

Khảo sát tác động của nhiễu và hiện tượng Fading lên kênh truyền mạng ZigBee

1. Phân công công việc trong nhóm

Thành viên	MSSV	Công việc	Tỉ lệ đóng góp
Trần Duy Nguyên	106220264	Viết tài liệu lý thuyết ZigBee, mô tả hệ thống, phân tích mô hình NS-3	33.3%
Trần Viết Thắng	106220234	Xây dựng mô hình mô phỏng, viết code mô phỏng ZigBee trên NS-3, thu thập dữ liệu	33.3%
Bùi Trịnh Thể Viên	106220276	Xử lý dữ liệu, trực quan hóa, phân tích kết quả và viết kết luận	33.3%

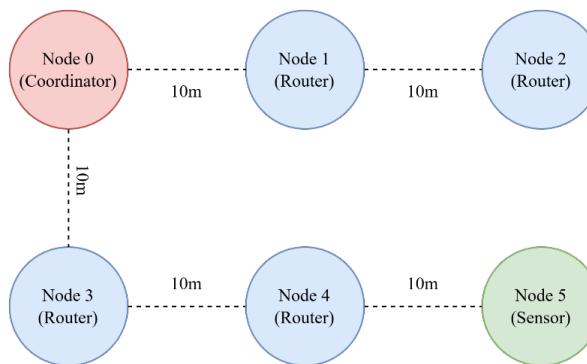
2. Nội dung chính đã thực hiện

2.1. Mô hình hệ thống/mạng

Nhóm xây dựng một topology mạng ZigBee trên NS-3.46, gồm:

- 01 Coordinator (node 0) – trung tâm xử lý dữ liệu
- 4 Router (node 1–4) – trung chuyển gói tin
- 01 Sensor (node 5) – gửi dữ liệu định kỳ

Topology dạng Many-to-One (Convergecast) theo bố trí Grid 3×2 với khoảng cách thay đổi từ 15–30 m.



Hình 3: Cấu trúc mạng mô phỏng

2.2. Kịch bản mô phỏng

Nhóm khảo sát 4 điều kiện kênh truyền, ta thấy có tổng cộng bốn kịch bản để khảo sát.

Noise	Fading	Ý nghĩa
0	0	Lý tưởng
1	0	Chỉ nhiễu Gaussian
0	1	Chỉ Rayleigh Fading

Noise	Fading	Ý nghĩa
1	1	Điều kiện thực tế

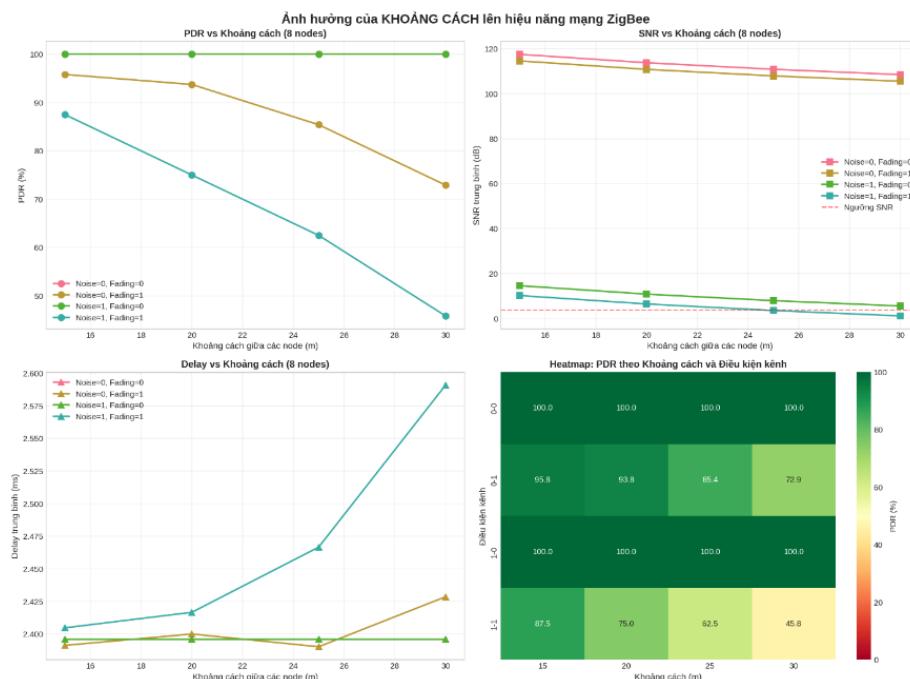
Các yếu tố khảo sát khác:

- Khoảng cách: 15 – 30 m
- Số lượng node: 4 – 10 nodes

Thông số đánh giá: Packet Delivery Rate (PDR), Signal-to-Noise Ratio (SNR), Độ trễ trong truyền gói tin (Delay).

