دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی

عنوان:

مدولاسیون DCSK

(Differentially chaos shift keying)

استاد راهنما: دکتر محمد مصطفوی

نگارش: امیرحسین عباسیان

۹۲۴۴۶۲۱۶

تیر ۹۷

تقدیم به

پدر و مادر عزیز و مهربانم

که در سختی‌ها و دشواری‌های زندگی همواره یاوری دلسوز و فداکار و پشتیبانی محکم و مطمئن برایم بوده‌اند.

همچنین از استاد عزیزم که همچون معلمی دلسوز و مهربان درس زندگی به من آموخت تشکر و قدردانی می‌کنم و همچنین از خداوند منان برای استاد عزیزم عمر باعزت و طول عمر را خواهانم.

همچنین جا دارد از تمام کسانی که در انجام این پروژه مرا یاری کردند تشکر کنم.

فهرست مطالب

مقدمه کلی:............ ۱
ویژگی های آشوب:............ ۳
اصول سیستم های ارتباطی DCSK:............ ۴
سیستم CSK:............ ۵
دمدولاسیون منسجم CSK:............ ۶
آنتیپُدالCSK:............ ۷
سیستم DCSK:............ ۹
تاریخچه ی توسعه ی سیستم های مبتنی بر DCSK:............ ۱۶
انواع DCSK:............ ۱۶
FM-DCSK:............ ۱۶
QCSK:............ ۱۹
M-ary DCSK:............ ۲۰
DDCSK:............ ۲۹
شبیه سازی:............ ۳۲
بحث و نتیجه گیری:............ ۳۵
مراجع............ ۳۷

دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق

فهرست اشکال

شکل ۱. بلوک دیاگرام دمدولاتور csk غیرمنسجم براساس تخمین زدن انرژی بیت..۸
شکل ۲. بلوک دیاگرام یک سیستم مخابراتی DCSK تک کاربر معمولی.. ۹
شکل ۳. دنباله‌های DCSK تابع‌های خود همبستگی و همبستگی متقابل نرمالیزه شده. پارامتر $\beta = 128$ استفاده شده است..۱۰
شکل ۴.بلوک دیاگرام آشکارساز GML برای کاربر k_اُم در یک سیستم MA-DCSK........................... ۱۲
شکل ۵. منحنی‌های نرخ خطای بیت سیستم MA-DCSK، سیستم MA-CSK و CDMA روی یک کانال محو شدگی ناکاگامی چندمسیره..۱۴
شکل ۶. بلوک دیاگرام فرستنده در یک سیستم FM-DCSK... ۱۷
شکل ۷. فرمت‌های سیگنال FM-DCSK و IFM-DCSK.. ۱۷
شکل ۸. بلوک دیاگرام یک سیستم مخابراتی QCSK معمولی..۱۹
شکل ۹. منحنی‌های نرخ خطای بیت سیستمهای M-ary DCSK بر مبنای کد وَلش روی یک کانال محوشدگی ناکاگامی چندمسیره.. ۲۲
شکل ۱۰. منحنی نرخ خطای بیت سیستم M-ary Q-DCSK1 و سیستم MPSK-DCSK روی یک کانال محوشدگی ناکاگامی چندمسیره..۲۴
شکل ۱۱. منحنی‌های نرخ خطای بیت سیستم CS-DCSK و سیستم DCSK معمولی روی یک کانال محوشدگی ناکاگامی چندمسیره. ۲۷
شکل ۱۲. منحنی‌های نرخ خطای بیت سیستم CS-DCSK با مرتبههای کد وَلش متفاوت روی یک کانال محوشدگی چندمسیره. ۲۷
شکل ۱۳. یک مثال از استراتژی انتقال در یک سیستم MA-DDCSK دو کاربر میباشد..........................۳۱
شکل ۱۴. منحنی‌های نرخ خطای بیت سیستم MA-DDCSK و سیستم MA-DCSK روی یک کانال محوشدگی ناکاگامی چندمسیره. ۳۲
شکل ۱۵. منحنی‌های سیستم DCSK و سیستم PAM بدون اثر Fading با N=256........................... ۳۳
شکل ۱۶. منحنی‌های سیستم DCSK و سیستم PAM با اثر Fading با N=256.............................. ۳۳
شکل ۱۷. منحنی‌های سیستم DCSK و سیستم PAM بدون اثر Fading با N=128........................... ۳۴
شکل ۱۸. منحنی‌های سیستم DCSK و سیستم PAM با اثر Fading با N=128.............................. ۳۴
شکل ۱۹. منحنی‌های سیستم DCSK و سیستم PAM بدون اثر Fading با N=64..............................۳۵
شکل ۲۰. منحنی‌های سیستم DCSK و سیستم PAM با اثر Fading با N=64.............................. ۳۵

