THIẾT KẾ CẢM BIẾN NHIỆT ĐỘ THEO NGUYÊN LÝ CẢM BIẾN NHỊP CHO CÁC HỆ THỐNG GIÁM SÁT MÔI TRƯỜNG THÔNG MINH

Hoàng Văn Phúc[1*], Đào Văn Lân[2], Đặng Văn Bình[3],
Nguyễn Tiến Duy[3], Nguyễn Văn Trung[2]

Tóm tắt: *Cảm biến nhịp là một kỹ thuật mới, thích hợp cho các ứng dụng giám sát môi trường thông minh với yêu cầu về công suất tiêu thụ thấp và các mạch cảm biến Internet vạn vật (IoT) với kích thước nhỏ gọn. Bài báo này đề xuất và thử nghiệm một giải pháp thiết kế cảm biến nhiệt độ trên nguyên lý cảm biến nhịp, cho phép theo dõi nhiệt độ trong dải từ -20°C đến 50°C với độ chính xác phù hợp. Kết quả thực nghiệm cho thấy, cảm biến nhiệt độ trên nguyên lý nhịp có tiềm năng ứng dụng lớn trong các hệ thống giám sát môi trường thông minh. Hơn nữa, giao thức truyền thông vô tuyến tầm xa (LoRa) được đề xuất áp dụng để xây dựng một hệ thống giám sát thông minh với cự ly xa và tiết kiệm năng lượng.*

Từ khóa: IoT; Cảm biến nhịp; Giám sát thông minh; LoRa.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Ngày nay, nhu cầu về các hệ thống giám sát môi trường tự động đang trở nên cấp bách do sự phức tạp của các loại thiên tai và sự cố môi trường. Trong đó, hạn hán là một hiện tượng có ảnh hưởng rất lớn đến cuộc sống của con người trên toàn thế giới và có thể gây ra những thiệt hại to lớn đối với môi trường cũng như các hoạt động kinh tế xã hội. Do sự diễn biến tích lũy chậm, tác động của hạn hán thường khó nhận biết hơn và khi nhận biết được thì những thiệt hại đã trở nên đáng kể. Giám sát, cảnh báo hạn hán với công nghệ Internet vạn vật (IoT: Internet of Things) có tiềm năng lớn để giải quyết vấn đề này [1-3]. Các cảm biến IoT cho phép theo dõi liên tục các tham số hạn hán cần thiết. Vấn đề đặt ra là các cảm biến IoT cần phải tiêu tốn ít năng lượng, cự ly thông tin đủ lớn để có thể bảo đảm giám sát trong phạm vi lớn.

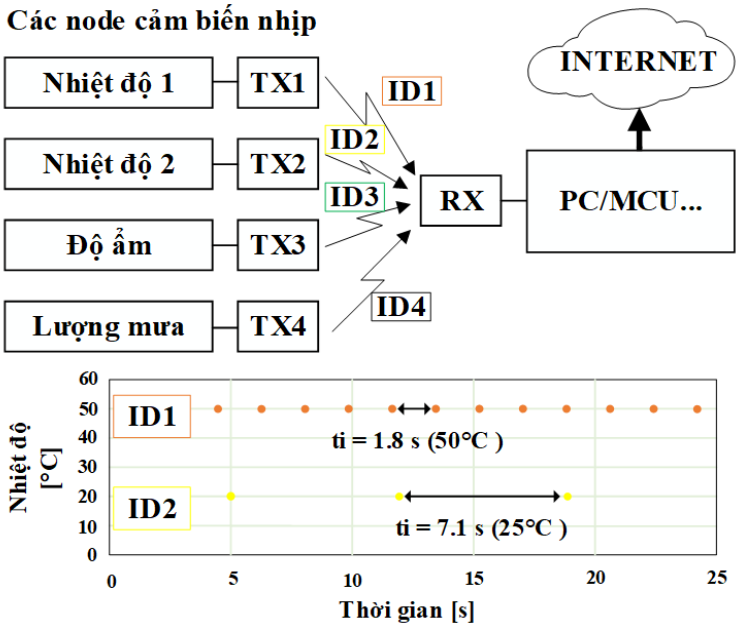
Trong bài báo này, chúng tôi trình bày một thiết kế mới của cảm biến nhiệt độ dựa trên nguyên lý cảm biến nhịp (gọi là cảm biến nhịp nhiệt độ), đây là cảm biến không dây với mức tiêu thụ năng lượng rất thấp, cự ly thông tin xa với công nghệ LoRa. Trong một nghiên cứu trước đây, các tác giả trong [4] đã công bố một thiết kế cảm biến nhịp nhiệt độ với ưu điểm công suất tiêu thụ khá nhỏ, tuy nhiên, cự ly truyền hạn chế (tối đa 110m). Vì vậy, trong nghiên cứu này, chúng tôi đưa ra một cấu trúc cải tiến mới với thiết kế hoàn chỉnh của các cảm biến nhịp nhiệt độ cho phép cự ly liên lạc có thể lên tới 1700m, giúp mở rộng vùng giám sát cho hệ thống. Đây là một thiết kế cảm biến đầy hứa hẹn để có thể sử dụng cho các nút cảm biến IoT không dây cự ly xa phục vụ cho hệ thống giám sát các tham số của môi trường trong tương lai.

