تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۰۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۳/۰۱/۲۳

بررسی و مقایسه و انواع روش‌های کد کذاری کانال در طراحی سامانه های دورسنجی فضایی بر اساس استاندارد CCSDS.

امیرمهدی سازدار[۱]
منصور نجاتی جهرمی[۲]
افشین احمدلو[۳]

چکیده

ارسال و دریافت داده‌ها در سامانه‌های دورسنجی و روش‌های اعمال شده برای کدگذاری و رمزنگاری آنها یکی از کاربردی‌ترین و پیشرفته‌ترین علوم روز دنیا است و همواره سعی می‌شود روشی موثر برای ارسال و دریافت اطلاعات ابداع گردد. کدگذاری کانال دورسنجی روشی برای پردازش داده‌های در حال ارسال از مبدا به مقصد است، به نحوی که پیام‌های مجزا طوری تولید شوند که به سادگی از یکدیگر قابل تمایز باشند. این امر باعث کاهش احتمال خطا و در نهایت افزایش بهره‌وری کانال می‌شود. طرح‌های کدگذاری کانال دورسنجی معرفی شده تنها کدهایی نیستند که در ماموریت‌های هوافضایی استفاده می‌شوند، لیکن بررسی بهترین طرح‌های ارائه شده توسط استاندارد CCSDS از اهداف مقاله است. کد کانولوشن صلیبی با نرخ $1/2$ و کد کانولوشن حذفی و همچنین کد رید سالامون که از مزایای خوبی در پهنای باند پایین و توان نمایش خطا برخوردار است، توصیف می‌شود. در انتها طرح کدهای توربو و همچنین روش‌های همزمانی بلوک کدها معرفی می‌گردد.

پرتال جامع علوم انسانی

واژه‌های کلیدی

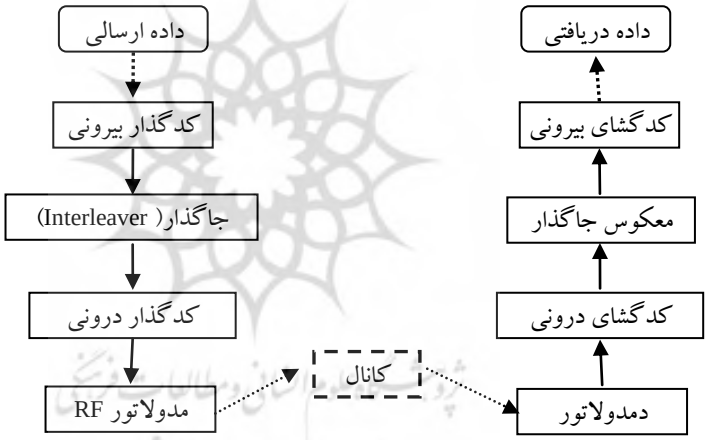
کدگذاری، کدگشایی، ارتباطات هوافضایی دورسنجی

---

۱ - کارشناس ارشد مخابرات- رمز، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهیدستاری
۲- استادیار مخابرات، مرکز تحقیقات و جهاد دانشگاه هوایی شهیدستاری
۳- کارشناس ارشد برق، مخابرات، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهیدستاری

مقدمه

کمیته مشاوره‌ای سیستم داده فضایی (CCSDS)[1] برای یکسان‌سازی ارتباطات هوافضایی و دورسنجی داده‌ها، اقدام به معرفی استاندارد CCSDS به جامعه جهانی نموده است. این استاندارد مشابه استاندارد ISO و تحت نظارت سازمان دفاع آمریکا[2] (DoD)رشد و توسعه پیدا کرد. این استاندارد روش‌های معمول کدگذاری را به منظور استفاده در ماموریت‌های هوافضایی و تسهیل امور ارتباطات هوافضایی معرفی نموده است. در این استاندارد با ترکیب کدهای کانولوشن و رید سالامون به صورتی که کد ریدسالامون کد بیرونی[3] و کد کانولوشن درونی[4] باشد[5]، می‌توان بهره بیشتری را نسبت به استفاده تک‌تک آنها در کدگذاری بدست آورد (CCSDS 101.0-B-4, 1999). نحوه اتصال کدگذار و کدگشای درونی و بیرونی در شکل (۱) آمده است (CCSDS 101.0-B-4, 1999).



شکل (۱) نحوه اتصال کدهای درونی و بیرونی

این کدها قابل کاربرد روی لینک رفت (ارسالی)[6]، مانند فرمان از راه دور و لینک دریافتی[1]، نظیر دورسنجی داده‌ها (CCSDS 101.0-B-4, 1999) و حتی سیستم‌های رهگیری پیشرفته[2] (AOS) نیز هستند (CCSDS 701.0-B-2. 1992).

