

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI**  
**TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**

**GIẢN QUỐC ANH**

**NGHIÊN CỨU VÀ XÂY DỰNG HỆ THỐNG CẢNH BÁO TRƯỢT ĐẤT  
SỬ DỤNG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY**

Chuyên ngành: Kỹ thuật điện tử  
Mã số: 9520203.01

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ CÔNG NGHỆ ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG**

**Hà Nội – 2020**

Công trình được hoàn thành tại: Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc Gia Hà Nội

Người hướng dẫn khoa học: PGS. TS. Trần Đức Tân

GS.TS. Bùi Tiến Diệu

Phản biện:.....

.....

Phản biện:.....

.....

Phản biện:.....

.....

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng cấp Đại học Quốc gia chấm luận án tiến sĩ họp tại .....

vào hồi giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam
- Trung tâm Thông tin - Thư viện, Đại học Quốc gia Hà Nội

## MỞ ĐẦU

### 1. Đặt vấn đề

Trượt lở đất (landslide) là một dạng tai biến địa chất, xảy ra nơi có địa hình dốc, khi đất, đá hay mảnh vỡ dịch chuyển nhanh về phía chân dốc. Trượt lở đất xảy ra đột ngột với đất đá có tốc độ di chuyển nhanh gây ra mối đe dọa đối với tính mạng, tài sản và cơ sở hạ tầng. Trượt lở đất có nguyên nhân do mưa chiếm một số lượng lớn trên thế giới cũng như tại Việt Nam.

Dự báo trượt lở đất bao gồm xác định vị trí, phạm vi, thời điểm, cường độ trượt đất sẽ xảy ra. Cảnh báo sớm trượt lở đất là giải pháp quan trọng để phòng tránh và giảm nhẹ hậu quả. *Xây dựng Hệ thống giám sát và cảnh báo sớm trượt lở đất (EWS)* là một trong những giải pháp hiệu quả. EWS nên bao gồm các hoạt động: 1) giám sát: thu thập dữ liệu, truyền thông và duy trì hoạt động của thiết bị; 2) phân tích và dự báo; 3) cảnh báo: đưa ra những bản tin có thể hiểu được về mối đe dọa có nguy cơ xảy ra.

Đối với quy mô sườn dốc riêng lẻ, hệ thống cảnh báo sớm chủ yếu dựa trên việc theo dõi biến dạng khối trượt và yếu tố kích hoạt. Mô hình số dựa trên sự hiểu biết về các quy luật vật lý kiểm soát sự không ổn định của mái dốc. Hệ thống tích hợp dữ liệu giám sát trực tiếp và mô hình số là hệ thống hiệu quả để cảnh báo sớm trượt lở đất.

### 2. Mục tiêu nghiên cứu của luận án

Luận án này đề xuất xây dựng một hệ thống giám sát và cảnh báo sớm trượt lở đất do mưa thời gian thực, triển khai thử nghiệm trên sườn dốc được đánh giá có nguy cơ trượt lở đất cao. Mục tiêu cụ thể:

1. Xây dựng và phát triển phương pháp, mô hình, giải thuật và công cụ nhằm cảnh báo nguy cơ trượt lở đất. Nghiên cứu, xây dựng hệ thống quan trắc: đo chuyển vị mặt đất, áp lực nước lỗ rỗng.

2. Ứng dụng mạng cảm biến không dây và đề xuất giải pháp cải tiến phù hợp với mô hình cảnh báo trượt lở đất. Nghiên cứu nhóm giải pháp tiết kiệm năng lượng tại nút cảm biến đặt tại sườn dốc.

### 3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Mô hình hệ thống giám sát và cảnh báo trượt lở đất được giới hạn đối với một mặt dốc.

### 4. Nội dung nghiên cứu

Nghiên cứu về hiện tượng trượt lở đất, nguyên nhân, cách nhận biết và mô hình phân tích trượt lở đất. Nghiên cứu các giải pháp thu thập dữ liệu, xử lý tín hiệu để đưa ra thông tin cảnh báo chính xác. Nghiên cứu các giải pháp tiết kiệm năng lượng trong mạng cảm biến không dây ứng dụng trong mô hình EWS. Mô hình hóa và mô phỏng giải thuật cảnh báo trượt lở đất. Kiểm chứng thuật toán với dữ liệu thực nghiệm.

### 5. Phương pháp nghiên cứu

Kết hợp nghiên cứu lý thuyết, mô phỏng và thực nghiệm kiểm chứng.

Trước tiên phải nghiên cứu lý thuyết về cơ học đất, trượt lở đất, các giải pháp thu thập dữ liệu và kỹ thuật xử lý tín hiệu tiên tiến để thu thập, xử lý, giải thuật giám sát và cảnh báo. Tiếp đó, mô hình hóa và mô phỏng nguyên lý hoạt động để đánh giá tính hiệu quả của giải thuật và hệ thống đề xuất. Sau đó, xây dựng nút cảm biến được và kết nối thành một hệ thống thực tế. Cuối cùng, hệ thống thực tế được kiểm chứng thực nghiệm trong phòng thí nghiệm và ngoài thực địa.

## **6. Ý nghĩa khoa học và đóng góp mới của luận án**

### **Ý nghĩa khoa học**

Tính liên ngành của luận án được thể hiện rõ nét. Kết hợp nghiên cứu về trượt lở đất và kỹ thuật thu thập, xử lý tín hiệu để xây dựng một hệ thống giám sát, cảnh báo thời gian thực. Kết hợp hai giải pháp đo biến dạng khối trượt và mô hình số phân tích hệ số an toàn cho phép hệ thống cảnh báo tức thời đồng thời dự báo nguy cơ trượt lở đất.

### **Đóng góp mới của luận án**

Thứ nhất, *đề xuất nhóm giải pháp tiết kiệm năng lượng cho mạng cảm biến không dây ứng dụng trong hệ thống giám sát và cảnh báo trượt lở đất do mưa trên phạm vi mặt dốc*. Hệ thống tự động chuyển đổi cấu hình mạng dựa trên mô hình tính toán hệ số an toàn FoS, thay đổi tần số lấy mẫu và áp dụng giải pháp lấy mẫu nén cải tiến.

Thứ hai, *đề xuất mô hình, quy tắc hoạt động hệ thống giám sát và cảnh báo trượt lở đất trên phạm vi mặt dốc để dự báo và cảnh báo thời gian thực*. Trong đó kết hợp mạng cảm biến không dây để thu thập thông tin biến dạng mặt dốc và thông số đất với mô hình số đánh giá trượt lở đất để dự báo và cảnh báo thời gian thực.

## CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU

### 1.1. Nghiên cứu trên thế giới

*Cảnh báo dài hạn* sử dụng công nghệ viễn thám và hệ thống thông tin địa lý GIS để theo dõi, giám sát sự dịch chuyển của khối trượt, từ đó đưa ra cảnh báo. Gần đây, GPS và công nghệ radar cũng được nghiên cứu để sử dụng trong việc giám sát sự dịch chuyển dài hạn của các khu vực rộng trên bề mặt dốc.

*Cảnh báo tức thời* sử dụng cảm biến nhận dạng dấu hiệu trượt lở đất như dịch chuyển, biến dạng hoặc điều kiện thủy văn ngay trước khi sự cố trượt lở đất xảy ra.

### 1.2. Nghiên cứu trong nước

Các đề tài thực hiện theo hướng nghiên cứu nguyên nhân trượt lở đất, đánh giá rủi ro trượt lở đất trên diện rộng dựa trên phân tích tính chất đất đá, địa hình địa mạo, thủy văn. Kết quả của đề tài là các *bản đồ dự báo nguy cơ trượt lở* ở cấp vùng. Đề xuất giải pháp công trình và phi công trình để phòng tránh thiệt hại do trượt lở đất.

Việc xây dựng hệ thống cảnh báo tức thời còn rất mới mẻ tại Việt Nam.

### 1.3. Một số mô hình hệ thống cảnh báo thực tế

### 1.4. Thách thức trong xây dựng hệ thống cảnh báo trượt lở đất do mưa

Xác định trước được khối trượt là một vấn đề của hệ thống EWS. Việc lựa chọn tham số nào cần quan trắc để dự báo trượt lở đất cần được đánh giá. Triển khai hệ thống giám sát đòi hỏi nguồn kinh phí lớn. Hệ thống phải giám sát hoạt động ổn định, liên tục trong khoảng thời gian dài.

### 1.5. Kết luận chương

Chương 1 trình bày tổng quan về tình hình nghiên cứu trong và ngoài nước. Phân tích một số mô hình hệ thống giám sát và cảnh báo trượt lở đất do mưa. Chương này đề cập đến những thách thức khi xây dựng hệ thống giám sát và cảnh báo như xác định vị trí trượt lở đất, khối lượng trượt, lựa chọn các thông số cần giám sát, tính ổn định và tin cậy của hệ thống, cũng như những yêu cầu thực tế về giá thành xây dựng hệ thống giám sát và cảnh báo.

## CHƯƠNG 2. CẢNH BÁO TRƯỢT LỞ ĐẤT DO MƯA VÀ MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY

### 2.1. Trượt lở đất do mưa

#### 2.1.1. Đặc điểm, nguyên nhân, cơ chế trượt lở đất do mưa

Trọng lực là yếu tố chính gây ra trượt lở đất, thường có tác nhân kích hoạt quá trình trượt lở. Trượt lở đất xảy ra là kết quả tổng hợp của nguyên nhân bên trong (địa hình, địa chất, thủy văn) và nguyên nhân bên ngoài (mưa, bão, hoạt động của con người)..

Các yếu tố ảnh hưởng đến trượt lở đất do mưa bao gồm: cường độ mưa, thời gian mưa, hình dạng sườn dốc, địa chất, địa hình, thảm thực vật, bề rộng và độ sâu khối trượt.

Để thực hiện hệ thống cảnh báo trượt lở do mưa, cần xác định trạng thái không ổn định của mặt dốc. Cụ thể, trạng thái mất ổn định được xác định bằng cách sử dụng Hệ số an toàn (FoS). Việc tính toán FoS cho một sườn dốc có thể được thực hiện theo hai bước: (i) thực hiện phân tích thấm dựa trên phương pháp Phần tử hữu hạn FES để ước tính áp lực nước lỗ rỗng trong thân dốc, dựa trên đường cong đặc trưng đất-nước và hàm thấm; (ii) thực hiện phân tích Độ ổn định mặt dốc bằng phương pháp cân bằng giới hạn LESS để tính toán tham số lực kháng cắt không bão hòa, sau đó ước tính FoS cho sườn dốc.

