



ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN

KỶ YẾU HỘI THẢO ỨNG DỤNG GIS TOÀN QUỐC 2022

PROCEEDINGS OF THE NATIONAL CONFERENCE ON GIS APPLICATION
HO CHI MINH CITY, 11-12TH NOVEMBER 2022

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN

GIS & VIỄN THĂM ỨNG DỤNG TRONG QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG



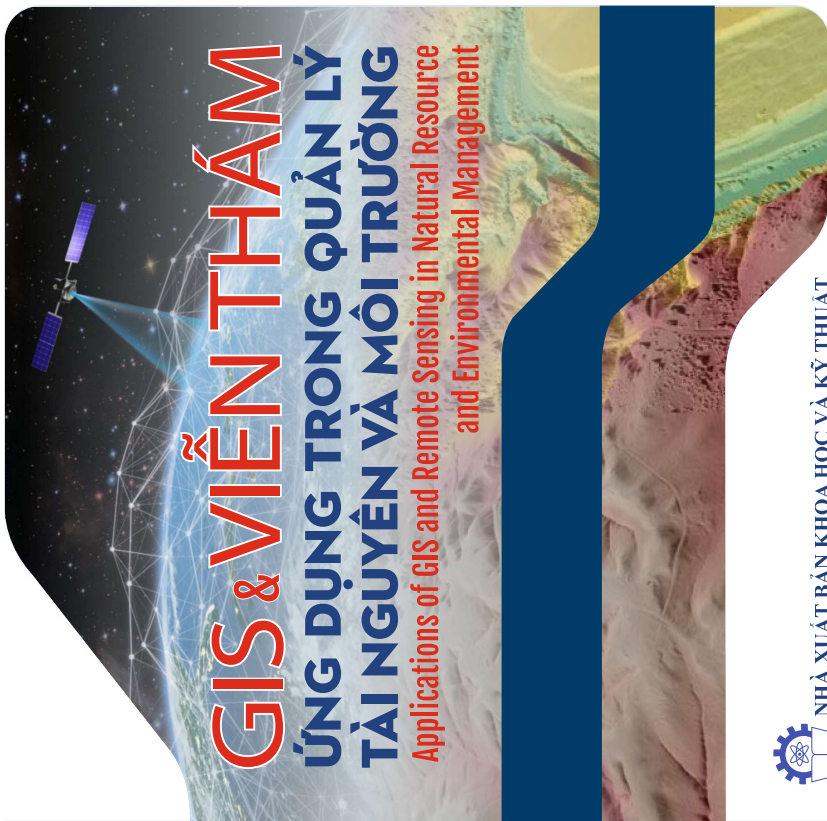
GIS & VIỄN THĂM ỨNG DỤNG TRONG QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TRƯỜNG
APPLICATIONS OF GIS AND REMOTE SENSING IN NATURAL RESOURCE
AND ENVIRONMENTAL MANAGEMENT

HO CHI MINH CITY, 11-12TH NOVEMBER 2022

222307B00
ISBN 9786046724872



9 786046 724872
Sách không bán



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT



ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TR- ỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN

KỶ YẾU HỘI THẢO ỨNG DỤNG GIS TOÀN QUỐC 2022

Proceedings of the National Conference on GIS Application
Ho Chi Minh City, 11-12th November 2022

GIS VÀ VIỄN THÁM ỨNG DỤNG TRONG QUẢN LÝ TÀI NGUYÊN VÀ MÔI TR- ỜNG

Applications of GIS and Remote Sensing in Natural Resource
and Environmental Management



NHÀ XUẤT BẢN KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT

ĐƠN VỊ TÀI TRỢ



Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh
Vietnam National University Ho Chi Minh City



AGRIDRONE

Công ty Cổ phần Thiết bị Bay AGRIDRONE Việt Nam



Trường Đại học Nông Lâm thành phố Hồ Chí Minh
Nong Lam University Ho Chi Minh City

MỤC LỤC

	Trang
Lời nói đầu	xv
Ảnh hưởng của thay đổi sử dụng đất đến nhiệt độ bề mặt đất và bốc thoát hơi nước tại thượng lưu sông Đồng Nai	3
<i>Bùi Nguyễn Lâm Hà - Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên, ĐHQG- HCM; Khoa Hóa học và Môi trường, trường Đại học Đà Lạt Vũ Văn Nghị- Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên, ĐHQG-HCM</i>	
Ứng dụng google earth engine giám sát biến động mặt nước hồ Dầu Tiếng giai đoạn 1990–2022	18
<i>Lê Thiên Bảo, Nguyễn Trọng Nhân Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP Hồ Chí Minh</i>	
Đánh giá khả năng của vệ tinh Sentinel 3A trong ước tính nồng độ Chlorophyll-A vùng biển ven bờ Việt Nam: nghiên cứu điển hình tại vịnh Vân Phong, Nha Trang và Phan Rang	26
<i>Nguyễn An Bình - Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam; Viện Địa lý tài nguyên TP.HCM, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam Phan Minh Thụ - Viện Địa lý tài nguyên TP.HCM, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam Hồ Đình Duẩn - Viện Hải dương học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam Phạm Việt Hòa - Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam</i>	
Đánh giá hiện trạng và diễn biến chất lượng nước sông Son, tỉnh Quảng Bình năm 2022	35
<i>Lê Hải Thành - Sở Tài nguyên và Môi trường tỉnh Quảng Bình Võ Văn Thiệp, Hoàng Anh Vo, Võ Thị Nho - Trường Đại học Quảng Bình</i>	

Giám sát sự thay đổi mực nước sông Mekong (Việt Nam) sử dụng dữ liệu đo cao vệ tinh phục vụ phát triển bền vững đồng bằng sông Mekong 47

Vũ Phương Lan - Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

Hà Minh Cường - Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội

Đinh Thị Bảo Hoa - Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội

Nguyễn Phương Bắc - Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội

Đánh giá diễn biến chất lượng nước các hồ cấp nước sinh hoạt trên địa bàn tỉnh Quảng Bình từ năm 2018 đến năm 2021 61

Hoàng Anh Vũ, Lê Thị Thu Phương - Trường Đại học Quảng Bình

Đánh giá chất lượng nước dưới đất vùng kinh tế trọng điểm Đồng bằng sông Cửu Long 72

Phạm Kim Trạch, Vũ Thị Hương, Đặng Văn Túc

Liên đoàn Quy hoạch và Điều tra Tài nguyên nước miền Nam

Lập phương án ứng phó với tình huống khẩn cấp đập, hồ chứa Thủy điện

Đa Nhim 83

*Phạm Ngọc Hùng, Đỗ Trung Kiên - Công ty cổ phần Tư vấn xây dựng Điện 3
32 Ngô Thời Nhiệm, phường Võ Thị Sáu, Quận 3, Thành phố Hồ Chí Minh (PECC3)*

Ứng dụng công nghệ WebGIS quản lý dữ liệu về nguồn nước lưu vực hồ

Dầu Tiếng 102

Nguyễn Thị Huỳnh Trâm - Khoa Môi Trường,

Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên, ĐHQG-HCM

Nguyễn Xuân Nhật - Phòng thí nghiệm công nghệ phần mềm SELab,

Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên, ĐHQG-HCM

Nguyễn Thị Ngọc Phương, Trần Xuân Hải

Công ty TNHH MTV Nước và Môi trường Bình Minh.

Vũ Văn Nghị - Khoa Môi Trường,

Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên, ĐHQG-HCM

Trần Quang Hùng - Công ty TNHH MTV Khai thác Thủy lợi

Dầu Tiếng Phước Hoà

Đánh giá hiện trạng và diễn biến chất lượng môi trường không khí tỉnh Quảng Bình năm 2021 113

Hoàng Anh Vũ, Võ Thị Nho - Trường Đại học Quảng Bình

Nghiên cứu tiềm năng chế tạo than sinh học từ lõi ngô nhằm ứng dụng nguyên liệu đốt than thay thế than thương mại 126

*Thị Ngọc Lan Thao Ngo, Nhu Thuyen Nguyen Huu
Bộ môn Quản lý môi trường, Khoa Môi trường và Tài nguyên,
Trường Đại học Bách Khoa TP. HCM, ĐHQG-HCM*

Ứng dụng GIS xây dựng bản đồ nguy cơ hạn hán tại huyện quảng điền, tỉnh Thừa Thiên Huế 136

*Nguyễn Bích Ngọc, Nguyễn Hữu Ngừ - Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế
Trần Thanh Phương - Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế,
Trung tâm nghiên cứu BĐKH miền Trung, Đại học Huế
Hồ Việt Hoàng - Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế*

Ứng dụng hệ thống thông tin địa lý và phương pháp MDCM kết hợp phân tích logic mạng mờ (FANP) để xây dựng bản đồ nhạy cảm hạn hán tỉnh Ninh Thuận 146

