

GIẢI PHÁP HIỆU QUẢ NĂNG LƯỢNG CHO MẠNG WBAN TRONG HỆ THỐNG THEO DÕI SỨC KHỎE AN ENERGY EFFICIENCY SOLUTION FOR WBAN IN HEALTHCARE MONITORING SYSTEM

Huỳnh Đức Thủ ⁽¹⁾

(1) Khoa Công Nghệ Thông Tin – Đại học Kinh tế Tài chính Tp.HCM

Email: thuhd@uef.edu.vn

Tóm Tắt: Mạng Wireless Body Area Network (WBAN) cho phép Hệ thống theo dõi chăm sóc sức khỏe có được sự linh hoạt và tính di động. Tuy nhiên, hầu như WBAN được tạo thành từ một số cảm biến nhỏ, trọng lượng nhẹ và hoạt động bằng pin với giới hạn năng lượng. Do đó, một hệ thống WBAN tiết kiệm năng lượng là vô cùng quan trọng để tạo nên Hệ thống theo dõi chăm sóc sức khỏe dài hạn. Trong bài báo này, chúng tôi đã đề xuất một giải pháp tiết kiệm năng lượng cho WBAN dựa trên công nghệ ZigBee, áp dụng cho Hệ thống theo dõi chăm sóc sức khỏe. Đặc biệt, chúng tôi đã sử dụng tiêu chuẩn ZigBee làm việc ở chế độ beacon-enable để có được chu kỳ làm việc thích hợp. Do đó, tránh được việc tiêu thụ năng lượng ở chế độ không tải, cũng như giảm tổng mức tiêu thụ năng lượng của các cảm biến và kéo dài tuổi thọ mạng. Kết quả mô phỏng được thực hiện bởi OPNET Modeler cho thấy rằng phương pháp đề xuất của chúng tôi có thể tiết kiệm năng lượng tiêu thụ của WBAN trong khi QoS được đảm bảo về hiệu suất mạng (ví dụ: độ trễ trung bình từ đầu đến cuối, thông lượng mạng, ...) trong Hệ thống theo dõi chăm sóc sức khỏe dài hạn.

Từ khóa: Tối ưu hóa năng lượng, ZigBee, WBAN, Hệ thống theo dõi sức khỏe.

Abstract: The Wireless Body Area Network (WBAN) allows Healthcare Monitoring Systems to get the flexibility and mobility characteristics. However, almost WBAN is made up of several tiny, light-weighted and battery-operated sensors with the limit of energy. Therefore, an energy-effective WBAN system is vitally important to make the long-term Healthcare Monitoring System. In this paper, we have proposed an energy efficiency solution for WBAN based on ZigBee applying Healthcare Monitoring System. Particularly, we utilised the ZigBee standard working in beaconenable mode to obtain the adaptive duty cycle. Consequently, the energy consumption in idle-mode is avoided, as well as the total energy consumption of sensors is also decreased and extended network lifetime. The simulation results conducted by OPNET Modeler show that our proposed method can save efficient energy consumption of WBAN while the QoS is ensured in terms of network performances (e.g., average end to end delay, network throughput) in long-term Healthcare Monitoring System.

Keywords: Energy Optimization, ZigBee, WBAN, Healthcare Monitoring System.

1. Giới thiệu

Gần đây, Mạng Wireless Body Area Network (WBAN) đã xuất hiện như một lĩnh

vực con nổi bật của Mạng cảm biến không dây. WBAN chủ yếu được sử dụng để theo dõi sức khỏe liên tục của một người, bằng cách tạo ra tín hiệu báo động ngay khi thấy tình trạng

nguy kịch. WBAN được tạo thành từ một số cảm biến không dây, có thể ở trên, được cấy ghép hoặc xung quanh người và thu thập thông tin về cơ thể người cho các tác vụ sau này [1].

