

مدولاسیون رمزی منبع برای منابع گسسته‌ی باحافظه

علمی پاینده (استادیار)

مجمع دانشگاهی برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر و مجمع تحقیقاتی ابری

محمود احمدیان (دانشیار)

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

محمدرضا عارف (استاد)

دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف

مجله‌ی علمی و پژوهشی شریف
اسفند ۱۳۸۸، شماره‌ی پنجاه و دوم، ص. ۳۱-۳۶

توزیع نابرابر احتمال رخداد سمبل‌ها و وجود وابستگی (حافظه) در تولید سمبل‌های منبع، دو عامل اصلی ایجاد افزونگی در دنباله‌ی خروجی منبع‌اند که باعث افزایش نرخ ارسال می‌شوند. از آنجا که این افزونگی در دنباله مستتر است، نمی‌توان مستقیماً از آن برای بهبود عملکرد (تشخیص یا تصحیح خطا) گیرنده بهره گرفت. در این نوشتار، روشی برای رمزگذاری توأم منبع - کانال با عنوان «مدولاسیون رمزی منبع» بر مبنای استفاده از افزونگی منبع مارکوف با ماتریس انتقال معلوم برای بهبود عملکرد سیستم مخابراتی ارائه می‌شود. در این روش، در ابتدا یک نمودار ترلیس با کمک ماتریس انتقال منبع ترسیم می‌شود و سپس مجموعه سیگنال‌ها با توجه به احتمال وقوع سمبل‌ها به نحوی مناسب به شاخه‌های آن تخصیص می‌یابند. برای ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی از معیار بهره‌ی رمزگذاری استفاده می‌شود و روشی برای تعیین بیشترین بهره‌ی رمزگذاری دسترس‌پذیر ناشی از افزونگی منبع ارائه می‌شود. نتایج شبیه‌سازی، بهبود خوب عملکرد سیستم مخابراتی (نزدیک به بیشترین بهره‌ی رمزگذاری قابل دست‌یابی) در یک کانال نویزی و متناسب با میزان افزونگی منبع را نمایان می‌سازند.

a_payandeh@yahoo.com
m_ahmadian@kntu.ac.ir
aref@sharif.edu

واژگان کلیدی: رمزگذاری توأم منبع - کانال، منبع گسسته با حافظه، نگاشت مجموعه سیگنال‌ها، مدولاسیون MPSK، مدولاسیون رمزی منبع.

مقدمه

بر اساس نظریات شانون،^[۱] جداسازی رمزگذاری منبع و رمزگذاری کانال خللی در بهینه‌سازی عملکرد سیستم مخابراتی ایجاد نمی‌کند، اما تحقق این امر مستلزم کار با دنباله‌هایی با طول بسیار بزرگ است. در کاربردهای عملی، به دلیل محدودیت در تأخیر زمان و پیچیدگی سیستم، استفاده از دنباله‌های با طول بسیار بزرگ ممکن نیست. رمزگذاری توأم منبع و کانال روشی مناسب برای غلبه بر این مسئله است. در طی چند دهه‌ی اخیر روش‌های مختلفی برای انجام رمزگذاری توأم منبع و کانال ارائه شده است. در برخی از مطالعات، هدف طراحی واحدی یک‌پارچه برای انجام هم‌زمان عملیات رمزگذاری منبع و رمزگذاری کانال بوده است.^[۲-۶] در برخی دیگر، سعی شده است با تخصیص مناسب نرخ بین رمزگذارهای متوالی منبع و کانال، عملکرد سیستم مخابراتی را بهبود بخشند.^[۷-۱۲] در برخی از مآخذ، رمزگذاری منبع به نحوی اصلاح شده است که دنباله‌ی خروجی از آن نسبت به نویز کانال مقاوم باشد^[۱۳-۱۸] و در برخی دیگر رمزبردار کانال به نحوی طراحی شده که از مشخصات منبع و رمزگذار منبع برای آشکارسازی و جبران خطاهای کانال گیرنده استفاده کند.^[۱۹-۲۳]

استفاده از افزونگی موجود در دنباله‌ی منبع به منظور بهبود عملکرد سیستم مخابراتی، یکی از موضوعات تحقیقاتی است که توجه برخی از محققین و اندیشمندان علم مخابرات را به خود معطوف کرده است. اغلب مطالعات انجام شده در این خصوص، مبتنی بر طراحی رمزبردار توأم منبع - کانال با قابلیت به‌کارگیری اطلاعات بالاسری منبع در روند رمزبرداری کانال هستند. مثلاً در برخی مراجع از اطلاعات آماری منبع به منظور بهبود عملکرد فرایند رمزبرداری تکراری استفاده شده است.^[۲۴-۲۶] در برخی دیگر از مراجع نیز مسئله‌ی جست‌وجوی نگاشت مناسب مجموعه سیگنال‌های دوبعدی برای ارسال سمبل‌های یک منبع بی‌حافظه‌ی غیریک‌نواخت از کانال AWGN^۱ مورد بررسی قرار گرفته و کران‌های بالا و پایین خطا تحلیل شده‌اند.^[۲۷، ۲۸] همچنین تعمیم تحلیل کران‌های خطا برای ارسال سمبل‌های یک منبع بی‌حافظه‌ی غیریک‌نواخت از کانال‌های دارای تغذیه ارائه شده است.^[۲۹] مطالعات محدودی نیز بر پایه‌ی طراحی رمزگذار کانال با توجه به اطلاعات آماری منبع انجام شده است و^[۳۰، ۳۱] در این نوشتار، بر اساس ایده‌ی استفاده از افزونگی منبع برای بهبود عملکرد سیستم مخابراتی، یک روش جدید رمزگذاری هم‌زمان منبع - کانال با نام «مدولاسیون رمزی

