

MỞ ĐẦU

Trong những năm gần đây, việc nghiên cứu các hệ thống mạng thông tin được phát triển mạnh mẽ. Ngày nay dưới sự phát triển rất mạnh mẽ của khoa học kỹ thuật nói chung và công nghệ thông tin nói riêng, mạng cảm nhận không dây ra đời là một trong những thành tựu cao của công nghệ chế tạo và công nghệ thông tin. Một lĩnh vực nổi bật của mạng cảm nhận không dây (Wireless Sensor Network- WSN) là sự kết hợp việc cảm nhận, tính toán và truyền thông vào một thiết bị nhỏ. Thông qua mạng hình lưới (mesh networking protocols), những thiết bị này tạo ra một sự kết nối rộng lớn trong thế giới vật lý. Trong khi khả năng của từng thiết bị là rất nhỏ, sự kết hợp hàng trăm thiết bị như vậy yêu cầu là phải có công nghệ mới.

Nhờ có những tiến bộ nhanh chóng trong khoa học và công nghệ sự phát triển của những mạng bao gồm các cảm biến giá thành rẻ, tiêu thụ ít năng lượng và đa chức năng đã nhận được những sự chú ý đáng kể. Hiện nay người ta đang tập trung triển khai các mạng cảm biến để áp dụng vào trong cuộc sống hàng ngày. Đó là các lĩnh vực về y tế, quân sự, môi trường, giao thông... Trong một tương lai không xa, các ứng dụng của mạng cảm biến sẽ trở thành một phần không thể thiếu trong cuộc sống con người nếu chúng ta phát huy được hết các điểm mạnh mà không phải mạng nào cũng có được như mạng cảm biến.

Sức mạnh của WSN nằm ở chỗ khả năng triển khai một số lượng lớn các thiết bị nhỏ có thể tự thiết lập cấu hình hệ thống. Sử dụng những thiết bị này để theo dõi theo thời gian thực, để giám sát điều kiện môi trường, để theo dõi cấu trúc hoặc tình trạng thiết bị.

Tính chất không dây của WSN có ưu điểm mềm dẻo, giá rẻ nhưng có nhiều thách thức cần được giải quyết. Một trong những thách thức lớn nhất đó là nguồn năng lượng bị giới hạn, các nút mạng cảm biến lại hoạt động ngoài môi trường rất khó nạp lại năng lượng. Trong khi đó, yếu tố chủ yếu giới hạn thời gian sống của mạng cảm nhận là năng lượng cung cấp. Mỗi nút cần được thiết kế quản lý năng lượng cung cấp nội bộ để tối đa thời gian sống của mạng. Trong trường hợp mạng an ninh, mỗi nút phải sống trong nhiều năm. Một nút bị lỗi sẽ làm tổn thương hệ thống an ninh. Hiện nay rất nhiều nhà nghiên cứu đang tập trung vào việc cải thiện khả năng sử dụng hiệu quả năng lượng của mạng cảm biến trong từng lĩnh vực khác nhau.

Khóa luận gồm 3 chương nội dung, phần mở đầu, phần kết luận, phần mục lục và tài liệu tham khảo.

Chương 1: Tổng quan về mạng cảm biến không dây sẽ giới thiệu một cách tổng quan về WSN, các dạng ứng dụng của WSN và đưa ra những tiêu chí đánh giá cho WSN cũng như tiêu chí đánh giá một nút mạng cảm nhận.

Chương 2: Đặc điểm vô tuyến của mạng WSN sẽ nêu lên cấu tạo tầng vật lý của WSN, sự biểu diễn các bit bằng cách mã hóa, mô tả các mô hình đặc tính vô tuyến truyền nhận ra sao.

Chương 3: Điều khiển công suất truyền tương thích đặt vấn đề tìm hiểu một giải pháp tiết kiệm năng lượng trên cơ sở điều khiển công suất phát cho từng nút mạng, gọi là điều khiển công suất truyền tương thích – ATPC.

Em xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến PGS TS. Vương Đạo Vy, Khoa Điện tử viễn thông - Trường Đại học công nghệ - Đại học quốc gia Hà nội, người đã hướng dẫn tận tình và giúp đỡ em rất nhiều trong quá trình thực hiện khóa luận này.

Chương 1:

TỔNG QUAN VỀ MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY

1.1 Giới thiệu về mạng cảm biến không dây

Trong những năm gần đây, rất nhiều mạng cảm biến không dây đã và đang được phát triển và triển khai cho nhiều các ứng dụng khác nhau như: theo dõi sự thay đổi của môi trường, khí hậu, giám sát các mặt trận quân sự, phát hiện và do thám việc tấn công bằng hạt nhân, sinh học và hoá học, chuẩn đoán sự hỏng hóc của máy móc, thiết bị, theo dõi và giám sát các bác sỹ, bệnh nhân cũng như quản lý thuốc trong các bệnh viện, theo dõi và điều khiển giao thông, các phương tiện xe cộ...

Hơn nữa với sự tiến bộ công nghệ gần đây và hội tụ của hệ thống các công nghệ như kỹ thuật vi điện tử, công nghệ nano, giao tiếp không dây, công nghệ mạch tích hợp, vi mạch phần cảm biến, xử lý và tính toán tín hiệu... đã tạo ra những con cảm biến có kích thước nhỏ, đa chức năng, giá thành thấp, công suất tiêu thụ thấp, làm tăng khả năng ứng dụng rộng rãi của mạng cảm biến không dây.

Một mạng cảm biến không dây là một mạng bao gồm nhiều nút cảm biến nhỏ có giá thành thấp, và tiêu thụ năng lượng ít, giao tiếp thông qua các kết nối không dây, có nhiệm vụ cảm nhận, đo đạc, tính toán nhằm mục đích thu thập, tập trung dữ liệu để đưa ra các quyết định toàn cục về môi trường tự nhiên.

Những nút cảm biến này bao gồm các thành phần: Các bộ vi xử lý rất nhỏ, bộ nhớ giới hạn, bộ phận cảm biến, bộ thu phát không dây, nguồn nuôi. Kích thước của các con cảm biến này thay đổi từ to như hộp giấy cho đến nhỏ như hạt bụi, tùy thuộc vào từng ứng dụng.

* Mạng cảm biến có một số đặc điểm sau:

- + Có khả năng tự tổ chức, yêu cầu ít hoặc không có sự can thiệp của con người
- + Truyền thông không tin cậy, quảng bá trong phạm vi hẹp và định tuyến multihop
- + Triển khai dày đặc và khả năng kết hợp giữa các nút cảm biến
- + Cấu hình mạng thay đổi thường xuyên phụ thuộc vào fading và hư hỏng ở các nút
- + Các giới hạn về mặt năng lượng, công suất phát, bộ nhớ và công suất tính toán

Chính những đặc tính này đã đưa ra những chiến lược mới và những yêu cầu thay đổi trong thiết kế mạng cảm biến.

1.2. Cấu trúc mạng cảm biến

1.2.1. Các yếu tố ảnh hưởng đến cấu trúc mạng cảm biến

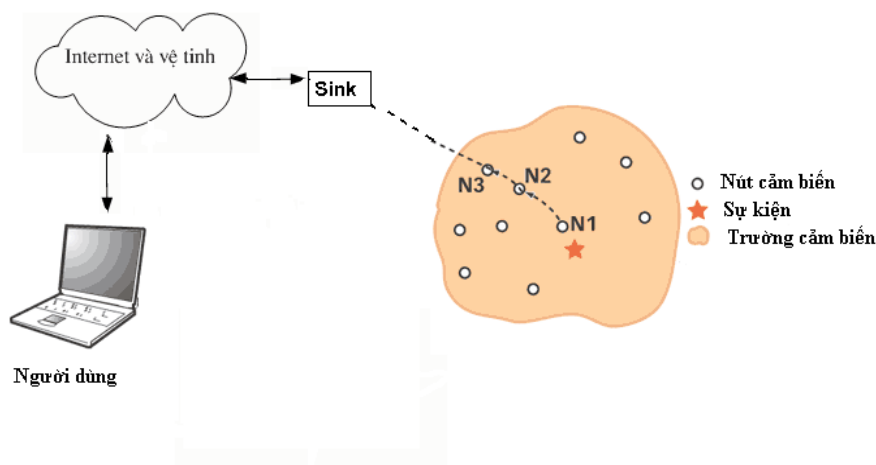
Các cấu trúc hiện nay cho mạng Internet và mạng ad hoc không dây không dùng được cho mạng cảm biến không dây, do một số lý do sau:

- Số lượng các nút cảm biến trong mạng cảm biến có thể lớn gấp nhiều lần số lượng nút trong mạng ad hoc.
- Các nút cảm biến dễ bị lỗi.
- Cấu trúc mạng cảm biến thay đổi khá thường xuyên.
- Các nút cảm biến chủ yếu sử dụng truyền thông kiểu quảng bá, trong khi hầu hết các mạng ad hoc đều dựa trên việc truyền điểm-điểm.
- Các nút cảm biến bị giới hạn về năng lượng, khả năng tính toán và bộ nhớ.
- Các nút cảm biến có thể không có số nhận dạng toàn cầu (global identification) (ID) vì chúng có một số lượng lớn mã đầu và một số lượng lớn các nút cảm biến.

Do vậy, cấu trúc mạng mới sẽ:

- + Kết hợp vấn đề năng lượng và khả năng định tuyến.
- + Tích hợp dữ liệu và giao thức mạng.
- + Truyền năng lượng hiệu quả qua các phương tiện không dây.
- + Chia sẻ nhiệm vụ giữa các nút lân cận.

Các nút cảm biến được phân bố trong một sensor field như hình (1.1). Mỗi một nút cảm biến có khả năng thu thập dữ liệu và định tuyến lại đến các sink.



Hình 1.1 Cấu trúc mạng cảm biến

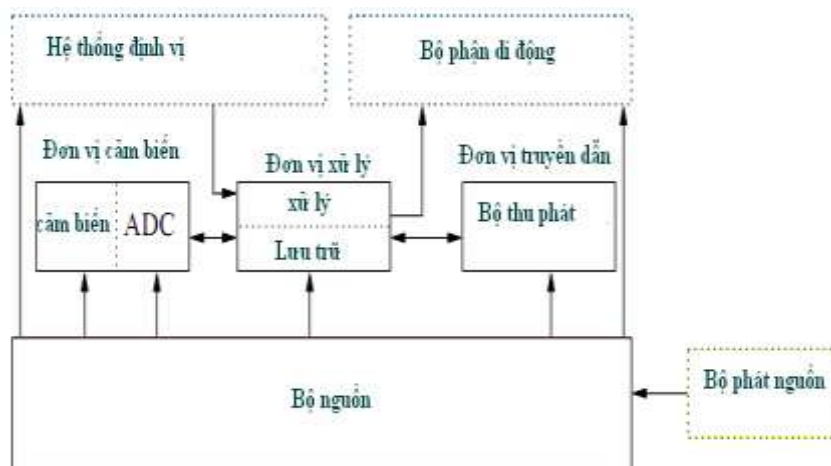
Dữ liệu được định tuyến lại đến các sink bởi một cấu trúc đa điểm như hình vẽ trên. Các sink có thể giao tiếp với các nút quản lý nhiệm vụ (task manager nút) qua mạng Internet hoặc vệ tinh.

Sink là một thực thể, tại đó thông tin được yêu cầu. Sink có thể là thực thể bên trong mạng (là một nút cảm biến) hoặc ngoài mạng. Thực thể ngoài mạng có thể là một thiết bị thực sự ví dụ như máy tính xách tay mà tương tác với mạng cảm biến, hoặc cũng đơn thuần chỉ là một gateway mà nối với mạng khác lớn hơn như Internet nơi mà các yêu cầu thực sự đối với các thông tin lấy từ một vài nút cảm biến trong mạng.

* *Giới thiệu về nút cảm biến:*

Cấu tạo của nút cảm biến như sau:

Mỗi nút cảm biến được cấu thành bởi 4 thành phần cơ bản như ở hình (1.2): đơn vị cảm biến (a sensing unit), đơn vị xử lý (a processing unit), đơn vị truyền dẫn (a transceiver unit) và bộ nguồn (a power unit). Ngoài ra có thể có thêm những thành phần khác tùy thuộc vào từng ứng dụng như là hệ thống định vị (location finding system), bộ phát nguồn (power generator) và bộ phận di động (mobilizer).



Hình 1.2 Cấu tạo nút cảm biến.

Các đơn vị cảm biến (sensing units) bao gồm cảm biến và bộ chuyển đổi tương tự-số. Dựa trên những hiện tượng quan sát được, tín hiệu tương tự tạo ra bởi sensor được chuyển sang tín hiệu số bằng bộ ADC, sau đó được đưa vào bộ xử lý.

Đơn vị xử lý thường được kết hợp với bộ lưu trữ nhỏ (storage unit), quyết định các thủ tục làm cho các nút kết hợp với nhau để thực hiện các nhiệm vụ định sẵn. Phần thu phát vô tuyến kết nối các nút vào mạng.

Một trong số các phần quan trọng nhất của một nút mạng cảm biến là bộ nguồn. Các bộ nguồn thường được hỗ trợ bởi các bộ phận lọc như là tế bào năng lượng mặt trời. Ngoài ra cũng có những thành phần phụ khác phụ thuộc vào từng ứng dụng. Hầu hết các kỹ thuật định tuyến và các nhiệm vụ cảm biến của mạng đều yêu cầu có độ chính xác cao về vị trí. Các bộ phận di động đôi lúc cần phải dịch chuyển các nút cảm biến khi cần thiết để thực hiện các nhiệm vụ đã ấn định.

Tất cả những thành phần này cần phải phù hợp với kích cỡ từng module. Ngoài kích cỡ ra các nút cảm biến còn một số ràng buộc nghiêm ngặt khác, như là phải tiêu thụ rất ít năng lượng, hoạt động ở mật độ cao, có giá thành thấp, có thể tự hoạt động, và thích biến với sự biến đổi của môi trường.

** Đặc điểm của cấu trúc mạng cảm biến:*

Như trên ta đã biết đặc điểm của mạng cảm biến là bao gồm một số lượng lớn các nút cảm biến, các nút cảm biến có giới hạn và ràng buộc về tài nguyên đặc biệt là năng lượng rất khắt khe. Do đó, cấu trúc mạng mới có đặc điểm rất khác với các mạng truyền thống. Sau đây ta sẽ phân tích một số đặc điểm nổi bật trong mạng cảm biến như sau:

- *Khả năng chịu lỗi (fault tolerance):* Một số các nút cảm biến có thể không hoạt động nữa do thiếu năng lượng, do những hư hỏng vật lý hoặc do ảnh hưởng của môi trường. Khả năng chịu lỗi thể hiện ở việc mạng vẫn hoạt động bình thường, duy trì những chức năng của nó ngay cả khi một số nút mạng không hoạt động.

- *Khả năng mở rộng:* Khi nghiên cứu một hiện tượng, số lượng các nút cảm biến được triển khai có thể đến hàng trăm nghìn nút, phụ thuộc vào từng ứng dụng con số này có thể vượt quá hàng triệu. Do đó cấu trúc mạng mới phải có khả năng mở rộng để có thể làm việc với số lượng lớn các nút này.

- *Giá thành sản xuất :* Vì các mạng cảm biến bao gồm một số lượng lớn các nút cảm biến nên chi phí của mỗi nút rất quan trọng trong việc điều chỉnh chi phí của toàn mạng. Nếu chi phí của toàn mạng đắt hơn việc triển khai sensor theo kiểu truyền thống, như vậy mạng không có giá thành hợp lý. Do vậy, chi phí của mỗi nút cảm biến phải giữ ở mức thấp.

- *Ràng buộc về phần cứng :* Vì số lượng các nút trong mạng rất nhiều nên các nút cảm biến cần phải có các ràng buộc về phần cứng như sau : Kích thước phải nhỏ, tiêu thụ năng lượng thấp, có khả năng hoạt động ở những nơi có mật độ cao, chi phí

sản xuất thấp, có khả năng tự trị và hoạt động không cần có người kiểm soát, thích nghi với môi trường.

- *Môi trường hoạt động*: Các nút cảm biến được thiết lập dày đặc, rất gần hoặc trực tiếp bên trong các hiện tượng để quan sát. Vì thế, chúng thường làm việc mà không cần giám sát ở những vùng xa xôi. Chúng có thể làm việc ở bên trong các máy móc lớn, ở dưới đáy biển, hoặc trong những vùng ô nhiễm hóa học hoặc sinh học, ở gia đình hoặc những tòa nhà lớn.

- *Phương tiện truyền dẫn*: Ở những mạng cảm biến multihop, các nút được kết nối bằng những phương tiện không dây. Các đường kết nối này có thể tạo nên bởi sóng vô tuyến, hồng ngoại hoặc những phương tiện quang học. Để thiết lập sự hoạt động thống nhất của những mạng này, các phương tiện truyền dẫn phải được chọn phải phù hợp trên toàn thế giới. Hiện tại nhiều phần cứng của các nút cảm biến dựa vào thiết kế mạch RF. Những thiết bị cảm biến năng lượng thấp dùng bộ thu phát vô tuyến 1 kênh RF hoạt động ở tần số 916MHz.

Một cách khác mà các nút trong mạng giao tiếp với nhau là bằng hồng ngoại. Thiết kế máy thu phát vô tuyến dùng hồng ngoại thì giá thành rẻ và dễ dàng hơn. Cả hai loại hồng ngoại và quang đều yêu cầu bộ phát và thu nằm trong phạm vi nhìn thấy, tức là có thể truyền ánh sáng cho nhau được.

- *Cấu hình mạng cảm biến (network topology)*: Trong mạng cảm biến, hàng trăm đến hàng nghìn nút được triển khai trên trường cảm biến. Chúng được triển khai trong vòng hàng chục feet của mỗi nút. Mật độ các nút có thể lên tới 20 nút/m³. Do số lượng các nút cảm biến rất lớn nên cần phải thiết lập một cấu hình ổn định. Chúng ta có thể kiểm tra các vấn đề liên quan đến việc duy trì và thay đổi cấu hình ở 3 pha sau:

+ *Pha tiền triển khai và triển khai*: các nút cảm biến có thể đặt lộn xộn hoặc xếp theo trật tự trên trường cảm biến. Chúng có thể được triển khai bằng cách thả từ máy bay xuống, tên lửa, hoặc có thể do con người hoặc robot đặt từng cái một.

+ *Pha hậu triển khai*: sau khi triển khai, những sự thay đổi cấu hình phụ thuộc vào việc thay đổi vị trí các nút cảm biến, khả năng đạt trạng thái không kết nối (phụ thuộc vào nhiễu, việc di chuyển các vật cản...), năng lượng thích hợp, những sự cố, và nhiệm vụ cụ thể.

+ *Pha triển khai lại*: Sau khi triển khai cấu hình, ta vẫn có thể thêm vào các nút cảm

biến khác để thay thế các nút gặp sự cố hoặc tùy thuộc vào sự thay đổi chức năng.

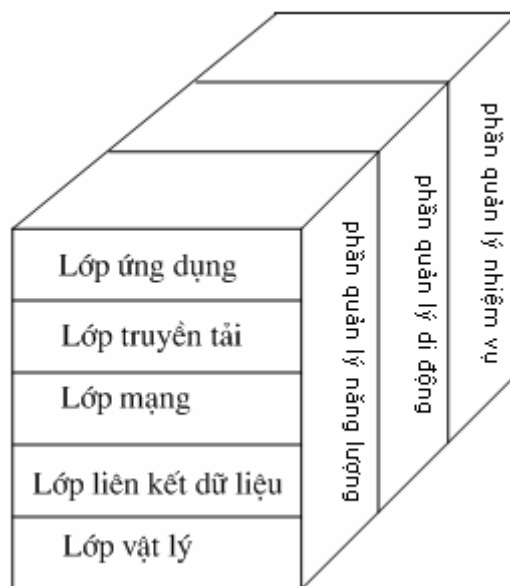
- *Sự tiêu thụ năng lượng (power consumption) :*

Các nút cảm biến không dây, có thể coi là một thiết bị vi điện tử chỉ có thể được trang bị nguồn năng lượng giới hạn (<0,5Ah, 1.2V). Trong một số ứng dụng, việc bổ sung nguồn năng lượng không thể thực hiện được. Vì thế khoảng thời gian sống của các nút cảm biến phụ thuộc mạnh vào thời gian sống của pin. Ở mạng cảm biến multihop ad hoc, mỗi một nút đóng một vai trò kép vừa khởi tạo vừa định tuyến dữ liệu. Sự trục trặc của một vài nút cảm biến có thể gây ra những thay đổi đáng kể trong cấu hình và yêu cầu định tuyến lại các gói và tổ chức lại mạng. Vì vậy, việc duy trì và quản lý nguồn năng lượng đóng một vai trò quan trọng. Đó là lý do vì sao mà hiện nay người ta đang tập trung nghiên cứu về các giải thuật và giao thức để thiết kế nguồn cho mạng cảm biến. Nhiệm vụ chính của các nút cảm biến trong trường cảm biến là phát

hiện ra các sự kiện, thực hiện xử lý dữ liệu cục bộ nhanh chóng, và sau đó truyền dữ liệu đi. Vì thế sự tiêu thụ năng lượng được chia ra làm 3 vùng: cảm nhận (sensing), giao tiếp (communicating), và xử lý dữ liệu (data processing).

