

Ngày nhận bài: 29/5/2025; Ngày thẩm định: 05/8/2025; Ngày duyệt đăng: 04/9/2025.

GIẢI PHÁP ĐỒNG BỘ DỮ LIỆU GIỮA THIẾT BỊ GIÁM SÁT CÁ NHÂN VÀ THIẾT BỊ ĐIỀU KHIỂN TRUNG TÂM TRONG HỆ THỐNG HỖ TRỢ CHIẾN SỸ CHỮA CHÁY VÀ CỨU NẠN, CỨU HỘ KHI THỰC HIỆN NHIỆM VỤ BÊN TRONG NHÀ, CÔNG TRÌNH

Thiếu tá, TS PHẠM VĂN THÀNH

Khoa Tự động phương tiện kỹ thuật phòng cháy, chữa cháy và cứu nạn cứu hộ, Trường Đại học PCCC

TS LÊ TIẾN DUNG

Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Tác giả liên hệ: Phạm Văn Thành (Email: phamvanthanh1209@gmail.com)

Tóm tắt: Trong bối cảnh đô thị hóa phát triển nhanh chóng, sự gia tăng ngày càng nhiều của các công trình cao tầng, công trình ngầm và khu công nghiệp hiện đại đã đặt ra những thách thức to lớn đối với lực lượng chữa cháy và cứu nạn, cứu hộ (CC&CNCH). Các tình huống khẩn cấp như: cháy, nổ, sập đổ cấu kiện hoặc sự xuất hiện của môi trường độc hại, thiếu oxy trong không gian kín đòi hỏi cán bộ, chiến sỹ CC&CNCH phải thực hiện nhiệm vụ trong điều kiện nguy hiểm, áp lực cao và thường xuyên thay đổi. Thực tiễn này đặt ra yêu cầu cấp thiết về việc xây dựng một hệ thống có khả năng giám sát liên tục, cảnh báo sớm và hỗ trợ kịp thời đối với chiến sỹ khi gặp sự cố trong quá trình thực hiện nhiệm vụ bên trong các công trình. Nhằm đáp ứng yêu cầu trên, bài báo đề xuất giải pháp đồng bộ hóa dữ liệu thời gian thực giữa thiết bị giám sát cá nhân (Firefighter Alert Safety System) – một bộ thiết bị đeo thông minh tích hợp đa cảm biến – và hệ thống điều khiển trung tâm. Thông qua việc thu thập và truyền tải liên tục các thông tin về vị trí, trạng thái vận động, cũng như các thông số sinh lý của từng chiến sỹ, giải pháp này giúp trung tâm chỉ huy giám sát hiệu quả tình hình thực địa, đưa ra chỉ đạo kịp thời, nâng cao hiệu quả tổ chức CC&CNCH và bảo đảm an toàn cho lực lượng làm nhiệm vụ.

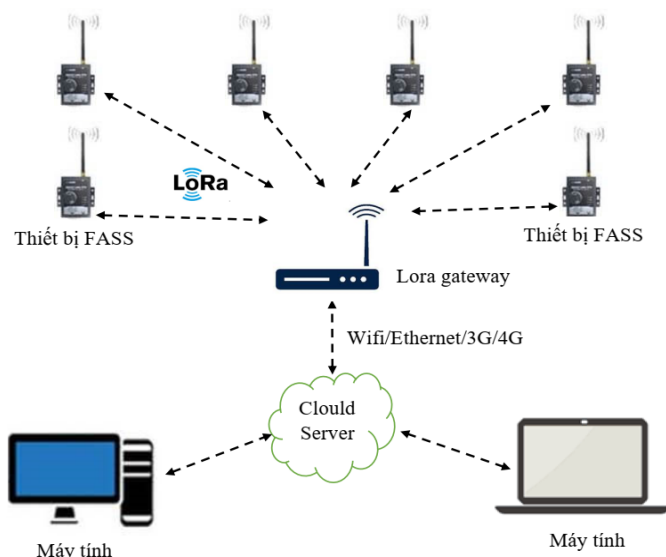
Từ khóa: giải pháp đồng bộ dữ liệu, chữa cháy và cứu nạn, cứu hộ, sự cố.

Abstract: In the context of rapid urbanization, the proliferation of high-rise buildings, underground structures, and modern industrial complexes has posed substantial challenges for the Fire and Rescue (F&R) forces. Critical incidents such as explosions, structural collapses, or the presence of toxic and oxygen-deficient environments within confined spaces require F&R police to operate under hazardous, high-pressure, and constantly changing conditions. These operational realities underscore the urgent need for a system capable of continuous monitoring, early hazard detection, and timely support for firefighters encountering emergencies during operations inside buildings. To address this need, this paper proposes a solution for real-time data synchronization between the Firefighter Alert Safety System (FASS)—a sensor-integrated wearable device—and the centralized control unit. By continuously acquiring and transmitting data related to individual location, physical activity status, and physiological indicators, the system enables command centers to effectively monitor field conditions, issue timely directives, enhance rescue coordination, and safeguard the operational safety of firefighting personnel.

