

DSLWP-B

El satélite Amateur en órbita lunar

Dr. Daniel Estévez
EA4GPZ / M0HXM

15 de septiembre de 2018
IV Iberradio, Ávila

- 1 ¿Qué es DSLWP-B?
- 2 Repaso cronológico de la misión
- 3 Experimentos realizados
 - Seguimiento de la órbita
 - VLBI Amateur
 - Detección de señales débiles
 - Procesamiento de los datos SSDV

- 1 ¿Qué es DSLWP-B?
- 2 Repaso cronológico de la misión
- 3 Experimentos realizados
 - Seguimiento de la órbita
 - VLBI Amateur
 - Detección de señales débiles
 - Procesamiento de los datos SSDV

La misión Chang'e 4

- *Chang'e 4* es un rover lunar chino en la cara oculta de la Luna. Lanzamiento previsto diciembre 2018.
- Para soportar las comunicaciones de la misión, el 20 de mayo se lanzó *Queqiao*, un relé de comunicaciones que orbita el punto L2. Con su antena de 4.2m, soporta hasta 2Mbps usando banda X con el rover y banda S con la Tierra.
- Con *Queqiao* se lanzaron dos microsátélites, que han sido conocidos con varios nombres: microsátélites CE-4, DSLWP-A1 y -A2, DSLWP-A y -B, y Longjiang 1 y 2.

Los microsátélites DSLWP

- Peso 45kg.
- Tamaño 50x50x40cm.
- Diseñados y contruïdos por el Harbin Institute of Technology (China)
- Misión científica: radioastronomía con interferometría en 1-30MHz. Vuelo en formación a una distancia de 1 a 10km.
- DSLWP-B lleva una cámara diseñada por King Abdulaziz City for Science and Technology (Arabia Saudí).
- Telemetría y telecomando en banda S, link inter-satélite en banda S, datos científicos en banda X (1Mbps).
- Payload Amateur diseñado y construido en el BY2HIT, el radioclub del Harbin Institute of Technology.

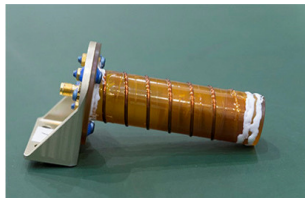
Payload Amateur en DSLWP

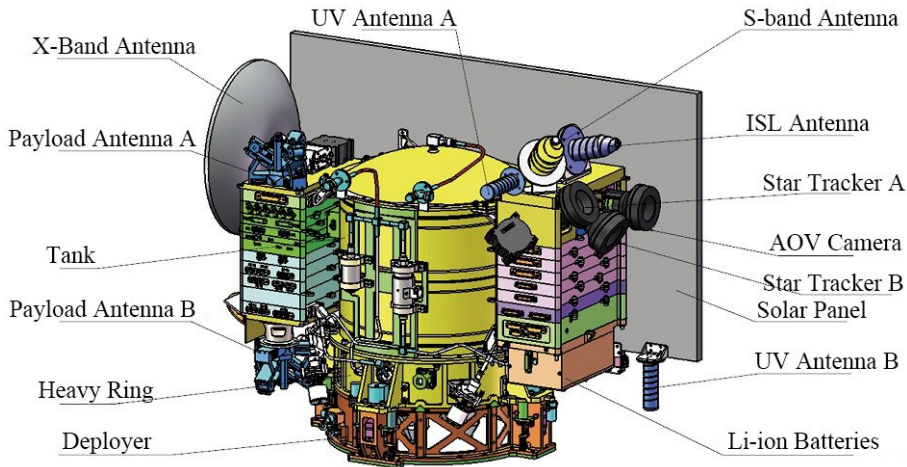
- Proyecto dirigido por Wei Mingchuan BG2BHC.
- Equipo SDR basado en los diseños de LilacSat 1 y 2.
- Uso: Telemetría y telecomando auxiliar. Experimentos por Radioaficionados.
- TX: 70cm, RX: 2m.
- Cámara CCD (Inory Eye) para transmitir imágenes SSDV.
- Estaciones de tierra principales: PI9CAM, Dwingeloo (Holanda), disco de 25m. Shahe, Pekín (China), disco de 12m.
- Experimento de VLBI.
- Modulaciones empleadas:
 - GMSK 250baud con código Turbo $r = 1/2$. Transmisión de telemetría y SSDV.
 - JT4G. Telemetría (abreviada) y repetidor de mensajes.
- Posibilidades de telecomando por Radioaficionados:
 - Transmisión de mensajes a través del repetidor JT4G.
 - Control de la cámara.

