



Código	FPI-002
Objeto	Protocolo de presentación de proyectos de investigación SIGEVA UNLaM
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	4
Vigencia	12/11/2021

Unidad Ejecutora:
Departamento Ingeniería investigaciones Tecnológicas.

Programa de acreditación:
PROINCE

Título del Programa de Investigación¹:

Director del Programa:

Título del proyecto de investigación:
Estación Terrena Satelital Experimental UNLaM

PIDC:

Elija un elemento.

PII

Elija un elemento.

Director del proyecto: Ierache Jorge Salvador

Co-Director del proyecto: Soligo Pablo

Integrantes del equipo:

Ing. Martínez Pablo

Ing. Becerra Martín

Ing. Sanz Diego

Alumno Merkel Germán I

Alumno Ferreira Pablo

Alumno Mansfeld Santiago

Fecha de inicio:

01/01/2022

Fecha de finalización:

31/12/2023

¹ Completar solo en caso de que el presente proyecto se encuadre en el marco de un Programa de Investigación

1-Cuadro resumen de horas semanales dedicadas al proyecto por parte de director e integrantes del equipo de investigación:²

Rol del integrante	Nombre y Apellido	Cantidad de horas semanales dedicadas al proyecto
Director	Jorge Ierache	4
Co-director	Pablo Soligo	8
Director de Programa		
Docente-investigador UNLaM	Martín Becerra	4
Docente-investigador UNLaM	Diego Sanz	4
Docente-investigador UNLaM	Pablo Martínez	4
Investigador externo ³		
Asesor-Especialista externo ⁴		
Graduado de la UNLaM ⁵		
Estudiante de carreras de posgrado (UNLaM) ⁶		
Alumno de carreras de grado (UNLaM) ⁷	Germán Merkel	4
Alumno de carreras de grado (UNLaM)	Pablo Ferreira	4
Alumno de carreras de grado (UNLaM)	Santiago Mansfeld	4
Personal de apoyo técnico administrativo		

2-Plan de investigación

2. Tipo de actividad I+D: Desarrollo Experimental

2.1. Resumen del Proyecto:

Este proyecto se enfoca en el desarrollo de una estación terrena satelital experimental propia de bajo costo, cerrando así el ciclo de ingeniería; bajada, demodulación, decodificación, almacenamiento, explotación y publicación de datos satelitales iniciado con el Proince C211.

Siguiendo los lineamientos de diseño de la red satnogs (<https://satnogs.org/>) desarrollar en una primera etapa una antena con rotor incorporado (Ilustración 1 Rotor según diseño satnogs) para posteriormente vincularlo con la infraestructura de segmento terreno (UGS) que actualmente posee el grupo GIDSA alojada en los servidores de la UNLaM (<https://ugs.unlam.edu.ar/>).

² Incluir todos los integrantes del equipo de investigación, agregando tantas filas para cada rol de integrante del equipo de investigación como sea necesario.

³ Deberá adjuntar FPI 28, 29 y 30 debidamente firmados.

⁴ Idem nota 2.

⁵ Idem nota 2

⁶ Adjuntar certificado de materias aprobadas de estudiantes de carrera de posgrado.

⁷ Adjuntar certificado de materias aprobadas de estudiantes de carrera de grado.



Ilustración 1 Rotor según diseño satnogs

En una segunda etapa (segundo año, ver gantt) desarrollar la infraestructura de hardware y software que permita la descarga automática de información satelital y ayude a establecer vínculos con misiones satelitales universitarias ofreciendo la descarga y publicación de los datos.

Las mejoras en el proceso de apuntamiento de antena mediante calidad de señal y la automatización de las descargas son objetivos adicionales establecidos.

El desarrollo de una estación terrena experimental propia, sumado a la actual infraestructura más el desarrollo de la capacidad de comandar otorgarían a la UNLaM un dominio y experiencia comprobada suficiente para, en el mediano plazo, desarrollar misiones satelitales propias.

2.2. Palabras clave:

Estación Terrena, Segmento Terreno, Misión Satelital.

2.3 Resumen del Proyecto (inglés):

This project aims to develop its own low-cost experimental satellite ground station, closing the engineering cycle: downloading, demodulation, decoding, storage, exploitation, and publication of satellite data.

Following the design guidelines of the satnogs network (<https://satnogs.org/>), the first stage is to develop an antenna with a built-in rotor (Ilustración 1 Rotor según diseño satnogs) and then link it to the ground segment infrastructure currently owned by the GIDSA group and hosted in UNLaM servers (<https://ugs.unlam.edu.ar/>).

In a second stage, the hardware and software infrastructure will be developed to allow automatic download of satellite information and help to establish links with university satellite missions offering download and publication of data.

Improvements in the antenna pointing process through signal quality and the automation of downloads are further objectives.

The development of its own experimental ground station, coupled with the current infrastructure plus the development of commanding capability would give UNLaM sufficient proven expertise and experience to, in the medium term, develop its own satellite missions.

2.4 Palabras clave (inglés):

Ground Station, Ground Segment, Satellite Misión

2.5 Disciplina desagregada: 1703 INFORMATICA-SISTEM. D/INFORMAC. PROGRAMAS ET

2.6 Campo de aplicación: 1120 Prom.Gral.del Conoc. Cs.de la Ing.y Arq

2.7 Especialidad: Ingeniería Informática

2.8 Estado actual del conocimiento:

La Universidad Nacional de La Matanza posee a través de su Grupo de Investigación y Desarrollo Aeroespacial (GIDSA) un prototipo de segmento terreno. El mismo se encuentra alojado en servidores de la universidad y público en la dirección <https://ugs.unlam.edu.ar> y recibiendo visitas de distintas partes del mundo (Ilustración 2 - Visitas UGS. Fuente: Google Analytics - 10/02/2022).

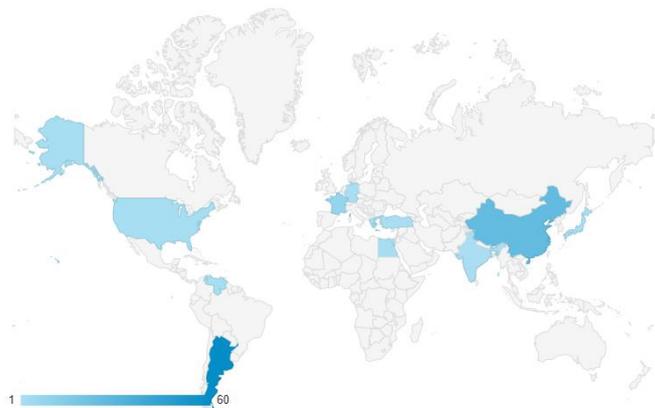


Ilustración 2 - Visitas UGS. Fuente: Google Analytics - 10/02/2022

El prototipo interpreta, procesa, almacena y muestra de forma centralizada y estandarizada telemetría satelital de varias misiones heterogéneas incluyendo innovaciones en el proceso de interpretación de telemetría de forma genérica. El prototipo también, de forma experimental, logró comandar un satélite del fabricante ISISPACE (<https://www.isispace.nl/>).

Con todo, tanto los datos que actualmente se publican o los que se mantienen para uso interno por cuestiones de confidencialidad tiene como fuente la red de estaciones terrenas satnogs (<https://network.satnogs.org/>), archivos enviados por agencias espaciales con las cuales se mantiene contacto o fuentes alternativas. Actualmente el grupo no cuenta con capacidad de descarga automatizada de telemetría satelital excepto las pruebas de factibilidad realizadas en 2021. La compra de una estación terrena excede las capacidades presupuestarias del grupo de investigación y representa una alternativa de escaso valor de formación de recursos humanos.

En 2021, como prueba piloto, utilizando una antena de fabricación nacional, un radio y una pila de software se logro demodular, decodificar, interpretar la baliza del satélite BUGSAT1/TITA perteneciente a la empresa satellogic.

Pila de software utilizada

GPredict

Tiene como función principal, a través de archivos que indican la posición orbital provistos por NORAD, de determinar fecha y hora de la pasada por un lugar determinado y las características de la pasada, ángulos y altitud alcanzada. Por otro lado, conectado a software de sintonización y grabación, modifica la frecuencia para compensar el efecto Doppler producido por el movimiento satélite en órbita.

SDRSharp

Tiene como función sintonizar, demodular y transferir la señal a un destino capaz de decodificarla. En el caso de la prueba de factibilidad desarrollada en 2021 el destino de la señal fue un archivo de audio para su posterior postproceso utilizando GNU Radio.

GNU Radio

Su función es la de tomar una señal de una fuente (Archivo o red) y generar el binario a partir de la aplicación de filtros y decodificadores según el satélite.

Una vez obtenido el archivo binario se utiliza el servidor de UGS para su incorporación y visualización. Esta prueba de factibilidad fue una prueba completamente manual donde, excepto la captura de la pasada del satélite, el resto de las operaciones se realizar de manera asincrónica. Uno de los objetivos del proyecto de investigación es lograr un proceso completamente automatizado.

Componentes de hardware utilizados

Antena Yagi, RTL-SDR Radio, Preamplificador, Cables y PC Linux Ubuntu.

Se observa que en una pasada de 10 minutos solo se pudo obtener un único paquete, esto se debe a que la prueba no se han utilizado rotores y el apuntamiento se realizo de manera manual intentando lograr la mayor precisión posible en función de la ayuda brindada por GPredict. Para determinados satélites el apuntamiento no es opcional y por eso la necesidad de un rotor. La compra de un rotor o una estación terrena completa excede las capacidades presupuestarias y no es una alternativa formativa al menos en el campo de las comunicaciones por radiofrecuencia, por tanto, siguiendo los lineamientos de la red satnogs se pretende obtener una solución de bajo costo que permita cerrar completamente el ciclo de ingeniería del segmento terreno para la bajada de datos.

2.9. Problemática a investigar:

La prueba de factibilidad fue un proceso manual que demostró la capacidad del hardware y software utilizado, demostró también la factibilidad de proceso, aunque este fuera totalmente manual y se pudo obtener un único paquete luego de varias pruebas. Tanto el proceso de apuntamiento, como el resto de los procesos para obtener la baliza binaria se realizaron de forma completamente asincrónica y manual hecho que atenta contra la calidad de la recepción.

Se pretende implementar una solución automática que permita apuntamiento, decodificación, demodulación y posterior incorporación de los datos al UGS de manera sincrónica y utilizando los servicios web que actualmente el UGS publica. Adicionalmente ser miembro activo, como estación terrena de la red satnogs.

La mejora de los módulos de apuntamiento y automatización general utilizando la potencia de la señal y capacidades extendidas de software respectivamente son también objetivo buscados como la propuesta de controladores alternativos.

2.10. Objetivos:⁸

Objetivos generales

- Dotar a la Universidad Nacional de La Matanza de una plataforma prototipo de segmento terreno completa, desde el enlace con el satélite hasta la publicación de las variables de ingeniería o datos ciencia, a fin de contribuir con consolidación de la Unidad de Desarrollo del GIDSA- DIIT UNLaM,
- Generar una plataforma de formación de recursos humanos realista, con enlaces con satélites reales, a fin de contribuir con la próxima apertura de la Maestría en Desarrollos Informáticos de Aplicación Satelital (MDIAE)

⁸ Detallar objetivo general y objetivos específicos.

Objetivos específicos

-
- Obtener una infraestructura de bajada, explotación y publicación de datos que sirva como nexo con universidades que ya posean sus misiones satelitales
- Desarrollar un rotor con sus partes mecánicas y la electrónica de control para apuntar de forma automática la antena según las pasadas satelitales.
- Desarrollar una infraestructura de software para obtener, almacenar y procesar los datos satelitales, variables de ingeniería o datos ciencia, a partir de la señal recibida.
- Mejorar los diseños propuestos por satnogs utilizando la potencia de la señal.
- Obtener conjuntos de datos propios de que ayuden a las investigaciones relacionadas con la aplicación del aprendizaje automático a la telemetría satelital
- Vinculación como estación terrena activa de la red satnogs (Primera Universidad en Argentina)

2.11. Marco teórico:

La red satnogs es una red de estaciones terrenas de alcance global. La red está conformada por universidades, organismos e individuos que colaboran en la bajada y publicación de datos crudos de satélites artificiales que orbitan la tierra. Se pueden encontrar datos de satélites meteorológicos, nanosatélites universitarios, pruebas tecnológicas de empresas aeroespaciales entre otros. El acceso a los datos crudos requiere de usuario habilitado. Los miembros de comunidad también intentan obtener información para la interpretación de los datos descargados, para un subconjunto de satélites esto ha sido posible.

La red incluso ha sido determinante a la hora de ubicar satélites perdidos o como colaboradora en misiones de distinto orden.

Para simplificar la incorporación de nuevos miembros a la red (satnog), se dispone de una serie de documentación que, abarca desde el desarrollo de un rotor de bajo costo, hasta manuales para decodificar señales (<https://satnogs.org/documentation/projects/>). La red se ocupa de mantener, dentro de las posibilidades, información sobre las frecuencias de los satélites operativos actualmente en órbita.