Keywords: data synchronization solution, firefighting and rescue, incident.

1. Đặt vấn đề

Trong các vụ cháy lớn hoặc sự cố phức tạp xảy ra bên trong nhà và công trình, lực lượng CC&CNCH thường phải hoạt động trong môi trường khắc nghiệt với nhiệt độ cao, khói dày đặc, nồng độ khí độc vượt ngưỡng cho phép, hàm lượng oxy thấp và tầm nhìn bị hạn chế nghiêm trọng. Thực tế đã ghi nhận nhiều trường hợp chiến sỹ gặp nguy hiểm nghiêm trọng hoặc bị thương do không nhận được sự hỗ trợ kịp thời từ trung tâm chỉ huy, nguyên nhân chủ yếu xuất phát từ hạn chế trong khả năng liên lạc và giám sát tình trạng sức khỏe cũng như kịp thời phát hiện sự cố xảy ra đối với các chiến sỹ khi thực hiện nhiệm vụ.



Hình 1: Mô hình hệ thống giám sát, hỗ trợ chiến sỹ CC&CNCH khi thực hiện nhiệm vụ bên trong nhà, công trình.

Nhằm đáp ứng yêu cầu giám sát tình trạng chiến sỹ trong quá trình thực hiện nhiệm vụ, bộ thiết bị FASS được phát triển như một giải pháp tích hợp công nghệ IoT trong lĩnh vực CC&CNCH. Thiết bị bao gồm hai thành phần chính:

- (1) Thiết bị giám sát và cảnh báo sự cố trong quá trình thực thi nhiệm vụ;
- (2) Thiết bị giám sát và cảnh báo tình trạng sức khỏe của chiến sỹ.

Trong đó, thiết bị giám sát và cảnh báo sự cố được cấu tạo từ các khối chức năng chính gồm: khối vi xử lý trung tâm, khối cảm biến (cảm biến IMU 9 trục tự do, cảm biến áp suất không khí), khối phát cảnh báo bằng âm thanh – ánh sáng, khối thu phát tín hiệu không dây, và hệ thống nút nhấn cho phép kích hoạt thủ công

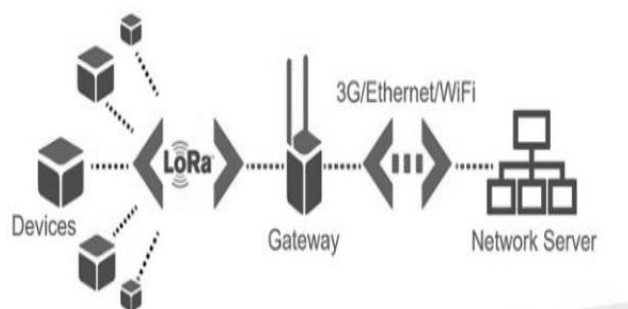
trong các tình huống khẩn cấp; thiết bị giám sát và cảnh báo tình trạng sức khỏe của chiến sỹ được cấu tạo từ các khối chức năng chính gồm: khối vi xử lý trung tâm, khối cảm biến (cảm biến nhịp tim và cảm biến nhiệt độ cơ thể), khối thu phát tín hiệu không dây.

Thiết bị FASS được thiết kế để thu thập các thông số sinh tồn và dữ liệu môi trường theo thời gian thực, sau đó truyền về trung tâm điều khiển nhằm phục vụ công tác giám sát và chỉ huy. Tuy nhiên, hiệu quả của hệ thống phụ thuộc lớn vào khả năng đồng bộ hóa dữ liệu một cách nhanh chóng, ổn định và đáng tin cậy – đặc biệt trong các điều kiện mà tín hiệu truyền thông dễ bị suy hao bởi cấu trúc vật lý của công trình.

Do đó, cần thiết phải xây dựng một kiến trúc truyền thông tổng thể, trong đó các thiết bị FASS có thể truyền dữ liệu một cách liên tục, tối ưu và có độ tin cậy cao đến hệ thống điều khiển trung tâm. Điều này sẽ giúp chỉ huy duy trì được khả năng nhận thức tình huống, theo dõi chính xác vị trí và trạng thái của từng chiến sỹ, từ đó đưa ra các quyết định ứng cứu kịp thời, nâng cao hiệu quả tổ chức và đảm bảo an toàn cho lực lượng thực thi nhiệm vụ.

