

ارزیابی سیستم OFDM روی کانال مخابراتی آکوستیک در آب های کم عمق

(۱) امیرمنصور نبوی نژاد ، (۲) پویا حاجبی

(۱) دانشگاه آزاد نجف آباد، ۰۳۱۱-۲۶۰۶۲۰۶ (۲) دانشگاه یزد، ۰۳۱۱-۶۲۴۰۸۵۴

2: P_hajebi@yahoo.com , 1: Korg1031@yahoo.com

چکیده - در یک کانال مخابراتی آکوستیک زیر آب، به دلیل وجود انتشار چند مسیری و محو شدگی با انتخابگر فرکانس، موانع زیادی را برای ارسال اطلاعات با نرخ ارسالی بالا و قابل اطمینان به وجود می آورد. تسهیم تقسیم فرکانسی متعامد (OFDM) یک روش مناسب برای این منظور است. سه مزیت مهم آن عملکرد خوب در برابر تداخل چند مسیری، توانایی مقابله با محو شدگی با انتخابگر فرکانس و بازدهی طیفی بالا می باشد. از میان کانال های آکوستیک زیر آب کانال با برد متوسط بیشترین تغییرات زمانی را به خود اختصاص می دهد. در این مقاله هدف ارزیابی سیستم OFDM روی کانال مخابراتی آکوستیک زیر آب با برد متوسط (۱۰Km) می باشد.

کلید واژه - گسترش داپلر، محو شدگی با انتخابگر فرکانسی، OFDM، ICI.

۱- مقدمه

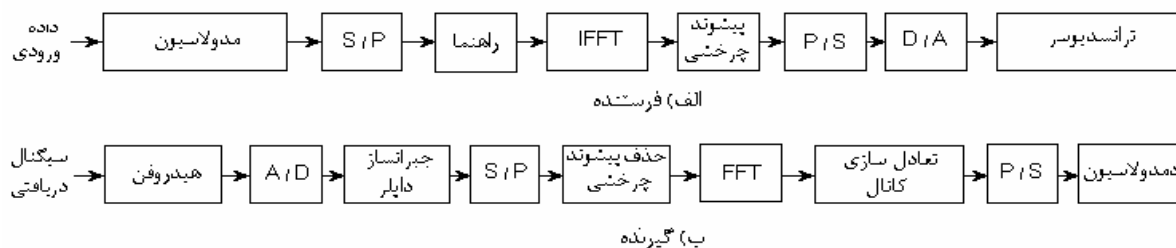
تداخل بین سمبلی از سیگنال های با زمان محافظ استفاده می نمایند. ولی اضافه کردن زمان محافظ باعث کاهش نرخ سیگنال دهی می شود. از طرف دیگر امکان ارسال داده با نرخ بالا در سیستم های مدولاسیون ناهمدوس تک حاملی وجود ندارد و بیشتر برای ارسال اطلاعات کنترلی مورد استفاده قرار می گیرد ولی اگر داده با نرخ بالا به چند دسته موازی با نرخ بیت های پائین تر تفکیک شود و هر کدام به وسیله زیر حامل های مختلف مدوله گردد به علت کاهش نرخ بیت هر زیر حامل نسبت به نرخ بیت اصلی، دوره زمانی سمبل افزایش یافته، در حالی که دوره زمانی سیگنال تداخل ثابت است. بنابراین تداخل بین سمبلی (ISI^2) کاهش یافته و در نتیجه کارایی سیستم در کانال های چند مسیری بهبود می یابد. این روش که به روش OFDM³ موسوم است، بر خلاف دیگر سیستم های چند حاملی،

با توجه به طبیعت خطی انتشار در کانال آکوستیک زیر آب، محتوای فرکانسی سیگنال های مخابراتی در داخل همان باند فرکانسی اصلی خود باقی می ماند و بنابراین تغییر چندانی در محتوای فرکانسی نخواهد داشت ولی دامنه و فاز سیگنال متحمل تغییرات زیادی خواهد شد. این امر باعث شده است که سیستم های ابتدایی از مدولاسیون و آشکارسازی ناهمدوس¹ FSK در مخابرات دیجیتال در کانال هایی که با تغییرات فاز سریع روبرو هستند مانند کانال های کم عمق با مسافت ارسالی متوسط استفاده کنند.[۱] این روش آشکارسازی مسأله همزمان سازی حامل را حذف می نماید ولی مسأله چند مسیری که همان اثرات گسترش زمانی و در نتیجه، تداخل بین سمبلی می باشد، بر قوت خود باقی است. این سیستم ها (FSK) برای غلبه بر

