

Radar FMCW de ondas milimétricas para la medida de la altura del manto nivoso: prototipo y medidas en la temporada 2023-2024

Víctor Herráiz-López, Adrián Subías Martín, Iñigo Salinas, Rafael Alonso

Grupo de Tecnologías Fotónicas (GTF)
Instituto de Investigación en Ingeniería de Aragón (I3A)
Universidad de Zaragoza, Mariano Esquillor s/n, 50018, Zaragoza, Spain.
Tel. +34-976762707, e-mail: vherrai@unizar.es

Resumen

En este trabajo presentamos un prototipo de radar FMCW operando en torno a 120 GHz con un ancho de banda de 3.3 GHz, que permite medir la altura del manto nivoso con precisión centimétrica. Además presentamos el resultado de medidas de campo durante la temporada invernal 2023-2024 en la estación experimental AEMET-Formigal, en el Pirineo aragonés.

Introducción

La nieve juega un importante papel en el ciclo hidrológico de las regiones montañosas. Funciona como un reservorio de agua, derritiéndose conforme aumentan las temperaturas e incrementando el caudal de los ríos. Por ello la evaluación de los recursos nivológicos resulta crucial para una correcta planificación hidrológica [1].

Los sistemas comerciales que permiten medir la altura del manto nivoso se basan habitualmente en láseres o ultrasonidos. Presentan una serie de desventajas, algunas de las cuales pueden ser solucionadas empleando un radar basado en ondas milimétricas. La posibilidad de medir la altura del manto nivoso empleando estas técnicas ha sido previamente demostrada en [2]. En el trabajo nos centramos en el diseño de un prototipo que sea capaz de operar durante una temporada invernal completa de forma continuada y en el análisis de los resultados obtenidos.

Radar FMCW de 120 GHz

La técnica de radar de onda continua modulada en frecuencia (*Frequency-Modulated Continuous Wave Radar*, FMCW) consiste en emitir una señal cuya frecuencia varía linealmente en el tiempo. Esta señal es reflejada por un objeto y posteriormente detectada. La mezcla de la señal emitida y recibida es una oscilación cuya frecuencia contiene información de la distancia a la que se encuentra el objeto. La frecuencia de batido de la señal mezclada

viene dada por $f_b = R \cdot (2B)/(ct_c)$, donde c es la velocidad de la luz, R es la distancia a la que se encuentra el objeto, B el ancho de banda barrido y t_c el tiempo en que se barre [3].

Para construir un radar FMCW que opere en 120 GHz con un ancho de banda de 3.3 GHz y $t_c = 10$ ms hemos seleccionado un tranceptor integrado en tecnología de silicio-germanio del fabricante Indie Semiconductor, el modelo TRX_120_067. En el mismo chip se integra la electrónica para generar y detectar señales, además de las antenas necesarias. En detección la frecuencia de las señales se reduce mediante homodinaje. Hemos diseñado una placa de circuito impreso (PCB) para incorporar etapas de acondicionamiento y amplificación de las señales. El control y la adquisición se realiza mediante una tarjeta de adquisición de datos del fabricante National Instruments (DAQ NI USB-6212 OEM). Esta se controla mediante un ordenador monotarjeta (LattePanda Alpha, que incorpora Windows 10), donde se ejecuta un programa de Matlab. El ordenador se encuentra localizado en la estación experimental, y las medidas que toma y almacena pueden ser consultadas mediante un enlace 4G. La Figura 1 muestra un esquema de bloques del prototipo.

Medidas de campo durante la temporada invernal 2023-2024

Tras encapsular el sistema descrito para protegerlo de las condiciones meteorológicas, lo instalamos en la estación experimental AEMET-Formigal en el Pirineo aragonés (Figura 3). El prototipo operó desde el comienzo de la acumulación de precipitaciones hasta su completa desaparición, tomando medidas cada 5 minutos excepto en eventos de precipitación intensa, donde se reduce el intervalo de tiempo a 3 minutos. Suavizamos la serie temporal obtenida empleando una regresión lineal local, eliminando ruido y las fluctuaciones de altura que son producidas por inhomogeneidades de la superficie.

