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

عنوان و نام پدیدآورنده	مدیریت سلامت سیستم با کاربردهای هوافضایی/ ویراستاران علمی: استفان بی. جانسون ... [و دیگران]؛ ترجمه جلال راعی.[برای]دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، معاونت طرح و پژوهش، انتشارات.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، معاونت طرح و پژوهش، انتشارات، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری	ج ۱ ،۴۵۹ص.: مصور، جدول، نمودار
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۷۳۷۵-۸۶-۰ ج ۱.
وضعیت فهرست نویسی	فیپا
یادداشت	ویراستاران استفان‌بی. جانسون، توماس‌جی. گرملی، ستاس. کسلر، چارلزدی. مات، آن پترسون- هاین، کارل‌م. ریچارد، فیلیپ ای. اسکاندوراجونیور.
یادداشت	عنوان اصلی: System health management : with aerospace applications , 2011
موضوع	هوانوردی -- مهندسی سیستم‌ها -- کنترل کیفی
موضوع	Aeronautics -- Systems engineering -- Quality control
موضوع	فضانوردی -- مهندسی سیستم‌ها -- کنترل کیفی
موضوع	Astronautics -- Systems engineering -- Quality control
شناسه افزوده	جانسون، استیون بی.، ۱۹۵۹ - م.
شناسه افزوده	Johnson, Stephen B
شناسه افزوده	راعی، جلال، ۱۳۴۶ -، مترجم
شناسه افزوده	دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری، معاونت طرح و پژوهش، انتشارات.
رده بندی کنگره	۱۳۹۷ ۴م۱/T۱۵۰
رده بندی دیویی	۶۲۹/۱
شماره کتاب شناسی ملی	۵۱۷۶۸۰۲

نام کتاب | مدیریت سلامت سیستم با کاربردهای هوافضایی- جلد اول

ترجمه | دکتر جلال راعی

ویراستار فنی | مهندس محمود واصلی خباز

طراح جلد | سجاد [illegible]

چاپ اول | بهار ۱۳۹۷

تعداد | ۱۰۰۰ جلد

ناشر | انتشارات دانشگاه هوایی شهید ستاری

چاپ و صحافی | چاپخانه دانشگاه هوایی شهید ستاری

قیمت | ۳۰۰۰۰۰ ریال

مرکز پخش: تهران- بزرگراه آیت الله سعیدی- خیابان دانشگاه هوایی- دانشگاه هوایی شهید ستاری

کد پستی: ۱۳۸۴۶۷۳۴۱۱ تلفن: ۶۶۶۳۰۱۱۱- ۶۴۰۳۲۰۲۴

فهرست

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[1] تشکیل دادیم. هدف این مجمع، تشخیص رابطه‌ی بین روش‌های سنتی 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[2] 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 و به روز رسانی شده‌ای از مقالات مجمع به عنوان فصل‌های کتاب آماده نموده‌ایم. همچنین موضوعاتی 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 بر پایه‌ی برخی ملاحظات بنیادین است: تمام اجزاء الکترومکانیکی به عنوان تابعی از زمان، استفاده و شرایط محیطی دچار فرسودگی می‌شوند و سیستم‌های پیچیده شامل معایب ذاتی طراحی هستند که اغلب تنها خود را در حین بهره‌برداری نشان می‌دهند. با گذشت زمان، پیری اجزاء می‌تواند منجر به تنزل عملکرد، خرابی‌های زیرسیستم یا 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 سرسختانه‌ای 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 ایمن
- «طراحی بیرونی» مُدهای وقوع خرابی شناسایی شده
- طراحی حاشیه‌ها (انرژی، پیش‌رانش، تدارکات و غیره)
- تطبیق خرابی
- اجزاء و زیرسیستم‌های افزونه[3]

---

1. *Integrated System Health Engineering and Management(ISHEM)*
2. *System Health Management(SHM)*
3. *Redundant*

- فنون مدیریت افزونگی[1] که مقاومت در برابر خرابی[2] را برای وظایف بحرانی پرواز امکان‌پذیر می‌سازند
- کشف خرابی، جداسازی و بازیابی[3]
- محافظت در برابر خرابی[4].

