

BUILDING A MODEL OF SMART PARKING SYSTEM IN VIETNAM BASED ON INTERNET OF THINGS AND CLOUD SERVER TECHNOLOGIES

Pham Thanh Nam*, Pham Xuan Kien, Doan Manh Cuong

TNU - University of Information and Communication Technology

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 18/5/2021 Revised: 02/8/2021 Published: 09/8/2021	Currently, the problem of traffic congestion and parking demands is becoming a critical problem in big cities in Vietnam. Building smart parking system is an optimal solution to solve this problem based on the development of science and technology. In this study, we propose to build and deploy a smart parking system model to solve the parking requirements of users. In this system, parking lots are built based on Internet of Things (IoT) technologies combined with cloud storage technology to store data. Data information of parking lots such as parking costs, number of available parking spaces are periodically updated on the system in real time. This information is used as parameters for the user to make optimal decisions in finding and booking his or her parking space. We have successfully implemented the smart parking system in real world, including parking hardware, user application for searching and booking, guidance function in the system.
KEYWORDS Smart Parking System Internet of Things Firebase Arduino RFID	

XÂY DỰNG MÔ HÌNH HỆ THỐNG BÃI ĐỖ XE THÔNG MINH TẠI VIỆT NAM DỰA TRÊN CÔNG NGHỆ INTERNET OF THINGS VÀ CLOUD SERVER

Phạm Thành Nam*, Phạm Xuân Kiên, Đoàn Mạnh Cường

Trường Đại học Công nghệ thông tin và Truyền thông - ĐH Thái Nguyên

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 18/5/2021 Ngày hoàn thiện: 02/8/2021 Ngày đăng: 09/8/2021	Hiện nay, bài toán ùn tắc giao thông và đỗ xe đang trở thành vấn đề lớn tại các thành phố đang phát triển tại Việt Nam. Xây dựng các bãi đỗ xe thông minh là một giải pháp tối ưu để giải quyết bài toán này dựa trên sự phát triển của khoa học công nghệ. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất xây dựng thử nghiệm một mô hình hệ thống mạng lưới liên kết các bãi đỗ xe thông minh để giải quyết các yêu cầu đỗ xe của người dùng. Trong hệ thống này, các bãi đỗ xe được xây dựng dựa trên công nghệ Internet of Things (IoT) kết hợp với công nghệ lưu trữ đám mây để lưu trữ dữ liệu. Thông tin dữ liệu của các bãi đỗ như là chi phí đỗ xe, số lượng chỗ đỗ còn trống được định kỳ cập nhật trên hệ thống theo thời gian thực. Thông tin này được sử dụng như là các tham số để người dùng đưa ra các quyết định tối ưu trong việc tìm kiếm và đặt chỗ đỗ xe của mình. Chúng tôi đã triển khai thử nghiệm thành công hệ thống đỗ xe thông minh ra thực tế bao gồm phần cứng bãi đỗ, phần mềm người dùng để tìm kiếm và đặt chỗ, các chức năng dẫn đường trong hệ thống.
TỪ KHÓA Hệ thống đỗ xe thông minh Vận vật kết nối Internet Firebase Arduino Công nghệ RFID	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.4518>

