

# بررسی و شبیه سازی کدهای کانولوشن به منظور بکارگیری در یک

## ارتباط رادیویی تصویر و فرمان

مهر داد حاجیوندی  
دانشکده برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
محمد خلیل علیان  
دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان  
معاونت جهاد خودکفایی نهاجا - دانشگاه تربیت مدرس

**چکیده:** یکی از راههای مقابله با نویزهای موجود در کانال، بکارگیری کدهای کنترل خطا در مختبرات دیجیتال است. کدهای کنترل خطا به دو گروه عمده تقسیم می شوند که کدهای کانولوشن یکی از آنهاست. در مقاله حاضر ساختارهای مختلف کدهای کانولوشن مورد بررسی قرار گرفته است. این بررسی به منظور استفاده از این نوع کدینگ در یک سیستم ارتباطی مربوط به اطلاعات تصویری و فرمان انجام گرفته است. به منظور بررسی عملکرد روشهای کدینگ انتخاب شده برای هر یک از کانالهای تصویر و فرمان، کدهای مربوطه به صورت نرم افزاری شبیه سازی شده اند. یکی از مسایل مهم در بررسی عملکرد روشهای شبیه سازی شده، تخمین خطاهای بسیار کوچک است که توسط روش نمونه برداری بر اساس اهمیت (Importance sampling) انجام گرفته است. در خاتمه نتایج حاصل شده از شبیه سازی ارائه و کدهای مناسب برای دو کانال تصویر و فرمان پیشنهاد شده است.

### ۱- مقدمه

یکی از مشکلات عمده در ارسال اطلاعات از طریق کانالها، اثرات مخرب نویز است که باعث کاهش کیفیت اطلاعات ارسالی می شود. از ویژگیهای مهم اطلاعات دیجیتال، بازیابی اطلاعات خراب شده توسط اغتشاشات کانال است که این امر بار و روشهای مختلف کدینگ کانال میسر می گردد. شانون اولین کسی بود که تئوری کدینگ را مطرح کرد، وی در سال ۱۹۴۸ اثبات نمود که اگر سرعت ارسال اطلاعات منبع از ظرفیت کانال کمتر باشد، انتقال اطلاعات از طریق کانال نویزی، با احتمال خطای کوچک دلخواه، امکان پذیر خواهد بود (۱/۱۴). از سال ۱۹۵۰ به بعد کارهای زیادی در زمینه ایجاد روشهای کدینگ به منظور کنترل خطا انجام گرفت و تا اوایل دهه ۶۰ میلادی ساختارهای زیادی از این کدها، ابداع و معرفی شدند. پس از آن تا به امروز نیز کارهای وسیعی در این زمینه صورت گرفته است. با این وجود هنوز سرعت ارسال اطلاعات با ظرفیت واقعی کانالها فاصله زیادی دارد.

کدهای کنترل خطا در دو گروه بزرگ کدهای بلوکی و کدهای کانولوشن جای می گیرند که هر یک دارای ساختار و ویژگیهای مخصوص به خود بوده و از لحاظ تئوری نیز دارای اختلاف زیادی هستند. ایده کدهای کانولوشن، اولین بار در سال ۱۹۵۵ توسط Elias به عنوان بخش دیگری از کدهای بلوکی معرفی شد. متعاقب آن نیز Wozencraft شمایی از یک کدگشایی مؤثر به صورت پی در پی<sup>۱</sup> را پیشنهاد کرد. بعدها توسط اشخاصی نظیر Zigongirov, Jelinek, Reiffen, Fano الگوریتمهای پی در پی توسعه یافت و اصلاحات لازم بر روی آن انجام گرفت. در سال ۱۹۶۳، Fano بر اساس کارهای انجام گرفته توسط Wozencraft و Reiffen، الگوریتم خویش را که

1- Decoding  
2- Sequential

مبتنی بر جستجوی مسیر با حداکثر شباهت<sup>۱</sup> از میان ساختار درختی کد بود- ارائه کرد. چند سال بعد، با کارهای انجام گرفته توسط Zigangirov, Jelinek، الگوریتم "پشته"<sup>۲</sup> ابداع گردید. در سال ۱۹۶۳ نیز Massey روش کدگشایی "منطق اکثریت" که دارای عملکرد پایین تری نسبت به روشهای پی در پی بود را پیشنهاد کرد. بواسطه سادگی این روش، بزودی این ساختارها در کانالهای سیمی و رادیویی مورد بهره برداری قرار گرفت. در پی آن A.J. Viterbi روش کدگشایی "حداکثر شباهت" را مطرح کرد که از لحاظ پیاده سازی ساده بوده و به حافظه کدکننده کمی نیاز داشت. این الگوریتم که همواره مسیر با حداکثر شباهت را در میان دیاگرام شبکه کد برمیگزیند [۵] به الگوریتم ویتربی معروف شده است.

