

RED INTELIGENTE DE ESTACIONES TERRENAS ADSGS

JORGE ENRIQUE ESPÍNDOLA DÍAZ



2023

Red Inteligente de Estaciones Terrenas- ADSGS / Ground Station Smart Network - ADSGS / Espíndola Díaz, Jorge Enrique.
Tunja: Editorial UPTC, 2023. 142 p.

ISBN (impreso) 978-958-660-809-1
ISBN (ePub) 978-958-660-808-4

Incluye referencias bibliográficas

1. Algoritmo Húngaro Adaptado. 2. ADSGS.
3. Radio Definido por Software. 4. Redes de Estaciones Terrenas. 5. Inteligencia Artificial. 6. Expert SINTA

(Dewey 500.5/21) (Thema PGG- Observación astronómica: observatorios, equipamiento y métodos)



Uptc
Universidad Pedagógica y
Tecnológica de Colombia



Rector, UPTC

Enrique Vera López

Comité Editorial

Carlos Mauricio Moreno Téllez, Ph.D.
Jorge Andrés Sarmiento Rojas, Ph.D.
Yolima Bolívar Suárez, Ph.D.
Pilar Jovanna Holguín Tovar, MSc.
Nelsy Rocío González Gutiérrez, Ph.D.
Ruth Maribel Forero Castro, Ph.D.
Edgar Nelson López López, MSc.

Editor en Jefe (e)

Óscar Pulido Cortés, Ph.D.

Coordinadora Editorial

Andrea María Numpaque Acosta

Primera Edición, 2023

50 ejemplares (impresos)

Red Inteligente de Estaciones Terrenas - ADSGS

Ground Station Smart Network- ADSGS

ISBN (impreso) 978-958-660-809-1

ISBN (ePub) 978-958-660-808-4

Colección Investigación UPTC N.º 03

Proceso de arbitraje doble ciego

Recepción: diciembre de 2022

Aprobación: abril de 2023

© Jorge Enrique Espíndola Díaz, 2023

© Universidad Pedagógica y Tecnológica de
Colombia, 2023

Facultad Seccional Sogamoso

Director de la Colección

Jorge Enrique Espíndola Díaz, Ph.D.

Director Centro de Investigación y Extensión- CIFAS

Subcomité Especializado de Evaluación de Obras de la Facultad Seccional Sogamoso

Héctor Antonio Fonseca Peralta, MSc.

Liliana Fernández Samacá, Ph.D.

Luis Alfonso Moreno Corredor, Ph.D.

José Javier González Millán, Ph.D.

Karol Lizeth Roa Bohórquez, MSc.

Corrector de Estilo

Giseth Alexandra López López

Diseño y Diagramación de la Colección

Vivian Andrea Espíndola Carvajal

David Santiago Espíndola Carvajal

Libro N.º. 03

Las opiniones vertidas en los textos son de entera
responsabilidad del autor.

Editorial UPTC

La Colina, Bloque 7, Casa 5

Avenida Central del Norte No. 39-115, Tunja, Boyacá

comite.editorial@uptc.edu.co

Imprenta

Búhos Editores Ltda.

Tunja- Boyacá

Libro financiado por la Vicerrectoría de Investigación y Extensión - Dirección de Investigaciones y CIFAS de la UPTC. Se permite la reproducción parcial o total, con la autorización expresa de los titulares del derecho de autor. Este libro es registrado en Depósito Legal, según lo establecido en la Ley 44 de 1993, el Decreto 460 de 16 de marzo de 1995, el Decreto 2150 de 1995 y el Decreto 358 de 2000.

Impreso y hecho en Colombia - Printed and made in Colombia

Libro de investigación resultado del proyecto "Un estudio sobre automatización de estaciones terrenas en el área espacial" con SGI 1367

Citar este libro / Cite this book

Espíndola Díaz, J. E. (2023). *Red Inteligente de Estaciones Terrenas - ADSGS*. Editorial UPTC.

