**VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM**

**HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ**



**BÁO CÁO TIỂU LUẬN KẾT THÚC HỌC PHẦN THẠC SĨ**

**HỆ HỖ TRỢ QUYẾT ĐỊNH TIÊN TIẾN**

**Nội dung:**

**Phương pháp chẩn đoán y tế Dựa trên sự kết hợp Autoencoder Based Recurrent Neural Network và Swarm Intelligence**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  | | --- | --- | | **Học viên thực hiện** | **: Dương Đình Thiệu** | | **Giảng viên** | **: TS. Vũ Văn Hiệu** | | | **Khoa** | **: CNTT & viễn thông** | | | **Lớp** | **: ITT2022B** | | |  |
| **Hà Nội – 2023** |  |
| **PHIẾU CHẤM ĐIỂM**  Học viên thực hiện:   |  |  |  | | --- | --- | --- | | **Họ và tên** | **Chữ ký** | **Ghi chú** | | Dương Đình Thiệu |  |  |   Giảng viên chấm:   |  |  |  | | --- | --- | --- | | **Họ và tên** | **Điểm** | **Chữ ký** | | Giảng viên chấm 1: |  |  | | Giảng viên chấm 2: |  |  | |  |

**MỤC LỤC**

[1. Giới thiệu 5](#_Toc133261100)

[2. Công trình nghiên cứu liên quan 6](#_Toc133261101)

[3. Sử dụng mạng thần kinh tái phát dựa trên bộ mã hóa tự động (ARNN) và trí thông minh bầy đàn (SI) để chuẩn đoán y tế. 9](#_Toc133261102)

[3.1. Mạng thần kinh tái phát dựa trên bộ mã hóa tự động (ARNN) 9](#_Toc133261103)

[3.2. Trí thông minh bầy đàn và Tối ưu hóa thông minh trong (SIARNN) 11](#_Toc133261104)

[4. Thiết kế của SIARNN 15](#_Toc133261105)

[5. Ứng dụng và Đánh giá 16](#_Toc133261106)

[5.1. Ứng dụng chẩn đoán y tế với SIARNN 17](#_Toc133261107)

[5.2. Đánh giá so sánh 18](#_Toc133261108)

[6. Kết quả và công việc trong tương lai 19](#_Toc133261109)

[7. Tổng kết 20](#_Toc133261110)

[8. Tài liệu tham khảo. 21](#_Toc133261111)

**DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT**

|  |  |
| --- | --- |
| **Từ** | **Ý nghĩa** |
| ARNN | Autoencoder Based Recurrent Neural Network |
| SI | Swarm Intelligence |
| ABC | Artiﬁcial Bee Colony |
| VOA | Vortex Optimization Algorithm |
| CS | Cuckoo Search |
| ALO | Ant-Lion Optimizer |
| ESA | Electro-Search Algorithm |
| SWFNN | Small- World Feedforward Neural Networks |
| PNN | Probabilistic Neural Network |
| EEG | Electroencephalogram |
| PSO | Particle Swarm Optimization |
| BPFNN | Back-Propagation Feedforward Neural Network |
| ECG | Electrocardiogram |
| RNN | Recurrent Neural Network |
| RBF | Radial Basis Function Networks |
| SVM | Support Vector Machines |
| GA | Genetic Algorithms |
| DL | Deep Learning |
| DBN | Deep Belief Networks |

## 1. Giới thiệu

Kể từ lần đầu tiên xuất hiện trong cả thế giới học thuật và khoa học, Trí tuệ nhân tạo đã phát triển được rất nhiều, dẫn đến việc xây dựng các lĩnh vực phụ khác nhau tập trung vào các phương pháp tiếp cận giải pháp thuật toán khác nhau. Có thể sử dụng các kỹ thuật dựa trên Học máy để học từ các mẫu và phát triển các hệ thống thông minh được đào tạo [1, 2]. Mặt khác, các kỹ thuật dựa trên Swarm Intelligence có thể được sử dụng để giải các bài toán tối ưu hóa nâng cao nhờ nguồn cảm hứng từ thiên nhiên [3, 4]. Điều đáng chú ý là lĩnh vực Trí tuệ nhân tạo có nhiều mối quan hệ với các lĩnh vực định hướng kỹ thuật và tính toán thay thế như Khai phá dữ liệu, Người máy [5–8]. Trong số tất cả các loại giải pháp phức tạp nhưng linh hoạt này, người ta cũng ngày càng quan tâm đến việc xây dựng các hệ thống lai bao gồm các thuật toán-kỹ thuật Trí tuệ nhân tạo khác nhau hoặc các giải pháp truyền thống để thiết kế một hệ thống tiên tiến giúp giải quyết vấn đề. Vì nhiệm vụ thực tế trong khi đào tạo một kỹ thuật Học máy chỉ là tối ưu hóa các tham số của nó, nên việc sử dụng Swarm Intelligence cho giai đoạn đào tạo là một cách tiếp cận hệ thống kết hợp được áp dụng rộng rãi trong các tài liệu liên quan [9–13].

