

تجزیه و تحلیل عملکرد کدهای کانولوشنال تعریف شده در میدان حقیقی در کانال فیدینگ و در حضور نویز کوانتیزاسیون

پائیز عزمی^۱ محمد مهدی سرمدی^۲

۱- دانشیار مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه تربیت مدرس -تهران- ایران

Pazmi@modares.ac.ir

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی برق و کامپیوتر- دانشگاه تربیت مدرس - تهران- ایران

چکیده: یکی از راه‌های مقابله با فیدینگ و نویزهای موجود در کانال مخابراتی استفاده از کدهای کانال می باشد. تاکنون بیشتر فعالیت‌های انجام شده در این زمینه مربوط به کدهای تعریف شده در میدان‌های با مرتبه محدود یا عبارت دیگر میدان‌های گالوا بوده است. سابقه کدهای تعریف شده در میدان‌های با مرتبه نامحدود مانند میدان‌های حقیقی و مختلط به بیش از دو دهه قبل باز می‌گردد؛ ولی در سالیان اخیر این موضوع بعلت قابلیت این نوع از کدها در امکانپذیر کردن کدینگ مشترک منبع و کانال در ارسال چند رسانه ای دوباره مورد توجه محققین قرار گرفته است. بر همین اساس در این مقاله یک روش جدید دکدینگ با استفاده از فیلترهای کالمن برای کدهای کانولوشنال تعریف شده در میدان حقیقی پیشنهاد می شود و عملکرد آن در حضور انواع اختلال‌ها همچون اثر فیدینگ و نویز کوانتیزاسیون مورد بررسی قرار می‌گیرد.

کلمات کلیدی: کدهای کانولوشنال ، میدان حقیقی، فیدینگ، نویز کوانتیزاسیون و فیلتر کالمن

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۸۵/۰۳/۱۲

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۸۷/۰۹/۱۲

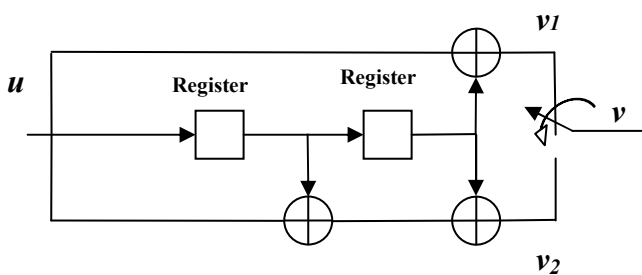
نام نویسنده‌ی مسئول: پائیز عزمی

نشانی نویسنده‌ی مسئول : ایران - تهران - دانشگاه تربیت مدرس - دانشکده‌ی فنی و مهندسی- بخش برق و کامپیوتر

۲- کدکننده اطلاعات در کدهای کانولوشنال

میدان حقیقی

کدکننده‌های کانولوشنال را می‌توان به سادگی با استفاده از شیفت رجیسترها و جمع‌کننده‌ها طراحی نمود. در میدان گالوای با مرتبه ۲ جمع‌کننده‌ها از نوع باینری بوده و در میدان حقیقی جمع‌کننده‌ها این عملیات را در میدان حقیقی انجام می‌دهند. شکل ۱ یک نمونه از کدکننده‌های غیرسیستماتیک کد کانولوشنال با نرخ ۱/۲ را نشان می‌دهد. در این شکل u بردار ورودی کدکننده و v_1 بردار خروجی اول و v_2 بردار خروجی دوم کدکننده را نشان می‌دهد.



شکل (۱): یک کدکننده غیرسیستماتیک با نرخ ۱/۲ برای کد کانولوشنال

در گیرنده پس از دریافت اطلاعات کدشده عمل کدگشایی انجام می‌گیرد. در این مقاله برای کدگشایی کد کانولوشنال در میدان حقیقی استفاده از فیلتر کالمن پیشنهاد می‌شود؛ لذا در بخش بعد به مروری بر فیلتر کالمن و بررسی کدگشای پیشنهادی می‌پردازیم.

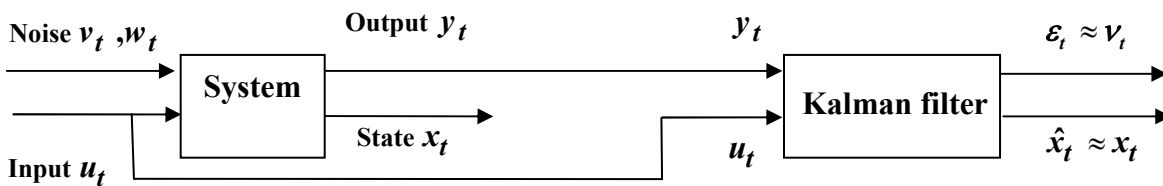
۳- فیلتر کالمن و کدگشای پیشنهادی

در بسیاری از موارد یک سیستم بصورت خطی و دینامیکی^۴ قابل مدل سازی می‌باشد که این مدل مجموعه‌ای از معادلات خطی است که برای توصیف حالت سیستم بر حسب زمان بکار می‌رود [۱۴]. منظور از حالت در اینجا برداری با n متغیر است که با معین بودن آن و با مشخص بودن ورودی سیستم، خروجی تعیین می‌گردد. یک سیستم خطی دینامیکی علاوه بر مدل سیستم^۵ شامل یک مدل اندازه‌گیری^۶ نیز می‌باشد. هدف از استفاده از فیلتر کالمن تخمین حالت سیستم با کمک اندازه‌گیری‌های در دسترس می‌باشد. در شکل ۲ شمایی کلی از عملکرد فیلتر کالمن نمایش داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده میشود خروجی فیلتر کالمن تخمینی از حالت سیستم می‌باشد.

کدهای کانولوشنال یک خانواده مهم از کدهای کانال می‌باشند که در سیستمهای مخابراتی بکار می‌روند. این نوع کدها بر خلاف کدهای بلوکی دارای حافظه می‌باشند و عموماً در میدانهای گالوا با مرتبه محدود تعریف می‌شوند [۱]. برای اولین بار در سال ۱۹۹۳ ایده وجود کدهای کانولوشنال در میدان حقیقی توسط فرخ مروستی معرفی گردید [۲]. سپس در سال ۱۹۹۷ روبرت ردینبو^۱ در مقاله‌ای نشان داد که چگونه مقادیر پریته^۲ حاصل از این کد می‌تواند در حفاظت از پردازشگرهای خطی مورد استفاده قرار گیرد [۳]. در الگوریتم ارائه شده توسط ردینبو وقتی میزان خطای گرد کردن^۳ در محاسبه سمبل‌های پریته از حد معینی تجاوز می‌کند بروز خطا آشکار شده و تخمینی از خطا بدست می‌آید که با کم کردن آن از مقدار دریافتی عمل تصحیح خطا انجام می‌گیرد. در این مقاله به نویز کانال و نویز حاصل از کوانتیزه کردن سیگنال اصلی هیچ اشاره ای نشده است [۴].

در سالیان اخیر توجه محققان زیادی به کدهای کانال در میدانهای حقیقی و مختلط جلب شده که البته تمرکز آنها بر روی کدهای بلوکی می‌باشد [۵-۱۳]. این نوع از کدها به دلیل امکانپذیر کردن کدینگ مشترک منبع و کانال، در ارسال سیگنالهای چندرسانه-ای اهمیت شایانی یافته اند. این واقعیت ما را بر آن داشت که عملکرد کدهای کانولوشنال در میدان حقیقی را مورد مطالعه قرار دهیم. در همین چارچوب در این مقاله با فرض حضور نویز کانال و نویز کوانتیزاسیون به بررسی عملکرد کدهای کانولوشنال در میدانهای حقیقی می‌پردازیم. از آنجا که مراحل کدکردن اطلاعات در کدهای کانولوشنال بصورت خطی انجام می‌گیرد؛ فیلتر کالمن یک انتخاب مناسب برای تصحیح خطا و پیش‌بینی ورودی دکدر خطی به نظر می‌رسد. بر این اساس در این مقاله یک روش جدید بر مبنای فیلتر کالمن برای دکدینگ کدهای کانولوشنال پیشنهاد شده و عملکرد آن مورد بررسی قرار می‌گیرد.