1.2.2. Kiến trúc giao thức mạng

Kiến trúc giao thức áp dụng cho mạng cảm biến được trình bày trong hình (1.3). Kiến trúc này bao gồm các lớp và các mặt phẳng quản lý. Các mặt phẳng quản lý này làm cho các nút có thể làm việc cùng nhau theo cách có hiệu quả nhất, định tuyến dữ liệu trong mạng cảm biến di động và chia sẻ tài nguyên giữa các nút cảm biến.



Hình 1.3 Kiến trúc giao thức mạng cảm biến

Mặt phẳng quản lý công suất : Quản lý cách cảm biến sử dụng nguồn năng lượng của nó. Ví dụ : nút cảm biến có thể tắt bộ thu sau khi nhận được một bản tin. Khi mức công suất của con cảm biến thấp, nó sẽ broadcast sang nút cảm biến bên cạnh thông báo rằng mức năng lượng của nó thấp và nó không thể tham gia vào quá trình định tuyến .

Mặt phẳng quản lý di động : có nhiệm vụ phát hiện và đăng ký sự chuyển động của các nút. Các nút giữ việc theo dõi xem ai là nút hàng xóm của chúng.

Mặt phẳng quản lý : Cân bằng và sắp xếp nhiệm vụ cảm biến giữa các nút trong một vùng quan tâm. Không phải tất cả các nút cảm biến đều thực hiện nhiệm vụ cảm nhận ở cùng một thời điểm.

Lớp vật lý : có nhiệm vụ lựa chọn tần số, tạo ra tần số sóng mang, phát hiện tín hiệu, điều chế và mã hóa tín hiệu. Băng tần ISM 915 MHz được sử dụng rộng rãi trong mạng cảm biến. Vấn đề hiệu quả năng lượng cũng cần phải được xem xét ở lớp vật lý.

Ví dụ : điều biến M hoặc điều biến nhị phân.

Lớp liên kết dữ liệu : lớp này có nhiệm vụ ghép các luồng dữ liệu, phát hiện các khung (frame) dữ liệu, cách truy nhập đường truyền và điều khiển lỗi. Vì môi trường có tạp âm và các nút cảm biến có thể di động, giao thức điều khiển truy nhập môi trường (MAC) phải xét đến vấn đề công suất và phải có khả năng tối thiểu hoá việc va chạm với thông tin quảng bá của các nút lân cận.

Lớp mạng : Lớp mạng của mạng cảm biến được thiết kế tuân theo nguyên tắc sau :

- + Hiệu quả năng lượng luôn luôn được coi là vấn đề quan trọng
- + Mạng cảm biến chủ yếu là tập trung dữ liệu
- + Tích hợp dữ liệu chỉ được sử dụng khi nó không cản trở sự cộng tác có hiệu quả của các nút cảm biến.

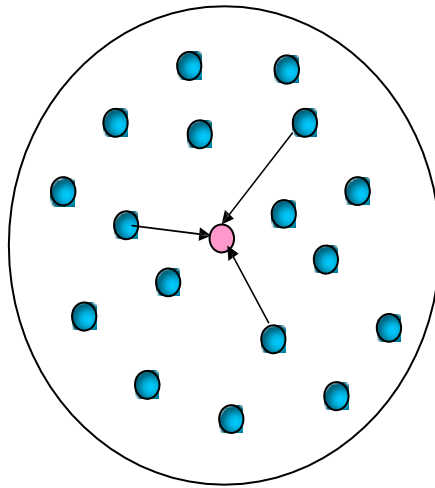
Lớp truyền tải : chỉ cần thiết khi hệ thống có kế hoạch được truy cập thông qua mạng Internet hoặc các mạng bên ngoài khác.

Lớp ứng dụng : Tùy theo nhiệm vụ cảm biến, các loại phần mềm ứng dụng khác nhau có thể được xây dựng và sử dụng ở lớp ứng dụng.

1.2.3. Hai cấu trúc đặc trưng của mạng cảm biến

1.2.3.1. Cấu trúc phẳng

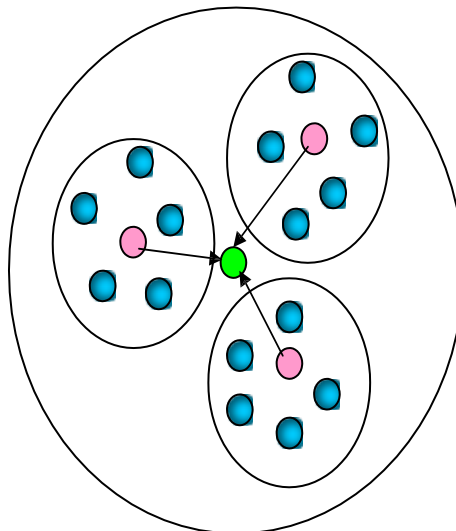
Trong cấu trúc phẳng (flat architecture) (hình 1.4), tất cả các nút đều ngang hàng và đồng nhất trong hình dạng và chức năng. Các nút giao tiếp với sink qua multihop sử dụng các nút ngang hàng làm bộ tiếp sóng. Với phạm vi truyền cố định, các nút gần sink hơn sẽ đảm bảo vai trò của bộ tiếp sóng đối với một số lượng lớn nguồn. Giả thiết rằng tất cả các nguồn đều dùng cùng một tần số để truyền dữ liệu, vì vậy có thể chia sẻ thời gian. Tuy nhiên cách này chỉ có hiệu quả với điều kiện là có nguồn chia sẻ đơn lẻ, ví dụ như thời gian, tần số...



Hình 1.4 Cấu trúc phẳng của mạng cảm biến

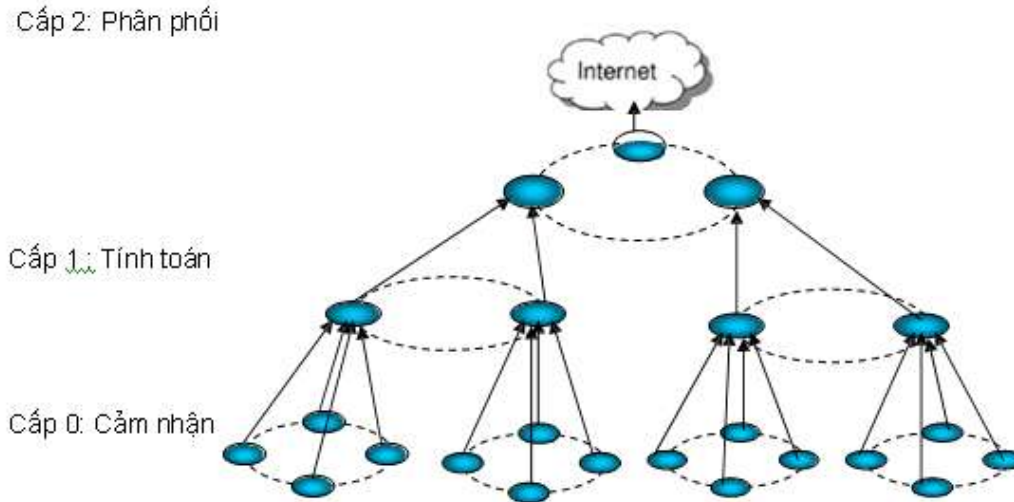
1.2.3.2. Cấu trúc tầng

Trong cấu trúc tầng (tiered architecture) (hình 1.5), các cụm được tạo ra giúp các tài nguyên trong cùng một cụm gửi dữ liệu single hop hay multihop (tùy thuộc vào kích cỡ của cụm) đến một nút định sẵn, thường gọi là nút chủ (cluster head). Trong cấu trúc này các nút tạo thành một hệ thống cấp bậc mà ở đó mỗi nút ở một mức xác định thực hiện các nhiệm vụ đã định sẵn.



Hình 1.5 Cấu trúc tầng của mạng cảm biến

Trong cấu trúc tầng thì chức năng cảm nhận, tính toán và phân phối dữ liệu không đồng đều giữa các nút. Những chức năng này có thể phân theo cấp, cấp thấp nhất thực hiện tất cả nhiệm vụ cảm nhận, cấp giữa thực hiện tính toán, và cấp trên cùng thực hiện phân phối dữ liệu (hình 1.6).



Hình 1.6 Cấu trúc mạng phân cấp chức năng theo lớp

Mạng cảm biến xây dựng theo cấu trúc tầng hoạt động hiệu quả hơn cấu trúc phẳng, do các lý do sau:

- Cấu trúc tầng có thể giảm chi phí chi mạng cảm biến bằng việc định vị các tài nguyên ở vị trí mà chúng hoạt động hiệu quả nhất. Rõ ràng là nếu triển khai các phần cứng thống nhất, mỗi nút chỉ cần một lượng tài nguyên tối thiểu để thực hiện tất cả các nhiệm vụ. Vì số lượng các nút cần thiết phụ thuộc vào vùng phủ sóng xác định, chi phí của toàn mạng vì thế sẽ không cao. Thay vào đó, nếu một số lượng lớn các nút có chi phí thấp được chỉ định làm nhiệm vụ cảm nhận, một số lượng nhỏ hơn các nút có chi phí cao hơn được chỉ định để phân tích dữ liệu, định vị và đồng bộ thời gian, chi phí cho toàn mạng sẽ giảm đi.
- Mạng cấu trúc tầng sẽ có tuổi thọ cao hơn cấu trúc mạng phẳng. Khi cần phải tính toán nhiều thì một bộ xử lý nhanh sẽ hiệu quả hơn, phụ thuộc vào thời gian yêu cầu thực hiện tính toán. Tuy nhiên, với các nhiệm vụ cảm nhận cần hoạt động trong khoảng thời gian dài, các nút tiêu thụ ít năng lượng phù hợp với yêu cầu xử lý tối thiểu sẽ hoạt động hiệu quả hơn. Do vậy với cấu trúc tầng mà các chức năng mạng phân chia giữa các phần cứng đã được thiết kế riêng cho từng chức năng sẽ làm tăng tuổi thọ của mạng.
- Về độ tin cậy: mỗi mạng cảm biến phải phù hợp với với số lượng các nút yêu cầu thỏa mãn điều kiện về băng thông và thời gian sống. Với mạng cấu trúc phẳng, qua phân tích người ta đã xác định thông lượng tối ưu của mỗi nút trong mạng có n nút

là $\frac{W}{\sqrt{n}}$, trong đó W là độ rộng băng tần của kênh chia sẻ. Do đó khi kích cỡ mạng tăng

lên thì thông lượng của mỗi nút sẽ giảm về 0.

- Việc nghiên cứu các mạng cấu trúc tầng đem lại nhiều triển vọng để khắc phục vấn đề này. Một cách tiếp cận là dùng một kênh đơn lẻ trong cấu trúc phân cấp, trong đó các nút ở cấp thấp hơn tạo thành một cụm xung quanh trạm gốc. Mỗi một trạm gốc đóng vai trò là cầu nối với cấp cao hơn, cấp này đảm bảo việc giao tiếp trong cụm thông qua các bộ phận hữu tuyến. Trong trường hợp này, dung lượng của mạng tăng tuyến tính với số lượng các cụm, với điều kiện là số lượng các cụm tăng ít nhất phải nhanh bằng n . Các nghiên cứu khác đã thử cách dùng các kênh khác nhau ở các mức khác nhau của cấu trúc phân cấp. Trong trường hợp này, dung lượng của mỗi lớp trong cấu trúc tầng và dung lượng của mỗi cụm trong mỗi lớp xác định là độc lập với nhau.

Tóm lại, việc tương thích giữa các chức năng trong mạng có thể đạt được khi dùng cấu trúc tầng. Đặc biệt người ta đang tập trung nghiên cứu về các tiện ích về tìm địa chỉ. Những chức năng như vậy có thể phân phối đến mọi nút, một phần phân bố đến tập con của các nút. Giả thiết rằng các nút đều không cố định và phải thay đổi địa chỉ một cách định kì, sự cân bằng giữa những lựa chọn này phụ thuộc vào tần số thích hợp của chức năng cập nhật và tìm kiếm. Hiện nay cũng đang có rất nhiều mô hình tìm kiếm địa chỉ trong mạng cấu trúc tầng.

1.3 Những thách thức của WSN

Tuy sự ra đời của WSN rất được sự hoan nghênh của toàn thế giới vì sự tiện dụng của nó, nhưng nó vẫn có những nhược điểm. Để WSN thực sự trở nên rộng khắp trong các ứng dụng, một số thách thức và trở ngại chính cần vượt qua:

- + Vấn đề về năng lượng
- + Năng lực xử lý, tính toán
- + Bộ nhớ lưu trữ
- + Thích ứng tốt với môi trường
- + Ngoài ra, còn có một số thách thức và trở ngại thứ yếu như: vấn đề mở rộng mạng, giá thành các node, quyền sở hữu,...

1.4 Ứng dụng của WSN

1.4.1 Trong bảo vệ môi trường

Một vài ứng dụng môi trường của mạng cảm biến bao gồm:

- Theo dõi sự di cư của các loài chim, các động vật nhỏ, các loại côn trùng,
- Theo dõi điều kiện môi trường mà ảnh hưởng đến mùa màng và vật nuôi; việc tưới tiêu.
- Các thiết bị đo đạc lớn đối với việc quan sát diện tích lớn trên trái đất.
- Sự thăm dò các hành tinh, phát hiện sinh-hóa, nông nghiệp chính xác.
- Quan sát môi trường, trái đất, môi trường vùng biển và bầu khí quyển.
- Phát hiện cháy rừng, nghiên cứu khí tượng học và địa lý.
- Phát hiện lũ lụt, sắp đặt sự phức tạp về sinh học của môi trường và nghiên cứu sự ô nhiễm...

1.4.2 Trong y tế

Một vài ứng dụng về sức khỏe đối với mạng cảm biến là:

- Giám sát bệnh nhân, các triệu chứng
- Quản lý thuốc trong bệnh viện
- Giám sát sự chuyển động và xử lý bên trong của côn trùng hoặc các động vật nhỏ khác
- Theo dõi và kiểm tra bác sĩ và bệnh nhân trong bệnh viện.



Hình 1.7. Ứng dụng trong y tế

1.4.3 Trong gia đình

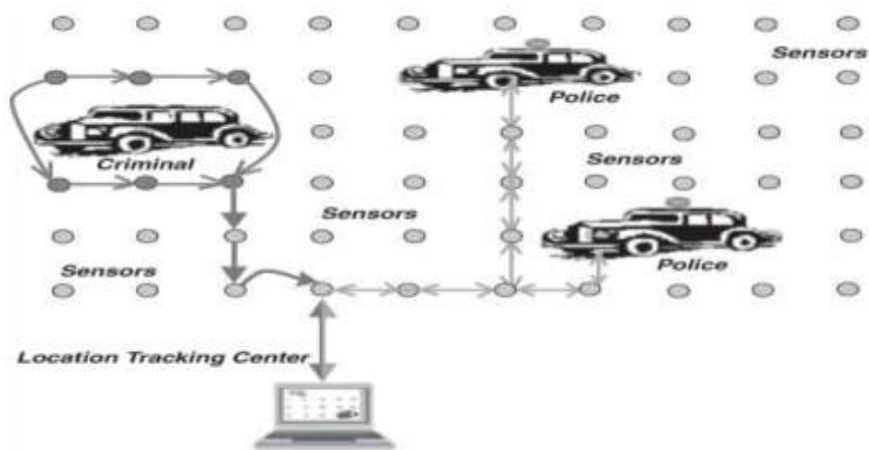
Trong lĩnh vực tự động hóa gia đình, các nút cảm biến được đặt ở các phòng để đo nhiệt độ. Không những thế, chúng còn được dùng để phát hiện những sự dịch chuyển trong phòng và thông báo lại thông tin này đến thiết bị báo động trong trường hợp không có ai ở nhà.



Hình 1.8. Tắt bật điện tự động ở hành lang

1.4.4 Trong hệ thống giao thông thông minh

- Giao tiếp giữa biển báo và phương tiện giao thông
- Hệ thống điều tiết lưu thông công cộng
- Hệ thống báo hiệu tai nạn, kẹt xe,...
- Hệ thống định vị phương, trợ giúp điều khiển tự động phương tiện giao thông ...



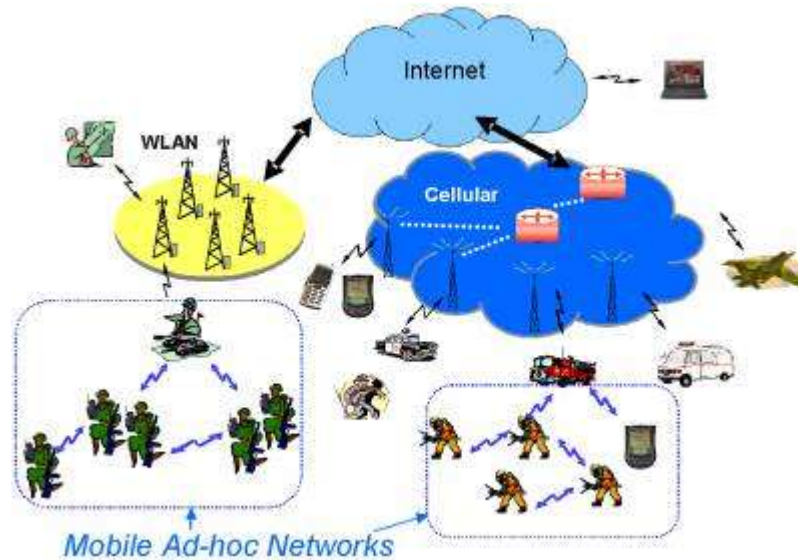
Hình 1.9. Ứng dụng định vị phương tiện giao thông

1.4.5 Trong quân sự, an ninh

Mạng cảm biến không dây có thể tích là một phần tích hợp trong hệ thống điều khiển quân đội, giám sát, giao tiếp, tính toán thông minh, trinh sát, theo dõi mục tiêu. Đặc tính triển khai nhanh, tự tổ chức và có thể bị lỗi của mạng cảm biến làm

cho chúng hứa hẹn kỹ thuật cảm biến cho hệ thống trong quân đội. Vì mạng cảm biến dựa trên sự triển khai dày đặc của các nút cảm biến có sẵn, chi phí thấp và sự phá hủy của một vài nút bởi quân địch không ảnh hưởng đến hoạt động của quân đội cũng như sự phá hủy các cảm biến truyền thống làm cho khái niệm mạng cảm biến là ứng dụng tốt đối với chiến trường. Một vài ứng dụng quân đội của mạng cảm biến là quan sát lực lượng, trang thiết bị, đạn dược, theo dõi chiến trường do thám địa hình và lực lượng quân địch, mục tiêu, việc đánh giá mức độ nguy hiểm của chiến trường, phát hiện và do thám việc tấn công bằng hóa học, sinh học, hạt nhân.