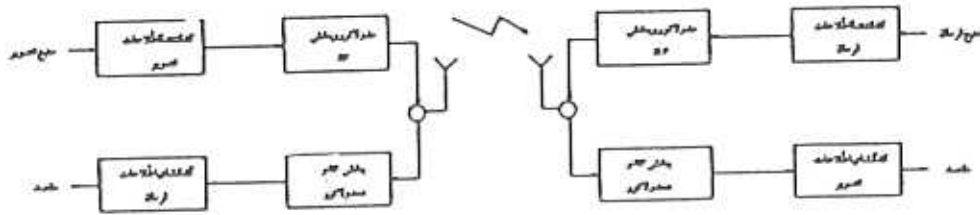
کدهای کانولوشن رامی توان به سه گروه تقسیم بندی نمود: ۱- کدهایی که در کانالهای تصادفی بکار می روند. ۲- کدهایی که در کانالهای حافظه دار- که دارای خطاهای گروهی<sup>۳</sup> هستند- استفاده می شوند. ۳- کدهایی که در کانالهای مرکب به منظور مقابله با ترکیب خطاهای تصادفی و گروهی مورد استفاده قرار می گیرند. الگوریتمهای کدگشایی "حداکثر شباهت" و "منطق اکثریت" در حالت کلی به منظور تصحیح خطاهای تصادفی بکار گرفته می شوند. ساختارهایی نظیر کدهای Iwadare-Massey, Bertekamp-Preparata کدهایی هستند که به منظور تصحیح خطاهای گروهی ابداع شده اند. [۹/، ۱۱۰/]. برای تصحیح خطاهای تصادفی و گروهی (به طور همزمان) ساختارهای متنوعی وجود دارد. از جمله آنها می توان به کدهای درهم شده<sup>۴</sup> [۹/، ۱۲/]، کدهای پخش شده<sup>۵</sup> و کدهای زنجیره ای<sup>۶</sup> اشاره کرد [۹/]. روش کدینگ و فکی گالاگر [۹/] و روش و فکی ویتربی [۱۲/] نیز از جمله روشهای تصحیح کننده خطاهای گروهی و تصادفی هستند که روش اول از لحاظ تصحیح خطاهای تصادفی از عملکرد پایینی برخوردار است، در حالی که روش دوم علاوه برداشتن عملکرد مناسب برای تصحیح خطاهای گروهی- بواسطه استفاده از الگوریتم ویتربی- از لحاظ تصحیح خطاهای تصادفی نیز حائز رفتار مناسبی است.

در این مقاله ابتدا مشخصات کانال تصویر و فرمان مشخص شده و با توجه به مشخصات کانالها، روش کدینگ مناسب برای استفاده در کانالهای مورد نظر پیشنهاد می شود. در بخش سوم، با استفاده از شبیه سازی، عملکرد روشهای انتخاب شده مورد بررسی قرار می گیرد. در بخش چهارم روش "نمونه برداری بر اساس اهمیت" را به طور خلاصه مورد بررسی قرار داده و نتایج بدست آمده از این روش برای تخمین خطاهای خیلی کوچک (کمتر از ۱۰<sup>-۲</sup>) ارائه می شود. سرانجام در آخرین بخش، نتیجه گیری کلی مقاله مطرح خواهد شد.

## ۲- برگزیدن روش کدینگ مناسب

برای انتخاب روش کدینگ مناسب برای یک مسیر ارتباطی رادیویی نظیر شکل (۱)، لازم است مشخصات

1- Maximum Likelihood.  
2- stack.  
3- Burst.  
4- Interleaved code.  
5- Diffuse code.  
6- Concatenate code.



