

## TỔNG QUAN VỀ CÁC CÔNG NGHỆ ÁP DỤNG TRONG QUẢN LÝ LỬA RỪNG HIỆN NAY

Lê Thái Sơn<sup>1</sup>, Nguyễn Xuân Linh<sup>2</sup>, Nguyễn Tuấn Anh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Lâm nghiệp

<sup>2</sup>Trường Đại học Phòng cháy Chữa Cháy

<https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.2022.2.063-072>

### TÓM TẮT

Cháy rừng thường gây ra các mối đe dọa đáng kể đối với tính mạng con người, tài sản, môi trường, tài nguyên rừng và cả đa dạng sinh học. Điều đó tạo ra những thách thức cho các nhà quản lý lửa rừng, phòng cháy chữa cháy rừng (PCCCR). Hàng năm, hàng nghìn vụ cháy rừng trên toàn cầu đã gây ra những thảm họa không thể đo lường và mô tả được. Do vậy, việc nâng cao hiệu quả công tác quản lý lửa rừng đã được quan tâm nghiên cứu trong nhiều năm; có một lượng lớn các giải pháp được nghiên cứu rất kỹ để thử nghiệm hoặc thậm chí sẵn sàng sử dụng để giải quyết vấn đề này. Bài báo tóm tắt các công nghệ đã và đang được áp dụng trên toàn cầu trong công tác quản lý lửa rừng như phát hiện sớm cháy rừng, cảnh báo cháy rừng, ứng dụng công nghệ không gian địa lý trong giám sát cháy rừng... Bài báo cung cấp thông tin tổng hợp để các nhà khoa học, các nhà quản lý về lửa rừng có thể tham khảo và lựa chọn công nghệ phù hợp với điều kiện thực tế của từng địa phương.

**Từ khóa:** Quản lý lửa rừng, công nghệ, phát hiện sớm cháy rừng, cháy rừng, bảo vệ tài nguyên rừng.

### I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Rừng luôn được ví như lá phổi của hệ sinh thái, là “chất” ổn định tự nhiên duy nhất để duy trì các nguyên tắc cơ bản của sự sống, chẳng hạn như giữ Oxy và carbon dioxide, ở trạng thái cân bằng. Chiếm hơn 4 tỷ ha đất, hệ thống rừng điều tiết lượng mưa và nước ngầm, chống xói mòn và suy thoái đất đồng thời cung cấp môi trường sống cho gần 2/3 số loài sống trên Trái đất (FAO, 2011). Tuy rừng là một hệ sinh thái quan trọng nhưng đang bị đe dọa nghiêm trọng. Do hiện tượng ấm lên toàn cầu, nhiệt độ tăng và lượng mưa giảm dẫn đến lượng vật liệu khô nhiều hơn, làm tăng nguy cơ xảy ra hỏa hoạn tự nhiên. Hơn nữa, còn có những đám cháy từ con người gây ra do bất cẩn hoặc vì lợi ích cá nhân, luôn đe dọa các khu rừng; ngay cả một đám cháy nhỏ cũng có thể biến thành một vụ cháy rừng thảm khốc ở một khu vực giàu vật liệu khô (FAO, 2011). Cháy rừng gây thiệt hại lớn về môi trường, tài sản, sức khỏe con người và các loài sinh vật. Sáu triệu km<sup>2</sup> diện tích rừng đã bị mất trên khắp thế giới trong vòng chưa đầy 200 năm chủ yếu do cháy rừng (Dimopoulou và cộng sự, 2004).

Vấn đề khó khăn của cháy rừng là các khu rừng thường là những khu vực hẻo lánh, bị bỏ hoang vì không có người quản lý, có nhiều cây cối, gỗ khô, thảm mục khô, lá cây khô, v.v. đóng vai trò là nguồn nhiên liệu cho sự cháy. Các yếu

tố này tạo thành vật liệu dễ bắt lửa, là điều kiện hoàn hảo để bắt lửa ban đầu và phát triển mạnh thành đám cháy lớn. Bắt lửa có thể được gây ra do hành động của con người như hút thuốc hoặc tổ chức tiệc ngoài trời hoặc do các lý do tự nhiên như tia sét hoặc nhiệt độ cao trong ngày hè nắng nóng hoặc những mảnh vỡ của kính như một thấu kính tập trung ánh sáng mặt trời vào một điểm nhỏ trong một khoảng thời gian dài dẫn đến cháy. Khi bắt đầu đánh lửa, vật liệu dễ cháy có thể dễ dàng bắt lửa và cung cấp nhiệt cho điểm trung tâm đám cháy, sau đó đám cháy càng trở nên mạnh mẽ hơn và lan rộng hơn. Giai đoạn bắt lửa ban đầu thường được gọi là giai đoạn “cháy bề mặt”. Sau đó, điều này có thể dẫn đến việc cháy lan các cây liền kề và ngọn lửa ngày càng lên cao hơn. Hầu hết, ở giai đoạn này, đám cháy trở nên không thể kiểm soát được và thiệt hại về cảnh quan có thể trở nên quá mức và có thể tồn tại trong một thời gian rất dài tùy thuộc vào điều kiện thời tiết hiện tại và địa hình.

Hàng triệu ha rừng bị tàn phá bởi cháy rừng mỗi năm. Các khu vực bị tàn phá bởi những đám cháy này rất lớn và tạo ra nhiều khí carbon monoxide hơn so với giao thông ô tô nói chung. Giám sát các khu vực tiềm ẩn nguy cơ và phát hiện sớm đám cháy có thể rút ngắn đáng kể thời gian phản ứng và cũng giảm thiệt hại tiềm ẩn cũng như chi phí chữa cháy. Mục tiêu là phát hiện đám cháy càng nhanh càng tốt và việc xác

định vị trí chính xác và thông báo sớm cho các đơn vị chức năng có liên quan đến quản lý lửa rừng, Phòng cháy chữa cháy rừng - PCCCRR là rất quan trọng. Đây là vấn đề đang được nghiên cứu và phát triển, hay có thể hiểu rằng bằng cách phát hiện đám cháy rừng ở giai đoạn rất sớm, để tăng cường hoặc đảm bảo cơ hội dập tắt trước khi cháy rừng vượt quá tầm kiểm soát hoặc gây ra bất kỳ thiệt hại đáng kể nào.

Có một số hệ thống phát hiện và giám sát được sử dụng bởi các cơ quan chức năng. Chúng bao gồm các quan sát viên dưới dạng tuần tra hoặc tháp giám sát, giám sát trên không, vệ tinh và các hệ thống phát hiện và giám sát dựa trên cảm biến camera quang học, và các loại cảm biến phát hiện khác nhau hoặc sự kết hợp của chúng.

