

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

محمدمهردی سرمدی^۲

پائیز عزمی^۱

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 کanal مخابراتی استفاده از کدهای کanal می باشد. تاکنون بیشتر فعالیت‌های انجام شده در این زمینه مربوط به کدهای تعریف شده در میدان‌های با مرتبه محدود یا بعبارت 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 می-گردد؛ ولی در سالیان اخیر این موضوع بعلت قابلیت این نوع از کدها در امکان‌پذیر کردن کدینگ مشترک منبع و کanal 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 می گیرد.

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

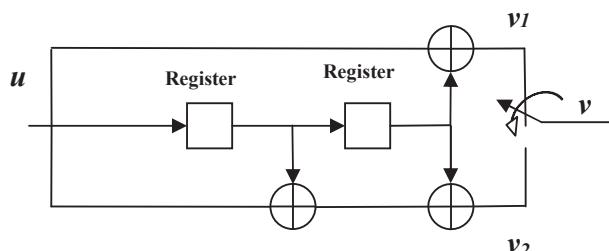
نشانی نویسنده‌ی مسئول : ایران - تهران - دانشگاه تربیت مدرس - دانشکده‌ی فنی و مهندسی- بخش برق و کامپیوتر



۱- مقدمه

۲- کدکننده اطلاعات در کدهای کانولوشنال میدان حقیقی

کدکننده‌های کانولوشنال را می‌توان به سادگی با استفاده از شیفت رجیسترها و جمع کننده‌ها طراحی نمود. در میدان گالوا با مرتبه ۲ جمع کننده‌ها از نوع باینری بوده و در میدان حقیقی جمع کننده‌ها این عملیات را در میدان حقیقی انجام می‌دهند. شکل ۱ یک نمونه از کدکننده‌های غیرسیستماتیک کد کانولوشنال با نرخ $1/2$ را نشان می‌دهد. در این شکل $\#$ بردار ورودی کدکننده و $\#$ بردار خروجی اول و $\#$ بردار خروجی دوم کدکننده را نشان می‌دهد.



شکل (۱): یک کدکننده غیرسیستماتیک با نرخ $1/2$ 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 کالمون پیشنهاد می‌شود؛ لذا در بخش بعد به مروری بر فیلتر کالمون و بررسی کدگشایی پیشنهادی می‌پردازیم.

۳- فیلتر کالمون و کدگشایی پیشنهادی

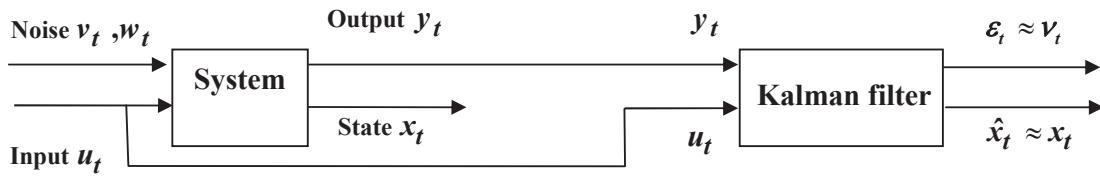
در بسیاری از موارد یک سیستم بصورت خطی و دینامیکی^۴ قابل مدل سازی می‌باشد که این مدل مجموعه‌ای از معادلات خطی است که برای توصیف حالت سیستم بر حسب زمان بکار می‌رود [۱۴]. منظور از حالت در اینجا برداری با $\#$ متغیر است که با معین بودن آن و با مشخص بودن ورودی سیستم، خروجی تعیین می‌گردد. یک سیستم خطی دینامیکی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

کدهای کانولوشنال یک خانواده مهم از کدهای کانال می‌باشند که در سیستمهای مخابراتی بکار می‌روند. این نوع کدها برخلاف 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^۷ در مقاله‌ای نشان داد که چگونه مقادیر پریتی^۸ حاصل از این کد می‌تواند در حفاظت از پردازشگرهای خطی مورد استفاده قرار گیرد [۳]. در الگوریتم ارایه شده توسط ردینبو وقتی میزان خطای گرد کردن^۹ در محاسبه سمبلهای پریتی از حد معینی تجاوز می‌کند بروز خطا آشکار شده و تخمینی از خطای انجام می‌گیرد. در این مقاله به نویز کانال و نویز حاصل از کوانتیزه کردن سیگنال اصلی هیچ اشاره‌ای نشده است [۴].

در سالیان اخیر توجه محققان زیادی به کدهای کانال در میدانهای حقیقی و مختلط جلب شده که البته تمکز آنها بر روی کدهای بلوکی می‌باشد [۱۳-۱۵]. این نوع از کدها به دلیل امکان‌پذیر کردن دکدینگ مشترک منبع و کانال، در ارسال سیگنالهای چندسانه‌ای اهمیت شایانی یافته‌اند. 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 کالمون یک انتخاب مناسب برای تصحیح خطای پیش‌بینی ورودی دکدر خطی به نظر می‌رسد. بر این اساس در این مقاله یک روش جدید بر مبنای فیلتر کالمون 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 کالمون و کدگشایی 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 توسعه 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.