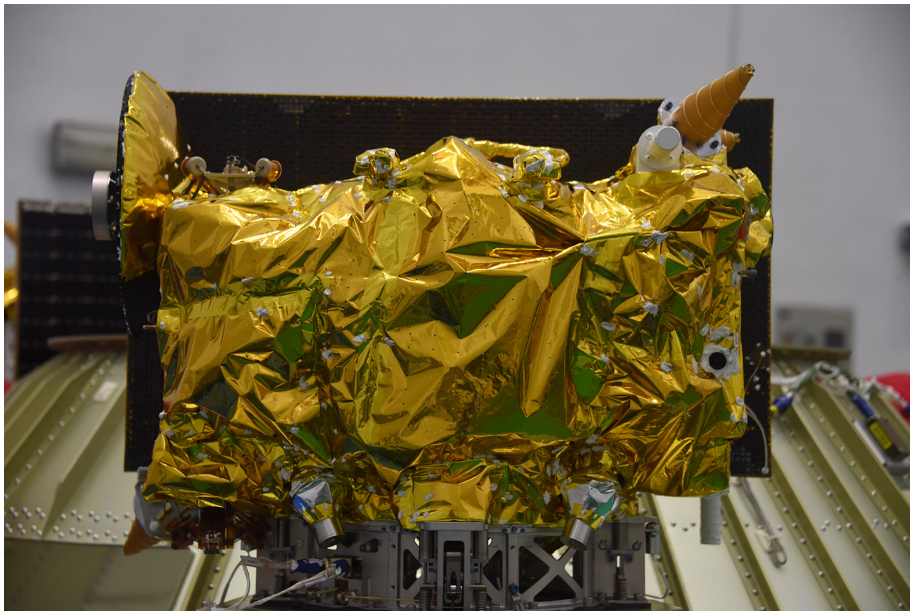


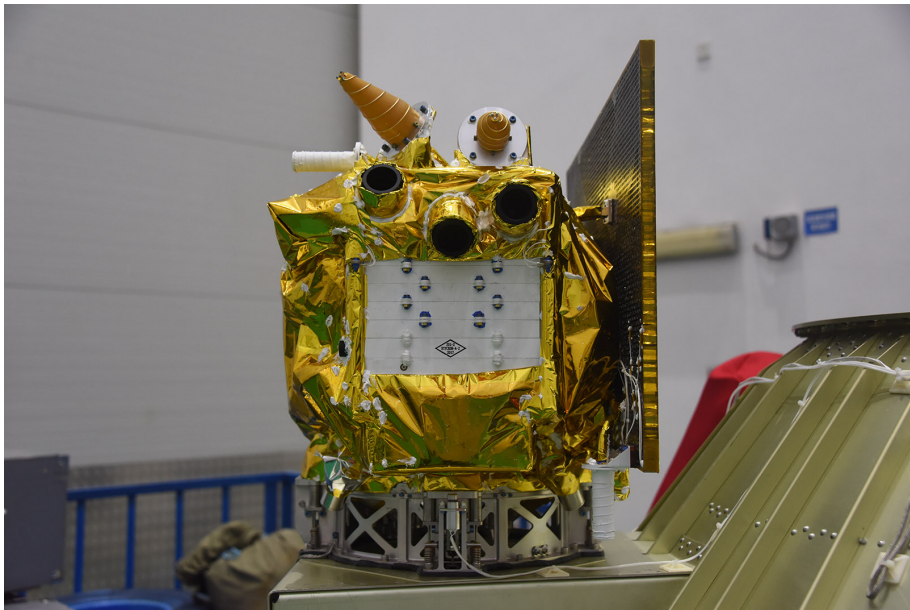
Antenas para el Payload Amateur

- Diseño: doble hélice acortada bibanda.
- Polarización lineal.
- Ganancia pico aprox. 0dBi en UHF, -9dBi en VHF.









1 ¿Qué es DSLWP-B?

2 Repaso cronológico de la misión

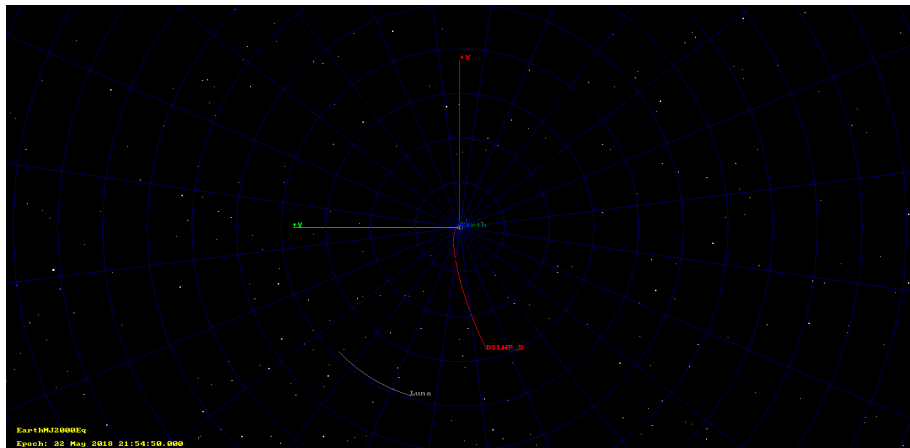
3 Experimentos realizados

- Seguimiento de la órbita
- VLBI Amateur
- Detección de señales débiles
- Procesamiento de los datos SSDV

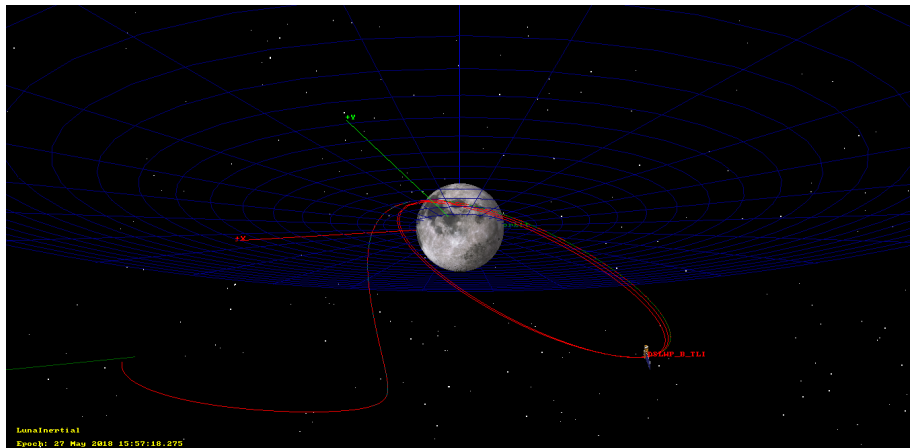
Lanzamiento

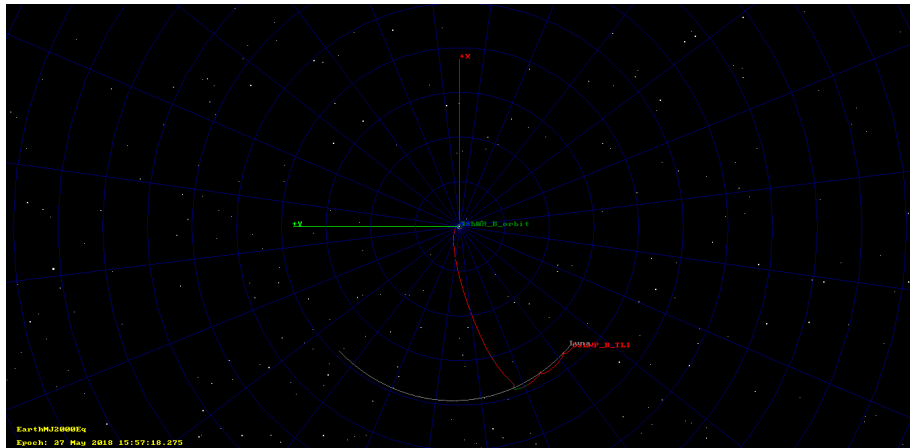
- DSLWP-A y -B fueron lanzados junto con Queqiao el 20 de mayo a las 21:25 UTC desde Xichang (China).
- La inyección trans-lunar y separación ocurrió sobre las 21:50 UTC.
- Poco después DSLWP-A y -B comenzaron a transmitir telemetría GMSK sobre América.
- Primeras señales de DSLWP-A recibidas por Edson Pereira PY2SRD con una yagi LFA de 4 elementos.
- Los dos satélites continuaron transmitiendo GMSK hasta las 02:45 UTC del 21 de mayo, momento en el que apagaron sus transmisores UHF a 70000km de distancia.
- Las siguientes estaciones recibieron la señal GMSK: PY2SDR, CD3NDC, PY4ZBZ, N6RFM, PY2ZX.