مقدمه کلی:

تعریف مدولاسیون و دومدولاسیون:

مدولاسیون در یک تعریف خاص یعنی قرار دادن سیگنال اطلاعات بر روی سیگنال دیگر به نام کاریر برای انتقال سیگنال اطلاعات می‌باشد.

در فرستنده سیگنال اطلاعات بر روی سیگنال کاریر که فرکانس آن باید بسیار بیشتر از فرکانس پیام باشد قرار می‌گیرد که به این عمل مدولاسیون گفته می‌شود و همینطور در گیرنده لازم است که این دوجز یعنی سیگنال پیام و کاریر از هم جدا شوند و سیگنال اطلاعات استخراج شود که به این عمل دمدولاسیون گفته می‌شود.

اهمیت مدولاسیون امروزه بر ما پوشیده نیست و در مخابرات آنالوگ و دیجیتال نیز کاربردهای بسیار زیادی دارند، مدولاسیون برپایه ی دو نوع آنالوگ و دیجیتال است که امروزه آنالوگ نسبت به دیجیتال کاربرد بسیار کمتری دارد و جای خود را به مدولاسیون دیجیتال داده است.

در چند سال اخیر ما شاهد یک پیشرفت و گسترش فوق العاده در زمینه خطوط قدرت مخابراتی[1] (PLC) برای تحقق شبکه های هوشمند بوده‌ایم. باوجود اینکه فرکانس موجود در خطوط قدرت برای انتقال سیگنال‌های مخابراتی فرکانس بالا کافی نبود، هر مخابره یا انتقال پیام روی این خطوط در معرض عواملی مثل تداخل، نویزهای پالسی و فازی قرار میگرفت. به خاطره اهمیت استفاده از انتقال دیتا در خطوط قدرت و برای غلبه برای عوامل بالا ما در این پروژه می‌خواهیم از یک مدولاسیون قوی و مقاوم در برابر این عوامل طرح کنیم و انگیزه را در این زمینه برای تحقیقات بیشتر ایجاد کنیم.

در این مقاله ما می‌خواهیم مدولاسیون بر پایه آشوب (DCSK)[2] را مطرح کنیم، در ابتدا یک سری از ویژگی‌های بارز در این مدولاسیون را مطرح خواهیم کرد و سپس به توضیح و تشریح مدولاسیون و دمدولاسیون (CSK) و (DCSK) وبررسی نقاط ضعف و قوت آن ها، انواع مدولاسیون های(DCSK)،

1-Power Line Communication
2-Differential Chaos Shift Keying

بررسی اصول اساسی سیستم های ارتباطی مبتنی بر (DCSK)، بررسی پیشرفت پژوهش در بهبود ساختار (DCSK)، توسعه مدولاسیون های مبتنی بر (DCSK)در سیستم‌های مخابراتی بی‌سیم، طراحی مشترک (DCSK) و دیگر تکنیک های مهم در مخابرات بی سیم توضیح داده شده است و در آخر به شبیه سازی و بحث و نتیجه گیری خواهیم پرداخت. از جمله ویژگی‌های این مدولاسیون آشوب این است که سیگنال های آشوب ناپایدار و غیرپریودیک هستند و آن ها را به طور طبیعی برای شناسایی و پیش‌بینی سخت‌تر می‌کند.

