هفتمین کنفرانس بین‌المللی
مهندسی قابلیت اطمینان و ایمنی

قابلیت اطمینان در طراحی بلوکی زیرسیستم تله‌متری و تله‌کامند یک ماهواره

راضیه نریمانی[۱]

۱- عضو هیئت علمی (مربی)، پژوهشگاه فضایی ایران، پژوهشکده سامانه‌های ماهواره، تهران، ایران، r.narimani@isrc.ac.ir

چکیده

با توجه به عدم دسترسی به زیرسیستم‌های یک ماهواره در طول ماموریت جهت تعمیر و اصلاح احتمالی، بالابودن قابلیت اطمینان این زیرسیستم‌ها اهمیت به‌سزایی دارد. با توجه به شرایط کنونی و محدودیت‌های موجود در تامین قطعات فضایی جهت ساخت زیرسیستم‌های مورد نیاز، یکی از رایج‌ترین تکنیک‌های مورد استفاده طراحان، به‌کارگیری افزونگی می‌باشد. از آن‌جا که هر گونه اشتباه در پیاده‌سازی این افزونگی و توپولوژی آن، خود منجر به کاهش قابلیت اطمینان نهایی زیرسیستم می‌گردد، توجه به این نکته بسیار اهمیت خواهد داشت. در این مقاله به بررسی استفاده از افزونه در زیرسیستم تله‌متری و تله‌کامند یک ماهواره به عنوان یکی از اساسی‌ترین زیرسیستم‌ها که ماموریت‌های اصلی ماهواره به آن وابسته است، پرداخته و چالش‌های ناشی از انتخاب توپولوژی در عملکرد نهایی آن را مورد مطالعه قرار داده‌ایم.

واژه‌های کلیدی: قابلیت اطمینان، ماهواره، زیرسیستم تله‌متری/تله‌کامند

مقدمه

قابلیت اطمینان، توانایی یک زیرسیستم برای اجرای توابع مورد نیاز خود تحت شرایط معین و برای دوره زمانی خاص را نشان می‌دهد [۱] و به ویژه در خصوص زیرسیستم‌های یک ماهواره که امکان اصلاح و تعمیر آن‌ها در طول ماموریت وجود ندارد، مساله‌ی حیاتی و مهمی به شمار می‌رود. نوع مدار، ماموریت ماهواره، پروسه پرتاب و محیط فضا از عوامل اساسی در کاهش قابلیت اطمینان زیرسیستم‌های فضایی می‌باشند.

در پروسه پرتاب و قرارگیری در مدار، جهت اطمینان از صحت عملکرد ماهواره مطابق با ماموریت از پیش تعیین شده، زیرسیستم تله‌متری و تله‌کامند نقش اساسی را ایفا می‌نماید [۲].

زیرسیستم تله‌متری و تله‌کامند در یک ماهواره، وظیفه ارسال دیتاهای حیات ماهواره و ارسال فرامین از زمین را بر عهده داشته و به همین جهت قابلیت اطمینان آن دارای اهمیت بسیار بالایی برای ماهواره و موفقیت ماموریت آن می‌باشد، از این‌رو مطالعات بسیاری در این زمینه انجام شده است [۶-۳]. با وجود سال‌ها توسعه در زمینه طراحی ماهواره‌ها و بلوغ نسبی این حوزه، هنوز مشکلات و مسایل بسیاری وجود دارد که طراحان هنگام پیاده‌سازی و تست نهایی با آن مواجه می‌شوند [۷]. از سوی دیگر محدودیت‌های توان مصرفی، جرم و حجم در ماهواره در مقایسه با دیگر سیستم‌ها نیز چالش جدی را ایجاد می‌نماید [۸].

اولین راهکار در افزایش قابلیت اطمینان، انتخاب قطعات مناسب و مطمئن جهت کار در محیط فضا است. متاسفانه این روش با توجه به شرایط تأمین قطعات و هزینه‌های ناشی از آن چه به لحاظ مالی و چه به لحاظ سایر محدودیت‌های کشور در این حوزه، همواره به سهولت در دسترس نمی‌باشد. از این‌رو طراحان از تکنیک‌های دیگری مانند افزونگی جهت افزایش طول عمر یک زیرسیستم حیاتی نیز استفاده می‌کنند.

پیاده‌سازی افزونگی و انتخاب توپولوژی مناسب برای آن، خود یک چالش مهم در طراحی است که در صورت انتخاب اشتباه در پیاده‌سازی می‌تواند نتیجه‌ای خلاف انتظار را به دنبال داشته باشد.