بدنبال این مقدمه، در بخش بعدی به بیان ساختار کدکننده کانولوشنال میدان حقیقی مورد استفاده در این مقاله می‌پردازیم. سپس در بخش سوم ساختار فیلتر کالمن و کدگشای پیشنهادی را ارائه می‌کنیم. بخش چهارم به نحوه پیاده‌سازی کد کانولوشنال میدان حقیقی اختصاص یافته و در بخش پنجم به ارزیابی عملکرد آن خواهیم پرداخت. در بخش ششم عملکرد کدهای کانولوشنال در میدانهای حقیقی و گالوا را مقایسه نموده و در نهایت در بخش پایانی به جمع بندی نتایج این مقاله خواهیم پرداخت.



شکل (۲): ساختار کلی عملکرد فیلتر کالمن برای تخمین حالت سیستم

عملکرد مناسب فیلتر کالمن در یک سیستم واقعی تا اندازه زیادی به انتخاب مدل خطی مناسب توسط طراح وابسته می‌باشد. در این قسمت با توجه به کدکننده مورد بررسی در این مقاله که در شکل ۱ نشان داده شده است، به تعیین مدل متناظر با آن می‌پردازیم. روابط زیر برای توصیف مدل سیستم و مدل اندازه‌گیری متناظر با کدکننده موردنظر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A}\mathbf{x}_k + \mathbf{B}u_k + \mathbf{w}_k \quad (5)$$

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{C}\mathbf{x}_k + \mathbf{D}u_k + \mathbf{v}_k \quad (6)$$

در روابط بالا اسکالر u_k ورودی سیستم و بردار حالت سیستم در لحظه $k+1$ ام و \mathbf{y}_k بردار مقدار اندازه‌گیری شده در لحظه k ام را نشان می‌دهد. متغیرهای برداری \mathbf{w}_k و \mathbf{v}_k مستقل از یکدیگر، سفید و گوسی فرض می‌شوند. ماتریس کواریانس نویز فرآیند را \mathbf{Q} و ماتریس کواریانس نویز اندازه‌گیری را برابر با \mathbf{R} در نظر می‌گیریم. ماتریس‌های \mathbf{A} و \mathbf{B} برای بیان رابطه حالت سیستم در لحظات $k+1$ و k ام و ماتریس‌های \mathbf{C} و \mathbf{D} رابطه بین خروجی اندازه‌گیری شده، حالت سیستم و ورودی را بیان می‌کنند.

حال به محاسبه ماتریس‌های \mathbf{A} و \mathbf{B} و \mathbf{C} و \mathbf{D} در کد کانولوشنال مورد استفاده در این مقاله می‌پردازیم. با توجه به کد کننده ارایه شده در شکل ۱ بردار حالت و بردار مقادیر اندازه‌گیری به صورت زیر قابل بیان می‌باشند.

$$\mathbf{x}_{k+1} = \begin{pmatrix} u_k \\ u_{k-1} \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$\mathbf{y}_k = \begin{pmatrix} u_k + u_{k-2} \\ u_k + u_{k-1} + u_{k-2} \end{pmatrix} \quad (8)$$

برای محاسبه ماتریس‌های \mathbf{A} و \mathbf{B} و \mathbf{C} و \mathbf{D} با توجه به مجموعه روابط (۵)–(۶) و (۷)–(۸) داریم:

$$\begin{pmatrix} u_k \\ u_{k-1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_{k-1} \\ u_{k-2} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e \\ f \end{pmatrix} u_k \quad (9)$$

در این شکل بردار u_t ورودی سیستم می‌باشد که به عنوان سیگنال کنترل در فیلتر کالمن مورد استفاده قرار می‌گیرد. بردارهای \mathbf{v}_t و \mathbf{w}_t نویزهای اضافه شده به سیستم هستند که آنها را به ترتیب نویز فرایند^۷ و نویز اندازه‌گیری^۸ می‌نامند. بردار خروجی سیستم است که به عنوان مقادیر اندازه‌گیری شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. بردار \mathbf{x}_t هم بیانگر حالت سیستم است و هدف آن است که خروجی فیلتر کالمن ($\hat{\mathbf{x}}_t$) تخمین دقیقی از این مقدار باشد. بردار \mathbf{e}_t خروجی دیگر فیلتر کالمن است که تخمینی از نویز اندازه‌گیری را فراهم می‌سازد.

اساس کار فیلتر کالمن بر پیش بینی متغیر مورد نظر و تصحیح این پیش بینی بنا شده است. فیلتر کالمن با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده که در اختیار است، ابتدا حالت سیستم را که در حقیقت حالت سیستم بعد از گذشت یک واحد زمان می‌باشد، پیش بینی می‌کند که این کمیت به تخمین پیشین^۹ $\hat{\mathbf{x}}_k^+$ معروف است. پارامترهای پیشین پارامترهایی هستند که در زمان k ام به اندازه‌گیری‌های انجام شده تا زمان $k-1$ ام و یا ورودی‌های سیستم تا لحظه $k-1$ ام وابسته می‌باشند. مقدار اولیه برای تخمین پیشین به علت وجود نویز همراه با خطاست و ممکن است با مقدار واقعی اختلاف زیادی داشته باشد. در قدم بعد فیلتر با استفاده از اطلاعات حاصل از مقادیر اندازه‌گیری جدید، شروع به تصحیح مقدار پیش‌بینی شده می‌نماید و در پایان تخمینی را ارائه می‌نماید که تخمین پسین^{۱۰} $\hat{\mathbf{x}}_k^+$ خوانده می‌شود.

بعد از انجام تخمین نیاز است تا عملکرد فیلتر کالمن در هر مرحله مورد ارزیابی قرار گیرد؛ لذا برای ارزیابی میزان خطا، مقادیر خطای پیشین^{۱۱} و پسین^{۱۲} بصورت زیر تعریف می‌گردند.

تخمینی را ارائه می‌نماید که تخمین پسین^{۱۰} $\hat{\mathbf{x}}_k^+$ خوانده می‌شود.

بعد از انجام تخمین نیاز است تا عملکرد فیلتر کالمن در هر مرحله مورد ارزیابی قرار گیرد؛ لذا برای ارزیابی میزان خطا، مقادیر خطای پیشین^{۱۱} و پسین^{۱۲} بصورت زیر تعریف می‌گردند.

$$\mathbf{e}_k^+ = \mathbf{x}_k - \hat{\mathbf{x}}_k^+ \quad (1)$$

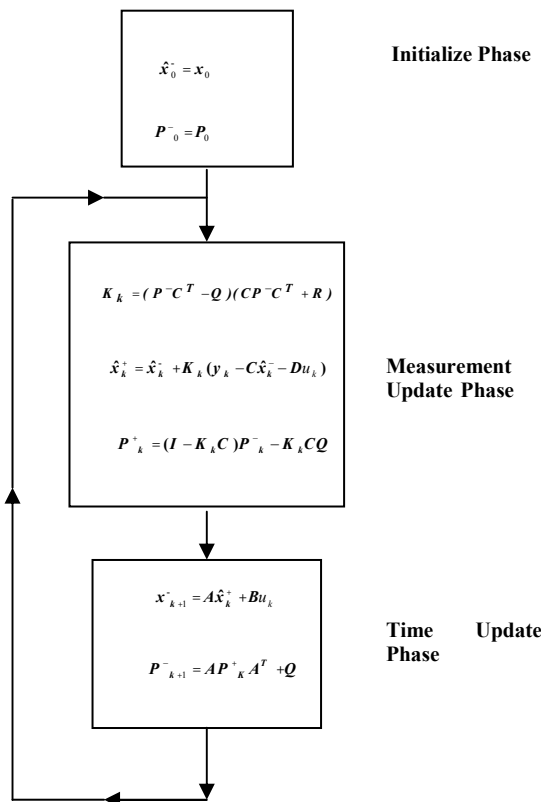
$$\mathbf{e}_k^- = \mathbf{x}_k - \hat{\mathbf{x}}_k^- \quad (2)$$

بر مبنای تعاریف فوق مقادیر کواریانس خطای تخمین پیشین^{۱۳} و پسین^{۱۴} هم بر اساس روابط زیر قابل محاسبه می‌باشند.

$$\mathbf{P}_k^- = \mathbf{E} \left[\mathbf{e}_k^- \mathbf{e}_k^{-T} \right] \quad (3)$$

$$\mathbf{P}_k^+ = \mathbf{E} \left[\mathbf{e}_k^+ \mathbf{e}_k^{+T} \right] \quad (4)$$

جدول (۱): فلوجارت الگوریتم فیلتر کالمن



$$\begin{pmatrix} u_k + u_{k-2} \\ u_k + u_{k-1} + u_{k-2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g & h \\ i & j \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_{k-1} \\ u_{k-2} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} k \\ l \end{pmatrix} u_k \quad (10)$$

با حل معادلات حاصل از روابط (۹) و (۱۰) ماتریسهای مورد نظر بصورت زیر محاسبه می‌شوند.