این مدولاسیون مقاوم در برابر نویز های پالسی و فازی می‌باشد و همیچنین مقاوم در برابر محوشدگی های چندمسیره و نیز مقاوم در برابر اغتشاشات خطی و غیرخطی و خطاهای همگام سازی و زمان‌بندی می‌باشد. درآخر بهبود سریع از محوشدگی و اغتشاشات شدید می‌باشد. به خاطر همین ویژگی‌ها و مزیت‌های خوب این مدولاسیون آن را برای انتقال دیتا در خطوط قدرت انتخاب کردیم این سیستم معایبی نیز دارد همانطور که گفتیم در بیشتر موارد برای انتقال سیگنال به فرکانس بسیار بالاتر از ۵۰ هرتز لازم است وعلاوه بر این به‌دلیل داشتن فرکانس بالا در کاریرها ترانسفورماتورها به راحتی می‌توانند سیگنال کاریر را فیلتر کنند، مهم تر از همه ی این ها تداخل ناشی از منابع خارجی به خطوط می‌باشد مثل دستگاه‌های سوئیچینگ و لوازم خانگی سیگنال دریافت شده را به طور کامل(undecodeable) می‌کند. این انتقال خطوط قدرت مخابراتی یک پلت‌فرمی است که می‌تواند دسترسی به شبکه‌ی اینترنت را درمناطق دورافتاده و پرجمعیت به آسانی فراهم آورد.

سیگنال های آشوب محدود، غیرپریودیک و تصادفی هستند همانند سیگنال‌هایی که از سیستم‌های دینامیکی غیرخطی یقینی تولید می‌شوند. در این قسمت می‌خواهیم به یک سیستم دینامیکی زمان گسسته بپردازیم تا تولید سیگنال‌های آشوب را درک کنیم. متغیرهای حالت سیستم در فواصل زمانی مشخص نمونه‌گیری می‌شوند و سیستم دینامیکی به وسیله‌ی رابطه‌ی $x_n=f(x_{n-1},\mu)$ توصیف می‌شود که در این فرمول x_n بردار متغیرهای حالت نمونه گیری شده در n امین لحظه نمونه برداری است و $f(.)$که تابع

تکرارکننده است که سیستم دینامیکی را توصیف می‌کند و μ نیز بردار پارامترها است که بر پویایی سیستم اثر می‌گذارد.

ویژگی‌های آشوب:

۱- سیگنال‌های آشوب معمولا دارای باند پهن، شبه نویز و دشوار برای پیش‌بینی می‌باشند.

۲- سیگنال‌های آشوب خیلی حساس به شرایط اولیه هستند به طوری که با تغییر شرایط اولیه از لحاظ تئوری یک تعداد بسیار زیاد سیگنال آشوب ناهمبسته می‌تواند تولید بشود.

۳- پیش‌بینی رفتار طولانی مدت سیگنال‌های آشوب غیرممکن است.

۴- برای شرایط داده شده یا کنترل پارامترها، آشوب به طور کامل خودش تولید می‌شود. برای تولید هیچ نیازی به نویز خارجی یا متغیر تصادفی نیست.

۵- سیگنال های آشوب در یک رنج محدود، محدود هستند.

همانطور که قبلا گفته شده سیگنال‌های آشوب دارای خواص باند پهن، غیر پریودیک و غیرقابل پیش بینی در مدت زمان طولانی می‌باشد و از این جهت برای ارتباطات طیف گسترده مناسب می‌باشند.