* Corresponding author. Email: ptnam@ictu.edu.vn

1. Giới thiệu

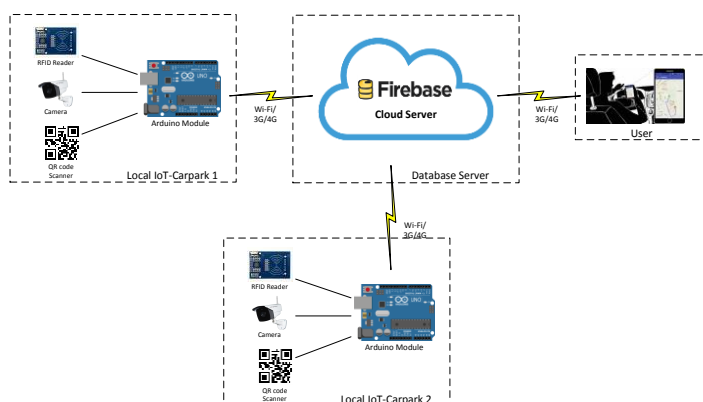
Các thành phố hiện đại phải đối phó với các vấn đề và thách thức khác nhau. Một trong những thách thức quan trọng nhất của các thành phố hiện đại là tốc độ gia tăng nhanh của các phương tiện giao thông dẫn đến tắc nghẽn giao thông và ô nhiễm môi trường. Để giải quyết vấn đề này, các thành phố lớn trên thế giới đã và đang tìm cách lên phương án và xây dựng các dịch vụ giao thông thông minh, trong đó nổi bật là giải pháp xây dựng các bãi đỗ xe thông minh. Ngày nay, cùng với sự phát triển của khoa học kỹ thuật và công nghệ đặc biệt là sự gia tăng của công nghệ vạn vật kết nối Internet (Internet of Things) trong bối cảnh cách mạng công nghiệp 4.0 cho phép xây dựng các hệ thống bãi đỗ xe thông minh này dễ dàng hơn. Đã có nhiều giải pháp xây dựng bãi đỗ xe thông minh trên thế giới được triển khai [1]-[8]. Các bãi đỗ xe này được xây dựng dựa trên các công nghệ: Mạng cảm biến không dây được triển khai tại các bãi đỗ xe để thu thập các thông tin trong bãi đỗ [1]-[4]. Các mạng lưới đỗ xe này chỉ tập trung đưa ra các giải pháp thu thập dữ liệu tại bãi đỗ bằng cách triển khai các cảm biến không dây khác nhau mà chưa phân tích các thành phần cấu trúc khác của hệ thống bãi đỗ xe cũng như việc truyền tải dữ liệu trong hệ thống. Một trong các hệ thống bãi đỗ xe thông minh đã triển khai là tập trung vào nghiên cứu các công nghệ lưu trữ dữ liệu dùng để lưu trữ thông tin dữ liệu đỗ xe và các công nghệ thiết bị di động để phát triển các ứng dụng tìm kiếm và đặt chỗ đỗ xe cho người dùng [5]-[8]. Tuy nhiên, các hệ thống bãi đỗ xe thông minh đã triển khai này chỉ dừng lại ở một bãi đỗ, chưa tổ chức thành kiến trúc mạng lưới có khả năng tích hợp mở rộng. Các hệ thống bãi đỗ xe đã triển khai cũng chưa đưa ra các phân tích về mặt yêu cầu dịch vụ của người dùng.

Ở Việt Nam hiện nay, cơ sở hạ tầng còn đang trong quá trình phát triển, mặc dù nhu cầu xây dựng các hệ thống bãi đỗ xe tăng cao; tuy nhiên quỹ dành cho xây dựng các hệ thống đỗ xe này còn thấp, các bãi đỗ xe được xây dựng chủ yếu là các bãi đỗ xe tư nhân với cấu hình phân cứng bị hạn chế. Các bãi đỗ xe tư nhân thường nhỏ lẻ và hệ thống quản lý bị giới hạn, các khu đỗ xe chỉ dành riêng cho mục đích sử dụng nội bộ, khả năng đáp ứng một số lượng nhỏ các yêu cầu đỗ xe. Từ các yếu tố trên cho thấy rằng, các bãi đỗ xe hiện hành tại Việt Nam chưa có sự liên kết với nhau, chưa có một hệ thống quản lý truy xuất thông tin chung, điều đó dẫn đến việc người dùng muốn tìm một chỗ đỗ xe phù hợp phải mất rất nhiều chi phí và thời gian. Vì vậy, trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất một mô hình hệ thống bãi đỗ xe thông minh dựa trên công nghệ Internet of Things với chi phí tối ưu về phần cứng và phần mềm triển khai hệ thống và có tính mở để kết nối các bãi đỗ xe riêng lẻ thành mạng lưới cung cấp thông tin đỗ xe. Từ đó, hệ thống chúng tôi đề xuất cung cấp thông tin tổng quan hơn về các bãi đỗ xe và giúp người dùng lựa chọn các bãi đỗ xe theo các yêu cầu của mình dựa trên phần mềm hệ thống chạy trên điện thoại thông minh. Bài báo của chúng tôi gồm các phần: Phần 1 là giới thiệu, Phần 2 là mô tả về kiến trúc và các thành phần trong hệ thống đỗ xe đề xuất, Phần 3 là các kết quả mô phỏng và triển khai thực nghiệm, Phần 4 là kết luận.

