دانشکده‌ی برق

پایان نامه‌ی کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق

موضوع

تشخیص و تصحیح خطا در حسگرهای فضایی با استفاده از سخت افزارهای تکامل پذیر

استاد راهنما

دکتر یاسر بالغی

استاد مشاور

دکتر حسین میارنعیمی

دانشجو

زهرا خداداد

بسم الله الرحمن الرحيم

سپاسگزاری

هزاران سپاس و احترام تقدیم به اساتید ارجمندم که با کمک‌های بی‌دریغشان همواره راه‌گشای مشکلات و یاری‌دهنده‌ی من در تکمیل این پایان نامه بوده‌اند. سپاس از اساتیدی توانا، جناب آقای دکتر حسین میارنعیمی و جناب آقای دکتر یاسر بالغی که همواره مرا در تکمیل این پایان‌نامه یاری رساندند.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم. به پاس تعبیر عظیم و انسانیشان از کلام ایثار و از خودگذشتگی، به پاس عاطفه‌ی سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که بهترین پشتیبان است، به پاس قلب بزرگشان که همیشه فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید و به پاس محبت‌های بی‌دریغشان که هرگز فروکش نمی‌کند.

تقدیم به خانواده‌ی عزیزم که همواره در تمامی مراحل حامی و پشتیبان من بوده‌اند و تقدیم به ثنای عزیز.

چکیده

جایگاه حسگرها در صنایع و علوم مختلف به عنوان یک عنصر اساسی و حیاتی، گریزناپذیر است. با پیشرفت مدارهای الکترونیکی و در نظر گرفتن روند رو به کاهش اندازه این مدارها، اهمیت تشخیص و تصحیح خطا در این گونه از مدارها، افزایش یافته است. با توجه به این، موضوع تشخیص خطا در انواع حسگرها اهمیت می‌یابد. اهمیت این موضوع در مورد حسگرهایی که دارای کاربرد فضایی‌اند، دو چندان است. علت این امر را باید در عدم دسترسی مجدد به حسگرها در فضا جستجو کرد. با توجه به این که بسیاری از عوامل محیطی و فیزیکی فضا همچنان برای بشر ناشناخته است، می‌توان اهمیت نیاز به اندازه‌گیری صحیح در فضا را دریافت.

در کاربردهای فضایی از حسگرهای فراوانی استفاده می‌شود. در این تحقیق دو نوع حسگر دمایی و نحوه‌ی کارکرد آن‌ها درنظر گرفته شده است. همچنین انواع خطاهای متفاوتی که می‌تواند به دلایل مختلف در این حسگرها به وجود بیاید، بررسی شده است. به دلیل کاربردهای وسیع و همچنین به دلیل اینکه حسگرهای دمایی بسیار مستعد خطا هستند، در این تحقیق به حسگرهای دمایی پرداخته شده است. علاوه‌براین برای حسگرهای رطوبت و نور نیز عملیات تشخیص خطا صورت گرفته است.

از روش‌های متفاوتی برای تشخیص خطا بهره گرفته شده است. شبکه‌های عصبی و فیلتر کالمن از جمله روش‌هایی است که در این تحقیق از آن‌ها بهره گرفته شده است. پیش از اعمال شبکه‌ی عصبی برای جداسازی قسمت‌های دارای خطایِ سیگنال از قسمت‌های بدونِ خطا، از استخراج مشخصه‌ها بهره برده شده است. استخراج مشخصه‌ها، عملکرد تشخیص خطا را بهبود می‌بخشد. روش دیگر تشخیص خطا، مبتنی بر فیلتر کالمن است. فیلتر کالمن یک فیلتر بازگشتی است که از طریق پیش‌بینی مقدار خروجی سیستم و مقایسه‌ی آن با خروجی واقعی، خطا را تشخیص می‌دهد. همچنین روشی پیشنهادی برای تشخیص خطا مطرح شده است و در پایان با روش الگوریتم فیلتر کالمن و شبکه‌ی عصبی مقایسه شده است.