- El seguimiento de las sondas por Radioaficionados continuó usando la baliza en banda S (2275MHz).
- Varias estaciones recibieron la señal: IW1DTU, M0EYT, VE7TIL, y otros.
- El 21 de mayo a las 19:54 UTC se realizó una maniobra de corrección de trayectoria con DSLWP-A.
- Durante esta maniobra se perdió el contacto con DSLWP-A. El contacto no se ha vuelto a recuperar y la misión se ha dado por fallida.
- El 23 de mayo a las 12:00 UTC se realizó una maniobra de corrección de trayectoria con DSLWP-B.
- Afortunadamente la maniobra se ejecutó correctamente y DSLWP-B continuó sin problemas su curso hacia la Luna.
- El 23 de mayo a las 12:20 UTC se volvió a activar el transmisor UHF de DSLWP-B y se recibió correctamente la telemetría en Pekín a una distancia de 321500km.



- El 24 de mayo a las 13:30 UTC se realizó una segunda corrección de trayectoria con DSLWP-B.
- El 25 de mayo a las 14:18 UTC se produjo la inyección en órbita lunar de DSLWP-B.
- Parámetros orbitales:
 - Semieje mayor: 8750km
 - Excentricidad: 0.76
 - Inclinación: 21°
 - Altura del apoápside: 13660km
 - Altura del periápside: 360km
 - Periodo: 20h 24min





Operaciones en órbita lunar

- El 2 de junio a las 22:00 UTC se realizaron las primeras transmisiones GMSK desde órbita lunar. Recibidas correctamente en Pekín.
- Se realizaron más transmisiones el 3 de junio a las 3:00 UTC, que fueron recibidas correctamente en Dwingeloo.
- Desde entonces se han realizado transmisiones ocasionales durante periodos de 2 horas (típicamente en fin de semana). Los periodos en los que el transmisor UHF está activo son publicados por Wei Mingchuan BG2BHC.
- El 10 de junio a las 4:00 UTC se realizó el primer (y único hasta la fecha) experimento de VLBI. La señal GMSK se grabó de manera sincronizada en Dwingeloo y Pekín.
- El 16 de junio a las 9:00 UTC se realizaron las primeras transmisiones JT4G. Desde entonces se usa tanto GMSK como JT4G en los periodos en que el transmisor UHF está activo.

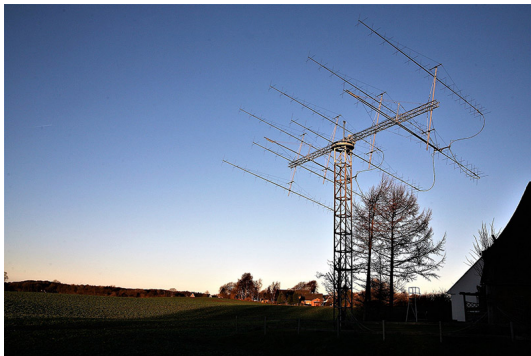
Imágenes de la cámara Saudí

- El 14 de junio se transmitieron en banda X algunas imágenes tomadas por la cámara Saudí.



Repetidor JT4G

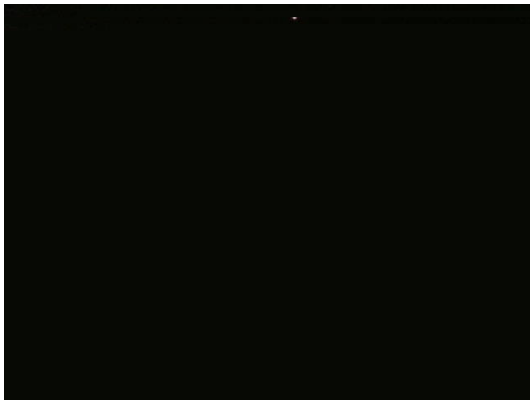
- El 15 de julio se probó con éxito el repetidor GMSK⇒JT4G. Reinhard Kuehn DK5LA transmitió un mensaje a través de DSLWP-B. El mensaje fue recibido por HB9OAB, W2RTV, IW1DTU, IU2EFA, PY4ZBZ, PA0DLO y IO1YL.



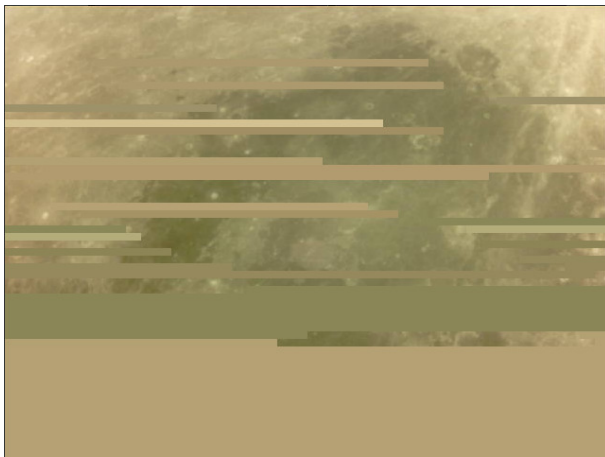
- El 27 de julio a las 20:21 UTC hubo un eclipse total lunar.
- En anticipación, el 20 de julio a las 10:47 UTC se realizó una maniobra para subir el periápside de DSLWP-B. El radio del periápside se incrementó 385km.
- Esta maniobra tuvo dos objetivos: evitar que DSLWP-B pasara mucho tiempo eclipsado por la Tierra y evitar que DSLWP-B acabara colisionando con la Luna en diciembre de 2018.