En el caso del proyecto de investigación y desarrollo propuesto se pretende en una primera versión seguir los diseños propuestos tanto como sea posible. Tanto las antenas comerciales propuestas como los controladores se hacen prohibitivos ya sea por cuestiones de costos (Normalmente importados) o por restricciones comerciales. Ambas limitaciones obligan a desarrollar soluciones propias en alguna capa del stack tecnológico necesario para el éxito de la descarga.

2.12. Hipótesis de trabajo o los supuestos implícitos (según corresponda al diseño metodológico):⁹

Se pretende que la estación terrena experimental realice el proceso de apuntamiento, demodulación, decodificación y carga en UGS de manera totalmente automática y sincrónica, pudiendo tener los datos en tiempo real para un subconjunto de satélites según frecuencia compatibles con las antenas. Adicionalmente se establece la capacidad de mejorar el apuntamiento de la antena, actualmente determinado únicamente por la posición orbital propagada a partir de un TLE (Two lines elements) provisto por NORAD. La potencia de la señal recibida puede ser un dato que permita un ajuste fino posterior para mejorar el rendimiento general, tanto el TLE como su posterior propagación tienen un error asociado que influye en la calidad de apuntamiento con la consecuente pérdida de calidad de la señal. Por otro lado, la visualización de telemetría en tiempo real es una característica parcialmente implementada en el UGS y que actualmente no está operativa.

⁹ En proyectos de desarrollo tecnológico puede ser reemplazada una hipótesis de trabajo por la propuesta de solución al problema de investigación mediante el diseño de un prototipo o elemento equivalente.

2.13. Metodología: Cualitativa, experimental. En la primera etapa (ver Gantt), se deberá garantizar el correcto apuntamiento, la descarga de paquetes crudos durante la pasada, su demodulación, decodificación e integración con UGS. Si existe información para la interpretación del paquete el mismo debe ser procesado para ser visualizado en valores de ingeniería en la interfaz pública (www.ugs.edu.ar). Durante la segunda etapa se realizarán adecuaciones que permitan mejoras en el apuntamiento de antena a fin de maximizar el tiempo de pasada de cada satélite.

2.14. Bibliografía:

White, D. J., Giannelos, I., Zissimatos, A., Kosmas, E., Papadeas, D., Papadeas, P., ... & Charitopoulos, I. (2015). SatNOGS: satellite networked open ground station.

White, D., Shields, C., Papadeas, P., Zissimatos, A., Surligas, M., Papamatthaiou, M., ... & Kosmas, E. (2018). Overview of the satellite networked open ground stations (SatNOGS) project.

LeBlanc, A. A., White, J., Paradiso, C., Freigang, G., Flaten, P., & White, D. J. (2016). SatNOGS Project.

Bloessl, B., Leitner, C., Dressler, F., & Sommer, C. (2013). A GNU radio-based IEEE 802.15. 4 testbed. 12. GI/ITG KuVS Fachgespräch Drahtlose Sensornetze (FGSN 2013), 37-40.

Werth, K. M., DeVol, E. R., & Scheve, Z. D. (2015). Valpo-Sat: The Rotator Software and Hardware for the SatNOGS Open-Sourced Satellite Ground Station.

Schmid, T. (2006). Gnu radio 802.15. 4 en-and decoding. unpublished document and source.

O'shea, T. J., Clancy, T. C., & Ebeid, H. J. (2007, November). Practical signal detection and classification in gnu radio. In SDR forum technical conference (SDR).

Radio, G. N. U. (2012). GNU radio. 2014-01-07]. <http://gnuradio.org>.

Trimble, J. (2014). Open Source Software for Mission Operations-Technology, Licensing and Community. In SpaceOps 2014 Conference (p. 1762).

2.15. Programación de actividades (Gantt):¹⁰

¹⁰ Definir la programación de actividades para cada objetivo específico, y las personas responsables de su ejecución.

	Name	Duration	Start	Finish	Predecessors	Resource Names
	Ampliación de Artículo CACIC/Computer Science	499 days?	2/1/22 8:00 AM	12/29/23 5:00 PM		
	Ampliación del artículo CACIC 2021	14 days	2/1/22 8:00 AM	2/18/22 5:00 PM		Pablo Soligo;German Merkel
	Corrección de artículo	5 days	2/21/22 8:00 AM	2/25/22 5:00 PM	2	Pablo Soligo;Jorge Ierache
	Mantenimiento prototipo UGS	499 days?	2/1/22 8:00 AM	12/29/23 5:00 PM		Pablo Soligo;German Merkel...
	Doc. Pro 2022-2023	18.875 days	2/1/22 9:00 AM	2/25/22 5:00 PM		Pablo Soligo;Jorge Ierache
	Reunion de equipo	0.833 days?	3/1/22 8:00 AM	3/1/22 3:40 PM		Pablo Soligo;Jorge Ierache;...
	Desarrollo de estación terrena experimental (P1)	218.167 da...	3/1/22 3:40 PM	12/30/22 5:00 PM		
	Desarrollo Mecánico 1	18.167 day...	3/1/22 3:40 PM	3/25/22 5:00 PM		
	Relevamiento de documentación	4.167 days	3/1/22 3:40 PM	3/7/22 5:00 PM	6	Pablo Soligo;Jorge Ierache;...
	Compra de insumos faltantes	3 days	3/14/22 8:00 AM	3/16/22 5:00 PM	11	Pablo Soligo;Jorge Ierache
	Armado mecanico	3 days?	3/9/22 8:00 AM	3/11/22 5:00 PM	9	Pablo Soligo;Pablo Martinez;...
	Bitacora/Documentación de armado y publicación	10 days	3/14/22 8:00 AM	3/25/22 5:00 PM	11	Pablo Soligo;Santiago Mansf...
	Desarrollo Controlador 1	90 days	4/8/22 8:00 AM	8/11/22 5:00 PM		
	Investigación e implementación de software de control de rotor	30 days	4/8/22 8:00 AM	5/19/22 5:00 PM	12	Pablo Soligo;German Merkel...
	Implementación sobre microcontroladores disponibles	30 days	5/20/22 8:00 AM	6/30/22 5:00 PM	14	Pablo Soligo;German Merkel...
	Conexionado, ajustes y pruebas de integración	30 days	7/1/22 8:00 AM	8/11/22 5:00 PM	15	Pablo Soligo;German Merkel...
	Desarrollo Informático 1	105 days	8/8/22 8:00 AM	12/30/22 5:00 PM		
	Integración GPredict-Orbitron	20 days	8/10/22 8:00 AM	9/6/22 5:00 PM		Pablo Soligo;German Merkel...
	Desarrollo experimental de posicionamiento por propagación propia	60 days	8/8/22 8:00 AM	10/28/22 5:00 PM		Pablo Soligo;German Merkel...
	Integración GNU Radio	30 days	9/6/22 8:00 AM	10/17/22 5:00 PM		
	Integración Satnogs	55 days	10/17/22 8:00 AM	12/30/22 5:00 PM		Pablo Soligo;German Merkel...
	Publicación CACIC 2022	30 days	7/1/22 8:00 AM	8/11/22 5:00 PM		Pablo Soligo;Jorge Ierache;...
	Desarrollo estación terrena experimental (P2)	169 days	2/1/23 8:00 AM	9/25/23 5:00 PM		
	Desarrollo Mecánico 2	80 days	2/1/23 8:00 AM	5/23/23 5:00 PM		
	Montaje sobre sitio final	60 days	2/1/23 8:00 AM	4/25/23 5:00 PM		Pablo Soligo;Jorge Ierache;...
	Conexionado e integración	20 days	4/26/23 8:00 AM	5/23/23 5:00 PM	25	Pablo Soligo;Jorge Ierache;...
	Desarrollo Controlador 2	90 days	5/23/23 8:00 AM	9/25/23 5:00 PM		
	Mejoras al apuntamiento por calidad de señal	90 days	5/23/23 8:00 AM	9/25/23 5:00 PM		Pablo Soligo;Jorge Ierache;...
	Desarrollo Informático 2	83 days	4/29/23 8:00 AM	8/23/23 5:00 PM		
	Integración telemetría tiempo real OPENMCT	30 days	4/29/23 8:00 AM	6/9/23 5:00 PM		
	Publicación Congreso 2023	60 days	6/1/23 8:00 AM	8/23/23 5:00 PM		
	Cierre de proyecto	21 days?	12/1/23 8:00 AM	12/29/23 5:00 PM		

2.16. Resultados en cuanto a la producción de conocimiento:

Como continuidad al proyecto C230 y especialmente del C211 el proyecto de investigación cierra el ciclo de ingeniería dejando un prototipo de segmento terreno completo de muy bajo costo que deriva los procesos a unidades de software en lugar de depender de costosos equipamientos de hardware. Desde la bajada de datos directa, pasando por las etapas de procesamiento hasta su publicación en tiempo real sobre unidades de software multiplataforma. Se desarrollará también un controlador propio utilizando hardware no propietario y de acceso extendido pudiendo mejorar también la calidad de apuntamiento en función de la señal.

2.17. Resultados en cuanto a la formación de recursos humanos:

El presente proyecto otorga continuidad a la unidad de desarrollo de proyectos satelitales de la UNLaM, generando la formación de RRHH y contribuyendo con la iniciación en la investigación de alumnos becarios, y potencialmente la radicación de tesis de grado y posgrado.

Santiago Mansfeld y Pablo Ferreira se suman a German Merkel como alumnos becarios y futuros investigadores. El desarrollo de un prototipo de segmento terreno particularmente contribuye con la formación y conocimientos particularmente en:

- Comunicación, radiofrecuencias y procesamiento de señales.
- Sistemas de control (Controlador del rotor)
- Sistemas distribuidos
- Redes
- Bases de datos relacionales (Almacenamiento y explotación de telemetría)
- Desarrollos web (Capa de publicación)

El presente proyecto representa también la base de futuros proyectos de segmento de vuelo y la posible radicación de tesis doctorales en el área.

El proyecto ofrece continuidad a la conformación de un laboratorio para proyectos satelitales, equipamiento de computadoras y equipos de comunicaciones.

La formación de los integrantes tanto en el área técnica como en el mecanismo formal de investigación y publicación conforma una importante porción de nuestro trabajo.

2.18. Resultados en cuanto a la difusión de resultados:

En el marco de la red de universidades con carreras en informática se participará en el Workshop de Ciencias de la Computación (WICC 2023) y en el Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC 2022/CACIC 2023) con la finalidad de difundir el proyecto como así también cooperar con otras universidades y laboratorios de investigación en materia software. Internacionalmente, se participará mediante la presentación de artículos científicos en congresos, simposios y workshops del área específica (Ej: 4nd International Academy of Astronautics Latin American Symposium on Small Satellites). Esto último sujeto a disponibilidad presupuestaria. Adicionalmente se participará en diversos encuentros de la comunidad de desarrollo de software.

2.19. Resultados en cuanto a transferencia hacia las actividades de docencia y extensión:

Se espera que el producto sea de utilidad para diferentes misiones satelitales y sea una plataforma de enseñanza y entrenamiento en primera instancia en asignaturas de carreras de grado de índole técnico dentro de las ingenierías (Comunicaciones, Redes, Programación, Sistemas de control) y alternativamente para actividades de extensión o convenios específicos. Los datos obtenidos de diferentes misiones estarán disponibles y publicados para su uso dentro de la UNLaM. Los datos obtenidos son utilizados actualmente en prácticas de materias de perfil técnico dentro del carrera de Ingeniería en Informática y en cursos como los dictados en CACIC 2020. La plataforma completa estará disponible como activo de la universidad para ser aprovechada por las asignaturas que así lo requieran.

2.20. Resultados en cuanto a la transferencia de resultados a organismos externos a la UNLaM:

Los datos de bajada crudos estarán disponibles para la red satnogs y la comunidad liberspace en general. Las experiencias y resultados estarán disponibles para su aprovechamiento en la MDIAE (Maestría en cooperación con la CONAE, Comisión Nacional de Actividades Espaciales) como también para su análisis y difusión dentro del organismo.

2.21. Vinculación del proyecto con otros grupos de investigación del país y del exterior:

El éxito del proyecto, la instalación exitosa del prototipo de estación terrena experimental y su integración al UGS permitirán la vinculación con otras universidades que tengan proyectos satelitales activos que involucren un satélite en órbita y que requieran una estación terrena disponible en el hemisferio sur.

También se planifica la incorporación de la estación terrena como miembro activo de la red SatNogs.