*Nguyễn Hoàng Tuấn, Trương Thanh Cảnh
Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên, ĐHQG-HCM*

Ứng dụng phương pháp ra quyết định đa tiêu chí (MCDM) lập bản đồ nguy cơ hạn hán và đề xuất các giải pháp cho sản xuất nông nghiệp ở Ninh Thuận 165

*Nguyễn Hoàng Tuấn, Trương Thanh Cảnh
Trường Đại học Khoa học Tự Nhiên, ĐHQG-HCM*

Mô hình giám sát cảnh báo thiên tai trên nền tảng hệ thống thông tin địa lý (GIS) tại Vườn quốc gia Phong Nha - Kẻ Bàng 182

*Võ Văn Trí, Trần Xuân Mùi, Lê Thị Phương Lan
Vườn Quốc gia Phong Nha - Kẻ Bàng
Nguyễn Ái Tâm - Frankfurt Zoological Society
Cao Thị Thanh Thủy, Phan Thanh Quyết - Đại học Quảng Bình*

Xây dựng hệ thống cảnh báo sớm đa tai biến ở quy mô cấp huyện cho vùng núi Tây Bắc trên cơ sở tích hợp công nghệ 4.0 và công nghệ đa phương tiện 192

*Nguyễn Ngọc Thạch, Nguyễn Quốc Huy - Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN
Đặng Ngô Bảo Toàn - Đại học Quy Nhơn
Nguyễn Thị Thu Hiền - Đại học sư phạm Đà Nẵng
Phạm Văn Mạnh, Đỗ Thị Nhung - Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQGHN*

Thành lập bản đồ phân vùng nhạy cảm trượt lở bằng phương pháp học máy

thống kê

207

Trịnh Thành - Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Phenikaa

Phạm Văn Sơn - Trung tâm Viễn thám và Tài biến địa chất,

Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản

Vương Thị Nhung - Trường Quản trị và Kinh doanh, Đại học Quốc gia Hà Nội

Hà Đức Hải, Vũ Đức Duy - Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Phenikaa

Ứng dụng thiết bị bay không người lái (UAV) trong điều tra, xây dựng bản đồ lớp phủ tỷ lệ lớn

218

*Nguyễn Hữu Việt Hiệu, Lê Anh Hùng - Trung tâm Viễn thám
và Công nghệ thông tin - Viện Điều tra, Quy hoạch rừng (FIPI)*

Ứng dụng GIS trong đánh giá xu hướng biến động sử dụng đất phục vụ mở rộng không gian đô thị thành phố Huế

229

Nguyễn Bích Ngọc - Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế

Nguyễn Hoàng Khánh Linh, Phạm Gia Tùng - Khoa Quốc Tế, Đại học Huế

Ứng dụng GIS và Viễn thám đánh giá xu hướng mở rộng không gian đô thị tại thành phố Đồng Hới, tỉnh Quảng Bình giai đoạn 2004 – 2020

239

Trần Thị Phương - Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế;

*Trung tâm nghiên cứu BĐKH miền Trung, Trường Đại học Nông Lâm,
Đại học Huế*

Võ Văn Dương, Hồ Việt Hoàng, Nguyễn Bích Ngọc

Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế

Nghiên cứu xây dựng hệ thống thông tin giá căn hộ chung cư tại thành phố

Hà Nội

249

Man Quang Huy, Nguyen Minh Hanh, Nguyen Thao Van

Faculty of Geography, VNU University of Science

Ứng dụng ảnh viễn thám Sentinel theo dõi sự hình thành các khu dân cư tự phát tại quận Bình Thủy, TP. Cần Thơ năm 2021

255

Dương Cơ Hiếu, Nguyễn Thị Hồng Diệp

Khoa Môi trường và Tài nguyên thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ

Nghiên cứu ứng dụng các kỹ thuật định giá đất hàng loạt ở phạm vi cấp phường đối với đất ở tại đô thị (lấy ví dụ phường Quan Hoa, quận Cầu Giấy, thành phố Hà Nội) 264

*Lê Phương Thúy, Bùi Ngọc Tú, Nguyễn Xuân Linh, Phạm Lê Tuấn, Trần Quốc Bình -
Khoa Địa lý, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG Hà Nội*

Ứng dụng Microstation lập bản đồ hiện trạng sử dụng đất năm 2020 và đánh giá biến động đất đai 2010-2020 thị xã Bến Cát – tỉnh Bình Dương 278

*Đặng Trung Thành, Nguyễn Minh Ty - Viện Phát triển Ứng dụng,
Trường Đại học Thủ Dầu Một, Bình Dương
Phạm Thanh Vũ, Võ Quang Minh - Khoa Môi trường
và Tài nguyên Thiên nhiên, Trường Đại học Cần Thơ*

Dự báo thay đổi sử dụng đất thành phố Buôn Ma Thuột, tỉnh Đắk Lắk 289

*Nguyễn Thị Ngọc Quyên, Nguyễn Công Tài Anh, Nguyễn Hải Đăng
Trường Đại học Tây Nguyên
Nguyễn Thị Trang - Văn phòng Đăng ký đất đai tỉnh Đắk Lắk
Nguyễn Thị Tịnh Áu - Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP. HCM*

Ứng dụng GIS lập bản đồ vùng an toàn về môi trường đất nghĩa trang nghĩa địa Thành phố Hồ Chí Minh 300

*NCS. Trần Thiện Phong - Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, ĐHQG-HCM
GS. TSKH. Phan Liêu - Hội Khoa học Đất Việt Nam*

Ứng dụng Google Earth Engine trong phân tích biến động của hiện tượng "đảo nhiệt đô thị" trên địa bàn thành phố Quảng Ngãi giai đoạn 1995 – 2021, đề xuất một số giải pháp trong quy hoạch và phát triển 308

*Đặng Thị Mai Trâm - Trường THPT Số 1 Tư Nghĩa
Nguyễn Trọng Nhân - Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP. Hồ Chí Minh*

Ứng dụng ảnh vệ tinh Landsat đa thời gian đánh giá hiện tượng đảo nhiệt đô thị tại Thành phố Hồ Chí Minh giai đoạn 2010 – 2020 316

*Lê Chí Lâm, Nguyễn Trần Thị Thanh Lam
Trường Đại học Khoa học Xã hội và Nhân văn, ĐHQG -HCM*

Đánh giá biến động nhiệt độ thành phố Đà Nẵng bằng Viễn thám và Google Earth Engine 328

*Lê Ngọc Hành - Khoa Địa lý, Đại học Sư phạm, Đại học Đà Nẵng
Trần Thị Ân - Khoa Khoa học quản lý, Đại học Thủ Dầu Một, Bình Dương
Nguyễn Văn An, Trương Phước Minh - Khoa Địa lý, Đại học Sư phạm
Đại học Đà Nẵng*

Sử dụng ảnh viễn thám xác định diện tích bề mặt nước tại quận Ninh Kiều, thành phố
Cần Thơ 338

*Lê Giàu, Võ Quang Minh - Bộ môn Tài nguyên đất đai,
khoa Môi trường và TNTN, Trường Đại học Cần Thơ*

Đánh giá tổn thương trên đất nông nghiệp do tác động của xâm nhập mặn tại tỉnh
Bến Tre 346

*Nguyễn Thị Hồng Điệp, Phan Kiều Diễm, Đinh Thị Cẩm Nhung, Phan Kỳ Trung
Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Đại học Cần Thơ
Nguyễn Trọng Nguyễn, Dương Cơ Hiếu
Khoa Môi trường và Tài nguyên Thiên nhiên, Đại học Cần Thơ*

Ứng dụng phương pháp phản xạ GNSS để đánh giá khả năng phát hiện sự thay đổi độ
ẩm của đất cát 360

*Hà Minh Cường - Viện Công nghệ Hàng không Vũ trụ
Đại học Công nghệ - ĐHQGHN*

*Vũ Phương Lan, Đinh Thị Bảo Hoa, Nguyễn Hữu Duy
Khoa Địa lý - Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQGHN*

*Nguyễn Phương Bắc - Viện Công nghệ Hàng không Vũ trụ
Đại học Công nghệ - ĐHQGHN*

Nghiên cứu độ mặn của đất từ dữ liệu viễn thám độ phân giải cao, thử nghiệm ở tỉnh
Đồng Nai, Việt Nam 373

*Chu Xuân Huy - Viện Công nghệ vũ trụ, Viện Hàn lâm Khoa học
và Công nghệ Việt Nam*

*Nguyễn Minh Ngọc - Viện Công nghệ vũ trụ, Viện Hàn lâm Khoa học
và Công nghệ Việt Nam;*

Khoa Trắc địa – Bản đồ và Quản lý đất đai, Đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội

*Đinh Ngọc Đạt, Lê Thu Thủy, Bùi Quang Huy - Viện Công nghệ vũ trụ,
Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*