2. Giới thiệu cấu trúc mạng của hệ thống FASS

Hệ thống FASS được xây dựng trên nền tảng mạng truyền thông LoRaWAN – một giao thức chuẩn mở do tổ chức LoRa Alliance phát triển, nhằm đảm bảo khả năng tương thích và tương tác giữa các thiết bị trong hệ sinh thái IoT. LoRaWAN hoạt động dựa trên cơ chế trải phổ (spread spectrum), cho phép truyền dữ liệu qua nhiều kênh tần số với các tốc độ khác nhau, giúp hệ thống thích ứng linh hoạt với điều kiện môi trường thay đổi và tối ưu hiệu suất liên lạc giữa thiết bị đầu cuối và thiết bị điều khiển trung tâm (Gateway).



Hình 2: Mô hình hệ thống LoRaWAN điển hình.

Trong cấu hình tiêu chuẩn, mạng LoRaWAN hỗ trợ tốc độ truyền dữ liệu từ 300 bit/giây đến 50 kilobit/giây, tùy thuộc vào các thông số kỹ thuật như hệ số trải phổ (Spreading Factor – SF) và băng thông (Bandwidth – BW). Độ dài gói dữ liệu được giới hạn tối đa 243 byte. Hệ thống cho phép truyền thông hai chiều (uplink và downlink), phù hợp với yêu cầu giám sát – điều khiển trong thời gian thực.

Để tối ưu hiệu quả truyền thông và đảm bảo độ tin cậy trong điều kiện triển khai thực tế (nhiều cao, khoảng cách lớn), các thiết bị đầu cuối (End-node) cần được cấu hình một loạt tham số kỹ thuật bao gồm: hệ số trải phổ (SF), băng thông (BW), tốc độ mã hóa dữ liệu (Coding Rate – CR), công suất phát (Transmission Power – TP), và chế độ điều chỉnh tốc độ dữ liệu thích ứng (Adaptive Data Rate – ADR). Sự kết hợp giữa các thông số này tạo ra hơn 6.720 cấu hình truyền dẫn khả thi, dẫn đến thách thức trong việc lựa chọn cấu hình tối ưu nhằm cân bằng giữa tiêu thụ năng lượng và hiệu suất truyền dữ liệu.

Trong kiến trúc truyền thông của hệ thống FASS, việc đồng bộ hóa dữ liệu thời gian thực giữa thiết bị FASS với trung tâm điều khiển phụ thuộc chủ yếu vào hiệu quả kết nối giữa các node LoRa (thiết bị FASS) và Gateway. Do đó, giải pháp đảm bảo chất lượng kết nối LoRa, bao gồm thiết lập tham số phù hợp và tối ưu kiến trúc mạng, đóng vai trò then chốt trong việc đảm bảo độ tin cậy và độ trễ thấp cho toàn bộ hệ thống giám sát.

3. Xây dựng giải pháp đồng bộ dữ liệu

3.1. Quá trình truyền dữ liệu giữa thiết bị FASS và Gateway

Thiết bị FASS theo thiết kế có thể gửi và nhận dữ liệu tới/từ Gateway. Một trong những yêu cầu đặt ra đối với hệ thống là khả năng đồng bộ dữ liệu trong đó phần lớn yêu cầu đặt ra đối với quá trình truyền dữ liệu từ thiết bị FASS tới Gateway và ngược lại. Một số thách thức đặt ra đối với hệ thống như sau:

- Hiện tượng mất gói tin: do nhiễu hoặc khoảng cách truyền quá xa, có thể xảy ra hiện tượng mất dữ liệu.
- Ảnh hưởng của môi trường: các vật cản như: kết cấu bê tông cốt thép, các thiết bị, dụng cụ,... trong

các tòa nhà cao tầng, công trình có thể làm suy giảm tín hiệu.

- Bảo mật dữ liệu: mặc dù LoRaWAN có cơ chế mã hóa, nhưng vẫn cần có phương pháp xác thực nâng cao để đảm bảo tính toàn vẹn của dữ liệu.