2.22. Destinatarios:

Tipo de destinatario		Subtipo de destinatario ¹¹	¿Cuál? Especificar	Demandante ¹²	Adoptante ¹³
Sector Gubernamental	Gobiernos	Del Poder Ejecutivo nacional			
		Del Poder Ejecutivo provincial			
		Del Poder Ejecutivo municipal			
	Otras Instituciones gubernamentales	Poder Legislativo en sus distintas jurisdicciones			
		Poder Judicial en sus distintas jurisdicciones			
Sector Salud		Hospitales, centros comunitarios de salud y otras entidades del sistema de atención			
Sector Educativo		Sistema universitario	UNLaM-DIIT-GIDSA	X	X
		Sistema de educación básica y secundaria			
		Sistema de educación terciaria			
Sector Productivo		Empresas			
		Cooperativas de trabajo y producción			
		Asociaciones del Sector	SATNOGS		X
Sociedad Civil		ONG's y otras organizaciones sin fines de lucro			
		Comunidades locales y particulares			

¹¹ Marcar con una X

¹² Demandante: entidad administrativa de gobierno nacional, provincial o municipal constituida como demandante externo de las tecnologías desarrolladas, que determina la necesidad del proyecto por su importancia social. Marcar con una X

¹³ Adoptante: beneficiario o usuario en capacidad de aplicar los resultados desarrollados (organismos gubernamentales de ciencia y tecnología nacionales o provinciales; universidades e institutos universitarios de gestión pública o privada; empresas públicas o privadas; entidades administrativas de gobierno nacionales, provinciales o municipales; entidades sin fines de lucro; hospitales públicos o privados; instituciones educativas no universitarias; y organismos multilaterales. Marcar con una X

3-Recursos Existentes¹⁴

Descripción/ concepto	Cantidad	Observaciones
Computadora Completa	1	Proince C 211
Conjunto de Antenas	2	Proince C-230

4-Recursos financieros¹⁵

	Rubro	Año 1	Año 2	Total
Gastos de capital (equipamiento)	a) Equipamiento (1)	0	0	
	b) Licencias (2)	0	0	
	c) Bibliografía (3)	0	0	
	Total Gastos de Capital	0		
Gastos corrientes (funcionamiento)	d) Bienes de consumo	35000	35000	70000
	e) Viajes y viáticos (4)	10000	10000	20000
	f) Difusión y/o protección de resultados (5)	15000	15000	30000
	g) Servicios de terceros (6)	20000	20000	40000
	h) Otros gastos (7)	0	0	0
	Total Gastos Corrientes	80000	80000	160000
	Total Gastos (Capital + Corrientes)	80000	80000	160000

Aclaraciones sobre rubros del presupuesto

1 se considera particularmente bienes de consumo para el montaje y armado del sistema de control de antena: cableados, conectores, interfases, adaptadores, fuentes, cajas estancas motores de antena, material construcción base de antena, cuerpo de antena., entre otros misceláneos.

Aclaración: Si bien el lugar recomendado de la instalación del conjunto de antena es la terraza del polo tecnológico del DIIT-UNLaM, con su control desde la oficina N° 3 del polo tecnológico, no considera fondos específicos para este fin en el presente proyecto, de ser de interés luego de las pruebas de la estación terrena experimental, los fondos y gestión estarán a cargo del DIIT,

2 licencias: no se consideran.

3 bibliografía: no se considera.

4 viajes y viáticos: Viajes y viáticos en el país: Gastos de viajes, viáticos se consideran para la asistencia a workshops, y congresos para la presentación de trabajos (WICC, CACIC) a nivel nacional

5 difusión y/o protección de resultados: se considera para cubrir gastos de publicaciones de artículos a nivel nacional, inscripción a congresos y/o reuniones científicas (WICC, CACIC). La difusión a nivel internacional está considerada, pero requerirá que los costos sean cubiertos por el DIIT.

6 servicios de terceros: Servicios de terceros no personales: Servicios de mecanización de partes de antena, traducciones.

7 Otros gastos: Incluir, si es necesario, gastos a realizar que no fueron incluidos en los otros rubros.

¹⁴ Antes de confeccionar el presupuesto del proyecto, será necesario que el director incluya en esta tabla si dispone de recursos adquiridos con fondos de proyectos anteriores (equipamiento, bibliografía, bienes de consumo, etc.) a ser utilizados en el proyecto a presentar, y además se recomienda consultar en la Unidad académica la disponibilidad de recursos existentes factibles de ser utilizados en el presente proyecto.

¹⁵ Justificar presupuesto detallado. Para compras de un importe superior a \$15000.- se requieren tres presupuestos. (Resolución Rectoral N°177/2021.)

4.1 Origen de los fondos solicitados

Institución	% Financiamiento
UNLaM	100



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

Departamento:
DIIT

Programa de acreditación:
PROINCE

Programa de Investigación¹:

Código del Proyecto: C245

Título del proyecto
Estación terrena experimental UNLaM

Director:
Jorge Ierache
Director externo:
Codirector:
Pablo Soligo

Integrantes: Pablo Witold Martinez, Martín Becerra, Diego Sanz

Investigador Externo, Asesor- Especialista, Graduado UNLaM:

Alumnos de grado: (Aclarar si tiene Beca UNLaM/CIN)
German Merkel, Pablo Ferreira, Santiago Mansfeld, Rocío Belén Fernández (Beca UNLaM)
Alumnos de posgrado:

Resolución Rectoral de acreditación: N° 758

Fecha de inicio: 01/01/2022

Fecha de finalización: 31/12/2023

¹ Los Programas de Investigación de la UNLaM están acreditados con resolución rectoral, según lo indica la Resolución HCS N° 014/15 sobre **Lineamientos generales para el establecimiento, desarrollo y gestión de Programas de Investigación a desarrollarse en la Universidad Nacional de La Matanza**. Consultar en el departamento académico correspondiente la inscripción del proyecto en un Programa acreditado.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

A. Desarrollo del proyecto (adjuntar el protocolo)

A.1. Grado de ejecución de los objetivos inicialmente planteados, modificaciones o ampliaciones u obstáculos encontrados para su realización (desarrolle en no más de dos (2) páginas)

A continuación, se listan los objetivos específicos y el grado de avance en cada uno de ellos:

Obtener una infraestructura de bajada, explotación y publicación de datos que sirva como nexo con universidades que ya posean sus misiones satelitales.

Este punto se encuentra en un grado de avance de entre el 60% y 80%. Se tiene la infraestructura de hardware y software para la decodificación, almacenamiento y visualización de datos (<https://ugs.unlam.edu.ar/>). La pila de software para a demodulación se ha probado por fuera del sistema global, es decir, no integrada al prototipo.

Desarrollar un rotor con sus partes mecánicas y la electrónica de control para apuntar de forma automática la antena según las pasadas satelitales.

Este punto se encuentra en un grado de avance del 80%. Con la ayuda de Circo Studio se han conseguido buena parte de las piezas plásticas necesarias para los rotores (Figura 1) y los rotores se encuentran en desarrollo mecánico avanzado (Figura 2Error: Reference source not found y Figura 3). En este punto fue necesaria la ayuda del taller de UNLaM para el ensamblado. Como principal obstáculo se encuentran las piezas inexistentes en el país (Caño aluminio 40mm) que debió ser remplazado por piezas plásticas torneadas especialmente. La electrónica también debió ser remplazada por una solución propia.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



Figura 1



Figura 2



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

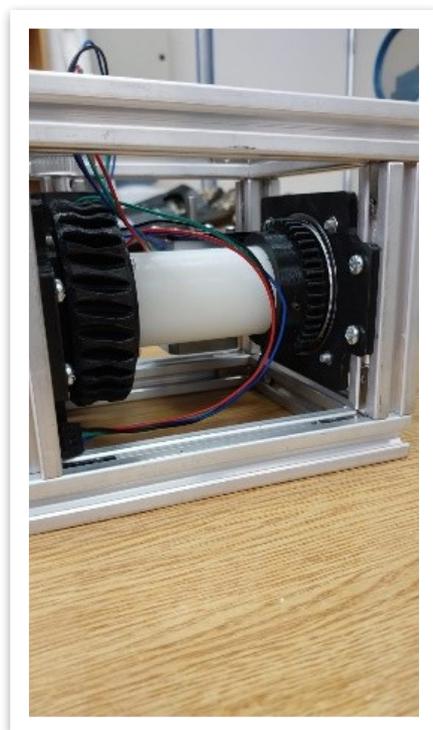


Figura 3

Desarrollar una infraestructura de software para obtener, almacenar y procesar los datos satelitales, variables de ingeniería o datos ciencia, a partir de la señal recibida.

Este punto se encuentra al 100%, si bien es una infraestructura experimental ha funcionado sin problemas durante todo el año. Actualmente (últimos 2 meses) carece de datos porque su fuente principal (El satélite de satellogic Bugsat1 - TITA) está muy dañado y su señal de baliza es cada vez más difícil de obtener. Para cumplir el objetivo de desarrollar una infraestructura terrena completa se trabajó sobre las unidades de software, puntualmente en la comunicación en tiempo real entre el backend y la capa de visualización de OPEN MCT. De los trabajos realizados en esta línea se desprende el artículo "Soligo, P., Ierache, J. S., & Witold Martínez, P. (2023). Informe técnico, telemetría satelital de tiempo real sobre websockets y framework Django" Pablo Soligo, Jorge Ierache, publicado a la revista REDDI del departamento de ingeniería e investigaciones tecnológicas.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

Mejorar los diseños propuestos por satnogs utilizando la potencia de la señal

Este punto no se llegó a abordar. El rotor debe estar 100% funcional para encarar la mejora de diseño.

Obtener conjuntos de datos propios de que ayuden a las investigaciones relacionadas con la aplicación del aprendizaje automático a la telemetría satelital

En este punto se ha avanzado al 100%, si bien será necesario volver a encontrar un satélite con información de telemetría pública y que se encuentre operativo, el sistema recolecta, almacena y disponibiliza la telemetría obtenida (Solo accesible vía VPN UNLaM).

Vinculación como estación terrena activa de la red satnogs (Primera Universidad en Argentina)

La estación terrena esta creada pero no activa (<https://network.satnogs.org/stations/2585/>)(Figura 4Error: Reference source not found), se requiere tener el rotor funcionando. Este punto se encuentra al 20%.

SatNOGS NETWORK Home About Observations Ground Stations Community Wiki 21:36 UTC Sign Up / Log In

2585 - UNLaM San Justo

Timeframes are in UTC

Information Future Passes Status Log

- Owner** Pablo Soligo
- QTH Locator** GF05rh
- Coordinates(lat, lon)** -34.667°, -58.566°
- Altitude** 29 m
- Min Horizon** 20°
- Antennas** Cross Yagi (UHF)
- Creation Date** 9 months, 1 week ago
- Offline** Last seen 9 months, 1 week ago
- Uptime** 9 months, 1 week

Universidad Nacional de La Matanza - Sede San Justo -

Figura 4

Otro obstáculo encontrado en el avance de este punto fue la no disponibilidad de recursos financieros los cuales fueron efectivizados el 01/12/2022 y se informaron el día 12/12/2022. Similar situación se dio en el año 2023 teniendo solo un mes para realizar las compras. Durante el mes de



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

diciembre se intentó comprar la mayor cantidad de componentes, aunque existen faltantes presumiblemente por problemas de importación.

B. Principales resultados de la investigación

B.1. Publicaciones en revistas (informar cada producción por separado)

Artículo 1:	
Autores	<i>Pablo Soligo, Jorge Ierache, German Merkel</i>
Título del artículo	<i>Ground Segment Anomaly Detection Using Gaussian Mixture Model and Rolling Means in a Power Satellite Sub-system</i>
N° de fascículo	
N° de Volumen	
Revista	<i>Computer Science – CACIC 2021</i>
Año	<i>2022</i>
Institución editora de la revista	<i>Springer</i>
País de procedencia de institución editora	
Arbitraje	SI
ISSN:	
URL de descarga del artículo	
N° DOI	<i>10.1007/978-3-031-05903-2_17</i>



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

Artículo 2:	
Autores	<i>Pablo SOLIGO , Germán MERKEL, Jorge Salvador IERACHE, Pablo Witol Martínez, Pablo Ferreira, Santiago Mansfeld</i>
Título del artículo	<i>INFORME TÉCNICO, TELEMETRÍA SATELITAL DE TIEMPO REAL SOBRE WEBSOCKETS Y FRAMEWORK DJANGO</i>
N° de fascículo	-
N° de Volumen	-
Revista	<i>REDDI</i>
Año	<i>2022</i>
Institución editora de la revista	<i>DIIT</i>
País de procedencia de institución editora	<i>Argentina</i>
Arbitraje	SI
ISSN:	-
URL de descarga del artículo	<i>https://repositoriocyt.unlam.edu.ar/handle/123456789/1411</i>
N° DOI	

ro 1	
Autores	
Título del Libro	
Año	
Editorial	
Lugar de impresión	
Arbitraje	Elija un elemento.
ISBN:	
URL de descarga del libro	



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

N° DOI	
--------	--

B.3. Capítulos de libros

Autores	<i>Pablo Soligo, Jorge Ierache, German Merkel</i>
Título del Capítulo	<i>Ground Segment Anomaly Detection Using Gaussian Mixture Model and Rolling Means in a Power Satellite Sub-system</i>
Título del Libro	<i>Communications in Computer and Information Science</i>
Año	2022
Editores del libro/Compiladores	<i>Springer, Cham</i>
Lugar de impresión	
Arbitraje	SI
ISBN:	978-3-031-05902-5 978-3-031-05903-2
URL de descarga del capítulo	https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-05903-2_17
N° DOI	10.1007/978-3-031-05903-2_17

B.4. Trabajos presentados a congresos y/o seminarios

Autores	<i>Rocío B. Fernández, Pablo Ferreira, Camila J. Forestiero, Santiago Mansfeld Pablo Soligo, Jorge S. Ierache, Martin Becerra, Diego Sanz</i>
Título	<i>Avances en el desarrollo de un prototipo experimental de segmento terreno Satelital multiplataforma-multimisión UGS UNLaM</i>
Año	2023
Evento	WICC
Lugar de realización	Junín, BsAs



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

Fecha de presentación de la ponencia	<i>Junin, 14/04/2023</i>
Entidad que organiza	<i>RedUNCI</i>
URL de descarga del trabajo (especificar solo si es la descarga del trabajo; formatos pdf, e-pub, etc.)	<i>https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/162004</i>

Autores	<i>Rocío B. Fernández, Pablo Soligo, Jorge S. Ierache, Martín Becerra, Diego Sanz</i>
Título	<i>Evolución en el desarrollo de un prototipo experimental de segmento terreno Satelital multiplataforma-multimisión UGS UNLaM</i>
Año	<i>2024</i>
Evento	<i>WICC</i>
Lugar de realización	<i>Puerto Madryn</i>
Fecha de presentación de la ponencia	<i>comunicado 29/02/2024</i>
Entidad que organiza	<i>RedUNCI</i>
URL de descarga del trabajo (especificar solo si es la descarga del trabajo; formatos pdf, e-pub, etc.)	<i>comunicado</i>

B.5. Otras publicaciones

Autores	
Año	
Título	
Medio de Publicación	



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

C. Otros resultados. Indicar aquellos resultados pasibles de ser protegidos a través de instrumentos de propiedad intelectual, como patentes, derechos de autor, derechos de obtentor, etc. y desarrollos que no pueden ser protegidos por instrumentos de propiedad intelectual, como las tecnologías organizacionales y otros. Complete un cuadro por cada uno de estos dos tipos de productos.