سیگنال‌های آشوب همه مزایای سیگنال‌های طیف گسترده را دارند مثل کاهش محوشدگی‌های چندگانه، ضدپارازیت بودن، حذف تداخل ناشی از استفاده کننده ها، داشتن ارتباطات ایمن و غیره. علاوه بر این سیگنال های آشوب با استفاده از مدارات خیلی ساده می‌تواند تولید بشود. برخلاف مولد شبه تصادفی، سیستم آشوب یک تعداد بسیار زیاد سطوح آنالوگ دارد و از این جهت سیگنال آشوب هرگز خودش تکرار نمی‌شود، ارتباطات بر پایه‌ی آشوب نیازی به مدارات اضافی گسترده و غیرگسترده ندارند. بنابراین پیشنهاد آشوب جایگزین پتانسیل دار از نظر صرفه اقتصادی برای ارتباطات طیف گسترده می‌باشد.

تکنیک‌های مدولاسیون دیجیتال آشوب:

در تکنیک‌های مدولاسیون دیجیتال آشوبی از سیگنال‌های آشوب به عنوان کاریر(حامل) استفاده می‌کنند به طور خاص، اطلاعات دیجیتالی بر روی سیگنال آشوب قرار داده می‌شوند. از آنجایی که کاریر آشوبی

غیرپریودیک است، تابع نمونه برای هر سمبل متفاوت است. بنابراین، شکل موج ارسال شده هرگز متناوب نخواهد بود، حتی اگر همان سمبل دوباره ارسال شود.

در سیستم های ارتباطات آشوبی، حالت های آشکارسازی می تواند به طور گسترده‌ای به دو دسته طبقه بندی شود: آشکارسازی منسجم وغیرمنسجم. سیستم‌های منسجم به کاریر آشوب استفاده شده در مدوله کردن اطلاعات نیاز دارند تا در گیرنده دوباره تولید بشوند. از طریق یک فرآیند سنکرون‌سازی، کاریر آشوبی دقیقا از سیگنال رسیده شده بازیافت می‌شود، همچنین برای شرایط سیگنال به نویز مورد نیاز، سنکرون-سازی آشوب قدرتمند هنوز به طور عملی غیر ممکن است. بنابراین، تولید دوباره‌ی دقیق سیگنال کاریر آشوب به عنوان یک چالش بزرگ برای پیاده‌سازی سیستم‌های منسجم آشوب باقی می‌ماند.

سیستم‌های غیرمنسجم به کپی دقیق سیگنال‌های آشوبی و سنکرون‌سازی آشوب در گیرنده نیاز ندارند. و از این رو بیش‌تر در سیستم‌های عملی نشان و استفاده می‌شوند. در سال های اخیر، طرح های متنوع مدولاسیون دیجیتال آشوبی ارائه شده است که در این بین به دونوع مدولاسیون (CSK)[1] و (DCSK) خواهیم پرداخت در ادامه نیز می‌خواهیم تکنیک‌های مدولاسیون و دمدولاسیون را برای این دو حالت بررسی کنیم.

اصول سیستم های ارتباطی DCSK:

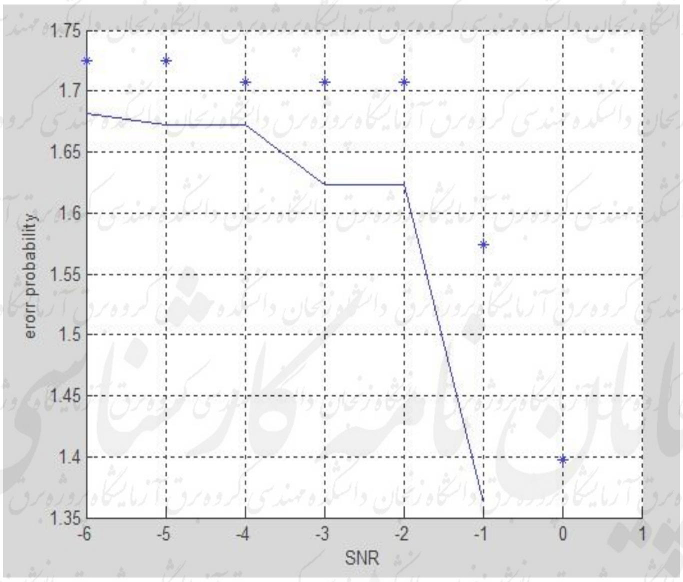
به‌عنوان یک طرح معمول آشوب، CSK ابتدا توسط Dedieu [۱] ارائه شده است، به‌عنوان پایه اساسی درDCSK در نظر گرفته شده است. مهم‌تر از همه این است که این می‌تواند یک محک برای ارزیابی عملکرد مدولاسیون های دیگر آشوب مانند DCSK و انواع آن باشد. به همین دلیل، اصول کار CSK در ابتدا معرفی شده است. سپس دانش پایه‌ی DCSK همراه با مدل های کانال که تحت آن سیستم DCSK مورد توجه قرار می‌گیرد ارائه می‌شود. پس از آن مشارکت های اصلی در زمینه‌ی سیستم های ارتباطی مبتنی بر DCSKخلاصه شده است.

