

## Investigación, desarrollo y publicación de un prototipo de segmento terreno satelital

Pablo Soligo , German Merkel, Jorge S. Ierache 

Grupo de Investigación y Desarrollo de Software Aeroespacial (GIDSA)  
Departamento Ingeniería e Investigaciones Tecnológicas (DIIT)  
Universidad Nacional de la Matanza (UNLaM)

[psoligo@unlam.edu.ar](mailto:psoligo@unlam.edu.ar); [gmerkel@alumno.unlam.edu.ar](mailto:gmerkel@alumno.unlam.edu.ar); [jierache@unlam.edu.ar](mailto:jierache@unlam.edu.ar)

### RESUMEN

Las líneas de investigación y desarrollo presentadas tienen por objetivo demostrar la factibilidad de desarrollar sistemas de segmento terreno satelital costo-efectivos utilizando exclusivamente componentes dentro de los denominados, de estantería, en cualquiera de sus variantes OTS (Del Inglés Off-the-Shelf), COTS (Del Inglés Commercial-Off-The-Shelf) y OSS (Del Inglés Open Source Software) prescindiendo de soluciones propias o de herramientas de escasa penetración en la industria de software de propósito general.

**Palabras clave:** *Segmento Terreno, Software, Costo-Efectivo.*

### CONTEXTO

Las experiencias realizadas en la Maestría en Desarrollos Informáticos de Aplicación Espacial (MDIAE) (Comisión Nacional de Actividades Espaciales-Universidad Nacional de La Matanza), tanto de manera directa, operando unidades de software de segmento terreno de varias agencias, como mediante investigación general de las soluciones implementadas en el área, propiciaron la creación del grupo de investigación y desarrollo de software aeroespacial de la Universidad Nacional de La Matanza (GIDSA), en el marco de proyecto “Proince C-211: Sistemas de segmento terreno satelital de próxima generación” y actualmente se radica en el proyecto “Proince C-230,

Aprendizaje automático para el control del estado de salud en sistemas Aeroespaciales”. El GIDSA [1] está dedicado a investigar e implementar prototipos de software alternativos de bajo costo basados en las soluciones ampliamente aceptadas, de probada madurez y con penetración en la industria de software de propósito general.

### 1. INTRODUCCIÓN

El alto costo asociado a las misiones espaciales y la baja propensión a tomar riesgos determina el enfoque en las soluciones implementadas en la industria espacial ([2], [3]). El desarrollo de software está fuertemente orientado al cumplimiento de los requerimientos dificultando una estrategia más amplia y de visión de largo plazo. El grupo de investigación GIDSA desarrolla un prototipo de segmento terreno alternativo genérico, costo efectivo y basado completamente en COTS, OSS o OTS, minimizando no solo el desarrollo sino también el costo de mantenimiento.

La solución que el grupo GIDSA propone una alternativa que prescinde de software propietario o de propósito específico, haciendo a esta misma portable y poderosa.

### 2. LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

Las líneas de investigación en desarrollo proponen la exploración de alternativas basadas exclusivamente en técnicas y herramientas de alta penetración en la industria del software, en

particular, aquellas que puedan ser aplicadas en la industria espacial. El objetivo principal es demostrar que las herramientas usadas en la industria de software de propósito general pueden ser aplicadas en la industria espacial, no solamente en el segmento terreno sino también en el segmento de vuelo. La aplicación de estas técnicas puede ayudar a desarrollar soluciones de bajo costo con un alto nivel de mantenibilidad.

### **Capa de visualización y operación**

La capa de visualización del Unlam Ground Segment (UGS) está basada en el NASA OpenMCT (Open Mission Control Technologies). El NASA OpenMCT es el framework de visualización de control de misión de código abierto de la NASA.

Se evaluaron múltiples alternativas, partiendo de la necesidad de tener acceso desde múltiples plataformas. Las soluciones nativas fueron descartadas al requerir un desarrollo específico por plataforma y no mostrarse como una alternativa costo efectiva. Se han explorado soluciones basadas en paneles de comandos, como Grafana (<https://grafana.com/>). Estas alternativas resuelven de manera satisfactoria la visualización, pero son pretendidamente genéricas y carecen de necesidades propias de la industria aeroespacial. La actualización en tiempo real, paneles de comandos, si bien son técnicamente posibles, su implementación no resulta transparente, siendo estas necesidades en un software de control de misión.

