT) = \sum_{k=0}^{N-1} S(k) \exp(j \frac{2\pi k n T}{N}) \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (1)$$



شکل (۱): ساختار فرستنده، گیرنده و سیگنال ارسالی در باند پایه سیستم OFDM

که در آن $S(k) = a_k + j b_k$ امین سمبل M-PSK یا M-QAM بوده و N تعداد زیر حامل ها می باشد. از طرفی برای کاهش هر چه بیشتر ISI و Inter Carrier Interference (ICI) یک فاصله زمانی محافظ به صورت چرخشی در شروع هر سمبل

که در اینجا $R_p(k), S_p(k)$ به ترتیب سیگنال پایلوت ارسالی و دریافتی روی زیر حامل k ام می باشد.



شکل (۲): بلوک دیاگرام فرستنده، طیف توان ارسالی و گیرنده سیستم DS-SS MC-CDMA

۲-۶- الگوریتم Least Mean Square Error (LMS):

از یک فیلتر وقتی دارای یک تب برای تخمین مشخصه های کانال در محل پایلوت ها استفاده می کند. در این روش در تکرار اول از روش LS مقادیر اولیه $H_p(k) = R_p(k) / S_p(k)$ محاسبه می شود سپس با استفاده از روش تکرار مقدار $H_p^{(l+v)}(k)$ به کمک $H_p^{(v)}(k)$ (مقادیر قبلی تخمین) و $R_p(k)$ بدست می آید.

$$\hat{H}_p^{(l+v)}(k) = \hat{H}_p^{(l)}(k) + 2 \times \mu \times e^*(k) \times R_p(k) \quad (8)$$

stepsize: $\mu = 0.001$
 $e(k) = S_p(k) - \hat{H}_p^{(l)}(k) \times R_p(k)$

۷- روش های درونیابی در تخمین کانال با ساختار پایلوت شانهای

اصولا برای محاسبه تخمین کانال در موقعیت سمبل های دیتا، بایستی بسته به نوع کانال مخابراتی از تکنیک های درونیابی مختلفی استفاده می شود روش های درونیابی مورد استفاده در این مقاله به صورت زیر دسته بندی می شود.

۱-۷- درونیابی خطی:

در این روش درونیابی کانال در موقعیت سمبل های دیتا $mL < k < (m+1)L$ به صورت زیر می باشد:

$$\hat{H}(k) = \hat{H}(mL+L) \quad 0 \leq L \leq L$$

$$= (\hat{H}(j(m+1)) - \hat{H}(j(m))) \frac{1}{L} + \hat{H}(j(m))$$

۲-۷- درونیابی مرتبه سوم:

در روش درونیابی مرتبه سوم یک منحنی صاف و پیوسته بر روی نقاط تخمین واقعی به دست می آید [۴].

۸- نتایج شبیه سازی

شبیه سازی بر اساس روش مونت کارلو برای حدود ۱ میلیون

$$R(k) = FFT\{r(t)\} = S(k)H(k) + N(k) \quad (5)$$

$$k = 0, 1, 2, \dots, N-1$$

سپس سمبل های (زیر حامل های) پایلوت جداسازی گردیده و تخمین کانال $\hat{H}(k)$ برای زیر حامل های دیتا انجام می پذیرد. در نهایت دیتای تخمینی به صورت $k=0, \dots, N-1$ و $\hat{H}(k) = \frac{R(k)}{S(k)}$ و در مرحله ی بعد با عمل دمدولاسیون بیت های دیتا حاصل می آید. از آنجا که در سیستم PLC، طبق استاندارد ارائه شده در [۲] و [۵]، ساختار شانهای (comb type) برای ارسال سمبل های پایلوت در نظر گرفته شده است لذا این ساختار نیز در شبیه سازیهای ارائه شده در این مقاله بکار گرفته شده است. در این شبیه سازیها با فرض تعداد زیر حامل ها برابر ۶۴ برای هر فریم OFDM، پایلوت ها را بر روی زیر حامل های شماره ۱ و ۱۶ و ۳۱ و ۴۶ در نظر گرفته ایم [۵]. پس از انجام عملیات تخمین کانال در گیرنده از کولایزر بر مبنای Minimum Mean Square Error (MMSE) برای حذف کامل اثر ISI استفاده می شود.