در این مقاله ضمن معرفی افزونگی طراحی شده برای زیرسیستم تله‌متری/تله‌کامند در یک ماهواره مدار LEO، به بررسی چالش‌های ناشی از انتخاب توپولوژی در عملکرد نهایی این زیرسیستم پرداخته شده است.

افزونگی

مدل‌ها و توپولوژی‌های متفاوتی برای پیاده‌سازی افزونگی در یک زیرسیستم قابل انتخاب است و شکل آن وابسته به عوامل متفاوتی دارد و به صورت افزونه سرد یا گرم در یک زیرسیستم طبقه‌بندی می‌گردد. در این حالت یک زیرسیستم پشتیبان یا افزونه مشابه زیرسیستم اصلی وجود دارد که مستقل از زیرسیستم اصلی بوده و به عنوان رزرو آن شناخته می‌شود.

با انتخاب افزونه در یک زیرسیستم، یک بخشِ سوم وظیفه نظارت و تصمیم‌گیری برای برقراری شرایط جابجایی و سوییچ‌کردن بین دو زیرسیستم اصلی و رزرو را بر عهده دارد. این بخش تصمیم می‌گیرد که در هر زمان کدامیک از دو زیرسیستم اصلی یا پشتیبان در مسیر عملیاتی قرار گیرد و بر همین اساس مسیر آن زیرسیستم فعال می‌گردد.

به طور کلی دو نوع چیدمان افزونه سرد یا گرم برای افزایش قابلیت اطمینان وجود دارد. در افزونه سرد، زیرسیستم رزرو در طول عملکرد زیرسیستم اصلی خاموش می‌باشد. در این شرایط با حفظ قابلیت اطمینان زیرسیستم رزرو و در نهایت طول عمر کلی سیستم، هنگام سوئیچ کردن بین دو زیرسیستم نیاز به صرف زمان جهت راه‌اندازی زیرسیستم رزرو خواهد بود. در افزونه گرم بر خلاف افزونه سرد، هر دو زیرسیستم در طول ماموریت روشن بوده و بر اساس شرایط پیش‌رو و تصمیمات اخذ شده، یکی از دو زیرسیستم در مسیر قرار خواهند داشت [۹].

نکته مهم در هر دو چیدمان، استفاده از سوییچ جهت انتخاب یکی از دو زیرسیستم اصلی و رزرو می‌باشد. در این شرایط باید توجه داشت که نحوه‌ی استفاده از سوییچ خود منجر به کاهش قابلیت اطمینان کلی زیرسیستم نشود.

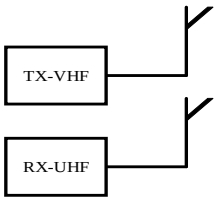
در ادامه چیدمان‌های متفاوت در استفاده و کنترل سوییچ برای پیاده‌سازی افزونگی در زیرسیستم تله‌متری/تله‌کامند یک ماهواره LEO بررسی شده است.

افزونگی در زیرسیستم TT&C

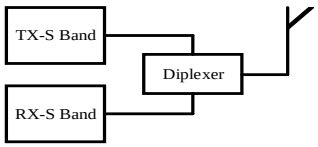
زیرسیستم تله‌متری/تله‌کامند ماهواره، شامل یک فرستنده جهت ارسال اطلاعات مانیتورینگ و حیات ماهواره و یک گیرنده جهت دریافت فرامین ارسالی از سوی ایستگاه زمینی می‌باشد.

در ماهواره‌های LEO، فرکانس‌های مختلفی برای این زیرسیستم قابل انتخاب می‌باشد که عموما باند فرکانسی UV و S مورد استفاده قرار می‌گیرند. بر این اساس چیدمان و محدودیت‌های مربوط به زیرسیستم نیز متفاوت خواهد بود.

در صورت استفاده از باند فرکانسی UV و متفاوت بودن باند فرکانس ارسال و دریافت از دو آنتن مختلف برای فرستنده و گیرنده استفاده خواهد شد و مسیرهای فرستنده و گیرنده کاملا جدا از هم خواهد بود (شکل ۱). در شرایطی که یک باند فرکانسی (مانند S) به ارسال و دریافت دیتا تخصیص یابد، یک آنتن مورد بهره‌برداری قرار گرفته و به کمک دیپلکسر مسیر فرستنده و گیرنده از یکدیگر جدا خواهد شد (شکل ۲).