---

[1] Consultative Committee for Space Data System (CCSDS)
[2] United State Department of Defense
[3] Outer
[4] Inner
۵. در هنگام ارسال داده‌های دورسنجی ابتدا کد رید سالامون و سپس کد کانولوشن اعمال می‌شود و در محل دریافت عکس این عمل انجام می‌شود. پس در کل مجموعه کد کانولوشن، کد درونی یا داخلی و کد رید سالامون کد بیرونی یا خارجی آن می‌باشد.
[6] Forward Link

کدگذاری کانال

در کدکذاری کانال ارتباطی، از دو نوع روش کدگذاری بازگشتی و بلوکی استفاده می‌شود، در کدهای بازگشتی، خروجی تابعی از ورودی و حالت فعلی سیستم است اما برای کدهای بلوکی خروجی فقط وابسته به بلوک ورودی است. در استاندارد CCSDS از میان کدهای بازگشتی کد کانولوشن (در دو نوع کانولوشن ساده و حذفی) و کدهای توربو و برای کدهای بلوکی کد ریدسالامون پیشنهاد شده است.

کدهای کانولوشن

در این بخش ابتدا به بررسی کدهای کانولوشن ساده پرداخته می‌شود.

کد کانولوشن ساده با نرخ $\frac{1}{2}$ برای کانال‌های با نویز گوسی[3] زیاد بسیار مناسب است. اگر در این کد حذفی صورت بگیرد کد کانولوشن حذفی معرفی می‌شود که باعث افزایش نرخ کد خواهد شد(سربار کمتر)، ولی امکان تصحیح خطا کاهش می‌یابد. در مورد کدهای کانولوشن ذکر موارد زیر لازم است:

۱) استفاده از کد کانولوشن ساده به تنهایی نمی‌تواند انتقال سمبل‌ها را در زمان استفاده از طرح‌های تسهیم یا مالتی‌پلکس، تضمین نماید. بنابراین نیاز به یک مولفه‌ی شبه تصادفی[4] کاملاً احساس می‌شود. مگر اینکه طراح سیستم، چگالی سمبل‌های مورد انتقال را مورد بررسی و کنترل قرار دهد.

۲) زمانیکه CCSDS از قاب‌های انتقال(CCSDS 103.0-B-1, 1996.) یا واحدهای داده‌ی کانال انتقال(CCSDS 701.0-B-2, 1992.) استفاده می‌نماید، اگرتوانایی تصحیح کدگشاها (دیکدر) بیشتر از خطاهای کشف نشده‌ی متوالی باشد و کدگذاری رید سالامون استفاده نشده باشد، نیاز به CRC است.

1 Return Link
2 Advanced Orbiting System
3 Gaussian Noise
4 Pseudo Randomizer

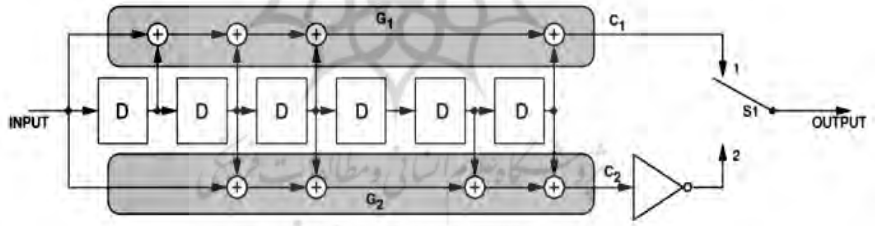
ویژگی‌های کدهای کانولوشن ساده

کدکانولوشن ساده یک کد نامتقارن[1] با فرایند کدگشایی ویژه است، خصوصیات این کد در جدول (۱) و بلوک دیاگرام در شکل (۲) نمایش داده شده است.

جدول (۱) خصوصیات کد کانولوشن ساده (CCSDS 101.0-B-4, 1999)

ردیف	ویژگی	توضیح
۱	نامگذاری	کد کانولوشن ساده با بیشترین احتمال کدگشایی ویتربی
۲	نرخ کد	$1/2$ بیت بر سمبل
۳	محدودیت طول (مرتبه[2])	۷ بیت
۴	بردارهای اتصال[3]	G1=1111001 (171)وG2=1011011(133)
۵	معکوس سمبل	مسیر خروجی G2

دنباله‌ی سمبل‌های خروجی این کدگذار به صورت $C_1(1),\overline{C_2(1)},C_1(2),\overline{C_1(2)},...$ است. که در آن $C_i(t)$ و $\overline{C_i(t)}$ به ترتیب نشان‌دهنده مقادیر واقعی و مکمل بیت در لحظه t از بردار i هستند. بخش‌های مختلف و نحوه کار بلوک دیاگرام شکل (۲) آمده است.

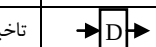


شکل (۲) بلوک دیاگرام کدگذار کانولوشن(CCSDS 101.0-B-4, 1999)

در جدول (۲) اجزا و نحوه کار بلوک دیاگرام کدگذار کانولوشن نشان داده شده است.

