

## انحراف مدل محوشدگی در کانال‌های دید غیرمستقیم در بازتابش محدود

ذبیح‌اله حسن شاهی<sup>۱</sup>، پاییز عزمی<sup>۲\*</sup>، محمد خواجه‌زاده<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، ۲- استاد، دانشگاه تربیت مدرس، ۳- کارشناس ارشد، دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(دریافت: ۹۷/۰۷/۲۴ پذیرش: ۹۸/۰۴/۲۹)

### چکیده

برای توصیف ویژگی‌های کلاتر در رادار و سیگنال‌های برگشتی درگیرنده‌های مخابراتی، از مدل‌های آماری استفاده می‌شود. توزیع ریلی ساده‌ترین مدل محوشدگی در کانال‌های دید غیرمستقیم است که دقت آن در رادارهای با دقت بالا و گیرنده‌های مخابراتی در فاصله زیاد، کم است. هم‌اکنون مدل‌هایی با دقت بالاتر مانند ناکاکامی نوع  $m$  و مدل‌های ترکیبی  $K$  و  $GK$  برای مدل کردن محوشدگی استفاده می‌شود. گرچه دقت این مدل‌های غیر ریلی در کانال‌های دید غیرمستقیم مخابراتی نسبت به ریلی بهتر است، اما دقت همین مدل‌ها در زمانی که زاویه تابش در فرستنده و بازتابش درگیرنده متفاوت باشند، کاهش می‌یابد، در این مقاله با تحلیل و ارزیابی و استفاده از داده‌های عملی برای محوشدگی کانال‌های مخابراتی توزیع  $F$  و  $K$  پیشنهاد می‌گردد، گرچه مدل  $K$  قبلاً برای توصیف ویژگی‌های کلاتر رادار معرفی شده بود.

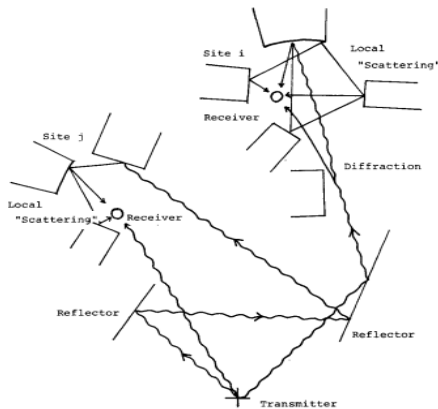
### کلیدواژه‌ها: کانال دید غیرمستقیم، مدل محوشدگی غیر ریلی، بازتابش محدود

#### ۱. مقدمه

انتشار امواج الکترومغناطیس در کانال‌های بی‌سیم، پدیده‌های پیچیده‌ای مانند سایه و چند مسیریگی را ایجاد می‌کند که در تحلیل سامانه‌های ارتباطی و راداری، به دلیل ماهیت تصادفی شان، توصیف دقیق ریاضی این پدیده‌ها را بسیار پیچیده می‌کند [۱]. با این حال، تلاش‌های قابل توجهی برای مدل‌سازی آماری ویژگی‌های این اثرات متفاوت، صورت گرفته است که نتیجه آن، تعیین طیف وسیعی از مدل‌های آماری نسبتاً ساده و دقیق برای کانال‌های محوشدگی است که در یک محیط انتشار خاص تحت یک سناریوی مشخص، استخراج شده است [۲-۴]. پدیده محوشدگی در رادار، در زمان دریافت کلاترها، به‌خصوص پس از برخورد از موانع و درکانال‌هایی مانند سطح دریا مشاهده می‌شود، به هرحال، در تحلیل سیگنال‌های مخابراتی و کلاترهای راداری معمولاً از مدل‌های محوشدگی مانند ریلی به‌صورت مشترک استفاده می‌شود [۵-۱۱]، اما به دلیل ظهور برخی از این مدل‌ها در تحلیل کلاترهای راداری، مانند مدل  $K$  [۱۲-۱۳] و  $GK$  [۶]، لازم است جهت تعمیم آن به کانال‌های مخابراتی، تطبیق این مدل‌ها با داده‌های عملی بررسی شود. در تحلیل سیگنال‌های مخابراتی، زمانی که سیگنال دریافتی در طول ارسال، دچار پدیده محوشدگی می‌شود، فاز و دامنه سیگنال در طول زمان، دچار نوسان می‌گردد، برای مدولاسیون‌های همدوس، اثرات محوشدگی در فاز می‌تواند به شدت عملکرد سامانه را

کاهش دهد مگر این‌که اقداماتی برای جبران آن در گیرنده انجام شود [۵]. اغلب در تحلیل چنین سامانه‌هایی فرض بر این است که در قسمت گیرنده نیز از مدولاسیون ایده‌آل همدوس استفاده می‌شود. برای گیرنده‌های ناهمدوس اطلاعات فاز در گیرنده مورد نیاز نیست و بنابراین، تغییرات فاز ناشی از محوشدگی اثری در کارایی گیرنده ندارد. از این رو تحلیل عملکرد گیرنده‌های مختلف در کانال‌های محوشدگی، نیاز به دانش آماری دامنه سیگنال‌های دریافتی است [۱]. تخمین پارامترهای مدل آماری سیگنال‌های برگشتی مخابراتی، مسئله‌ای مهم در زمینه مدل‌سازی، شبیه‌سازی، طبقه‌بندی و شناسایی سیگنال‌های برگشتی است. سیگنال‌های برگشتی، ذاتاً دارای ماهیت تصادفی هستند، بنابراین، عموماً از توزیع‌های آماری برای توصیف بهتر ویژگی‌های آنها استفاده می‌شود. توزیع ریلی و  $K$  یکی از مدل‌های رایج برای توصیف آنها، درکانال‌های مخابراتی و راداری هستند. در تخمین پارامترهای مدل‌های آماری مبتنی بر دریافت سیگنال‌های چندمسیره در گیرنده‌های مخابراتی، مدل‌های اشاره‌شده هم پاسخگو هستند، لیکن جهت تبیین ابعاد مختلف مسئله باشرایط خاص در این تحقیق، سیگنال‌های دریافتی از فرستنده در حالت چندمسیره از آنتن تمام جهت و جهتی (از لوب اصلی، فرعی و پشتی) دریافت شده و نتایج مورد بررسی قرار گرفته است و در نهایت انحراف مدل محوشدگی از ریلی [۱۴-۱۶]. در حالت دریافت سیگنال‌های چندمسیره از لوب