در اغلب موارد برای تحمل‌پذیری خطا از روش افزونگی[۱] استفاده می‌شود. در این تحقیق به جای استفاده از یک حسگر، شبکه‌ای از حسگرها استفاده شده است که میانگین وزن‌دار آنها به عنوان خروجی در نظر گرفته می‌شود. برای از بین بردنِ اثر حسگرهای دارای خطا از سخت‌افزار تکامل‌پذیر استفاده شده است. سخت‌افزار مورد استفاده در این تحقیق، سخت‌افزارِ آنالوگِ قابل برنامه‌ریزی[۲]است. الگوریتم ژنتیک، با حذف اثر حسگرهای دارای خطا، سخت‌افزار را مجدداً برنامه‌ریزی می‌کند. سخت‌افزار تکامل‌پذیر در نرم‌افزار *MATLAB* شبیه‌سازی شده است.

در این تحقیق با بکارگیری شبکه‌ی عصبی، تشخیص خطا در مورد خطای نویز زیاد بررسی شد. در این خطا محدوده‌ی تغییرات واریانس از ۰,۰۰۵ تا ۲ برای داده‌های مختلف با درصدهای خوبی تشخیص داده شد. همچنین تشخیص خطا توسط فیلتر کالمن و روش پیشنهادی نیز با دقت خوبی صورت گرفته است. در مرحله‌ی تصحیح خطا نیز سخت‌افزار مورد بررسی با دقت خوبی خطا را تصحیح کرد. دقت تصحیح خطای مورد بررسی در این مورد به ۱۰ هزارم هم می‌رسد.

[۱] redundancy

[۲] FPAA

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه و کلیات ۱

۱-۱-مقدمه ۲

۱-۲-حسگر ۲

۱-۳- اهمیّت حسگرها ۳

۱-۴- کاربرد حسگرها ۴

۱-۵- عوامل ایجاد خطا در حسگرها ۴

۱-۶- تعریف و دسته‌بندی انواع خطا در حسگرهای فضایی ۷

۱-۶-۱- تقسیم‌بندی خطا بر اساس نظریه‌ی هیرفورد ۷

۱-۶-۲- تقسیم‌بندی‌خطا بر اساس نظریه‌ی بالابان ۸

۱-۷- انواع حسگرهای فضایی و وقوع خطاهای ممکن ۱۲

۱-۷-۱- ترموکوپل ۱۲

۱-۷-۲-حسگر حرارتی- مقاومتی ۱۴

۱-۸- طرح صورت مساله ۱۶

۱-۹-جمع‌بندی ۱۷

فصل دوم: مروری بر پژوهش‌های پیشین ۱۸

۲-۱-مقدمه ۱۹

۲-۲- شبکه های عصبی ۱۹

۲-۲-۱- مقدمه‌ای بر شبکه‌های عصبی ۱۹
۲-۲-۲- شبکه‌ی عصبی پرسپترون ۲۲
۲-۲-۳- شبکه‌ی عصبی شعاعی ۲۳
۲-۲-۴-تفاوت‌های شبکه‌ی پرسپترون و شبکه‌ی شعاعی ۲۴
۲-۲-۵- کاربرد شبکه‌ی عصبی در تشخیص خطا ۲۵
۲-۳- مقدمه‌ای بر سیستم‌های مبتنی بر دانش ۳۲
۲-۳-۱- کاربرد سیستم‌های مبتنی بر دانش در تشخیص خطا..... ۳۴
۲-۳-۲- کاربرد سیستم‌های مبتنی بر دانش درتصحیح خطا ۳۹
۲-۴- فیلتر کالمن ۴۳
۲-۳-۱- کاربرد فیلتر کالمن در تشخیص خطا..... ۴۵
۲-۵- سخت‌افزارهای تکامل پذیر ۵۱
۲-۵-۱- سخت‌افزار قابل برنامه‌ریزی دیجیتال ۵۳
۲-۵-۲-سخت‌افزارقابل‌برنامه‌ریزی ترانزیستوری ۵۴
۲-۵-۳- سخت‌افزار قابل برنامه‌ریزی آنالوگ..... ۵۵
۲-۵-۴- مقدمه‌ای بر الگوریتم ژنتیک ۵۶
۲-۵-۵- برتری سخت‌افزارهای آنالوگ در برابر سخت‌افزارهای دیجیتال ۵۶
۲-۵-۶- کاربرد سخت‌افزار تکامل‌پذیر در تصحیح خطا..... ۵۷
۲-۶- جمع‌بندی ۵۸