Trong nghiên cứu này, các phân tích FES và LESS được thực hiện tương ứng bằng cách sử dụng phần mềm thương mại SEEP/W và SLOPE/W trong GeoStudio. Theo đó, áp lực nước lỗ rỗng được tính bằng phương trình dòng chảy ngầm:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + q = m_w^2 \gamma_w \frac{\partial H}{\partial t} \quad (2.1)$$

trong đó  $h$  là biến độ cao thủy lực của dòng chảy,  $k_x$  là hệ số thấm theo hướng  $x$ ;  $k_y$  là hệ số thấm theo hướng  $y$ ;  $H$  là độ cao cột nước;  $q$  là thông lượng đặt tại biên;  $m_w$  là độ dốc của đường cong đặc trưng đất- nước (SWCC);  $\gamma_w$  là trọng lượng đơn vị của nước và  $t$  là thời gian.

Mô hình LESS sử dụng lực kháng cắt của đất chưa bão hòa để ước tính FoS bằng phương trình 2.2:

$$T_i = c' + (\delta - u_a) \tan \phi' + (u_a - u_w) \tan \phi^b, \quad (2.2)$$

trong đó  $T_i$  là ứng suất cắt tại lát thứ  $i$  của mặt trượt;  $c'$  là lực dính kết hiệu quả;  $\delta$  là tổng ứng suất bình thường;  $u_w$  là áp lực nước lỗ rỗng;  $u_a$  là áp suất khí lỗ rỗng;  $(u_a - u_w)$  là lực hút dính;  $(\delta - u_a)$  là ứng suất pháp thực trên mặt trượt ở trạng thái phá hoại;  $\phi'$  là góc ma sát hiệu dụng; và  $\phi^b$  là góc ma sát biểu kiến biểu thị độ dốc của đường quan hệ lượng tăng ứng suất cắt và lực hút dính.

Đường cong đặc trưng đất – nước là thông số đặc trưng của đất không bão hòa, được sử dụng để xác định các thông số của đất không bão hòa.

Khi mô hình LESS cho trượt lở được xác định, FoS cho trượt lở được tính bằng tỷ số lực kháng cắt với ứng suất cắt như sau [148]:

$$FoS = \frac{T_i}{\tau_i} \quad i = 1 : N, \quad (2.3)$$

trong đó N là số lượng lát của bề mặt trượt;  $\tau_i$  là ứng suất bình thường hiệu dụng ở lát thứ i của bề mặt trượt.

Như vậy, FoS có thể được theo dõi và đánh giá bằng cách sử dụng mạng cảm biến không dây để thu thập tham số mặt dốc và phần mềm GeoStudio được cài đặt trong trạm giám sát.

## **2.2. Một số giải pháp xây dựng hệ thống cảnh báo trượt lở đất do mưa**

### **2.2.1. Cảnh báo trượt lở đất dựa trên thông tin mưa**

Đối với cảnh báo ở phạm vi quốc gia hoặc phạm vi vùng, hệ thống cảnh báo sớm được xây dựng chủ yếu dựa trên thiết lập đường cong *I-D* thể hiện mối quan hệ giữa trượt lở đất với cường độ mưa (*I*) và thời gian mưa (*D*).

### **2.2.2. Cảnh báo trượt lở đất dựa trên giám sát dịch chuyển mặt dốc**

Quan trắc sự dịch chuyển mặt dốc theo thời gian thực là một tham số trực tiếp thường được sử dụng để dự báo trượt lở đất. Các thiết bị đo nghiêng thường được kết nối thành chuỗi đặt trong hố khoan ở độ sâu khác nhau. Công nghệ GPS và radar cũng được áp dụng để giám sát sự dịch chuyển mặt đất theo thời gian.

### **2.2.3. Cảnh báo trượt lở đất dựa trên mô hình số mặt dốc**

Một số mô hình đã được phát triển và đánh giá. Theo đó, ngưỡng cảnh báo có thể được xác định bởi chuyên gia thông qua đánh giá dữ liệu hoặc sử dụng mô hình số. Hệ thống tích hợp dữ liệu giám sát và mô hình số được đánh giá là hệ thống hiệu quả cho dự báo sớm trượt lở đất.

## **2.3. Mô hình số mặt dốc và mô phỏng sử dụng phần mềm GeoStudio**

Chỉ số quan trọng trong phân tích độ ổn định mái dốc là hệ số an toàn (FoS), được định nghĩa là tỷ số giữa lực kháng cắt và ứng suất cắt dọc theo bề mặt trượt.

*Phương pháp phân tử hữu hạn* sử dụng đường cong đặc trưng đất – nước (SWCC) và hàm thấm để mô phỏng dòng chảy của nước qua đất không bão hòa, xác định áp lực nước lỗ rỗng ở sườn dốc dưới tác động của mưa. *Phương pháp cân bằng giới hạn* được sử dụng để phân tích độ ổn định của mái dốc.

GeoStudio là một phần mềm địa kỹ thuật được sử dụng trong phân tích như ứng suất-biến dạng, thấm, ổn định mái dốc. Bộ công cụ của Geostudio có SEEP/W để tính thấm và SLOPE/W để tính ổn định mái dốc. SEEP/W được sử dụng để mô hình lượng

nước mưa thấm vào mái dốc, xác định sự thay đổi áp suất nước lỗ rỗng. SLOPE/W được sử dụng để phân tích thấm để tính toán hệ số an toàn FoS.

## **2.4. Mạng cảm biến không dây ứng dụng trong giám sát và cảnh báo**

### **2.4.1. Mạng cảm biến không dây**

WSN được ứng dụng rộng rãi do những ưu điểm về khả năng giám sát từ xa với số lượng nút cảm biến lớn, giá thành thấp, dễ triển khai. Bên cạnh đó, WSN bị giới hạn bởi băng thông thấp, khoảng cách truyền ngắn, khả năng xử lý dữ liệu và lưu trữ thông tin tại nút thấp, năng lượng tại nút cảm biến hạn chế.

*Yêu cầu đối với WSN có thể thay đổi đáng kể phụ thuộc vào ứng dụng.* Trong hệ thống giám sát và cảnh báo trượt lở do mưa, các cảm biến trong nút cảm biến có thể đo được các thông số trượt lở đất (như áp suất nước lỗ rỗng, độ nghiêng và độ rung) và truyền dữ liệu thu được về trạm trung tâm thông qua liên kết không dây.

### **2.4.2. Mạng PAN (Personal Area Network)**

#### **2.4.2.1. ZigBee**

ZigBee là một giao thức mạng không dây tầm ngắn sử dụng cho mạng khu vực cá nhân, định nghĩa các lớp phía trên chuẩn IEEE 802.15.4. ZigBee chuẩn hóa lớp mạng và lớp ứng dụng hướng tới thiết bị có giá thành và công suất tiêu thụ thấp.

#### **2.4.2.2. 6LoWPAN**

6LoWPAN định nghĩa cách thực hiện giao thức IPv6 trong mạng PAN không dây, tốc độ dữ liệu thấp, công suất thấp, diện tích nhỏ trên chuẩn IEEE 802.15.4.

### **2.4.3. Cảm biến trong hệ thống giám sát và cảnh báo trượt lở đất**

Việc thiết kế và thực hiện thành công hệ thống cảnh báo sớm trượt lở do mưa gây ra phụ thuộc rất nhiều vào cảm biến và mạng được sử dụng. Đối với hệ thống cảnh báo trượt lở đất, việc lựa chọn cảm biến phụ thuộc vào tham số kích hoạt trượt lở. Theo đó, tham số được giám sát là: (i) tham số gián tiếp như lượng mưa, mực nước ngầm, độ ẩm và áp lực nước lỗ rỗng trong khối trượt ở độ sâu khác nhau; (ii) tham số trực tiếp như biên độ, tốc độ và hướng dịch trượt của sườn dốc.

### **2.4.4. Nút cảm biến**

Nút cảm biến bao gồm bộ thu phát không dây, bộ cấp nguồn, mô-đun quản lý nguồn, bộ xử lý và cảm biến. Nút cảm biến ghi nhận tham số môi trường, xử lý, đóng gói, truyền, nhận và chuyển tiếp dữ liệu. Một số nút khi thiết lập làm chức năng cụm trung tâm có khả năng chuyển tiếp dữ liệu từ nút cảm biến khác đến gateway và ngược lại. Mỗi nút cảm biến gồm nhiều loại cảm biến để thu thập thông tin.

## **2.5. Thách thức trong việc ứng dụng WSN cảnh báo trượt lở đất và giải pháp**

**Những ràng buộc của hệ thống cần thiết kế:** thời gian hoạt động liên tục cần kéo dài ít nhất một mùa mưa.



**Một trong những điểm nghẽn của ứng dụng WSN là hạn chế về năng lượng.** Nguồn pin, với năng lượng hạn chế, thường được sử dụng để cung cấp năng lượng cho mọi hoạt động của SN. Khi được triển khai trong môi trường khắc nghiệt hoặc nguy hiểm, việc thay thế nguồn pin không phải luôn khả thi.

**Vấn đề khả năng tùy biến và độ tin cậy của WSN.** WSN thường được triển khai trong điều kiện môi trường thay đổi có tính chất tùy biến. Vị trí nút có thể biết trước hay ngẫu nhiên, cố định hoặc di động. Số lượng SN có tính chất tùy biến và có khả năng mở rộng. WSN cũng phải đáp ứng điều kiện về khả năng mở rộng, khả năng hoạt động độc lập của SN trong trường hợp SN khác gặp vấn đề.

**Vấn đề tắc nghẽn trong mạng WSN.** WSN gồm số lượng SN lớn và có xu hướng tăng thêm, dữ liệu thu thập với số lượng lớn, thời gian hoạt động kéo dài. Dữ liệu cần phải xử lý trước khi truyền đi để giảm tắc nghẽn.

**Vấn đề đồng bộ trong WSN.** Đồng bộ trong mạng WSN là cần thiết để đảm bảo sự phối hợp hoạt động giữa các nút nhịp nhàng, mối quan hệ của thông tin thu được tại các nút theo thời gian được thể hiện.

**Phát hiện bất thường:** An ninh mạng cũng là một vấn đề lớn của WSN. Do truyền không dây, nhiều kiểu tấn công lấy dữ liệu và chiếm quyền điều khiển đã được thực hiện.

**Vấn đề định vị trong WSN:** Định vị trong WSN để xác định được vị trí của SN, từ đó có thể phát hiện vị trí SN bị lỗi, nơi có diễn biến bất thường v.v.

## **2.6. Kết luận chương**

Chương 2 đã trình bày đặc điểm, cơ chế trượt lở đất do mưa, mô hình số phân tích hệ số an toàn FoS. Việc phân tích thấm và tính hệ số an toàn dựa trên khảo sát mặt dốc và các tham số cơ lý của mẫu đất đá. Phần mềm thương mại GeoStudio với hai công cụ SEEP/W và SLOPE/W được sử dụng để phân tích mô hình. Chương này cũng phân tích các giải pháp giám sát mặt dốc sử dụng thiết bị đo biến dạng, đo thông số đất và thông tin mưa. Hệ thống giám sát và cảnh báo sử dụng mạng cảm biến không trong do những ưu điểm về khả năng triển khai, tính linh hoạt, năng lượng tiêu thụ thấp. Bên cạnh đó, những thách thức và ràng buộc khi áp dụng mạng cảm biến không dây trong hệ thống giám sát và cảnh báo cũng được trình bày.