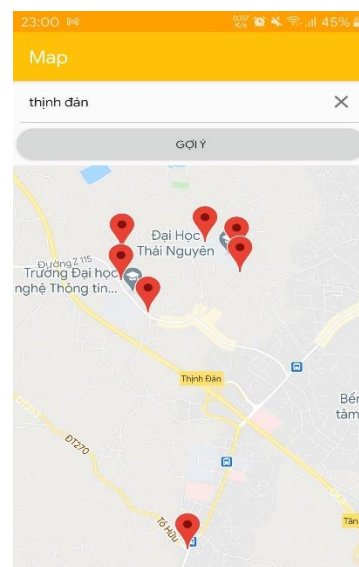
2. Đề xuất hệ thống bãi đỗ xe thông minh dựa trên công nghệ Internet of Things

2.1. Đề xuất kiến trúc hệ thống

Trong mô hình hệ thống bãi đỗ xe mà chúng tôi đề xuất, các bãi đỗ xe cục bộ (local carpark) sẽ liên kết với nhau để tạo thành mạng lưới cung cấp thông tin về các bãi đỗ xe. Dữ liệu từ các bãi được đẩy lên máy chủ đám mây Cloud Server để luôn đảm bảo tính sẵn sàng của dịch vụ khi người dùng có kết nối Internet. Việc liên kết tạo thành mạng lưới đỗ xe này giúp người dùng có thông tin tổng quan hơn và đưa ra lựa chọn tối ưu cho yêu cầu tìm kiếm chỗ đỗ xe của mình thay vì việc tìm kiếm trên một bãi đơn lẻ. Mô hình mạng lưới đề xuất cũng giúp cho hệ thống có khả năng tích hợp mở rộng. Kiến trúc hệ thống đề xuất như được mô tả trong hình 1 dưới đây.



Hình 1. Kiến trúc giải pháp đỗ xe thông minh



Hình 2. Sơ đồ mạng lưới các bãi đỗ xe trong hệ thống

Trong hình 1, các thành phần chính trong sơ đồ hệ thống bao gồm: Thành phần bãi đỗ xe địa phương (Local IoT-Carpark); Máy chủ cơ sở dữ liệu (Firebase Cloud Server); Phần mềm ứng dụng chạy trên thiết bị thông minh của người dùng (smartphone). Trong đó, các bãi đỗ xe được tổ chức thành các mạng IoT cục bộ. Dữ liệu từ các bãi đỗ xe này sẽ được gửi lên máy chủ cơ sở dữ liệu trực tuyến, trong hệ thống của chúng tôi triển khai là Firebase Cloud Server. Các lái xe là người dùng trong hệ thống sẽ sử dụng ứng dụng (Apps) cài đặt trên điện thoại thông minh để thực hiện chức năng tìm kiếm và đặt trước chỗ đỗ xe thông qua kết nối Internet (công nghệ kết nối Wi-Fi/3G/4G). Trong đó:

- Các cảm biến bãi đỗ xe: Các thành phần cứng và phần mềm cần thiết để thực hiện phát hiện các phương tiện trên các điểm đỗ khác nhau.
- Cổng bãi đỗ xe: Các thành phần phần cứng và phần mềm quản lý và tích hợp một số cảm biến đỗ xe trên khu vực đỗ xe và kết nối dữ liệu được thu thập với hỗ trợ hệ thống thông qua kết nối Internet.
- Máy chủ cơ sở dữ liệu: Hệ thống dựa trên công nghệ điện toán Cloud, chịu trách nhiệm thu thập thông tin từ các bãi đỗ xe khác nhau trong hệ thống, xử lý thông tin đó và cung cấp thông tin cần thiết cho ứng dụng di động.
- Ứng dụng di động: Ứng dụng di động của người dùng cuối cung cấp thông tin cho người dùng cuối về tính khả dụng và vị trí của bãi đỗ xe.

Trong hình 2 là minh họa về mạng lưới bãi đỗ xe được liên kết trong hệ thống theo khu vực. Các bãi đỗ xe này sẽ định kỳ gửi thông tin cập nhật lên máy chủ cơ sở dữ liệu Firebase, các thông tin này bao gồm số lượng chỗ đỗ xe còn trống, tình trạng đỗ xe tại các vị trí trong bãi đỗ và thông tin người dùng đỗ xe trong hệ thống tại thời điểm hiện tại.