۵- مدل فرستنده و گیرنده تکنیک CDMA-DS-MC

در تکنیک MC-DS-CDMA فرستنده اقدام به گسترده سازی (Spreading) دنباله سمبل های دیتا بعد از عبور از P/S به وسیله سیگنال گستراننده می کند و سپس سیگنال حاصل بر روی زیر حامل های متعامد مدوله می شود در این تکنیک به علت کاهش نرخ ارسال بر روی هر زیر حامل، افزایش طول چیپ و در نتیجه ساده شدن عملیات همزمانی بین دنباله چیپ ها را در پی دارد. در شکل (۲) فرستنده و چگالی طیف توان سیگنال ارسالی (هنگامی که تعداد زیر حامل ها $N_c=4$ و بهره کد $G_{md}=4$) و گیرنده ارائه شده است. در این صورت سیگنال ارسالی کاربر زام به صورت زیر است:

$$s_{tot}^{(k)}(t) = \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{l=0}^{L-1} b_l^{(k)}(t) c_m^{(k)} \cdot p_m(t - (m-1)T_s - lT_c) \cdot \cos[2\pi(f_c + k\Delta f^2)t]$$

Where: $p_m(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t \leq T_c \\ 0 & \text{oth.} \end{cases}$

که در اینجا $\{b_l^{(k)}\}$ برابر $\{-1\}$ و $\{1\}$ و بیت i ام ورودی سوار بر زیر حامل k ام (بعد از بلوک P/S) مربوط به کاربر z ام می باشد و $T_c = (\frac{T_s}{N_c})$ ، $T_s = N_c T_c$ و به ترتیب برابر پهنای سمبل و پهنای چیپ $\Delta f^2 = \frac{1}{T_c}$ می باشد و فاصله بین زیر حامل های مجاور می باشد و $c_m^{(k)}$ چیپ m ام دنباله گستراننده مربوط به کاربر z ام می باشد و همانگونه که از شکل گیرنده (شکل (۲)) پیداست از آنجا که هر زیر حامل کانالی با فیدینگ صاف را تجربه می کند گیرنده شامل N_c گیرنده کوهرنت معمولی می باشد. برای اینکه بتوانیم از دایورسیتی فرکانسی در گیرنده استفاده شود می توان در فرستنده و گیرنده قبل از ارسال دیتاها از عملیات در هم نهی استفاده کرد.

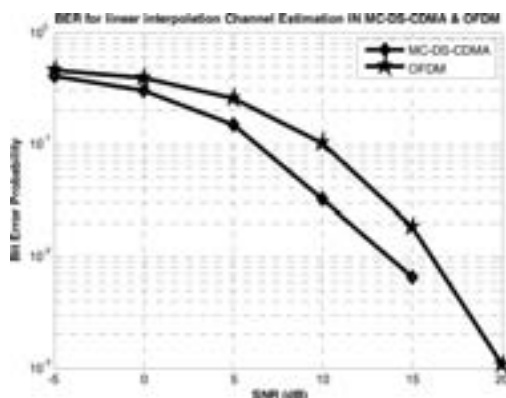
۶- الگوریتمهای تخمین کانال بر پایه پایلوت

۱-۶- معیار Least Square (LS): در این روش پاسخ فرکانسی کانال از رابطه زیر محاسبه می شود.

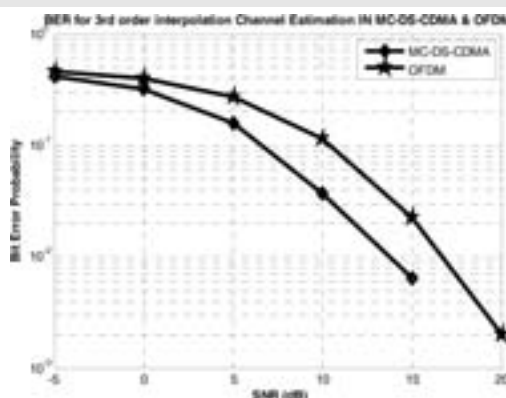
$$H_p(k) = \frac{R_p(k)}{S_p(k)} \quad (7)$$

بیت، برای محیط کانال PLC در باند C از استاندارد CENELEC مشابه [۱] انجام گردیده است (جدول شماره (۲)).