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k + w_k \quad (5)$$

$$y_k = Cx_k + Du_k + v_k \quad (6)$$

در روابط بالا اسکالار u_k ورودی سیستم و x_{k+1} بردار حالت سیستم در لحظه k ام و y_k بردار مقدار اندازه‌گیری شده در لحظه $k+1$ را نشان می‌دهد. متغیرهای برداری v_k, w_k مستقل از یکدیگر، سفید و گوسی فرض می‌شوند. ماتریس کواریانس نویز فرآیند R و ماتریس کواریانس نویز اندازه‌گیری را برابر با R در نظر می‌گیریم. ماتریس‌های A و B برای بیان رابطه حالت سیستم در لحظات $k+1$ و k و ماتریس‌های C و D رابطه بین خروجی اندازه‌گیری شده، حالت سیستم و ورودی را بیان می‌کنند. حال به محاسبه ماتریس‌های A و B و C و D در کد کالولوشناور استفاده در این مقاله می‌پردازیم. با توجه به کدکننده ارایه شده در شکل ۱ بردار حالت و بردار مقدار اندازه‌گیری به صورت زیر قابل بیان می‌باشد.

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

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

برای محاسبه ماتریس‌های A و B و C و D با توجه به مجموعه روابط (۵) و (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 v_t, w_t نویزهای اضافه شده به سیستم هستند که آنها را به ترتیب نویز فرایند^۷ و نویز اندازه‌گیری^۸ می‌نامند. بردار y_t خروجی سیستم است که به عنوان مقادیر اندازه‌گیری شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. بردار x_t هم بیانگر حالت سیستم است و هدف آن است که خروجی فیلتر کالمن (\hat{x}_t) تخمین دقیقی از این مقدار باشد. بردار 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{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 پیش بینی شده می‌نماید و در پایان تخمینی را ارائه می‌نماید که تخمین پیشین^{۱۰} \hat{x}_k^+ خوانده می‌شود.

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

$$e_k^+ = x_k - \hat{x}_k^+ \quad (1)$$

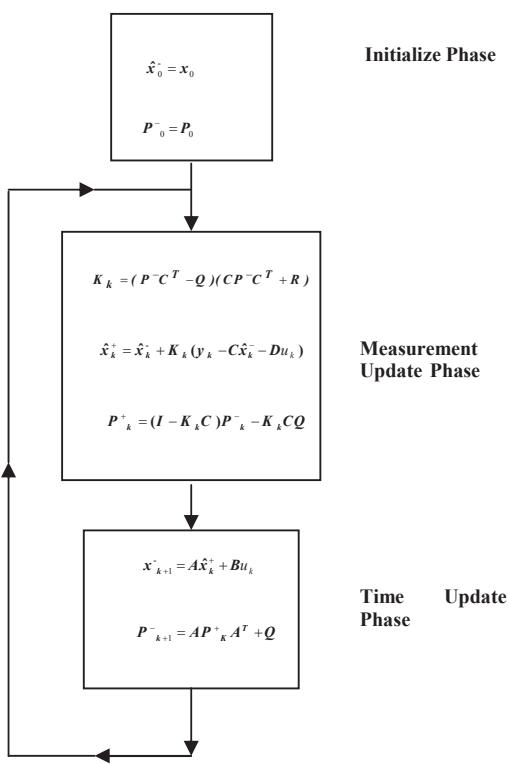
$$e_k^- = x_k - \hat{x}_k^- \quad (2)$$

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

$$P_k^- = E \left[e_k^- e_k^{+T} \right] \quad (3)$$

$$P_k^+ = E \left[e_k^+ e_k^{+T} \right] \quad (4)$$

جدول (۱): فلوچارت 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.

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

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

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

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

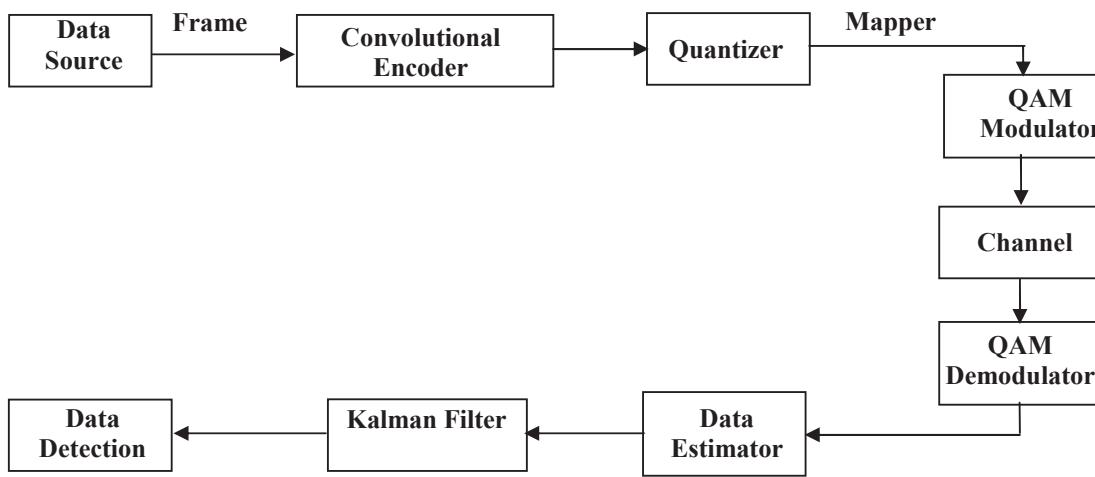
حال با کمک مقادیر حاصل می‌توان به پیاده سازی الگوریتم کالمن برای کد گشایی کد کانولوشنال پرداخت. در اینجا مجدد تاکید می‌کنیم که مقادیر حاصل برای ماتریس‌های A و B و C و D مربوط به کد کننده ارایه شده در شکل ۱ می‌باشد و برای سایر کدکننده‌ها ماتریس‌های متفاوتی بدست می‌آید.