2.2. Các thành phần trong hệ thống

2.2.1. Bãi đỗ xe địa phương (Local IoT-Carpark)

Bãi đỗ xe thông minh địa phương được tổ chức theo mô hình mạng cảm biến không dây dựa trên các công nghệ IoT bao gồm:

Thẻ RFID: Thẻ này dùng để xác thực thông tin người dùng trong hệ thống. Nếu thông tin thẻ RFID là chính xác thì người dùng sẽ được đi vào bên trong bãi đỗ. Ngoài chức năng nhận thực

vào/ra bãi đỗ, thẻ RFID còn dùng để xác định số lượng chỗ đỗ xe còn trống bên trong bãi đỗ. Thông tin này sẽ được sử dụng để làm tiêu chí cho việc lựa chọn bãi đỗ xe của người dùng.

- Camera giám sát: Để giám sát vào/ra của các phương tiện trong bãi đỗ, dùng các thuật toán xử lý ảnh để nhận biết tình trạng các chỗ đỗ xe còn trống. Người dùng và người quản lý hệ thống có thể quan sát bãi đỗ xe thời gian thực thông qua các camera này.

- Mã QR code: Ngoài các thông tin nhận thực sử dụng camera hoặc thẻ RFID, hệ thống chúng tôi triển khai thử nghiệm thêm phương pháp nhận thực phương tiện bằng mã QR code. Việc sử dụng mã QR code giúp giảm chi phí khi triển khai hệ thống.

- Các nút mạng cảm biến: Là các cảm biến được gắn tại mỗi vị trí đỗ xe. Các cảm biến hay được sử dụng với chi phí thấp đó là cảm biến âm thanh ultrasound, cảm biến trọng lượng, cảm biến hồng ngoại. Thông tin giám sát sẽ là các thông tin bị chiếm chỗ tại các vị trí đỗ xe, nếu có phương tiện vào đỗ tại vị trí giám sát, thông tin này sẽ được gửi lên hệ thống thông qua việc truyền dữ liệu tới Arduino module hoặc MCU node.

- Module thu thập dữ liệu và điều khiển: Đây là một trong những thành phần quan trọng nhất trong hệ thống, nó sẽ chịu trách nhiệm cho phép giao tiếp mạng cảm biến với máy chủ cơ sở dữ liệu bãi đỗ xe, thông qua Internet (sử dụng API REST, thông qua các giao thức truyền tải dữ liệu HTTP/HTTPS, CoAP, MQTT). Module này cũng được cấu thành bởi phần cứng và phần mềm được thiết kế đặc biệt để thực hiện chức năng của nó. Thành phần phần cứng được chọn để thực hiện thử nghiệm công này là module Arduino với chi phí thấp hơn nhiều so với các triển khai sử dụng module Raspberry PI.

Các cấu hình phần cứng chúng tôi đề xuất để triển khai tại các bãi đỗ như mô tả ở trên có chi phí tối ưu giá rẻ và sẵn có tại thị trường Việt Nam so với chi phí vận hành lắp đặt các bãi đỗ xe tư nhân hiện nay. Các cấu hình phần cứng như trên cũng đảm bảo đầy đủ cho xây dựng một bãi đỗ xe thông minh.

2.2.2. Ứng dụng di động

Mục tiêu cuối cùng của giải pháp đỗ xe thông minh là cung cấp các công cụ hiện đại và trực quan cần thiết cho người dùng dễ dàng và nhanh chóng tìm kiếm được chính xác chỗ đỗ xe mong muốn. Trong nghiên cứu của chúng tôi xây dựng ứng dụng tìm kiếm và đặt chỗ đỗ xe và cung cấp các thông tin đỗ xe dựa trên một ứng dụng chạy trên các điện thoại thông minh của người dùng. Ứng dụng của chúng tôi được xây dựng hướng đến dựa trên hai nền tảng hệ điều hành Android và iOS; do đó người dùng dễ dàng truy cập vào hệ thống thông qua các điện thoại thông minh của họ.