Y tế là một trong những lĩnh vực đáng chú ý nhất trong đó các hệ thống dựa trên Trí tuệ nhân tạo lai thường được sử dụng. Do lĩnh vực y tế rất cởi mở để hỗ trợ công nghệ đổi mới, nên các phương pháp, phương pháp và kỹ thuật dựa trên Trí tuệ nhân tạo đã được sử dụng rộng rãi trong bối cảnh hình thành lai, để giải quyết các vấn đề khác nhau trong một thời gian dài [14–19]. Ngày nay, có thể thấy việc sử dụng hiệu quả các hệ thống dựa trên Trí tuệ nhân tạo cho các vấn đề quan trọng như chẩn đoán bệnh, hỗ trợ chuyên gia y tế, khai phá thông tin [20–25]. Bởi vì đôi khi rất khó xử lý các loại dữ liệu y tế phức tạp và khác nhau, nên các phương pháp xử lý dữ liệu thay thế (xử lý hình ảnh/tín hiệu) [26, 27] và các hệ thống lai tiên tiến được sử dụng như những cách giải pháp hữu hiệu và hiệu quả. Rõ ràng là việc sử dụng các thuật toán-kỹ thuật Trí tuệ nhân tạo tiên tiến hơn sẽ mang lại kết quả tốt hơn cho cả những vấn đề và dữ liệu phức tạp nhất.

Chương này giới thiệu một hệ thống kết hợp để chẩn đoán y khoa. Đó là Mạng thần kinh tái phát dựa trên bộ mã hóa tự động (ARNN) được hỗ trợ bởi Swarm Intelligence (SI), có khả năng chẩn đoán bệnh hiệu quả, được thiết kế để đảm bảo một giải pháp linh hoạt. Được gọi là SIARNN, hệ thống đi kèm với một số mã được viết bằng ngôn ngữ lập trình Python và theo cách này ta sẽ hình dung ra được một cách tiếp cận giải pháp tính toán nhanh, có thể chạy các thuật toán SI được xác định trước để cung cấp cho ARNN dữ liệu kết quả tốt nhất. Mục đích chung của SIARNN là tìm ra hệ thống tối ưu, sẵn sàng sử dụng để đạt được kết quả tốt cho dữ liệu bệnh mục tiêu. Ở phiên bản hiện tại, hệ thống có mô hình ARNN mặc định được hỗ trợ bởi năm thuật toán SI nổi tiếng gần đây và khác biệt với nhau như: Artificial Bee Colony (ABC), Vortex Optimization Algorithm (VOA), Cuckoo Search (CS), Ant-Lion Optimizer (ALO), và Electro-Search Algorithm (ESA). Để hiểu thêm về hiệu quả của SIARNN, ta sẽ tiến hành phân tích sâu hơn về kết quả nghiên cứu.

## 2. Công trình nghiên cứu liên quan

Như đã được thảo luận rộng rãi cho đến nay trong các chương trước, tài liệu liên quan sẽ được sử dụng nhiều ở những ví dụ khác nhau về nghiên cứu sử dụng các hệ thống thông minh để chẩn đoán y tế. Ở đây, đáng chú ý là các mô hình mạng lưới thần kinh đảm bảo một vai trò to lớn trong lịch sử trí tuệ nhân tạo trong nhiều lĩnh vực vấn đề, đặc biệt là y tế. Bằng cách xem xét nhiều hơn về cách các mạng thần kinh đã được áp dụng cho đến nay, có thể cung cấp một cái nhìn bao quát về việc sử dụng các kỹ thuật học máy truyền thống và sau đó là các kỹ thuật học sâu cho các vấn đề chẩn đoán y tế khác nhau.