Phần dưới đây trình bày tổng quan về các hệ thống giám sát và phát hiện tự động, bán tự động về phòng cháy chữa cháy rừng trên thế giới, kinh nghiệm vận hành thực tế của các hệ thống này và đánh giá về hiệu quả, độ chính xác, tính linh hoạt và các thuộc tính chính khác.

## **II. CÁC KỸ THUẬT PHÁT HIỆN VÀ NGĂN CHẶN HỎA HOẠN**

### **2.1. Tổng quan các kỹ thuật phát hiện và ngăn chặn cháy rừng**

Các kỹ thuật phát hiện và dập tắt đám cháy được sử dụng thường xuyên nhất bởi các cơ quan có chức năng quản lý lửa rừng có thể được liệt kê như sau, chẳng hạn như Đốt có kiểm soát; Dự báo thời tiết, ước tính nhiên liệu và độ ẩm, đưa ra dự báo về nguy cơ cháy rừng; Sử dụng tháp canh; Sử dụng sensor hoặc camera để phát hiện khói quang học; Phát hiện tọa độ vị trí sét đánh; Hồng ngoại; Máy bay; Bể chứa nước; Đường dây nóng để tiếp nhận các cuộc gọi điện thoại báo về các đám cháy; Giáo dục.

Ngoài ra, hệ thống phát hiện và giám sát cháy rừng có thể được chia thành hai nhóm cơ bản sau:

1 - Bản tin cảnh báo về nguy cơ cháy rừng, sử dụng máy bay và nhân viên tuần tra ghi nhận hiện trường,

2 - Hệ thống phát hiện sớm cháy rừng: tháp canh, tháp cứu hỏa, tuần tra, thiết bị dò sét điện tử và hệ thống phát hiện tự động.

Bên cạnh đó, một số kỹ thuật được sử dụng

trong việc ngăn chặn bắt lửa bao gồm đốt cháy trước các khu vực khô ráo dưới sự quản lý của lính cứu hỏa gọi là “đốt có kiểm soát” hoặc sử dụng máy bay chở nước để dập tắt các đám cháy như ở Canada, Mỹ, Úc.

Cháy rừng nằm trong chương trình nghị sự chính trị của tất cả các châu lục. Mặc dù đã có rất nhiều phương pháp và kỹ thuật PCCCRR, tuy nhiên luôn có các cuộc tranh luận về các phương pháp liên quan đến vấn đề này như việc ngăn ngừa thông qua giảm lượng nhiên liệu hay vật liệu cháy (VLC) trong rừng, đốt trước có kiểm soát và ngăn chặn bằng cách dập lửa ngay lập tức một cách hiệu quả khi chúng vừa mới xảy ra. Cùng với biến đổi khí hậu, các nguồn lực phục vụ công tác quản lý lửa rừng ngày càng giảm, chủ yếu là do cắt giảm ngân sách và tổ chức lại các bộ phận, điều này làm cho VLC có cơ hội tiếp tục tăng và tạo cơ sở cho các vụ hỏa hoạn thảm khốc xảy ra.

### **2.2. Sử dụng cảm biến kết nối mạng không dây**

Theo Schroeder (2004), trong bài báo “Thử nghiệm vận hành hệ thống phát hiện khói lửa cháy rừng,” lập luận rằng các truyền dữ liệu bằng vi ba không đất và không cần giấy phép. Tuy nhiên, các hệ thống này đòi hỏi một hệ thống máy phát và máy thu cứ sau mỗi 50 km. Do vậy, Schroeder gợi ý rằng kết nối vệ tinh có thể hiệu quả hơn và rẻ hơn (Schroeder và cộng sự 2004). Tuy nhiên, kết nối vệ tinh lại có nhược điểm là do phải tuân thủ theo các thỏa thuận quốc gia và quốc tế nên sẽ bị hạn chế rất nhiều trong quá trình truyền tải thông tin. Để khắc phục các vấn đề trên, một hệ thống cảm biến phát hiện sớm cháy rừng được tích hợp vào mạng không dây. Công nghệ mới được gọi là cảm biến mạng không dây (WSN) đang được chú ý nhiều hơn và bắt đầu được ứng dụng trong việc phát hiện cháy rừng. Cảm biến là thiết bị có khả năng nhận biết, ghi nhận các điều kiện môi trường, tính toán dữ liệu và gửi các thông tin. Các cảm biến chủ yếu ghi nhận các thông số vật lý như nhiệt độ, áp suất và độ ẩm, cũng như các thông số hóa học như carbon monoxide, carbon dioxide và nitrogen dioxide. Các cảm biến hoạt động trong môi trường mạng không

dây tự phục hồi và tự tổ chức. Một loại công nghệ không dây là ZigBee, là một chuẩn truyền tin mới dựa trên IEEE 802.15.4. Công nghệ này tập trung vào ứng dụng chạy bằng các tấm pin mặt trời nhỏ và phù hợp với dữ liệu thấp (Small Data) và truyền tin trong phạm vi nhỏ. Cũng phải nói rằng mạng không dây WSN đã được phát triển từ lâu, tuy nhiên ứng dụng nó vào phát hiện và phòng chống cháy rừng thì bắt đầu mới được quan tâm và nghiên cứu.

Một nghiên cứu kết hợp web và cảm biến mạng không dây đã được công bố bởi Hartung và cộng sự (Hartung và cộng sự, 2006). Nhóm nghiên cứu đã giới thiệu hệ thống có tên là FireWxNet, là một hệ thống không dây nhiều tầng theo dõi và phát hiện các đám cháy rừng ở những nơi hiểm trở. Hệ thống này chủ yếu quan sát hành vi của đám cháy bằng cảm biến, kết hợp với camera web để cung cấp hình ảnh của đám cháy thông qua hệ thống website và trang bị cả GPS để cung cấp thông tin vị trí và quãng đường đi thuận lợi nhất cho lính cứu hỏa triển khai đội hình và phương án chữa cháy. Ưu điểm của hệ thống là giúp đưa ra các kế hoạch, phương án để triển khai dập lửa, PCCCR nhằm tiết kiệm thời gian và tài chính. Hạn chế của hệ thống này là hệ thống không có chức năng cảnh báo sớm và phát hiện sớm cháy rừng.

Một mạng lưới gồm 10 cảm biến vi mô có tên là Crossbow Mica hoạt động trên hệ điều hành TinyOS viết bằng mã nguồn mở nesC đã được thử nghiệm bởi Doolin và cộng sự (Doolin và cộng sự, 2005). Các cảm biến có gắn GPS được phân bố trên diện tích rừng khoảng 4,05 ha để thu thập nhiệt độ, độ ẩm và áp suất khu vực. Sau đó dữ liệu được gửi về hệ thống xử lý trung tâm kết nối với cơ sở dữ liệu MySQL và các thiết bị di động của nhân viên kiểm lâm để thu nhận các cảnh báo. Từ kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống đưa ra các cảnh báo tương đối đáng tin cậy, tuy nhiên nhược điểm của hệ thống là khoảng cách giữa các cảm biến tương đối xa (khoảng 1 km), nên khi một số cảm biến bị hỏng thì sẽ mất dữ liệu trên một vùng tương đối rộng, ngoài ra việc gắn GPS vào cảm biến sẽ làm tăng giá thành và tăng điện năng tiêu thụ.