فلوچارت الگوریتم کالمن در جدول ۱ نشان داده شده است [۱۵]. در این فلوچارت 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 کواریانس خطای تخمین حداقل گردد. سپس با کمک بهره فیلتر کالمن، تخمین پسین و کواریانس خطای تخمین پسین در لحظه k ام را محاسبه می‌نماییم. در مرحله بعد به محاسبه تخمین حالت پیشین و کواریانس 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 شبیه‌سازیها نشان داده شده است. اطلاعات خروجی از منبع به طور پیوسته وارد کدکننده نمایش داده شده در شکل ۱ با نرخ کد ۱/۲ شده





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

حقیقی و دکتر پیشنهادی می پردازیم. لازم به ذکر است که برای کاهش عدم قطعیتی که بدلیل انتخاب تصادفی سمبولهای ارسالی و ساختار تصادفی کاتال 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 تحقیق 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 کد گشای پیشنهادی

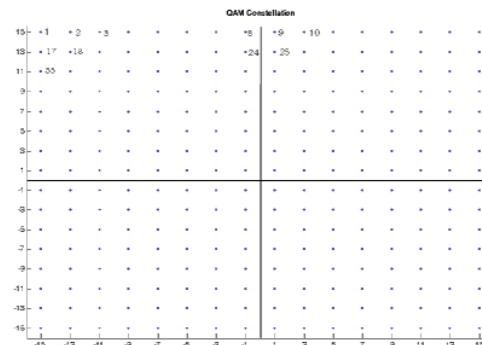
برای بکارگیری الگوریتم فیلتر کالمون و با توجه به مدل مورد استفاده لازم است که از ورودی کنترلی استفاده شود. نحوه ارایه ورودی کنترلی u_t به فیلتر کالمون در شکل ۲ نشان داده شده است. این ورودی در حقیقت همان ورودی اعمال شده به کد کننده است، اما در گیرنده این ورودی را در دسترس نداریم؛ لذا بر اساس روابط مورد استفاده در محاسبه کلمات کد و با استفاده از سمبول های دریافتی، تخمینی را از ورودی اولیه بدست می آوریم. ساده ترین روش برای تخمین، استفاده از همان رابطه کد کننده 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.

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

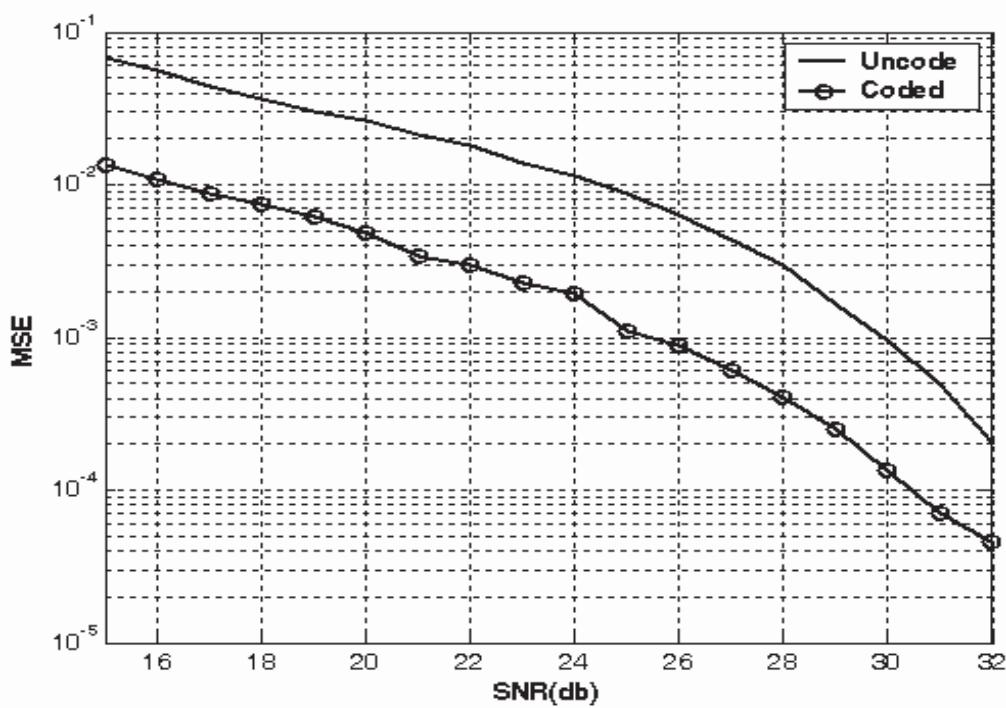
مناسب که در شکل ۴ مشاهده می شود را به عنوان طرح Constellation مورد استفاده در این مقاله انتخاب نمودیم. در شکل مذکور شماره های قرار داده شده روی نقاط نشان دهنده نگاشت داده های کوانتیزه شده می باشد؛ بدین ترتیب که مقادیر بین کمینه و بیشینه دامنه داده های ورودی را به ۲۵۶ سطح کوانتیزه نموده و به ترتیب به هر یک عددی از ۱ تا ۲۵۶ نسبت می دهیم؛ به عنوان مثال ۱۸ که بر روی یکی از نقاط Constellation نوشته شده است بدین معنی است که اگر مقدار مورد نظر برای ارسال در کاتال برابر با داده ای باشد که عدد هجده به آن نسبت داده شده است آنگاه مقادیر متناظر با دو مقدار (۱۳ و ۱۴) به کاتال ارسال می گردد. حال پس از مدولاسیون، سمبولهای ارسالی وارد کاتال شده و در کد گشای کمک فیلتر کالمون حالت کد کننده تخمین زده می شود که این حالت با یک تاخیر زمانی، ورودی لحظه قبل کد کننده می باشد.