Bên cạnh đó, WBAN dựa trên công nghệ ZigBee đã rất được chú ý trong những năm gần đây [2]. Việc sử dụng WBAN dựa trên ZigBee trong Hệ thống theo dõi sức khỏe mang lại rất nhiều lợi thế, một trong số đó là WBAN dựa trên ZigBee có thể cung cấp việc theo dõi sức khỏe liên tục trong khi đảm bảo các yêu cầu cần thiết của Hệ thống theo dõi sức khỏe. Nhờ sử dụng công suất truyền rất thấp, WBAN dựa trên ZigBee sẽ không ảnh hưởng đến sức khỏe của bệnh nhân. IEEE 802.15.4/ZigBee [3] giới thiệu một giải pháp phức tạp, chi phí thấp và năng lượng thấp cho Hệ thống giám sát sức khỏe [4]. Đặc điểm của các thiết bị ZigBee là nhỏ, trọng lượng nhẹ và công suất thấp, giúp tăng sự thoải mái cho bệnh nhân và thời gian vận hành Hệ thống theo dõi sức khỏe lâu hơn. Trong hướng nghiên cứu này, tiêu thụ năng lượng sẽ là một vấn đề quan trọng trong giải pháp áp dụng WBAN cho Hệ thống theo dõi sức khỏe.

Các nghiên cứu sau đây cung cấp một số giải pháp để tiết kiệm năng lượng tiêu thụ trong WBAN dựa trên ZigBee cho các ứng dụng chăm sóc sức khỏe. Các tác giả trong [5] trình bày một kịch bản điều trị từ xa trong bệnh viện hiệu quả về năng lượng cho nhiều bệnh nhân theo dõi tim bằng cách sử dụng mạng ZigBee. Hiệu suất của giải pháp y tế từ xa được đề xuất đã được xem xét khi điều chỉnh công suất truyền của các cảm biến cho các giao thức định tuyến khác nhau dựa trên mạng ad-hoc di động (DYMO, LANMAR và AODV) [5]. Một giao thức định tuyến đa bước cho WBAN đã được đề xuất trong [6]. Giao thức này hiệu quả về tuổi thọ mạng, tốc độ phân phối gói và công suất truyền. Trong giao thức được đề xuất này, một nút sử dụng thông tin như nhận dạng, vị trí, vận tốc và năng lượng còn lại của các nút lân cận của nó để tính toán

hàm chi phí. Nhờ hàm chi phí, mỗi nút chọn một nút chuyển tiếp phù hợp. Các nghiên cứu mô phỏng cho thấy rằng giao thức định tuyến đa bước được đề xuất làm tăng tốc độ phân phối gói và kéo dài tuổi thọ mạng. Carmona và cộng sự đề xuất thuật toán quản lý công suất phát dựa trên các tham số chất lượng của kênh để đạt được mức tiêu thụ năng lượng tiết kiệm trong các nút [7]. Phương pháp tiết kiệm năng lượng truyền được đề xuất được triển khai ở lớp ứng dụng mà không cần bất kỳ thay đổi nào của lớp điều khiển truy cập vật lý, do đó nó có thể được sử dụng trong các mạng cảm biến không dây khác nhau [7]. Khác với các phương pháp đã đề cập ở trên, chúng tôi đã nghiên cứu mức tiêu thụ năng lượng tiết kiệm ở chế độ *beacon-enabled* của tiêu chuẩn IEEE 802.15.4/ZigBee, trong đó cấu hình chu kỳ làm việc thích ứng thu được bằng cách khai thác BeaOrder (BO) và SupFraOrder (SO) rồi áp dụng cho Hệ thống theo dõi sức khỏe [8]. Bằng cách này, chúng ta có thể có được các chu kỳ làm việc khác nhau do điều chỉnh cả BO và SO. Hơn nữa, trong cùng một chu kỳ làm việc, bằng cách cấu hình một số cặp (BO, SO) khác nhau, chúng tôi cũng có được ảnh hưởng khác nhau đến mức tiêu thụ năng lượng, thông lượng mạng, độ trễ trung bình, v.v... Nhờ đó, mức tiêu thụ năng lượng ở chế độ không tải là tránh được, cũng như giảm tổng mức tiêu thụ năng lượng của các cảm biến và kéo dài tuổi thọ mạng trong khi vẫn giữ nguyên QoS của mạng trong Hệ thống theo dõi sức khỏe [9].