## CHƯƠNG 3. GIẢI PHÁP TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG TRONG HỆ THỐNG GIÁM SÁT VÀ CẢNH BÁO TRƯỢT LỞ ĐẤT DO MƯA

### 3.1. Năng lượng trong mạng cảm biến không dây

WSN phù hợp với EWM<sub>RIL</sub> được thiết lập trong môi trường khắc nghiệt, không dễ tiếp cận, các nút cảm biến thường sử dụng pin để cung cấp năng lượng hoạt động. Do đó, tối ưu hóa mức tiêu thụ năng lượng cho WSN là cần thiết.

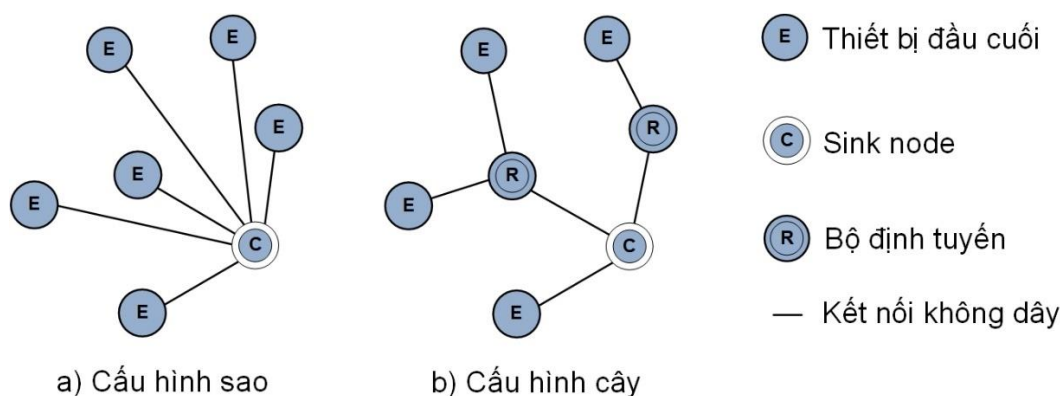
Đối với bài toán cảnh báo trượt lở đất do mưa, một đặc điểm cần khai thác là trượt lở đất diễn ra theo mùa. Lượng mưa phân bố không đồng đều giữa các tháng trong năm mà tập trung chủ yếu trong mùa mưa, hoạt động trượt lở diễn ra chủ yếu vào mùa mưa.

### 3.2. Chuyển đổi linh hoạt cấu hình mạng

#### 3.2.1. Thiết kế hệ thống

Hệ thống EWM<sub>RIL</sub> được đề xuất gồm 6 nút cảm biến đo thông số môi trường để giám sát trượt lở đất. Các nút cảm biến giao tiếp không dây với trạm trung tâm sử dụng chuẩn Zigbee. Trạm trung tâm được đặt ở vị trí an toàn gần sườn dốc để đảm bảo trạm vẫn hoạt động bình thường trong trường hợp trượt lở đất xảy ra. Trạm trung tâm không những nhận dữ liệu từ các nút cảm biến mà còn đọc dữ liệu trực tiếp từ trạm đo mưa được thiết kế riêng cho hệ thống này. Dữ liệu nhận được từ trạm trung tâm và gateway được xử lý và tải lên cơ sở dữ liệu tại máy chủ web thông qua Internet và/hoặc GSM/GPRS. Máy trạm phân tích dữ liệu dựa trên mô hình đã được thiết lập sử dụng phần mềm thương mại GeoStudio để tính toán, dự báo hệ số an toàn. Trên cơ sở đó, các cảnh báo cần thiết được gửi tới người có liên quan qua tin nhắn hoặc hệ thống loa báo. Hệ số an toàn FoS không những được sử dụng để phát ra thông tin cảnh báo mà còn quyết định cấu hình lại hệ thống.

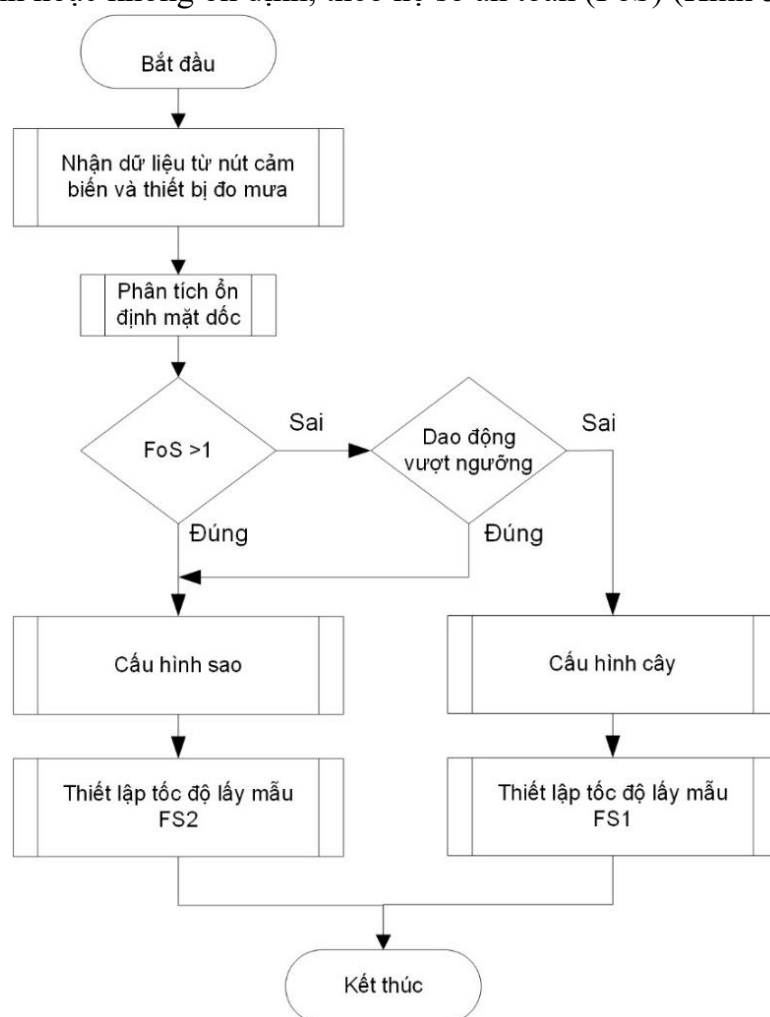
#### 3.2.2. Nguyên tắc hoạt động



Hình 3.1. Cấu hình mạng a) cấu hình sao; b) cấu hình cây

Cấu hình đề xuất là sự kết hợp và chuyển đổi linh hoạt giữa cấu hình sao và cấu hình cây (Hình 3.1). Theo đó, khi một sườn dốc được theo dõi và phân tích sự ổn định bằng Hệ số an toàn (FoS), nếu FoS lớn hơn 1, được gọi là điều kiện bình thường, cấu hình cây được sử dụng. Ngược lại, nếu FoS gần bằng 1, nghĩa là mặt dốc có dấu hiệu mất ổn định, cấu hình sao sẽ được sử dụng tự động. Trong trường hợp này, nút cảm biến đóng vai trò như thiết bị đầu cuối, giao tiếp trực tiếp với trạm trung tâm mà không thông qua các bộ định tuyến.

Dữ liệu được phân tích tại trạm bằng phần mềm GeoStudio để đánh giá trạng thái mặt dốc, ổn định hoặc không ổn định, theo hệ số an toàn (FoS) (Hình 3.2).



Hình 3.2. Nguyên lý làm việc của hệ thống được đề xuất

Hoạt động của hệ thống thành được chia thành hai kịch bản: 1) chế độ hoạt động bình thường; 2) chế độ hoạt động cảnh báo. Kịch bản đầu tiên là chế độ hoạt động bình thường với điều kiện an toàn khi thời tiết tốt, áp lực nước lỗ rỗng thấp và sườn dốc dao động dưới ngưỡng biết trước. Kịch bản thứ hai là chế độ hoạt động cảnh báo với tình trạng mặt dốc không an toàn khi thời tiết xấu hoặc áp lực nước lỗ rỗng cao và sườn dốc dao động trên một ngưỡng xác định.

### 3.2.3. Kết quả thực nghiệm

Pin dung lượng 6600 mAh và điện áp 3,7 V được sử dụng tại mỗi nút cảm biến. Do đó, nguồn cung cấp tối đa cho một nút cảm biến là 24420 mWh.

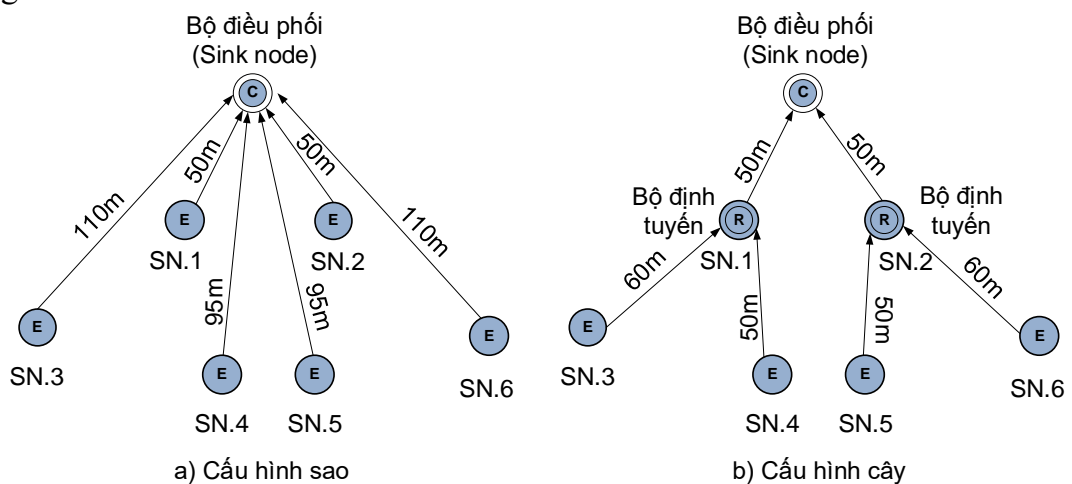
Kết quả tính mức tiêu thụ năng lượng được thể hiện trong Bảng 3.1. Công suất mà một nút cảm biến tiêu thụ ở chế độ hoạt động là 100,255 mW. Do đó, thời gian làm việc của nút cảm biến có thể kéo dài khoảng 243,5 giờ. Trên thực tế, hiệu quả của pin nhỏ hơn nhiều.