2. ĐỀ XUẤT CẢM BIẾN NHỊP NHIỆT ĐỘ

Các nút cảm biến truyền thống thường sử dụng MCU để đọc trực tiếp giá trị cảm biến thông qua các mạch giao tiếp như ADC, I2C, SPI rồi gửi về trung tâm xử lý. Tuy nhiên, phương pháp này có nhược điểm là tốn năng lượng, cần thiết kế lớp truy nhập kênh truyền (MAC) và một số thành phần khác. Cảm biến nhịp (Beat sensor) sử dụng nguyên lý hoàn toàn khác để truyền tham số cảm biến về trung tâm, giá trị cảm biến được tính theo khoảng thời gian giữa hai lần liên tiếp nhận được ID của nút.

Hình 1 thể hiện sơ đồ khối của cảm biến nhịp tổng quát được GS. Ishibashi đề xuất trong [4] và đồ thị thời gian mà mã ID truyền đi từ các nút. Mỗi cảm biến nhịp sẽ được nối

tới một máy phát đã được gán một mã ID riêng. Nút chỉ phát đi mã ID riêng biệt này, khoảng thời gian phát đi hai tín hiệu ID liên tiếp phụ thuộc vào tham số vật lý của cảm biến. Máy thu nhận được hai tín hiệu mã ID của nút, sẽ tính toán ra tham số vật lý của cảm biến. Khi sử dụng nhiều nút cảm biến, từng nút sẽ gửi mã ID của chúng tới máy thu RF. Máy thu nhận được các giá trị ID và gửi chúng cho PC. Một phần mềm ứng dụng được chạy trên PC để phân tích, đọc ra giá trị của từng nút và chia sẻ trên môi trường Internet.

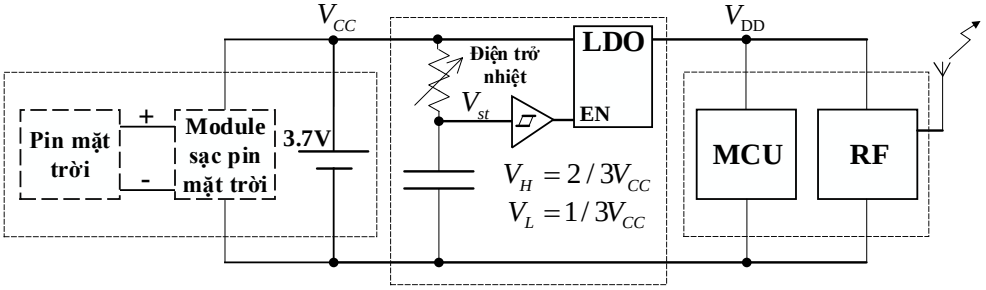


Hình 1. *Khái niệm cảm biến nhịp.*

Trên cơ sở đó, nhằm giảm năng lượng tiêu thụ của các cảm biến nhiệt độ trong các hệ thống giám sát môi trường thông minh trên nền tảng IoT, hình 2 thể hiện sơ đồ khối đề xuất của một nút cảm biến nhịp nhiệt độ. Sơ đồ này bao gồm 3 vùng được thể hiện trên hình vẽ. Các khối chức năng được vẽ bằng nét đứt là khối không bắt buộc và các khối vẽ bằng nét liền là khối bắt buộc phải có trong cấu trúc của một cảm biến nhịp nhiệt độ.

