

ارسال و بازشناسی سیگنال آشوبناک و روشهای عصبی در آشکارسازی اطلاعات موجود در آن

علیرضا نقش

گروه مهندسی برق - مخابرات

دانشکده تحصیلات تکمیلی دانشگاه آزاد نجف آباد

Naghsh_a@yahoo.com

مهکام کاهکش

گروه مهندسی برق - الکترونیک

دانشکده فنی دانشگاه آزاد نجف آباد

mahkamk@yahoo.com

چکیده: در این مقاله به بررسی تکنیک جدیدی در مخابرات که در آن از یک سیگنال آشوبناک به عنوان کریر استفاده میشود، می پردازیم. به دلیل اینکه پردازشها و بررسی ها در مورد مخابرات آشوبناک کاملا وابسته به روشهای سنکرونیزاسیون سیستمهای آنهاست و این کار به شدت حساس به نویز کانال میباشد، روشهای مختلف سنکرون سازی سیستمهای آشوبناک را عنوان کرده و قوانین سنکرون سازی اینگونه سیستمها را به صورت اجمالی بررسی میکند. همچنین به مقایسه بین عملکرد سیستمهای آشوبناک و سیستمهای کلاسیک پیشرفته می پردازیم، تا مزایای واقعی اینگونه سیستمها مشخص شوند. از طرفی شبکه های عصبی خود سازمانده که دارای ویژگی ذاتی دسته بندی و منظم سازی الگوهای نامنظم را دارا می باشند، در ارسال و بازیابی اطلاعات آشوبناک بسیار پرکاربرد بوده که به معرفی آنها نیز پرداخته ایم.

کلمات کلیدی: مخابرات آشوبناک، سنکرونیزاسیون، شبکه عصبی مصنوعی خودسازمانده، نویز کانال

۱- مقدمه

وقتی پی برده شد که سیستم های آشوبناک می توانند با هم سنکرون شوند [1,2]، معلوم شد که سیگنال های آشوبناک هم می توانند به عنوان سیگنال کریر برای انتقال اطلاعات استفاده شوند. در ابتدا انگیزه اصلی مخفی کردن اطلاعات در اغتشاش برای کاربردهای نظامی بود از طرفی روش های قبلی که برای امور نظامی به کار می رفت سال های اخیر استفاده وسیع و عمومی پیدا کرده است و مخابرات آشوبناک می تواند جایگزین مناسبی برای روش های قدیمی باشد چراکه شباهت زیادی از لحاظ عملکرد با روش های قبلی داشت و جنبه عمومی پیدا نکرده بود. با پیشرفت سریع مخابرات سیار، مخابرات آشوبناک راه خود را برای ارائه شدن در صنعت پیدا کرد. بنابراین اهمیت مقایسه مخابرات آشوبناک، [3,4] با روش های مرسوم ارسال اطلاعات مطرح می شود تا بدانیم که روش های جدید واقعا چه مزایایی دارند.

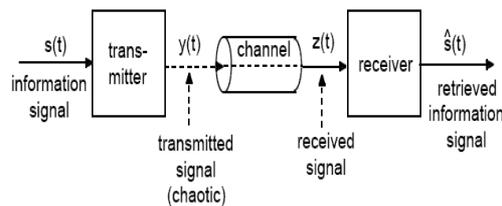
مسلّم است که تجهیزات مورد نیاز برای این نوع ارسال و آشکارسازی از پیچیدگی کمتری نسبت به سیستم های مخابرات مرسوم دارند ولی در عوض کارایی سیستم های مخابرات آشوبناک در حضور نویز سازگاری کمتری داشته و از این نظر زمینه مطالعه و تحقیق بیشتری را دارد. از معایب روش های قدیمی این است که در این روش ها با افزایش توان سیستم انتقال، برای سنکرون سازی کیفیت اطلاعات ارسالی از بین می رود. ولی در روش مطرح شده در اینجا این



مشکل تا حد زیادی بهبود پیدا کرده. از طرفی روشهای عصبی به دلایل ویژگیهای ذاتی شبکه عصبی از جمله توانایی بازسازی اطلاعات نا مفهوم و قدرت طبقه بندی اطلاعات نا منظم بدون نیاز به معلم در بازیابی اطلاعات موجود در سیگنال آشوبناک ابزار قدرتمندی می باشند که در اینجا از شبکه خود سازمانده کوهونن برای این منظور استفاده نموده ایم.