1 Non Symmetric Code
2 Order
3 Connection Vectors

جدول (۲) جزییات دیاگرام کدگذار کانولوشن(CCSDS 101.0-B-4, 1999)

ردیف	بخش	کاربرد هر بخش	نحوه کار
۱		تاخیر یک بیتی	برای هر بیت ورودی دو سمبل با تکمیل دو مسیر دوری شماره یک و دو تولید می‌شود.
۲		جمع به پیمانه دو	
۳		مکمل بیتی	

با شبیه‌سازی رایانه‌ای برای رسیدن به بهترین حالت کشف و تصحیح خطا، می‌توان بردارهای اتصال یا چندجمله‌ای‌های مولد را به صور مختلفی انتخاب نمود. فهرستی از بهترین انتخاب‌ها برای کدهای کانولوشن ساده با نرخ $1/2$ معرفی شده، که در جدول (۳) نشان داده شده است. (لنگتون، چاران، ۲۰۰۲ : ۲)

جدول (۳) چند جمله‌ای‌های مولد برای کدهای با نرخ½

ردیف	محدودیت طول (مرتبه کد)	G_1	G_2
۱	۳	110	111
۲	۴	1101	1110
۳	۵	11010	11101
۴	۶	110101	111011
۵	۷	110101	110101
۶	۸	110111	1110011
۷	۹	110111	111001101
۸	۱۰	110111001	1110011001

کدهای کانولوشن حذفی

با تغییراتی در نرخ کد ($r = 1/2$) و محدودیت طول (k=7) می‌توان کدهایی با کارایی بالاتر ایجاد نمود، این تغییر با بکارگیری الگوی حذفی P(r) که r نرخ کد و P الگوی متناسب با هر نرخ است و در جدول (۴) آمده است، حاصل می‌شود. با فرایند پانچ شدن، تعدادی از نمادها قبل از انتقال حذف می‌شود که باعث کم شدن سربار و اشغال کمتر پهنای باند خواهد شد. از

این کدها در ارتباطات ماهواره‌ای نظیر سیستم‌های اینتل‌سَت[1] یا پخش تصاویر ویدیویی دیجیتال[2] استفاده می‌شود (CCSDS 502.0-B-2, 2009).

به منظور درک نحوه عملکرد این کد به شرح سطر اول از جدول (۴) می‌پردازیم. در حالتی که $C_1=10$ و $C_2=11$ است یعنی هر دو دنباله C_1 و C_2 دارای دو سمبل هستند، که در C_1 سمبل اول، باید انتقال یابد ولی سمبل دوم منتقل نمی‌شود. ولی در C_2 هر دو سمبل منتقل می‌شوند، بنابرین دنباله خروجی ابتدا سمبل اول C_1 و سپس سمبل اول C_2 را منتقل می‌کند و بعد از آن بدلیل اینکه سمبل دوم C_1 منتقل نمی‌شود، سمبل دوم C_2 را منتقل می‌نماید.

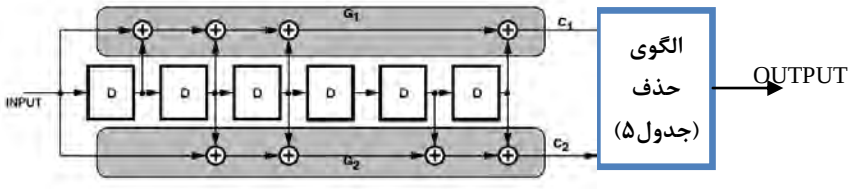
جدول (۴) الگوی کد حذفی نرخ‌های متفاوت کد کانولوشن (CCSDS 101.0-B-4, 1999)

ردیف	الگوی حذفی(P) 1 = سمبل انتقال یافته 0 = سمبل انتقال نایافته	نرخ کد(r)	دنباله خروجی ($C_1(t)$ و $C_2(t)$ نشان‌دهنده مقادیر بیت در زمان t هستند)	فاصله آزادی[3] (در کد کانولوشنال با $k=7$ در استاندارد NASA)
۱	C_1: 1 C_2: 1	$1/2$ بدون کارایی	$C_1(1)C_2(1)...$	۱۰
۲	C_1: 10 C_2: 11	$2/3$	$C_1(1)C_2(1)C_2(2)...$	۶
۳	C_1: 101 C_2: 110	$3/4$	$C_1(1)C_2(1)C_2(2)C_1(3)...$	۵
۴	C_1: 10101 C_2: 11010	$5/6$	$C_1(1)C_2(1)C_2(2)C_1(3)$ $C_2(4)C_1(5)...$	۴
۵	C_1: 1000101 C_2: 1111010	$7/8$	$C_1(1)C_2(1)C_2(2)C_2(3)$ $C_2(4)C_1(5)C_2(6)C_1(7)...$	۳

پانچ کننده امکان انتخاب نرخ انتقال کد $2/3$، $3/4$، $5/6$ و یا $7/8$ برای دستیابی به سطح تصحیح خطا و نرخ سمبل مناسب برای سرویس مورد نظر را می‌دهد. نحوه کارکرد این کد مطابق کدهای کانولوشن ساده است با این تفاوت که در خروجی به جای مسیر دوری یک و دو از الگوی حذف استفاده می‌شود، تا نرخ ارسال سمبل‌ها بیشتر شود.