Bảng 3-1. Năng lượng tiêu thụ bởi một nút cảm biến

Mô-đun	Công suất (mW)	
	Chế độ nghỉ	Chế độ hoạt động
Wasp mote	0,18	49,5
XBee-PRO ZigBee		10 mW (+10dBm)*
Cảm biến gia tốc ADXL335		1,155
Cảm biến độ ẩm đất (Watermark 200SS)		6,6
Cảm biến nhiệt LM35		33

Chú ý: \* cho phiên bản quốc tế, khoảng cách truyền 400m

Ở chế độ hoạt động bình thường, nút cảm biến đóng vai trò thiết bị đầu cuối chỉ hoạt động 3 giây sau khi ở chế độ nghỉ 10 phút. Năng lượng mà nút cảm biến sử dụng là khoảng 0,08 mWh. Do đó, thời gian hoạt động của nút cảm biến là 1163 ngày xem xét hiệu năng là 75%. Trong chế độ hoạt động cảnh báo, nút cảm biến hoạt động 3 giây sau khi ở chế độ nghỉ 1 phút. Thời gian hoạt động của nút cảm biến là 161 ngày xem xét hiệu năng là 75%.



Hình 3.3. Kịch bản cho thí nghiệm ngoài trời; (a) cấu hình sao; (b) cấu hình cây

Độ tin cậy truyền của hệ thống WSN được đánh giá bằng cách sử dụng tỷ lệ phân phối gói (PDR). Đây là tỷ lệ giữa số lượng tin nhắn mà các nút cảm biến truyền đi và số lượng tin nhắn mà trạm trung tâm nhận được. Kết quả được trình bày trong Bảng 3-2.

Bảng 3-2. Tỷ lệ phân phối gói (PDR) cho cấu hình cây và cấu hình sao

Nút cảm biến	Tổng số gói được truyền	Tổng số gói nhận được (Cấu hình cây)	Tổng số gói nhận được (Cấu hình sao)	Tỷ lệ gói nhận được (Cấu hình cây)	Tỷ lệ gói nhận được (Cấu hình sao)
1	140	140	140	100%	100%
2	103	103	103	100%	100%
3	127	127	127	100%	100%
4	109	109	109	100%	100%
5	133	133	133	100%	100%
6	118	118	118	100%	100%

### 3.3. Áp dụng kỹ thuật lấy mẫu nén

CS (Compress Sensing) là một kỹ thuật sử dụng một số lượng mẫu nhỏ hơn số mẫu theo định lý Nyquist để tái tạo lại một tín hiệu thông qua việc sử dụng các thuật toán phi tuyến tính. CS dựa trên tính thừa thớt và tính không liên kết.

#### 3.3.1. Nguyên tắc hoạt động

Kỹ thuật lấy mẫu nén được áp dụng để giảm lượng dữ liệu truyền và tiết kiệm điện năng bằng cách sử dụng phép biến đổi Fourier để chuyển đổi dữ liệu từ miền thời gian sang miền tần số và truyền đi cùng với các hệ số Fourier tương ứng. Trạm trung tâm nhận dữ liệu được truyền tới và sử dụng một thuật toán phi tuyến để tái tạo lại dữ liệu ban đầu.

Đầu tiên, tại mỗi nút cảm biến, dữ liệu môi trường được lấy mẫu bởi nhiều cảm biến. Bước thứ hai, dữ liệu được chuyển đổi từ miền thời gian sang miền tần số bằng cách sử dụng phép biến đổi Fourier. Tiếp theo, nút cảm biến sẽ gửi một lượng ngẫu nhiên các hệ số Fourier tương ứng đến trạm trung tâm. Dữ liệu miền thời gian sẽ được tái tạo lại bằng một thuật toán phi tuyến tính phù hợp.

Trong luận án này, một cơ sở xác định được tạo ra bởi một chuỗi giả ngẫu nhiên được đề xuất để thay thế cho cơ sở ngẫu nhiên thuần túy. So với CS, điểm mạnh của giải pháp là trình tự này có thể dễ dàng cài đặt vào vi điều khiển trước khi lắp ráp các nút cảm biến tại hiện trường. Bản đồ logic dựa trên cấu trúc động được chuyển đổi thành một chuỗi có hành vi giống Gaussian:

$$q(n+1) = \rho q(n)(1 - q(n)) \quad (3.1)$$

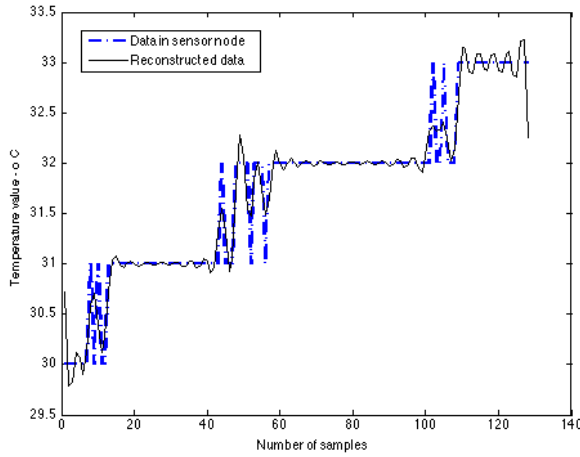
trong đó  $\rho$  là tham số điều khiển; điều kiện ban đầu  $q(0)$  ảnh hưởng lớn đến động lực của phương trình 3.1.  $q(0)$  thay đổi một giá trị nhỏ sẽ nhanh chóng dẫn đến sự thay đổi lớn trong giá trị của  $q(n)$ . Tín hiệu thừa thớt có thể được tái tạo bằng cách sử dụng phương pháp bình phương nhỏ nhất điều chỉnh  $l_1$ . Vấn đề giải quyết là

$$\begin{aligned} & \arg \min_x \left\{ \|F_u x - y\|_2^2 + \lambda \|\Phi x\|_1 \right\} \\ & \text{subject to } \|F_u x - y\|_2 < \varepsilon \end{aligned} \quad (3.2)$$

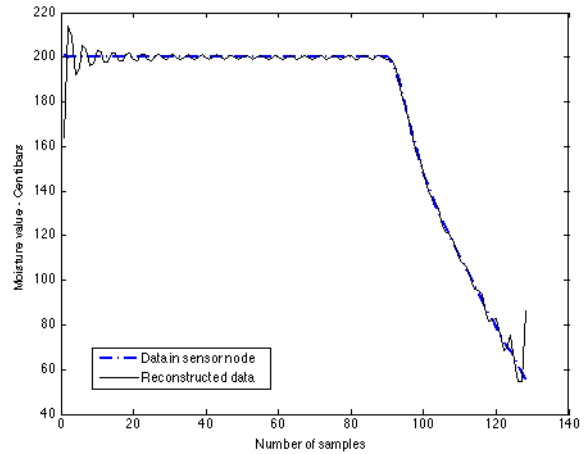
trong đó  $\lambda$  là hằng số điều chỉnh và  $F_u$  là toán tử Fourier được lấy mẫu.

### 3.3.2. Kết quả thực nghiệm

Dữ liệu về nhiệt độ, độ ẩm, gia tốc được tái tạo tại máy thu được hiển thị trong Hình 3.4, Hình 3.5 và Hình 3.6 tương ứng. Dữ liệu được giảm đi 25%.

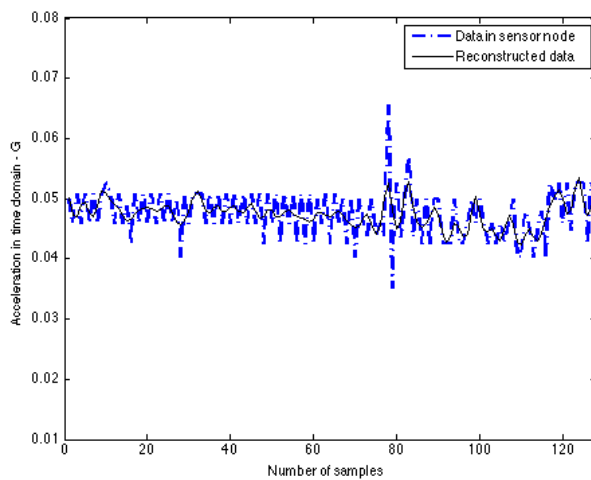


Hình 3.4. Dữ liệu từ cảm biến nhiệt với  $r = 0.25$

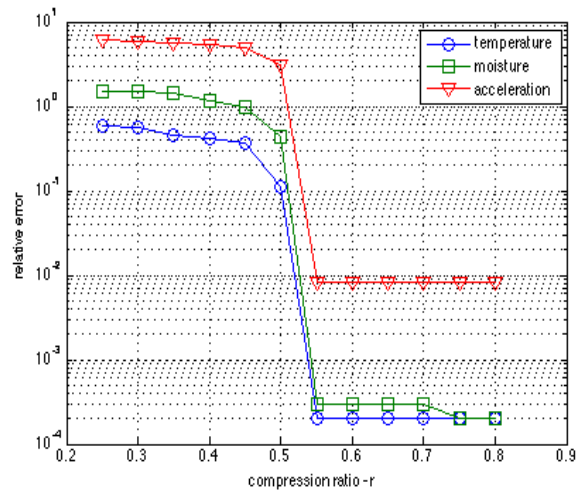


Hình 3.5. Dữ liệu từ cảm biến độ ẩm với  $r = 0.25$

Hình 3.7 chỉ ra ảnh hưởng của tỷ số nén đối với sai số tương đối. Quan sát thấy rằng sai số lớn hơn đối với tỷ lệ nén phạm vi thấp từ 0,25 đến 0,5. Nếu tỷ lệ nén lớn hơn hoặc bằng 0,55, sai số sẽ nhanh chóng giảm xuống không.



Hình 3.6 Dữ liệu từ cảm biến gia tốc với  $r = 0.25$



Hình 3.7. Ảnh hưởng của tỉ số nén đến sai số tương đối

Để phân tích hiệu suất của hệ thống tái tạo và ảnh hưởng của tỷ lệ nén, một tham số được gọi là sai số tái tạo tương đối ( $e$ ) được đề xuất:

$$e = 100\% \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L \frac{|x_i - \hat{x}_i|}{|\hat{x}_i|} \quad (3.3)$$

trong đó  $L$  là tổng số dữ liệu được sử dụng để tính toán,  $x$  biểu thị dữ liệu ban đầu và  $\hat{x}$  biểu thị dữ liệu được tái tạo.

### 3.4. Kết luận chương

Chương 3 đã đề xuất cấu hình linh hoạt và nguyên tắc làm việc mới cho nút cảm biến không dây và gateway. Theo đó, hai kịch bản hoạt động: chế độ cảnh báo với tốc độ lấy mẫu cao và chế độ bình thường với tốc độ lấy mẫu thấp được chuyển đổi phù hợp với diễn biến an toàn mặt dốc.