تاریخ: دریافت ۱۳۸۶/۵/۱۷، داوری ۱۳۸۶/۱۰/۳، پذیرش ۱۳۸۷/۱۲/۱۷.

الگوریتم مدولاسیون رمزی منبع برای منابع مارکوف با ماتریس انتقال معلوم

برای هر منبع مارکوف می‌توان براساس ماتریس انتقال یک نمودار تغییر حالت مشابه نمودار ترلیس رسم کرد. اگر M_p بیشترین تعداد شاخه‌های خروجی از هر حالت باشد ($M_p \leq M$)، یک مجموعه سیگنال‌های دوبعدی با M_p عضو در نظر می‌گیریم. حال باید به هر یک از شاخه‌های نمودار ترلیس، سیگنالی اختصاص داده شود. هر حالت منبع مارکوف را می‌توان متناظر با یک منبع بی‌حافظه‌ی غیریک‌نواخت دانست. کران بالای متوسط احتمال خطای سمبل برای یک منبع بی‌حافظه‌ی غیریک‌نواخت L سمبلی با احتمالات وقوع $\{p_1, p_2, \dots, p_L\}$ و در حالت ارسال از یک کانال AWGN، از رابطه‌ی ۱ قابل محاسبه است: [۳۱]

$$P_s(e) \leq \sum_{u=1}^L \sum_{i=1, i \neq u}^L \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left(\frac{d_{iu}}{\sqrt{2}N_s} + \frac{\sqrt{2}N_s \ln \frac{p_u}{p_i}}{2d_{iu}} \right)^2 \right\} p_u \quad (1)$$

که در آن $d_{iu} \triangleq \|s_i - s_u\|$ بیان‌گر فاصله‌ی بین دو سیگنال s_i و s_u متناظر با سمبل‌های با احتمال وقوع p_i و p_u است. با دقت در رابطه‌ی ۱ مشاهده می‌شود که تأثیر سمبل با احتمال وقوع بزرگ‌تر بر احتمال خطا بیشتر است. یک گزینه‌ی خوب برای کاهش احتمال خطای کل سیستم مخابراتی آن است که احتمال خطای دریافت سمبل‌های با احتمال وقوع بزرگ‌تر را کاهش دهد. برای این منظور دو راهکار پیش روی ماست:

۱. براساس تحلیلی حسی، می‌توان گفت هرچه سیگنال‌های با احتمال وقوع بزرگ‌تر (متناظر با سمبل‌های منبع) نسبت به هم فاصله‌ی بیشتری داشته باشند، احتمال خطا کم‌تر خواهد بود. بنابراین با اختصاص سیگنال‌های با فواصل بیشتر به سمبل‌های با احتمال وقوع بزرگ‌تر در هر حالت، می‌توان عملکرد سیستم مخابراتی را بهینه کرد.

۲. تغییر نواحی تصمیم‌گیری (درگیرنده) متناسب با احتمال وقوع سمبل‌های منبع، راه حلی متداول در نظریه‌ی مخابرات پیشرفته است. از آنجا که تعیین و اعمال نواحی تصمیم‌گیری با توجه به احتمال وقوع سمبل‌های منبع معمولاً دشوار است، در فرایند رمزبرداری دنباله‌ی دریافتی، از روش تغییر فاصله بین سیگنال دریافتی و هر سیگنال در مجموعه متناسب با احتمال آن بهره می‌گیریم. مقدار فاصله از سیگنال s_i در معیار MAP^۲، با کمک رابطه‌ی ۲ محاسبه می‌شود: [۳۱]

$$d_i^*(r) = d^*(r, s_i) - N_s \ln p_i \quad (2)$$

در مدولاسیون رمزی، از طریق افراز متناسب سیگنال‌ها سعی می‌شود فاصله‌ی بین شاخه‌های متصل به هر حالت در نمودار ترلیس بیشترین مقدار ممکنه باشد. [۳۳] در این روش تلاش می‌شود به سمبل‌های با احتمال وقوع بزرگ‌تر در هر حالت، سیگنال‌های با فواصل بیشتر اختصاص یابند. رمزبرداری در روش‌های مدولاسیون رمزی مبتنی بر استفاده از نمودار ترلیس رمزکانال و تعیین مسیر با کم‌ترین فاصله است. در روش پیشنهادی نیز از ایده‌های به‌کار رفته در مدولاسیون‌های رمزی استفاده می‌شود: عملیات رمزگذاری و رمزبرداری با استفاده از نمودار ترلیس منبع انجام می‌شود و برای تعیین دنباله‌ی ارسالی منبع، مسیر با حداقل فاصله انتخاب می‌شود.