---

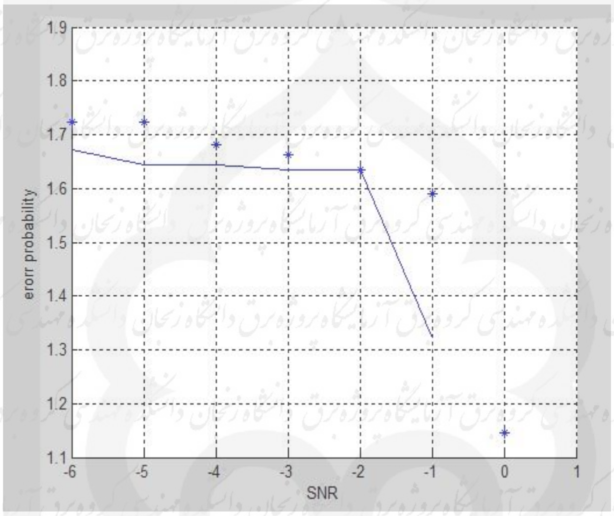
[1]-Chaos Shift Keying

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.



شکل ۱۹. منحنی‌های سیستم DCSK و سیستم PAM بدون اثر Fading با N=64.



شکل ۲۰. منحنی‌های سیستم DCSK و سیستم PAM با اثر Fading با N=64.

بحث و نتیجه‌گیری:

طبق شکل‌های فوق که نتایج شبیه سازی دو سیستم DCSK و PAM در دو محیط Fading و بدونFading می‌باشد که (*) PAM و (____) DCSK می‌باشد همانطور که از شکل ها معلوم است در محیط بدون Fading عملکرد خطای دو سیستم خصوصا در مقادیر Nهای بالاتر تقریبا برابر است ولی درون محیط‌های با Fading عملکرد خطای DCSK بهتر از سیستم PAM مخصوصا در مقادیرNهای بالاتر می‌باشد که این نشان می‌دهد سیستم DCSK در محیط‌های Fading و نویزی مقاوم است عملکرد

خطا را بهبود داده است پس بنابراین این مدولاسیون می‌تواند کاندیدای مناسبی برای خطوط قدرت مخابراتی (PLC) که محیط نویزی و دارای Fading است باشد و بتوان از این خطوط قدرت جهت انتقال دیتا با سرعت بالاتر بهره برد. مدولاسیون DCSK حتی انگیزه برای تحقیقات بیشتر در این زمینه را فرآهم کرده است به‌طوری‌که در بیست سال گذشته بسیار مورد توجه طراحان قرار گرفته است.

مراجع

[۱] H. Dedieu, M. P. Kennedy, and M. Hasler, "Chaos shift keying: modulation and demodulation of a chaotic carrier using self-synchronizing Chua's circuits," IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, vol. 40, no . ۱۰, pp. 634-642, 1993.

[۲] Y. Fang, G. Han, P. Chen, F. C. M. Lau, G. Chen, and L. Wang, "A Survey on DCSK-Based Communication Systems and Their Application to UWB Scenarios," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 18, no. 3, pp. 1804-1837, 2016.