Luận án đã đề xuất một hệ thống linh hoạt mới cho cấu hình EWM<sub>RIL</sub>. Hệ thống được đề xuất là sự kết hợp giữa cấu hình sao và cấu hình cây để sử dụng trong các tình huống giám sát khác nhau không chỉ để tiết kiệm năng lượng mà còn cải thiện độ tin cậy vận hành của hệ thống EWM<sub>RIL</sub>. Kết quả thử nghiệm cho thấy hiệu suất của EWM<sub>RIL</sub> với mạng WSN được đề xuất là tốt hơn so với các hệ thống thông thường chỉ sử dụng cấu hình cây hoặc cấu hình sao.

Phương pháp lấy mẫu nén được áp dụng để giảm số lượng mẫu được truyền. Một số lượng hữu hạn hệ số Fourier của dữ liệu trong miền thời gian được truyền đi và do đó làm giảm mức tiêu thụ điện năng.

Đóng góp mới này được thể hiện trong 2 bài báo số (1) và (2) trong danh mục các công trình công bố của luận án.

## CHƯƠNG 4. ỨNG DỤNG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY TRONG HỆ THỐNG CẢNH BÁO TRƯỢT LỞ ĐẤT DO MƯA

### 4.1. Lựa chọn cảm biến cho hệ thống cảnh báo sớm trượt lở do mưa

#### 4.1.1. Cảm biến gia tốc

Mục đích của cảm biến này là xác định biến dạng mặt dốc bao gồm tốc độ dịch chuyển, chuyển động nghiêng và độ rung tại vị trí của sườn dốc đang được giám sát để đưa ra cảnh báo. Gia tốc có thể được tính bằng phương trình:

$$ACC_i = (Sam_i / 1024 \times R - O_i) / Sen_i \quad (4.1)$$

trong đó  $ACC_i$  là giá trị gia tốc theo hướng  $i$  ( $i = X, Y, Z$ );  $Sam_i$  là giá trị sau khi lấy mẫu trực  $i$ ;  $R$  là điện áp tham chiếu;  $O_i$  là phần bù và  $Sen_i$  là độ nhạy của cảm biến gia tốc trên trục  $i$ .

#### 4.1.2. Cảm biến áp lực nước lỗ rỗng (PWP)

Cảm biến PWP được sử dụng để đo áp lực nước ngầm của sườn dốc. Tùy thuộc vào cấu trúc ngầm của sườn dốc, nên đặt một số cảm biến PWP ở độ sâu khác nhau để theo dõi tác động của cả áp lực nước lỗ rỗng âm và dương.

#### 4.1.3. Cảm biến độ ẩm đất

Cảm biến độ ẩm đất được sử dụng để đo hàm lượng thể tích nước của đất. Hàm thể tích lượng nước được xác định gián tiếp thông qua việc đo độ dẫn điện của môi trường đất xung quanh chúng bằng phương trình:

$$SM = \frac{(SM_{ADC} - OS_{ADC}) * 200}{1023 - OS_{ADC}} \quad (4.2)$$

trong đó  $SM$  là giá trị độ ẩm của đất (%);  $SM_{ADC}$  là đầu ra bộ chuyển đổi tương tự sang số (ADC); và  $OS_{ADC}$  là giá trị bù ở 0 Kpa.

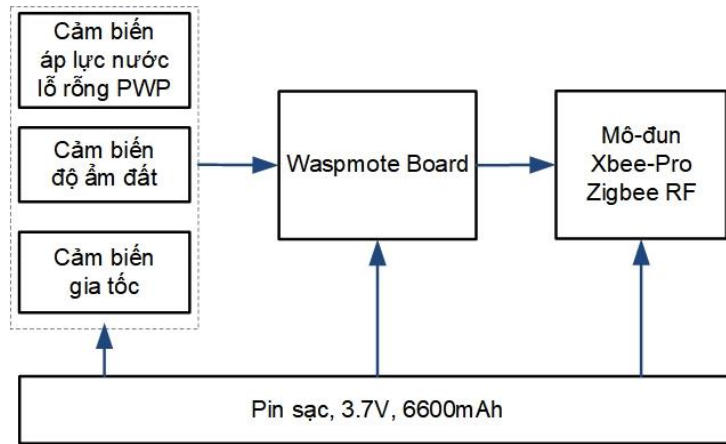
#### 4.1.4. Thiết bị đo lượng mưa

Trong luận án này, một thiết bị đo mưa giá thành thấp đã được thiết kế bổ sung cho hệ thống để đo lượng mưa. Dữ liệu thời gian thực từ thiết bị đo mưa được chuyển đến phần mềm GeoStudio tại máy tính trạm để mô phỏng phân bố áp lực nước lỗ rỗng trong sườn dốc.

### 4.2. Thiết kế nút cảm biến

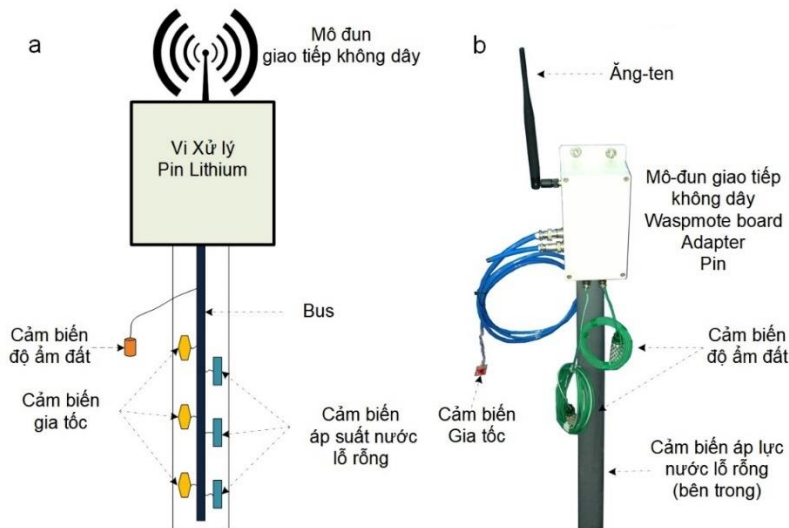
Sơ đồ khối của một nút cảm biến được thể hiện trong Hình 4.1, bao gồm các cảm biến, mạch điều khiển Wasmote, pin, mô-đun ZigBee RF XBee-Pro.



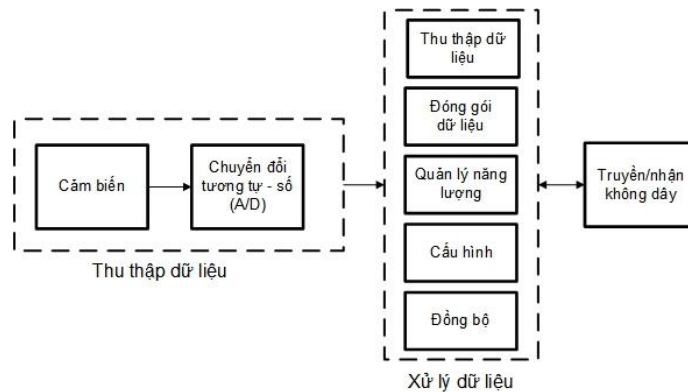


Hình 4.1. Sơ đồ khối của nút cảm biến

Nút cảm biến không dây được đề xuất gồm có 3 cảm biến áp lực nước lỗ rỗng, 3 cảm gia tốc và 1 cảm biến độ ẩm đất. Ngoài ra, nút cảm biến cũng có bus truyền thông, bộ vi xử lý, pin lithium và mô-đun truyền thông không dây.



Hình 4.2. (a) Thành phần của nút cảm biến không; (b) Ảnh của nút cảm biến không dây



Hình 4.3. Chức năng của nút cảm biến

Nút cảm biến có các chức năng thu thập dữ liệu, xử lý thông tin, đồng bộ, chuyển tiếp và định tuyến dữ liệu, các chức năng này thường xảy ra đồng thời.

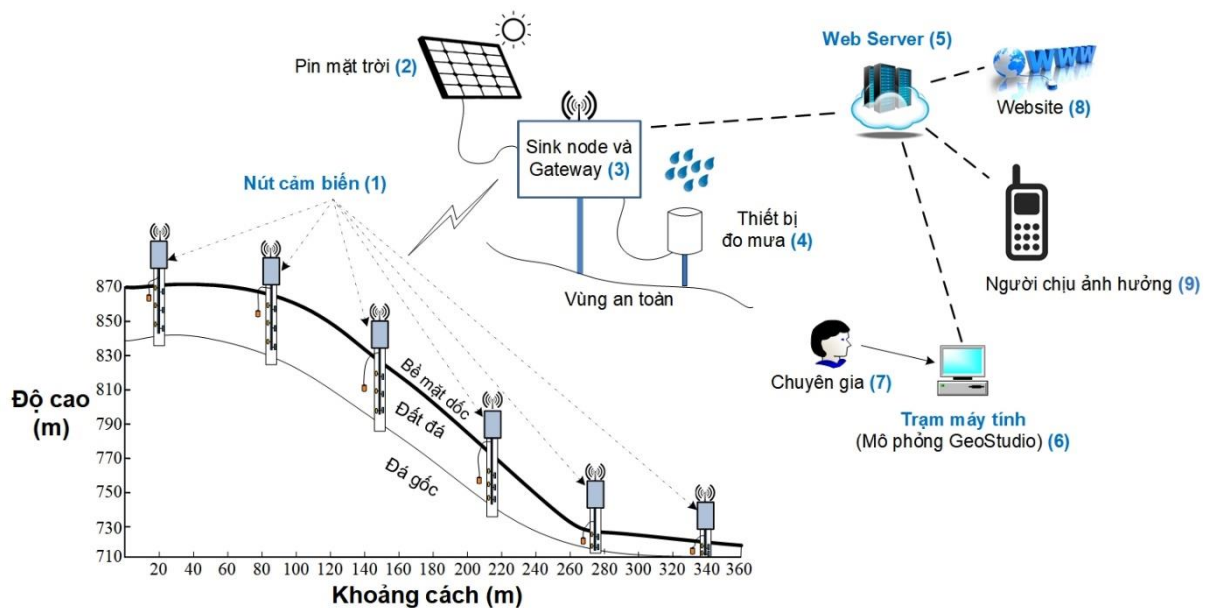
### 4.3. Giao tiếp không dây

Luận án sử dụng mô-đun ZigBee XBee-Pro dựa trên chuẩn giao tiếp không dây IEEE 802.15.4 và được thiết kế để hoạt động với giao thức ZigBee.