²- Inter-Symbol Interference

³- Orthogonal Frequency Division Multiplexing

¹- Frequency Shift Keing



شکل ۱: بلوک دیاگرام سیستم OFDM در کانال آکوستیک زیر آب

کوچک بودن دوره زمانی هر سمبل، نسبت $\frac{T_m}{T}$ مقدار

بزرگی خواهد بود. حال اگر اطلاعات به وسیله چندین زیر حامل ارسال کنیم رشته سمبل های ورودی با دوره زمانی سمبل T به N رشته، هر کدام با دوره زمانی طولانی تر $N \cdot T$ تقسیم می شود. ارسال این سمبل ها در کانال چند مسیری باعث می شود، هر سمبل تحت تاثیر $\frac{T_m}{N \cdot T}$ سمبل

قبلی قرار گیرد. ملاحظه می شود خطای ISI در سیستم OFDM به مراتب از سیستم تک حاملی کمتر است. بلوک دیاگرام ارسال و دریافت برای یک سیستم OFDM زیر آب در شکل (۱) نشان داده شده است. در فرستنده، داده ورودی یک سری رشته-بیت است که مدوله می شود. بعد از آن رشته های داده، از حالت سری به N رشته داده موازی تبدیل می شوند و سپس یک سیگنال راهنما به آن اضافه می شود.

تبدیل فوریه سریع گسسته معکوس ($IFFT^2$) در فرستنده و تبدیل فوریه سریع گسسته FFT^3 در گیرنده، که به ترتیب برای مدولاسیون و دمدولاسیون داده ها استفاده می شود.

پیشوند چرخشی (CP) به عنوان زمان محافظ (GI^4) به وسیله کپی کردن کسری از طول سمبل مفید (T_b) در ابتدای سمبل که باید به طولی بزرگتر از مقدار موثر تاخیر کانال انتشار چند مسیری باشد ($T_g > \tau_{max}$) استفاده می گردد. به این ترتیب با اثر کانولوشن چرخشی کانال بر روی سیگنال ارسالی با حذف این بازه در گیرنده به سیگنال بدون ISI دست می یابیم. باید توجه داشت که تعامد زیر

حامل ها بر هم عمود می باشند.

تعامد حامل ها باعث می شود حامل های مختلف علی رغم اینکه در حوزه فرکانس همپوشانی دارند، در گیرنده از یکدیگر قابل تفکیک باشند. مزیت این روش بازدهی طیفی بیشتر بوده و به همین دلیل در کانال های آکوستیک مخابراتی زیر آب بسیار مورد توجه قرار می گیرد.

۲- مدولاسیون تقسیم فرکانسی متعامد (OFDM)

مدولاسیون OFDM یکی از روش های مخابرات چند حاملی است که به خاطر غلبه بر پدیده ISI و انتقال سریع داده ها مورد توجه زیادی قرار گرفته است. در روش OFDM کل پهنای باند کانال مخابراتی به تعداد زیادی زیر کانال های متعامد تفکیک می شود. این پدیده طراحی گیرنده را برای انتقال سریع داده ها در کانال های چند مسیره، ساده تر می سازد. در این روش مدولاسیون با افزودن یک پیشوند چرخشی (CP^1) به سمبل OFDM امکان غلبه بر پدیده تداخل بین سمبلی (ISI) فراهم می گردد. اما مدولاسیون OFDM نسبت به آفست فرکانسی و جابجایی زمانی حساسیت زیادی دارد [۲]. در مخابرات بی سیم زیر آب پدیده انتشار چند مسیری مهمترین مانع در ارسال با نرخ بیت بالا می باشد زیرا باعث ایجاد تداخل بین سمبلی (ISI) می شود، اگر گستره تاخیری چند مسیری کانال T_m باشد و سمبل ها با دوره زمانی T ارسال شوند، در سیستم تک حاملی هر سمبل دریافتی تحت تاثیر $\frac{T_m}{T}$ سمبل قبلی قرار می گیرد، که برای داده های با نرخ ارسالی بیت بالا به دلیل