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (11)$$

$$B = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} \quad (12)$$

$$C = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$D = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (14)$$

حال با کمک مقادیر حاصل می‌توان به پیاده سازی الگوریتم کالمن برای کد گشایی کد کانولوشنال پرداخت. در اینجا مجددا تاکید می‌کنیم که مقادیر حاصل برای ماتریسهای A و B و C و D مربوط به کد کننده از ایه شده در شکل ۱ می باشد و برای سایر کدکننده ها ماتریسهای متفاوتی بدست می آید.

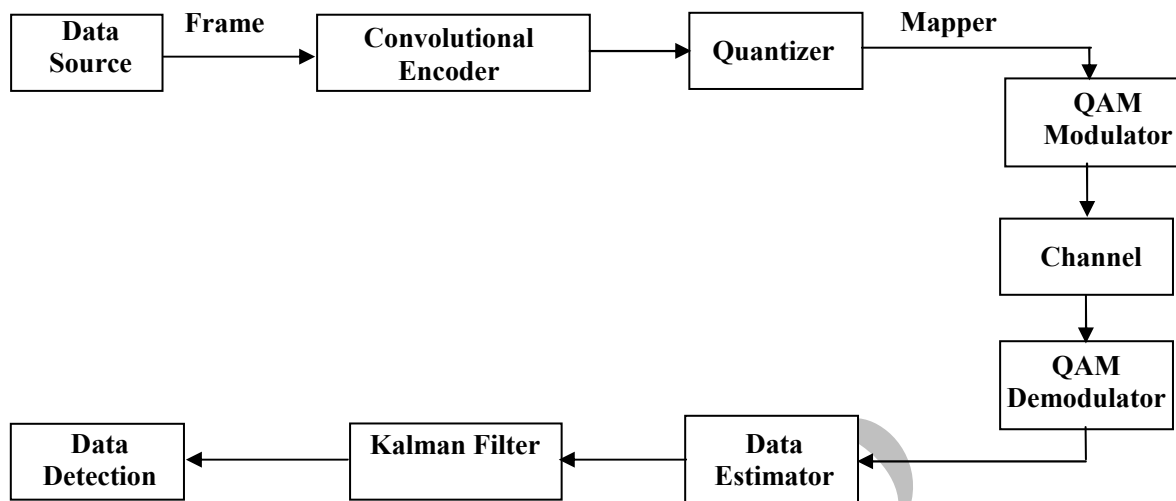
فلوجارت الگوریتم کالمن در جدول ۱ نشان داده شده است [۱۵]. در این فلوجارت مراحل انجام الگوریتم فیلتر کالمن ملاحظه می‌گردد. پس از تخمین اولیه، در مرحله دوم ماتریس K که بهره فیلتر کالمن می‌باشد را به صورتی بدست می‌آوریم که کورایانس خطای تخمین حداقل گردد. سپس با کمک بهره فیلتر کالمن، تخمین پسین و کورایانس خطای تخمین پسین در لحظه k ام را محاسبه می‌نماییم. در مرحله بعد به محاسبه تخمین حالت پیشین و کورایانس خطای تخمین پیشین در لحظه $k+1$ ام پرداخته و به صورت تکراری به مرحله دوم می‌رویم و انجام الگوریتم به همین ترتیب ادامه پیدا می‌کند.

۴- پیاده سازی کد کانولوشنال میدان حقیقی

در شکل ۳ بلوک دیاگرام سیستم مخابراتی مورد استفاده در شبیه‌سازها نشان داده شده است. اطلاعات خروجی از منبع به طور پیوسته وارد کدکننده نمایش داده شده در شکل ۱ با نرخ کد $1/2$ شده

و این بلوک سمبلها را کد کرده و به ازاء هر سمبل ورودی حقیقی دو سمبل کد شده حقیقی تولید می‌نماید. پس از عملیات کدینگ با توجه به محدودیت پهنای باند در دسترس باید ابتدا داده‌ها را کوانتیزه کرده و سپس ارسال نمود. در بخش کوانتیزه کننده از کوانتیزاسیون خطی یکنواخت با ۲۵۶ سطح استفاده شده است. با عبور داده‌ها از این بخش مقادیر خروجی به ۲۵۶ مقدار متفاوت نگاشت می‌شود. در مرحله بعد سمبلها مدوله می‌گردند. برای این منظور از روش مدولاسیون 256-QAM استفاده می‌گردد.

در ارسال باینری برای آنکه سمبل های مجاور به گونه‌ای قرار گیرند که فاصله همینگ آنها تنها یک بیت باشد، از Gray code در طراحی Constellation مربوط به مدولاتور استفاده می‌شود. با استفاده از این روش در صورت بروز خطا بین سمبلهای مجاور تنها در یک بیت خطا ایجاد می‌شود. در حالت مورد بحث این مقاله که داده‌ها به صورت مقادیری حقیقی می‌باشند، مشابه با کدهای باینری، در طراحی Constellation تلاش می‌شود که نحوه چینش روی صفحه Constellation به صورتی باشد که فاصله اقلیدسی بین مقادیر مجاور کمترین مقدار باشد تا در صورت وقوع خطا در آشکارسازی، فاصله مقادیر بین داده اصلی و مقدار آشکارسازی شده حداقل باشد. بر این اساس ما چندین نوع نگاشت مختلف را بررسی نموده و یک نگاشت



شکل (۳): بلوک دیاگرام سیستم مخابراتی مورد استفاده در بررسی عملکرد کد کانولوشنال حقیقی

حقیقی و دکدر پیشنهادی می پردازیم. لازم به ذکر است که برای کاهش عدم قطعیتی که بدلیل انتخاب تصادفی سمبولهای ارسالی و ساختار تصادفی کانال در محاسبه متوسط مربع خطای نرمال شده توسط شبیه سازی ایجاد می گردد، در همه موارد این کمیت (متوسط مربع خطای نرمال شده) برای ۱۰۰۰ تحقق مختلف و مستقل محاسبه گردیده و نتایج ارائه شده در این مقاله از متوسط گیری عددی آن نتایج حاصل شده است.

۵- بررسی شبیه سازی ها و ارزیابی عملکرد کدگشای پیشنهادی

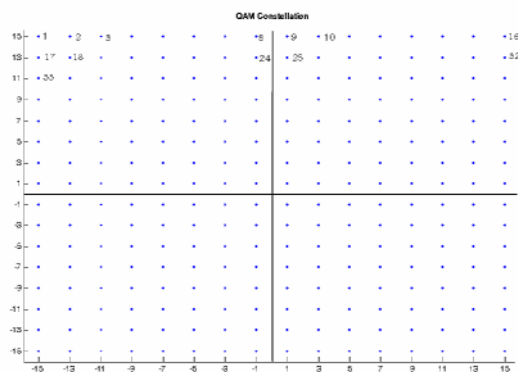
برای بکارگیری الگوریتم فیلترکالمن و با توجه به مدل مورد استفاده لازم است که از ورودی کنترلی استفاده شود. نحوه ارایه ورودی کنترلی u_k به فیلتر کالمن در شکل ۲ نشان داده شده است. این ورودی در حقیقت همان ورودی اعمال شده به کدکننده است، اما در گیرنده این ورودی را در دسترس نداریم؛ لذا بر اساس روابط مورد استفاده در محاسبه کلمات کد و با استفاده از سمبل های دریافتی، تخمینی را از ورودی اولیه بدست می آوریم. ساده ترین روش برای تخمین، استفاده از همان رابطه کدکننده می باشد. معادله مربوط به کد کننده شکل ۱ در رابطه (۱۵) ذکر شده است.

