ارائهٔ روش‌های جدید الگوی چینش پایلوت به‌منظور بهبود عملکرد سامانه DVB-T

بهاره خسروانی و سعید قاضی مغربی*

دانشکده برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری، تهران، ایران

چکیده

یکی از بلوک‌های مهم در سامانه DVB-T، بلوک OFDM است. در بلوک OFDM، پایلوت‌ها، تخمین کانال و روش‌های درون‌یابی نقش کلیدی دارند. تعداد پایلوت‌ها در هر سبل OFDM در الگوهای مختلف پایلوت‌ها متفاوت است. در این مقاله روش‌های الگوی چینش پایلوتی جدیدی ارائه شده تا با استفاده از سه پارامتر احتمال خطا، زمان محاسباتی و تعداد پایلوت‌ها عملکرد سامانه DVB-T بهبود یابد. در این پژوهش بهبود عملکرد با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی دوبعدی بررسی شده است. بدیهی است تمام اهداف موردنظر در یک الگو برآورده نمی‌شود؛ یعنی به‌طور مثال ممکن است، خطا کمتر، اما تعداد پایلوت بیشتر شده باشد؛ بنابراین الگویی را باید پذیرفت که مطابق با هدف مورد نظر باشد. در این پژوهش شش روش درون‌یابی دوبعدی linear, Nearest-neighbor, spline, Cubic Hermite, cosine و low pass استفاده شده و سه الگوی جدید برای پایلوت‌ها پیشنهاد شده که این سه الگو با الگوهای متداول DVB-T برای چهار کانال مختلف بررسی و برای هر کانال سی روش درون‌یابی آزمایش شده است. چهار کانال استفاده شده عبارتند از کانال سامانه OFDM با نوفه AWGN و سامانه OFDM با نوفه AWGN و محوشدگی، سامانه DVB-T با نوفه AWGN و سامانه DVB-T با نوفه AWGN و محوشدگی. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که در بیشتر حالات، روش‌های درون‌یابی خطی و کسینوسی در بعد دوم بهترین عملکرد را دارند و درون‌یابی نزدیک‌ترین همسایگی در بعد دوم بدترین عملکرد را دارد. درنهایت الگوهای پایلوت پیشنهادی با الگوی پایلوت مرسوم سامانه DVB-T مقایسه و ملاحظه شد الگوهای پایلوت پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به الگوی پایلوت مرسوم سیستم DVB-T دارند. از آن جا که در DVB-T جابه‌جایی و سرعت مطرح است، در مرحله دوم این پژوهش روش‌های درون‌یابی دوبعدی در چند فرکانس داپلر مختلف در سامانه DVB-T با استفاده از الگوی پایلوت آن بررسی شده است. شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که در سه فرکانس داپلر صفر، سی و ۱۵۰ هرتز الگوهای پیشنهادی پایلوت درحالی‌که یکی از درون‌یابی‌ها خطی باشد، عملکرد بهتری نسبت به روش متداول در DVB-T دارند.

واژگان کلیدی: DVB-T، OFDM، پایلوت و درون‌یابی

Proposed Pilot Pattern Methods for Improvement DVB-T System Performance

Bahareh Khosravani & Saeed Ghazi-Maghrebi*

Faculty of Electrical Engineering, Yadegar-e-Imam Khomeini (RAH)
shahre Rey Branch, Islamic Azad University,Tehran, Iran

Abstract

Recently, orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) has been extensively used in communications systems to resist channel impairments in frequency selective channels. OFDM is a multicarrier transmission technology in wireless environment that use a large number of orthogonal subcarriers to transmit information. OFDM is one of the most important blocks in digital video broadcast-terrestrial (DVB-T)

* Corresponding author

*نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

• تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۰۸ • تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۱۳ • تاریخ انتشار: ۱۳۹۹/۰۶/۲۴ • نوع مطالعه: پژوهشی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.2.32]

system. The goal of this paper is comparing the methods of interpolation in OFDM system that not used channel statistics information. Therefore, we used pilots for obtaining the information of channel, and by the method of estimation without use of channel statistics information, the channel primary frequency response estimated in pilot's frequencies. Pilots, channel estimation and interpolation methods are key roles in the OFDM block. The number of pilots are different in the OFDM symbol for different pilot patterns. In this article, we proposed three pilot patterns to improve DVB-T system performance. Our criteria for this purpose are error probability, calculation time, and the number of pilots. We have tested the performance improvement by using two-dimensional (2D) interpolation methods. Obviously, we do not obtain all of our requests and requirements via one pilot pattern. For example, the error may be decreases, but the number of pilots is increased. Therefore, we must select the pilot pattern that achieve the most important goal for us. We have applied six interpolation methods, for 2D interpolation, such as linear, nearest-neighbor, spline, cubic Hermite, cosine and low pass interpolations. We have compared three proposed pilot patterns with the conventional DVB-T pilot pattern in four different channels. In each channel, we have tested 30 interpolation methods. The applied channels are OFDM system with AWGN noise, OFDM system with AWGN noise and Rayleigh fading, DVB-T system with AWGN noise and DVB-T system with AWGN noise and Rayleigh fading. We observed that the best performance happens when we use linear interpolation in the first dimension and cosine interpolation in the second dimension of 2D interpolation. In addition, the worst performance will be happened when Nearest-neighbor interpolation is used in the second dimension of 2D interpolation. In the last step, we compared the proposed pilot patterns with the conventional DVB-T pilot pattern in 2D interpolation method that it leads to better performance in DVB-T system. We observed that the proposed pilot patterns have better performance than the conventional DVB-T pilot pattern. In the DVB-T, movement and velocity are very important and considered in this research. In the second step using DVB-T pilot pattern, we compared 2D interpolation methods in some different Doppler frequencies. Simulation results show that at 3 Doppler frequencies, i.e. 0, 30, 150Hz, the proposed schemes with a linear interpolation has better performance than the conventional method in the DVB-T systems.

Keywords: DVB-T, Interpolation, OFDM, Pilot

۱- مقدمه

با گسترش روزافزون نرخ انتقال اطلاعات و محدودیت پهنای باند به‌دنبال روش‌هایی هستیم که بتوان استفاده بهتری از پهنای باند داشت. سامانه تقسیم فرکانسی چندگانه متعامد (OFDM[1]) یک روش انتقال چندحاملی در محیط‌های بی‌سیم است که در آن از تعداد زیادی زیرحامل‌های متعامد برای انتقال اطلاعات استفاده می‌شود. در این سامانه اطلاعات با نرخ بیت بالا بر روی چندین زیرحامل با نرخ بیت پایین‌تر به‌صورت موازی ارسال می‌شود. OFDM در استانداردهای بی‌سیم زیادی مانند انتشار ویدیوی دیجیتال زمینی (DVB-T[2], DVB-T2)، انتشار صدای دیجیتال (DAB[3])، شبکهٔ بی‌سیم محلی (WLAN[4]) و... پذیرفته شده است.

DVB-T سامانه‌ای برای پخش زمینی تصاویر دیجیتال بر اساس استاندارد ETSI-EN300 744 است که در سال ۱۹۹۷ آغاز شد. امروزه علاقه زیادی به DVB-T وجود دارد؛ زیرا تلویزیون دیجیتال می‌تواند اطلاعات زیادی را با هزینه کم به تعداد زیادی بیننده تحویل دهد. استفاده از کدگذاری دیجیتال و روش‌های انتقال، اجازه بازیابی کامل سیگنال در تمام مناطق تحت پوشش را می‌دهد. سامانه DVB-T برای ارسال یک رشته حامل MPEG-2 با طول ثابت، طراحی شده است.

در استاندارد DVB-T، برای بهبود توانایی ضدتداخل چند مسیرگی و بازده طیفی سامانه از مدولاسیون تقسیم فرکانس چندگانه متعامد کدشده (COFDM[5]) استفاده شده است. هدف از کدگذاری کانال مقابله با خطاهای پیش‌آمده در فرایند انتشار و دریافت دنباله دیجیتال ارسالی و ایجاد قابلیت کشف و جبران خطا در سامانه است. سامانه COFDM دارای مدهای(K=۱۰۲۴) 2K و 8K و سه روش مدولاسیون QPSK, 16QAM یا 64QAM است. یک قاب OFDM شامل سلول‌های داده، سلول‌های پایلوت پراکنده، سلول‌های پایلوت پیوسته و حامل‌های سیگنالینگ پارامتر انتقال (TPS[6]) است. سامانه OFDM در نمودار جعبه‌ای سامانه DVB-T دارای کدگذاری و لایه‌گذاری است. به همین دلیل از مدولاسیون COFDM در استاندارد DVB-T استفاده می‌شود. پارامترهای مختلف ارسال به‌ازای دو مد با پهنای باند هشت مگاهرتز در جدول (۱) ارائه شده است [1] و [2] و [3] و [4] و [5].

[1] Orthogonal Frequency division Multiplexing
[2] Digital Video Broadcasting Terrestrial
[3] Digital Audio Broadcasting
[4] Wireless Local Area Network

[5] Coded Orthogonal Frequency division Multiple
[6] Transmission Parameter Signaling

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.2.32]

(جدول-۱): پارامترهای مدولاسیون در دو حالت 2k و 8k و به ازای کانال با پهنای باند ۸ مگاهرتز [6]

(Table-1): Modulation parameters in 2k and 8k modes for 8 MHz bandwidth

پارامتر	مد8k	مد2k
تعداد حامل‌های k	6817	1705
کمترین شماره حامل (k_{min})	0	0
بیشترین شماره حامل (k_{max})	6816	1704
فاصله حامل‌های k_{min} و k_{max}	761MHz	761MHz

در این سامانه، کانال به‌صورت مدلی از کانال بی‌سیم و به‌صورت فرکانس گزین فرض می‌شود که اغلب براساس محوشدگی رایلی به‌همراه نوفه سفید گوسی جمع‌شونده مدل‌سازی می‌شود [7]. وقتی سیگنال حاوی اطلاعات در کانال ارسال می‌شود، اگر پهنای باند همدوسی کانال در مقایسه با پهنای باند سیگنال ارسالی کوچک باشد، کانال را فرکانس گزین گویند؛ در این حالت، کانال موجب بروز اعوجاج شدید در سیگنال ارسالی خواهد شد [8].

دو پارامتر محوشدگی و نوفه جمع‌شونده در کانال‌ها باعث می‌شوند که سیگنال به‌دست‌آمده در خروجی کانال نسبت به سیگنال ورودی اعوجاج زیادی داشته باشد و در نتیجه خطای به‌وجود آمده افزایش بیشتری داشته باشد؛ لذا برای کاهش این اثرات لازم است که درگیرندهٔ متعادل‌کننده‌ای براساس مشخصات معلوم کانال طراحی شود. با توجه به این که مشخصات کانال با زمان تغییر می‌کنند، لذا ضرورت دارد که مشخصهٔ کانال به‌طور متناوب تخمین زده شود و متناظر با تخمین به‌دست‌آمده سیگنال خروجی متعادل شود تا اعوجاج ایجادشده در سیگنال خروجی هرچه بیشتر کاهش یابد. در تخمین کانال، ابتدا پاسخ فرکانسی کانال در زیرحامل‌های پایلوت توسط روش‌های تخمین و سپس پاسخ فرکانسی کلی کانال توسط روش‌های درون‌یابی به‌دست می‌آید [9].