Trong bài báo [4], nhóm tác giả đã đề xuất sử dụng LDO ngay sau khối cấp nguồn và trước mạch RC (điện trở nhiệt, tụ nạp xả). Tuy nhiên, có thể thấy rằng sơ đồ này gặp phải nhiều nhược điểm như: nguồn ra cung cấp tới MCU, RF không ổn định do sự thăng giáng của điện áp nạp xả tại tụ C, có thể làm cho MCU và RF hoạt động không ổn định (có thể dẫn đến treo MCU, và module RF không phát được tối đa công suất của nó,...). Hơn nữa, một nhược điểm tiếp theo là để bảo đảm cấp nguồn tới MCU và RF trong khoảng thời gian dài thì sơ đồ yêu cầu cần có tụ C với giá trị rất lớn (vì điện trở nhiệt đã cố định). Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất ứng dụng công nghệ LoRa để tăng cự ly liên lạc. Đối với module này, khoảng thời gian để phát xong một byte ID là khá lớn (khoảng 350ms) và dòng tiêu thụ khi phát cũng lớn (khoảng 100 mA). Do đó, để bảo đảm được dòng điện và thời gian cung cấp cho MCU và RF thì đối với sơ đồ trong bài báo [4], giá trị của tụ C phải lớn dẫn tới kích thước sẽ lớn và làm tăng kích thước của cảm biến. Xuất phát từ hai lý do này, nhóm tác giả đề xuất sử dụng LDO đóng vai trò vừa tạo điện áp ổn định, dòng lớn cho MCU và RF (đầu ra LDO đưa tới cung cấp nguồn cho các khối MCU và RF), vừa điều khiển cấp nguồn cho MCU và RF. Điều này giúp cho điện áp nguồn cấp cho MCU và RF có giá trị ổn định hơn, làm cho hệ thống hoạt động ổn định và có thể đạt giá trị công suất phát tối đa đối với module RF, nhờ đó làm tăng cự ly liên lạc từ các nút về trung tâm xử lý. Để bảo đảm thời gian cấp nguồn cho MCU và RF trong khoảng thời gian dài mà không

cần sử dụng tụ C giá trị cao, các tác giả đã xử lý trong mạch so sánh để có thể điều khiển cấp nguồn có thể điều chỉnh được thời gian bằng chiết áp vi chỉnh.



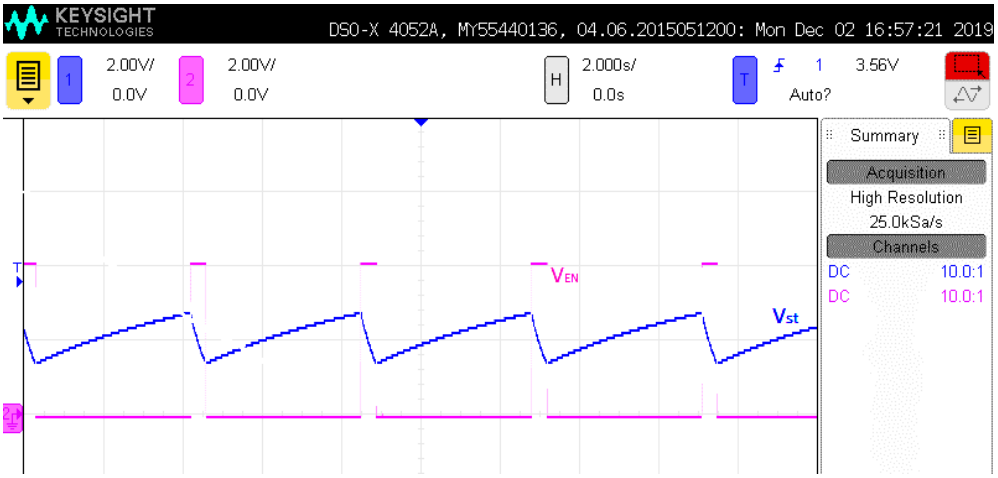
Hình 2. *Sơ đồ khối cấu trúc của nút cảm biến nhịp nhiệt độ.*