Transmisiones SSDV

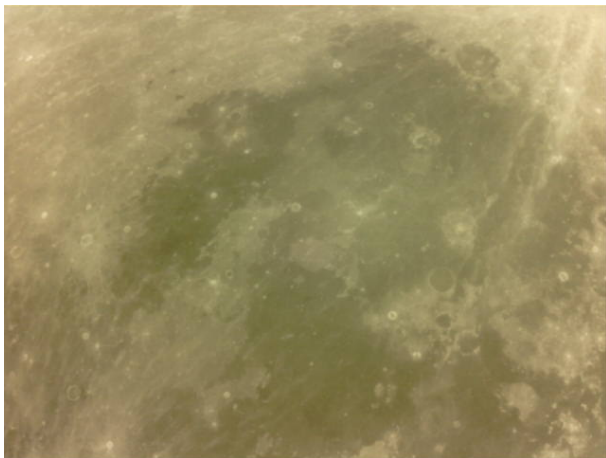
- El 3 de agosto a las 01:27 UTC se realizó la primera transmisión SSDV. La transmisión falló y sólo se pudieron recibir 872 bytes en Dwingeloo.
- Solo se recibió el principio de la imagen, pero se aprecia Marte.

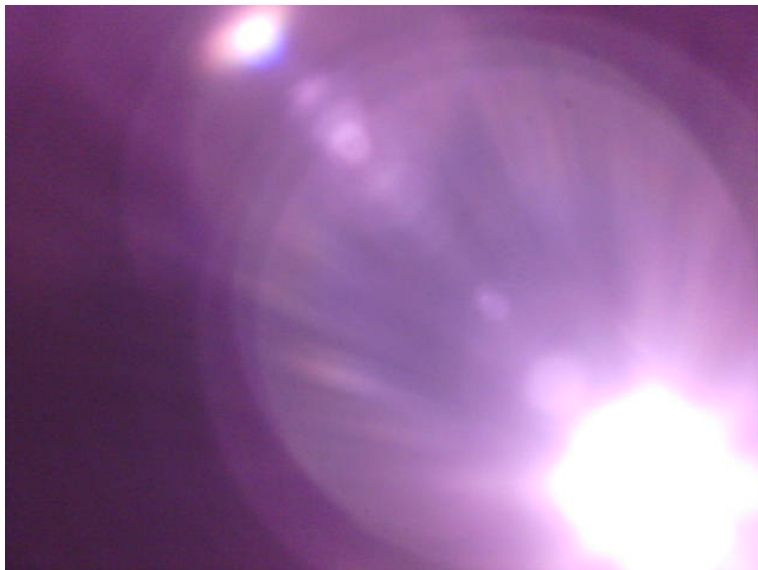


- El 5 de agosto se realizó la siguiente transmisión SSDV.
- Usando las estaciones de Pekín y Dwingeloo, se recibió completamente la imagen de Marte y Capricornio y una imagen parcial de la zona de Mare Nubium, en la Luna.

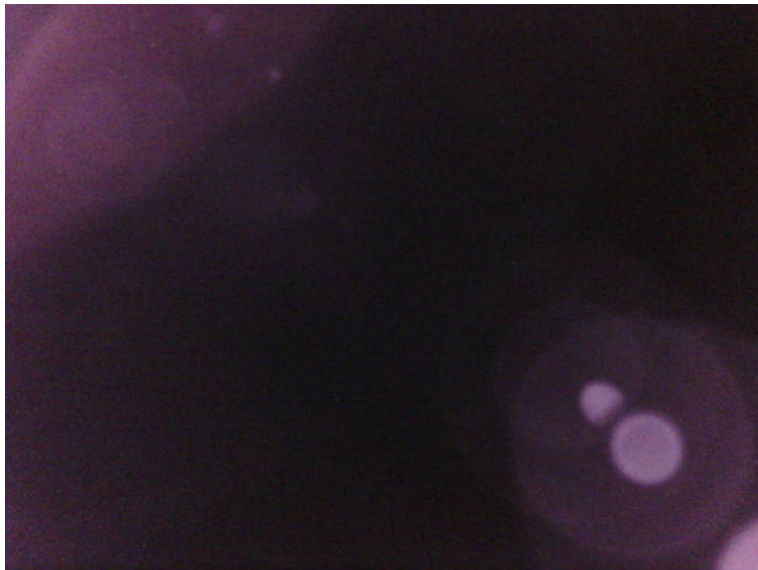


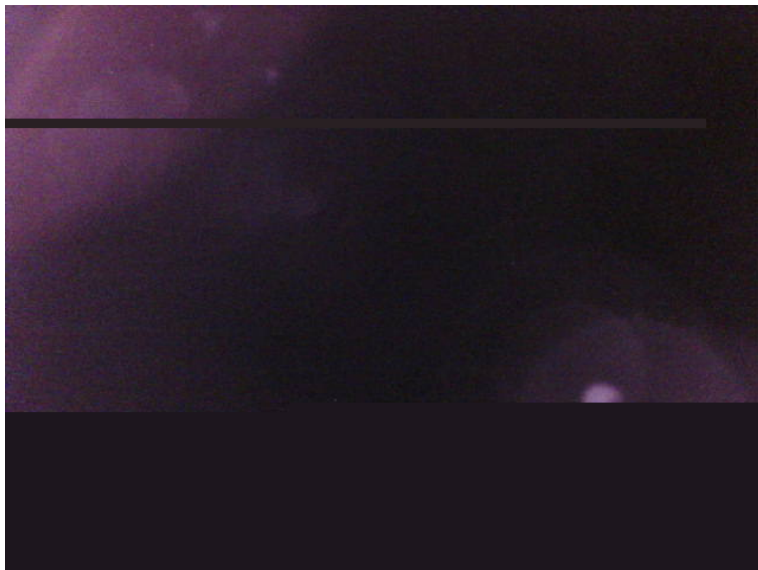
- El 12 de agosto a las 7:00 UTC se realizó la siguiente transmisión SSDV.
- Se recibió la imagen de Mare Nubium completa y una imagen del sol.





- El 14 de agosto a las 9:00 UTC se realizó otra transmisión SSDV.
- Se recibieron dos imágenes moradas, una completa y otra parcial.





- El 14 de septiembre a las 14:40 UTC se realizó una transmisión SSDV de dos imágenes. Las transmisiones fueron comandadas por Reinhard DK5LA y recibidas en Dwingeloo.





