

Desarrollo de Computadoras de a Bordo para Misiones Satelitales de Órbita Baja

Fernando Asteasuain – Federico Collado - Fernando Pazos- Federico D’Angiolo- Manuel Dubinsky- Matías Loiuseau – Noelia Aparicio- Katherine Caceres –Leonardo Guanco
Contacto Principal: fasteasuain@undav.edu.ar
Emails: <InicialNombre.Apellido>@undav.edu.ar

Carrera de Ingeniería en Informática – Universidad Nacional de Avellaneda

La industria aeroespacial se ha convertido en los últimos años en una de las áreas de mayor potencial dentro del mundo software tecnológico [1-5]. En particular, el diseño y desarrollo de los denominados nano satélites ha crecido exponencialmente en los últimos dos años. Este tipo de satélites, con bajos costos de desarrollo y de producción, permiten realizar valiosas tareas de producción y recolección de datos en diversos dominios como agroindustria, estudios climáticos, biología especializada o estudios espaciales y astronómicos [1].

Es crucial en este contexto el cuidadoso y meticuloso análisis y desarrollo de las computadoras a bordo (*OBC, por OnBoard Computers en inglés*), las cuales están a cargo de coordinar todo el funcionamiento del nano satélite. Por ejemplo, aspectos clave a considerar son la cantidad de servicios que proveerá y cuánto consume cada uno de la batería del artefacto.

El presente proyecto está enfocado en la exploración, diseño y verificación de OBC para nano satélites de órbita baja.

Palabras claves: *Nano satélites, Computadoras de a bordo, software satelital.*

La presente investigación se encuentra enmarcada dentro del proyecto “Desarrollo de Computadoras de a Bordo para Misiones

Satelitales de Órbita Baja” desarrollado en la carrera de Ingeniería en Informática de la Universidad Nacional de Avellaneda.

El grupo de investigación está constituido por dos investigadores formado, tres en formación, y cuatro estudiantes de grado haciendo sus tesis de final de carrera y prácticas profesionales. El proyecto entra en 2023 en el segundo año de su desarrollo.

El estudio de OBC para nano satélites ha sido declarado dominio de relevante interés estratégico comprendido en el Plan Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Argentina 2030.

El proyecto forma parte de un marco inter institucional consistente en poner en órbita un satélite argentino del tipo CubeSats [6-9], con el objetivo de promover un laboratorio espacial destinado a la provisión de servicios de *Internet de las Cosas (IoT, por Internet of Things en inglés)*. La Universidad Nacional de Avellaneda, a través de la carrera de Ingeniería en Informática será la encargada del estudio y selección de computadoras de a bordo para *Cubesats*. El grupo de investigación está trabajando conjuntamente con el Consejo Profesional de Ingeniería en Telecomunicaciones, Electrónica y Computación.

Finalmente, es importante destacar que existe también la posibilidad de transferencia y servicios al sector industrial y productivo.

1. Introducción

La industria aeroespacial se ha constituido en un polo de atracción, tanto para industria como para la academia. De acuerdo a un reporte de Stanley Morgan las ganancias esperadas en este sector son de 22 mil millones de dólares para 2024 y de 41 mil millones de dólares para 2029 [1,4].

En este contexto el desarrollo de los denominados nanos satélites se ha destacado debido a sus bajos costos de producción y lanzamiento. En los últimos 10 años el segmento de nano satélites creció por un factor de 10x, de apenas 20 lanzamientos en 2011 a casi 200 en 2019, y se estima que entre 1800 y 2400 serán lanzados en los próximos cinco años [2,3].

Uno de los nanos satélites más utilizados son los llamados *CubeSats*, un proyecto iniciado en la Universidad de Stanford en 1999. Más de mil misiones CubeSats han sido realizadas en los últimos 20 años [2,5].

Este tipo de satélites se utiliza principalmente para misiones de órbita baja [1-5,11-12]. Esto representa un gran desafío computacional con respecto al flujo de comunicación entre el satélite y los dispositivos de IoT encargados de recibir y enviar información desde y hacia el satélite.

Es importante en este punto mencionar que es primordial tener cobertura total para la interconexión de todos los actores involucrados, asegurando especialmente la comunicación con dispositivos IoT ubicados en zonas rurales o remotas [8].

Otro aspecto relevante es el diseño y análisis de la Computadora de a Bordo (OBC). Por ejemplo, cómo y cuánto de la batería del satélite consume cada servicio que se ofrece es un requerimiento fundamental a considerar.

Una OBC está a cargo del funcionamiento de todos los servicios del satélite, y de todos los sub sistemas que lo componen. También es la

responsable de manejar y dirigir todo el flujo de comunicación desde y hacia el satélite [8].