Trên hình 2, khối khoanh vùng thứ nhất là khối nguồn cung cấp, bao gồm một Pin mặt trời có chức năng hấp thụ năng lượng mặt trời đưa tới module sạc pin, một module sạc pin mặt trời có chức năng tiếp nhận nguồn năng lượng từ Pin mặt trời để nạp điện cho Pin, đây là hai khối chức năng không bắt buộc phải có, và cũng có thể dùng các phương pháp lấy nguồn năng lượng khác như gió, RF,… Pin là phần tử bắt buộc phải có để đảm nhiệm chức năng cung cấp nguồn điện cho toàn bộ nút cảm biến. Khối khoanh vùng thứ hai là khối điều khiển cấp nguồn cho khối MCU và RF, bao gồm một điện trở nhiệt (ở đây dùng điện trở nhiệt NTC-10K) sẽ thay đổi nội trở của mình theo nhiệt độ môi trường, một tụ điện C là tụ nạp xả phối hợp với biến trở nhiệt quyết định chu kì xung cấp nguồn tới MCU và RF, một bộ so sánh điện áp sẽ so sánh hai ngưỡng điện áp V_H và V_L để đưa ra quyết định chuyển mạch nguồn, một LDO, đây là một IC ổn áp với hiệu suất cao, dòng rò rất nhỏ để đạt tối ưu về mặt năng lượng tiêu thụ. Khối khoanh vùng thứ ba là khối MCU và RF, trong đó, MCU là khối khả trình cho phép đặt ID cho từng nút, khối RF đảm nhiệm phát giá trị ID của nút.

Nguyên lý hoạt động của cảm biến nhịp nhiệt độ như sau. Từ nguồn pin, tụ điện C sẽ được nạp điện áp thông qua biến trở nhiệt, khi điện áp $V_{st} = 2/3V_{cc}$, bộ so sánh ngưỡng điện áp sẽ kích xung vào chân EN của LDO lên mức cao, lúc này LDO sẽ cấp nguồn tới MCU và RF trong một khoảng thời gian t_H đủ lớn để khối RF phát đi thành công giá trị ID của nó. Khi $V_{st} = 1/3V_{cc}$, bộ so sánh ngưỡng sẽ đưa chân EN về mức thấp, ngắt nguồn khỏi các khối MCU và RF, khoảng thời gian này là t_L, sau đó lại lặp lại chu trình nạp điện áp vào tụ điện. Khoảng thời gian cấp nguồn cho khối MCU và RF chính là thời gian xả điện áp ở tụ từ mức $2/3V_{cc}$ về mức $1/3V_{cc}$.

Khoảng thời gian giữa 2 lần máy thu nhận giá trị ID sẽ là $t = t_L + t_H$. Trong đó, t_H ta sẽ thiết kế cố định, t_L thay đổi theo tham số vật lý của biến trở nhiệt. Các giá trị thời gian này được tính gồm: $t_L = R_t C$ và $t_H = R_A C$, trong đó, R_t là giá trị nội trở của điện trở nhiệt, R_A là giá trị nội trở của chiết áp vi chỉnh. Để thay đổi thời gian cấp nguồn thì ta sẽ thay đổi R_A vì mỗi nút đã có giá trị C cố định. Do đó, dựa vào các kết quả đo t thì ta hoàn toàn có thể xác định được tham số của cảm biến.

Hình 3 thể hiện dạng sóng tín hiệu của cảm biến nhịp nhiệt độ đề xuất. Tín hiệu V_{EN} là tín hiệu điện áp điều khiển nguồn cung cấp cho khối MCU và RF, V_{st} là tín hiệu điện áp tại tụ nạp xả. Tín hiệu V_{EN} bắt đầu chuyển lên mức cao khi $V_{st} = V_H$ và chuyển xuống mức thấp khi $V_{st} = V_L$. Quá trình cứ liên tiếp lặp lại như vậy tạo nên chu trình nhịp lên xuống, đây cũng chính là lý do mà nó được gọi là cảm biến nhịp.