فصل سوم: روش‌های پیشنهادی تشخیص خطا و نتایج ۶۰

۳-۱- مقدمه ۶۱

۳-۲- پایگاه داده ۶۱

۳-۲-۱-پایگاه داده‌ی برکلی ۶۱

۳-۲-۲- پایگاه داده‌ی اسپنویس ۶۲

۳-۳- شبکه‌ی عصبی ۶۳

۳-۳-۱- استخراج مشخصه‌ها ۶۴

۳-۳-۲- نتایج تشخیص خطا بر روی پایگاه داده‌ی برکلی ۶۷

۳-۱-۲- مشخصه‌ی رطوبت ۷۲

۳-۱-۳- تشخیص خطا بر روی پایگاه داده‌ی اسپنویس ۷۳

۳-۴- فیلتر کالمن ۷۷

۳-۴-۱- تشخیص خطا توسط فیلتر کالمن بر روی پایگاه داده‌ی برکلی ۷۸

۳-۴- روش پیشنهادی ۸۲

۳-۴-۱- نتایج مقایسه‌ی تشخیص خطا در روش پیشنهادی و فیلتر کالمن ۸۶

۳-۵- جمع‌بندی ۸۹

فصل چهارم: روش‌های پیشنهادی تصحیح خطا و نتایج ۹۰

۴-۱- مقدمه ۹۱

۴-۲- الگوریتم به کار گرفته شده برای حل مساله ۹۱

۴-۳-تشخیص و تصحیح خطا توسط سخت‌افزار تکامل‌پذیرِ FPAA ۹۳

۴-۴- نتایج تشخیص و تصحیح خطا برروی پایگاه داده‌ی اسپنویس ۹۹

۴-۵- نتایج تصحیح خطا با استفاده از روش پیشنهادی ۱۰۴

۴-۶- جمع‌بندی ۱۰۶

فصل پنجم نتیجه‌گیری ۱۰۷

پیشنهاد کارهای آینده ۱۱۰

مراجع ۱۱۱

فهرست شکل‌ها

شکل(۱-۱).حسگر ترموکوپل ۱۴

شکل(۱-۲).حسگر حرارتی مقاومتی(*PRTD*) ۱۵

شکل(۲-۱). نورون‌های مغز و نحوه‌ی ارتباط آن‌ها ۱۹

شکل (۲-۲). شبکه‌ی عصبی چند لایه ۲۰

شکل (۲-۳). شبکه‌ی پرسپترون ۲۱

شکل (۲-۴). نمایش لایه‌های شبکه‌ی عصبی شعاعی ۲۴

شکل (۲-۵). نمایش حسگرهای موجود در قسمت‌های مختلف موتور ۲۵

شکل(۲-۶). شبیه‌سازی خطای بایاس در شتاب‌سنج‌های موتور ۲۶

شکل(۲-۷). شبیه‌سازی خطای مقیاس در شتاب‌سنج‌های موتور ۲۶

شکل(۲-۸). شبیه‌سازی خطای دریفت در شتاب‌سنج‌های موتور ۲۷

شکل(۲-۹). شبیه‌سازی خطای سخت در شتاب‌سنج‌های موتور ۲۷

شکل (۲-۱۰). حساسیت طبقه‌بندی شبکه‌ی عصبی بر اساس تغییرات پارامتر خطای دریفت..... ۲۹

شکل (۲-۱۱). حساسیت طبقه‌بندی شبکه‌ی عصبی بر اساس تغییرات پارامتر خطای بایاس..... ۳۰

