

## Blind Symbol Rate estimation in multipath channels

S. Shahidzadeh, H. Khaleqi Bizaki\*

\* Professor, Malik Ashtar University of Technology, Tehran, Iran

(Received: 23/10/2021, Accepted: 01/05/2022)

### ABSTRACT

*Symbol rate is one of the key values that a receiver needs to know to find out the information contained in the received signal. In situations where the receiver is not aware of this value, it is necessary to use an estimation algorithm to achieve the goal. The subject of this article is Blind symbol rate estimation in frequency selective multi path channels that is more complicated than the Gaussian channel. In this article, after studying some of available sources and methods in this field, an algorithm is proposed to estimate the symbol rate in frequency selective multi path channel. The performance of the proposed algorithm has been discussed in the HF and LTE frequency selective channels with bursts contained of 100 symbols. The curves that considered to determine the performance of the algorithm are the percentage of correct estimation and the NMSE graphs. for the channels which the estimator's performance is measured, in the SNR equal to zero decibels, percentage of correct estimation is more than 95% and the NMSE of estimations is almost 0.001.*

**Keywords:** Blind Estimation, Frequency Selective Fading, Autocorrelation, Cyclostationery.

\* Corresponding Author Email: Bizaki@yahoo.com

## تخمین کور نرخ ارسال سمبل در کانال‌های چندمسیره فرکانس‌گزين

صابر شهیدزاده<sup>۱</sup>، حسین خالقی بیزکی<sup>۲\*</sup>

۱- کارشناسی ارشد، ۲- استاد، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۱، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۱۱)

### چکیده

نرخ ارسال سمبل یکی از کلیدی‌ترین مقادیری است که گیرنده برای استخراج داده‌های موجود در سیگنال دریافتی به آن‌ها احتیاج دارد. در شرایطی که گیرنده از این متغیر آگاهی قبلی نداشته باشد لازم است از الگوهای تخمینی برای رسیدن به مقصود استفاده نماید. موضوع مقاله پیش‌رو تخمین کور نرخ ارسال سمبل در کانال‌های چندمسیره فرکانس‌گزين می‌باشد که به نسبت کانال گوسی، کانال پیچیده‌تری محسوب می‌گردد. عملکرد روش ارائه شده در کانال‌های فرکانس‌گزين HF و LTE با استفاده از پیامی به طول ۱۰۰ سمبل موردبررسی قرار گرفته است. معیارهای در نظر گرفته شده برای تعیین عملکرد الگوریتم پیشنهادی، نمودارهای درصد تخمین صحیح نرخ سمبل و میانگین مربعات خطا می‌باشند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها نشان‌دهنده عملکرد قابل‌قبول و دقت بالای تخمین با استفاده از روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های موجود به‌ویژه برای برست‌هایی با طول کم و به‌خصوص در سیگنال به نویزهای پایین می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که عملکرد تخمین‌گر در سیگنال به نویز برابر با صفر دسی‌بل بالای ۹۵ درصد و میانگین مربعات خطا نزدیک یک‌هزارم به دست آمده است.

### کلیدواژه‌ها: تخمین کور، نرخ ارسال سمبل، محوشدگی فرکانس‌گزين، ایستادن چرخشی

#### ۱- مقدمه

نباشد یا تخمین درستی از آن نداشته باشیم نمونه‌برداری از سیگنال با مشکل مواجه می‌شود؛ بنابراین تخمین صحیح نرخ ارسال سمبل یکی از ملزومات استخراج پیام موجود در سیگنال دریافتی می‌باشد.

از جمله اولین روش‌هایی که برای تخمین نرخ ارسال سمبل ارائه شده است، می‌توان به استفاده از تبدیل موجک اشاره کرد [۱]. مراجع بسیاری را می‌توان یافت که از قدرت بالای تبدیل موجک در تشخیص ناپیوستگی‌های سیگنال دریافتی برای تخمین استفاده می‌کنند. در میان این منابع، برخی کارهای جدیدتری که در حوزه تخمین به‌وسیله‌ی تبدیل موجک انجام گرفته در راستای وفقی کردن مقیاس تبدیل موجک با سیگنال دریافتی بوده است. این کار با هدف کم کردن اثر نویز و بیشینه کردن حساسیت تبدیل موجک نسبت به تغییر سمبل در سیگنال انجام گرفته است. بررسی موجک‌های مادر متفاوت نیز برای بالا بردن حساسیت تخمین نرخ سمبل پیشنهاد شده است [۲]. بخشی از مطالعات انجام گرفته نیز بر روی بررسی تأثیر نوع موجک مادر و تناسب مقیاس استفاده شده برای تبدیل موجک بر روی دقت عملکرد تخمین‌گر تمرکز دارند [۳].

در [۴] برای تخمین نرخ ارسال سمبل از تغییرات فاز سیگنال دریافتی که فیلتر شکل‌دهنده‌ی کسینوسی افزایشی دارد، استفاده شده است. برای این منظور از طیف فرکانسی فاز لحظه‌ای سیگنال دریافتی، بعد از پردازش‌های لازم، استفاده شده

در حوزه ارسال و دریافت پیام همواره ممکن است حالاتی پیش بیاید که گیرنده از متغیرهایی که فرستنده برای ارسال سیگنال استفاده می‌کند، یا شرایط کانال یا محیطی که سیگنال از طریق آن به گیرنده می‌رسد اطلاعات کافی در اختیار نداشته باشد. رادیوی هوشمند را می‌توان مثالی برای چنین شرایطی نام برد. این رادیو وظیفه دریافت سیگنال به‌صورت نیمه‌کور از فرستنده‌های مختلف را دارد. به‌عنوان مثالی دیگر، شنود مکالمات در حال تبادل میان دو وسیله را می‌توان در نظر گرفت.