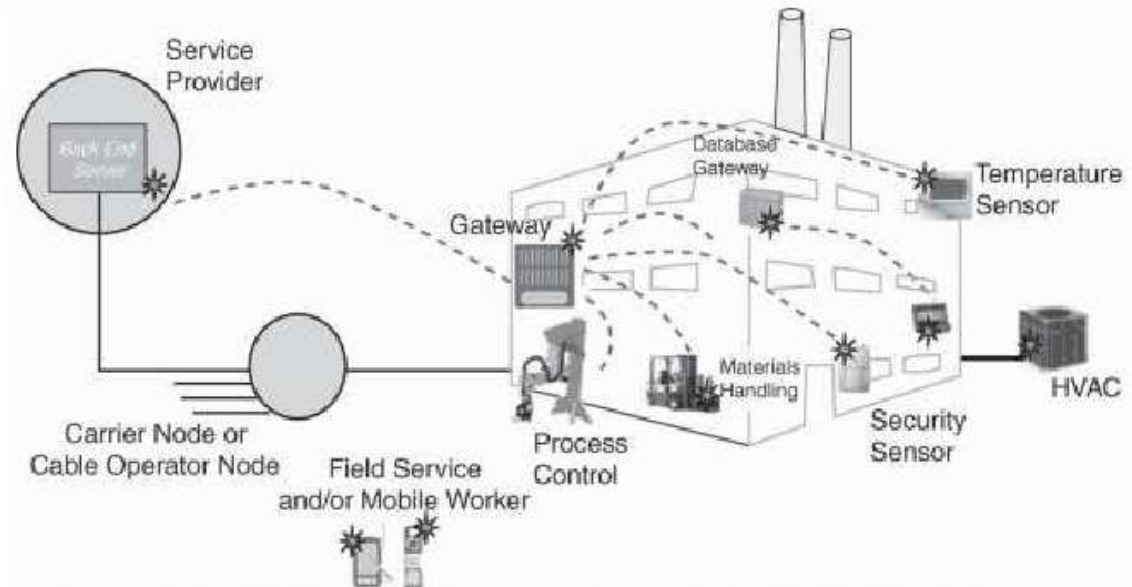
- Định vị, theo dõi sự di chuyển của các thiết bị quân sự
- Điều khiển tự động các thiết bị, robot,...
- Kích hoạt thiết bị, vũ khí quân sự
- Theo dõi biên giới kết hợp với vệ tinh



Hình 1.4.5 Ứng dụng WSN trong an ninh quốc gia

1.4.6 Trong thương mại

- Quản lý kiến trúc và xây dựng
- Quản lý sản xuất
- Hệ thống xử lý vật liệu
- Quản lý tải trong tiêu thụ điện năng
- Điều khiển nhiệt độ
- Hệ thống tự động, thu thập dữ liệu thời gian thực



Hình 1.4.6 Ứng dụng trong công nghiệp

1.5 Sự khác nhau giữa WSN và mạng truyền thông

Dựa vào sự trình bày ở trên, ta dễ dàng nhận thấy sự khác nhau giữa WSN và các mạng truyền thông:

- Số lượng node cảm biến trong một mạng cảm nhận lớn hơn nhiều lần so với những node trong các mạng truyền thông.
- Các node cảm biến thường được triển khai với mật độ dày hơn.
- Những node cảm biến dễ hỏng, ngừng hoạt động hơn.
- Cấu trúc mạng cảm nhận thay đổi khá thường xuyên.
- Mạng cảm nhận chủ yếu sử dụng truyền thông quảng bá, trong khi đó đa số các mạng truyền thông là điểm - điểm.
- Những node cảm biến có giới hạn về năng lượng, khả năng tính toán và bộ nhớ.
- Những node cảm biến có thể không có số định dạng toàn cầu (global identification) (ID).
- Truyền năng lượng hiệu quả qua các phương tiện không dây
- Chia sẻ nhiệm vụ giữa các node lân cận

Như vậy, đặc trưng cơ bản nhất để phân biệt 1 mạng cảm biến và 1 mạng wireless khác chính là giá thành, mật độ node mạng, phạm vi hoạt động, cấu hình

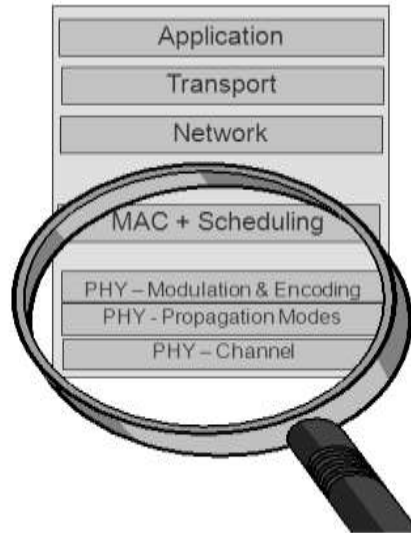
mạng (topology), lưu lượng dữ liệu, năng lượng tiêu thụ và thời gian ở trạng thái hoạt động (active mode).

1.6. Kết luận

Chương này đã giới thiệu tổng quan về kiến trúc mạng cảm biến và các ứng dụng trong nhiều lĩnh vực dân sự cũng như quân sự, y tế, môi trường... Qua đó ta thấy rõ được tầm quan trọng của mạng cảm biến với cuộc sống của chúng ta. Với sự phát triển nhanh chóng của công nghệ ngày nay sẽ hứa hẹn thêm nhiều ứng dụng mới của mạng cảm biến.

Chương 2: ĐẶC ĐIỂM VÔ TUYẾN CỦA MẠNG WSN

2.1. Tổng quan về lớp vật lý WSN:



Hình 2.1: Lớp vật lý của WSN.

Như đã giới thiệu trong phần 1.2.2, lớp vật lý có nhiệm vụ lựa chọn tần số, tạo ra tần số sóng mang, phát hiện tín hiệu, điều chế và mã hóa tín hiệu, điều khiển sao cho dữ liệu được đặt vào môi trường truyền thông vô tuyến.

Vai trò của lớp vật lý là mã hóa các bit nhị phân trong các khung (frame) của tầng liên kết dữ liệu thành tín hiệu và thực hiện truyền/nhận các tín hiệu này qua môi trường vật lý (wireless).

2.1.1. Lớp vật lý với vai trò truyền thông tín hiệu:

2.1.1.1. Chức năng:

Lớp vật lý cung cấp các phương tiện để vận chuyển các bit được lấy từ khung qua môi trường mạng. Nó nhận khung hoàn chỉnh từ lớp Liên kết dữ liệu và mã hóa các dữ liệu trong khung thành một chuỗi các tín hiệu, sau đó truyền qua môi trường. Các bit mã hóa này được nhận bởi các thiết bị đầu cuối hay thiết bị trung gian.

Quá trình phân phát các khung qua môi trường đòi hỏi các yếu tố vật lý:

- Môi trường vật lý.
- Quá trình biểu diễn các bit qua môi trường.
- Mã hóa dữ liệu và điều khiển thông tin.

- Mạch truyền và nhận trên các thiết bị mạng.

Một chức năng nữa của lớp vật lý là nhận tín hiệu từ môi trường và khôi phục chúng thành các bit và đưa các bit đến lớp liên kết dữ liệu như các khung hoàn chỉnh.

2.1.1.2. Cách thức hoạt động:

Môi trường không truyền các đơn frame. Môi trường chỉ truyền tín hiệu (biểu diễn các bit cấu tạo nên khung) tại một thời điểm nhất định. Sự biểu diễn các bit là một dạng của tín hiệu, phụ thuộc vào từng loại môi trường. Trong môi trường WSN tín hiệu có dạng radio.

Nhận dạng khung:

- Khi lớp vật lý mã hóa các bit thành dạng tín hiệu phù hợp với môi trường truyền thì nó nhận ra đâu là một khung và đâu là khung tiếp theo.
- Các thiết bị trên môi trường sẽ không nhận ra khi một khung vừa được nhận hoàn chỉnh. Trong trường hợp này thiết bị đích sẽ chỉ nhận một chuỗi tín hiệu và tiến hành khôi phục lại khung thích hợp.
- Để các thiết bị nhận có thể nhận ra rõ ràng các ranh giới khung, thiết bị truyền thêm vào các tín hiệu để định rõ đâu là bắt đầu và kết thúc của khung. Các tín hiệu này sử dụng các dạng bit riêng để xác định bắt đầu và kết thúc của một khung.

2.1.1.3. Các chuẩn:

Lớp vật lý bao gồm:

- Phần cứng được thiết kế dưới dạng mạch điện
- Môi trường
- Các bộ nối.

Do đó, các chuẩn chủ đạo phù hợp với phần cứng được xác định dựa trên các vấn đề liên quan đến điện và các hoạt động truyền thông.

Các công nghệ lớp vật lý được xác định rõ bởi các tổ chức IEEE, Zigbee... Đặc biệt là các chuẩn IEEE 802.11b, WPAN 802.15.4...

2.1.2. Cách biểu diễn bit để kết nối:

2.1.2.1. Hình thức báo hiệu bit cho môi trường:

Các thông tin từ mạng đều chuyển sang các số nhị phân và được vận chuyển riêng qua môi trường vật lý. Lớp vật lý biểu diễn bit trong khung như một tín hiệu. Phương pháp biểu diễn các bit được gọi là báo hiệu và được thực hiện bởi các thiết bị nhận.

Các phương pháp báo hiệu: Các bit được biểu diễn trên môi trường bằng cách thay đổi một hay nhiều đặc điểm của tín hiệu như:

- Biên độ.
- Tần số.
- Pha.

Trạng thái tự nhiên của các tín hiệu thực biểu diễn bit trên môi trường sẽ phụ thuộc vào biện pháp báo hiệu được sử dụng. Một vài phương pháp báo hiệu sử dụng hai mức 0 và 1, bằng cách dùng một thuộc tính nào đó của tín hiệu để biểu diễn mức “0” và sử dụng một thuộc tính khác của tín hiệu để biểu diễn mức “1”.

Phương pháp báo hiệu được sử dụng phải có sự tương thích với một chuẩn để bên nhận có thể tìm thấy tín hiệu và giải mã chúng. Một chuẩn chứa sự tương thích giữa bên truyền và bên nhận trong việc: bằng cách nào để biểu diễn mức “0” và mức “1”. Nếu không có sự tương thích trong báo hiệu, tức là không có một chuẩn nào được sử dụng tại mỗi điểm kết cuối của sự truyền thì thông tin qua môi trường vật lý sẽ bị hỏng.

Sự thành công trong việc phát bit đi yêu cầu một vài phương pháp đồng bộ giữa bên nhận và bên gửi. Các tín hiệu biểu diễn bit phải được kiểm tra chi tiết trong suốt thời gian bit để xác định đúng các tín hiệu biểu diễn mức “1” hay mức “0”. Sự đồng bộ được thực hiện bằng cách sử dụng đồng hồ (clock). Nhiều phương pháp báo hiệu sử dụng chuyển đổi có dự báo trong báo hiệu để cung cấp sự đồng bộ giữa hai clock của thiết bị truyền và thiết bị nhận.

2.1.2.2. Mã hóa bit và nhóm:

Chúng ta sử dụng từ mã để biểu diễn các nhóm đặc trưng của các bit trước khi chúng được biểu diễn trên môi trường. Bằng cách sử dụng bước mã hóa trước khi tín hiệu được đặt vào môi trường, chúng ta có thể cải tiến có hiệu quả việc truyền dữ liệu tốc độ cao.

Khi chúng ta sử dụng tốc độ dữ liệu cao trên truyền thông thì có khả năng dữ liệu sẽ bị sai lệch. Bằng cách sử dụng các nhóm mã, chúng ta có thể tìm được lỗi có hiệu quả hơn. Thêm vào đó, khi có yêu cầu tốc độ dữ liệu tăng, chúng ta phải tìm kiếm những phương thức để biểu diễn nhiều dữ liệu qua môi trường truyền thông bằng cách

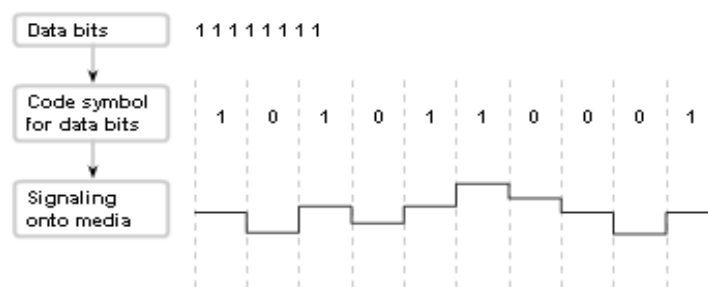
truyền ít bit hơn. Mã nhóm (group) cung cấp một phương pháp làm tối ưu sự biểu diễn dữ liệu.

Lớp vật lý của thiết bị mạng cần có khả năng dò tìm các tín hiệu mang dữ liệu và bỏ qua các tín hiệu không có dữ liệu ngẫu nhiên trên môi trường vật lý.

* Mã nhóm (code group):

Kỹ thuật mã hóa sử dụng các dạng bit gọi là các symbol. Tập hợp các symbol được mã hóa gọi là nhóm mã (code group). Lớp vật lý sử dụng các code group để biểu diễn dữ liệu mã hóa hay dữ liệu điều khiển thông tin. Một code group là một chuỗi liên tiếp các bit mã được hiểu/ánh xạ như một dạng bit dữ liệu. Ví dụ các bit mã 10101 có thể biểu diễn cho các bit dữ liệu 0011.

- Code group diễn ra ở lớp vật lý trước hoạt động của các tín hiệu.
- Bằng cách truyền symbol, khả năng dò lỗi và đồng bộ thời gian giữa thiết bị truyền và thiết bị nhận được cải tiến.



Hình 2.2: Code group

Bằng cách mã hóa như thế này, giúp gặp được nhiều thuận lợi trong việc sử dụng code group:

- + Giảm mức độ lỗi bit.
- + Giới hạn năng lượng truyền.
- + Phân biệt dữ liệu trong điều khiển.
- + Phát hiện lỗi trên môi trường tốt hơn.

2.1.3. Thực hiện kết nối truyền thông:

Lớp vật lý liên quan đến môi trường mạng và báo hiệu. Nhiều chuẩn khác nhau đã góp phần đưa ra các đặc điểm vật lý, điện, cơ của môi trường sẵn có cho các

phương tiện truyền thông dữ liệu khác nhau. Các đặc điểm này bảo đảm rằng sóng vô tuyến và các bộ nối sẽ hoạt động với các thành phần của lớp vật lý.

2.2. Các mô hình đặc tính vô tuyến

Truyền thông vô tuyến, một mặt là chìa khóa cho sự triển khai mạng cảm biến (loại mạng với giá thành thấp và với tính linh hoạt cao). Mặt khác, nó yêu cầu thách thức lớn bởi vì truyền thông vô tuyến là tốn kém và điều kiện kết nối vô tuyến thường rất khắc nghiệt, thay đổi đáng kể về không gian và thời gian do các hiệu ứng truyền đa đường.

Chúng ta sẽ tập trung vào ba mô hình đơn giản mà có ích trong việc tìm hiểu và phân tích các giao thức lớp mạng cao hơn của WSN:

- Mô hình chất lượng liên kết: Đây là một mô hình thực tế chỉ ra tỷ lệ nhận gói tin như thế nào. Nó kết hợp cả hai mô hình là: mô hình truyền sóng vô tuyến và mô hình nhận sóng vô tuyến.
- Mô hình năng lượng: Là một mô hình thực cho các mức năng lượng của quá trình truyền sóng vô tuyến
- Mô hình nhiễu: Là một mô hình thực, kết hợp với hiệu ứng capture nhờ đó gói tin từ các bộ truyền năng lượng cao có thể được nhận ngay cả trong sự tồn tại đồng thời của giao thông mạng.

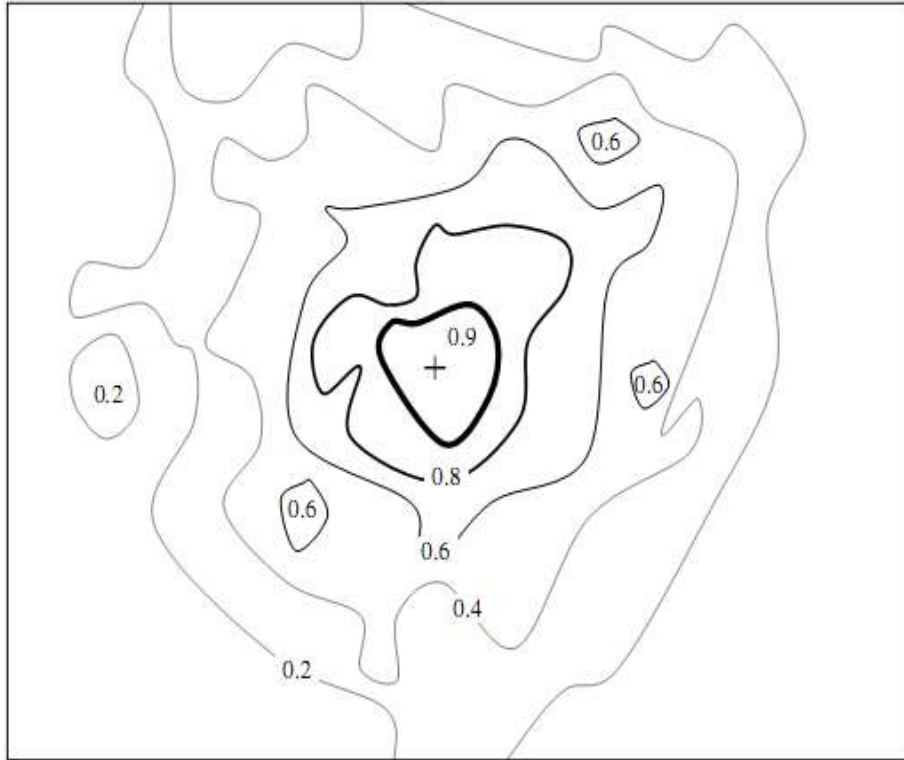
2.2.1. Mô hình chất lượng kết nối không dây:

Theo mô hình lý tưởng cơ bản của kết nối wireless thì hai nút có một kết nối hoàn hảo (tỷ lệ nhận gói là 100%) nếu chúng nằm trong phạm vi truyền thông; và không tồn tại kết nối (tỷ lệ nhận gói 0%) nếu chúng không nằm trong phạm vi truyền thông.

Mặc dù mô hình lý tưởng này rất có ích trong nhiều trường hợp, nhưng nó có thể có thể khá sai lầm trong các giao thức thiết kế và giao thức đánh giá định tuyến. Do đó chúng ta cần tìm nhiều mô hình thực hơn nữa dựa trên sự quan sát thế giới thực.

2.2.1.1. Kinh nghiệm rút ra từ việc quan sát và theo dõi:

- Thứ 1: Quá trình nhận gói tin thực hiện bởi các bộ nhận tại các vị trí khác nhau từ bên phát là không có quy tắc hay không theo cùng một hướng.



Hình 2.3: Đường biểu diễn tỷ lệ nhận gói tin thực.

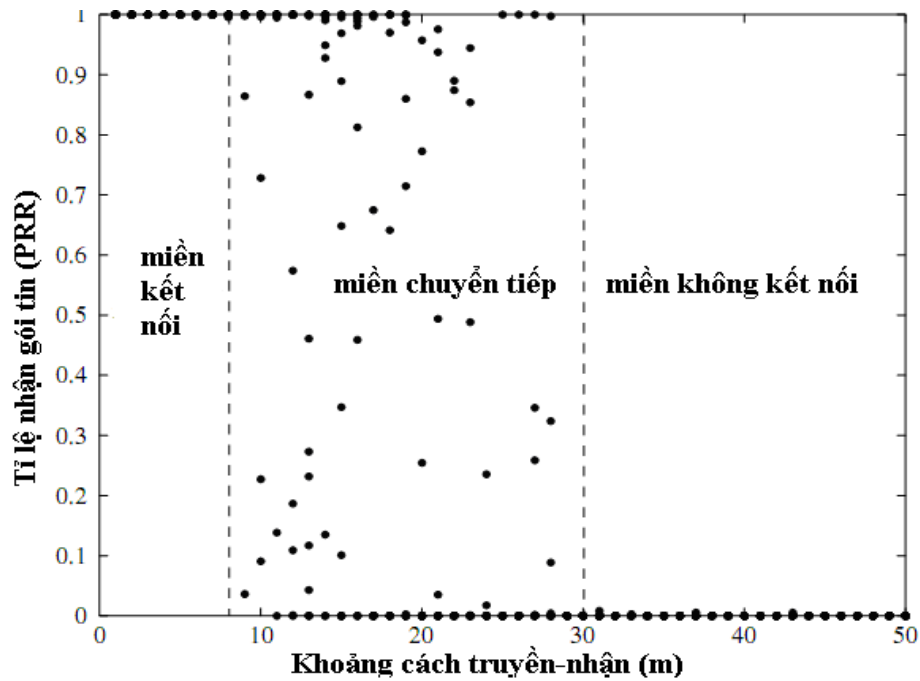
- Thứ 2: Các quá trình phân phối chất lượng đường truyền có/không có điều khiển là phụ thuộc cao vào môi trường và các phần cứng khác nữa. Các môi trường làm việc văn phòng trong nhà, trong trường hợp này (wireless), đưa ra quá trình phân phối chất lượng đường truyền xấu hơn so với môi trường tự do lộn xộn bên ngoài. Quá trình thay đổi bộ truyền hay bộ nhận tại cùng một vị trí (location) có thể làm thay đổi chất lượng liên kết.

- Thứ 3: Chất lượng liên kết có ba miền riêng:

+ Miền kết nối: là miền có tỷ lệ nhận gói tin cao.

+ Miền chuyển tiếp: là miền có tỷ lệ nhận gói tin biến thiên cao.