یکی از مشکلات درون‌یابی، تخمین یک تابع پیچیده توسط یک تابع ساده است. با تعداد کمی نقاط دادهٔ معلوم از تابع اصلی می‌توان برای تولید یک درون‌یابی بر مبنای یک تابع ساده‌تر استفاده کرد. روش‌های درون‌یابی متفاوتی در ریاضیات وجود دارد. وقتی یک روش خاص انتخاب می‌شود، چند مسأله مطرح می‌شود؛ از جمله کدام روش صحیح‌تر است؟ کدام روش گران‌تر است؟ کدام روش اشکال کمتری دارد؟ به چند تا نقطه داده نیاز است؟ با توجه به این که چه چیزی برای ما بااهمیت‌تر است، روش درون‌یابی مناسب انتخاب می‌شود. گاهی افزایش سادگی با ارزش‌تر از کاهش دقت است [10].

در ادامهٔ این مقاله، ابتدا در بخش ۲ به معرفی سیگنال‌های پایلوت پرداخته شده است. سپس در بخش ۳ انواع روش‌های درون‌یابی توصیف شده و در ادامه در بخش‌های ۴ و ۵ روش‌های پیشنهادی و شبیه‌سازی مطرح و درنهایت در بخش ۶ نتیجه‌گیری ارائه شده است.

۲- سیگنال‌های پایلوت

پایلوت‌ها داده‌های آموزشی هستند که به‌منظور به‌دست‌آوردن اطلاعات کانال، توسط فرستنده در میان داده‌های اصلی در مکان ثابتی قرار می‌گیرند. پایلوت‌ها هم برای فرستنده و هم برای گیرنده شناخته‌شده و معلوم هستند. پایلوت‌های ارسالی توسط فرستنده، باعث ایجاد توان مصرفی کمتر همراه با واکنش سریع به تغییرات کانال می‌شوند. برای قراردادن پایلوت‌ها در سمبل‌های OFDM، دو روش اصلی به نام‌های روش بلوکی و روش شانه‌ای وجود دارد.

در سامانه DVB-T از هر دو نوع سیگنال‌های پایلوت پیوسته و گسسته استفاده شده است. در اینجا "پیوسته" به این معنی است که پایلوت‌ها در تمام سمبل‌ها هستند. پایلوت‌های گسسته یا پراکنده ترکیبی از هر دو نوع پایلوت‌های بلوکی و شانه‌ای هستند و در تمام سمبل‌ها قرار نمی‌گیرند. سمبل‌های پایلوت گسسته در قاب OFDM دارای مکان و موقعیت ثابت هستند و برای تخمین مشخصات کانال استفاده می‌شوند. پایلوت پیوسته برای زمان‌بندی و هم‌زمان‌سازی استفاده می‌شود. مقدار یا ارزش اطلاعات پایلوت پیوسته یا پراکنده از یک دنبالهٔ دودویی شبه سلول‌های پایلوت پراکنده در هر سمبل ارسال می‌شوند. اطلاعات مرجع در سلول‌های پایلوت پراکنده و پیوسته همیشه در یک سطح توان "افزایش یافته" ارسال می‌شوند تا توان روی سمبل‌های پایلوت بیشتر از سمبل‌های داده باشد. درکل، این توان افزایش‌یافته به‌دلیل این که می‌تواند مقاومت بیشتری در برابر نوفه داشته باشد، به ردیابی و تخمین بهتر کمک می‌کند [5] و [9] و [11] و[12] و [13] و [14].

- **الگوی پایلوت سامانه DVB-T**

سامانه DVB-T در مد 2k، تعداد ۱۷۰۵ زیرحامل و ۶۸ سمبل OFDM دارد. مجموع کل تعداد سلول‌ها به‌ازای ۶۸ سمبل OFDM و ۱۷۰۵ زیرحامل، برابر با ۶۸×۱۷۰۵=۱۱۵۹۴۰ است که تعداد ۱۱۹۶۸ سلول یا

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.2.32]

۱۰/۳۲ ٪ از آن‌ها پایلوت‌های پیوسته و گسسته هستند. شماره زیرحامل‌هایی که پایلوت پیوسته دارند، در استاندارد DVB-T مشخص شده است. رابطهٔ بین سمبل‌ها و زیرحامل‌ها برای پایلوت‌های گسسته در سامانه DVB-T براساس رابطه (۱) است.

$$k=12p+3(n-1)+1$$
$$p=0,1,\ldots,142 \quad n=1,\ldots,4 \qquad (۱)$$

که در آن p شماره پایلوت‌ها در هر سمبل OFDM، k شماره زیرحامل در هر سمبل OFDM و n شماره سمبل OFDM است. n به جای این که از یک تا ۶۸ باشد، از یک تا چهار انتخاب می‌شود، زیرا الگوی پایلوت‌های هر چهار سمبل یکبار تکرار می‌شود. شکل (۱) سمبل‌های یک تا هفت و زیرحامل‌های یک تا ۲۸ سامانه DVB-T را نشان می‌دهد [14 , 15].

۳- درون‌یابی به منظور تخمین کانال

تخمین کانال یکی از بلوک‌های سامانه OFDM [16]، [17]، [18]، [19]، [21]، [22] و درنتیجه یکی از بلوک‌های سامانه DVB-T است. در بلوک تخمین کانال، ابتدا پاسخ فرکانسی زیرحامل‌های پایلوت توسط روش‌های تخمین مانند DFT, LS, ... تخمین زده و سپس از درون‌یابی [23]، [24]، [25] برای به‌دست‌آوردن تخمین نهایی کانال استفاده می‌شود.

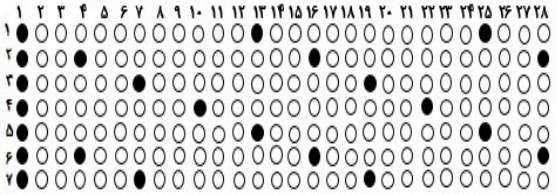
به‌دلیل این‌که در سامانه DVB-T، پایلوت‌ها در هر دو بُعد زمان و فرکانس توزیع شده‌اند، درون‌یابی باید در دو بُعد انجام شود. درون‌یابی دوبُعدی را می‌توان ابتدا در حوزه زمان و سپس در حوزه فرکانس انجام داد (درون‌یابی زمان-فرکانس) یا این‌که ابتدا در حوزه فرکانس و سپس در حوزه زمان انجام داد (درون‌یابی فرکانس-زمان). استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی یک‌بُعدی در هر یک از بعدهای درون‌یابی دوبُعدی مجاز است و می‌توان از یک روش درون‌یابی یکسان در هر دو بعد یا از دو روش درون‌یابی متفاوت برای دو بعد درون‌یابی دوبعدی استفاده کرد [12]. روش‌های مختلفی مانند درون‌یابی‌های نزدیک‌ترین همسایگی، خطی، مرتبه دوم، اسپیلاین، اسپیلاین هرمیت مکعبی، پایین‌گذر، کسینوسی، خم چندجمله‌ای، خم کسری گویا و فیلتر هموارساز ساویتسکی–گولی وجود دارد. در ادامه مختصری درخصوص روش‌های مختلف درون‌یابی که در این پژوهش استفاده شده، توضیح داده می‌شود.

۳-۱- درون‌یابی نزدیک‌ترین همسایگی

این روش، ساده‌ترین روش درون‌یابی در یک یا چند بُعد است. این روش، برای درون‌یابی مقدار یک نقطه، نزدیک‌ترین نقطهٔ همسایه نسبت به نقطهٔ مورد نظر را پیدا می‌کند و مقدار آن را برای نقطهٔ مورد نظر محاسبه می‌کند و به مقادیر دیگر نقاط همسایه توجه نمی‌کند. در مسائل ساده، این روش خیلی خوب نیست، اما برای ابعاد بالاتر که مسائل پیچیده‌تر می‌شوند، مناسب است. این روش هم از لحاظ سرعت و هم از لحاظ سادگی، انتخاب خوبی است [26].

۳-۲- درون‌یابی خطی

یکی از روش‌های سادهٔ درون‌یابی، درون‌یابی خطی است. به‌طورعمومی در درون‌یابی خطی از دو نقطه داده استفاده می‌شود که درواقع یک خط مستقیم ما بین این دو نقطه است. در این مقاله برای تخمین کانال با استفاده از درون‌یابی خطی براساس رابطه (۲)، از دو پایلوت مجاور استفاده شده است [28].



(شکل-۱): الگوی پایلوت سامانه DVB-T

(Figure-1): Pilot pattern in DVB-T system

$$\hat{H}(k)=\hat{H}(mN_f+L)=(\hat{H}_p(m+1)-\hat{H}_p(m))\frac{1}{N_f}+\hat{H}_p$$
$$(m) \quad m=0,1,\ldots,N_P-1 \qquad (۲)$$

که در آن $\hat{H}_p$ پاسخ فرکانسی پایلوت و $\hat{H}(k)$ پاسخ فرکانسی کانال است. N_P تعداد سیگنال‌های پایلوت و N_f فاصلهٔ فرکانسی پایلوت‌ها است؛ یعنی به‌ازای N زیرحامل و N_P پایلوت در فاصلهٔ فرکانسی یکسان از یکدیگر قرار دارد. در این صورت داریم: $N_f=\frac{N}{N_P}$

۳-۳- درون‌یابی مرتبه دوم

درون‌یابی مرتبه دوم بهتر از درون‌یابی خطی است. تخمین کانال با استفاده از درون‌یابی مرتبه دوم با استفاده از ترکیب خطی سه پایلوت متوالی انجام می‌شود. به همین دلیل نسبت به درون‌یابی خطی عملکرد بهتری، اما پیچیدگی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.2.32]

بیشتری به واسطهٔ افزایش مرتبه دارد. این درون‌یابی براساس رابطهٔ (۳) تعریف می‌شود:

$$\hat{I}I\ (k) = \hat{I}I\ (m\ N_f + L) = \quad c_1\hat{I}I_p(m-1) + c_0\ \hat{I}I_p(m) + c_{-1}\hat{H}_p(m+1) \qquad m=0,\ 1,\ \ldots,\ N_p-1 \qquad (۳)$$

که در آن ضرایب درون‌یابی مرتبه دوم براساس رابطهٔ (۴) تعریف شده‌اند [27]:

$$c_1 = \frac{\alpha(\alpha-1)}{2} \qquad c_0 = -(\alpha-1)(\alpha+1)$$
$$c_{-1} = \frac{\alpha(\alpha+1)}{2} \qquad \alpha = \frac{1}{N_f} \qquad (۴)$$

۳-۴- درون‌یابی اسپیلاین

تابع درون‌یابی اسپیلاین درجهٔ n ام در بازهٔ $[a\ ,\ b]$ با نقاط گره‌ای $x_0, x_1, \ldots, x_n$ تابعی نظیر $S(x)$ است. در این تابع بازهٔ $[a,\ b]$ به n تا زیربازه $[x_i, x_{i-1}]$ تقسیم می‌شود که در آن $a = x_0 \langle x_1 \langle \ldots \langle x_{n-1} \langle x_n = b$ است؛ درضمن $S(x)$ برای هر زیربازه برابر با $f_i(x)$ است ($S(x)=f_i(x)$). نکتهٔ دیگر این که $S(x)$ و مشتقات آن تا مرتبهٔ $(n-1)$ در بازهٔ $[a,\ b]$ پیوسته هستند.