$$\begin{pmatrix} v_{1k} \\ v_{2k} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_k + u_{k-2} \\ u_k + u_{k-1} + u_{k-2} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \end{pmatrix} u_k \quad (15)$$

در رابطه بالا مقادیر v_{1k} و v_{2k} داده های دریافتی در گیرنده در لحظه k ام می باشند. بر این اساس تخمین اولیه u_k را با استفاده از رابطه زیر بدست می آوریم.

$$\hat{u}_k = \frac{(v_{1k} - u_{k-2})}{2} \quad (16)$$

مناسب که در شکل ۴ مشاهده می شود را به عنوان طرح Constellation مورد استفاده در این مقاله انتخاب نمودیم. در شکل مذکور شماره های قرار داده شده روی نقاط نشان دهنده نگاشت داده های کوانتیزه شده می باشد؛ بدین ترتیب که مقادیر بین کمینه و بیشینه دامنه داده های ورودی را به ۲۵۶ سطح کوانتیزه نموده و به ترتیب به هر یک عددی از ۱ تا ۲۵۶ نسبت می دهیم؛ به عنوان مثال عدد ۱۸ که بر روی یکی از نقاط Constellation نوشته شده است بدین معنی است که اگر مقدار مورد نظر برای ارسال در کانال برابر با داده ای باشد که عدد هجده به آن نسبت داده شده است آنگاه مقادیر متناظر با دو مقدار (۱۳ و ۱۳-) به کانال ارسال می گردد. حال پس از مدولاسیون، سمبل های ارسالی وارد کانال شده و در کدگشا با کمک فیلتر کالمن حالت کد کننده تخمین زده می شود که این حالت با یک تاخیر زمانی، ورودی لحظه قبل کدکننده می باشد.



شکل (۴): Constellation منتخب مورد استفاده در شبیه سازی های این مقاله

در بخش بعد با محاسبه متوسط مربع خطای نرمال شده برای حالت کد شده و کد نشده به ارزیابی عملکرد کدکانولوشنال در میدان

با ارایه این مقادیر به فیلتر کالمن، تخمین اولیه بهبود یافته و یک تخمین مناسب از داده‌های ورودی تولید می‌گردد. در این صورت خروجی فیلتر کالمن داده‌های کدگشایی شده خواهند بود.

حال به بررسی اثرات نویزهای حاصل از فرآیند کوانتیزاسیون و کانال می‌پردازیم. برای انجام شبیه‌سازی‌های اولیه طول بلوک ورودی به کدکننده را ۱۰۰ سمبل در نظر می‌گیریم. متوسط مربع خطا برای حالات کد شده و کد نشده در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود حالت کد شده عملکرد مناسبی نسبت به حالت کد نشده دارد. به عنوان مثال در متوسط مربع خطای برابر با 10^{-3} ، سیگنال به نویز مورد نیاز برای حالت کد شده 4dB کمتر از میزان مورد نیاز برای حالت کد نشده می‌باشد.

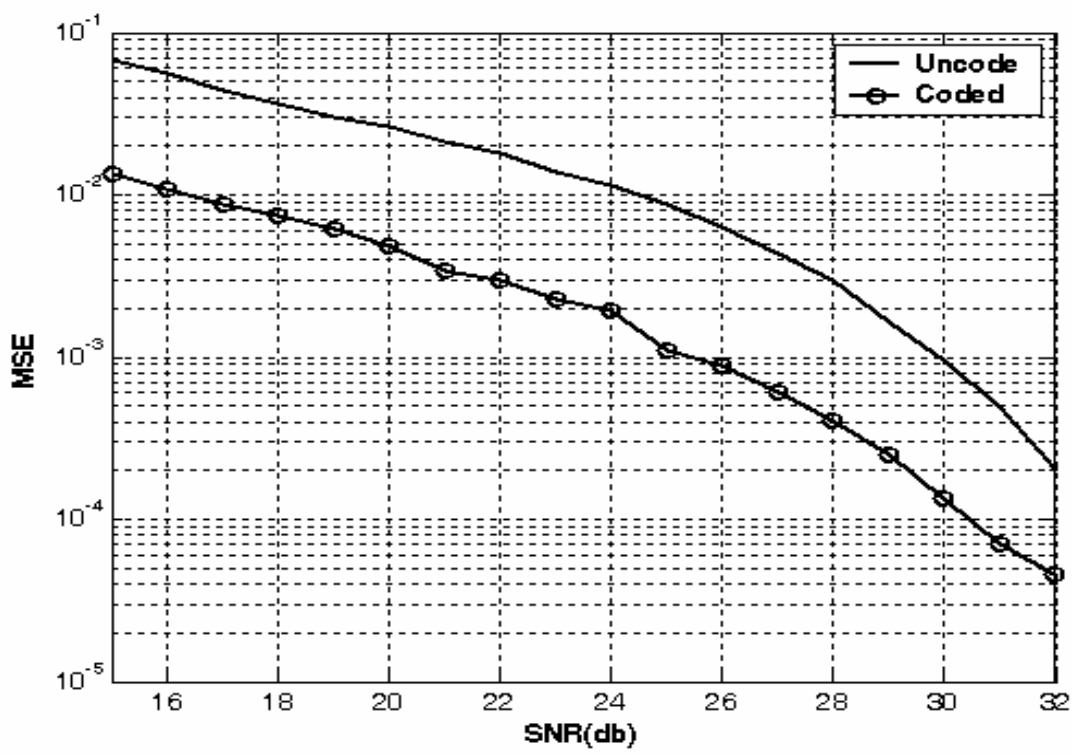
در حالت قبل تخمین ساده ورودی‌ها به عنوان سیگنال کنترلی مورد استفاده قرار گرفت حال خروجی فیلتر کالمن را که تخمین بسیار بهتری است به عنوان سیگنال کنترلی مورد استفاده قرار می‌دهیم. از نتایج شبیه‌سازیها که در شکل ۶ نشان داده شده است، مشاهده می‌شود که تغییر کمی در میزان متوسط مربع خطا حاصل شده است؛ لذا استفاده از تخمین ساده ارایه شده در رابطه (۱۶) موجه می‌باشد.

حال به بررسی تاثیر افزایش طول بلوک ورودی می‌پردازیم. برای این منظور متوسط مربع خطای نرمال شده برای طول‌های بلوک ۱۰ و