C.1. Títulos de propiedad intelectual. Indicar: Tipo (marcas, patentes, modelos y diseños, la transferencia tecnológica) de desarrollo o producto, Titular, Fecha de solicitud, Fecha de otorgamiento

Tipo	Titular	Fecha de Solicitud	Fecha de Emisión

C.2. Otros desarrollos no pasibles de ser protegidos por títulos de propiedad intelectual. Indicar: Producto y Descripción.

Producto	Descripción

D. Formación de recursos humanos. Trabajos finales de graduación, tesis de grado y posgrado. Completar un cuadro por cada uno de los trabajos generados en el marco del proyecto.

D.1. Tesis de grado

Director (apellido y nombre)	y Autor (apellido y nombre)	Institución	Calificación	Fecha /En curso	Título de la tesis

D.2 Trabajo Final de Especialización

Director (apellido y nombre)	y Autor (apellido y nombre)	Institución	Calificación	Fecha /En curso	Título del Trabajo Final

D.2. Tesis de posgrado: Maestría

Director (apellido y nombre)	y Tesista (apellido y nombre)	Institución	Calificación	Fecha /En curso	Título de la tesis

D.3. Tesis de posgrado: Doctorado

Director (apellido y nombre)	y Tesista (apellido y nombre)	Institución	Calificación	Fecha /En curso	Título de la tesis



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

nombre)					

D.4. Trabajos de Posdoctorado

Director (apellido y nombre)	Posdoctorando (apellido y nombre)	Institución	Calificación	Fecha /En curso	Título del trabajo	Publicación

E. Otros recursos humanos en formación: estudiantes/ investigadores (grado/posgrado/ posdoctorado)

Apellido y nombre del Recurso Humano	Tipo	Institución	Período (desde/hasta)	Actividad asignada ²
German Merkel	Alumno	UNLaM	01/01/2022 31/12/2023	Mantenimiento UGS. Investigación y desarrollo de artículos
Pablo Ferreira	Alumno	UNLaM	01/01/2022 31/12/2023	Desarrollo de artículo. Implementación de infraestructura de test
Santiago Mansfeld	Alumno	UNLaM	01/01/2022 31/12/2023	Desarrollo de artículo. Implementación de infraestructura de test
Rocio Belen Fernandez	Alumno	UNLaM	01/01/2023 31/12/2023	Artículo Poster WICC – Seguimiento/Ensamble del rotor.

. **Vinculación**³: Indicar conformación de redes, intercambio científico, etc. con otros grupos de investigación; con el ámbito productivo o con entidades públicas. Desarrolle en no más de dos (2) páginas.

G. Otra información. Incluir toda otra información que se considere pertinente.

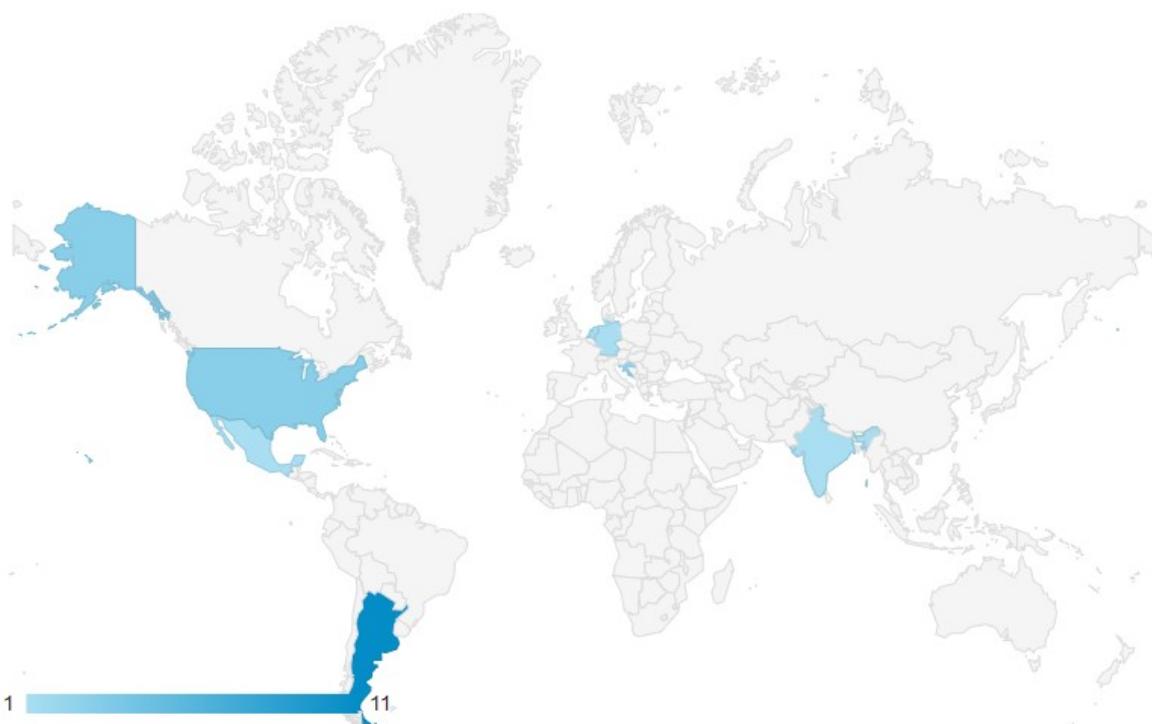
Se debe incluir entre las tareas realizadas el mantenimiento y actualización del segmento terreno prototipo y su versión publica, la cual en el 2022 recibió visitas de los siguientes países:

² Descripción de la/s actividad/es a cargo (máximo 30 palabras)

³ Entendemos por acciones de “vinculación” aquellas que tienen por objetivo dar respuesta a problemas, generando la creación de productos o servicios innovadores y confeccionados “a medida” de sus contrapartes.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



1. Argentina
2. United States
3. Croatia
4. Germany
5. Hong Kong
6. India
7. Mexico
8. Netherlands

Se debe incluir también el mantenimiento y actualización del sitio del grupo de investigación

<https://gidsa.unlam.edu.ar/>

H. Cuerpo de anexos:



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

- Anexo I: Copia de cada uno de los trabajos mencionados en los puntos B, C y D, y certificaciones cuando corresponda.⁴
- Anexo II:

FPI-013: Evaluación de alumnos integrantes. (si corresponde)

FPI-014: Comprobante de liquidación y rendición de viáticos. (si corresponde)

- FPI-015: Rendición de gastos del proyecto de investigación acompañado de las hojas foliadas con los comprobantes de gastos.
- FPI-035: Formulario de reasignación de fondos en Presupuesto.
- Nota justificando baja de integrantes del equipo de investigación.

Dr Jorge Ierache

Firma y aclaración
del director del proyecto.
San Justo 28/02/2024

Lugar y fecha :

⁴ En caso de libros, podrá presentarse una fotocopia de la primera hoja significativa o su equivalente y el índice.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

A) ANEXO I

Ground Segment anomaly detection using Gaussian Mixture Model and Rolling Means in a Power Satellite Subsystem

Soligo, Pablo ✉; Merkel, Germán and Ierache Jorge

Universidad Nacional de La Matanza,
Florencio Varela 1903 (B1754JEC) San Justo, Buenos Aires, Argentina
{psoligo, jierache}@unlam.edu.ar
{gmerkel}@alumno.unlam.edu.ar
<http://unlam.edu.ar>

Abstract. In this article we explore the possibility of finding anomalies automatically on real satellite telemetry. We compare two different machine learning techniques as an alternative to the classic limit control. We try to avoid, as much as possible, the intervention of an expert, detecting anomalies that cannot be found with classical methods or that are unknown in advance. Gaussian Mixture and Simple Rolling Means are used over a low orbit satellite power subsystem telemetry. Some telemetry values are artificially modified to generate a shutdown in a solar panel to try to achieve early detection by context or by comparison. Finally, results and conclusions are presented.

Keywords: Satellites, Ground Segment, Platform, Telemetry, Machine Learning, Data Mining, Anomaly Detection

1 Introduction

The Software for Space Research and Development Group (from Spanish Grupo de Investigación y Desarrollo de Software Aeroespacial) (GIDSA) <https://gidsa.unlam.edu.ar> aims to propose and test new generation space software solutions prototypes. Previous articles includes experiences and lessons learned in developing a prototype ground segment using general-purpose languages for telemetry interpretation and command script implementation, adoption of well-tested standards in the software industry, massive storage of telemetry and fault detection [2], [3], [4]. The functioning prototype can be found in <https://ugs.unlam.edu.ar> which works with real satellite data, mainly obtained from SatNOGS [5].

This article is an extension of the article published in XXVII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación 2021 (CACIC) entitled “Detección de Anomalías en Segmento Terreno Satelital Aplicando Modelo de Mezcla Gaussiana y Rolling Means al Subsistema de Potencia.”[1]. As an extension of the article, external calculated data were added to the dataset and preprocessing was applied to the original data in order to improve the detection of anomalies. The



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

2 Soligo, Pablo ✉, Merkel Germán, Ierache Jorge

early detection of anomalies in complex system such as artificial satellites are significant. Upper and lower limits for many telemetry variables are usually the most common technique used to detect anomalous behavior [6]. As stated in a previous paper [7], the satellite health is controlled with the constant help of an expert, using little computational power. Meanwhile, in the software industry, Machine Learning is currently used for different kinds of anomaly detection, such as credit card frauds [8]. The objective of using machine learning for fault detection is mainly early detection of satellites' anomalies, avoiding, as much as possible, constant assessment from experts and also detecting types of unknown anomalies. Machine Learning offers an interesting array of possibilities in behavior prediction and anomaly detection. There are two types of machine learning algorithms: supervised and unsupervised machine learning. The former depends on labeled input data, i.e., the input dataset must have defined whether a datum is considered an anomaly or not. The latter does not depend on labeled input data, instead, it learns the internal representation of the dataset and generates patterns[9]. An anomaly is any datum that deviates from what it is expected or normal. In the statistics literature, they are also referred to as outliers. Every datum that is processed by the prototype will be classified using binary labels: a datum is an anomaly or not[10]. For detecting anomalies, fault detection machine learning algorithms create a model of the nominal pattern in the dataset, and then compute an outlier score of a given datum. Depending the algorithm, this outlier score takes into account the correlation with different features or not[10]. In this work and in the case of time series data, we look for a sequence of outliers that determines an anomaly rather than a particular piece of data; we look for abnormal system behavior instead of a wrong value.

In previous articles we proposed guidelines and developed a prototype of a multi-mission ground segment [3] which included limit control for the telemetry variables. Then we set dynamic limits using machine learning [7]. The current work explores a prototype for telemetry mining and health control for a multi-mission ground segment using two different machine learning algorithms: Gaussian Mixture and Rolling Means. These two algorithms are investigated and compared one another to study the feasibility of applying them in a real-time health control, and pattern and behavior detection prototype.

In section 2 we describe the dataset we use for telemetry mining, the two main algorithms, and three other algorithms that were discarded. We extended this section including external data with information about satellite's eclipse. We also added a third algorithm to section 2.3, Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN), and Principal Components Analysis (PCA) for preprocessing the dataset before applying Gaussian Mixture. Section 3 shows the results of applying Gaussian Mixture and Rolling Means to the dataset for telemetry mining. We extended this section including with the results of applying PCA preprocessing before Gaussian Mixture. In section 4 we describe conclusions obtained from the results presented for Rolling Means and Gaussian Mixture. In this section, we added conclusions from using PCA preprocessing before applying Gaussian Mixture. Finally, 5 presents ways to improve the current work results



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLAM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

using automation for detecting number of components to be used when applying PCA.