رایج‌ترین اسپیلاین، اسپیلاین مکعبی است که مرتبهٔ آن سه است. این درون‌یابی بر اساس رابطه (۵) است که در آن x_i و x_{i-1} دو پایلوت متوالی هستند. M_i و M_{i-1} مقدار مشتق دوم تابع در این دو پایلوت هستند [28] و [29]:

$$S(x) = (x_i - x)\left[\frac{(x_i-x)^2 - h_i^2}{6h_i}\right] M_{i-1} + (x - x_{i-1})\left[\frac{(x-x_{i-1})^2 - h_i^2}{6h_i}\right] M_i + \frac{1}{h_i}(x_i - x) f_{i-1} + \frac{1}{h_i}(x - x_{i-1})\, f_i \qquad (۵)$$

که در آن h_i به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$h_i = x_i - x_{i-1} \qquad i = 1,\ \ldots,\ n \qquad (۶)$$

۳-۵- درون‌یابی اسپیلاین هرمیت مکعبی

اسپیلاین هرمیت مکعبی نوعی اسپیلاین است که هر قسمت آن یک چندجمله‌ای درجه سه به‌صورت هرمیت است. اسپیلاین هرمیت مکعبی به‌طورمعمول برای درون‌یابی داده‌های عددی معلوم x_0 , x_1 , ... , x_n استفاده می‌شود تا بتوان یک تابع پیوسته و یک‌نواخت را به‌دست آورد. داده‌ها باید در هر x_k شامل مقدار تابع مورد نظر و مشتق آن باشند. فرمول هرمیت به‌طور جداگانه به هر بازه $[x_k, x_{k+1}]$ اعمال می‌شود. نتیجهٔ این اسپیلاین پیوسته خواهد بود و همچنین مشتق نخست آن هم پیوسته است. این درون‌یابی بر اساس رابطه (۷) تعریف می‌شود:

$$P(x) = h_{00}(t)p_0 + h_{10}(t)\, m_0 + h_{01}(t)\, p_1 + h_{11}(t)m_1 \qquad (۷)$$
$$t = \frac{x - x_k}{x_{k+1} - x_k}$$

که در آن hها توابع پایه هرمیت هستند و می‌توانند به روش‌های مختلفی نوشته شوند که هر روش ویژگی متفاوتی دارد. چند نمونه از روش‌های به‌دست‌آوردن توابع پایه هرمیت در جدول (۲) نشان داده شده است. p_0 و p_1 برابر با مقدار تابع در نقاط پایلوت x_k و x_{k+1} هستند و m_0 و m_1 هم برابر با مقدار مشتق مرتبه نخست تابع در نقاط پایلوت x_k و x_{k+1} هستند. این مقادیر از روش های مختلفی مانند تفاضل محدود، اسپیلاین کاردینال و اسپیلاین Catmull – Rom قابل دستیابی هستند [30]. در جدول (۲) چند جمله‌ای‌های Bernstein مرتبهٔ ۳ بر اساس رابطه (۸) هستند.

$$B_k(t) = \binom{3}{k} \cdot t^k \cdot (1-t)^{3-k} \qquad (۸)$$

(جدول-۲): توابع پایه هرمیت

(Table-2): Hermit basic functions

	تعمیم یافته	فاکتورگیری	Bernstein
$h_{00}(t)$	$2t^3-3t^2+1$	$(1+2t)(1-t)^2$	$B_0(t)+B_1(t)$
$H_{10}(t)$	t^3-2t^2+t	$t(1-t)^2$	$\frac{1}{3}\cdot B_1(t)$
$h_{01}(t)$	$-2t^3-3t^2$	$t^2(3-2t)$	$B_2(t)+B_3(t)$
$H_{11}(t)$	t^3-t^2	$t^2(t-1)$	$-\frac{1}{3}\cdot B_2(t)$

۳-۶- درون‌یابی پایین‌گذر

درون‌یابی پایین‌گذر به دنبالهٔ داده‌های اصلی L تا صفر اضافه می‌کند و در نتیجه نرخ نمونه‌برداری افزایش می‌یابد؛ سپس از یک فیلتر پایین‌گذر FIR با فرکانس قطع π/L استفاده می‌شود تا بدین واسطه داده‌های اصلی بدون تغییر عبور کنند و درون‌یابی شوند. درون‌یابی پایین‌گذر، مقدار MSE را به‌ازای نقاط درون‌یابی شده و مقادیر ایده‌آل آن‌ها، کمینه می‌کند [31].

۳-۷- درون‌یابی کسینوسی

درون‌یابی کسینوسی تعریفی مشابه درون‌یابی خطی دارد، اما به جای استفاده از خط مشترک بین دو نقطه، از منحنی کسینوس بین دو نقطه استفاده می‌کند. اگر دو نقطه معلوم $(x_0\ ,\ y_0)$ و $(x_1\ ,\ y_1)$ را داشته باشیم و نقطه مجهول و

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.2.32]

مورد نظر برای درون‌یابی که در فاصله بین x_0 و x_1 قرار دارد، x باشد، درون‌یابی کسینوسی نقطه x برابر با y است و به‌صورت زیر تعریف می‌شود [32]:

$$f=\frac{x-x_0}{x_1-x_0} \quad (۹)$$

$$g=(1-\cos(f\pi))\times.5 \quad (۱۰)$$

$$y=y_0+g\times(y_1-y_0) \quad (۱۱)$$

۴- روش پیشنهادی

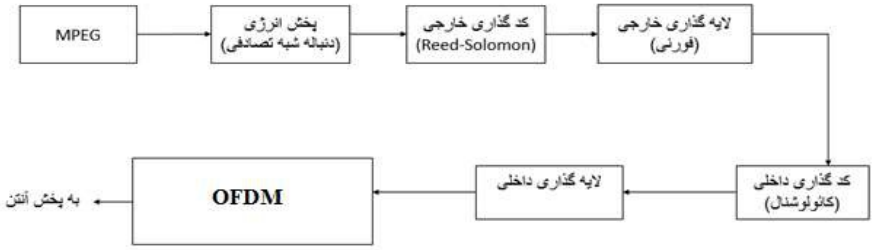
در این پژوهش ابتدا سامانه‌های OFDM و DVB-T مطابق شکل‌های (۲ و ۳) توسط نرم افزار MATLAB پیاده‌سازی می‌شود. برای بهبود عملکرد سامانه OFDM و DVB-T، به‌دنبال روش‌های الگوی چینش پایلوت هستیم. با تغییرات زیادی که در ضرایب و پارامترهای الگوی پایلوت سامانه DVB-T انجام داده شد، درنهایت سه روش الگوی چینش پایلوت انتخاب شد که نسبت به بقیه عملکرد بهتری را در سامانه DVB-T باعث می‌شوند. در الگوهای پیشنهادی، تعداد و نحوه چینش پایلوت‌ها با الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T متفاوت است. درالگوهای پیشنهادی شماره یک و دو تعداد پایلوت‌ها بیشتر از الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T است. در الگوی پیشنهادی شماره سه تعداد پایلوت‌ها کمتر از الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T است. در این پژوهش بهبود عملکرد با سه پارامتر احتمال خطا، زمان محاسباتی و تعداد پایلوت اندازه‌گیری شده است. بدیهی است تمام اهداف موردنظر توسط یک الگو برآورده نمی‌شود؛ یعنی برای مثال ممکن است، خطا کمتر ولی تعداد پایلوت بیشتر شده باشد. این موضوع هم از نظر تئوری قابل اثبات و هم نتایج شبیه‌سازی مؤید این موضوع است.

- **الگوی پایلوت پیشنهادی شمارهٔ یک**

نخستین الگوی پیشنهادی برای قراردادن پایلوت‌ها به‌صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

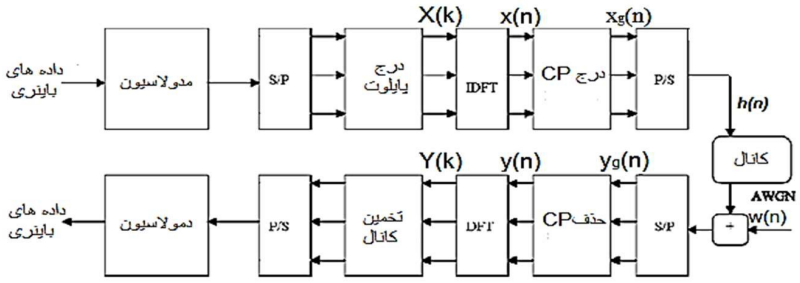
$$k=6p+3(n-1)+1$$
$$p=0,1,\ldots,284 \quad n=1,2 \quad (۱۲)$$

که در آن n دارای مقادیر یک و دو است، زیرا الگوی پایلوت‌ها هر دو سمبل یک‌بار تکرار می‌شود. مجموع تعداد سلول‌های ۶۸ سمبلی OFDM با ۱۷۰۵ زیرحامل برابر ۱۱۵۹۴۰=۶۸×۱۷۰۵ است که ۲۰۸۷۶ سلول یا ۱۸٪ از آن‌ها پایلوت‌های پیوسته و گسسته هستند. تعداد پایلوت‌های الگوی پایلوت پیشنهادی شماره یک به‌اندازهٔ ۸۹۰۸ سلول یا ۷/۶۹ ٪ از الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T بیشتر است. شکل (۴) سمبل‌های یک تا هفت و زیرحامل‌های ۱ تا ۲۸ الگوی پایلوت پیشنهادی شمارهٔ یک را نشان می‌دهد.