Recepciones por estaciones de Radioaficionado

- Las transmisiones de DSLWP-B desde la órbita lunar han sido recibidas por múltiples estaciones de Radioaficionado, usando antenas con muy distintas prestaciones.
- Listado de reportes
http://lilacsat.hit.edu.cn/wp/?page_id=844
- PY2SDR, N6RFM, SP5ULN, PI9CAM, M0IEB, PA3FXB, DK3WN (incluso SSDV), IW1DTU, BG6LQV, BD9BU, G4RGK, 4Z5CP, IU2EFA, JA0CAW, JA2BLZ, BY2HIT, Wakayama University IFES Lab (disco de 12m), SQ5KTM, M0VKK, IK8XLD, LU5EWR-LU8DQ-LU3DMB, EA4GPZ, W2RTV, BG8IXQ, JA1OGZ, YL3CT, I0LYL, SQ3SWF, PA0DLO, K4KDR, JE1CVL, VK5EI, KO4MA, 3B8DU.

- 1 ¿Qué es DSLWP-B?
- 2 Repaso cronológico de la misión
- 3 Experimentos realizados**
 - Seguimiento de la órbita
 - VLBI Amateur
 - Detección de señales débiles
 - Procesamiento de los datos SSDV

- 1 ¿Qué es DSLWP-B?
- 2 Repaso cronológico de la misión
- 3 Experimentos realizados
 - Seguimiento de la órbita
 - VLBI Amateur
 - Detección de señales débiles
 - Procesamiento de los datos SSDV

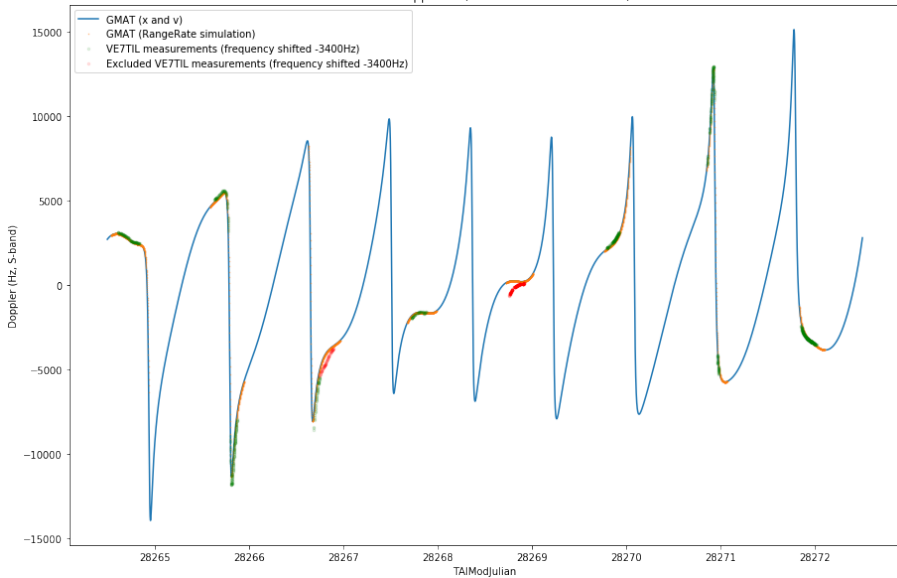
Satélites fuera de la órbita terrestre

- Para hacer seguimiento de satélites en órbita terrestre se suelen usar los TLEs. Éstos no sirven para satélites fuera de la órbita terrestre.
- Si conocemos la posición y velocidad (elementos / vector de estado) del satélite en cierto instante y todas las fuerzas que actúan en él (gravitación, radiación solar, etc.), podemos calcular su trayectoria.
- GMAT es un software libre desarrollado por la NASA en el que podemos hacer cálculos orbitales. Podemos usarlo para calcular las trayectorias de DSLWP-B.
- También podemos usar los archivos de seguimiento publicados por BG2BHC. Son un listado con la posición y velocidad del satélite cada segundo.
- Principalmente necesitamos calcular la órbita de DSLWP-B si queremos corregir el Doppler ($\pm 4\text{kHz}$ en 70cm), ya que su posición es siempre cercana a la Luna (1 o 2 grados de desviación máxima).

Determinación de órbita con mediciones Doppler

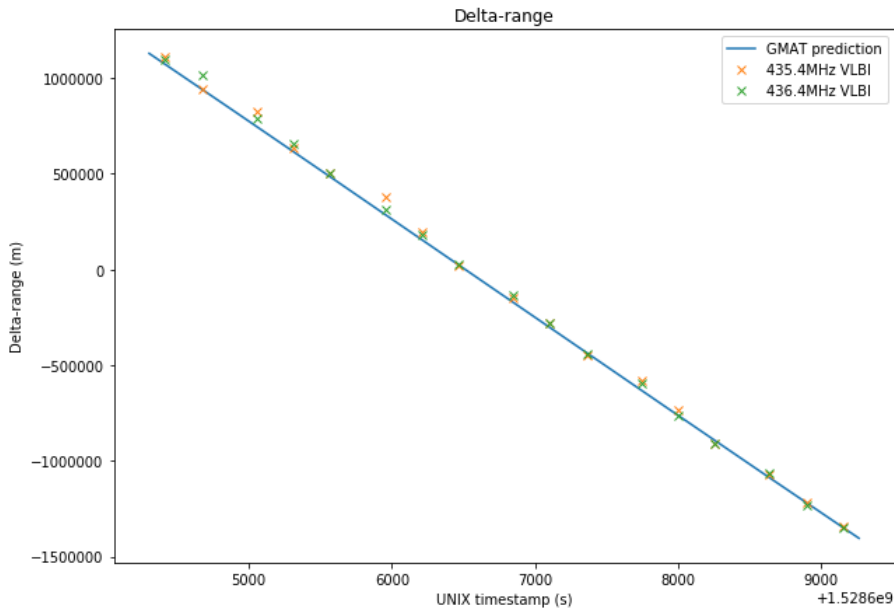
- Pero, ¿cómo sabemos la posición y velocidad del satélite? En la Luna no hay el radar que usamos en baja órbita terrestre.
- El Doppler de la baliza del satélite nos dice la velocidad con la que se acerca/aleja a nuestra estación.
- Empleando mediciones Doppler, podemos determinar la órbita del satélite usando GMAT.
- Me he dedicado a hacer determinación de órbita de DSLWP-B usando las mediciones hechas por Scott Tilley VE7TIL de la baliza en banda S.
- El cálculo de órbitas oficial proviene del seguimiento hecho por el Deep Space Network chino.
- Mi determinación de órbitas, que sólo usa los datos Amateurs de VE7TIL, está bastante próxima a los cálculos oficiales.