شکل (۳) بلوک دیاگرام کدگذار حذفی را نمایش می‌دهد.

1. INTELSAT
2. Digital Video Broadcasting
3. Free Distance



شکل (۳) بلوک دیاگرام کدگذار حذفی(CCSDS 101.0-B-4, 1999)

توجه کنیم که معکوس کننده‌ی سمبل‌بردار C_2 که در حالت نرخ r $1/2$ وجود دارد، در اینجا حذف شده است. در این صورت اگر طراح چگالی انتقال سمبل‌های موثر را کنترل نکند، وجود مولد شبه تصادفی ضروری خواهد بود. مشخصات کدهای کانولوشن حذفی در جدول (۵) آمده است.

جدول (۵) خصوصیات کد کانولوشن حذفی (CCSDS 101.0-B-4, 1999)

ردیف	ویژگی	توضیح
۱	نامگذاری	کد کانولوشن حذفی با بیشترین احتمال کدگشایی ویتربی
۲	نرخ کد	$1/2$ بیت بر سمبل پانچ‌شده به $2/3$ ، $3/4$ ، $5/6$ و یا $7/8$ افزایش می‌یابد.
۳	محدودیت طول	۷ بیت
۴	بردارهای اتصال	G1=1111001 (171) و G2=1011011(133)
۵	معکوس سمبل	ندارد

کدگذاری رید سالامون

کد رید سالامون از امکان تشخیص خطای خوبی برخوردار است و یکی از قویترین کدها در تصحیح خطا است. به این معنی که کدگشا بطور اطمینان بخشی نشان می‌دهد که می‌تواند تصحیح‌های مناسب را انجام دهد یا خیر. برای رسیدن به این اطمینان، همزمانی کد بلوک‌ها اجباری است. این کد دارای دو حالت تصحیح خطای شانزده و هشت است که این تعداد خطاها با E نمایش داده می‌شود.

۱- **حالت E=16**: برای رسیدن به بیشترین کارایی (به قیمت افزودن سربار)، که توان اصلاح شانزده خطای سمبل RS در هر کلمه کد را دارد.

۲- **حالت E=8** : با سربار کمتر (کاهش کارایی)، توان اصلاح هشت خطای سمبل RS در هر کلمه کد را دارد.

۳- ذکر این نکته لازم است که ترکیب همزمان دوحالت E=16 و E=8 نمی‌تواند در یک جریان دورسنجی منفرد به کار رود. در مورد کدگذاری رید سالامون ذکر موارد زیر لازم است.
الف- حداقل نرخ تشخیص خطا در این کد به این معنی است که، کدگشاهای RS می‌توانند با قابلیت اطمینان بالایی، کد بلوک رسیده را بپذیرند و به تبع آن در هنگام استفاده از کد رید سالامون محتویات قاب انتقال CCSDS یا واحد داده‌ی کانال مجازی نیازی به CRC ندارند.

ب- کدگذاری رید سالامون به‌تنهایی نمی‌تواند به میزان مطلوبی انتقال سمبل‌های کانال را برای ادامه همزمان کننده‌های سمبل تضمین نماید. بنابراین از یک مولد شبه تصادفی بهره می‌گیرند، مگر آنکه طراح سیستم، چگالی مناسبی را برای سمبل‌های مورد انتقال توسط روش‌های دیگر تعیین نماید. کد رید سالامون می‌تواند به تنهایی به‌کار رود و توانایی تصحیح خطای پیشرو در یک کانال بشدت نویزی را دارد. اما باید دانست که کد رید سالامون بهره خوبی را نخواهد داشت و معمولا با کد کانولوشن ترکیب می‌شود، که در این حالت کد ریدسالامون کد بیرونی و کد کانولوشن کد داخلی است. در جدول (۶) نمونه‌ای از نرخ کدگشایی کد رید سالامون مشاهده می‌شود. البته این نرخ داده، تنها برای کدکشایی است و نرخ کدگذاری به مراتب بسیار سریعتر است.(رایلی، مارتین : ۱۹۹۸: ۳)

جدول (۶) نمونه‌ای از نرخ کدگشایی کد رید سالامون

کد	نرخ داده
RS(255,251)	۱۲ مگابیت بر ثانیه
RS(255,239)	۲/۷ مگابیت بر ثانیه
RS(255,223)	۱/۱ مگابیت بر ثانیه