۲- اصول مخابرات آشوبناک:

یک سیستم آشوبناک برای انتقال اطلاعات می تواند به صورت شکل ۱ نمایش داده شود. سیگنال اطلاعات $s(t)$ وارد یک سیستم دینامیک نا منظم می شود که سیگنال نا منظم $y(t)$ را تولید می کند که این سیگنال همان سیگنال آشوبناک میباشد. [5]



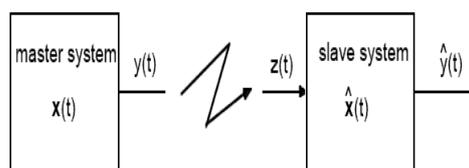
شکل ۱: نمای کلی یک سیستم آشوبناک انتقال اطلاعات

سیگنال $y(t)$ از کانال عبور کرده و تغییراتی همچون اعوجاج و تاخیرروی آن رخ می دهد و سیگنال $z(t)$ که خود آشوبناک است وارد گیرنده می شود. گیرنده یک سری پردازش مناسب روی $z(t)$ انجام می دهد و اطلاعات را از آن استخراج می کند. خروجی گیرنده سیگنال $\hat{s}(t)$ است که باید تخمینی با تقریب بسیار خوب از $s(t)$ باشد.

گیرنده ها را به دو دسته ی وابسته و نوابسته تقسیم میکنیم. گیرنده های نوابسته از ویژگی های آماری سیگنال رسیده $Z(t)$ برای استخراج اطلاعات استفاده می کند. با این گیرنده ها فقط روشهای مدولاسیون آشوبناک شناخته می شود ولی اطلاعات دقیق قابل استخراج نیستند، بنابراین این روش به تنهایی برای استخراج اطلاعات کافی نیست. گیرنده های وابسته اصولاً سیستمهای دینامیک و پویا هستند و شبیه سیستم فرستنده سیگنال آشوبناک هستند این گیرنده ها خود را با فرستنده سنکرون کرده و می توانند اطلاعات را از یک سیگنال آشوبناک $Z(t)$ استخراج کنند. برای سنکرون شدن گیرنده با فرستنده باید پارامترهای فرستنده مشخص باشند. این پارامترها می توانند با یک سیگنال مخفی راهنما از طرف فرستنده برای گیرنده ارسال شود و گیرنده وابسته این علائم راهنما را دریافت کرده و خودش را با فرستنده سنکرون می کند. واضح است که این سنکرون سازی خیلی حساس و وابسته به نویز کانال است و این یکی از نقاط ضعف این نوع انتقال اطلاعات است که توسط فیلترهای وقفی و تشخیص آمارگان کانال قابل اصلاح است.

۳- مفهوم سنکرون سازی:

بلوک دیاگرام زیر (شکل ۲) را در نظر بگیرید:



شکل ۲: دو سیستم برای مفهوم سنکرونیزاسیون

دو سیستم $x(t)$ و $x^{\wedge}(t)$ را در نظر بگیرید که $x(t)$ خروجی $y(t)$ را ارسال می کند و $x^{\wedge}(t)$ سیگنال خروجی $y^{\wedge}(t)$ را تولید می کند و اگر اوجاج کانال قابل نظر کردن باشد. $z(t)$ همان $y(t)$ خواهد بود. اگر پارامترهای دو سیستم $x(t)$ و $x^{\wedge}(t)$ ایده آل باشد. برای بیان سنکرون سازی تعاریف زیر را در نظر می گیریم.

تعریف_ سیستم $x(t)$ با $x^{\wedge}(t)$ سنکرون است اگر به ازای هر یک از شرایط اولیه $x(0)$ و $x^{\wedge}(0)$

$$(1) \quad \lim_{t \rightarrow \infty} |y^{\wedge}(t) - y(t)| \rightarrow 0$$

اگر مزاحمت کانال در نظر گرفته شود و یا پارامترهای سیستمها کاملاً دقیق نباشد، رابطه (1) دست نیافتنی است پس تعریف زیر را بیان می کنیم که به واقعیت نزدیک تر است:

$$(2) \quad \frac{y^{\wedge}(t) - y(t)}{\sqrt{y(t)^2}} < \eta, t > T$$

هنگامی که η به میزان دلخواه کوچک باشد و در حد آستانه سنکرون سازی «مثلاً ۰/۲» می توان تا حدی عملکرد مناسب داشت.