شکل (۲-۱۲). حساسیت طبقه‌بندی شبکه‌ی عصبی بر اساس تغییرات پارامتر خطای مقیاس ۳۱

شکل (۲-۱۳). الگوریتم تشخیص خطا توسط سیستم‌های مبتنی بر دانش ۳۵

شکل (۲-۱۴). اعمال خطای دریفت با پارامترهای مختلف ۳۶

شکل(۲-۱۵). تشخیص خطای دریفت توسط سیستم‌های مبتنی بر دانش ۳۷

شکل (۲-۱۶). اعمال خطای بایاس با پارامترهای مختلف..... ۳۷

شکل(۲-۱۷). تشخیص خطای بایاس توسط سیستم‌های مبتنی بر دانش..... ۳۸

شکل (۲-۱۸). اعمال خطای مقیاس با مقدار پارامتر۲ ..... ۳۹

شکل(۲-۱۹). تشخیص خطای مقیاس بر اساس سیستم‌های مبتنی بر دانش ۳۹
شکل (۲-۲۰). نمایش عملکرد سیستم‌های مبتنی بر دانش در تصحیح خطای دریفت ۴۰
شکل (۲-۲۱). نمایش عملکرد سیستم‌های مبتنی بر دانش با نمایش پارامتر دریفت بر حسب زمان ۴۱
شکل (۲-۲۲). نمایش عملکرد سیستم‌های مبتنی بر دانش در تصحیح خطای دریفت ۴۱
شکل (۲-۲۳). نمایش عملکرد سیستم‌های مبتنی بر دانش با نمایش پارامترمقیاس بر حسب زمان ۴۲
شکل (۲-۲۴). نمایش عملکرد سیستم‌های مبتنی بر دانش با نمایش پارامتر بر حسب زمان ۴۲
شکل(۲-۲۵). نمایش نحوه‌ی عملکرد فیلتر کالمن ۴۳
شکل(۲- ۲۶). نمایش عملکرد فیلتر کالمن در تشخیص خطای بایاس با پارامتر مثبت ۴۷
شکل(۲- ۲۷). نمایش عملکرد فیلتر کالمن در تشخیص خطای بایاس با پارامتر منفی ۴۸
شکل(۲- ۲۸). نمایش عملکرد فیلتر کالمن در تشخیص خطای ضربه ۴۸
شکل(۲- ۲۹). نمایش عملکرد فیلتر کالمن در تشخیص خطای تخریب تدریجی ۴۹
شکل(۲- ۳۰). نمایش عملکرد فیلتر کالمن در تشخیص خطای بایاس با پارامتر منفی در دو حسگر ۵۰
شکل(۲- ۳۱). نمایش عملکرد فیلتر کالمن در تشخیص خطای بایاس با پارامتر مثبت در دو حسگر ۵۰
شکل(۲- ۳۲). نمایش عملکرد فیلتر کالمن در تشخیص خطای ضربه در دو حسگر ۵۱
شکل (۲- ۳۳). معماری سخت‌افزار $FPGA$ ۵۳
شکل (۲-۳۴). معماری سخت‌افزار $FPTA$ ۵۴
شکل (۲-۳۵). معماری سخت‌افزار $FPAA$ ۵۵
شکل(۳-۱). اطلاعات تکمیلی داده‌ی دمایی اسپنویس ۶۲
شکل (۳-۲). نمایش اطلاعات مربوط به مختصات جغرافیایی و بازه‌ی زمانی داده‌ی دمایی اسپنویس ۶۳
شکل (۳-۳). نمایش پارامترهای خطا بر حسب میزان واریانس نویز اعمال شده به داده‌ی رطوبت ۶۸
شکل (۳-۴). نمایش پارامترهای خطا بر حسب میزان واریانس نویز اعمال شده به داده‌ی رطوبت ۷۴

شکل(۳-۵) . نمایش سیگنال نور بدون‌خطا و با خطا ۷۴
شکل (۳-۶). نمایش سیگنال نویزی ۷۵
شکل (۳-۷). تغییرات پارامتر MC بر حسب تغییرات نویز ۷۵
شکل (۳-۸). تغییرات TP بر حسب تغییرات واریانس ۷۶
شکل (۳-۹). تغییرات درصد خطای کلی بر حسب تغییرات واریانس نویز ۷۷
شکل (۳-۱۰). نتایج عملکرد فیلتر کالمن بر روی خطای بایاس و مقیاس ۷۹
شکل (۳-۱۱). نتیجه‌ی اعمال فیلتر کالمن بر روی حسگر حاوی خطای نویز زیاد..... ۸۰
شکل (۳-۱۲). نتایج عملکرد فیلتر کالمن بر روی خطای سخت و خطای دریفت..... ۸۱
شکل (۳-۱۳). شبکه حسگر های دمایی مورد استفاده ۸۲
شکل(۳-۱۴). نمایش نحوه‌ی تشخیص خطا توسط روش پیشنهادی..... ۸۳
شکل(۳-۱۵)، نحوه‌ی تشخیص خطای نویز (مشخصه واریانس)به روش پیشنهادی..... ۸۵
شکل(۳-۱۶)، نمایش نحوه‌ی تشخیص خطای بایاس با استفاده از روش پیشنهادی ۸۶
شکل(۳-۱۷). نحوه‌ی عملکرد روش پیشنهادی برروی خطای دریفت، مقیاس، سخت و نویز زیاد ۸۶
شکل(۴-۱). الگوریتم کلی سیستم مقاوم در برابر خطا ۹۱
شکل(۴-۲): نمایش عملکرد فیلتر کالمن و الگوریتم ژنتیک در تشخیص و جبران سازی خطا..... ۹۴
شکل(۴-۳): نمایش میزان تغییرات میانگین مربعات خطا بر حسب پارامترهای خطا.....۹۶
شکل (۴-۴). نمایش عملکرد سیستم تشخیص و تصحیح خطا ۹۸
شکل (۴-۵). نمایش عملکرد سیستم تشخیص و تصحیح خطا ۹۹
شکل(۴-۶). نمایش میزان تغییرات میانگین مربعات خطا بر حسب پارامترهای خطا.....۱۰۰
شکل(۴-۷). نمایش میزان تغییرات میانگین مربعات خطا بر حسب پارامترهای خطا.....۱۰۱