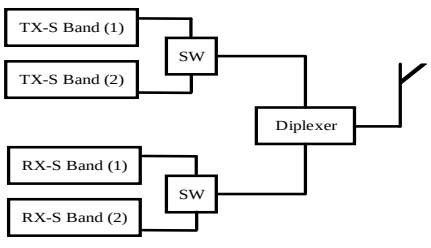
شکل ۱. بلوک زیرسیستم تله‌متری و تله‌کامند در باند UV



شکل ۲. بلوک زیرسیستم تله‌متری و تله‌کامند در باند S

از سوی دیگر، به علت وجود تقویت‌کننده توان در خروجی فرستنده‌ها و حساس بودن فرستنده‌ها به توان سیگنال بازگشتی به ماژول، حساسیت طراحی افزونه روی فرستنده‌ها بیشتر از گیرنده‌ها می‌باشد. زیرا هرگونه اشتباه روی وضعیت سوئیچ و احیانا عدم وجود مچینگ مناسب در خروجی فرستنده هنگام ارسال دیتا، منجر به بازگشت سیگنال به ماژول و افزایش احتمال آسیب آن می‌گردد.

بنابراین استفاده از افزونه برای این ماژول‌ها، علاوه بر لزوم دقت بر ساختار خود ماژول به لحاظ فرستنده یا گیرنده بودن، مستلزم دقت روی چیدمان اولیه این زیرسیستم است. در شرایطی که محدودیت‌های سازه، جانمایی و جرم امکان استفاده از آنتن‌های مجزا به خصوص برای فرستنده‌ها وجود داشته باشد، شرایط پیاده‌سازی به مراتب ساده‌تر خواهد بود.



شکل ۳. بلوک زیرسیستم تله‌متری و تله‌کامند در باند S با افزونه

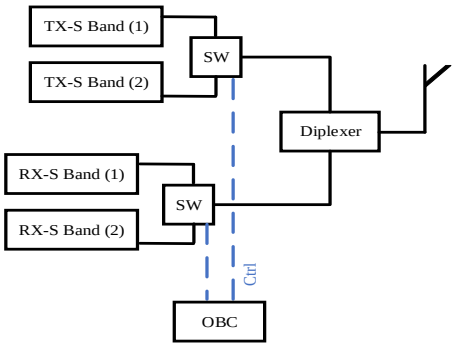
از آن‌جا که عموما روی ماهواره با محدودیت فضای تخصیصی مواجه هستیم و نمی‌توان برای هر ماژول یک آنتن مجزا در نظر گرفت، طراح ملزم به استفاده از سوییچ جهت کنترل مسیر سیگنال به سمت آنتن می‌باشد. ورود یک بخش دیگر به نام سوییچ و کنترل‌کننده آن، اهمیت چیدمان ماژول‌ها را دوچندان می‌نماید.

تاثیر نحوه کنترل سوییچ بر قابلیت اطمینان

کنترل سوییچ‌های به‌کار رفته در زیرسیستم تله‌متری/تله‌کامند و زیرسیستم کنترل‌کننده سوییچ در تعیین قابلیت اطمینان نهایی زیرسیستم تله‌متری/تله‌کامند تاثیرگذار خواهد بود. از آن‌جا که سوییچ در شرایطی به کار می‌رود که با هدف افزایش قابلیت اطمینان در یک زیرسیستم، برای آن افزونه در نظر گرفته شده است، توجه به این نکته الزامی است که به‌کارگیری سوییچ در ساختار و چیدمانی اشتباه، منجر به نتیجه‌ای عکس نشده و هدف استفاده از ماژول افزونه محقق گردد.

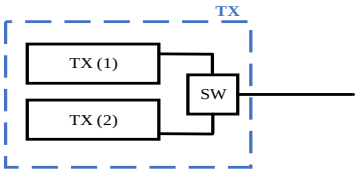
به عنوان نمونه، شرایطی را در نظر بگیرید که فرستنده تله‌متری یک ماهواره در حالت ارسال دیتا قرار داشته و قبل از این‌که کانال صحیحی از سوییچ انتخاب شده باشد، شروع به ارسال دیتا نماید. به علت عدم مچینگ مناسب در خروجی فرستنده، توان ارسالی فرستنده به جای رسیدن به آنتن جهت ارسال سیگنال، به فرستنده و خروجی تقویت‌کننده توان بازگشت یافته و در صورت نبود محافظت مناسب در ماژول، فرستنده را دچار آسیب جدی خواهد نمود. در این شرایط وجود افزونگی نه تنها موجب افزایش قابلیت اطمینان نشده است، بلکه آن‌را به شدت کاهش داده و به نوعی موجب از دست رفتن کل ماژول خواهد شد.