شکل (۱) بلوک دیاگرام سیستم ارتباطی جهت ارسال اطلاعات تصویر و فرمان

نویزی کانالها و برخی از پارامترهای مهم نظیر سرعت ارسال اطلاعات مد نظر قرار گیرد. همانطور که ملاحظه می شود، در این سیستم مسیر برگشتی برای ارسال مجدد اطلاعات تعبیه نشده است، بنابراین برای کنترل خطا در این مسیر ارتباطی باید از روشهای FEC استفاده کرد. سطح آستانه خطا برای دو کانال مزبور  $10^{-2}$  (در حالت بدون استفاده از کدینگ) در نظر گرفته شده است و با انجام کدینگ مناسب باید سطح آستانه خطا برای کانال تصویر به کمتر از  $10^{-5}$  و برای کانال فرمان به کمتر از  $10^{-7}$  برسد. میزان کد<sup>۱</sup> برای کانال تصویر  $\frac{7}{8}$  و برای کانال فرمان  $\frac{1}{4}$  در نظر گرفته شده است. نوع مدولاسیون بکار گرفته شده از نوع BPSK با آشکارسازی همدمس<sup>۲</sup> می باشد و خطای هر دو کانال نیز از نوع تصادفی است که از نویز AWGN ناشی می گردد.

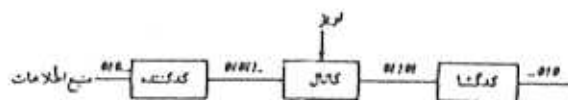
با توجه به خطای قابل تحمل برای کانال تصویر ( $10^{-5}$ )، کد مورد نظر باید از عملکرد بالایی برخوردار باشد. بدین جهت استفاده از روشهایی نظیر منطق اکثریت منتفی است. استفاده از آگوریتم ویتربی و آگوریتمهای پی در پی اگرچه دارای عملکرد خوبی هستند ولی بواسطه میزان کد بالای این کانال، استفاده از این روشها بسیار پیچیده است و عملاً مقرون به صرفه نیست. با توجه به اینکه کد کانولوشن (۸, ۷, m) دارای میزان کد  $\frac{n-1}{n}$  است، می توان از کدهای غربال شده<sup>۳</sup> برای این منظور استفاده کرد. کدهای غربال شده، کدهایی با میزان کد بالا هستند که پیچیدگی کدگشاری به مقدار قابل توجهی کاهش می دهند. این کدها با استفاده از روشهای کدگشایی نظیر ویتربی، بهره کدینگ بالایی فراهم می کنند. مطالعه و پیاده سازی اولیه این کدها از سال ۱۹۷۲ آغاز شد و توسط Cain، ساختار این کدها مورد بررسی قرار گرفت [۳]. بعدها این مطالعات ادامه یافت و ساختارهای کاملتری از این کدها معرفی شد [۱۶]، [۱۵]. کدهای غربال شده با بکارگیری آگوریتم ویتربی و علاوه بر آن استفاده از روش تصمیم گیری نرم<sup>۴</sup> عملکرد خوبی فراهم می کنند. کدهای غربال شده کدهایی با میزان کد بالا هستند که از حذف حساب شده برخی از بیتهای دنباله کد شده کدهای با میزان کد پایین (کد اصلی) بدست می آیند. کد اصلی - که دارای میزان کد پایین است - به صورت تناوبی توسط یک "نماد حذف" غربال می شود تا دنباله کد مورد نظر فراهم شود. میزان کد بدست آمده در این روش به میزان کد، کد اصلی و تعداد بیتهای حذف شده در هر دوره تناوب وابسته است. روش کدگشایی در این کدها مطابق با کدگشایی کد اصلی صورت می گیرد با این تفاوت که هنگام کدگشایی، بجای بیتهای حذف شده بیتهای خنثی و بی اثری را به دنباله دریافت شده اضافه می کنند.

1- Code Rate.  
2- Coherent.  
3- Punctured code.  
4- Soft decision.

در کانال فرمان، میزان کد  $\frac{1}{4}$  در نظر گرفته شده است و خطای قابل تحمل در سطح آستانه مفروض  $10^{-7}$  می باشد. بانوجه به عملکرد بسیار خوب الگوریتم ویتربی در میزان کدهای پایین (نظیر  $\frac{1}{4}$  و  $\frac{1}{3}$ ) امروزه از این الگوریتم به نجه مؤثری برای کد کردن اطلاعاتی که ماهیت داده ای دارند (نظیر داده های کامپیوتری، فرمان تله متری و نظایر اینها) استفاده می شود. بدین جهت استفاده از الگوریتم ویتربی روش مناسبی برای کد کردن اطلاعات فرمان است و عملکرد بسیار بالایی را برای این کانال فراهم می کند.