منبع، برای منابع مارکوف با مشخصات آماری معلوم ارائه می‌شود. مدولاسیون رمزی منبع، یک روش رمزگذاری شکل موج منطبق با منبع است که بر مبنای نگاشت مناسب مجموعه سیگنال‌های M عضوی به سمبل‌های هر حالت منبع با توجه به میزان احتمالات وقوع آنها عمل می‌کند و در برابر نویز کانال عملکرد مناسبی دارد.

در ادامه‌ی این نوشتار مسئله‌ی بهبود عملکرد سیستم مخابراتی بر مبنای استفاده از افزونگی منبع مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین یک الگوریتم مدولاسیون رمزی منبع برای منابع مارکوف با تعداد حالات محدود و ماتریس انتقال معلوم، و نیز روشی برای تعیین بیشترین بهره‌ی رمزگذاری قابل دست‌یابی ناشی از به‌کارگیری افزونگی منبع در بهبود عملکرد سیستم مخابراتی ارائه می‌شود. در پایان نتایج حاصل از شبیه‌سازی روش پیشنهادی ارائه شده است.

تشریح مسئله

توزیع نابرابر احتمال رخداد سمبل‌ها و وجود وابستگی (حافظه) در تولید سمبل‌های یک منبع با حافظه، دو عامل اصلی ایجاد افزونگی در دنباله خروجی هستند که باعث افزایش نرخ ارسال می‌شوند. از آنجا که این افزونگی در دنباله مستتر است، درگیرنده نمی‌توان مستقیماً از آن برای بهبود عملکرد (تشخیص یا تصحیح خطا) بهره گرفت. با استفاده از روش‌های فشرده‌سازی داده‌ها می‌توان بر کارایی سیستم مخابراتی افزود، اما انجام عمل فشرده‌سازی داده‌ها دو مسئله‌ی زیر را بر سیستم تحمیل می‌کند:

۱. فشرده‌سازی در حد آنتروپی منبع، مگر در موارد خاص (حتی با معلوم بودن توزیع آماری منبع)، مستلزم پردازش حجم زیادی از داده‌های منبع به‌طور هم‌زمان و در نتیجه تأخیر زمانی و پیچیدگی زیاد است. با حافظه بودن منبع نیز بر این پیچیدگی می‌افزاید.

۲. فشرده‌سازی و حذف وابستگی بین داده‌های منبع بر حساسیت آنها نسبت به نویز کانال می‌افزاید و استفاده از رمزگذاری کانال قوی‌تر (افزونگی بیشتر) یا توان ارسال بیشتر را طلب می‌کند.

ایده‌ی دیگر برای افزایش کارایی سیستم مخابراتی آن است که به‌جای تلاش برای فشرده‌سازی داده‌های منبع، سعی کنیم از افزونگی ذاتی منبع به‌منظور دست‌یابی به بهره‌ی رمزگذاری کانال و بهبود عملکرد (کاهش احتمال خطا) استفاده کنیم. هر منبع اطلاعات را می‌توان با یک منبع مارکوف معادل نمایش داد. حال با این فرض که یک منبع گسسته با حافظه‌ی M سمبلی با آنتروپی $H(X)$ و مدل مارکوف معادل N حالت با ماتریس انتقال معلوم در اختیار ما است و می‌خواهیم به هر سمبل تولیدشده با توجه به حالت منبع، سیگنال مناسبی از یک مجموعه سیگنال‌های M عضوی اختصاص دهیم.

در حالت کلی، تعداد حالت‌های ممکن برای نگاشت مجموعه سیگنال‌های M عضوی به یک منبع مارکوف N حالتی M سمبلی، برابر $(M!)^N$ است. بررسی و شبیه‌سازی تمامی این نگاشت‌ها برای تعیین نگاشت مناسب با بهترین عملکرد، کاری بسیار دشوار و به‌ازای مقادیر M و N بزرگ غیرعملی است. «مدولاسیون رمزی منبع» روش ساده‌ی برای تخصیص سیگنال به سمبل‌های منبع، با توجه به احتمال‌های انتقال در هر حالت، ارائه می‌دهد.