En la Figura 2 comparamos las medidas del radar FMCW con sistemas comerciales basados en ultrasonidos y láser. Incluimos también las medidas manuales efectuadas a lo largo de la temporada invernal para validar el correcto funcionamiento del sensor. La diferencia de altura medida entre los distintos sistemas es debida a las irregularidades del terreno entre los distintos puntos donde están instalados los sistemas. La gran diferencia en el periodo de deshielo es causada por la estructura metálica donde se soporta el prototipo, que produce que la nieve se derrita más rápidamente en esa región al actuar como un punto caliente.

Conclusiones

Hemos construido un prototipo de radar FMCW de 120 GHz con un ancho de banda de 3.3 GHz que ha operado de forma continuada en el Pirineo aragonés durante la temporada invernal 2023-2024. Hemos validado su correcto funcionamiento mediante medidas manuales en la zona de experimentación y comparación con otros dispositivos comerciales.

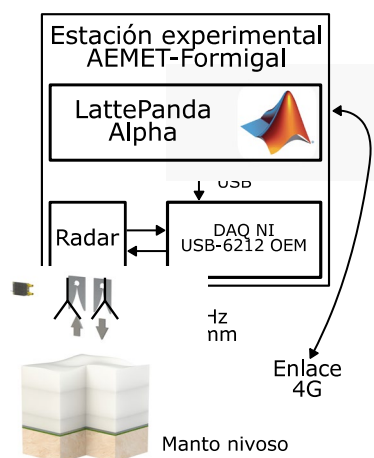


Figura 1: Diagrama de bloques del prototipo desarrollado de radar FMCW.

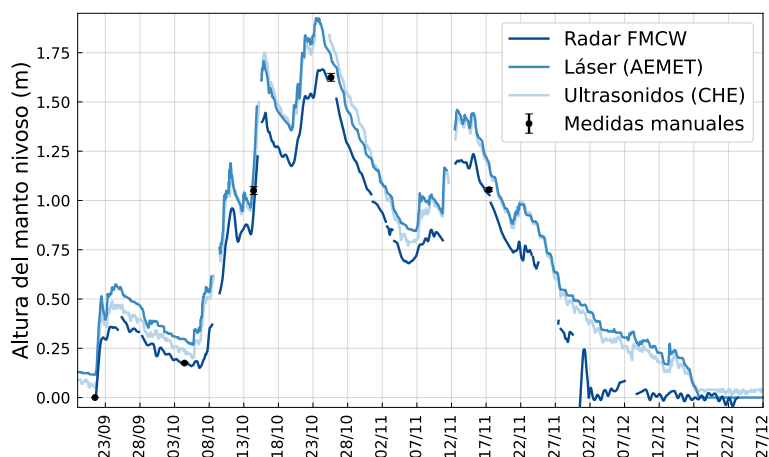


Figura 2: Comparación de las medidas del radar FMCW frente a las de sistemas comerciales (proporcionadas por AEMET y CHE).



Figura 3: Estación experimental AEMET-Formigal, localizada en el Pirineo aragonés a 1800 metros de altitud.

Agradecimientos

Gracias a AEMET y CHE por permitirnos emplear sus instalaciones y proporcionarnos los datos de sus sistemas de medición. Gracias también a la estación de esquí Aramón-Formigal por el apoyo prestado. Este trabajo ha sido parcialmente financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación bajo el proyecto PID2021-124451OB-I00 y por la DGA bajo el proyecto T20_23R.

REFERENCIAS

- [1]. ARENILLAS, M.; COBOS, G.; NAVARRO, J. *Datos sobre la nieve y los glaciares en las cordilleras españolas*. El programa ERHIN (1984–2008). Madrid: Ed. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, 2008. ISBN 9788483204184.
- [2]. AYHAN, Serdal y otros. Millimeter-Wave Radar Sensor for Snow Height Measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 2017, vol. 55, no 2, p. 854-861. ISSN 1558-0644.
- [3]. JANKIRAMAN, Mohinder. *FMCW Radar Design*. Norwood: Artech House, 2018. ISBN 9781630815677.