### ۳- شبیه سازی

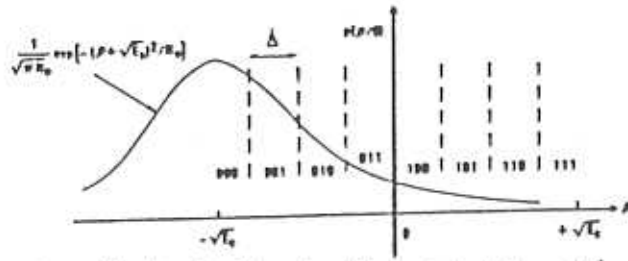
شبیه سازی کامپیوتری یکی از روشهای بررسی سیستمها است که رفتار سیستم را مدل سازی کرده و امکان مطالعه بیشتر و تغییر رفتار سیستم به ازای تغییر پارامترهای اجزاء آن را فراهم می کند. یکی از روشهای بررسی عملکرد روشهای کدینگ، شبیه سازی کامپیوتری است. شبیه سازی کامپیوتری در عین داشتن دقت مناسب، بسیار وقت گیر می باشد. اولین بخش عملی در اجرای شبیه سازی، مدل سازی کامپیوتری است. مدل سازی کامپیوتری شامل دو قسمت عمده کد کننده و کد گشا است. برای انجام مدل سازی، مدل کلی سیستم به صورت شکل (۲) در نظر گرفته می شود.



شکل (۲) مدل کلی در نظر گرفته شده برای یک مسیر ارتباطی

بخش دیگر مدل، در نظر گرفتن اثر نویز کانال بر روی بیت های اطلاعات است. تاثیر نویز بانوجه به نسبت سیگنال به نویز ( $\frac{E_b}{N_0}$ ) مشخص می شود. برای یک روش سیگنالینگ باینری هم دوس نظیر BPSK احتمال خطا از رابطه  $P = Q \sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}$  بدست می آید. شکل (۳) تابع چگالی احتمال شرطی خروجی فیلتر منطبق، هنگامی که صفر ارسال شده باشد را نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود، برای تصمیم گیری سخت<sup>۱</sup>، سطح آستانه صفر بوده و احتمال خطا از رابطه فوق بدست می آید. بنابراین برای شبیه سازی در حالت تصمیم گیری سخت می توان نمونه های یک متغیر تصادفی گوسی را بانوجه به مقدار سیگنال به نویز، تولید کرده و توسط آن دنباله های کد شده را خراب نمود. بانوجه به اینکه کانال از نوع BSC است می توان ابتداء احتمال خطای کانال را محاسبه و برای ایجاد تاثیر نویز از نمونه های یک متغیر تصادفی یکنواخت در فاصله (۰، ۱) استفاده نمود. این کار از سرعت بالاتری برخوردار است.

در صورتی که از روش تصمیم گیری نرم استفاده شود، فاصله بین  $+\sqrt{E_s}$  و  $-\sqrt{E_s}$  را به ۸ قسمت تقسیم می کنیم. انتخاب سطوح کوانتیزیشن از اهمیت زیادی برخوردار است و تاثیر زیادی بر عملکرد کد گشایی دارد. یک انتخاب مناسب و عملی، استفاده از سطوح کوانتیزیشن یکنواخت و استفاده از متریک خطی نظیر شکل (۳) است. /۴/



شکل (۳). تابع چگالی احتمال شرطی خروجی فیلتر منطبق هنگامی که صفر ارسال شده باشد.

در این حالت فاصله سطوح کوانتیزیشن  $\Delta = \frac{2\sqrt{E_s}}{V}$  در نظر گرفته می شود. این سطوح اگر چه بهینه نیستند ولی از لحاظ عملکرد، با سطوح بهینه اختلاف چندانی ندارند (۴). با مقایسه نمونه های تصادفی تولید شده (با تابع چگالی احتمال گوسی) با سطوح کوانتیزیشن، مقدار بر صفر نا ۷ رابه دنباله کد شده نسبت می دهیم. کدگذار این روش به ازای هر بیت از دنباله کد ارسال، سه بیت را دریافت می کند.

در مرحله شبیه سازی یا اصطلاحاً طرح آزمایش شبیه سازی، کد کننده و کدگذار یک برنامه واحد عمل کدینگ را مشابه سازی می کنند. روند نمای برنامه شبیه سازی به صورت شکل (۴) می باشد. این شبیه سازی مستقیم مونت کارلو است و ساختار کدینگ مورد نظر را بخوبی مدل سازی می کند. در این بخش از شبیه سازی، صحت و اعتبار شبیه سازی به طور نسبی مورد بررسی قرار می گیرد. برای بررسی عملکرد روش کدینگ



شکل ۴- روند نمای طرح اولیه آزمایش شبیه سازی.