Hình 3. *Tín hiệu dạng sóng của cảm biến nhịp nhiệt độ.*

Khoảng thời gian t giữa hai lần phát tín hiệu ID của nút phụ thuộc vào giá trị nhiệt độ. Máy thu sẽ căn cứ vào giá trị t nhận được này để tính ra giá trị nhiệt độ của môi trường hiện tại. Bảng 1 thể hiện các hàm số nội suy để xác định giá trị nhiệt độ tương ứng với khoảng thời gian t tương ứng với từng dải nhiệt để phục vụ tính ra giá trị nhiệt độ cụ thể.

Để xây dựng được hàm này, tác giả đã phải sử dụng đến buồng đo nhiệt chuẩn MicroCal T100, xây dựng bảng giá trị khoảng thời gian ID tương ứng với giá trị nhiệt độ từ -20°C đến 50°C, bước nhiệt mỗi lần đo là 0,5°C. Sau đó, sử dụng phép nội suy để xây dựng lên các hàm số cho từng khoảng nhiệt độ cụ thể.

Bảng 1. *Các hàm số tính giá trị nhiệt độ tương ứng với khoảng thời gian t, theo từng dải nhiệt, đối với nút cảm biến nhịp nhiệt độ sử dụng tụ 470uF.*

Dải nhiệt độ [°C]	**Hàm số tương ứng (C = 470 uF) (Nhiệt độ [°C], t [s])**
-20,0 đến -10,1	Nhiệt độ = $15,205 - 1,74t + 0,02t^2$
-10,0 đến -0,1	Nhiệt độ = $27,385 - 3,09t + 0,06t^2$
0 đến +9,9	Nhiệt độ = $40,635 - 5,48t + 0,16t^2$
+10 đến +19,9	Nhiệt độ = $55,584 - 9,70t + 0,46t^2$
+20 đến +29,9	Nhiệt độ = $75,843 - 18,22t + 1,36t^2$
+30 đến +39,9	Nhiệt độ = $91,665 - 28,12t + 2,89t^2$
+40 đến +50	Nhiệt độ = $118,236 - 49,08t + 7,02t^2$

3. TRUYỀN THÔNG CỰ LY XA TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG VỚI LORA VÀ CẢM BIẾN NHỊP

Để thực thi hệ thống giám sát IoT cự ly xa, chúng tôi đề xuất sử dụng công nghệ LoRa cho các ứng dụng cảm biến nhịp. Để thực hiện hệ thống đề xuất, tác giả đã sử dụng bộ KIT S78SXB của hãng ACSIP. KIT này là một phần cứng thích hợp cho mục đích triển khai và thử nghiệm, sử dụng giao thức LoRa WAN. Module này có mức tiêu thụ công suất rất thấp và cự ly liên lạc xa. Trong thử nghiệm này, với giải pháp không sử dụng IC khuếch đại công suất, cự ly liên lạc điểm-tới-điểm tối đa là 1700 m. Tác giả đã thiết kế hoàn chỉnh

04 nút cảm biến nhịp nhiệt độ, tất cả các nút đã thiết lập cho module LoRa hoạt động ở tần số 433MHz, hệ số trải phổ SF=12 và băng thông 500 KHz. Kết quả triển khai và đo đạc được thể hiện trên hình 4. Mức tiêu thụ năng lượng của một nút cảm biến nhịp nhiệt độ sử dụng tụ C có giá trị 470µF được thể hiện trên hình 5 và phép đo được thực hiện khi nhiệt độ môi trường là 22°C.

