

عنوان کتاب
مدیریت سلامت سیستم
با کاربردهای هوافضایی
جلد اول

ترجمه:
دکتر جلال راعی

مرکز پژوهشی پایش سلامت سیستم
دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری

فهرست

م	دربارهٔ ویراستاران کتاب.....	۴
ف	فهرست نویسندگان کتاب.....	۴
ق	پیش گفتار.....	۴
د	مقدمه.....	۴
ط	سخن مترجم.....	۴
۱	بخش یک: زمینه‌ی اجتماعی - فنی مدیریت سلامت سیستم.....	۱
۳	فصل یک: نظریه‌ی مدیریت سلامت سیستم.....	۳
۳	۱-۱ مقدمه.....	۳
۹	۲-۱ وظایف، حالت‌های غیر اسمی و علیت.....	۹
۱۴	۳-۱ محدودیت‌های پیچیدگی و دانش.....	۱۴
۱۵	۴-۱ راهبردهای تخصیص مدیریت سلامت سیستم.....	۱۵
۱۷	۵-۱ وظایف مدیریت سیستمی به بررسی.....	۱۷
۲۱	۱-۵-۱ وظایف کشف تطبیق مدل.....	۲۱
۲۳	۲-۵-۱ تشخیص خرابی.....	۲۳
۲۴	۳-۵-۱ پیش‌بینی وقوع خرابی.....	۲۴
۲۵	۴-۵-۱ تعیین پاسخ وقوع خرابی.....	۲۵
۲۶	۵-۵-۱ پاسخ وقوع خرابی.....	۲۶
۲۸	۶-۵-۱ محدود کردن خرابی و وقوع خرابی.....	۲۸
۲۹	۶-۱ مکانیزم‌ها.....	۲۹
۲۹	۱-۶-۱ تحمل خرابی.....	۲۹
۲۹	۲-۶-۱ افزونگی.....	۲۹
۳۳	۷-۱ خلاصه‌ی اصول.....	۳۳
۳۴	۸-۱ پیاده‌سازی مدیریت سلامت سیستم.....	۳۴
۳۶	۹-۱ برخی از کاربردها.....	۳۶
۳۶	۱-۹-۱ کشف حالت‌های غیر اسمی پیش‌بینی نشده.....	۳۶
۳۷	۲-۹-۱ غیر ممکن بودن استقلال دانش کامل.....	۳۷
۳۸	۳-۹-۱ نیاز به تشریفات اداری و خطرات آن.....	۳۸
۳۸	۴-۹-۱ واسطه‌های «ساده».....	۳۸

۳۹	۵-۹-۱ دقت الزامات، مدل‌ها و محل‌های حیاتی
۴۰	۱۰-۱ نتیجه‌گیری
۴۱	کتاب‌شناسی
۴۳	فصل دوم: ارتباط چندمندی
۴۶	۱-۲ ارتباط چندمندی در مدیریت سلامت سیستم
۵۰	۲-۲ کانال‌های ارتباطی
۵۳	۳-۲ درس گرفتن از فجایع
۵۵	۴-۲ ارتباطات حال حاضر صنعت هوافضا
۵۶	۵-۲ مسئله منطقی کردن در ارتباطات مدیریت سلامت سیستم
۵۷	۶-۲ ریشه‌های ارتباط خراب
۵۸	۷-۲ کاربرد
۶۱	۸-۲ نتیجه‌گیری
۶۶	کتاب‌شناسی
۷۳	فصل سوم: سازمان‌هایی با قابلیت اطمینان بالا
۷۳	۱-۳ بررسی سازمان‌هایی با قابلیت اطمینان بالا و طراحی برای قابلیت اعتماد
۷۸	۲-۳ درس‌هایی از میدان: الگوهای رفتاری «سازمان با قابلیت اطمینان بالا»
۷۹	۳-۲-۱ جدایی‌ناپذیری خطرات سیستم مرتبط به تجهیزات و خطرات انسان‌شناختی
۸۱	۳-۲-۲ مدیریت پویای ریسک‌های سیستم
۸۴	۳-۲-۳ ادراک‌های اجتماعی مزایا و خطرات
۸۶	۳-۳ طراحی قابل اعتماد، رفتار سازمانی و ارتباطات با پرورده‌ی «زمان قابلیت اطمینان بالا»
۸۸	۴-۳ نتیجه‌گیری
۹۳	کتاب‌شناسی
۹۷	فصل چهارم: مدیریت دانش
۹۸	۱-۴ سیستم‌ها به عنوان دانش درونی
۹۹	۲-۴ مدیریت دانش و فناوری اطلاعات
۹۹	۳-۴ قابلیت اطمینان و قابلیت دوام سیستم‌های سازمانی
۱۰۳	۴-۴ مطالعاتی موردی ساختن یک سازمان در حال یادگیری: مرکز پرواز فضایی گودارد
۱۰۴	۴-۴-۱ عمل ۱: توقف و یادگیری
۱۰۶	۴-۴-۲ عمل ۲: کارگاه‌های اشتراک دانش