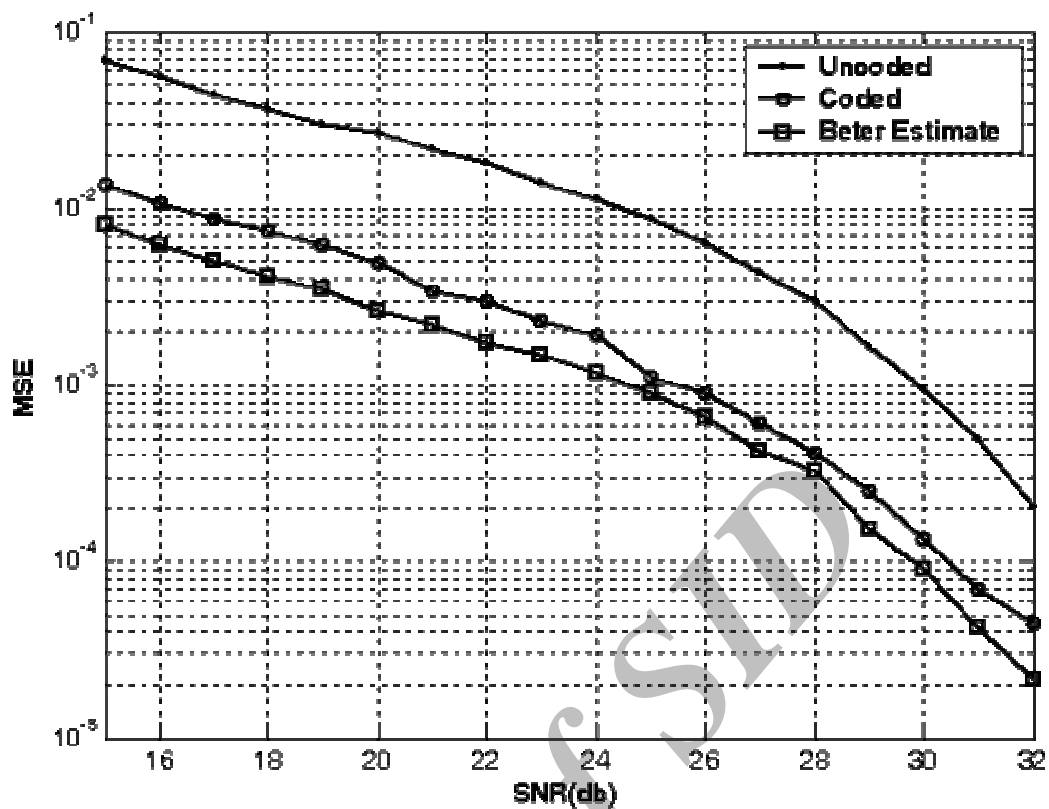
۱۰۰ و ۱۰۰۰ در شکل ۷ رسم شده است. در این شکل N_s بیانگر طول دنباله سمبلها می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش طول بلوک ورودی به کدکننده، تصحیح خطا در فیلتر کالمن بهتر انجام می‌گیرد. این بهبود از دو علت حاصل می‌گردد: از یک طرف همانطور که می‌دانیم افزایش طول دنباله سمبلها به بهبود کارایی کدینگ منجر می‌گردد و از طرف دیگر در این نوع کد که سمبولها اعداد حقیقی می‌باشند بعلت بهبود مرحله به مرحله تخمین فیلتر کالمن؛ با افزایش طول بلوک تخمین نهایی بهتر خواهد بود.

حال به بررسی تاثیر ساختار شیفت رجیسترهای کدکننده در عملکرد کدهای کانولوشنال میدان حقیقی می‌پردازیم. یک نمونه دیگر از کدکننده‌های غیر سیستماتیک کد کانولوشنال با نرخ ۱/۲ در شکل ۸ نشان داده شده است. در حالت جدید با توجه به تغییر عملیات محاسباتی کدکننده باید ماتریس‌های A, B, C و D دوباره محاسبه گردند.

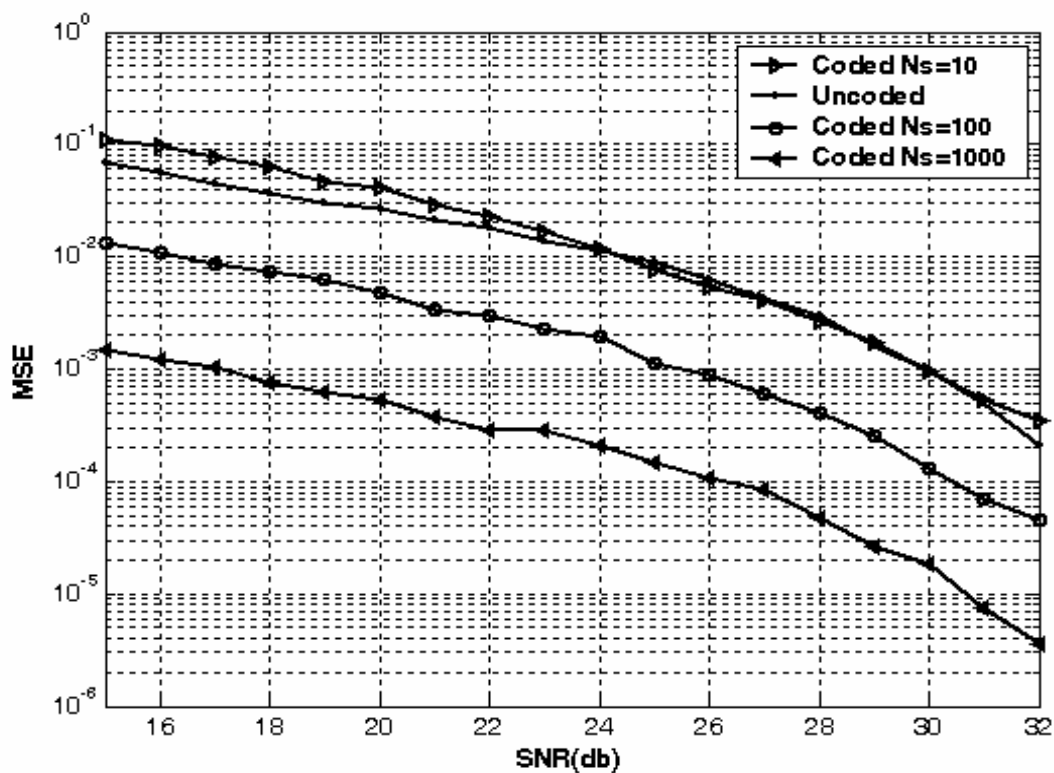
به سهولت می‌توان ملاحظه نمود که با بکارگیری مجموعه روابط (۵)-(۶) و (۷)-(۸) ماتریسهای A, B و D مشابه ساختار شکل ۱ از روابط (۱۱)، (۱۲) و (۱۴) بدست آمده و ماتریس C بصورت زیر محاسبه می‌گردد:



شکل (۵): مقایسه متوسط مربع خطای نرمال شده برای حالت کد شده و کد نشده



شکل (۶): مقایسه متوسط مربع خطای نرمال شده برای حالت‌های مختلف تخمین سیگنال کنترل در الگوریتم کالمن



شکل (۷): مقایسه متوسط مربع خطای نرمال شده برای حالتی که طول بلوک داده‌های ورودی به کد کننده برابر با ۱۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ می‌باشد.

$$K_f = \frac{a^2}{2\delta^2} \quad (20)$$

در واقع پارامتر K_f بیانگر نسبت توان دید مستقیم به توان دریافت شده از طریق انعکاس و یا پراش سیگنال ارسالی در کانال رادیویی می باشد.

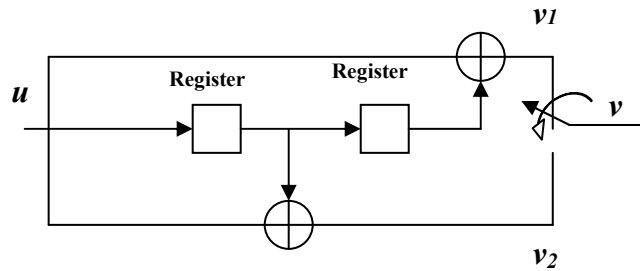
با فرض عبور سمبل های کد شده از این کانال به ارزیابی تاثیر کانال فیدینگ بر عملکرد کد کانولوشنال می پردازیم. شکل ۱۱ متوسط مربع خطا برای پارامترهای فیدینگ $K_f = 3, 1, 0.5$ را نشان می دهد. در کانال فیدینگ برای محاسبه پارامتر فیدینگ، در رابطه (20) یا واریانس هر یک از مولفه های ضریب فیدینگ $c(t)$ که یک فرایند تصادفی مختلط است (برابر 0.5 در نظر گرفته شده است. مشاهده می شود که وقتی مقدار پارامتر فیدینگ خیلی بزرگتر از صفر است فیدینگ تاثیر چندانی بر عملکرد سیستم کد شده ندارد و هرچه مقدار این پارامتر کمتر می شود تاثیر مخرب فیدینگ بیشتر نمایان می شود. به عنوان مثال در MSE در حدود 10^{-3} تاثیر کانال فیدینگ با پارامترهای $K_f = 0.5$ و $K_f = 3$ روی سیگنال به نوبه مورد نیاز بیشتر از 4dB تفاوت دارد.