فهرست جداول

جدول (۲-۱). نتایج آزمایشات مربوط به تصحیح خطا بر روی حسگر دما..... ۲۴

جدول (۲-۲). نتایج آزمایشات مربوط به تصحیح خطا بر روی حسگر دما..... ۵۷

جدول(۳-۱)، میزان پارامترهای خطا در واریانس های مختلف..... ۶۷

جدول(۳-۲)، میزان پارامترهای خطا بدون درنظرگرفتن دامنه‌ی تغییرات ۶۹

جدول(۳-۳)، میزان پارامترهای خطا بدون درنظرگرفتن تعداد اکسترمم‌ها ۷۰

جدول(۳-۴)، میزان پارامترهای خطا بدون درنظرگرفتن تعداد آنتروپی ۷۰

جدول(۳-۵)، میزان پارامترهای خطا بدون درنظرگرفتن کرتوسیس ۷۱

جدول(۳-۶)، میزان پارامترهای خطا بدون درنظرگرفتن مشخصه‌ی واریانس ۷۱

جدول(۳-۷). تعیین ترتیب اهمیت مشخصه‌ها ۷۲

جدول(۳-۸)، میزان پارامترهای خطا در واریانس های مختلف..... ۷۲

جدول(۳-۹). علائم مورد استفاده در فهم چگونگی تشخیص خطا در جدول(۳-۱۰) ۸۷

جدول(۳-۱۰). مقایسه‌ی عملکرد روش پیشنهادی با فیلتر کالمن در تشخیص خطا ۸۸

جدول(۴-۱). پارامترهای در نظر گرفته شده برای الگوریتم ژنتیک ۹۲

جدول(۴-۲). نمایش مقادیر بهره‌های اختصاص داده شده به هر حسگر بر اساس تغییر تعداد نسل‌ها و نمایش میانگین مربعات خطا قبل و بعد از تصحیح ۹۶

جدول(۴-۳). مقادیر بهره‌های اختصاص داده شده به هر حسگر در آزمایش یک حسگر دارای خطا، با تغییر پارامتر تعداد نسل‌ها و میزان میانگین مربعات در هر مرحله..... ۱۰۲

جدول(۴-۴). مقادیر بهره‌های اختصاص داده شده به هر حسگر در آزمایش دو حسگر دارای خطا، با تغییر پارامتر تعداد نسل‌ها و میزان میانگین مربعات در هر مرحله..... ۱۰۴

جدول(۴-۵). میزان میانگین مربعات خطا بر حسب تعداد حسگرهای سالم و معیوب با به‌کارگیری روش جدید در تشخیص خطا ۱۰۵

فصل اول : مقدمه و کلیات

۱-۱-مقدمه

با پیشرفت مدارهای الکترونیکی و نیاز هر چه بیشتر به ابزاری برای تعیین صحت یا درستی عملکرد دستگاه‌ها و سیستم‌ها، نیاز به حضور حسگرها در تمامی صنایع و علوم بیش از بیش احساس می‌شود و در دو دهه‌ی گذشته نیز رشد بی‌سابقه‌ای در فناوری حسگرها رخ داده است. از حسگرها در اندازه‌گیری کمیّت‌های فیزیکی مختلف استفاده می‌شود و حسگر، کمیت‌های فیزیکی را به سیگنالی تبدیل می‌کند که توسط یک مشاهده‌گر قابل اندازه‌گیری باشد. تعاریف متعدّدی برای حسگرها در نظر گرفته شده است که البتّه تمامی این تعاریف اختلاف ناچیزی با هم دارند.

