

Thiết kế anten băng tần kép trên vật liệu linh hoạt ứng dụng cho WBAN

Trần Thị Lan và Phí Văn Lâm

Khoa Điện – Điện tử

Đại Học Giao Thông Vận Tải

Email: ttlan@utc.edu.vn, pvlam@utc.edu.vn

Abstract— Bài báo này phân tích các đặc tính kỹ thuật của anten ứng dụng trên cơ thể người như loại vật liệu, cấu trúc, công nghệ chế tạo, ảnh hưởng của cơ thể người lên hiệu năng của anten. Sau đó, tác giả đề xuất anten hoạt động ở hai dải tần 2.45 và 5.8 GHz, được chế tạo trên vật liệu linh hoạt - RF35A2. Anten đề xuất có cấu trúc đơn giản, dựa trên anten patch vuông. Để tạo ra tần số cộng hưởng thứ hai, một khe hình chữ U được cắt trên phần bức xạ của anten patch. Anten có độ lợi xấp xỉ 6.5 dBi ở cả hai dải tần. Đặc biệt, mô hình bức xạ của anten ở cả hai dải tần như nhau, đây là đặc tính mà bất kỳ anten đa băng tần nào đều mong muốn. Ảnh hưởng của cơ thể người lên anten rất ít nhờ sử dụng lớp đất kích thước đủ lớn. Anten được chế tạo và đo kiểm trên cơ thể người và kết quả đo phù hợp với kết quả mô phỏng.

Keywords- Anten trên cơ thể người, anten băng tần kép, vật liệu linh hoạt, anten patch.

I. GIỚI THIỆU

Trong khi mạng truyền thông không dây trên cơ thể người (WBAN – Wireless Body Area Network) có rất nhiều ứng dụng như giám sát sức khỏe, giải trí thì thiết kế anten đóng một vai trò lớn trong chất lượng của WBAN vẫn còn là thách thức đối với các nhà nghiên cứu.

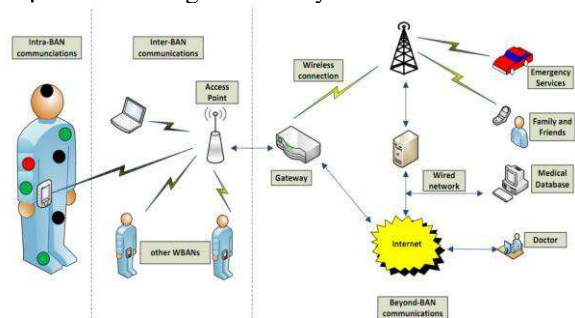
Kiến trúc điển hình của một mạng WBAN như trong Hình 1 [1], gồm ba phần: intra-WBAN, inter-WBAN và beyond-WBAN. Có hai loại truyền thông trong intra-WBAN: giữa các cảm biến trên cơ thể và giữa các cảm biến trên cơ thể và thiết bị cá nhân di động (PD). Cảm biến trên cơ thể thu thập thông tin về các kích thích vật lý, sau đó xử lý và báo cáo thông tin này qua kết nối không dây tới PD. PD có thể kết nối với các mạng khác (Internet hoặc mạng di động) thông qua một hoặc nhiều điểm truy cập (Inter-WBAN). Một số tiêu chuẩn truyền thông được triển khai cho inter-WBAN như Bluetooth/Bluetooth Low Energy, Zigbee, UWB, Cellular hay WLAN. Một thiết bị công giao tiếp giữa inter-WBAN và beyond-WBAN cho phép nhân viên chăm sóc sức khỏe được ủy quyền truy cập từ xa dữ liệu y tế của bệnh nhân thông qua Internet hoặc mạng băng thông rộng.

Có một số dải tần có sẵn cho WBAN bao gồm MICS (402-405 MHz), WMTS, ISM (2.4 GHz) và UWB (3.1 ÷ 10.6 GHz) như chỉ ra trong Hình 2. Tuy

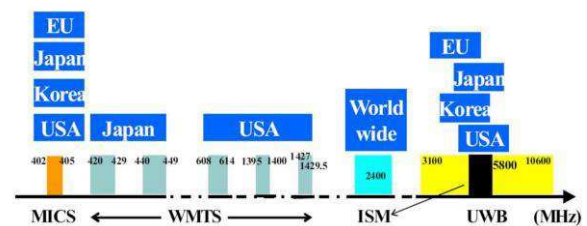
nhiên, tốc độ dữ liệu cao chỉ được hỗ trợ trong ISM và UWB [2]. Do đó, mục tiêu nghiên cứu này là thiết kế một anten băng tần kép ở hai dải tần trên tại 2.4 GHz và 5.8 GHz. Đầu tiên, anten này dựa trên anten patch vuông thông thường hoạt động ở dải tần 5.8 GHz. Sau đó, khe hình chữ U được sử dụng để tạo ra cộng hưởng tại tần số 2.4 GHz.