DOI: <https://doi.org/10.19053/9789586608091>



*“Si tienes un problema que se puede arreglar,
entonces no sirve de nada preocuparse.
Si tienes un problema que no se puede solucionar,
entonces no sirve de nada preocuparse”
Proverbio budista*

*“Para escribir un poco hay que leer mucho”
Jorge Espíndola*

*A mis hijos David Santiago,
Vivian Andrea, Jorge Iván;
mi esposa María Patricia,
así como a Juan Arquímedes†
y María del Carment† mis padres.*

RESUMEN

Generalmente, el costo de las operaciones satelitales no es insignificante; especialmente para misiones de largo plazo. Una alternativa para la reducción de costos es aumentar el nivel de automatización de los procedimientos, siempre y cuando esto sea posible. Este libro propone un enfoque dinámico y autónomo de las redes de estaciones terrenas para el rastreo de pequeños satélites, de tal manera que se minimicen estos costos operacionales. La solución planteada es ADSGS (*Autonomous and Dynamic System Ground Station*) Sistema Autónomo y Dinámico para Estaciones Terrenas, que es un middleware integrado con componentes de hardware y software para operar en un entorno de red distribuido en estaciones terrenas. Esta investigación tiene en cuenta que la red SATNet, en la actualidad no tiene un componente de asignación con las características de dinamismo y autonomía. Por el contrario, en ADSGS lo incorpora usando para esto Inteligencia Artificial a través de un sistema experto basado en reglas. Esta propuesta plantea un agente de red ADSGS que opera de forma autónoma y dinámica la red Satnet donde se gestionan los componentes asociados a la estación. ADSGS usa una versión adaptada del algoritmo húngaro para la optimización combinatoria de problemas de asignación, el cual responde a eventos como la interrupción del servicio. Así también, el componente de hardware propuesto utiliza la tecnología COTS y Software Defined Radio (SDR), mientras que el componente de software utiliza paquetes como Orbitron, ProEst, el sistema experto SINTA, entre otros. La metodología responde a un estudio de caso que ilustra las principales características de ADSGS, este consiste en una pequeña simulación en MATLAB con STK (Kit de herramientas de sistemas), dos escenarios de designación (**1 a m** y **n a m**) de estaciones en la red Satnet a satélites mediadas por el agente ADSGS.

Palabras clave: algoritmo húngaro adaptado, ADSGS, redes de estaciones terrenas, radio definido por software.

ABSTRACT

The costs in satellite operations are generally not negligible, especially for long-term missions. An alternative to lower costs is to increase the level of automation in procedures whenever possible. This work proposes a dynamic and autonomous approach to small satellite ground station networks aimed at minimizing these operational costs. The proposed solution is called the ADSGS (*Autonomous and Dynamic System Ground Station*) and is a middleware with hardware and software components to operate in a distributed network environment of ground stations. In this work the SATNet network was considered as currently it lacks an allocation component with the characteristics of dynamism and autonomy. In ADSGS this is provided through the use of artificial intelligence in a rule-based expert system. In the proposal, an ADSGS network agent operates autonomously and dynamically on the SATNet network where the associated station components are managed. The ADSGS agent uses an adapted version of the Hungarian Algorithm for combinatorial optimization of allocation problems and responds to events such as service interruption. The proposed hardware component uses COTS and Software Defined Radio (SDR) technology while the software component uses packages such as Orbitron, ProEst, the SINTA expert system, among others. A case study is made to illustrate the main features of the ADSGS consisting of a small simulation in MATLAB with STK (Systems Tool Kit), two scenarios of satellite designation (**1-to-m** and **n-to-m**) of stations in the SATNet network by the ADSGS agent.

Keywords: adapted hungarian algorithm, ADSGS, ground station networks, software defined radio.

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Interfaces de modernización de la AFSCN.....	7
Figura 2. Diagrama de bloque del sistema Mercury.....	9
Figura 3. Arquitectura del sistema.....	10
Figura 4. Clientes GMS.....	14
Figura 5. Implementación de los controladores de GMS.....	14
Figura 6. El rack MC3 y su contenido.....	16
Figura 7. Capacidades y características del CGA.....	17
Figura 8. La Arquitectura del MC3.....	18
Figura 9. Arquitectura de la red GENSO	21
Figura 10. Diseño de estación terrena VHF/UHF.....	21
Figura 11. Diseño del hardware.....	23
Figura 12. Diagrama funcional de la aplicación GSS.....	24
Figura 13. Intercambio directo de datos en la estación GENSO.....	25
Figura 14. Esquema de secuencia de uplink.....	26
Figura 15. Cobertura LEO proyectada para la red GENSO.....	26
Figura 16. Visión global del concepto SatNOGS.....	28
Figura 17. Diagrama de programación de observación de la red.....	29
Figura 18. Interacciones y componentes del software cliente.....	30
Figura 19. SATNet – Concepto básico de la red.....	31
Figura 20. Arquitectura típica de una estación terrena ADSGS.....	40
Figura 21. La arquitectura de una estación terrena ADSGS.....	40
Figura 22. Componentes adaptados del hardware ADSGS.....	42
Figura 23. El Concepto SDR – Radio definido por software.....	47
Figura 24. Pasos para integrar los nodos dentro de la red SATNet.....	51
Figura 25. Diagrama actual del nodo INPE en la red SATNet.....	52
Figura 26. Interfaz Orbitron.....	53
Figura 27. Software ProEst.....	55
Figura 28. SoundModem.....	56