²- Inverse Fast Fourier Transform

³- Fast Fourier Transform

⁴-Guard Interval

¹- Cyclic Prefix

۳-۳- داپلر

در یک کانال مخابراتی آکوستیک زیر آب، دنبال سازی حامل و سنکرون سازی سمبل به شدت تحت تاثیر پدیده داپلر قرار می گیرد. دو عامل باعث این پدیده است.

عامل اول حرکت امواج سطحی آب است. حرکت امواج سطح آب باعث جابجایی نقطه انعکاس و در نتیجه گسترش یا پخش شدگی فرکانسی سیگنال انعکاس یافته از سطح می شود.

عامل دوم در ایجاد پدیده داپلر حرکت نسبی بین فرستنده و گیرنده است. بایستی توجه داشت جابجایی ناشی از حرکت فرستنده با جابجایی داپلر ناشی از حرکت گیرنده متفاوت خواهد بود. اثر حرکت فرستنده تنها باعث ایجاد یک جابجایی داپلر می شود در حالی که حرکت گیرنده علاوه بر جابجایی داپلر باعث گسترش فرکانسی هم خواهد شد.

معمولاً جابجایی داپلر بسیار بزرگتر از گسترش فرکانسی می باشد و بایستی در گیرنده جبران سازی شود. مخصوصاً برای یک سیستم OFDM که نسبت به آفست فرکانسی بسیار حساس است. [۳]

در گیرنده جابجایی داپلر به خصوص اندیس جابجایی Δ توسط پیشوند چرخشی تخمین زده می شود و به طور موثر توسط نمونه برداری مجدد سیگنال دریافتی جبران سازی می شود (با استفاده از نرخ نمونه برداری $(1+\Delta)/T$ در گیرنده متفاوت با نرخ $1/T$ در فرستنده). [۴]

۴- پارامترهای سیستم کانال مخابراتی آکوستیک

زیر آب

برای هر سیستم مخابراتی آکوستیک زیر آب مهمترین پارامتر، فرکانس حامل می باشد که شدیداً وابسته به مسافت و نویز محیطی است. مطابق رابطه سونار فرکانس بهینه با رابطه (۲) تعیین می شود.

$$f_0 = \left(\frac{70.7}{r} \cdot \frac{d(FM)}{df} \right)^2 \quad (2)$$

که:

$$FM = SL - (NL - DI + DT) \quad (3)$$

حامل ها به کمک پیشوند چرخشی حفظ می گردد. در ادامه مبدل موازی به سریال (P/S) و دیجیتال به آنالوگ (D/A) اضافه شده اند. سپس توسط ترانسدیوسر، اطلاعات در کانال زیر آب ارسال می شود. در گیرنده عملیات فوق به صورت معکوس صورت می گیرد، ولی بایستی جابجایی داپلر تخمین زده شود و بتوانیم آن را حذف نمائیم. پس از انجام عملیات سنکرون سازی و حذف زمان محافظ یا همان پیشوند چرخشی، دمدولاسیون OFDM به وسیله FFT گیری صورت می گیرد. جهت متعادل سازی سمبل های دریافتی در برابر خرابی های کانال محو شدگی و کمک به آشکارسازی داده ها، متعادل سازی در خروجی FFT صورت می گیرد.

۳- مشخصات مهم کانال مخابراتی آکوستیک در

زیر آب

۳-۱- پهنای باند

پهنای باند فرکانسی سیستم مخابراتی آکوستیک زیر آب توسط تلفات انتقال وابسته به فرکانس و نویز محیطی تعیین می شود. معمولاً پهنای باند این سیستم برای برد ۱۰ کیلومتر فقط حدود چند کیلو هرتز است.