زمانی که گیرندگی کور یا نیمه‌کور در حال انجام باشد، تخمین اطلاعات ارسالی زمانی معنی پیدا می‌کند که گیرنده پارامترهای لازم برای دریافت سیگنال و در ادامه استخراج پیام از سیگنال دریافتی را تخمین زده تا بتواند به اطلاعات موجود در سیگنال دست یابد.

از جمله، اطلاعات لازم در طرف گیرنده برای استخراج پیام از سیگنال دریافت شده، می‌توان فرکانس حامل سیگنال، نوع و مرتبه مدولاسیون، نوع کدینگ استفاده شده و غیره را نام برد. یکی دیگر از ضروریات استخراج پیام از سیگنال دریافت شده، نرخ ارسال سمبل‌های پیام ارسالی توسط فرستنده می‌باشد. اطلاع از این نرخ برای هم‌زمانی گیرنده و فرستنده به‌منظور استخراج پیام لازم و ضروری می‌باشد. در صورتی که نرخ ارسال سمبل در دست

\* رایانامه نویسنده مسئول: Bizaki@yahoo.com

اگرچه الگوی ارائه شده در مرجع [۹] برای کانال‌های چندمسیره مناسب می‌باشد اما چندین عیب اساسی دارد: الف) در سیگنال به نویزهای پایین دقت خوبی ندارد، ب) با کوتاه شدن طول برست دقت روش به شدت افت می‌کند و ج) حجم محاسبات لازم برای اجرای الگوریتم بالاست. ما در مقاله حاضر با استفاده از مطالعات انجام شده در مرجع [۹] الگوریتمی پیشنهاد می‌دهیم که اشکال‌های مذکور در تخمین نرخ سمبل در کانال‌های محوشدگی فرکانس‌گزين را تا حدودی مرتفع می‌نماید.

## ۲- روش تحقیق

تبدیل موجک به دلیل رابطه انتگرال‌گیری پنجره‌ای و میانگین‌گیری که دارد اثر نویز گوسی را تا حدودی کاهش می‌دهد. از سوی دیگر به دلیل رابطه‌ای که موجک مادر دارد، با جاروب آن بر روی سیگنال موردنظر جهش‌هایی در محل ناپیوستگی سیگنال و به‌خصوص در محل‌های تغییر سمبل به وجود می‌آیند. این جهش‌ها باعث واضح شدن محل‌های تغییر سمبل در سیگنال دریافتی شده و تخمین نرخ سمبل را تسهیل می‌کند. روشی که در این مقاله برای تخمین نرخ ارسال سمبل پیشنهاد شده ترکیبی از تبدیل موجک و استفاده از ماتریس خودهمبستگی برای سیگنال دریافتی است. دلیل انتخاب روش تشکیل ماتریس خودهمبستگی به خاطر عملکرد قابل قبول آن در کانال‌های چندمسیره بوده است. با بالاتر رفتن دقت تخمین به دنبال استفاده از تبدیل موجک، امکان کوتاه‌تر شدن طول پیام موردنیاز برای اجرای الگوریتم تخمین با دقت بالا فراهم می‌شود. با کوتاه‌تر شدن برست موردنیاز برای تخمین، الگوریتم ارائه شده به زمان واقعی<sup>۳</sup> نزدیک‌تر شده است اما به علت نیاز به دریافت یک برست داده و زمان بر بودن اجرای پردازش‌های مربوط به الگوریتم تخمین، کماکان یک روش زمان واقعی نخواهد بود.

## ۲-۱- تخمین نرخ سمبل با استفاده از خواص ایستان

### چرخشی

در مرجع [۹] روشی برای تخمین نرخ ارسال سمبل در کانال‌های چندمسیره با محوشدگی فرکانس‌گزين ارائه شده است. مدل سیگنال در نظر گرفته شده در آن به‌صورت زیر می‌باشد [۹]:

$$y(t) = \sum_k h(k)x(t - kT_s) + w(t) \quad (1)$$

در روابط فوق  $h(k)$  نشان‌دهنده اثر کانال،  $w(t)$  نویز سفید جمع شونده و  $x(t)$  بیانگر سیگنال ارسالی در کانال است که به‌صورت زیر در نظر گرفته می‌شود [۹]:

است. در این مرجع، روش پیشنهادی برای کانال‌های گوسی و چندمسیره‌ی با محوشدگی تخت و رایلی بررسی شده است.

در مرجع [۵]، در گام نخست با استفاده از تبدیل فوریه معکوس حدود نرخ ارسال سمبل به دست آمده و سپس با استفاده از روش بیشینه شباهت<sup>۱</sup> تخمینی دقیق‌تر در محدوده مدنظر به دست آمده است. استفاده از اپراتور انرژی سیگنال نیز برای این منظور پیشنهاد شده است [۶]. در این روش از جهش‌های حاصل از تغییر سمبل در منحنی انرژی سیگنال برای یافتن دوره ارسال سمبل استفاده شده است. در مرجع [۷]، با اشاره به محدودیت روش استفاده از تبدیل فوریه برای تخمین نرخ ارسال سمبل در سیگنال به نویزهای پایین و برای برست‌هایی با طول کم، با استفاده از بانک فیلتر میان‌گذر، روشی برای بهبود تخمین با استفاده از تبدیل فوریه ارائه شده است.