۱۰۷	 ۴-۳-۳: مطالعات موردی
۱۰۹	 ۴-۴-۴: فرایندهای بازیابی و درس های مشترک آموخته شده
۱۱۰	 ۴-۵-۴: مقررات طراحی گود دارد
۱۱۱	 ۴-۶-۴: آموزش مدیریت مبتنی بر مورد
۱۱۲	 ۴-۵-۴: نتیجه گیری
۱۱۴	 کتاب شناسی
۱۱۷	 فصل پنجم: کسب و کار برای مدیریت سلامت سیستم
۱۱۹	 ۵-۱: فرایندها و ابزارهای مورد کسب و کار
۱۲۲	 ۵-۲: متریک هایی برای پشتیبانی از فرایند تصمیم گیری
۱۲۲	 ۵-۲-۲: آمادگی
۱۲۳	 ۵-۲-۲: قابلیت اطمینان برنامه زمان بندی
۱۲۳	 ۵-۲-۲: بهره گیری از منابع نگهداری
۱۲۳	 ۵-۲-۴: سود سرمایه گذاری
۱۲۴	 ۵-۲-۵: ارزش مالی فعلی
۱۲۴	 ۵-۲-۶: جریان پول
۱۲۵	 ۵-۳: عوامل مورد بررسی در تکوین مدل نگهداری
۱۲۶	 ۵-۳-۱: مدل بهره برداری
۱۲۹	 ۵-۳-۲: تحلیل وظیفه ای
۱۲۹	 ۵-۴: ارزیابی گزینه ها
۱۳۰	 ۵-۵: اصلاحات در مدل خط مبتای انتخابی
۱۳۰	 ۵-۵-۱: افزایش ها و تغییرات در فناوری در سکوها ی ناوگان
۱۳۱	 ۵-۵-۲: افزایش ها و تغییرات در فناوری در عملیات پشتیبانی
۱۳۱	 ۵-۵-۳: تغییرات در خط مشی ها و شیوه ها
۱۳۲	 ۵-۶: مدل سازی ریسک و عدم قطعیت
۱۳۳	 ۵-۷: تصدیق و صحه گذاری مدل
۱۳۳	 ۵-۸: نتایج ارزیابی
۱۳۵	 ۵-۹: نتیجه گیری
۱۳۷	 کتاب شناسی

بخش دوم: مدیریت سلامت سیستم و چرخه‌ی عمر سیستم.....	۱۳۹
فصل ششم: مهندسی و یکپارچه‌سازی سیستم‌های مدیریت سلامت.....	۱۴۱
۶-۲ مقدمه.....	۱۴۱
۶-۲ تفکر سیستم‌ها.....	۱۴۲
۶-۳ مدیریت دانش.....	۱۴۴
۶-۴ مهندسی سیستم.....	۱۴۵
۶-۵ مراحل چرخه‌ی عمر مهندسی سیستم.....	۱۴۶
۶-۶ مهندسی سیستم، قابلیت اعتماد و مدیریت سلامت.....	۱۴۸
۶-۶-۱ مراحل چرخه‌ی عمر مدیریت سلامت سیستم.....	۱۵۲
۶-۷-۱ مرحله‌ی تحقیق.....	۱۵۲
۶-۷-۲ حله‌ی تکوین الزامات.....	۱۵۳
۶-۷-۳ تحلیل سیستم / وظیفه‌ای.....	۱۵۵
۶-۷-۴ مقیاس یکپارچه‌سازی طراحی.....	۱۵۷
۶-۷-۵ آزمون و ارزیابی سیستم.....	۱۵۸
۶-۷-۶ بلوغ سیستم - پیرامون سلامت.....	۱۶۱
۶-۸ مدل‌ها و ابزارهای تحلیل مدیریت سلامت سیستم.....	۱۶۲
۶-۸-۱ مدل‌های ایمنی.....	۱۶۳
۶-۸-۲ مدل‌های قابلیت اطمینان.....	۱۶۴
۶-۸-۳ مدل‌های تشخیصی.....	۱۶۵
۶-۹ نتیجه‌گیری.....	۱۶۶
کتاب‌شناسی.....	۱۶۷
فصل هفتم: معماری.....	۱۶۹
۷-۱ مقدمه.....	۱۶۹
۷-۲ اجزاء معماری سیستم مدیریت سلامت.....	۱۷۱
۷-۲-۱-۲ برق مصرفی.....	۱۷۲
۷-۲-۲ انتقال داده‌ها.....	۱۷۳
۷-۳ مثال‌هایی از ملاحظات مربوط به انرژی و داده‌ها.....	۱۷۵
۷-۴ ویژگی‌های معماری سیستم مدیریت سلامت.....	۱۷۶
۷-۴-۱ پردازش.....	۱۷۶

۱۷۸	۷-۴-۲- مدت بهره‌برداری
۱۷۹	۷-۴-۳- مقاومت در برابر خرابی و مدیریت وقوع خرابی
۱۸۰	۷-۴-۴- قابلیت اطمینان
۱۸۱	۷-۴-۵- آمادگی دارایی
۱۸۲	۷-۴-۶- سازگاری
۱۸۴	۷-۴-۷- قابلیت نگهداری
۱۸۴	۷-۴-۸- گسترش‌پذیری
۱۸۵	۷-۴-۹- مدیریت سلامت سیستم متمرکز در مقابل توزیعی
۱۸۶	۷-۵- مفاهیم پیشرفته‌ی معماری سیستم مدیریت سلامت سیستم
۱۸۶	۷-۵-۱- سیستم‌های سیستم‌ها
۱۸۶	۷-۵-۲- به‌برداری‌های متمرکز بر شبکه
۱۸۷	۷-۶- نتیجه‌گیری
۱۸۸	کتاب‌شناسی
۱۸۹	فصل هشتم: روش‌های طراحی و تحلیل سیستم
۱۹۰	۸-۱- مقدمه
۱۹۱	۸-۲- ملاحظات چرخه‌ی عمر
۱۹۳	۸-۳- شیوه‌ها و اعمال طراحی مدیریت سلامت سیستم مؤثر
۱۹۴	۸-۳-۱- روش‌های تحلیل قابلیت اطمینان
۱۹۶	۸-۳-۲- روش‌های طراحی رسمی
۱۹۷	۸-۳-۳- روش‌های طراحی مبتنی بر وظیفه
۱۹۹	۸-۳-۴- وقوع خرابی مبتنی بر وظیفه و روش‌های تحلیل ریسک
۲۰۲	۸-۳-۵- روش‌های طراحی برای قابلیت آزمون
۲۰۳	۸-۳-۶- روش‌های تحلیل و بهینه‌سازی سیستم
۲۰۹	۸-۴- نتیجه‌گیری
۲۱۱	کتاب‌شناسی
۲۱۵	فصل نهم: ارزیابی و بلوغ سطوح آمادگی فناوری
۲۱۵	۹-۱- مقدمه
۲۱۶	۹-۲- انگیزه ارزیابی بلوغ
۲۱۸	۹-۳- مروری بر سطوح آمادگی فناوری