و تخمین خطاهای کوچک، روش مونت کارلو مناسب نیست و عملاً بدست آوردن احتمال خطاهای کمتر از  $10^{-4}$  بسختی انجام می پذیرد. مثلاً برای تخمین احتمال خطای کدگذاری (Pe) با دقت تقریبی ۱۰٪ لازم است، تعداد بیتها در هر آزمایش شبیه سازی از مرتبه  $\frac{10^4}{Pe}$  باشد (۱۸). مثلاً برای تخمین خطای  $10^{-6}$ ، نیاز به

شبیه‌سازی حدود  $10^{+8}$  است از اطلاعات می‌باشد.

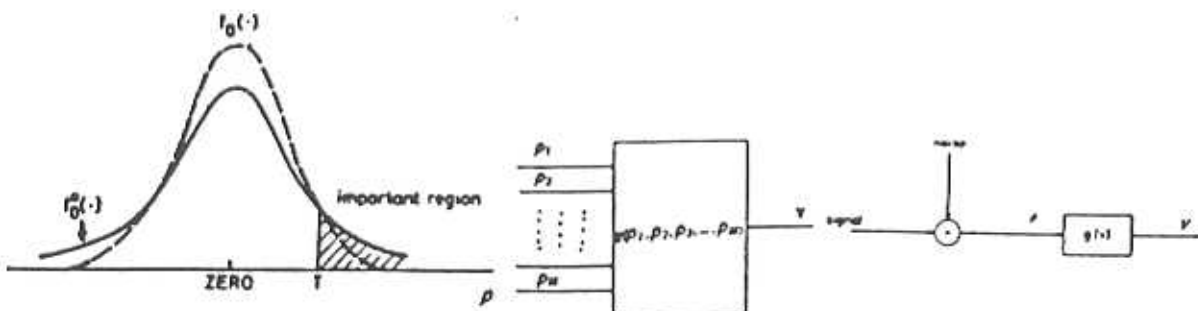
#### ۴- نمونه برداری بر اساس اهمیت و تخمین خطاهای خیلی کوچک

برای تخمین میزان خطا (BER) در شبیه‌سازی‌های کامپیوتری سیستم‌های مخابراتی، روش‌های مختلفی وجود دارد (۸) که روش IS یکی از این روش‌هاست. روش IS امروزه روش عامی برای تخمین خطا در سیستم‌های مخابرات دیجیتال و آشکار سازی است. از این روش برای تخمین خطاهای خیلی کوچک در سیستم‌های مخابراتی کد شده<sup>۲</sup> نیز می‌توان استفاده کرد. در شبیه‌سازی کدهای کانولوشن، برد و اساس می‌توان روش IS را اعمال کرد، یکی بر اساس روش تخمین بلوکی (۷) و دیگری بر اساس رویدادهای خطا (۱۱). برای تخمین خطاهای کوچک در شبیه‌سازی حاضر از روش تخمین بلوکی استفاده شده است.

تخمین یک بیت در خروجی کدگشا، به تعدادی از ورودی‌های کدگشا وابسته است. بنابراین برای تخمین خطاهای کوچک باید از روش IS برای سیستم‌های حافظه دار استفاده کرد. برای یک سیستم بدون حافظه، احتمال خطا روی یک بیت دلخواه به صورت زیر بدست می‌آید:

$$P_b = P_e / (\text{ارسال صفر / خطا}) = \int_T^{\infty} f_v(v|0) dv = \int_{-\infty}^{+\infty} D(v) f_v(v|0) dv \quad (1-1)$$

در رابطه (۱-۱)،  $T$  یک آستانه تصمیم‌گیری است و ارتباط  $v$  و  $p$  توسط مدل شبیه‌سازی می‌شوند. رابطه (۱-۱) را



شکل ۵- مدل یک گیرنده بدون حافظه      شکل ۶- مدل یک گیرنده حافظه دار      شکل ۷- تابع چگالی احتمال گرایش داده شده.