2. Tiêu chuẩn IEEE 802.15.4/ZigBee

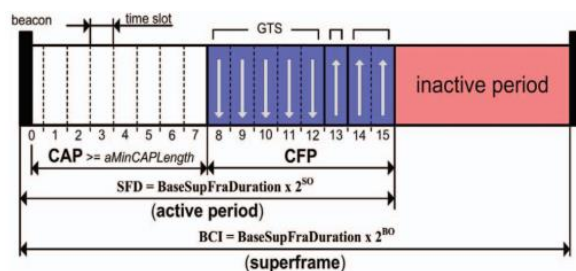
Một trong những phương pháp tiết kiệm năng lượng trong WBAN là sử dụng tiêu chuẩn IEEE 802.15.4/ZigBee, được coi là công nghệ nổi bật về chi phí thấp và tiêu thụ điện năng thấp trong WBAN. Đặc biệt, tiêu chuẩn IEEE 802.15.4 xác định các lớp điều khiển truy cập phương tiện vật lý và không dây, trong khi các lớp mạng và ứng dụng được

mô tả bằng đặc tả ZigBee [3]. Tiêu chuẩn này có phạm vi rộng và bao gồm nhiều đặc điểm để tóm tắt trong bài báo này. Vì vậy, chỉ những đặc điểm chính liên quan đến bài báo này mới được giới thiệu trong phần này. Độc giả quan tâm có thể tham khảo [3] để biết thêm thông số kỹ thuật chi tiết.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi giả định rằng lớp vật lý hoạt động ở tần số 2,4 GHz và tốc độ bit 250 Kbps, cho phép làm việc ở hai chế độ (chế độ *beacon-enabled* và *non beacon-enabled*) và sẽ được chọn bởi WBAN Coordinator [10]. Chế độ *beacon-enabled* rất có lợi vì nó có thể mở rộng tuổi thọ pin của cảm biến theo thứ tự cường độ do thay đổi khoảng thời gian khi cảm biến hoạt động (nhận hoặc truyền) hoặc không hoạt động (tức là chế độ năng lượng thấp mà không chuyển sang chế độ tắt). Hơn nữa, hoạt động của WBAN ở chế độ *beacon-enabled* có thể đảm bảo thời gian thực bằng cách sử dụng phương pháp khe thời gian đảm bảo (GTS), đảm bảo không có xung đột và dự báo truy cập phương tiện không dây được chia sẻ. Do đó, khi quan tâm đến các khía cạnh thời gian thực và tiết kiệm năng lượng, nên sử dụng chế độ *beacon-enabled*.

Khi tiêu chuẩn IEEE 802.15.4/ZigBee hoạt động ở chế độ *beacon-enabled*, WBAN Coordinator định kỳ gửi beacon-frame mỗi BeaInterval (BCI) để nhận ra WBAN của nó, để đồng bộ hóa các cảm biến được kết nối với nó, để mô tả cấu trúc siêu khung (Hình 1) bao gồm khoảng thời gian hoạt động và khoảng thời gian không hoạt động tùy chọn [10]. SupFraDuration (SFD) đại diện cho chu kỳ hoạt động được phân chia thành 16 khe thời gian có cùng kích thước. Và khoảng thời gian hoạt động có thể được phân chia thành Khoảng thời gian tiếp cận tranh chấp (CAP) và Khoảng thời gian không tranh chấp (CFP) tùy chọn bao gồm Khoảng thời gian được đảm bảo (GTS) [10]. Nếu CFP không được sử dụng, các cảm biến muốn tương tác trong khoảng thời gian CAP cần liên lạc với các cảm biến khác bằng

cách sử dụng phương pháp CSMA/CA có rãnh [11]. Trong trường hợp sử dụng CFP, GTS nên được WBAN Coordinator chỉ định nhằm đạt được độ trễ thấp hoặc các yêu cầu riêng về băng thông. Trong khoảng thời gian không hoạt động tùy chọn, các cảm biến có thể chuyển sang chế độ năng lượng thấp (chế độ nhàn rỗi) để tiết kiệm năng lượng tiêu thụ [12].