3.2. Điều chế tín hiệu Lora

Điều chế tín hiệu đóng vai trò then chốt trong quá trình truyền dữ liệu không dây, đặc biệt trong các ứng dụng IoT đòi hỏi khoảng cách truyền xa và tiêu thụ năng lượng thấp. Công nghệ LoRa (Long Range) sử dụng kỹ thuật điều chế Chirp Spread Spectrum (kỹ thuật sử dụng các xung chirp để mã hóa các thông tin). Đây là nền tảng công nghệ cho phép LoRa đạt được những đặc tính vượt trội như:

- Khả năng phủ sóng cực xa: có thể đạt tới 15km trong điều kiện lý tưởng ngoài trời và 2 - 3km trong môi trường đô thị.
- Khả năng chống nhiễu cao: tín hiệu có thể phân biệt được ngay cả khi mức tín hiệu thấp hơn mức nhiễu nền (tỷ lệ giữa cường độ tín hiệu và nhiễu âm).
- Tiêu thụ năng lượng cực thấp: Nhờ tiêu thụ năng lượng thấp, thiết bị LoRa có thể duy trì hoạt động liên tục trong thời gian dài—thậm chí nhiều năm—chỉ với một lần sạc hoặc một bộ nguồn pin duy nhất.
- Độ tin cậy cao: khả năng khôi phục tín hiệu ngay cả trong điều kiện kênh truyền kém.

So với các công nghệ điều chế truyền thông như FSK (Frequency Shift Keying) hay QAM (Quadrature Amplitude Modulation), kỹ thuật sử dụng các xung chirp để mã hóa các thông tin cho phép LoRa có được phạm vi truyền xa gấp 5 - 10 lần trong cùng điều kiện công suất phát, đồng thời mang lại khả năng chống nhiễu vượt trội.

Sóng chirp và cơ chế điều chế, giải điều chế trong LoRa

Sóng chirp là một dạng tín hiệu có tần số thay đổi theo thời gian theo một quy luật nhất định – thường là thay đổi tuyến tính. Dưới đây là biểu diễn toán học của sóng chirp:

$$s(t) = A \cdot \cos \left(2\pi \left(f_0 \cdot t + \frac{k}{2} t^2 \right) + \varphi_0 \right), 0 \leq t \leq T$$

Trong đó:

A là biên độ tín hiệu;

f_0 là tần số khởi đầu;

k là tốc độ thay đổi tần số (chirp rate), $k = BW/T$;

T là thời gian của một symbol;

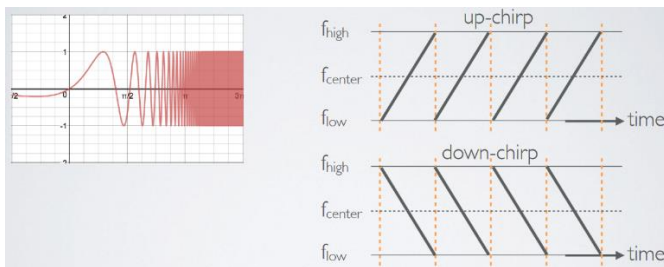
φ_0 là pha ban đầu;

Đối với up-chirp, $k > 0$, và đối với down-chirp, $k < 0$.

Trong công nghệ LoRa, hai loại sóng chirp chính được sử dụng:

+ Up-chirp: Tần số tăng dần từ giá trị thấp nhất (f_{min}) đến giá trị cao nhất (f_{max}).

+ Down-chirp: Tần số giảm dần từ f_{max} về f_{min} .



Hình 3: Minh họa nguyên lý sử dụng các xung chirp để mã hóa thông tin.

Mỗi sóng chirp được sử dụng trong kỹ thuật Chirp Spread Spectrum (CSS) sẽ chiếm trọn toàn bộ băng thông truyền dẫn và tồn tại trong một khoảng thời gian cố định. Khoảng thời gian này chính là một symbol – đơn vị dữ liệu cơ bản sau khi mã hóa. Thông tin được mã hóa bằng cách thay đổi điểm bắt đầu (tần số khởi đầu) của mỗi chirp.

**/ Quá trình điều chế và giải điều chế CSS trong LoRa diễn ra như sau:*

+ Điều chế (Modulation): Quá trình điều chế trong LoRa sử dụng CSS gồm các bước sau:

- Phân đoạn dữ liệu: Chia dữ liệu đầu vào thành các khối nhỏ phù hợp với cấu trúc truyền.

- Mã hóa sửa lỗi chuyển tiếp (FEC): Thêm các bit dự phòng để giúp phát hiện và sửa lỗi trong quá trình truyền.

- Phân tán bit liên tiếp (Interleaving): Sắp xếp lại thứ tự bit để chống lại nhiễu đột biến.

- Ngẫu nhiên hóa dữ liệu (Whitening): Làm dữ liệu phân bố đều giữa các bit 0 và 1 nhằm cải thiện chất lượng truyền.

- Mã Gray (Gray coding): Mã hóa dữ liệu thành các giá trị số mà giữa hai giá trị liên tiếp chỉ khác nhau một bit, giảm khả năng nhầm lẫn khi giải mã.