Bên cạnh việc đáp ứng các yêu cầu như trọng lượng nhẹ, tính linh hoạt, nhỏ gọn và thỏa mãn giới hạn tỷ số hấp thụ SAR đối với sức khỏe con người, anten cho WBAN cần giảm ảnh hưởng của cơ thể người khiến hiệu suất của chúng giảm đáng kể. Vì vậy, bài báo này đề xuất anten băng tần kép ít nhạy cảm với hiệu ứng cơ thể người bằng cách thiết kế lớp đất của anten đủ lớn (full ground plane) để cách ly giữa cơ thể người và anten.

Để anten dễ dàng triển khai trên cơ thể người, vật liệu độ linh hoạt cao - RF35A2 được sử dụng với độ dày của chất nền là 0.13 mm, độ dày của đồng là 0.035 mm, hằng số điện môi tương đối ϵ_r là 3.5 và suy hao tiếp tuyến τ là 0.0015. Như vậy, anten linh hoạt băng tần kép với độ lợi cao, ít bị ảnh hưởng bởi cơ thể người, mô hình bức xạ giống nhau ở cả hai dải tần được đề xuất trong bài báo này.



Hình 1. Cấu trúc một mạng WBAN điển hình [1].



Hình 2. Các băng tần cho WBAN [2].

Bài báo được trình bày thành 4 phần, trong đó: phần II trình bày các đặc tính của anten trên cơ thể người; phần III thiết kế, đánh giá hiệu năng của anten đề xuất; một số kết luận và hướng phát triển của nghiên cứu được đề xuất trong Phần IV – Kết luận.

II. ĐẶC TRƯNG KỸ THUẬT CỦA ANTEN TRÊN CƠ THỂ NGƯỜI

Phần này cung cấp các phân tích về đặc điểm của anten trên cơ thể người [3]. Đây là cơ sở để thiết kế anten ở phần sau.

A. Vật liệu

Anten trên cơ thể người được chế tạo bằng các loại vật liệu dẫn điện và điện môi khác nhau. Những vật liệu này được lựa chọn sao cho cung cấp một lượng biến dạng cơ học hợp lý (uốn, xoắn và quắn) với ảnh hưởng tối thiểu trong các điều kiện thời tiết khác nhau (mưa, tuyết, băng, v.v.) và có bức xạ điện từ thích hợp. Gần đây, các loại vật liệu vải hoặc không phải vải khác đã được sử dụng cho anten trên cơ thể người. Đối với trường hợp sử dụng vật liệu vải, việc xác định đặc tính của các loại vải này là điều cần thiết. Mặt khác, việc sử dụng các vật liệu dựa trên polyme dẻo không kết cấu như Kapton, Polyethylene terephthalate (PET) và Polyethylene naphtholate (PEN) thì các đặc tính điện môi cần ổn định và được xác định trước. Độ dẫn điện của phần bức xạ phải cao, lớp nền có bề dày không đổi trong khi hằng số điện môi và hệ số suy hao tiếp tuyến thấp có ưu điểm hơn.

B. Công nghệ chế tạo

Phương pháp chế tạo là yếu tố quyết định tốc độ và độ chính xác và giá thành của anten. Tùy thuộc vào vật liệu chế tạo, các công nghệ chế tạo phổ biến nhất bao gồm phương pháp khắc ướt (wet-etching), in phun (inkjet printing), in lụa (screen printing) và thêu (embroidery). Những kỹ thuật này đang được sử dụng trong việc chế tạo anten trên cơ thể người để đảm bảo chi phí thấp, độ bền và sự thoải mái cho người mặc trong trang phục hàng ngày của họ.

C. Ảnh hưởng của cơ thể người

Chúng ta biết rằng đặc tính phản xạ và bức xạ của anten có xu hướng thay đổi do sự tương tác với các mô cơ thể người có tính suy hao (lossy human body tissues). Hơn nữa, điện môi của mô thay đổi theo loại (da, mỡ, cơ, v.v.) và tần số hoạt động của anten. Các giá trị điện môi và độ dẫn điện chủ yếu ảnh hưởng đến hệ số phản xạ, năng lượng cơ thể người hấp thụ do đó làm giảm hiệu suất bức xạ của anten. Ngoài ra, để đảm bảo an toàn cho cơ thể người, các anten được thiết kế phải thỏa mãn tỷ số hấp thụ SAR (Specific Absorption Rate).