۲۲۲	۴-۹- نیازهای ویژه‌ی مدیریت سلامت سیستم
۲۲۵	۵-۹- رویکردهای تخفیف
۲۲۷	۶-۹- سطوح آمادگی فناوری برای مدیریت سلامت سیستم
۲۲۹	۷-۹- تلاش بلوغ نمونه
۲۳۳	۸-۹- نتیجه‌گیری
۲۳۵	کتاب‌شناسی
۲۳۷	فصل دهم: تصدیق و صحه‌گذاری
۲۳۷	۱-۱۰- مقدمه
۲۳۸	۲-۱۰- نرم‌افزارهای موجود تصدیق و صحه‌گذاری
۲۳۸	۱-۲-۱۰- تصدیق و صحه‌گذاری اویونیک
۲۴۲	۲-۱۰- الزامات، سیاست‌ها، استانداردها و شیوه‌های ناسا در ارتباط با نرم‌افزار
۲۴۴	۳-۲-۱۰- تصدیق و صحه‌گذاری برای محافظت در برابر خرابی فضاپیما
۲۴۵	۲-۱۰- مثال عمل‌نمایی تصدیق و صحه‌گذاری صنعت: کنترل‌کننده‌ی موتور اصلی شاتل فضایی
۲۴۷	۳-۱۰- امکان‌پذیری تصدیق و صحه‌گذاری نرم‌افزار موجود برای مدیریت سلامت سیستم
۲۴۷	۱-۳-۱۰- امکان‌پذیری
۲۴۸	۲-۳-۱۰- کفایت
۲۵۱	۴-۱۰- فرصت‌هایی برای فنون جدید در صحه‌گذاری که مناسب مدیریت سلامت سیستم هستند
۲۵۱	۱-۴-۱۰- معماری مدیریت سلامت سیستم
۲۵۲	۲-۴-۱۰- مدل‌های مورد استفاده در مدیریت سلامت سیستم
۲۵۳	۳-۴-۱۰- سیستم‌های برنامه‌ریزی در مدیریت سلامت سیستم
۲۵۴	۴-۴-۱۰- مدیریت سلامت سیستم سیستم‌های نرم‌افزار
۲۵۴	۵-۱۰- ملاحظات تصدیق و صحه‌گذاری برای حسگرهای مدیریت سلامت سیستم و اویونیک
۲۵۴	۱-۵-۱۰- تصدیق و صحه‌گذاری سخت‌افزار پرواز
۲۵۵	۲-۵-۱۰- تصدیق و صحه‌گذاری داده‌های حسگر
۲۵۷	۶-۱۰- برنامه‌ریزی تصدیق و صحه‌گذاری برای کاربرد خاص مدیریت سلامت سیستم
۲۵۹	۱-۶-۱۰- توصیف کاربرد
۲۶۰	۲-۶-۱۰- کشف ناهنجاری داده‌ها با استفاده از سیستم نظارت استقرایی
۲۶۵	۳-۶-۱۰- تشخیص خرابی مبتنی بر مدل با استفاده از مهندسی قابلیت آزمون و سیستم نگهداری
۲۶۷	۴-۶-۱۰- بازبایی وقوع خرابی قاعده‌ای با استفاده از موتور استنتاج سلامت فضاپیما
۲۷۰	۷-۱۰- دیدگاه مهندسی سیستم در تصدیق و صحه‌گذاری مدیریت سلامت سیستم

۲۷۱	۸-۱۰- نتیجه گیری
۲۷۳	کتاب شناسی
۲۷۷	فصل یازدهم: گواهی سیستم های نظارت بر سلامت وسیله ی نقلیه
۲۷۸	۱-۱۱- مقدمه
۲۷۸	۲-۱۱- دوام برای سیستم های مدیریت سلامت سیستم
۲۸۳	۳-۱۱- طراحی مکانیکی برای سیستم های نظارت بر سلامت ساختاری
۲۸۴	۴-۱۱- قابلیت اطمینان و دوام سیستم های مدیریت سلامت وسیله ی نقلیه
۲۸۵	۵-۱۱- گواهی نرم افزار و سخت افزار
۲۸۶	۶-۱۱- گواهی صلاحیت پرواز
۲۸۷	۷-۱۱- نمونه از گواهی سیستم نظارت بر سلامت و استفاده
۲۹۱	۸-۱۱- نتیجه گیری
۲۹۲	کتاب شناسی
۲۹۳	بخش سوم: روش ها، تجاویز
۲۹۵	فصل دوازدهم: فیزیک وقوع خرابی
۲۹۶	۱-۱۲- مقدمه
۲۹۸	۲-۱۲- فیزیک وقوع خرابی فلزات
۲۹۸	۱-۲-۱۲- طبقه بندی سطح بالا
۳۰۱	۲-۲-۱۲- طبقه بندی سطح دوم
۳۱۴	۳-۱۲- فیزیک وقوع خرابی کامپوزیت های زمینه سرامیکی
۳۱۶	۱-۳-۱۲- شکست
۳۱۸	۲-۳-۱۲- از دست رفتن مواد
۳۱۸	۴-۱۲- نتیجه گیری
۳۱۹	کتاب شناسی
۳۲۱	فصل سیزدهم: ارزیابی وقوع خرابی
۳۲۲	۲-۱۳- تحلیل مدهای وقوع خرابی و اثرات
۳۲۳	۳-۱۳- تحلیل مدهای وقوع خرابی و اثرات نرم افزار
۳۲۵	۴-۱۳- تحلیل درخت خرابی
۳۲۶	۵-۱۳- تحلیل درخت خرابی نرم افزار
۳۲۸	۶-۱۳- تحلیل ایمنی دو جهتی