معیار ارزیابی

میزان بهبود در عملکرد یک سیستم مخابراتی براساس استفاده از افزونگی ذاتی منبع را می‌توان با بهره‌ی رمزگذاری کانال توصیف کرد:

$$G_C = 10 \log_{10} \left. \frac{(SNR)_{nc}}{(SNR)_c} \right|_{P(e) \leq A} \quad (3)$$

که در آن $(SNR)_{nc}$ و $(SNR)_c$ به ترتیب عبارت‌اند از نسبت‌های سیگنال به نویز مورد نیاز قبل و بعد از رمزگذاری (استفاده از افزونگی منبع) به‌ازای یک احتمال خطای مشخص $(P(e) \leq A)$. تعیین بهره‌ی رمزگذاری کانال ناشی از افزونگی منبع، به روش نظری بسیار دشوار و یک مسئله‌ی باز است. یک روش عملی برای محاسبه‌ی بهره‌ی رمزگذاری کانال، استفاده از شبیه‌سازی است. بیشترین میزان بهبود قابل انتظار نیز معیاری مفید برای ارزیابی عملکرد روش‌های مبتنی بر استفاده از افزونگی منبع است. برای یک منبع گسسته‌ی ایستادن M سمبلی با آنتروپی $H(X)$ و یک کانال گسسته‌ی بی‌حافظه با ظرفیت C ، متوسط احتمال خطای سمبل در رابطه‌ی ۴ صدق می‌کند: [۲۲]

$$P_s(e) \log(M - 1) + H(P_s(e)) \geq H(X) - \frac{T_s}{T_c} C \quad (4)$$

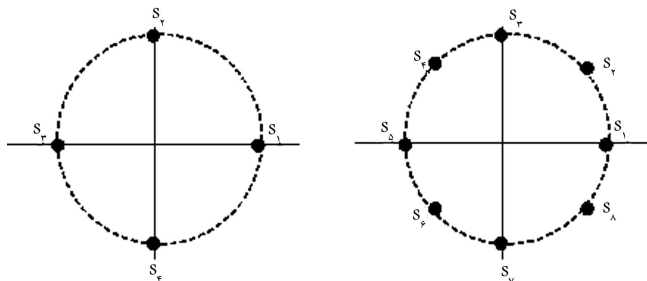
به‌طور خلاصه، مراحل الگوریتم مدولاسیون رمزی منبع برای منابع مارکوف با ماتریس انتقال معلوم عبارت است از:

- ترسیم نمودار ترلیس رمزی با توجه به ماتریس انتقال منبع؛
- انتخاب یک مجموعه سیگنال‌های متقارن با M_p عضو؛
- افراز مجموعه‌ی سیگنال‌ها؛
- انتساب سیگنال‌های دارای بیشترین فاصله به سمبل‌های با بیشینه احتمال در هر حالت منبع، به‌نحوی که حتی‌الامکان سیگنال‌های ورودی به هر حالت یکسان نباشند؛
- استفاده از نمودار ترلیس منبع به‌منظور رمزگذاری؛
- ارسال سیگنال متناظر با سمبل تولیدشده توسط منبع؛
- محاسبه‌ی فاصله‌ی سیگنال دریافتی از سیگنال‌های اختصاص یافته به شاخه‌های ترلیس و تغییر فواصل محاسبه‌شده متناسب با احتمال وقوع سمبل‌ها؛
- رمزبرداری دنباله‌ی دریافتی با توجه به نمودار ترلیس منبع و تعیین دنباله با کم‌ترین فاصله.

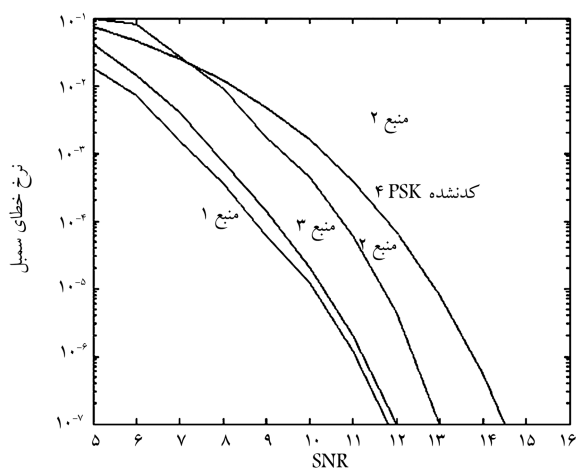
جدول ۱. مشخصات آماری چهار منبع گسسته با حافظه مورد استفاده در شبیه‌سازی روش مدولاسیون رمزی منبع.