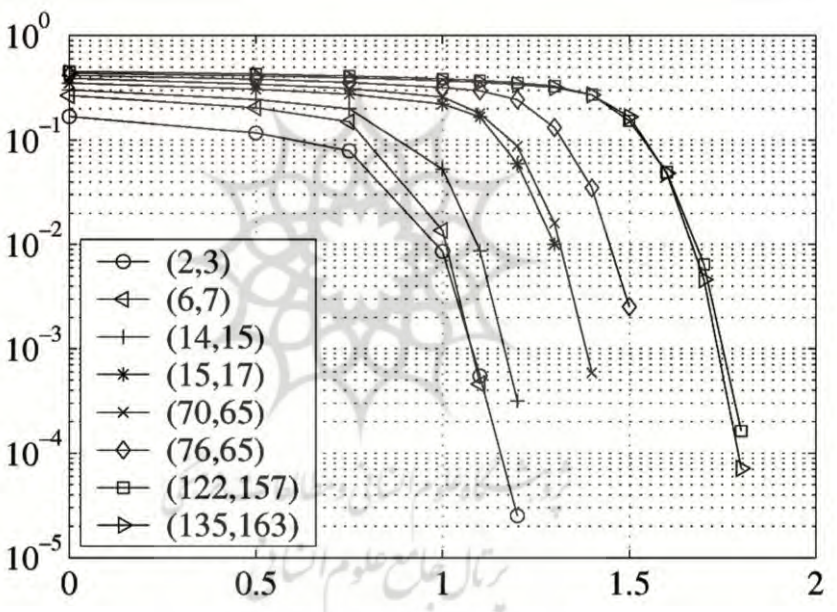
کدگذاری توربو

کدهای توربو، کد بلوک‌های سیستماتیک دودویی با طول زیاد (بیش از صدها یا هزارها بیت) هستند که ذاتاً کدر[1] (ناشفاف) هستند (لابرگ، ۲۰۰۰). فاز ابهام با نشانه‌گذارهای قاب که برای همزمانی کد بلوک لازم است رفع می‌شود. کدهای توربو نسبت به اتصال سیستم‌های کدگذار برای رسیدن به بهره کدگذاری بیشتر بکار می‌روند(هال، اریک، ۲۰۰۱).

1. Non Transparent

نکته الف- کدگذاری توربو به تنهایی نمی‌تواند انتقال بیت‌های لازم برای همزمانی را تضمین نماید. بنابراین بجز در مواردی که طراح سیستم چگالی انتقال سمبل‌ها را از طرق دیگر تامین می‌نماید از مولد شبه تصادفی استفاده می‌شود.

نکته ب- زمانیکه بهره کدگذاری مناسب باشد، کدهای توربو همچنان باقیمانده خطاها در خروجی کدگذاری شده را رها می‌کنند. به این منظور زمانی که قاب‌های انتقال CCSDS یا واحدهای داده‌ی کانال مجازی بکار می‌روند نیاز به CRC بیت‌ها برای تایید قاب‌ها است. نمونه‌ای از شبیه‌سازی نرخ خطای بیت برای کد توربو با بُعد $k=10000$ در شکل (۴) آمده است (رالف، جوردن،۲۰۰۴ : ۱۲).



شکل (۴) شبیه سازی نرخ خطای بیت برای کد توربو با بُعد $k=10000$

همزمانی قاب‌ها

همزمانی کد بلوک یا قاب برای کدگشایی کد بلوک‌های رید سالامون و کد بلوک‌های توربو و فرایند کنترل توالی قاب‌های انتقال بسیار موثر است. بعلاوه همزمانی در صورت استفاده از

مولد شبه تصادفی نیز ضروری است. همچنین برای همزمانی گره‌ها[1] در پردازش کدگشایی ویتربی[2] برای کد کانولوشن نیز بسیار مناسب است (CCSDS 101.0-B-4, 1999)

علامت همزمانی ضمیمه

همزمانی در کد بلوک‌های توربو، یا کد بلوک‌های رید سالامون و یا قاب‌های انتقال در صورت عدم استفاده کانال دورسنجی از کدهای توربو یا رید سالامون با کمک جریانی از کد بلوک‌های با طول متغیر با یک علامت همزمانی[3] (ASM) بین آنها بدست می‌آید. همزمانی جریان داده‌ی دورسنجی ابتدا توسط یک الگوی بیتی ویژه از ASM در محل دریافت و سپس با اعمال کنترل‌های بیشتر حاصل می‌شود (اسکلار، برنارد، ۱۹۹۷).

الف) سمت کدگذار : اگر کانال دورسنجی کدگذاری نشده یا کدگذاری به روش رید سالامون یا توربو باشد سمبل‌های کد شامل ASM خواهند بود، که مستقیماً به خروجی کدگذار (بدون کد شدن توسط رید سالامون یا توربو) افزوده می‌شوند. اگر یک کد کانولوشن درونی در ارتباط با یک کد ریدسالامون بیرونی بکار رود ASM توسط کد داخلی کدگذاری می‌شود.