در صورتی که کانال یک نویز بادامنه نامشخص همانند نویز گوسی را به سیگنال اضافه کند، رابطه (2) نیازی به شرط $t > T$ ندارد ولی با احتمال زیاد برای هر $t > T$ صادق است. موقتاً از اختلال کانال و پارامترهای نامناسب چشم پوشی می کنیم و می خواهیم بدانیم چگونه تعریف (1) را با تعاریف مرسوم سنکرون سازی مقایسه کنیم.

معمولاً برای تعریف سنکرون سازی از یک سیگنال متناوب استفاده می کنند. فرض کنید سیستم $x(t)$ سیگنال پریودیک $y(t)$ را تولید می کند. طبق قرارداد گوئیم که $x^{\wedge}(t)$ با $x(t)$ سنکرون است اگر $y(t)$ به ازای t های بزرگ دارای همان پریود باشد. به عبارت دیگر هرگاه فاز $y(t)$ و $y^{\wedge}(t)$ قفل شده باشند یعنی اختلاف فاز این دو سیگنال کاملاً ثابت باشد گوئیم دو سیگنال سنکرون هستند.

این مفهوم را نمی توان برای سیگنال های غیر متناوب در نظر گرفت. ولی در بعضی مقالات و کتاب ها مفهوم فاز را برای سیگنال های غیر پریودیک هم بیان می کنند بنابراین مفهوم سنکرون سازی فوق را می توان برای همه سیگنال ها تعمیم داد.

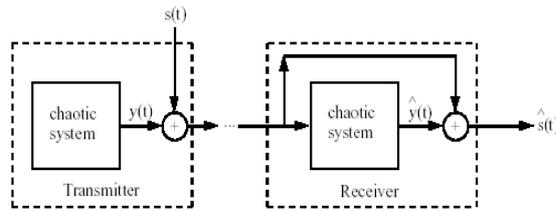
۴- روشهای ارسال و بازشناسی اطلاعات آشوبناک:

در پژوهش های مختلف روشهای زیادی برای ارسال اطلاعات به وسیله سیگنال کریر آشوبناک ارائه شده است [6] که ما به صورت زیر آنها را طبقه بندی می کنیم:

۴-۱- روش پوشش آشوبناک:

در این روش اطلاعات آنالوگ ما به خروجی یک سیستم آشوبناک که $y(t)$ را تولید می کند اضافه می شود و در فرستنده این ارسال می شود. در قسمت گیرنده یک سیستم بی نظم مشابه که خروجی آن سنکرون با $y(t)$ است وجود دارد. در این روش $S(t)$ سیگنال اطلاعات ما است که یک سیگنال آشوبناک و سنکرون شده است.

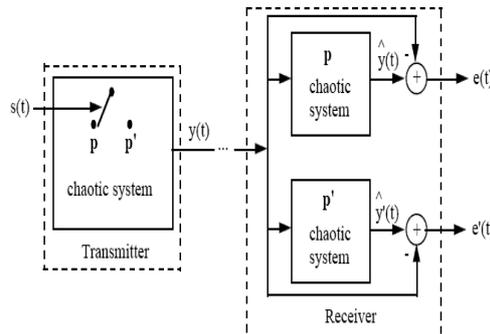
در هر صورت اگر خطای سنکرون سازی کوچک باشد انتظار ما این است که در طرف گیرنده تخمین مناسبی از $S(t)$ باشد، چون اغتشاش اضافه شده در گیرنده با سیستمی سنکرون از سیگنال اغتشاش ما کم می شود که در شکل ۳ این موضوع نمایش داده شده است. یکی از معایب این روش این است که سیگنال ما قابل تشخیص از نویز کانال نیست.