۱۰۰۰ و ۱۰۰ در شکل ۷ رسم شده است. در این شکل N بیانگر طول دنباله سمبلها می باشد. همانطور که مشاهده می شود با افزایش طول بلوک ورودی به کدکننده، تصحیح خطأ در فیلتر کالمن بهتر انجام می گیرد. این بهبود از دو علت حاصل می گردد: از یک طرف همانطور که می دانیم افزایش طول دنباله سمبلها به بهبود کارایی کدکننده منجر می گردد و از طرف دیگر در این نوع کد که سمبولها اعداد حقیقی می باشند بعلت بهبود مرحله به مرحله تخمین فیلتر کالمن؛ با افزایش طول بلوک تخمین نهایی بهتر خواهد بود.

حال به بررسی تاثیر ساختار شیفت رجیسترهاي کدکننده در عملکرد کدهای کانولوشنال میدان حقیقی می پردازیم. یک نمونه دیگر از کد کننده های غیر سیستماتیک کد کانولوشنال با نرخ $1/2$ در شکل ۸ نشان داده شده است. در حالت جدید با توجه به تغییر عملیات محاسباتی کد کننده باید ماتریس های A , B , C و D دوباره محاسبه گرددند.

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



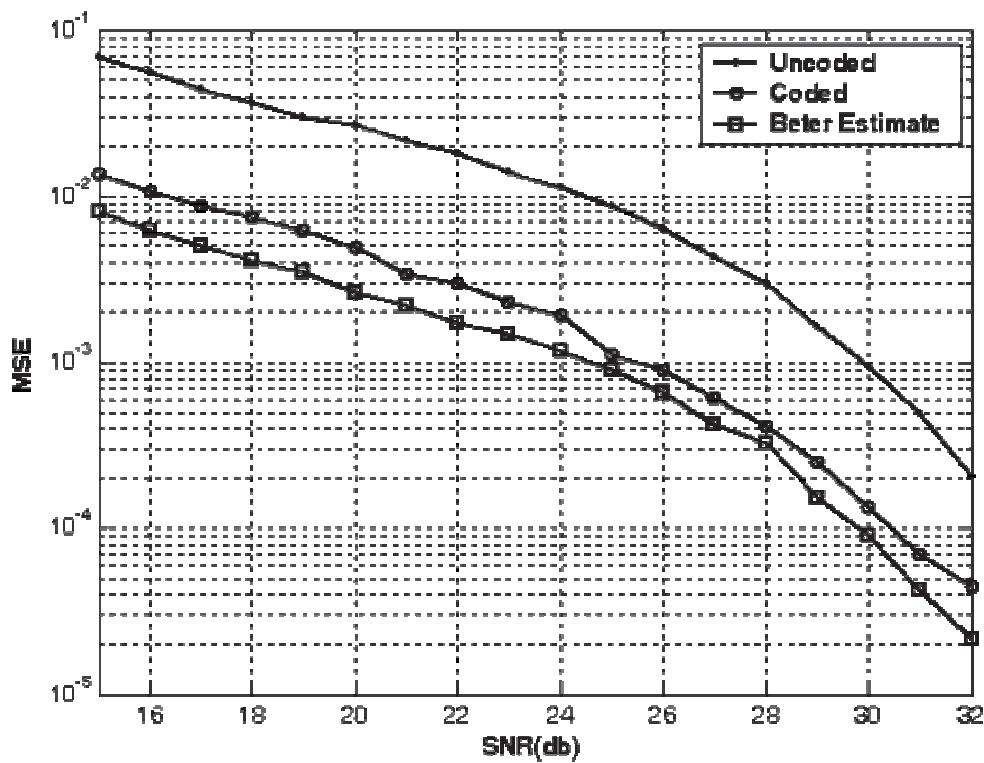
شکل (۵): مقایسه متوسط مربع خطای نرمال شده برای حالت کد شده و کد نشده

با ارایه این مقادیر به فیلتر کالمن، تخمین اولیه بهبود یافته و یک تخمین مناسب از داده های ورودی تولید می گردد. در این صورت خروجی فیلتر کالمن داده های کدگشایی شده خواهد بود.