ب) سمت کدگشا: در کدگذاری رید سالامون و کانولوشن، ASM ممکن است در دامنه سمبل‌های کانال (قبل از هر کدگذاری) یا در دامنه بیت‌های کدگشایی توسط کد درونی باز تولید شوند. برای سیستم کدگذاری توربو نیز، ASM در دامنه سمبل‌های کانال که همان دامنه سمبل‌های کد توربو می‌باشند، بدست می‌آید.

الگوی بیتی ASM

برای داده‌های دورسنجی ASM کد توربو شامل ۳۲ بیت (چهار هشتگانه) نیست. بلکه الگویی مشابه جدول (۷) زیر دارد. برای داده‌های کد توربو با نرخ کد r $1/2, 1/3, 1/4, 1/6$ مقدار ASM شامل $32/r$ بیت است. الگوی بیتی نشان‌دهنده در جدول (۷) مشاهده می‌شود.

1. Node Synchronization
2. Viterbi Decoders
3. Attached Sync Marker

جدول (۷) الگوی بیت‌های ASM در کد توربو (CCSDS 101.0-B-4, 1999)

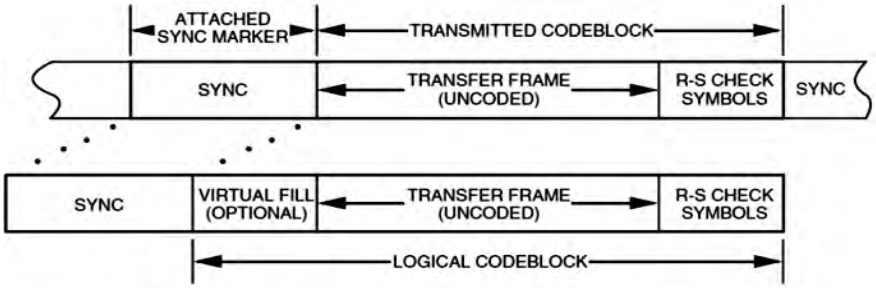
ردیف	کد	الگوی بیت‌های ASM
۱	کدهای غیر از توربو	1ACFFC1D
۲	کد توربو با نرخ داده $1/2$	034776C7272895B0
۳	کد توربو با نرخ داده $1/3$	25D5C0CE8990F6C9461B F79C
۴	کد توربو با نرخ داده $1/4$	034776C7272895B0FCB8 8938D8D76A4F
۵	کد توربو با نرخ داده $1/6$	25D5C0CE8990F6C9461 BF79CDA243F31766F09 36B9E40863

موقعیت ASM

علامت همزمانی بلافاصله بعد از کد بلوک‌های رید سالامون و توربو افزوده می‌شود و یا درصورت عدم استفاده کانال دورسنجی از رید سالامون و توربو بعد از قاب انتقال قرار می‌گیرند.

رابطه ASM با کدهای بلوکی رید سالامون و توربو

علامت همزمانی ضمیمه (ASM) بخشی از فضای داده کدگذاری کد بلوک‌های رید سالامون نیست و در ورودی کدگذار یا گدگشایی رید سالامون ظاهر نمی‌شود. این امر در صورت وجود داده‌های تکراری (مثلا الگوی ...010101) مانع از تولید سمبل‌های کنترلی مشابه و تولید مشکل در محل دریافت می‌شود. رابطه بین ASM و کد بلوک‌های رید سالامون و قاب انتقال در شکل (۵) مشاهده می‌شود.



شکل (۴) بخش بندی کدبلوک رید سالامون (CCSDS 101.0-B-4, 1999)

همانگونه که در شکل (۶) مشاهده می‌شود ASM مستقیماً در ورودی کدگذار و کدگشای توربو متصل نمی‌شود بلکه به کد بلوک ضمیمه می‌گردد.

علامت همزمانی ضمیمه (وابسته به نرخ)	کد بلوک توربو	
32/r بیت	k/r بیت	4/r بیت

نرخ کد اسمی $r = 1/2, 1/3, 1/4, 1/6$

طول قاب انتقال دورسنجی یا طول بلوک اطلاعات = k

شکل (۵) کد بلوک توربو به‌همراه علامت همزمانی ضمیمه(ASM)

ASM برای جریان داده جاساز شده[1]

الگوی متفاوت ASM در هنگام جریان داده‌ی متفاوت (نظیر جریانی از قاب‌های انتقال پخش شده از یک ضبط کننده نوار) به فیلد داده قاب انتقال جریان اصلی ظاهر شده در کانال دورسنجی افزوده می‌شود. برای ایجاد تمایز بین جریان داده‌ی اصلی و ASM جریان داده جاسازشده شامل ۳۲ بیت به شکل رابطه ۱ است.

