

KHẢO SÁT ĐỘ TRỄ ĐƯỜNG TRUYỀN HỆ THỐNG IOT THEO TIÊU CHUẨN ZIGBEE

Nguyễn Đăng Thông, Dương Thị Tuyết Mai
Trường Đại học sư phạm Kỹ thuật Vinh

Tóm tắt: Internet of Things (IoT) là mạng lưới các thiết bị được kết nối internet để truyền tải dữ liệu với nhau mà không cần đến sự tương tác trực tiếp giữa người với người, hay giữa người với máy tính. Độ trễ mạng, một yếu tố quan trọng trong các ứng dụng IoT, đặc biệt là Internet vạn vật, có thể tạo ra những tác động tiêu cực đáng kể. Do đó trong khuôn khổ bài viết này nhóm tác giả khảo sát độ trễ trong hệ thống IoT theo chuẩn Zigbee.

Từ khóa: IoT; Chuẩn Zigbee 802.15.4; độ trễ; truyền dẫn không dây

SURVEY ON TRANSMISSION LATENCY IN IOT SYSTEMS ACCORDING TO ZIGBEE STANDARD

Nguyen Dang Thong, Duong Thi Tuyet Mai
Vinh University of Technology Education

Abstract: The Internet of Things (IoT) is a network of devices connected via the internet that transmit data with one another without the need for direct human-to-human or human-to-computer interaction. Network latency, a critical factor in IoT applications—especially in the Internet of Everything—can have significant negative impacts. Therefore, within the scope of this paper, the authors conduct a survey on latency in IoT systems using the Zigbee standard.

Keywords: IoT; Zigbee 802.15.4 standard; latency; wireless transmission

Nhận bài: 18/03/2025

Phản biện: 17/04/2025

Duyệt đăng: 20/04/2025

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

IoT là một khái niệm mô tả mạng lưới các thiết bị vật lý được kết nối với nhau và có khả năng thu thập, trao đổi dữ liệu thông qua mạng internet. Các thiết bị này bao gồm các cảm biến, thiết bị điện tử, phần mềm và các công nghệ khác nhằm mục đích tạo ra một hệ thống thông minh và tự động hóa. IoT cho phép các thiết bị này giao tiếp không chỉ với con người mà còn với nhau, mang lại khả năng giám sát, điều khiển và phân tích thông tin trong thời gian thực. Điều này mở ra nhiều ứng dụng tiềm năng trong nhiều lĩnh vực như y tế, nông nghiệp, giao thông, nhà thông minh và công nghiệp sản xuất, góp phần nâng cao hiệu quả, tiết kiệm chi phí và cải thiện chất lượng cuộc sống.

Zigbee là một trong những tiêu chuẩn kết nối IoT được sử dụng rộng rãi trên toàn cầu. Với khả năng tiết kiệm năng lượng, phạm vi truyền dẫn rộng và chi phí thấp, Zigbee đã trở thành một lựa chọn phổ biến cho việc triển khai các hệ thống IoT. Bộ tiêu chuẩn Zigbee ra đời từ sự nỗ lực phát triển của Zigbee Alliance vào năm 2004, khi mà cộng đồng khoa học và công nghệ nhận ra rằng các phương tiện truyền thông như Wifi và Bluetooth đều có những hạn chế khi áp dụng vào nhiều ứng dụng trong lĩnh vực công nghiệp. Zigbee đã được điều chỉnh và cung cấp một giải pháp linh hoạt, đáp ứng được yêu cầu đặc biệt của các ứng dụng IoT, từ đó giúp tăng cường hiệu suất và khả năng kết nối cho các hệ thống thông minh và tự động hóa.

II. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

2.1. Độ trễ trong hệ thống IOT

2.1.1. Khái niệm về độ trễ

Độ trễ mạng, một yếu tố quan trọng trong các ứng dụng IoT, đặc biệt là Internet vạn vật, có thể tạo ra những tác động tiêu cực đáng kể. Trước hết, độ trễ mạng cao có thể làm giảm hiệu suất của hệ thống, dẫn đến hoạt động chậm chạp và không hiệu quả. Bên cạnh đó, nó cũng có thể gây ra gián đoạn trong việc truyền dữ liệu, làm mất hoặc hỏng thông tin và gây ra sự không nhất quán. Việc đồng bộ hóa dữ liệu giữa các thiết bị cũng có thể gặp khó khăn, tiềm tàng gây ra mất thông tin quan trọng.

Do đó, việc giảm thiểu độ trễ mạng là điều cần thiết để đảm bảo hiệu quả hoạt động và trải nghiệm người dùng tối ưu trong các ứng dụng IoT.

2.1.2. Khái niệm độ trễ trọn vòng từ đầu đến cuối

Độ trễ trọn vòng (RTT: Round Trip Time) là một khái niệm quan trọng trong mạng máy tính, đo lường thời gian mà một gói tin mạng mất để đi từ điểm bắt đầu (đầu cuối) đến điểm kết thúc (đầu cuối khác) và quay trở lại. RTT thường được sử dụng để đánh giá hiệu suất và độ trễ của mạng, cũng như ảnh hưởng của các yếu tố mạng khác nhau đến trải nghiệm người dùng.

Trong quá trình truyền thông mạng, RTT bắt đầu khi một máy tính hoặc thiết bị gửi một gói tin đến một đích. Gói tin sẽ di chuyển qua các thiết bị mạng trung gian, như bộ định tuyến và công cụ tường lửa, trước khi đến đích. Khi đích nhận được

gói tin, nó sẽ gửi lại một phản hồi, mà thường là một gói tin tin nhắn hoặc một phần của dữ liệu yêu cầu ban đầu. Thời gian mà gói tin mất để đi từ máy gửi đến máy nhận và quay trở lại được gọi là RTT.

Để giảm thiểu RTT và cải thiện hiệu suất mạng, các quản trị viên mạng thường thực hiện các biện pháp như tối ưu hóa định tuyến mạng, sử dụng công nghệ bộ định tuyến nhanh chóng và thiết lập các máy chủ gần nhau vật lý hoặc logic với người dùng. Đồng thời, việc sử dụng công cụ giám sát mạng để theo dõi và phân tích RTT cũng là một phương tiện quan trọng để duy trì và cải thiện hiệu suất mạng trong môi trường hoạt động thực tế.

2.1.3. Nhân tố ảnh hưởng đến độ trễ đường truyền

Trước tiên, topology mạng đóng vai trò quan trọng. Số lượng thiết bị trung gian trong mạng, như Router và Coordinator, cũng như khoảng cách giữa các thiết bị có thể ảnh hưởng đến độ trễ. Nếu mạng có nhiều thiết bị trung gian hoặc các thiết bị được đặt xa nhau, độ trễ có thể tăng do tín hiệu cần phải truyền qua nhiều điểm trung gian hoặc quãng đường truyền dài.

Thứ hai, giao thức truyền thông Zigbee, như IEEE 802.15.4, cũng đóng vai trò quan trọng. Các yếu tố như tốc độ dữ liệu và kích thước gói dữ liệu có thể ảnh hưởng đến độ trễ. Tuy nhiên, tốc độ cao thường dẫn đến độ trễ thấp hơn, nhưng có thể tiêu tốn nhiều năng lượng hơn, trong khi kích thước gói dữ liệu lớn có thể tăng độ trễ do thời gian truyền dài hơn.