شکل ۳: بلوک دیاگرام مربوط به روش پوشش سیگنال آشوبناک

۲-۴- روش سوئیچینگ یا کلید زنی آشوبناک:

در این روش سیگنال اطلاعات باینری فرض می شود. که این سیگنال دو حالت مطابق شکل ۴ سوئیچ را کنترل می کند و این سوئیچ پارامترهای سیستم تولید سیگنال آشوبناک را عوض می کند. بنابراین بسته به مقدار $s(t)$ در هر لحظه سیستم آشوبناک پارامترهای متفاوتی دارد. مثلاً پارامترهای سیستم بسته به مقدار $s(t)$ یا بردار P و یا بردار P' می باشد، خروجی $y(t)$ که یک سیگنال آشوبناک است به سمت گیرنده که شامل دو سیستم آشوبناک با پارامترهای P و P' است فرستاده می شود. هنگامی که کلید فرستنده در وضعیت p قرار دارد $y(t)$ ارسالی با گیرنده ای که پارامتر آن بردار P است سنکرون می شود در حالیکه سیستمی که بردار آن P' است سنکرون نیست. بنابراین بردار خطای $e(t)$ به سمت صفر میل میکند. در حالیکه $\hat{e}(t)$ یک سیگنال غیر صفر می باشد. نتیجه اینکه سیگنال $s(t)$ می تواند از روی خطای سیگنال بازسازی شود.



شکل ۴: بلوک دیاگرام روش سوئیچینگ آشوبناک

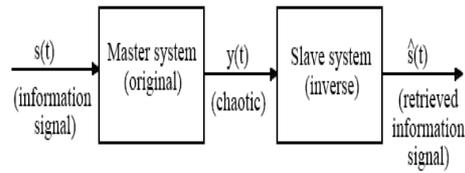
واضح است که وقتی فرستنده یک سیگنال را ارسال می کند در یک زمان مشخص باید این سیگنال در همان لحظه فرستنده را سنکرون و خطای مورد نظر را محاسبه کن بنابراین اشکال این نوع انتقال این است که تقریباً کند عمل می کند.

۳-۴- مدولاسیون سیستم آشوبناک با استفاده از معکوس سیستم :

با توجه به سیستم master_slave در شکل ۵ سیستم slave معکوس سیستم فرستنده است. ابتدا $s(t)$ وارد یک سیستم که خروجی آن اغتشاش است وارد سیستم معکوس می شود و تخمینی از $s(t)$ به دست می آید. در حالت ایده آل باید:

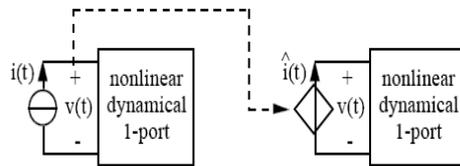
$$(۳) \quad \lim_{t \rightarrow \infty} |s^{\wedge}(t) - s(t)| \rightarrow 0$$

در این حالت می گوئیم که سیستم معکوس با سیستم اصلی سنکرون است.



شکل ۵: سیستم اصلی و معکوس آن برای بازیابی سیگنال

شکل ۶ یک مثال عملی از این سیستم است که در آن $\hat{i}(t)$ نقش سیگنال اطلاعات را بازی می کند. و ولتاژ $v(t)$ نقش سیگنال ارسالی را ایفا میکند

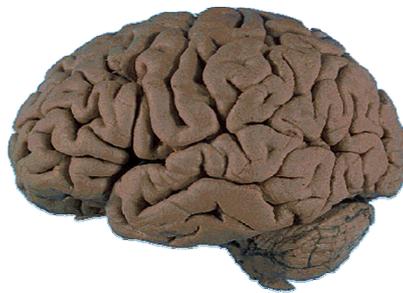


شکل ۶: مثالی از دریافت اطلاعات به وسیله سیستم معکوس گیرنده

اطلاعات ارسالی توسط سیستم معکوس به آسانی بازیابی می شوند. در اینجا $S(t)$ از اطلاعات خود به عنوان کریبر استفاده می کند و $y(t)$ ارسال میکند. بنابراین در این روش نیازی به اضافه کردن سیگنال آشوبناک به سیگنال اصلی نیست. در واقع یک سیستم آشوبناک به عنوان فرستنده و معکوس همان سیستم، گیرنده خواهد بود. این روش نسبت به سوئیچینگ نامنظم سریع تر است ولی در بعضی موارد پیاده سازی عملی نسبت به نویز کانال تاثیر پذیری بیشتری دارد.