در مرجع [۸] بر روی تخمین نرخ ارسال سمبل بر روی سیگنال دیجیتال دریافت شده از ماهواره تمرکز شده است. در این مرجع روشی با دقت بالا برای سیگنال‌های با طول زیاد مانند سیگنال‌های تلویزیون دیجیتال ارائه شده است.

در منبع [۹]، الگوی پیشنهاد شده است که برای تخمین نرخ ارسال سمبل در کانال‌های چندمسیره، از خواص ایستان چرخشی سیگنال دریافتی استفاده می‌کند.

در مرجع [۱۰]، با استفاده از خودهمبستگی سیگنال دریافتی روشی برای تخمین نرخ ارسال سمبل در کانال چندمسیره‌ی فرکانس‌گزين ارائه شده است. برای تخمین نرخ ارسال سمبل در این مرجع حدود ۱۰۰۰ سمبل از سیگنال دریافتی مورد استفاده قرار گرفته است. در مرجع [۱۱]، با استفاده از خواص ایستان چرخشی روشی برای تخمین نرخ ارسال سمبل در کانال گوسی ارائه شده است. در این مرجع اثر آفست فرکانسی نیز بر روی نتیجه نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

اغلب مراجع روش‌هایی برای تخمین نرخ ارسال سمبل در کانال‌های گوسی و بعضی از آن‌ها نیز برای کانال رایلی ارائه کرده‌اند. کاری که ما در این مقاله پیشنهاد می‌دهیم استفاده از خواص تبدیل موجک برای کاهش اثر نویز محیط و استفاده از خواص ایستان چرخشی سیگنال دریافتی برای ارائه روشی به‌منظور تخمین نرخ ارسال سمبل در کانال‌های چندمسیره فرکانس‌گزين است. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها نشان‌دهنده این موضوع می‌باشد که روش ارائه شده برای برست‌های کوتاه و شرایط نویزی، نسبت به روش مرجع [۹] که روشی برای تخمین در کانال‌های چندمسیره ارائه داده است عملکرد بهتری دارد.

1. Maximum Likelihood  
2. Burst

3. Real time

با جایگذاری رابطه (۸) در (۷) و در نظر داشتن فرض سوم، رابطه خودهمبستگی سیگنال دریافتی را می‌توان به‌صورت زیر نوشت [۹]:

$$R_y(n, \tau) = \sum_l \sigma_{h(l)}^2 R_x(n-l, \tau) + \sigma_w^2(\tau) \quad (۹)$$

از آنجایی که سیگنال ارسالی تناوبی فرض شده، خودهمبستگی آن نیز سیگنالی متناوب خواهد بود. با استفاده از این موضوع و رابطه (۹) متناوب بودن خودهمبستگی سیگنال دریافتی به راحتی اثبات می‌شود. پس خواهیم داشت [۹]:

$$R_y(n, \tau) = R_y(n + pN, \tau) \quad (۱۰)$$

که در آن  $p$  یک عدد صحیح بوده و بیانگر تناوبی بودن  $R_y(n, \tau)$  با دوره تناوب  $N$  است. این موضوع نشان‌دهنده‌ی ایستادن چرخشی بودن سیگنال دریافتی است.

رابطه خودهمبستگی برای سیگنال پیوسته به‌صورت زیر تعریف می‌شود [۹]:

$$R_x(t, \tau) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} x(t+mT)x^*(t+mT-\tau) \quad (۱۱)$$

که با استفاده از آن برای حالت گسسته خواهیم داشت [۹]:

$$R_x(n, \tau) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} x(n+mT)x^*(n+mT-\tau) \quad (۱۲)$$

رابطه فوق با در نظر گرفتن نرخ نمونه‌برداری کم‌تر مقدار بیشینه برای سیگنال دریافتی به‌صورت زیر به دست می‌آید [۹]:

$$R_x(n, \hat{N}_s) = \frac{1}{M} \sum_{m=0}^{M-1} x(n+m\hat{N}_s)x^*(n+m\hat{N}_s-\tau) \quad (۱۳)$$

در رابطه بالا،  $x(n)$  بردار سیگنال دریافتی بعد از نمونه‌برداری است. نکته قابل توجه این است که سیگنال دریافتی را با نرخ بالاتر از نرخ ارسال سمبل (برای شبیه‌سازی در این مقاله ۲۷ برابر در نظر گرفته شده است) نمونه‌برداری و در  $x(n)$  ذخیره می‌کنیم. برای رابطه بالا  $n$  مساوی با شماره نمونه‌برداری داده‌ای است که قصد داریم ماتریس خودهمبستگی را برای آن به دست بیاوریم و  $\hat{N}_s$  مساوی با نرخ نمونه‌برداری (گام شرکت دادن نمونه‌های بردار داده در محاسبات) می‌باشند. با محاسبه مقدار  $R_x(n, \hat{N}_s)$  به ازای  $n$  و  $\hat{N}_s$  های مختلف برای سیگنال دریافتی ماتریس خودهمبستگی مشابه شکل (۱) به دست می‌آید.

$$x(t) = \sum_m s(m)g(t-mT) \quad (۲)$$

که در آن  $s(m)$  سیگنال مدوله شده و  $g(t-mT)$  نمایانگر فیلتر شکل‌دهنده می‌باشند.

در مرجع [۹] برای اثبات روابط موردنظر، فرضیات زیر در نظر گرفته شده است:

۱. سیگنال ارسالی، پاسخ ضربه کانال و نویز توابع مستقل از هم می‌باشند.