+ Miền không kết nối.



Hình 2.4: Thống kê tỷ lệ nhận gói tin thực tương ứng với các khoảng cách giữa các nút có liên kết với nhau.

- Thứ 4: Nếu một link có tỷ lệ nhận gói tin rất cao (>99%) thì link này chắc chắn nằm trong miền kết nối và khá tin cậy.
- Thứ 5: Trong miền chuyển tiếp, có thể có link chất lượng tốt mặc dù cặp nút ở xa nhau. Ngược lại có thể có link liên kết yếu, có chất lượng thấp mặc dù cặp nút ở gần nhau.

Đặc biệt, trong miền chuyển tiếp, có một lượng đáng kể các link không đối xứng, nghĩa là có hướng thì chất lượng link cao và có hướng thì chất lượng link thấp.

- Thứ 6: Thông số đánh giá chất lượng link ở đây là PRR = Packet Reception Rate (tỷ lệ nhận gói tin).
- Thứ 7: Các nút trong miền chuyển tiếp có chất lượng link biến đổi cao theo thời gian.
- Thứ 8: Độ rộng của miền chuyển tiếp có thể được xem là khá quan trọng như một phần của miền kết nối. Độ rộng của miền này phụ thuộc rất nhiều vào quá trình hoạt động của môi trường truyền.

2.2.1.2. Mô hình truyền nhận sóng vô tuyến:

a) Mô hình truyền sóng vô tuyến:

Mô hình đơn giản biểu diễn fading theo hàm \log_{10} và chỉ số suy hao đường truyền thích hợp với truyền trong dải ngắn, truyền tầm nhìn thẳng (line-of-sight), đặc biệt là trong môi trường trong nhà:

$$P_{r,dB} = P_{t,dB} - PL_{dB}$$

$$P_{r,dB}(d) = P_{t,dB}(d_0) + 10\eta \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_{\sigma,dB}$$

Trong đó:

$P_{r,dB}(d)$: công suất nhận tính theo dB.

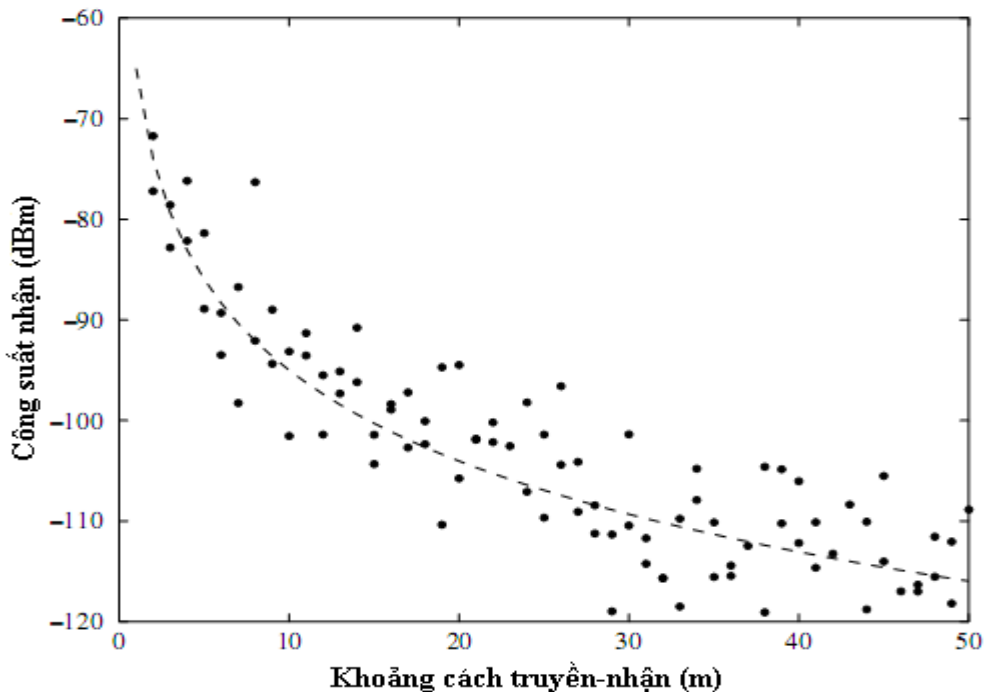
$P_{t,dB}(d)$: công suất truyền tính theo dB.

$PL_{dB}(d)$: suy hao đường truyền theo khoảng cách d tính từ bộ phát, tính theo dB.

d_0 : mốc tham chiếu.

η : chỉ số suy hao đường truyền, chỉ thị tỷ lệ tín hiệu suy giảm theo khoảng cách.

$X_{\sigma,dB}$: độ biến thiên ngẫu nhiên Gaussian $\rightarrow 0$ với độ lệch chuẩn là σ .



Hình 2.5: Minh họa tương quan giữa cường độ tín hiệu nhận và khoảng cách truyền nhận trong mô hình suy hao đường truyền.

Mô hình chuẩn này có thể mở rộng theo nhiều cách. Các trở ngại bao gồm các giới hạn có thể được mô hình hóa bằng cách thêm vào các thông số suy hao đường truyền. Thông số fading ngẫu nhiên X_{σ} có thể xem như là một quá trình ngẫu nhiên đa hướng để thể hiện mối tương quan chặt chẽ giữa không gian và thời gian.

Hầu hết các mô hình đều chịu sự ảnh hưởng của các nhân tố đặc trưng khác bên cạnh nhân tố khoảng cách, ví dụ: hướng và chiều cao của anten.

b) Mô hình nhận sóng vô tuyến:

Tỷ lệ lỗi bit của đường truyền vô tuyến là một hàm của tỷ lệ công suất tín hiệu có ích trên công suất nhiễu SNR (Signal to Noise Rate). Độ chính xác của hàm này phụ thuộc vào đặc điểm vật lý của đường truyền vô tuyến, đặc biệt là phương pháp điều chế và giải mã được sử dụng. SNR dùng để đánh giá chất lượng của tín hiệu và cũng là chất lượng của hệ thống truyền tín hiệu. Tỷ lệ SNR được tính bằng công thức:

$$SNR(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_{signal}}{P_{noise}} \right)$$

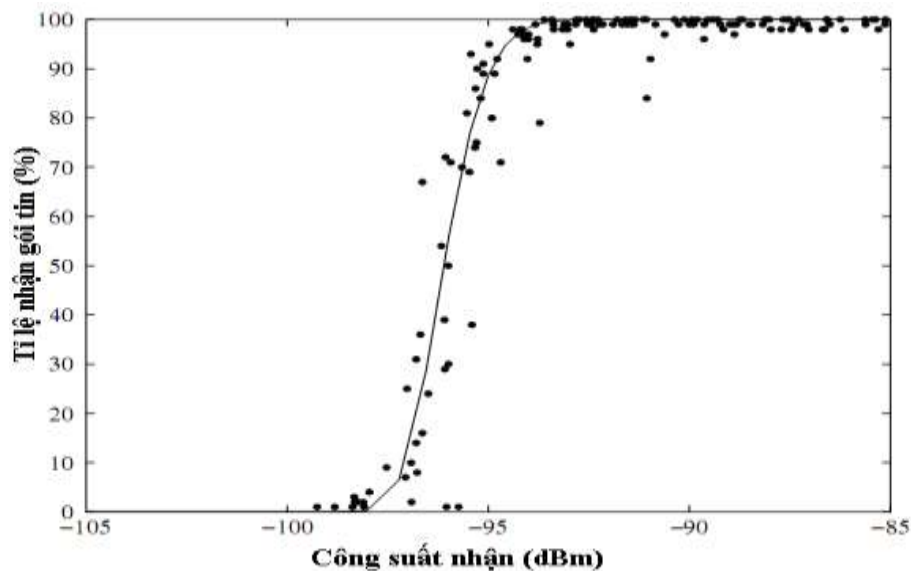
Trong đó P_{signal} là công suất của tín hiệu có ích

P_{noise} là công suất của nhiễu

Mối quan hệ giữa PRR (tỷ lệ nhận gói tin) và SNR có thể tìm thấy dựa trên kích thước khung và bất kỳ sự giải mã mức khung đã sử dụng:

$$PRR = \left(1 - \frac{1}{2} e^{-\frac{SNR}{2 \cdot 0,64}} \right)^{8L}$$

Trong đó L là chiều dài gói: L byte.



Hình 2.6: Tỷ lệ nhận gói tin PRR được xem như một hàm cường độ tín hiệu radio nhận được trong môi trường trong nhà.

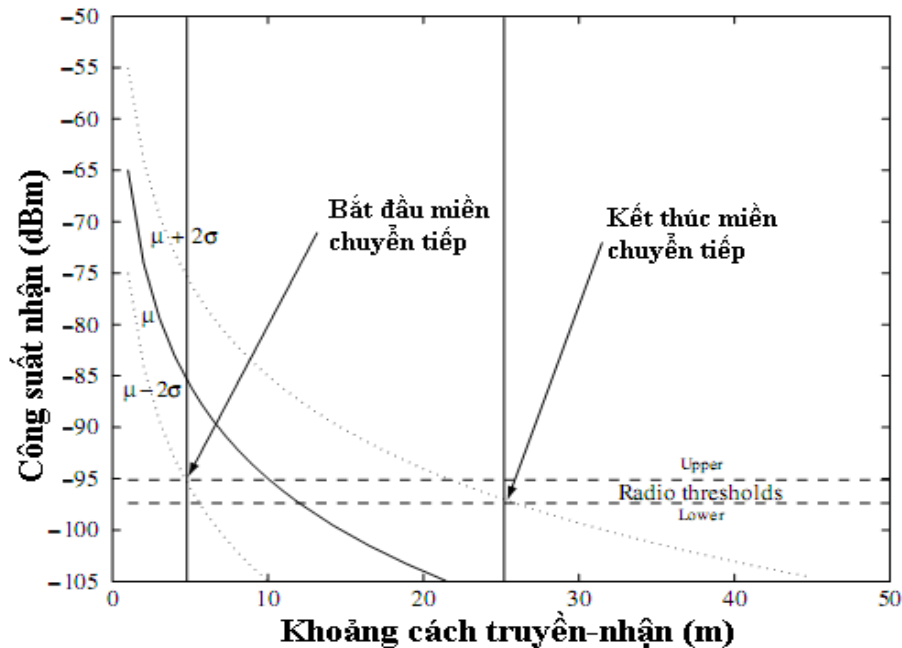
Ở hình 2.7 thể hiện những thay đổi của PRR theo cường độ tín hiệu nhận. Sự thay đổi được biểu diễn trên đường cong có dạng xích-ma (σ)

Cần chú ý rằng: có hai ngưỡng vô tuyến quan trọng ảnh hưởng đến cường độ tín hiệu nhận được đó là:

+ Một ngưỡng dưới thấp hơn: $PRR \rightarrow 0$.

+ Một ngưỡng trên cao hơn: $PRR \rightarrow 1$.

2.2.1.3. Miền chuyển tiếp:



Hình 2.7: Kết hợp mô hình truyền, mô hình nhận sóng radio mô tả ba miền.

- Sự kết hợp giữa công suất nhận, đường cong khoảng cách, ngưỡng trên và ngưỡng dưới SNR cho tỷ lệ nhận gói tin PRR của các liên kết (link), hình 2.7 minh họa cho sự kết hợp này dọc theo ba miền riêng đã được quan sát từ thực tế có liên quan đến khoảng cách. Ba miền đó là: miền kết nối, miền chuyển tiếp, miền không kết nối.

Trong miền kết nối, xảy ra ở khoảng cách gần, cường độ tín hiệu nhận là đủ để cung cấp một SNR cao hơn so với ngưỡng trên (xác suất xảy ra trường hợp này trong miền kết nối là cao).

Trong miền không kết nối, xảy ra ở khoảng cách xa, cường độ tín hiệu nhận là rất thấp nên SNR thấp hơn ngưỡng dưới (xác suất xảy ra trường hợp này trong miền không kết nối là cao).

Tại những khoảng giữa, chúng ta có miền chuyển tiếp, ở đây chất lượng link biến thiên theo cường độ tín hiệu là nguyên nhân SNR dao động giữa hai ngưỡng do các hiệu ứng fading.

- Phương pháp xác định miền chuyển tiếp này cần chú ý đến hai cặp thông số đó là:
 - Cặp thông số môi trường (η, σ) , trong đó η là chỉ số suy hao đường truyền và σ là độ lệch chuẩn Gaussian.
 - Cặp thông số vô tuyến: ngưỡng dưới và trên SNR.

Lưu ý: trong miền chuyển tiếp, ngay cả khi không có sự biến thiên thời gian do nút không có tính di động, thì các link khác nhau vẫn có chất lượng khác nhau. Sự thay đổi nhỏ của bộ nhận trong miền chuyển tiếp có thể là nguyên nhân các link rơi vào tình trạng không đối xứng nếu SNR dao động giữa các ngưỡng vô tuyến. Và nếu có sự biến thiên về thời gian (nút di động) thì hiệu ứng fading sẽ càng rõ rệt trong miền chuyển tiếp.

Do đó, chúng ta có thể thấy rằng miền chuyển tiếp là mối quan tâm đặc biệt và nó có sự ảnh hưởng lớn đến độ mạnh của mạng vô tuyến.

- Hệ số Γ của miền chuyển tiếp TR: tỷ lệ giữa phạm vi của miền chuyển tiếp và miền kết nối. Hệ số này càng nhỏ thì càng tốt.

Có thể thấy rằng hệ số Γ không biến thiên so với công suất truyền, bởi vì cả miền kết nối và miền chuyển tiếp tăng có tỷ lệ với công suất truyền.

	$\sigma = 2$	$\sigma = 4$	$\sigma = 6$	$\sigma = 8$
$\eta = 2$	2.3	4.2	7.2	12.0
$\eta = 4$	0.8	1.3	1.9	2.6
$\eta = 6$	0.5	0.7	1.0	1.4
$\eta = 8$	0.3	0.5	0.7	0.9

Bảng 2.8: Hệ số TR được xem như một hàm của các thông số môi trường.

Bảng trên cho thấy sự tương quan giữa hệ số TR và (σ, η) .

- Với σ thấp, có sự biến thiên do fading giảm, do đó kích thước miền chuyển tiếp nhỏ hơn.
- Bảng trên còn đưa ra một nghịch lý, η cao do sự giảm nhanh công suất truyền thì hệ số TR thấp hơn.

2.2.2. Mô hình năng lượng vô tuyến:

- Trong khi giá trị công suất thực tế của các radio khác nhau là khác nhau, phụ thuộc vào công suất đầu ra và dải hoạt động, thì một đặc điểm chung mà có thể quan sát thấy trong các giá trị công suất của chúng là chế độ sleep. Các giá trị công suất nhận và truyền đều rất quan trọng, với tỷ lệ công suất nhận và truyền từ 1:1 đến 1:2.

Các giá trị công suất cho các hoạt động sau thường rất giống nhau:

- Giữ nút trong chế độ nhận không có gói tin nhận (nút đang hoạt động).
- Giữ nút trong chế độ nhận trong khi đang nhận gói tin.
- Giữ nút trong chế độ nhận trong khi các gói tin được dùng cho nút khác.

Những quan sát/nhận xét trên cho thấy: tốt nhất là nên giữ radio ở chế độ sleep khi có thể (để có thể cắt bớt các giá trị nhận rỗi) và trong mỗi lần thời gian hiệu lực dài (nhằm tối thiểu các hao phí chuyển mạch).

- Mô hình năng lượng: Một mô hình đơn giản của sự hao phí năng lượng/bit cho truyền thông qua khoảng cách d là:

$$E = E_{tx} + E_{rx} = \alpha + \beta d^\eta$$

Trong đó:

α : khoảng cách độc lập, đặc trưng cho sự hao phí năng lượng của các điện tử truyền và nhận.

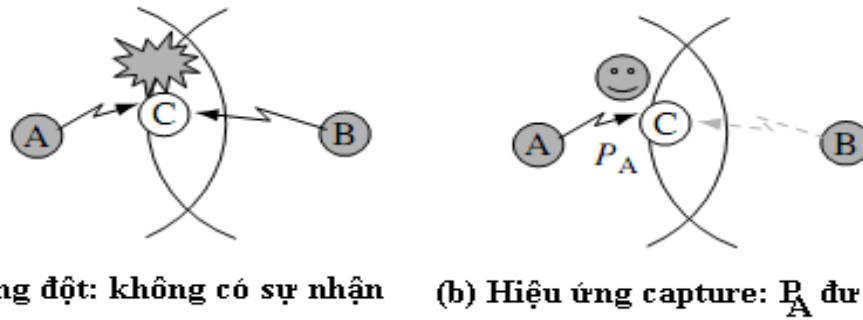
β : hằng số khuếch đại đường truyền.

d^η : sự khuếch đại được yêu cầu để bảo đảm rằng công suất nhận không đổi tại bộ thu.

η : suy hao đường truyền

- ❖ Đối với radio dải ngắn: $\alpha > \beta d^\eta$. Trên thực tế chỉ có α có thể quyết định hao phí truyền đối với radio dải ngắn, giá trị năng lượng truyền có thể giảm qua nhiều hop cùng với sự giảm công suất lỗi ra.

2.2.3. Mô hình nhiễu:



Hình 2.9: Nhiễu trong môi trường wireless: (a) là mô hình lý tưởng hóa; (b) mô hình hiệu ứng capture.

* *Mô hình lý tưởng*: A và B cùng truyền đến C → xung đột. Không có một nút nào có thể nhận thành công gói tin do xung đột, trong khi đó nút vẫn đang truyền. Một sự khác biệt của mô hình này là bề mặt giao thoa (nhiễu) có bán kính lớn hơn bán kính truyền thông.

Những mô hình loại này chỉ truyền thông tốt trên một link mà quá trình truyền luôn xảy ra xung đột với các đường truyền khác đến nút nhận. Nhận xét đơn giản này rất có ích cho thiết kế và bản phân tích, tuy nhiên cũng có thể có khả năng sai lệch cao.

Trong thực tế, các radio có khả năng nhận gói lỗi một cách tự do, thậm chí khi các gói khác đang được truyền bởi các nút lân cận. Đây được gọi là hiệu ứng capture.

$g_{i,j}$ là kênh giành được trên liên kết 2 nút i và j (kết hợp suy hao đường truyền như một hàm khoảng cách cũng như fading theo hàm \log_{10}).

P_i : công suất truyền tại đầu ra ở nút i .

N_i : công suất nhiễu tại nút i .

Nút 1 có thể nhận thành công một gói tin từ nút 0 (thậm chí có sự thiết lập giao thoa các nút I) đồng thời truyền các gói tin nếu:

$$\frac{P_0 g_{0,1}}{\sum_{i \in I} g_{i,1} P_i + N_1} > c$$

Biểu thức bên trái bất đẳng thức được gọi là tỷ lệ SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio – tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu và ồn).

C gọi là tỷ lệ capture hay ngưỡng capture. C phụ thuộc vào đặc điểm của bộ điều chế và bộ mã hóa của radio. Khi C nhỏ, việc capture một gói, thậm chí trong sự tồn tại của các quá trình truyền nhiễu là dễ dàng hơn.

Hiệu ứng capture đã được đo bằng thực nghiệm trong các sensor. Qua các thí nghiệm trên các thiết bị CC1010 nền tảng Mica 2 cho thấy 70% tất cả các quá trình truyền thông đồng thời tồn tại hiện tượng capture. So sánh với mô hình lý tưởng, hiện tượng capture có hiệu quả thiết thực làm giảm mức năng lượng gói tin bị mất trong sự tranh chấp ở lớp MAC.

2.3. Kết luận

Tính chất không dây của WSN có ưu điểm mềm dẻo, giá rẻ nhưng có những thách thức do nhiều yêu cầu khắt khe của kênh vô tuyến. Trong khái niệm khoảng cách, ba vùng khác nhau của chất lượng liên kết được biết đến là:

- Vùng được kết nối (các liên kết luôn có chất lượng cao)
- Vùng không được kết nối (các liên kết ít khi tồn tại)
- Vùng trung gian chuyển tiếp (vùng này được quan tâm đặc biệt, vì nó chứa nhiều liên kết thay đổi động và không đối xứng)

Để phân tích và mô phỏng vùng chuyển tiếp có thể sử dụng mô hình tốc độ nhận gói thống kê thời gian thực đơn giản có lưu ý đến khoảng cách truyền nhận. Truyền thông có thể tiêu thụ nguồn năng lượng đáng kể trong các mạng không dây, cần giảm thời gian của chế độ nhận vô tuyến im lặng bằng cách tắt vô tuyến nếu nó không sử dụng; Năng lượng chuyển trạng thái cũng đáng kể, cho nên sẽ không lợi về năng lượng khi truyền trên khoảng cách ngắn.