۴- مقایسه عملکرد کد کانولوشنال در میدان های حقیقی و گالوا

در این قسمت هدف مقایسه عملکرد کدهای کانولوشنال میدانهای حقیقی و گالوا با ساختار کدگذار یکسان می باشد. در ابتدا یادآور می شویم که در یک سیستم مخابرات دیجیتال اطلاعات قبل از مدولاسیون و ارسال به کانال باید کوانتیزه شود. سیستم مخابراتی که از کد میدان حقیقی استفاده می کند نیز از این قاعده مستثنی نیست. عبارت دقیقتر در صورتیکه از کد کانولوشنال میدان حقیقی استفاده شده و نرخ داده میدان حقیقی اولیه R بوده و نرخ کد r فرض گردد نرخ داده کد شده R/r سمبول بر ثانیه بوده و در صورت استفاده از کوانتیزاسیون n بیتی نرخ داده ارسال شده به کانال nR/r خواهد بود. در صورتیکه از کدهای میدان گالوا با نرخ r استفاده گردد ابتدا باید داده میدان حقیقی اولیه با n بیت کوانتیزه شده و سپس کد شود و در نتیجه نرخ داده ارسال شده به کانال در این حالت نیز nR/r خواهد بود. لذا همانطور که ملاحظه می گردد در صورت استفاده از کوانتیزاسیون و نرخ کد یکسان پهنای باند مورد نیاز هر دو نوع کد میدان حقیقی و گالوا یکسان خواهد بود.

نکته دیگری که در مقایسه عملکرد کدهای کانولوشنال میدانهای حقیقی و گالوا با ساختار کدگذار یکسان باید مورد توجه قرار گیرد پیچیدگی عملیات کدگذاری و دکدینگ می باشد. همانطور که در بخش ۲ اشاره شد ساختار کدگذار در هر دو نوع کد میدان حقیقی و گالوا یکسان است و عملیات مورد نیاز در آنها مشابه می باشد. تنها تفاوت در آن است که در کدگذار میدان گالوا از جمع کننده میدان

$$C = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (17)$$



شکل (۸): یک کدکننده غیرسیستماتیک با نرخ ۱/۲ برای کد کانولوشنال

با فرض ۱۰۰ تایی بودن طول بلوک داده های ورودی به کدکننده به مقایسه متوسط مربع خطای نرمال شده برای کدکننده های شکل های ۸ و ۱ می پردازیم. همانطور که در شکل ۹ ملاحظه می گردد عملکرد کد کانولوشنال با کد کننده اخیر بهبود یافته است. بطور دقیقتر روش اخیر نسبت به روش قبل در MSE در حدود 10^{-3} بیش از 3dB بهتر عمل می کند. این مقایسه برای طول بلوک های ورودی ۱۰ تایی و ۱۰۰۰ تایی هم انجام گرفته است که نتایج در شکل ۱۰ ملاحظه می گردد. به نظر می رسد بهبود عملکرد در استفاده از ساختار کد کننده شکل ۸ به این دلیل است که در این ساختار تاثیر شیفت رجیسترها نسبت به ساختار کد کننده شکل ۱ کمتر می باشند و از آنجا که در تخمین مقادیر شیفت رجیسترها با خطا روبرو هستیم استفاده کمتر از آنها باعث بهبود عملکرد می گردد.

در انتها به بررسی عملکرد کد کانولوشنال حقیقی در کانال فیدینگ می پردازیم. در شبیه سازی ها از مدل فیدینگ صاف با توزیع رایس^{۱۵} برای دامنه سیگنال دریافتی از کانال فیدینگ استفاده شده است. در یک کانال با فیدینگ غیر انتخاب فرکانسی سیگنال باند پایه دریافتی به صورت زیر خواهد بود:

$$r(t) = c(t)s(t) + n(t) \quad (18)$$

که در آن $r(t)$ سیگنال باند پایه دریافتی و $s(t)$ سیگنال باند پایه ارسالی و $n(t)$ نویز سفید جمع شونده گوسی (AWGN) می باشد و همچنین $c(t)$ یک فرایند تصادفی مختلط است که در کانال رایس بصورت زیر مدل می گردد

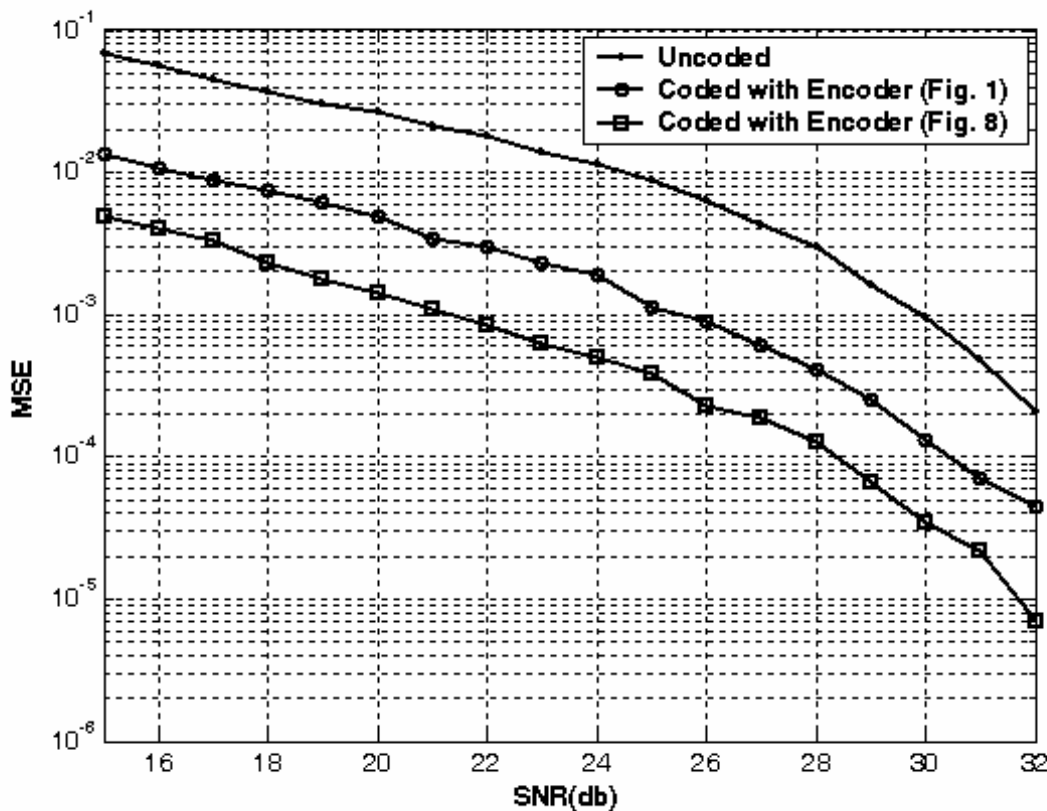
$$c(t) = a + u(t) + jv(t) \quad (19)$$

در رابطه فوق a یک مقدار ثابت بوده و $j = \sqrt{-1}$ است و $u(t)$ و $v(t)$ فرآیند های سفید گوسی با میانگین صفر و واریانس δ^2 می باشند. برای آنکه معیاری برای ارزیابی عمق فیدینگ رایس داشته باشیم پارامتر K_f را به صورت زیر تعریف می کنیم.