۳-۲- چند مسیری

با توجه به محدود بودن پهنای باند کانال مخابراتی آکوستیک زیر آب، سیگنال دستخوش انتشار چند مسیری از طریق این کانال می شود. انتشار چند مسیری باعث ISI می شود که توان ارسالی داده را محدود می کند و در نتیجه عملکرد سیستم را پائین می آورد. به این دلیل، پاسخ ضربه کانال آکوستیک زیر آب به صورت رابطه (۱) بیان می شود که در آن $\alpha_i(t)$ و $\tau_i(t)$ به دلیل تغییرات زمانی کانال آکوستیک زیر آب به صورت یک فرآیند تصادفی بیان می شوند.

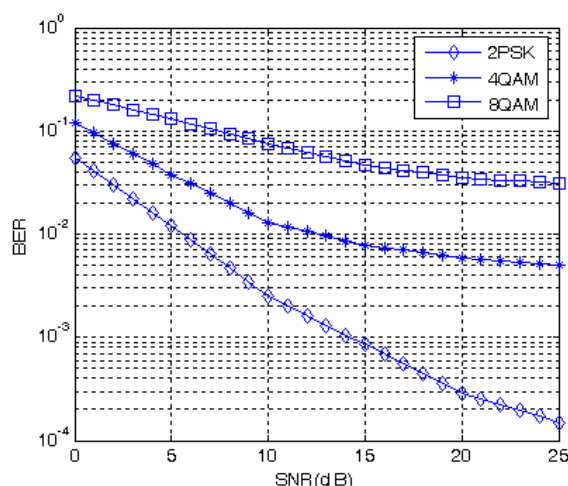
$$h(\tau; t) = \sum_i \alpha_i(t) \delta[\tau - \tau_i(t)] \quad (1)$$

در یک کانال افقی آکوستیک زیر آب با برد متوسط، معمولاً گسترش چند مسیری حدود ۱۰ ms است.

۵- شبیه سازی و ارائه نتایج

پارامترهای سیستم OFDM جهت شبیه سازی در جدول (۱) نشان داده شده است. کانال آکوستیک زیر آب بر اساس مدل Ray شامل ۵ مسیر انتشار و ماکزیمم تاخیر زمانی کمتر از ۵۰ms می باشد.

مدولاسیون دیجیتال آرایه M تایی می تواند نرخ ارسال داده را افزایش دهد، در این بین توزیع نقاط در صورت فلهای روی عملکرد سیستم اثر خواهد گذاشت. شکل (۳) مقایسه عملکرد سیستم های مختلف OFDM با استفاده از ۸QAM^۷ و ۴QAM^۸ و ۲PSK^۹ را نشان می دهد. از شکل در می یابیم که این سیستم برای مخابرات آکوستیک زیر آب به دلیل نرخ خطای بیت پایین مناسب می باشد.



شکل ۳: بررسی عملکرد احتمال خطای بیت برای سه نوع مدولاسیون ۲PSK و ۴QAM و ۸QAM

در مقایسه استفاده از ۸QAM به جای ۴QAM، ۲PSK نرخ داده افزایش می یابد و بهای آن افزایش نرخ خطای بیت است. برای سیستم چند حاملی، جابجایی فرکانس حامل منجر به تداخل بین حاملی می شود. و این مورد برای سیستم OFDM بسیار حائز اهمیت است. عیب سیستم OFDM حساسیت بالای آن نسبت به جابجایی فرکانس

که در آن FM^1 ضریب شایستگی، SL^2 سطح سیگنال منبع صوتی، NL^3 سطح نویز، DI^4 شاخص جهت دهی پروژکتور و DT^5 آستانه آشکارسازی می باشد. [۶ و ۵]

برای مخابرات آکوستیک زیر آب با برد ۱۰ کیلومتر فرکانس بهینه حدود ۶ کیلوهرتز می باشد.

مصالحه ای بین دیگر پارامترهای سیستم OFDM به وجود آمده که بر اساس پهنای باند، نرخ ارسال داده و غیره می باشد. معمولاً زمان محافظ بایستی ۲ الی ۴ برابر جذر میانگین مربعی (RMS^6) ماکزیمم تاخیر باشد.

در جدول (۱) پارامترهای این سیستم و در جدول (۲) پارامترهای کانال آکوستیک زیر آب آورده شده است.