مدل گوسی سازگار است و از این جهت علاقه‌ای به بررسی خصوصیات آن در این تحقیق وجود ندارد. همچنین از آنجاکه  $\theta_k$  از مسیرهای مستقل دریافت می‌شود و حساسیت آن نسبت به ویژگی‌های هر مسیر بسیار زیاد است می‌توان مدل یکنواخت در بازه  $[0, 2\pi]$  را برای آن در نظر گرفت. در مطالعات انجام شده، متغیر  $t_k$  بررسی شده و به‌طور غالب مدل پواسون برای آن در نظر گرفته شده است [۳-۴]. در این مقاله سعی شده است که متغیر  $a_k$  یا همان دامنه مسیرهای محوشدگی با روشی متفاوت از آنچه در مطالعات گذشته انجام شده است مورد بررسی قرار گیرد. کانال‌های رادیویی شهری به دلیل بازتاب، انعکاس و پراکندگی که ساختمان‌ها مطابق شکل (۱) در موج ایجاد می‌کنند، ذاتاً جزو کانال‌های چندمسیره محسوب می‌شوند. قدرت مسیر در یک تأخیر مشخص حاصل مجموع تمام مسیرهایی است که تا گیرنده فاصله یکسانی دارند قدرت هر مسیر و فاز مربوط به هر مسیر و همچنین تعداد این مسیرها تعیین‌کننده قدرت سیگنال در آن تأخیر خاص هستند. در [۲]، به‌طور کلی پذیرفته شده است که توزیع‌های رایلی و ریس توصیف‌کننده قدرت مسیرهای بافاصله کمتر از چند صد طول‌موج هستند و توزیع Lognormal برای محیط‌هایی با بیش از این فاصله مناسب است.



شکل (۱): چند مسیری بین فرستنده و گیرنده [۱].

همچنین در بسیاری از مقالات توزیع‌های ترکیبی برای توصیف قدرت هر مسیر استفاده شده است [۵]، که فرم کلی آن به شکل زیر است [۱].

$$p(x) = \int_{\Sigma} f(x; \sigma) dQ(\sigma) \quad (2)$$

که در آن،  $f(x; \sigma)$  تابع توزیع در نظر گرفته شده برای محیط محلی اطراف گیرنده است که می‌تواند شامل  $n$  پارامتر باشد و  $Q(\sigma)$  توزیع  $\sigma$  است که وابسته به مسیر فرستنده تا محیط محلی گیرنده است. همچنین  $\sigma$  می‌تواند یک بردار از

برگشتی با استفاده از معیارهای  $GOF^1$  [۱۷]، مقایسه شده است. در بخش دوم توابع چگالی احتمال [۱۸] و مدل‌های مختلف غیر رایلی که درمدلینگ پدیده‌های محوشدگی و سایه مورد استفاده قرار می‌گیرند، بررسی می‌شوند، در ادامه در بخش سوم، یک نمونه داده عملی بررسی می‌شود، که براساس سیگنال‌های مختلفی که از ایستگاه‌های ثابت موبایل با شرایط بازتابش محدود با استفاده از آنتن‌های جهتی دریافت شده است، جمع‌آوری شده‌اند و سپس در همین بخش، با استفاده از روش تخمین کانال با استفاده از داده‌های train در کانال SCH [۲۰-۱۹]، کرنل تابع چگالی احتمال محوشدگی کانال دریافتی تعیین می‌گردد. در بخش چهارم با استفاده از معیارهای  $KLD^2$ ،  $K-S^3$  و  $A-D^4$ ، میزان انطباق مدل‌های رایج بر اساس داده‌های عملی نشان داده می‌شود. و در نهایت با استفاده از معیارهای اشاره شده در بخش چهارم مانند  $K-S$ ، نتایج ارزیابی و میزان انطباق نمونه‌ها با هر یک از مدل‌ها در بخش پنجم جمع‌بندی می‌گردد و نشان داده می‌شود که با وجود مطابقت مدل  $K$ ، لیکن مدل  $F$  مطابقت بیشتری دارد.

## ۲. مدل‌های غیر رایلی برای کانال‌های تصادفی

جهت انجام آزمایش چندمسیرگی، ضروری است که یک مدل ریاضی در نظر گرفته شود [۱]. در این مدل فرض می‌شود که محیط انتشار مانند یک فیلتر خطی عمل می‌کند به‌گونه‌ای که اگر  $s(t)$  در آن،  $\text{Re}\{s(t)e^{j\omega_0 t}\}$ ،  $t \in (-\infty, \infty)$  سیگنال مختلط باند پایه و  $\omega_0$  فرکانس حامل است ارسال شود، سیگنال  $\text{Re}\{\rho(t)e^{j\omega_0 t}\}$ ،  $t \in (-\infty, \infty)$  دریافت می‌گردد که در آن:

$$\rho(t) = \sum_{k=0}^{\infty} a_k s(t - t_k) e^{i\theta_k} + n(t) \quad (1)$$

در رابطه (۱)،  $\theta_k$  و  $a_k$  به ترتیب فاز و دامنه سیگنال‌های برگشتی و  $n(t)$  نویز گوسی است. بنابراین، می‌توان محیط را با استفاده از متغیرهای آماری زیر

$$\{a_1, a_2, a_3, \dots, t_1, t_2, t_3, \dots, \theta_1, \theta_2, \theta_3, \dots\} = \{a_k, t_k, \theta_k\}_0^{\infty}$$

و همچنین نویز جمع شونده باند پایه توصیف کرد. می‌توان گفت که  $n(t)$  دست‌کم در فرکانس‌های مورد نظر ما به‌خوبی با

<sup>1</sup> Goodness of fit

<sup>2</sup> Kullback leibler

<sup>3</sup> Kolmogorov Smirnof

<sup>4</sup> Anderson darling

متغیرها باشد. به‌عنوان مثال اگر محیط محلی را ریلی در نظر بگیریم و مسیر فرستنده را به علت دور بودن از محیط محلی گیرنده به‌صورت Lognormal مدل کنیم توزیع کلی در رابطه (۲) به شکل زیر حاصل می‌شود:

$$p(x) = \int_0^\infty \frac{x}{\sigma^2} \exp(-x^2 / 2\sigma^2) \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma\lambda}} \cdot \exp\left(\frac{(\log \sigma - \mu)^2}{2\lambda^2}\right) d\sigma \quad (3)$$

که در آن،  $f(x; \sigma)$  تابع توزیع در نظر گرفته‌شده برای محیط است.

## ۱-۲. مدل محوشدگی K

به دلیل پیچیدگی معادله بالا معمولاً برای به‌دست آمدن فرم بسته توزیع log-normal با توزیع گاما تقریب زده می‌شود و حاصل (۳) تابع توزیع K [۱۳]، به شکل زیر است:

$$f_K(t) = \frac{2c}{\Gamma(\nu)} \left(\frac{ct}{2}\right)^\nu K_{\nu-1}(ct) \quad (4)$$

که در آن،  $\Gamma(\cdot)$  تابع گاما،  $K_\nu$  تابع بسل اصلاح‌شده نوع دوم از درجه  $\nu$  است. پارامترهای  $\nu$  و  $c$  را به ترتیب پارامترهای shape و scale می‌نامند. می‌توان نشان داد که توزیع K برای  $\nu > 20$  به سمت توزیع راپلی میل می‌کند [۱۴].