Hình 1: Cấu trúc siêu khung

Cấu trúc của siêu khung được xác định bởi hai tham số BeaOrder (BO) và SupFraOrder (SO), sẽ lần lượt xác định độ dài của siêu khung và chu kỳ hoạt động của nó [13]. Do đó, độ dài của siêu khung (BCI) và chu kỳ hoạt động (SFD) của nó được mô tả như sau:

$$BCI = \text{BaseSupFraDuration} \times 2^{BO} \quad (1)$$

$$SFD = \text{BaseSupFraDuration} \times 2^{SO} \quad (2)$$

trong đó $\text{BaseSupFraDuration} = \text{SlotDuration} \times \text{NumSupFraSlot}$ và $\text{NumSupFraSlot} = 16$ mô tả số lượng khe thời gian của chu kỳ hoạt động của siêu khung, SlotDuration mô tả số lượng ký hiệu (ví dụ: 60 ký hiệu) tạo thành một khe siêu khung khi $SO = 0$ [11] (1 ký hiệu = 4 bit, giả sử dải tần 2,4 GHz và tốc độ bit 250 kbps). Ngoài ra, BO và SO phải thỏa mãn ràng buộc là $0 \leq SO \leq BO \leq 14$. Cần lưu ý rằng, chu kỳ làm việc là tỷ lệ của SFD trên BCI, được tính như sau [11]:

$$\text{Chu kỳ làm việc} = (2)^{SO-BO} \times 100\% \quad (3)$$

Bằng cách này, có thể thu được các cấu hình chu kỳ làm việc khác nhau do điều chỉnh cả BO và SO. Ví dụ: bằng cách định cấu hình $(BO, SO) = (4, 3)$, nhận được chu kỳ làm việc là 50%, ở đây thời gian hoạt động và không hoạt động là 0,123 giây, khoảng thời gian

beacon-enabled là 0,246 giây, trong khi định cấu hình (BO, SO) = (5, 3), nhận được chu kỳ làm việc là 25% trong đó thời gian hoạt động là 0,123 giây, thời gian không hoạt động là 0,369 giây và khoảng thời gian *beacon-enabled* là 0,492 giây. Hơn nữa, trong cùng một chu kỳ làm việc, chúng tôi cũng nhận được độ dài đa dạng của thời kỳ hoạt động và thời gian không hoạt động. Ví dụ: bằng cách định cấu hình (BO, SO) = (2, 1), cũng nhận được chu kỳ làm việc 50% nhưng nhận được khoảng thời gian hoạt động và không hoạt động ngắn là 0,03 giây. Do đó, bằng cách cấu hình một số cặp (BO, SO) khác nhau trong cùng một chu kỳ làm việc, chúng tôi cũng sẽ đạt được ảnh hưởng khác nhau đến mức tiêu thụ năng lượng, thông lượng mạng và độ trễ trung bình.

3. Vấn đề tiêu thụ năng lượng trong mạng WBAN cho hệ thống theo dõi sức khỏe

Hệ thống theo dõi sức khỏe cho phép bác sĩ, y tá và người thân của bệnh nhân có thể theo dõi sức khỏe của bệnh nhân bất cứ lúc nào và từ xa. Ở đây, hệ thống tích hợp WBAN bao gồm các nút cảm biến cơ thể người cho phép liên tục đo và ghi lại các tín hiệu sinh lý của bệnh nhân cho các hành động y tế sau này [14]. Ưu điểm của Hệ thống theo dõi sức khỏe là theo dõi liên tục tình trạng sức khỏe của bệnh nhân, giảm chi phí y tế tốn kém. Ngoài ra, có thể thực hiện bất kỳ hành động thích hợp nào nếu có bất kỳ trường hợp khẩn cấp nào xảy ra với bệnh nhân, không quan tâm đến việc họ đang sống cô đơn hay ở bất cứ đâu.