*Phạm Thị Làn - Khoa Trắc địa - Bản đồ và Quản lý đất đai,
Đại học Mỏ - Địa chất Hà Nội*

*Tống Thị Huyền Ái - Viện Công nghệ vũ trụ,
Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam*

ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP PHẢN XẠ GNSS ĐỂ ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG PHÁT HIỆN SỰ THAY ĐỔI ĐỘ ẨM CỦA ĐẤT CÁT

APPLICATION OF GNSS-REFLECTOMETRY TO EVALUATE THE ABILITY TO DETECT MOISTURE CHANGES OF SANDY SOILS

Hà Minh Cường¹, Vũ Phương Lan², Đinh Thị Bảo Hoa²,
Nguyễn Hữu Duy², Nguyễn Phương Bắc¹

¹Viện Công nghệ Hàng không Vũ trụ - Đại học Công nghệ - ĐHQGHN¹,

²Khoa Địa lý - Đại học Khoa học Tự nhiên - ĐHQGHN. Email: cuonghm@vnu.edu.vn

Tóm tắt: Trong những năm gần đây, các hiện tượng cực đoan ngày càng trở nên khốc liệt hơn, điển hình là lũ lụt và hạn hán do biến đổi khí hậu. Để thực hiện các nghiên cứu khí hậu, dự đoán hạn hán và đánh giá tác động của chúng, cần theo dõi độ ẩm của đất. Các nghiên cứu gần đây cho thấy việc tận dụng các tín hiệu điều hướng được phát ra liên tục bởi các chòm sao của Hệ thống Vệ tinh Điều hướng Toàn cầu (GNSS) để thu thập các biến thể về độ ẩm của đất. Kỹ thuật viễn thám chủ động này, được gọi là GNSS Reflectometry (GNSS-R), so sánh sự giao thoa của sóng phản xạ bởi mặt đất và những sóng đến trực tiếp từ vệ tinh. Nó cung cấp một loạt các ứng dụng trong khoa học Trái đất, đặc biệt là theo dõi độ ẩm của đất. Kỹ thuật này đã cho thấy hiệu quả của nó đối với đất có hàm lượng sét cao. Ngoài ra, nó thể hiện lợi thế của việc cảm nhận toàn bộ bề mặt xung quanh một ăng-ten GNSS tham chiếu. Trong bài viết này, chúng tôi tập trung vào quan trắc độ ẩm của đất vùng cát. Địa điểm thực nghiệm là sân bóng chuyền bãi biển nằm trong khuôn viên Đại học Paul Sabatier ở Toulouse, Pháp, đất chứa 100% là cát. Kết quả chứng minh rằng các sóng của tín hiệu GNSS thâm nhập sâu vào đất và làm giảm sự quan tâm của các phép đo độ ẩm bề mặt GNSS-R. Tuy nhiên, có thể lấy được ước tính chính xác về độ ẩm của đất ở độ sâu 0,1m và có được khả năng giám sát thời gian tuyệt vời với lợi ích của độ phân giải không gian tương quan trực tiếp với chiều cao ăng ten.

Từ khóa: GNSS-Phản xạ, Độ ẩm đất, SNR, IPT

Abstract: In recent years, extreme events are becoming more and more intense, typically floods and droughts, due to climate change. To perform climate studies, predict droughts, and assess their impacts require soil moisture monitoring. Recent studies suggested taking advantage of continuously emitted navigation signals by the Global Navigation Satellite System (GNSS) constellations to retrieve soil moisture variations. This active remote sensing technique, known as GNSS Reflectometry (GNSS-R), compares the interference of reflected waves by the ground and those that come directly from satellites. It offers a wide range of applications in Earth sciences, particularly soil moisture monitoring. This technique has shown its efficiency for soil with high clay content. In addition, it presents the advantage of sensing a whole surface around a reference GNSS antenna. In this article, we focus on soil moisture monitoring of sandy areas. The study site is a beach volley field located in the Paul Sabatier University campus in Toulouse, France, the soil contains 100% of sand. The results demonstrated that the waves of the GNSS signals penetrate deeply into

the soil and reduce the interest of GNSS-R surface moisture measurements. However, it is possible to retrieve a correct estimate of the soil moisture at 0.1m depth and obtain excellent temporal monitoring with the benefit of a spatial resolution directly correlated to the antenna height.

Keywords: *GNSS-Reflectometry, Soil moisture, Signal-to-Noise-Ratio (SNR), Interference Pattern Technique (IPT)*

1. GIỚI THIỆU

Dưới tác động của biến đổi khí hậu, hạn hán ngày càng nghiêm trọng ở nhiều nơi trên thế giới. Trong tương lai, khan hiếm nước sẽ là một vấn đề cấp bách, đe dọa trực tiếp đến sự sinh tồn và phát triển bền vững. Ở nhiều quốc gia, đặc biệt là các nước có khí hậu khô hạn, nơi nguồn nước bị hạn chế và chủ yếu đến từ các hồ chứa nước ngầm ở mức thấp và không thể tái tạo. Khoảng 98% lượng nước trên trái đất là nước mặn, chỉ có 2% là nước ngọt. Trong số 2% đó, 70% lượng nước là tuyết và băng, 30% là nước ngầm, dưới 0.5% là nước mặt ở các sông, hồ và khoảng 0.05% là hơi nước trong khí quyển. Chính vì vậy, việc theo dõi, giám sát chu trình nước và quản lý nguồn nước ngầm có ý nghĩa quyết định. Độ ẩm đất (SSM) là một trong những thông số quan trọng để thực hiện các nghiên cứu khí hậu, dự báo hạn hán, phân tích lũ lụt, dự báo cháy rừng, quản lý nguồn nước, phát triển nông nghiệp bền vững và tái tạo tầng chứa nước ngầm. Các quan sát về độ ẩm của đất có thể dự báo trước các điều kiện hạn hán hay lũ lụt sắp xảy ra trước khi các chỉ số tiêu chuẩn khác được kích hoạt. Các chỉ số hạn hán dựa trên độ ẩm của đất không chỉ là chìa khóa để hiểu các cơ chế vật lý của hạn hán mà còn để đánh giá ảnh hưởng của sự suy giảm độ ẩm đất đối với thực vật và tác động của nó đối với nông nghiệp và các dịch vụ hệ sinh thái (Zhu, 2021; Smith, 2013). Độ ẩm của đất cũng rất quan trọng để giải quyết các tác động tiêu cực của biến đổi khí hậu đối với tài nguyên nước và đất. Trong nông nghiệp, phân tích chuỗi thời gian thực về điều kiện độ ẩm của đất sẽ cho phép người nông dân tối ưu hóa việc quản lý và sử dụng đất đai. Các kỹ thuật đo lường hiện có như sử dụng dữ liệu vệ tinh InSAR, cảm biến thăm dò tại chỗ, ảnh nhiệt... đều có các đặc điểm khác nhau về độ phân giải không gian (diện tích nhỏ nhất được đại diện bởi một phép đo hay khả năng của cảm biến có thể nhận biết một chi tiết), độ phân giải theo thời gian (độ lặp của trị đo) và độ chính xác (chất lượng của phép đo được thực hiện bởi cảm biến). Tuy nhiên, để tối ưu hóa các tham số này cần chi phí rất lớn và khó thỏa mãn được đồng thời cả ba điều kiện trên. Các đầu dò độ ẩm thông thường chỉ cung cấp các phép đo điểm (vài cm^3), không đại diện cho cả khu vực. Do đó, các quan sát tại chỗ về độ ẩm đất sử dụng cảm biến đầu dò tuy có độ chính xác và độ phân giải không gian cao nhưng lại có tính đại diện không gian rất thấp.

Với sự ra đời của kỹ thuật viễn thám, độ ẩm đất có thể được đo trên quy mô toàn cầu với độ phân giải không gian và thời gian ngày càng được cải thiện (Zhao-LiangLi et al., 2021). Tính toán độ ẩm đất sử dụng dữ liệu vệ tinh là một trong những ứng dụng cơ bản, cung cấp ước tính độ ẩm của đất cho 0-5 cm độ sâu đầu tiên của đất (Maity, 2021; Liu, 2011). Hai hệ thống SMOS (Space Agency's Soil Moisture and Ocean Salinity) của cơ quan hàng không vũ trụ Châu Âu và SMAP (Soil Moisture Active Passive) của cơ quan hàng không Mỹ NASA là hai hệ thống vệ tinh đo độ ẩm đất, độ mặn đại dương hoạt động ở băng tần L. Cả

hai đều cung cấp dữ liệu độ ẩm đất toàn cầu từ 2 đến 3 ngày một lần với độ phân giải không gian khoảng vài chục km (Kerr, 2010). Bên cạnh đó, hệ thống vệ tinh CYGNSS (Cyclone Global Navigation Satellite System) sử dụng tín hiệu băng tần L để truy xuất độ ẩm đất với độ phân giải không gian tương đối cao (khoảng vài km) (Volkan Senyurek et al., 2020; Mehdi Khaki, 2021).