Por otro lado, las soluciones SPA se presentan como la alternativa tecnológica que permite un único desarrollo compatible con prácticamente cualquier plataforma, ofreciendo un nivel de interactividad comparable, en determinados escenarios, con una aplicación nativa. Se exploró un desarrollo SPA propio invirtiéndose más de 120 horas alcanzando pobres resultados [4].

Finalmente, la implementación de la capa de visualización sobre OpenMCT fue considerada la mejor opción, ofreciendo una SPA con funcionalidad específica del área espacial y un costo de adaptación inferior al costo de desarrollo de una SPA propia.

Las interfaces del Unlam Ground Segment (UGS) están completamente basadas en la comunicación HTTP/HTTPS, siendo este un estándar en la industria del software. Toda la telemetría es incorporada y puede ser extraída del sistema mediante un servicio REST lo que permitió una integración transparente con el OpenMCT

El prototipo actual (Disponible en <https://ugs.unlam.edu.ar>), [5] permite visualizar telemetría de distintas formas, tales como gráficos y tablas, crear múltiples tableros y paneles, guardar y compartir. La visualización se conecta vía HTTP y JSON modularmente, permitiendo añadir nuevos satélites o nuevas variables de telemetría sin necesidad de modificar la aplicación web en sí. OpenMCT provee al desarrollador un framework con tableros predeterminados, almacenamiento local en el navegador y un módulo de complementos.

### **Recuperación y persistencia**

La definición de datos como alarmas, variables de telemetría, comandos, tipos de datos y formatos son almacenados sobre un RDBMS. El UGS utiliza desde su primera versión un RDBMS con el objetivo de estandarizar el almacenamiento, recuperación, seguridad e integridad de los datos en cualquier nivel de procesamiento. Los datos son accedidos por medio de un ORM, esta capa intermedia provee productividad en el desarrollo e independencia del proveedor del motor de base de datos, haciendo sencillo, dentro de ciertos límites, el cambio de RDBMS.

Por otro lado, el uso de ORMs y RDBMS, con modelos estrictamente normalizados puede establecer un límite en el rendimiento cuando se trabaja con grandes volúmenes de datos. Las tecnologías híbridas, montadas sobre motores relacionales, han sido testeadas en busca de mejores rendimientos tanto en el almacenamiento como en la recuperación para grandes volúmenes de datos.

### **Detección de fallas**

Existen tres métodos comunes de análisis de telemetría y control de salud: control de límites, sistemas expertos y sistemas basados en modelos. El primer método es el más simple y

el más común del grupo, consiste en establecer un valor aceptable máximo y un valor aceptable mínimo para un sensor con la ayuda de un experto, y verificar que los valores de telemetría de dicho sensor se mantengan entre los valores definidos. Este método es completamente insensible al contexto y puede ser tedioso establecer valores límites a cada sensor. El segundo método obtiene mejores resultados, aunque no puede encontrar tipos de fallas no consideradas o indefinidas, y requiere una laboriosa configuración. La idea detrás del tercer método es detectar anomalías y sus razones comparando simulaciones computacionales con el verdadero comportamiento del sistema.

Los tres métodos requieren que un experto continuamente complete ciertas tareas, tales como actualizar límites, crear reglas o parametrizar situaciones. Por otro lado, el aprendizaje automático provee un largo rango de posibilidades para la predicción de comportamientos, y, por tanto, detección de fallas. En lugar de un experto infiriendo reglas y desarrollando modelos, el aprendizaje automático puede ofrecer una manera más eficiente de capturar conocimiento y aplicarlo.