## ۲-۲. مدل محوشدگی F

در یک کانال فیدبک ترکیبی می‌توان ویژگی‌های چندمسیرگی کانال را با مدل ناکاگامی مطابق دانست و درعین حال فرض کنیم که توان rms سیگنال یک متغیر تصادفی است که تحت تأثیر نویز سایه تغییر می‌کند در این صورت پوش سیگنال را می‌توان به‌صورت  $R^2 = \sum_{n=1}^m A^2 X_n^2 + A^2 Y_n^2$  که در آن،  $m$  نشان‌دهنده تعداد مسیرها و  $X_n$  و  $Y_n$  متغیرهای in-phase و quadrature سیگنال هستند که مستقل از هم و گوسی هستند اگر A را به‌صورت توزیع معکوس ناکاگامی فرض کنیم داریم [۸]:

$$f_A(\alpha) = \frac{2m_s^{m_s}}{\Gamma(m_s)\alpha^{2m_s+1}} \exp\left(-\frac{m_s}{\alpha^2}\right) \quad (5)$$

که،  $m_s$  پارامتر shape و  $1/\Omega_s$  پارامتر scale است. بنابراین، PDF پوش سیگنال با میانگین‌گیری از توزیع ناکاگامی بر روی متغیر تصادفی توان rms حاصل می‌شود یعنی

سیگنال در نظر گرفته‌شده داریم:

$$f_{R|A}(r|\alpha) = \frac{2m^m r^{2m-1}}{\Gamma(m)\alpha^{2m}\Omega^m} \exp\left(-\frac{mr^2}{\alpha^2\Omega}\right) \quad (6)$$

که در آن،  $m$  پارامتر شدت محوشدگی سیگنال است و  $\Omega = E[r^2]$  توان متوسط rms می‌باشد. با تغییر متغیر و انتگرال‌گیری از رابطه (۶) داریم:

$$f_R(r) = \frac{2m^m (m_s \Omega)^{m_s} r^{2m-1}}{B(m, m_s) (mr^2 + m_s \Omega)^{m+m_s}} \quad (7)$$

که در آن،  $B(\cdot, \cdot)$  تابع بتا است و رابطه (۷) را توزیع F نامیده‌اند [۱۸].

## ۳-۲. مدل محوشدگی GK

در بحث توزیع F گفته شد که تأثیرات نویز سایه بر روی توان متوسط rms به‌صورت توزیع عکس ناکاگامی مدل می‌شود حال اگر همه بحث‌های بخش توزیع F پابرجا بماند و تنها مدل توان متوسط سیگنال را تبدیل به توزیع گاما کنیم مدل به‌دست‌آمده را گاما-گاما یا Generalized-K می‌نامند [۶].

در ابتدا مدل K تعمیم‌یافته برای مدل‌سازی پراکندگی رادار و اکوی سیگنال در سونار استفاده می‌شد [۱۳-۸]، اما امروزه برای مدل‌سازی کانال‌های فیدینگ مخابرات بدون سیم هم مورد توجه قرار می‌گیرد. با کمی ساده‌سازی ریاضی فرمول مدل k تعمیم‌یافته به‌صورت زیر است:

$$f_X(x) = \frac{4m^{(\beta+1)/2} x^\beta}{\Gamma(m)\Gamma(k)\Omega^{(\beta+1)/2}} K_\alpha \left[ 2 \left(\frac{m}{\Omega}\right)^{1/2} x \right] \quad (8)$$

با  $\alpha = k - m$  و  $\beta = k + m - 1$  که در آن،  $k, m$  پارامترهای شکل هستند و  $K_\alpha(\cdot)$  تابع بسل اصلاح‌شده از درجه  $\alpha$  است همچنین  $\Gamma(\cdot)$  تابع گاما و  $\Omega = E[X^2]/k$  توان متوسط است بنابراین، توزیع KG در واقع دارای دو پارامتر است که با تغییر این دو پارامتر می‌توان توزیع‌های دیگر را تقریب زد برای مثال اگر در فرمول بالا  $k \rightarrow \infty$  آن‌گاه فرمول (۸) توزیع ناکاگامی  $m=1$  را تقریب می‌زند. و برای  $m=1$  تبدیل به توزیع K می‌شود. همچنین اگر  $m \rightarrow \infty$  و  $k \rightarrow \infty$  آن‌گاه به مدل گوسی میل می‌کند. به علت پیچیدگی بالا معمولاً نمی‌توان از این مدل برای استخراج فرمول‌های دیگر استفاده کرد از این‌رو، مثلاً در [۶]، سعی شده است تا تقریب مناسبی از این توزیع با استفاده

از توزیع گاما به دست داده شود.

انتخاب شده‌اند.

آماره آزمون kolmogrof-smirnof (۱۰) و آماره آزمون Anderson-darling (۱۱) به صورت زیر تعریف می‌شوند [۱۹].

$$D = \sup_x |F_n(x) - F(x)| \quad (10)$$

$$A = n \int_{-\infty}^{\infty} \{F_n(x) - F(x)\}^2 \psi(x) dF(x) \quad (11)$$

که در آن،  $\psi(x) = [F(x)\{1 - F(x)\}]^{-1}$  می‌باشد.

### ۳-۲. سطوح $\alpha$

توجه کنیم که هرچقدر  $F_n(x)$  به توزیع پیشنهادی  $F(x)$  نزدیک‌تر باشد نتیجه آزمون عدد کمتری خواهد بود و احتمال این که داده‌ها واقعاً از توزیع  $F(x)$  پیروی کنند بیشتر است اما در آزمون‌های GOF در واقع نظر قطعی در مورد پیروی کردن یا نکردن داده‌ها از  $F(x)$  داده نمی‌شود و تنها به مقدار سطح  $\alpha$  برای درست بودن  $H_0$  احتمال قائل می‌شویم. برای توضیح سطح  $\alpha$  فرض کنیم نتیجه آزمون  $T$  برای نمونه‌های  $X_1, \dots, X_n$  مساوی  $t$  باشد. سطوح  $\alpha$  به صورت  $p = \mathbf{P}(T > t | H_0)$  به صورت  $p$  تعریف می‌شود. به بیان ساده این سطوح بیان می‌دارد که اگر مثلاً  $p = \alpha$  باشد به این معنی است که به احتمال  $\alpha$  در صورت درست بودن  $H_0$  مقدار آزمون  $T$  از مقدار به دست آمده در آزمایش فوق بیشتر می‌شود بنابراین، فرضیه  $H_0$  برای  $p$  های کوچک رد می‌شود چراکه بیانگر این است که احتمال کمی وجود دارد که  $H_0$  درست باشد و ما عددی بالاتر از آزمایش  $T$  برای نتیجه آزمون به دست آوریم. برای نمونه، سطوح  $\alpha$  برای یک نمونه آزمون مطابق با جدول (۱) نمایش داده شده است [۱۹].

جدول (۱): سطوح  $\alpha$  برای آزمون‌های A و D برگرفته از [۱۹].