Chương 3:

ĐIỀU KHIỂN CÔNG SUẤT TRUYỀN TƯƠNG THÍCH

Chương 3 của đồ án đặt vấn đề tìm hiểu một giải pháp tiết kiệm năng lượng trên cơ sở điều khiển công suất phát cho từng nút mạng. Xuất phát từ ý tưởng cho rằng nếu các nút mạng WSN cùng phát một công suất truyền như nhau (thí dụ mỗi nút đều truyền dữ liệu với công suất 10mW), nếu công suất đó là thích hợp đối với những nút ở xa nhau thì nó sẽ là quá thừa với những nút gần nhau. Điều này không những lãng phí năng lượng đối với những nút gần nhau (chẳng hạn, nó chỉ cần truyền cho nhau với công suất phát 4mW là đủ) mà nó còn gây nhiễu cho dữ liệu của những nút ở xa, dẫn đến làm thấp hiệu quả truyền nhận của những nút ở xa nhau. Phải có một cơ chế điều khiển công suất phát cho từng cặp nút mạng sao cho công suất phát phù hợp với khoảng cách giữa chúng. Như vậy công suất phát được điều chỉnh dựa trên thông tin khoảng cách. Thông tin khoảng cách giữa một nút mạng có được nhờ vào quá trình gửi thông báo (gói beacon), và nhận thông báo trả lời về mức công suất nhận – RSSI. Mức công suất nhận RSSI lớn phản ánh khoảng cách gần, ngược lại mức công suất nhận thấp cho biết khoảng cách giữa chúng xa. Như vậy, việc điều chỉnh công suất phát của nút mạng dựa vào độ lớn của thông báo RSSI từ nút láng giềng.

Đã có nhiều công trình nghiên cứu điều khiển công suất nút mạng theo cơ chế nêu trên. Tuy nhiên, các kết quả thu được từ những công trình đó khi ứng dụng vào thực tế đều có những sai lệch đáng kể. Nguyên nhân nằm ở chỗ, các giả thuyết từ những công trình này cho rằng, thông tin về RSSI giữa một cặp nút là tĩnh, bất biến theo thời gian và không gian. Điều này không đúng cho truyền thông vô tuyến: mặc dù khoảng cách giữa cặp nút mạng là không đổi, nhưng cường độ sóng vô tuyến (RSSI) mà nút mạng nhận thay đổi theo thời gian và không gian. Các tác giả của công trình nghiên cứu điều khiển công suất truyền tương thích – ATPC (Adaptive Transmission Power Control for Wireless Sensor Network)[Shalin, JingbinZhang, GangZhou, Lingu, TianHe, và JohnA.Stankovic (University of Virginia and University of Minnesota), 2007] đã đưa ra mô hình, xây dựng phần mềm nhúng, tiến hành thực nghiệm trong các môi trường thực và đưa ra nhiều nhận xét đánh giá rất hữu ích về giải pháp này. Chương 3 của khóa luận có nhiệm vụ phân tích, tìm hiểu, làm sáng tỏ và giải thích cơ chế điều khiển công suất truyền tương thích của công trình nghiên cứu vừa nêu.

3.1. Mô hình điều khiển công suất tương thích

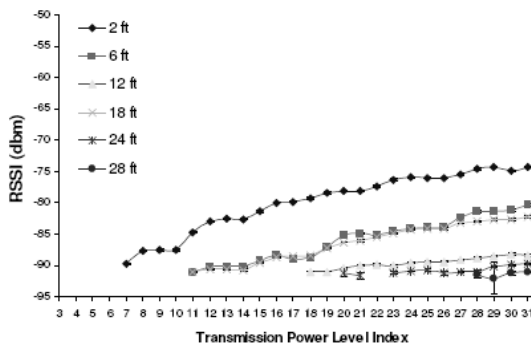
3.1.1 Ảnh hưởng không gian lên chất lượng link

Như đã nêu trên, cường độ sóng vô tuyến có bị ảnh hưởng bởi không gian. Điều này được chứng minh khi làm thực nghiệm nghiên cứu sự tương quan giữa công suất truyền và phẩm chất truyền dẫn liên kết trong ba môi trường khác nhau: một bãi đỗ xe, một bãi cỏ, và một hành lang (thể hiện trong hình 3.1).

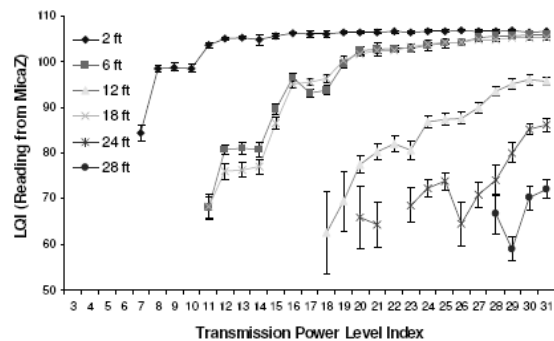


Hình 3.1 Nơi thực nghiệm

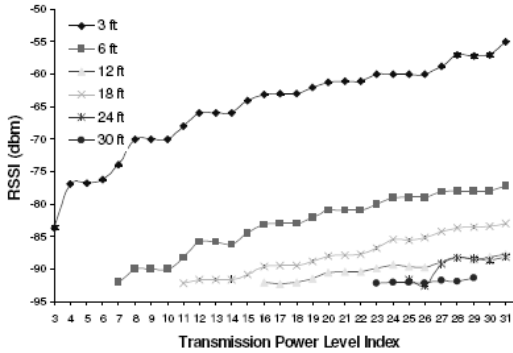
Trong thí nghiệm này có một cặp MICAz được sử dụng: một MICAz coi như là máy phát và MICAz thứ hai là nơi nhận. Chúng được đặt trên mặt đất tại các địa điểm khác nhau nhưng chịu sự chỉ đạo của cùng một ăng-ten. Máy phát gửi ra ngoài 100 gói tin (20 gói/giây) tại mỗi mức công suất truyền tải điện khác nhau. Nơi nhận giữ lại các RSSI trung bình, các LQI trung bình, và số lượng các gói dữ liệu nhận được ở mỗi mức công suất truyền tải điện. Các thí nghiệm được lặp lại với 5 cặp khác nhau trong cùng một điều kiện môi trường để có được sự chắc chắn của cùng một thống kê.



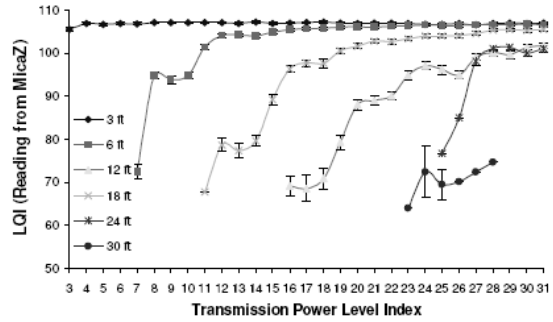
a, RSSI đo trên bãi cỏ



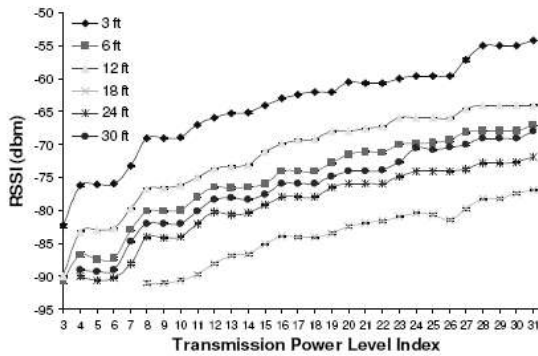
b, LQI đo trên bãi cỏ



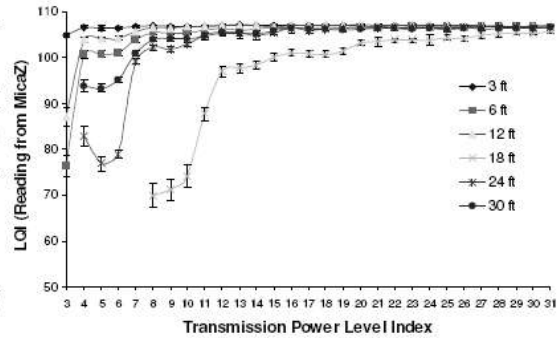
c, RSSI đo tại bãi đỗ xe



d, LQI đo tại bãi đỗ xe



e, RSSI đo tại hành lang



f, LQI đo tại hành lang

Hình 3.2 Truyền tải điện RSSI / LQI với khoảng cách khác nhau trong các môi trường khác nhau

Hình 3.2 cho thấy dữ liệu mà thử nghiệm thu được từ một trong những cặp nút trong môi trường khác nhau. Mỗi đường cong thể hiện tương quan giữa công suất truyền tải và RSSI / LQI tại một khoảng cách nhất định của cặp đó. Các khoảng tin cậy (97%) của RSSI / LQI cũng vẽ trên hình 3.2. Rõ ràng, có một sự tương quan mạnh mẽ giữa các chỉ số của mức truyền tải công suất và RSSI / LQI. Lưu ý rằng có một sự tương quan xấp xỉ tuyến tính giữa điện truyền tải và RSSI trong hình 3.2 (a)(c)(e). Các đường cong LQI trong hình 3.2 (b)(d)(f) cũng có mặt tương quan xấp xỉ tuyến tính khi các chỉ số LQI là nhỏ. Tuy nhiên, chỉ số LQI bị bão hòa khi chúng nhận được gần 110, đó là tối đa chất lượng khung phát hiện bởi CC2420[7]. Bên cạnh đó cũng nhận thấy mỗi đường cong LQI và đường cong tương ứng RSSI của nó thể hiện xu hướng tương tự và các biến thể. Điều này là do chỉ số LQI cũng là một phần của các giá trị SNR.. Đốc của đường cong RSSI thường giảm khi tăng khoảng cách, nhưng điều này không phải luôn luôn đúng. Theo [32], RSSI là tỉ lệ nghịch với bình phương của khoảng cách. Để có được cùng một mức RSSI tăng lên, một mức tăng năng lượng truyền là

cần thiết cho một khoảng cách dài hơn. Tuy nhiên, trong thực tế, quy tắc này không phải luôn giữ vững.

Ví dụ, trong hình 3.2 (a) và (c), dốc của đường cong RSSI ở khoảng cách 18 feet lớn hơn ở khoảng cách 12 feet, được gây ra bởi nhiều con đường phản ánh và tán xạ [43]. Do đó, mối tương quan được đo này là một sự phản ánh tốt hơn về thực tế truyền thông. Các hình dạng của đường cong RSSI / LQI dựa trên kết quả thu được từ một bãi cỏ (Hình 3.2 (a) và (b)), một bãi đỗ xe (Hình 3.2 (c) và (d)) và một hành lang (Hình 3.2 (e) và (f)) là sự khác nhau đáng kể, ngay cả với cùng một khoảng cách và hướng ăng-ten giữa một cặp nút. Ví dụ, với một mức công suất truyền tải là 20 và khoảng cách là 12 feet, RSSI là -90 dBm trên một bãi cỏ (Hình 3.2 (a)), trong khi ở trên -70 dBm trong một hành lang (Hình 3.2 (e)). Mặc dù các đường cong ở vị trí 12 feet tại 2 địa điểm là trên một sân cỏ và trên một bãi đỗ xe thì đều như nhau (Hình 3.2 (a) và (c)), trong đường cong ở vị trí 6 feet tại hai môi trường không phải là khá giống nhau (Hình 3.2 (a) và (c)). Các kết quả thử nghiệm xác nhận rằng sự truyền sóng vô tuyến trong các thiết bị cảm biến điện năng thấp có thể bị ảnh hưởng phần lớn bởi môi trường [43] [44] [10]. Hơn nữa, RSSI / LQI với công suất truyền dự kiến và khoảng cách biến đổi trong một phạm vi rất nhỏ và mức độ của biến thể có liên quan đến môi trường. Theo khoảng tin cậy (97%) được hiển thị trên hình 3.2, chỉ số RSSI là ổn định hơn LQI. Các khoảng tin cậy của RSSI không quan sát được ở hầu hết các điểm lấy mẫu trong hình 3.2 (a) (c) và (e).

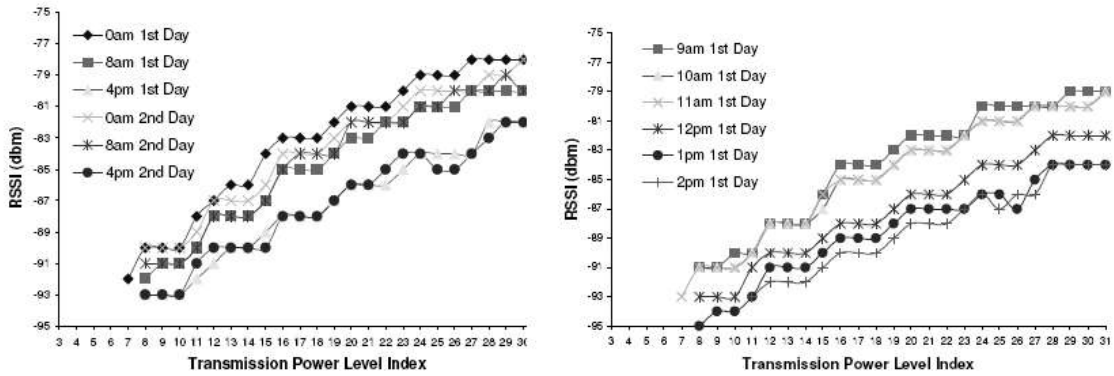
3.1.2 Ảnh hưởng của thời gian lên chất lượng link

Trong phần này, những kết quả thu được từ các thực nghiệm cho thấy mối tương quan này thay đổi chậm nhưng đáng chú ý trong một khoảng thời gian dài. Vì vậy, kiểm soát trực tiếp công suất truyền là cần thiết để duy trì chất lượng của thông tin liên lạc theo thời gian.

Một thử nghiệm ngoài trời trong 72 giờ được tiến hành để chứng minh các biến thể của chất lượng truyền thông vô tuyến theo thời gian. Vẫn dùng 9 motes MICAZ và đặt trong một đường thẳng với một khoảng giãn cách 3 feet. Những motes được gói trong hộp Tupperware để bảo vệ, chống lại thời tiết. Các hộp Tupperware được đặt trong nhánh cây khô. Nó cao khoảng 0.5 feet so với mặt đất bởi vì nhánh cây khô là rất kín. Trong thời gian thử nghiệm, mỗi mote gửi ra một nhóm 20 gói tin tại mỗi mức công suất truyền mỗi giờ. Tỷ lệ truyền là 10 gói tin / giây. Tất cả các mote khác nhận

và ghi lại các RSSI trung bình và số lượng các gói tin mà nó nhận được ở mỗi mức công suất truyền. Sự truyền của các motes khác nhau được dự kiến vào các thời điểm khác nhau để tránh va chạm.

Trong thử nghiệm này, dữ liệu thu được từ các cặp khác nhau biểu hiện chiều hướng giống nhau.



(a) Transmission Power vs. RSSI every 8-hour

(b) Transmission Power vs. RSSI every Hour

Hình 3.3 Năng lượng truyền so với RSSI tại các thời điểm khác nhau

Hình 3.3 thể hiện các dữ liệu thực nghiệm thu được từ một cặp motes ở khoảng cách ngoài 9 feet. Mỗi đường cong tượng trưng cho sự tương quan giữa công suất truyền tải và RSSI tại một thời điểm cụ thể. Mỗi tương quan giữa công suất truyền tải và RSSI mỗi 8 giờ thể hiện trong hình 3.3 (a). Các hình dạng của những đường cong khác nhau là do môi trường động học. Như kết quả hiển nhiên, các mức công suất truyền dẫn khác nhau là cần thiết để đạt được cùng một chất lượng liên kết tại các thời điểm khác nhau. Ví dụ, để duy trì giá trị RSSI tại mức -89 dBm, mức công suất truyền tải cần phải đạt 11 lúc 00:00 vào ngày đầu tiên, trong khi vào 4h chiều ngày thứ hai, mức công suất truyền tải cần phải đạt 20. Hình 3.3 (b) cho thấy những thay đổi hàng giờ của sự tương quan.

Từ hình 3.3 (b) thấy rằng mối quan hệ giữa công suất truyền và RSSI thay đổi dần dần nhiều hơn và liên tục hơn trong hình 3.3 (a). Ví dụ, sự thay đổi tối đa trong RSSI là 8 dBm trên một khoảng thời gian 8 giờ trong hình 3.3 (a), và là 3 dBm trong một một khoảng thời gian nửa tiếng trong hình 3.3 (b). Những đường cong là tương đương xấp xỉ, và mối quan hệ giữa công suất truyền và RSSI thay đổi khác nhau tại những thời điểm khác nhau trong ngày.

Hình 3.3 (a) cho thấy rõ đường cong lúc 4:00 vào ngày đầu tiên là thấp hơn nhiều so với đường cong tại 8:00 vào ngày đầu tiên. Các biến đổi giống nhau xảy ra trên các

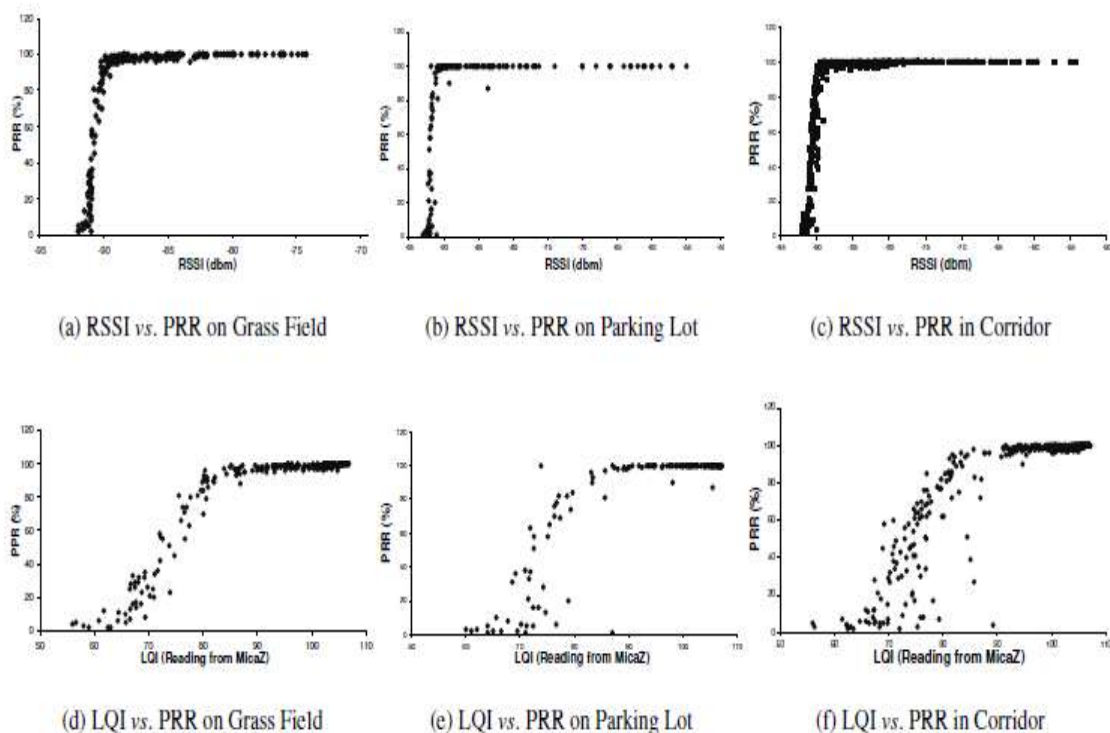
đường cong lúc 08:00 và 4h chiều vào ngày thứ hai, nhưng mức độ của biến đổi là khác nhau. Tất cả các kết quả này chỉ ra rằng nó là rất quan trọng để đề xuất các thuật toán điều khiển công suất truyền cho các mạng cảm biến nhằm giải quyết các động học thời gian của chất lượng truyền thông.

3.2 Động học của điều khiển công suất truyền

3.2.1 Ngưỡng về chất lượng của liên kết

Để thiết lập một cơ chế điều khiển công suất truyền hiệu quả cần hiểu được động học giữa chất lượng liên kết và các giá trị của RSSI/LQI. Trong phần này sẽ đưa ra các kết quả thực nghiệm chứng minh mối quan hệ trên.