Một số kỹ thuật để giảm thiểu ảnh hưởng của cơ thể người lên hiệu năng anten như: thiết kế anten có lớp đất đủ lớn (full ground plane); sử dụng vật liệu từ nhân tạo AMC (Artificial Magnetic Conductor); sử

dụng bề mặt trở kháng cao HIS (High Impedance Surfaces) hay lựa chọn vị trí đặt anten trên cơ thể người hợp lý, ví dụ đặt ở ngực anten sẽ ít bị ảnh hưởng do hằng số điện môi của cơ cao hơn các bộ phận khác trên cơ thể.

D. Ảnh hưởng của uốn cong

Vì anten được đeo trên cơ thể người hay sinh vật nên không thể tránh khỏi biến dạng cơ học như uốn cong khi chế tạo bằng vải hoặc vật liệu dẻo. Anten bị uốn cong theo một số hướng cụ thể sẽ làm giảm hiệu suất của nó đối với ứng dụng mong muốn. Điều này không những thay đổi tần số cộng hưởng, mà còn ảnh hưởng đến phân cực sóng của anten, đặc biệt khi anten có phân cực tròn.

Các giải pháp để giảm ảnh hưởng của uốn cong như: sử dụng anten băng rộng; anten phải được thiết kế đối xứng nhất có thể; triển khai cấu trúc AMC cũng cho phép giảm ảnh hưởng của uốn cong; anten cần được thiết kế với kích thước nhỏ nhất có thể để tránh thay đổi đáng kể chiều dài hiệu dụng của anten khi bị uốn cong; cuối cùng, cần chú ý chọn vị trí đặt anten sao cho ảnh hưởng của sự biến dạng đến hiệu năng của anten là ít nhất.

E. Phân cực của anten

Anten trên cơ thể người có thể tích hợp trong các hệ thống giám sát vị trí ngoài trời. Vì vậy, các anten phân cực tròn hoạt động với ít gián đoạn nhất khi cơ thể di chuyển, cho phép triển khai hiệu quả trong thực tế. Yêu cầu thậm chí cao hơn khi sử dụng hệ thống vệ tinh định vị toàn cầu (GNSS), đòi hỏi anten phải được phân cực tròn và băng thông rộng.

F. Kỹ thuật tiêu hình hóa anten trên cơ thể người

Các kỹ thuật tiêu hình hóa anten cho phép sử dụng hiệu quả hơn các anten hoạt động ở các tần số thấp như các băng tần VHF và UHF. Hơn nữa, các kỹ thuật tiêu hình hóa có thể có lợi cho việc nâng cao hiệu suất cho anten như sử dụng các bề mặt chọn lọc tần số (frequency selective surfaces). Các phương pháp này đảm bảo rằng cấu trúc anten tổng thể phải có độ dày nhỏ nhất có thể, kích thước bên cần được giảm thiểu để chiếm ít không gian trên cơ thể người và đảm bảo sự thoải mái cho người dùng.

Kỹ thuật tiêu hình hóa đầu tiên là các anten SIW (Substrate Integrated Waveguide) và anten metasurface. Mặc dù có kích thước nhỏ về mặt điện nhưng chúng phức tạp trong các ô đơn vị, điều này hạn chế ứng dụng của chúng. Mặt khác, sử dụng short pin trong chất nền linh hoạt cũng cho phép thiết kế các anten WBAN nhỏ gọn hơn. Tiếp theo, chất nền giấy nanocomposit có giá trị điện môi cao cũng được sử dụng để tiêu hình hóa anten.

Gần đây, bề mặt trở kháng cao HIS cũng được đề xuất để giảm kích thước anten sử dụng trong ứng dụng đồng hồ đeo tay thông minh. Một kỹ thuật khác là sử dụng cấu trúc EBG (Electromagnetic Bandgap

Structure), có khả năng thu nhỏ đến kích thước của anten dẹt tròn trong các thiết bị đeo tự giám sát.