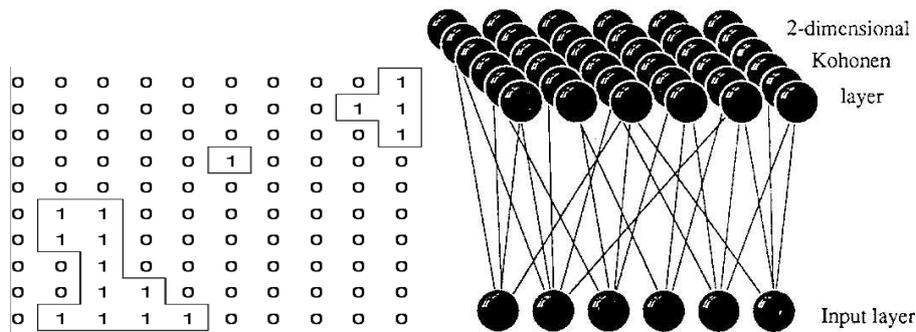
۴-۴- روش آشکارسازی عصبی با استفاده از شبکه عصبی کوهونن:

کوهونن بیشتر کار خود را بر اساس بررسی دقیق توپولوژی قسمت کورتکس مغز بنا نموده است و شواهد بیولوژیکی بسیاری این فکر را پشتیبانی می کند. سلول های نزدیک تر به سلول فعال، قوی ترین خط اتصال را دارند. لیکن بعد از یک فاصله معین خط اتصال سلول فعال با آن ها بازدارنده می شود. کوهونن این پدیده را عمدتاً عامل نگاشت توپولوژیکی مغز می دانست. خواهیم دید که کوهونن مدل سازی این پدیده را با استفاده از اتصالات موضعی در شبکه و محدود کردن تنظیم ضرایب وزنی به همسایگان موضعی گره های فعال انجام داده است.



شکل ۷: نمای کلی کورتکس مغز

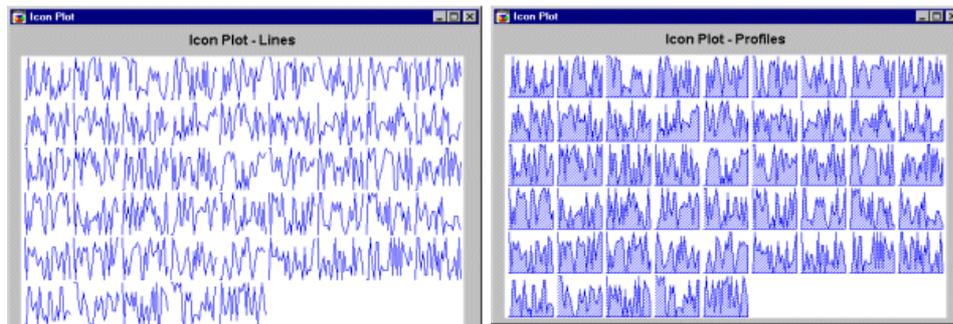
نحوه عمل شبکه متأثر از داده‌های آموزشی را می‌توان با تابع برنده کل قیاس نمود. هر بردار ورودی با بردار ضرایب وزنی هر گره مقایسه می‌شود. گره‌ای که نزدیک‌ترین بردار ضرایب وزنی را با بردار ورودی داشته‌باشد به عنوان برنده انتخاب شده و بردار ورودی به آن تعلق می‌گیرد. آنگاه گره برنده، بردار ضرایب وزنی خود را تنظیم کرده و آن را به بردار ورودی مذکور به شبکه عرضه شد بیشترین اثر را از خود نشان می‌دهد. کوهونن برای مدل سازی تابع کلاسه مکزیک و اعمال اثرات جانبی گره‌های مرتبط، از مفهوم همسایگی توپولوژیک استفاده کرد. منظور از همسایگی، محدوده دینامیکی متغیری در اطراف گره برنده است، این محدوده معین می‌کند که ضرایب وزنی چند گره در اطراف گره برنده در طول آزمایش باید اصلاح گردد. در ابتدا شعاع همسایگی تمامی گره‌ها بسیار بزرگ تعیین می‌گردد. دامنه بزرگی آن‌ها می‌تواند به پهنای تمام گره‌های شبکه باشد. وقتی گره ای به عنوان نزدیک‌ترین گره به بردار ورودی برنده اعلام شود ضرایب وزنی آن گره همراه با تمام گره های موجود در شعاع همسایگی آن به مقدار یکسان اصلاح می‌شود. لیکن به تدریج که آموزش ادامه می‌یابد شعاع همسایگی به آرامی کاهش می‌یابد تا به حدی برسد که قبلاً تعیین شده است.