بینش اساسی در مدیریت سلامت سیستم این است که گرچه وقوع خرابی‌ها ممکن است اجتناب‌ناپذیر باشند، اما اغلب با در نظر گرفتن ابزارهای مناسب و مدل‌های فیزیکی مناسب قابل پیش‌بینی هستند. در چند دهه‌ی اخیر، انجمن مهندسی سیستم شروع به بررسی اصول بنیادین وقوع خرابی‌های سیستم نمود و تلاش کرد درک کند اجزاء الکترومکانیکی چگونه پیر می‌شوند و پیش‌بینی کند که چه زمانی ممکن است خراب شوند. با تغییر یافتن تأکید از جامعه آماری (مثلاً منحنی‌های وان حمام یا آمار وایبول) به عمر مفید باقی مانده‌ی اجزاء منفرد، رشته‌ی جدیدی ظاهر شد. چند اصطلاح به معنای مدیریت سلامت سیستم یا انواع آن هستند، از جمله مدیریت سلامت سیستم یکپارچه، مدیریت سلامت وسایل نقلیه‌ی یکپارچه[5]، مدیریت تشخیص و سلامت[6]، نگهداری مبتنی بر وضعیت[7]، مدیریت سلامت کسب و کار و سیستم‌های نظارت بر سلامت و استفاده[8]. با وجود تأکید اخیر بر حوزه‌ی مدیریت سلامت سیستم به عنوان رشته‌ای جدید، مدیریت سلامت برای زیرسیستم‌ها از قبیل موتورهای هواپیماها بیش از ۳۰ سال بخشی از فعالیت‌های مهندسی بوده است.

مدیریت سلامت سیستم به عنوان یک رشته‌ی مهندسی به طراحی، تکوین، بهره‌برداری و مدیریت چرخه‌ی عمر اجزاء، زیرسیستم‌ها، وسایل نقلیه و دیگر سیستم‌های بهره‌برداری با هدف نگهداری رفتار و وظیفه‌ی اسمی سیستم و تضمین ایمنی مأموریت و اثربخشی تحت شرایط غیراسمی می‌پردازد. 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 بهره‌برداری در محیط‌های خطرناک شامل هستند، نیز ریشه دارند. مثلاً بهره‌برداری از فضاپیما در محیط‌های ناشناخته تحت تغییرات دمایی شدید، در حالی که در معرض چرخه‌های فشار مداوم و بار آیرودینامیکی مداوم هستند و موتورهای موشک که آزمایش آن‌ها تحت شرایط غیراسمی بسیار پرهزینه است.

مدیریت سلامت سیستم برای کاوش در فضا موارد ذیل را امکان‌پذیر می‌سازد:

- انصراف از پرتاب[9] 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 وارسی 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 وسیله‌ی نقلیه (خود کارآمدی) در پاسخ به شریط غیراسمی در مأموریت‌های فضایی دور و درازمدت
- نگهداری و تعمیر در فضا (مستقل)
- پردازش زمینی کارآمد سیستم‌های قابل استفاده‌ی مجدد.

مدیریت سلامت سیستم برای هواپیما موارد ذیل را امکان‌پذیر می‌سازد:

- کشف خرابی، جداسازی و بازیابی کارآمد
- پیش‌بینی وقوع خرابی‌های قریب‌الوقوع یا تنزل وظیفه‌ای[1]
- افزایش قابلیت اطمینان و آمادگی سیستم‌های مأموریت
- افزایش آگاهی موقعیتی کارکنان در مورد وسیله‌ی نقلیه
- اعمال نگهداری مبتنی بر وضعیت و درست به موقع
- پردازش و کارآمد زمینی و نمایش آمادگی دارایی.

شایان ذکر است که مدیریت سلامت سیستم جایگزینی 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 لجستیک گسترش 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 به‌کارگیری 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 برنامه‌ای را کاهش ندهند، فرصتی برای به‌کارگیری در ماموریت پرواز یا وسیله‌ی نقلیه‌ی هوافضا ندارند. پیشرفت‌های اخیر 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

---

1. Functional Degradation

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 یا نظامی یا فضاپیمای قابل استفاده‌ی مجدد مانند شاتل فضایی وجود داشته باشد. با چنین طول عمرهای خدمت طولانی، هزینه‌های نگهداری، تعمیر و اورهال[1] 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 نفرساعت نگهداری برای بازرسی، تعمیر و اورهال یا جایگزینی اجزاء بحرانی برای مأموریت و دارای عمر محدود است.

برنامه‌ی جنگنده‌ی آفندی مشترک[2] (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 پروازهای طولانی مدت روی اقیانوس ترجیح می‌دهد). به علاوه برنامه‌ی جنگنده‌ی آفندی مشترک با جاه‌طلبی هدف دارد بازرسی‌های زمان‌بندی شده‌ی موتور را کاملاً حذف کند. کلید این حرکت جسورانه پیش‌بینی یا توانایی تعیین عمر مفید اجزاء بحرانی با عمر محدود در زمان واقعی است. بر اساس این فناوری‌های پیش‌بینی، برنامه‌ی جنگنده‌ی آفندی مشترک قصد دارد زیرساخت لجستیک مستقل جامعی تکوین نماید که هزینه‌های چرخه‌ی عمر سیستم را کاهش داده و در عین حال حاشیه‌های قابلیت اطمینان را حفظ می‌کند.

ایمنی شامل ایمنی کارکنان پرواز، مسافران، کارکنان پشتیبانی زمینی و عموم مردم است. برای خدمه پروازی فضاپیماها و هواپیماهای نظامی، سیستم‌های فرار(جداسازی خلبان) معمولاً در زمان وقوع خرابی بحرانی مأموریت و نبود حاشیه‌ی افزونگی یا ایمنی یک راهبرد کاهش ریسک اولیه 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 وظیفه‌ای کسب می‌شود. یک اصل دیگر، بازیابی وقوع خرابی است که طی آن هواپیما یا فضاپیما کنترل‌های پرواز خود را (به صورت مستقل یا از طریق مداخله‌ی کارکنان) پیکربندی مجدد 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 فضاپیمای رباتیکی است که قصد کاوش در منظومه‌ی شمسی را دارد در حالی که ایمنی ممکن است دغدغه‌ی اصلی نباشد – به ویژه برای فضاپیماهایی 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 فضاپیما 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). برای کسب دیگر اهداف مأموریت. آمادگی دارایی یکی از مهم‌ترین مزایای مورد استفاده برای توجیه به‌کارگیری 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 «احتیاطگرانه» زمان ناآماد دارایی را کاهش دهند و کاهش زمان ناآماد می‌تواند انجام مأموریت‌های مشابه را با ناوگان‌های کوچک‌تر امکان‌پذیر سازد و از این طریق هزینه‌ی خرید را کاهش دهد.

گرچه فناوری‌های مدیریت سلامت در زمینه‌هایی از قبیل نظارت بر سلامت سازه، آزمون اولتراسونیک هواپیما، ارزیابی غیرمخرب، پیش‌بینی و فیزیک وقوع خرابی برای اجزاء مکانیکی پیشرفت‌های قابل توجهی داشته است، اما به‌کارگیری فناوری‌های جدید مدیریت سلامت سیستم 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 آماد را می‌توان از آن‌ها استخراج نمود. همراه با قابلیت اطمینان استثنایی سیستم‌های واجد شرایط برای فضا، می‌توان درک کرد که اکثریت مُدهای وقوع خرابی شناخته شده ممکن است هرگز در پرواز فضایی واقعی مشاهده نشوند. در بسیاری موارد شبیه‌سازی‌های سخت‌افزار در حلقه[1] با درجه شباهت بالا تنها راه برای تکرار مُدهای وقوع خرابی معین و مشاهده‌ی «صحه‌های[2]» آن‌ها هستند تا فنون کشف وقوع خرابی مؤثر آن‌ها و جداسازی خرابی توسعه تکوین شوند.

با در نظر گرفتن موقعیت پیشرفته‌ی پزشکی امروز، به سختی می‌توان به یاد 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[1] 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 نشد» یا «غیر قابل تکرار»). 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 سیستم مانند فاجعه‌ی شاتل فضایی چلنجر شوند. حسگر سازه‌ای نافذ[2] 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. ابزارهایی که برای نظارت بر بالگردهای ملخ‌دار[3] تکوین شده‌اند از قبل در توربین‌های بادی عظیم به کار می‌رفته‌اند که 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 می‌سازند که ما 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 تکامل بیشتری پیدا کنند و اصول مدیریت سلامت سیستم کاملاً وارد بهره‌برداری‌های روزمره‌ی سیستم‌های پیچیده‌ی هوافضا شوند.

سی. اوکن، دکترای فیزیک

رئیس انجمن پیش‌بینی و مدیریت سلامت، پالو آلتو، کالیفرنیا، ایالات متحده

اکتبر ۲۰۱۰

---

1. *Ultrasound-Based Inspection Techniques*
2. *Pervasive Structural Sensing*
3. *Rotorcraft Drivetrains*