3. Phân tích kết quả

3.1. Ảnh hưởng của khoảng cách



Hình 1. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của khoảng cách trong các điều kiện kênh truyền khác nhau.

Khảo sát PDR:

- Trong điều kiện kênh truyền lý tưởng hay chỉ có nhiễu Gaussian → PDR = 100% ở mọi khoảng cách.
- Trong điều kiện kênh truyền chỉ có hiện tượng Fading → PDR giảm còn khoảng 72% tại 30m.
- Đối với kênh truyền thực tế → PDR giảm mạnh xuống khoảng 45% tại 30m.
- Do đó nhiễu chỉ có tác động nhỏ, Fading là yếu tố gây suy giảm chính, đặc biệt khi khoảng cách lớn.

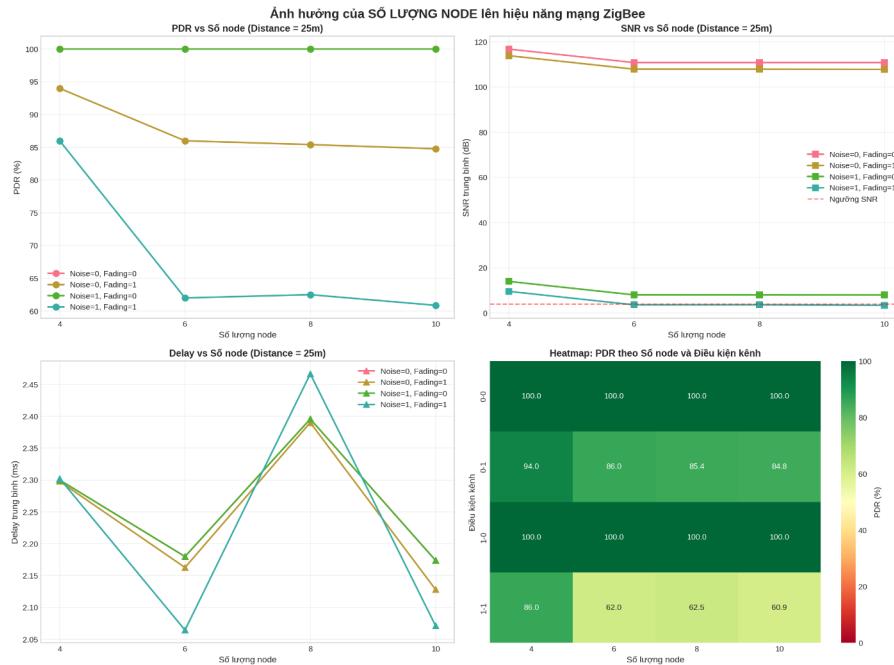
Khảo sát SNR:

- Khi khoảng cách của các node tăng lên thì SNR của kênh truyền trong các điều kiện khác nhau đều có xu hướng giảm nhưng gần như rất ít.
- Khi không có nhiễu chỉ số này dao động khi khoảng cách thay đổi từ: 105–117 dB.
- Khi có nhiễu: 4–15 dB, khoảng này gần sát ngưỡng dẫn đến dễ mất gói.
- Do đó nhiễu tác động lớn đến chỉ số này, làm chất lượng kênh truyền giảm, khoảng cách không ảnh hưởng lớn đến chỉ số này.

Khảo sát Delay:

- Độ trễ tương đối ổn định khi điều kiện kênh truyền tốt (xấp xỉ 2.39 ms) dù khoảng cách giữa các node có tăng lên.
- Đối với kênh truyền thực tế, khi khoảng cách càng lớn thì thời gian trễ do mất gói tăng lên .

3.2. Ảnh hưởng của số lượng node



Hình 2. Ảnh hưởng của số lượng node và điều kiện trên kênh truyền.

Khảo sát PDR:

- Trong điều kiện kênh truyền lý tưởng hay chỉ có Noise → Chỉ số PDR = 100% khi số lượng node thay đổi
- Khi chỉ có hiện tượng Fading → PDR giảm từ 94% (4 node) xuống khoảng 72% khi số lượng node tăng lên 10 node.
- Trong điều kiện thực tiễn → PDR giảm mạnh từ 86% khi tăng lên 4 node xuống ~61% khi tăng lên 10 node
- Do đó ngưỡng 4 node là tối ưu – từ 6 node, PDR giảm mạnh ảnh hưởng lớn đến hiệu suất kênh đặc biệt là khi đặt trong điều kiện có kênh truyền chịu tác động của các yếu tố thực tiễn.