Một hệ thống kết hợp cảm biến nhiệt, camera IP và mạng không dây đã được đề xuất và triển khai thử nghiệm tại Tây Ban Nha (Lloret và cộng sự, 2009). Cơ chế hoạt động của hệ thống như sau, khi các cảm biến phát hiện đám cháy sẽ gửi tín hiệu báo động đến hệ thống xử lý trung tâm. Sau đó, hệ thống xử lý trung tâm sẽ gửi câu lệnh để kích hoạt camera gần vị trí đám cháy chụp ảnh thực tế của đám cháy nhằm tránh báo động giả. Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động hiệu quả, tuy nhiên vấn đề cần khắc phục của hệ thống này là việc truyền dẫn hình ảnh có dung lượng tương đối nặng đòi hỏi băng thông rộng hơn so với khả năng của mạng không dây do liên quan đến tài nguyên hạn chế về nguồn điện cung cấp, bộ nhớ lưu trữ và bộ nhớ đệm của chúng; ngoài ra các camera IP chỉ có thể cung cấp hình ảnh thẳng do đó dễ bị che khuất tầm ngắm và không hiệu quả trong trời tối hay trong điều kiện có sương mù và mưa.

Zhu và cộng sự (2012) đã tạo ra một hệ thống giám sát cháy rừng dựa trên cảm biến mạng không dây và mạng GPRS - General Packet Radio Service. Họ dựa vào hệ thống phân cụm cảm biến để ghi nhận dữ liệu và theo dõi thời gian thực về khói, nhiệt độ, độ ẩm và một số thông số môi trường khác. Dữ liệu thu thập được từ các cảm biến sẽ được truyền đến bộ xử lý trung tâm và sau đó bộ xử lý trung tâm sẽ đưa ra các báo cáo, đồ thị và các gợi ý để giúp lực lượng quản lý lửa rừng đưa ra quyết định phù hợp. Ngoài ra, tại Tây Ban Nha, các nhà quản lý lửa rừng đã ứng dụng thử nghiệm thiết bị phát hiện cháy rừng có tên gọi là Waspote có tích hợp GPS để khoanh vùng cảnh báo cháy dựa vào cảm biến ghi nhận nhiệt độ, độ ẩm, nồng độ khí carbon monoxide (CO) và carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) để phát hiện đám cháy (Solobera, 2010).

Một thử nghiệm cũng khá hay về ứng dụng công nghệ trong quản lý lửa rừng đó là nghiên cứu thử nghiệm của Hongye và cộng sự (Yang và cộng sự, 2009). Họ đã thử nghiệm hệ thống gồm ba thành phần là hệ thống giám sát cháy rừng, hệ thống cơ sở dữ liệu cháy rừng và hệ thống hỗ trợ ra quyết định trong quản lý và PCCCR. Hệ thống này mô phỏng đám cháy

trong bản đồ 2D kết hợp với hình ảnh đám cháy thực tế tại hiện trường để xây dựng bản đồ 3D mô phỏng hành vi và quy mô đám cháy sử dụng Geodatabase và ArcSDE. Hệ thống này hiện nay cũng chỉ nằm ở nghiên cứu thử nghiệm vì sự phức tạp của nó khi triển khai thực tế.

Để bảo vệ có khu vực di sản, văn hóa và khảo cổ sát khỏi các điều kiện thời tiết khắc nghiệt và nguy cơ xảy ra các đám cháy, Liên minh Châu Âu đã triển khai dự án nghiên cứu thử nghiệm đó là hệ thống FIRESENSE. FIRESENSE là một hệ thống rất phức tạp; nó bao gồm các camera đa cảm biến như quang học, cảm biến hồng ngoại IR và PTZ ngoài ra còn có cảm biến nhiệt độ và các trạm thời tiết (Kose và cộng sự, 2010). Trong hệ thống này, mỗi bộ cảm biến thu thập dữ liệu và áp dụng một số kỹ thuật xử lý cũng như các mô hình và thuật toán tổng hợp dữ liệu khác nhau để cung cấp sự hiểu biết rõ ràng về sự kiện cho chính quyền địa phương. Hệ thống này được xem là sự kết hợp của rất nhiều nghiên cứu thử nghiệm đã xem xét ở phần trên chẳng hạn ngọn lửa sẽ được phát hiện thông qua các cảm biến nhiệt độ, ngoài ra còn dựa vào đường phát xạ hấp thụ và phân tích các chất như nước, carbon monoxide (CO) và carbon dioxide (CO<sub>2</sub>). Sự phản xạ của ánh sáng mặt trời, các đám mây (bóng mây) cũng được ghi nhận để đưa ra các cảnh báo sớm nguy cơ cháy. Riêng camera quang học sẽ ghi nhận hình ảnh các hình ảnh tiếp theo của cùng một cảnh bằng hệ thống xử lý hình ảnh. Nếu tìm thấy sự khác biệt giữa hai hình ảnh ở một ngưỡng nhất định thì cảnh báo sẽ được tạo ra.

Có thể thấy rằng, công nghệ cảm biến mạng không dây thường triển khai một số lượng lớn các cảm biến nhỏ, chi phí thấp với mật độ khá dày, có thể quan sát và ghi nhận vật chất xung quanh chúng bằng cách thu thập thông tin về vật lý, hóa học, chuyển nó thành tín hiệu điện, gửi nó đến một vị trí từ xa để thực hiện một số phân tích và đưa ra các cảnh báo thông qua các ứng dụng khác nhau. Để nâng cao chất lượng và độ tin cậy của các cảnh báo, các cảm biến mạng không dây thường được tích hợp với GPS, các camera IP, ảnh vệ tinh, trạm thời tiết, độ ẩm VLC...

### **2.3. Sử dụng hệ thống cảm biến quang học và máy ảnh kỹ thuật số**

Ngày nay, hai loại mạng cảm biến khác nhau có sẵn để phát hiện cháy là giám sát camera và mạng cảm biến không dây. Sự phát triển của cảm biến, máy ảnh kỹ thuật số, xử lý hình ảnh và máy tính cấu hình cao dẫn đến sự phát triển của một hệ thống quang học, tự động nhận dạng và cảnh báo sớm về cháy rừng.