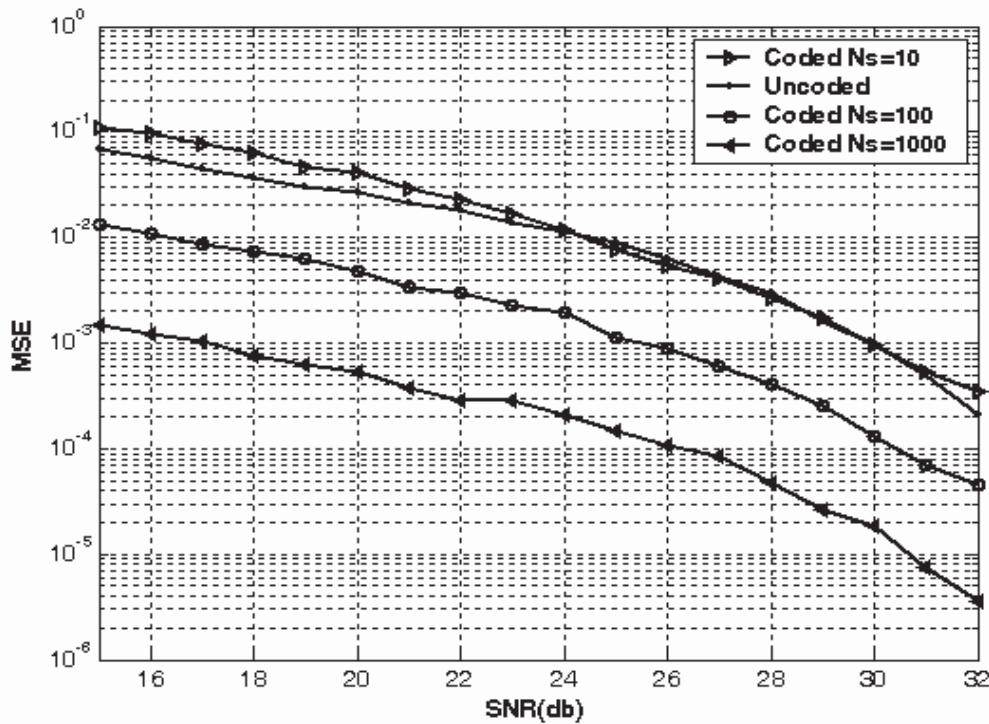
حال به بررسی اثرات نویزهای حاصل از فرآیند کوانتیزاسیون و کانال می پردازیم. برای انجام شبیه سازی های اولیه طول بلوک ورودی به کدکننده را 100 سمبل در نظر می گیریم. متوسط مربع خطأ برای حالات کد شده و کد نشده در شکل ۵ نشان داده است. همانطور که مشاهده می شود حالت کد شده عملکرد مناسبی نسبت به حالت کد نشده دارد. 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 می باشد.

در حالت قبل تخمین ساده ورودی ها 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 می دهیم. از نتایج شبیه سازیها که در شکل ۶ نشان داده شده است، مشاهده می شود که تغییر کمی در میزان متوسط مربع خطأ حاصل شده است؛ لذا استفاده از تخمین ساده ارایه شده در رابطه (۱۶) موجه می باشد.

حال به بررسی تاثیر افزایش طول بلوک ورودی می پردازیم. برای این منظور متوسط مربع خطای نرمال شده برای طول های بلوک 10 و



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 حالاتی که طول بلوک داده‌های ورودی به کد کننده برابر با 10 ، 100 و 1000 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 کanal رادیویی می باشد.

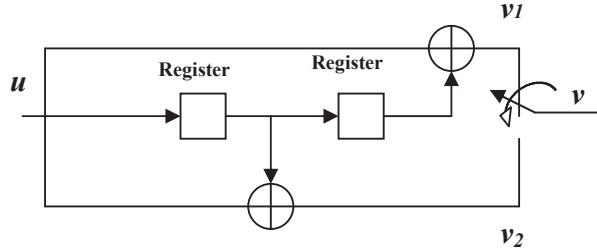
با فرض عبور سیمیل های کد شده از این کanal به ارزیابی تاثیر کanal فیدینگ بر عملکرد کd کانولوشنال می پردازیم. شکل ۱۱ متوسط مریع خطای پارامترهای فیدینگ $K_f = 3, 1, 0.5$ را نشان می دهد. در کanal فیدینگ برای محاسبه پارامتر فیدینگ، در رابطه (۲۰) δ^2 یا واریانس هر یک از مولفه های ضریب فیدینگ $c(t)$ که یک فرایند 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 چندان زیادی بر عملکرد سیستم کدشده 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 کanal فیدینگ با پارامترهای $K_f = 0.5$ و $K_f = 3$ روی سیگنال به نویز مورد نیاز بیشتر از 4dB تفاوت دارد.