Tóm lại, tiểu hình hóa anten có thể giải quyết được tình trạng thiếu không gian và khả năng biến dạng cấu trúc của anten khi đeo trên các đường cong khác nhau của cơ thể người. Thách thức chính là đảm bảo anten có cấu hình thấp, trọng lượng nhẹ và nhỏ gọn với hiệu suất bức xạ cao. Anten nhỏ gọn nên an toàn và có thể giảm thiểu ảnh hưởng khi ở gần cơ thể người. Hơn nữa, anten phải có băng thông lớn với phân cực thích hợp sẽ cho phép bù sự dịch chuyển tần số.

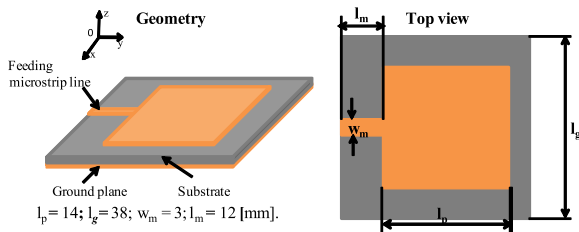
III. ANTEN LINH HOẠT BẰNG TẦN KÉP VỚI KHE CẮT HÌNH CHỮ U

Anten patch hoạt động ở nhiều băng tần hoặc băng tần kép luôn được mong muốn. Có nhiều nghiên cứu thiết kế anten đa băng tần. Một trong những giải pháp phổ biến nhất để thiết kế anten băng tần kép là tạo các khe [4] chẳng hạn như một cặp khe uốn cong hoặc khe bậc. Trong bài báo này, anten patch vuông được thiết kế ở tần số 5.8 GHz. Sau đó, anten băng tần kép được tạo ra dựa trên anten này bằng cách cắt một khe hình chữ U. Khe hình chữ U có một số ưu điểm như dễ dàng khắc trên anten patch để cộng hưởng nhiều hơn một tần số và khả năng tăng cường băng thông trở kháng [5].

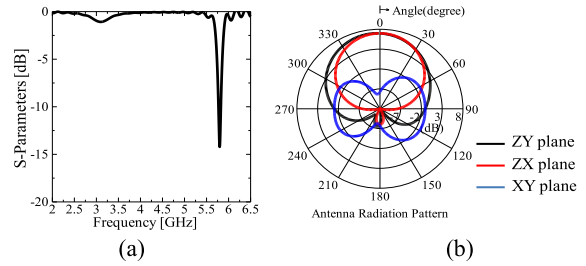
A. Anten patch vuông hoạt động ở dải tần 5.8 GHz

Anten patch có một số ưu điểm như giá thành rẻ, cấu hình thấp và dễ chế tạo [4]. Chúng tạo ra mẫu bức xạ chùm tia rộng, nhưng băng thông của chúng rất hẹp. Hình dạng cơ bản của anten patch vuông được cấp nguồn bằng đường microstrip được thể hiện trong Hình 3. Anten patch gồm 3 lớp: phần bức xạ patch, chất nền (substrate) và mặt phẳng đất (ground plane). Tần số hoạt động của anten patch được xác định bởi chiều dài l_p trong khi chiều dài l_m và chiều rộng w_m của đường cấp nguồn microstrip điều khiển trở kháng của anten.

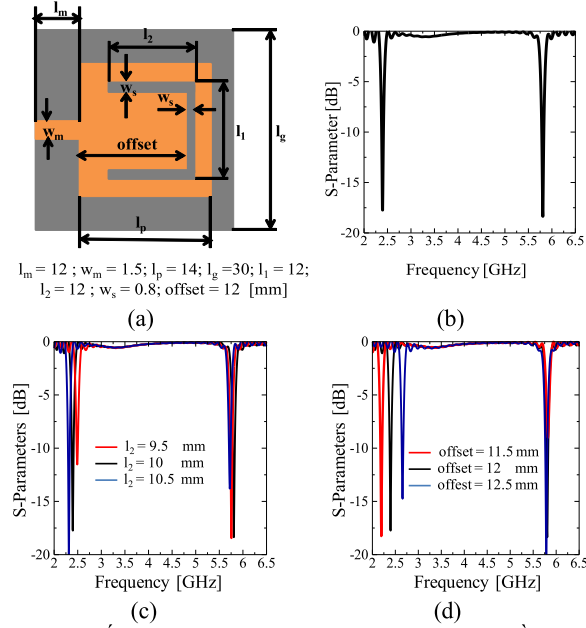
Hình 4 chỉ ra kết quả mô phỏng của anten patch ở tần số 5.8 GHz, gồm đồ thị hệ số phản xạ S11 (S-parameters) và mô hình bức xạ 2D trong các mặt phẳng ZY, ZX và XY. Có thể thấy, độ lợi của anten khoảng 7 dBi.