2.2.3. Máy chủ cơ sở dữ liệu Cloud Server

Hệ thống cơ sở dữ liệu của chúng tôi triển khai dựa trên nền tảng công nghệ Firebase Cloud Server lưu trữ dữ liệu trực tuyến của Google. Nền tảng này đã được chọn vì nó cung cấp các dịch vụ thiết yếu cần thiết để phát triển nhanh hơn, tuy nhiên nó có thể được thay thế bằng bất kỳ nền tảng phụ trợ nào khác nếu các dịch vụ hỗ trợ cần thiết cơ bản được đảm bảo. Trong thành thu thập dữ liệu và điều khiển, xác thực ban đầu được thực hiện trên Firebase sau đó là khởi tạo API, sau này cho phép sử dụng các hàm để thu thập và gửi dữ liệu đến cơ sở dữ liệu.

2.3. Mô hình toán học chi phí đỗ xe trong hệ thống

Để giúp người dùng có nhiều lựa chọn trong việc tìm kiếm chỗ đỗ xe mong muốn theo yêu cầu của họ, chúng tôi đề xuất sử dụng một hàm chi phí F_{cost} giữa người dùng U_i và bãi đỗ xe P_j .

$$F_{ij} = F_{ij}(\alpha, \beta) = \alpha \times \frac{d_{ij}}{D_{up}} + \beta \times \frac{m_j}{M_{up}} \quad (1)$$

Trong đó, α là xác suất người dùng lựa chọn bãi đỗ xe với khoảng cách gần nhất. β là xác suất người dùng lựa chọn bãi đỗ xe với nhiều chỗ trống nhất. d_{ij} là khoảng cách từ vị trí của người dùng đến bãi đỗ xe thứ j cần tính chi phí. m_j là số lượng chỗ đỗ xe còn trống trong bãi thứ j . D_{up} ,

M_{up} là các tham số giới hạn trong cả hệ thống các bãi đỗ. Khi đó, hàm chi phí đỗ xe F_{cost} sẽ được mô hình hóa lại trong điều kiện yêu cầu của người dùng đã được phục vụ:

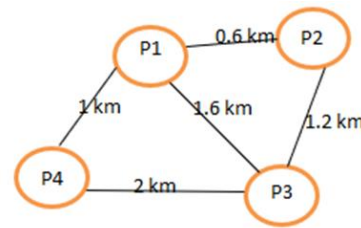
$$F_{cost} = F_{cost}(\alpha, \beta, \gamma) = Cost(\alpha) + Cost(\beta) \quad (2)$$

Trong đó, $Cost(\alpha)$, $Cost(\beta)$ là các hàm chi phí tương ứng với việc người dùng quan tâm đến việc lựa chọn khoảng cách hay số chỗ đỗ xe còn trống. Lời giải tối ưu là người sẽ lựa chọn bãi đỗ xe với hàm chi phí nhỏ nhất kết hợp của 2 yếu tố trên. Thực tế có thể mở rộng thêm các tham số như chi phí gửi xe tại mỗi bãi đỗ. Việc sử dụng hàm chi phí giúp cho người dùng đi đến được vị trí đỗ xe mong muốn nhanh nhất, tiết kiệm thời gian thay vì có đợi tại bãi đỗ xe gần nhất nhưng đang trong tình trạng tắc nghẽn.

Bảng 1 sau đây là một ví dụ thống kê hàm chi phí đỗ xe.

Bảng 1. Hàm chi phí

Values (α, β)	Cost(α)	Cost(β)	F_{cost}
0,0 – 1,0	0	0,25	0,25
0,2 – 0,8	0,2	0,2	0,4
0,5 – 0,5	0,5	0,125	0,625
0,8 – 0,2	0,64	0,15	0,79
1,0 – 0,0	0,8	0	0,8