Để xây dựng đồ thị trên, nhóm tác giả đã đo đạc và nhập kết quả đo vào phần mềm vẽ đồ thị OriginLab có hỗ trợ các công cụ giúp tính tích phân hàm số trong các khoảng thời gian tùy ý. Ở hình trên, phép tính tích phân cho phép đưa ra kết quả công suất tiêu thụ (phần diện tích chính là kết quả phép tính tích phân này). Năng lượng tiêu tốn để phát ID của nút đo được như trên hình 5 là 0,05462 Ws hay 0,05462 J (54,62 mJ). Còn năng lượng tiêu thụ trong khoảng nút không phát ID tính trong 1s đo được là 0,00315 Ws (3,15 mJ). Hình nhỏ bên trái là phóng to phần tính năng lượng tiêu thụ khi nút không phát ID trong khoảng 1s, ta có thể thấy dòng tiêu thụ khi nút không phát ID là rất bé, xấp xỉ 0. Đây chính là ưu điểm rất lớn của cảm biến nhịp, nút cảm biến gần như không tiêu thụ nguồn trong khoảng thời gian nghỉ, và chỉ tiêu thụ nguồn trong một khoảng thời gian nhất định. Tần suất phát ID sẽ phụ thuộc theo giá trị nhiệt độ hiện tại của môi trường cần đo và giá trị tụ nạp xả C mà nút đang sử dụng. Trong khi đó, các cảm biến nhiệt độ thông thường với chức năng tương tự có dòng tiêu thụ cỡ 10 mA [5], ứng với công suất tiêu thụ 37 mW và lớn hơn rất nhiều lần so với cảm biến nhịp trong bài báo này.

Tính toán năng lượng dự trữ của pin cho nút, pin có dung lượng C = 2000 mAh (2 Ah), U = 3,7 V. Nút sẽ ngừng hoạt động nếu điện áp của pin nhỏ hơn 3,3V, ta có thể tra cứu đặc tính của một số pin 3,7 V khi điện áp pin giảm đến 3,3 V thì hiệu suất sử dụng pin của sẽ đạt khoảng 80%. Do đó, năng lượng dự trữ của pin sẽ là:

$$C \times U \times 80\% = 2 \times 3,7 \times 80\% = 5,92\,(\text{Wh}) = 21312\ (\text{Ws})$$

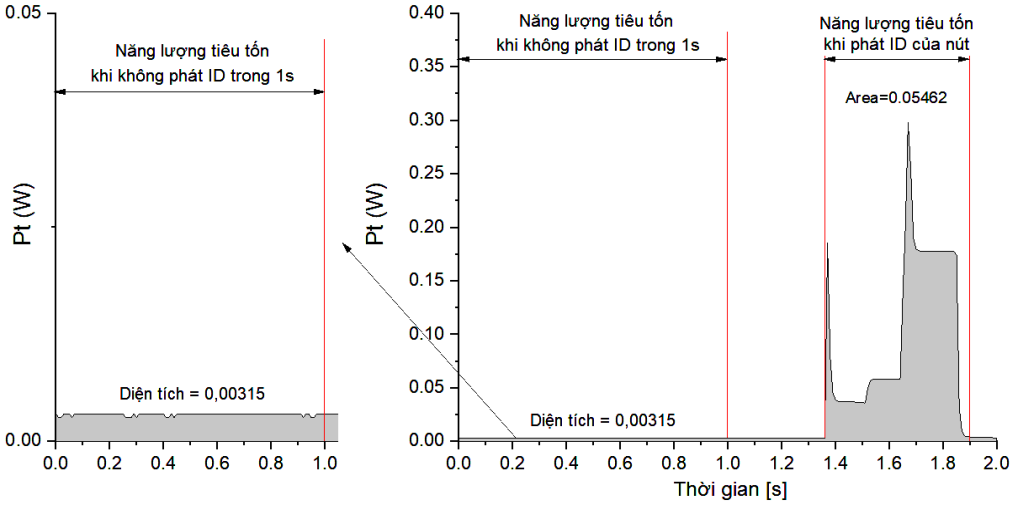


Hình 4. *Hệ thống giám sát IoT với cảm biến nhịp nhiệt độ và giao thức LoRa.*

Giả sử nhiệt độ trung bình trong năm tại điểm đo là 25°C, dựa trên các tham số tiêu thụ năng lượng như trên đã tính được ta tiến hành tính toán số thời gian mà nút sử dụng tụ nạp xả C có giá trị 470uF có thể hoạt động như sau:

Nhiệt độ trung bình = 25°C, thời gian phát ID trung bình t = 3,96 (s), vì vậy, trong một

ngày cảm biến sẽ phát số lần là: $\frac{86400}{3,96} = 21818,2$ (lần). Vì vậy, năng lượng trung bình tiêu tốn cho phần phát ID trong một ngày sẽ là: $21818,2 \times 0,05462\,(\text{Ws}) = 1191,7\,(\text{Ws})$.