Figura 29. El Agente ADSGS.....	62
Figura 30. Diagrama de los actores del ADSGS.....	65
Figura 31. Expert SINTA – Pantalla principal.....	67
Figura 32. Expert SINTA – Esquema de regla de producción.....	67
Figura 33. La vista “4+1” del modelo.....	78
Figura 34. Diagrama de flujo del agente ADSGS.....	79
Figura 35. Escenario #1: 1 Satélite a n Estaciones Terrenas.....	86
Figura 36. Escenario #2: n Satélites a m Estaciones Terrenas.....	89
Figura 37. Simulación ilustrativa del escenario usando STK.....	93
Figura 38. Conflicto de acceso a satélite #1.....	95
Figura 39. Conflicto de acceso a satélite #4 y #5.....	96
Figura 40. VHF-UHF Antena crossboom.....	115
Figura 41. Antena banda S.....	115
Figura 42. Pre-amplificador VHF/UHF.....	116
Figura 43. Convertidor banda S de 2,4 GHz.....	117
Figura 44. Radio IC7100.....	118
Figura 45. Yaesu G5500.....	119
Figura 46. Interfaz GS-232A.....	120
Figura 47. Rotor banda S BIGRAS/HR.....	120
Figura 48. Controlador de rotor MD01.....	121
Figura 49. Relay CX600N.....	122
Figura 50. SDR AirSpy.....	123

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Radios y antenas del MC3.....	18
Tabla 2. Comparación de las diferentes estaciones terrenas.....	34
Tabla 3. Misiones, ventajas, desventajas y bandas de frecuencia.....	35
Tabla 4. Resumen de especificaciones del hardware adaptado ADSGS.....	43
Tabla 5. Compañías comerciales que ofrecen soluciones GS.....	44
Tabla 6. Preguntas/Respuestas.....	70
Tabla 7. Regla 1.....	72
Tabla 8. Regla 2.....	72
Tabla 9. Regla 3.....	73
Tabla 10. Regla 4.....	73
Tabla 11. Regla 5.....	74
Tabla 12. Regla 6.....	74
Tabla 13. Regla 7.....	74
Tabla 14. Regla 8.....	75
Tabla 15. Regla 9.....	75
Tabla 16. Regla 10.....	76
Tabla 17. Regla 11.....	76
Tabla 18. Regla 12.....	76
Tabla 19. Regla 13.....	77
Tabla 20. Regla 14.....	77
Tabla 21. Matriz de visibilidad extendida para 1 Satélite a n Estaciones.....	87
Tabla 22. Preferencias de un n Satélite y una m Estación Terrena.....	89
Tabla 23. Resultado de asignación del Algoritmo Húngaro Adaptado.....	90
Tabla 24. Estaciones terrenas.....	91
Tabla 25. Satélites.....	92
Tabla 26. Conflictos de acceso al satélite durante la simulación STK.....	94
Tabla 27. Características técnicas del hardware.....	123
Tabla 28. Elementos de hardware para ADSGS.....	124

LISTA DE ABREVIACIONES

ADSGS	Autonomous and Dynamic System for Ground Stations
AFSCN	Air Force Satellite Control Network
AI	Artificial Intelligence
AMSAT	Radio Amateur Satellite Corporation
ASCII	American Standard Code for Information Interchange
AUS	Authentication Server
CCSDS	Consultative Committee for Space Data Systems
CGA	Common Ground Architecture
COTS	Commercial Off TheShelf
CSA	Canadian Space Agency
DARPA	Defense Advanced Research Projects Agency
DoD	Department of Defense
DSN	Deep Space Network
DSP	Digital Signal Processing
ESA	European Space Agency
FCFS	FirstComeFirstServed
FOP	Flight Operational Plans
GENSO	Global Educational Network for Satellite Operations
GMS	Ground Station Management Server
GPS	Global Positioning System
GROWS	Ground Station Operation Web Service
GSML	Ground Station Markup Language
GSN	Ground Station Network
GSS	Ground Station Server
GUI	Graphics User Interface
HAL	Hardware Abstraction Layer
HF	High Frequency