۳۳۰	۷-۱۳- تحلیل ایمنی
۳۳۱	۸-۱۳- مهندسی قابلیت اطمینان نرم افزار
۳۳۶	۹-۱۳- ابزارها و اتوماسیون
۳۳۷	۱۰-۱۳- جهت گیری های آینده
۳۳۸	۱۱-۱۳- نتیجه گیری
۳۳۹	کتاب شناسی
۳۴۳	فصل چهاردهم: قابلیت اطمینان
۳۴۴	۱-۱۴- مفاهیم مدل زمان تا وقوع خرابی و دو توزیع مفید
۳۴۵	۱-۱-۱۴- کمیت های دیگر مورد توجه در تحلیل قابلیت اطمینان
۳۴۵	۲-۱-۱۲- توزیع های احتمال مهم
۳۴۷	۲-۱۲- معرفی قابلیت اطمینان سیستم
۳۴۷	۱-۲-۴- اهمیت قابلیت اطمینان سیستم
۳۴۷	۱-۲-۱۴- روش های برای قابلیت اطمینان سیستم
۳۴۸	۳-۲-۱۴- وابستگی زمانی قابلیت اطمینان سیستم
۳۴۹	۴-۲-۱۴- سیستم مری با ساختارهای ساده
۳۵۰	۵-۲-۱۴- اهمیت شمار معادلات در طراحی محصول
۳۵۱	۳-۱۴- تحلیل داده های عمر سانسور شده
۳۵۱	۱-۳-۱۴- تحلیل داده های سانسور شده چند نهی درست
۳۵۲	۲-۳-۱۴- طراحی احتمال
۳۵۳	۳-۳-۱۴- برآورد احتمال ماکزیمم
۳۵۶	۴-۳-۱۴- بسط به داده ها با انواع دیگر سانسور کردن و گره های
۳۵۶	۴-۱۴- آزمون عمر تسریع شده
۳۵۷	۵-۱۴- تحلیل داده های تنزل
۳۵۸	۱-۵-۱۴- روشی ساده برای تحلیل داده های تنزل
۳۵۹	۲-۵-۱۴- نظراتی در مورد تحلیل تنزل تقریبی
۳۶۰	۶-۱۴- تحلیل داده های تکرار شونده
۳۶۱	۱-۶-۱۴- میانگین تابع انباشته و نرخ تکرار
۳۶۲	۲-۶-۱۴- برآورد غیر پارامتری تابع انباشته ی میانگین
۳۶۴	۷-۱۴- نرم افزار برای تحلیل آماری داده های قابلیت اطمینان
۳۶۶	کتاب شناسی