- Điều chế bằng chirp: Mỗi giá trị dữ liệu sau mã hóa được ánh xạ thành một sóng chirp có điểm bắt đầu tần số tương ứng.

+ Giải điều chế (Demodulation)

Quá trình giải điều chế thực hiện ngược lại với các bước mã hóa, bao gồm:

- Phát hiện tiền tố (preamble): Gateway dò tìm tín hiệu đầu gói để nhận biết bắt đầu của một khung dữ liệu.

- Đồng bộ hóa (Synchronization): xác định chính xác thời điểm bắt đầu của mỗi Symbol – tức từng sóng chirp trong dòng dữ liệu.

- Biến đổi Fourier nhanh (FFT): phân tích tín hiệu từ miền thời gian sang miền tần số để xác định thông tin tần số trong chirp.

- Giải mã Gray: chuyển các giá trị tần số nhận được về dạng dữ liệu nhị phân gốc.

- Giải ngẫu nhiên hóa và phân tán lại bit (De-whitening & De-interleaving): khôi phục dữ liệu về đúng thứ tự ban đầu.

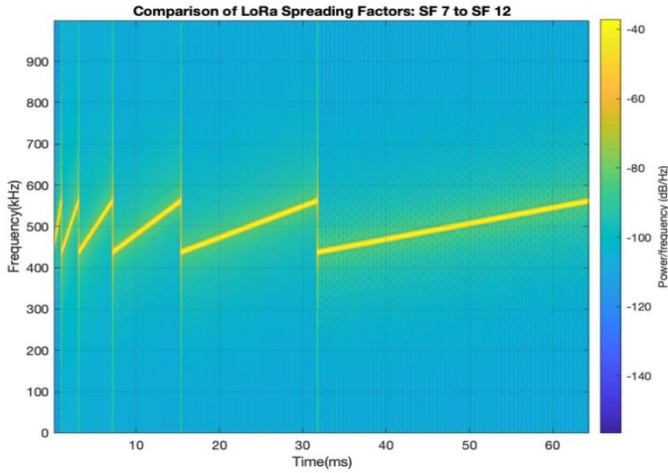
- Sửa lỗi FEC: sử dụng bit dự phòng để phát hiện và sửa các lỗi phát sinh trong quá trình truyền dẫn.

3.3. Giải pháp cấu hình các tham số kỹ thuật để tối ưu hiệu quả truyền thông và đảm bảo độ tin cậy

3.3.1. Cấu hình hệ số trải phổ (SF) và chế độ điều chỉnh tốc độ dữ liệu thích ứng (ADR)

Hệ số trải phổ là một trong những tham số quan trọng nhất của điều chế LoRa, xác định số bit được mã hóa trong mỗi symbol. SF được biểu diễn bằng số nguyên từ 7 đến 12. SF thấp tối ưu tốc độ truyền, trong khi SF cao giúp mở rộng phạm vi phủ sóng.

Khi SF tăng, dữ liệu được mã hóa phức tạp hơn, làm giảm tốc độ truyền dữ liệu nhưng tăng khả năng chống nhiễu. SF cao tạo ra tín hiệu mạnh hơn, giúp tín hiệu LoRa đi xa hơn nhưng tiêu tốn nhiều năng lượng hơn. Ngược lại, SF thấp giúp truyền dữ liệu nhanh hơn nhưng chỉ hoạt động hiệu quả ở khoảng cách ngắn.



Hình 4: So sánh giữa các hệ số trải phổ.

Bảng 1: Thông số chi tiết theo hệ số trải phổ.

Hệ số trải phổ	Số chirp/symbol	Tốc độ dữ liệu (BW=125 kHz)	Độ nhạy (dBm)	Thời gian truyền symbol	Phạm vi phủ sóng tương đối
SF7	128	5.47 kbps	-123	1.02 ms	1x (tham chiếu)
SF8	256	3.13 kbps	-126	2.05 ms	1.5x
SF9	512	1.76 kbps	-129	4.10 ms	2.5x
SF10	1024	0.98 kbps	-132	8.19 ms	4x
SF11	2048	0.54 kbps	-134.5	16.38 ms	7x
SF12	4096	0.29 kbps	-137	32.77 ms	10x

Trong đó:

- Tốc độ dữ liệu (R) được tính theo công thức:

$$R = SF \times \frac{BW}{2^{SF}} \times CR$$

Trong đó:

SF: Hệ số trải phổ;

BW: Băng thông (Hz);

CR: Tỷ lệ mã ($\frac{4}{4+n}$ với n từ 1 đến 4);

- Thời gian truyền một symbol (Ts):

$$Ts = \frac{2^{SF}}{BW}$$

- Năng lượng cần thiết để truyền một bit dữ liệu tỉ lệ thuận với SF.