Desde el comienzo, el UGS verifica la salud de un satélite utilizando control de límites tanto como para variables directas como para variables derivadas. Trabajos anteriores [7] muestran la creación de una entidad asociada al tipo de telemetría donde un modelo de predicción es automáticamente creado, por tanto, presentando las habilidades del aprendizaje automático. Estableciendo dinámicamente los valores máximos y mínimos admisibles utilizando la predicción obtenida, se puede lograr que el sistema obtenga controles actualizados sensibles al contexto para el satélite.

El caso de estudio cubre el análisis de un sensor de tensión de baterías durante un eclipse, teniendo en cuenta el tiempo que el satélite se encuentra eclipsado y la tensión de la batería. La tensión de la batería normalmente decrece durante un eclipse dado que los paneles solares del satélite se encuentran parcial o totalmente

tapados por la Tierra. Una vez que los paneles solares enfrentan el Sol, la tensión de la batería se recupera rápidamente.

Usando el método de control de límites, los valores mínimos y máximos deben tener en cuenta el eclipse, y, por tanto, la amplitud de estos debe ser lo suficientemente grande. Sin embargo, existe la posibilidad de que el satélite no se encuentre eclipsado por la Tierra y que su batería se encuentre con baja tensión. Dado que el método de control de límites no conoce cuándo el satélite está o no eclipsado, no detectará ninguna anomalía (aunque en realidad puede haber un serio problema con la carga de la batería). Un grupo de reglas proveídas por un experto puede mejorar esta situación, aunque en este caso un experto es necesario y los valores mínimos y máximos finales son tan solo conocidos con el sistema en vuelo.

Con el aprendizaje automático, un proceso distribuido prueba los tipos de telemetría que tienen modelos de predicción expirados. Por cada tipo de telemetría, el sistema crea una nueva predicción de datos acorde a su configuración, crea un nuevo modelo de predicción y, en caso de ser lo suficientemente preciso, persiste el modelo, por el contrario, se señala una alarma.

Se representa en la Figura 1 - Arquitectura Conceptual muestra los principales módulos presentes en el prototipo.

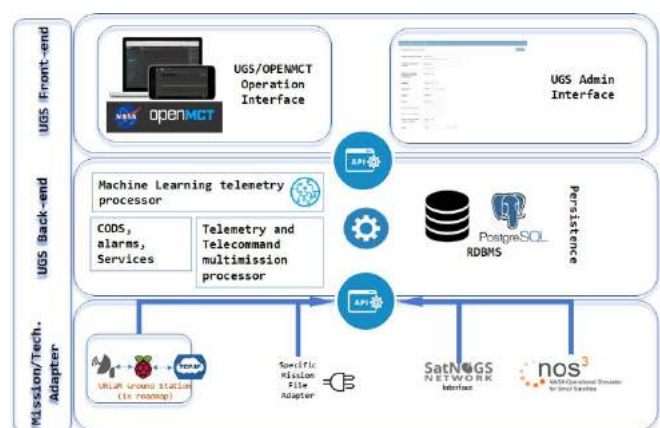


Figura 1 - Arquitectura Conceptual

La Figura 2 muestra un dashboard ejemplo con datos del satélite de satellogic butsat1 (Tita).

Accesible en <https://ugs.unlam.edu.ar/#/browse/mine/demodash>



Figura 2 – UGS/NASA OPENMCT Front-end

### 3. RESULTADOS OBTENIDOS/ESPERADOS

El UGS ha sido publicado [8] en el año 2020, donde la telemetría de los satélites BugSat1/TITA y CSIM-FD puede ser explorada y analizada. La telemetría de dichos satélites ha sido provista mayormente por la red SatNOGS. La actual capa de visualización provee una manera interactiva de explorar la telemetría de ambos satélites de manera histórica y parcialmente en tiempo real. Los paquetes son decodificados usando el procesador de telemetría descripto. Características específicas son procesadas utilizando scripts programados en lenguajes de propósito general, cargados en tiempo de ejecución [3]. Se espera añadir a la capa de visualización del UGS una interfaz completa de telemetría en tiempo real y de envío de comandos. Los scripts de comandos serán desarrollados, como se ha dicho, un lenguaje de programación de propósito general. Aunque el OpenMCT sea un framework completo, se han requerido no menos de 100 horas de desarrollo para lograr una integración parcial. Se requiere entrenamiento en el lenguaje, herramientas y estructuras necesarias para la adaptación. El framework está bien documentado, pero carece de tutoriales útiles y ejemplos, y su desarrollo puede ser complejo. Con todo, OpenMCT fue considerado la mejor opción dado el alto costo del desarrollo de SPA: problemas que el framework soluciona parcialmente.