0011 0101 0010 1110 1111 1000 0101 0011 (چهار هشتگانه) (۱)

مولد شبه تصادفی

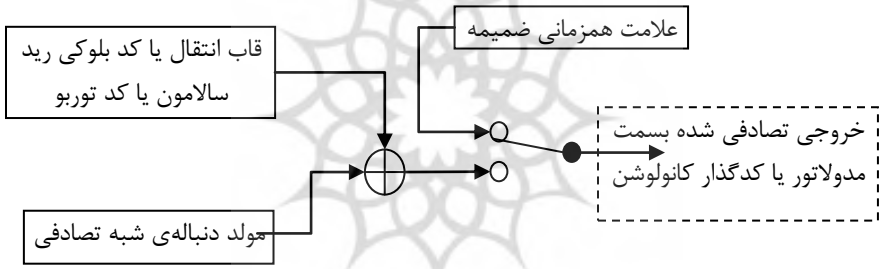
برای مدیریت همزمانی بیت (یا سمبل) با سیگنال‌های دریافتی دورسنجی هر گیرنده زمینی دریافت کننده سیگنال نیاز به حداقل چگالی انتقال دارد (CCSDS 401.0-B, 2001) برای دریافت امن، جریان داده می‌بایست کاملاً تصادفی باشد. مولد شبه تصادفی تعریف شده در این بخش

1. Embedded Data Stream

روشی را برای تولید تصادفی موثر و کارا برای همه ترکیبات ماژول‌های CCSDS و طرح‌های کدگذاری مطرح می‌کند. مولد شبه تصادفی تعریف شده در این بخش همواره مورد نیاز است مگر آن‌که طراح سیستم روش بهتری را ارائه دهد. وجود یا عدم وجود مولد شبه تصادفی که توسط سیستم‌های زمینی مدیریت می‌شود، برای کانال فیزیکی ثابت و دارای اولویت است.

توصیف مولد شبه تصادفی

این روش برای حصول اطمینان از کد بلوک‌های انتقال یافته به کمک XOR نمودن هر بیت کد بلوک با دنباله استاندارد شبه تصادفی اعمال می‌شود. در صورت بکارگیری مولد شبه تصادفی پس از کدگذاری RS یا توربو و قبل از کدگذاری کانولوشن روی داده‌ها اعمال می‌شود. در محل دریافت نیز پس از کدگشایی کانولوشن و قبل از کدگشایی رید سالامون یا توربو اعمال می‌شود. این ساختار در شکل (۶) آمده است.



شکل (۶) ساختار شبه (CCSDS 101.0-B-4, 1999)

همزمانی و کاربرد مولد شبه تصادفی

علامت همزمانی ضمیمه هم اکنون دارای بهترین ساختار برای همزمانی است. به همین دلیل برای همزمانی مولد شبه تصادفی نیز بکار می‌رود. دنباله شبه تصادفی با تولید اولین بیت کد بلوک با XOR نمودن بیتها اعمال می‌شود. در مقصد نیز کد بلوک‌ها با اعمال دنباله شبه تصادفی مشابه بازتولید می‌شوند. بلافاصله پس از یافتن موقعیت ASM در جریان داده‌های دریافتی، دنباله شبه تصادفی با بیت‌های داده XOR می‌شوند و اطلاعات ارسالی استخراج می‌شود.

خصوصیات دنباله شبه تصادفی

دنباله شبه تصادفی تولید شده با چند جمله‌ای زیر تولید می‌شود.

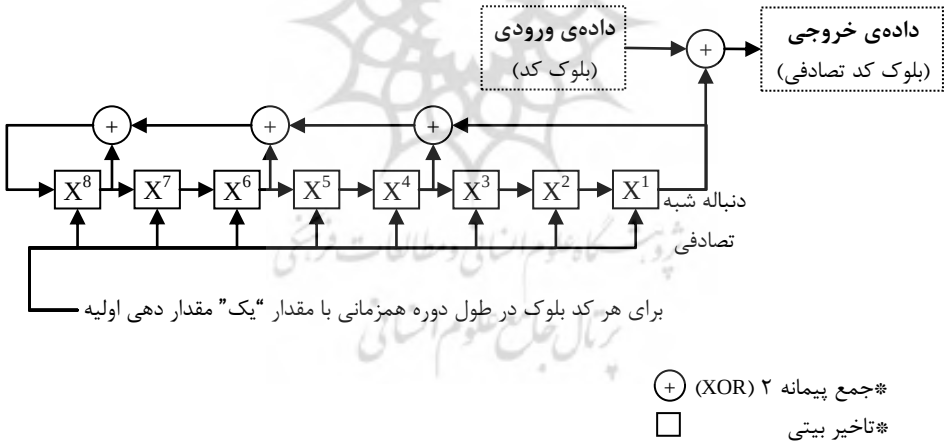
$$h(x)=x^8+x^7+x^5+x^3+1 \qquad (۲)$$

دنباله‌ی (۱) در اولین بیت کد بلوک آغاز می‌شود و پس از ۲۵۵ بیت مجدداً تکرار می‌شود. در آغاز هر کد بلوک مولد شبه تصادفی تماماً با مقدار یک بارگذاری می‌شود. چهل بیت آغازین دنباله شبه تصادفی در زیر آمده است. سمت چپ‌ترین بیت اولین بیت دنباله است که با اولین بیت کد بلوک یا قاب انتقال XOR می‌شود.