Hình 3. Hình dạng anten patch ở tần số 5.8 GHz.



Hình 4. S-parameter (a) và mô hình bức xạ 2D (b) của anten patch tại 5.8 GHz.



Hình 5. Cấu trúc and S-parameter của antenna băng tần kép với khe cắt chữ U: (a) Cấu trúc (b) S-parameter (c) Ảnh hưởng của l_2 và (d) Ảnh hưởng của offset.

B. Anten băng kép với khe cắt hình chữ U

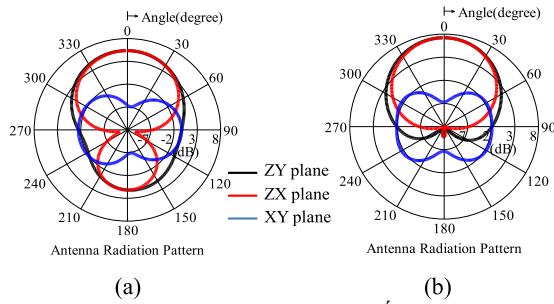
Hình 5 cho thấy cấu trúc và thông số S11 của anten băng tần kép khe hình chữ U. Từ anten trong Hình 3, khe hình chữ U được cắt trên phần bức xạ patch để tạo ra tần số cộng hưởng ở 2.4 GHz. Các tham số l_1 , l_2 , w_s và $offset$ được sử dụng để điều chỉnh tần số cộng hưởng. Khi độ dài l_1 tăng lên, băng tần cao 5.8 GHz dịch lên dải tần cao hơn trong khi băng tần thấp 2.4 GHz dịch xuống dải tần thấp hơn (Hình 4 (c)). Chiều dài l_2 và chiều rộng w_s chủ yếu ảnh hưởng đến dải tần thấp. Đặc biệt, một sự thay đổi nhỏ của $offset$ có thể làm thay đổi tần số cộng hưởng dải tần thấp đáng kể. Điều này có thể khó kiểm soát trong chế tạo. Chu vi của khe là khoảng một nửa bước sóng tại 2.4 GHz.

Băng thông trở kháng -10 dB xấp xỉ 0,8% ở cả hai dải tần (Hình 5 (b)). Mô hình bức xạ của anten băng tần kép ở cả 2.4 GHz và 5.8 GHz được thể hiện trong Hình 6. Tuy nhiên, búp sóng đuôi ở 2.4 GHz khá lớn. Do đó, kích thước mặt phẳng đất được tăng từ $38 \times 38 \text{ mm}^2$ lên $50 \times 50 \text{ mm}^2$ để giảm bớt búp sóng đuôi. Kết quả trong Hình 7 (a) cho thấy rằng búp sóng đuôi giảm, và độ lợi cũng tăng từ 5.23 dBi lên 6.45 dBi ở

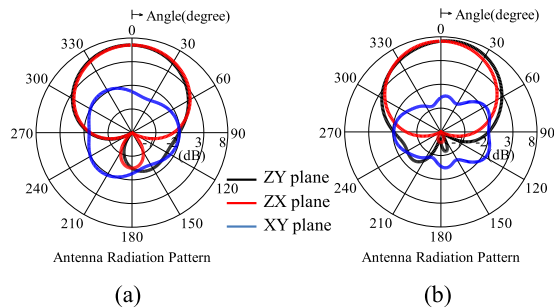
2.4 GHz. Mô hình bức xạ ở 5.8 GHz cũng được cải thiện.

C. Ảnh hưởng của cơ thể người lên anten

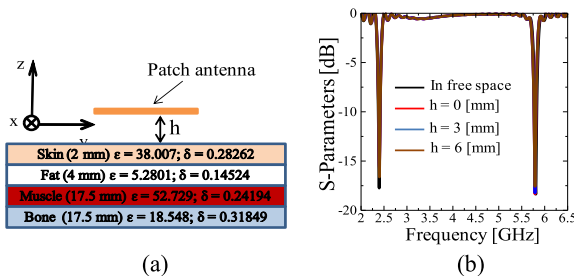
Trong phần này, ảnh hưởng của cơ thể người lên anten được xem xét. Mô hình cơ thể [6] có kích thước $200 \times 200 \times 41 \text{ mm}^3$ được sử dụng như trong Hình 8 (a), bao gồm 4 lớp: da, mỡ, cơ và xương. Bằng cách đặt anten trên mô hình cơ thể này và thay đổi chiều cao h giữa mô hình và anten, chúng ta biết được hệ số phản xạ S11 của anten ở các độ cao h khác nhau là 0, 3 và 6 mm. Kết quả mô phỏng trong Hình 8 (b) cho thấy ảnh hưởng của cơ thể lên anten thực sự không đáng kể. Vị trí của các tần số cộng hưởng không thay đổi khi độ cao h thay đổi. Điều này là do kích thước mặt phẳng mặt đất của anten được tối ưu để cách ly ảnh hưởng của mô hình cơ thể lên anten.