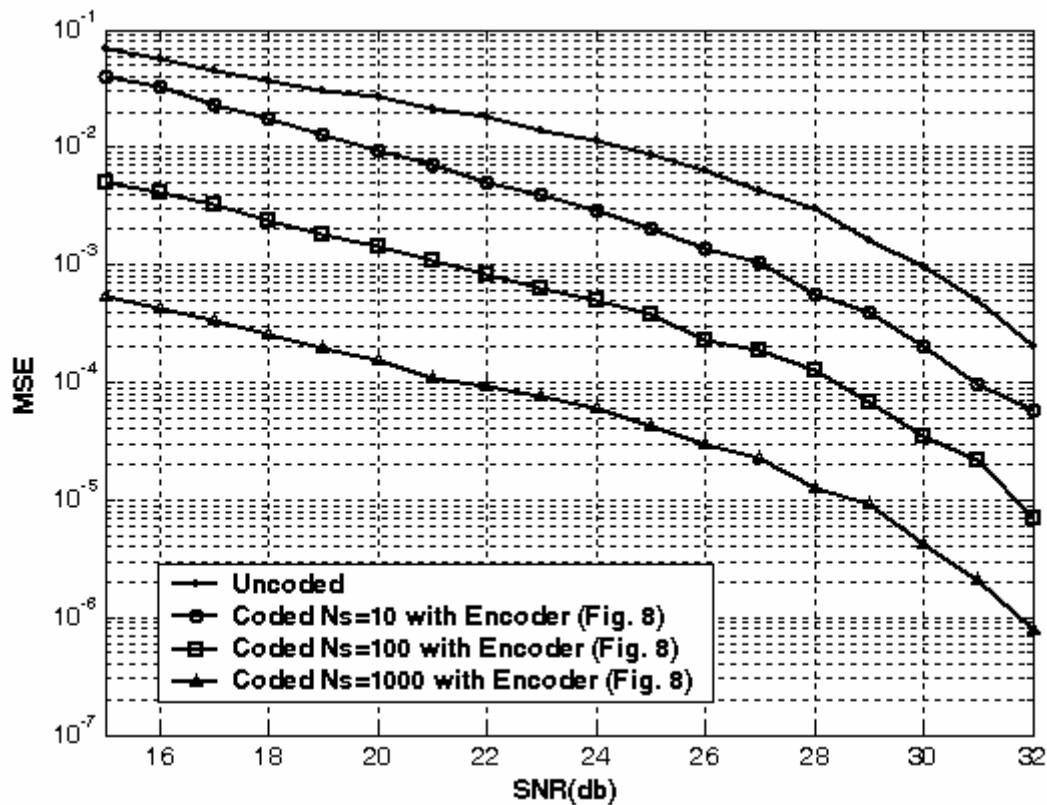
گفت که پیچیدگی کدهای کانولوشنال در میدان گالوا و میدان حقیقی در بسیاری از موارد قابل مقایسه می باشند.

بلوک دیاگرام کدگذار مورد استفاده در میدان گالوا مشابه شکل ۱ می باشد و تنها تفاوت در آن است که جمع کننده در میدان باینری عمل می کند. در پیاده سازی ابتدا داده های حقیقی به ۲۵۶ سطح کوانتیزه شده و معادل با هر یک از داده های کوانتیزه شده یک عدد باینری ۸ بیتی منحصر به فرد اختصاص می یابد. داده های باینری تولید شده به کد کننده مورد نظر در میدان گالوا ارسال می گردد. پس از کدگذاری و استفاده از کانالی شبیه به کانال مورد استفاده در شبیه سازیهای قبلی، اطلاعات در طرف گیرنده دریافت و عمل کدگشایی روی داده ها انجام می گیرد. مقادیر کدگشایی شده مقادیر باینری هستند و با جایگذاری معادل حقیقی آنها، متوسط مربع خطا نسبت به داده های اولیه محاسبه می گردد. نتیجه مقایسه کدهای کانولوشنال در میدانها حقیقی و گالوا در شکل ۱۲ ملاحظه می گردد. می توان دید که عملکرد کد در میدانهای حقیقی با معیار متوسط مربع خطا بهتر از کد معادل در میدان گالواست. این نتیجه به آن دلیل است که در مقایسه MSE، مکان ارزشی بیت خطا شده اهمیت زیادی در تغییر متوسط خطا دارد و با بروز خطا در بیت های با ارزش بالا، خطای زیادی ایجاد می گردد.

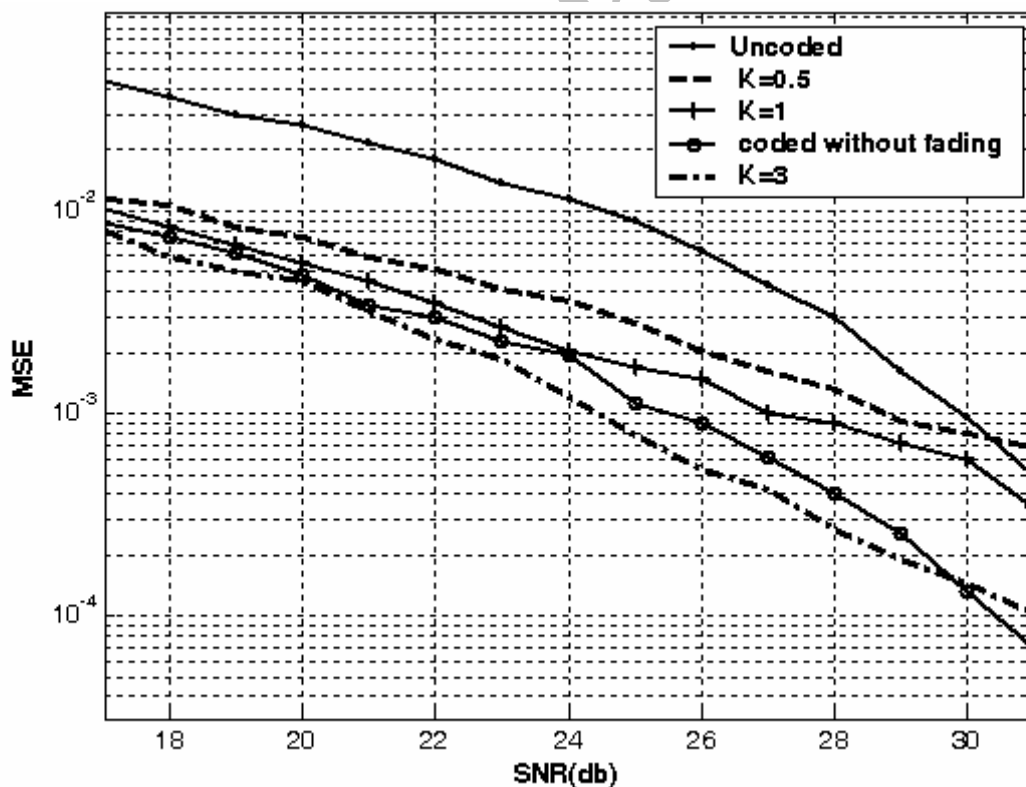
گالوا استفاده شده و در کدگذار میدان حقیقی از جمع کننده میدان حقیقی استفاده می گردد. تفاوت عمده میان دو نوع کد از لحاظ پیچیدگی مربوط به عملیات دکدینگ می باشد. در صورت استفاده از کدهای میدان گالوا روش دکدینگ بر مبنای الگوریتم معروف ویتربی عمل می کند و در صورت استفاده از کدهای میدان حقیقی دکدینگ با استفاده از روش پیشنهادی بر مبنای الگوریتم کالمن عمل می کند. همانطور که می دانیم پیچیدگی الگوریتم ویتربی با افزایش مجموع حافظه (جمع تعداد رجیستر ها) و تعداد ورودی های کدگذار بصورت نمایی افزایش می یابد [۱]. مرتبه پیچیدگی محاسباتی الگوریتم کالمن (در بدترین حالت) با توان ۶ از تعداد حالتها که معادل جمع تعداد رجیستر ها است افزایش می یابد [۱۶]. عبارت دیگر در کدهای با حافظه بالا و یا تعداد ورودیهای بالا الگوریتم دکدینگ پیشنهادی دارای پیچیدگی بسیار کمتری نسبت به الگوریتم ویتربی است. در کدهای با حافظه کم مانند موارد مورد بحث در این مقاله پیچیدگی الگوریتم ویتربی کمتر می باشد. البته در همه شرایط میزان پیچیدگی وابستگی شدیدی به ساختار کدگذار مورد استفاده داشته و نمی توان مقایسه جامعی انجام داد. علاوه بر این الگوریتم های متعددی برای کاهش پیچیدگی محاسباتی الگوریتم های کالمن و ویتربی پیشنهاد شده است که با توجه به نوع کدگذار مورد استفاده می توان از هر یک استفاده نمود [۱۷-۱۹]. از مجموع مباحث فوق بطور خلاصه می توان