۱-۲-حسگر

واژه *sensor* از *sense* یعنی احساس کردن، گرفته شده است و حسگر ابزاری است که سیگنال یا محرک را دریافت کرده و به آن پاسخ می‌دهد. به بیان دیگر گونه‌ای مبدل هستند که بعضی از آن‌ها به تنهایی قابل استفاده‌اند و برای دریافت خروجی مورد نظر احتیاجی به وسایل جانبی دیگری نیست. اما دسته‌ی دیگر برای استفاده باید با ابزار دیگری همراه باشند. به عنوان نمونه دماسنج با جیوه‌اش دمای اندازه‌گیری شده را به شکل انقباض و انبساط یک مایع نشان می‌دهد در صورتی که ترموکوپل، دما را به یک ولتاژ خروجی که می‌تواند به وسیله‌ی یک ولت‌متر خوانده شود، تبدیل می‌کند. بیشتر حسگرها، الکتریکی یا الکترونیکی هستند. برای استفاده از علم الکترونیک در مورد هر پدیده‌ای، باید آن پدیده، به ولتاژ یا جریان تبدیل شود. حسگرها در انواع مختلف ساخته شده‌اند. در تمامی حسگرها پدیده مورد بررسی به سیگنال الکتریکی تبدیل می‌شود. به عنوان مثال می‌توان فتوسل یا سلول نوری را به عنوان حسگرهای نوری در نظر گرفت که وقتی نور به آن می‌رسد یک سیگنال الکتریکی تولید می‌کند. نتیجه این‌که این سیگنال توسط یک مدار الکترونیکی تقویت می‌شود و در نهایت می‌تواند تبدیل به یک سیگنال الکتریکی شود. حسگر حرارتی[۱]

[۱] Termal sensor

(ترما سنسور) که به حرارت حساس است، وقتی حرارت محیط به یک درجه معین برسد باز هم همان سیگنال را تولید می‌کند. حسگرهای حساس به دود که با موارد رادیواکتیو ساخته می‌شوند و کار کردن با آن‌ها نیاز به حساسیت بیشتری دارد. این حسگرها بر اثر تولید دود تحریک می‌شوند و سیگنال الکتریکی تولید می‌کنند. حسگرهای صوتی و حتی حسگرهای حساس به امواج نیز وجود دارند[۱] .

۱-۳- اهمیّت حسگرها

بسیاری از کشورهای جهان به دلیل منافعِ فناوریِ مربوط به حسگرها به تشویق و توسعه‌ی حسگرها اهمیت زیادی می‌دهند. از جمله این موارد، برنامه ملی پیش‌بینی تکنولوژی مربوط به فناوری حسگرها در ایجاد ثروت و کیفیت است که مورد تأکید قرار گرفته است. حمایت سیاست‌گذاران کشورها (بریتانیا) از فناوری مربوط به حسگرها دلایل مختلفی دارد. دلیل اول آنکه تشویق رشد فناوری‌های مربوط به حسگرها به صورت تکنولوژی جدید باعث تولید محصولات جدید و کیفیت بهتر محصولات و بازدهی بهتر آن‌ها می‌شود. از طرفی تکنولوژی‌های مربوط به حسگرها به اجرای قوانین در زمینه‌ی ایمنی کمک می‌کند. تشویق رشد فناوری‌های مرتبط با حسگرها باعث کیفیت بهتر محصولات و بازدهی بیشتر آن‌ها می‌شود. فناوری حسگرها در برنامه‌های برخی کشورها مورد تاکید قرار گرفته است. تکنولوژی مستقل حسگرها که دامنه‌ی وسیعی از بخش‌های مختلف صنایع را پوشش می‌دهند، به صورت یک فناوری کلیدی با کاربردها و تنوع گسترده‌ی صنعتی و تحقیقاتی ظاهر شده است[۲].