Chất lượng liên kết không dây đề cập đến hiệu suất truyền thông vô tuyến giữa một cặp nút. PRR (tỉ lệ tiếp nhận gói tin) là thước đo trực tiếp nhất về chất lượng liên kết. Tuy nhiên, giá trị PRR chỉ có thể được ghi nhận thống kê trong một khoảng thời gian dài. Thí nghiệm chỉ ra cả RSSI và LQI có thể được sử dụng hiệu quả như số liệu về chất lượng liên kết nhị phân cho việc điều khiển công suất truyền.



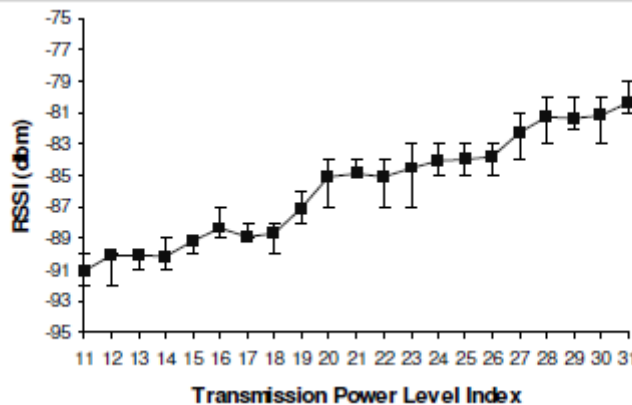
Hình 3.4 RSSI và PRR trong các môi trường khác nhau

Nhóm tác giả của công trình ghi chép lại PRR và các RSSI / LQI trung bình cho mỗi nhóm gồm 100 gói tin từ một bãi cỏ (Hình 3.4(a) và (d)), một bãi đỗ xe (Hình 3.4 (b) và (e)) và một hành lang (Hình 3.4 (c) và (f)). Tất cả các kết quả thực nghiệm cho thấy cả RSSI và LQI có mối quan hệ mạnh mẽ với PRR. Có một ngưỡng rõ ràng để

đạt được một PRR gần như hoàn hảo. Tuy nhiên, các ngưỡng là hơi khác nhau trong các môi trường khác nhau. Coi RSSI như là một ví dụ: ngưỡng đạt 95% PRR của RSSI là khoảng -90 dBm trên bãi cỏ (Hình 3.4 (a)), -91 dBm trên bãi đỗ xe (Hình 3.4 (b)), và -89 dBm trong hành lang (Hình 3.4 (c)).

3.2.2 Mỗi quan hệ giữa công suất truyền và RSSI/LQI

Khi thay đổi cường độ tín hiệu vô tuyến theo các hướng khác nhau thì thu được các kết quả bất thường vô tuyến, nhưng cường độ tín hiệu tại bất kỳ điểm nào trong phạm vi truyền vô tuyến đều chỉ ra một mối tương quan với công suất truyền trong một khoảng thời gian ngắn. Trong các thí nghiệm cho là ngắn, mối tương quan giữa công suất truyền và RSSI / LQI cho một cặp motes tại một khoảng cách nhất định thường là đều đều và liên tục. Từ hình 3.2, chiều hướng tăng chung của RSSI là đều đặn khi công suất truyền tăng.



Hình 3.5 Truyền tải điện với RSSI

Tuy nhiên, RSSI / LQI thay đổi trong một phạm vi nhỏ ở bất kỳ mức công suất truyền tải cố định nào. Vì vậy, sự tương quan giữa công suất truyền và RSSI / LQI là không xác định. Ví dụ, hình 3.5 cho thấy giới hạn cao hơn và thấp hơn của RSSI của 100 gói tin nhận được tại mỗi mức công suất truyền dẫn khi đặt hai motes 6feet riêng ra trên một bãi cỏ. Kết quả này chứng thực các quan sát từ các nghiên cứu trước đó [43] [44] [10]. Có ba lý do chính cho sự thay đổi trong đường cong RSSI và LQI. Trước tiên, fading [32] gây nên biến đổi cường độ tín hiệu tại bất kỳ khoảng cách cụ thể. Thứ hai, nhiễu xung quanh làm giảm nghiêm trọng chất lượng kênh truyền khi các tín hiệu vô tuyến mạnh không đáng kể so với tín hiệu nhiễu. Thứ ba, các phân cứng vô tuyến không đáp ứng hoàn toàn đúng chức năng [7].

Từ lúc sự biến đổi là nhỏ, mối quan hệ này có thể được xấp xỉ bởi một đường cong tuyến tính. Mối tương quan giữa RSSI và công suất truyền dẫn là xấp xỉ tuyến

tính, và các mối tương quan giữa LQI và công suất truyền tải cũng xấp xỉ tuyến tính trong một phạm vi. Từ khoảng tin cậy trong hình 3.2, có thể thấy cả RSSI và LQI là tương đối ổn định khi các giá trị này không là nhỏ. Tất cả các điểm với khoảng tin cậy lớn hơn 1 thì tương ứng với điểm có chất lượng liên kết thấp trong hình 3.4, và các giá trị RSSI / LQI mà có hầu hết sự thay đổi là dưới ngưỡng liên kết chất lượng tốt. Ta chỉ quan tâm đến lấy mẫu RSSI / LQI ở trên hoặc bằng với ngưỡng chất lượng liên kết tốt, nó là khả thi để sử dụng một đường cong tuyến tính để xấp xỉ tương quan này. Đường cong tuyến tính này được xây dựng dựa trên việc mẫu của RSSI / LQI.

Đường cong này gần như đại diện cho mối tương quan tại chỗ giữa RSSI / LQI và công suất truyền dẫn. Mối tương quan tại chỗ giữa công suất truyền và RSSI / LQI chịu ảnh hưởng phần lớn của môi trường, và những thay đổi tương quan theo thời gian. Cả hình dạng và mức độ của biến đổi đều phụ thuộc vào môi trường. Sự tương quan này cũng tự động biến đổi khi các điều kiện môi trường xung quanh thay đổi. Biến đổi là liên tục, và tốc độ biến đổi phụ thuộc vào nhiều yếu tố, trong đó mức độ biến đổi của môi trường là một trong những yếu tố chính.

3.3 Thiết kế điều khiển công suất truyền tương thích

Sau khi đã tìm hiểu các phần trên với các thực nghiệm thực tế, một đề xuất được thiết kế là Adaptive Transmission Power Control (ATPC). Mục tiêu của ATPC là:

- Một là làm cho tất cả các nút trong một mạng cảm biến tìm thấy các mức truyền tải điện tối thiểu có thể cung cấp chất lượng liên kết tốt cho các nút lân cận của nó, để giải quyết các tác động không gian
- Hai là để tự động thay đổi mức độ truyền tải điện cặp qua thời gian, giải quyết các tác động thời gian.

Thông qua ATPC, có thể duy trì tốt chất lượng liên kết giữa các cặp nút với sự điều khiển công suất tại chỗ truyền.

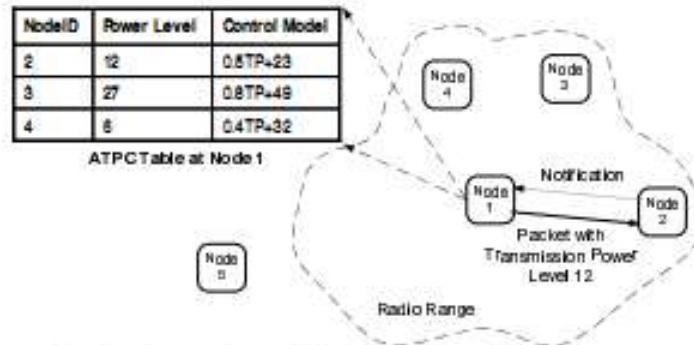


Fig. 6. Overview of the Pairwise ATPC Design

Hình 3.6 Thiết kế tổng quan của cặp ATPC

Hình 3.6 cho thấy ý tưởng chính của ATPC bao gồm: một bảng láng giềng được xác nhận tại mỗi nút và một vòng phản hồi kín để điều khiển công suất truyền chạy giữa mỗi cặp nút. Bảng láng giềng bao gồm các mức công suất truyền tải điện hợp lý mà nút này nên sử dụng cho các nút lân cận của nó và các thông số cho các mô hình dự đoán tuyến tính của điều khiển công suất truyền tải điện. Mức công suất truyền hợp lý được định nghĩa ở đây là mức truyền tải tối thiểu, được hỗ trợ bởi chất lượng liên kết tốt giữa 1 cặp nút.

Mô hình tiên đoán công suất truyền tuyến tính được sử dụng để mô tả mối quan hệ tại chỗ giữa những chất lượng liên kết và công suất truyền. Dữ liệu thực nghiệm mà công trình thu được cho rằng mối quan hệ tại chỗ không hoàn toàn tuyến tính. Vì vậy, mô hình tiên đoán này là một xấp xỉ của thực tế.

Để có được mức điều khiển truyền tải tối thiểu, nhóm tác giả đã áp dụng lý thuyết điều khiển phản hồi thông tin để thiết lập một vòng khép kín, để từng bước điều chỉnh công suất truyền. Như đã biết, điều khiển phản hồi thông tin cho phép một mô hình tuyến tính hội tụ trong một khoảng khi một hệ thống phi tuyến tính có thể được xấp xỉ bởi một mô hình tuyến tính, vì vậy có thể thiết kế một cách chắc chắn một điều khiển tín hiệu tuyến tính nhỏ cho hệ thống, ngay cả khi mô hình tuyến tính xác lập trong công trình nghiên cứu chỉ là một xấp xỉ của thực tế.

* Khởi tạo mô hình cho ATPC

Mục tiêu là thiết lập mô hình phản ánh mối tương quan của công suất truyền tải và chất lượng liên kết giữa nơi gửi và nơi nhận. Dựa trên nghiên cứu thực nghiệm phân tích tại mục 3.2 sẽ xây dựng một mô hình dự báo để thể hiện cho mối quan hệ giữa công suất truyền và chất lượng liên kết.

Do không có mô hình duy nhất có thể nắm bắt một cách chính xác cho mỗi mạng, hoặc thậm chí hành vi của mỗi nút nên rất cần có được một thiết lập mô hình cấp, phản ánh tác động tại chỗ trên các liên kết cá nhân. Dựa vào các mô hình này mà có thể dự đoán mức độ công suất truyền thích hợp dẫn đến ngưỡng về chất lượng liên kết. Ý tưởng của mô hình tiên đoán này là sử dụng một chức năng gần đúng với sự phân bố của RSSIs ở các cấp độ truyền tải công suất khác nhau, và để thích ứng với sự thay đổi môi trường bằng cách sửa đổi chức năng theo thời gian. Chức năng này được xây dựng từ cặp mẫu của các mức điện truyền tải và RSSIs thông qua một cách tiếp cận đường cong cho thích hợp.

Để có được các mẫu, mỗi nút phát đi một gói beacon ở các mức truyền tải công suất khác nhau và các láng giềng của nó ghi lại RSSI của từng gói thông báo rằng nó có thể nghe và trả lại các giá trị.

- Về mặt kỹ thuật, mô hình này sử dụng một vector TP và một ma trận R.

$TP = (t_{p_1}, t_{p_2}, \dots, t_{p_N})$. TP là vector chứa các mức công suất truyền khác nhau mà mote này sử dụng để gửi ra các thông báo. $|TP| = N.N$, số lượng các mức công suất khác nhau truyền dẫn, là tùy thuộc vào độ chính xác yêu cầu cho các ứng dụng. Matrix R bao gồm một tập hợp các vector RSSI R_i , tương ứng cho mỗi hàng xóm ($R = \{R_1, R_2, \dots, R_n\}^T$).

$R_i = \{r_i^1, r_i^2, \dots, r_i^N\}$ là vector RSSI cho láng giềng i, trong đó r_i^j là một giá trị RSSI đo tại nút i tương ứng với gói beacon được gửi bởi mức công suất truyền tp_j . Một hàm tuyến tính (phương trình 1) được sử dụng để đặc trưng cho mối tương quan giữa công suất truyền và RSSI trên cơ sở từng cặp.

$$r_i(tp_j) = a_i \cdot tp_j + b_i \quad (1)$$

Tức là chấp nhận một xấp xỉ bình phương nhỏ nhất, mà đòi hỏi chi phí tính toán không đáng kể và có thể dễ dàng áp dụng trong các thiết bị cảm biến. Căn cứ vào các vector của mẫu, các hệ số a_i và b_i của phương trình 1 được xác định thông qua phương pháp xấp xỉ bình phương nhỏ nhất bằng cách giảm thiểu S^2 .

$$\sum (r_i(tp_j) - r_i^j)^2 = S^2 \quad (2)$$

Theo đó, giá trị của a_i và b_i có thể được lấy tại phương trình 3:

$$\begin{bmatrix} a_i \\ b_i \end{bmatrix} = \frac{1}{N \sum_{j=1}^N (tp_j)^2 - (\sum_{j=1}^N tp_j)^2} \times \begin{bmatrix} \sum_{j=1}^N r_i^j \sum_{j=1}^N (tp_j)^2 - \sum_{j=1}^N tp_j \sum_{j=1}^N r_i^j \\ N \sum_{j=1}^N tp_j \cdot r_i^j - \sum_{j=1}^N tp_j \sum_{j=1}^N r_i^j \end{bmatrix}, \quad (3)$$

nơi mà i là ID của nút láng giềng và j là số lần truyền cố gắng. Sử dụng a_i và b_i cùng với một ngưỡng về chất lượng liên kết $RSSI_{LQ}$ được xác định dựa trên các thí nghiệm

tại mục 3.2, từ đó có thể tính toán công suất phát mong muốn
$$P_j = \frac{RSSI_{LQ} - b_i}{a_i}$$

Lưu ý rằng phương trình 3 chỉ thiết lập một mô hình khởi tạo và sau đó cần phải cập nhật liên tục mô hình này trong khi môi trường thay đổi theo thời gian tại một hệ thống đang running. Về cơ bản, các giá trị của a_i và b_i là các hàm số của thời gian. Các hàm số này cho phép sử dụng các mẫu mới nhất để điều chỉnh linh hoạt mô hình đường cong ở các phần trên.

Dựa trên kết quả thực nghiệm đã đạt được tại mục 3.1, dễ nhận thấy a_i , độ dốc của một đường cong, thay đổi ít trong lần thử nghiệm 3 ngày, trong khi b_i thay đổi đáng kể theo thời gian.

Vì vậy, một khi mô hình tiên đoán của ATPC được xây dựng, a_i không thay đổi nữa. $b_i(t)$ được tính bởi công suất truyền muốn nhất và cập RSSI từ phương trình cho phép phản hồi sau đây.

$$b_i(t) = \frac{\sum_{t=1}^K [RSSI_{LQ} - r_i(t-1)]}{K} \quad (4)$$

Tại đây $r_i(t-1)$ là giá trị RSSI của nút láng giềng i trong khoảng thời gian $t-1$. K là số phản ứng phản hồi nhận được từ nút này láng giềng ở khoảng thời gian $t-1$. Mặc dù chất lượng liên kết thay đổi đáng kể trong một thời gian dài, nó thay đổi từng bước và liên tục với tốc độ chậm. Thí nghiệm cho rằng một gói / giờ giữa một cặp là đủ để duy trì sự tươi mát của mô hình trong một môi trường tự nhiên.

Nếu mạng có một số lượng hợp lý của lưu lượng, chẳng hạn như một vài gói dữ liệu / giờ, các nút có thể sử dụng các gói dữ liệu này để đo sự thay đổi chất lượng liên kết và chỉ số RSSI. Bằng cách này, các mô hình này được làm mới với tổng chi phí ít.

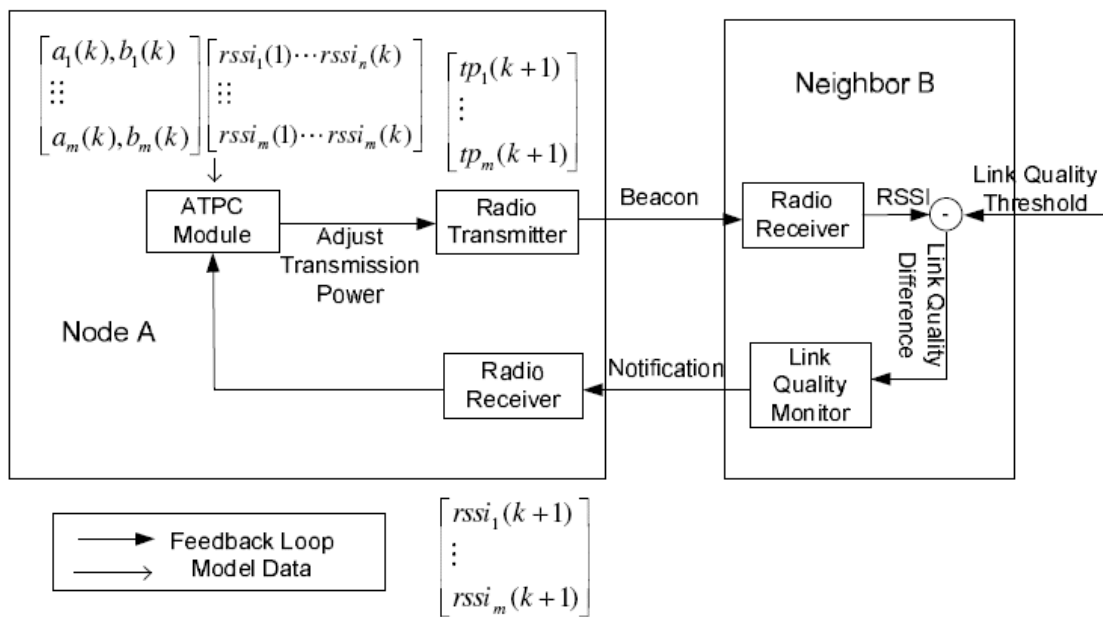
3.4 Thực nghiệm và đánh giá

3.4.1. Thực nghiệm

Việc tiến hành trên các thiết bị cảm biến ATPC dựa vào nội dung thảo luận chủ yếu gồm bốn khía cạnh:

- Hai giai đoạn là thiết kế và vòng phản hồi kín cho điều khiển công suất truyền.
- Các thông số có ảnh hưởng đến hiệu suất hệ thống
- Các kỹ thuật mà tối ưu hóa hiệu suất hệ thống và giảm chi phí
- Các vấn đề khác.

ATPC có hai giai đoạn, giai đoạn khởi tạo và giai đoạn điều chỉnh thời gian chạy. Trong giai đoạn khởi tạo, một mote ước tính một mô hình tiên đoán và lựa chọn một mức công suất truyền phù hợp dựa trên mô hình cho mỗi láng giềng. Từ lúc truyền thông không dây được quảng bá trong tự nhiên, tất cả các láng giềng có thể nhận được các gói beacon và đo được chất lượng liên kết trong parallel. Căn cứ vào tính chất này, mỗi node phát các gói beacon với các mức công suất truyền khác nhau trong giai đoạn khởi tạo, và các láng giềng của nó sẽ đo giá trị RSSI / LQI tương ứng với những gói beacon này và gửi các giá trị này trở lại bởi một gói tin thông báo.



Hình 3.7 Tổng quan vòng lặp phản hồi của ATPC

Trong giai đoạn điều chỉnh thời gian chạy, một phần phản hồi không quan trọng được thông qua để theo dõi sự thay đổi chất lượng liên kết và điều chỉnh trực tiếp công suất truyền. Hình 3.7 là một bức tranh tổng quan của việc phản hồi trong ATPC. Để đơn giản hóa các mô tả bằng cách chỉ ra một cặp nút. Mỗi nút có một module ATPC để kiểm soát công suất truyền. Module này thông qua một mô hình tiên đoán được mô tả trong khoảng trước cho mỗi láng giềng. Nó cũng duy trì một danh sách các mức công suất truyền phù hợp cho hàng xóm của các mote này. Khi nút A có một gói tin gửi cho láng giềng B của nó, đầu tiên điều chỉnh công suất truyền đến mức chỉ định cho bởi bảng láng giềng của nó trong module ATPC, và sau đó truyền các gói tin. Khi nhận được gói tin này, module giám sát chất lượng liên kết tại láng giềng B làm một phép đo chất lượng liên kết. Dựa trên sự khác biệt giữa chất lượng liên kết mong muốn và các phép đo thực tế, module giám sát chất lượng liên kết quyết định một gói tin

thông báo có là cần thiết không. Một gói tin thông báo là cần thiết khi chất lượng liên kết giảm xuống dưới mức mong muốn hoặc chất lượng liên kết là tốt, nhưng năng lượng tín hiệu lưu hành là quá cao, như vậy sẽ uổng phí năng lượng truyền. Các gói tin thông báo bao gồm chất lượng liên kết khác nhau được đo. Khi node A nhận được một thông báo từ láng giềng B của mình, module ATPC trong nút A sử dụng chất lượng liên kết khác nhau như là đầu vào cho mô hình tiên đoán và tính toán mức công suất truyền tải mới cho láng giềng của nó. Nếu đạt được chất lượng liên kết tốt đòi hỏi phải sử dụng mức công suất truyền tối đa, ATPC điều chỉnh công suất truyền đạt đến mức tối đa. Nếu sử dụng tối đa mức công suất truyền thì không thể đạt được chất lượng liên kết tốt, liên kết này được đánh dấu giao thức định tuyến, giống như [33] [35] [12] [9] [5], có thể chọn một lộ trình dựa trên bảng hàng xóm cung được cấp bởi ATPC. Nếu tất cả các lộ trình không thể cung cấp chất lượng liên kết tốt, mote có thể cố gắng truyền tốt nhất để cho nút láng giềng cùng với chất lượng liên kết tương đối tốt bằng cách sử dụng mức truyền tải điện tối đa.