Hình 5. *Năng lượng tiêu thụ của nút cảm biến nhịp nhiệt độ sử dụng tụ C có giá trị 470 uF, tại nhiệt độ đo 22°C.*

Thời gian phát ID như trên hình 5 ta thấy là $0,54\,(\text{s})$, thời gian không phát ID sẽ là: $3,96 - 0,54 = 3,42\,(\text{s})$, mặt khác, ta đã có năng lượng trung bình tiêu tốn trong một giây đã tính ở trên, do đó, có năng lượng trung bình tiêu tốn cho mỗi lần nghỉ sẽ là $3,42 \times 0,00315\,(\text{Ws}) = 0,010773\,(\text{Ws})$. Vậy, năng lượng trung bình tiêu tốn cho phần nghỉ trong một ngày sẽ là:

$$21818,2 \times 0,0010773\,(\text{Ws}) = 235,047\,(\text{Ws})$$

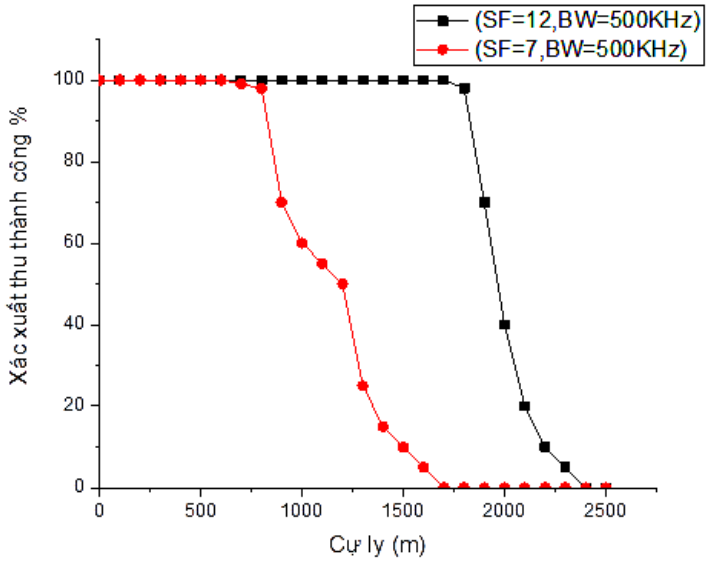
Như vậy, năng lượng tiêu tốn trung bình trong một ngày của nút cảm biến sẽ là: $1191,7 + 235,047 = 1426,747\,(\text{Ws})$.

Do đó, thời gian mà nút có thể hoạt động có thể được ước lượng một cách gần đúng là:

$$\frac{21312}{1426,047} \simeq 14,945\,(\text{ngày})$$

Hình 6 thể hiện kết quả đo thực tế mối quan hệ giữa cư ly liên lạc với xác xuất truyền thành công từ phía máy phát tới máy thu ở hai trường hợp cài đặt hệ số trải phổ (SF: *Spectrum spreading factor*) khác nhau với băng thông (BW: *Bandwidth*) đặt cố định là 500KHz. Để có được kết quả đo này tác giả đã đặt nút cảm biến cách nút thu trung tâm lần lượt ở các cự ly từ 100m, 200m,... đến 2500m, cho phía nút cảm biến phát 200 lần ID của nó rồi kiểm soát số lần thu thành công tại trung tâm, sau đó, tính xác suất thu thành công trong hai trường hợp SF=7, BW=500kHz và SF=12, BW=500kHz. Ta có thể thấy rằng với cùng một xác suất thu thành công, hệ số trải phổ càng lớn thì cự ly liên lạc của hệ thống càng cao.

Phần trung tâm xử lý dữ liệu là máy tính nhúng loại Raspberry Pi 3 mode B+. Với nền tảng hệ điều hành Linux, tốc độ xử lý cao và giao diện phần cứng được hỗ trợ đầy đủ, Raspberry Pi có thể đảm nhiệm vai trò của một IoT Server qui mô nhỏ cho ứng dụng của bài báo này.