فصل پانزدهم: ارزیابی ریسک احتمالی..... ۳۶۷

۱-۱۵- مقدمه..... ۳۶۷

۲-۱۵- ارزیابی ریسک احتمالی شاتل فضایی..... ۳۶۸

۳-۱۵- ارزیابی ریسک‌های انباشته برای کمک به مدیریت ریسک پروژه..... ۳۶۹

۴-۱۵- کمی‌سازی قابلیت اطمینان نرم‌افزار..... ۳۷۳

۵-۱۵- توصیف فنون مورد استفاده در ارزیابی ریسک احتمالی شاتل فضایی..... ۳۷۷

۱-۵-۱۵- نمودار منطق اصلی رویداد اولیه..... ۳۷۸

۲-۵-۱۵- درخت رویداد مأموریت..... ۳۷۸

۳-۵-۱۵- درخت‌های خرابی..... ۳۷۹

۴-۵-۱۵- مرتبط ساختن درخت‌های خرابی به درخت‌های رویداد..... ۳۸۱

۶-۱۵- نتیجه‌گیری..... ۳۸۱

کتاب‌شناسی..... ۳۸۲

فصل شانزدهم: تشخیص..... ۳۸۳

۱-۱۶- مقدمه..... ۳۸۴

۲-۱۶- مسئله‌ی تشخیص کمی..... ۳۸۵

۳-۱۶- انتشار و تأثیر وقوع خرابی..... ۳۸۶

۴-۱۶- تحلیل قابلیت آزمون..... ۳۸۷

۵-۱۶- فنون تشخیص..... ۳۸۸

۱-۵-۱۶- سیستم‌های تخصصی مبتنی بر فاعده..... ۳۸۸

۲-۵-۱۶- سیستم‌های استدلال مبتنی بر مورد..... ۳۸۹

۳-۵-۱۶- سیستم یادگیری..... ۳۹۰

۴-۵-۱۶- استدلال مبتنی بر مدل..... ۳۹۶

۶-۱۶- ملاحظات اتوماسیون برای سیستم‌های تشخیص..... ۳۹۹

۷-۱۶- نتیجه‌گیری..... ۴۰۱

کتاب‌شناسی..... ۴۰۲

فصل هفدهم: پیش‌بینی..... ۴۰۷

۱-۱۷- پیشینه..... ۴۰۸

۲-۱۷- رویکردهای الگوریتم پیش‌بینی..... ۴۰۹

۱-۲-۱۷- قابلیت اطمینان آماری و رویکردهای مبتنی بر استفاده..... ۴۱۰

- ۴۱۱..... ۱۷-۲-۲- رویکردهای تکاملی مبتنی بر روند
- ۴۱۲..... ۱۷-۲-۳- رویکردهای مبتنی بر داده
- ۴۱۳..... ۱۷-۲-۴- فیلتر کردن ذرات
- ۴۱۴..... ۱۷-۲-۵- رویکردهای مدل سازی مبتنی بر فیزیک
- ۴۱۵..... ۱۷-۳- تابع چگالی احتمال عمر مفید باقی مانده ی پیش بینی
- ۴۱۶..... ۱۷-۴- پیش بینی تطبیقی
- ۴۱۸..... ۱۷-۵- متریک های عملکرد
- ۴۱۸..... ۱۷-۵-۱- درستی
- ۴۲۰..... ۱۷-۵-۲- دقت
- ۴۲۰..... ۱۷-۵-۳- همگرایی
- ۴۲۱..... ۱۷-۶- معماری سیستم پیش بینی توزیع شده
- ۴۲۲..... ۱۷-۷- نمونه گیری
- ۴۲۴..... کتاب شناسی
- ۴۳۷..... فهرست اشخاص و مسافت
- ۴۴۷..... واژه یاب

پیش گفتار

در نوامبر سال ۲۰۰۵، اینجانب و ویراستاران این کتاب در ناپا، کالیفرنیا، مجمعی برای بحث تحت عنوان مهندسی و مدیریت سلامت سیستم یکپارچه^۱ تشکیل دادیم. هدف این مجمع، تشخیص رابطه‌ی بین روش‌های سستی مهندسی قابلیت اطمینان و ایمنی و رویکردهای جدیدتر کشف، تشخیص و پیش‌بینی وقوع خرابی‌های سیستم‌های مهندسی پیچیده بود. عنوان خاص این مجمع بدین منظور برگزیده شد که بر رابطه‌ی تنگاتنگ بین اعمال مهندسی، بهره‌برداری و مدیریت در این مبحث جدید تأکید نماید. قصد این بود که مجمع بر جدیدترین فناوری حال حاضر در مدیریت سلامت سیستم^۲ تأکید کند و مقالات آن مبنایی برای اولین کتاب درسی در این زمینه باشند. به منظور دستیابی به این هدف، از چهل متخصص دعوت به عمل آوردیم که دیدگاه‌های خود را در مورد آخرین فناوری، در حوزه‌ی علمی ارائه دهند. پس از گذشت پنج سال، کتاب حاضر را با نسخه‌های گسترش یافته به ۱۰۰ رسانی شده‌ای از مقالات مجمع به عنوان فصل‌های کتاب آماده نموده‌ایم. همچنین موضوعانی در این کتاب مطرح می‌شوند که در مجمع اصلی مورد بحث قرار نگرفته بودند. قصد این است که کتاب حاضر مرجعی جامع برای آخرین فناوری در مدیریت سلامت سیستم در سال ۲۰۱۰ باشد.

حوزه‌ی مدیریت سلامت سیستم به معنی کلی ملاحظات بنیادین است: تمام اجزاء الکترومکانیکی به عنوان تابعی از زمان، استفاده و شرایط محیطی دچار خوردگی می‌شوند و سیستم‌های پیچیده شامل معایب ذاتی طراحی هستند که اغلب تنها خود را در زمان بهره‌داری نشان می‌دهند. با گذشت زمان، پیری اجزاء می‌تواند منجر به تنزل عملکرد، خرابی‌های زیرسیستم، وقوع خرابی‌های سیستم شود. در زمان طراحی سیستم‌های بحرانی ایمنی و بحرانی مأموریت، مهندسان قصد دارند تا وقوع خرابی‌های سیستم شوند یا حداقل تأثیر آن‌ها را به حداقل برسانند. این سیستم‌ها الزامات قابلیت اطمینان سرسخت‌های دارند. این الزامات قابلیت اطمینان معمولاً با استفاده از ترکیبی از روش‌های مدیریت ریسک و مهندسی قابلیت اطمینان برآورده می‌شوند:

- طراحی‌های زیرسیستم / اجزاء خرابی بهره‌برداری یا خرابی این
- «طراحی بیرونی» مدهای وقوع خرابی شناسایی شده
- طراحی حاشیه‌ها (انرژی، پیش‌ران، تدارکات و غیره)
- تطبیق خرابی
- اجزاء و زیرسیستم‌های افزونه^۳

1. Integrated System Health Engineering and Management (ISHEM)

2. System Health Management (SHM)

3. Redundant

- فنون مدیریت افزونگی^۱ که مقاومت در برابر خرابی^۲ را برای وظایف بحرانی پرواز امکان پذیر می سازند
- کشف خرابی، جداسازی و بازیابی^۳
- محافظت در برابر خرابی^۴

پیش اساسی در مدیریت سلامت سیستم این است که گرچه وقوع خرابی ها ممکن است اجتناب ناپذیر باشند، اما اغلب با در نظر گرفتن ابزارهای مناسب و مدل های فیزیکی مناسب قابل پیش بینی هستند. در چند دهه ی اخیر، انجمن مهندسی سیستم شروع به بررسی اصول بنیادین وقوع خرابی های سیستم نمود و تلاش کرد درک کند اجزاء الکترومکانیکی چگونه پیر می شوند و پیش بینی کند که چه زمانی ممکن است خراب شوند. با تغییر یافتن تأکید از جامعه آماری (مثلاً منحنی های وان حمام یا آمار وایبول) به عمر مفید باقی مانده ی اجزاء منفرد، رشتی جدیدی ظاهر شد. چند اصطلاح به معنای مدیریت سلامت سیستم یا انواع آن هستند، از جمله مدیریت سلامت سیستم یکپارچه، مدیریت سلامت وسایل نقلیه ی یکپارچه^۵، مدیریت تشخیص و سلامت^۶، نگهداری مبتنی بر وضعیت^۷، مدیریت سلامت کسب و کار و سیستم های نظارت بر سلامت و استفاده^۸، با وجود تأکید اخیر بر حوزه ی مدیریت سلامت سیستم به عنوان رشته ای جدید، مدیریت سلامت برای زیرسیستم ها از قبیل موتورهای هواپیماها بیش از ۳۰ سال پیش از فعالیت های مهندسی بوده است.