Các cảm biến cơ thể người có thể đeo, hoặc cấy vào cơ thể bệnh nhân để theo dõi liên tục các tín hiệu sinh lý của bệnh nhân (ví dụ: huyết áp, nhiệt độ cơ thể, nhịp hô hấp, v.v...), sau đó được truyền đến các bác sĩ hoặc y tá qua mạng không dây [4]. Vì cảm biến hoạt động ở chế độ pin nên không được sạc lại hoặc thay thế cảm biến để tránh ảnh hưởng đến sức khỏe của bệnh nhân. Do đó, thời gian sử dụng pin của cảm biến y tế ít nhất là mười đến mười

lăm năm [15]. Hơn nữa, nếu hết pin, hệ thống theo dõi sức khỏe tổng thể và bệnh nhân sẽ bị ảnh hưởng vì các cảm biến không còn hoạt động. Để đối phó với trường hợp này, điều quan trọng là phải thiết kế một hệ thống tiết kiệm năng lượng bên cạnh hiệu quả về chi phí, độ tin cậy và tính linh hoạt trong WBAN. Điều này cũng sẽ hỗ trợ để phát triển một Hệ thống theo dõi sức khỏe lâu dài và hiệu quả.

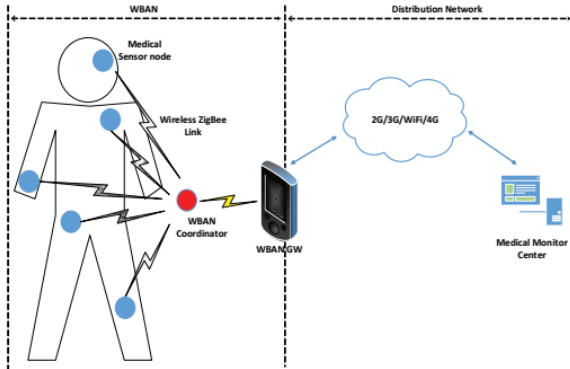
Trong Hệ thống theo dõi sức khỏe, có hai kiểu truyền dữ liệu [15] là (i) thông tin liên lạc giữa các cảm biến sinh lý đến Trạm cơ sở và (ii) chuyển dữ liệu đã xử lý đến Máy chủ giám sát. Những điều này sẽ gây ra hạn chế về năng lượng trong cảm biến. Hơn nữa, năng lượng tiêu thụ trong các cảm biến là do việc cảm nhận, xử lý và truyền dữ liệu [16]. Trong số đó, việc truyền dữ liệu là nguyên nhân chính gây ra lãng phí năng lượng. Các nguồn lãng phí năng lượng chính này trong truyền thông dữ liệu WBAN nên được giảm bớt để nâng cao hiệu suất và kéo dài tuổi thọ mạng trong Hệ thống theo dõi sức khỏe.

4. Đề xuất mô hình WBAN dựa vào ZigBee cho hệ thống theo dõi sức khỏe

Trong phần này, chúng tôi đề xuất giải pháp WBAN dựa trên ZigBee cho Hệ thống theo dõi sức khỏe. WBAN dựa trên ZigBee được sử dụng cho Hệ thống theo dõi chăm sóc sức khỏe về cơ bản bao gồm Trạm cơ sở y tế (WBAN Coordinator), Trung tâm giám sát y tế và một số nút cảm biến y tế [18].