۲. نویز یک فرآیند ایستادن موهومی با خودهمبستگی  $\sigma_w^2(\tau)$  در نظر گرفته شده است.

۳. پاسخ ضربه کانال با محوشدگی فرکانس‌گزین یعنی  $h(k)$  مستقل با توزیع یکنواخت می‌باشد. هر  $h(k)$  یک متغیر گوسی با واریانس  $\sigma_h^2(\tau)$  می‌باشند.

همچنین در نظر گرفته شده که یک تخمین حدودی از پهنای باند سیگنال در دست است و الگوریتم ارائه شده در محدوده این پهنای باند به اجرا درمی‌آید.

قبل از ارائه الگوریتم تخمین نرخ ارسال سمبل نشان می‌دهیم که سیگنال دریافتی دارای خودهمبستگی تناوبی است و بر این اساس سیگنال ارسال شده  $x(t)$  ایستادن چرخشی می‌باشد. با استفاده از رابطه (۱) تابع خودهمبستگی برای سیگنال بیش نمونه‌برداری شده دریافتی به‌صورت زیر تعریف می‌شود که در آن  $E$  نماد امید ریاضی و  $y(n)$  سیگنال نمونه‌برداری شده دریافتی می‌باشد. برای روابط زیر  $n$  شماره نمونه و  $\tau$  تأخیر خودهمبستگی می‌باشد [۹]:

$$R_x(n, \tau) = E\{y(n)y^*(n-\tau)\} \quad (۳)$$

$$= E\left\{\left(\sum_l h(l)x(n-l) + w(n)\right)\left(\sum_l h(l)x(n-l-\tau) + w(n-\tau)\right)^*\right\} \quad (۴)$$

$$= E\left\{\left(\sum_l h(l)\sum_r s_r g(n-l-iN)\right)\left(\sum_l h^*(l)\sum_r s_r^* g^*(n-l-iN-\tau)\right)^*\right\} + \sigma_w^2(\tau) \quad (۵)$$

$$= \sum_l \sum_r h(l)h^*(l)\sum_r E\{s_r s_r^*\} g(n-l-iN-\tau)g^*(n-l-iN-\tau) + \sigma_w^2(\tau) \quad (۶)$$

$$= \sum_l \sum_r h(l)h^*(l)\sigma_s^2 \sum_r g(n-l-iN-\tau)g^*(n-l-iN-\tau) + \sigma_w^2(\tau) \quad (۷)$$

$$R_x(n, \tau) = \sigma_s^2 \sum_i g(n-iN)g^*(n-iN-\tau) \quad (۸)$$

نرخ ارسال سمبل به خصوص در محیط‌های نویزی و سیگنال به نویزهای کم، پیشنهاد شده پیش از اجرای الگوریتم تشکیل ماتریس خودهمبستگی، از سیگنال دریافتی تبدیل موجک گرفته شود. از طرف دیگر تبدیل موجک باعث پدید آمدن جهش‌هایی در محل‌های تغییر سمبل در سیگنال دریافتی می‌شود که تشخیص محل تغییرات را تسهیل می‌کند.

با توجه به مقاله [۳] موجک مادر هار به خاطر سرعت و دقت بالایش، مورد استفاده قرار گرفته است. رابطه تبدیل موجک استفاده شده به صورت رابطه (۱۴) می‌باشد که در آن  $a$  مقیاس تبدیل موجک،  $\tau$  تأخیر تبدیل،  $s(t)$  سیگنالی دریافتی و  $\psi$  موجک مادر می‌باشد [۳]:

$$CWT(a, \tau) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int s(t) \psi^* \left( \frac{t-\tau}{a} \right) dt \quad (14)$$

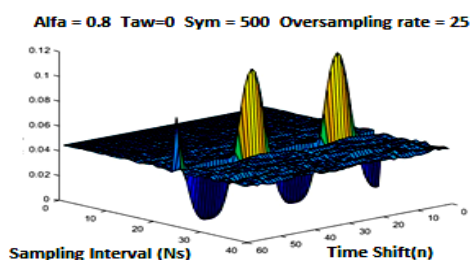
رابطه مربوط به موجک مادر هار هم به صورت زیر می‌باشد [۳]:

$$\psi = \begin{cases} 1, & -0.5 < t < 0 \\ -1, & 0 < t < 0.5 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (15)$$

با محاسبه تبدیل موجک با مقیاس ثابت مرتبط با سیگنال دریافتی و به ازای تأخیرهای مختلف، منحنی تبدیل موجک به دست می‌آید که در محل‌های تغییر ناگهانی سیگنال (محل‌های تغییر سمبل) جهش داشته و در سایر نقاط سیگنال، مقدار کوچکی دارد. با محاسبه فاصله جهش‌های پدید آمده می‌توان طول سمبل را به دست آورد.