Cuối cùng, phần cứng và phần mềm của các

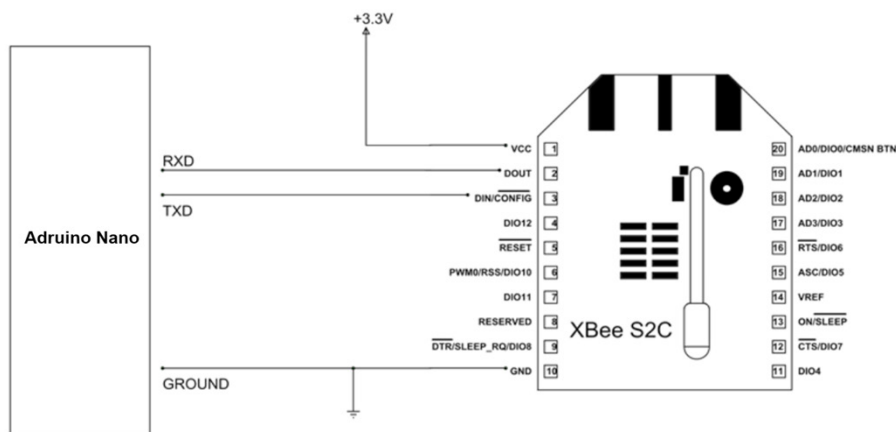
thiết bị Zigbee cũng ảnh hưởng đến độ trễ. Hiệu suất của các thiết bị, bao gồm cả bộ thu phát, bộ xử lý và bộ nhớ, cũng như phần mềm mạng như firmware và trình điều khiển thiết bị, đều có thể ảnh hưởng đến độ trễ và hiệu suất tổng thể của mạng Zigbee.

2.2. Phương pháp đo độ trễ

Phương pháp đo độ trễ của Module XBee trong Các loại Topology là phương pháp RTT. Trong hệ thống mạng không dây sử dụng module XBee, việc đo độ trễ là một yếu tố quan trọng để đánh giá hiệu suất và độ ổn định của kết nối. Một trong những phương pháp phổ biến để đo độ trễ là sử dụng giao thức ping (RTT).

Ping (Packet Internet Groper) được sử dụng rộng rãi để kiểm tra tính kết nối và đo độ trễ giữa hai thiết bị trong mạng. Trong phương pháp này, một gói tin ping được gửi từ một thiết bị nguồn đến một đích và thời gian mà gói tin mất để đi từ nguồn đến đích rồi quay trở lại được đo làm thời gian (RTT). Trong mạng sử dụng module XBee, ping có thể được sử dụng để đo độ trễ giữa hai thiết bị XBee hoặc giữa một thiết bị XBee và một thiết bị mạng khác như máy tính hoặc thiết bị mạng IoT khác. Bằng cách này, ta có thể đánh giá được sự ổn định của kết nối và tối ưu hóa hiệu suất truyền dữ liệu trong mạng XBee.

Để thực hiện đo độ trễ trong mạng sử dụng module XBee, ta đã tiến hành một thử nghiệm thực tế bằng cách kết nối một module XBee S2C với một bo mạch Arduino. Trong thử nghiệm này đã được thực hiện các bước sau:



Hình 1: Kết nối Xbee S2C với Aduino Nano

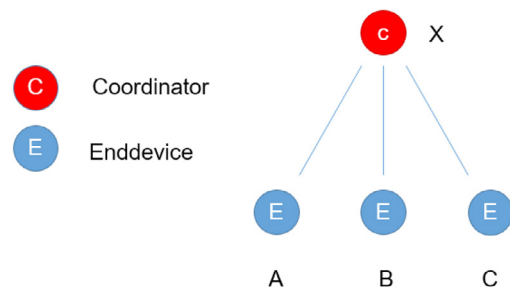
2.3. Mô hình khảo sát.