سطوح $\alpha$			نوع آزمون
۰/۲۵	۰/۰۵	۰/۰۰۱	
۰/۸۲۸	۱/۲۲۴	۱/۸۵۹	D
۱/۲۴۸	۲/۴۹۲	۶/۰۰	A

### ۳-۳. واگرایی kullback-liebler

واگرایی KLD یک مقیاس اندازه‌گیری تئوری اطلاعات است که تفاوت بین دو توزیع داده شده را اندازه‌گیری می‌کند. اگر متغیر تصادفی  $Z$  داده شده باشد و همچنین  $p(z)$  و  $q(z)$  دو توزیع متفاوت برای باشند آن‌گاه KLD به صورت زیر تعریف می‌شود:

### ۳. معیار ارزیابی مدل‌های محوشدگی

معیار ارزیابی مدل‌های با یکدیگر در این مقاله GOF خواهد بود، منظور از  $GOF^1$  روش‌هایی است که نشان می‌دهند نمونه‌های گرفته شده از داده تا چه حد بر تابع توزیع فرض شده منطبق است. در چهارچوب رسمی آزمون، فرضیه صفر<sup>۲</sup>،  $H_0$  بیان‌گر حالتی است که متغیر تصادفی  $X$  از تابع احتمال  $F(x)$  (برای مثال تابع نرمال یا Weibull) پیروی می‌کند روش‌های GOF معمولاً معیاری را معرفی می‌کنند که با استفاده از آن میزان انطباق داده‌ها بر تابع توزیع فرض شده در  $H_0$  اندازه‌گیری شود. [۱۹] در بسیاری از موارد کاربرد GOF فرضیه‌ی جایگزین یا  $H_1$  مرکب است و معمولاً اطلاعات کمی منتقل می‌کند و به طور ساده بیان می‌کند که  $H_0$  نادرست است. واضح است که تمرکز اصلی بر اندازه‌گیری میزان مطابقت داده‌ها با  $H_0$  است و معمولاً امیدواریم که در آزمون فرضیه  $H_0$  تائید شود [۱۷]. در این تحقیق ما سه روش مستقل GOF را مورد بررسی قرار داده‌ایم دو روش اول زیر دسته روش‌های پیوسته مبتنی بر اندازه‌گیری تابع تجربی PDF است که به آن EDF می‌گویند [۱۹] و روش سوم مبتنی بر تخمین تابع کرنل و استفاده از متریک KLD<sup>۳</sup> است که یک روش صرفاً مقایسه‌ای است که در ادامه به طور مختصر به آن‌ها خواهیم پرداخت.

### ۳-۱. آماره‌های مبتنی بر EDF

فرض کنیم تعداد  $n$  نمونه از یک متغیر تصادفی در اختیار داریم که آن‌ها را با  $X_1, \dots, X_n$  نشان می‌دهیم. همچنین  $X_{(1)} < X_{(2)} < \dots < X_{(n)}$  مرتب‌شده داده‌های قبل باشد. آن‌گاه تابع EDF به صورت زیر است [۱۹]:

$$F_n(x) = \frac{\text{number of observations} \leq x}{n} \quad (9)$$

آماره‌هایی که اختلاف بین  $F(x)$  و  $F_n(x)$  را اندازه می‌گیرند آماره‌های EDF نامیده می‌شوند. همه این آماره‌ها بر مبنای اختلاف عمودی بین  $F(x)$  و  $F_n(x)$  عمل می‌کنند و به دو دسته عمده تقسیم‌بندی می‌شوند که تفاوت آن‌ها در نوع متر به کار رفته در آزمون است. در نوع اول متر از انواع مترهای مبتنی بر فاصله supremum و در نوع دوم از مترهای مبتنی بر فاصله quadratic استفاده می‌شود. از نوع اول آزمون kolmogrof-smirnof و از نوع دوم آزمون Anderson-darling

<sup>1</sup> Goodness Of Fit

<sup>2</sup> Null hypothesis

<sup>3</sup> Kullback-Liebler Divergence

توجه به فرمول بالا می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش نمونه‌ها،  $h$  بهینه با نرخ پایینی کاهش پیدا می‌کند. همچنین به علت این که  $\int f''(t)^2 dt$  مقدار نوسانات تابع توزیع را اندازه‌گیری می‌کند؛ می‌توان نتیجه گرفت که مقادیر پایین‌تر  $h$  برای توابع توزیعی که نوسانات زیاد دارند مناسب‌تر است.

اگر مقدار بهینه  $h$  را به فرمول (۱۴) برگردانیم MISE تنها تابع  $K$  خواهد بود که با کمینه کردن آن به تابع Epanechnikov Kernel برای  $K$  می‌رسیم که به صورت زیر تعریف می‌شود [۱۹]:

$$K_e(t) = \begin{cases} \frac{3}{4\sqrt{5}} \left(1 - \frac{1}{5}t^2\right) & -\sqrt{5} \leq t \leq \sqrt{5} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (17)$$

#### ۴. انحراف و تطبیق مدل محوشدگی با نمونه عملی

در محیط انتشاری سیگنال موبایل در هر بازه زمانی پاسخ کانال تابعی تصادفی و نامشخص است همچنین سامانه مخابراتی مبنی بر TDMA بیت‌های اطلاعات را در قالب Burst ها ارسال و دریافت می‌کند. بنابراین، هر الگوریتم تخمین کانال اعم از کور و یا غیر کور باید از روی تعداد کمی از نمونه‌های دریافتی قادر به تخمین قابل‌اعتمادی از پاسخ کانال باشد. روش‌های کور در سامانه‌های عملی GSM مورد استفاده قرار نمی‌گیرند [۱۷]، چراکه در عمل برای یک تخمین معتبر به هزاران (و حتی بیشتر) نمونه از سیگنال نیاز دارند. سامانه GSM در فرکانس ۸۸۰-۹۱۵ MHz برای uplink و از ۹۲۵-۹۶۰ MHz برای downlink استفاده می‌کند. این پهنای باند در مرحله بعد به باندهای با پهنای ۲۰۰ KHz تقسیم می‌شوند و به کمک اعداد ARFCN<sup>۱</sup> مشخص می‌گردند. سپس این کانال‌ها به فریم‌های ۸ تایی TDMA به طول ۵۷۶  $\mu s$  تقسیم می‌شوند. هر اسلات زمانی می‌تواند به وسیله گیرنده یا فرستنده برای ارسال و دریافت Burst مورد استفاده قرار گیرد. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود یک SCH Burst از ۶۴ بیت train و تعدادی بیت اطلاعات تشکیل شده است. اطلاعات بیشتر در مورد شبکه GSM در [۲۰] قابل دسترس است.

Information	Training Bits	Information	G
3	39	64	39
3	39	64	39

شکل (۱): نمایش برست‌های SCH [۲۰].