## ۲-۳- الگوریتم ارائه شده

روش پیشنهاد شده در این مقاله، از مزایای روش تبدیل موجک و تخمین با استفاده از خواص ایستان چرخشی بهره برده و علاوه بر این، محاسبات لازم را تا اندازه زیادی کاهش داده است. به منظور بهره بردن از خاصیت مقاوم بودن برابر نویز تبدیل موجک و همچنین برای استفاده از توانایی تخمین در کانال چندمسیره با محوشدگی فرکانس‌گزین روش استفاده از خواص ایستان چرخشی پیشنهاد شده است. به این صورت که ابتدا از سیگنال دریافتی تبدیل موجک گرفته شده و سپس با استفاده از رابطه (۱۳) ماتریس خودهمبستگی با محاسبات کاهش یافته برای تبدیل موجک سیگنال دریافتی تشکیل می‌گردد. در ماتریس خودهمبستگی حاصل از تبدیل موجک سیگنال، در سطر مساوی با مقدار بیش نمونه‌برداری، جهش قابل توجهی به وجود می‌آید. با پیدا کردن مقدار نرخ بیش نمونه‌برداری و



شکل (۱). تصویر مربوط به ماتریس خودهمبستگی سیگنال دریافتی حاصل از رابطه (۱۳)

همان‌طور که در شکل (۱) قابل مشاهده است، ماتریس خودهمبستگی سیگنال دریافتی در مکان‌های مساوی با نرخ بیش نمونه‌برداری، جهش داشته و شروع به تغییرات تناوبی می‌کند. در مرجع [۹] از این ویژگی ماتریس خودهمبستگی حاصل از رابطه (۱۳) برای تخمین نرخ ارسال سمبل استفاده شده است. پیشنهادی که در این مقاله برای کاهش پیچیدگی روش مقاله مذکور داده شده، این است که به جای محاسبه تمامی درایه‌های ماتریس خودهمبستگی (که در شبیه‌سازی این شکل ۴۰ سطر و ۶۰ ستون در نظر گرفته شده است) برای هر سطر تا جایی محاسبه خودهمبستگی و میانگین‌گیری را پیش ببریم که تمامی اعضای بردار داده نمونه‌برداری شده حداقل یک‌بار در محاسبات شرکت داده شوند. به دلیل بالا بودن تعداد نمونه‌های بردار داده مؤثر در رابطه (۱۳)، می‌توان بدون تأثیر چندانی بر عملکرد تخمین‌گر، محاسبات مورد نیاز را کاهش داد. برای سایر درایه‌های ماتریس خودهمبستگی نیز می‌توان مقادیر به دست آمده را به صورت دوره‌ای جایگذاری نموده و به ادامه محاسبات پردازیم.

منحنی شکل (۲) مقایسه روش مرجع و همان روش با تقریب پیشنهادی برای کاهش محاسبات را در کانال HF [۱۰] نشان می‌دهد. همان‌طور که از منحنی قابل برداشت است، تقریب در نظر گرفته شده تأثیر چندانی بر دقت تخمین نرخ سمبل به روش تشکیل ماتریس خودهمبستگی ندارد.

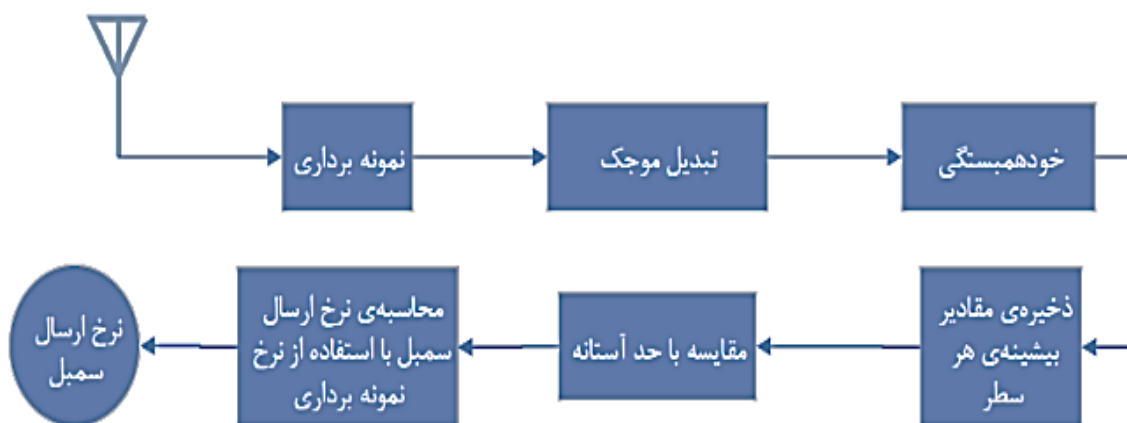
در روش ارائه شده در مرجع [۹] برای به دست آوردن ماتریس خودهمبستگی سیگنال دریافتی لازم است برای هر درایه ماتریس مربوطه یک‌بار عمل میانگین‌گیری صورت گیرد که برای یک ماتریس ۴۰ در ۶۰ درایه‌ای، لازم است ۲۴۰۰ بار میانگین‌گیری از اعضای بردار حاصل از سیگنال دریافتی صورت گیرد در حالی که با تقریب ارائه شده برای تشکیل همان ماتریس، ۸۲۰ میانگین‌گیری کافی خواهد بود.

## ۲-۲- استفاده از تبدیل موجک

تبدیل موجک به خاطر انتگرال‌گیری و میانگین‌گیری پنجره‌ای که دارد می‌تواند اثر نویز گوسی را کاهش دهد، به همین دلیل در این مقاله برای بالا بردن دقت الگوریتم تخمین

در رابطه (۱۶) مقدار بيش نمونه‌برداری تخمین زده شده،  $T_s$  طول دوره نمونه‌برداری و  $\hat{T}$  برابر با دوره ارسال سمبل تخمین زده شده می‌باشد.