Hình 3. Một mạng 4 nút

3. Kết quả mô phỏng và triển khai thực nghiệm

3.1. Mô phỏng đánh giá hiệu năng hệ thống

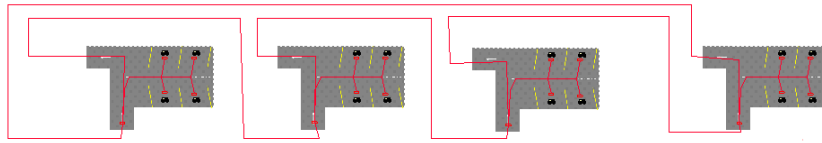
Để đánh giá hiệu năng của mạng bãi đỗ xe thông minh, chúng tôi mô phỏng một mô hình mạng đơn giản gồm 4 bãi đỗ xe như hình 3. Chúng tôi sử dụng công cụ mô phỏng mạng Arena để mô phỏng mạng này [9], [10]. Số lượng các xe đến các bãi là phân bố ngẫu nhiên tuân theo phân phối Poisson, ký hiệu là $P(X)$. Trong đó, X là khoảng thời gian trung bình giữa hai xe liên tiếp đến bãi đỗ. Trong mô phỏng này, $X = 15$ phút và 20 phút. Ta coi chiếc xe là công việc và chỗ đậu xe là thực thể thực thi công việc. Thời gian thực hiện công việc tuân theo phân phối hàm mũ, được ký hiệu là $EXPO(Y)$, trong đó Y là thời gian phục vụ trung bình mà một chiếc xe ở trong bãi đỗ xe. Chúng tôi chọn $Y = 60$ phút trong trường hợp này. Chúng tôi giả sử các bãi đỗ xe như các nút mạng và chúng được liên kết với nhau như trong hình 3.

Giả sử số lượng xe đến mỗi bãi đỗ xe lần lượt là 60, 80, 100 xe. Chúng tôi mô phỏng đến khi tất cả các xe được đỗ thành công. Giá trị của α , β và các tham số mô phỏng được thiết lập như trong bảng 2.

Bảng 2. Cài đặt các tham số mô phỏng

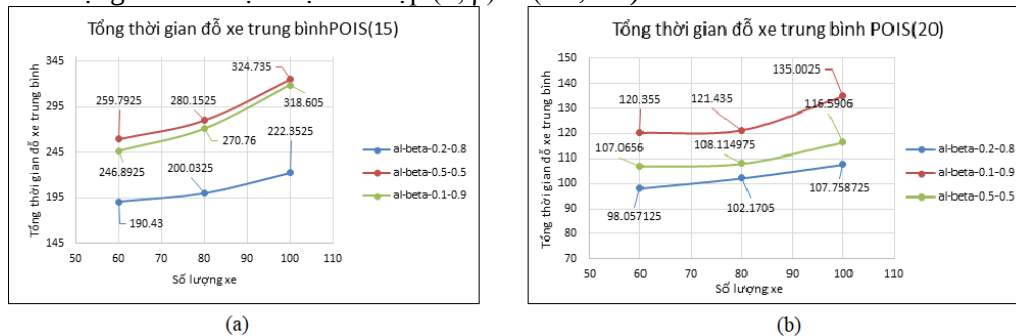
Thông số	Giá trị	Đơn vị
Số xe đến bãi đậu	{60, 80, 100}	Xe
Khoảng thời gian đến giữa hai xe liên tiếp	POIS(15, 20)	Phút
Thời gian phục vụ trung bình trong bãi	EXPO(60)	Phút
Tham số α	{0.1, 0.2, 0.5}	
Tham số β	{0.5, 0.8, 0.9}	

Với các thông số như trên, sơ đồ mô phỏng sẽ cho như trong hình 4. Trong đó, mỗi nút mạng sẽ có 4 chỗ đỗ. Trong mô hình mạng này, khi một người dùng đến một bãi đậu xe đang đầy, hệ thống sẽ tính toán lại hàm chi phí, nếu thời gian chờ để được phục vụ (chờ đỗ) lớn hơn thời gian di chuyển đến bãi đỗ xe lân cận thì người dùng sẽ được chuyển tiếp đến bãi đỗ xe với thời gian chờ nhỏ hơn.



Hình 4. Sơ đồ mạng mô phỏng

Kết quả mô phỏng của tổng thời gian đỗ xe trung bình ứng với thời gian đến trung bình 15 phút và 20 phút được mô tả như trong hình 5(a) và hình 5(b). Ta thấy rằng, trong mọi trường hợp, hiệu suất mạng tốt nhất đạt được với cặp (α, β) là $(0.2, 0.8)$.