Các loại cảm biến với khả năng khác nhau có thể được sử dụng trong các hệ thống phát hiện cháy rừng như máy quay video, nhạy cảm với quang phổ khối có thể nhìn thấy được vào ban ngày và đám cháy có thể nhận biết được vào ban đêm; Camera ảnh nhiệt dựa trên việc phát hiện luồng nhiệt của ngọn lửa (Hồng ngoại – IR); Máy đo phổ hồng ngoại để xác định các đặc điểm quang phổ của khói; Hệ thống phát hiện và dải phổ ánh sáng — LIDAR (phát hiện ánh sáng và dải phổ) đo các tia laze phản xạ từ các hạt khói (EUFOFINET Project).

Các hệ thống quang học hoạt động theo các thuật toán khác nhau do nhà sản xuất thiết kế, nhưng tất cả đều có chung một phương pháp là phát hiện khói và ánh sáng của lửa. Một cách dễ hiểu hơn hệ thống quang học như là một máy ảnh và sản phẩm là tạo ra hình ảnh. Hình ảnh bao gồm một số pixel, trong đó hệ thống xử lý theo dõi chuyển động trong hình ảnh và kiểm tra xem có bao nhiêu pixel chứa ánh sáng khói hoặc lửa và sau đó hệ thống xử lý gửi kết quả cho một thuật toán khác để quyết định có tạo ra cảnh báo cho nhà điều hành hay không. Hầu hết các hệ thống quang học cần được tích hợp với bản đồ địa lý.

AlarmEYE là hệ thống hình ảnh & video phát hiện sớm cháy rừng được tích hợp khả năng phát hiện hồng ngoại, đen trắng và tần số màu, do vậy hệ thống có thể hoạt động trong điều kiện ban ngày và cả ban đêm. Tùy chọn hồng ngoại của hệ thống này có thể phân biệt giữa hình ảnh ngọn lửa và hơi nhiệt. Hệ thống này được sản xuất và triển khai ở Thái Lan (Inno Sys Industries Inc, 2013).

Hệ thống EYEfi SPARC, cảm biến quang học do EYEfi, Úc sản xuất, để phát hiện cháy

rừng là hệ thống bao gồm: Máy ảnh (màu vào ban ngày và thang độ ánh sáng cực thấp vào ban đêm), Trạm thời tiết, Cảm biến phát hiện ánh sáng nhiệt, Bộ truyền tín hiệu (có băng thông 0,25 Mbps), Hệ thống điện. Trạm thời tiết và cảm biến phát hiện ánh sáng nhiệt được trang bị thêm nhằm tăng độ chính xác. Về cơ chế hoạt động, EYEfi có thể cung cấp tự động hoặc bán tự động hình ảnh nhiệt cho cơ quan quản lý lửa rừng bất cứ khi nào người điều hành nhận thấy có khói và có thể sử dụng phần mềm EYEfi để yêu cầu gửi hình ảnh và sử dụng bản đồ GIS để xác định vị trí lửa. Hạn chế của hệ thống này là việc EYEfi không cung cấp tính năng phát hiện khói tự động nhưng hãng sản xuất có kế hoạch tích hợp phần này trong tương lai gần (Mathews và cộng sự, 2010).

Hệ thống UraFire dựa trên việc xác định khói bằng cách phân cụm chuyển động với đầu vào thời gian để lọc bỏ những ghi nhận nhầm lẫn nhằm giảm số lượng cảnh báo sai và được sử dụng và sản xuất tại Pháp (Uratek, 2013; Guillemant và cộng sự, 2011).

Forest Fire Finder: Hệ thống quang học này có các kỹ thuật hoàn toàn khác và là một hệ thống dựa trên phân tích thông minh từ các điều kiện của bầu khí quyển thay vì phát hiện khói hoặc ánh sáng lửa. Forest Fire Finder theo dõi cách bầu khí quyển hấp thụ ánh sáng mặt trời, điều này phụ thuộc vào thành phần hóa học trong khí quyển. Các thành phần khác nhau có khả năng hấp thụ khác nhau, vì vậy Forest Fire Finder có thể phát hiện và phân biệt khói hữu cơ từ cây bị cháy và khói công nghiệp trong phạm vi 15 km (NGNS, 2013).

ForestWatch là một hệ thống cảm biến camera quang học cung cấp khả năng phát hiện cháy bán tự động do EnviroVision Solutions, Nam Phi sản xuất. Một camera đặt trên tháp quét khu vực để tìm khói vào ban ngày và ngọn lửa phát sáng vào ban đêm. Nó có thể phát hiện khói trong phạm vi từ 16 km đến 20 km và sau đó gửi báo cáo qua kết nối 3G hoặc vi ba 0,25 Mbps (Mathews và cộng sự, 2010). Forestwatch bao gồm Một máy ảnh nghiêng xoay cho phép quay 360° và độ nghiêng +33 đến -83, với zoom

quang học 24x, Công cụ lưu hình ảnh, Hệ thống thông tin liên lạc, chẳng hạn như 3G, vi ba hoặc vệ tinh, Phần mềm ForestWatch để xử lý dữ liệu nhận được và đưa ra đánh giá đầy đủ để người điều hành đưa ra quyết định cuối cùng (Hough, 2007). ForestWatch đã được thực hiện các thử nghiệm để đánh giá tại Canada, kết quả thử nghiệm cho thấy đám cháy được phát hiện một cách đáng tin cậy trong phạm vi lên đến 20 km tuy nhiên có khi cũng tạo ra báo động giả. Hệ thống Giám sát Rừng này đang được sử dụng ở Nam Phi (83 tháp), Swaziland (5 tháp), Mỹ (22 tháp), Canada (4 tháp), Chile (20 tháp) và Slovakia (4 tháp). Ngoài ra, một hoạt động với quy mô thử nghiệm (2 tháp) cũng đã được lắp đặt ở Hy Lạp.

Ngoài ra, hệ thống mắt điều hâu phát hiện lửa - FireHawk là hệ thống quản lý rủi ro cung cấp vị trí cháy bao gồm ba lớp sau: Lớp hình ảnh đại diện cho việc lắp đặt camera ở những nơi thích hợp, Các lớp truyền dẫn thiết lập liên kết không dây (mạng không dây), Lớp xử lý thông tin được coi như là “Bộ não” của hệ thống mà FireHawk sử dụng phần mềm ForestWatch và GIS để cung cấp vị trí và đường đi ngắn nhất đến đám cháy. Hiện tại, Firehawk được lắp đặt tại hai khu vực ở Nam Phi (EUFOFINET Project; ALASIA Marketing, 2013).