Có một sự cân bằng giữa độ chính xác và chi phí khi áp dụng ATPC. Các giá trị thực tế của các tham số được lấy từ phân tích và kết quả thực nghiệm. Các thông số quan trọng bao gồm các ngưỡng chất lượng liên kết, tỷ lệ lấy mẫu của việc điều khiển công suất truyền, số lượng các gói dữ liệu mẫu trong giai đoạn khởi tạo, và điều chỉnh các tín hiệu nhỏ điều khiển công suất truyền, là tỉ lệ dẫn đến chất lượng liên kết báo lỗi. Lựa chọn các thông số là cần thiết để đạt được hiệu suất tốt.

Việc giám sát chất lượng liên kết có thể có bất cứ một trong ba tiêu chuẩn sau đây để ước tính sự thay đổi chất lượng liên kết. Đầu tiên là chất lượng liên kết được phản ánh bởi giá trị RSSI; thứ hai là giá trị LQI nếu có; và cuối cùng là tỉ lệ tiếp nhận gói tin như là phát hiện bởi thứ tự giám sát liên tục. Thiết kế ATPC là tương thích với tất cả những phương pháp này. Không làm mất tính tổng quát, sử dụng cả hai RSSI và PRR trong thí nghiệm. Lưu ý rằng các lý thuyết được mô tả trong phần 3.1 là hướng dẫn đúng trong điều kiện lý tưởng.

Để giám sát chất lượng liên kết bằng cách dựa vào các giá trị RSSI, ta đặt hai ngưỡng chất lượng liên kết. LQ_{upper} là một ngưỡng cao hơn và LQ_{lower} là một ngưỡng thấp hơn. Miễn là giá trị RSSI của gói tin nhận được nằm trong phạm vi này, thì hệ thống ở trạng thái ổn định. Khi một liên kết ở trạng thái ổn định, nơi nhận không cần

phải gửi một gói tin thông báo cho nơi gửi và nơi gửi không cần điều chỉnh công suất truyền tải.

Giới hạn của $[LQ_{lower}, LQ_{upper}]$ là quan trọng để tiết kiệm năng lượng và điều chỉnh độ chính xác. Nếu phạm vi của $[LQ_{lower}, LQ_{upper}]$ là quá nhỏ, fading tín hiệu vô tuyến có thể dẫn đến những dao động của công suất truyền. Nếu phạm vi của $[LQ_{lower}, LQ_{upper}]$ là quá lớn, kết quả điều khiển công suất truyền có thể không đủ chính xác, và sự điều khiển công suất truyền tối ưu sẽ không thể đạt được. Trong hệ thống xử lý, giá trị của LQ_{lower} được chọn để đảm bảo rằng chất lượng liên kết không tụt xuống dưới mức cho phép.

Đối với LQ_{upper} trong khi thiết kế, các giá trị của nó được chọn để giảm chi phí năng lượng phải bỏ ra để truyền thông báo và năng lượng tiết kiệm cho việc truyền các gói dữ liệu. Đây là một tính toán đơn giản để lựa chọn LQ_{upper} để so sánh năng lượng tiêu thụ bằng việc gửi một gói tin điều khiển cùng với các năng lượng được tiết kiệm cho n gói dữ liệu sau khi điều chỉnh công suất phát. Để đơn giản sử dụng $n = 2$. Như vậy, tiết kiệm năng lượng đạt được khi có ít nhất hai gói dữ liệu được truyền đi bằng cách sử dụng việc điều chỉnh mức công suất truyền, được so sánh với năng lượng tiêu thụ bằng cách truyền một gói tin thông báo.

Một tỷ lệ lấy mẫu phản hồi tốt là điều cần thiết để duy trì chất lượng liên kết tại một mức mong muốn trong khi giảm thiểu tối đa chi phí điều khiển. Hai yếu tố chính ảnh hưởng đến tỷ lệ lấy mẫu phản hồi là: động học chất lượng liên kết và lưu lượng mạng. Một mặt, các động học về chất lượng liên kết cao hơn, tỷ lệ lấy mẫu cao hơn cần thiết. Dựa trên kết quả thực nghiệm trong hình 3.3, chất lượng liên kết tối đa biến đổi / 8 giờ là 8 dBm và chất lượng liên kết tối đa biến đổi / 1 giờ là 3 dBm. Để giữ chất lượng lỗi liên kết dưới 3 dBm, thì tỷ lệ lấy mẫu của 1 gói / giờ là cần thiết. Mặt khác, lưu lượng mạng đều đặn có thể được sử dụng cho mục đích lấy mẫu ATPC và được coi là đầu vào của ATPC. Khi lưu lượng mạng cao hơn tỷ lệ lấy mẫu, các gói tin thông báo có thể được gửi theo yêu cầu. Chỉ có một số ít các gói thông báo là cần thiết và chi phí kiểm soát được giảm thiểu. Việc đánh giá hệ thống trên cho thấy rằng thiết kế này là rất hiệu quả. Trung bình, 8 gói tin theo yêu cầu thông báo được gửi cho một liên kết một ngày để giải quyết các động học chất lượng liên kết thời gian chạy.

Trong các ứng dụng với định kì lưu lượng đa bước, một cách tiếp cận lắng nghe có thể lưu lại phạm vi của gói tin thông báo. Dọc theo đường truyền dữ liệu, khi một

nút là các gói tin chuyển tiếp đến bước tiếp theo của nó, nó có thể kết hợp thêm một byte để ghi lại các giá trị RSSI của việc truyền bước trước đây trong gói dữ liệu, và sau đó nơi gửi bước trước có thể lắng nghe các RSSI tương ứng, do đó loại bỏ rõ ràng các thông báo.

Một kỹ thuật tối ưu là chỉ sử dụng ATPC trên các đường đi giới hạn với lưu lượng dày đặc, do đó, ATPC có thể mở rộng thời gian sống hệ thống trong khi hỗ trợ một chất lượng giao tiếp cao end-to-end cùng với số ít giới hạn điều khiển. Đối với những liên kết mức lưu lượng thấp, trực tiếp sử dụng một mức công suất truyền vừa phải là một sự cân bằng tốt giữa chất lượng truyền thông và tiết kiệm năng lượng. Điều này là do các nút không cần phải tạo ra các gói tin điều khiển định kỳ để giám sát chất lượng liên kết.

Dựa trên các kết quả thực nghiệm, các chỉ số RSSI có thể bị ảnh hưởng bởi nhiều thuộc về môi trường ngẫu nhiên. Ví dụ, RSSI với một gói beacon nhất định có thể đột xuất cao hay thấp, điều không thích hợp với mối quan hệ đơn điệu giữa công suất truyền và RSSI. Ngay từ đầu vào lọc nhiễu như vậy có thể nâng cao tính chính xác của mô hình ATPC. Mặt khác, nếu một số RSSI với một mức công suất truyền nhất định rơi vào phạm vi chất lượng liên kết như mong muốn nhiều, bằng cách sử dụng mức công suất truyền tương ứng trực tiếp cũng tăng cường hiệu suất của ATPC.

Code cho ATPC chủ yếu bao gồm các hàm cho xấp xỉ tuyến tính. Kích thước code là 14.122 byte trong bộ nhớ ROM. Các cấu trúc dữ liệu trong ATPC chủ yếu bao gồm một bảng láng giềng, một vector TP và một ma trận R như được mô tả trong phần 3.3 khởi tạo mô hình cho ATPC. Đối với một nút với 20 láng giềng thì kích thước dữ liệu là 2167 byte trong bộ nhớ RAM.

3.4.2.Đánh giá thực nghiệm:

ATPC được đánh giá trong các môi trường ngoài trời. Đầu tiên đánh giá mô hình tiên đoán của ATPC được mô tả trong phần 3.3 với một thử nghiệm ngắn. Sau đó mô tả một thí nghiệm trong vòng 72 giờ để so sánh ATPC chống lại giải pháp công suất truyền mức mạng không đổi và một giải pháp công suất truyền nút không đổi. Theo kết quả thực nghiệm, lợi thế của ATPC nằm ở ba khía cạnh cốt lõi:

(1) ATPC duy trì chất lượng truyền thông cao theo thời gian trong sự thay đổi điều kiện thời tiết. Nó có chất lượng liên kết tốt hơn đáng kể là sử dụng công suất truyền tĩnh trong một thử nghiệm lâu dài, trong đó xác nhận các quan sát tại mục 3.1.2. Hơn

nữa, nó vẫn duy trì tương đương chất lượng liên kết như sử dụng giải pháp công suất truyền tối ưu.

(2) ATPC đạt được tiết kiệm năng lượng đáng kể so với các giải pháp mức mạng công suất truyền. ATPC chỉ tiêu thụ 53,6% năng lượng truyền tải của giải pháp năng lượng truyền tối đa, và 78,8% năng lượng truyền của giải pháp mức mạng công suất truyền.

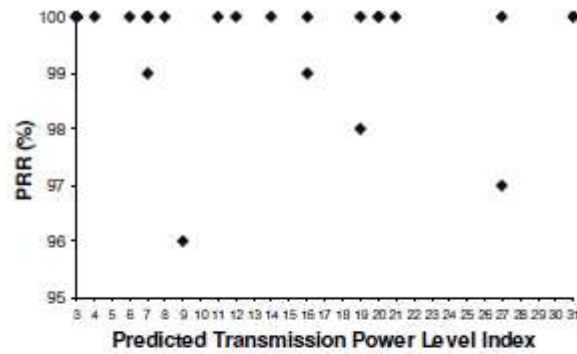
(3) ATPC dự đoán chính xác mức công suất truyền điện hợp lí và điều chỉnh mức công suất truyền tải trong thời gian để đáp ứng những thay đổi môi trường, thích nghi với không gian và yếu tố thời gian.

3.4.2.1.Đánh giá giai đoạn khởi tạo

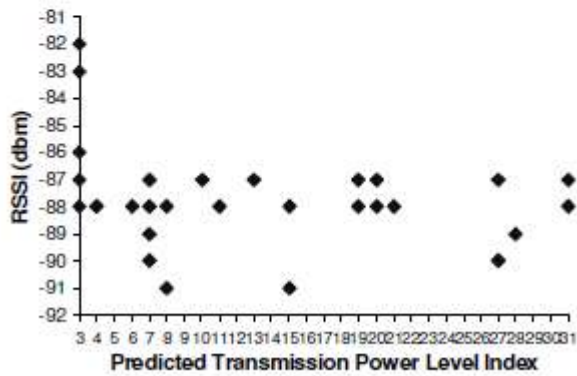
Trong giai đoạn khởi của ATPC, mỗi mote phát đi một nhóm các gói beacon. Láng giềng của nó ghi lại RSSI và mức công suất truyền tương ứng của từng beacon, rằng nó có thể nghe, và sau đó gửi chúng tới các node beaconing. Sử dụng những cặp giá trị như là đầu vào cho module ATPC, nút beaconing xây dựng các mô hình tiên đoán và tính toán mức công suất truyền tải cho mỗi láng giềng.

Để đánh giá tính chính xác của giai đoạn khởi tạo, thử nghiệm được tiến hành tại một bãi đỗ xe với 8 mote MICAZ, nó được lặp lại 5 lần. Những mote được đặt riêng ra một dòng 3 feet từ các nút lân cận. Mỗi mote chạy giai đoạn khởi ATPC trong một khe thời gian khác nhau, đưa ra 8 gói beacon (tỉ lệ 5 gói / giây) bằng cách sử dụng các mức công suất truyền khác nhau. Các mức công suất truyền được phân bố một cách đều đặn trong phạm vi công suất truyền hỗ trợ bởi chip vô tuyến CC2420. Sau giai đoạn khởi tạo, mỗi mote gửi một nhóm 100 gói tin để các láng giềng của nó dự đoán được các mức truyền tải điện. Láng giềng của nó sẽ ghi lại các trung bình RSSI và PRR.

Các kết quả thử nghiệm được thể hiện trong hình 3.8 (a) và hình 3.8 (b).



(a) Predicated Transmission Power vs. PRR



(b) Predicated Transmission Power vs. RSSI

Hình 3.8 Dự đoán chính xác

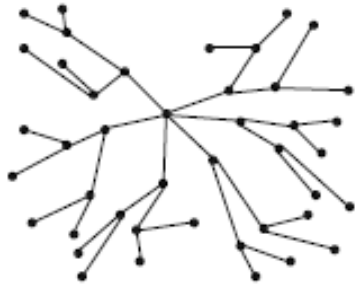
Tất cả các điểm trong hình 3.8 (a) thể hiện một cặp dự đoán mức công suất truyền và PRR khi sử dụng mức công suất. Trong tất cả các thí nghiệm, PRR trung bình là 99,0 %. Từ hình 3.8 (a), có thể thấy rằng tất cả các chỉ số RSSI đang ở trên hoặc bằng -91 dBm. Độ lệch tiêu chuẩn của RSSI là 2. Theo mục 3.2.1, RSSIs trên -91 dBm có nghĩa là chất lượng liên kết là tốt trong một bãi đỗ xe. Các kết quả này chứng minh rằng mô hình tiên đoán của ATPC hoạt động tốt. Hơn nữa, trong các thí nghiệm lâu dài mà nhóm tác giả thực hiện, các mức công suất truyền dự đoán đều thu được trong giai đoạn khởi tạo của ATPC của hầu hết các nút nằm trong phạm vi mong muốn.

3.4.2.2. Hiệu suất thời gian thực hiện

Để đánh giá việc thực hiện bằng cách so sánh ATPC chống lại các thuật toán điều khiển công suất truyền đã tồn tại trước đây: một kiểu giải pháp mức mạng và giải pháp đồng bộ một mức (không đồng bộ). Hai mức công suất truyền mạng được sử dụng: mức công suất truyền tối đa (Max) và công suất truyền tối thiểu trên các nút trong mạng mà cho phép chúng tiếp cận với láng giềng của chúng. Một thử nghiệm 72 giờ liên tục được tiến hành để đánh giá sự tiết kiệm năng lượng và chất lượng truyền

thông của ATPC theo thời gian. Các dữ liệu thực nghiệm cho thấy rằng ATPC đạt được tổng thể hiệu quả tốt nhất về chất lượng truyền thông và tiêu thụ năng lượng. 3 điểm end-to-end PRR của ATPC liên tục nằm trên 98% trong với ba ngày, và ATPC tiết kiệm đáng kể công suất truyền tiêu thụ so với các giải pháp mức công suất truyền mạng truyền dẫn thống nhất năng lượng.

a.Thiết lập thực nghiệm



Hình 3.9 Topo mạng



Hình 3.10 Khu vực thử nghiệm

Một thử nghiệm 72 giờ được thực hiện trên một bãi cỏ với 43 mote MICAz. Các mote này được triển khai theo một mạng topo ngẫu nhiên. Chúng tạo thành một cây bao trùm như trong hình 3.9. Rễ của cây bao trùm là trung tâm của hình 3.9. Diện tích khu vực triển khai là một 15 mét vuông. Hình 3.10 là một hình ảnh của việc triển khai nút đối với một trong các thí nghiệm của trên một bãi cỏ. Tất cả các mote được đặt trong hộp tupperware để bảo vệ khỏi thời tiết (dùng hộp nhựa (vật liệu không dẫn điện) thì không làm giảm đáng kể sóng vô tuyến).

Có tổng số 24 nút lá trên cây bao trùm này. Những nút lá báo cáo dữ liệu về nút gốc theo giờ. Mỗi giờ được chia đều thành 24 khe thời gian và các nút lá khác nhau được giao cho các khe thời gian khác nhau. Truyền dẫn khác nhau của các mote được lên kế hoạch tại thời điểm khác nhau để tránh va chạm. Mỗi nút lá báo cáo 32 gói dữ liệu đến nút gốc với một tốc độ truyền tải 15 gói / phút trong khe thời gian của nó. Những gói dữ liệu được chia thành 4 nhóm, tương ứng với 4 giải pháp điều khiển công suất truyền: ATPC, Max, đồng bộ, và không đồng bộ. Bốn thuật toán được đánh giá trong cùng môi trường. Việc dự đoán mức độ công suất truyền đạt được trong giai đoạn khởi tạo ATPC được sử dụng cho không đồng bộ, đáp ứng các giả định rằng đó là việc truyền tải điện năng tối thiểu cho mỗi nút để tiếp cận với láng giềng. Sử dụng dự đoán mức công suất truyền tối đa của tất cả các nút thu được trong giai đoạn khởi ATPC cho đồng bộ. Mức công suất truyền này là mức công suất truyền tối thiểu trên

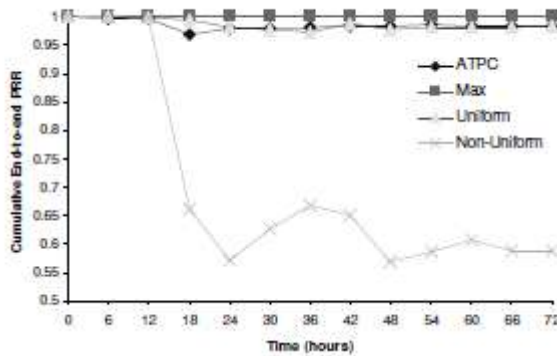
tất cả các nút để tiếp cận với các láng giềng của họ. Max, đồng bộ, và không đồng bộ sử dụng tất cả các công suất truyền tĩnh. Các số liệu thống kê về số lượng các gói tin được gửi và nhận và mức công suất truyền được sử dụng cho từng giải pháp được ghi nhận tại mỗi mote.

Trong thử nghiệm này, để đơn giản, mỗi node xem cha của nó trong cây bao trùm là láng giềng của mình. Thử nghiệm này được triển khai vào 18:00 ngày 19 tháng 3, và kết thúc vào 19:00 ngày 22 tháng 3. Có một hướng dẫn kéo dài 2 giờ vào buổi sáng ngày 21 tháng 3. Hình 3.11 cho thấy các điều kiện thời tiết trong những ngày này.

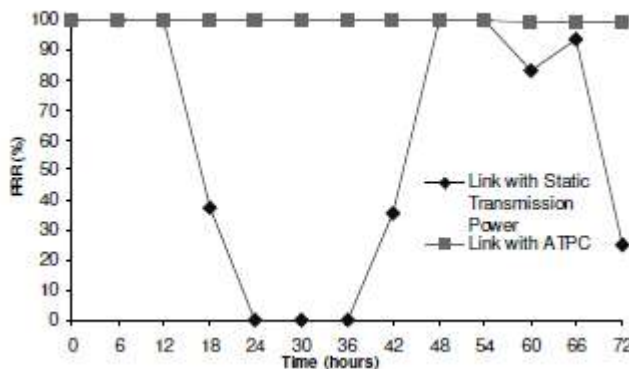
Date	March 19	March 20	March 21	March 22
High	56° F	54° F	41° F	49° F
Low	27° F	31° F	31° F	30° F
Precip.	0 inch	0 inch	0.05 inch	0 inch
Condition	Fair	Mostly Fair	Cloudy, Light Rain during 10am ~ 12am	Mostly Fair

Hình 3.11 Điều kiện thời tiết hơn 72 giờ

b. Tỷ lệ truyền dữ liệu



Hình 3.12 E2E PRR theo thời gian



Hình 3.13 Chất lượng liên kết theo thời gian

Hình 3.12 cho thấy PRR end-to-end tích lũy theo thời gian. Từ hình này, có thể thấy giải pháp Max đạt được 100% end-to-end PRR tất cả thời gian. Khi sử dụng công suất truyền tối đa làm cho các giá trị RSSI tại nơi nhận cao nhất trong tất cả các giải pháp, đó là thiết thực cho thay đổi môi trường ngẫu nhiên và nhiễu.