### 4.4. Hệ thống giám sát và cảnh báo sớm trượt lở đất do mưa (EWM<sub>RIL</sub>)

#### 4.4.1. Cấu trúc của hệ thống giám sát và cảnh báo sớm

Cấu trúc hệ thống giám sát và cảnh báo sớm được đề xuất đối với trượt lở đất do mưa EWM<sub>RIL</sub> được trình bày trong Hình 4.4. Bộ vi xử lý tại nút cảm biến thu thập dữ liệu từ tất cả các cảm biến và chuyển sang mô-đun truyền thông không dây, sau đó mô-đun truyền thông không dây gửi dữ liệu đến trạm trung tâm và gateway. Trong bước tiếp theo, dữ liệu được tải lên máy chủ Web thông qua gateway. Sau đó, dữ liệu từ máy chủ Web được định dạng và chuyển tiếp đến trang web giám sát, điện thoại di động của người phụ trách và máy trạm. Cuối cùng, chương trình GeoStudio tại máy trạm được sử dụng để phân tích trạng thái không ổn định (sử dụng FoS) của sườn dốc và kết quả của nó có thể được sử dụng để cấu hình lại WSN và đưa ra cảnh báo nếu cần.



Hình 4.4. Sơ đồ đề xuất hệ thống giám sát và cảnh báo trượt lở do mưa.

#### 4.4.2. Trạm trung tâm, gateway và pin năng lượng mặt trời

Trạm trung tâm và gateway phải được đặt ở vị trí an toàn gần sườn dốc. Lưu đồ làm việc chi tiết của trạm trung tâm và gateway được hiển thị trong Hình 4.5.

#### 4.4.3. Phân bố không gian của nút cảm biến

Kết quả khảo sát thực địa và kết quả phân tích trên mô hình có thể dự đoán được vùng nguy cơ trượt lở trên mặt dốc. Từ đó, nút cảm biến được thiết lập trên vùng có khả

năng bị trượt. Các nút cảm biến cần được bố tại các vùng đỉnh dốc, thân dốc và chân dốc. Độ sâu đặt nút cảm biến được xác định dựa trên khoan thăm dò cấu tạo sườn dốc. Cảm biến PWP được thiết lập lần lượt ở 3 m, 5 m và 11 m.

#### 4.4.4. Cấu hình mạng

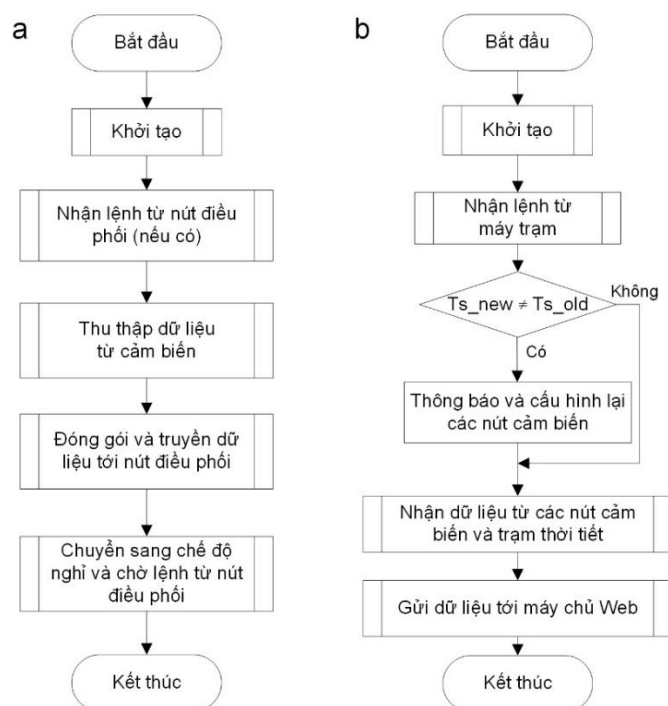
Thiết kế EWM<sub>RIL</sub> hiệu quả đòi hỏi phải xác định cấu hình thích hợp cho WSN. Đối với cấu hình sao, bộ điều phối đóng vai trò là bộ điều khiển mạng, các thiết bị khác được gọi là thiết bị đầu cuối. Thiết bị đầu cuối không bị ảnh hưởng bởi thiết bị đầu cuối khác. Đối với cấu hình cây, mạng bao gồm một bộ điều phối, một số bộ định tuyến và thiết bị đầu cuối. Bộ điều phối thiết lập mạng, chọn kênh vận hành, cung cấp địa chỉ cho bộ định tuyến và thiết bị đầu cuối. Bộ định tuyến giao tiếp trực tiếp với bộ điều phối.

#### 4.4.5. Chuyên gia và người phụ trách

FoS cho sườn dốc được xem xét được tính toán trước bởi chuyên gia trượt lở dựa trên dữ liệu khảo sát thực địa sử dụng phần mềm SEEP/W và SLOPE/W. Dữ liệu giám sát thời gian thực từ nút cảm biến và trạm đo mưa được sử dụng để tính toán chỉ số FoS gần thời gian thực (RFoSI). Bằng cách phân tích FoS và RFoSI, các thông điệp cảnh báo sẽ được gửi đến người phụ trách thông qua mạng truyền thông di động.

#### 4.4.6. Nguyên tắc làm việc của hệ thống

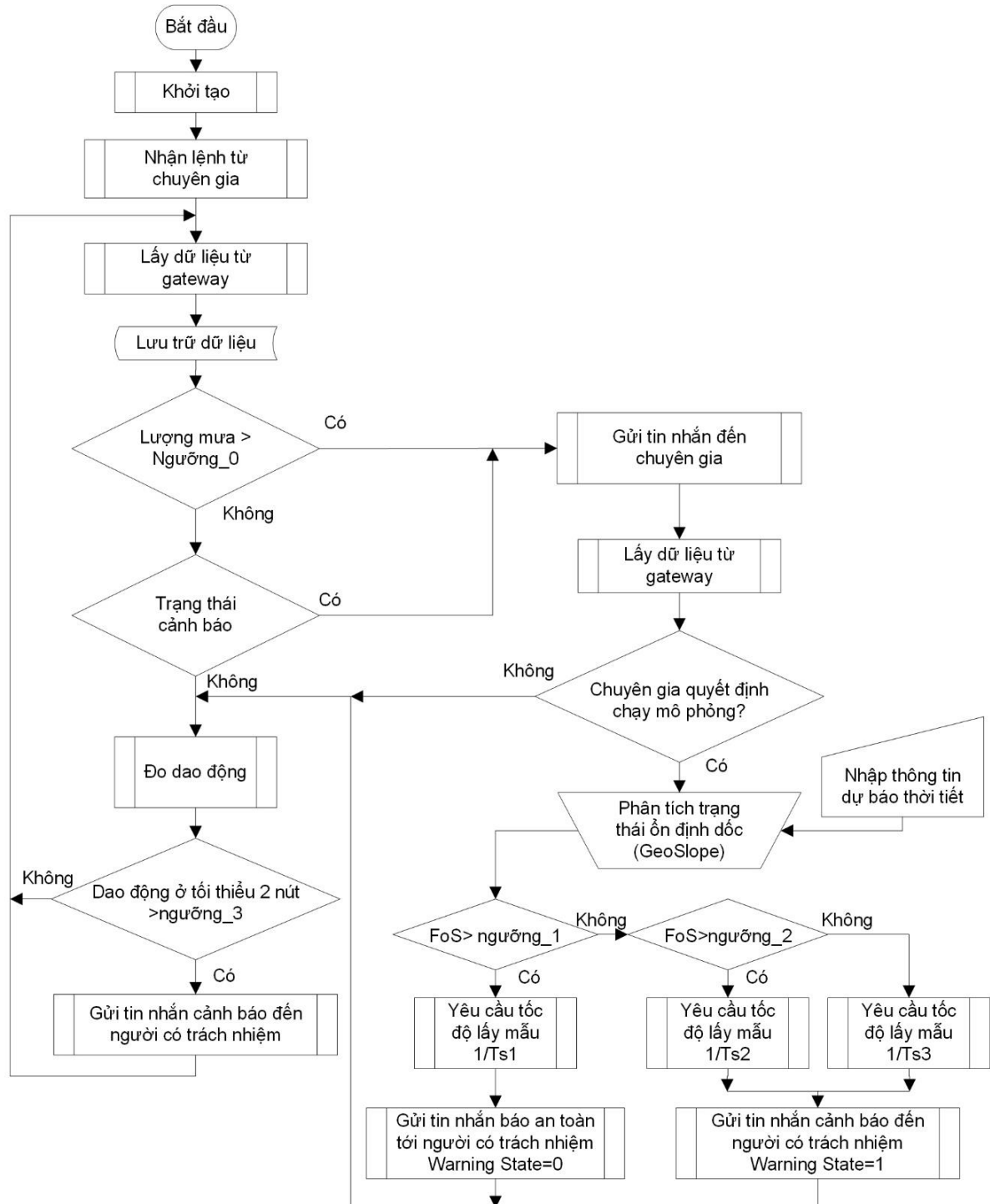
##### 4.4.6.1. Nguyên tắc làm việc được đề xuất cho nút cảm biến không dây và gateway



Hình 4.5. Nguyên lý làm việc được đề xuất: (a) nút cảm biến không dây và (b) trạm trung tâm và gateway.

#### 4.4.6.2. Dự đoán không ổn định sườn dốc và cảnh báo thời gian thực

Nguyên lý làm việc được đề xuất để dự đoán trạng thái không ổn định và cảnh báo thời gian thực được trình bày trong Hình 4.6.