می‌توان بر حسب تابع چگالی احتمال ورودی نیز باز نویسی کرد:

$$P_b = \int_{-\infty}^{+\infty} D(g(p)) f_0(p) dp \quad \text{و} \quad D(v) = \begin{cases} 1 & v \geq T \\ 0 & v < T \end{cases}$$

با بکارگیری نمایش فوق، تخمین  $P_b$  از روی نمونه‌های تصادفی ورودی با توزیع  $f_0(p)$  و شمارش خطاهای

ایجاد شده در خروجی سیستم شبیه‌سازی شده، با روش مونت کارلو به صورت زیر قابل حصول است:

$$\hat{P}_b = \frac{1}{N_{mc}} \cdot \sum_{j=1}^{N_{mc}} D[g(p_j)] \quad (2-1)$$

در این عبارت  $N_{mc}$  کل تعداد بیت‌های مشاهده شده و  $g(p)$  تابع انتقال سیستم است. در روش IS با گرایش<sup>۳</sup> دادن

به تابع چگالی احتمال ورودی، تابع چگالی احتمال جدیدی نظیر شکل (۷) بدست می‌آید این تابع چگالی

1- Importance sampling  
2- Coded communication system.  
3- Bias.



احتمال دارای واریانس بزرگتر از  $f_0(v)$  است، لذا احتمال بروز خطا در خروجی، به مراتب زیادتر خواهد شد. در این حالت احتمال خطای بیان شده در رابطه ۱-۱ را می توان به صورت زیر بازنویسی کرد:

$$P_b = \int_{-\infty}^{+\infty} [D[g(\rho)] \frac{f_0(\rho)}{f_0^*(\rho)}] f_0^*(\rho) d\rho \quad (3-1)$$

در عبارت فوق  $w(\rho) = \frac{f_0(\rho)}{f_0^*(\rho)}$  مشخص کننده مقدار وزن ورودی است. این رابطه نشان می دهد که در شبیه سازی باروش IS می توان، با نمونه برداری تصادفی از تابع چگالی ورودی و سپس محاسبه خطاهای وزن دار خروجی که توسط نویز گرایش داده شده و ورودی تولید شده اند، مقدار  $P_b$  را تخمین زد. بنابراین برای تخمین  $P_b$  در روش IS می توان از رابطه زیر استفاده کرد:

$$\hat{P}_b^* = \frac{1}{N_b} \sum_{i=1}^{N_b} D[g(\rho_i)] w(\rho_i) \quad (4-1)$$

در عبارت فوق  $N_b$  تعداد کل بیت های مشاهده شده در خروجی و  $w(\rho_i)$  وزن متناظر با  $i$  امین نمونه از ولتاژ دنباله دریافتی است.

در یک سیستم حافظه دار تخمین خروجی به  $M$  ورودی متناظر با آن وابسته است. پارامتر  $M$  (یا حافظه مؤثر) بطور ساده بیانگر تعداد ورودی های دریافتی است که در تصمیم گیری روی یک بیت خاص مؤثر است. اگر  $M$  ورودی، مستقل از هم باشند، مقدار وزن  $w_i$  برابر با حاصل ضرب وزنها  $M$  ورودی متناظر خواهد شد، یعنی:

$$w(\rho_i) = \prod_{j=1}^M w_{ij} \quad (5-1)$$

احتمال خطا در این حالت نظیر رابطه ۱-۴ بدست می آید. کانال AWGN یکی از کانال هایی است که اجازه می دهد روش IS را برای کدهای کانولوشن بکار ببریم. برای این کانال ورودی های کدگشا شامل  $M$  سیگنال و  $M$  مؤلفه نویز جمع شونده است.

$$\rho = S + N = [S_1 + N_1, S_2 + N_2, \dots, S_M + N_M] \quad (6-1)$$

بنابراین برای احتمال خطا، رابطه زیر برقرار می باشد:

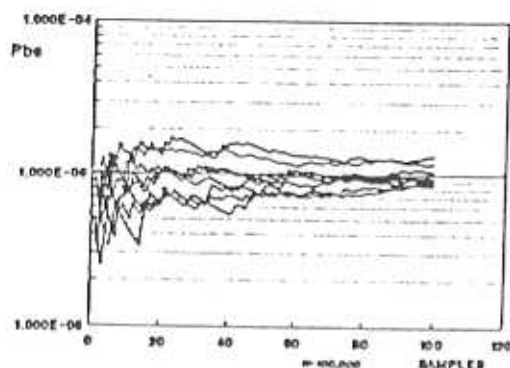
$$P_b = \int_{-\infty}^{+\infty} D[g(S+n)] f_S(s) f_N(n) ds dn \quad (7-1)$$

$f_S(s)$  و  $f_N(n)$  توابع چگالی احتمال چند بعدی سیگنال و نویز است. حال می توان روش IS را منحصراً با وزن دهی نویز ورودی بدست آورد، یعنی:

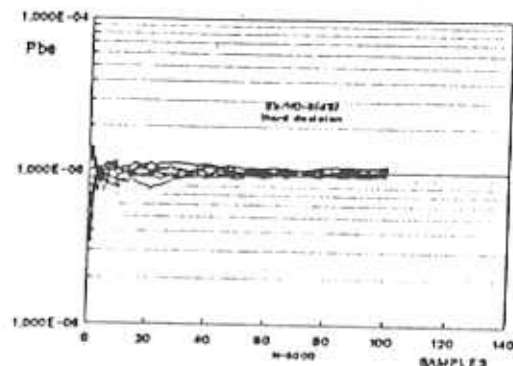
$$P_b = \int_{-\infty}^{+\infty} [D[g(S+n)] f_S(s) \frac{f_N(n)}{f_N^*(n)}] f_N^*(n) ds dn \quad (8-1)$$

برای کدگشایی می توان حافظه مؤثری حدود  $M = n(2\tau + 1)$  را در نظر گرفت [۷]. در این عبارت  $\tau$  طول برش کدمی باشد.  $f_N^*(n)$  تابع چگالی احتمال گرایش داده شده نویز ورودی است که واریانس آن را می توان  $\frac{1}{1-\alpha}$  در نظر گرفت. استفاده از روش IS به نحو مؤثری می تواند تعداد نمونه های شبیه سازی شده را کاهش دهد. به عنوان مثال شکل (۸)، نتایج آزمایش شبیه سازی مونت کارلوی کد کانولوشن (۲، ۱، ۲) را نشان می دهد. با انجام روش IS ملاحظه می شود که تنها با شبیه سازی ده هزار بیت در هر آزمایش می توان به واریانس تخمینی کمتر از روش مونت کارلو - که از شبیه سازی ده میلیون بیت در هر آزمایش بدست آمده است - دست یافت.

شکل (۹ و ۱۰) نتایج شبیه‌سازی این کد را در سیگنال به نویزهای ۹ و ۸/۹ دسیبل نشان می‌دهد، با توجه به نتایج بدست آمده ملاحظه گردید که روش 15 برای تخمین خطاهای کوچک در شبیه‌سازی حاضر می‌تواند مفید واقع شود و اگرچه در کدهای با حافظه بزرگتر این روش از عملکرد خوبی برخوردار نیست، با این وجود مدت زمان شبیه‌سازی به نحو مطلوبی کاهش می‌یابد.

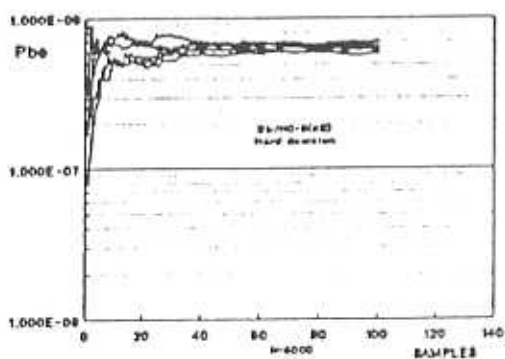


تفسیر: اعتبار خطای BER بر حسب اندازه بیت‌های کدگشا بر شده در وقت‌ها برای شبیه‌سازی روش کار توپری کدگشا و روش 15 برای شبیه‌سازی توپری و روش 15

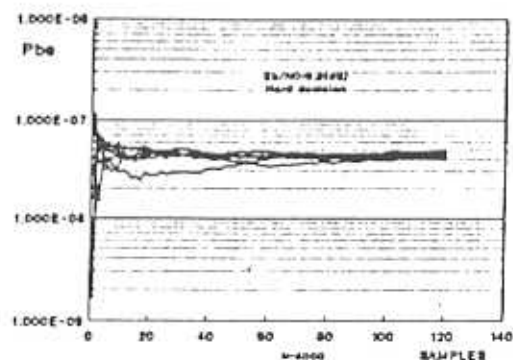


تفسیر: اعتبار خطای BER بر حسب اندازه بیت‌های کدگشا در وقت‌ها برای شبیه‌سازی روش کار توپری کدگشا و روش 15 برای شبیه‌سازی توپری و روش 15

شکل (۸)



شکل ۱۰ - تفسیر اعتبار خطای BER بر حسب اندازه بیت‌های کدگشا بر شده در وقت‌ها برای شبیه‌سازی روش کار توپری روش 15 برای کدگشا و روش 15 برای شبیه‌سازی توپری و روش 15