شکل (۳) فلوچارت مراحل الگوریتم تخمین پیشنهادی را نشان می‌دهد:



شکل (۳). فلوچارت الگوریتم پیشنهادی برای تخمین نرخ سمبل

جدول (۱). پارامترهای شبیه‌سازی

نوع فیلتر شکل‌دهنده	کسینوسی افزایشی
نوع مدولاسیون	QPSK
طول پیام	۱۰۰ سمبل
نرخ بيش نمونه‌برداری	۲۷ نمونه بر سمبل
کانال شبیه‌سازی	کانال HF [12]
	کانال LTE Pedestrian-B [13]
نرخ ارسال سمبل	۴ هزار سمبل در ثانیه (HF)
	۲ میلیون سمبل در ثانیه (LTE)

برای به دست آوردن منحنی درصد تخمین صحیح با استفاده از روش مونت کارلو، به ازای هر مقدار سیگنال به نویز، الگوریتم تخمین ۵۰۰۰ بار تکرار شده است. در هر باز آزمایش، رشته بیت‌های تصادفی ساخته شده و شرایط کانال بر روی آن اعمال شده است. درصد تخمین صحیح با مقایسه مقدار به دست آمده از الگوریتم تخمین و مقدار واقعی به دست آمده است. برای به دست آوردن منحنی میانگین مربعات خطا از رابطه زیر استفاده شده است [۹]:

در رابطه فوق  $\hat{T}$  مقدار تخمین زده شده،  $T$  مقدار واقعی و  $E$  نماد امید ریاضی می‌باشد.

در ابتدای کار، منحنی مربوط به تخمین نرخ ارسال سمبل در کانال فرکانس‌گزين LTE توسط روش مربوط به تبدیل موجک (منحنی با ضربدرهای آبی)، روش ارائه شده در مرجع [۹] (منحنی با مثلث‌های آبی‌رنگ) و روش ارائه شده در این مقاله

همچنین با اطلاع قبلی از نرخ نمونه‌برداری، می‌توان با ضرب این دو مقدار در هم مقدار نرخ ارسال سمبل را برای سیگنال دریافتی به دست آورد [۹]:

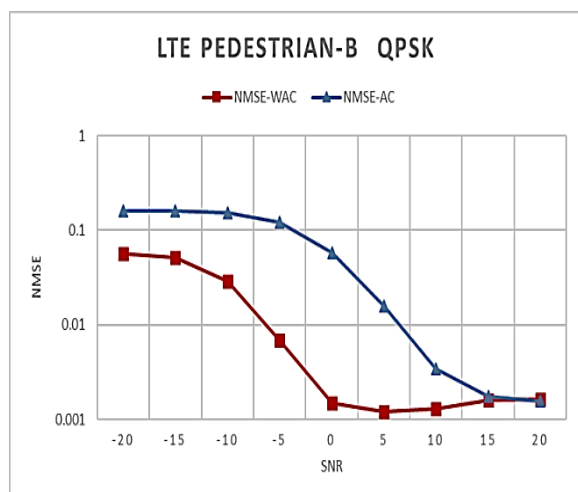
$$\hat{T} = \hat{N}_s T_s \quad (16)$$

$$NMSE = E \left\{ \left[ \frac{\hat{T} - T}{T} \right]^2 \right\} \quad (17)$$

### ۳- نتایج و بحث

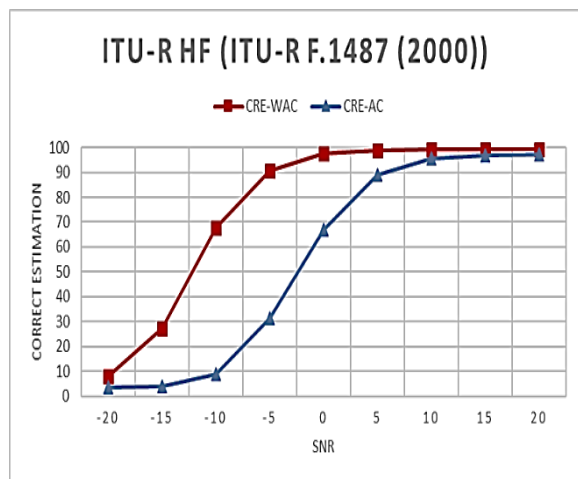
برای بررسی و مقایسه عملکرد روش پیشنهادی با روش ارائه شده در مرجع [۹] که هر دو برای کانال‌های چندمسیره فرکانس‌گزين ارائه شده‌اند، دو نوع کانال در نظر گرفته شده است: کانال اول کانال HF فرکانس‌گزين نوع ITU-R F.1487(2000), Medium latitudes, Quiet conditions مطابق با مرجع [۱۲] و کانال دوم کانال LTE Pedestrian-B استفاده شده در مرجع [۱۳]. با توجه به متفاوت بودن شرایط مواجه شدن با کانال‌های مذکور، نرخ ارسال سمبل متناسب و کاربردی در هر کانال برای شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است. نرخ ارسال سمبل در کانال HF برابر با چهار هزار سمبل بر ثانیه و برای کانال LTE مساوی با ۲ میلیون سمبل بر ثانیه در نظر گرفته شده است. ابعاد ماتریس خودهمبستگی برابر با ۵۰ سطر و ۴۰ ستون، فیلتر شکل‌دهنده، کسینوسی افزایشی با نرخ بيش نمونه‌برداری برابر با ۲۷ و مدولاسیون مورد استفاده، QPSK<sup>۱</sup> در نظر گرفته شده‌اند. جدول شماره (۱) متغیرهای استفاده شده در شبیه‌سازی را نشان می‌دهد.