(شکل-۲): نمودار جریانی فرستنده DVB-T [2]

(Figure-2): DVB-T transmitter block diagram [2]

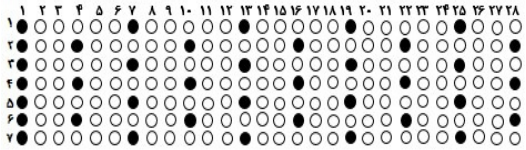


(شکل-۳): نمودار جریانی سیستم OFDM [1]

(Figure-3): OFDM system block diagram [1]

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.2.32]



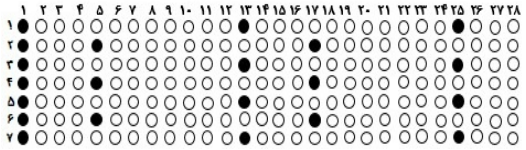
(شکل-۴): الگوی پایلوت پیشنهادی شمارهٔ یک
(Figure-4): The proposed pilot pattern No. 1

• **الگوی پایلوت پیشنهادی شمارهٔ دو**

دومین الگوی پیشنهادی برای قراردادن پایلوت‌ها به‌صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

$$k=12p+4(n-1)+1$$
$$p=0,1,\ldots,142 \quad n=1,2 \qquad (۱۳)$$

به جای این‌که به n از یک تا ۶۸ اختصاص داده شود،یک و دو قرار داده شده است، زیرا الگوی پایلوت‌ها هر دو سمبل یک‌بار تکرار می‌شود. مجموع کل تعداد سلول‌های ۶۸ سمبلی به‌همراه ۱۷۰۵ زیرحامل آن‌ها، برابر با ۶۸×۱۷۰۵=۱۱۵۹۴۰ است که تعداد ۱۲۳۴۲ سلول یا ۱۰٪/۶۵ از آن‌ها پایلوت‌های پیوسته و گسسته هستند. تعداد پایلوت‌های الگوی پایلوت پیشنهادی شمارهٔ دو به اندازه ۳۷۴ سلول یا ۰/۳۳٪ از الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T بیشتر است. شکل (۵) سمبل‌های یک تا هفت و زیرحامل‌های یک تا ۲۸ الگوی پایلوت پیشنهادی شماره دو را نشان می‌دهد.



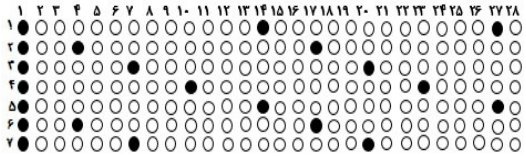
(شکل-۵): الگوی پایلوت پیشنهادی شمارهٔ دو
(Figure-5): The proposed pilot pattern No. 2

• **الگوی پایلوت پیشنهادی شمارهٔ سه**

سومین الگوی پیشنهادی برای قرار دادن پایلوت‌ها به‌صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

$$k=13p+3(n-1)+1$$
$$p=0,1,\ldots,131 \quad n=1,\ldots,4 \qquad (۱۴)$$

که در آن n به جای مقادیر یک تا ۶۸ ، مقادیر یک تا چهار را دارد، زیرا الگوی پایلوت‌ها هر چهار سمبل یک‌بار تکرار می‌شود. مجموع تعداد سلول‌های ۶۸ سمبلی OFDM با ۱۷۰۵ زیرحامل برابر ۶۸×۱۷۰۵=۱۱۵۹۴۰ است که ۱۱۶۹۶ سلول یا ۱۰/۰۹٪ از آن‌ها پایلوت‌های پیوسته و گسسته هستند. تعداد پایلوت‌های الگوی پایلوت پیشنهادی شمارهٔ سه به اندازهٔ ۲۷۲ سلول یا ۰/۲۳٪ از الگوی پایلوت متداول DVB-T کمتر است. شکل (۶) سمبل‌های یک تا هفت و زیرحامل‌های یک تا ۲۸ الگوی پایلوت پیشنهادی شمارهٔ سه را نشان می‌دهد.



(شکل-۶): الگوی پایلوت پیشنهادی شمارهٔ سه
(Figure-6): The proposed pilot pattern No. 3

۵- شبیه‌سازی

برای نشان‌دادن مزایای الگوهای پیشنهادی در مرحلهٔ نخست، سه الگوی پایلوت پیشنهادی را با الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T در چهار حالت زیر مقایسه کرده‌ایم:

۱- سامانه OFDM به همراه نوفه AWGN
۲- سامانه OFDM با نوفه AWGN و محوشدگی رایلی
۳- سامانه DVB-T به همراه نوفه AWGN
۴- سامانه DVB-T با نوفه AWGN و محوشدگی رایلی

برای هر حالت، سی روش درون‌یابی دوبعدی پیاده‌سازی شده است. یعنی در مجموع ۱۲۰ روش شبیه‌سازی شده است. این سی روش شامل روش‌های درون‌یابی خطی، نزدیک‌ترین همسایگی، اسپیلاین، هرمیت مکعبی، کسینوسی و پایین‌گذر است. هر کدام از این روش‌ها را در یکی از بعدهای درون‌یابی دوبعدی قرار داده و با هم ترکیب شده‌اند تا درنهایت سی روش به‌دست آمد. زمان محاسباتی هر سه روش پیشنهادی به‌طورتقریبی نزدیک به روش الگوی پایلوت متداول سیستم DVB-T به‌دست آمد که به‌صورت درصد در جداول بیان شده و نتایج هر حالت در شکل‌های (۷ تا ۱۰) نشان داده شده است. شرایط شبیه‌سازی مطابق جدول (۳) است. اکنون هر یک از این چهار حالت شبیه‌سازی‌شده بررسی می‌شوند.

(جدول-۳): شرایط شبیه‌سازی
(Table-3): Simulation conditions

مد	2k
تعداد زیرحامل	1705
CP	100
مدولاسیون	QPSK
محوشدگی	رایلی
فرکانس داپلر	30هرتز
پهنای باند	8مگاهرتز
کانال	SUI
تعداد تپ	3
تأخیر (میکرو ثانیه)	0 ، 5/0، 1
توان	0 ،5- ،10-

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.2.32]

- **حالت یک: سامانه OFDM به‌همراه نوفه AWGN**

در ابتدا الگوهای پایلوت پیشنهادی با سی روش درون‌یابی دوبعدی مختلف برای "سیستم OFDM به همراه نوفه AWGN"، بررسی و مقایسه شده‌اند. در جدول چهار سه پارامتر مورد سنجش احتمال خطا، مدت زمان و تعداد پایلوت‌ها برای این حالت ارائه شده است. در این حالت سامانه OFDM فقط دارای نوفه AWGN است.

با توجه به این جدول ملاحظه می‌شود، الگوی پایلوت پیشنهادی شمارهٔ یک میزان خطای کمتر در بیشتر روش‌های درون‌یابی، ۷/۶۹٪ تعداد پایلوت بیشتر و ۸/۴٪ زمان محاسباتی بیشتر نسبت به الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T دارد.

الگوی پایلوت پیشنهادی شمارهٔ دو دارای میزان خطای کمتر در چندین روش درون‌یابی، ۰/۳۳٪ تعداد پایلوت بیشتر و زمان محاسباتی برابر نسبت به الگوی پایلوت متداول سیستمDVB-T است.

الگوی پایلوت پیشنهادی شماره ۳ دارای میزان خطای کمتر در چندین روش درون‌یابی، ۰/۲۳٪ تعداد پایلوت کمتر و ۲/۱٪ زمان محاسباتی بیشتر نسبت به الگوی پایلوت DVB-T است.

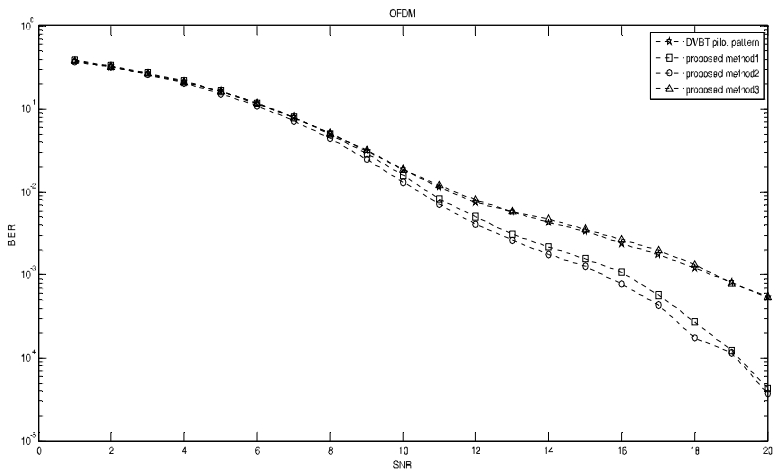
به‌عنوان مثال، یک آزمایش از سی آزمایش انجام‌شده در شکل (۷) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۷) ملاحظه می‌شود، برای درون‌یابی اسپیلاین-نزدیکترین همسایگی، در SNRهای کم خطای هر چهار الگو به‌طورتقریبی برابر است و در SNRهای زیاد فاصلهٔ نمودارها برای الگوهای پیشنهادی ۱و ۲ با نمودار الگوی پایلوت سیستم DVB-T زیاد می‌شود؛ اما برای الگوی پیشنهادی شماره ۳، فاصله نمودارها خیلی کم است.

به‌عنوان مثال در SNR=20dB خطای الگوی پیشنهادی شماره۱ در سیستمDVB-T، به میزان ۱۰/۷۳dB کمتر شده است و خطای الگوی پیشنهادی شماره۲ از الگوی سیستمDVB-T، به میزان ۱۴/۲dB کمتر شده است و خطای الگوی پیشنهادی شماره۳ از الگوی سیستمDVB-T، به میزان ۰/۲۷dB کمتر شده است. بنابراین هر ۳ الگوی پیشنهادی عملکرد مناسبی از لحاظ احتمال خطا دارند.

(جدول-۴): سیستم OFDM به‌همراه نوفه AWGN

(Table-4): OFDM system with AWGN noise

الگوها	زمان محاسباتی	تعداد پایلوت	میزان خطا
الگوی پایلوت پیشنهادی شماره ۱	۸/۴٪ بیشتر ازالگوی پایلوت سیستم DVB-T	۷/۶۹٪ بیشتر از الگوی پایلوت سیستم DVB-T	خطا کمتر از الگوی پایلوت سیستم DVB-T در بیشتر روش‌های درون‌یابی
الگوی پایلوت پیشنهادی شماره ۲	برابر باالگوی پایلوت سیستم DVBT	۰/۳۳٪ بیشتر از الگوی پایلوت سیستم DVB-T	خطا کمتر از الگوی پایلوت سیستم DVB-T در چندین روش درون‌یابی
الگوی پایلوت پیشنهادی شماره ۳	۲/۱٪ بیشتر از الگوی پایلوت سیستم DVB-T	۰/۲۳٪ کمتر از الگوی پایلوت سیستم DVB-T	خطا کمتر از الگوی پایلوت سیستم DVB-T در چندین روش درون‌یابی



(شکل-۷): درون‌یابی اسپیلاین-نزدیکترین همسایگی در سیستم OFDM به‌همراه نوفه AWGN

(Figure-7): Spline-Nearest neighbor interpolation in OFDM system with AWGN noise

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.2.32]

- **حالت دو: سیستم OFDM به‌همراه نوفه AWGN و محوشدگی رایلی**

در این حالت الگوهای پایلوت پیشنهادی با سی روش درون‌یابی دوبُعدی مختلف برای "سیستم OFDM به‌همراه نوفه AWGN و محوشدگی رایلی"، مقایسه شده‌اند. جدول (۵) سه پارامتر مورد سنجش احتمال خطا، مدت زمان و تعداد پایلوت‌ها برای سامانه OFDM با نوفه AWGN و محوشدگی را نشان می‌دهد. براساس این جدول ملاحظه می‌شود، الگوی پایلوت پیشنهادی شماره یک دارای میزان خطای کمتر در بیشتر روش‌های درون‌یابی، ۷/۶۹٪ تعداد پایلوت بیشتر و ۱۴/۹٪ زمان محاسباتی بیشتر نسبت به الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T است.