۴- مقایسه عملکرد کd 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 کanal باید کوانتیزه شود. سیستم مخابراتی که از کd میدان حقیقی استفاده می کند نیز از این قاعده مستثنی نیست. بعارت دقیقتر در صورتیکه از کd کانولوشنال میدان حقیقی استفاده شده و نرخ داده میدان حقیقی اولیه R بوده و نرخ کد r فرض گردد نرخ داده کd شده R/r سمبول بر ثانیه بوده و در صورت استفاده از کوانتیزاسیون n بیتی نرخ داده ارسال شده به کanal 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 کanal در این حالت نیز nR/r خواهد بود. لذا همانطور که ملاحظه می گردد در صورت استفاده از کوانتیزاسیون و نرخ کd یکسان بهنای باند مورد نیاز هر دو نوع کd 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 کd 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

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



شکل (۸): یک کدکننده غیرسیستماتیک با نرخ $1/2$ برای کd کانولوشنال

با فرض ۱۰۰ تایی بودن طول بلوک دادهای ورودی به کدکننده به مقایسه متوسط مریع خطای نرمال شده برای کدکنندهای شکلهای ۹ و ۱۰ می پردازیم. همانطور که در شکل ۹ ملاحظه می گردد عملکرد کd کانولوشنال با کd کننده اخیر بهبود یافته است. بطور دقیقتر روش اخیر نسبت به روش قبل 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 کd کننده شکل ۸ به این دلیل است که در این ساختار تاثیر شیفت رجیسترها نسبت به ساختار کd کننده شکل ۱ کمتر می باشند و از آجا که در تخمین مقادیر شیفت رجیسترها با خطای روبرو هستیم استفاده کمتر از آنها باعث بهبود عملکرد می گردد.

در انتهای به بررسی عملکرد کd کانولوشنال حقیقی در کanal فیدینگ می پردازیم. در شبیه سازی ها از مدل فیدینگ صاف با توزیع رایس^{۱۵} برای دامنه سیگنال دریافتی از کanal فیدینگ استفاده شده است. در یک کanal 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 کanal رایس بصورت زیر مدل می گردد

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

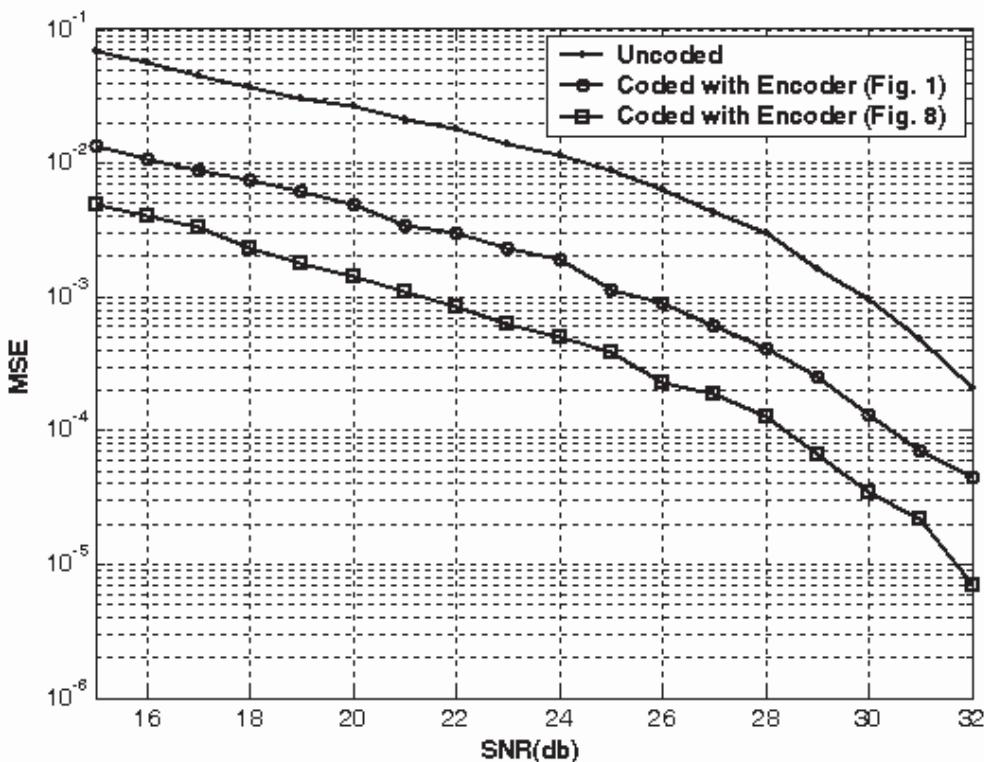
در رابطه فوق a یک مقدار ثابت بوده و $j = \sqrt{-1}$ است و $u(t)$ و $v(t)$ فرآیندهای سفید گوسی با میانگین صفر و واریانس δ^2 می باشند. برای آنکه معیاری برای ارزیابی عمق فیدینگ رایس داشته باشیم پارامتر K_f را به صورت زیر تعریف می کنیم.