<sup>۱</sup> Quadrature Phase Shift Keying



شکل (۶). منحنی مربوط به NMSE حاصل از دو الگوریتم مورد بحث

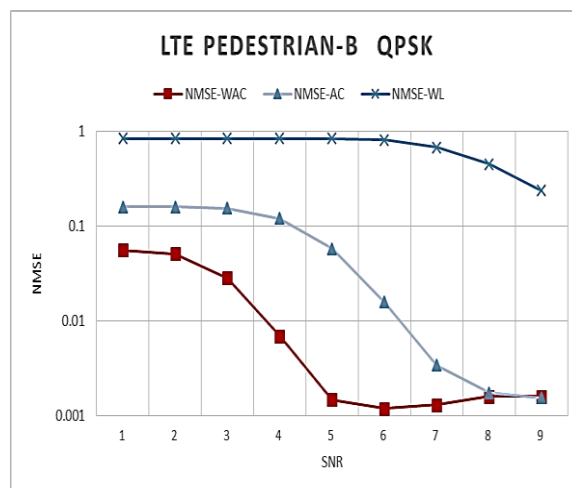
از بررسی شکل (۶) این نتیجه حاصل می‌گردد که در صورتی که تخمین گر در به دست آوردن مقدار صحیح ناکام بماند، تخمین حاصل از روش ارائه شده در مقایسه با روش مرجع [۹]، به مقدار واقعی نزدیک‌تر خواهد بود. در این شکل، منحنی حاصل برای روش ارائه شده در مرجع، با مثلث‌های آبی و منحنی مربوط به روش پیشنهادی در این مقاله با مربع‌های قرمز مشخص شده است.



شکل (۷). تصویر مربوط به مقایسه درصد تخمین صحیح به ازای دو روش استفاده از خواص ایستادن چرخشی [۹] (منحنی با مثلث آبی رنگ) و روش ارائه شده (منحنی با مربع قرمز رنگ) در کانال HF با محوشدگی فرکانس‌گزین

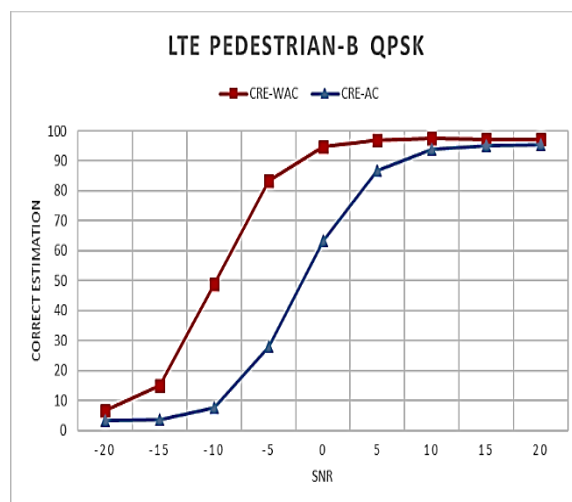
در شکل (۷) قابل مشاهده است که در کانال HF نیز روش ارائه شده تعداد بیشتری تخمین صحیح انجام داده است. از این موضوع می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که روش پیشنهادی عملکرد بهتری در تخمین مقدار مجهول در شرایط مشابه از خود نشان داده است.

(منحنی با مربع‌های قرمز) در شکل (۴) نشان داده شده که به خوبی ناکارآمدی تخمین به روش تبدیل موجک را در این نوع کانال در مقایسه با روش مرجع [۹] و روش پیشنهادی نمایش می‌دهد.



شکل (۴). منحنی مربوط به NMSE حاصل از سه روش مختلف

در شکل (۵) منحنی‌های مربوط به درصد تخمین صحیح نمایش داده شده است. همان‌طور که می‌توان از شکل نتیجه گرفت، در کانال LTE، درصد تخمین صحیح به روش پیشنهادی که به صورت منحنی با مربع‌های قرمز نشان داده شده، در مقایسه با روش ارائه شده در مرجع [۹] که با مثلث‌های آبی رنگ مشخص شده است، مقدار بالاتری دارد که نشان‌دهنده تعداد تخمین‌های صحیح بیشتر توسط روش پیشنهادی نسبت به روش مرجع مورد بررسی می‌باشد.



شکل (۵). تصویر مربوط به مقایسه درصد تخمین صحیح به ازای روش مربوط به مرجع [۹] و روش پیشنهاد شده در این مقاله

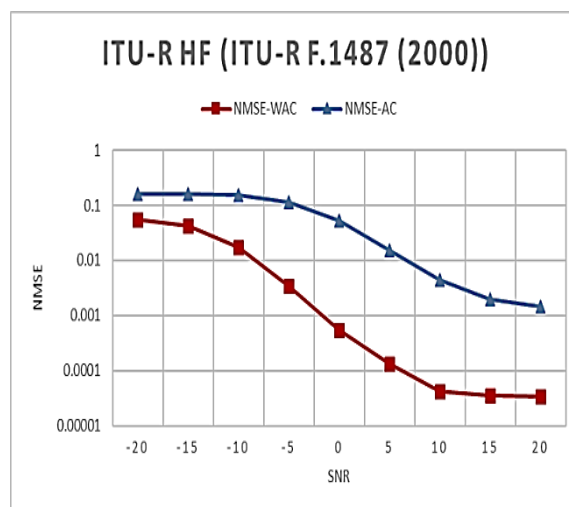


#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش روشی مبتنی بر توزیع درجه گراف انتشار برای تشخیص شایعات ارائه شد که پس از چهار گام از شروع انتشار، قادر به تشخیص آن است. بدین منظور دسته‌بندی‌کننده‌های مختلفی مورد ارزیابی قرار گرفت که از بین آن‌ها RF بهترین نتیجه را داشت. در این پژوهش برخلاف پژوهش‌های پیشین نیاز به تحلیل محتوا و بررسی پروفایل کاربر وجود ندارد و تنها با استفاده از توزیع درجه گراف انتشار امکان تشخیص شایعه فراهم می‌شود، در آینده به بررسی سایر ویژگی‌های گراف انتشار و تأثیر آن بر بهبود عملکرد روش ارائه شده پرداخته خواهد شد.