الگوی پایلوت پیشنهادی شماره دو دارای میزان خطای کمتر در نصف روش‌های درون‌یابی، ۰/۳۳٪ تعداد پایلوت بیشتر و ۴/۶٪ زمان محاسباتی کمتر نسبت به الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T است.

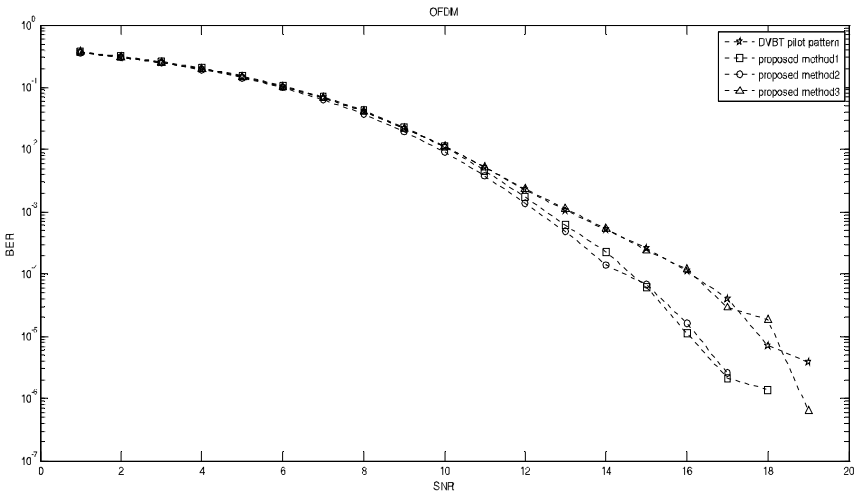
الگوی پایلوت پیشنهادی شماره سه دارای میزان خطای کمتر در چندین روش درون‌یابی است، ۰/۲۳٪ تعداد پایلوت کمتر و ۱/۵٪ زمان محاسباتی کمتر نسبت به الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T دارد.

به‌عنوان مثال، یک آزمایش از سی آزمایش انجام‌شده در شکل (۸) نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، خطای روش الگوی پایلوت پیشنهادی شماره یک به‌ازای SNR های بیشتر از ۱۹dB و خطای روش الگوی پایلوت پیشنهادی شماره دو به‌ازای SNRهای بیشتر از ۱۸dB صفر شده‌اند؛ درضمن خطای الگوی پایلوت پیشنهادی شماره سه به‌ازای SNRهای بیشتر از ۲۰dB صفر شده است. در SNR پایین خطای هر چهار الگو به‌طورتقریبی برابر است و در SNR زیاد فاصله‌ی نمودارها با نمودار الگوی پایلوت سامانه DVB-T زیادتر می‌شود. به‌عنوان مثال به‌ازای SNR=19dB، خطای الگوهای پیشنهادی شماره ۱ و ۲ صفر شده است و خطای الگوی پیشنهادی شماره سه از الگوی سامانه DVB-T، به میزان ۳/۹۹dB کمتر شده است. بنابراین هر سه الگوی پیشنهادی عملکرد مناسبی از لحاظ احتمال خطا دارند.

(جدول-۵): سامانه OFDM به‌همراه نوفه AWGN و محوشدگی رایلی

(Table -5): OFDM system with AWGN noise and Rayleigh fading

الگوها	زمان محاسباتی	تعداد پایلوت	میزان خطا
الگوی پایلوت پیشنهادی شماره یک	۱۴/۹٪ بیشتر ازالگوی پایلوت سامانه DVB-T	۷/۶۹٪ بیشتر از الگوی پایلوت سامانه DVB-T	خطای کمتر از الگوی پایلوت سامانه DVB-T در بیشتر روش‌ها
الگوی پایلوت پیشنهادی شماره دو	۴/۶٪ کمتر ازالگوی پایلوت سامانه DVB-T	۰/۳۳٪ بیشتر از الگوی پایلوت سامانه DVB-T	خطای کمتر از الگوی پایلوت سامانه DVB-T در نصف روش‌ها
الگوی پایلوت پیشنهادی شماره سه	۱/۵٪ کمتر از الگوی پایلوت سامانه DVB-T	۰/۲۳٪ کمتر از الگوی پایلوت سامانه DVB-T	خطای کمتر از الگوی پایلوت سامانه DVB-T در چندین روش



(شکل-۸): درون‌یابی هرمیت مکعبی-نزدیک‌ترین همسایگی در سامانه OFDM به‌همراه نوفه AWGN و محوشدگی رایلی

(Figure-8): Cubic hermit-Nearest neighbor interpolation in OFDM system with AWGN noise and Rayleigh fading

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.2.32]

- **حالت سه: سامانه DVB-T به‌همراه نوفه AWGN**

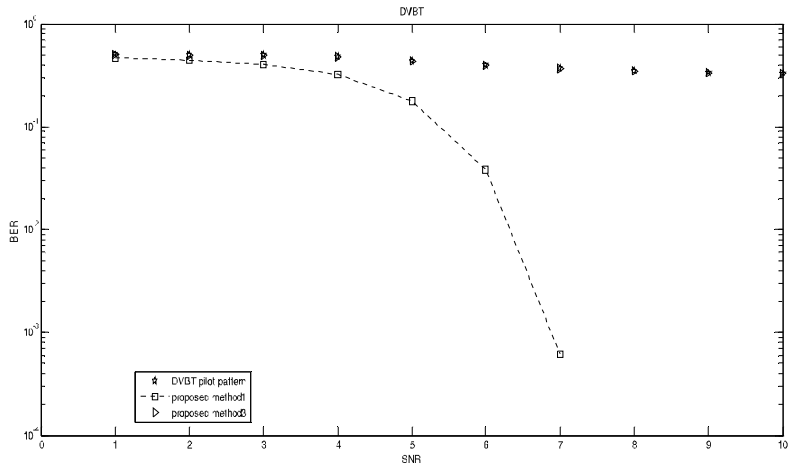
در این حالت الگوهای پایلوت پیشنهادی با سی روش درون‌یابی دوبُعدی مختلف برای سامانه DVB-T به‌همراه نوفه AWGN، مقایسه شده‌اند. جدول (۶) سه پارامتر احتمال خطا، مدت زمان و تعداد پایلوت‌ها در سامانه DVB-T با نوفه AWGN را نشان می‌دهد. براساس این جدول، الگوی پایلوت پیشنهادی شماره یک در بیشتر روش‌های درون‌یابی میزان خطای کمتری دارد، ۷/۶۹٪ تعداد پایلوت بیشتر و زمان محاسباتی برابر، نسبت به الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T دارد.

الگوی پایلوت پیشنهادی شماره سه دارای میزان خطای برابر درتمام روش‌های درون‌یابی است و ۰/۲۳٪ تعداد پایلوت کمتر و زمان محاسباتی برابر نسبت به الگوی پایلوت متداول DVB-T دارد. به‌عنوان مثال، یک آزمایش از سی آزمایش انجام‌شده در شکل (۹) نشان داده شده است. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، خطای روش الگوی پایلوت پیشنهادی شماره یک برای SNR بیشتر از ۸dB صفر شده است. الگوی پیشنهادی شماره سه با الگوی پایلوت سامانه DVB-T رفتاری به‌طورکامل مشابه دارد و نمودارهای آن‌ها روی هم قرار دارد. در SNRهای کم، خطای الگوی پیشنهادی شماره یک با الگوی پایلوت سامانه DVB-T به‌طورتقریبی برابر است و در SNRهای زیاد فاصلهٔ نمودار الگوی پیشنهادی شماره یک با نمودار الگوی پایلوت سامانه DVB-T خیلی زیاد می‌شود. به‌عنوان مثال در SNR=7dB، خطای الگوی پیشنهادی شماره سه از الگوی سامانه DVB-T، به میزان ۲۸/۰۸dB کمتر شده است. بنابراین هر دو الگوی پیشنهادی عملکرد مناسبی از لحاظ احتمال خطا دارند.

(جدول-۶): سامانه DVB-T به‌همراه نوفه AWGN

(Table -6): DVB-T system with AWGN noise

الگوها	زمان محاسباتی	تعداد پایلوت	میزان خطا
الگوی پایلوت پیشنهادی شماره یک	تقریبا برابر باالگوی پایلوت سامانه DVB-T	۷/۶۹٪ بیشتر از الگوی پایلوت سامانه DVB-T	خطای کمتر از الگوی پایلوت سامانه DVB-T در بیشتر روش‌ها
الگوی پایلوت پیشنهادی شماره سه	تقریبا برابر باالگوی پایلوت سامانه DVB-T	۰/۲۳٪ کمتر از الگوی پایلوت سامانه DVB-T	خطای برابر با الگوی پایلوت سامانه DVB-T در تمام روش‌ها