Các nghiên cứu gần đây đã đề xuất việc tận dụng các “tín hiệu cơ hội” như sóng điện từ được liên tục phát ra bởi các chòm sao vệ tinh của hệ thống định vị toàn cầu (GNSS) bao gồm GPS, GLONASS, GALILEO và Compass/BeiDOU.... Từ đó có thể truy xuất các thông số địa vật lý khác nhau của bề mặt Trái đất với độ phân giải không gian, độ phân giải thời gian và độ chính xác cao (Darrozes, 2016). Kỹ thuật viễn thám cơ hội này, được gọi là phép đo phản xạ GNSS (GNSS-R), dựa trên việc phân tích các sóng GNSS nhận được bởi một ăng-ten sau khi phản xạ trên bề mặt Trái đất, được gọi là tín hiệu đa đường "multipath" (Darrozes, 2016; Roussel N. F., 2014). Tín hiệu phản xạ GNSS cung cấp một loạt các ứng dụng trong khoa học Trái đất và đặc biệt là trong giám sát độ ẩm đất.

Cho đến nay, các kỹ thuật này hầu hết được sử dụng để lấy độ ẩm của đất có hàm lượng đất sét phong phú. Độ phân giải không gian là một hàm của độ cao ăng-ten trên bề mặt phản xạ (đối với một chòm sao vệ tinh nhất định trong một khoảng thời gian xác định). Một khu vực xung quanh ăng-ten từ vài mét đến vài km sẽ bị bao phủ bởi phản xạ của sóng điện từ. Để phủ sóng vài km, thiết bị phải ở độ cao nhất định (< 293 m) (Ribot, 2016). Độ phân giải theo thời gian phụ thuộc chủ yếu vào thuật toán được sử dụng để ước tính sự thay đổi độ ẩm của đất, thường từ vài giờ hoặc vài ngày (Chew C. C., 2014; Larson K. M., 2010). Nghịch đảo độ ẩm đất dựa trên sự tương tác của sóng GNSS phản xạ trên mặt đất và do đó chứa thông tin về các đặc điểm của bề mặt phản xạ, đặc biệt là hàm lượng nước ở độ sâu từ 2-5 cm (Roussel N. F., 2016). Sự giao thoa của sóng trực tiếp và sóng phản xạ đặc biệt đáng chú ý trong giá trị tỷ lệ nhiễu trên tín hiệu (SNR) được máy thu ghi lại. Các biến thể về bản chất của bề mặt (chủ yếu là thành phần đất, độ ẩm, độ nhám) và các đặc tính của nó làm thay đổi tín hiệu phản xạ GNSS, và do đó SNR có thể được phân tích để ước tính độ ẩm đất. Phương pháp ước lượng này có ưu điểm chính là dễ dàng áp dụng bằng cách sử dụng bất kỳ ăng-ten GNSS thông thường nào (đặc biệt là ăng-ten của mạng lưới GNSS cố định hiện có) mà không cần bất kỳ sửa đổi phần cứng nào. Kỹ thuật này đã được áp dụng thành công để lấy lại độ ẩm đất trong các điều kiện môi trường đất trống và đất có thực vật thưa thớt (Chew C. C., 2014; Chew C. C., 2015; Rodriguez-Alvarez, 2011; Zhang S. C.-C., 2018; Zhang S. R.-C., 2017). Tất cả những nghiên cứu này đều thành công trong việc lấy lại độ ẩm của đất, nhưng chỉ duy nhất đối với trường hợp đất trống hoặc có hàm lượng đất sét phong phú.

Mục đích của nghiên cứu này là chứng minh các thuật toán GNSS-R dựa trên một ăng-ten đơn được sử dụng để lấy độ ẩm bề mặt của đất cát trong điều kiện độ ẩm đất rất thấp. Phương pháp này dựa trên việc phân tích dữ liệu SNR liên tục được thu bởi ăng-ten trắc địa. Dữ liệu SNR kết hợp cả tín hiệu trực tiếp và tín hiệu phản xạ. Sự thay đổi độ ẩm của lớp đất bề mặt, có khả năng làm thay đổi các đặc tính điện từ của sóng phản xạ, tức là hằng số điện môi phức tạp phụ thuộc vào độ dẫn điện và mối quan hệ của chúng. Hai tham số khác nhau được phân tích là pha và tần số của tín hiệu đa đường đóng góp vào SNR có liên quan trực tiếp với chiều cao ăng-ten (Lopez, 2016). Kết quả thu được từ tổng số chòm sao vệ tinh GNSS khác nhau sẽ được sử dụng để mở pha theo chu kỳ và sẽ được đánh giá bằng cách sử

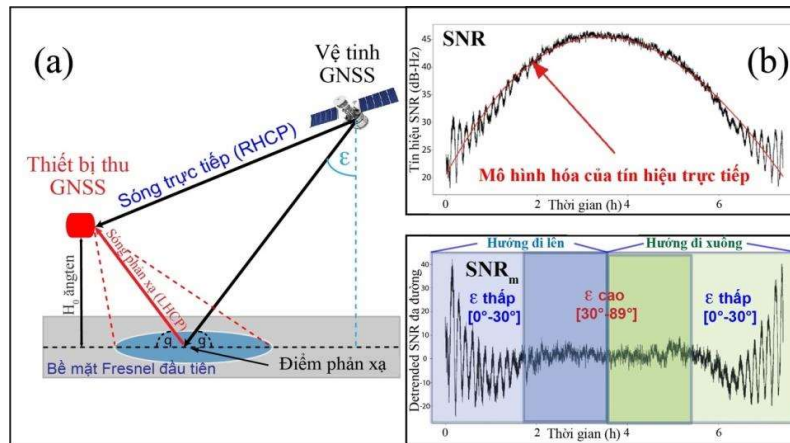
dụng các bản ghi độ ẩm đất độc lập được đo tại hiện trường bằng cách sử dụng cảm biến đầu dò Theta (Roussel N. , 2015).

Nghiên cứu này trình bày kết quả thử nghiệm tại khu vực sân bóng chuyên trong khuôn viên đại học Paul Sabatier, Toulouse, Pháp với 3 ngày thu dữ liệu từ 25 đến 27 tháng 4 năm 2015. Bộ dữ liệu thử nghiệm này cung cấp mối tương quan của các tham số khác nhau bằng kỹ thuật giao thoa (IPT) dựa trên SNR. Các thông số này tương ứng với độ ẩm đất và chiều cao ăng-ten.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Kỹ thuật mô hình giao thoa - IPT

Phương pháp này dựa trên tín hiệu đa đường có mặt trong dữ liệu SNR, được thu nhận liên tục bởi một máy thu trắc địa và ăng-ten đi kèm của nó (Hình 1a) với tần số thu là 1s. Tín hiệu phản xạ sẽ ảnh hưởng đến SNR bằng cách tạo ra một dao động trung gian từ tần số thấp đến tần số cao (phụ thuộc vào góc cao vệ tinh) với biên độ nhỏ hơn tín hiệu trực tiếp. Do tín hiệu trực tiếp được ưu tiên hơn tín hiệu phản xạ bởi độ tụ của tín hiệu khi thiết kế ăng-ten, vì vậy tín hiệu trực tiếp chi phối hình dạng chính của chuỗi thời gian SNR (Hình 1b). Để phân tích thành phần của đa đường, phần đóng góp của tín hiệu trực tiếp phải được loại bỏ khỏi dữ liệu SNR thô. Cách phổ biến là điều chỉnh và loại bỏ hàm đa thức bậc hai đơn giản cho chuỗi thời gian SNR thô để có được hàm đa thức SNR của tín hiệu đa đường multipath (Larson K. M., 2008).



Hình 1. (a) Tương tác giữa sóng điện từ GNSS và bề mặt phản xạ: Sóng trực tiếp được thu bởi mặt phân cực phải (RHCP) và sóng phản xạ được thu bởi mặt phân cực trái (LHCP).

(b) $SNR_{total} = SNR_{direct} + SNR_m$ và phần đóng góp của SNR_m sau khi loại bỏ thành phần SNR_{direct} .

Hiệu ứng đa đường xuất hiện rõ ràng trong các phép đo SNR được ghi bởi máy thu GNSS trên các tần số khác nhau (L1, L2 và L5). Sự giao thoa này tạo ra các dao động có tần số $\tilde{f}$ là một hàm hình sin của góc cao vệ tinh và có thể được mô hình hóa như sau (Torbern, 2015):

$$\tilde{f} = \frac{4\pi}{\lambda} \left(h \frac{\tan(\theta)}{\theta} + h_{eff} \right) \quad (1)$$

Trong đó: h_{eff} là chiều cao ăng-ten so với bề mặt phản xạ biến thiên theo thời gian. θ là góc cao vệ tinh. $\dot{h} = dh/dt$ là vận tốc dọc của bề mặt phản xạ (m/s). $\dot{\theta}$ vận tốc của góc cao vệ tinh. λ là chiều dài bước sóng.