[۳] L. O. Chua, Y. Tao, Z. Guo-Qun, and W. Chai Wah, "Synchronization of Chua's circuits with time-varying channels and parameters," IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, vol. 43, no. 10, pp. 862-868, 1996.

[۴] F Jiuchao, C. K. Tse, and F. C. M. Lau, "A neural-network-based channel-equalization strategy for chaos-based communication systems," IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, vol. 50, no. 7, pp. 954-957, 2003.

[۵] C. Tse and F. Lau, "Chaos-based digital communication systems," Operating Principles, Analysis Methods and Performance Evaluation (Springer Verlag, Berlin, 2004), 2003.

[۶] A. Kumar, "Differential Chaos Shift Keying Modulation for Cooperative and Spatial Diversity Communication Systems," 2015.

[۷] G. Kolumbán, B. Vizvári, W. Schwarz, and A. Abel, "Differential chaos shift keying: A robust coding for chaos communication," in Proc. NDES, 1996, vol. 96, pp. 87-92.

[۸] Y. Xia, C. Tse, and F. C.-M. Lau, "Performance of differential chaos-shift-keying digital communication systems over a multipath fading channel with delay spread," IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, vol. 51, no. 12, pp. 680-684, 2004.

[۹] G. Kolumban, M. P. Kennedy, Z Jákó, and G. Kis, "Chaotic communications with correlator receivers: theory and performance limits," Proceedings of the IEEE, vol. 90, no. 5, pp. 711-732, 2002.

[۱۰] S. G. Tzafestas, Walsh functions in signal and systems analysis and design. Van Nostrand Reinhold Company, 1985.

[۱۱] G. Kolumbán, G. Kis, F. C.-M. Lau, and C. K. Tse, "Optimum noncoherent FM-DCSK detector: Application of chaotic GML decision rule," in Circuits and Systems, 2004. ISCAS'04. Proceedings of the 2004 International Symposium on ,۲۰۰۴ ,vol. 4, pp. IV-597: IEEE.

[۱۲] F. C.-M. Lau, M. Yip, C. Tse, and S. Hau, "A multiple access technique for differential chaos shift keying," in Circuits and Systems, 2001. ISCAS 2001. The 2001 IEEE International Symposium on, 2001, vol. 3, pp. 317-3 :۲۰IEEE.

[۱۳] Z. Zhou, J. Wang, and Y. Ye, "Exact BER analysis of differential chaos shift keying communication system in fading channels," Wireless personal communications, vol. 53, no. 2, pp. 299-310, 2010.

[۱۴] H. Li, X. Dai, and P. Xu, "A CDMA based multiple-access scheme for DCSK," in Emerging Technologies: Frontiers of Mobile and Wireless Communication, 2004. Proceedings of the IEEE 6th Circuits and Systems Symposium on, 2004, vol. 1, pp. 313-316: IEEE.

[۱۵] W. Xu, L. Wang, and G. Chen, "Performance of DCSK cooperative communication systems over multipath fading channels," IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 58, no. 1, pp. 196-204, 2011.

[۱۶] G. Kaddoum, F. Gagnon, P. Chargé, and D. Roviras, "A generalized BER prediction method for differential chaos shift keying system through different communication channels," Wireless Personal Communications, vol. 64, no. 2, pp. 425-437, 2012.

[۱۷] S. Mandal and S. Banerjee, "Performance of differential chaos shift keying over multipath fading channels," in Proc. Indian Nat. Conf. Nonlinear Systems and Dynamics, 2003, pp. 1-4.

[۱۸] T. Eng and L. B. Milstein, "Coherent DS-CDMA performance in Nakagami multipath fading," IEEE Transactions on Communications, vol. 43, no. 234, pp. 1134-1.۱۹۹۵ ,۱۴۳

[۱۹] Y. Lee and M.-H. Tsai, "Performance of decode-and-forward cooperative communications over Nakagami-$ m $ fading channels," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 58, no. 3, pp. 1218-1228, 2009.