علل گوناگونی برای این عدم هماهنگی در تعیین کانال ورودی وجود دارد که می‌تواند به علت تعریف یک توالی اشتباه در نرم‌افزار و یا عدم محاسبه زمان مورد نیاز جهت انجام یک دستور نرم‌افزاری باشد.



شکل ۴. بلوک زیرسیستم تله‌متری و تله‌کامند با کنترل سوییچ از طریق OBC

با توجه به حجم بالای پردازش در ماهواره و تلاقی دستورات در زیرسیستم کامپیوتر روی برد ماهواره (OBC)، احتمال بروز این مشکل در شرایطی که کنترل سوییچ از سوی OBC صورت پذیرد، بیشتر است (شکل ۴). در صورتی‌که کنترل سوییچ به خود ماژول فرستنده واگذار شود، احتمال بروز این رخداد تقریبا به صفر خواهد رسید. بدین شکل که بر اساس شرایط پیش آمده و پس از انتخاب هر یک از فرستنده‌ها، هنگامی‌که فرمان روشن شدن یا ارسال دیتا به یک فرستنده داده می‌شود، خود فرستنده قبل از ارسال دیتا و روشن‌کردن تقویت‌کننده توان، ابتدا فرمان کنترل سوییچ را به گونه‌ای ارسال کند که مسیر ورودی سوییچ مربوط به خود فعال شود و پس از اتمام روند کنترل سوییچ، ارسال دیتا را آغاز نماید (شکل ۵).



شکل ۵. بلوک زیرسیستم تله‌متری و تله‌کامند با کنترل سوییچ توسط ماژول‌ها

در این شرایط، با توجه به فعال بودن کانال درست و در نتیجه وجود مچینگ مناسب در خروجی تقویت‌کننده توان، توان ارسالی به سمت آنتن هدایت شده و به علت عدم وجود سیگنال بازگشتی، احتمال آسیب دیدن فرستنده کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

قابلیت اطمینان زیرسیستم تله‌متری و تله‌کامند در یک ماهواره، به عنوان یکی از بخش‌های مهم ماهواره بسیار حائز اهمیت می‌باشد. یکی از راهکارهای افزایش قابلیت اطمینان، پیاده‌سازی افزونگی برای ماژول‌های این زیرسیستم می‌باشد.

مطابق با تجارب عملی در پروژه‌های مختلف می‌توان به این نتیجه رسید که جهت حصول عملکرد بهتر و اطمینان از کنترل به موقع سوییچ‌ها، بهتر است کنترل سوییچ توسط خود ماژول‌ها صورت پذیرد زیرا هرگونه عدم هماهنگی در تعیین کانال ورودی مثلا به علت تعریف یک توالی اشتباه در نرم‌افزار می‌تواند موجب آسیب‌دیدن کلی ماژول (به خصوص فرستنده‌ها) شده و در نهایت قابلیت اطمینان را به طور کامل کاهش دهد.

مراجع

[۱] ا. اخلافی، م. میرشمس، ح. حسن، "مدلسازی قابلیت اطمینان ماهواره‌بر یکبار مصرف به روش تصادفی "،اولین کنفرانس مهندسی قابلیت اطمینان سامانه‌های هوافضایی، ۱۳۸۸.

[2] Sh. Xu., X. Wu, "Simulation method for reliability of TT&C mission with high redundancy and small time horizon", *Journal of Systems Engineering and Electronics*, V.23, Issue.6, 2012.

[3] A.I. Bobrov., S.I. Bobrov, "Reliability increase in satellite communication systems for discrete information receiving", *11th International Conference Microwave and Telecommunication Technology. Conference Proceedings (IEEE Cat. No.01EX487)*, 2001.

[4] H. Zhou., Y. Yang., H. Huang., Y. Liu., W. Peng., "Reliability analysis of a satellite system considering common cause failures", *International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance and Safety Engineering*, 2012.

[5] H. Yan., X. Wu, "Reliability computing methods for TT&C system using Markov approach", *International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance and Safety Engineering*, 2012.

[6] E. Demircioglu., M.M. Nefes., "Reliability-based TT&C subsystem design methodology for complex spacecraft missions", *42nd Annual Conference on Information Sciences and Systems*, 2008.

[7] Y. Zhan., P. Wan, C. Jiang, X. Pan, S. Guo, "Challenges and Solutions for the Satellite Tracking, Telemetry and Command System", *IEEE Wireless Communications*, V.27, Issue.6, 2020.

[8] M. D. Griffin., J. R. French, "Space Vehicle Design", *2nd Edition, AIAA Education Series*, 2004.

[9] G. N. Sharma., "Hot Redundant Versus Cold Redundant Systems", *Reliability Engineering*, 1981.