Thêm một công nghệ nữa có tên FireWatch là hệ thống phát hiện khói tự động có thể xác định khói trong phạm vi 10–40 km. Nó đã được nghiên cứu trong nhiều năm (từ năm 1992) ở Đức, và hiện nay nó được sản xuất bởi Viện Hàng không Vũ trụ Đức (DLR). Các hệ thống FireWatch đang được sử dụng ở Đức (178 tháp, 22 phòng điều khiển), Estonia (5 tháp, 1 phòng điều khiển), Síp (2 tháp, 1 phòng điều khiển) và Mexico (1 tháp, 1 phòng điều khiển). Hệ thống quy mô thí điểm (1 hoặc 2 tháp) đang được sử dụng ở Cộng hòa Séc, Bồ Đào Nha, Tây Ban Nha, Ý, Hy Lạp và Hoa Kỳ (EUFOFINET Project). Hệ thống FireWatch bao gồm các hợp phần như sau: Tập hợp các cảm biến quang học (OSS), mỗi OSS quay 360° sau mỗi 4 đến 6 phút vào ban ngày và 8–12 phút vào ban đêm theo bước 10 độ; Truyền dữ liệu: Bộ phận xử lý dữ

liệu tại tháp có kết nối không dây với máy tính đặt tại văn phòng trung tâm; Văn phòng trung tâm: cán bộ quản lý lửa rừng và lâm nghiệp được cung cấp không gian làm việc (máy tính, màn hình và máy in). (FireWatch, 2013)

Trong các hệ thống đã giới thiệu thì hai hệ thống được coi là phù hợp cho việc cảnh báo cháy rừng, phát hiện sớm cháy rừng là FireWatch và ForestWatch. Cả hai hệ thống đều có sự phát triển lâu dài và vẫn đang được cải thiện; cả hai đều đã được thử nghiệm và sử dụng thương mại ở nhiều nước trên thế giới. Tuy nhiên, khi ứng dụng hệ thống cảm biến quang học và máy ảnh kỹ thuật số vào quản lý lửa rừng cũng bị hạn chế bởi nhiều yếu tố như cần phải lắp đặt rất nhiều tháp để đặt hệ thống cảnh báo, đặt biệt ở những vùng rừng núi xa xôi hẻo lánh nên làm tăng chi phí đầu tư và vận hành, ngoài ra khả năng ghi nhận hình ảnh từ nhiệt và khói của cảm biến quang học và máy ảnh kỹ thuật số cũng sẽ bị ảnh hưởng bởi chuyển động hàng ngày của mặt trời, chuyển động của mây, sự biến đổi của sự tắt dần ánh sáng mặt trời trong khí quyển, sự che khuất của các loại cây to, Thảm thực vật,...

#### **2.4. Sử dụng ảnh vệ tinh kết hợp với công nghệ không gian địa lý**

Từ những thập niên 1990s, con người đã bắt đầu sử dụng các vệ tinh và thậm chí cả các thiết bị trên không khác như khinh khí cầu, máy bay để quan sát và phát hiện các đám cháy rừng. Các hình ảnh vệ tinh được thu thập bởi hai vệ tinh chính được phóng cho mục đích phát hiện cháy rừng, máy đo bức xạ có độ phân giải cao (AVHRR) (NOAA, 2012), phóng vào năm 1998 và máy quang phổ hình ảnh có độ phân giải vừa phải (MODIS), phóng vào năm 1999, đã được sử dụng (NASA, 1999; Nakau và cộng sự, 2006). Tuy nhiên, những vệ tinh này chỉ có thể cung cấp hình ảnh lặp lại của các vùng trên trái đất mỗi hai ngày một lần và đó là một thời gian tương đối dài đối cảnh báo lửa rừng; nên thường có độ trễ so với thực tế, ngoài ra chất lượng ảnh vệ tinh còn có thể bị ảnh hưởng bởi các điều kiện thời tiết, điều kiện mây hoặc độ nghiêng chiếu sáng của mặt trời (Aslan, 2010). Ngoài ra,

các vệ tinh thường có quỹ đạo hơn 22.800 dặm so với bề mặt trái đất. Do vậy, bức xạ quang học và tia hồng ngoại (nhiệt) do ngọn lửa phát ra trong giai đoạn đầu của đám cháy có thể có cường độ quá yếu để vệ tinh có thể phát hiện được, trước khi đám cháy bùng cháy và có cơ hội lây lan ra vùng rộng hơn. Cường độ giảm theo bình phương nghịch đảo của khoảng cách, ngoài ra còn ảnh hưởng bởi góc hướng của chùm bức xạ tới và pháp tuyến đối với gương bề mặt thu, máy ảnh, ăng ten và máy dò; do đó, vị trí và hướng của vệ tinh có thể không tối ưu cho việc phát hiện cháy rừng ở giai đoạn đầu.

Các vệ tinh thường được thiết kế để thực hiện nhiều chức năng đa dạng như viễn thông, viễn thám cho các đặc điểm rộng của bề mặt trái đất hoặc bầu khí quyển, v.v., do vậy chức năng phát hiện và giám sát cháy rừng chỉ là chức năng thứ yếu. Cho đến nay, vẫn chưa có vệ tinh nào thực hiện nhiệm vụ chuyên biệt cho quản lý lửa rừng do chi phí là rất lớn. Bên cạnh đó, hoạt động của một hệ thống vệ tinh thường có liên quan đến an ninh quốc gia nên thường bị ràng buộc bởi các quy định và thỏa thuận quốc gia và quốc tế và có thể không phù hợp với nhiệm vụ quan sát cháy rừng.

Để khắc phục những hạn chế của ảnh vệ tinh, các nhà khoa học đã tập trung nghiên cứu và phát triển công nghệ giúp phân tích các hình ảnh chụp từ vệ tinh được gọi là công nghệ không gian địa lý hay công nghệ địa không gian. Công nghệ không gian địa lý đã hỗ trợ rất nhiều trong quản lý lửa rừng chẳng hạn lập bản đồ rủi ro cháy rừng, bản đồ nhiên liệu - VLC, hệ thống phát hiện cháy, ước tính diện tích bị cháy, giám sát phục hồi thảm thực vật sau cháy,...