Trong Hệ thống theo dõi sức khỏe, các nút cảm biến y tế thu thập thông tin về cơ thể người và sau đó truyền đến Trạm cơ sở y tế thông qua WBAN dựa trên ZigBee. Trạm cơ sở y tế hoạt động như một bộ tích lũy dữ liệu (WBAN Coordinator) từ tất cả các nút cảm biến y tế được kết nối với nó thông qua các liên kết ZigBee không dây. Và sau đó Trạm cơ sở y tế chuyển dữ liệu đã xử lý đến Trung tâm giám sát y tế. Cuối cùng, Trung tâm giám sát y tế sẽ phân tích và tạo ra tín hiệu báo động

cho bác sĩ hoặc bệnh nhân. Thông tin cơ thể người mà WBAN dựa trên ZigBee thu thập bao gồm Điện tâm đồ (ECG), Điện não đồ (EEG), mức đường huyết, nhịp mạch, nhiệt độ cơ thể, huyết áp, v.v...



Hình 2: Mô hình WBAN dựa trên ZigBee trong Hệ thống theo dõi sức khỏe

5. Đánh giá hiệu suất

Trong bài báo này, chúng tôi đã sử dụng mô hình mô phỏng OPNET-ZB được phát triển trên OPNET Modeler 14.5 [19] bởi nhóm nghiên cứu CISTER tại Trường Kỹ thuật, Viện Bách khoa Porto, Bồ Đào Nha [12]. Cần lưu ý rằng mô hình mô phỏng OPNET-ZB có rất nhiều ưu điểm so với các mô hình mô phỏng khác như NS2 và OPNET Modeler [20]. Nó cho phép các mạng dựa trên Zigbee hoạt động ở chế độ *beacon-enabled*, lưu lượng GTS, Mô-đun pin.

5.1. Mô phỏng

Như mô hình WBAN dựa trên ZigBee được đề xuất trong Hình 2, kiến trúc của WBAN bao gồm Bộ WBAN Coordinator và 6 nút cảm biến thiết bị cuối. Tất cả 6 nút thiết bị đầu cuối đang hợp tác trực tiếp với Bộ WBAN Coordinator. Mục tiêu chính trong nghiên cứu này là tối ưu hóa mức tiêu thụ năng lượng của WBAN dựa trên ZigBee trong khi xem xét QoS của hiệu suất mạng (ví dụ: độ trễ trung bình, thông lượng mạng) trong Hệ thống theo dõi sức khỏe. Tham số quan trọng trong kịch bản đề xuất của chúng tôi là chu kỳ làm việc được thiết lập tốt nhất bằng cách điều chỉnh

SupFraOrder (SO) và BeaOrder (BO) [8]. Đặc biệt, chúng tôi phân tích ảnh hưởng đến mức tiêu thụ năng lượng, độ trễ trung bình và thông lượng mạng khi điều chỉnh cả hai cặp (BO, SO) cho một chu kỳ làm việc cụ thể. Như phân tích ở trên, trong cùng một chu kỳ làm việc, bằng cách cấu hình một số cặp (BO, SO) khác nhau, chúng tôi cũng thu được ảnh hưởng khác nhau đến mức tiêu thụ năng lượng, độ trễ trung bình và thông lượng mạng. Một số thông số mô phỏng quan trọng được đưa ra trong Bảng I. Các chỉ số hiệu suất bao gồm mức tiêu thụ năng lượng, độ trễ trung bình và thông lượng mạng.

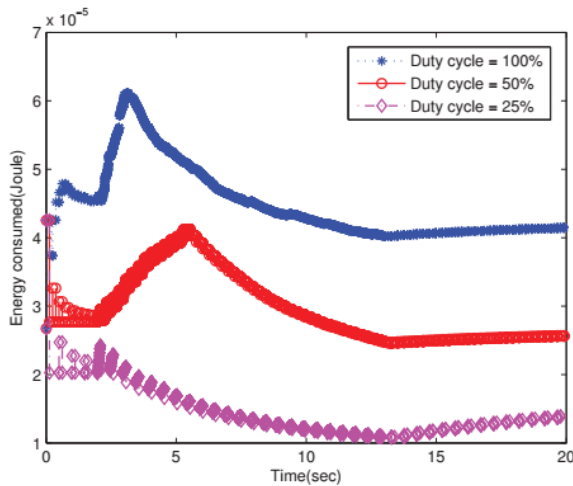
Bảng I: Tham số mô phỏng

Parameters	Values
Network Scale	100 m * 100 m
ZigBee Frequency Band	2.4 GHz
Channel Bit Rate	250 kbps
Simulation Time	20 s
ArrivalDataRate	5 kbps, 15 kbps, 120 kbps
BeaOrder(BO)	3, 4, 5, 6, 10
SupFraOrder(SO)	0, 1, 3, 4, 8
Initial Energy	2 AA Batteries (1.5V, 1600 mAh)
Energy Model	MICAz