#### ۶- مراجع

- [1] Y. T. Chan, J. W. Plews, & K. C. Ho, "Symbol rate estimation by the wavelet transform," Int. Symp. Circuits Syst., vol. 1, no. 3, pp. 177-180, 1997.
- [2] G. Pujolle, "Generalized Wavelet-Based Symbol Rate Estimation for Linear Single-Carrier Modulation in Blind Environment," Eur. Sci. J., vol. 10, no. 15, pp. 49-64, 2014.
- [3] Z. Yang, H. Ge, G. Xu, & P. Guo, "Research on communication signal symbol rate estimation based on wavelet transform," Proc. 2019 IEEE 8th Jt. Int. Inf. Technol. Artif. Intell. Conf. ITAIC 2019, no. Itaic, pp. 1660-1663, 2019.
- [4] G. Jajoo, Y. Kumar, & S. K. Yadav, "Blind Signal PSK / QAM Recognition Using Clustering Analysis of Constellation Signature in Flat Fading," IEEE Commun. Lett., vol. 23, pp. 1853-1856, Oct. 2019.
- [5] M. E. H. Lakhdari, H. Wang, & M. Bouchou, "Hybrid blind symbol rate estimation for linearly modulated signals," Int. Conf. Commun. Technol. Proceedings, ICCT, vol. 2017-October, no. 2, pp. 287-292, 2018.
- [6] S. Z. Khan, A. Mostayed, & M. E. Kabir, "A 'frequency blind' method for symbol rate estimation," Lect. Notes Electr. Eng., vol. 86 LNEE, no. 1, pp. 607-614, 2011.
- [7] C. Shen & T. Ye, "Blind symbol rate estimation based on BPF bank," Digit. Signal Process. A Rev. J., vol. 100, p. 102698, May 2020.
- [8] B. Suesser-Rechberger & W. Gappmair, "New Results on Symbol Rate Estimation in Digital Satellite Receivers," in 2018 11th International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing, CSNDSP 2018, pp. 1-6, Jul. 2018.
- [9] A. Güner & I. Kaya, "Periodic variation method for blind symbol rate estimation," Int. J. Commun. Syst., vol. 27, no. 12, pp. 4199-4209, Dec. 2014.



شکل (۸). تصویر مربوط به مقایسه NMSE به ازای دو روش استفاده از خواص ایستادن چرخشی مرجع (منحنی با مثلث آبی‌رنگ) [۹] و روش ارائه شده (منحنی با مربع قرمز رنگ) در کانال HF با محوشدگی فرکانس‌گزین

در منحنی NMSE شکل (۸) نیز می‌توان مشاهده کرد که منحنی مربوط به روش ارائه شده، مقدار کمتری نسبت به روش مرجع [۹] دارد. کم بودن این مقدار برای روش ارائه شده به معنی نزدیک بودن مقدار تخمین زده شده به وسیله‌ی این الگوریتم حتی در تخمین‌های اشتباه، به مقدار واقعی نسبت به روش مرجع دارد.

#### ۴- جمع‌بندی

در این مقاله روشی برای تخمین کور نرخ ارسال سمبل در کانال‌های چندمسیره و به‌خصوص چندمسیره با محوشدگی فرکانس‌گزین ارائه شد. شبیه‌سازی‌های انجام شده برای بررسی عملکرد روش ارائه شده و مقایسه آن با روش مرجع [۹] نشان‌دهنده عملکرد بهتر این روش به ازای برست‌های کوتاه و سیگنال به نویزهای پایین است. برای این که نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی‌ها جامع‌تر باشند، دو نوع کانال فرکانس‌گزین HF و LTE برای شبیه‌سازی استفاده شده‌اند. شبیه‌سازی‌ها در هر دو کانال نشان‌دهنده تخمین دقیق‌تر نرخ ارسال سمبل در روش پیشنهادی می‌باشند.

مواردی که در این مقاله مورد بررسی قرار نگرفته‌اند و برای ادامه کار بر روی این مقاله پیشنهاد می‌شود، بررسی اثر آفست فرکانسی بر روی عملکرد الگوریتم ارائه شده و توسعه الگوریتم پیشنهادی برای مدولاسیون‌های بدون تغییر فاز و مدولاسیون‌های غیرخطی خواهند بود



- [12] "Construct channel System object from set of standardized channel models - MATLAB stdchan."  
<https://www.mathworks.com/help/comm/ref/stdchan.html> (accessed Feb. 03, 2020).
- [13] A. Mehmood & W. A. Cheema, "CHANNEL ESTIMATION FOR LTE," Blekinge Institute of Technology School of Engineering, 2009.
- [10] G. J. Phukan & P. K. Bora, "An algorithm for blind symbol rate estimation using second order cyclostationarity," in 2014 International Conference on Signal Processing and Communications (SPCOM), no. 3, pp. 1-6, Jul. 2014.
- [11] M. A. Elgenedy & A. Elezabi, "Blind symbol rate estimation using autocorrelation and zero crossing detection," in 2013 IEEE International Conference on Communications (ICC), pp. 4750-4755, Jun. 2013.