**Lập bản đồ rủi ro cháy rừng:** Công nghệ không gian địa lý được sử dụng chủ yếu để phân loại lớp phủ đất, cung cấp dữ liệu địa hình, đánh giá điều kiện thực vật và xác nhận các đánh giá rủi ro được đề xuất. Lớp phủ đất đóng một vai trò quan trọng trong việc đánh giá rủi ro của một khu vực nhất định vì nó liên quan đến đặc điểm các loại nhiên liệu, VLC (Keane và cộng sự, 2001). Điều này làm cho việc phân loại chính xác độ che phủ trở nên cần thiết để xác định các

khu vực có nguy cơ cháy cao. Do đó, các chỉ số về thảm thực vật như Chỉ số độ ẩm (NDMI - Normalized Difference Moisture Index) và Chỉ số thực vật (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index) thường được sử dụng để tính toán và xây dựng các bản đồ rủi ro (Chuvieco và cộng sự, 1989; Adab và cộng sự, 2013; Yu và cộng sự, 2017). Các chỉ số này được sử dụng để xác định các điều kiện thực vật dễ bị cháy hoặc dễ bị lan rộng và cũng giúp mô hình hóa khối lượng nhiên liệu, VLC. Trên thực tế, những vấn đề này thường thay đổi nhanh chóng theo không gian và thời gian, đòi hỏi phải cập nhật thường xuyên khi được sử dụng để lập bản đồ rủi ro cháy. Dữ liệu địa hình rất quan trọng vì độ dốc và độ cao đều có tác động đến nguy cơ gây cháy và/hoặc khả năng lan rộng (Pradhan và cộng sự, 2007). Dữ liệu về mức độ nghiêm trọng của cháy rừng và dữ liệu về đốt có kiểm soát để kiểm tra độ chính xác của các đánh giá rủi ro, với kỳ vọng rằng các sự kiện cháy sẽ thường xảy ra nhất ở các khu vực có nguy cơ cao (Chuvieco và cộng sự, 2003). Hiện nay có nhiều loại ảnh vệ tinh hỗ trợ cho việc lập bản đồ rủi ro chẳng hạn như ảnh vệ tinh có độ phân giải không gian thô (> 100 m) có khoảng thời gian quay lại thường xuyên hơn (hàng ngày), chẳng hạn như MODIS nên có thể sử dụng ảnh MODIS để lập bản đồ rủi ro hàng ngày nhưng độ phân giải lại không cao; trong khi đó ảnh vệ tinh Sentinel-2 có khoảng thời gian quay lại là vài ngày, điều này sẽ giúp cập nhật bản đồ rủi ro hàng tuần ở độ phân giải không gian cao hơn ảnh MODIS (10-20 m). Việc lựa chọn ảnh vệ tinh thích hợp để lập bản đồ rủi ro là rất quan trọng vì các yêu cầu về độ phân giải không gian và thời gian khác nhau đối với việc lập bản đồ trong dài hạn và ngắn hạn.

**Bản đồ nhiên liệu – VLC:** Nhiên liệu cháy hay vật liệu cháy thường trực tiếp dẫn đến nguy cơ cháy, quyết định cường độ cháy và mức độ nghiêm trọng của cháy rừng. Do đó, các nhà quản lý lửa rừng thường yêu cầu thông tin chính xác và toàn diện về sự phân bố theo không gian và đặc tính của VLC để xác định các khu vực có nguy cơ cháy cao và sẵn sàng thực hiện các biện

pháp để giảm thiểu rủi ro và ngăn chặn cháy rừng (Rollins và cộng sự, 2004). Đặc tính nhiên liệu có thể được xác định bằng cách sử dụng nhiều biến, nhưng biến để lập bản đồ và được sử dụng phổ biến nhất là mức nạp nhiên liệu (Fuel-loading). Nạp nhiên liệu được coi là khối lượng sinh khối khô trên một đơn vị diện tích (Keane và cộng sự, 2001). Chỉ số NDVI có thể được sử dụng để hỗ trợ việc phân loại trực tiếp các loại nhiên liệu. Wagtendonk và Root (Wagtendonk và cộng sự, 2003) đã kiểm tra khả năng phân loại các loại nhiên liệu của NDVI trong Vườn quốc gia Yosemite. Kết quả nghiên cứu thành lập bản đồ với 6 loại nhiên liệu, độ chính xác tổng thể đạt được là 62% và kết luận rằng việc lập bản đồ nhiên liệu dựa trên NDVI đã cung cấp đầy đủ phân loại ban đầu. Ngoài ra, nghiên cứu tính toán NDVI sử dụng hình ảnh từ vệ tinh ASTER của Lasaponara và Lonarte (Lasaponara và cộng sự, 2007) phân loại nhiên liệu vùng Calabria, miền nam nước Ý, chủ yếu bao gồm thông Calabrian lario (Pinus Nigra), cây sồi lá chum (Quercus pubescens), và cây bụi (Alnus glutinosa, Alnus cordata) đạt được độ chính xác tổng thể là 90,39%.

**Phát hiện cháy chủ động:** Phát hiện kịp thời và ngăn chặn cháy ngay từ giai đoạn ban đầu nhằm giảm thiểu rủi ro cháy rừng có thể được thực hiện bởi máy đo bức xạ có độ phân giải cao (AVHRR); Máy chụp ảnh nhiệt và máy chụp ảnh hồng ngoại tăng cường (MSG-SEVIRI); Vệ tinh môi trường địa tĩnh (GOES - Geostationary Operational Environmental Satellite); Bộ đo bức xạ hình ảnh hồng ngoại có thể nhìn thấy (VIIRS - Visible Infrared Imaging Radiometer Suite) và MODIS (Schroeder và cộng sự, 2007; Prins và cộng sự, 1998; Schroeder và cộng sự, 2008, Li và cộng sự, 2003). Trong hai thập kỷ qua, MODIS Terra và Aqua đã trở thành cảm biến chính để phát hiện chủ động nhờ độ phân giải thời gian cao.

**Ước tính diện tích bị cháy:** Công nghệ viễn thám cung cấp một phương tiện để ước tính và lập bản đồ diện tích bị cháy ở quy mô địa phương, khu vực và toàn cầu (Roy và cộng sự, 2005). Các phương pháp được sử dụng để ước

tính diện tích bị cháy khác nhau tùy thuộc vào quy mô và mục đích của việc đánh giá. Một phương pháp phổ biến để tính toán diện tích bị đốt cháy là tính toán diện tích dựa trên kích thước pixel (Giglio và cộng sự, 2006) theo công thức:

$$A(i, t) = aN_f(i, t)$$

Trong đó:

- A là diện tích vùng bị cháy;
- i là ô lưới, t là khoảng thời gian;
- $N_f$  là số pixel được phát hiện bị cháy;
- a là diện tích của pixel.

Roy và cộng sự đề xuất một phương pháp lập bản đồ khu vực bị cháy ở quy mô khu vực và toàn cầu bằng cách sử dụng cảm biến MODIS. Giglio và cộng sự (Giglio và cộng sự, 2009) đã tạo ra một thuật toán để lập bản đồ khu vực bị đốt cháy bằng cách sử dụng dữ liệu MODIS 1 km để xác định mối quan hệ giữa tỷ lệ đốt cháy (NBR - normalized burn ratio) và thời gian.