مدیریت سلامت سیستم به عنوان یک رشته ی مهندسی به طراحی، تکوین، بهره برداری و مدیریت چرخه ی عمر اجزاء، زیرسیستم ها، وسایل نقلیه و درگیر سیستم های بهره برداری با هدف نگهداری رفتار و وظیفه ی اسمی سیستم و تضمین ایمنی مأموریت و اثربخش تحت شرایط غیراسمی می پردازد. مفاهیم مدیریت سلامت سیستم به همین اندازه در محصولات مصرفی از قبیل خودرو یا رایانه قابل اعمال هستند، اما این رشته در کاربردهای هوافضا که شامل بهره برداری در محیط های خطرناک^۹ شامل شرایط بسیار خفونی هستند، مثلاً بهره برداری از فضاپیما در محیط های ناشناخته تحت تغییرات دمایی شدید، شرایط بسیار خفونی که در معرض چرخه های فشار مداوم و بار آیرودینامیکی مداوم هستند و موتورهای موشک که آزمایش نهایی آنها تحت شرایط غیراسمی بسیار پرهزینه است.

- مدیریت سلامت سیستم برای کاوش در فضا موارد ذیل را امکان پذیر می سازد
- انصراف از پرتاب^{۱۰} مستقل (و خودکار) و قابلیت فرار کارکنان

1. Redundancy
2. Fault Tolerance
3. Fault Detection, Isolation and Recovery (FDIR)
4. Fault protection
5. Integrated Vehicle Health Management (IVHM)
6. Prognostics and Health Management (PHM)
7. Condition-Based Maintenance (CBM)
8. Health and Usage Monitoring Systems (HUMS)
9. Launch Abort

- آزمون و واریسی کارآمد سیستم‌های زمینی و پرواز
- نظارت و تحلیل داده‌های بهره‌برداری‌های سیستم‌های زمینی و پرواز
- آگاهی و کنترل موقعیتی تقویت شده برای کارکنان و کارکنان زمینی
- استقلال وسیله نقلیه (خود کارآمدی) در پاسخ به شرایط غیرارسمی در مأموریت‌های فضایی دور و دراز مدت
- نگهداری و تعمیر در فضا (مستقل)
- پردازش زمینی کارآمد سیستم‌های قابل استفاده مجدد.
- مدیریت سلامت سیستم برای هواپیما موارد ذیل را امکان‌پذیر می‌سازد:
- کشف خرابی، جداسازی و بازیابی کارآمد
- پیش‌بینی وقوع خرابی‌های قریب‌الوقوع یا تنزل وظیفه‌ای^۱
- افزایش قابلیت اطمینان و آمادگی سیستم‌های مأموریت
- افزایش آگاهی موقعیتی کارکنان در مورد وسیله نقلیه
- اعمال نگهداری مبتنی بر وضعیت و درست به موقع
- پردازش و کارآمدی زمینی و افزایش آمادگی دارایی.

شایان ذکر است که مدیریت سلامت سیستم - آگزیتری برای روش‌های سنتی مهندسی قابلیت اطمینان و ایمنی نیست. بلکه رویکردهای سنتی به ایمنی و طراحی سیستم‌های بحرانی مأموریت را پذیرفته و گسترش می‌دهد. گرچه نظارت بر سیستم‌های زمان واقعی و تکلیف مدیریت سلامت شامل اکثریت کاربردها هستند، اما دامنه‌ی مدیریت سلامت سیستم محدود به بهره‌برداری‌های زمان واقعی نیست. مدیریت سلامت سیستم کل چرخه‌ی عمر سیستم‌ها را از طراحی تا تصدیق و از بهره‌برداری تا استیک گرش می‌دهد.

روش‌های مدیریت سلامت سیستم به مدت چند دهه برای بهره‌برداری‌های بحرانی پرواز مورد استفاده بوده‌اند و موفقیت‌های قابل توجهی در تکوین و بلوغ فناوری‌های جدید مدیریت سلامت سیستم در ده سال اخیر کسب شده است. با این حال داستان‌های موفقیت تجاری نسبتاً کمی در به کارگیری فناوری‌های پیشرفته‌ی مدیریت سلامت سیستم برای نگهداری و بهره‌برداری‌های لجستیک وجود دارند. حتی برجسته‌ترین فناوری‌های مدیریت سلامت سیستم در صورتی که به نیازهای مأموریت یا برنامه نپردازند یا ریسک‌های برنامه‌ی ایمنی را کاهش ندهند، فرصتی برای به کارگیری در مأموریت پرواز یا وسیله نقلیه‌ی هوافضا ندارند. پیش از این در مورد تعامل بین مهندسی و مدیریت به عنوان اصل هسته‌ای مدیریت سلامت سیستم صحبت کردم. در نتیجه کارشناس فناوری مدیریت سلامت سیستم موفق باید مزایای مرتبط با مأموریت هدف یا برنامه را درک کند و تعیین کند که فناوری‌های مدیریت سلامت سیستم چه نقشی در برآوردن این معیارهای ایفا می‌کنند. برای سیستم‌های

هوافضا، هزینه‌ی چرخه‌ی عمر، ایمنی، قابلیت اطمینان و بازدهی مهم‌ترین مزایایی هستند که سیستم‌های مدیریت سلامت سیستم ممکن است بتوانند مورد توجه قرار دهند.