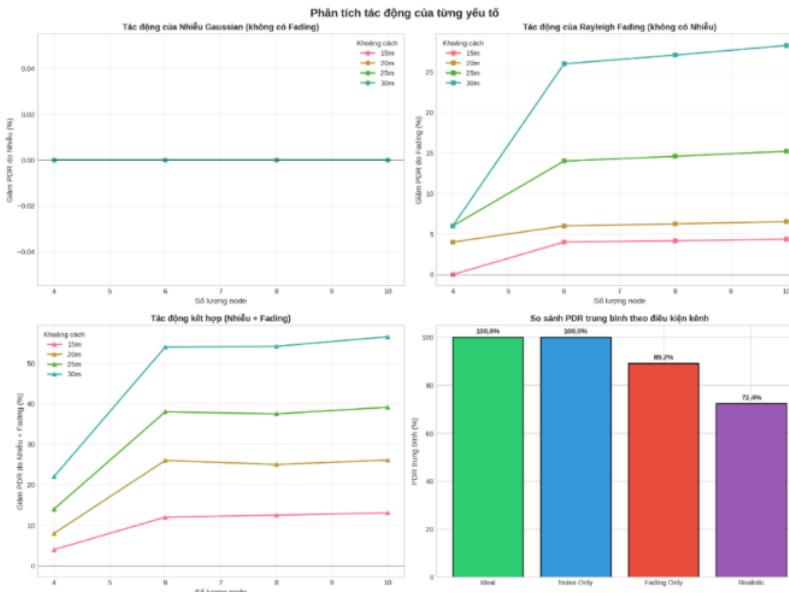
Khảo sát SNR:

- Trong điều kiện kênh truyền lý tưởng hay chỉ có hiện tượng Fading → Chỉ số SNR dao động từ 120 dB đến 117 dB khi số lượng node tăng lên.
- Khi có nhiễu → SNR rất thấp dưới 20 dB và càng giảm khi số lượng node tăng lên.
- Ta thấy rằng chỉ số SNR ảnh hưởng lớn bởi nhiễu trên kênh truyền.

Khảo sát Delay:

- Bất ổn nhất ở 8 nodes (delay tăng đột biến do vấn đề “congestions”)
- Trong khoảng từ 4 nodes đến 6 nodes delay ở mức chấp nhận được
- Trường hợp Delay giảm khi tăng đến 10 nodes có thể do cách thức routing được tối ưu hơn, dẫn đến việc delay giảm khi tăng 10 nodes.

3.4. Tác động riêng lẻ và kết hợp



Hình 4. Phân tích tác động của các yếu tố lên PDR của kênh

Ta có tác động của các yếu tố lên PDR được tổng hợp tại bảng sau:

Điều kiện	Giảm PDR trung bình
Lý tưởng	0%
Chỉ có nhiễu	0%
Chỉ có hiện tượng Fading	~10.8%
Kênh truyền thực tế	~27.6%

Kết luận:

- Nhiều Gaussian gần như không ảnh hưởng.
- Rayleigh Fading là tác nhân chính.
- Noise + Fading tạo “hiệu ứng tăng cường”, làm PDR giảm gấp đôi so với Fading Only.

4. Kết luận

Mô phỏng cho thấy Rayleigh Fading là yếu tố gây suy giảm mạnh nhất, đặc biệt ở khoảng cách lớn; trong khi Gaussian Noise hầu như không ảnh hưởng. Khi kênh truyền chịu ảnh hưởng của nhiễu và hiện tượng Fading, PDR có thể giảm đến 65%. Quy mô mạng tối ưu là 4 nodes, vì từ 6 nodes trở lên PDR giảm mạnh và delay trở nên bất ổn (đặc biệt ở 8 nodes). Khoảng cách tốt nhất khi triển khai là ≤ 20m; từ 25–30m hiệu năng giảm đáng kể, đặc biệt với nhiều node. Nhóm khuyến nghị sử dụng cluster ≤ 4 nodes, tránh cấu hình 8 nodes và giữ khoảng cách giữa các thiết bị ngăn để duy trì độ tin cậy. Mô hình mô phỏng đã cung cấp cơ sở định lượng hữu ích cho việc thiết kế ZigBee trong nhà thông minh và có thể mở rộng với topology và yếu tố môi trường phức tạp hơn.