**Giám sát phục hồi thảm thực vật sau cháy:**

Mức độ nghiêm trọng của cháy rừng là một thước đo quan trọng để đánh giá tác động của cháy đối với cảnh quan, môi trường và đa dạng sinh học. Mức độ nghiêm trọng của việc đốt cháy có liên quan đến tỷ lệ chết của thực vật, thành phần dinh dưỡng của đất, và làm tăng tốc độ dòng chảy bề mặt do giảm khả năng giữ nước của đất (Benavides và cộng sự, 2001; Martin và cộng sự, 2001; Moody và cộng sự, 2001). Mức độ nghiêm trọng của cháy thường được đo tại hiện trường bằng cách sử dụng chỉ số cháy (CBI - Composite Burn Index). Do nhu cầu về một phương pháp tiếp cận có hệ thống để ước tính mức độ nghiêm trọng của cháy, CBI đã được tạo ra để cho phép thực hiện các ước tính trực quan bằng cách đánh giá mức độ thiệt hại do cháy gây ra, cũng như khả năng phục hồi thảm thực vật cho khu vực, trên thang điểm từ 0 đến 3 (Kasischke và cộng sự, 2008). Hạn chế của CBI là phụ thuộc vào thời gian và yêu cầu phải đến thăm thực tế các khu vực bị cháy để thực hiện các đánh giá. Ngoài ra, chúng ta có thể dựa vào ảnh vệ tinh để giám sát phục hồi thảm thực vật sau cháy qua hai chỉ số quang phổ NDVI và NBR (Escuin và cộng sự, 2008). Trong khi

NDVI vẫn được sử dụng trong nghiên cứu hiện tại về giám sát phục hồi thảm thực vật sau cháy, thì NBR chủ yếu được sử dụng để làm chỉ số tiêu chuẩn đánh giá mức độ nghiêm trọng của cháy.

**III. KẾT LUẬN**

Hiện nay, có rất nhiều phương pháp cũng như công nghệ được ứng dụng vào công tác quản lý lửa rừng, từ việc sử dụng con người trên các tháp quan sát cho đến hệ thống giám sát bằng camera và công nghệ hình ảnh vệ tinh cũng đã được thử nghiệm, tuy nhiên mỗi phương pháp đều có ưu và nhược điểm riêng. Chẳng hạn giám sát bằng camera phát hiện lửa và khói thật sự hoạt động hiệu quả khi đám cháy đã xảy ra, hoặc ảnh vệ tinh thì lại có độ trễ nhất định và rất khó phát hiện khi đám cháy còn nhỏ. Việc áp dụng các cảm biến để ghi nhận có dữ liệu về nhiệt độ, độ ẩm, áp suất, nồng độ của hơi nước, nồng độ khí CO và CO<sub>2</sub> để đưa ra các cảnh báo sớm tuy nhiên thường xảy ra sai số và cảnh báo giả. Sự phát triển của công nghệ không gian địa lý và viễn thám đã đóng góp rất nhiều trong việc nâng cao hiệu quả công tác quản lý lửa rừng, từ phương pháp cảnh báo sớm cháy rừng, đến việc hỗ trợ xác định nhanh chóng vị trí và triển khai kế hoạch dập lửa đến đánh giá thiệt hại do cháy gây ra và giám sát phục hồi thảm thực vật sau cháy. Tùy thuộc vào yêu cầu cụ thể và kinh phí mà chúng ta có thể lựa chọn các công nghệ khác nhau nhằm nâng cao hiệu quả trong công tác quản lý lửa rừng.

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. FAO, Food and Agriculture Organization of the Unites States, 2011. "Forestry" <<http://www.fao.org/forestry/en/>>, accessed 18.04.2011
2. Dimopoulou, Maria., and Giannikos. Ioannis., 2002. Towards an integrated framework for forest fire control, European Journal of Operational Research 152 (2004) 476-486
3. D. Schroeder, "Evaluation of Three Wildfire Smoke Detection Systems," FERIC5, 2004.
4. C. Hartung, R. Han, C. Seielstad, and S. Holbrook, June 2006. "FireWxNet: A multi-tiered portable wireless system for monitoring weather conditions in wildland fire environments," in Proceedings of the 4th International Conference on Mobile Systems, Applications and Services (MobiSys '06), pp. 28-41, ACM, Uppsala, Sweden.