شکل ۸: ساختار شبکه کوهونن و چگونگی طبقه بندی الگوهای آشوبناک

همانطور که گفته شد نرخ تنظیم ضرایب وزنی باید در طول دوره آموزش کاهش یابد به طوری که تغییر ضرایب وزنی به تدریج با تشکیل توپوگرافی شبکه کمتر و کمتر شود. این عمل باعث می‌شود که خوشه‌ها در داخل خود داده‌های آموزشی را به دقت نمادینه کند و شبکه در محدوده زمانی تعیین شده به سمت جوابی همگرا شود. کوهونن پیشنهاد می‌کند که در کاربردهای معمولی نرخ تنظیم ضرایب وزنی به صورت تابع نزولی خطی از تعداد گذرهای داده‌های آموزش تعیین گردد. [7]

در شکل ۹ نمونه‌هایی از طبقه‌بندی‌های الگوهای آشوبناک مرتبط با شبکه عصبی آورده شده‌است.



شکل ۹: باز شناسی سیگنال آشوبناک به وسیله شبکه عصبی

۵- نتیجه گیری و پیشنهادات :

همه روشهای ذکر شده درانتقال اطلاعات به روش آشوبناک میتوانند برای مخابرات دیجیتال نیز مطرح شوند، [8] مگر اینکه این روش ها ذاتا آنالوگ باشند مثل روش پوشش یا روش مدولاسیون مستقیم سیگنال آشوبناک. اطلاعات دیجیتال می توانند توسط مدولاسیون های مقدماتی مثل BPSK ارسال شوند.

در مخابرات دیجیتال اطلاعات دیجیتال از یک کانال آنالوگ منتقل می شوند. برای سادگی بحث را فقط به یک سیگنال دیجیتال محدود می کنیم. بنابراین m بیت این سیگنال یا صفر هستند و یا یک که به ازای هر کدام یک سیگنال آنالوگ $y_0(t)$ یا $y_1(t)$ که در آن ها $mT < t < (m+1)T$ است و این سیگنال می تواند از کانال عبور کند. در هر لحظه از زمان سیگنال ارسالی $y(t)$ یکی از دو حالت بیان شده را دارد که این خود بستگی به صفر یا یک بودن بیت ارسالی دارد.

حال در مخابرات آشوبناک این دو سیگنال به دست آمده دو سیگنال متمایز اغتشاش هستند. بنابراین بخش های مختلف قابل تشخیص می باشند. این دو سیگنال ارسالی در گیرنده بر اثر اعوجاج به صورت $z_0(t)$ و $z_1(t)$ با همان بازه مربوط به t به فرم Z تبدیل شده اند.

کار اصلی ما این است که سیگنال رسیده را با بخش خالص $y_0(t)$ و $y_1(t)$ مقایسه کرده و سپس یک معیار تصمیم گیری قرار دهیم تا مشخص باشد که چه سیگنال هایی ارسال شده است. این کار در عمل با محاسبه همبستگی $y(t)$ با $y_0(t)$ و $y_1(t)$ و با مشخص کردن یک معیار تصمیم گیری آستانه اجرا می شود.