2 Materials and methods

For this experiments we use our own dataset with real telemetry data <https://gidsa.unlam.edu.ar/data/LowOrbitSatellite.csv>. The source of telemetry is a scientific low orbit satellite. Telemetry begins at 2015-05-27 08:51:06+00:00 and ends at 2015-06-05 23:34:06+00:00. For these experiments we use only the first two days, from 2015-05-27 08:51:22+00:00 to 2015-05-29 08:50:59+00:00. The training dataset finally has 17277 rows, the test dataset has 4320 rows. Table 1 shows the feature meanings, all values, except *vBatAverage* and *BatteryDischarging* are in raw, however data is always normalized before processing.

Unfortunately, the dataset does not have any expert-documented or probable failures. As an extension external data has been incorporated, using python PyEphem [11] library, we added two features *cInEclipse* and *elapsedTime*.

cInEclipse indicates if the satellite is in eclipse or not, and *elapsedTime* indicates how long the satellite is eclipsed (negative values in seconds) or not (positive values in seconds). Dataset with additional features is available at <https://gidsa.unlam.edu.ar/data/LowOrbitSatelliteWithEclipses.zip>. Due to the fact that there are no probable or documented failures in the dataset, we partially cut off the power supply from solar panel 24 turning 0 the current (128 in raw) to create an artificial anomaly in test dataset. The cut off is progressive and covers 1079 rows. This is similar to leaving the panel eclipsed, regardless of the real context. Note that classical limit control cannot handle this behavior, as currents close to 0 are perfectly valid on eclipse periods.

Feature	Meaning
vBatAverage	Average of Battery voltage used by supervisions
BatteryDischarging	Flag True/False if battery is discharging
ISenseRS1	IsenseRS1 current (battery current)
ISenseRS2	IsenseRS2 current (battery current)
V_MODULE_N_SA 0<N<25	Current in solar panel #N

Table 1: DataSet Features

All telemetries from the Power Control System (PCS/EPS) are highly correlated as shown in figure 1, for size reasons we show correlation from only 4 of the 24 panel current features.

The current work shows two different machine learning algorithms to detect anomalies in satellite telemetry: Gaussian Mixture and Rolling Means. The former is applied to the telemetry system of a satellite as a whole, using the correlation between variables, while the latter is applied to every telemetry variable.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

4 Soligo, Pablo ✉, Merkel Germán, Ierache Jorge

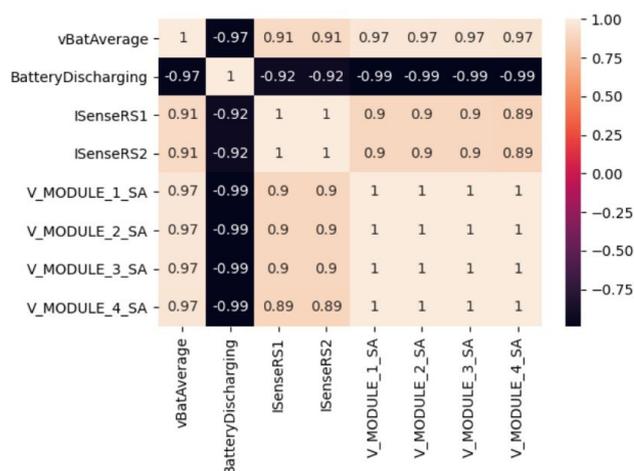


Fig. 1: Correlation between PCS features

Both of these approaches follow classic statistical approaches: both use classic statistical measures like mean, standard deviation and probability. Finally, and also as an addition to the original article, scikit-learn[12] principal components are applied to the dataset in order to reduce the dimensions and achieve better results.

2.1 Gaussian Mixture Model

Using scikit-learn [12] library, we create a Gaussian Mixture Model (GMM). GMM can be used to cluster unlabeled data, GMM can help to detect behavior that is far or unlikely to nominal behavior. Any point which is very far from the established clusters could be considered an anomaly.

The dataset was divided into two sub-datasets: training dataset and test dataset. The test is made over two days of telemetry. Dataset's last 20% forms the test dataset, while the other 80% forms the training dataset. A model is obtained by running the algorithm over the training set, where the components amount and the covariance type are selected in an iterative process that analyzes the information-theoretic criteria (BIC), covering the 4 covariance types and the components amount from 1 to 20. The minimum outlier score is set as the limit for the test dataset. As an extension of the original article we added two external-calculated features. By adding two more features (*cInEclipse* and *elapsedTime*), information typically available in the flight dynamics departments we introduce



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

correlated external information to help the algorithm. In addition, we incorporated scikit-learn principal components[12] as a way to utilize all available features but at the same time reduce the number of dimensions and help the algorithm.

2.2 Rolling Means

Rolling Means is a simple statistical approach to anomaly detection in a time series dataset. Given a series of datums and a window of fixed size N , the algorithm first obtain the mean of the initial N datums in the series. Then the window is "moved forward" by one, recalculating the mean of the window. This process repeats until the final window includes the final datum. Once all means has been obtained, the algorithm labels as outliers all points that are more than S standard deviation from the mean that corresponds to the point.

Rolling Means is applied to each sub-dataset, one for each telemetry variable, and for each one it generates a model of normal. To use this algorithm, a fixed window size and a fixed number of standard deviations must be set. To decide the value of these parameters, various iterations with different values on the same dataset are run, and finally, with human inference, the best values are set. The rolling means algorithm is available at <https://gidsa.unlam.edu.ar/data/rolling.py>.

Rolling Means was chosen since it is a sensitive-to-outliers algorithms, while still being simple. It relies on standard deviation, taking into account the change in the time series using the fixed-size window.

2.3 Other methods

Multivariate Normal Distribution method was also tested, but it was discarded in favour of Gaussian Mixture, due to the fact that the former needs its data to follow a normal distribution, and cannot handle multiple bells. Isolation Trees was also tried, but was discarded early given that it mislabeled most of the "normal" dataset as anomalies.

Finally, we also considered DBSCAN, another popular clustering algorithm that uses density of datums to detect anomalies. These clusters can be of any shape and are detected automatically by the algorithm, given a constant that determines the distance between points to be considered in the same cluster. The implementation of this algorithm has two problems: it does not handle high dimensionality well, and it mislabels "normal" datums as anomalies because they are not found in dense clusters. The second problem can be seen in figure 2, where datums that represent the transition in panel 24 current are mislabeled as anomalies. Taking into account this problems means using a larger constant for the distance between points, but it results in non-detection of artificial anomalies.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLAM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

6 Soligo, Pablo ✉, Merkel Germán, Ierache Jorge

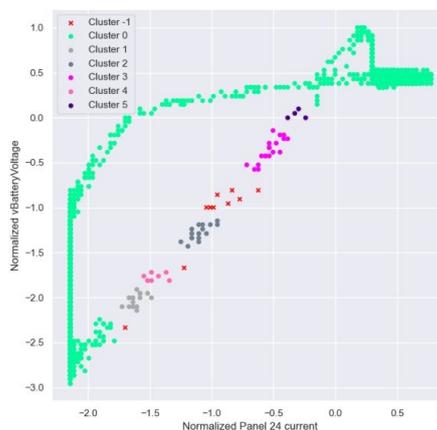


Fig. 2: Clusters created for 2 variables by DBScan

3 Results

3.1 Gaussian Mixture Model

For visualisation purposes the final model with training data and only two features, $V_MODULE_24_SA$ and $vBatAverage$, are shown in figure 3. Gaussian functions are shown in green and they include the clusters.

Figure 4 shows the results of applying the model with 2 specially selected features to the test data. The dataset was not artificially changed, it fits perfectly to the created model.

Results with modified dataset are shown in figure 5. 880 anomalies are detected and flagged with a cross-mark. Since the current drop is progressive, it cannot be precisely established which of all the data are anomalies and which ones are not. On the other hand, in previous articles[1], it was established that using one set of characteristics produced 11 false positives on the test data of the original dataset, about 1% from modified rows.

Using the dataset with external and internal features, without principal components and without anomalies the algorithm generates 8 and 3 false positives as shown in table 2. Information about amount of mixture components(GM Comp) and and type of covariance (Cov.Type), automatically obtained, is also added to the table.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

Ground Segment anomaly detection using GMM and Rolling Means 7

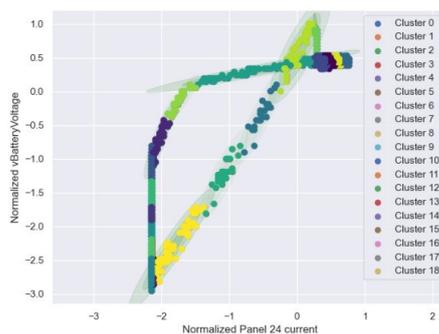


Fig. 3: Clusters created for 2 variables by Gaussian Mixture Model

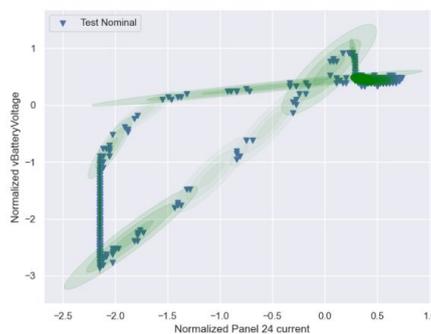


Fig. 4: Test dataset without anomalies

#Feat.	Anom.Train	Anom.Test	GM Comp	Cov.Type
2	0	0	14	diag
36	0	8	18	full
38	0	3	16	full

Table 2: Anomalies detected with GMM using 2($V_MODULE_24_SA$ and $vBatAverage$), 36 features(Internal), 38 features (Internal and external) and original dataset



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

8 Soligo, Pablo ✉, Merkel Germán, Ierache Jorge

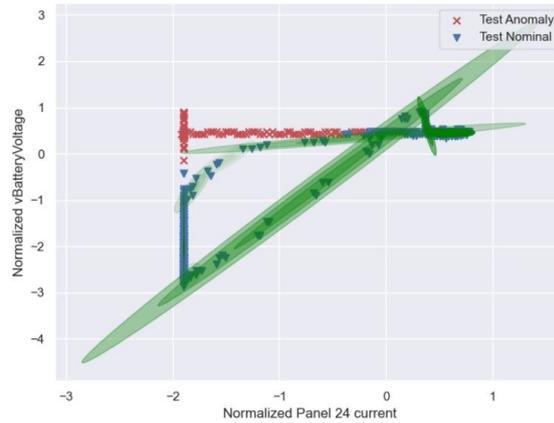


Fig. 5: Test dataset with anomalies

The same experiment on artificially modified data detects 915 and 916 anomalies out of a total of 1079 modified records. Not all modified records are in error condition respect to the system because the cut is progressive. Table 3 shows the results.

#Feat.	Anom.Train	Anom.Test	GM Comp	Cov.Type
2	0	849	19	diag
36	0	915	18	full
38	0	916	19	full

Table 3: Anomalies detected with GMM using $2(V_MODULE_24_SA$ and $vBatAverage$), 36 features (Internal), 38 features (Internal and external) and artificially modified dataset

Using the dataset with external and internal features, principal components, without anomalies the algorithm generates 3 false positives as shown in figure 6. Note that to have a drawable result the number of components used in principal components is equal to 3.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

Ground Segment anomaly detection using GMM and Rolling Means 9

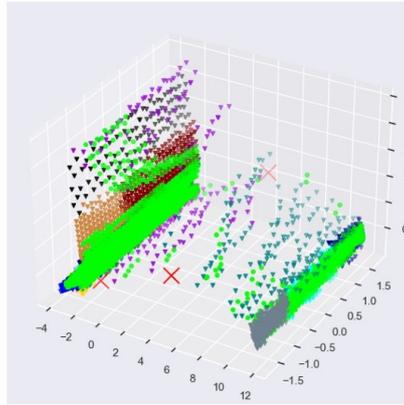


Fig. 6: Gaussian Mixture clusters with original dataset and principal components ($n=3$). The x-marks represent false positives

Finally, tables 4 and 5 show the results of the experiment using principal components with number of components between 3 and 6 for internal characteristics and for internal and external characteristics.

#Feat.	#Components	Anom.Train	Anom.Test	GM Comp	Cov.Type
36	3	0	3	19	full
36	4	0	1	19	full
36	5	0	0	19	full
36	6	0	0	19	full
38	3	0	1	19	full
38	4	0	0	19	full
38	5	0	3	17	full
38	6	0	4	19	full

Table 4: Anomalies detected with GMM and principal components using 36 features (Internal), 38(Internal and external) features and the original dataset



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

10 Soligo, Pablo ✉, Merkel Germán, Ierache Jorge

#Feat.	#Components	Train	Test	GM Comp	Cov.Type
36	3	0	2	18	full
36	4	0	920	19	full
36	5	0	922	18	full
36	6	0	923	19	full
38	3	0	0	19	full
38	4	0	989	19	full
38	5	0	927	19	full
38	6	0	928	18	full

Table 5: Anomalies detected with GMM and Principal components using 36 features (Internal), 38(Internal and external) features and the artificially modified dataset

3.2 Rolling Means

The dataset is divided into 7 sub-datasets, one for each telemetry variable. For each of these sub-datasets, the algorithm Rolling Means labels the datums of each variable as anomalies or not, based on the "model of normal".