Chế độ điều chỉnh tốc độ dữ liệu thích ứng (ADR)

ADR là cơ chế thông minh trong mạng LoRaWAN cho phép tự động điều chỉnh SF, công suất phát và các tham số truyền khác dựa trên:

- Chất lượng kết nối: nếu tín hiệu mạnh, hệ thống sẽ giảm SF để tăng tốc độ.
- Khoảng cách đến Gateway: các nút xa sẽ được cấp SF cao hơn.
- Mức độ tắc nghẽn mạng: điều chỉnh để tối ưu hóa băng thông toàn mạng.
- Tình trạng pin: giảm công suất phát cho thiết bị có pin yếu

ADR sử dụng thông tin từ nhiều gói tin liên tiếp để đánh giá chất lượng kênh truyền và đưa ra quyết định tối ưu, giúp kéo dài tuổi thọ pin và tăng hiệu suất mạng.

3.3.2. Cấu hình băng thông (BW)

Băng thông xác định dải tần số được sử dụng trong quá trình truyền, ảnh hưởng trực tiếp đến tốc độ dữ liệu và khả năng chống nhiễu. Trong bối cảnh LoRaWAN có nhiều băng thông khác nhau, việc lựa chọn mức băng thông phù hợp với hệ thống FASS là rất quan trọng. LoRa hỗ trợ nhiều giá trị băng thông khác nhau, nhưng phổ biến nhất là:

- + 125kHz: Tiêu chuẩn trong hầu hết các ứng dụng LoRaWAN
- + 250kHz: Sử dụng cho các ứng dụng cần tốc độ cao hơn
- + 500kHz: Băng thông lớn nhất, hiện chỉ được hỗ trợ ở một số khu vực (chủ yếu tại Mỹ)
- + 62.5kHz, 31.25kHz: Sử dụng trong các ứng dụng đặc biệt cần độ nhạy cao

Bảng 2: Ảnh hưởng của băng thông tới một số yếu tố.

Băng thông	Ảnh hưởng tới tốc độ dữ liệu	Ảnh hưởng đến độ nhạy	Khả năng chống nhiễu	Phạm vi phủ sóng
125 kHz	Tiêu chuẩn	Tiêu chuẩn	Tốt	Tiêu chuẩn
250 kHz	x2 so với 125kHz	Giảm 3dB	Trung bình	Giảm 30%
500 kHz	x4 so với 125kHz	Giảm 6dB	Thấp hơn	Giảm 50%
62.5 kHz	x0.5 so với 125kHz	Tăng 3dB	Rất tốt	Tăng 30%

Băng thông thấp (như 125kHz) có khả năng chống nhiễu tốt hơn vì:

- + Mật độ năng lượng trên mỗi Hz cao hơn giúp tăng khả năng phát hiện tín hiệu.
- + Độ nhạy tốt hơn giúp phát hiện tín hiệu yếu trong môi trường nhiễu.

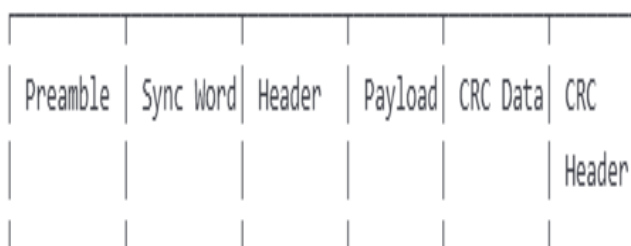
+ Độ chọn lọc tần số cao hơn giúp phân biệt các tín hiệu gần nhau.

Trong môi trường đô thị với nhiều nguồn nhiễu, băng thông 125kHz thường là lựa chọn tối ưu cân bằng giữa tốc độ và độ tin cậy.

Đối với hệ FASS, luôn duy trì mức băng thông không vượt 125kHz.

3.3.3. Cấu trúc gói tin và tối ưu hóa truyền dữ liệu

Để đảm bảo khả năng truyền dữ liệu tin cậy ngay cả trong điều kiện tín hiệu yếu, các bản tin trong hệ thống FASS được thiết kế với cấu trúc vật lý đặc biệt. Theo Hình 5, bản tin của thiết bị FASS trong LoRa bao gồm các thành phần sau:



Hình 5: Cấu trúc vật lý bản tin FASS.

- Preamble: gồm ít nhất 8 sóng up-chirp, giúp bộ thu đồng bộ hóa thời gian và nhận biết điểm bắt đầu của gói tin.