هزینه‌ی چرخه‌ی عمر شامل هزینه‌های خرید سیستم و همچنین هزینه‌های بهره‌برداری تکرار شونده می‌شود. این متداول است که طول عمر خدمت بیش از ۳۰ سال برای سیستم‌های هوافضایی از جمله هواپیمای تجاری با نظامی یا فضایی قابل استفاده‌ی مجدد مانند شاتل فضایی وجود داشته باشد. با چنین طول عمرهای خدمت طولانی، هزینه‌های نگهداری، تعمیر و اورهال^۱ بر هزینه‌ی کل چرخه‌ی عمر این پایگاه‌ها غالب هستند. هواپیماهای جنگنده‌ی مدرن از نظر هزینه‌ی خدمات بسیار گران تمام می‌شوند و هر ساعت پرواز مستلزم نزدیک به ۳۰ نفر ساعت نگهداری برای بازرسی، تعمیر و اورهال یا جایگزینی اجزاء بحرانی برای مأموریت و دارای عمر محدود است.

برنامه‌ی جنگنده‌ی آلفا^۲ مشترک (اف-۳۵) گامی انقلابی در جهت راحت کردن تناقض بین هزینه و قابلیت اطمینان برداشته است: اف-۳۵ یک هواپیمای جنگنده‌ی تک موتوره است که می‌تواند در ناوهای هواپیمابر مورد بهره‌برداری قرار گیرد (نیروی دریایی ایالات متحده به طور سنتی هواپیمای چند موتوره را برای حاشیه‌ی ایمنی بیشتر برای پروازها طولانی مدت روی اقیانوس ترجیح می‌دهد). به علاوه برنامه‌ی جنگنده‌ی آلفا مشترک با جاه‌طلبی هدف دارد: بازدهی‌های زمان‌بندی شده‌ی موتور را کاملاً حذف کند. کلید این حرکت جسورانه پیش‌بینی یا توانایی تعویض عمیق اجزاء بحرانی با عمر محدود در زمان واقعی است. بر اساس این فناوری‌های پیش‌بینی، برنامه‌ی جنگنده آلفا، مشترک قصد دارد زیرساخت لجستیک مستقل جامعی تشکیل نماید که هزینه‌های چرخه‌ی عمر سیستم را کاهش دهد و در عین حال حاشیه‌های قابلیت اطمینان را حفظ می‌کند.

ایمنی شامل ایمنی کارکنان پرواز، مسافران، کارکنان پشتیبانی ایمنی و عموم مردم است. برای خدمه پروازی فضاییماها و هواپیماهای نظامی، سیستم‌های فرار (جدا سازی)، خرابی معمولاً در زمان وقوع خرابی بحرانی مأموریت و نبود حاشیه‌ی افزونگی یا ایمنی یک راهبرد کاهش ریسک برای در نظر گرفته می‌شود. در بیشتر موارد محافظت در برابر خرابی و روش‌های تطبیق اقدامات ایمنی اولیه هستند. هواپیمای مدرن مانند اف-۲۲ و اف-۳۵ شامل روش‌های وقوع خرابی هستند که به هواپیما امکان بازگشت به پایگاه پس از وقوع خرابی در پرواز یا آسیب جنگی را می‌دهند. تطبیق وقوع خرابی معمولاً از طریق حاشیه‌ی ایمنی کافی و افزونگی و وظیفه‌ای کسب می‌شود. بک اصل دیگر، بازیابی وقوع خرابی است که طی آن هواپیما یا فضاییما کنترل‌های پرواز خود را (به صورت مستقل یا از طریق مداخله‌ی کارکنان) پی‌گیرند و مجدداً می‌کند تا تأثیر وقوع خرابی در پرواز را کاهش داده و مأموریت را ادامه دهد. در پایان محافظت در برابر خرابی می‌تواند بهره‌برداری سیستم را متوقف کند (از حالت مسلح خارج کند) تا زمانی که مسئله بررسی و رفع شود.

1. Maintenance, Repair and Overhaul (MRO)

2. Joint Strike Fighter (JSF, or F-35)

قابلیت اطمینان ارتباط مستقیمی با هزینه‌های نگهداری و ارتباط غیرمستقیمی با ایمنی سیستم دارد و اما مواردی وجود دارند که ایمنی و قابلیت اطمینان لزوماً مرتبط با یکدیگر نیستند. مثلاً نیروگاه‌های هسته‌ای و سیستم‌های اسلحه. چنین سیستم‌هایی با بیشترین توجه به ایمنی (بهره‌برداران و همچنین عموم) طراحی می‌شوند. قابلیت اطمینان، هر قدر هم اهمیت داشته باشد، اغلب یک دغدغه‌ی ثانوی بوده و جدا از اقدامات ایمنی است. در سوی دیگر این طیف، قابلیت اطمینان اولویت مهمی برای فضایی‌های رباتیکی است که قصد کاوش در منظومه‌ی شمسی را دارد در حالی که ایمنی ممکن است دغدغه‌ی اصلی نباشد - به ویژه برای فضایی‌هایی که سوخت یا مواد خطرناکی ندارند.

بهره‌وری به عنوان یک مزیت شامل آمادگی دارایی (مثلاً سرعت پرواز یا تعداد پروازها در هر روز) و عملکرد (مثلاً زمان بازگشت زمینی برای فضایی یا وسیله‌ی هوایی) می‌شود. برای مأموریت‌های علمی، بهره‌وری را می‌توان با در نظر گرفتن بازگشت علمی اندازه‌گیری نمود (مثلاً آزمایش‌های کامل شده یا اندازه‌گیری‌های پردازش شده). کسب دیگر اهداف مأموریت. آمادگی دارایی یکی از مهم‌ترین مزایای مورد استفاده برای توجیه به کارگیری فناوری‌های مدیریت سلامت سیستم است زیرا مستقیماً مربوط به درآمد دارایی‌های تجاری یا هزینه‌های خرید دارایی‌های نظامی و فضایی است. اعمال نگهداری مبتنی بر وضعیت می‌توانند با به حداقل رساندن رویدادهای نگهداری، عافیت‌رانه‌ی زمان ناآمد دارایی را کاهش دهند و کاهش زمان ناآمد می‌تواند انجام مأموریت‌های مشابه را بر روی ناوگان‌ها، کوچک‌تر امکان‌پذیر سازد و از این طریق هزینه‌ی خرید را کاهش دهد.