Dado este marco resulta indispensable el estudio del diseño de OBC para nano satélites y su posterior verificación formal con herramientas de Ingeniería de Software, el cual constituye el pilar de la presente investigación.

2. Líneas de Investigación y Desarrollo

En el presente trabajo se explorarán las siguientes líneas de investigación:

- Aplicación de métodos formales de Ingeniería de Software al diseño y verificación de OBC.
- Aplicación de métodos formales de Ingeniería de Software en sistemas basados en Internet de las Cosas.
- Garantizar la comunicación, interacción y protocolos desde y hacia el satélite.
- Explorar las demandas de hardware y software para OBC.
- Continuar y profundizar el desarrollo de herramientas de software que den aplicabilidad a los conocimientos adquiridos.
- Posibilidad de expandir, modificar, o adaptar sistemas operativos de OBC como FreeRTOS [13] o KubOS [14].
- Posibilidad de diagramar nuevas funcionalidades requeridas por un sistema operativo para una OBC.
- Estudio de Diseño Arquitectónico Innovadores para cumplir con todos los requerimientos de protocolos y comunicación de nano-satélites.

3. Resultados Obtenidos/Esperados

El objetivo principal del presente proyecto de Investigación es el diseño y desarrollo de OBC para nano satélites.

Como resultados obtenidos se pueden mencionar tres hitos importantes dentro del desarrollo actual del presente proyecto de investigación.

Por un lado, se analizó formalmente el sistema operativo FreeRTOS [15]. A través de la utilización de una herramienta y lenguaje de especificación denominado FVS [18,19], desarrollado por el grupo de investigación, se logró modelar toda la funcionalidad de este popular sistema operativo para OBC. Esta exploración formal del sistema operativo es clave para el desarrollo saludable de OBC.

En segundo término, se desarrolló un análisis inicial de *brokers* o servidores dedicados a OBC para nano satélites [16]. Este estudio resultó clave para tener un entendimiento cabal de las posibilidades y recursos de cada opción disponible.

Finalmente, se realizó un experimento de tipo empírico también sobre performance de *brokers* y servidores para OBC. Los relevamientos de tipo empírico aportan una información sumamente valiosa a la hora de diseñar y desarrollar OBC [17].

Como resultados futuros esperados mencionar:

- a) Relevar y establecer qué tipo de servicios pueden estar disponibles o no en los satélites para que puedan garantizar su funcionamiento
- b) Estudio y exploración de sistemas operativos para OBC.
- c) Estudio y análisis de protocolos de comunicación para dispositivos IoT.
- d) Estudio pormenorizado de requerimientos de performance, consumo de energía, y de procesamiento, a nivel hardware y software.
- e) Aplicar herramientas y técnicas formales de la Ingeniería de Software para el desarrollo OBC.
- f) Explorar y analizar un estudio comparativo y selección de diferentes

computadoras de abordo (OBC) que ofrece el mercado [18,20-21].

- g) Estudio y selección del sistema operativo y firmware a embeber en la computadora de abordo [22-23].
- h) Divulgar los resultados de la investigación en congresos y revistas científicas de interés para los temas de la investigación.
- i) Consolidar los recursos humanos en inicios de las tareas de investigación como estudiantes avanzados de la carrera, mediante la participación activa en el proyecto o mediante la realización de tesis de final de carrera de grado.
- j) Dirección de tesis de final de carrera y supervisión de prácticas profesionales (PPS).
- k) Analizar y explorar posibilidades de transferencia, ya que se abren grandes posibilidades de generación de trabajo pues existe una demanda creciente e insatisfecha en este segmento de mercado. El modelo de negocios se sustenta en el desarrollo de conocimientos y habilidades que aplican a la industria satelital con un bajo costo.

4. Formación de Recursos Humanos

El presente proyecto buscará potenciar a los investigadores en formación y de posgrado.

En cuanto a los estudiantes de grado, se buscará en primer lugar que finalicen su tesis de grado o su práctica profesional.

Se los pretende motivar como para que puedan continuar dentro del proyecto mediante la realización de algún posgrado.

Finalmente, se pretende consolidar las líneas de investigación dentro de la carrera de Ingeniería en Informática de la Universidad Nacional de Avellaneda.