(شکل-۹): درون‌یابی اسپیلاین-پایین‌گذر در سامانه DVB-T به‌همراه نوفه AWGN

(Figure-9): Spline-Low pass interpolation in DVB-T system with AWGN noise

- **حالت چهار: سامانه DVB-T به‌همراه نوفه AWGN و محوشدگی رایلی**

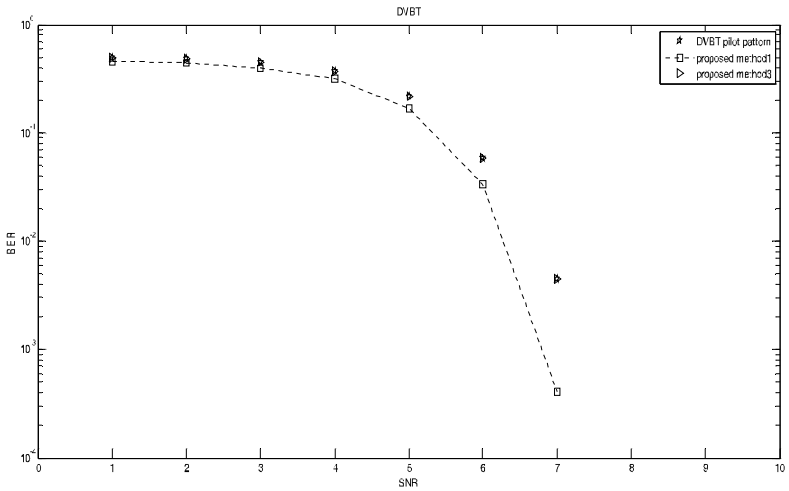
در این حالت الگوهای پایلوت پیشنهادی توسط سی روش درون‌یابی دوبعدی مختلف برای "سامانه DVB-T به‌همراه نوفه AWGN و محوشدگی رایلی"، مقایسه شده‌اند. جدول (۷) سه پارامتر مورد سنجش احتمال خطا، مدت زمان و تعداد پایلوت‌ها برای سامانه DVB-T با نوفه و محوشدگی رایلی را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول الگوی پایلوت پیشنهادی شماره یک دارای میزان خطای کمتر در بیشتر روش‌های درون‌یابی است و ۷/۶۹٪ تعداد پایلوت بیشتر و زمان محاسباتی برابر، نسبت به الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T دارد.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.2.32]

الگوی پایلوت پیشنهادی شماره سه دارای میزان خطای برابر در تمام روش‌های درون‌یابی است و ٪۰/۲۳ تعداد پایلوت کمتر و زمان محاسباتی برابر، نسبت به الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T دارد. به‌عنوان مثال، یک آزمایش از سی آزمایش انجام‌شده در شکل (۱۰) نشان داده شده است. همان‌طورکه در شکل (۱۰) ملاحظه می‌شود، خطای روش الگوی پایلوت پیشنهادی شماره یک به‌ازای SNRهای بیشتر از ۸dB صفر شده است. الگوی پیشنهادی شماره سه با الگوی پایلوت سامانه DVB-T رفتاری به‌طورکامل مشابه دارد و نمودارهای آن‌ها روی هم قرار دارد. در SNRهای کم خطای الگوی پیشنهادی شماره یک با الگوی پایلوت سامانه DVB-T به‌طورتقریبی برابر است و در SNRهای زیاد فاصلهٔ نمودار الگوی پیشنهادی شماره یک با نمودار الگوی پایلوت سامانه DVB-T زیادتر می‌شود. به‌عنوان مثال در SNR=7dB خطای الگوی پیشنهادی شماره سه از الگوی سامانه DVB-T، به میزان ۷/۷dB کمتر شده است. بنابراین هر دو الگوی پیشنهادی عملکرد مناسبی از لحاظ احتمال خطا دارند.

(جدول-۷): سامانه DVB-T به‌همراه نوفه AWGN و محوشدگی رایلی
(Table-7): DVB-T system with AWGN noise and Rayleigh fading

الگوها	زمان محاسباتی	تعداد پایلوت	میزان خطا
الگوی پایلوت پیشنهادی شماره یک	برابر با الگوی پایلوت سامانه DVB-T	٪۷/۶۹ بیشتر از الگوی پایلوت سامانه DVB-T	خطا کمتر از الگوی پایلوت سامانه DVB-T در بیشترروش‌ها
الگوی پایلوت پیشنهادی شماره سه	برابر با الگوی پایلوت سامانه DVB-T	٪۰/۲۳ کمتر از الگوی پایلوت سامانه DVB-T	خطا برابر با الگوی پایلوت سامانه DVB-Tدر تمام روش‌ها



(شکل-۱۰): درون‌یابی اسپیلاین-اسپیلاین در سامانه DVB-T به‌همراه نوفه AWGN و محوشدگی رایلی
(Figure-10): Spline-Spline interpolation in DVBT system with AWGN noise and Rayleigh fading

- **مقایسه روش‌های درون‌یابی دوبُعدی در چند فرکانس داپلر مختلف در DVB-T**

پدیده داپلر در اثر سرعت نسبی فرستنده و گیرنده به وجود می‌آید و باعث ایجاد انتقال فرکانسی در فرکانس حامل در گیرنده می‌شود و درنتیجه باعث تغییر پهنای باند سیگنال ارسالی می‌شود. درصورتی‌که این تغییر در گیرنده خنثی نشود، باعث اعوجاج سیگنال شده و درنتیجه بازده طیف رادیویی را کاهش خواهد داد. محدودهٔ فرکانس داپلر در سامانه DVB-T درحدود صفر تا ۲۴۳ هرتز است. در مرحله دوم شبیه‌سازی در این مقاله، برای ارزیابی روش‌های پیشنهادی در حضور پدیدهٔ داپلر، برای هریک از حالت‌های چهارتایی مذکور، از سه فرکانس داپلر صفر و ۳۰ و ۱۵۰ هرتز استفاده می‌شود؛ ازاین‌رو، در مرحلهٔ دوم شبیه‌سازی، روش‌های درون‌یابی خطی، نزدیک‌ترین همسایگی، اسپیلاین، هرمیت مکعبی، کسینوسی و پایین‌گذر را در بعدهای درون‌یابی دوبعدی قرار داده و با هم ترکیب کرده و سه فرکانس داپلر ۰، ۳۰ و ۱۵۰ هرتز در سامانه DVB-T برای الگوی پایلوت سامانه DVB-T پیاده‌سازی شد. شبیه‌سازی حاصل نشان می‌دهد که در بیشتر روش‌ها درون‌یابی‌های خطی و کسینوسی در بُعد دوم بهترین عملکرد را دارند و درون‌یابی نزدیک‌ترین همسایگی در بُعد دوم بدترین عملکرد را دارد. در شکل‌های (۱۱، ۱۲ و ۱۳)

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.2.32]

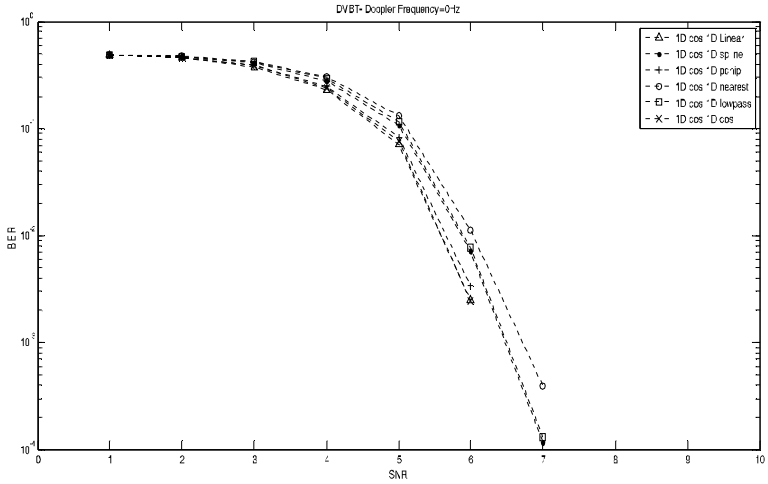
نتیجه حاصل از شش آزمایش در سه فرکانس داپلر مختلف که بُعد نخست تمام آن‌ها درون‌یابی کسینوسی است، نمایش داده شده است.

در شکل (۱۱) شش روش درون‌یابی دوبُعدی با یکدیگر در فرکانس داپلر صفر هرتز در سیستم DVB-T مقایسه شده‌اند. بُعد نخست کلیهٔ این شش روش، درون‌یابی کسینوسی و در بُعد دوم درون‌یابی‌های خطی، اسپیلاین، هرمیت مکعبی، نزدیکترین همسایگی، پایین‌گذر و کسینوسی استفاده شده است.

در شکل (۱۲) شش روش درون‌یابی دوبعدی با یکدیگر در فرکانس داپلر سی هرتز در سامانه DVB-T مقایسه شده‌اند. بُعد نخست کلیهٔ این شش روش، درون‌یابی کسینوسی و در بُعد دوم درون‌یابی‌های خطی، اسپیلاین، هرمیت مکعبی، نزدیکترین همسایگی، پایین‌گذر و کسینوسی استفاده شده است.

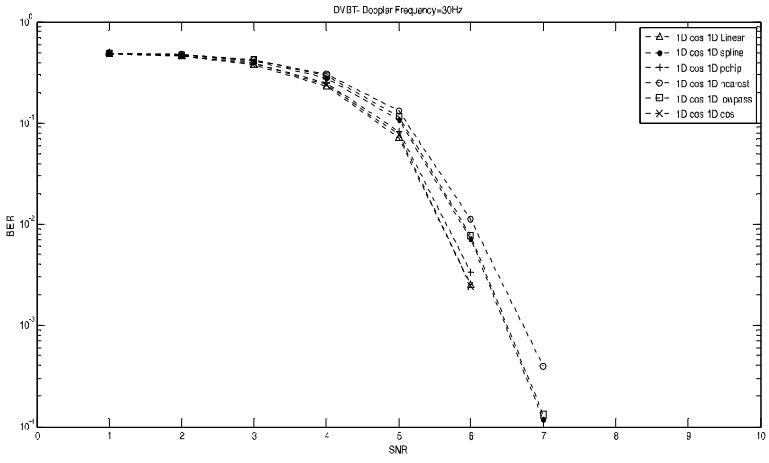
در شکل (۱۳) شش روش درون‌یابی دوبُعدی با یکدیگر در فرکانس داپلر ۱۵۰ هرتز در سامانه DVB-T مقایسه شده‌اند. بُعد نخست کلیهٔ این شش روش، درون‌یابی کسینوسی و در بعد دوم درون‌یابی‌های خطی، اسپیلاین، هرمیت مکعبی، نزدیک‌ترین همسایگی، پایین‌گذر و کسینوسی استفاده شدند.

براساس شکل‌های (۱۱، ۱۲ و ۱۳) ملاحظه می‌شود زمانی که بُعد نخست درون‌یابی کسینوسی باشد، در SNRهای کم درون‌یابی کسینوسی-خطی بهترین عملکرد و درون‌یابی کسینوسی-نزدیک‌ترین همسایگی بدترین عملکرد را دارد. در SNRهای زیاد درون‌یابی کسینوسی-خطی و کسینوسی-کسینوسی بهترین عملکرد و درون‌یابی کسینوسی-نزدیک‌ترین همسایگی بدترین عملکرد را دارند.