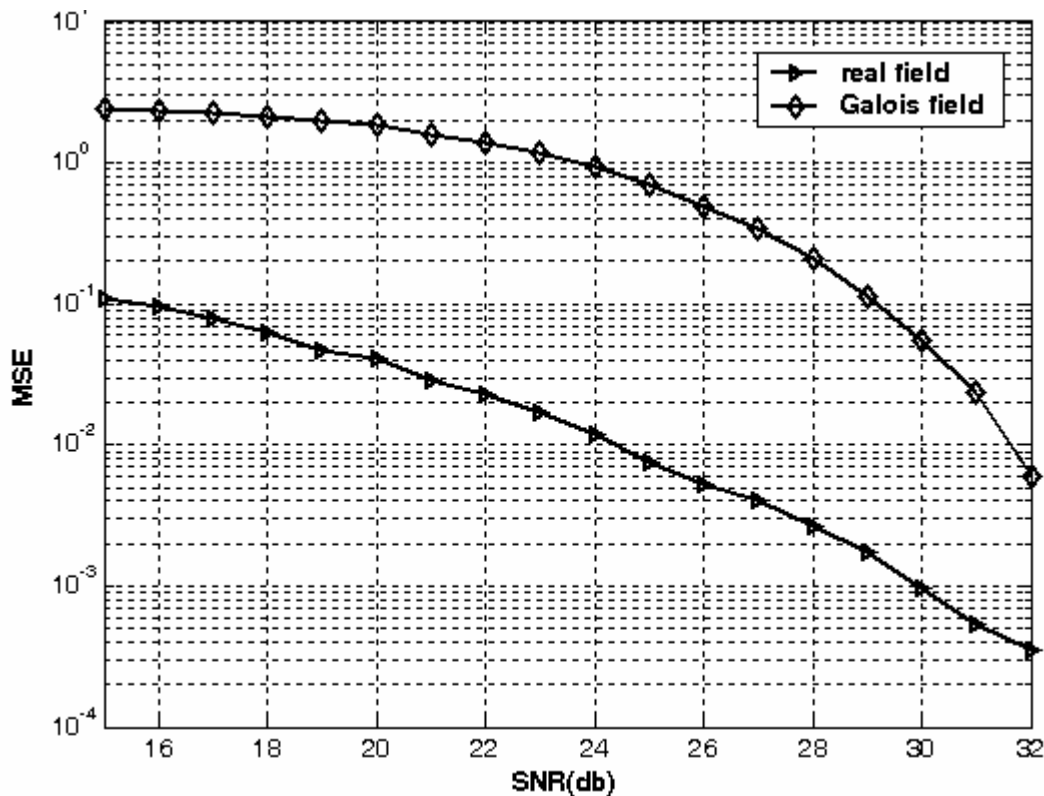
شکل (۹): مقایسه متوسط مربع خطا برای کدکننده های شکل های ۱ و ۸



شکل (۱۰): مقایسه متوسط مربع خطا برای کدکننده شکل ۸ برای سنبلهای ورودی به کد با طول بلوکهای ۱۰، ۱۰۰ و ۱۰۰۰



شکل (۱۱): مقایسه متوسط مربع خطا برای کدکانولوشنال و در کانالهای فیدینگ با مقادیر مختلف پارامتر K_f



شکل (۱۲): مقایسه عملکرد کد کانولوشنال در میدان گالوا و میدان حقیقی

۵- نتیجه گیری

در این مقاله ضمن بررسی عملکرد کدهای کانولوشنال میدان حقیقی در حضور نویز کوانتیزاسیون و اختلالات ناشی از کانال فیدینگ یک روش جدید برای کدگشایی در میدانهای حقیقی پیشنهاد گردید. کدگشای پیشنهادی دارای ساختاری از نوع فیلتر کالمن است. نتایج شبیه‌سازیها نشان میدهد که استفاده از کد کانولوشنال با کدگشای پیشنهادی، عملکرد حالت کد نشده را بهبود می دهد.

همچنین مشاهده گردید که با افزایش طول بلوک ورودی به کدکننده، به علت بالا رفتن سبلمهای افزودگی و ارایه تخمین بهتر توسط فیلتر کالمن، کدینگ کانولوشنال عملکرد بهتری را از خود نشان می دهد. همینطور نشان داده شد که عملکرد کد کانولوشنال در میدانهای حقیقی با معیار متوسط مربع خطا بهتر از کد معادل در میدان گالوا می باشد.

قدردانی و تشکر

بخشی از این مقاله در راستای انجام طرح شماره ۸۴۰۹۴/۲۴ و با استفاده از پشتیبانی صندوق حمایت از پژوهشگران کشور انجام شده است.

مراجع

- [1] Lin S. and Costello J., "Error Control Coding: Fundamentals and application", Prentice- Hall, 2004.
- [2] Marvasti F. and Nafie M., "Sampling theorem: a unified outlook on information theory, block And convolutional codes," IEICE Trans. Fundamentals, vol. E76-A, no. 9, Sep. 1993.
- [3] Redinbo G. R., "Decoding real-number convolutional codes: change detection, Kalman estimation," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 43, no. 6, Nov. 1997.
- [4] Redinbo G. R., "Generalized algorithm-based fault tolerance: error correction via Kalman estimation," IEEE Trans. Comp., vol. 47, no. 6, June 1998.
- [5] Azmi P. and Marvasti P., "A Pseudo-Inverse based iterative decoding method for DFT codes in erasure channels," IEICE Trans. on Com, vol. E87-B, no. 10, pp. 3092-3095, 2004.
- [6] Azmi P. and Marvasti F., "Robust decoding of DFT-Based error control codes for impulsive and additive white gaussian noise channels," IEE Proceedings, Communications, vol. 152, issue 3, pp. 265-271, June 2005.
- [7] عزمی پائیز و سرمدی محمد مهدی، " تجزیه و تحلیل عملکرد کد بلوکی DFT در کانال فیدینگ و در حضور نویز کوانتیزاسیون " نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ایران، سال ۵، شماره ۳، صفحات ۱۵۵-۱۶۳، پاییز ۱۳۸۶.
- [8] Borodin, L. F. "Correcting codes over the real number field," Journal of communications technology & electronics," vol. 48, n^o8, pp. 896-902, 2003.
- [9] Rath G. and Guillemot C., "Recent advances in DFT codes based quantized frame expansions for erasure

- channels," Digital Signal Processing, vol. 14, Issue 4, ,p. 332-354, July 2004,
- [10] Momenai A. and Talebi S., "Improving the stability of DFT error recovery codes by using sparse oversampling patterns," Signal Processing vol. 87, Issue 6, pp 1448-1461, June 2007.
- [11] Vieira J. M. N., Santos D. M. S. , and Ferreira .P. J. S. G., "Error detection with real-number codes based on random matrices," In Proceedings of the 12th IEEE Digital Signal Processing Workshop, DSPW-2006, pp. 526-530, Sep. 2006.
- [12] Gabay A., Kieffer M., and Duhamel P., "Joint Source-Channel Coding Using Real BCH Codes for Robust Image Transmission," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 16, Issue 6, pp. 1568 – 1583, June 2007.
- [13] Yeun-Renn T., and Chiou-Yng, "A complex-valued cyclic code using fast Fourier transform," in proceeding of IEEE Third Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications, pp. 271 - 274, 2001
- [14] Gustafsson F., Adaptive Filtering and Change Detection, John Wiley & Sons, LTD, 1st, 2000.
- [15] Grewal M. and Andrews A., Kalman Filtering: theory and practice, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey 1993.
- [16] Goris, M.J.; Gray, D.A.; Mareels, I.M.Y., "Reducing the computational load of a Kalman filter," IEE Electronics letters, vol. 33, issue 18, pp. 1539-1541, Aug. 1997.
- [17] Simon, D., Optimal State Estimation: Kalman, H-infinity, and Nonlinear Approaches, John Wiley & sons, 2006.
- [18] Zarchan, P., Musoff, H., Fundamentals of Kalman Filtering: A Practical Approach, American Institute of Aeronautics and Astronautics (AIAA), 2005.
- [19] Sikora, M., Reduced-Complexity Algorithms for Decoding and Equalization, PhD thesis, Notre dam Indiana, May 2008.

زیر نویسها

- ¹ G. Robert Redinbo
- ² Parity
- ³ Round off noise
- ⁴ Linear dynamic system
- ⁵ System model.
- ⁶ Measurement model.
- ⁷ Process noise.
- ⁸ Measurement noise
- ⁹ Priori estimate
- ¹⁰ Posteriori estimate
- ¹¹ Prior error.
- ¹² Posterior error.
- ¹³ Prior estimate error covariance
- ¹⁴ Posterior estimate error covariance
- ¹⁵ Rice Distribution