Tần số $\tilde{f}$ thường được ước tính bằng cách sử dụng cửa sổ trượt từ chuỗi thời gian SNR_m (SNR multipath) và sử dụng biểu đồ chu kỳ (Lomb-Scargle Periodogram) (Lomb, 1976; Scargle, 1982) dựa trên kỹ thuật phân tách hài hòa Fourier. Tần số của dao động đa đường tỷ lệ thuận với độ cao ăng-ten H_0 trên bề mặt phản xạ. Các đỉnh của biểu đồ được giữ lại phải đạt 1% (Fei Li, 2018) và xác định mức tối đa giữa $\tilde{f}_{max}$ và $\tilde{f}_{min}$ bằng cách sử dụng h_{max} , h_{min} (chiều cao ăng-ten lớn nhất và nhỏ nhất có thể đạt được trong suốt quá trình đo).

Trên quan điểm điện từ, chiều cao ăng-ten thay đổi ngay cả với bề mặt không chuyển động. Những biến đổi này là do sự thâm nhập của sóng radar vào lớp thực vật và đất, phụ thuộc vào độ ẩm đất, độ nhám, loại đất và mật độ thảm thực vật. Theo (Larson K. M., 2008), giả định rằng chiều cao ăng-ten không đổi theo thời gian ($h_{eff} = \text{hằng số}$), SNR_m có thể được biểu diễn bởi hàm của 3 ẩn số h_{eff} , A_m và Φ_m :

$$SNR_m = A_m \cos\left(\frac{4\pi h_{eff}}{\lambda} \sin(\theta) + \Phi_m\right) \quad (2)$$

Trong đó: A_m là biên độ của dao động đa đường biểu thị cường độ tán xạ ngược của bề mặt phản xạ. Φ_m là pha của dao động đa đường. A_m bao gồm cả mô hình khuếch đại và cường độ của tín hiệu đa đường, cả hai đều phụ thuộc vào góc cao vệ tinh. Quan sát thực địa cho thấy những hiệu ứng này về mặt pha và biên độ có mối tương quan chặt chẽ với độ ẩm đất (Larson K. M., 2010). Hơn nữa, những quan sát này đã chỉ ra rằng ảnh hưởng của độ ẩm đất nhạy với Φ_m hơn là A_m (Chew C. C., 2015; Roussel N. F., 2016).

Khi tần số của dao động đa đường $\tilde{f}$ được giải quyết, h_{eff} và h có thể được xác định, do đó phương trình $\tilde{f}$ cho vệ tinh i tại thời điểm t được tính như sau:

$$\tilde{f}_i(t) = U_i \dot{h}(t) + V_i h_{eff}(t) \quad (3)$$

Trong đó: $U_i = \frac{4\pi \tan(\theta_i)}{\lambda \theta_i}$, $V_i = \frac{4\pi}{\lambda}$. Nếu có n vệ tinh quan sát được tại thời điểm t ta có hệ phương trình:

$$\begin{bmatrix} \tilde{f}_1(t) = U_1 \dot{h}(t) + V_1 h_{eff}(t) \\ \vdots \\ \tilde{f}_n(t) = U_n \dot{h}(t) + V_n h_{eff}(t) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Hoặc thể hiện dưới dạng ma trận:

$$F = U\dot{h}(t) + Vh(t) = AX \quad (5)$$

Trong đó: A ma trận cấu hình, X tương ứng với vector $\begin{pmatrix} \dot{h}(t) \\ h_{eff}(t) \end{pmatrix}$; khi ta có hệ thống đánh giá quá mức có thể được giải quyết bằng cách sử dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất để giải quyết cùng lúc h_{eff} và h (Roussel N. F., 2016):

$$X = (A^T A)^{-1} (A^T F) \quad (6)$$

Để lập bản đồ chính xác, cần phải có một phép đo từng vệ tinh tại mỗi thời điểm t và trong trường hợp đó chúng ta phải giảm số lượng ẩn chưa biết. Trong trường hợp này, chúng tôi sử dụng phương pháp tính được đề xuất bởi (Larson K. M., 2010), sự thay đổi chiều cao là không đáng kể ($|\dot{h}| < 1.10^{-5}$ m/s), công thức (1) có thể được viết dưới dạng:

$$\tilde{f} = \frac{4\pi}{\lambda} h_{eff} \quad (7)$$

Công thức (7) cho thấy tần số của dao động đa đường $\tilde{f}$ tỷ lệ với chiều cao ăng-ten h_{eff} và có thể được tính cho từng điểm đặc trưng của chuỗi thời gian đo độ ẩm.

2.2. Ước tính độ ẩm bề mặt đất (SSM) ở vùng đất cát bằng kỹ thuật IPT và phương pháp mở pha (Unwrapping phase)

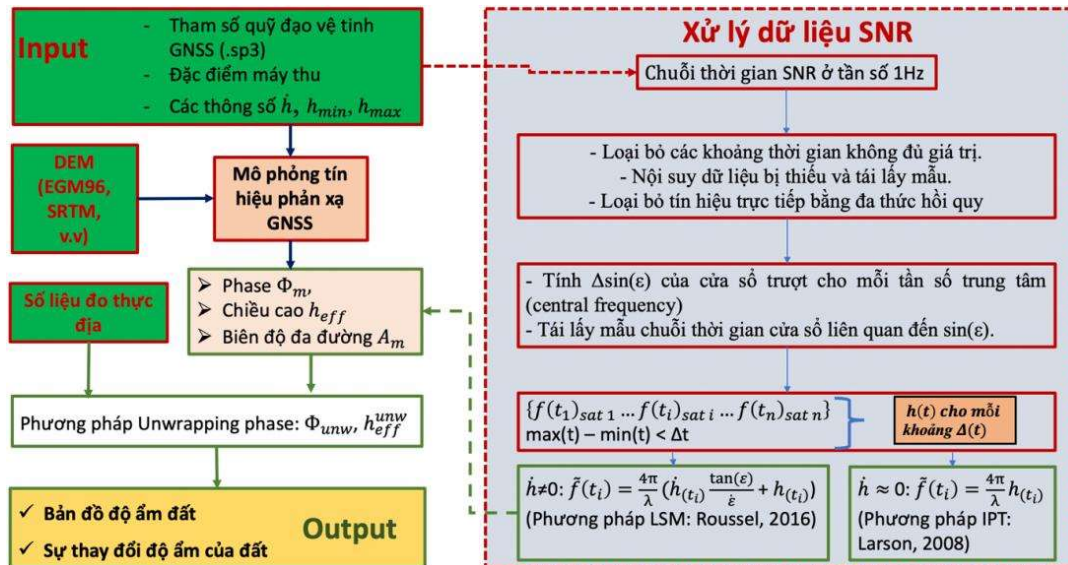
Theo phương trình (2), 3 ẩn số h_{eff} , A_m và Φ_m có thể được tính từ SNR bằng kỹ thuật IPT cho mỗi vệ tinh GNSS. Tín hiệu SNR được tính ở hai trường hợp góc cao vệ tinh thấp (LSE) và góc cao vệ tinh cao (HSE). Do sự thay đổi pha sau khi sử dụng hàm mở pha Φ_{unw} , chiều cao ăng-ten thu được h_{eff} tỷ lệ với tần số $\tilde{f}$ (Eq. 1). Biên độ đa đường A_m không đổi (vì nó phụ thuộc vào mô hình khuếch đại và cường độ của đa đường) và dùng để tính lại chiều cao ăng-ten mới. Có thể xác định chiều cao ăng-ten sau khi sử dụng giai đoạn mở pha h_{eff}^{unw} theo công thức:

$$h_{eff}^{unw} = \left(\cos^{-1} \left(\frac{SNR_m}{A_m} \right) - \Phi_{unw} \right) \times \frac{\lambda}{(4\pi \sin(\theta))} \quad (8)$$