2.3.1. Thiết kế các mô hình topology

a. Topology 1

Dựa trên cấu trúc của mạng lưới Star, topology

1 được thiết kế với một điểm trung tâm là Coordinator và ba thiết bị cuối là Enddevice được kết nối trực tiếp với Coordinator. Quá trình gửi tín hiệu như hình 2:

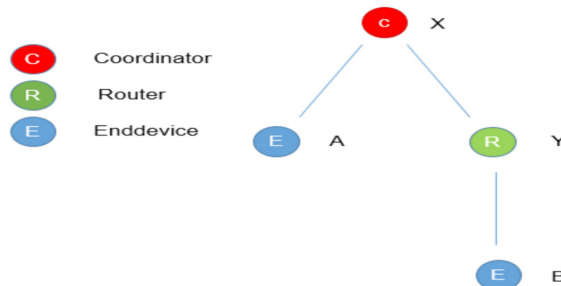


Hình 2: Topology 1

b. Topology 2.

Dựa trên cấu trúc của mạng lưới Tree, topology này được thiết kế với bốn nút, bao gồm 1 Coordinator, 1 Router và 2 Enddevice. Enddevice A được kết nối trực tiếp với Coordinator, trong

khí Enddevice B được kết nối với Router. Router cũng được kết nối với Coordinator, tạo thành một cấu trúc mạng lưới hiệu quả và linh hoạt. Quá trình gửi tín hiệu từ End Device A đến End Device B diễn ra như hình 3:

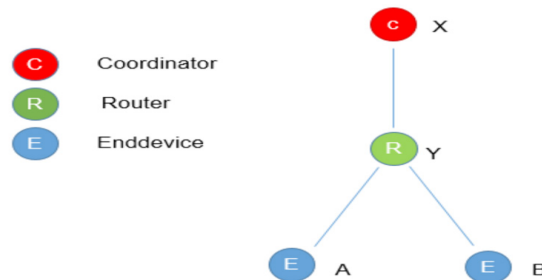


Hình 3: Topology 2

c. Topology 3

Dựa trên cấu trúc của mạng lưới Tree, topology này được thiết kế với bốn nút, bao gồm 1 Coordinator, 1 Router và 2 Enddevice. Cả Enddevice A và End Device B đều được kết nối trực tiếp với Router và

Router này lại kết nối với Coordinator. Điều này tạo ra một cấu trúc mạng lưới linh hoạt và phân tán, cho phép truyền thông dễ dàng giữa các nút trong mạng. Quá trình truyền tín hiệu từ Enddevice 1 đến Enddevice 2 diễn ra như hình 4:



Hình 4: Topology 3

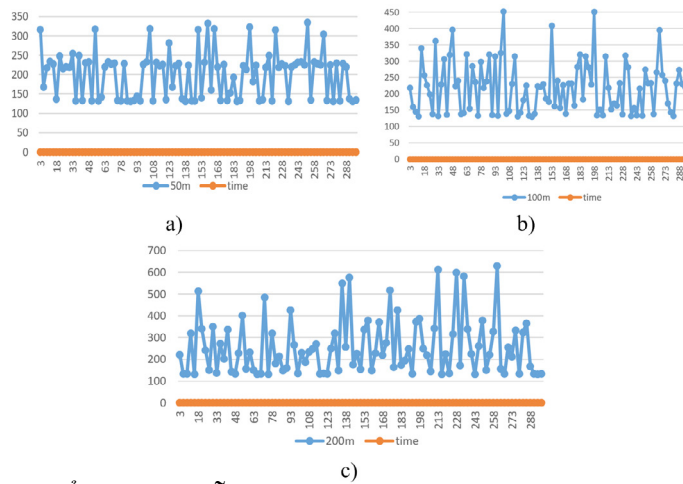
2.3.2. Thiết kế bài đo

Khảo sát khả năng hoạt động của module XBee S2C trong các điều kiện môi trường ngoài trời không có vật cản thì kết nối không dây thường đạt được hiệu suất tốt hơn. Tuy nhiên, trong các ứng dụng thực tế, kết nối thường phải vượt qua các rào cản như cây cối, tòa nhà, hoặc sự che chắn của địa hình. Đã tiến hành đo độ trễ ở các cự ly khác nhau để đánh giá khả năng hoạt động của module XBee trong điều kiện môi trường ngoài trời. Các cự ly được chọn bao gồm 50m, 100m và 200m, phản ánh các khoảng cách thực tế mà một hệ thống mạng có thể phải vận hành trong các ứng dụng ngoài trời, trong không gian này các

node được đặt cách đều nhau theo từng khoảng cách khác nhau.