جدول ۱: پارامترهای OFDM برای کانال مخابراتی آکوستیک زیر آب

زمان محافظ	FFT/IFFT	پریود سمبل
۵۰ ms	۰/۲ s	۰/۲۵ s
پهنای باند	بازدهی پهنای باند	تعداد زیر حامل ها
۳ Khz	۱/۶	۶۰۰

جدول ۲: پارامترهای کانال آکوستیک زیر آب مورد نیاز جهت شبیه سازی

عمق کانال بطور متوسط	۳۵ m
درجه حرارت آب	۳۶°
شوری آب	۴۰ ppt
فاصله افقی بین فرستنده و گیرنده	۱۰ Km
سرعت وزش باد	۱۰ m/sec

^۱- Figure of Merit

^۲- Source Level

^۳- Noise Level

^۴- Directivity Index

^۵- Detection Threshold

^۶- Root Mean Square

^۷- 4 Quadrature Amplitude Modulation

^۸- 8 Quadrature Amplitude Modulation

^۹- Binary Phase Shift Keying

[3] I.R.Capoglu, Y.Li, A.Swami, "Effect of Doppler Spread in OFDM-Based UWB Systems", IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol.4, No.5, September 2005

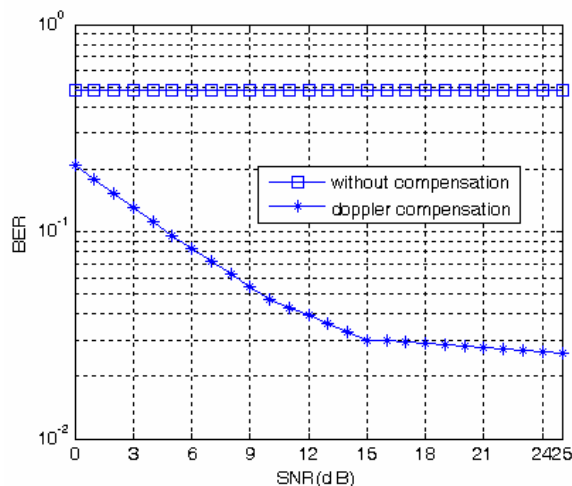
[4] B.S.Sharif, J.Neasham, O.R.Hinton, A.E.Adams, "computationally efficient Doppler compensation system for underwater acoustic communications", IEEE J.Oceanic Eng., vol 25, No.1, January 2000

[5] S.D.Morgera, "Multiple Termina Acoustic Communications System Design", IEEE Journal On Oceanic, Vol.OE5, No.3, July 1980

[6] R.J.Urick, "Principle of Underwater Sound", 3rd, Mc Graw-Hill, 1983

[7] B.C.Kim, L.T.Lu, "Parameter Study Of OFDM Underwater Communications System", OCEANS 2000 MTS/IEEE Conference and Exhibition, 2000.

است. اگر برای جابجایی فرکانسی جبران سازی صورت نگیرد، دیکد کردن درست، کارایی چندانی ندارد. روش جبران سازی داپلر در مرجع [7] آمده است. در شکل (5) عملکرد سیستم بعد از جبران سازی داپلر نشان داده شده است. با این روش می توان تا ثیر داپلر را حذف نمود.



شکل ۳: اثر جابجایی داپلر و جبران سازی آن

۶- نتیجه گیری

در این مقاله یک سیستم OFDM مخابراتی آکوستیک زیر آب با برد متوسط بررسی و شبیه سازی شد. مشاهده می شود که این سیستم برای کانال های مخابراتی زیر آب مناسب می باشد. با توجه به حساسیت زیاد سیستم OFDM به آفست فرکانسی بایستی عمل جبران سازی انجام شود، در غیر این صورت تعامد زیر حامل ها ممکن است از دست رود و تداخل حامل ها (ICI) ایجاد می شود و عملکرد سیستم کاهش می یابد.

مراجع

[1] D.B.Kilfoyl, A.B.Baggeroer, "The state of the Art in Underwater Acoustic Telemetry", IEEE J.of Oceanic Engineering, Vol.25, No.1, 2000

[2] A.B.Salberg, A.Swami, "Doppler and frequency-Offset Synchronization in Wideband OFDM", IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol.4, No.6, November 2005