# of Standard Deviations	Normal Dataset	Anomaly Dataset
1	260	449
2	71	6

Table 6: Anomalies detected with Rolling Means

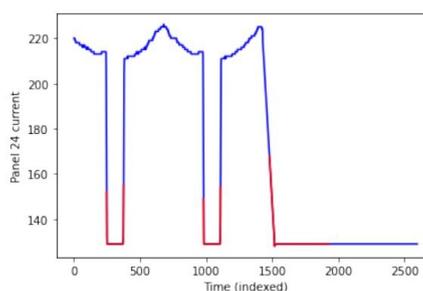


Fig. 7: Rolling Means applied to Panel 24 using 1 number of standard deviations



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

Ground Segment anomaly detection using GMM and Rolling Means 11

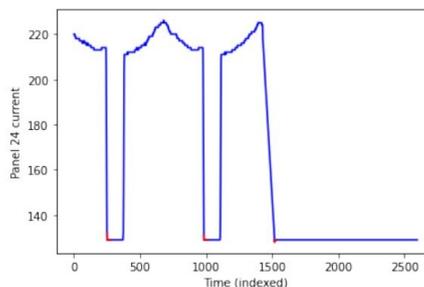


Fig. 8: Rolling Means applied to Panel 24 using 2 number of standard deviations

Running the algorithm, with a window size of 1000 (a window that is half the number of inserted anomalies), using 1 and 2 number of standard deviations lead to the next results. Each sub-dataset is plotted with blue lines, and the red dots are the anomalies that the algorithm detected. The results are showed in 6 table.

4 Conclusions

In the case of the Rolling Means, the model doesn't have sense of correlation, and labels as anomaly based on the trend of the time series dataset. An isolated spike in the graph will be labeled as an anomaly, but may be the result of a contextual expected action. Even though Rolling Means is a simple algorithm, with low computational needs, not taking into account the context and correlations cannot handle fine-grained, context-dependant anomalies. Using 1 number of standard deviation seems to detect the introduced anomalies, but it also mislabels valid data. Using 2 number of standard deviations, contrary to the expected, turns out to behave the same way, mislabeling more datums than detecting anomalies. Rolling Means is a valid method for detecting outliers produced by noise, but cannot be considered a valid algorithm for detecting anomalies. It also needs the intervention of an expert to set the initial parameters.

On the other hand, Gaussian Mixture shows promising results, the introduced anomalies were detected, and in some cases no false positives were found. Using the dataset, without external data and reducing with principal components to 5 or 6 dimensions, no false positives are obtained and the vast majority of artificially modified data is detected as anomalous (Tables 4 and 5). In addition, using the dataset with external data and reducing with principal components to 4 dimensions, no false positives are obtained and also the vast majority of artificially modified data is detected as anomalous (Tables 4 and 5). It is important to note that the introduced anomalies are not detectable by a limit control system because the values may be normal in certain contexts. The covariance and



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

12 Soligo, Pablo ✉, Merkel Germán, Ierache Jorge

amount of clusters were obtained automatically, without an expert intervention. The results give an informative view of the different algorithms, but cannot be objectively evaluated since there are no labeled data available to compare them to. If labelled data were available, a more accurate conclusion could be reached. The use of principal components allowed for no false positives in the original dataset.

5 Future works

The current work presents a prototype of a satellite anomaly detection system, which is part of a next generation ground segment [3]. By no means this is an exhaustive exploration of what machine learning can do in the field of anomaly detection, but may represent a feasible alternative to limit control that is in use today. Also, as previously stated [7] the prototype doesn't need help of from an expert in an operation setting, but needs an initial help on setting the parameters for both models and analyzing its results.

The biggest barriers found are the advanced machine learning expertise to optimize the algorithms and the lack of pre-labeled data. More complex models could be explored, namely AutoRegressive Integrated Moving Average (ARIMA), or Neural Network models. In the case of Gaussian mixture the results are promising, but the process of selecting the number of components in principal components should be automated in the same way as selecting the number of components in Gaussian Mixture. Also, it is required to test with new real and ideally labelled datasets as well as different splits of the datasets to avoid overfitting.

References

1. Pablo Soligo, Germán Merkel, and Jorge Ierache. Detección de anomalías en segmento terreno satelital aplicando modelo de mezcla gaussiana y rolling means al subsistema de potencia. In *XXVII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (CACIC)(Modalidad virtual, 4 al 8 de octubre de 2021)*, 2021.
2. Pablo Soligo and Jorge Salvador Ierache. Software de segmento terreno de próxima generación. In *XXIV Congreso Argentino de Ciencias de la Computación (La Plata, 2018)*, 2018.
3. Pablo Soligo and Jorge Salvador Ierache. Segmento terreno para misiones espaciales de próxima generación. *WICC 2019*.
4. Pablo Soligo, Jorge Salvador Ierache, and German Merkel. Telemetría de altas prestaciones sobre base de datos de serie de tiempos. 2020.
5. Satnogs satnogs. <https://satnogs.org/>. Accessed: 2021-07-30.
6. Takehisa Yairi, Minoru Nakatsugawa, Koichi Hori, Shinichi Nakasuka, Kazuo Machida, and Naoki Ishihama. Adaptive limit checking for spacecraft telemetry data using regression tree learning. In *2004 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics (IEEE Cat. No. 04CH37583)*, volume 6, pages 5130–5135. IEEE, 2004.
7. Pablo Soligo and Jorge Salvador Ierache. Arquitectura de segmento terreno satelital adaptada para el control de límites de telemetría dinámicos. 2019.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

8. Aaron Rosenbaum. Detecting credit card fraud with machine learning. 2019.
9. Trevor Hastie, Robert Tibshirani, and Jerome Friedman. *The elements of Statistical Learning*. Springer Series in Statistics. Springer, 2 edition, 2008.
10. Charu Aggarwal. *An introduction to outlier analysis*. Springer New York, 1 edition, 2017.
11. Brandon Craig Rhodes. Pyephem: astronomical ephemeris for python. *Astrophysics Source Code Library*, pages ascl-1112, 2011.
12. F. Pedregosa, G. Varoquaux, A. Gramfort, V. Michel, B. Thirion, O. Grisel, M. Blondel, P. Prettenhofer, R. Weiss, V. Dubourg, J. Vanderplas, A. Passos, D. Cournapeau, M. Brucher, M. Perrot, and E. Duchesnay. Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12:2825–2830, 2011.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



Revista Digital del Departamento de
Ingeniería e Investigaciones
Tecnológicas de la Universidad
Nacional de La Matanza

ISSN: 2525-1333
Vol.: XX - Nro. XX (MES-AÑO)



Comunicación en congreso

INFORME TÉCNICO, TELEMETRÍA SATELITAL DE TIEMPO REAL SOBRE WEBSOCKETS Y FRAMEWORK DJANGO

TECHNICAL REPORT, REALTIME SATELLITE TELEMETRY OVER WEBSOCKET AND DJANGO FRAMEWORK

*Pablo SOLIGO⁽¹⁾, Germán MERKEL⁽³⁾, Jorge Salvador IERACHE⁽²⁾, Pablo Witold Martínez, Pablo Ferreira,
Santiago Mansfeld.*

⁽¹⁾Universidad Nacional de La Matanza

Correo electrónico: psoligo@unlam.edu.ar

DESEA PUBLICAR SU E-MAIL (tachar lo que no corresponda): (~~SI~~-NO)

⁽²⁾ Universidad Nacional de La Matanza

Correo electrónico: jiearche@unlam.edu.ar

DESEA PUBLICAR SU E-MAIL (tachar lo que no corresponda): (~~SI~~-NO)

⁽³⁾Universidad Nacional de La Matanza

Correo electrónico: gmerkel@unlam.edu.ar

DESEA PUBLICAR SU E-MAIL (tachar lo que no corresponda): (~~SI~~-NO)



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



Revista Digital del Departamento de
Ingeniería e Investigaciones
Tecnológicas de la Universidad
Nacional de La Matanza

ISSN: 2525-1333
Vol.: XX - Nro. XX (MES-AÑO)



Resumen:

RESUMEN

Se presenta los resultados preliminares obtenidos, en el uso de websockets sobre el framework para desarrollo web Django como solución a la visualización de telemetría de tiempo real en un prototipo experimental de software de segmento terreno multiplataforma-multimisión en el contexto del desarrollo de la estación terrena UNLaM. Se realizan pruebas de estrés para evaluar la factibilidad y los límites de aplicación para la tecnología actualmente utilizada como segmento terreno experimental en la UNLaM y su vinculación con el NASA OPENMCT [2].

ABSTRACT

Preliminary results are presented on the use of websockets over Django web framework as a solution for real-time telemetry visualization in an experimental prototype of multiplatform-multimission ground segment software in the context of the development of the UNLaM ground station. Stress tests are performed to evaluate the feasibility and application limits for the technology currently used as experimental ground segment at UNLaM and its integration with NASA OPENMCT [2].

Palabras Clave: Satélites, Segmento Terreno, Diseño de Software, websockets

Key Words: Satellites, Ground segment, Software Design, websockets

I. CONTEXTO

La UNLaM (Universidad Nacional de La Matanza) posee un prototipo de segmento terreno experimental denominado UGS (UNLaM Ground Segment) [1]. Actualmente se puede visualizar, en la versión pública (<https://ugs.unlam.edu.ar>) telemetría satelital histórica de satélites en órbita procesada desde datos crudos provenientes principalmente de la red SatNogs [3] y otras fuentes alternativas. El Grupo de Investigación y Desarrollo Aeroespacial de la UNLaM (GIDSA) [4] se encuentra desarrollando su propia estación terrena para enlazar de manera directa con los satélites en órbita y como consecuencia de esto es necesario implementar mecanismos que permitan la visualización eficiente de telemetría en tiempo real. El UGS ha sido desarrollado como una plataforma de investigación, experimentación y capacitación, y tiene entre sus objetivos lograr que las soluciones en el área aeroespacial sean costo-efectivas y vinculadas con el estado del arte de la ingeniería de software, minimizando tanto como sea posible alternativas que impliquen desarrollos ad-hoc, herramientas de escasa penetración en la industria de software de propósito general o de costosa implementación. Desde su primera versión, el prototipo ha tenido como objetivo ser multimisión, pudiendo trabajar con satélites de organizaciones y fabricantes independientes.

II. INTRODUCCIÓN

Un sistema moderno de operación multimisión debe proveer de herramientas de explotación de datos que incluyan, entre otras, las siguientes características [5] y [6]:



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



- Habilidad de mantener de forma eficiente, segura y transparente los datos de la misión completa.
- Integración para cambiar entre datos históricos y de tiempo real.
- Una performance que permita obtener datos de años en unos pocos segundos.
- Manejar grandes volúmenes de datos y niveles de variabilidad y granularidad.
- Garantía de fiabilidad.
- Punto de acceso único disponible desde interfaces de programación de aplicaciones (API del inglés Application Programming Interface)

El UGS, si bien es un prototipo de investigación, ha tenido en cuenta estos requerimientos. En trabajos anteriores [7] se han explorado distintos diseños y herramientas de almacenamiento para la telemetría histórica. En este trabajo se analiza e implementa una alternativa para la comunicación en tiempo real entre las herramientas de visualización y la telemetría en tiempo real obtenida. Con la estación terrena operativa será necesario para el UGS tener la capacidad de visualizar telemetría en tiempo real sobre su capa de visualización, derivada del producto de código abierto de la NASA Open MCT, estando el *backend* desarrollado principalmente en Python Django. El uso de websockets no es necesariamente obligatorio, pero es la opción explícitamente desarrollada y puesta como ejemplo por el equipo de Open MCT [8]. Aunque Django no soporta nativamente el uso de websockets, sí dispone de bibliotecas para hacerlo. El presente trabajo presenta las experiencias en la adaptación del UGS y el Open MCT para visualización de telemetría en tiempo real usando la biblioteca Django Channels (<https://channels.readthedocs.io/en/stable/>).

Mediante una serie de pruebas de estrés se busca conocer la posible degradación en función de la cantidad de conexiones, obtener los límites de operación para estas tecnologías y analizar la factibilidad de usarlas masivamente en un sistema de segmento terreno multimisión en la nube.

III. MÉTODOS

Los websockets ofrecen una solución para establecer una conexión bidireccional entre un servidor y un cliente sobre internet, especialmente bien soportada por los navegadores web. El UGS actualmente dispone de un servicio web que puede recibir telemetría de múltiples fuentes, tanto sea de una estación terrena, mediante adaptadores que consumen u obtienen datos crudos de internet, o directamente desde archivos compartidos por agencias espaciales vinculadas. Toda telemetría novedosa recibida deberá ser informada a los clientes que se suscriban. El cliente puede ser una instancia de Open MCT, la cual, según qué variables este visualizando, deberá suscribirse, anunciando su intención de ser informado de las novedades.