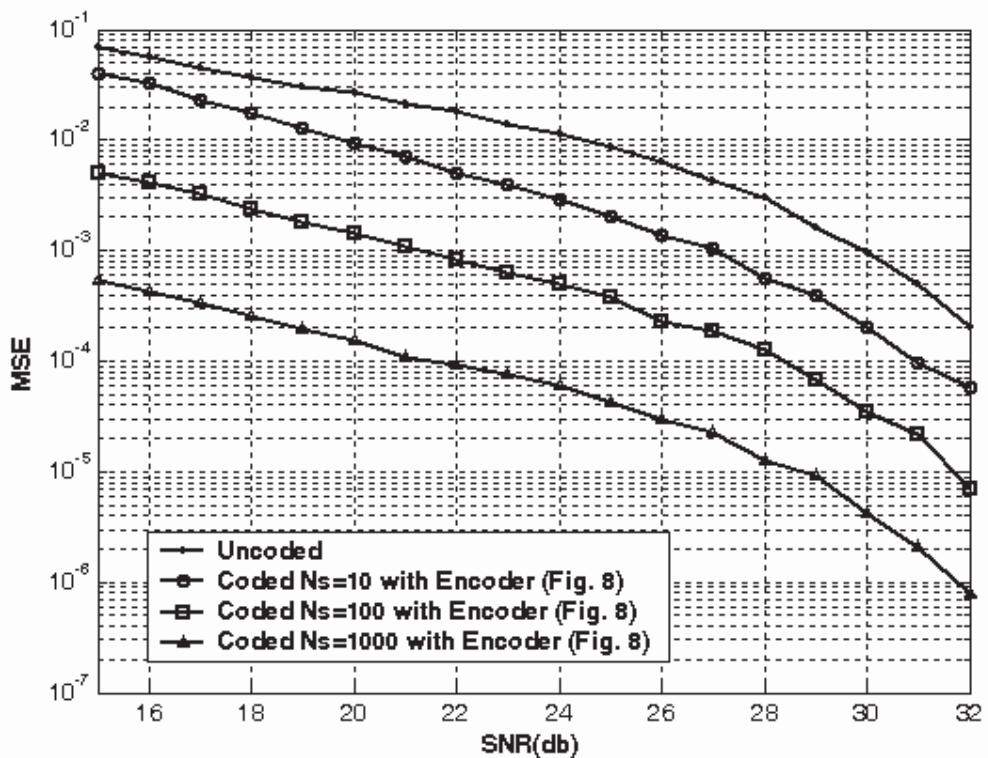
گفت که پیچیدگی کدهای کانولوشنال در میدان گالوا و میدان حقیقی در بسیاری از موارد قابل مقایسه می باشد.

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 کanal 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 مریع خطأ 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 مریع خطأ بهتر از کد معادل در میدان گالواست. این نتیجه به آن دلیل است که در مقایسه MSE، مکان ارزشی بیت خطأ شده اهمیت زیادی در تغییر متوسط خطأ دارد و با بروز خطأ در بیت های ارزش بالا، خطای زیادی ایجاد می گردد.