همان‌طور که بیان شد Burst های GSM شامل بیت‌های از پیش

$$D(P, Q) = \int p(z) \log \frac{p(z)}{q(z)} \cdot dz \quad (12)$$

مقدار KLD همواره نامنفی است و تنها برای حالت  $p = q$  برابر صفر است. می‌توان KLD را به صورت امید ریاضی متغیر زیر تفسیر کرد

$$\lambda(z) = \log \frac{p(z)}{q(z)} \quad (13)$$

بنابراین، هر چه میزان  $\lambda(z)$  به صفر نزدیک‌تر باشد یا  $p$  و  $q$  نسبت به هم نزدیک‌تر باشند حاصل KLD کوچک‌تر است. همان‌طور که مشاهده می‌شود آماره KLD یک آماره تحلیلی است و نیاز به دو PDF دارد که به صورت فرم بسته (و نه تجربی) تعریف شده باشند. بنابراین، برای مقایسه توزیع‌های مختلف با داده‌های به دست آمده باید برای داده‌ها یک PDF با فرم بسته در نظر گرفته شود که ما در این تحقیق این PDF را از تخمین kernel به دست می‌آوریم [۱۵].

#### ۴-۳. تخمین کرنل

اگر  $n$  نمونه  $iid$  به صورت  $X_1, X_2, \dots, X_n$  از یک توزیع احتمال  $f(x)$  در اختیار داشته باشیم. تخمین کرنل تابع احتمال این توزیع به صورت زیر است [۱۹].

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - X_i}{h}\right) \quad (14)$$

که در آن،  $K$  تابع توزیع احتمال با شرط  $\int_{-\infty}^{\infty} K(x) dx = 1$  و  $h$  عرض پنجره است همان‌طور که مشاهده می‌شود دقت تخمین کرنل به انتخاب  $K$  و  $h$  بستگی دارد برای مثال اگر  $h$  را کوچک انتخاب کنیم امید ریاضی تخمین کاهش پیدا می‌کند ولی در عوض واریانس تخمین زیاد می‌شود همچنین برعکس این اتفاق با افزایش  $h$  مشاهده می‌شود. می‌توان با معیار MISE که به شکل زیر تعریف می‌شود مقادیر بهینه  $K$  و  $h$  را تخمین زد

$$MISE(\hat{f}) = E \int_{-\infty}^{\infty} \left\{ \hat{f}(x) - f(x) \right\}^2 dx \quad (15)$$

با استفاده از این معیار، مقدار بهینه برای  $h$  به صورت زیر است:

$$h_{opt} = k_2^{-2/5} \left\{ \int K(t)^2 dt \right\}^{1/5} \left\{ \int f''(t) dt \right\}^{-1/5} n^{-1/5} \quad (16)$$

که در آن،  $k_2 = \int t^2 f(t) dt$  و متأسفانه تخمین بهینه  $h$  به تابع توزیع احتمال وابسته است که آن را در اختیار نداریم اما با

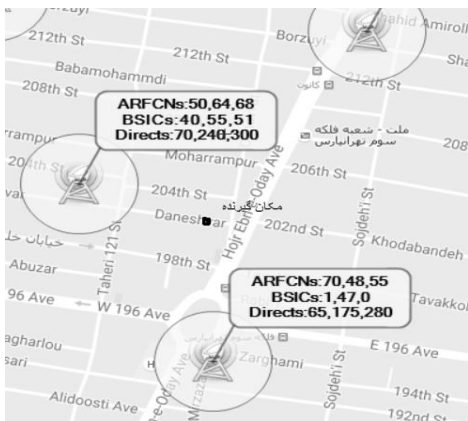
<sup>1</sup> Absolute Radio Frequency Channel Number

همان گونه که در شکل (۴) مشاهده می‌کنیم سیگنال ارسالی معادل بیت‌های train مشخص است ما آن را با  $s_r(n)$  نشان می‌دهیم. همچنین به کمک نرم‌افزار متلب با decode کردن سیگنال دریافتی GSM و ردیابی بیت‌های SCH بعد از مشاهده‌ی FCCH می‌توان سیگنال دریافتی معادل بیت‌های train را به دست آورد که آن را با  $s_r(n)$  نشان می‌دهیم بنابراین، می‌توان کانال را برای بازه فرکانسی که در آن، سیگنال ارسالی صفر نباشد تخمین زد.

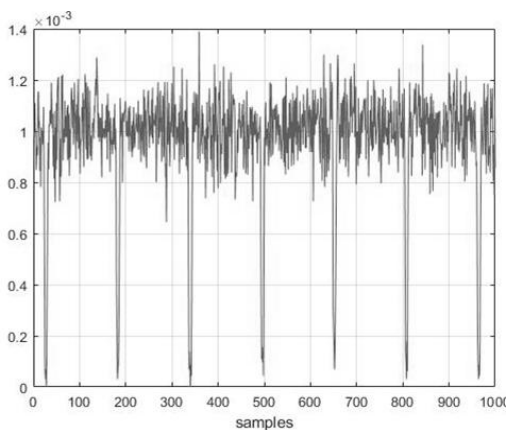
$$s_r(n) = h(n) * s_t(n) \tag{18}$$

$$h(n) = F^{-1} \left\{ S_r(e^{j\omega}) / S_t(e^{j\omega}) \right\}$$

از آنجا که نمونه‌برداری از سیگنال با نرخ  $270.83 \text{ Ks/s}$  صورت گرفته است در تخمین کانال هر تپ کانال معادل با  $1/270.83 \text{ K}$  یا به عبارتی  $3.7 \mu\text{s}$  است. در شکل (۵) محل آزمون‌های انجام شده به همراه مکان BTSهای مورد آزمون مشاهده می‌شود.



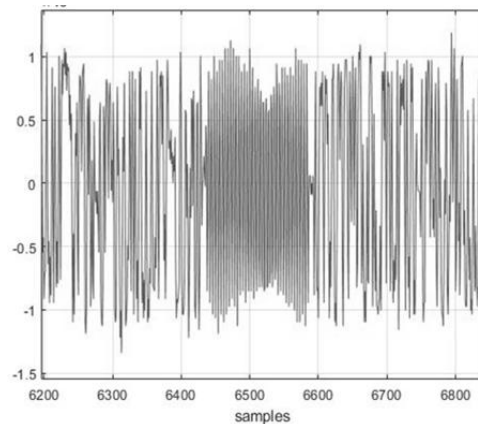
شکل (۳): موقعیت مکانی گیرنده و فرستنده.



شکل (۴): Burstهای متوالی کانال کنترلی شبکه GSM.

مطابق شکل (۵) هر نقطه نشان‌دهنده ۳ BTS با اعداد ARFCN مشخص در ردیف اول است همچنین در ردیف سوم اعداد مربوط

تعیین شده است که معمولاً برای سنکرون‌سازی گیرنده و فرستنده از آن‌ها استفاده می‌شود. برای مثال بلاک‌های FCCH بیت‌های صفر را به‌طور متوالی ارسال می‌کنند که حاصل آن در مدولاسیون GMSK یک پالس سینوسی در باند پایه با فرکانس  $67 \text{ KHz}$  مطابق با شکل (۳) می‌شود.