شکل ۱۱ - تفسیر اعتبار خطای BER بر حسب اندازه بیت‌های کدگشا بر شده در وقت‌ها برای شبیه‌سازی روش کار توپری روش 15 برای کدگشا و روش 15 برای شبیه‌سازی توپری و روش 15

## ۵ - نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی کامپیوتری

با حصول اطمینان از برنامه‌های شبیه‌سازی و کارایی روش 15 برای تخمین خطاهای کوچک، استخراج نتایج برای کانال تصویر و فرمان انجام گرفت. با استخراج نتایج حاصل از شبیه‌سازی کدگانولوشن (۲، ۱، ۲) با روش تصمیم‌گیری نرم و سخت و استخراج منحنی BER بر حسب سیگنال به نویز ( $\frac{E_b}{N_0}$ ) برای این کد (شکل (۱۱)) و مقایسه این منحنی‌ها با منحنی‌های موجود، صحت شبیه‌سازی تأیید می‌گردد. این منحنی‌ها کارایی استفاده از روش تصمیم‌گیری نرم با سطوح کوانتیزیشن یکنواخت را نشان می‌دهد. شکل‌های (۱۲ و ۱۳) نتایج استخراج شده از شبیه‌سازی کدهای کانولوشن (۲، ۱،  $m$ ) و کدهای غربال شده (۸، ۷،  $m$ ) را نشان می‌دهد.





11/ دخیل علیان، محمد، طراحی و شبیه سازی کدهای کانولوشن، پایان نامه کارشناسی ارشد، مهندسی برق - مخابرات، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۲.

- [2] Begin, G., Haccoun, D. "High-Rate Punctured Convolutional codes: Structure Properties and Construction Technique", *IEEE Trans. on Commun.*, Vol.37, No.12, pp.1381-1385, December 1989.
- [3] Cain, J.B., Clark, G.C. and Geist, J., "Punctured Convolutional Codes of rate  $(n-1)/n$  and simplified maximum likelihood decoding", *IEEE Trans. on Inf. Theory*, Vol.IT-25, pp.97-100, Jan. 1979.
- [4] Clark, G.C., Cain, J.B. and Jr., *Error-Correction Coding For Digital Communication*, Plenum Press, New York, 1982.
- [5] Forney, G.D., JR., "The Viterbi Algorithm", *IEEE Proc.*, Vol.61 No.3, pp.268-278, March 1973.
- [6] Haccoun, D., Begin, G., "High-Rate Punctured Convolutional Codes For Viterbi and Sequential Decoding", *IEEE Trans. on Commun.* Vol.37, No.11, pp.1113-1125, November 1989.
- [7] Herro, M.A., Nowak, J.M. "Simulated Viterbi decoding using Importance Sampling", *IEEE Proc.*, Vol. 135 Pt.F, No.2, pp. 133-142, April 1988.
- [8] Jeruchim, M.C. "Techniques For Estimating the Bit Error Rate in the Simulation of Digital Communication Systems", *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, Vol. SAC-2, NO. 1, pp. 153-170, January 1984.
- [9] Lin, S., Costello, Jr., *Error Control Coding: Fundamentals and Applications*, NJ: Prentice-Hall, 1983.
- [10] Peterson, W.W., Weldon, E.J., *Error-Correcting Codes*, Colonial Press, Inc., U.S.A., 1972.
- [11] Sadowsky, J.S. "A New Method For Viterbi Decoder Simulation Using Importance Sampling", *IEEE, Trans. on Commun.* Vol. 38, No.9, pp. 1341-1351, Sept. 1990.
- [12] Schlegel, C.B., Herro, M.A., "A Burst-Error-Correcting Viterbi Algorithm", *IEEE Trans. on Commun.* Vol. 38, No. 3, pp. 285-291, March 1990.
- [13] Shanmugam, K.S., Bolaban, P. "A Modified Monte-Carlo Simulation Technique For the Evaluation of Error Rate in Digital Communication Systems", *IEEE Trans. on Commun.*, Vol. Com-28, No. 11, pp. 1916-1921, November 1980.
- [14] Shannon, C.E., "A Mathematical Theory of Communication", *Bell Syst. Tech. J.*, 27, pp. 379-423 (part 1), 623-656 (Part 2), July 1948.
- [15] Yasuda, Y., Kashiki, K. and Hirata, Y. "High-rate Punctured Convolutional Codes For Soft decision Viterbi decoding", *IEEE Trans. on Commun.* Vol. COM-32, pp. 315-319, March 1984.