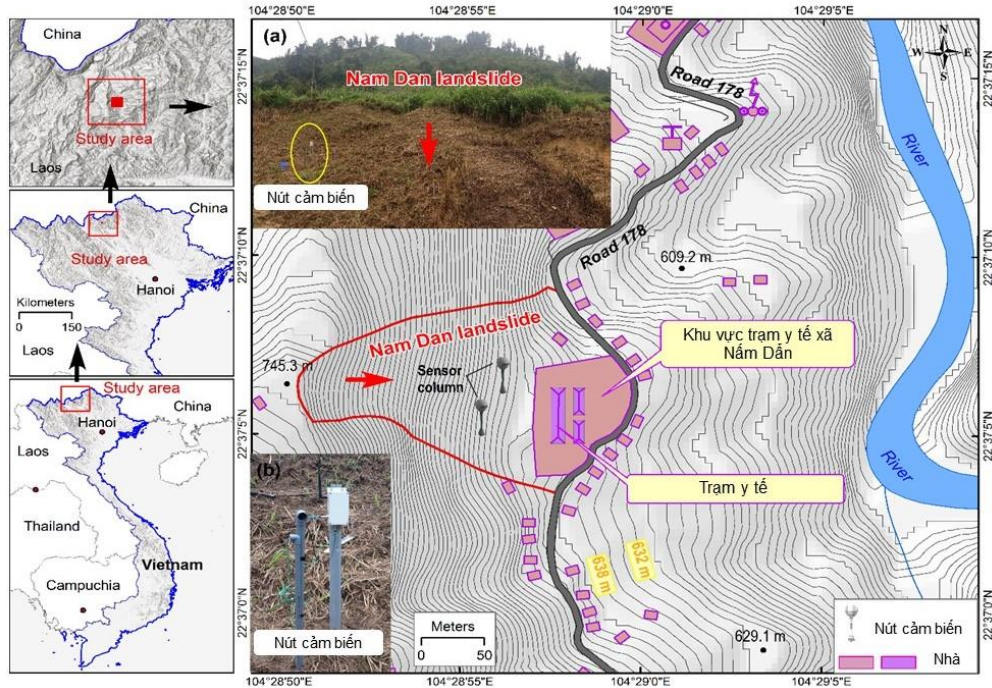


Hình 4.6. Nguyên lý làm việc của hệ thống đề xuất

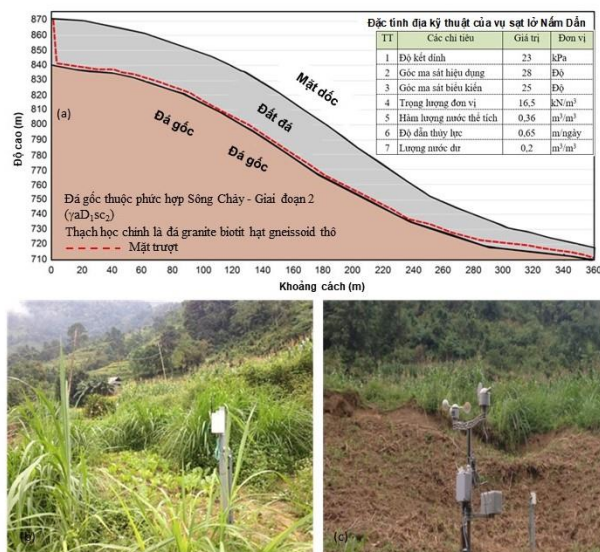
## 4.5. Nghiên cứu điển hình cho hệ thống giám sát và cảnh báo sớm trượt lở đất do mưa (EWM<sub>RIL</sub>)

### 4.5.1. Thu thập và xử lý dữ liệu

Sườn dốc có nguy cơ trượt lở cao ở Xã Năm Dăn, huyện Xín Mần, tỉnh Hà Giang, nằm ở khu vực miền núi phía bắc Việt Nam được chọn nghiên cứu.



Hình 4.7. Vị trí trượt lở Năm Dăn; (a) ảnh của vị trí cột cảm biến; (b) ảnh của cột cảm biến được sử dụng trong dự án này.



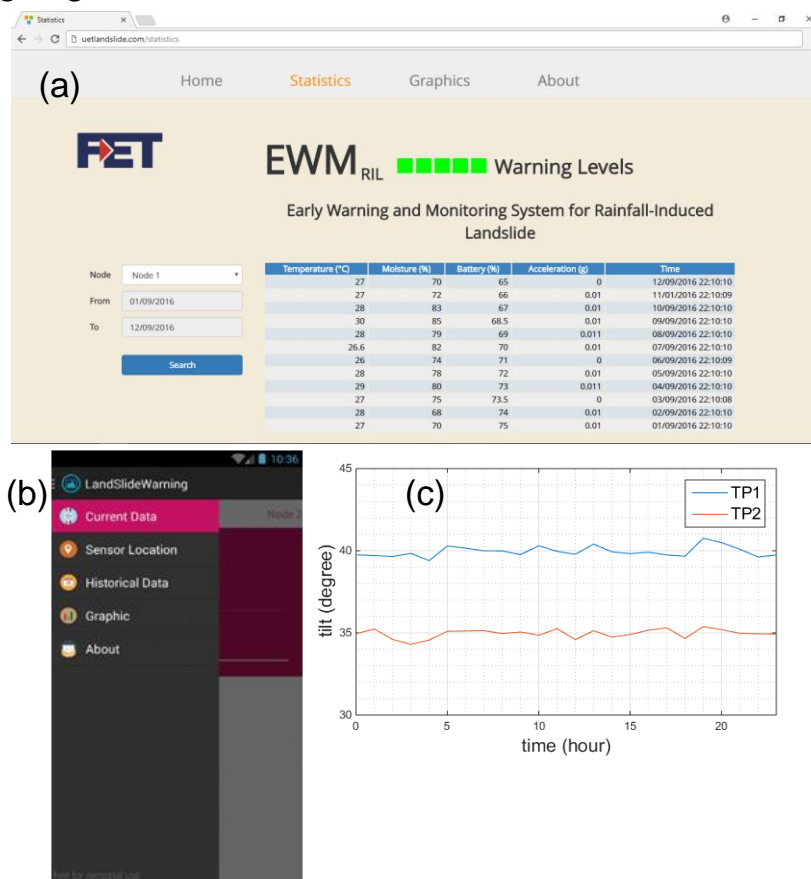
Hình 4.8. (a) Mặt cắt ngang; (b) và (c) ảnh mặt dốc Năm Dăn



Sườn dốc cần giám sát và cảnh báo được khảo sát về địa chất, địa hình, thủy văn. Trên cơ sở dữ liệu thu thập được và phân tích, sườn dốc được mô hình hóa, sử dụng phần mềm SEEP/W để phân tích thấm và SLOPE/W phân tích ổn định mặt dốc, phân tích xác định các mặt trượt tiềm năng. Từ đó, các nút cảm biến được thiết lập trên vùng có khả năng bị trượt.

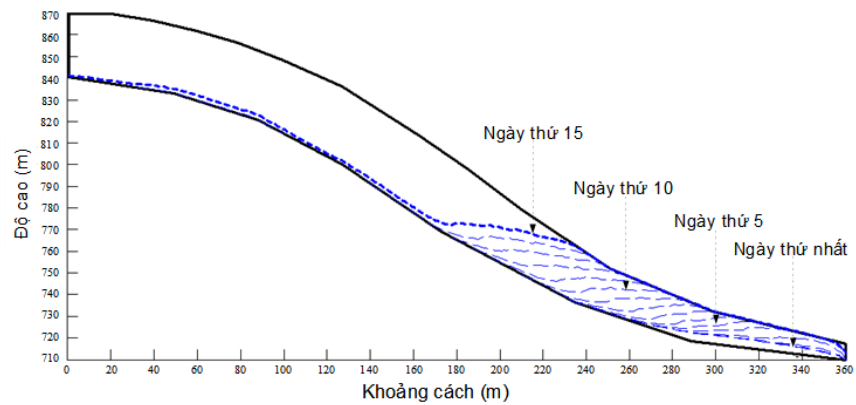
#### 4.5.2. EWM<sub>RIL</sub> cho khối trượt Nấm Dẩn

Để giám sát và cảnh báo sớm trượt lở, tổng cộng 6 nút cảm biến cho mạng WSN đã được thiết kế và triển khai. Dữ liệu thu được từ nút cảm biến và thiết bị đo mưa được gửi đến trạm trung tâm và sau đó được truyền không dây qua mô-đun GSM/GPRS đến cơ sở dữ liệu MySQL trên máy chủ web. Một ứng dụng web và ứng dụng Android cũng được xây dựng để giám sát từ xa (Hình 4.9 a, b).



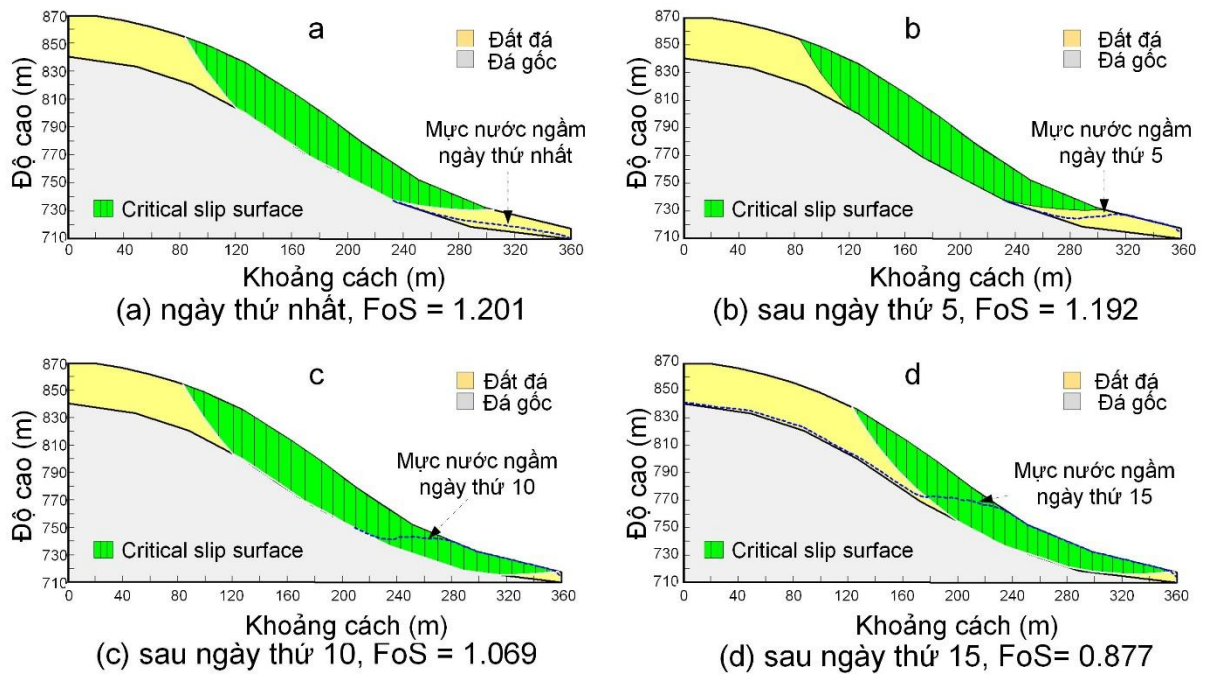
Hình 4.9. Giám sát dữ liệu thông qua trang web (a); ứng dụng di động (b) và một ví dụ về độ nghiêng ước tính bằng cách sử dụng dữ liệu gia tốc (c).

Hình 4.10 cho thấy ước tính thấm tại các thời điểm khác nhau với cường độ mưa đồng đều 200 mm/ngày trong mười lăm ngày.



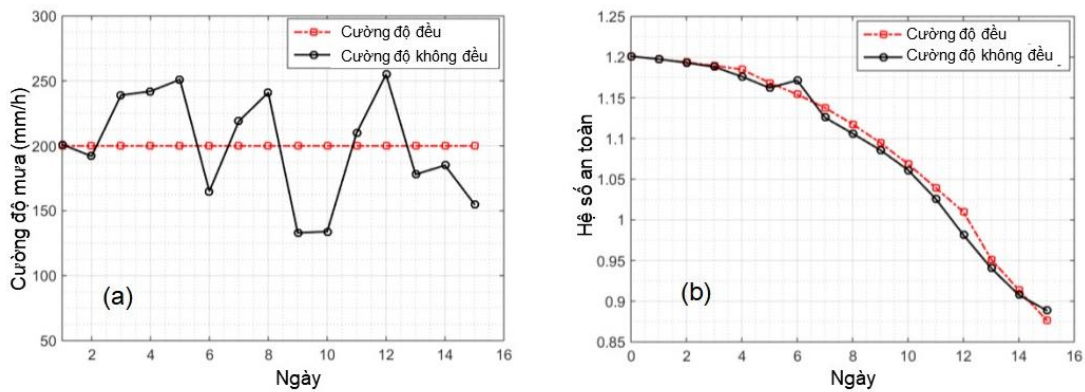
Hình 4.10. Ước tính thấm cho sườn dốc Nấm Dẫn vào các thời điểm khác nhau.