شماره منبع	مشخصات منبع	ماتریس انتقال منبع	آنتروپی منبع (bits/sym)	افزونگی نسبی منبع
۱	منبع مارکوف چهارسمبلی $\{A, B, C, D\}$ و چهارحالت	$\begin{bmatrix} 0.2(A) & 0 & 0.5(B) & 0.3(C) \\ 0.1(D) & 0.2(A) & 0.2(B) & 0.5(C) \\ 0.3(A) & 0 & 0 & 0.7(C) \\ 0.1(B) & 0.9(A) & 0 & 0 \end{bmatrix}$	۱.۱۵۴	۰.۷۳۳
۲	منبع مارکوف چهارسمبلی $\{A, B, C, D\}$ و چهارحالت	$\begin{bmatrix} 0.2(A) & 0.5(B) & 0.3(C) & 0 \\ 0.1(C) & 0.3(D) & 0.5(A) & 0.1(B) \\ 0.1(A) & 0.3(B) & 0.2(C) & 0.4(D) \end{bmatrix}$	۱.۶۱۳	۰.۲۳۹۹
۳	منبع مارکوف چهارسمبلی $\{A, B, C, D\}$ و پنج‌حالت	$\begin{bmatrix} 0.5(A) & 0.2(B) & 0 & 0.2(C) & 0.1(D) \\ 0 & 0.5(B) & 0.5(C) & 0 & 0 \\ 0.05(D) & 0.7(B) & 0.15(C) & 0.1(A) & 0 \\ 0 & 0 & 0.1(D) & 0 & 0.9(A) \\ 0.1(C) & 0 & 0.4(D) & 0.2(A) & 0.3(B) \end{bmatrix}$	۱.۱۷۹۴	۰.۶۹۴
۴	منبع مارکوف هشت سمبلی و هشت حالت	$\begin{bmatrix} 0.2(A) & 0 & 0.5(B) & 0.3(C) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1(D) & 0.2(A) & 0.2(B) & 0.5(C) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.1(A) & 0.1(B) & 0.15(C) & 0.15(D) & 0.2(E) & 0.2(F) & 0.05(G) & 0.05(H) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0.3(G) & 0 & 0 & 0.7(D) \\ 0 & 0.1(H) & 0 & 0.3(F) & 0 & 0.6(B) & 0 & 0 \\ 0.4(F) & 0.1(E) & 0 & 0 & 0.1(D) & 0.4(A) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3(C) & 0 & 0.5(G) & 0 & 0.2(F) & 0 \\ 0 & 0.1(A) & 0.4(E) & 0 & 0 & 0 & 0.2(D) & 0.3(F) \end{bmatrix}$	۱.۷۱۲۶	۰.۷۵۱۷

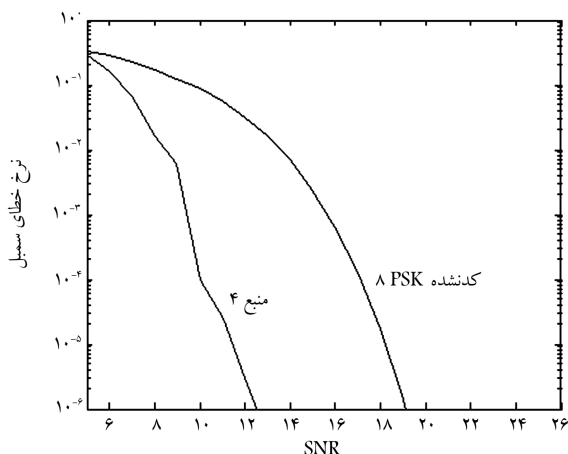
بیشینه‌ی بهره‌ی رمزگذاری کانال قابل دست‌یابی و بهره‌ی رمزگذاری کانال ناشی از شبیه‌سازی نشان می‌دهد که بهره‌ی رمزگذاری کانال حاصله کم‌تر از بیشینه مقدار قابل دست‌یابی است، اگرچه اختلاف آنها کم است. ضمناً با افزایش تعداد سمبل‌های منبع و در نتیجه تعداد سیگنال‌های قابل تخصیص، امکان نزدیک شدن به مقدار بهره‌ی رمزگذاری کانال قابل دست‌یابی بیشتر می‌شود.



شکل ۱. نام‌گذاری سیگنال‌های 4PSK و 8PSK در مدولاسیون رمزی منبع.



شکل ۲. عملکرد روش مدولاسیون رمزی منبع برای منابع با حافظه‌ی چهارسمبلی در مقایسه با سیستم دارای مدولاسیون رمز نشده 4PSK.



شکل ۳. عملکرد روش مدولاسیون رمزی منبع برای یک منبع با حافظه‌ی هشت‌سمبلی در مقایسه با سیستم با مدولاسیون رمز نشده 8PSK.

که در آن، τ_s زمان تولید یک سمبل، و τ_c زمان ارسال آن سمبل است.

$$H(P_s(e)) = -P_s(e) \log P_s(e) - (1 - P_s(e)) \log (1 - P_s(e))$$

ظرفیت کانال تابعی از نسبت سیگنال به نویز است. ظرفیت یک کانال AWGN با پهنای باند BW ، از رابطه‌ی ۵ محاسبه می‌شود: [۳۵]

$$C = BW \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (5)$$

که در آن، $\frac{S}{N}$ نسبت سیگنال به نویز است. بنابراین با کمک رابطه‌های ۴ و ۵ می‌توان یک کران پایین برای نسبت سیگنال به نویز مورد نیاز متناسب با آنتروپی منبع به دست آورد. با فرض $\tau_s = \tau_c$ و $BW = 1$ (پهنای باند یکسان با حالت بدون رمزگذاری)، این کران عبارت است از:

$$\frac{S}{N} \geq 2^{(H(X) - P_s(e) \log(M-1) - H(P_s(e)))} - 1 \quad (6)$$

حال برای تعیین بیشترین بهره‌ی رمزگذاری کانال قابل دست‌یابی ناشی از استفاده از افزودگی منبع، مراحلی که به کار می‌بریم عبارت‌اند از:

۱. محاسبه‌ی نسبت سیگنال به نویز مورد نیاز بدون استفاده از افزودگی منبع و به‌ازای یک احتمال خطای مشخص $(-A)$. با فرض $H(X) = \log M$ (یک منبع بدون افزودگی)، مقدار $(SNR)_{nc}$ را با کمک رابطه‌ی ۶ محاسبه می‌کنیم.
۲. محاسبه‌ی نسبت سیگنال به نویز مورد نیاز با استفاده از افزودگی منبع و به‌ازای یک احتمال خطای مشخص $(-A)$. با قرار دادن آنتروپی منبع در رابطه‌ی ۶، مقدار $(SNR)_c$ را محاسبه می‌کنیم.
۳. جایگذاری مقادیر $(SNR)_{nc}$ و $(SNR)_c$ در رابطه‌ی ۳.

نتایج شبیه‌سازی

عملکرد روش مدولاسیون رمزی منبع برای سه منبع گسسته با حافظه‌ی چهارسمبلی و یک منبع با حافظه‌ی هشت‌سمبلی با میزان افزودگی‌های مختلف و مشخصات ارائه‌شده در جدول ۱ شبیه‌سازی و ارزیابی می‌شود.

یک مجموعه سیگنال‌های 4PSK چهارعضوی و یک مجموعه سیگنال‌های 8PSK هشت‌عضوی را در نظر می‌گیریم. نام‌گذاری مجموعه سیگنال‌های 4PSK و 8PSK مطابق شکل ۱ است.

شکل ۲ نمایانگر عملکرد (نرخ خطای سمبل برحسب نسبت سیگنال به نویز) روش مدولاسیون رمزی منبع برای منابع گسسته با حافظه‌ی چهارسمبلی در مقایسه با سیستم دارای مدولاسیون رمز نشده 4PSK است.

در شکل ۳ نیز عملکرد روش مدولاسیون رمزی منبع برای منبع گسسته با حافظه‌ی هشت‌سمبلی در مقایسه با سیستم دارای مدولاسیون رمز نشده 8PSK نشان داده شده است. بررسی شکل‌های ۲ و ۳ نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با استفاده از افزودگی ذاتی منبع، عملکرد سیستم مخابراتی را متناسب با میزان افزودگی منبع بهبود می‌بخشد. نحوه‌ی تخصیص سیگنال به شاخه‌های نمودار تریس برای هر یک از منابع جدول ۱، در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است.

در جدول ۲ بهره‌ی رمزگذاری کانال حاصل از اعمال این روش برای هر کدام از منابع گسسته با حافظه‌ی مندرج در جدول ۱ ارائه شده است. مقایسه‌ی مقادیر

جدول ۲. بهره‌ی تقریبی رمزگذاری کانال ناشی از اعمال روش مدولاسیون رمزی منبع برای منابع گسسته‌ی باحافظه.

شماره منبع	بیشینه بهره رمزگذاری کانال قابل دست‌یابی	بهره رمزگذاری کانال حاصل از شبیه‌سازی در $P_e(e) = 10^{-5}$
۱	۳/۸	۲/۸
۲	۱/۶	۱/۴
۳	۳/۷	۲/۵
۴	۴/۸	۳/۳

نتیجه‌گیری

فشرده‌سازی داده‌ها روشی برای کاهش افزونگی داده‌ها و استفاده‌ی بهتر از ظرفیت کانال و امکانات سیستم مخابراتی است. اما انجام رمزگذاری منبع عموماً با دو مسئله همراه است:

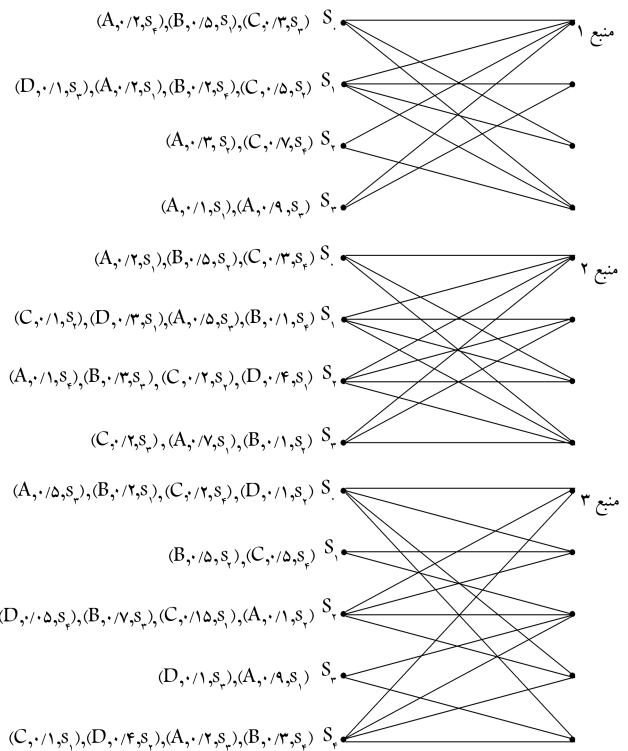
۱. پیچیدگی و تأخیر زمانی؛

۲. افزایش حساسیت داده‌ها نسبت به نویز کانال.