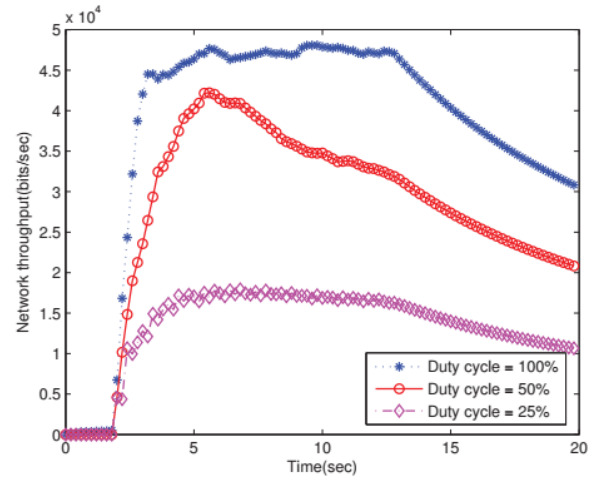
5.2. Phân tích kết quả

Trong phần này, chúng tôi sẽ trình bày các kết quả đạt được từ mô phỏng về mức tiêu thụ năng lượng, độ trễ trung bình và thông lượng mạng.

Đầu tiên, chúng tôi sẽ phân tích ảnh hưởng đến hiệu suất hệ thống khi xem xét một số cấu hình chu kỳ làm việc khác nhau có thể thu được bằng cách điều chỉnh cả BO và SO. Hình 3 cho thấy mức tiêu thụ năng lượng của mạng tổng thể trong các chu kỳ làm việc khác nhau. Rõ ràng là khi chu kỳ làm việc giảm, thì mức tiêu thụ năng lượng cũng giảm theo. Vì khi chu kỳ làm việc giảm, khoảng thời gian không hoạt động sẽ được mở rộng và khi đó các cảm biến có thể chuyển sang chế độ tiêu thụ năng lượng thấp (chế độ ngủ) để tiết kiệm năng lượng tiêu thụ hơn.

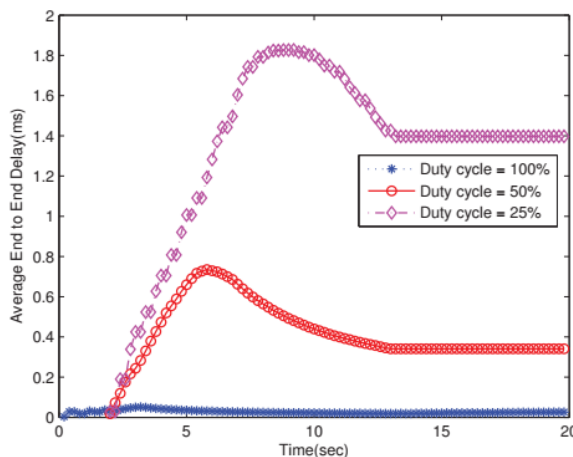


Hình 3: Năng lượng tiêu thụ trong các chu kỳ làm việc khác nhau



Hình 5: Thông lượng mạng trong các chu kỳ làm việc khác nhau

Hình 4 chỉ ra ảnh hưởng đến độ trễ trung bình trong các chu kỳ làm việc khác nhau. Khi chu kỳ làm việc giảm thì độ trễ sẽ tăng lên. Lý do là, khi chu kỳ làm việc giảm thì thời gian không hoạt động sẽ được kéo dài. Điều đó biểu thị sự chậm trễ sẽ tăng đối với gói đến trong khoảng thời gian không hoạt động.