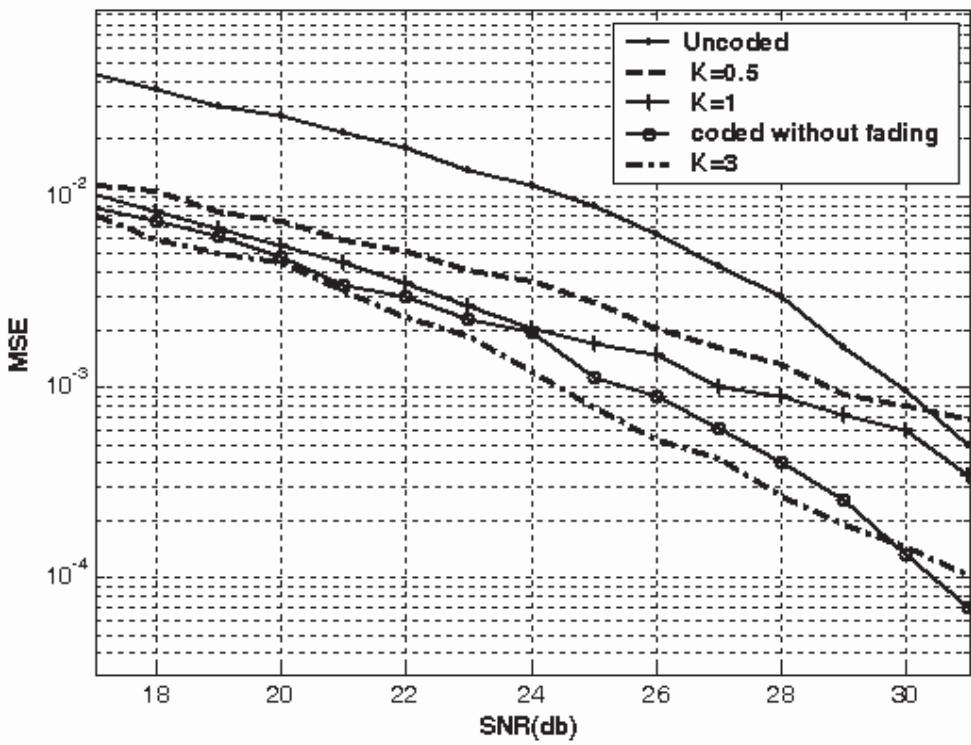
گالوا استفاده شده و در کدگذار میدان حقیقی از جمع کننده میدان حقیقی استفاده می گردد. تفاوت عمدی میان دو نوع کد از لحاظ پیچیدگی مربوط به عملیات دکدینگ می باشد. در صورت استفاده از کدهای میدان گالوا روش دکدینگ بر مبنای الگوریتم معروف ویتری ب عمل می کند و در صورت استفاده از کدهای میدان حقیقی دکدینگ با استفاده از روش پیشنهادی بر مبنای الگوریتم کالمن عمل می کند. همانطور که می دانیم پیچیدگی الگوریتم ویتری با افزایش مجموع حافظه (جمع تعداد رجیستر ها) و تعداد ورودی های کدگذار بصورت کالمن (در بدترین حالت) با توان ۶ از تعداد حالتها که معادل جمع تعداد رجیستر ها است افزایش می یابد [۱]. عبارت دیگر در کدهای با حافظه بالا و یا تعداد ورودی های بالا الگوریتم دکدینگ پیشنهادی دارای پیچیدگی بسیار کمتر نسبت به الگوریتم ویتری است. در کدهای با حافظه کم مانند موارد مورد بحث در این مقاله پیچیدگی الگوریتم ویتری کمتر می باشد. البته در همه شرایط میزان پیچیدگی واپسگی 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 ویتری 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



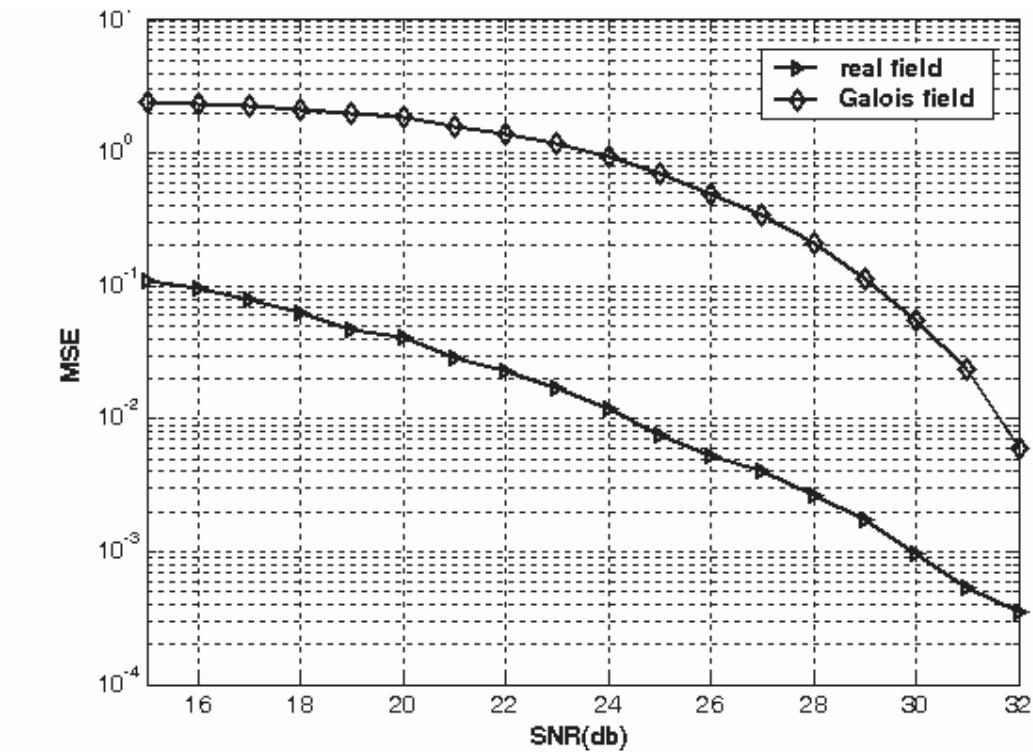
شکل (۹): مقایسه متوسط مریع خطأ برای کدکننده های شکل های ۱ و ۸



شکل (۱۰): مقایسه متوسط مربع خطأ برای کدکننده شکل ۸ برای سمبلهای ورودی به کد با طول بلوک‌های 10^1 , 10^2 و 10^3



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



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

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 F., "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°8, pp. 896-902, 2003.
- [9] Rath G. and Guillemot C., "Recent advances in DFT codes based quantized frame expansions for erasure

۵- نتیجه‌گیری

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 می‌دهد.

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

قدرتانی 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.

- 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 Fitering: 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.

زیرنویسها

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

