

# KHAI THÁC MÁY CHỦ TÍNH TOÁN HIỆU NĂNG CAO (HPC) VÀO THIẾT KẾ TỐI ƯU HIỆU QUẢ NĂNG LƯỢNG TOÀ NHÀ

## BUILDING DESIGN OPTIMISATION FOR ENERGY EFFICIENCY ON HIGH PERFORMANCE COMPUTING (HPC) SYSTEM

**Đặng Hoàng Anh**

### TÓM TẮT

Hiện nay, để đáp ứng nhu cầu mô hình hoá hiệu năng công trình xây dựng, các công cụ mô phỏng đã và đang được phát triển cho phép thực hiện tính toán chi tiết tiêu thụ năng lượng toà nhà theo thiết kế thụ động, chủ động, lịch vận hành và các điều kiện vi khí hậu bên ngoài công trình. Tuy nhiên, mô hình năng lượng trong toà nhà là tổng thể của các bài toán ở các lĩnh vực vật lý khác nhau do đó để giải được, đặc biệt là các bài toán tối ưu, đòi hỏi cấu hình máy tính mạnh và thời gian tính toán dài tùy thuộc vào mức độ chi tiết của mô hình mô phỏng. Trong bài báo này, nội dung nghiên cứu sẽ mô tả khai thác giải thuật di truyền thông qua phần mềm jEPlus+EA để tối ưu hoá thiết kế một công trình văn phòng cho phép tiêu thụ năng lượng dành cho làm mát và sưởi trong cả năm là nhỏ nhất. Bài toán tối ưu được thực hiện trên máy chủ tính toán hiệu năng cao thuộc phòng Lab mô phỏng và tính toán hiệu năng cao, Viện Công nghệ HaUI.

**Từ khóa:** *Mô phỏng năng lượng; hiệu quả năng lượng; tối ưu hoá; tính toán hiệu năng cao.*

### ABSTRACT

Nowadays, to adapt necessities of building performance modelling, simulation tools have been developed to calculate building energy consumption following modification of passive designs, occupancy, operating schedules and weather conditions. However, building energy models are multi-physical problems therefore they, especially optimal problems, require high performance computation and long calculation duration. This paper describes the research of Genetic Algorithms using through jEPlus+EA software to optimize the design of an office building for minimizing cooling and heating demand. The optimal problem was performed on a high-performance computing system in High Performance Simulation and Calculation Laboratory, HaUI Institute of Technology.

**Keywords:** *Building energy modelling; building energy efficiency; optimisation; high performance computing.*

Viện Công nghệ HaUI, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

Email: danghoanganh@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 10/01/2020

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 13/6/2020

Ngày chấp nhận đăng: 23/12/2020

### CHỮ VIẾT TẮT

- HPC High Performance Computing
- GA Genetic Algorithms

- PBS Portable Batch System
- CPU Central Processing Unit
- GPU Graphic Processing Unit
- RAM Random Access Memory
- GB Gigabytes
- SSH Secure shell

### 1. GIỚI THIỆU

Hiện nay, để đáp ứng nhu cầu mô hình hoá hiệu năng công trình xây dựng, các công cụ mô phỏng đã và đang được phát triển cho phép thực hiện tính toán chi tiết tiêu thụ năng lượng toà nhà theo thiết kế thụ động, chủ động, lịch vận hành và các điều kiện vi khí hậu bên ngoài công trình. Ở giai đoạn thiết kế công trình, thông qua phân tích tham số (parametric analysis) và tối ưu hoá thiết kế (design optimization) mô hình mô phỏng đặc biệt hiệu quả trong việc phân tích và đưa ra quyết định lựa chọn phương án thiết kế đáp ứng các tiêu chí về năng lượng, công năng hoạt động và chi phí xây dựng [1]. Trong đó, phân tích tham số là phương pháp thường được sử dụng khi phân tích các phương án với số lượng tham số giới hạn thông qua việc thực hiện so sánh kết quả mô phỏng của tất cả các tổ hợp tham số cần đánh giá. Còn tối ưu hoá thiết kế thường được sử dụng trong trường hợp lượng tham số cần phân tích lớn, cần áp dụng các thuật toán tối ưu kết hợp với thuật toán xác suất về lựa chọn tổ hợp các tham số, cho phép kết quả mô phỏng hội tụ về phương án tối ưu theo các điều kiện ràng buộc định sẵn mà không cần phải chạy tất cả các trường hợp mô phỏng. Tuy nhiên, mô hình năng lượng trong toà nhà là tổng thể của các bài toán ở các lĩnh vực vật lý khác nhau như truyền nhiệt, thông gió, chiếu sáng, cơ điện, biến đổi năng lượng... do đó để giải được, đặc biệt là các bài toán tối ưu, đòi hỏi cấu hình máy tính mạnh và thời gian tính toán dài tùy thuộc vào mức độ chi tiết của mô hình mô phỏng [2]. Trong một số trường hợp, để giảm khối lượng tính toán và tăng khả năng hội tụ về nghiệm tối ưu, việc phân tích độ nhạy cần được thực hiện để xác định các tham số có tác động nhiều nhất tới quá trình tối ưu hoá [3]. Ngoài ra, tối ưu hoá cũng được sử dụng

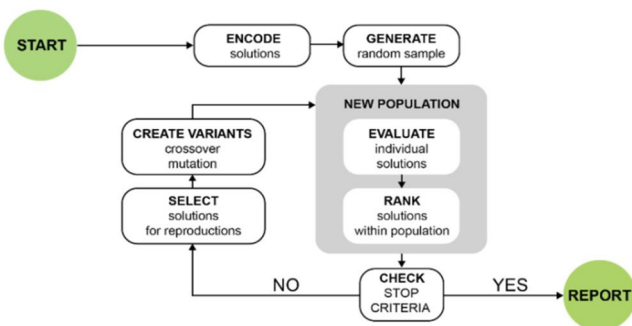
ngược trở lại như một công cụ hiệu chỉnh mô hình mô phỏng, giảm sai số giữa kết quả tính toán bởi mô hình mô phỏng và kết quả đo lường thực nghiệm [4].

Trong nhiều các phương pháp tối ưu hoá khác nhau có thể áp dụng cho lĩnh vực mô phỏng năng lượng tòa nhà, giải thuật di truyền (GA) được khai thác sử dụng nhiều nhất bởi nhiều công cụ tối ưu hoá nổi tiếng như: Opt-E-Plus, GENE\_ARCH, BEopt™, TRNOPT, Multiopt2, jEPlus+EA... [5]. Nội dung nghiên cứu trong bài báo này sẽ khai thác giải thuật di truyền thông qua phần mềm jEPlus+EA để tối ưu hoá thiết kế một công trình văn phòng [6], thực hiện trên máy chủ tính toán hiệu năng cao thuộc phòng Lab mô phỏng và tính toán hiệu năng cao, Viện Công nghệ HaUI. Các kịch bản được thuật toán tối ưu lựa chọn từ 14 loại tham số khác nhau từ thiết kế kiến trúc tới cơ điện được đẩy vào tất cả các nhân tính toán trong bộ vi xử lý của hệ thống máy chủ để tìm được thiết kế tối ưu cho phép tiêu thụ năng lượng dành cho làm mát và sưởi trong cả năm là nhỏ nhất. Tập nghiệm tối ưu được thể hiện bởi đường cong Pareto với các nghiệm thoả mãn hai tiêu chí nằm gần các trục của đồ thị nhất.

**2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

**2.1. Giải thuật di truyền và phần mềm jEPlus+EA**

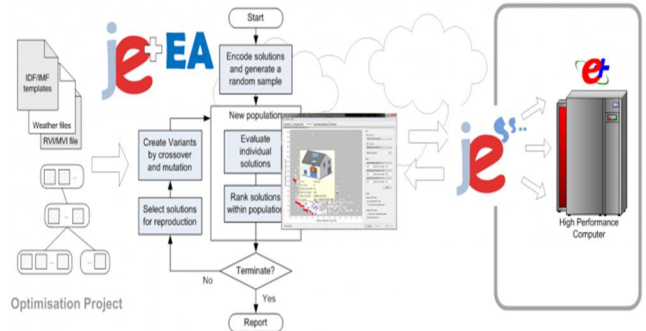
Giải thuật di truyền (GA) trong tối ưu hoá được hình thành từ học thuyết tiến hoá của Darwin với lưu đồ thuật toán được thể hiện trong hình 1. Bắt đầu từ việc lựa chọn ngẫu nhiên tham số để tạo ra một quần thể nghiệm ban đầu (thể hệ thứ nhất), trong đó mỗi nghiệm sẽ tương ứng với một tập hợp các tham số (Genes). Các nghiệm tốt nhất sẽ được lựa chọn để làm căn cứ tạo một quần thể nghiệm mới (thể hệ tiếp theo) thông qua việc thay đổi tham số chéo (lai chéo), hoặc là thay đổi ngẫu nhiên các tham số này (đột biến). Quá trình tối ưu sẽ được lặp lại cho tới khi tìm được đủ nghiệm thoả mãn tiêu chí hoặc số vòng lặp đạt tới giới hạn.



Hình 1. Lưu đồ thuật toán của giải thuật di truyền [4]

Phần mềm jEPlus+EA là một trong các công cụ mô phỏng thông dụng hiện nay chạy mô phỏng với nhân tính toán tin cậy EnergyPlus của Bộ Năng lượng Mỹ và sử dụng thuật toán tối ưu NSGA2 (Deb and Srinivas's Nondominated Sorting Genetic Algorithm) với nguyên lý hoạt động được thể hiện trong hình 2. Để thực hiện tối ưu hoá với phần mềm này, cần thiết phải xây dựng trước đối tượng mô phỏng (mô hình năng lượng) dạng EnergyPlus, các cấu

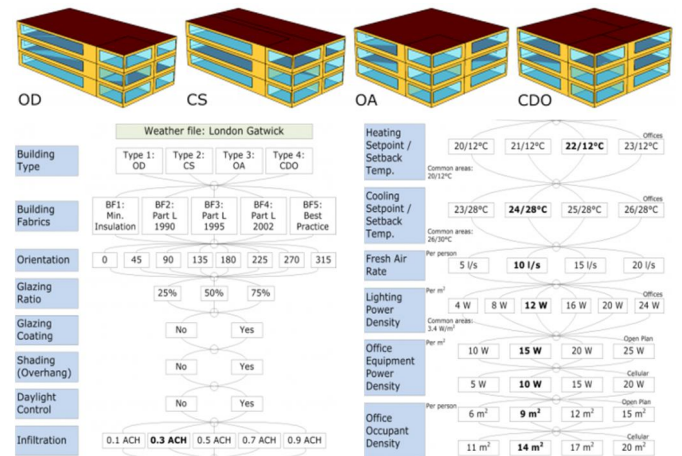
hình tham số, ràng buộc và hàm mục tiêu dưới dạng file dự án của jEPlus+EA. Sau đó phần mềm sẽ tự động thực hiện việc tối ưu hoá theo giải thuật di truyền. Điểm mạnh của phần mềm này đó là khả năng phân tính toán quần thể thành từng mô phỏng đơn lẻ theo các tập tham số cụ thể để đẩy các mô phỏng này (các jobs) cho các nhân tính toán của vi xử lý máy tính. Máy tính càng nhiều nhân thì tính toán quần thể càng nhanh và số lượng nghiệm trong quần thể cũng có điều kiện được tăng lên. Điều này cho phép phần mềm khai thác hiệu quả hiệu năng phần cứng, đặc biệt là hệ thống máy chủ tính toán hiệu năng cao (HPC).



Hình 2. Nguyên lý hoạt động của phần mềm jEPlus+EA (jepplus.org)

**2.2. Bài toán tối ưu thiết kế công trình**

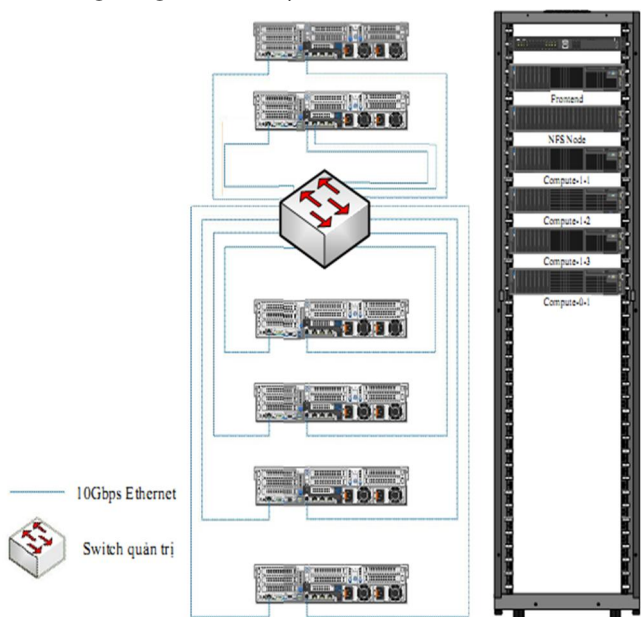
Đối tượng nghiên cứu là một công trình văn phòng điển hình tại Anh với 4 dạng công trình và 13 tham số thiết kế: hình dáng công trình, hướng công trình, tỷ lệ tường kính, lớp phủ kính, che nắng (ô văng), điều khiển chiếu sáng theo sáng tự nhiên, mức độ hoàn thiện (rò lọt), nhiệt độ đặt sưởi và làm mát, thông gió, mật độ công suất chiếu sáng, mật độ công suất thiết bị sử dụng điện và mật độ người trong công trình (hình 3). Mục tiêu của bài toán là lựa chọn thiết kế tối ưu để đảm bảo tiêu thụ năng lượng phục vụ sưởi vào mùa đông và làm mát vào mùa hè là nhỏ nhất theo các tham số được mô tả ở trên. Bài toán sẽ được đưa vào phần mềm jEPlus+EA và thực hiện tính toán thiết kế tối ưu trên hệ thống máy chủ tính toán hiệu năng cao (HPC) tại Phòng tính toán và mô phỏng hiệu năng cao, Viện Công nghệ HaUI.



Hình 3. Mô hình công trình và các tham số thiết kế [6]

### 2.3. Hệ thống máy chủ tính toán hiệu năng cao (HPC)

Hệ thống máy chủ tính toán hiệu năng cao (HPC) được trường Đại học Công nghiệp Hà Nội trang bị cho Phòng mô phỏng và tính toán hiệu năng cao thuộc Viện Công nghệ HaUI hướng tới thực hiện các nghiên cứu chuyên sâu xoay quanh mô phỏng và tính toán, đồng thời cho phép giảng viên thuộc trường tham gia khai thác sử dụng nhằm nâng cao chất lượng nghiên cứu khoa học của nhà Trường. Hệ thống bao gồm 4 máy chủ tính toán với mỗi máy có 28 nhân CPU/56 luồng tính toán có tốc độ xử lý 2,2GHz và 128GB RAM. Trường hợp khai thác hiệu năng cả 4 máy (điều phối qua phần mềm PBS Work) cho phép khai thác đến 224 luồng tính toán song song có tốc độ xử lý 2,2GHz với bộ nhớ khai thác được lên tới 512GB RAM. Riêng một máy chủ tính toán được trang bị thêm 2 GPU NVIDIA Tesla P100 ứng dụng vào giải các bài toán xử lý hình ảnh, tính toán song song và học máy.



Hình 4. Sơ đồ hệ thống máy chủ tính toán hiệu năng cao (HPC)

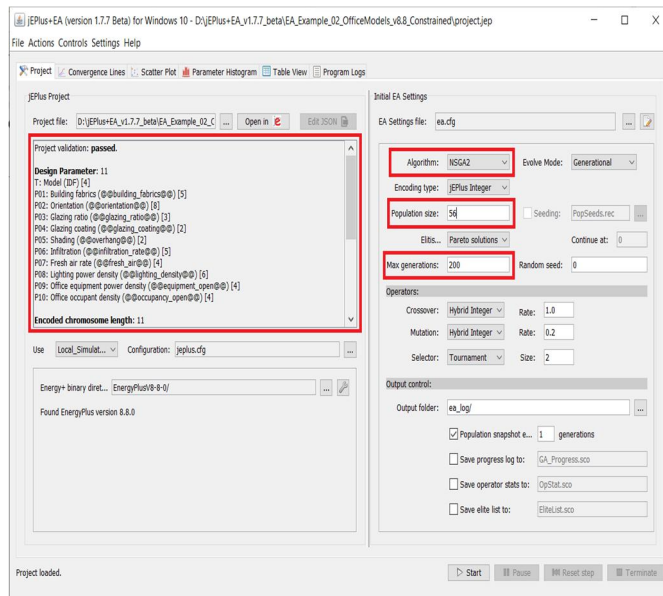
### 3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

Bài toán tối ưu được thực hiện trên một máy chủ tính toán 28 nhân/56 luồng tính toán ở tốc độ xử lý 2,2GHz. Việc kết nối tới máy chủ để chạy phần mềm jEPlus+EA thông qua giao thức SSH, cho phép cấu hình bài toán trực tiếp trên giao diện phần mềm (hình 5) qua mạng Internet.

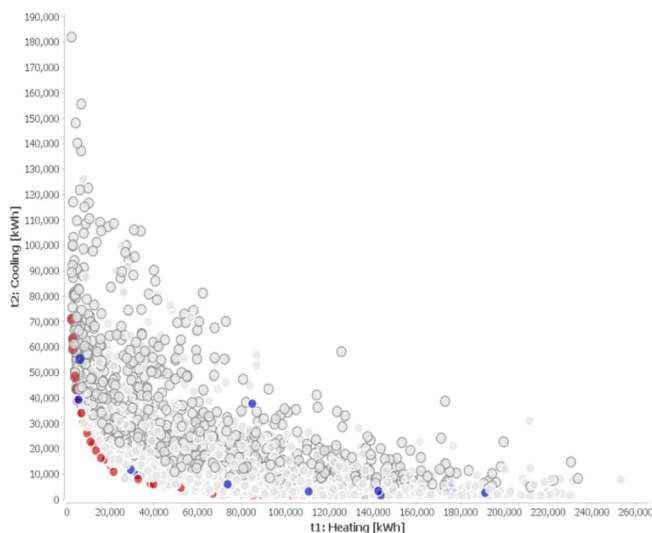
- Trong jEPlus Project: các tham số thiết kế và hàm mục tiêu được cấu hình theo mô tả trong mục 2.2
- Algorithm: giải thuật di truyền được sử dụng là NSGA2
- Population size: kích thước tập nghiệm phụ thuộc nhiều vào số lượng tham số thiết kế và cấu hình phần cứng. Thông số được cấu hình là 56 tương ứng với số luồng tính toán của phần cứng và đồng thời cũng đáp ứng tốt số lượng tham số thiết kế của bài toán. So với cấu hình của một máy tính cá nhân thông thường sử dụng chip Intel Core i7 với 8 nhân logic cùng xung nhịp, thời gian mô phỏng của một máy chủ tính toán trong hệ thống máy chủ

HPC cho phép mô phỏng nhanh hơn 7 lần (30 phút so với 3 tiếng 30 phút). Trường hợp có thể khai thác tối đa 4 máy chủ tính toán của hệ thống máy chủ HPC thì cho phép thời gian mô phỏng nhanh hơn 28 lần (7,5 phút so với 3 tiếng 30 phút).

- Max generations: số vòng lặp tối đa giải bài toán tối ưu.
- Các thông số còn lại được cấu hình mặc định theo khuyến nghị của phần mềm.



Hình 5. Cấu hình bài toán mô phỏng trên giao diện phần mềm jEPlus+EA



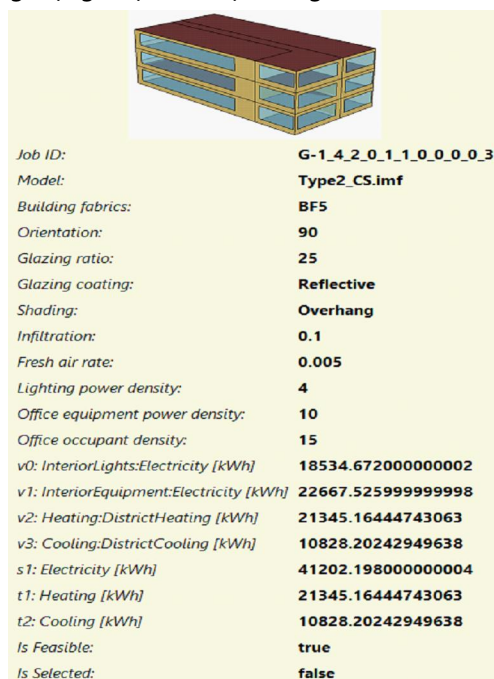
Hình 6. Tập nghiệm tối ưu được thể hiện trên đường Pareto

Hình 6 thể hiện kết quả tối ưu của bài toán thiết kế dưới dạng đường Pareto với mỗi chấm trên đồ thị là một kết quả theo từng cấu hình tham số thiết kế được lựa chọn. Với hàm hai mục tiêu là tối thiểu hoá năng lượng sưởi ấm và làm mát có xu hướng ngược nhau, thiết kế đảm bảo năng lượng sử dụng sưởi là nhỏ nhất thì dẫn tới năng lượng sử dụng để làm mát tăng lên và ngược lại. Mỗi tương quan giữa các tham số đầu vào với kết quả tối ưu được thể hiện trên hình 7.



Hình 7. Phân bố nghiệm của các tham số thiết kế trong quá trình tối ưu

Do đó thiết kế tối ưu được lựa chọn sẽ là các điểm nằm gần các trục trên đồ thị nhất tùy thuộc vào khuynh hướng được lựa chọn. Nghiệm tối ưu được lựa chọn trong phạm vi của bài báo sẽ cân bằng hướng tới tổng sử dụng năng lượng cả sưởi và làm mát là nhỏ nhất, tương ứng với điểm ở gần gốc toạ độ nhất, có thông số thiết kế và kết quả tính toán năng lượng được thể hiện trong hình 8.



Hình 8. Nghiệm tối ưu được lựa chọn

#### 4. KẾT LUẬN VÀ KHUYẾN NGHỊ

Bài báo trình bày nghiên cứu về tối ưu hoá sử dụng giải thuật di truyền thông qua phần mềm jePlus+EA để thực hiện tối ưu hoá thiết kế một công trình văn phòng, thực hiện trên máy chủ tính toán hiệu năng cao HPC. Các nội dung nghiên cứu này cho phép làm chủ phương pháp và phần mềm tính toán tối ưu hiệu quả cho các bài toán tối ưu trong tương lai phục vụ thực tiễn các nghiên cứu ứng dụng trong thực tế thiết kế công trình xây dựng theo định hướng hiệu quả năng lượng. Kết quả tính toán tối ưu được thể hiện dưới dạng đường đặc tính Pareto. Nghiệm tối ưu được lựa chọn là các thiết kế cho phép cân bằng giữa tiêu thụ năng lượng sưởi và làm mát với tổng tiêu thụ năng lượng là thấp nhất. Nghiên cứu đã chứng minh hiệu quả khai thác trên một máy chủ tính toán hiệu năng cao và trong tương lai sẽ tiếp tục nghiên cứu khai thác sự phối hợp các máy chủ còn lại để đạt hiệu năng tính toán tối đa.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Coakley D, Raftery P, Keane M, 2014. *A review of methods to match building energy simulation models to measured data*. *Renew Sustain Energy Rev* 2014;37:123–41.

[2]. Ivan Korolija, Yi Zhang, 2013. *Impact of model simplification on energy and comfort analysis for dwelling*. 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, August 26-28.

[3]. Gloria Calleja Rodríguez, Antonio Carrillo Andrés, Fernando Domínguez Munoz, José Manuel Cejudo López, Yi Zhang, 2013. *Uncertainties and sensitivity analysis in building energy simulation using macro-parameters*. *Energy and Buildings* Volume 67, December 2013, Pages 79-87.

[4]. Rigoberto Arambula Lara, Emanuele Naboni, Giovanni Pernigotto, Francesca Cappelletti, Yi Zhang, Furio Barzon, Andrea Gasparella, Piercarlo Romagnoni, 2016. *Optimization Tools for Building Energy Model Calibration*. 8th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-16, 11-13 September 2016, Turin, Italy.

[5]. Matti Palonen, Mohamed Hamdy, Ala Hasan, 2013. *MOBO a new software for multi-objective building performance optimization*. 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, August 26-28.

[6]. jeplus.org. UK Office Building Archetypal Models. <http://www.jeplus.org/wiki/doku.php?id=examples:projects:benchmark>

#### AUTHOR INFORMATION

**Dang Hoang Anh**

HaUI Institute of Technology, Hanoi University of Industry