HTTP	Hyper Text Transfer Protocol
IARU	International Amateur Radio Union
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IP	Internet Protocol
ISEB	International Space Education Board
ISIS	Small Satellite Ground Station
ISS	International Space Station
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
JPL	Jet Propulsion Laboratory
KBS	Knowledge Based Systems
LEO	Low Earth Orbit
MATLAB	Matrix Laboratory
MC3	Mobile CubeSat Command and Control
MCC	Mission Control Client
MGSN	Mercury Ground Station Network
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NL	Network Level
NORAD	North American Aerospace Defense Command
NPS	Naval Postgraduate School
NRL	Naval Research Laboratory
OSAGS	Open System of Agile Ground System
OSCAR	Orbital Satellite Carrying Amateur Radio
SAFB	Schriever Air Force Base
SATNet	Satellite Network
SATNOGS	Satellite Networked Open Ground Station
SDR	Software Defined Radio
SGLS	Space Ground Link System
SL	Session Level
SSDL	Space Systems Development Laboratory
STAC	Satellite Tracking and Command Station
STK	System Tool Kit
TCP	Transfer Control Protocol
TCP/IP	Transfer Control Protocol/Internet Protocol
TDI	Teses e Dissertações Internas
TLE	Two Line Element

TNC	Terminal Node Controller
TT&C	Telemetry, Tracking, and Command
UHF	Ultra High Frequency
UML	Unified Modeling Language
UNISEC	University Space Engineering Consortium
VHF	Very High Frequency
VHL	Virtual Hardware Level
VPN	Virtual Private Network
XML	eXtensible Markup Language

CONTENIDO

	Pág.
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ¿Cuál es el problema de investigación?.....	1
1.2 Objetivos y resultados esperados.....	2
1.3 ¿Cuál podría ser una posible solución?.....	3
1.4 Estructura del manuscrito.....	4
CAPÍTULO 2. REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE.....	5
2.1 Red de Espacio Profundo (DSN).....	6
2.2 Red de Control del Satélite de la Fuerza Aérea (AFSCN).....	6
2.3 Sistema Mercury (MERCURY).....	8
2.4 Red de Estaciones Terrenas (GSN).....	12
2.5 Comando y Control de CubeSat Móvil (MC3).....	15
2.6 Red Global Educativa para Operaciones Satelitales (GENSO).....	19
2.7 Red Abierta de Estaciones Terrenas Satelitales (SatNOGS).....	27
CAPÍTULO 3. ARQUITECTURA Y MODELADO DE ADSGS.....	39
3.1 Componentes: Hardware y Software del ADSGS.....	41
3.1.1 Hardware ADSGS adaptado de la Estación Terrena.....	41
3.1.2 El Software ADSGS Adaptado de la Estación Terrena.....	45
3.1.2.1 Radio Definido por Software.....	46
3.2 Componentes Externos.....	48
3.2.1 SATNet.....	48
3.2.2 Orbitron.....	52
3.2.3 ProEst.....	54
3.2.4 Software del Módem.....	56
3.2.5 Plan Operativo de Vuelo.....	57
3.3 Componente ADSGS.....	58
3.3.1 Interfaz de Usuario.....	58
3.3.2 Agentes.....	59

3.3.2.1 Agente Ingenuo.....	59
3.3.2.2 El agente FCFS.....	60
CAPÍTULO 4. LA PROPUESTA DEL AGENTE ADSGS.....	61
4.1 El agente ADSGS.....	61
4.1.1 Actores que intervienen al agente ADSGS.....	63
4.1.2 Implementación de sistemas basados en reglas.....	66
4.1.2.1 El Shell SINTA.....	66
4.1.2.2 Preguntas.....	69
4.1.2.3 Reglas para el Expert SINTA.....	71
4.2 El modelado UML del agente ADSGS.....	77
4.2.1 Flujo detallado del trabajo del agente ADSGS.....	78
4.2.2 Base de datos del proyecto.....	82
4.2.3 Tecnologías sugeridas para el agente ADSGS.....	83
CAPÍTULO 5. RESULTADOS DE ESTE CASO DE ESTUDIO.....	85
5.1 Escenario #1: 1 Satélite a n Estaciones Terrenas.....	85
5.2 Escenario #2: n Satélites y m Estaciones Terrenas.....	88
5.3 Escenario de simulación usando STK con MATLAB.....	90
CAPÍTULO 6. TRABAJOS FUTUROS EN EL ÁREA Y CONCLUSIONES.....	97
6.1 Consideraciones Finales y Conclusiones.....	97
6.2 Los trabajos futuros.....	100
REFERENCIAS.....	101
APÉNDICE A. HARDWARE ADAPTADO TIPO ADSGS.....	115