Hình 4: Trễ trung bình trong các chu kỳ làm việc khác nhau

Hình 5 chỉ ra thông lượng mạng với chu kỳ làm việc 100% và 50% là khá cao trong khi chu kỳ làm việc 25% là rất thấp. Do thông lượng mạng sẽ tăng lên khi thời gian hoạt động kéo dài (chu kỳ làm việc tăng lên).

Cuối cùng, chúng tôi kết luận rằng mức tiêu thụ năng lượng và hiệu suất QoS (ví dụ: độ trễ trung bình, thông lượng mạng, v.v...) đã được khảo sát trong các chu kỳ làm việc khác nhau. Chúng tôi đã chỉ ra rằng hiệu suất QoS đã trở nên tốt hơn với chu kỳ làm việc cao hơn và nó giảm khi chu kỳ làm việc thấp hơn. Về tiêu thụ năng lượng, hiệu suất chu kỳ làm việc thấp hơn sẽ tốt hơn khi so sánh với chu kỳ làm việc cao hơn, do đó nó có thể kéo dài tuổi thọ mạng tổng thể. Hơn nữa, trong cùng một chu kỳ làm việc khi cặp (BO; SO) giảm, độ trễ trung bình sẽ giảm và mức tiêu thụ năng lượng tăng lên do số lượng báo hiệu được hoán đổi tăng lên. Một cặp (BO; SO) nhỏ sẽ là giải pháp tốt hơn về thời gian trễ trung bình, tuy nhiên lại làm mức tiêu thụ năng lượng tăng cao. Ngược lại, bằng cách gia tăng cặp (BO; SO), chúng ta có thể đạt được một giải pháp tốt hơn cho việc tiêu thụ năng lượng nhưng độ trễ sẽ lớn.

6. Kết luận

Rõ ràng, WBAN là công nghệ nổi bật và đóng vai trò quan trọng trong việc phát triển hệ thống theo dõi sức khỏe. Do đó, WBAN ngày càng cần nhiều nghiên cứu hơn nữa để hiện thực hóa hệ thống theo dõi sức khỏe mang lại rất nhiều thuận lợi trong việc chăm sóc sức khỏe của bệnh nhân. Chúng tôi đã đề

xuất một giải pháp tiết kiệm năng lượng cho WBAN dựa trên ZigBee áp dụng hệ thống theo dõi sức khỏe. Kết quả mô phỏng đã chỉ ra rằng giải pháp của chúng tôi có thể tiết kiệm năng lượng tiêu thụ của WBAN trong khi QoS được đảm bảo trong hệ thống theo dõi sức khỏe.

7. Tài liệu tham khảo

- [1] M. Chen, S. Gonzalez, A. Vasilakos, H. Cao, and V. C. M. Leung, “Body area networks: A survey,” *Mobile Networks and Applications*, vol. 16, no. 2, pp. 171–193, 2011
- [2] D. He, “The zigbee wireless sensor network in medical care applications,” in *2010 International Conference on Computer, Mechatronics, Control and Electronic Engineering*, vol. 1, Aug. 2010, pp. 497–500.
- [3] Zigbee-Alliance, “Zigbee specification,” <http://www.zigbee.org/>.
- [4] R. Sharma, S. K. Gupta, K. K. Suhas, and G. S. Kashyap, “Performance analysis of zigbee based wireless sensor network for remote patient monitoring,” in *2014 Fourth International Conference on Communication Systems and Network Technologies*. IEEE, April 2014, pp. 58–62.
- [5] S. Pathak, B. Kumar, T. Rashid, and A. Kumar, “Energy efficient intrahospital multi-patient cardiac monitoring through zigbee network,” in *2015 2nd International Conference on Signal Processing and Integrated Networks (SPIN)*, Feb. 2015, pp. 400–404.
- [6] De-Thu Huynh, and Min Chen, “An Energy Efficiency Solution for WBAN in Healthcare Monitoring System”, *The IEEE 3rd International Conference on Systems and Informatics (ICSAI 2016)*.