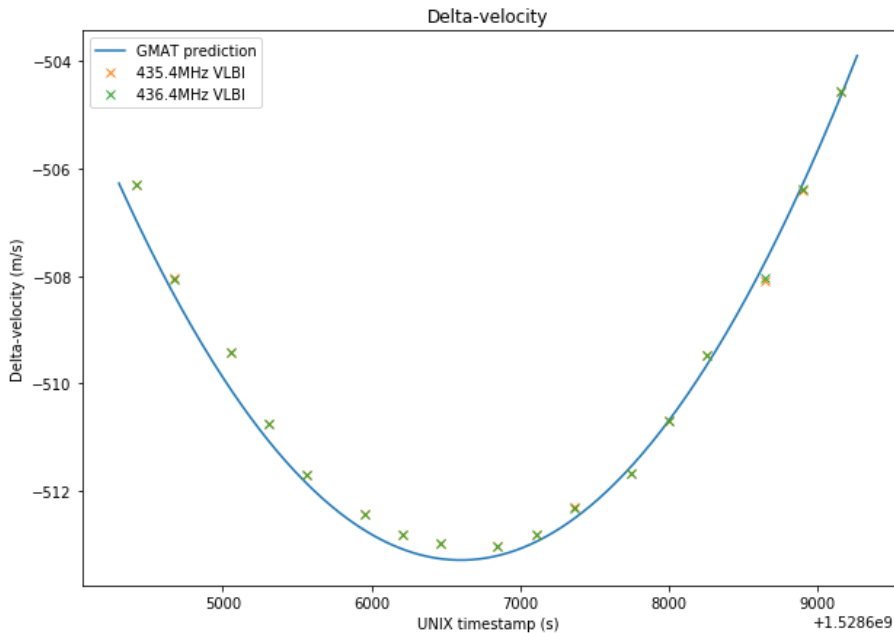
DSLWP-B Doppler fit (2018-05-26 to 2018-06-02)

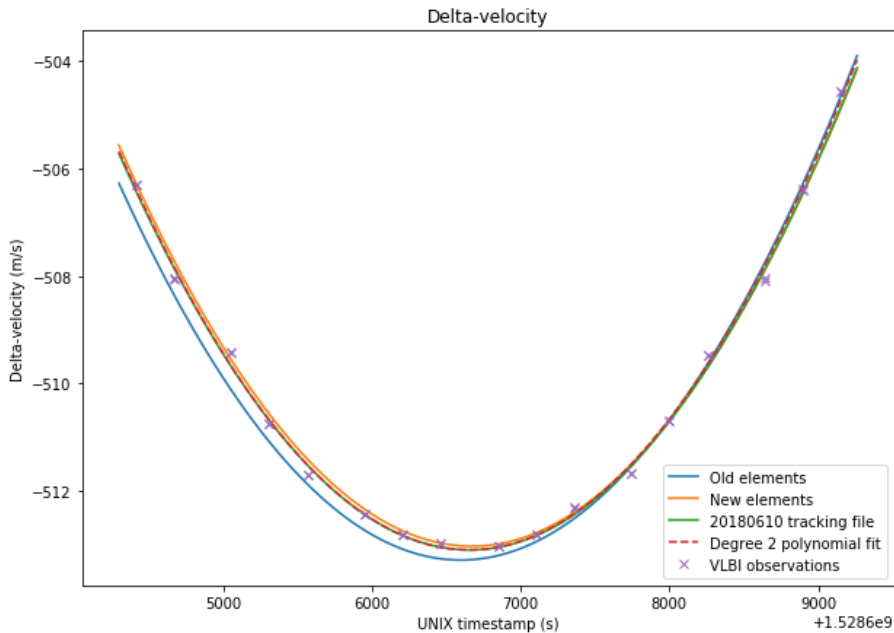


- 1 ¿Qué es DSLWP-B?
- 2 Repaso cronológico de la misión
- 3 Experimentos realizados**
 - Seguimiento de la órbita
 - VLBI Amateur**
 - Detección de señales débiles
 - Procesamiento de los datos SSDV

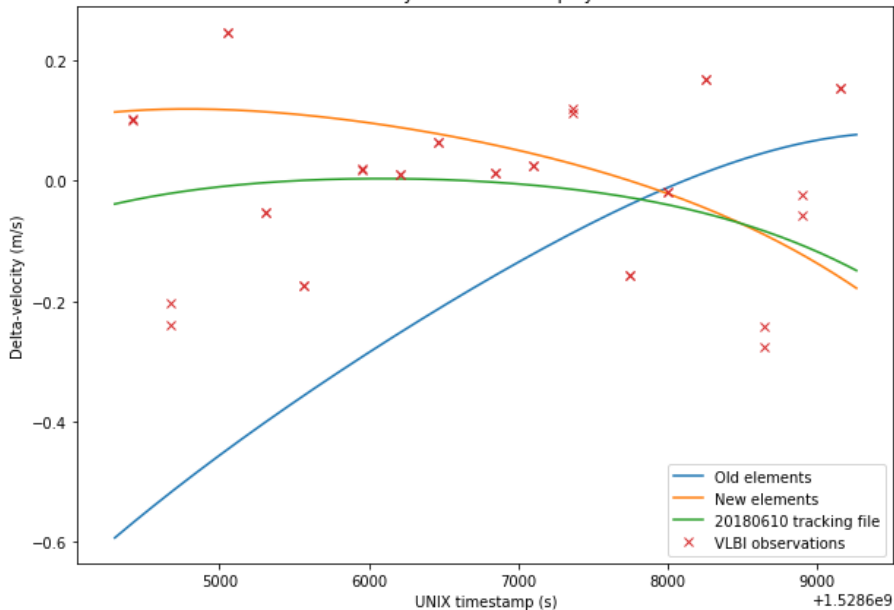
- Realizando una grabación sincronizada de la señal del satélite desde dos estaciones distantes, podemos medir la diferencia de distancias y velocidades entre el satélite y las estaciones.
- Estos datos se pueden emplear para determinación orbital.
- La única sesión de VLBI se realizó el 10 de junio. Durante una hora se grabó la telemetría GMSK con receptores USRP en Shahe (China) y Dwingeloo (Holanda) sincronizados por GPS.
- He desarrollado los algoritmos para procesar las grabaciones VLBI y obtener las medidas.
- También he contrastado las medidas VLBI frente a la determinación de órbitas.