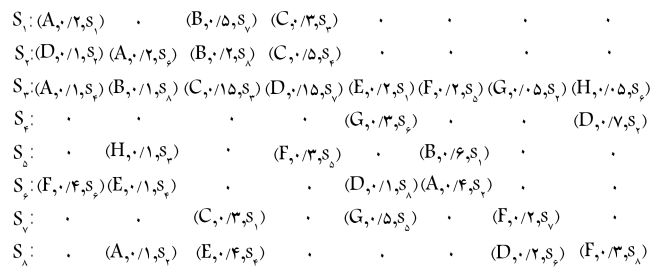
استفاده از افزونگی منبع برای بهبود عملکرد سیستم مخابراتی و انتقال داده‌ها می‌تواند علاوه بر رفع دو مسئله‌ی فوق به کارایی بهتر بینجامد.

در این نوشتار، روش مدولاسیون رمزی منبع بر پایه‌ی استفاده از افزونگی ذاتی منبع ارائه شد و نحوه‌ی به‌کارگیری آن برای منابع گسسته‌ی مارکوف با ماتریس انتقال معلوم مورد بررسی قرار گرفت. این روش مبتنی است بر تخصیص سیگنال‌هایی که بیشترین فاصله را دارند به سمبل‌هایی که از بیشترین احتمال وقوع برخوردارند. همچنین معیاری برای تعیین بیشینه بهره‌ی رمزگذاری کانال قابل دست‌یابی ناشی از به‌کارگیری افزونگی منبع برای بهبود عملکرد سیستم مخابراتی ارائه شد.

نتایج شبیه‌سازی نشان داد که با استفاده از روش مدولاسیون رمزی منبع می‌توان از افزونگی منبع در جهت افزایش مقاومت داده‌ها نسبت به نویز کانال و دست‌یابی به یک بهره‌ی رمزگذاری کانال خوب متناسب با میزان افزونگی منبع بهره گرفت.



شکل ۴. تخصیص سیگنال به نمودار ترلیس منابع گسسته باحافظه‌ی چهارسمبلی.



شکل ۵. تخصیص سیگنال به نمودار ترلیس منبع گسسته باحافظه‌ی هشت سمبلی.

پانویس

- additive white gaussian noise
- maximum a posteriori
- phase shift keying

منابع

- Shannon, C.E. "A mathematical theory of communication", *Bell System technology Journal*, **27**, pp. 379-423 and 623-656, (July and October 1948).
- Pettuohn, B.D.; Hoffman, M.W. and Sayood, K. "Joint source-channel coding using arithmetic codes", *IEEE*

Transactions on Communications, **49** (5), pp.829-836 (May 2001).

- Dunham, J.G. and Gray, R.M. "Joint source and channel trellis encoding", *IEEE Transactions on Information Theory*, **IT-27**, pp. 516-519, (July 1981)
- Dutsch, N. and Hagenauer, J. "Combined incremental and decremental redundancy in joint source-channel coding", *Proceedings of International Symposium on Information Theory and its Applications*, Parma, Italy, pp. 775-779, (October 2004)
- Ayanoglu, E. and Gray, R.M. "The design of joint source and channel **IT-33**", pp. 855-865, (November 1987). trellis waveform coders", *IEEE Transactions on Information Theory*,