5. D. Doolin and N. Sitar, 2005. *Wireless Sensors for Wild Fire Monitoring*, Smart Structure and Material, San Diego, Calif, USA.
6. J. Lloret, M. Garcia, D. Bri, and S. Sendra, 2009. "A wireless sensor network deployment for rural and forest fire detection and verification," *Sensors*, vol.9, no.11, pp. 8722–8747.
7. Y. Zhu, L. Xie, and T. Yuan, 2012. "Monitoring system for forest fire based on wireless sensor network," in *Proceedings of the 10<sup>th</sup> World Congress on Intelligent Control and Automation (WCICA '10)*.
8. J. Solobera, 2010. "Detecting Forest Fires using Wireless Sensor Networks with Waspote," *Libelium*.
9. H. Yang, Q. He, and Y. Liu, September 2009. "Research on forest fire in Inner Mongolia based on CA and GIS," in *Proceedings of the 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM '09)*.
10. K. Kose, F. Tsalakanidou, H. Besbes et al., 2010. "FireSense: fire detection and management through a multi-sensor network for protection of cultural heritage areas from the risk of fire and extreme weather conditions," in *Proceedings of the 7th Framework Programme for Research and Technological Development*.
11. EUFOFINET Project Detection Synthesis of Good Practices, National Forest Centre, Zvolen, Slovakia.
12. Inno Sys Industries Inc, "Forest Fire," 2013. <http://www.innosysind.com/product-detail/innosysind2/index.php?ProductSN=114436&PHPSESSID=62g6260o92g259q8n68rrndrp1&CompanySN=19641&ProductSiteClassifySN=23299>.
13. S. Mathews, P. Ellis, and J. H. Hurle, 2010. *Evaluation of Three Systems*, Bushfire Cooperative Research Centre, Australia.
14. Uratek, "Urafire is a software for fire forest early detection," 2013, <http://www.uratek.com/applications.php?5>.
15. P. Guillemant and J. Vicente, 2001. "Real-time identification of smoke images by clustering motions on a fractal curve with a temporal embedding method," *France*.
16. NGNS, "Forest Fire Finder," 2013, [http://www.ngns-is.com/eng/FFF\\_eng.html](http://www.ngns-is.com/eng/FFF_eng.html).
17. K. Hough, "Vision Systems for Wide Area Surveillance: ForestWatch—along range outdoor wildfire detection system," *Wildfire*, 2007.
18. ALASIA Marketing, "Fire Hawk ForestWatch," 2013, <http://www.firehawk.co.za/>.
19. FireWatch, "An Early Warning System for Forest Fires, successfully in the global use," 2013, <http://www.fire-watch.de/systemoverview>.
20. NOAA satellite and information service, "Advanced Very High Resolution Radiometer—AVHRR," 2012, <http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/avhrr.html>.
21. NASA, "MODIS, National Aeronautics and space administration," 1999, <http://modis.gsfc.nasa.gov/>.
22. K. Nakau, M. Fukuda, K. Kushida, H. Hayasaka, K. Kimura, and H. Tani, 2006. "Forest Fire Detection Based on MODIS Satellite Imagery, and Comparison of NOAA Satellite Imagery with Fire Fighters Information".
23. Y. Aslan, 2010. *A framework for the use of wireless sensor networks in the forest fire detection and monitoring* [M.S. thesis], Department of Computer Engineering, The Institute of Engineering and Science Bilkent University.
24. Keane, R.E.; Burgan, R.; van Wagtendonk, J. 2001. Mapping wildland fuels for fire management across multiple scales: Integrating remote sensing, GIS, and biophysical modeling. *Int. J. Wildland Fire* 10, 301.
25. Chuvieco, E.; Congalton, R.G, 1989. Application of remote sensing and geographic information systems to forest fire hazard mapping. *Remote Sens. Environ*, 29, 147–159.
26. Adab, H.; Kanniah, K.D.; Solaimani, K. Modeling forest fire risk in the northeast of Iran using remote sensing and GIS techniques. *Nat. Hazards* 2013, 65, 1723–1743.
27. Yu, B.; Chen, F.; Li, B.; Wang, L.; Wu, M, 2017. Fire Risk Prediction Using Remote Sensed Products: A Case of Cambodia. *Photogramm. Eng. Remote Sens*, 83, 19–25.
28. Pradhan, B.; Dini Hairi Bin Suliman, M.; Arshad Bin Awang, M. 2007. Forest fire susceptibility and risk mapping using remote sensing and geographical information systems (GIS). *Disaster Prev. Manag*, 16, 344–352.
29. Chuvieco, E. 2003. *Wildland Fire Danger: Estimation and Mapping: The Role of Remote Sensing Data*; World Scientific: Singapore; ISBN 978-981-238-569-7.
30. Rollins, M.G.; Keane, R.E.; Parsons, R.A, 2004. Mapping Fuels and Fire Regimes Using Remote Sensing, Ecosystem Simulation, And Gradient Modeling. *Ecol. Appl*, 14, 75–95.
31. Van Wagtendonk, J.W.; Root, R.R. 2003. The use of multi-temporal Landsat Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) data for mapping fuel models in Yosemite National Park, USA. *Int. J. Remote Sens*, 24, 1639–1651.
32. Lasaponara, R.; Lanorte, A. 2007. Remotely sensed characterization of forest fuel types by using satellite ASTER data. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf*, 9, 225–234.
33. Schroeder, W.; Oliva, P.; Giglio, L.; Quayle, B.; Lorenz, E.; Morelli, F. 2016. Active fire detection using Landsat-8/OLI data. *Remote Sens. Environ*, 185, 210–220.
34. Prins, E.M.; Feltz, J.M.; Menzel, W.P.; Ward, D.E. 1998. An overview of GOES-8 diurnal fire and smoke results for SCAR-B and 1995 fire season in South America.

- J. Geophys. Res. Atmos, 103, 31821–31835.
35. Schroeder, W.; Prins, E.; Giglio, L.; Csiszar, I.; Schmidt, C.; Morisette, J.; Morton, D, 2008. Validation of GOES and MODIS active fire detection products using ASTER and ETM+ data. *Remote Sens. Environ*, 112, 2711–2726.
36. Li, Z.; Fraser, R.; Jin, J.; Abuelgasim, A.A.; Csiszar, I.; Gong, P.; Pu, R.; Hao, W. 2003. Evaluation of algorithms for fire detection and mapping across North America from satellite. *J. Geophys. Res. Atmos*, 108.
37. Roy, D.P.; Frost, P.G.H.; Justice, C.O.; Landmann, T.; Le Roux, J.L.; Gumbo, K.; Makungwa, S.; Dunham, K.; Du Toit, R.; Mhwandagara, K.; et al., 2005. The Southern Africa Fire Network (SAFNet) regional burned-area product-validation protocol. *Int. J. Remote Sens*, 26, 4265–4292.
38. Giglio, L. 2006. Global estimation of burned area using MODIS active fire observations. *Atmos. Chem. Phys*, 6, 18.
39. Giglio, L.; Loboda, T.; Roy, D.P.; Quayle, B.; Justice, C.O. 2009. An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor. *Remote Sens. Environ*, 113, 408–420.
40. Benavides-Solorio, J.; MacDonald, L.H. 2001. Post-fire runoff and erosion from simulated rainfall on small plots, Colorado Front Range. *Hydrol. Process*, 15, 2931–2952
41. Martin, D.A.; Moody, J.A. 2001. Comparison of soil infiltration rates in burned and unburned mountainous watersheds. *Hydrol. Process*, 15, 2893–2903.
42. Moody, J.A.; Martin, D.A. 2001. Initial hydrologic and geomorphic response following a wildfire in the Colorado Front Range. *Earth Surf. Process. Landf*, 26, 1049–1070.
43. Kasischke, E.S.; Turetsky, M.R.; Ottmar, R.D.; French, N.H.F.; Hoy, E.E.; Kane, E.S. 2008. Evaluation of the composite burn index for assessing fire severity in Alaskan black spruce forests. *Int. J. Wildland Fire*, 17, 515.
44. Escuin, S.; Navarro, R.; Fernández, P. 2008. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. *Int. J. Remote Sens*, 29, 1053–1073.

## OVERVIEW OF CURRENT TECHNOLOGY APPLIED IN FOREST FIRE MANAGEMENT

Le Thai Son<sup>1</sup>, Nguyen Xuan Linh<sup>2</sup>, Nguyen Tuan Anh<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Vietnam National University of Forestry*

<sup>2</sup>*University of Fire Prevention and Fighting*

### SUMMARY

Forest fires often pose significant threats to human life, property, the environment, forest resources and biodiversity. That creates challenges for forest fire managers, forest fire prevention and fighting (PCCCR). Every year, thousands of forest fires across the globe cause disasters that cannot be measured and described. Therefore, improving the efficiency of forest fire management has been interested in research for many years; There are a large number of very well researched solutions to test or even ready to use to solve this problem. This article will summarize the technologies that have been applied globally in forest fire management such as early detection of forest fires, forest fire warning, application of geospatial technology in forest fire monitoring... This article provides general information so that scientists and managers of forest fires can refer to and choose technologies suitable to the actual conditions of each locality.

**Keywords:** early detection of forest fires, forest fires, forest fire management, protection of forest resources, technology.

Ngày nhận bài : 10/02/2022

Ngày phản biện : 14/3/2022

Ngày quyết định đăng : 23/3/2022