- Sync Word: dài 2 byte, là mã định danh mạng, giúp phân biệt giữa các mạng LoRa khác nhau (ví dụ: tránh nhầm lẫn giữa các thiết bị ở nhiều hệ thống khác nhau).

- Header: chứa các thông tin cần thiết để bộ thu hiểu cách xử lý phần dữ liệu (độ dài dữ liệu (1 byte), tỷ lệ mã hóa lỗi (2 bit), cờ đánh dấu cho biết có dùng mã kiểm tra lỗi CRC hay không (1 bit), chế độ header: Explicit hay Implicit (1 bit)).

- Payload: là phần chứa dữ liệu người dùng thực sự (kích thước tối đa 255byte).

- CRC Data: mã kiểm tra lỗi (Cyclic Redundancy Check) cho phần payload, giúp phát hiện lỗi trong quá trình truyền.

- CRC Header: mã kiểm tra lỗi cho phần header, đảm bảo thông tin cấu trúc gói tin được nhận chính xác.

3.3.4. Đồng bộ thời gian giữa thiết bị FASS và Gateway

Có nhiều phương án khác nhau trong việc đồng bộ thời gian giữa thiết bị FASS và Gateway. Trong mô hình hoạt động của hệ thống FASS, sử dụng Gateway làm thiết bị điều khiển trung tâm. Gateway được đồng bộ thời gian bằng một trong hai phương pháp sau:

+ Đồng bộ thời gian bằng GPS: Gateway sử dụng một mô đun GPS để đồng bộ thời gian. GPS cung cấp thời gian chính xác, giúp đảm bảo dữ liệu được ghi nhận đúng thời điểm.

+ Đồng bộ thời gian bằng giao thức NTP (Network Time Protocol): Gateway có thể nhận thời gian từ máy chủ NTP.

Gateway và thiết bị FASS được đồng bộ thời gian thông qua giao thức LoRaWAN Class B. Gateway phát tín hiệu Beacon định kỳ, cho phép các nút LoRa đồng bộ và điều chỉnh thời gian truyền dữ liệu.

3.3.5. Sử dụng mã sửa lỗi và cải thiện độ tin cậy

Trong hệ thống truyền dữ liệu không dây như LoRa, hiện tượng mất gói tin có thể xảy ra do nhiễu, suy hao đường truyền hoặc môi trường không ổn định. Để giảm thiểu ảnh hưởng của việc mất dữ liệu, công nghệ FEC (Forward Error Correction) được sử dụng nhằm cho phép thiết bị thu tự động sửa lỗi mà không cần truyền lại. FEC là kỹ thuật mã hóa kênh bổ sung các bit dự thừa vào dữ liệu gốc, giúp thiết bị nhận phát hiện và khôi phục thông tin ngay cả khi một phần tín hiệu bị lỗi. Việc này giúp nâng cao độ tin cậy và giảm số lần truyền lại, đặc biệt hiệu quả trong các ứng dụng LoRaWAN hoạt động ở khoảng cách xa hoặc trong điều kiện nhiễu cao.

Một số thuật toán FEC phổ biến gồm: Reed-Solomon – có khả năng sửa lỗi mạnh, phù hợp với môi trường nhiễu nhiều và được dùng rộng rãi trong truyền thông; Hamming – đơn giản, phù hợp với hệ thống cần sửa lỗi nhẹ, giúp duy trì tốc độ truyền mà vẫn tăng độ tin cậy. Nguyên lý hoạt động của FEC trong LoRa gồm ba bước chính.

Bước 1: Mã hóa dữ liệu tại thiết bị gửi – dữ liệu được mã hóa bằng thuật toán Reed-Solomon hoặc Hamming để tạo ra các bit dự thừa, sau đó được đóng gói cùng gói tin và truyền đi.

Bước 2: Truyền dữ liệu qua kênh LoRa – tín hiệu có thể bị nhiễu, suy hao hoặc mất mát một phần khi đi qua môi trường thực tế.

Bước 3: Giải mã tại Gateway hoặc thiết bị nhận – thiết bị thu sử dụng các bit dự phòng để phát hiện

và sửa lỗi; nếu lỗi nằm trong khả năng sửa, dữ liệu sẽ được phục hồi hoàn toàn mà không cần truyền lại.

3.3.6. Tăng độ nhạy thu Gateway để giảm mất gói tin

Độ nhạy thu (Receiver Sensitivity) của Gateway LoRa đóng vai trò then chốt trong việc đảm bảo tín hiệu từ các nút LoRa được tiếp nhận ổn định, ngay cả khi truyền ở khoảng cách xa hoặc trong môi trường có nhiễu. Độ nhạy thu càng cao thì khả năng bắt được tín hiệu yếu càng tốt, giúp mở rộng phạm vi phủ sóng và giảm tỷ lệ mất gói tin.