6. Wang, H.Q.; Koh, S.N. and Chang, W.W. "Application of reversible variable-length codes in robust speech coding", *IEE Proceedings Communications*, **152**(3), pp. 272-276, (June 2005).
7. Kandi, L.P.; Ishtiaq, F. and Katsaggelos, A.K. "Joint source-channel coding for motion-compensated DCT-based SNR scalable video", *IEEE Transactions on Image Processing*, **11**(9), pp. 1043-1052, (September 2002).
8. Hamzaoui, R.; Stankovic, V. and Xiong, Z. "Rate-based versus distortion-based optimal joint source-channel coding", *Proceedings of the Data Compression Conference (DCC '02)*, Snowbird, UT, (April 2002).
9. Hedayat, A. and nosratinia, A. "Rate allocation criteria in source-channel coding of images", *IEEE International Conference on Image Processing (ICIP '02)*, Thessalonica, Greece, **1**, pp. 189-192, (October 2001).
10. Goodman, D.J. and Sundberg, C.E. "Combined source and channel coding for variable bit rate speech transmission", *The Bell Systems Technical Journal*, **62**(7), pp. 2017-2036, (September 1983).
11. Pan, X.; Banhashemi, A.H. and Cuhadar, A. "A fast trellis-based rate-allocation algorithm for robust transmission of progressively coded images over noisy channel", *Data Compression Conference (DCC '05)*, Snowbird, UT, pp. 473, (March 2005).
12. Bystorm, M. and Stockhammer, "Dependent source and channel rate allocation for video transmission", *IEEE Transactions on Wireless Communications*, **3**(1), pp. 258-268, (January 2004).
13. Farvardin, N. and Vaishampayan, V. "Optimal quantizer design for noisy channels: an approach to combined source-channel coding", *IEEE Transactions on Information Theory*, **IT-33**(6), pp. 827-838, (November 1987).
14. Linde, Y.; Buzo, A. and Gray, R.M. "An algorithm for vector quantizer design", *IEEE Transactions on Communications*, **28**(1), pp. 84-95, (January 1980).
15. Farnardin, N. and Vaishampayan, V. "On the performance and complexity of channel-optimized vector quantizers", *IEEE Transactions on Information Theory*, **IT-37**, pp. 155-160, (January 1991).
16. Yahampath, P. and pawlak, M. "Iterative design of predictive vector quantizers for joint source-channel coding", *IEEE International Conference on Communications (ICC '02)*, New York, USA, pp. 1611-1615, (April-May 2002).
17. Zeger, K.A. and Gersho, A. "Zero redundancy channel coding in vector quantization", *IEEE Electronics Letter*, **23**, pp. 654-655, (June 1987).
18. Gabay, A.; Duhamel, P. and Rioul, O. "Real BCH codes as joint source-channel codes for images satellite coding", *IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '00)*, San Francisco, USA, pp. 820-824, (November-December 2000).
19. Out, H.H. and Sayood, K. "A joint source-channel coder with block constraints", *IEEE Transactions on Communications*, **47**(11), pp. 1615-1618, (November 1999).
20. Kliever, J. and Mertins, A. "Error-resilient transmission of wavvform signals using over complete expansions and soft-input source decoding", *proceedings of European Signal Processing Conference (EURIPCO '04)*, Vienna, Austria, pp. 881-884, (September 2004).
21. Sayood, K.; Gibson, J.D. and Liu, F. "Implementation issues in MAP joint source-channel coding", *IEEE 22-Asilomar Conference on Signals, Systems and Computer*, **1**, pp. 102-106, (November 1988).
22. Hellman, M.E. "Convolutional source encoding", *IEEE Transactions on Information Theory*, **IT-21**, pp. 651-656, (November 1975).
23. Ngan, K.N. and Steele, R. "Enhancement of PCM and DPCM images corrupted by transmission errors", *IEEE Transactions on Communications*, **30**, pp. 257-269, (January 1982).
24. Bauer, R. and Hagenauer, J. "Iterative source-channel decoding using reversible variable-length codes", *Proceedings International Conference on Data Compression (DCC '00)*, Snowbird, USA, pp. 93-102, (March 2000).
25. J. Hagenauer, "Source-controlled channel decoding", *IEEE Transactions on Communications*, **43**, (9), pp. 2449- 2457 (September 1995).
26. Z. Cai, K.R. Subramanian and L. Zhang, "Source-controlled channel decoding using nonbinary turbo codes", *Electronics Letters*, **37** (1), pp. 39-40, (January 2001).
27. G. Takahara, F. Alajaji, N. C. Beaulieu and H. Kuai, "Constellation mappings for two-dimentional signaling of nonuniform sources", *IEEE Transactions on Communications*, **51**(3), pp. 400-408, (March 2003).
28. H. Kuai, F. Alajaji and G. Takahara, "Tight error bounds for nonuniform signaling over AWGN channels", *IEEE Transactions on Information Theory*, **46**(7), pp. 2712-2718, (November 2000).
29. L. Zhong, F. Alajaji and G. Takahara, "Error analysis for nonuniform signaling over Rayleigh fading channels", *IEEE Transactions on Communications*, **53** (1), pp. 39-43, (January 2005).
30. M. Bahrami and B. Honary, "Combined source and block-coded modulation technique for data transmission", *Proceedings of the 5th Bangor Communication Symposium*, Bangor, pp. 175-179, (1993).
31. F.I. Alajaji, S.A. Al-Semari and P. Burlina, "Visual communication via trellis coding and transmission energy allocation", *IEEE Transactions on Communications*, **47**, (11), pp. 1722-1728 (1999).
32. A. Payandeh, *A secure and efficient coding system for remote sensing satellites*, Ph.D. Thesis, K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran (June 2006).
33. G. Ungerboack, "Channel coding with multilevel/phase signals", *IEEE Transactions on Information Theory*, **IT-28**(1), pp. 55-67, (January 1982).
34. R. G. Gallager, *Information theory and reliable communication*, John Wiley and Sons, Inc., (1968).
35. C. E. Shannon, "Communication in the presence of noise", *proceeding of the IRE*, **37**(1), pp. 10-21, (January 1949).