1111 1111 0100 1000 0000 1110 1100 0000 1001 1010 … (۳)

نمودار منطقی مولد شبه تصادفی

در شکل (۸) نمودار منطقی مولد شبه تصادفی نشان داده شده است.



شکل (۸) نمودار منطقی مولد شبه تصادفی (CCSDS 101.0-B-4, 1999)

نتیجه‌گیری

در استاندارد CCSDS برای دورسنجی داده‌های مختلف از کدهای کانولوشن(ساده یا حذفی)، ریدسالامون و توربو استفاده می‌شود. البته برای بالابردن بهره کد و استفاده کامل از پهنای باند حالت‌های مختلفی از آن‌ها با نرخ‌های متفاوت استفاده می‌شود. در این استاندارد توصیه بر ترکیب دو کد می‌باشد، به نحوی که کد کانولوشن در داخل مجموعه انتقال به عنوان کد

درونی متصل به مدولاتور قرار گیرد و یکی از کدهای ریدسالامون و توربو بنا به صلاحدید به عنوان کد بیرونی استفاده می‌شود.

در مورد کدگذاری کانولوشن (کد درونی سیستم) هر چند استاندارد CCSDS وجود آنرا باعث افزایش بهره سیستم می‌داند، اما بکارگیری آن در اختیار کاربر است، که از این روش استفاده نماید و یا اطلاعات را بلافاصله پس از کدگذاری توربو یا رید سالامون ارسال نماید. با توجه به طول زیاد بلوک‌های توربو و تکرارهای فراوان سرعت عمل این کد پایین‌تر از سایر کدهای اشاره شده می‌باشد. به همین دلیل برای انجام فعالیت‌های بی‌وقفه مانند انتقال تصاویر متحرک و شبکه‌های مخابراتی پر سرعت مناسب نیست. ولی با توجه به قدرت تشخیص و تصحیح خطای بسیار بالا معمولاً طراح بین سرعت و عملکرد مصالحه نموده و از این کد بهره می‌گیرد. به علت سرعت خوب کدهای کانولوشن حذفی و نرخ بالای ارسال اطلاعات توسط آن، از این روش در ارتباطات ماهواره‌ای نظیر سیستم‌های اینتل‌ست و پخش تصاویر ویدیویی دیجیتال استفاده می‌شود.

منابع

- Carlson, A. B., Crilly, P. B., and Rutledge, J. C., 2002, “Communication Systems: An Introduction to Signals and Noise in Electrical Communication,” McGraw-Hill
- CCSDS 101.0-B-4, May 1999, Telemetry Channel Coding. Recommendation for Space Data System Standards, Blue Book. Issue 4. Washington, D.C.: CCSDS.
- CCSDS 103.0-B-1, May 1996, Packet Telemetry Services. Recommendation for Space Data Systems Standards, Blue Book. Issue 1. Washington, D.C.: CCSDS.
- CCSDS 401.0-B, June 2001, Recommendation 2.4.9, .Minimum Modulated Symbol Transition Density on the Space-to-Earth Link. in Radio Frequency and Modulation Systems. Part 1: Earth Stations and Spacecraft. Recommendations for Space Data System Standards, Blue Book. Washington, D.C.: CCSDS.
- CCSDS 502.0-B-2, November 2009, Orbit Data Messages. Recommendation for Space Data System Standards, Blue Book. Issue 2. Washington, D.C.: CCSDS.

- CCSDS 701.0-B-2, November 1992, Advanced Orbiting Systems, Networks and Data Links: Architectural Specification. Recommendation for Space Data Systems Standards, Blue Book. Issue 2. Washington, D.C.: CCSDS.
- Hall, Erik and Stephen Wilson, July 2001, “Stream-Oriented Turbo Codes.” IEEE Transactions on Information Theory, vol. 47, no. 5.
- LaBerge, E.F.C., 2000, “System Design Considerations for the use of Turbo Codes in Aeronautical Satellite Communications.” Honeywell.
- Langton, Charan, Jan 2002, Signal Processing & Simulation Newsletter. Tutorial 12. Coding and Decoding With Convolutional Codes.
- Ralph Jordan, Victor Pavlushkov, Victor V. Zyablov, " Maximum Slope Convolutional Codes", IEEE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY, VOL. 50, NO. 10, OCTOBER 2004.
- Riley Martyn, Richardson Iain, "An introduction to Reed-Solomon codes: principles, architecture and implementation", 4i2i Communications Ltd, 1998
- Shanmugam, K. Sun, 1979, “Digital and Analog Communication Systems,” John Wiley & Sons, Inc
- Sklar, Bernard, Dec 1997, “A Primer on Turbo Code Concepts.” IEEE Communications Magazine.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی