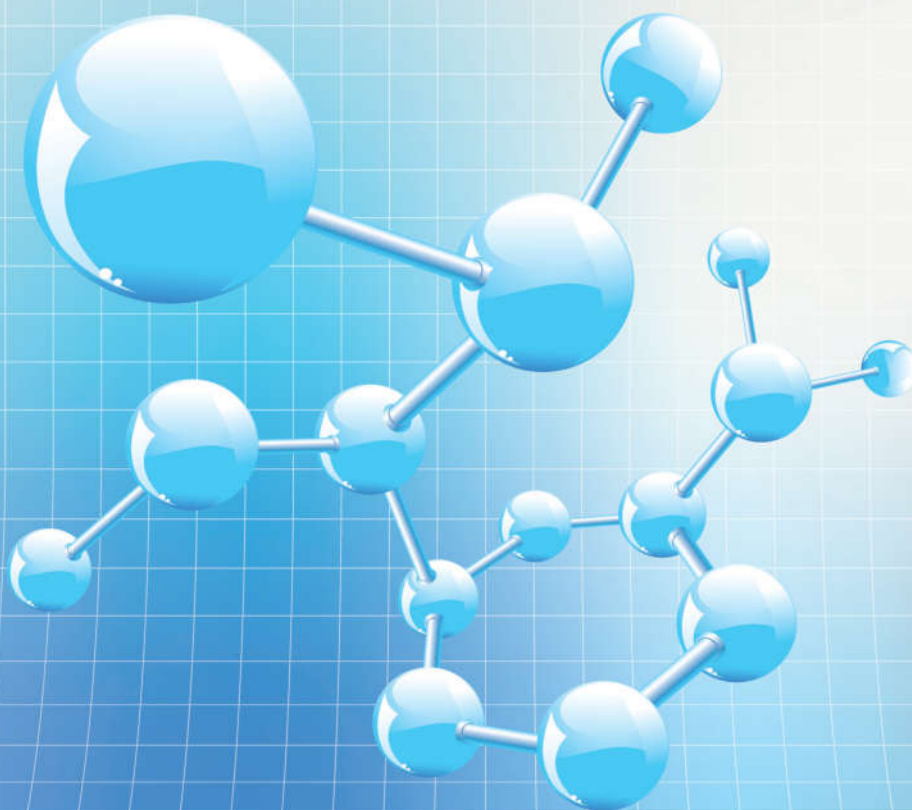




Tạp chí NGHIÊN CỨU KHOA HỌC

Đ A I H O C S A O ĐỎ
SCIENTIFIC JOURNAL - SAO DO UNIVERSITY

P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X



Số 3 (86)
2024

P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X

■ **Tổng Biên tập**

TS. Đỗ Văn Đình

■ **Phó Tổng biên tập**

TS. Nguyễn Thị Kim Nguyên

■ **Thư ký Tòa soạn**

PGS.TS. Ngô Hữu Mạnh

■ **Hội đồng Biên tập**

TS. Nguyễn Thị Kim Nguyên - Chủ tịch Hội đồng

GS.TS. Phạm Thị Ngọc Yến

PGS.TSKH. Trần Hoài Linh

PGS.TS. Nguyễn Văn Liễn

GS.TSKH. Thân Ngọc Hoàn

GS.TSKH. Bành Tiến Long

GS.TS. Nguyễn Đức Toàn

PGS.TS. Lê Thu Quý

GS.TS. Lê Anh Tuấn

GS.TS. Đinh Văn Sơn

PGS.TS. Trương Thị Thủy

PGS.TS. Nguyễn Thị Bất

GS.TS. Đỗ Quang Kháng

PGS.TS. Ngô Sỹ Lương

PGS.TS. Khuất Văn Ninh

GS.TSKH. Phạm Hoàng Hải

PGS.TS. Đoàn Ngọc Hải

PGS.TS. Nguyễn Ngọc Hà

GS.TS. Yu Ming Zhang

GS.TS. Nguyễn Văn Anh

■ **Ban Biên tập**

TS. Vũ Văn Đông - Trưởng ban

ThS. Đoàn Thị Thu Hằng - Phó Trưởng ban

■ **Editor-in-Chief**

Dr. Do Van Dinh

■ **Vice Editor-in-Chief**

Dr. Nguyen Thi Kim Nguyen

■ **Office Secretary**

Assoc.Prof.Dr. Ngo Huu Manh

■ **Editorial Board**

Dr. Nguyen Thi Kim Nguyen - Chairman

Prof.Dr. Pham Thi Ngoc Yen

Assoc.Prof.Dr.Sc. Tran Hoai Linh

Assoc.Prof.Dr. Nguyen Van Lien

Prof.Dr.Sc. Than Ngoc Hoan

Prof.Dr.Sc. Banh Tien Long

Prof.Dr. Nguyen Duc Toan

Assoc.Prof.Dr. Le Thu Quy

Prof.Dr. Le Anh Tuan

Prof.Dr. Dinh Van Son

Assoc.Prof.Dr. Truong Thi Thuy

Assoc.Prof.Dr. Nguyen Thi Bat

Prof.Dr. Do Quang Khang

Assoc.Prof.Dr. Ngo Sy Luong

Assoc.Prof.Dr. Khuat Van Ninh

Prof.Dr.Sc. Pham Hoang Hai

Assoc.Prof.Dr. Doan Ngoc Hai

Assoc.Prof.Dr. Nguyen Ngoc Ha

Prof.Dr. Yu Ming Zhang

Prof.Dr. Nguyen Van Anh

■ **Editorial**

Dr. Vu Van Dong - Head

MSc. Doan Thi Thu Hang - Deputy Head

Địa chỉ Tòa soạn:

Trường Đại học Sao Đỏ.

Số 76, Nguyễn Thị Duệ, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882 921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/>Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn.

Giấy phép xuất bản số: 620/GP-BTTTT ngày 17/9/2021 của Bộ Thông tin và Truyền thông.

In 2.000 bản, khổ 21 × 29,7cm, tại Công ty TNHH in Tre Xanh, cấp ngày 17/02/2011.

LIÊN NGÀNH ĐIỆN - ĐIỆN TỬ - TỰ ĐỘNG HÓA

- | | | |
|---|----|--|
| Nghiên cứu bài toán nâng cao hiệu quả năng lượng của hệ thống thông tin không dây với sự hỗ trợ bề mặt phản xạ thông minh | 5 | Nguyễn Đỗ Dũng
Đào Minh Hưng
Nguyễn Văn Hào
Nguyễn Trọng Các |
| Định dạng theo hình dạng chữ L và bám các mục tiêu trên mặt nước dựa trên hình ảnh Lidar 3D | 14 | Nguyễn Phương Lâm
Nguyễn Trọng Các |
| Ứng dụng ResNet-50 trong phát hiện lỗi bề mặt chi tiết sản phẩm cơ khí | 19 | Nguyễn Đức Minh
Vũ Thị Lệ Hằng
Đỗ Văn Đĩnh
Phạm Văn Nam |
| Phương pháp phát hiện hư hại vết lõm trên đường ray sử dụng mô hình Yolov8 | 25 | Nguyễn Phương Ty
Lương Thị Thanh Xuân
Nguyễn Thị Tâm
Dương Thị Hoa
Nguyễn Thị Việt Hương
Hà Minh Tuấn |
| Mô hình hóa pin xe điện và so sánh hiệu suất sạc/xả điện cho các loại pin | 31 | Tạ Thị Mai |

LIÊN NGÀNH CƠ KHÍ - ĐỘNG LỰC

- | | | |
|---|----|---|
| Nghiên cứu ảnh hưởng của vận tốc cắt và lượng chạy dao đến độ nhám bề mặt khi phay hợp kim nhôm 7075-T6 | 38 | Mạc Văn Giang |
| Phương pháp ghép nối các tấm thép silicon trong stator của động cơ điện - Phần 2 | 45 | Nguyễn Thanh Tùng
Ngô Hữu Mạnh
Trịnh Văn Cường
Mạc Thị Nguyên |
| Khảo sát một số yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm trong quá trình dập tạo hình đa điểm | 53 | Trần Hải Đăng
Nguyễn Thị Thu |
| Nghiên cứu ảnh hưởng của động học đến trạng thái ứng suất khi miết ép | 58 | Nguyễn Văn Hình
Nguyễn Đức Hải
Nguyễn Thị Liễu
Nguyễn Hữu Chấn
Dương Thị Hà |

LIÊN NGÀNH CƠ KHÍ - ĐỘNG LỰC

Nghiên cứu sự thay đổi kích thước của vải dệt kim Rib 1:1 từ sợi cotton, sợi len lông cừu sau quá trình là hơi 62 Nguyễn Thị Hiền
Phạm Thị Kim Phúc

NGÀNH KINH TẾ

Công tác quản lý thuế đối với các doanh nghiệp xây dựng trên địa bàn tỉnh Hải Dương 69 Đinh Thị Kim Thiết

Nghiên cứu giải pháp phát triển mô hình dịch vụ du lịch nông thôn tại tỉnh Hải Dương 75 Vũ Thị Hương

Thực trạng ứng dụng mô hình kinh tế tuần hoàn trong các khu công nghiệp Việt Nam 81 Nguyễn Thị Thủy

Ứng dụng trí tuệ nhân tạo (AI) trong lĩnh vực kế toán tại các doanh nghiệp Việt Nam: Thực trạng và giải pháp 87 Vũ Thị Lý
Nguyễn Thị Quỳnh

NGÀNH TOÁN HỌC

Tích chập của phép biến đổi Fourier và Laplace với hàm trọng trong không gian $L_1(\mathbb{R}_+)$ 94 Nguyễn Kiều Hiền

NGÀNH KHOA HỌC GIÁO DỤC

Thực trạng và định hướng vận dụng một số phương pháp giảng dạy học phần Tư tưởng Hồ Chí Minh gắn với giá trị cốt lõi của Trường Đại học Sao Đỏ 99 Nguyễn Mạnh Tường
Trần Thị Hồng Nhung

LIÊN NGÀNH TRIẾT HỌC - XÃ HỘI HỌC - CHÍNH TRỊ HỌC

Sự lãnh đạo của Đảng bộ tỉnh Hải Dương về công tác giáo dục chính trị, tư tưởng hiện nay 106 Vũ Văn Đông

Tấm gương tự học của Chủ tịch Hồ Chí Minh và việc tự học của sinh viên Trường Đại học Sao Đỏ hiện nay 112 Nguyễn Mạnh Tường

Lý luận của chủ nghĩa Mác-Lênin về sở hữu và sự vận dụng của Đảng Cộng sản Việt Nam hiện nay 117 Trần Thị Hồng Nhung
Nguyễn Mạnh Tường

Tư tưởng của Lenin về công đoàn và sự vận dụng ở Việt Nam 123 Vũ Văn Chương
Phạm Văn Dự
Nguyễn Minh Loan

TITLE FOR ELECTRICITY - ELECTRONICS - AUTOMATION

- | | | |
|---|----|--|
| Research on improving energy efficiency in intelligent reflective surface-assisted wireless communication systems | 5 | Nguyen Do Dung
Dao Minh Hung
Nguyen Van Hao
Nguyen Trong Cac |
| L-shape fitting based object detection and surface water target tracking using 3D Lidar | 14 | Nguyen Phuong Lam
Nguyen Trong Cac |
| Application of Resnet-50 in detecting surface defects of mechanical product details | 19 | Nguyen Duc Minh
Vu Thi Le Hang
Do Van Dinh
Pham Van Nam |
| Squat defect detection method for railway using YOLOv8 model | 25 | Nguyen Phuong Ty
Luong Thi Thanh Xuan
Nguyen Thi Tam
Duong Thi Hoa
Nguyen Thi Viet Huong
Ha Minh Tuan |
| Modeling of electric vehicle battery and performance comparisons on charging/discharging of selected types of battery | 31 | Ta Thi Mai |

TITLE FOR MECHANICAL AND DRIVING POWER ENGINEERING

- | | | |
|--|----|---|
| Study on the effect of cutting speed and feed rate on surface roughness in milling of aluminum alloy 7075-T6 | 38 | Mac Van Giang |
| Jointing of the silicon sheets steel in stator of the electric motors - Part 2 | 45 | Nguyen Thanh Tung
Ngo Huu Manh
Trinh Van Cuong
Mac Thi Nguyen |
| Research of some factors affecting product quality in incremental forming | 53 | Tran Hai Dang
Nguyen Thi Thu |
| Research on the influence of kinematics on the stress state in smoothing process | 58 | Nguyen Van Hinh
Nguyen Duc Hai
Nguyen Thi Lieu
Nguyen Huu Chan
Duong Thi Ha |

TITLE FOR MECHANICAL AND DRIVING POWER ENGINEERING

- Research on the dimensional change of 1:1 Rib knitted fabric from cotton and wool yarn after steam ironing proces 62 Nguyen Thi Hien
Pham Thi Kim Phuc

TITLE FOR ECONOMICS

- Tax management for construction enterprises in hai duong province 69 Dinh Thi Kim Thiet
- Research on the development orientation of rural tourism service model in Hai Duong province 75 Vu Thi Huong
- Current status of applying circular economic model in industrial parks in Vietnam 81 Nguyen Thi Thuy
- Application of artificial intelligence (AI) in the field of accounting in Vietnamese enterprises: Current situation and solutions 87 Vu Thi Ly
Nguyen Thi Quynh

NTITLE FOR MATHEMATICS

- Convolution of the Fourier trans form and the Laplace with a weight function in the space $L_1(\mathbb{R}_+)$ 94 Nguyen Kieu Hien

TITLE FOR EDUCATION SCIENCE

- Current situation and orientation of applying teaching methods of Ho Chi Minh Thought subject associated with core values of Sao Do University 99 Nguyen Manh Tuong
Tran Thi Hong Nhung

TITLE FOR PHILOSOPHY - SOCIOLOGY - POLITICAL SCIENCE

- The leadership of the Hai Duong provincial Party Committee on the current work of political and ideological education 106 Vu Van Dong
- Ho Chi Minh's self-study example and the self-study of Sao Do University students today 112 Nguyen Manh Tuong
- The theory of Marxism-Leninism on ownership and its application by the Communist Party of Vietnam today 117 Tran Thi Hong Nhung
Nguyen Manh Tuong
- Lenin's thoughts on trade unions and their application in Vietnam 123 Vu Van Chuong
Pham Van Du
Nguyen Minh Loan

Nghiên cứu bài toán nâng cao hiệu quả năng lượng của hệ thống thông tin không dây với sự hỗ trợ bề mặt phản xạ thông minh

Research on improving energy efficiency in intelligent reflective surface-assisted wireless communication systems

Nguyễn Đỗ Dũng^{1*}, Đào Minh Hưng¹,
Nguyễn Văn Hào¹, Nguyễn Trọng Các²

*Tác giả liên hệ: nguyendodung@qnu.edu.vn

¹Trường Đại học Quy Nhơn

²Trường Đại học Sao Đỏ

Ngày nhận bài: 07/7/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 19/9/2024

Ngày chấp nhận đăng: 30/9/2024

Tóm tắt

Trong bài báo này, chúng tôi xem xét vấn đề giải quyết hiệu suất thu năng lượng của hệ thống mạng thu phát không dây trong điều kiện dễ bị ảnh hưởng bởi các chướng ngại vật và sự không chắc chắn của kênh truyền không dây. Để giải quyết bài toán về hiệu quả thu năng lượng, mô hình mạng được xem xét là một mạng truyền thông năng lượng không dây (WPCN) dựa trên các tấm có bề mặt phản chiếu thông minh để tiếp năng lượng cho nhiều người sử dụng. Đặc biệt, một thuật toán tối ưu hóa hiệu quả năng lượng mạnh mẽ cho mạng truyền thông không dây được đề xuất. Đầu tiên, hệ thống xem xét năng lượng thu hoạch tối thiểu, độ dịch pha IRS và tốc độ truyền thông tin tối thiểu. Sau đó, dựa trên độ không đảm bảo của kênh bị giới hạn, một mô hình phân bổ tài nguyên phi tuyến, kết hợp đa biến được thiết lập để cùng tối ưu hóa chùm năng lượng, dịch pha và thời gian truyền. Bài toán không lồi ban đầu được xem xét trong các trường hợp xấu nhất chuyển thành bài toán tối ưu lồi xác định, bằng cách sử dụng phương pháp thay thế biến và thủ tục-S để biến đổi. Kết quả là, một thuật toán tối ưu hóa hiệu quả năng lượng mạnh mẽ dựa trên phép lặp được đề xuất để giải quyết chúng. Cuối cùng, mô hình tổn thất theo khoảng cách đường truyền được sử dụng với các thông số giả định cụ thể về khoảng cách và hệ số tổn thất. Suy hao kênh truyền và các tham số khác như số lượng ăng-ten, số đơn vị phản xạ và số người dùng được xác định cũng được giả định để khảo sát. Kết quả mô phỏng cho thấy thuật toán tối ưu hóa hiệu quả năng lượng đề xuất có độ hội tụ tốt và cải thiện hiệu quả sử dụng năng lượng, thể hiện độ tin cậy của hệ thống. Ngoài ra, các tham số như công suất tiêu thụ và tốc độ truyền dẫn cũng đạt được tối ưu hóa khi truyền thông tin.

Từ khóa: Bề mặt phản xạ thông minh; mạng truyền năng lượng không dây; truyền năng lượng và thông tin không dây; phản xạ tối ưu; hiệu quả năng lượng cực đại.

Abstract

This paper considers the problem of solving the energy harvesting performance of a wireless transceiver network system under conditions easily affected by obstacles and uncertainties in the wireless transmission channel. To address the energy harvesting efficiency issue, the network model is designed as a wireless-powered communication network (WPCN) based on intelligent reflective surface (IRS) panels to provide energy to multiple users. Specifically, a powerful energy efficiency optimization algorithm for wireless communication networks is proposed. First, the system accounts for factors such as minimum harvested energy, IRS phase shift, and minimum information transmission rate. Then, based on the uncertainty of the constrained channel, a nonlinear, multivariate combined resource allocation model is established. This model jointly optimizes the energy beam, phase shift, and transmission time. The initial nonconvex problem is transformed into a deterministic convex optimization problem using variable substitution and the S-procedure. As a result, a robust energy-efficient

Người phản biện: 1. PGS.TS. Bùi Đăng Thành

2. TS. Phạm Việt Hưng

optimization algorithm based on iteration is proposed to solve the problem. Finally, a distance-based loss model is utilized with specific assumptions regarding distance and loss coefficients. Channel loss and other factors, such as the number of antennas, reflector units, and defined users, are also considered. Simulation results reveal that the proposed energy efficiency optimization algorithm converges effectively, enhances energy efficiency, and confirms the system's reliability. Moreover, parameters like power consumption and transmission speed are optimized for information transmission.

Keywords: *Intelligent Reflecting Surface (IRS); wireless-powered communication networks (WPCN); wireless information and power transmission, reflection optimization; energy efficiency (EE) maximization.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Số lượng thiết bị thông minh kết nối mạng internet ngày càng tăng nhanh, với tên gọi internet kết nối vạn vật (IoT-Internet of Thing) dự kiến sẽ đạt con số cao chưa từng thấy là 30,9 tỷ thiết bị trên toàn cầu vào năm 2025, so với con số ước tính 13,8 tỷ hiện tại vào năm 2021 [1]. Điều này chủ yếu được thúc đẩy bởi các ứng dụng ngày càng phổ biến của họ trong các lĩnh vực khác nhau của xã hội chúng ta, chẳng hạn như chăm sóc sức khỏe, sản xuất, giao thông vận tải, nhà thông minh,... Để giải phóng toàn bộ tiềm năng của sự bùng nổ các thiết bị IoT như vậy trong tương lai, các giải pháp tiết kiệm chi phí là cần thiết để cung cấp cho họ không chỉ khả năng liên lạc đáng tin cậy qua mạng mà còn cung cấp năng lượng tiết kiệm và lâu dài. Vì mục đích này, việc truyền tần số vô tuyến cho phép truyền năng lượng không dây tầm xa. Do đó, truyền năng lượng không dây đã nổi lên như một công nghệ thực tế hấp dẫn để cấp nguồn cho các thiết bị thu phát thông tin trong hệ thống IoT mà không cần dây dẫn [2], [3], [4], [5]. Với sự hỗ trợ của IRS (Intelligent Reflective Surface) trong hệ thống thông tin liên lạc không dây về mặt năng lượng, việc tập trung vào việc cải thiện hiệu suất năng lượng của các hệ thống thông tin được khảo sát ở nhiều góc độ, nhiều trường hợp khác nhau và theo các mô hình hoạt động khác nhau nhằm tối đa hóa mức tiêu thụ năng lượng của hệ thống. Ví dụ, trong [6] đề xuất một mô hình khảo sát năng lượng cho hệ thống thông tin liên lạc MU-MISO với IRS, tính đến sự khác biệt tiêu thụ năng lượng do trạng thái bật-tắt. Việc mô hình hóa chính xác tiêu thụ năng lượng giúp thiết lập một bài toán tối ưu hóa EE chính xác hơn. Bài báo [7] nghiên cứu thiết kế truyền thông bảo mật hiệu quả năng lượng với sự hỗ trợ của IRS có thể điều chỉnh pha. Bằng cách tạo ra các mẫu phản xạ mong muốn trong môi trường không dây, IRS giúp cải thiện đáng kể số lượng bit được truyền bảo mật đến đích trên mỗi đơn vị năng lượng tiêu thụ, được gọi là hiệu quả năng lượng bảo mật. Ngoài ra, việc phân bổ tài nguyên không dây là công nghệ then chốt để hiện thực hóa việc lập kế hoạch năng lượng và truyền thông tin, WPCN đã thu hút được sự chú ý rộng rãi từ giới học thuật và ngành công nghiệp. Cụ thể, tài liệu [8] nghiên cứu vấn đề tối đa hóa việc phân bổ tài nguyên tốc độ tối thiểu trong các WPCN ăng-ten đơn. Tài liệu [9] đã đề xuất thuật toán phân bổ tài nguyên tối đa hóa tốc

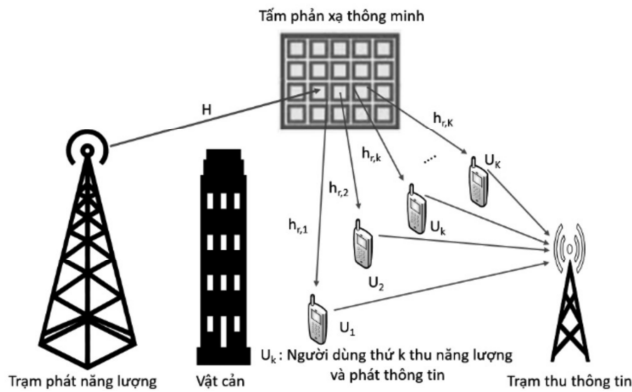
độ tổng có trọng số cho nhiều người dùng bằng cách tối ưu hóa chung thời gian thu thập năng lượng và công suất truyền tải. Đối với WPCN nhiều ăng-ten, tài liệu [10] tối đa hóa hệ thống và tốc độ bằng cách tối ưu hóa chung chùm năng lượng, thời gian truyền và công suất. Tài liệu [11] xem xét các ràng buộc như thu năng lượng, thời gian truyền và chất lượng dịch vụ người dùng, từ đó đề xuất thuật toán phân bổ tài nguyên để tối đa hóa hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống. Xem xét thông tin trạng thái kênh không hoàn hảo, tài liệu [12] nghiên cứu vấn đề phân bổ tài nguyên mạnh mẽ để tối đa hóa tốc độ tổng và xem xét hiệu suất của mạng trên để bị ảnh hưởng bởi các trở ngại đường truyền, dẫn đến suy giảm hiệu suất. Bề mặt phản chiếu thông minh (IRS) đã nhận được sự chú ý rộng rãi như một công nghệ mới nổi với mức tiêu thụ điện năng thấp và hiệu suất năng lượng cao [13]. Cụ thể, IRS tích hợp một bộ phản xạ thụ động quy mô lớn có thể điều chỉnh độc lập độ lệch pha và biên độ của tín hiệu thu được, từ đó thay đổi hướng truyền của tín hiệu phản xạ. Đồng thời, IRS có thể được triển khai dễ dàng và linh hoạt trên các bề mặt tòa nhà, tường trong nhà, trần nhà, v.v., giúp loại bỏ các điểm mù vùng phủ WPCN và tăng khả năng kết nối mạng [14]. Để giải quyết vấn đề hiệu suất hệ thống WPCN dễ bị cản trở bởi các trở ngại, việc tích hợp IRS vào WPCN hiện là một giải pháp hiệu quả. Dựa trên WPCN được IRS hỗ trợ, tài liệu [15] sử dụng tối ưu hóa chung: tối ưu hóa thời gian truyền và ma trận tạo chùm thụ động IRS để tối đa hóa tốc độ tổng. Tài liệu [16] đã nghiên cứu vấn đề phân bổ tài nguyên tối đa hóa tổng trọng số cho các kịch bản cộng tác của người dùng. Đối với WPCN đa ăng-ten được IRS hỗ trợ, tài liệu [17] xem xét việc thu thập năng lượng của người dùng, thời gian truyền và các hạn chế về công suất truyền, đồng thời nghiên cứu vấn đề tối đa hóa hệ thống và thông lượng.

Tuy nhiên, các công trình trên không xem xét vấn đề tối ưu hóa hiệu suất năng lượng. Dựa trên điều này, tài liệu [18] đã nghiên cứu vấn đề tối đa hóa hiệu suất năng lượng của hệ thống bằng cách xem xét ràng buộc tốc độ tối thiểu, hạn chế công suất truyền tải và hạn chế dịch pha phản xạ đối với IRS hỗ trợ mạng truyền thông không dây đa người dùng. Trong [18] còn cung cấp hướng dẫn nghiên cứu vấn đề tối ưu hóa hiệu quả năng lượng của hệ thống IRS. Nhưng cơ chế phân bổ tài nguyên của nó không thể áp dụng trực tiếp

vào mạng WPCN, ngoài ra, công việc trên bỏ qua tác động của sự không chắc chắn về kênh.

Do đó, trong bài báo này được xem xét thêm các vấn đề về sự không chắc chắn của kênh nhằm đạt được hiệu suất năng lượng chính xác hơn và hiệu quả hơn, kết hợp với mở rộng mô hình khảo sát hệ thống truyền thông về năng lượng và thông nhằm giải quyết vấn đề giảm tiêu thụ năng lượng đồng thời cải thiện tốc độ truyền và độ tin cậy của hệ thống. Do đó, trong bài viết này đề xuất kiến trúc hệ thống WPCN đạt được hiệu quả thu năng lượng cao và thuật toán định dạng chùm tia mạnh mẽ, gần hơn với yêu cầu ứng dụng thực tế. Những đóng góp chính như sau: (i) Xem xét mức tiêu thụ năng lượng của hệ thống và dựa trên độ không đảm bảo của kênh giới hạn, một bài toán phân bổ tài nguyên phi tuyến kết hợp đa biến nhằm tối ưu hóa chùm năng lượng, dịch pha IRS, thời gian truyền và công suất phát cùng nhau được thiết lập. (ii) Để giải quyết vấn đề này, xem xét các trường hợp xấu nhất và sử dụng phương pháp Thủ tục-S được đề xuất để biến đổi các ràng buộc mạnh chứa các tham số nhiễu thành các ràng buộc xác định, trên cơ sở đó sử dụng lý thuyết quy hoạch phân số tổng quát và phương pháp thay thế biến; chuyển đổi bài toán không lồi thành các bài toán tối ưu lồi xác định. (iii) Kết quả mô phỏng cho thấy thuật toán trong bài báo có độ hội tụ tốt, hiệu quả sử dụng năng lượng và độ tin cậy cao.

2. MÔ HÌNH HỆ THỐNG



Hình 1. WPCN đa người dùng được IRS hỗ trợ.

Bài viết này xem xét WPCN truyền dẫn đường xuống được IRS hỗ trợ như trong Hình 1. Mạng này có thể cải thiện vấn đề hiệu quả thu năng lượng bị thấp khi có chướng ngại vật ngăn chặn. Mạng bao gồm một trạm phát năng lượng có M ăng-ten tới N đơn vị phản xạ của bộ IRS và sẽ chuyển tiếp phản xạ năng lượng tới thiết bị thu là K người dùng (K User: U_k). Mỗi người dùng có một ăng-ten duy nhất để thu năng lượng và phát thông tin tới trạm thu thông tin cũng có 1 ăng-ten. Chu kỳ hoạt động của toàn bộ hệ thống theo chế độ đa truy cập phân chia thời gian được thực hiện như sau: trạm năng lượng sẽ phát năng lượng không dây cho K người dùng thông qua IRS; K người dùng sử

dụng năng lượng thu được để có thể truyền dữ liệu không dây đến trạm thu thông tin. Người dùng và bộ đơn vị phản chiếu được định nghĩa lần lượt là $\forall k \in \mathcal{K} \triangleq \{1, 2, \dots, K\}, \forall n \in \mathcal{N} \triangleq \{1, 2, \dots, N\}$. Thời gian truyền trong một chu kỳ là T , thời gian truyền năng lượng là t_0 được xem là giai đoạn I; tiếp theo tất cả K người dùng truyền thông tin tới trạm thu thông tin được xem là giai đoạn II. Ví dụ: Người dùng thứ k có thời gian truyền thông tin là t_k . Kết quả thời gian truyền của một chu kỳ được xác định là $t_0 + \sum_{k=1}^K t_k \leq T$. Với $W \in \mathbb{C}^{M \times M}$ được định nghĩa là ma trận tạo chùm tia của trạm năng lượng và $W = \mathbb{E}[s_E s_E^H]$.

Trong đó:

$s_E \in \mathbb{C}^{M \times 1}$ là tín hiệu năng lượng;

p_k^{max} được định nghĩa là công suất truyền tối đa của trạm năng lượng với thỏa mãn điều kiện $\text{Tr}(W) \leq p_k^{max}$.

Định nghĩa $H \in \mathbb{C}^{N \times M}$ và $h_{r,k} \in \mathbb{C}^{N \times 1}$ là xác định số lượng kênh hệ thống từ trạm năng lượng đến IRS và IRS tới người dùng, tương ứng. Định nghĩa $\theta = \text{diag}(e^{j\theta_1}, e^{j\theta_2}, \dots, e^{j\theta_N})$ là ma trận dịch pha của IRS.

Trong đó $\theta_n \in [0, 2\pi]$ biểu thị sự dịch pha của đơn vị phản xạ thứ n . Khi đó năng lượng được thu thập bởi người dùng thứ k được xác định theo biểu thức (1).

$$E_k^{EH} = \eta t_0 \text{Tr} \{ W (h_{r,k}^H \theta H)^H (h_{r,k}^H \theta H) \} \quad (1)$$

Trong đó:

$0 \leq \eta \leq 1$: là hiệu suất chuyển đổi năng lượng [19].

Định nghĩa p_k là công suất truyền của người dùng k và g_k là hệ số kênh truyền từ người dùng k đến trạm thu thông tin. Tốc độ truyền của người dùng k là (2).

$$R_k = t_k \log_2 \left(1 + \frac{p_k g_k}{\delta^2} \right) \quad (2)$$

Trong đó:

δ^2 : là đại diện cho công suất nhiễu.

Kết quả, trong giai đoạn II tổng tốc độ truyền thông tin

của hệ thống là $R = \sum_{k=1}^K R_k$. Định nghĩa p_k^C là mức tiêu thụ điện năng của phần cứng thiết bị người dùng thứ k . Khi đó tổng năng lượng mà người dùng k sẽ phải dùng thỏa mãn theo (3).

$$p_k^C (t_0 + t_k) + p_k t_k \leq E_k^{EH} \quad (3)$$

Định nghĩa P_B^C và P_D^C là mức tiêu thụ điện năng của trạm năng lượng và trạm thu thông tin tương ứng, tổng năng lượng tiêu thụ của hệ thống có thể được biểu thị bởi biểu thức (4).

$$E^{\text{total}} = t_0 (P_B^C + N P_q^C) + \sum_{k=1}^K (t_0 + t_k) p_k^C + t_0 \text{Tr}(W) - \sum_{k=1}^K E_k^{EH} + \sum_{k=1}^K t_k p_k + \sum_{k=1}^K t_k P_D^C \quad (4)$$

Trong đó:

P_q^C là mức tiêu thụ điện năng của mỗi đơn vị phản xạ. Xem xét mô hình không chắc chắn kênh giới hạn [20] để xác định (5).

$$\begin{aligned}\mathfrak{R}_G &= \{\Delta G_k | G_k = \bar{G}_k + \Delta G_k, \|\Delta G_k\|_F \leq \omega_k\}, \\ \mathfrak{R}_g &= \{\Delta g_k | g_k = \bar{g}_k + \Delta g_k, |\Delta g_k| \leq \sigma_k\}\end{aligned}\quad (5)$$

Trong đó:

$G_k = \text{diag}(h_{r,k}^H)H$, $\bar{G}_k$ và $\bar{g}_k$ biểu thị biết ước lượng kênh tương ứng;

ΔG_k và Δg_k biểu diễn cho lỗi ước lượng kênh;

ω_k và σ_k đại diện cho giới hạn trên của tham số độ không chắc chắn. Định nghĩa $\mathbf{v} = [e^{j\theta_1}, e^{j\theta_2}, \dots, e^{j\theta_N}]^H$ và $h_{r,k}^H \Theta H = \mathbf{v}^H G_k$ thì biểu thức (1) được biến đổi thành (6).

$$E_k^{EH} = \eta t_0 \text{Tr}\{W(\mathbf{v}^H G_k)^H (\mathbf{v}^H G_k)\} \quad (6)$$

Dựa trên (3) đến (6), vấn đề phân bổ nguồn lực để tối đa hóa hiệu quả năng lượng mạnh mẽ có thể được mô tả như (7).

$$\begin{aligned}\max_{w, t_0, t_k, p_k, v} \quad & \frac{R}{E^{\text{total}}} \\ \text{s.t. } \quad & \text{C1} : p_k t_k + p_k^C(t_0 + t_k) \leq E_k^{EH} \\ & \text{C2} : t_k \log_2 \left(1 + \frac{p_k g_k}{\delta^2}\right) \geq R_k^{\min} \\ & \text{C3} : t_0 + \sum_{k=1}^K t_k \leq T, t_0 \geq 0, t_k \geq 0 \\ & \text{C4} : \text{Tr}(W) \leq P^{\max} \\ & \text{C5} : |v_n| = 1 \\ & \text{C6} : \Delta G_k \in \mathfrak{R}_G, \Delta g_k \in \mathfrak{R}_g\end{aligned}\quad (7)$$

$$E^{\text{total}} = t_0(P_B^C + NP_e^C) + \sum_{k=1}^K (t_0 + t_k) p_k^C + t_0 \text{Tr}(W) - \sum_{k=1}^K \chi_k + \sum_{k=1}^K t_k p_k + \sum_{k=1}^K t_k P_D^C \quad (9)$$

$$p_k t_k + p_k^C(t_0 + t_k) \leq \chi_k \quad (10)$$

$$\min_{\|\Delta G_k\|_F \leq \omega_k^2} \text{Tr}\{\Delta G_k \eta t_0 W \Delta G_k^H v v^H\} + 2\text{Re}\{\text{Tr}(\bar{G}_k \eta t_0 W \Delta G_k^H v v^H)\} + \text{Tr}(\bar{G}_k \eta t_0 W \bar{G}_k^H v v^H) \geq \chi_k \quad (11)$$

$$a \begin{bmatrix} A_1 & b_1 \\ b_1^H & c_1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} A_2 & b_2 \\ b_2^H & c_2 \end{bmatrix} \succeq 0 \quad (12)$$

$$\begin{bmatrix} a_k I + (v v^H \otimes \eta t_0 W) & \text{vec}(\bar{G}_k)^H (v v^H \otimes \eta t_0 W) \\ (v v^H \otimes \eta t_0 W)^H \text{vec}(\bar{G}_k) & \text{vec}(\bar{G}_k)^H (v v^H \otimes \eta t_0 W) \text{vec}(\bar{G}_k) - \chi_k - a_k \omega_k^2 \end{bmatrix} \succeq 0 \quad (13)$$

$$\min_{\Delta g_k} t_k \log_2 \left(1 + \frac{p_k g_k}{\delta^2}\right) = \min_{|\Delta g_k| \leq \sigma_k} t_k \log_2 \left(1 + \frac{p_k (\bar{g}_k + \Delta g_k)}{\delta^2}\right) \geq t_k \log_2 \left(1 + \frac{p_k (\bar{g}_k - \sigma_k)}{\delta^2}\right) \quad (14)$$

$$t_k \log_2 \left(1 + \frac{p_k \bar{g}_k}{\delta^2}\right) \geq R_k^{\min} \quad (15)$$

Trong đó:

C1 và C2 là những ràng buộc về thu hoạch năng lượng và chất lượng dịch vụ của người dùng;

C3 tổng giới hạn thời gian truyền, ràng buộc công suất phát C4 của trạm năng lượng;

C5 điều kiện dịch pha phản xạ.

Tương tự như công việc trong [17], [18], việc đặt biên độ của mỗi đơn vị phản xạ được đặt thành 1 là để tối đa hóa hiệu quả phản xạ và thay đổi hướng truyền tín hiệu thông qua tối ưu hóa dịch pha. C6 là tập hợp các tham số không chắc chắn. Do hàm mục tiêu và các điều kiện ràng buộc về độ không đảm bảo, bài toán (7) là bài toán quy hoạch phân số ghép nhiều biến với tham số kênh không chắc chắn, rất khó giải trực tiếp. Tiếp theo, chúng ta cần tiếp cận bài toán (7) theo các hướng giải quyết dưới đây.

3. VẤN ĐỀ TỐI ƯU HÓA

3.1. Chuyển đổi vấn đề không chắc chắn

Để xử lý E^{total} sự không chắc chắn của kênh, biến χ_k được đưa ra thỏa mãn điều kiện (8). Theo đó, biểu thức (4) sẽ được biến đổi thành (9). Dựa vào $p_k t_k + p_k^C(t_0 + t_k) \leq \min_{\Delta G_k} E_k^{EH}$ và $\chi_k \geq p_k t_k + p_k^C(t_0 + t_k)$, C1 có thể được chuyển đổi theo biểu thức (10). Và để xử lý tính không chắc chắn của $\chi_k \leq \min_{\Delta G_k} E_k^{EH}$, tức là thỏa mãn điều kiện (11).

$$\chi_k \leq \min_{\Delta G_k} E_k^{EH} \quad (8)$$

$$\begin{aligned}
 & \max_{W, t_0, t_k, p_k, v, \chi_k, a_k} \frac{\sum_{k=1}^K t_k \log_2 \left(1 + \frac{p_k \tilde{g}_k}{\delta^2} \right)}{t_0 (P_B^C + NP_C^C) + \sum_{k=1}^K (t_0 + t_k) p_k^C + t_0 \text{Tr}(W) - \sum_{k=1}^K \chi_k + \sum_{k=1}^K t_k p_k + \sum_{k=1}^K t_k P_D^C} \\
 & \text{s.t. } \bar{C}1: p_k t_k + p_k^C (t_0 + t_k) \leq \chi_k, \\
 & \quad \bar{C}2: t_k \log_2 \left(1 + \frac{p_k \tilde{g}_k}{\delta^2} \right) \geq R_k^{\min} \\
 & \quad C3: t_0 + \sum_{k=1}^K t_k \leq T, t_0 \geq 0, t_k \geq 0, \\
 & \quad C4: \text{Tr}(W) \leq P^{\max} \\
 & \quad C5: |v_n| = 1 \\
 & \quad C7: \begin{bmatrix} a_k I + (vv^H \otimes \eta t_0 W) & \text{vec}(\bar{G}_k)^H (vv^H \otimes \eta t_0 W) \\ (vv^H \otimes \eta t_0 W)^H \text{vec}(\bar{G}_k) & \text{vec}^H(\bar{G}_k) (vv^H \otimes \eta t_0 W) \text{vec}(\bar{G}_k) - \chi_k - a_k \omega_k^2 \end{bmatrix} \succcurlyeq 0
 \end{aligned} \tag{16}$$

Để đối phó với sự không chắc chắn kênh trong phương trình (11), phương pháp thủ tục-S trong bổ đề 1 được sử dụng để chuyển đổi nó thành một biểu thức xác định. Bổ đề 1 thủ tục-S trong [20] có định nghĩa là $f_i(x) = x^H A_i x + 2\text{Re}\{b_i^H x\} + c_i, i \in \{1, 2\}$, trong đó $x \in \mathbb{C}^{N \times 1}, A_i \in \mathbb{C}^{N \times N}, b_i \in \mathbb{C}^{N \times 1}, c_i \in \mathbb{R}$, có điều kiện biểu thức $f_1(x) \leq 0 \Rightarrow f_2(x) \leq 0$ đúng khi và chỉ khi biến phụ $\alpha \geq 0$, có bất đẳng thức của phương trình như (12). Dựa vào bổ đề 1 được sử dụng vào mô hình hệ thống có các hệ số:

$$\begin{aligned}
 A_1 &= I, b_1 = 0, c_1 = -\omega_k^2, A_2 = -(vv^H \otimes \eta t_0 W), \\
 b_2 &= -\text{vec}(\bar{G}_k)^H (vv^H \otimes \eta t_0 W), \\
 c_2 &= -\text{vec}(\bar{G}_k)^H (vv^H \otimes \eta t_0 W) \text{vec}(\bar{G}_k) + \chi_k
 \end{aligned}$$

Biểu thức (12) có thể được chuyển thành dạng ràng buộc xác định bán dương với $\alpha_k \geq 0$, được thể hiện ở biểu thức (13).

Dựa vào phương pháp trong [17] với tiêu chí lựa chọn các trường hợp xấu nhất, biểu thức tốc độ có thể trở thành như (14). Do đó, C2 có thể được chuyển đổi theo biểu thức (15). Trong đó, $\tilde{g}_k = \bar{g}_k - \sigma_k$. Dựa vào

(13) và (15) vấn đề tối ưu (7) có thể được biến đổi thành vấn đề mới và được thể hiện bởi (16).

3.2. Chuyển đổi bài toán tối ưu lồi

Sử dụng cơ sở lý thuyết trong [10], lập chương trình phân số tổng quát, tức là hàm mục tiêu trong biểu thức (16) có thể được chuyển thành biểu thức (17). Trong số đó, $q > 0$ là hiệu quả sử dụng năng lượng của hệ thống. Để tách riêng W và v , dựa trên phương pháp tối ưu hóa xen kẽ trong [17], bài toán tối ưu hóa được suy ra đối với $\{W, t_0, t_k, p_k\}$ và được thể hiện như (18). Với định nghĩa $\bar{W} = t_0 W$ và $\bar{p}_k = t_k p_k$, thì bài toán của biểu thức (18) có thể tương đương vấn đề tối ưu theo (19).

Biểu thức (19) là bài toán tối ưu lồi và có thể giải trực tiếp bằng hộp công cụ CVX [16]. Tương tự như vậy, bài toán tối ưu phụ đối với v là biểu thức (20).

Biểu thức (20) vẫn là bài toán tối ưu không lồi và không thể giải trực tiếp được. Để xác định $V = vv^H$ và thỏa mãn $\text{Rank}(V) = 1$, chúng ta sử dụng phương pháp hồi phục lồi nửa xác định dương như trong [16], khi đó bài toán (20) có thể chuyển đổi thành (21).

$$\begin{aligned}
 & \max_{W, t_0, t_k, p_k, v, \chi_k, a_k} \sum_{k=1}^K t_k \log_2 \left(1 + \frac{p_k \tilde{g}_k}{\delta^2} \right) - q \left(\begin{aligned} & t_0 (P_B^C + NP_C^C) + \sum_{k=1}^K (t_0 + t_k) p_k^C + t_0 \text{Tr}(W) \\ & - \sum_{k=1}^K \chi_k + \sum_{k=1}^K t_k p_k + \sum_{k=1}^K t_k P_D^C \end{aligned} \right) \\
 & \max_{W, t_0, t_k, p_k, v, \chi_k, a_k} \sum_{k=1}^K t_k \log_2 \left(1 + \frac{p_k \tilde{g}_k}{\delta^2} \right) - q \left(\begin{aligned} & t_0 (P_B^C + NP_C^C) + \sum_{k=1}^K (t_0 + t_k) p_k^C + t_0 \text{Tr}(W) \\ & - \sum_{k=1}^K \chi_k + \sum_{k=1}^K t_k p_k + \sum_{k=1}^K t_k P_D^C \end{aligned} \right)
 \end{aligned} \tag{17}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{s.t. } \bar{C}1: p_k t_k + p_k^C (t_0 + t_k) \leq \chi_k, \\
 & \quad \bar{C}2: t_k \log_2 \left(1 + \frac{p_k \tilde{g}_k}{\delta^2} \right) \geq R_k^{\min} \\
 & \quad C3: t_0 + \sum_{k=1}^K t_k \leq T, t_0 \geq 0, t_k \geq 0, \\
 & \quad C4: \text{Tr}(W) \leq P^{\max} \\
 & \quad C7: \begin{bmatrix} a_k I + (vv^H \otimes \eta t_0 W) & \text{vec}(\bar{G}_k)^H (vv^H \otimes \eta t_0 W) \\ (vv^H \otimes \eta t_0 W)^H \text{vec}(\bar{G}_k) & \text{vec}^H(\bar{G}_k) (vv^H \otimes \eta t_0 W) \text{vec}(\bar{G}_k) - \chi_k - a_k \omega_k^2 \end{bmatrix} \succcurlyeq 0
 \end{aligned} \tag{18}$$

$$\begin{aligned} \max_{\bar{p}_k, \chi_k, a_k} \sum_{k=1}^K t_k \log_2 \left(1 + \frac{\bar{p}_k \tilde{g}_k}{t_k \delta^2} \right) - q \left(t_0 (P_B^C + N P_e^C) + \sum_{k=1}^K (t_0 + t_k) p_k^C + \text{Tr}(\bar{W}) \right. \\ \left. - \sum_{k=1}^K \chi_k + \sum_{k=1}^K \bar{p}_k + \sum_{k=1}^K t_k P_D^C \right) \\ \text{s. t. } \tilde{C}1: \bar{p}_k + p_k^C(t_0 + t_k) \leq \chi_k \\ \tilde{C}2: t_k \log_2 \left(1 + \frac{\bar{p}_k \tilde{g}_k}{t_k \delta^2} \right) \geq R_k^{\min} \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} C3: t_0 + \sum_{k=1}^K t_k \leq T, t_0 \geq 0, t_k \geq 0 \\ \tilde{C}4: \text{Tr}(\bar{W}) \leq t_0 P^{\max} \\ \tilde{C}7: \begin{bmatrix} a_k I + (v v^H \otimes \eta \bar{W}) & \text{vec}(\bar{G}_k)^H (v v^H \otimes \eta \bar{W}) \\ (v v^H \otimes \eta \bar{W})^H \text{vec}(\bar{G}_k) & \text{vec}(\bar{G}_k)^H (v v^H \otimes \eta \bar{W}) \text{vec}(\bar{G}_k) - \chi_k - a_k \omega_k^2 \end{bmatrix} \succeq 0 \\ \max_{v, \chi_k, a_k} \sum_{k=1}^K \chi_k \\ \text{s. t. } \tilde{C}1: p_k t_k + p_k^C(t_0 + t_k) \leq \chi_k \\ C5: |v_n| = 1 \\ C7: \begin{bmatrix} a_k I + (v v^H \otimes \eta t_0 W) & \text{vec}^H(\bar{G}_k) (v v^H \otimes \eta t_0 W) \\ (v v^H \otimes \eta t_0 W)^H \text{vec}(\bar{G}_k) & \text{vec}^H(\bar{G}_k) (v v^H \otimes \eta t_0 W) \text{vec}(\bar{G}_k) - \chi_k - a_k \omega_k^2 \end{bmatrix} \succeq 0 \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \max_{V, \chi_k, a_k} \sum_{k=1}^K \chi_k \\ \text{s. t. } C1: p_k t_k + p_k^C(t_0 + t_k) \leq \chi_k, \\ \bar{C}5: V_{n,n} = 1, V \succeq 0 \\ \bar{C}7: \begin{bmatrix} a_k I + (V \otimes \eta t_0 W) & \text{vec}(\bar{G}_k)^H (V \otimes \eta t_0 W) \\ (V \otimes \eta t_0 W)^H \text{vec}(\bar{G}_k) & \text{vec}(\bar{G}_k)^H (V \otimes \eta t_0 W) \text{vec}(\bar{G}_k) - \chi_k - a_k \omega_k^2 \end{bmatrix} \succeq 0 \end{aligned} \quad (21)$$

Biểu thức (21) là bài toán quy hoạch bán xác định dương lồi theo tiêu chuẩn trong [16], có thể giải quyết bằng công cụ CVX. Do các ràng buộc của bài toán này được nói lỏng, nên ta có nghiệm tối ưu thu được của bài toán (21) chỉ là cận trên của bài toán (20). Vì vậy, phương pháp ngẫu nhiên Gaussian được sử dụng để đạt được nghiệm duy nhất như trong [17]. Giả sử nghiệm thu được thông qua biểu thức (21) là V^* , nếu $\text{Rank}(V^*) = 1$; sau đó sử dụng phân tích giá trị riêng có thể thu được v^* . Nếu $\text{Rank}(V^*) \neq 1$, thì thu được V^* bằng cách tiến hành phân tích giá trị

riêng thành $V^* = U \Lambda U^H$, trong đó $U \in \mathbb{C}^{N \times N}$ và $\Lambda \in \mathbb{C}^{N \times N}$ lần lượt là ma trận đơn nhất và ma trận đường chéo. Khi đó giải pháp tối ưu có thể được thực hiện dưới dạng $\bar{v} = U \Lambda^{1/2} r$, trong đó $r \in \mathbb{C}^{N \times N}$ là Biến ngẫu nhiên Gaussian đối xứng tròn của $\mathcal{CN}(0, I)$. Do đó, giải pháp tối ưu của biểu thức (20) chính là tìm tối ưu hàm mục tiêu của bài toán trong tất cả các biến ngẫu nhiên. Vì vậy, thuật toán tối ưu được thiết lập nhằm tăng cường hiệu quả năng lượng một cách mạnh mẽ dựa trên phép lặp được thể hiện trong Bảng 1.

Bảng 1. Thuật toán tối đa hóa hiệu quả năng lượng mạnh mẽ dựa trên sự lặp lại

Khởi tạo tham số hệ thống: $M, N, K, T, P_B^C, P_q^C, p_k^C, P_D^C, \bar{G}_k, \bar{g}_k, \omega_k, \sigma_k, R_k^{\min}, \eta, P^{\max}, e^{(0)}, v^{(0)}$; Đặt độ chính xác hội tụ $\varepsilon \geq 0$, số lần lặp tối đa $L_{\max}$, khởi tạo $l \geq 0$; (1) Trong khi $ e^{(l)} - e^{(l-1)} \geq \varepsilon$ hoặc $l \leq L_{\max}$ thì thực hiện (2) Đặt số lần lặp lại $l = l + 1$;
--

(3) Cố định $v^{(l-1)}$, theo công thức (19) tính toán $\{W^{(l)}, t_0^{(l)}, t_k^{(l)}, p_k^{(l)}\}$;

(4) Cố định $\{W^{(l)}, t_0^{(l)}, t_k^{(l)}, p_k^{(l)}\}$, theo công thức (21) tính $V^{(l)}$;

(5) Phân tách giá trị riêng $V^{(l)} = U\Lambda U$, $v^{(l)} = U\Lambda^{(1/2)}r$;

(6) Cập nhật hiệu quả năng lượng:

$$e^{(l)} = \frac{\sum_{k=1}^K t_k \log_2 \left(1 + \frac{p_k \tilde{g}_k}{\delta^2} \right)}{t_0 (P_B^C + NP_C^C) + \sum_{k=1}^K (t_0 + t_k) p_k^C + t_0 \text{Tr}(W) - \sum_{k=1}^K \chi_k + \sum_{k=1}^K t_k p_k + \sum_{k=1}^K t_k P_D^C};$$

(7) Kết thúc vòng lặp

4. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

Trong phần này, chúng tôi cung cấp các kết quả bằng số để đánh giá hiệu suất cung cấp năng lượng của WPCN; cũng như mức độ tiêu thụ năng lượng và khả năng phát thông tin của các thiết bị có sự hỗ trợ giúp của IRS; và thông qua kết quả mô phỏng để kiểm chứng tính hiệu quả của thuật toán đề xuất trong bài viết này. Tất cả mô phỏng được xem xét trong môi trường truyền dẫn đô thị có nhiều tòa nhà, công trình xây dựng,... với điều kiện môi trường truyền tín hiệu như vậy, hệ thống được xem như làm việc có pha đỉnh quy mô nhỏ. Do đó, chúng tôi giả định rằng tất cả các kênh đều hoạt động theo pha đỉnh Rayleigh và suy hao đường dẫn phụ thuộc khoảng cách được mô hình hóa như sau: $\Gamma(d) = \Gamma_0(d/d_0)^{-\alpha}$, trong đó, $\Gamma_0 = -22$ dBm thể hiện suy hao đường dẫn ở khoảng cách tham chiếu $d_0 = 1$ m; d cho biết khoảng cách giữa máy phát và máy thu thông tin, α là hệ số tổn thất đường truyền với pha đỉnh quy mô nhỏ tuân theo pha đỉnh Rayleigh [17]. Với khoảng cách từ trạm phát năng lượng tới IRS là 4.5 m, thì hệ số tổn thất đường truyền là 2. Người dùng được phân bổ ngẫu nhiên thành một vòng tròn cách IRS với bán kính 1.5m; hệ số tổn thất đường truyền từ IRS tới người dùng là 2. Vị trí tiếp nhận thông tin cách người dùng 28 m, hệ số tổn thất đường truyền từ người dùng đến trạm thu thông tin là 2,8. Các thông số mô phỏng khác là:

$$M = 4, N = 20, K = 4, T = 1 \text{ s}, \eta = 0.8, \omega_k = 0.2,$$

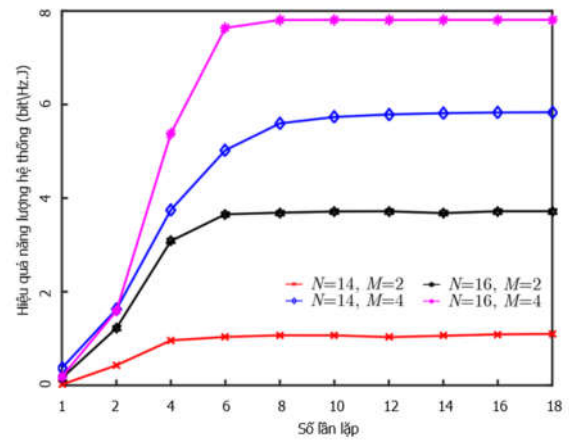
$$\sigma_k = 0.2, P^{\max} = 40 \text{ dBm}, P_B^C = 10 \text{ dBm}, P_e^C = 1 \text{ dBm},$$

$$P_D^C = 10 \text{ dBm}, p_k^C = 5 \text{ dBm}, R_k^{\min} = 1.5 \frac{\text{bit}}{\text{Hz}},$$

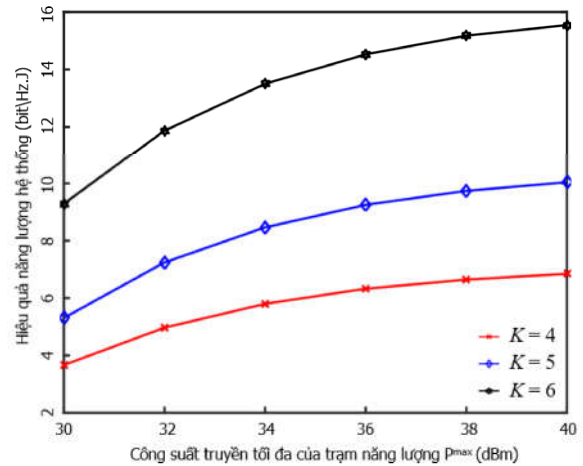
$$\delta^2 = -80 \text{ dBm}, L_{\max} = 10^5, \varepsilon = 10^{-5}.$$

Hệ thống được khảo sát với các tham số được lựa chọn như giả sử ở trên, kết quả trong Hình 2 cho thấy sơ đồ hiển thị sự hội tụ hiệu suất năng lượng của hệ thống được đưa ra. Từ Hình 2, thuật toán được đề xuất đạt đến sự hội tụ sau nhiều lần lặp, cho thấy thuật toán được đề xuất có sự hội tụ tốt. Với sự gia tăng số lượng ăng-ten M và số lượng phần tử phản xạ N , hiệu quả năng lượng của hệ thống tăng lên. Bởi vì việc tăng số lượng ăng-ten và số lượng đơn vị phản xạ có thể nâng cao hiệu quả truyền năng lượng, nhiều tín hiệu

năng lượng hơn có thể được phản xạ cho người dùng để thu thập sử dụng. Trong đó, tổn thất truyền tải năng lượng trong giai đoạn đầu giảm. Mặt khác, khả năng công suất truyền thông tin ở giai đoạn II cũng được tăng lên.



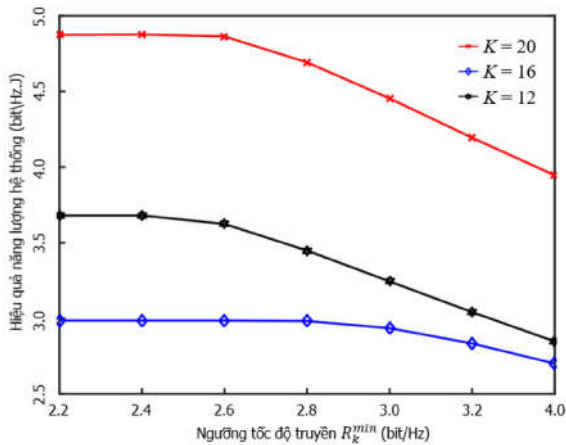
Hình 2. Hiệu suất năng lượng của hệ thống.



Hình 3. Quan hệ giữa hiệu quả năng lượng của hệ thống và công suất truyền tối đa của trạm năng lượng với số người dùng khác nhau.

Tiếp theo, khảo sát tính hiệu quả năng lượng của hệ thống dựa vào công suất mức ngưỡng của trạm phát năng lượng. Cụ thể, trong Hình 3 thể hiện mối quan hệ giữa hiệu quả năng lượng của hệ thống và $P^{\max}$. Từ Hình 3, chúng ta có thể thấy hiệu quả năng lượng của hệ thống tăng lên khi $P^{\max}$ tăng theo mức ngưỡng tăng. Cũng vậy, khi số lượng người dùng tăng lên, hiệu quả

năng lượng của hệ thống tăng lên. Điều này làm tăng hiệu quả năng lượng của hệ thống bằng cách tăng lượng năng lượng thu thập được bởi người dùng. Do đó, cung cấp các điều kiện thuận lợi cho giai đoạn thứ hai của việc tăng tốc độ thông tin. Ngoài ra, việc tăng số lượng người dùng có thể làm tăng tổng lượng năng lượng thu được trong giai đoạn 1 và tăng tổng công suất truyền dữ liệu của hệ thống trong giai đoạn 2, từ đó dẫn đến tăng hiệu quả năng lượng của toàn hệ thống.



Hình 4. Quan hệ giữa hiệu quả năng lượng của hệ thống và ngưỡng thông lượng của số người dùng khác nhau được tăng lên nhiều.

Trong Hình 4, chúng ta khảo sát hiệu quả năng lượng dựa vào mức ngưỡng phát tốc độ thông tin $R_k^{\min}$ thực hiện ở giai đoạn hai. Kết quả cho thấy mối quan hệ giữa hiệu suất năng lượng của hệ thống với số lượng người dùng khác nhau với mức ngưỡng $R_k^{\min}$ khác nhau, sẽ có hiệu quả khác nhau. Như có thể thấy từ Hình 4, khi $R_k^{\min}$ tăng dần thì trong cả ba trường hợp lựa chọn số lượng người dùng nhiều hơn đều có sự suy giảm dần. Cụ thể, thì hiệu suất năng lượng của các hệ thống lúc ban đầu ở mức ngưỡng tốc độ nhỏ nên được duy trì không đổi; nhưng sau đó suy giảm dần khi yêu cầu mức ngưỡng tăng lên, đặc biệt trường hợp số lượng nhóm người dùng lớn nhất thì mức độ suy giảm nhanh hơn. Bởi vì, khi $R_k^{\min}$ nhỏ yêu cầu công suất phát tín hiệu của mỗi người dùng không lớn, do đó đòi hỏi công suất phát dữ liệu thông tin và tiêu thụ điện năng của mạch thiết bị không nhiều. Nhưng khi $R_k^{\min}$ tiếp tục tăng, công suất truyền cần phải được tăng lên để đáp ứng các hạn chế đường truyền, do đó làm tăng mức tiêu thụ năng lượng của hệ thống và giảm hiệu quả năng lượng. Tức là, khi mức $R_k^{\min}$ được nâng lên dần, đồng nghĩa với đòi hỏi công suất phát của mỗi người dùng cũng tăng cao và nhanh hơn so với khi $R_k^{\min}$ ở mức ngưỡng thấp. Vì vậy, nó làm cho hiệu suất năng lượng bị suy giảm, điều này được thấy rõ trong Hình 4. Ngoài ra, khi số lượng người dùng tăng thì tốc độ suy giảm hiệu suất năng của hệ thống cũng nhanh, như thể hiện rõ trong Hình 4 với trường hợp số lượng người sử dụng $K = 20$ mức suy giảm

mạnh hơn nhiều so với $K = 12$. Kết quả cho thấy cần có chiến lược phân bổ tài nguyên hợp lý khi xem xét cân bằng giữa lựa chọn: Số lượng người dùng, tốc độ truyền thông tin để đạt được hiệu quả năng lượng của hệ thống tốt nhất.

5. KẾT LUẬN

Bài viết này nghiên cứu vấn đề phân bổ nguồn lực hiệu quả về mặt năng lượng mạnh mẽ nhờ vào IRS hỗ trợ cho mạng thông tin và truyền năng lượng không dây. Xem xét các hạn chế của việc thu hoạch năng lượng và chất lượng dịch vụ người dùng, vấn đề phân bổ nguồn lực tối đa hóa hiệu quả năng lượng mạnh mẽ, kết hợp nhiều biến số đã được thiết lập. Xem xét các trường hợp xấu nhất và phương pháp Thủ tục-S được sử dụng để chuyển bài toán ban đầu thành vấn đề xác định. Đồng thời, sử dụng lý thuyết quy hoạch phân số tổng quát, tối ưu hóa xen kẽ và các phương pháp thay thế biến được sử dụng: Chuyển vấn đề cần giải quyết thành bài toán tối ưu hóa lồi. Kết quả mô phỏng xác minh rằng thuật toán được đề xuất có độ chắc chắn và hiệu quả khi xem xét tối ưu hóa về mặt hỗ trợ năng lượng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. <https://www.statista.com/statistics/1101442/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>.
- [2]. R. Zhang, C. K. Ho (2013), *MIMO broadcasting for simultaneous wireless information and power transfer*, IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 12, no. 5, pp. 1989-2001.
- [3]. Y. Zeng, B. Clerckx and R. Zhang (2017), *Communications and signals design for wireless power transmission*, IEEE Trans. Commun., vol. 65, no. 5, pp. 2264-2290.
- [4]. B. Clerckx, R. Zhang, R. Schober, D. W. K. Ng, D. I. Kim and H. V. Poor (2019), *Fundamentals of wireless information and power transfer: From RF energy harvester models to signal and system designs*, IEEE J. Sel. Areas Commun., vol. 37, no. 1, pp. 4-33.
- [5]. B. Clerckx, K. Huang, L. R. Varshney, S. Ulukus, and M. S. Alouini (2021), *Wireless power transfer for future networks: Signal processing, machine learning, computing, and sensing*, arXiv preprint arXiv:2101.04810.
- [6]. Z. Li, J. Zhang, J. Zhu, S. Jin and L. Dai (2023), *Enhancing Energy Efficiency for Reconfigurable Intelligent Surfaces with Practical Power Models*, arXiv preprint arXiv:2310.15901.

- [7]. H. Song, H. Wen, J. Tang, P. H. Ho and R. Zhao (2022), *Secrecy Energy Efficiency Maximization for Distributed Intelligent-Reflecting-Surface-Assisted MISO Secure Communications*, IEEE Internet of Things Journal, 10(5), 4462-4474.
- [8]. X. Lifeng, X. Jie and Z. Rui (2019), *Throughput maximization for UAV-enabled wireless powered communication networks*, IEEE Internet of Things Journal, 2019, 6(2), 1690-1703.
- [9]. D. Xiaofei, X. Ke, F. Pingyi, et al (2017), *Optimal resource allocation in wireless powered communication networks with user cooperation*, IEEE Transactions on Wireless Communications, 16(12), 7936-7949.
- [10]. C. Zheng, Z. Fuhui, Z. Zhengyu, et al (2017), *Energy beamforming design and user cooperation for wireless powered communication networks*, IEEE Wireless Communications Letters, 6(6), 750-753.
- [11]. W. Qingqing, T. Meixia, et al (2016), *Energy-efficient resource allocation for wireless powered communication networks*, IEEE Transactions on Wireless Communications, 15(3), 2312-2327.
- [12]. Boshkoska, Zlatanov, et al (2017), *Robust resource allocation for MIMO wireless powered communication networks based on a non-linear EH model*, IEEE Transactions on Communications, 65(5), 1984-1999.
- [13]. W. Qingqing and R. Zhang (2020), *Towards smart and reconfigurable environment: Intelligent reflecting surface aided wireless network*, IEEE Communications Magazine, 58(1), 106-112.
- [14]. G. Shimin, L. Xiao, et al (2020), *Toward smart wireless communications via intelligent reflecting surfaces: A contemporary survey*, IEEE Communications Surveys and Tutorials, 22(4), 2283-2314.
- [15]. W. Qingqing, Z. Xiaobo, and R. Schober (2021), *IRS-assisted wireless powered NOMA: Do we really need different phase shifts in DL and UL*, IEEE Wireless Communications Letters, 10(7), 1493-1497.
- [16]. Y. Zheng, S. Bi, Y. Zhang, et al (2020), *Intelligent reflecting surface enhanced user cooperation in wireless powered communication networks*, IEEE Wireless Communications Letters, 9(6), 901-905.
- [17]. Y. Zheng, S. Bi, A. J. Zhang, et al (2021), *Joint beamforming and power control for throughput maximization in IRS-assisted MISO WPCNs*, IEEE Internet of Things Journal, 8(10), 8399-8410.
- [18]. C. Huang, Zapponea, C. Alexandropoulos, et al (2019), *Reconfigurable intelligent surfaces for energy efficiency in wireless communication*, IEEE Transactions on Wireless Communications, 18(8), 4157-4170.
- [19]. Y. Xu, G. Li, Y. Yang, et al (2019), *Robust resource allocation and power splitting in SWIPT enabled heterogeneous networks: A robust minimax approach*, IEEE Internet of Things Journal, 6(6), 10799-10811.
- [20]. Y. Xu, H. Xie, C. Liang, et al (2021), *Robust secure energy efficiency optimization in SWIPT-aided heterogeneous networks with a non-linear energy harvesting model*, IEEE Internet of Things Journal, 19(8), 14908-14919.

AUTHORS INFORMATION

Nguyen Do Dung^{1*}, Dao Minh Hung¹,
Nguyen Van Hao¹, Nguyen Trong Cac²

*Corresponding Author: nguyendodung@qnu.edu.vn

¹Quy Nhon University.

²Sao Do University.

THỂ LỆ GỬI BÀI

TẠP CHÍ NGHIÊN CỨU KHOA HỌC, TRƯỜNG ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ (P. ISSN 1859-4190, E. ISSN 2815-553X), thường xuyên công bố kết quả, công trình nghiên cứu khoa học và công nghệ của các nhà khoa học, cán bộ, giảng viên, nghiên cứu sinh, học viên cao học, sinh viên ở trong và ngoài nước.

1. Tạp chí xuất bản 01 số/quý bằng hai ngôn ngữ tiếng Việt và tiếng Anh. Tạp chí nhận đăng các bài báo khoa học thuộc các lĩnh vực: Điện - Điện tử - Tự động hóa; Cơ khí - Động lực; Kinh tế; Triết học - Xã hội học - Chính trị học; Các lĩnh vực khác gồm: Công nghệ thông tin; Hóa học - Công nghệ thực phẩm; Ngôn ngữ học; Toán học; Vật lý; Văn hóa - Nghệ thuật - Thể dục thể thao...
2. Bài nhận đăng là những công trình nghiên cứu khoa học chưa công bố trong bất kỳ ấn phẩm khoa học nào.
3. Tòa soạn chỉ nhận bài báo gửi online trên website <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>. Bài báo gửi về tòa soạn dưới dạng file điện tử (*.doc *.docx và *.pdf); cuối bài báo, tác giả ghi rõ thông tin địa chỉ liên hệ, số điện thoại, email và cập nhật thông tin trên website. Bài báo phải được trình bày đúng định dạng, rõ ràng; Trường hợp bài báo phải chỉnh sửa theo thể lệ hoặc theo yêu cầu của Phản biện thì tác giả sẽ cập nhật trên website. Người phản biện sẽ do tòa soạn mời. Tòa soạn không gửi lại bài nếu không được đăng.
4. Các công trình thuộc đề tài nghiên cứu có Cơ quan quản lý cần kèm theo giấy phép cho công bố của cơ quan (Tên đề tài, mã số, tên chủ nhiệm đề tài, cấp quản lý,...).
5. Tên bài báo trình bày bằng hai ngôn ngữ (tiếng Việt và tiếng Anh), font Arial, cỡ chữ 14, in đậm, căn giữa.
6. Tên tác giả (không ghi học hàm, học vị), font Arial, cỡ chữ 10, in đậm, căn lề phải; cơ quan công tác của các tác giả, font Arial, cỡ chữ 9, in nghiêng, căn lề phải.
7. Chữ "Tóm tắt" in đậm, font Arial, cỡ chữ 10; Nội dung tóm tắt của bài báo không quá 10 dòng, trình bày bằng hai ngôn ngữ (tiếng Việt và tiếng Anh), font Arial, cỡ chữ 10, in thường.
8. Chữ "Từ khóa" in đậm, nghiêng, font Arial, cỡ chữ 10; Có từ 03÷05 từ khóa, font Arial, cỡ chữ 10, in nghiêng, ngăn cách nhau bởi dấu chấm phẩy, cuối cùng là dấu chấm.
9. Nội dung bài báo viết bằng tiếng Việt hoặc tiếng Anh; Nếu là bài báo viết bằng tiếng Việt: Tiêu đề tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Tóm tắt tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Từ khóa tiếng Việt trước, tiếng Anh sau; Nếu là bài báo viết bằng tiếng Anh: Tiêu đề tiếng Anh trước, tiếng Việt sau; Tóm tắt tiếng Anh trước, tiếng Việt sau; Từ khóa tiếng Anh trước, tiếng Việt sau.
10. Bài báo được đánh máy trên khổ giấy A4 (21 × 29,7cm) có độ dài không quá 8 trang, font Arial, cỡ chữ 10, giãn dòng At least 12pt, Before 3pt, After 3pt; căn lề trên 2.5cm, dưới 2.5cm, trái 3cm, phải 2cm; hình vẽ phải rõ ràng, đủ nét và được định dạng dưới dạng file ảnh (*.jpg); Phương trình, công thức phải soạn thảo bằng Mathtype hoặc Equation; Phần nội dung bài báo được chia thành 02 cột, khoảng cách cột là 1cm; Trong trường hợp hình vẽ, hình ảnh có kích thước lớn, bảng biểu có độ rộng lớn hoặc công thức, phương trình dài thì cho phép trình bày dưới dạng 01 cột.
11. Tài liệu tham khảo được sắp xếp theo thứ tự tài liệu được trích dẫn trong bài báo.
 - Nếu là sách/luận án: Tên tác giả (năm), Tên sách/luận án/luận văn, Nhà xuất bản/Trường/Viện, lần xuất bản/tái bản.
 - Nếu là bài báo/báo cáo khoa học: Tên tác giả (năm), Tên bài báo/báo cáo, Tạp chí/Hội nghị/Hội thảo, Tập/Kỷ yếu, số, trang.
 - Nếu là trang web: Phải trích dẫn đầy đủ tên website và đường link, ngày cập nhật.
12. Định dạng mẫu bài báo tham khảo tại địa chỉ http://tapchikhcn.saodo.edu.vn/news/detail/198/format_paper
Bài báo sau khi xuất bản sẽ được công bố trên <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>.

THÔNG TIN LIÊN HỆ:

Ban Biên tập Tạp chí Nghiên cứu khoa học, Trường Đại học Sao Đỏ

Phòng 203, Tầng 2, Nhà B1, Trường Đại học Sao Đỏ.

Địa chỉ: Số 76, Nguyễn Thị Duệ, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>

Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn



BỘ CÔNG THƯƠNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC SAO ĐỎ

Địa chỉ:

- **Số 1:** Số 76, Nguyễn Thị Duệ, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.
- **Số 2:** Số 72, đường Nguyễn Thái Học, phường Thái Học, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.
- **Điện thoại:** (0220) 3882 269 **Fax:** (0220) 3882 921 **Website:** <http://saodo.edu.vn> **Email:** info@saodo.edu.vn

P. ISSN 1859-4190
E. ISSN 2815-553X

Số 3 (86)
2024



Địa chỉ Tòa soạn:

Trường Đại học Sao Đỏ.

Số 76, Nguyễn Thị Duệ, Thái Học 2, phường Sao Đỏ, thành phố Chí Linh, tỉnh Hải Dương.

Điện thoại: (0220) 3587213, Fax: (0220) 3882 921, Hotline: 0912 107858/0936 847980.

Website: <http://tapchikhcn.saodo.edu.vn>/Email: tapchikhcn@saodo.edu.vn.

Giấy phép xuất bản số: 620/GP-BTTTT ngày 17/9/2021 của Bộ Thông tin và Truyền thông.

In 2.000 bản, khổ 21 × 29,7cm, tại Công ty TNHH in Tre Xanh, cấp ngày 17/02/2011.