En términos de persistencia el uso de soluciones híbridas no han mostrado una clara ventaja que justifique su implementación [6].

Las primeras implementaciones de aprendizaje automático aplicado a la telemetría satelital han dado resultados prometedores [3] aunque no está exenta de problemas o de puntos de investigación por explotar. La búsqueda de relaciones o las variables de contexto todavía requieren del asesoramiento de un experto para su correcta identificación. Una de las futuras líneas de investigación es la implementación de una solución al problema de encontrar correlaciones y la corrección automática de estas, esperando utilizar completamente el poder computacional, no para reemplazar al experto, sino para encontrar en él un aliado en la búsqueda e identificación de patrones escondidos.

### 4. FORMACIÓN DE RECURSOS HUMANOS

Los prototipos desarrollados presentan una plataforma realista de experimentación. Le permite a investigadores y estudiantes probar soluciones de software, obtener límites, comparar alternativas y establecer criterios de decisión. La posibilidad de trabajar con datos de varias misiones espaciales desde pequeñas misiones universitarias hasta grandes misiones científicas permite responder a la premisa de desarrollar un sistema terreno transparente al satélite en órbita. Actualmente el grupo de investigación este compuesto por un investigador formado, un investigador en formación y un alumno investigador becario BIC (Beca de investigación científica UNLaM).

### 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] <https://gidsa.unlam.edu.ar/>, *Grupo de Investigación y Desarrollo de Software Aeroespacial de la Universidad Nacional de La Matanza*, 2020.
- [2] P. Soligo y J. S. Ierache, «Segmento Terreno Para Misiones Espaciales de Próxima Generación,» *WICC 2019*.
- [3] P. Soligo y J. S. Ierache, «Software de segmento terreno de próxima generación,»

- de *XXIV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (La Plata, 2018)*, 2018.
- [4] P. Soligo y J. S. Ierache, «Experiences and lessons learned developing a next-generation ground segment prototype,» *2nd IAA Latin American Symposium on Small Satellites*.
- [5] *openmct nasa open mission control technologies*.
- [6] P. Soligo, G. Merkel y J. S. Ierache, «Telemetría de altas prestaciones sobre base de datos de serie de tiempos,» *REDDI 2021*, 2021.
- [7] P. Soligo y J. S. Ierache, «Arquitectura de segmento terreno satelital adaptada para el control de límites de telemetría dinámicos,» de *XXV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (La Plata, 2019)*, 2019.
- [8] <https://ugs.unlam.edu.ar/>, *Unlam Ground Segment*, 2020.
- [9] J. J. Ramos Pérez, «A design for an advanced architecture of satellite ground segments,» 2014.

### ACRÓNIMOS

COTS  
Commercial-Off-The-Shelf.....

GIDSA  
Grupo de Investigación y Desarrollo de Software Aeroespacial.....

HTTP  
Protocolo de transferencia de hipertexto, del Inglés Hypertext Transfer Protocol.....

HTTPS  
Protocolo de transferencia de hipertexto seguro, del inglés Hypertext Transfer Protocol Secure.....

NASA  
Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio, del Inglés, National Aeronautics and Space Administration.....

OpenMCT  
Software de control de misión abierto, del Inglés Open Source Mission Control Software.....

ORM  
Mapeo objeto-relacional, del inglés Object-Relational Mapping.....

OSS  
Open Source Software.....

OTS  
Off-the-Shelf.....

RDBMS  
Sistema de administración de base de datos relacional, del Inglés Relational Database Management System.....

REST  
Transferencia de Estado Representacional, del inglés representational state transfer.....

SatNOGS  
Satellite Networked Open Ground Station.....

SPA  
Aplicación de página única, del Inglés Single Page Application.....

UGS  
UNLaM Ground Segment.....