(شکل-۱۱): بُعد نخست درون‌یابی کسینوسی در فرکانس داپلر ۰ Hz

(Figure-11): Cosine interpolation in the first dimension with Doppler frequency= 0HZ

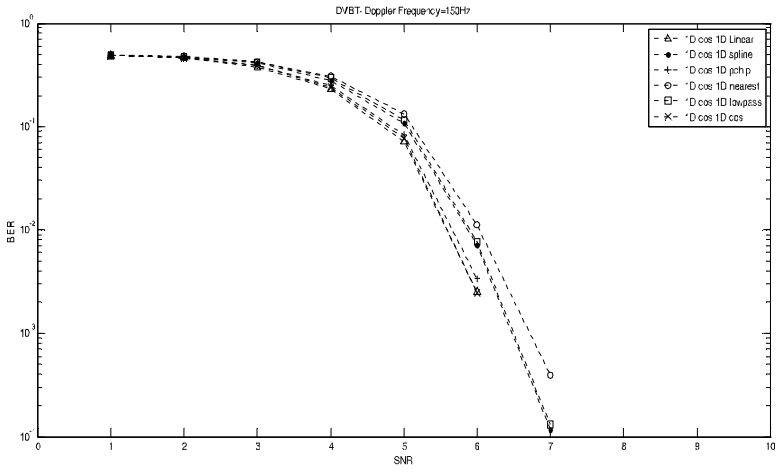


(شکل-۱۲): بُعد نخست درون‌یابی کسینوسی درفرکانس داپلر ۳۰ Hz

(Figure-12): Cosine interpolation in the first dimension with Doppler frequency= 30HZ

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.2.32]



(شکل-۱۳): بُعد نخست درون‌یابی کسینوسی-فرکانس داپلر ۱۵۰ Hz

(Figure-13): Cosine interpolation in the first dimension with Doppler frequency= 150HZ

- **مقایسه الگوهای پایلوت پیشنهادی با الگوی پایلوت DVB-T توسط روش درون‌یابی مطلوب در سه فرکانس داپلر**

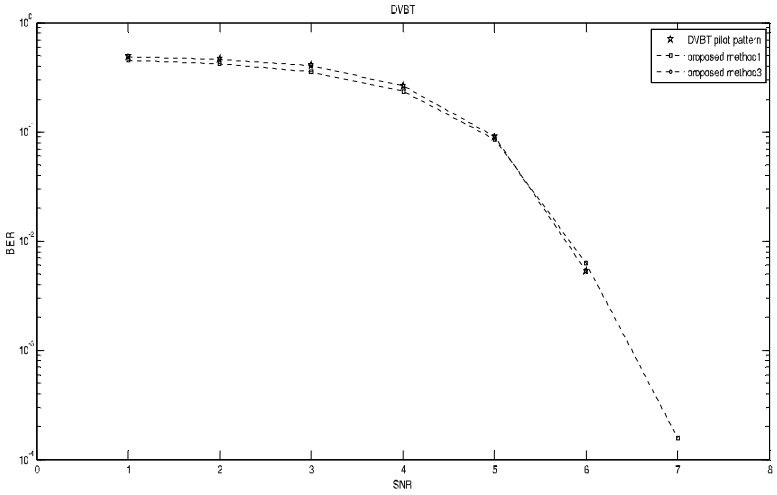
در مرحله دوم شبیه‌سازی این پژوهش، روش‌های درون‌یابی مختلف برای الگوی پایلوت سامانه DVB-T در سه فرکانس داپلر مختلف مقایسه شد. ملاحظه می‌شود که در بیش‌تر روش‌ها، بهترین عملکرد یا کمترین خطا زمانی اتفاق می‌افتد که بعد دومِ درون‌یابی دوبعدی، درون‌یابی خطی باشد.

در مرحلهٔ سوم شبیه‌سازی از روش درون‌یابی دوبُعدی استفاده می‌شود که باعث عملکرد خوب و خطای کم در الگوی پایلوت سامانه DVB-T می‌شود. در این حالت نشان داده می‌شود که الگوهای پایلوت پیشنهادی از الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T در سه فرکانس داپلر مختلف، عملکرد بهتری دارند؛ از این‌رو، روش درون‌یابی مطلوب آن است که بعد دوم آن درون‌یابی خطی باشد.

در شکل‌های (۱۴، ۱۵ و ۱۶) روش درون‌یابی دوبعدی هرمیت مکعبی-خطی برای مقایسه الگوهای پایلوت پیشنهادی با الگوی پایلوت سامانه DVB-T در سه فرکانس داپلر مختلف نشان داده شده است. شکل (۱۴) مقایسه الگوهای پایلوت را در سامانه DVB-T به‌همراه نوفه AWGN و محوشدگی رایلی، در فرکانس داپلر صفر هرتز و برای درون‌یابی هرمیت مکعبی-خطی نشان می‌دهد. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، الگوی پایلوت پیشنهادی شماره سه با الگوی پایلوت سامانه عملکرد به‌طورکامل مشابهی دارند و نمودارهای آن‌ها یکی هستند. نمودار الگوی پیشنهادی شماره یک به مقدار جزئی عملکرد بهتری نسبت به نمودار الگوی پایلوت سامانه DVB-T دارد. برای مثال در SNR=5dB به اندازه ۰/۳۴ dB خطای کمتری نسبت به الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T دارد.

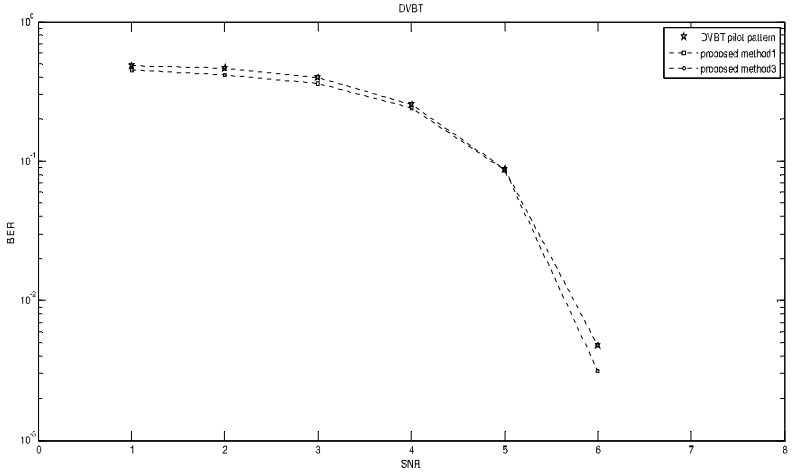
شکل (۱۵) مقایسه الگوهای پایلوت را در سامانه DVB-T به‌همراه نوفه AWGN و محوشدگی رایلی، در فرکانس داپلر سی هرتز و برای درون‌یابی هرمیت مکعبی-خطی نشان می‌دهد. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، الگوی پایلوت پیشنهادی شماره سه با الگوی پایلوت سامانه DVB-T عملکرد به‌طورکامل مشابهی دارند. نمودار الگوی پیشنهادی شماره یک به مقدار جزئی عملکرد بهتری نسبت به نمودار الگوی پایلوت متداول سیستم DVB-T دارد. برای مثال در SNR=6dB به‌اندازه ۰/۳۳ dB خطای کمتری نسبت به الگوی پایلوت سامانه DVB-T دارد. شکل (۱۶) مقایسه الگوهای پایلوت را در سامانه DVB-T به‌همراه نوفه AWGN و محوشدگی رایلی، در فرکانس داپلر ۱۵۰ هرتز و برای درون‌یابی هرمیت مکعبی-خطی نشان می‌دهد. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود الگوی پایلوت پیشنهادی شماره سه با الگوی پایلوت سامانه DVB-T عملکرد به‌طورکامل مشابهی دارند. الگوی پیشنهادی شماره یک به مقدار جزئی عملکرد بهتری نسبت به الگوی پایلوت سیستم DVB-T دارد. به‌طور مثال در SNR=6dB به‌اندازه ۱/۸۲ dB خطای کمتری نسبت به الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T دارد. بنابراین در هر سه فرکانس داپلر ملاحظه می‌شود الگوهای پایلوت پیشنهادی در درون‌یابی هرمیت مکعبی-خطی عملکرد بهتری دارد.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.2.32]



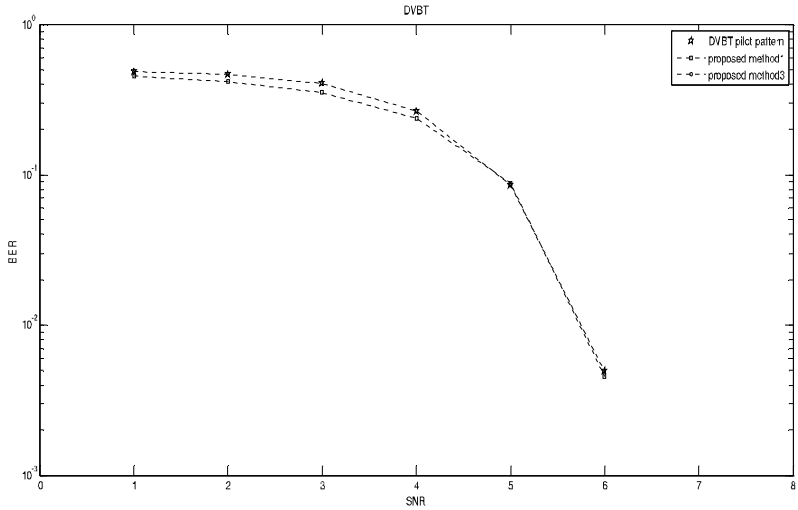
(شکل-۱۴): درون‌یابی هرمیت مکعبی-خطی در فرکانس داپلر ۰ Hz

(Figure-14): Cubic hermit- Linear interpolation in Doppler frequency= 0 Hz



(شکل-۱۵): درون‌یابی هرمیت مکعبی-خطی در فرکانس داپلر ۳۰ Hz

(Figure-15): Cubic hermit- Linear interpolation in Doppler frequency= 30 Hz



(شکل-۱۶): درون‌یابی هرمیت مکعبی-خطی در فرکانس داپلر ۱۵۰ Hz

(Figure-16): Cubic hermit- Linear interpolation in Doppler frequency= 150 Hz

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.2.32]

۶- نتیجه‌گیری

به‌دلیل این که برای درون‌یابی دوبُعدی استفاده از هریک از روش‌های درون‌یابی یک‌بعدی در دو بُعد، مجاز است و می‌توان از یک روش یکسان در دو بُعد و یا دو روش متفاوت در دو بُعد استفاده کرد؛ بنابراین باید در انتخاب روش درون‌یابی یک‌بُعدی براساس اولویت‌ها عمل کرد. در این پژوهش پارامترهای دقت، پیچیدگی محاسباتی و زمان مصرفی به‌عنوان معیارهای با اولویت در نظر گرفته شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان با درنظرگرفتن اولویت‌های زمان محاسباتی، هزینه و خطا، یکی از چهار روش الگوی پایلوت را انتخاب کرد. برای انتخاب روش درون‌یابی دوبُعدی در هر یک از چهار روش الگوی پایلوت، با توجه به اولویت‌های دقت بیشتر یا کمتر، پیچیدگی محاسباتی بیشتر یا کمتر، زمان بیشتر یا کمتر، روش مورد نظر انتخاب شود؛ بنابر نتایج حاصل از شبیه‌سازی در این پژوهش اگر اولویت هزینه یا همان تعداد پایلوت باشد، الگوی پایلوت با تعداد پایلوت کمتر ارجح‌تر و ترتیب ارجحیت به‌صورت زیر است:

۱- الگوی پایلوت پیشنهادی شماره سه
۲- الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T
۳- الگوی پایلوت پیشنهادی شماره دو
۴- الگوی پایلوت پیشنهادی شماره یک

بنابر نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها در این پژوهش اگر اولویت میزان خطا باشد، الگوی پایلوت شماره یک و سه در بیشتر آزمایش‌ها خطای کمتری از الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T دارند و در آزمایش های که هر سه الگوی پیشنهادی میزان خطای کمتری از الگوی پایلوت سامانه DVB-T دارند، ترتیب ارجحیت به‌صورت زیر است:

۱- الگوی پایلوت پیشنهادی شماره دو
۲- الگوی پایلوت پیشنهادی شماره یک
۳- الگوی پایلوت پیشنهادی شماره سه
۴- الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T

اگر اولویت زمان محاسباتی باشد، ترتیب ارجحیت به‌صورت زیر است:

۱- الگوی پایلوت پیشنهادی شماره دو
۲- الگوی پایلوت پیشنهادی شماره سه
۳- الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T
۴- الگوی پایلوت پیشنهادی شماره یک

نتایج ذکر شده، به اختصار در جدول (۸) نشان داده شده است.