Trong Hình 4.11, với cường độ mưa trung bình 200 mm/ngày, FoS giảm xuống còn 0,877 (tức là mức cảnh báo) sau 15 ngày.



Hình 4.11. Sự thay đổi của FoS tương quan với ước tính thấm tại cùng thời điểm của sườn dốc trong 15 ngày với cường độ mưa 200 mm/ngày

Hình 4.12 cho thấy chi tiết hơn về sự phụ thuộc của FoS vào cường độ mưa theo thời gian.



Hình 4.12. (a) Cường độ mưa theo thời gian; (b) FoS trượt bề mặt quan trọng so với thời gian.

#### 4.6. Kết luận chương

EWM<sub>RIL</sub> được đề xuất là một hệ thống tích hợp kết hợp mạng cảm biến không dây, phân tích thảm dựa trên phần tử hữu hạn và phân tích ổn định sườn dốc dựa trên phương pháp cân bằng giới hạn để theo dõi và cảnh báo sớm trượt lở. Trạng thái không ổn định của sườn dốc được xác định dựa trên FoS được tính toán bằng cách sử dụng tham số thu được trên thực địa. Các tham số này được theo dõi thời gian thực và được gửi đến máy tính trạm để tính toán FoS. Dựa trên FoS tính toán được, trạng thái của sườn dốc được phân tích, sau đó có thể đưa ra quyết định.

Ưu điểm của hệ thống WSN được đề xuất là linh hoạt và đáng tin cậy, thích ứng với trạng thái cảnh báo. Hệ thống cân bằng hơn giữa tiết kiệm năng lượng và độ tin cậy.

Hệ thống được đề xuất có khả năng tự động chuyển từ cấu hình cây sang cấu hình sao khi sườn dốc ở trạng thái không ổn định. Nếu một số nút cảm biến bị hỏng, các nút cảm biến khác vẫn tiếp tục hoạt động và do đó, độ tin cậy của hệ thống được bảo đảm.

Đóng góp mới này được thể hiện trong 2 bài báo số (3) và (4) trong danh mục các công trình công bố của luận án.



## KẾT LUẬN CHUNG

### Các đóng góp mới

Luận án đã nghiên cứu, thiết kế hệ thống giám sát và cảnh báo sớm trượt lở đất do mưa áp dụng trên quy mô mặt dốc sử dụng mạng cảm biến không dây. Luận án có 2 đóng góp mới:

Thứ nhất, *đề xuất nhóm giải pháp tiết kiệm năng lượng cho mạng cảm biến không dây ứng dụng trong hệ thống giám sát và cảnh báo trượt lở đất do mưa trên phạm vi mặt dốc*. Nhóm giải pháp bao gồm: lựa chọn cảm biến, thay đổi tần số lấy mẫu và thiết lập chuyển đổi cấu hình mạng dựa trên các kịch bản hoạt động, lấy mẫu nén cải tiến. Luận án tập trung giải quyết bài toán tiết kiệm năng lượng cho các cột cảm biến với yêu cầu hoạt động tin cậy, liên tục trong khoảng thời gian tối thiểu một mùa mưa. Đề xuất sử dụng cảm biến công nghệ MEMS có công suất tiêu thụ thấp để thu nhận thông tin biến dạng mặt dốc thay thế cho thiết bị đo truyền thống. Dựa trên đặc điểm trượt lở đất phổ biến tại Việt Nam thường xảy ra trong mùa mưa, hệ thống giám sát và cảnh báo trượt lở đất do mưa đề xuất hai kịch bản hoạt động. Trên cơ sở áp dụng mô hình số để tính toán hệ số an toàn mặt dốc FoS theo thời gian thực, luận án đã đề xuất mô hình hệ thống tự động chuyển đổi giữa cấu hình cây và cấu hình sao để đảm bảo độ tin cậy hoạt động của hệ thống đồng thời tiết kiệm năng lượng của nút cảm biến. Tần số lấy mẫu thay đổi tự động dựa trên phân tích hệ số an toàn. Thay đổi tần số lấy mẫu phụ thuộc kết quả phân tích hệ số an toàn FoS của mặt dốc, tần số lấy mẫu thay đổi để đạt được mục tiêu giảm tần số lấy mẫu và dữ liệu truyền/nhận trong trường hợp mặt dốc ở trạng thái an toàn và tăng tần số lấy mẫu và dữ liệu truyền/nhận trong trường hợp mặt dốc không an toàn. So sánh với các giải pháp đã được công bố, giải pháp này đảm bảo sự linh hoạt. Một giải pháp khác để tiết kiệm năng lượng trong hệ thống là áp dụng giải pháp lấy mẫu nén cải tiến. Kỹ thuật lấy mẫu nén được áp dụng để giảm lượng dữ liệu truyền và tiết kiệm điện năng. So sánh với các giải pháp đã được công bố, nhóm giải pháp này đảm bảo sự linh hoạt. Đóng góp mới này được thể hiện trong 2 bài báo số (1) và (2) trong danh mục các công trình công bố của luận án.

Thứ hai, *đề xuất mô hình, quy tắc hoạt động hệ thống giám sát và cảnh báo trượt lở đất trên phạm vi mặt dốc để dự báo và cảnh báo thời gian thực*. Trong đó kết hợp mạng cảm biến không dây để thu thập, truyền thông tin và mô hình số đánh giá trượt lở đất để dự báo và cảnh báo thời gian thực. Mô hình số mặt dốc cho phép phân tích thấm của nước mưa vào thân dốc và ảnh hưởng của mưa đến phân bố áp suất nước lỗ rỗng trong đất, kết quả này là đầu vào của mô hình phân tích ổn định mặt dốc dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn, sử dụng phần mềm GeoStudio. Kết hợp với thông tin dự báo thời tiết, chuyên gia có thể xây dựng các kịch bản dự báo trượt lở đất. Hệ thống phân chia mức độ cảnh báo thành 3 mức. Các ngưỡng cảnh báo được xây dựng dựa trên thống kê lịch sử trượt lở đất, thông tin về lượng mưa, lịch sử mưa, biến dạng mặt dốc và kết quả phân tích hệ số an toàn mặt dốc FoS. Các kịch bản mưa khác nhau có thể được sử dụng

để đưa ra dự báo trượt lở. Đóng góp mới này được thể hiện trong 2 bài báo số (3) và (4) trong danh mục các công trình công bố của luận án.

### **Hướng nghiên cứu tiếp**

Hệ thống được triển khai trên cơ sở ứng dụng chuẩn Zigbee, là chuẩn có ưu điểm công suất tiêu thụ thấp nhưng bị hạn chế bởi khoảng cách truyền. Đối với các sườn dốc quy mô lớn, việc áp dụng các chuẩn truyền thông có khoảng cách truyền xa hơn là điều cần thiết. Do đó, trong nghiên cứu tiếp theo cần tiếp tục phát triển để hệ thống có khả năng ứng dụng trong nhiều điều kiện thực địa hơn.

Tích hợp các mô hình trí tuệ nhân tạo để hệ thống có khả năng xử lý thông tin, xác định ngưỡng cảnh báo, giảm sự can thiệp của chuyên gia sẽ góp phần làm cho hệ thống được ứng dụng rộng rãi hơn trong điều kiện số lượng các mặt dốc có nguy cơ trượt lở đất rất lớn.

Thực tế, các vụ trượt lở đất liên tiếp xảy ra trong năm 2020 tại miền trung Việt Nam cho thấy, các địa phương không có hoặc số lượng rất ít hệ thống giám sát và cảnh báo sớm ở quy mô khối trượt. Dự báo chỉ có ở quy mô tỉnh hoặc vùng dựa trên bản đồ phân vùng cảnh báo nguy cơ trượt lở đất và thông tin mưa. Một trong những nguyên nhân chính là do việc triển khai các hệ thống giám sát và cảnh báo có kinh phí lớn trong khi số lượng điểm trượt có nguy cơ trượt lở đất rất lớn. Do đó, các nhà nghiên cứu cần tiếp tục tìm các giải pháp khả thi để xây dựng hệ thống cảnh báo trượt lở đất có giá thành thấp, dễ dàng triển khai và vận hành.

## DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH CÔNG BỐ

### Các công trình công bố của luận án:

- [1]. **Gian Quoc Anh**, Tran Duc Tan, Nguyen Dinh Chinh, Bui Tien Dieu. "*Flexible Configuration of Wireless Sensor Network for Monitoring of Rainfall-Induced Landslide.*" Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science (IJEECS), Vol. 12, No. 3, December 2018, pp. 1030~1036. [SCOPUS, Q3]
- [2]. **Gian Quoc Anh**, Nguyen Dinh Chinh, Tran Duc Nghia, Tran Duc Tan, Nguyen Thi Kieu, Kumbesan Sandrasegaran. "*Wireless Technology for Monitoring Site-specific Landslide in Vietnam*" International Journal of Electrical and Computer Engineering Vol. 8, no. 6 (2018): 4448-4455. [SCOPUS, Q2]
- [3]. **Gian Quoc Anh**, Tran Duc-Tan, Nguyen Dinh Chinh, Nhu Viet Ha, Bui Tien Dieu. "*Design and Implementation of Site-Specific Rainfall-Induced Landslide Early Warning and Monitoring System: a Case Study at Nam Dan Landslide (Vietnam).*" Geomatics, Natural Hazards and Risk, vol. 8, no. 2 (November 21, 2017): pp. 1978–1996. doi:10.1080/19475705.2017.1401561. [SCIE, Q1, IF2019 = 3.93]
- [4]. **Gian Quoc-Anh**, Nguyen Dinh-Chinh, Tran Duc-Nghia, Tran Duc-Tan. "*Monitoring of Landslides in Mountainous Regions Based on Fem Modelling and Rain Gauge Measurements.*" International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE) 6, no. 5 (2016): 2106-2113. [SCOPUS, Q2]

### Công trình công bố khác có liên quan:

- [1]. Nguyễn Đình Chinh, **Giản Quốc Anh**, Nguyễn Tuấn Linh, Nguyễn Tuấn Anh and Trần Đức Tân. "*Nghiên Cứu Phát Triển Thiết Bị Đo Mưa Hỗ Trợ Cảnh Báo Trượt Lở Đất.*" Tạp chí Nghiên cứu khoa học và Công nghệ Quân sự (Journal of Military Science and Technology) 43, no. 1 (2016): 94-101.