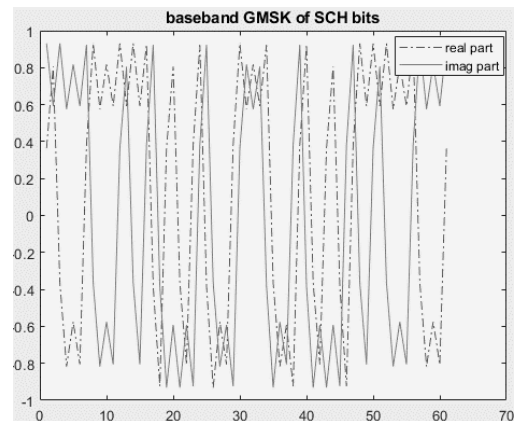


شکل (۲): قسمت حقیقی بخشی از سیگنال باند پایه که شامل FCCH است.

پس از ارسال بلاک FCCH ارسال SCH Burst انجام می‌شود. که در آن ۶۴ بیت train به شرح زیر وجود دارد.

SCHbits = [1, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 0, 1, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0, 1, 1, 1];

سیگنال ارسالی معادل بیت‌های فوق در مدولاسیون GMSK مورد استفاده در سامانه GSM به شکل (۴) است. همچنین های متوالی سیگنال GSM را می‌توان در شکل (۵) مشاهده کرد. لازم به توضیح است که شکل‌های (۲) و (۵) به‌وسیله USRP 210 و با نرخ  $1625k/6$  (معادل  $270.83 \text{ Ksample/s}$  که مطابق استاندارد GSM است) در نرم‌افزار متلب نمونه‌برداری شده‌اند.



شکل (۴): سیگنال ارسالی باند پایه معادل بیت‌های train در مدولاسیون GMSK.

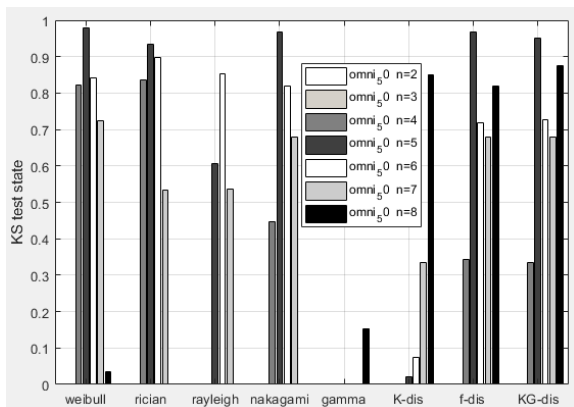
تخمین زده می‌شود و سپس با استفاده از PDF به‌دست‌آمده و داده‌های موجود، سطوح آلفا مطابق [۱۹] برای هر کدام از PDFها محاسبه می‌شود. اگر سطح آلفا برای نتیجه هر آزمون بالاتر از ۵ درصد باشد فرضیه صفر تأیید می‌شود (یعنی PDF در نظر گرفته‌شده بر داده‌ها منطبق است).

جدول (۲) آزمون‌های آماری برای تپ پنجم کانال BTS ۵۰ نشان می‌دهد.

جدول (۲): نتایج GOF برای مدل‌های محوشدگی با معیار ارزیابی A-D و K-S

PDF	A-D	K-S	-20log KLD
Weibull	0.95	0.95	28.8
Raician	0.65	0.65	29.6
Rayleigh	1.7e-5	1.7e-5	20.4
Nakagami	0.66	0.66	26
Gamma	5.06e-5	5.06e-5	15
K	0.95	0.95	18
F	0.65	0.65	24
KG	1.7e-5	1.7e-5	22

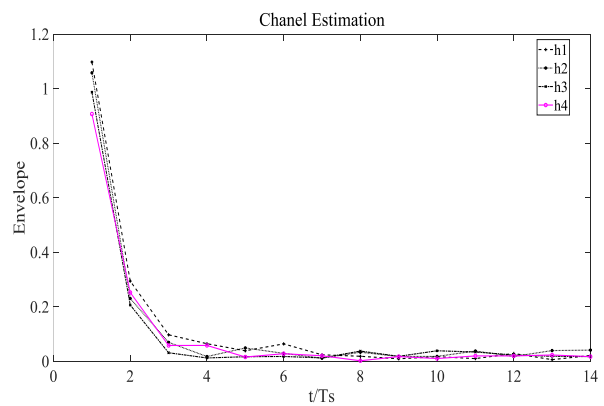
همان‌طور که در نتایج جدول (۲) مشاهده می‌شود تپ پنجم کانال BTS شماره ۵۰ توزیع رایس را با قوی‌ترین سطح آلفا تأیید می‌کند. این نتیجه قابل پیش‌بینی بود، چرا که گیرنده از گلبرگ اصلی آنتن فرستنده در حالت دریافت سیگنال است و کانال نزدیک به رایس است، همچنین تابع توزیع ناکاگامی نیز برای این داده‌ها مناسب به نظر می‌رسید، جهت نمایش بهتر، تخمین کانال شامل ۱۴ تپ است برای مقایسه در شکل زیر سطح آلفا در آزمون K-S برای تپ‌های دیگر در شکل (۹) آورده شده است.



شکل (۹): مقایسه تأخیرهای کانال BTS ۵۰.

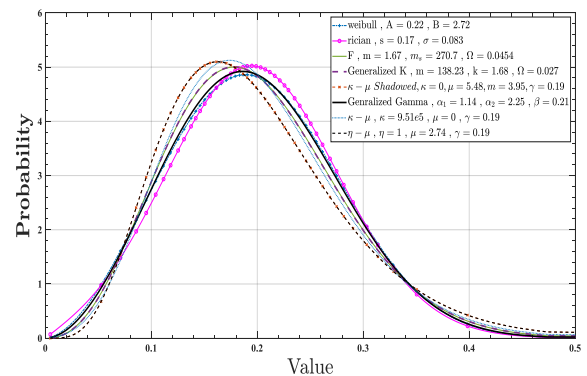
مشاهده می‌شود که تأخیرهای ۲ و ۳ با هیچ‌کدام از PDFهای موجود سازگار نبوده‌اند تأخیر ۴ توزیع‌های رایس و ویبول را تأیید می‌کند تأخیر ۵ تعداد زیادی از توزیع‌ها را تأیید

به زاویه آنتن‌ها تحت عنوان direction آورده شده است این اعداد برحسب درجه و نسبت به شمال نقشه درج شده‌اند. دو BTS با اعداد ARFCN برابر ۵۰ و ۴۸ مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. گیرنده نسبت به BTS شماره ۵۰ تقریباً در mainlobe قرار دارد و نسبت به BTS شماره ۴۸ در backlobe واقع شده است. فرکانس مرکزی فرستنده ۵۰ برابر ۹۴۵ MHz و فرستنده ۴۸ برابر با ۹۴۴.۶ MHz است. در هر دو حالت سیگنال را ضبط کرده و در حدود ۳۰۰۰ بار کانال تخمین زده‌شده است شکل (۷) چهار ensemble از فرایند تصادفی  $|h(n)|$  با ۱۴ تپ نشان داده شده است.