(جدول-۸): نتیجه‌گیری
(Table-8): Conclusion

اولویت / روش‌ها	تعداد پایلوت کمتر	میزان خطای کمتر	زمان محاسباتی کمتر
نخستین روش ارجح	الگوی پایلوت پیشنهادی شماره سه	الگوی پایلوت پیشنهادی شماره دو	الگوی پایلوت پیشنهادی شماره دو
دومین روش ارجح	الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T	الگوی پایلوت پیشنهادی شماره یک	الگوی پایلوت پیشنهادی شماره سه
سومین روش ارجح	الگوی پایلوت پیشنهادی شماره دو	الگوی پایلوت پیشنهادی شماره سه	الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T
چهارمین روش ارجح	الگوی پایلوت پیشنهادی شماره یک	الگوی پایلوت متداول سامانه DVB-T	الگوی پایلوت پیشنهادی شماره یک

۷- مراجع
7- References

[1] F .Sanzi and J. Speidel, "An adaptive two-dimensional channel estimator for wireless OFDM with application to mobile DVB-T", *IEEE Transactions Broadcasting*, Vol. 46, No. 2, pp. 128-133, Jun. 2000.

[2] K. Fazel and J. Kaiser, Multi-Carrier and Spread Spectrum Systems. John Wiley & Sons: England, 2013.

[3] H. Onderj and T. Kratochvil, "DVBT channel coding implementation in MATLAB", Department of Radio Electronics, Brno University of Technology, 2012.

[4] M. Elsharief, M. Abouelatta, Zekry, "Implementing a Standard DVB-T System using MATLAB Simulink", *International Journal of Computer Applications (0975 – 8887)*, Vol. 98, No.5, pp.27-32, July 2014.

[۵] سعید قاضی مغربی* و فربیان خردادپور دیلمانی، "استفاده از تبدیل بسته موجک در بهبود عملکرد OFDM به جای روش مرسوم مبتنی بر FFT"، نشریه

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-14]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.2.32]

پردازش علائم و داده‌ها، دوره ۱۶، شماره ۲، صفحه ۱۲۱-۱۳۶، سال ۱۳۹۸.

[5] F. Kh. Deylamani and S. Gh. Maghrebi," Using WPT as a New Method Instead of FFT for Improving the Performance of OFDM Modulation", *Journal of Signal and Data Processing*, Vol. 16, No. 2, pp. 121-136, 1398.

[6] ETSI EN 300 744, "Digital Video Broadcasting (DVB); Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television", 2009.

[7] F. Wang, "Pilot-based channel estimation in OFDM system," University of Toledo, pp. 1-95, May 2011.

[8] J. G. Prokis and M. salehi, "Digital communication," 5th edition 2007, Mc Graw-Hill.

[۹] علی اسدی و بهزاد مظفری تازه کند، "تخمین کانال در سیستم‌های مبتنی بر OFDM با استفاده از تبدیل ویولت"، نشریه سامانه‌های غیر خطی در مهندسی برق، دوره ۱، شماره ۱، صفحه ۲۲-۴۱، تابستان ۱۳۹۲.

[9] A. Asadi and B. Mozaffari. T, "Channel estimation in OFDM-based systems using wavelet transform", *Journal of nonlinear systems in electrical engineering,* Vol. 1, No. 1, pp. 22-41, 2013.

[10] https: //en.wikipedia.org / Interpolation.

[11] R. Pulikkoonattu, "Channel estimation in DVB-T and OFDM systems", Mar. 2007.

[12] Zh. Huaqing and L. Jianbo, "Two-dimension interpolation for channel of DVBT system", *International Conference on Computer, Control Engineering*, pp.253-256, 2012.

[13] Y .Lee, H. Kim, M. Sung, I. Park, S. Lee, " Noise reduction for channel estimation based on pilot-block averaging in DVB-T receivers ", *IEEE*, pp. 51-58, Jan. 2006.

[14] P. Dhok, A. Dhanvijay, "A review on digital video broadcasting terrestrial (DVB-T) based OFDM system", *International Journal of Engineering and Techniques*, Vol. 1, No. 2, Mar - Apr 2015.

[15] A. W. Abobaker, "Study and simulation of DVB-T2 IRD performance for different types of channels", M.S. thesis, Faculty of Electrical and Electronic Engineering University Tun Hussein Onn Malaysia, Jun. 2015.

[16] S. Pathak and H. M. Markandeshwar, "Channel estimation in OFDM systems," *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering Research Paper*, Vol. 3, No. 3, Mar. 2013.

[17] P. P. Sure, Ch. M. Bhuma, "A survey on OFDM channel estimation techniques based on denoising Filter," *International Journal of Electronics & Communication*, Vol. 5, No. 5, May 2017.

[18] A. N. Uwaechia and N. M. Mahyuddin, "A Review on Sparse Channel Estimation in OFDM System Using Compressed Sensing," *IETE Technical Review*, Vol. 34, No. 5, pp. 514-531, 2017.

[19] V. Mathai, K. M. Sagayam, "Comparison and Analysis of channel estimation algorithms in OFDM systems," *International Journal of Scientific & technology research*, Vol. 2, No. 3, Mar. 2013.

[20] B. Kamislioglu, A. AKBAL, "LSE Channel Estimation and Performance Analysis of OFDM Systems," *Turkish Journal of Science & Technology*. Vol. 12, No. 2, pp. 53-57, 2017.

[21] A. N. Uwaechia, N. M. Mahyuddin, "A Review on Sparse channel estimation in OFDM system using compressed sensing," *IETE Technical Review* . Aug. 2016.

[22] P. Sure, Ch. M. Bhuma, "A survey on OFDM channel estimation techniques based on denoising strategies," *Engineering Science and Technology*, Elsevier, Feb. 2017

[۲۳] سیده زهره سیدصالحی، علی مطیع نصرآبادی، وحید ابوطالبی، "به‌کارگیری تحلیل زمان- فرکانس و ماشین همیار درتشخیص خودکار مؤلّفه‌ی P۳۰۰ جهت ارتباط مغز با رایانه"، نشریه پردازش علائم و داده‌ها، دوره ۵، شماره ۲، صفحه ۵۷-۷۰، سال ۱۳۸۷.

[23] S.Z. Seyedsalehi, A.M.Nasrabadi, V.Aboutalebi, "Quadratic b-spline wavelet and committee machine for the p300 detection in Brain computer interface", *signal and data processing*, Vol.5, No. 2, pp.70-75, 2009.

[24] Y. Asai, J,u. Mashino1, T. Sugiyama1, and M. Katayama, "simple channel tracking scheme using deductive combining for MIMO-OFDM WLANs," *IEICE Communications Express*, Vol. 6, No.7, pp. 429–434, Jul. 2017.

[25] Y.Kao, H. Chiu, "The Analysis of Scattered Pilot OFDM System and the Discussion of Channel Estimation Based on Two Dimensional Interpolation strategies," *Engineering Science and Technology, an International Journal*, Vol. 20, No. 2, pp. 629-636, Apr. 2017.

[26]https://en.wikipedia.org/wiki/Nearest-neighbor_Interpolation.

[27] J. Kim, D. Kim, M. Niamat, "Pilot-based channel estimation in OFDM system", University of Toledo, 2011.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.2.32]

[28]http://rozup.ir/up/stcomputer/studownload/dif-antegral.pdf.

[29]https://en.wikipedia.org/wiki/Spline_(mathematics).

[30] https://en.wikipedia.org/wiki/ Cubic _ Hermite _spline.

[31] A.Z.M. Touhidul Islam, I. Misra, "Performance of wireless OFDM system with LS-interpolation-based channel estimation in multi-path fading channel", *International Journal on Computational Sciences & Applications (IJCSA)*, Vol. 2, No.5, Oct. 2012 .

[32] https://www.petesqbsite.com/sections /zines/qb-_on_acid /zip/index.html

[33] SA. Hosseini, H. Ghassemian, "Hyperspectral data feature extraction using rational function curve fitting," *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, Vol. 30, No. 01, 1650001, 2016.

[34] M. Beitollahi, SA. Hosseini, "Using Savitsky-Golay filter and interval curve fitting in order to hyperspectral data compression," *Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE)*, pp.1967-1972, 2017.



بهاره خسروانی مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در سال‌های ۱۳۹۱و ۱۳۹۵در رشته برق مخابرات در دانشگاه آزاد اسلامی یادگار امام خمینی (ره) واحد شهرری گرفت.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

Bahareh.khosravani@yahoo.com



سعید قاضی مغربی. ایشان مهندسی الکترونیک خود را در سال ۱۳۶۸ از دانشگاه شهید باهنر کرمان و کارشناسی ارشد مخابرات را در سال ۱۳۷۴ از دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی و در سال ۱۳۸۸ دکترای تخصصی خود را در مخابرات سیستم از واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی گرفتند. نامبرده از سال ۱۳۶۸ عضو هیئت علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یادگار امام خمینی (ره) شهرری است. هم‌اکنون ریاست این دانشگاه را برعهده دارند. ایشان در سال ۱۳۹۵ موفق به اخذ رتبه سوم پژوهش‌های کاربردی جشنواره بین‌المللی خوارزمی شدند و تاکنون ترجمه و تألیف پنج کتاب دانشگاهی را انجام داده‌اند و تخصص ایشان در حوزه مخابرات دیجیتال، فیلترهای وفقی و مخابرات طیف گسترده است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

ghazimaghrebi@jdnasir.ac.ir

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-14]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.2.32]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.2.32] [Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-14]