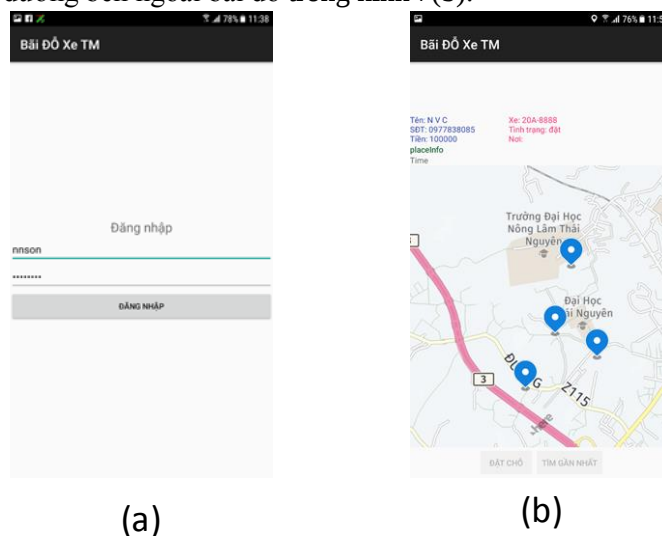


Hình 5. Tổng thời gian đỗ xe trung bình tương ứng với thời gian đến trung bình: (a) 15 phút; (b) 20 phút

3.2. Kết quả triển khai thực nghiệm

3.2.1. Hệ thống phần mềm ứng dụng đặt chỗ

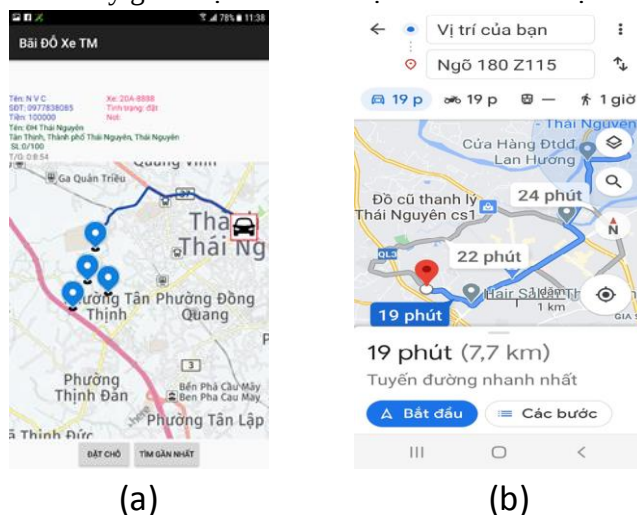
Chúng tôi đã thiết kế một ứng dụng phần mềm chạy trên điện thoại thông minh dựa trên nền tảng Android. Dựa vào ứng dụng này người dùng có thể tìm kiếm và đặt chỗ đỗ xe mong muốn. Ngoài ra, sau khi đặt chỗ đỗ xe thành công, hệ thống có thể định tuyến dẫn đường người dùng di chuyển đến chỗ đỗ thông qua hệ thống dẫn đường bên ngoài chạy trên ứng dụng. Khi người dùng muốn sử dụng dịch vụ từ ứng dụng của chúng tôi, họ phải đăng nhập bằng tài khoản cá nhân của mình mà đã đăng ký trước. Trong hình 6(a) là giao diện đăng nhập của người dùng vào hệ thống. Hình 6(b) là giao diện vị trí các bãi đỗ xe trong hệ thống. Hình 7(a) là giao diện đặt chỗ đỗ xe gần nhất và dịch vụ dẫn đường bên ngoài bãi đỗ trong hình 7(b).



Hình 6. Giao diện phần mềm ứng dụng

3.2.2. Cơ sở dữ liệu Firebase Cloud Server

Firebase là một nền tảng ứng dụng Web được Google cung cấp dành cho việc truy nhập các dữ liệu di động. Trong hệ thống của chúng tôi, dữ liệu từ các thiết bị phần cứng được đẩy lên Firebase, người dùng cài đặt các ứng dụng sẽ truy cập các dữ liệu hệ thống thông qua máy chủ cơ sở dữ liệu này. Hình 8 trình bày giao diện cơ sở dữ liệu Firebase của hệ thống.