شکل (۷): چهار نمونه تصادفی از فرایند تصادفی اندازه پاسخ کانال.

همان‌طور که در شکل (۷) مشاهده می‌کنیم کانال با ۱۴ تپ تخمین زده می‌شود. در ادامه تمام تپ‌ها با آزمون‌های آماری باهم مقایسه می‌شوند. ابتدا سیگنال BTS شماره ۵۰ که در mainlobe آنتن دریافت شده است را بررسی می‌کنیم. شکل (۸) هیستوگرام داده‌های مربوط به تپ پنجم تخمین کانال را نشان می‌دهد همچنین pdfهای تقریب زده‌شده با روش MLE در کنار تخمین کرنل داده‌ها آورده شده است.



شکل (۸): هیستوگرام تپ پنجم کانال BTS ۵۰.

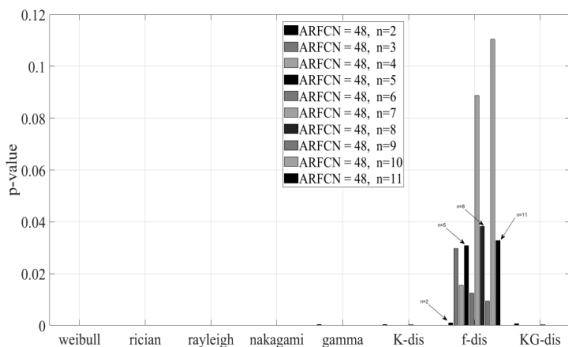
برای مقایسه PDFهای مختلف با روش‌های آماری معرفی شده در شکل (۸) ابتدا با روش MLE پارامترهای هر PDF

بیشتر است. جدول (۳)، آزمون‌های آماری برای تپ هفتم کانال BTS ۴۸ را نشان می‌دهد

**جدول (۳): مقایسه میزان انطباق نمونه‌ها با توابع مختلف.**

PDF	A-D	K-S	-20log KLD
Weibull	1.15e-03	7.98e-05	-15.96
Raician	1.55e-10	2.85e-122	-3.54
Rayleigh	1.45e-10	2.98e-122	-3.54
Nakagami	1.21e-05	1.44e-18	-10.91
Gamma	0.0025	1.02e-4	-18.83
K	0.0028	3.85e-04	-19.20
F	0.215	0.0887	-21.93
GK	0.012	4.11e-04	-19.21

بنابراین، مطابق با جدول (۳) تنها توزیع F با داده‌ها سازگار است برای مقایسه تپ‌های مختلف کانال نمودار میله‌ای شکل (۱۱) آورده شده است، مشاهده می‌شود که میزان انطباق نمونه‌های عملی با توزیع F چشمگیر است که به شکل معنی‌داری نتایج آزمون موفق‌تری نسبت به توزیع‌های دیگر در آن دیده می‌شود.

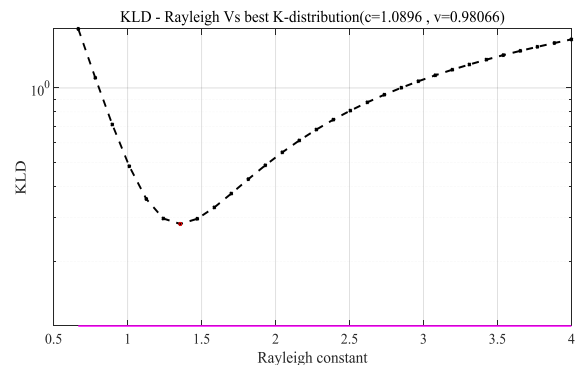


شکل (۱۱): مقایسه تأخیرهای مختلف BTS ۴۸

## ۵. نتیجه‌گیری

در این تحقیق ارزیابی چند مدل محوشدگی رایج در کانال‌های دید غیرمستقیم از جمله K، GK، ریلی، ناکاگامی نوع M و ویبول در حالت بازتابش محدود با آنتن‌های جهتی از لوب پشتی با استفاده از معیارهای ارزیابی KLD، K-S و A-D انجام گرفت. این ارزیابی با استفاده از نمونه‌های عملی حاصل از دریافت سیگنال‌های GSM و بهره‌گیری از داده‌های train در burstهای SCH این سیگنال‌ها برای تخمین کانال‌های شهری استفاده گردید. دو نوع کانال برای مقایسه مورد بررسی قرار گرفت که تفاوت عمده این دو کانال، در زاویه آنتن نسبت به گیرنده بود، به‌گونه‌ای که در آزمایش اول گیرنده در لوب اصلی<sup>۱</sup> فرستنده، بدون محدودیت بازتابش قرار گرفته و در آزمایش دوم در لوب

می‌کند و تأخیر ۸ ام تنها PDFهای F و GK و K را تأیید می‌کند. حال آزمایش دوم با روشی مشابه برای BTS شماره ۴۸ تکرار می‌شود، با این فرض که چون گیرنده در backlobe آنتن فرستنده قرار دارد و موج دریافتی عموماً پس از برخورد و انعکاس از موانع به گیرنده می‌رسد باید ماهیتی متفاوت با آزمایش قبل داشته باشد.



شکل (۱۰): مقایسه توزیع‌های رایلی و K برای تأخیر ۷ ام BTS ۴۸.

جهت نمایش بهتر انحراف مدل محوشدگی نمونه‌ها از ریلی، در شکل (۱۰) تطبیق دو توزیع ریلی و K برای تپ هفتم تخمین کانال BTS شماره ۴۸ باهم مقایسه شده‌اند. نمودار افقی نشان‌دهنده ثابت ریلی و نمودار عمودی نشان‌دهنده مقدار آماره KLD برای PDF حاصل از همان ثابت ریلی هست. دیده می‌شود که بهترین تطبیق با داده‌ها برای ثابت ریلی برابر با ۱/۵ حاصل می‌شود. با این حال خط مشکی آماره KLD برای توزیع K با مقادیر پارامترهای  $c = 1.0896, v = 0.9806$  دارای آماره KLD کمتر و لذا تطبیق بهتری دارد. بنابراین، می‌توان این کانال را به‌عنوان کانال منحرف‌شده از ریلی در نظر گرفت. در ادامه در جدول (۳) آزمون‌های آماری مربوط به تپ هفتم کانال آورده شده است. مشابه آزمایش قبل، سطح آلفای بیش از ۵ درصد به معنی تأیید تطبیق توزیع مورد نظر فرض می‌شود. مطابق با این جدول هر سه معیار، موید این مطلب هستند که توابع F، GK، K و گاما به ترتیب بهترین تطبیق را با نمونه‌های عملی داشته‌اند. اما آنچه مشخص است، آن است که میزان P-Value برای تابع F بسیار بالاتر از بقیه توابع است که در این مقاله نشان داده شده است. این بدین مفهوم است که در بسیاری از کاربردهای مختلف مخابراتی، در صورتی که گیرنده از گلبورگ پشتی آنتن فرستنده، سیگنال را دریافت کند و چگالی سیگنال برگشتی در محل گیرنده کم باشد، مدل محوشدگی مورد استفاده در گیرنده‌های SC می‌تواند مدل محوشدگی F باشد، و بدین ترتیب می‌توان محوشدگی را به میزان قابل توجهی جبران کرد. در این حالت انحراف مدل مذکور از ریلی از تمامی مدل‌های