پارامتر		مقدار
باند باند		۴۰۰ KHz
فاصله بین زیرکانال ها (Δf)		۶۷۵ KHz
TM	۲۲	۱۶۰ μs
Cyclic prefix	۴	۶۰ μs
طول سمبل	۸۸	۱۷۰ μs
تعداد زیرکانال دیتا	۲۸	
تعداد زیرکانال پیلوت	۴	
تعداد کل زیرکانال ها	۳۲	
مدولاسیون	BPSK	
نرخ دیتا	۲ Mbps	



شکل (۵): نرخ BER با به کارگیری اکولایزر و تخمین کانال (LS) با درونیایی خطی (در محیط کانال PLC)



شکل (۶): نرخ BER با به کارگیری اکولایزر و تخمین کانال (LS) با درونیایی مرتبه سوم (در محیط کانال PLC)

OFDM و MC-DS-CDMA دارای عملکرد مناسب و یکسانی می باشند. به عبارت دیگر تخمین کانال و فقی با درونیایی خطی اختلاف چندانی با حالت غیر و فقی ندارد. که این بعلت کم بودن تعداد پیلوت ها و تعداد وزن های به کار گرفته شده در آموزش الگوریتم و فقی و همچنین آرام بودن تغییرات پاسخ فرکانسی کانال PLC می باشد. و همان گونه که از شکل (۶) پیداست عملکرد تخمین کانال با درونیایی مرتبه ۳، اندکی ضعیف تر از دو روش قبلی است که این به خاطر خطی بودن و صاف بودن پاسخ فرکانسی کانال در بازه فرکانسی بین پیلوت های مجاور هم می باشد.

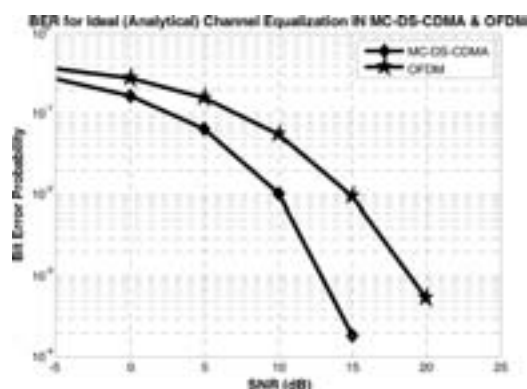
۹- نتیجه گیری

در این مقاله اجزای مختلف بخش باند پایه سیستم OFDM در مخابرات سیستم قدرت (PLC) به اختصار شرح داده شد.

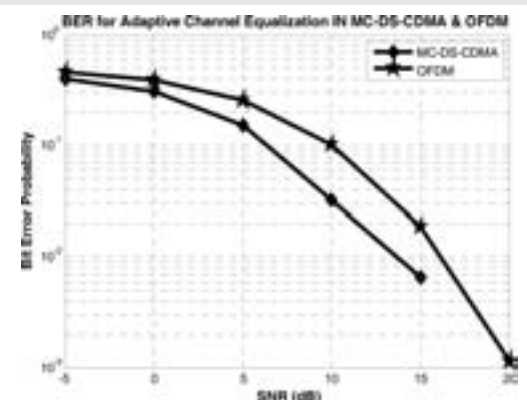
نتایج شبیه سازی در کانال PLC، نشان می دهند که درونیایی مرتبه یک، هنگامی که از پیلوت با ساختار شانه ای استفاده می شود عملکرد مناسبی دارد از طرف دیگر درونیایی مرتبه سوم در کانال های با پاسخ فرکانسی غیر خطی می تواند عملکرد کلی سیستم تخمین کانال را بهبود بخشد.

نرخ خطا در تکنیک MC-DS-CDMA در ازای کاهش نرخ ارسال دیتا کاهش می یابد لازم به ذکر است که در تکنیک MC-DS-CDMA با افزایش تعداد کاربرها می توان نرخ ارسال دیتای موثر را افزایش داد. منابع و ماخذ در دفتر ماهنامه موجود است.

۲ Mbps نتایج شبیه سازی در شکل های (۳)، (۴)، (۵) و (۶) نشان داده شده است. در شکل (۳)، منحنی تخمین کانال به صورت ایده ال (تحلیلی) و اکولایزر بر مبنای MMSE در نظر گرفته شده است. همانطور که دیده می شود، در تکنیک OFDM در نسبت SNR های حدود ۱۸ dB و با بکارگیری مدولاسیون BPSK به نرخ بیت حدود می توان دست یافت این در حالی است که در تکنیک MC-DS-CDMA در نسبت SNR های حدود ۱۲ dB و با بکارگیری مدولاسیون BPSK به نرخ بیت حدود 10^{-3} می توان دست یافت. همانگونه که شکل های (۴) و (۵) نمایش می دهند هر دو روش تخمین کانال مبتنی بر LS و LMS با درونیایی خطی، در دو سیستم



شکل (۳): نرخ BER با به کارگیری اکولایزر ایده ال کانال (در محیط کانال PLC) و تخمینگر LS



شکل (۴): نرخ BER با به کارگیری اکولایزر و تخمین کانال و فقی (LMS) با درونیایی خطی (در محیط کانال PLC)