5. Bibliografía

1. Saeed, N., Elzanaty, A., Almorad, H., Dahrouj, H., AlNaffouri, T. Y., & Alouini, M. S. (2020). Cubesat communications: Recent advances and future challenges. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(3), 1839-1862.
2. Hanafi, A., Derouich, A., Karim, M., & Lemmassi, A. (2021, January). Design and Implementation of an Open Source and Low-Cost Nanosatellite Platform. In *International Conference on Digital Technologies and Applications* (pp.421-432). Springer, Cham.
3. Williams, C. and DelPozzo S. Nano Microsatellite Market Forecast - 10th Edition, Space-Works Annual Nano/Microsatellite Market Assessment, 2020.
4. Pressman, A. (2019). Why Facebook, SpaceX and dozens of others are battling over Internet access from space. *Fortune*.
5. Kulu E.. "Nanosatellite and cubesat database," 2019. [Online]. Available: <https://www.nanosats.eu/>
6. Danilo José Franzim Miranda, Maurício Ferreira, Fabricio Kucinskis, David McComas. "A Comparative Survey on Flight Software Frameworks for 'New Space' Nanosatellite Missions". *Journal of Aerospace Technology and Management* vol.11, 2019 Epub Oct 24, 2019 On-line version ISSN 2175-9146. <https://doi.org/10.5028/jatm.v11.1081>
7. Sneps-Sneppe, M., Pauliks, R., & Namiot, D. (2021). On Information Technology Issues in the Nanosatellite Era. In *Conference of Open Innovations Association, FRUCT* (No. 28, pp. 638-644).
8. Fernandez, L., Ruiz-De-Azua, J. A., Calveras, A., & Camps, A. (2020). Assessing LoRa for satellite-to-earth communications considering the impact of ionospheric scintillation. *IEEE access*, 8, 165570-165582.
9. Anantachaisilp, P., Muangkham, M., Punpigul, N., & Thammawichai, M. (2020). Store and Forward CubeSat using LoRa Technology and Private LoRaWAN-Server.
10. Alam, M., Khamees, A., Aboelnaga, T., Amer, A., Harbi, A., Alamir, M., & Elsayed, O. A. (2021, August). Design and Implementation of an Onboard Computer and payload for Nano Satellite (CubeSat). In *The International Undergraduate Research Conference* (Vol. 5, No. 5, pp. 361-364). The Military Technical College.
11. Tipaldi, M., Legendre, C., Koopmann, O., Ferraguto, M., Wenker, R., & D'Angelo, G. (2018). Development strategies for the satellite flight software on-board Meteosat Third Generation. *Acta Astronautica*, 145, 482-491.
12. Wenker, R., Legendre, C., Ferraguto, M., Tipaldi, M., Wortmann, A., Moellmann, C., & Rosskamp, D. (2017, June). On-board software architecture in MTG satellite. In *2017 IEEE International Workshop on Metrology for AeroSpace (MetroAeroSpace)* (pp. 318-323). IEEE.
13. <https://www.freertos.org/>
14. <https://docs.kubos.com/1.21.0/index.html>
15. Asteasuain, F.: Formalizing operating systems for nano satellites on board computers. In: *CONAIIISI* (2022)
16. D'Angiolo, F., Collado, F., Mayer, R., Caporaletti, G., Loiseau, M., Aparicio, N., ... & Perez, H. (2022). Estudio y recomendación de Computadoras de Abordo para Cubesat. *Cartografías del Sur Revista de Ciencias Artes y Tecnología*, (16).
17. F. Pazos and F. Collado. "Performance evaluation of MQTT broker servers deployed in the cloud: an application on a Cubesat nanosatellite". Artículo a ser presentado en *IEEE Latin-American Conference on Communications 2022 (LATINCOMM 2022)*. Rio de Janeiro, Brasil, 30 November to 02 December 2022.
18. Asteasuain, F., Braberman, V.: Declaratively building behavior by means of scenario clauses. *Requirements Engineering* 22(2), 239-274 (2017), doi:10.1007/s00766-015-0242-2
19. Asteasuain, F., Calonge, F., Dubinsky, M., Gamboa, P.: Open and branching behavioral synthesis with scenario clauses. *CLEI E-JOURNAL* 24(3) (2021).
20. Zufelt, Brian, "CloudSat: IoT Approach to Small Satellite Ground Infrastructure", *Tech*.

report, University of NewMexico, 2018.
<https://digitalrepository.unm.edu/>

21. Narayanasamy, A, et al. “Nanosatellites constellation as an IoT communication platform for near equatorial countries”, IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2017.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/260/1/012028>

22. Leppinen, Hannu. “Current use of Linux inspacecraft flight software”, IEEE Aerospace andElectronic Systems Magazine, number 32, pp. 4-13,2017.

23. Kelapure, Sarthak, “Design of a Software Architecture for Supervisor System in a Satellite”, Master Thesis, Facultad de Informática, Electrotécnica y Técnicas de la Información, University of Stuttgart, 2020.
DOI: 10.18419/opus-11167