Cả ATPC và đồng bộ đạt được khoảng 98% tích lũy end-to-end PRR. ATPC có hiệu quả ít tốt hơn so với đồng bộ là 83% thời gian thực nghiệm. Tuy nhiên, lý do mất gói tin của hai giải pháp này là khá khác nhau. Đối với ATPC, một nửa của những liên kết end-to-end này có 100% PRR. 12 liên kết khác từ nút lá sang nút gốc bị mất gói tin ngẫu nhiên theo thời gian. Đối với giải pháp đồng bộ, mất gói dữ liệu chủ yếu xảy ra tại 2 liên kết cụ thể. Các liên kết này có cùng mức dự đoán công suất truyền tải như mức công suất truyền đồng bộ. Từ hình 3.13, so sánh các PRRs của liên kết này khi nó hoạt động trong đồng bộ và ATPC. Chất lượng liên kết này được duy trì bởi mức truyền công suất tĩnh là dễ bị ảnh hưởng hơn là thay đổi môi trường. Sau 12 giờ đầu tiên, các PRR của liên kết cùng với sức mạnh truyền tĩnh trong đồng bộ giảm đáng kể, và nó trên 95% PRR chỉ 25% thời gian. Mặt khác, liên kết gần giống với ATPC liên tục đạt trên 99% PRR trong khi tiếp xúc cùng một môi trường và sử dụng cùng phần cứng vô tuyến. Hai liên kết yếu là giữa các nút lá và các mức nút cha đầu tiên, do đó, mất gói tin nó gây ra không tác động lớn đến PRR end-to-end trung bình. Tuy nhiên, nếu như một mức công suất truyền tĩnh được sử dụng tại các liên kết với lưu lượng truy cập nhiều hơn, chẳng hạn như một liên kết giữa cha mẹ mức 2 và gốc, chất lượng truyền thông end-to-end sẽ giảm nghiêm trọng.

Giải pháp không đồng bộ có hiệu suất yếu theo thời gian. Tất cả các liên kết trong giải pháp này là dễ bị ảnh hưởng đến biến đổi chất lượng liên kết. Tuy nhiên, trong thực nghiệm ngắn và trong điều kiện thời tiết tương đối tĩnh, không đồng bộ có thể đạt được nhiều hơn 99% PRR end-to-end, như trong hình 3.12. Sau 12 giờ đầu tiên, chất lượng truyền thông của giải pháp không đồng bộ trở nên kém và không ổn định. Chúng tôi cũng nhận thấy rằng sự thay đổi của chiều hướng của nó là lớn hơn nhiều so với các giải pháp khác. Nó có nghĩa là các PRR end-to-end với những mức công suất truyền tĩnh tại các khoảng thời gian nhất định có thể tốt hơn đáng kể hoặc tồi tệ hơn ở những khoảng thời gian khác trong ngày. Quan sát này xác nhận phán đoán của nhóm tác giả rằng các động học của chất lượng liên kết có thể làm cho hiệu suất truyền thông không ổn định và không thể đoán trước khi công suất truyền tĩnh.

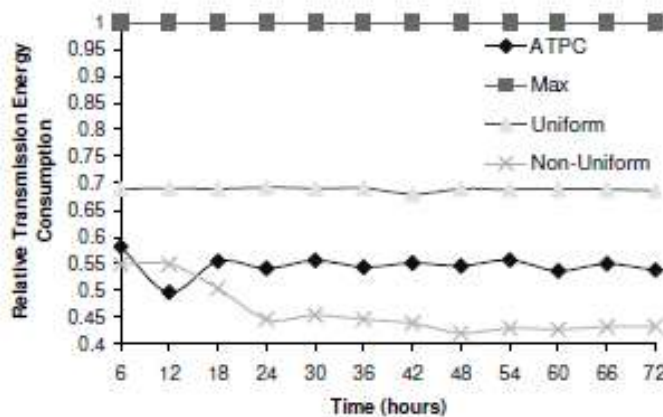
Xem xét chất lượng của truyền thông không dây, ATPC và các giải pháp công suất truyền tối đa là thích hợp để áp dụng vào các hệ thống thực.

c. Công suất tiêu thụ

Tổng năng lượng tiêu thụ của mạng được đo trong chế độ truyền của vô tuyến khi đề án khác nhau được sử dụng. Chúng tôi tính toán tổng số năng lượng tiêu thụ trong các truyền tải của hệ thống theo công thức sau đây:

$$E = \sum_{i=1}^n (\sum_{j=\min}^{\max} ((NumD_{ij} \times TE_j) \times LD) + NumC_i \times \max TE \times LC)$$

Trong đó i là ID node và j là mức công suất truyền tải. NumD_{ij} là số gói dữ liệu được gửi tại nút i với mức công suất truyền j. TE_j là năng lượng truyền tiêu thụ cho mỗi bit từ [7]. LD là độ dài của một gói dữ liệu, là 45 byte. Tất cả các gói điều khiển được gửi với mức công suất truyền tối đa. NumC_i là số các gói tin điều khiển (các gói beacon và các thông báo) được gửi tại nút i. maxTE là năng lượng truyền tải trên mỗi bit khi sử dụng mức truyền tối đa. LC là độ dài của một gói điều khiển, là 19 byte. Trong thực nghiệm này, tỷ lệ số lượng các gói điều khiển và số lượng các gói dữ liệu là 3,9%. Tỷ lệ năng lượng tiêu thụ bởi các gói điều khiển và năng lượng tiêu thụ bởi các gói dữ liệu là 1,9%. ATPC đạt mức năng lượng hiệu quả với tổng mức điều khiển không nhỏ.

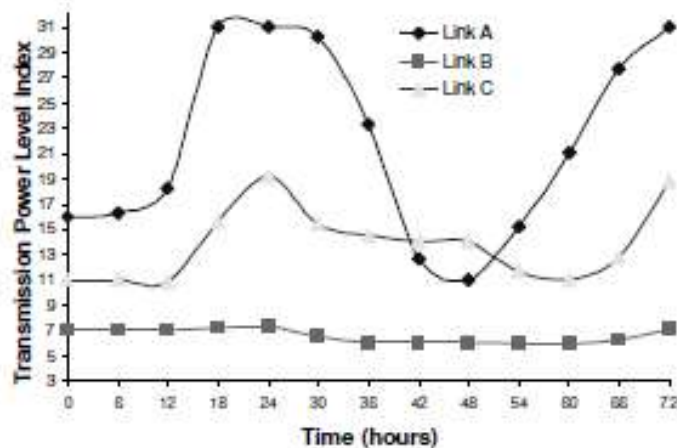


Hình 3.14 Sự tiêu thụ năng lượng truyền dẫn theo thời gian

Để so sánh tốt hơn, chúng ta lấy mức tiêu thụ năng lượng của Max là đường cơ sở, là đường đầu tiên trong hình 3.14. Mức năng lượng tiêu hao của ba phương pháp khác được thể hiện như tỷ lệ phần trăm giá trị với đường cơ sở này. Các dữ liệu thực nghiệm chứng minh rằng ATPC và không đồng bộ tiêu thụ năng lượng truyền dẫn ít nhất. Xem xét rằng ATPC có chất lượng truyền thông tốt hơn nhiều so với không đồng bộ, ATPC là giải pháp năng lượng hiệu quả nhất. Trong hình 3.14, ATPC đã tiêu thụ ít

năng lượng truyền dẫn hơn Max và đồng bộ. Mặc dù ATPC có gói beacon và các gói tin phản hồi, mức tiêu thụ năng lượng truyền trung bình của ATPC là về 53,6% của Max và 78,8% của đồng bộ.

Xu hướng tiêu thụ năng lượng của ATPC thay đổi một chút. Yếu tố chính gây ra biến đổi này là sự thay đổi mức công suất truyền. Có gói chỉ 3 phản hồi cho mỗi liên kết trung bình mỗi ngày. So sánh ATPC với không đồng bộ trong 6 giờ đầu tiên, ATPC đã tiêu thụ năng lượng gần giống không đồng bộ. Lý do là mức công suất truyền tải của mỗi mote không thay đổi nhiều trong 6 giờ đầu tiên. Trong 6 giờ đồng hồ, không đồng bộ có mức tiêu thụ năng lượng cao hơn ATPC bởi vì một số lượng lớn các nút giảm mức công suất truyền của nó để tiết kiệm năng lượng trong ATPC. Sau đó, năng lượng truyền của không đồng bộ giảm chủ yếu là vì PRR thấp, làm giảm số lượng truyền chuyển tiếp. Max và đồng bộ có mức tiêu hao năng lượng truyền tương đối ổn định bởi vì nó sử dụng mức công suất truyền tĩnh và thông lượng mạng của nó là ổn định. Mức công suất truyền tải được sử dụng trong đồng bộ phụ thuộc phần lớn vào topo mạng này. Trong một mạng với khoảng lớn các láng giềng, mức công suất truyền dẫn đồng bộ này có xu hướng được gần với mức công suất truyền tối đa. Cả hai giải pháp năng lượng truyền dẫn lãng phí đáng kể so với ATPC.



Hình 3.15 Mức truyền năng lượng trung bình theo thời gian

Tổng năng lượng tiêu thụ của không đồng bộ thay đổi bởi vì mạng lưới của nó thay đổi. So với các giải pháp khác, nó tiêu thụ năng lượng truyền dẫn ít nhất theo thời gian. Không có những chi phí của thông tin phản hồi trong ATPC, nhưng năng lượng không được sử dụng hiệu quả do chất lượng truyền thông thấp. Tuy nhiên, nó có thể cung cấp chất lượng truyền thông tốt và tiết kiệm năng lượng trong giới hạn.

Lựa chọn ba liên kết và khoảng sức mạnh truyền trung bình được sử dụng theo thời gian trong hình 3.15. Tất cả các liên kết này liên tục đạt trên 98% PRR. Từ hình 3.15 rút ra hai quan sát chính như sau. Từ một nhật kí ghi chép của quá trình điều chỉnh trong ATPC, đó là xác nhận chất lượng liên kết là khác nhau đáng kể trong thực tế. Mặc dù tất cả các liên kết này làm việc trong môi trường giống nhau, tốc độ điều chỉnh và khoảng công suất truyền cho các liên kết khác nhau có thể khác nhau đáng kể. Có thể nhận thấy liên kết A đã có một loạt thay đổi lớn, có nghĩa là nhạy cảm cao với thay đổi của môi trường. Công suất truyền của liên kết C là khá ổn định, nó là một liên kết mạnh mẽ đến thay đổi môi trường. Mức biến đổi của công suất truyền của liên kết B là ở khoảng giữa. Liên kết B là một trường hợp rất điển hình trong công trình nghiên cứu này.

ATPC là động lực thiết thực trong việc xử lý chất lượng liên kết trong thực tế, theo điều kiện khác nhau của liên kết. Mặc dù tất cả các liên kết này tiếp xúc với cùng môi trường, các tác động của môi trường lên chúng được liên kết cụ thể. ATPC điều chỉnh thành công các công suất truyền khác nhau. Nó cũng chứng thực các đánh giá ở mục 3.2.2 rằng môi trường thay đổi là một lý do chính cho việc điều chỉnh điện công suất truyền, và việc điều chỉnh tốc độ phụ thuộc vào tốc độ biến đổi của môi trường.

Tóm lại, ATPC duy trì trên 98% chất lượng giao tiếp end-to-end, trong khi tiết kiệm đáng kể công suất truyền. Giải pháp công suất truyền không đồng bộ tĩnh có thể hoạt động tốt trong thời gian ngắn trong các môi trường tĩnh, nhưng chất lượng truyền thông rất dễ bị môi trường thay đổi. Các giải pháp công suất truyền tối đa là thiết thực đối với sự thay đổi môi trường, nhưng không tốt cho năng lượng truyền.

3.5.Kết luận

Là một bước vững chắc hướng tới việc kiểm soát topo mạng tại chỗ trong các mạng cảm biến, ATPC trình bày một kỹ thuật kiểm soát truyền công suất. Thực nghiệm trình bày trong bài báo cho thấy sự tương quan giữa RSSI / LQI và chất lượng liên kết. Những nhận xét này đã hướng dẫn cách thiết lập một mô hình để dự đoán khả năng truyền tải thích hợp, đủ để đảm bảo một tỉ lệ tiếp nhận gói tin tốt. Điều này không có nghĩa là đưa ra một kết luận cuối cùng. Tuy nhiên, nó chỉ ra một hướng nghiên cứu đáng giá cho tương lai, để có thể xây dựng hệ thống cảm biến cho việc triển khai thực tế. Thực nghiệm này được làm mà không có tắc nghẽn và va chạm,

ATPC hoạt động rất tốt trong các giao thức TDMA. Điều này có được là do điều khiển được phản hồi với khả năng xử lý nhiễu ngẫu nhiên.

Tất nhiên khi có mâu thuẫn truyền và nhiễu đều có thể tác động đến hiệu suất của ATPC. Kể từ khi một gói tin có thể được nhận ngay cả khi có tín hiệu vô tuyến chồng chéo lên bởi truyền đồng thời, sử dụng RSSI / LQI của gói tin như vậy có thể khiến ATPC không ổn định. Trong [39], các địa chỉ tác giả một kỹ thuật để phát hiện va chạm gói. Trong [45], các tác giả tạo ra một cách tiếp cận để phát hiện nhiễu. Bằng việc áp dụng các kỹ thuật như vậy, RSSI / LQI cho các gói tin được xác định từ vụ va chạm không phải là gói coi như là đầu vào cho ATPC. Vì vậy, ATPC dự kiến sẽ làm việc tốt như nhau trong một mạng CSMA bằng cách lọc rối loạn gây ra bởi va chạm và sự can thiệp. Đây là một trong những công trình lớn cho tương lai ATPC.

Trong chương 3, ta đã đi nghiên cứu ATPC_điều khiển công suất truyền tương thích. Để thực hiện ATPC phải quan niệm chất lượng liên kết vô tuyến giữa 2 nút mạng là thay đổi theo không gian và thời gian. Nút truyền muốn biết chất lượng liên kết giữa nó với nút láng giềng tại một thời điểm bất kỳ, nó phải gửi một gói yêu cầu (beacon) tới nút láng giềng rồi chờ trả lời của nút láng giềng về cường độ sóng vô tuyến (RSSI) mà nó nhận được ở thông báo beacon đó. Mặc dù khoảng cách giữa 2 nút không thay đổi, điều kiện làm thí nghiệm không thay đổi, năng lượng mà gói beacon mang là không đổi, nhưng tại những thời điểm khác nhau, RSSI mà nút láng giềng báo về là khác nhau. Điều này chứng tỏ chất lượng liên kết thay đổi theo thời gian, không gian.

KẾT LUẬN

Khi nghiên cứu về mạng cảm biến không dây thì tăng thời gian sống cho nút mạng, gia tăng năng lượng cho mạng luôn là vấn đề đứng hàng đầu. Các nút cảm biến này yêu cầu tiêu thụ công suất thấp trong khi các nút cảm biến này hoạt động có giới hạn và khó có thể thay thế được nguồn cung cấp. Do đó, trong khi mạng truyền thông tập trung vào việc đạt được các dịch vụ chất lượng cao, thì các giao thức mạng cảm biến phải tập trung đầu tiên vào vấn đề tiết kiệm năng lượng.

Bài khóa luận cũng đã giới thiệu tổng quan về mô hình truyền nhận vô tuyến, cấu tạo lớp vật lý thực hiện việc này. Trong thực nghiệm cũng đã chỉ ra mối quan hệ giữa khoảng cách và hiệu suất truyền tải, ảnh hưởng quan trọng của khoảng cách giữa nơi phát và nơi nhận. Qua đó đi sâu vào nghiên cứu một bài báo trình bày cách điều khiển công suất của nút mạng phát theo kiểu gọi là điều khiển công suất truyền tương thích-ATPC.

Phần thực nghiệm của bài báo đã tiến hành xây dựng phần mềm nhúng cho các nút mạng, để có thể làm thay đổi công suất phát tín hiệu phù hợp với khoảng cách từ nút phát đến nút nhận để tiết kiệm năng lượng cho nút, tăng tuổi thọ cho toàn mạng. Trong bài này quan trọng nhất là thiết lập được mô hình dự báo cho ATPC. Đó chính là biểu thức:

$$r_i(tp_j) = a_i \cdot tp_j + b_i$$

trong đó:

$r_i(tp_j)$ là công suất nhận của nút mạng i khi nơi phát phát công suất tp_j .

Từ biểu thức này, dùng phương pháp toán học gần đúng để tính ra: a_i và b_i .

Khi đã tính được 2 hệ số này thì tính được công suất phát tp_j để nơi nhận nhận được $r_i(tp_j)$

$$tp_j = \frac{RSSI_{LQ} - b_i}{a_i}$$

Trong đó a_i ít thay đổi theo thời gian, b_i thay đổi đáng kể theo thời gian, còn RSSI thu được theo phương trình trên cơ sở phản hồi của cặp nút truyền nhận.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] *Mạng truyền dữ liệu*, Vương Đạo Vy, Nhà xuất bản đại học quốc gia Hà Nội
- [2] *Wireless communications*, Andrea Goldsmith, 2005.
- [3] *On power control for Wireless sensor Networks: System Model, Middleware Component and Experimental Evaluation*, B.Zurita Ares, P.G.Park, C.Fischione, A.Speranzon, K.H.Johansson, 2007.
- [4] *ATPC: Adaptive Transmission Power Control for Wireless Sensor Networks*, Shalin, JingbinZhang, GangZhou, Lingu, TianHe, and JohnA.Stankovic (University of Virginia and University of Minnesota), 2007
- [5] *Networking Wireless Sensors*, Bhaskar Krishnamachari, Cambridge University Press 2005

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	1
Chương 1: TỔNG QUAN VỀ MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY	3
1.1 Giới thiệu về mạng cảm biến không dây	3
1.2. Cấu trúc mạng cảm biến	4
1.2.1. Các yếu tố ảnh hưởng đến cấu trúc mạng cảm biến.....	4
1.2.2. Kiến trúc giao thức mạng.....	8
1.2.3. Hai cấu trúc đặc trưng của mạng cảm biến.....	9
1.2.3.1. Cấu trúc phẳng	9
1.2.3.2. Cấu trúc tầng	10
1.3 Những thách thức của WSN	12
1.4 Ứng dụng của WSN.....	13
1.4.1 Trong bảo vệ môi trường.....	13
1.4.2 Trong y tế.....	13
1.4.3 Trong gia đình	14
1.4.4 Trong hệ thống giao thông thông minh.....	14
1.4.5 Trong quân sự, an ninh.....	14
1.4.6 Trong thương mại	15
1.5 Sự khác nhau giữa WSN và mạng truyền thông	16
1.6. Kết luận.....	17
Chương 2: ĐẶC ĐIỂM VẬT LÝ TUYẾN CỦA MẠNG WSN	18
2.1. Tổng quan về lớp vật lý WSN:	18
2.1.1. Lớp vật lý với vai trò truyền thông tín hiệu:	18
2.1.1.1. Chức năng:	18
2.1.1.2. Cách thức hoạt động:	19
2.1.1.3. Các chuẩn:.....	19
2.1.2. Cách biểu diễn bit để kết nối:.....	19
2.1.2.1. Hình thức báo hiệu bit cho môi trường:	19
2.1.2.2. Mã hóa bit và nhóm:	20

2.1.3. Thực hiện kết nối truyền thông:	21
2.2. Các mô hình đặc tính vô tuyến	22
2.2.1. Mô hình chất lượng kết nối không dây:	22
2.2.1.1. Kinh nghiệm rút ra từ việc quan sát và theo dõi:.....	22
2.2.1.2. Mô hình truyền nhận sóng vô tuyến:	24
2.2.1.3. Miền chuyển tiếp:	27
2.2.2. Mô hình năng lượng vô tuyến:.....	29
2.2.3. Mô hình nhiễu:.....	30
2.3. Kết luận.....	31
Chương 3: ĐIỀU KHIỂN CÔNG SUẤT TRUYỀN TƯƠNG THÍCH.....	32
3.1. Mô hình điều khiển công suất tương thích.....	33
3.1.1 Ảnh hưởng không gian lên chất lượng link	33
3.1.2 Ảnh hưởng của thời gian lên chất lượng link.....	35
3.2 Động học của điều khiển công suất truyền.....	37
3.2.1 Ngưỡng về chất lượng của liên kết.....	37
3.2.2 Môi quan hệ giữa công suất truyền và RSSI/LQI	38
3.3 Thiết kế điều khiển công suất truyền tương thích	39
3.4 Thực nghiệm và đánh giá.....	42
3.4.1. Thực nghiệm.....	42
3.4.2.Đánh giá thực nghiệm:	46
3.4.2.1.Đánh giá giai đoạn khởi tạo	47
3.4.2.2.Hiệu suất thời gian thực hiện	48
3.5.Kết luận.....	54
KẾT LUẬN	56
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	57