Trong hệ thống LoRaWAN, độ nhạy thu của Gateway thường nằm trong khoảng từ -130 dBm đến -140 dBm, tùy thuộc vào cấu hình phần cứng và điều kiện triển khai. Để nâng cao hiệu suất mạng, có thể áp dụng một số giải pháp nhằm tăng độ nhạy thu và cải thiện chất lượng liên lạc như:

- + Sử dụng Ăng-ten có độ lợi cao: Ăng-ten hiệu suất cao (6–12 dBi) giúp thu tín hiệu yếu tốt hơn, đặc biệt trong môi trường có nhiễu. Ưu tiên dùng Ăng-ten định hướng thay vì đa hướng nếu muốn tập trung thu tín hiệu từ một khu vực cụ thể. Việc này giúp Gateway thu tín hiệu từ các nút xa hiệu quả hơn mà không cần tăng công suất phát.

- + Cải thiện lọc tín hiệu và giảm nhiễu RF: sử dụng bộ lọc để loại bỏ nhiễu từ các nguồn như Wi-Fi, Bluetooth, NB-IoT, đồng thời trang bị vỏ chống nhiễu cho Gateway. Điều này giúp giảm sai số và tăng độ nhạy thu, đặc biệt hữu ích trong môi trường đô thị nhiều thiết bị không dây.

4. Kết luận và kiến nghị

Các giải pháp được đề xuất đều có tính thực tiễn cao, phù hợp với mô hình phát triển cấu trúc mạng của hệ thống FASS. Các giải pháp kỹ thuật được nghiên cứu và đề xuất dựa trên kịch bản hoạt động thực tế có tham khảo các dẫn chứng từ các công bố quốc tế uy tín. Giải pháp đồng bộ dữ liệu đề xuất giữa thiết bị FASS và thiết bị điều khiển trung tâm sẽ góp phần nâng tính khả thi trong phát triển hệ thống FASS phục vụ công tác CC&CNCH. Tuy nhiên, cần áp dụng các phương hướng và giải pháp kỹ thuật được liệt kê để tiếp tục hoàn thiện hệ thống FASS, đảm bảo

yêu cầu kỹ thuật, có khả năng ứng dụng cao trong các điều kiện thực tế. Đồng thời, sau khi hoàn thiện sản phẩm cần thực hiện kiểm tra hệ thống trong nhiều điều kiện hoạt động khác nhau.■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. U. Raza, P. Kulkarni and M. Sooriyabandara, "Low Power Wide Area Networks: An Overview", in IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 19, no. 2, 2017, pp. 855-873.
2. Hoàng Lê Trung, "Mạng LPWAN cho các ứng dụng IoT", <http://www.cuctanso.vn/>, 02/2019.
3. LoRa Alliance®, <https://loro-alliance.org/>
4. M. Bor and U. Roedig, "LoRa Transmission Parameter Selection", 2017 13th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS), Ottawa, ON, Canada, 2017, pp. 27-34.
5. D. Magrin, M. Capuzzo and A. Zanella, "A Thorough Study of LoRaWAN Performance Under Different Parameter Settings", in IEEE Internet of Things Journal, vol. 7, no. 1, Jan. 2020, pp. 116-127.
6. U. Raza, P. Kulkarni, and M. Sooriyabandara, "Low Power Wide Area Networks: An Overview", IEEE Communications Surveys and Tutorials, vol. 19, no. 2, year 2017, pp. 855–873.
7. M. Bor, J. Vidler, and U. Roedig, "LoRa for the Internet of Things", in Proceedings of the 2016 International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks, Graz, Austria, February 2016, pp. 361–366.
8. M. Bor and U. Roedig, "LoRa transmission parameter selection", in Proceedings - 2017 13th International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems, DCOSS 2017, Ottawa, ON, Canada, 2018, pp. 27–34.
9. A. Potsch, F. Haslhofer, P. Albert, and F. Haslhofer, "Practical Limitations for Deployment of LoRa Gateways", in 2017 IEEE International Workshop on Measurement and Networking (M&N), Naples, Italy, 2017, pp. 1–6.
10. LoRaWAN, <https://www.mobilefish.com/>
11. A. M. Yousuf, E. M. Rochester, B. Ousat and M. Ghaderi, "Throughput, Coverage and Scalability of LoRa LPWAN for Internet of Things", 2018 IEEE/ACM 26th International Symposium on Quality of Service (IWQoS), Banff, AB, Canada, 2018, pp. 1-10.