Từ đó, chúng tôi đề xuất một chuỗi xử lý phức tạp để ước tính SSM trong vùng cát bằng kỹ thuật IPT và phương pháp mở pha (Hình 2). Biến động độ ẩm bề mặt đất tỷ lệ với mức tối thiểu và tối đa của chuỗi thời gian tính toán mới của Φ_{unw} và h_{eff}^{unw} được tính toán. Hệ số tương quan (R) là thước đo tương quan tuyến tính giữa từng chuỗi thời gian này và thể tích độ ẩm đất (VSM) được đo bằng đầu dò Theta. Sai số trung phương tổng ($RMSE_{total}$) được tính theo công thức:

$$RMSE_{total} = RMSE_{rp} + RMSE_{SE} + RMSE_{spatial} \quad (9)$$

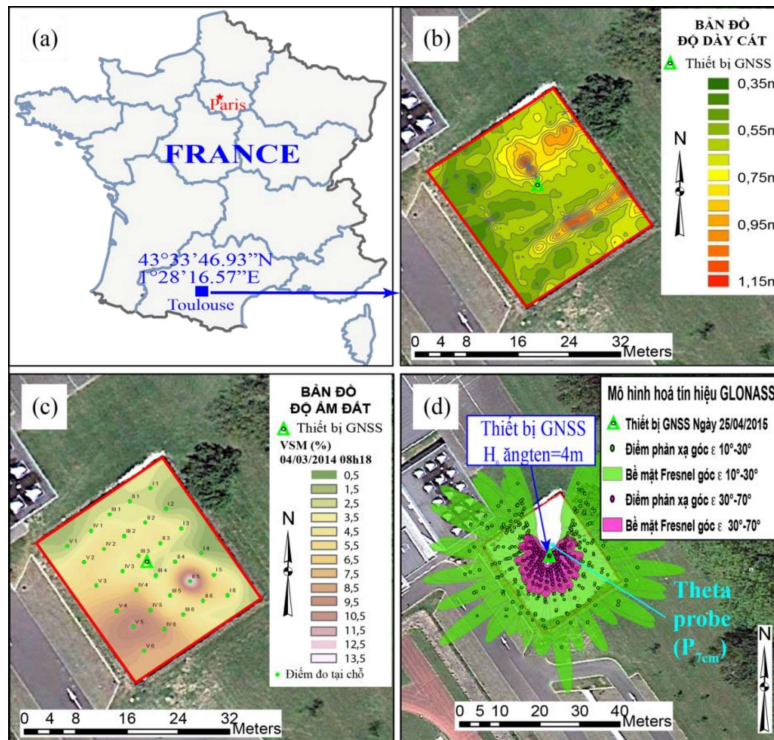
Trong đó, $RMSE_{rp}$ là sai số do sự khác nhau giữa độ ẩm ước tính từ SNR_m và số liệu độ ẩm đo bằng đầu dò Theta. $RMSE_{SE}$ là sai số thiết bị phụ thuộc vào góc cao vệ tinh, độ nhám bề mặt và độ sâu thâm nhập của sóng điện từ. $RMSE_{spatial}$ là sai số gây ra bởi sự thay đổi về không gian của độ ẩm tại khu vực thực nghiệm.



Hình 2. Sơ đồ quy trình chuỗi xử lý dữ liệu SNR để ước tính độ ẩm bề mặt đất ở vùng cát bằng kỹ thuật IPT và phương pháp Unwrapping phase.

3. KHU VỰC THỰC NGHIỆM VÀ DỮ LIỆU SỬ DỤNG

Một máy thu GNSS Leica GR25 và ăng-ten AR10 đã được cài đặt tại trung tâm của sân bóng có diện tích 25x30 m² (tọa độ 43°33'46,93" N; 1°28'16,57" E) trong khuôn viên trường đại học Paul Sabatier, Toulouse, Pháp (Hình 3a). Sân bóng được coi là không có sự thay đổi về địa hình đáng kể, được giả định là một bề mặt phẳng trong mô phỏng các điểm phản xạ (không hiệu chỉnh DEM). Địa điểm này có nhiều ưu điểm: i) Bao gồm 100% cát sạch, hạt đồng nhất, kích thước nhỏ, có đường kính từ 0,3 - 5,0 mm; ii) Mặt đất thoát nước tốt nên nước không bị đọng lại ngay cả trong trường hợp mưa lớn; iii) Độ ẩm của cát thay đổi rất nhanh vì cát có độ thấm thấu cao $\sim 10^{-3}$ m/s. Điều này cho phép chúng tôi sử dụng một chuỗi thời gian ngắn (vài ngày) để định lượng ảnh hưởng của một lượng mưa đột ngột và cho thấy hiệu quả của phương pháp.



Hình 3. Khu vực thực nghiệm: (a) Vị trí khu vực sân bóng chuyên tại đại học Paul Sabatier, Toulouse, Pháp; (b) Bản đồ độ sâu lớp cát được đo bằng Ground Penetrating Radar (GPR) với ăng-ten 500MHz; (c) Bản đồ độ ẩm đất của lớp cát được tạo bằng nội suy IDW của các điểm đo được ở độ sâu 7 cm sử dụng cảm biến đầu dò Theta. (d) Vị trí của máy thu GNSS và đầu dò Theta, bản đồ các điểm phản xạ của vệ tinh GLONASS và bề mặt phản xạ Fresnel của chúng được thực hiện ngày 24 tháng 4 năm 2015.

Các tần số L1 (S1C, 1575,42 MHz), L2 (S2W, 1227,60 MHz) của vệ tinh GPS và tần số L1 (S1C, 1598,06 – 1605,38 MHz) của vệ tinh GLONASS được thu liên tục trong 3 ngày mưa, từ 25 đến 27 tháng 4 năm 2015 ở tần số lấy mẫu 1Hz. Chiều cao ăng-ten được lắp đặt cách mặt đất 4 m. Độ dày lớp cát của khu vực thực nghiệm được xác định bằng ăng-ten Ground Penetrating Radar (GPR Malå Ramac X3M) với tần số 500MHz: độ dày trung bình đo được là 0,7 m và độ sâu dao động trong khoảng 0,35 m đến 1,10 m (Hình 3b). Để tính

phân bố không gian của độ ẩm, chúng tôi tiến hành đo 30 điểm phân bố đều trong khu vực sân bóng bằng đầu dò Theta và nội suy theo phương pháp trung bình có trọng số tỷ lệ nghịch với khoảng cách Inverse Distance Weighting (IDW) để tạo bản đồ độ ẩm đất (Hình 3c). Mô hình kết quả khá phù hợp với độ dày cát, những khu vực có độ dày cát lớn thường có hàm lượng nước đáng kể (VSM thay đổi từ ~ 7,5% đến 13%) và ngược lại hàm lượng nước thấp (VSM thay đổi từ ~ 1,5% đến 3,5%) cho khu vực có độ dày cát thấp.

Để theo dõi sự thay đổi độ ẩm đất của sân bóng, một cảm biến đầu dò ML3 Theta (độ chính xác $\pm 0,01 \text{ m}^3/\text{m}^3$) đã được lắp đặt ở độ sâu 7cm ($P_{7\text{cm}}$), cách máy thu GNSS 1m (Hình 3d). Dữ liệu được thu lại sau mỗi 5 phút. Những dữ liệu này được sử dụng để xác nhận kết quả đo độ ẩm từ SNR bằng phương pháp của chúng tôi.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trong khoảng thời gian thu nhận tín hiệu SNR, đầu dò Theta ghi lại các giá trị VSM nằm trong khoảng từ 2,68% đến 6,62%. Tất cả các tín hiệu phản xạ nằm ngoài khu vực sân chơi được loại bỏ khỏi tín hiệu phân tích. Hình 3d thể hiện mô phỏng bề mặt phản xạ Fresnel tại góc cao thấp từ 10° đến 30° (ellip màu xanh lá cây) và tại góc cao vệ tinh cao trong khoảng 30° đến 70° (ellip màu hồng tím). Chỉ những tín hiệu SNR từ góc cao vệ tinh trong khoảng 30° đến 70° được xử lý để tránh nhiễu phản xạ từ khu vực bên ngoài sân bóng.

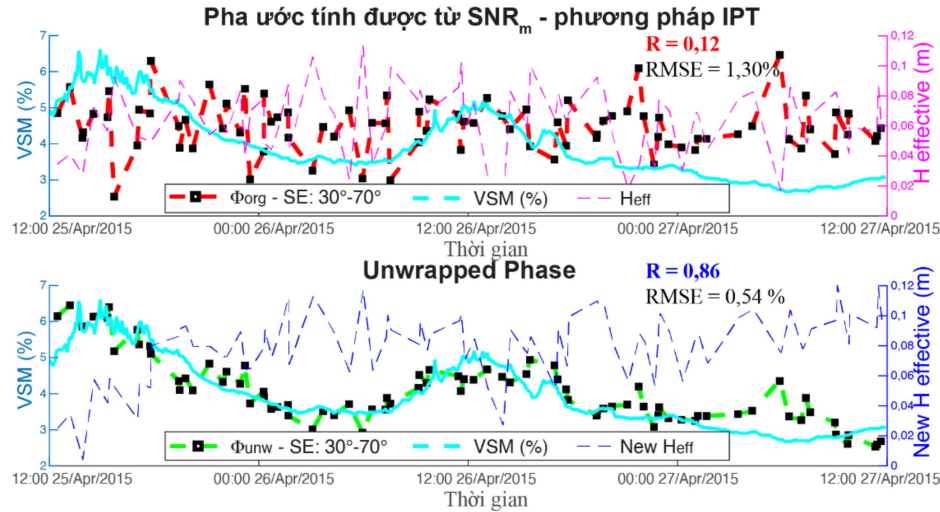
Dữ liệu SVM được tính từ giá trị Φ_m và Φ_{unw} của SNR được so sánh với SVM đo bằng đầu dò Theta đặt ở độ sâu 7cm cho các chòm sao khác nhau (GPS, GLONASS và kết hợp cả GPS và GLONASS). Kết quả tính toán độ lệch bias, sai số trung phương RMSE và hệ số tương quan R được thể hiện trong bảng 1 và hình 4.