[۲۰] J. M. Moualeu, W. Hamouda, H. Xu, and F. Takawira, "Multi-Relay Turbo-Coded Cooperative Diversity Networks Over Nakagami-$ m $ Fading Channels," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 62, no. 9, pp. 4458-4470, 2013.

[۲۱] Y. Fang, L. Wang, P. Chen, J. Xu, G. Chen, and W. Xu, "Design and analysis of a DCSK-ARQ/CARQ system over multipath fading channels," IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 62, no. 6, pp. 1637-1647, 2015.

[۲۲] W. Xu, L. Wang, and G. Chen, "Performance analysis of the CS-DCSK/BPSK communication system," IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 61, no. 9, pp. 2624-2633, 2014.

[۲۳] Y. Fang, J. Xu, L. Wang, and G. Chen, "Performance of MIMO relay DCSK-CD systems over Nakagami fading channels," IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers, vol. 60, no. 3, pp. 757-767, 2013.

[۲۴] Y. Fang, L. Wang, and G. Chen, "Performance of a multiple-access DCSK-CC system over Nakagami-$ m $ fading channels," arXiv preprint arXiv:1304.7966, 2013.

[۲۵] G. Kolumban ,M. P. Kennedy, G. Kis, and Z. Jako, "FM-DCSK: A novel method for chaotic communications," in Circuits and Systems, 1998. ISCAS'98. Proceedings of the 1998 IEEE International Symposium on, 1998, vol. 4, pp. 477-480: IEEE.

[۲۶] Z. Galias and G. M. Maggio" ,Quadrature chaos-shift keying: theory and performance analysis," IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, vol. 48, no. 12, pp. 1510-1519, 2001.

[۲۷] G. Kaddoum, E. Soujeri, C. Arcila, and K. Eshteiwi, "I-DCSK: An improved noncoherent communication system architecture," IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, vol. 62, no. 9, pp. 901-905, 2015.

[۲۸] G. Kolumbán and G. Kis, "Reception of M-ary FM-DCSK signals by energy detector," Proc. NDES'03 ,pp. 133-136, 2003.

[۲۹] G. Kis, "Performance analysis of chaotic communications systems," 2003.

[۳۰] S. Wang and X. Wang, "$ M $-DCSK-based chaotic communications in MIMO multipath channels with no channel state information," IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, vol. 57, no. 12, pp. 1001-1005, 2010.

[۳۱] L. Wang, G. Cai, and G. R. Chen, "Design and performance analysis of a new multiresolution $ M $-ary differential chaos shift keying communication system," IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 14, no. 9, pp. 5197-5208, 2015.

[۳۲] W. Xu, L. Wang, and G. Kolumbán, "A novel differential chaos shift keying modulation scheme," International journal of Bifurcation and chaos, vol. 21, no. 03, pp. 799-814, 2011.

[۳۳] G. Kaddoum and F. Gagnon, "Design of a high-data-rate differential chaos-shift keying system," IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, vol. 59, no. 7, pp. 448-452, 2012.

[۳۴] W. M. Tam, F. C. Lau, and K. T. Chi, Digital communications with chaos: multiple access techniques and performance. Elsevier, 2010.

[۳۵] P. Chen, L. Wang, and G. Chen, "DDCSK-Walsh coding: A reliable chaotic modulation-based transmission technique," IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, vol. 59 ,no. 2, pp. 128-132, 2012.

[۳۶] H. Leib, "Data-aided noncoherent demodulation of DPSK," IEEE transactions on communications, vol. 43, no. 234, pp. 722-725, 1995.

[۳۷] G. Kolumbán, Z. Jákó, and M. P. Kennedy, "Enhanced versions of DCSK and FM-DCSK data transmission systems," in Circuits and Systems, 1999. ISCAS'99. Proceedings of the 1999 IEEE International Symposium on, 1999, vol. 4, pp. 475-478: IEEE.