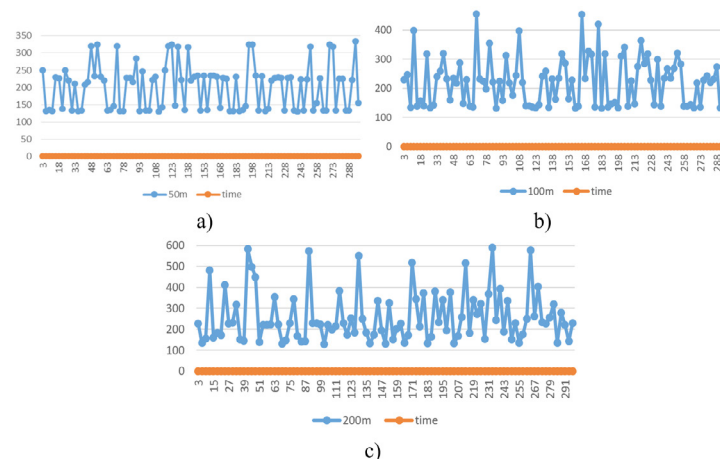
2.4. Kết quả mô phỏng**2.4.1. Đo thời gian trễ**

Dưới đây là các kết quả đo thời gian trễ trọn vòng (RTT) từ điểm A (End 1) đến điểm B (End 2) với khoảng cách các node (End A - Coor - End B) bằng nhau topology 1 được biểu diễn bằng các đồ thị dưới đây, đồ thị thể hiện sự thay đổi của độ trễ mạng theo thời gian cho các khoảng cách khác nhau từ 50m, 100m đến 200m, trục hoành biểu thị thời gian (mỗi 3 giây) và trục tung biểu thị độ trễ (ms):



Hình 6: Đồ thị thể hiện độ trễ Topology 2 với khoảng cách: a) 50m; b) 100m; c) 200m.

Đo độ trễ Topology 3:



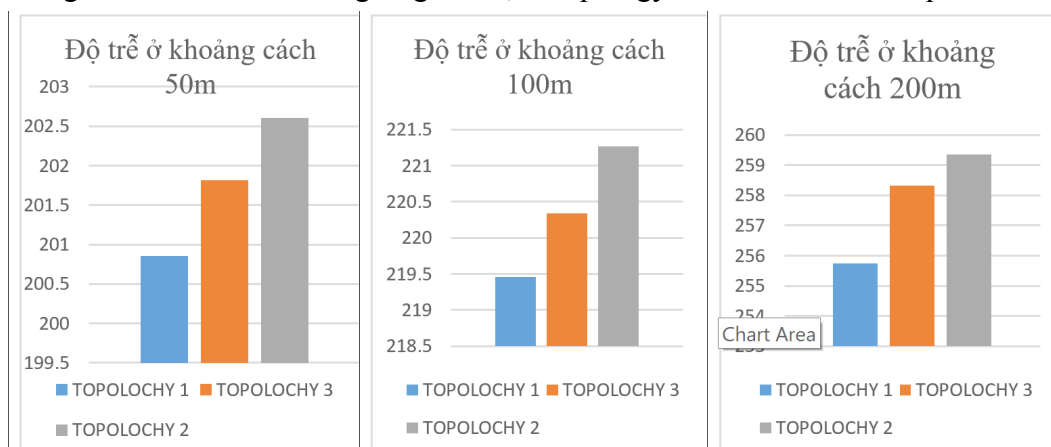
Hình 7: Đồ thị thể hiện độ trễ Topology 3 với khoảng cách: a) 50m; b) 100m; c) 200m.