<sup>۱</sup> Mainlobe



- [8] P. M. Shankar, "A general statistical model for ultrasonic backscattering from tissues," *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control*, vol. 47, no. 3, pp. 727–736, 2000.
- [9] T. Eltoft, "The Rician inverse Gaussian distribution: a new model for non-Rayleigh signal amplitude statistics," *IEEE Transactions on Image Processing* 14.11, pp. 1722-1735, 2005.
- [10] J. Malhotra, A. K. Sharma, and R. S. Kaler, "On the performance analysis of wireless receiver using generalized-gamma fading model," *annals of telecommunications-Annales des télécommunications* 64.1-2, pp. 147-153, 2009.
- [11] P. Beckmann, "Rayleigh distribution and its generalizations," *Radio Science Journal of Research NBS/USNC-URSI*, vol. 66D, no. 3, pp. 231–240, 1964.
- [12] E. Jakeman, "Speckle statistics with a small number of scatterers," *Opt. Eng.*, vol. 23, no. 4, pp. 453–461, 1984.
- [13] E. Jakeman and P. N. Pusey, "A model for a non-Rayleigh sea echo," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. AP-24, pp. 806-814, Nov. 1976.
- [14] G. V. Weinberg and V. G. Glenny, "Optimal Rayleigh Approximation of the K-Distribution via the Kullback–Leibler Divergence," in *IEEE Signal Processing Letters*, vol. 23, no. 8, pp. 1067-1070, Aug. 2016.
- [15] G. V. Weinberg, "Error bounds on the Rayleigh approximation of the K-distribution," *IET Signal Processing* 10, no. 3, pp. 284-290, 2016.
- [16] A. Abdi and M. Kaveh, "Comparison of DPSK and MSK bit error rates for K and Rayleigh-lognormal fading distributions," *IEEE Communications Letters*, vol. 4, no. 4, pp. 122-124, 2000.
- [17] L. Tong, G. Xu, and T. Kailath, "Blind identification and equalization based on second-order statistics: A time domain approach," *IEEE Transactions on information Theory*, vol. 40, no. 2, pp. 340-349, 1994.
- [18] S. K. Yoo, et al., "The Fisher–Snedecor  $F$  Distribution: A Simple and Accurate Composite Fading Model," *IEEE Communications Letters*, vol. 21, no. 7, pp. 1661-1664, 2017.
- [19] D. Agostino and B. Ralph, "Goodness-of-fit-techniques," vol. 68, CRC press, 1986.
- [20] G. ETSI, 05.02, Digital cellular telecommunications system (Phase 2), Multiplexing and multiple access on the radio path, Sep. 1994.

پشتی با محدودیت بازتابش قرار گرفته بود. نتایج آزمون‌های آماری که با روش‌های مختلف GOF انجام شده است تأیید کننده این موضوع است، که کانال اول را می‌توان با توزیع‌های کلاسیک بیان شده برای کانال‌های محوشدگی شهری نظیر رایس، ناکاگامی، ریلی و ویبول تا حد خوبی مدل کرد اما در حالت لوب پشتی، به علت تغییر شرایط کانال و کمتر شدن مسیرهای غیرمستقیم نسبت به حالت اول و ضعیف‌تر شدن مسیرهای دیدمستقیم دیگر قادر نیستیم با توزیع‌های بیان‌شده کانال را مدل کنیم و در بین توزیع‌های معرفی‌شده در این تحقیق تا حدی توزیع K مطابقت داشت، اما مطابقت توزیع F با این نوع داده‌ها چشمگیر و عملکرد نسبتاً بهتر این مدل ارائه گردید، این تفاوت معنا دار، عملکرد بهتر مدل F را نسبت به تمامی مدل‌های دیگر نشان می‌دهد.

## ۶. مراجع

- [1] S. K. Marvin and M.-S. Alouini, "Digital communication over fading channels," John Wiley & Sons, vol. 95, 2005.
- [2] G. L. Turin, W. S. Jewell, and T. L. Johnston, "Simulation of urban vehicle-monitoring systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 21, no. 1, pp. 9-16, 1972.
- [3] H. Suzuki, "A statistical model for urban radio propagation," *IEEE Transactions on communications*, vol. 25, no. 7, pp. 673-680, 1977.
- [4] R. Ganesh and K. Pahlavan, "On the modeling of fading multipath indoor radio channels," In *Global Telecommunications Conference and Exhibition' Communications Technology for the 1990s and Beyond'(GLOBECOM)*, 1989 IEEE, pp. 1346-1350, 1989.
- [5] W. Wang, J. Y. Xiong, and Z. L. Zhu, "A new NLOS error mitigation algorithm in location estimation," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 54, no. 6, pp. 2048–2053, Nov. 2005.
- [6] S. Al-Ahmadi and H. Yanikomeroglu, "On the approximation of the generalized-K distribution by a gamma distribution for modeling composite, fading channels," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 9, no. 2, pp. 706–713, 2010.
- [7] S. Suljović, et al., "Level crossing rate of SC receiver over gamma shadowed Weibull multipath fading channel," *Tehnički vjesnik* 23.6, pp. 1579-1584, 2016.

## **Fading Model Deviation in the NLOS Channel at Limited Reflection**

**Z. Hasanshahi, P. Azmi<sup>\*</sup>, M. Khaje zade**

**Tarbiat Modares University**

(Received: 16/10/2018, Accepted: 20/07/2019)

### **Abstract**

*Statistical models are employed to represent both clutter characteristics and reflecting signals in the radar and telecommunication receivers. Rayleigh distribution is the simplest fading model in NLOS channels whose accuracy is lower than required in high-resolution radars and distant telecommunication receivers. At present, high accuracy models such as the  $m$ -type Nakagami and hybrid  $K$  and  $GK$  distributions are utilized in order to model fading. Although in NLOS channels, Non-Rayleigh models have better precision than Rayleigh models, the accuracy of these models decreases when the radiation angle in the transmitter and the reflection angle in the receiver are different. Whilst the  $K$  model has previously been introduced to describe the clutter properties of the radar, in this paper both  $K$  and  $F$  distribution functions are analytically introduced and deployed to model the fading using practical data.*

**Keywords:** NLOS Channel, Non-Rayleigh Fading, Limited Reflection

---

<sup>\*</sup> Corresponding author E-mail: pazmi@modares.ac.ir