Para cumplir con este objetivo, teniendo en cuenta la tecnología y frameworks utilizados, sería suficiente con la alternativa disponible e integrada por defecto en el ORM (Object Relational Mapper) de Django. Django channels propone utilizar un decorador (@receiver) asociado a una señal denominada "post_save". Esta señal se encuentra incorporada por defecto y puede, mediante retrollamada, informar sobre el salvado de un objeto, en nuestro caso una variable de telemetría. Sin embargo, y por cuestiones de eficiencia, el UGS no realiza el salvado de cada variable de forma individual, sino que realiza el guardado en una única transacción de la totalidad de



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



variables que se encuentran en un paquete recibido, utilizando el método disponible en el ORM de Django *bulk_create*. Por defecto *bulk_create* no enviara ninguna señal [9].

Con este escenario se plantearon modificaciones en los frameworks tendientes a optimizar el funcionamiento. Siguiendo las alternativas que ofrece el framework Django [10] se desarrolló un “*manager*” propio (TlmyVarManager) para la clase TlmyVar (variable de telemetría) y una señal especial indicando que se guardaron telemetrías, agregando como parámetro cuales fueron. Para minimizar el tiempo de comunicación entre el cliente y el servidor las novedades se informan antes de su almacenamiento físico. Los archivos fuentes del prototipo donde se realizaron las modificaciones y las pruebas se encuentran disponibles en github [9]. Una vez recibida la notificación será informada mediante un *message broker* (REDIS) [11] a los

“*AsyncWebsocketConsumer*”, entidades del servidor responsables de administrar las conexiones websocket con los clientes, y puntualmente de decidir si debe informar a los clientes la novedad en función de si están o no subscriptos a las variables que se notificaron. Las instancias de “*AsyncWebsocketConsumer*” serán responsables de guardar la lista de variables a las que están suscritas cada uno de los clientes. La Figura 1- Diagrama de alto nivel del proceso de difusión de novedades a los clientes conectados, donde se muestra el diagrama de alto nivel del proceso de difusión de novedades a los clientes conectados, para posteriormente proceder a la serialización de la

información para ser comunicada vía REDIS a los diferentes procesos encargados de atender a los clientes.

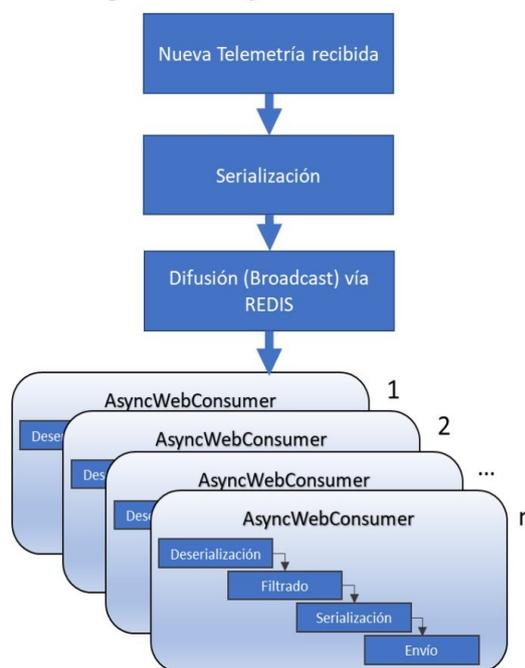


Figura 1- Diagrama de alto nivel del proceso de difusión de novedades a los clientes conectados

Las limitaciones que impone el GIL (Global Interpreter Lock) al uso de hilos en Python obligan a desarrollar procesos separados y a establecer una comunicación mediante datos serializados en lugar de compartir memoria hecho este que agrega un costo de procesamiento en la constante serialización y deserialización para el filtrado. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**Tabla 1 - Pila de hardware y software detalla el hardware utilizado en la prueba, y ofrece además un detalle de las unidades de software que fue necesario instalar para simular un equipo de producción.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



Revista Digital del Departamento de
Ingeniería e Investigaciones
Tecnológicas de la Universidad
Nacional de La Matanza

ISSN: 2525-1333
Vol.: XX - Nro. XX (MES-AÑO)



Hardware	
Procesador	AMD A10-7860K Radeon R7, 12 Compute Cores 4C+8G
Memoria	8 GB
HD 1	ScanDisk SSD PLUS *
HD 2	WDC WD6003FZBX-0
Software	
Servidor wsgi	Gunicorn
Servidor asgi	Uvicorn
Proxy reverso	Nginx
Base de datos	Postgresql 14
Otros	Redis

Tabla 1 - Pila de hardware y software

La cantidad de variables, 7500, se ha mantenido en relación con la cantidad esperable para un satélite de comunicaciones [5], la frecuencia de envío se ha definido en 10 segundos siendo este un número superior al tiempo necesario para el procesamiento y almacenamiento de las 7500 variables. El objetivo es que sin implementar corutinas o procesos distribuidos el servidor se encuentre en una situación de equilibrio antes de recibir las conexiones clientes sin encolados de ningún tipo. Con esta frecuencia, todos los paquetes pueden ingresar sin demoras, utilizando el hardware y software indicado en

la Tabla 1 - Pila de hardware y software, incluyendo tiempos de transferencias http, autenticación y autorización, siendo el productor de los paquetes un solo proceso.

Los clientes son simulados utilizando la biblioteca *websockets* [12] de Python. Para las pruebas se crearán clientes y se medirán los tiempos entre la llegada del paquete al servidor y la recepción de la novedad por parte del cliente.

Cada cliente suscribirá 30 variables aleatorias suponiendo que es la cantidad de variables que pueden observarse de manera simultánea en una pantalla. Para simplificar la prueba los clientes mantienen vivas el total de las suscripciones. Se mide el promedio de los tiempos entre que la variable llega al servidor *back-end* (el paquete crudo es procesado) y que la novedad llega al cliente. Las variables de telemetría viajan con una marca de tiempo que permite calcular la diferencia y los tiempos de los equipos son sincronizados utilizando comandos para tal fin (*timesyncd*).

IV. RESULTADOS

En la Figura 2- Tiempos de retardo promedio según cantidad de conexiones clientes se muestran los tiempos de retardo promedio según cantidad de conexiones para 5, 25, 125 y 625 clientes con 30 variables subscriptas cada uno. Se han realizado las pruebas ejecutando el servidor ASGI (Asynchronous Server Gateway Interface) con 4 y 8 workers, o procesos paralelos. La Tabla 2 - Tiempos de retardo promedio según cantidad de conexiones clientes presenta los tiempos de retardo promedio según cantidad de conexiones clientes.



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

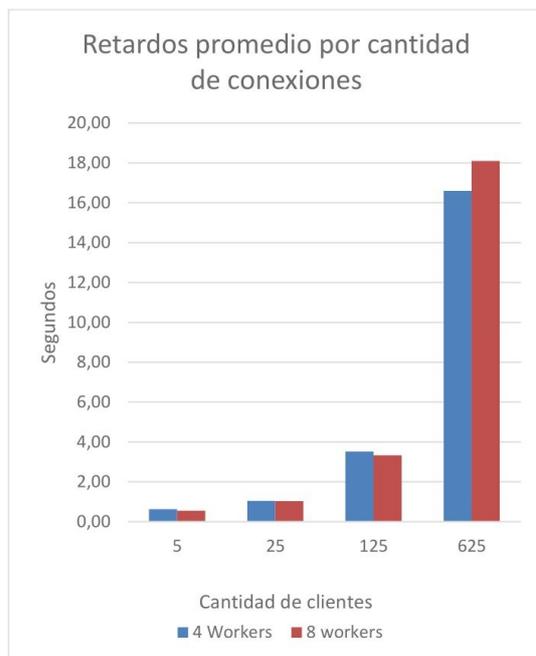


Figura 2- Tiempos de retardo promedio según cantidad de conexiones clientes

Clientes	Workers	
	4	8
5	0,63s	0,55s
25	1,05s	1,04s
125	3,51s	3,33s
625	16,59s	18,10s

Tabla 2 - Tiempos de retardo promedio según cantidad de conexiones clientes

VI. CONCLUSIONES

La implementación actual no ofrece rendimientos que permitan pensar en un sistema en la nube que pueda escalar utilizando hardware de bajo costo.

Durante las pruebas se detectaron inicialmente demoras importantes, al iniciar una serie de mediciones utilizando “cProfile” [13] se observó que los principales problemas radican la serialización, deserialización y filtrado de novedades correspondientes a cada cliente. Cada cliente suscribe a un subconjunto de variables y es necesario dividir que novedad es aplicable a cada cliente siendo inicialmente un problema de $N*S*C$, N novedades contra S variables subscriptas y eso para cada cliente C , en nuestras pruebas $N=7500$, $S=30$ y $5 < C < 625$. Se debe observar que la información debe viajar serializada a cada instancia de “*AsyncWebsocketConsumer*” que puede ser ejecutado en un proceso separado.

Para atender a este problema se ha trabajado con el tipo integrado “*set()*” que demostró mejor rendimiento al momento de determinar la intersección entre las novedades recibidas y las que deben ser informadas a cada cliente. La naturaleza asincrónica de la clase “*AsyncWebsocketConsumer*” solo aplica al envío del paquete mediante sockets una vez este conformado. A pesar de todas las optimizaciones aplicadas se observan retardos importantes cuando la cantidad de clientes crece. Los tiempos de deserialización, filtrado y serialización no son despreciables incluso aplicando optimizaciones y eligiendo los tipos integrados que mejor se comporten para estas operaciones. Estos procesos se deben realizar para cada cliente y haciéndolo especialmente sensible cuando tiene que atender a un alto número de conexiones.

La limitación del intérprete de Python para trabajar con múltiples hilos o procesos livianos y compartir memoria obliga a crear “*workers*” o procesos paralelos donde la información tiene que ser transmitida de forma



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



Revista Digital del Departamento de
Ingeniería e Investigaciones
Tecnológicas de la Universidad
Nacional de La Matanza

ISSN: 2525-1333
Vol.: XX - Nro. XX (MES-AÑO)



serializada. Posteriormente debe ser deserializada para separar que información se debe comunicar a que cliente. Si bien cada “*worker*” puede deserializar, filtrar, serializar y enviar simultáneamente, cuando la cantidad de clientes supera las capacidades de paralelización del hardware se producen encolados.

VII. TRABAJO A FUTURO

Como trabajo a futuro se intentará aplicar optimizaciones y diseños alternativos. Las limitaciones del GIL impiden pensar en soluciones que eviten la serialización y deserialización en cada proceso, no parece posible salvar esa limitación y por tanto se pueden pensar alternativas que reduzcan tanto como se posible los conjuntos a compartir entre procesos. Una primera alternativa implica enviar a los procesos o “*workers*” solo las variables que hayan sufrido cambios y/o enviar a los procesos o “*workers*” solo las variables que al menos estén subscriptas a algún cliente. Ambas alternativas requieren un preproceso, pero reducen los conjuntos que deben deserializar y filtrar en cada proceso. Estas opciones deben ser probadas para verificar que genera beneficios, aunque complejizan la implementación. Una segunda solución de sencilla implementación implica generar una señal individual por cada variable. Luego cada cliente decidirá si le pertenece o no esa variable puntual. Esta opción reduce el tamaño de los datos a serializar y los filtrados traduciendo la mayor carga de trabajo al “*message broker*” (REDIS). Adicionalmente también se puede aplicar un prefiltros para asegurarse que la variable esta subscripta a al menos un cliente.

Una tercera solución posible es enviar todas las novedades al cliente si está subscripto al satélite en lugar de estar subscripto individualmente a una variable, esta última alternativa puede presentar reparos en cuanto a la seguridad y confidencialidad de los datos y, por lo tanto, si bien es de muy sencilla implementación y puede ser aplicable en entornos de redes cerradas no resulta aceptable para soluciones en la nube. Finalmente mayores capacidades de hardware y procesos desacoplados de la aplicación del centro de control, particularmente serialización y desrealización con cada satélite pueden brindar soluciones tentadoras de explorar para superar las limitaciones indicadas.