گرچه فناوری‌های مدیریت سلامت در زمینه‌هایی از بیل نظارت بر سلامت سازه، آزمون اویونیک هواپیما، ارزیابی غیرمخرب، پیش‌بینی و فیزیک وقوع خرابی برای ارائه‌ی تکنیکی پیشرفت‌های قابل توجهی داشته است، اما به کارگیری فناوری‌های جدید مدیریت سلامت برای بهره‌برداری‌های هوافضا همچنان به اندازه‌ی ده سال قبل چالش‌برانگیز است. این امر به ویژه در مورد کاربردهای سیستم‌های فضایی درست است که در آن‌ها داده‌های بهره‌برداری کمی وجود دارند که اطلاعات قابل توجه در نظر آمادگی می‌تواند از آن‌ها استخراج نمود. همراه با قابلیت اطمینان استثنایی سیستم‌های واجد شرایط برای فضا، می‌تواند ترک کرد که اکثریت مدهای وقوع خرابی شناخته شده ممکن است هرگز در پرواز فضایی واقعی مشاهده نشوند. در بسیاری موارد شبیه‌سازی‌های سخت‌افزار در حلقه^۱ یا درجه شباهت بالا تنها راه برای تکرار مدهای وقوع خرابی معین و مشاهده‌ی «صحنه‌های^۲» آن‌ها هستند تا فنون کشف وقوع خرابی مؤثر آن‌ها و جداسازی خرابی‌ها تسهیل شود.

با در نظر گرفتن موقعیت پیشرفته‌ی پزشکی امروز، به سختی می‌توان به باد آورد که علت بیماری‌های قلبی، سرطان‌های مختلف یا حتی ساده‌ترین بیماری‌ها از قبیل زخم معده را تا چند دهه قبل نمی‌دانستیم. تا سال ۲۰۱۰

1. Hardware-In-The-Loop (HIL)

2. Signatures

حوزه‌ی مدیریت سلامت سیستم تقریباً به اندازه‌ی حوزه‌ی پزشکی در دهه‌ی ۱۹۷۰ پیشرفت داشته است. امروزه می‌توانیم وقوع خرابی زیرسیستم‌ها را با دقت کشف کنیم اما ممکن است نتوانیم علت ریشه‌ای را شناسایی کنیم. اشعه‌ی ایکس و فنون بازرسی مبتنی بر فراصوت نسبتاً دقیق یا جامع هستند. ما پس از وقوع خرابی‌های متناوب که نمی‌توانند روی میز آزمایش تکرار شوند، زیرسیستم‌های هوافضا را به خدمت بازمی‌گردانیم (عبارتی که در زبان اصطلاحی هوافضا برای آن به کار می‌رود، رویدادهایی هستند که در آن‌ها «هیچ خرابی‌ای یافت نشده» یا «غیر قابل تکرار»^۱). اما نشانه‌های قدرتمندی هستند حاکی از این که سرمایه‌گذاری در مدیریت سلامت سیستم در چند دهه‌ی اخیر تفاوت ایجاد می‌کنند. اکنون نشانه‌های جالبی داریم مبنی بر این که چه چیزی می‌تواند باعث وقوع خرابی‌های متناوب دستگاه‌های اویونیک در طی پرواز شود. در آینده‌ی نزدیک مدل‌های جزئی و مبتنی بر فیزیک خواهیم داشت که می‌توانند مانع از تجربه‌ی وقوع خرابی‌های فاجعه‌آمیز در پرتاب ساماندهی شاتل فضایی چلنجر شوند. حسگر سازه‌ای نافذ^۲ کمک به کم کردن نیاز به افزایش حاشیه‌های ایمنی (و وزن) برای هواپیمای کامپوزیت خواهند نمود و به صرفه‌جویی قابل توجه در مصرف سوخت منجر می‌شود. تریبی که برای نظارت بر بالگردهای ملخ‌دار^۳ تکوین شده‌اند از قبل در توربین‌های بادی عظیم به کار می‌مانند به کاهش هزینه‌ی چرخه‌ی عمر این سرمایه‌گذاری‌ها در انرژی تجدیدپذیر کمک می‌کنند. چشم‌اندازهای شیمی و فیزیک در عمردهی باتری، راه را برای ساخت باتری‌هایی با تراکم انرژی بهتر و عمر مفید طولانی‌تر هموار می‌سازد و راه را به انقلابی در وسایل نقلیه‌ی الکتریکی منجر خواهد شد.

مدیریت سلامت سیستم در چند دهه‌ی اخیر پیشرفت چشمگیری داشته است. این کتاب، پیشرفت‌های قابل توجه اخیر را در نظریه و مفاهیم پایه‌ی مدیریت سلامت سیستم ثبت می‌کند که کاربردهای زیادی برای پیاده‌سازی مقرون به صرفه‌ی مدیریت سلامت سیستم در چرخه‌ی عمر سیستم داشته است. من امیدوارم فناوری‌های فعلی مدیریت سلامت سیستم در آینده بلوغ و تکمیل بیشتری پیدا کنند و اصول مدیریت سلامت سیستم کاملاً وارد بهره‌برداری‌های روزمره‌ی سیستم‌های پیچیده‌ی هوافضا شوند.

سید اوکن، دکترای فیزیک

رئیس انجمن پیش‌بینی و مدیریت سلامت، پال آر آلت، کالیفرنیا، ایالات متحده

اکتبر ۲۰۱۰

1. Ultrasound-Based Inspection Techniques

2. Pervasive Structural Sensing

3. Rotorcraft Drivetrains