Delta-velocity difference with polynomial fit



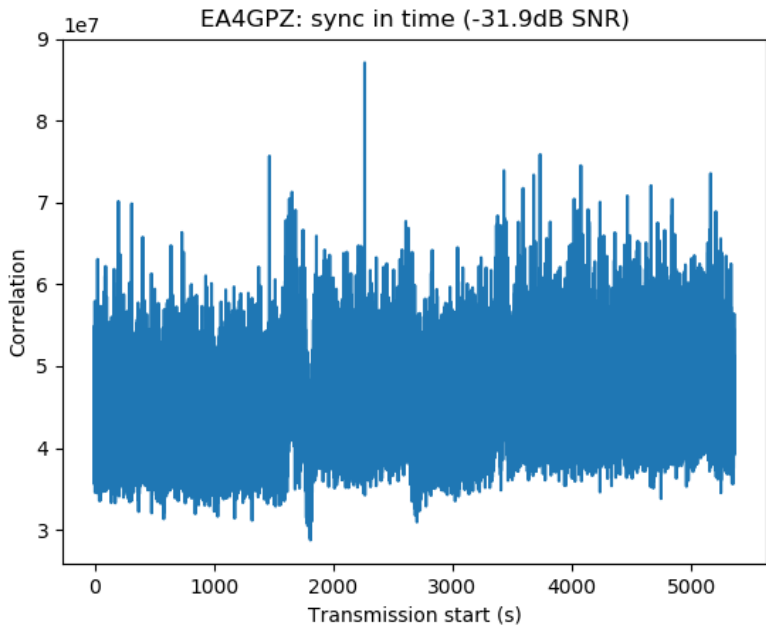
- 1 ¿Qué es DSLWP-B?
- 2 Repaso cronológico de la misión
- 3 Experimentos realizados**
 - Seguimiento de la órbita
 - VLBI Amateur
 - Detección de señales débiles**
 - Procesamiento de los datos SSDV

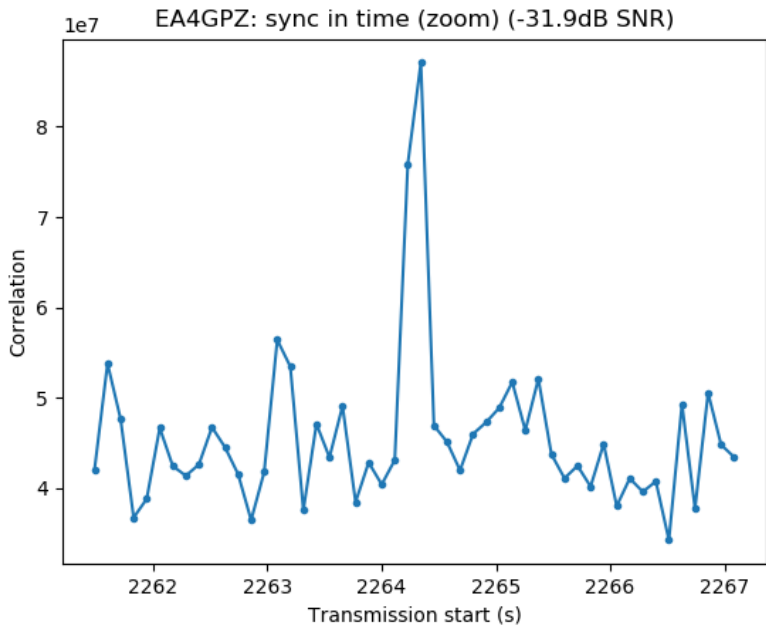
Señales débiles

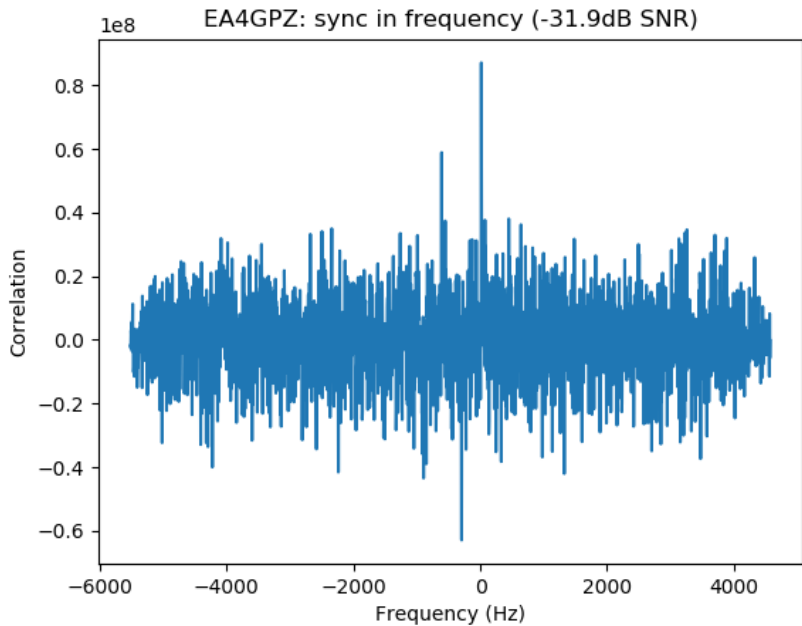
- DSLWP-B transmite con una antena corta y 2W de potencia a una distancia de 380000km. Para decodificar la señal hace falta una antena con cierta ganancia (típicamente, al menos una yagi larga).
- El modo JT4G se puede decodificar hasta -23dB SNR en 2500Hz. La telemetría GMSK se puede decodificar hasta -9dB SNR en 2500Hz.
- Aun así debería poder hacerse algo con estaciones pequeñas.
- He diseñado unos algoritmos de detección de señales débiles usando correlación que pueden detectar JT4G a mucho menos de -25dB SNR y GMSK a -22dB SNR.
- Estos algoritmos pueden producir falsos positivos, por lo que siempre deben interpretarse y filtrar los resultados.
- Con estos algoritmos, cualquiera puede recibir a DSLWP-B.