Bảng 1. Hệ số tương quan R giữa Φ_m , Φ_{unw} (ước tính bằng phương pháp kết hợp kỹ thuật IPT và Unwrapping phase với góc cao vệ tinh lớn) với VSM ghi được bằng đầu dò Theta đặt ở độ sâu 7cm cho các chòm sao vệ tinh khác nhau (GPS, GLONASS, GPS+GLONASS) trên băng tần L1.

$\Phi_m, \Phi_{unw} / \text{VSM}$	BIAS (%Vol)	RMS (%Vol)	RMSE (%Vol)	R (%Vol)
Φ_m (GPS) *	0,98	1,13	1,49	0,08
Φ_{unw} (GPS) **	0,36	0,63	0,72	0,74
Φ_m (GLONASS) *	0,47	1,22	1,30	0,12
Φ_{unw} (GLONASS) **	0,04	0,54	0,54	0,86
Φ_m (GPS+GLONASS) *	0,84	1,11	1,39	0,10
Φ_{unw} (GPS+GLONASS) **	0,85	0,52	1,00	0,82
* Trước khi thực hiện Unwrapping phase				
** Sau khi thực hiện Unwrapping phase				

Khi chưa mở pha, VSM ước tính trực tiếp từ dữ liệu SNR_m không có sự tương quan với VSM đo bằng đầu dò Theta. Khi bề mặt phản xạ là 100% cát, giá trị độ ẩm đất có thể được khôi phục từ SNR bằng phương pháp mở pha. Kết quả cho thấy, hệ số tương quan R giữa SVM ước tính từ Φ_{unw} và dữ liệu đo độc lập bằng đầu dò Theta ở độ sâu 7cm đạt 0,74 khi sử

dụng vệ tinh GPS, 0,86 với vệ tinh GLONASS và 0,82 khi kết hợp cả hai vệ tinh. Độ ẩm đất ước tính từ dữ liệu GLONASS có độ tương quan tốt hơn so với dữ liệu GPS đơn lẻ, tín hiệu GLONASS dường như nhạy cảm hơn với độ ẩm đất có thành phần 100% cát so với tín hiệu GPS. Điều này cũng có thể giải thích do ở góc cao vệ tinh từ 30° đến 70° , số lượng vệ tinh GLONASS quan sát được nhiều hơn số vệ tinh GPS.



Hình 4. Chuỗi biến động theo thời gian của Φ_m (đường red), h_{eff} (đường magenta), Φ_{unw} (đường green), h_{eff}^{unw} (đường blue) và số liệu độ ẩm đất đo độc lập (đường cyan) ở độ sâu 7 cm tại khu vực thực nghiệm sử dụng SNR_m trên băng tần L1 của chòm sao GLONASS với góc cao vệ tinh từ 30° - 70° .

Chúng tôi quan sát thấy có sự thay đổi lớn ($\sim 14\%$) độ ẩm đất tại khu vực nghiên cứu tùy thuộc vào vị trí đặt cảm biến đầu dò (Hình 3c). Những thay đổi này rõ ràng phụ thuộc vào độ dày/độ sâu của lớp cát (Hình 3b). Thể tích lấy mẫu của đầu dò Theta $\sim 0,00075 \text{ m}^3$ với độ ẩm trung bình là $3,95\% \pm 0,95\%$. Độ phân giải không gian sử dụng kỹ thuật GNSS-R $\approx 189 \text{ m}^2$ (bề mặt phản xạ Fresnel của tín hiệu phản xạ thu được ở góc cao vệ tinh từ 30° đến 70° trong hình 3d) tương ứng với thể tích $\approx 51,79 \text{ m}^3$. VSM được tính bằng cách nhân diện tích của bề mặt phản xạ GNSS-R với độ sâu đâm xuyên trung bình là $0,27\text{m} \pm 0,1 \text{ m}$ (Bảng 2).

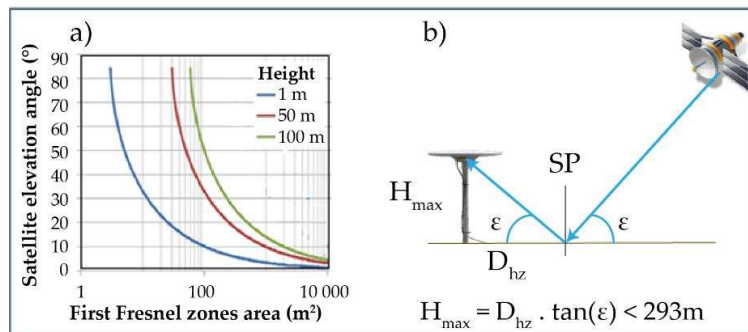
Bảng 2. Thống kê độ phân giải không gian bằng các phương pháp khác nhau:
Dữ liệu tại chỗ sử dụng đầu dò Theta đơn lẻ, bản đồ độ ẩm được tạo từ mạng lưới đo dùng đầu dò Theta và GNSS-R.

Phương Pháp	Diện tích (m^2)	Thể tích (m^3)	VSM Trung bình (%)	STD σ (%)	RMSE Γ (%)	Độ sâu (cm)
Theta đơn lẻ	0,03	0,00075	3,95	0,95	-	$7 \pm 2,5$
Bản đồ từ mạng lưới đầu dò Theta	0,03	0,00075	3,84	1,19	-	$7 \pm 2,5$
	189	17,955	4,82	0,69	1,28	$7 \pm 2,5$
GNSS-R	3,6	0,985	4,37	0,97	0,66	$27,4 \pm 10$
	189	51,786	4,21	0,91	0,54	$27,4 \pm 10$

Kết quả trong bảng 2 cho thấy, sai số trung phương nhận được từ dữ liệu GNSS-R

(RMSE $\sim 0,6\%$) nhỏ hơn sai số trung phương của dữ liệu bản đồ độ ẩm (RMSE $\sim 1,3\%$). Thống kê về độ phân giải không gian bằng các phương pháp khác nhau: phép đo tại chỗ sử dụng đầu dò Theta đơn lẻ là $0,03\text{m}^2$, bản đồ độ ẩm được tạo từ mạng lưới đo dùng đầu dò Theta $\sim 189\text{m}^2$ và GNSS-R $\sim 189\text{m}^2$. Điều này có thể được giải thích bởi sự khác biệt về tỷ lệ diện tích, đầu dò Theta chỉ đo được trên bề mặt có diện tích vài m^2 trong khi GNSS-R truy xuất tương ứng với bề mặt phản xạ Fresnel phụ thuộc vào chiều cao ăng-ten, ăng-ten càng cao thì diện tích bề mặt phản xạ GNSS-R càng lớn. Giá trị độ ẩm trung bình tính từ GNSS-R cho khu vực nghiên cứu $\sim 6\% \pm 3\%$. Nghiên cứu đã chứng minh rằng có thể sử dụng dữ liệu GNSS-R để phát hiện sự thay đổi độ ẩm của đất trong trường hợp đất cát bằng kỹ thuật mở pha. Kỹ thuật mở pha giúp tăng độ chính xác của số lần truy xuất độ ẩm đất so với trị đo pha thông thường. Tín hiệu phản xạ GNSS-R cung cấp thông tin có độ phủ không gian tốt hơn mà đầu dò Theta không có được. Tuy nhiên, các đầu dò độ ẩm cần thiết để hiệu chuẩn độ ẩm từ GNSS-R, cũng có thể đạt được bằng phép đo độ ẩm trọng lực.

Một đặc tính thú vị khác của máy thu GNSS là khả năng thay đổi quy mô nhanh chóng và hiệu quả. Diện tích bề mặt phản xạ là tổng của bề mặt phản xạ Fresnel đầu tiên, phụ thuộc vào độ cao ăng-ten, góc cao vệ tinh và số vệ tinh quan sát được tại thời điểm đó (Hình 5). Do đó, nếu thay đổi chiều cao ăng-ten thì diện tích bề mặt phản xạ sẽ tăng, dẫn đến tăng độ phân giải không gian của phép đo GNSS-R.