۱-۴- کاربرد حسگرها

گستره‌ی وسیعِ کاربرد حسگرها در تمامی زمینه‌های مختلف علوم و صنایع، باعث انجام تحقیقات و بررسی‌های فراوانی شده است. حسگرها در زندگی روزمره به صورت فراوان مورد استفاده قرار می‌گیرند، مواردی که شامل خودرو، ماشین‌های صنعتی[۳]، تجهیزات فضائی و حتی دارویی[۴] می‌شود. این پیشرفت‌های فنی، به عنوان عامل محرکی برای تولید بیشتر انواعِ حسگرها گردیده است. همچنین حسگرها به طور گسترده‌ای در زمینه‌های پزشکی، هوافضا، هواشناسی و دیگر صنایع کاربرد دارند. حضور حسگرها در مواردی که توسط بشر قابل دسترس نباشد، اهمیّت بیشتری دارد. دلیل اهمیت حسگرها در این موارد مربوط به عدم قابلیت دسترسی مجدد به آن مناطق است. از جمله مواردی که حسگرها به راحتی قابلیت دسترسی مجدد ندارند، حسگرهای فضایی‌اَند. از طرفی به دلیل ناشناخته ماندن بسیاری از شرایط و عوامل محیطی در فضا، حسگرها نقش اساسی در شناسایی شرایط فیزیکی و محیطی فضا دارند. در این تحقیق دو مورد از انواع حسگرهای فضایی- دمایی بررسی شده است. علت انتخاب این حسگرها، کاربردهای فراوان آن‌ها در پروژه‌های زمینی و فضایی است.

۱-۵- عوامل ایجاد خطا در حسگرها

از مهمترین چالش‌های مطرح شده در محیط فضا، وجود میزان زیادی از اشعه‌ی یونیزاسیون است. وجود یک ذره‌ی باردار می‌تواند باعث رانش الکترون‌های آزاد شود و از این طریق باعث ایجاد نویز الکترونیکی و سیگنالِ اسپایکی[۱] شود. در مورد مدارهای دیجیتالی این عوامل باعث تولید داده‌ی نادرست و نامفهوم می‌شود. مجموع این چالش‌های ایجاد شده باعث مشکل جدی در طراحی ماهواره‌ها، فضاپیماها و هواپیماهای نظامی شده است. به منظور حصول اطمینان از عملکرد مناسب سیستم‌ها، از حسگرها به عنوان روشی برای مبارزه و شناخت بهتر عوامل ایجاد خطا بهره گرفته شده است.

[۱] Spike

فناوری‌های مربوط به امور فضایی، دارای هزینه‌ی بسیار بالا و همچنین خطرات زیادی‌اَند، در نتیجه بحث تشخیص و تصحیح خطا در فضا اهمیت بیشتری می‌یابد. فضا محیطی مملوء از اشعه‌های مضر است و ماهواره به عنوان ابزاری که شامل دستگاه‌های الکترونیکی ظریف است، به طور مداوم تحت بمباران اشعه‌های مضر موجود در فضا قرار دارد. یک ماهواره با هزینه‌ی بالا زمانی که در یک مدار پایدار قرار داده می‌شود، با وجود محافظ‌های فیزیکی که بر روی سیستم ماهواره و سیستم‌های فضایی وجود دارد، احتمال وجود خطا در این سیستم‌ها بسیار بیشتر از مدارات الکترونیکی و حسگرهای موجود در زمین است. از طرفی در صورت به وجود آمدن هر گونه خطا در حسگرهای فضایی، هر گونه تعمیرات فیزیکی و رفع خطا می‌تواند بسیار پرهزینه باشد. در ادبیات مربوط به تحمل‌پذیری خطا سه گروه مختلف از خطا در سخت افزار متمایز شده است [۵].

۱.خطای طراحی[۱]: همانطور که از نام آن مشخص است، این نوع خطا، یک نوع خطای ذاتی است و در طول طراحی سیستم ایجاد می‌شود.

۲.خطای تعاملی[۲]: از این خطا تحت عنوان خطای انسانی[۳] یاد می‌شود. این خطا توسط کاربر و از استفاده‌ی نادرست سیستم ایجاد می‌شود.

۳. خطای فیزیکی[۴]: خرابی‌های سخت افزاری به علت ناخالصی‌های موجود در فرآیند تولید، فرسودگی و یا عوامل خارجی (مثل حضور تشعشعات در فضا) به وجود می‌آید.

خطاهای فیزیکی بر اساس ۳ ویژگی تقسیم‌بندی می‌شوند. ویژگی اول دوره‌ی زمانیِ خطای اعمال شده است. به آن معنا که خطای اعمال شده به صورت دائمی یا گذرا است. خطای گذرا[۱] خطایی است که

[۱] Design fault
[۲] Interaction fault
[۳] Human fault
[۴] Physical fault