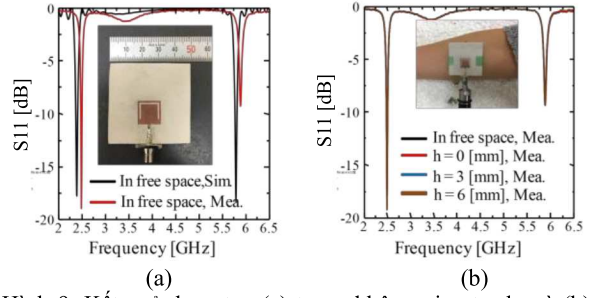
Hình 6. Mô hình bức xạ anten với khe cắt hình chữ U, kích thước mặt phẳng đất $38 \times 38 \text{ mm}^2$: (a) 2.4 GHz; (b) 5.8 GHz.



Hình 7. Mô hình bức xạ anten với khe cắt hình chữ U, kích thước mặt phẳng đất $50 \times 50 \text{ mm}^2$: (a) 2.4 GHz; (b) 5.8 GHz.



Hình 8. Mô hình cơ thể và S-parameter của anten để xuất tại các độ cao khác nhau (a) Mô hình cơ thể (b) S-parameter tại $h = 0, 3, 6 \text{ [mm]}$.



Hình 9. Kết quả đo anten (a) trong không gian tự do và (b) trên cơ thể người (trên cánh tay).

D. Kết quả đo

Anten băng tần kép được chế tạo và đo kiểm. Kết quả đo được thể hiện trong Hình 9. Đầu tiên, kết quả đo thông số S-parameter của anten được thể hiện trong Hình 9 (a). Một sự dịch chuyển nhỏ của tần số cộng hưởng được nhìn thấy. Điều này là do sai số chế tạo. Tiếp theo, ảnh hưởng của cơ thể lên anten đặt trên cánh tay được chỉ ra trong Hình 9 (b). Có thể thấy rằng sự ảnh hưởng của cơ thể lên anten hầu như không có. Kết quả đo kiểm phù hợp với kết quả mô phỏng.

IV. KẾT LUẬN

Trong nghiên cứu này, một anten linh hoạt băng tần kép ở hai băng tần 2.4 GHz và 5.8 GHz đã được thiết kế thành công. Mô hình bức xạ ở cả hai tần số là như nhau, đây là một trong những đặc điểm quan trọng nhất và được mong đợi của bất kỳ anten băng tần kép nào. Hơn nữa, anten này ít nhạy cảm với cơ thể, điều này đã được xác minh bằng cả kết quả mô phỏng và kết quả đo. Tuy nhiên, băng thông của nó ở cả hai dải tần còn hẹp. Do đó, trong tương lai băng thông của anten sẽ được nghiên cứu cải thiện.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bogdan Antonescu, Stefano Basagni, "Wireless body area networks: Challenges, trends and emerging technologies," [Online]. Available: <http://www.ece.neu.edu/fac-ece/basagni/papers/AntonescuB13.pdf>
- [2] Kyung Sup Kwak, Sana Ullah, and Niamat Ullah, "An Overview of IEEE 802.15.6 Standard," 978-1-4244-8132-3/10/\$26.00 ©2010 IEEE.
- [3] K. N. Raracha and et al., "Wearable Antennas: A Review of Materials, Structures, and Innovative Features for Autonomous Communication and Sensing," IEEE access, 2019.
- [4] Ramesh Garg, Prakash Bhartia, Inder Bahl, and Apisak Ittipiboon, "Microstrip antenna design handbook," Artech House, 2001.
- [5] K. F. Lee and et al, "On the use of U-slots in the design of Dual- and triple-band patch antennas," IEEE Ant. and Pro. Magazine, Vol.53, 2011.
- [6] Muhammad Rizwan and et al, "Performance evaluation of circularly polarized patch antenna on Flexible EPDM substrate Near Human body," LAPC, 2015.