Detección de JT4G con una yagi de 7 elementos

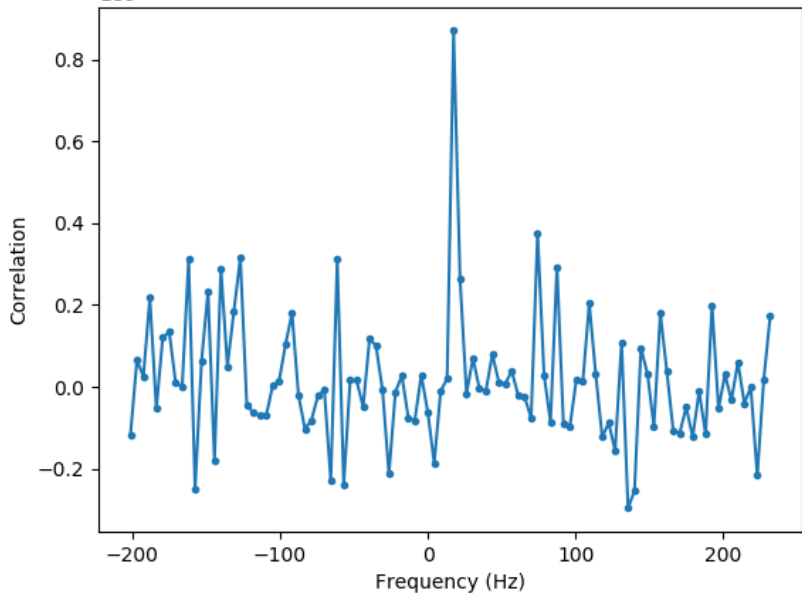
- El 22 de junio a las 21:00 UTC hice una grabación de las transmisiones de DSLWP-B en 435.4MHz.
- El receptor fue una yagi Arrow de 7 elementos y un FUNcube Dongle Pro+.
- Usando mi algoritmo, conseguí detectar una de las transmisiones JT4G con un SNR estimado de -32dB.
- Ésta es la estación más pequeña que ha conseguido recibir a DSLWP-B.



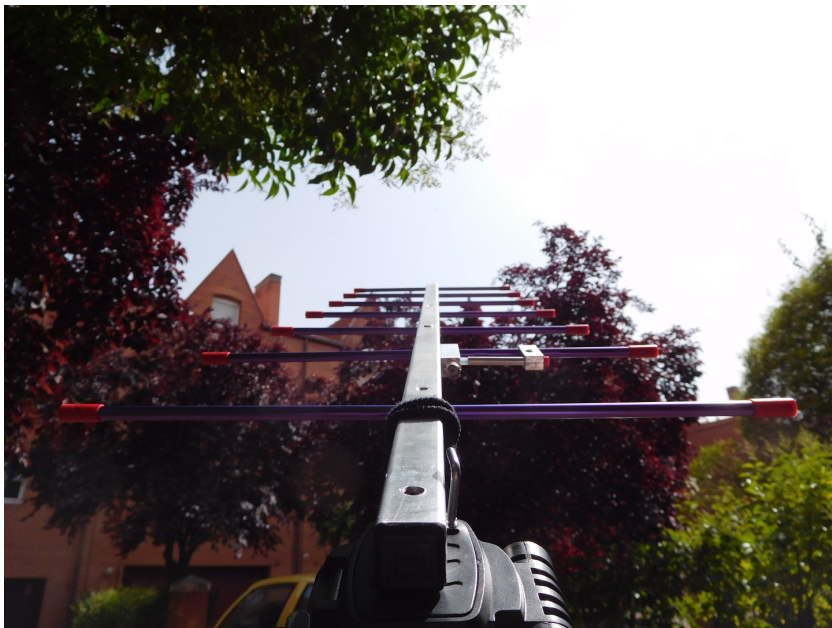




1e8 EA4GPZ: sync in frequency (zoom) (-31.9dB SNR)







- 1 ¿Qué es DSLWP-B?
- 2 Repaso cronológico de la misión
- 3 Experimentos realizados**
 - Seguimiento de la órbita
 - VLBI Amateur
 - Detección de señales débiles
 - Procesamiento de los datos SSDV**

Recepción de SSDV

- En las transmisiones SSDV se han detectado diversos problemas que causan la pérdida de algunos paquetes, por lo que quedan trozos sin recibir en la imagen.
- El radiotelescopio de 25m de Dwingeloo tiene una SNR excelente, por lo que no debería perderse ningún paquete.
- He estudiado los problemas. Dos causas principales:
 - El TCXO de DSLWP-B da saltos de frecuencia ocasionalmente porque tiene un control digital. Esto hace que se pierda el paquete afectado.
 - El algoritmo de recepción a veces tiene algunos problemas al detectar el principio de un paquete. He solucionado la mayoría de estos problemas.
- He desarrollado un decodificador SSDV para el formato especial que usa DSLWP-B y scripts para ordenar los fragmentos recibidos.

- DSLWP-B ha sido todo un hito en la historia de la Radioafición. Se pueden enunciar muchas frases afirmando que ha sido “el primer...”.
- Para mí han sido unos meses de trabajo loco desde que Wei me avisó el 8 de mayo acerca del lanzamiento (19 posts en mi blog, 9 notebooks Jupyter, 8 scripts GMAT y subiendo).
- La gente que hemos colaborado en la misión DSLWP nos hemos divertido, hemos aprendido mucho y hemos participado en una misión puntera.
- Necesitamos más Radioaficionados españoles participando en este tipo de actividades.

- <https://desteveez.net/tag/dslwp/>
- <https://twitter.com/ea4gpz>
- **Wei Mingchuan BG2BHC** <https://twitter.com/bg2bhc>
- **Cees Bassa** <https://twitter.com/cgbassa>
- **Scott Tilley VE7TIL** <https://twitter.com/coastal8049>
- **Web de LilacSat y DSLWP** <http://lilacsat.hit.edu.cn/>



Próximamente en primavera 2019 (finales de abril quizás)
En Madrid (probablemente)

<http://www.radiocluberrante.es/congreso-starcon/>