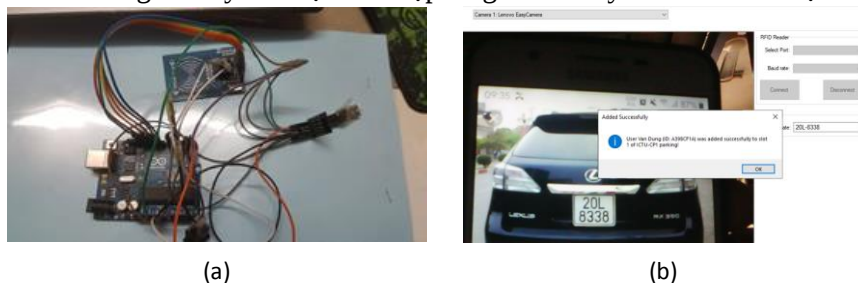
Hình 7. Giao diện đặt chỗ đỗ xe gần nhất với người dùng: (a) và dịch vụ dẫn đường bên ngoài bãi đỗ (b)



Hình 8. Giao diện tổ chức cơ sở dữ liệu hệ thống bãi đỗ xe thông minh trên Firebase

3.2.3. Hệ thống phần cứng kết nối

Trong hình 9(a), mạch kiểm soát vào/ra dựa trên module Arduino Uno R3 kết hợp với module RFID RC522 để nhận thực người dùng đi vào bãi đỗ. Hình 9(b) là giao diện nhận dạng biển số xe đi vào bãi đỗ. Các thông tin này sẽ được thu thập và gửi lên máy chủ cơ sở dữ liệu Firebase.



Hình 9. Mạch quét thẻ RFID (a) và Camera nhận dạng biển số xe (b) dùng cho khách hàng vào/ra bãi đỗ xe

4. Kết luận

Trong bài báo này, chúng tôi đã xây dựng và triển khai một hệ thống bãi đỗ xe thông minh dựa trên các công nghệ vạn vật kết nối Internet (IoT) và lưu trữ đám mây Cloud Server. Hệ thống bãi đỗ xe thông minh của chúng tôi đề xuất với chi phí thấp, phù hợp với các cấu hình phần cứng và phần mềm sẵn có hiện nay. Hệ thống của chúng tôi đã được triển khai thử nghiệm thành công. Hệ thống này có thể được phát triển mở rộng và được cài đặt phù hợp với các bãi đỗ xe tư nhân, các bãi đỗ xe của các cơ quan doanh nghiệp với yêu cầu chi phí hợp lý.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu được thực hiện trong bài báo này là một phần trong nghiên cứu được tài trợ bởi đề tài cấp bộ mã số: B2020-TNA-18.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] A. Mackey, P. Spachos, and K. N. Plataniotis, "Smart Parking System Based on Bluetooth Low Energy Beacons With Particle Filtering," *IEEE Systems Journal*, vol. 14, no. 3, pp. 3371-3382, Sept. 2020.
- [2] H. C. Yee and Y. Rahayu, "Monitoring parking space availability via ZigBee technology," *International Journal of Future Computer*, vol. 3, no. 6, pp. 377-380, 2014.
- [3] S. N. Ghorpade, M. Zennaro, and B. S. Chaudhari, "GWO Model for Optimal Localization of IoT-Enabled Sensor Nodes in Smart Parking Systems," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 22, no. 2, pp. 1217-1224, 2020.
- [4] W. Shao, F. D. Salim, T. Gu, N.-T. Dinh, and J. Chan "Traveling Officer Problem: Managing Car Parking Violations Efficiently Using Sensor Data," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, no. 2, pp. 802-210, 2017.
- [5] F. Shi *et al.*, "ParkCrowd: Reliable Crowdsensing for Aggregation and Dissemination of Parking Space Information," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 20, no. 11, pp. 4032-4044, 2018.
- [6] K. S. Awaisi *et al.*, "Towards a Fog Enabled Efficient Car Parking Architecture," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 159100-159111, 2019.
- [7] Y. Geng and C. G. Cassandras, "New 'smart parking' system based on resource allocation and reservations," *IEEE Transaction on Intelligent Transportation System*, vol. 14, no. 3, pp. 1129-1139, 2013.
- [8] A. O. Kotb, Y.-C. Shen, X. Zhu, and Y. Huang, "iParker—A New Smart Car-Parking System Based on Dynamic Resource Allocation and Pricing," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 17, no. 9, pp. 2637-2647, 2016.
- [9] M. D. Rossetti, *Simulation Modeling With Arena*. New York, NY, USA: Wiley, 2010.
- [10] T. Altiok and B. Melamed, *Simulation Modeling and Analysis With ARENA*. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier, 2007.