Hình 6. *Kết quả đo thực tế giữa cự ly và xác suất thu thành công trong hai trường hợp SF=7 và SF=12, cố định băng thông là 500KHz.*

4. KẾT LUẬN

Bài báo này đã trình bày một thiết kế mới và kết quả thử nghiệm cảm biến nhịp nhiệt độ cho hệ thống giám sát môi trường thông minh trên nền tảng IoT. Cảm biến nhịp nhiệt độ có thể giám sát tốt với dải nhiệt độ từ -20°C đến 50°C với độ chính xác ±0,5°C. Cảm biến có thể ứng dụng để đo tham số dựa trên thay đổi giá trị nội trở của phần tử đo. Cảm biến nhịp có giá thánh thấp, công suất tiêu thụ nhỏ và kích thước cảm biến IoT nhỏ, có tiềm năng lớn trong hệ thống giám sát và cảnh báo hạn hạn thông minh. Hơn nữa, giao thức truyền thông LoRa đã được sử dụng để xây dựng một hệ thống giám sát thông minh, cự ly xa và tiết kiệm năng lượng. Bước tiếp theo tác giả sẽ thiết kế các nút cảm biến lượng mưa, độ ẩm theo nguyên lý cảm biến nhịp để tạo nên một hệ thống giám sát cảnh báo hạn hán thông minh trên nền tảng IoT hoàn chỉnh. Hơn nữa, nhóm tác giả cũng dự định sẽ áp dụng các phương pháp bảo mật dữ liệu như trong [6] cho hệ thống IoT này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Dave Evans, *"The Internet of Things - How the Next Evolution of the Internet is Changing Everything,"* Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG), 2011.

[2]. A. Kamilaris and A. Pitsillides, *"Mobile Phone Computing and the Internet of Things: A Survey,"* in IEEE Internet of Things Journal, vol. 3, no. 6, pp. 885-898, Dec. 2016.

[3]. Van-Lan Dao and Van-Phuc Hoang, *"A Smart Delivery System Using Internet of Things",* IEEE 7th International Conference on Integrated Circuits, Design, and Verification (ICDV2017), pp. 58-63, Oct. 2017.

[4]. R. Takitoge, K. Ishibashi et. al., *"Temperature Beat: Persistent and Energy Harvesting Wireless Temperature Sensing Scheme,"* IEEE SENSORS, Orlando, 2016.

[5]. Van-Phuc Hoang, Minh-Hong Nguyen, Thanh Quan Do, Dinh-Nhan Le and Du Duong Bui, *"A Long Range, Energy Efficient Internet of Things Based Drought Monitoring System,"* International Journal of Electrical and Computer Engineering, vol. 10, no. 22, pp.1278-1287, Apr. 2020.

[6]. V. P. Hoang, V. L. Dao and C. K. Pham, *"Design of ultra-low power AES encryption cores with silicon demonstration in SOTB CMOS process,"* in Electronics Letters, ISSN: 0013-5194, vol. 53, no. 23, pp. 1512-1514, Nov. 2017.

ABSTRACT

DESIGN OF TEMPERATURE SENSOR WITH BEAT PRINCIPLE
FOR APPLICATIONS IN SMART MONITORING SYSTEMS

The Beat sensor is a new technique suitable for applications in smart environment monitoring with the requirements of low power consumption and compact IoT sensor circuits. This paper proposed and verified a new solution for designing an efficient temperature sensor based on the Beat sensor principle to sense the temperature range from -20°C to 50°C with suitable accuracy. The experimental results have clarified this Beat sensor's high potential for applications in smart environment monitoring systems. Moreover, the long-range wireless communication protocol (LoRa) is proposed for this long-range, energy efficient smart monitoring system.

Keywords: IoT; Beat sensor; Smart monitoring; LoRa.

Nhận bài ngày 12 tháng 3 năm 2020
Hoàn thiện ngày 13 tháng 4 năm 2020
Chấp nhận đăng ngày 15 tháng 10 năm 2020

Địa chỉ: [1]Viện Tích hợp hệ thống, Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn;
[2]Khoa Vô tuyến Điện tử, Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn;
[3]Trung tâm Kỹ thuật thông tin Công nghệ cao, Binh chủng Thông tin Liên lạc.
*Email: phuchv@lqdtu.edu.vn.