هنگامیکه سیگنال سینوسی ارسال شود حلقه قفل فاز (PLL) می تواند یک سینوسی صحیح در گیرنده ایجاد کند. روش سوئیچینگ نامنظم سعی می کند که بیت فرستاده شده را باز سازی کند و این کار را با سنکرون کردن هریک از سیستم های جزئی درون گیرنده با فرستنده انجام می دهد. هنگامی که این سنکرون سازی در بهترین سیستم جزئی داخل گیرنده صورت گرفت خطای حاصله صفر شده و بیت یا نماد ارسالی کاملا مشخص خواهد شد. در روش مدولاسیون آشوبناک سیستم معکوس سنکرون سازی به وضوح مثال بالا دیده نمی شود.

برای استخراج $y(t)$ باید سیستم معکوس فرستنده را در گیرنده به نحوی ساخت، و این پیاده سازی سیستم معکوس نوعی سنکرونیزاسیون است ولی در ذات سیستم صورت می گیرد یعنی دو وظیفه سنکرون بودن و بازیافت سیگنال در فرستنده به صورت ذاتی مخلوط شده است. و جزء ساختار آن می باشد. در اینجا نقاط ضعف و مزایای استفاده از سیگنال کریر آشوبناک را بررسی می کنیم. هنگامی که یک سیگنال سینوسی برای فرستنده در کانال ارسال می شود این سیگنال با بیت های بعدی که فرستاده می شوند کاملا همبسته است. این حامل همانند انتقال اطلاعات به روش سنتی، یعنی ارسال بیت به بیت اطلاعات است ولی اگر سیگنال رسیده $z(t)$ برای هر بخش $y(t)$ تاخیرهای متفاوت داشته باشد این نایکسان بودن تاخیرها خود نوعی آشوبناکی سیگنال محسوب میشود. در این موارد استخراج کامل و صحیح اطلاعات برای گیرنده بسیار دشوار می باشد. اما در روش جدید چون شکل موج آشوبناک بر خلاف سینوسیها و یا سیگنالهای شناخته شده همبستگی بسیار کمی دارد با وجود تاخیرات نامنظم عملکرد بسیار بهتری را از خود در بازسازی و دریافت نشان میدهند [8]

به طور کلی روش فوق در ارسال و بازشناسی اطلاعات علم نوپایی می باشد و روشها و الگوریتمهای عصبی جدید میتواند راهکاری برای رفع مشکلات آن باشد. به امید چنین پیشرفتهای پیشنهادی موثر در آینده ای نزدیک.

سپاسگزاری:

با تشکر فراوان از مدیریت محترم اتوماسیون و ارتباطات شرکت سهامی ذوب آهن اصفهان جناب آقای مهندس قانونی که امکان چنین تحقیقی را فراهم آورده اند.



- [1] C. K. Tse, F. C. M. Lau, K. Y. Cheong, and S. F. Hau, "Return-map-based approaches for noncoherent detection in chaotic digital communications," *IEEE Transactions on Circuits and Systems I*, vol. 49, pp. 1495-1499, 2002.
- [2] L. M. Pecora and T. L. Carroll, "Synchronization in chaotic systems," *Phys. Rev. Lett.*, vol. 64, no. 8, pp. 821-824, Feb. 1990
- [3] L. M. Pecora and T. L. Carroll, "Driving systems with chaotic signals," *Phys. Rev. A*, vol. 44, no. 4, pp. 2374-2383, Aug. 1991
- [4] M. Hasler, "Engineering chaos for encryption and broadband communication," *Phil. Trans. R. Soc. London*, vol. 352, pp. 1-12, 1995.
- [5] M. Gotz, K. Kelber, and W. Schwarz, "Discrete-time chaotic encryption systems—Part I: Statistical design approach," *IEEE Trans. Circuits Syst. I*, vol. 44, pp. 963-970, Oct. 1997.
- [6] F. Böhme and M. P. Kennedy, "Compensation of linear stationary channel influence in chaos communication," in *Proc. NDES'96*, Sevilla, Spain, June 27-28, 1996, pp. 93-98
- [7] U. Parlitz and L. Kocarev, "Multichannel communication using autosynchronization," *Int. J. Bifurcation Chaos*, vol. 6, no. 3, pp. 581-588, Mar. 1996.
- [8] D. J. Sobiski and J. S. Thorp, "PDMA-1: Chaotic communication via the extended Kalman filter," *IEEE Trans. Circuits Syst. I*, vol. 45, pp. 194-197, Feb. 1998