Dựa trên dữ liệu đồ thị, rõ ràng thấy độ trễ của mạng tăng theo chiều dài khoảng cách. Điều đáng chú ý là sự động chuyển đáng kể trong độ trễ, đặc biệt là ở các khoảng cách 100m và 200m. Trong phạm vi nghiên cứu, khoảng cách 200m nổi lên với độ trễ trung bình cao nhất, đạt khoảng 258 (ms), cùng với mức biến động lớn nhất. Điều này phản ánh một ảnh hưởng rõ rệt của khoảng cách lên độ trễ mạng. Ngoài ra,

khoảng cách 100m có độ trễ trung bình khoảng 220 (ms), vượt cao hơn so với khoảng cách 50m với độ trễ trung bình khoảng 201 (ms), và cũng có sự biến động đáng kể. Kết quả này mạnh mẽ cho thấy sự tăng lên đáng kể của độ trễ khi khoảng cách gia tăng.

2.4.2. Đo thời gian trễ trung bình

Dưới đây là thời gian trễ trung bình của các Topology trên được thể hiện qua đồ thị này:



Hình 8: Đồ thị thể hiện độ trễ trung bình của các Topology trong không gian tự do

Dựa trên đồ thị, ta có thể nhận ra một số điểm nổi bật về độ trễ mạng của topology (Topology 1, Topology 2 và Topology 3) khi truyền dẫn dữ liệu qua các khoảng cách 50m, 100m và 200m: Độ trễ mạng của cả 3 topology đều có xu hướng tăng dần theo khoảng cách: Topology 1 thường có độ trễ thấp nhất, sau đó là Topology 2, và Topology 3 có độ trễ cao nhất trong ba loại, Topology 1 và Topology 3 đều đòi hỏi dữ liệu đi qua 3 nút, trong khi Topology 2 yêu cầu dữ liệu đi qua 4 nút. Do đó, số lượng nút mà dữ liệu phải đi qua đóng vai trò quan trọng trong việc ảnh hưởng đến độ trễ mạng. Khi khoảng cách truyền dẫn tăng lên, việc tăng số lượng nút mà dữ liệu phải đi qua cũng dẫn

đến sự gia tăng độ trễ. Do đó, Topology 2 có độ trễ cao nhất trong cả ba loại do yêu cầu dữ liệu đi qua một số lượng nút nhiều hơn so với hai Topology còn lại.

III. KẾT LUẬN

Zigbee là một giao thức tiêu chuẩn phổ biến trong lĩnh vực IoT, khoảng cách truyền dài của Zigbee là một ưu điểm đặc biệt quan trọng khi triển khai hệ thống IoT trong các khu vực rộng lớn hoặc có nhiều cấu trúc vật lý phức tạp. Zigbee có thể truyền dẫn dữ liệu qua các vật cản như tường hoặc cấu trúc kim loại một cách hiệu quả, cho phép nó hoạt động tốt trong các môi trường có nhiều ngõ ngách hoặc vùng địa lý khó tiếp cận.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Tất Bảo Thiện, *Lập trình hệ thống nhúng với Raspberry*, NXB Thanh Niên. Hà Nội, 2019
- [2]. Simon Martin, *Raspberry Pi Camera Module 3*. Raspberry Pi Foundation, United Kingdom, 2023.
- [3]. Mahmoud Al-Ali, Philip Havinga, *Zigbee Wireless Networking*, United Kingdom, 2011.
- [4]. ZigBee là gì? Ứng dụng của ZigBee trong nhà thông minh (sonoff.vn)
- [5]. Cách cấu hình Mô-đun ZigBee/Xbee Pro: Tất cả thông tin chi tiết cần biết về (robu.in)
- [6]. Cách thiết lập mô-đun XBee với Arduino | Arduino | Nhà sản xuất Pro (maker.pro)