VIII. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- [1] <https://ugs.unlam.edu.ar>, *UNLaM Ground Segment*, 2020.
- [2] J. Trimble y A. Henry, «Building a Community of Open Source Contributors,» de *International Conference on Space Operations (SpaceOps 2018)*, 2018.
- [3] D. J. White, I. Giannelos, A. Zissimatos, E. Kosmas, D. Papadeas, P. Papadeas, M. Papamathaiou, N. Roussos, V. Tsiligiannis y I. Charitopoulos, «SatNOGS: satellite networked open ground station,» 2015.
- [4] <https://gidsa.unlam.edu.ar>, *Grupo de Investigación y Desarrollo de Software Aeroespacial de la Universidad Nacional de La Matanza*, 2020.
- [5] T. Morel, G. Garcia, M. Palsos y J. C. Gil, «High Performance Telemetry Archiving and Trending



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019



Revista Digital del Departamento de
Ingeniería e Investigaciones
Tecnológicas de la Universidad
Nacional de La Matanza

ISSN: 2525-1333
Vol.: XX - Nro. XX (MES-AÑO)



- for Satellite Control Centers,» de *SpaceOps 2010 Conference Delivering on the Dream Hosted by NASA Marshall Space Flight Center and Organized by AIAA*, 2010.
- [6] G. Pace, M. Schick, A. Colapicchioni, A. Cuomo y U. Voges, «EO ON-LINE DATA ACCESS IN THE BIG DATA ERA,» de *Proceedings of the 2019 conference on Big Data from Space*, 2019.
- [7] P. Soligo, J. S. Ierache y G. Merkel, «Telemetría de altas prestaciones sobre base de datos de serie de tiempos,» 2020.
- [8] «OPENMCT Getting Started,» [En línea]. Available: <https://github.com/nasa/openmct-tutorial>. [Último acceso: 5 12 2022].
- [9] The Django Software, «<https://docs.djangoproject.com/en/4.1/ref/models/querysets/>,» [En línea]. Available: <https://docs.djangoproject.com/en/4.1/ref/models/querysets/>. [Último acceso: 24 10 2022].
- [10] GIDSA, «UGS Backend,» [En línea]. Available: https://github.com/unlamgidsa/unlam_gs_backend.git. [Último acceso: 5 12 2022].
- [11] Django Software Foundation, «<https://docs.djangoproject.com/en/4.0/topics/db/managers/>,» [En línea]. Available: <https://docs.djangoproject.com/en/4.0/topics/db/managers/>. [Último acceso: 24 10 2022].
- [12] «Redis,» [En línea]. Available: <https://redis.com/solutions/use-cases/messaging/>. [Último acceso: 5 12 2022].
- [13] websockets-the-project, «websockets,» [En línea]. Available: <https://websockets.readthedocs.io/en/stable/>. [Último acceso: 24 10 2022].
- [14] «cProfile,» [En línea]. Available: <https://docs.python.org/3/library/profile.html>. [Último acceso: 2 12 2022].
- [15] M. Raciti y F. R. Vitello, «WebSocket Integration in Django,» 2022.

Recibido: A completar por el Editor. Formato: AAAA-MM-DD

Aprobado: A completar por el Editor. Formato: AAAA-MM-DD

Hipervínculo Permanente: A completar por el Editor

Datos de edición: Vol. [A completar por el Editor]-Nro. [A completar por el Editor]-Art. [A completar por el Editor]

Fecha de edición: Formato: AAAA-MM-DD





Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

Publicación Comunicada al WICC 2024

Evolución de un prototipo experimental de segmento terreno Satelital multiplataforma-multimisión UGS UNLaMDr.

Rocío Belén Fernandez ¹, **Mg. Pablo Soligo** ¹, **Dr. Jorge Ierache** ^{1,2},

Martin Becerra ², **Ing. Diego Sanz** ²

¹Universidad Nacional de La Matanza, DIIT, Grupo de Investigación y Desarrollo de Software Aeroespacial (GIDSA)

²Universidad Nacional de La Matanza, DIIT, Grupo de Investigación de Realidad Aumentada e Inteligencia Artificial Aplicada (RAIA)

Florencio Varela 1903, La Matanza, Buenos Aires, Argentina
{[psoligo](mailto:psoligo@unlam.edu.ar), [jierache](mailto:jierache@unlam.edu.ar)}@unlam.edu.ar

Resumen

En este trabajo se presentan los avances en el desarrollo de un prototipo de segmento terreno multiplataforma-multimisión. Esto incluye el desarrollo de una estación terrena para la recepción de datos satelitales, su interpretación, almacenamiento y publicación. .

Palabras clave: Segmento Terreno, Satélites, Telemetría, tecnologías de la información.

Contexto

El desarrollo de un prototipo de segmento terreno multiplataforma multimisión, denominado UGS (Unlam Ground Segment) [1], se encuentra enmarcado en el proyecto “PROINCE C-245: Estación Terrena Satelital Experimental UNLaM”, llevado adelante por el Grupo de Investigación y Desarrollo de Software Aeroespacial de la Universidad Nacional de La Matanza (GIDSA) [2]. El GIDSA tiene como objetivo investigar e implementar prototipos de software de bajo costo basados en tecnologías ampliamente aceptadas, de probada madurez y con penetración en la industria de software de propósito general.

Introducción

En trabajos previos [3] [4] [5], se evaluaron estrategias de desarrollo de un prototipo de segmento terreno basado exclusivamente en componentes de software de los denominados “de estantería”, con el objetivo de disminuir costos de desarrollo y mantenimiento. Como resultado de estos desarrollos, el UGS utiliza en la actualidad:



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

- Un lenguaje de propósito general para el procesamiento de telemetría como para la generación de scripts de comandos.
- Un RDBMS para la definición de datos.
- Interfaces basadas completamente en HTTP/HTTPS.

Actualmente, el UGS permite procesar datos crudos con independencia del satélite usando técnicas de reflexión de software. La mayoría de los datos son descargados de la red SatNOGS [6], aunque se

han realizado pruebas prototipo, logrando descargar y procesar balizas de satélites utilizando equipamiento propio. Este proceso ha sido manual, incluyendo el apuntamiento de la antena. Para poder descargar y visualizar los datos se necesita automatizar la estación terrena, incluyendo un rotor que permita el apuntamiento de la antena y paralelamente implementar cambios en las unidades de software que permitan distribuir y visualizar las novedades en tiempo real.

Líneas de Investigación, Desarrollo e Innovación

las líneas de investigación y desarrollo se centran en la captura, procesamiento y visualización de telemetría satelital.

Respecto a la línea de captura de telemetría satelital, durante el 2023 se realizó el ensamble y las pruebas de integración básicas de las partes del rotor experimental. Dicho rotor se encuentra basado en los diseños de la red SatNOGS, [7] específicamente adaptaciones del SatNOGS Rotator v3, de bajo costo, portable, durable, estanco, preciso y fácil de construir. El rotor es indispensable para posibilitar la alineación de la antena (de carácter direccional) y así obtener una mejor señal

La línea de investigación de procesamiento y visualización del UGS está basada en el NASA Open-MCT, un *framework* de visualización de control de misión de código abierto de la NASA [8].

Resultados y Objetivos

Durante el 2023, se exploraron mejorar los procesos de distribución de telemetría en tiempo real. Se utilizan bibliotecas especializadas para la serialización y deserialización, intentando mejorar la eficiencia en la distribución tanto como sea posible, sin apartarse de soluciones de bajo coste y utilizando siempre hardware de propósito general. Se probaron alternativas basadas en el uso de RDBMS (Relational Database Management System) en remplazo de REDIS [9]. Se aplicaron desnormalizaciones en el diseño de base de datos, forzando a que las consultas sean sobre tablas de tamaño reducido, junto con notificaciones asíncronas.

En el desarrollo del sistema de control de antena se desarrollaron componentes mecánicos fue necesario torneado impresoras 3D, componentes inexistentes en el país y reemplazar piezas de compleja importación. En la figura 1 se presenta el bloque rotor.

La electrónica, compuesta principalmente de una placa Arduino UNO R3, un CNC Shield v3 y dos controladores, permite controlar el rotor como un sistema independiente. A continuación, la misma



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

fue integrada a los dos motores paso a paso, que han sido probados y calibrados para asegurar su correcto funcionamiento y precisión. A la fecha, se efectuaron pruebas de integración, a su vez, se han realizado pruebas de bajada de datos de satélites, La figura 2 presenta el bloque motor paso a paso del sistema.

En relación a la evolución de los objetivos plateados en primera instancia, se espera realizar la integración final de rotor en laboratorio, realizar las pruebas y calibración general y vincular el hardware a herramientas externas como GPredict. Finalizada esa etapa, se procederá a su instalación en su lugar definitivo, teniendo en cuenta las condiciones de estanqueidad necesarias.

En lo que respecta a la distribución de telemetría en tiempo real, las bibliotecas especializadas ofrecieron el mejor rendimiento y mejores números, aunque todavía no permiten pensar en un sistema

realista que pueda atender el proceso de interpretación y distribución de múltiples satélites de tamaño medio en tiempo real sobre equipos estándares.

El prototipo es una buena base para la visualización y explotación de telemetría de pequeñas misiones, además de dar lugar a una plataforma de investigación. Como trabajo a futuro, se plantea explorar soluciones de memoria compartida, disponibles para versiones modernas del intérprete Python (3.8 o superior) [10] que resuelvan la latencia generada por la serialización / deserialización, y así permitir disminuir el costo actual del procesamiento de los datos.

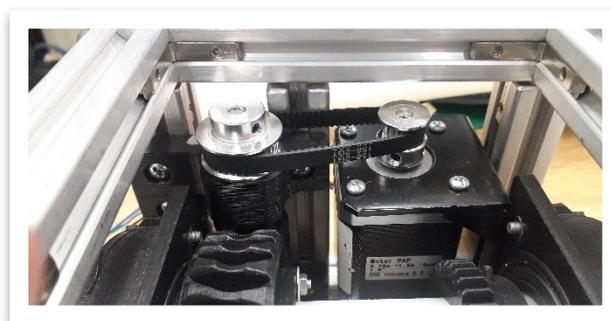


Figura 1 Bloque rotor



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

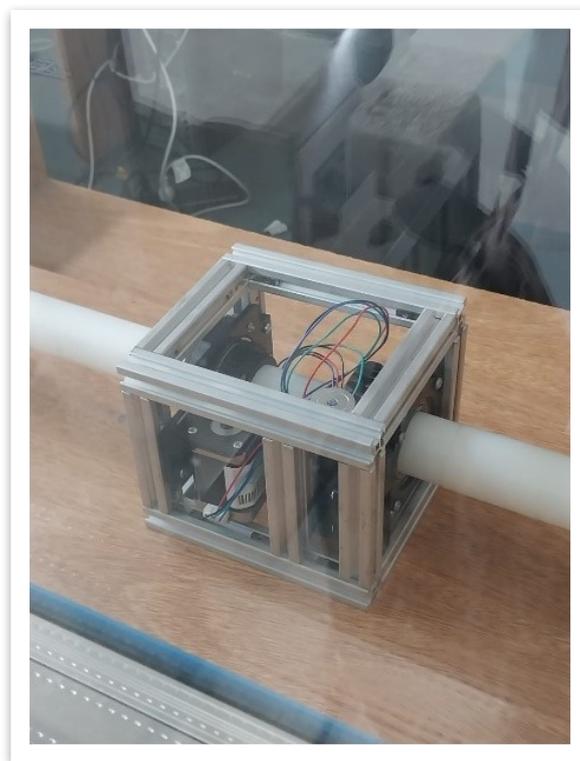


Figura 2. Rotor – Motor Paso a Paso

Formación de Recursos Humanos

Los prototipos en desarrollo presentan una plataforma realista de experimentación. Le permiten a investigadores y estudiantes probar soluciones de software, obtener límites, comparar alternativas y establecer criterios de decisión. El grupo de investigación, en el marco del proyecto PROINCE C245, estuvo compuesto por un investigador formado, cuatro investigadores en formación, tres alumnos investigadores y un alumno becario BIC (Beca de Investigación Científica UNLaM).

Referencias

- [1] GIDSA, «UNLaM Ground Segment,» [En línea] Available: <https://ugs.unlam.edu.ar>.
- [2] GIDSA, «Grupo de Investigación y Desarrollo de Software Aeroespacial de la Universidad Nacional de La Matanza,» [En línea]. Available: <https://gidsa.unlam.edu.ar>.
- [3] P. Soligo, G. Merkel y J. S. Ierache, «Software de segmento terreno de próxima generación,»



Código	FPI-009
Objeto	Guía de elaboración de Informe de avance de proyecto
Usuario	Director de proyecto de investigación
Autor	Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UNLaM
Versión	5
Vigencia	03/9/2019

de Congreso Argentino de Ciencias de la Computación, Tandil, 2018.

- [4] P. Soligo, G. Merkel y J. S. Ierache, «Investigación, desarrollo y publicación de un prototipo de segmento terreno satelital,» de Workshop de Investigadores en Ciencias de la Computación, 2021.
- [5] P. Soligo, G. Merkel y J. S. Ierache, «Telemetría de altas prestaciones sobre base de datos de serie de tiempo,» REDDI, vol. 5, n° 2, 2020.
- [6] SatNOGS, «SatNOGS,» 2024. [En línea]. Available: <https://satnogs.org/>. [Último acceso: 20 enero 2024].
- [7] D. J. White, I. Giannelos, A. Zissimatos, E. Kosmas, D. Papadeas, P. Papadeas, M. Papatmathaiou, N. Roussos, V. Tsiligiannis y I. Charitopoulos, «SatNOGS: Satellite Networked Open Ground,» Engineering Faculty Publications, 2015.
- [8] SatNogs disponible en línea en <https://satnogs.org/>
- [9] «Redis,» [En línea]. Available: <https://redis.io/>.
- [10] D. Beazley, «Understanding the python gil,» de PyCON Python Conference. Atlanta, Georgia, 2010.