Hình 5. a) Sự thay đổi diện tích vùng phản xạ Fresnel khi góc cao vệ tinh thay đổi;
b) Sự phụ thuộc giữa diện tích của bề mặt phản xạ, chiều cao ăng-ten và góc cao vệ tinh.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kỹ thuật IPT cổ điển được phát triển bởi Larson et al. 2008 cung cấp khả năng thu hồi độ ẩm đất tốt đối với đất giàu đất sét như trong các nghiên cứu trước đây (Chew C. C., 2015; Vey, 2016; Zhang S. R.-C., 2017). Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã chứng minh rằng kỹ thuật này cũng có thể được sử dụng ngay cả đối với đất cát khô đến rất khô ($2\% < \text{VSM} < 8\%$) nếu kết hợp phương pháp IPT với phương pháp mở pha (Unwrapping phase) để có được phép đo pha của tín hiệu đa đường (SNR_m) liên tục. Trong trường hợp này, hệ số tương quan giữa các giá trị độ ẩm đất ước tính được từ SNR_m và VSM đo tại chỗ ở độ sâu $\sim 10\text{cm}$, có thể đạt tới 0,86 trên khu vực thử nghiệm với thành phần 100% cát.

Kết quả của nghiên cứu cũng cho thấy khả năng của kỹ thuật GNSS-R để lập bản đồ biến đổi không gian của độ ẩm đất và có thể được thực hiện với cả một hoặc một vài đầu dò độ ẩm. Một đánh giá chi tiết về kết quả độ ẩm được tính toán bằng kỹ thuật IPT đã chứng minh rằng trị đo pha mang lại khả năng thu hồi tốt nhất đối với độ ẩm đất, sự xâm nhập của

sóng tăng lên trong điều kiện môi trường cát khô. Biên độ của tín hiệu đa đường cho kết quả kém do các tham số gây nhiễu biên độ của tín hiệu phản xạ như độ nhám bề mặt, độ không đồng nhất của đất. Bề mặt được thăm dò phụ thuộc vào chiều cao ăng-ten và độ cao vệ tinh, nghĩa là chúng ta có thể tính toán cho quy mô không gian từ cục bộ đến trung bình bằng cách tăng chiều cao ăng-ten, ví dụ vài m² cho chiều cao ăng-ten ~ 1,5 m đến hơn 10000 m² cho chiều cao ăng-ten 50 m. Có thể sử dụng kết hợp tất cả các vệ tinh GPS / GLONASS trong quá trình xử lý dữ liệu SNR để tạo ra một chuỗi hoàn chỉnh về độ chính xác về thời gian, giúp cải thiện đáng kể mối tương quan với độ ẩm đất, cũng như độ phân giải thời gian từ 1 ngày đến 10 phút.

Bên cạnh đó cũng có thể theo dõi sự thay đổi không gian độ ẩm của đất, bằng cách tạo ra một loạt các bản đồ độ ẩm đất trung bình với độ phân giải thời gian là 6 giờ, 12 giờ hoặc theo ngày cho bề mặt đất xung quanh máy thu GNSS. GNSS-R có tiềm năng cung cấp chuỗi thời gian liên tục và trong một thời gian dài. Kết quả của nghiên cứu này có thể cung cấp thông tin, dữ liệu đầu vào cho các nghiên cứu về các hiện tượng thủy văn cực đoan đặc biệt ở các vùng ven biển thường xuyên chịu ảnh hưởng của hạn hán, bão, lũ lụt như ở vùng ven biển Việt Nam. Đồng thời, kết quả nghiên cứu này cũng có thể cung cấp thông tin về độ ẩm đất cát cho nông dân, giám sát sự thay đổi độ ẩm đất để hỗ trợ người nông dân trong quá trình tưới tiêu.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tiến hành trong khuôn khổ đề tài QG.21.33 “Ứng dụng phương pháp GNSS Phản xạ (GNSS-R) để phát hiện các sự kiện nước dâng cực đoan ở vùng ven biển Thừa Thiên - Huế” của ĐHQGHN. Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn giáo sư José Darrozes (Phòng thí nghiệm Khoa học Địa chất Môi trường - GET, UMR 5563 - trường đại học Paul Sabatier, Toulouse, Cộng hòa Pháp) đã cung cấp dữ liệu phục vụ nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

1. Chew, C. C. (2014). Effects of Near-Surface Soil Moisture on GPS SNR Data: Development of a Retrieval Algorithm for Soil Moisture. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 537-543.
2. Chew, C. C. (2015). Vegetation Sensing Using GPS-Interferometric Reflectometry: Theoretical Effects of Canopy Parameters on Signal-to-Noise Ratio Data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2755-2764.
3. Darrozes, J. R. (2016). The Reflected Global Navigation Satellite System (GNSS-R): from Theory to Practice. *Microwave Remote Sensing of Land Surface: Techniques and Method*, 303-355.
4. Fei Li, X. P. (2018). Analysis of Key Issues on GNSS-R Soil Moisture Retrieval Based on Different Antenna Patterns. . *Sensors*.
5. Kerr, Y. H. (2010). The SMOS Mission: New Tool for Monitoring Key Elements of the Global Water Cycle. *Proceedings of the IEEE*, 666-687.

6. Larson, K. M. (2008). Use of GPS receivers as a soil moisture network for water cycle studies. *Geophysical Research Letters*.
7. Larson, K. M. (2010). GPS Multipath and Its Relation to Near-Surface Soil Moisture Content. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 91-99.
8. Liu, Y. Y. (2011). Developing an improved soil moisture dataset by blending passive and active microwave satellite-based retrievals. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*,
9. Lomb, N. R. (1976). Least-squares frequency analysis of unequally spaced data. *Astrophysics and Space Science*, 447-462.
10. Lopez, T. A. (2016). Subsurface hydrology of the Lake Chad Basin from convection modelling and observations. . *Surveys in Geophysics*, 471-502.
11. Maity, M. P. (2021). Assimilation of remote sensing based surface soil moisture to develop a spatially varying vertical soil moisture profile database for entire Indian mainland. *Journal of Hydrology*.
12. Mehdi Khaki, S.-C. H.-Y. (2021). The Application of CYGNSS Data for Soil Moisture and Inundation Mapping in Australia. *IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING*.
13. Ribot, M. A.-A. (2016). Derivation of the Cramér-Rao Bound in the GNSS-Reflectometry Context for Static, Ground-Based Receivers in Scenarios with Coherent Reflection. *Sensors*.
14. Rodriguez-Alvarez, N. C.-I.-L.-P. (2011). Land Geophysical Parameters Retrieval Using the Interference Pattern GNSS-R Technique. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 71-84.
15. Roussel, N. (2015). *Application de la réflectométrie GNSS à l'étude des redistributions des masses d'eau à la surface de la Terre*. Toulouse: Université Paul Sabatier - Toulouse III.
16. Roussel, N. F. (2014). Simulations of direct and reflected waves trajectories for in situ GNSS-R experiments. *Geoscientific Model Development Discussions*.
17. Roussel, N. F. (2016). Detection of Soil Moisture Variations Using GPS and GLONASS SNR Data for Elevation Angles Ranging From 2° to 70°. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 4781-4794.
18. Scargle, J. D. (1982). Studies in astronomical time series analysis. II - Statistical aspects of spectral analysis of unevenly spaced data. *Astrophysical Journal*, 835-853.
19. Smith, K. (2013). *Assessing Risk and Reducing Disaster*. London: Environmental Hazards.
20. Torbern, T. R. (2015). Ecosystem properties of semiarid savanna grassland in West Africa and its relationship with environmental variability. *Global Change Biology*, 250-264.
21. Vey, S. G. (2016). Long-term soil moisture dynamics derived from GNSS interferometric reflectometry: a case study for Sutherland, South Africa. *GPS Solutions*, 641-654.

22. Volkan Senyurek et al., V. (2020). Evaluations of Machine Learning-Based CYGNSS Soil Moisture Estimates against SMAP Observations. *Remote Sensing*.
23. Zhang, S. C.-C. (2018). Deriving surface soil moisture from reflected GNSS signal observations from a grassland site in southwestern France. *Hydrology and Earth System Sciences*, 1931-1946.
24. Zhang, S. R.-C. (2017). Use of reflected GNSS SNR data to retrieve either soil moisture or vegetation height from a wheat crop. *Hydrology and Earth System Sciences*, 4767-4784.
25. Zhao-LiangLi et al., Z. (2021). Soil moisture retrieval from remote sensing measurements: Current knowledge and directions for the future. *Earth-Science Reviews*.
26. Zhu, Q. G. (2021). Response of deep soil moisture to different vegetation types in the Loess Plateau of northern Shannxi, China. *Scientific Reports*.