Trong công trình của Erkaymaz và những người bạn của ông [28], hiệu suất chung của Mạng nơ-ron chuyển tiếp thế giới nhỏ (SWFNN) được đánh giá bằng cách xem xét bệnh tiểu đường. Cụ thể, công việc báo cáo rằng mô hình thế giới nhỏ của Newman–Watts đạt được kết quả tốt hơn so với mô hình Watts–Strogatz. Erkaymaz cũng có một công việc khác với SWFNN để giải thích một số tác động của cấu trúc liên kết mạng thế giới nhỏ đối với cấu trúc ANN thông thường [29]. Bệnh mục tiêu lại là bệnh tiểu đường trong công việc đó. Trong một công trình so sánh khác, bệnh Parkinson được chẩn đoán bằng cách sử dụng các kỹ thuật khác nhau bao gồm cả các mô hình mạng lưới thần kinh [30]. Công trình báo cáo rằng kỹ thuật Mạng nơ-ron xác suất (PNN) cung cấp kết quả tốt hơn so với một số kỹ thuật phân loại khác. Trong công trình [31], Yalcin và những người bạn của cô đã kiểm tra chẩn đoán bệnh động kinh bằng cách sử dụng chuỗi thời gian Điện não đồ (EEG) và chạy ANN đã được đào tạo về Tối ưu hóa bầy đàn hạt (PSO). Trong công trình, mô hình ANN-PSO được so sánh với các mô hình thay thế, bằng cách xem xét vấn đề chẩn đoán bệnh động kinh. Có thể thấy một ví dụ khác về việc sử dụng dữ liệu EEG và chạy kết hợp ANN-tối ưu hóa thông minh trong công trình gần đây [32] của tác giả nghiên cứu này. Cụ thể, công việc cung cấp một nghiên cứu chi tiết về việc sử dụng Trình tối ưu hóa Ant-Lion (ALO) và ANN để nghiên cứu về chuỗi thời gian EEG. Một lần nữa, công trình [33] cung cấp một thuật toán tối ưu hóa thông minh khác gần đây: Thuật toán tìm kiếm điện tử (ESA) để huấn luyện ANFIS vào thời điểm đó và làm việc trên dữ liệu điện não đồ. Một công trình khác trong [34] cho thấy ứng dụng của ANN để chẩn đoán xơ gan và tăng áp lực tĩnh mạch cửa. Nhưng những phát hiện cho thấy không có quá nhiều tác động tích cực đối với việc sử dụng ANN ở giai đoạn cuối. Là một bệnh khác, hen suyễn được phân loại bởi Badnjevi´c và những người bạn của ông, bằng cách sử dụng ANN [35].

Theo công trình, mô hình chẩn đoán hen có tỷ lệ thành công khoảng 97%. Khi sử dụng cơ chế feedforward trên cấu trúc đa lớp, nghiên cứu trong [36] cung cấp chẩn đoán bệnh tim bằng cách sử dụng ANN. Xem xét bệnh lao, công việc trong [37] cung cấp một đánh giá tốt, gần đây về việc sử dụng Trí tuệ nhân tạo và các kỹ thuật định hướng mạng lưới thần kinh. Trong bối cảnh bệnh tim, Pandey và Janghel cung cấp một nghiên cứu về việc sử dụng mô hình mạng thần kinh để chẩn đoán rối loạn nhịp tim trên dữ liệu Điện tâm đồ (ECG) [38]. Công trình so sánh ngắn gọn Mạng nơ-ron truyền dẫn ngược lan truyền (BPFNN), Mạng nơ-ron tái phát (RNN) và Mạng chức năng cơ sở xuyên tâm (RBF) và cho thấy RNN có kết quả tốt hơn theo các mô hình khác. Nếu chúng ta xem xét lại việc chẩn đoán bệnh tiểu đường, có thể thấy việc sử dụng các kỹ thuật Trí tuệ nhân tạo khác nhau. Ví dụ, công trình [39] cung cấp một nghiên cứu về đào tạo Máy Vector Hỗ trợ (SVM) với Thuật toán Tối ưu hóa Vortex (VOA) để chẩn đoán bệnh tiểu đường. Trong một nghiên cứu khác, Zeng và những người bạn của mình đã sử dụng SVM và đào tạo nó thông qua một biến thể của PSO: chuyển đổi-trì hoãn-PSO để chẩn đoán bệnh Alzheimer [40]. Để hỗ trợ hiệu suất của SVM chống lại chẩn đoán bệnh tiểu đường, Santhanam và Padmavathi đã sử dụng K-Means và Thuật toán di truyền (GA) trong công việc của họ [41]. Trong công trình [42], có thể thấy một ví dụ khác về tối ưu hóa SVM cho chẩn đoán bệnh mạch vành thời bấy giờ. Một kỹ thuật hiệu quả khác: Random Forest (RF) đã được sử dụng trong [43] để chẩn đoán bệnh thận mãn tính. Trong công việc, RF đã cung cấp kết quả tích cực khi so sánh nó với các phân loại thay thế từ tài liệu. Một nghiên cứu của Dai và những người bạn của anh ấy cũng cho thấy hiệu suất của RF trong chẩn đoán ung thư vú [44]. Về mặt chẩn đoán ung thư đặc biệt, việc sử dụng Deep Learning (DL) hiệu quả thường được báo cáo trong tài liệu. Công trình [45] cung cấp một đánh giá gần đây về chẩn đoán ung thư dựa trên hình ảnh nhờ các kỹ thuật DL. Điều đáng chú ý là Mạng thần kinh chuyển đổi (CNN) đã là một công cụ hiệu quả để chẩn đoán ung thư trên dữ liệu hình ảnh y tế, vì nó hiệu quả để xử lý dữ liệu loại hình ảnh đặc biệt. Bằng cách hưởng lợi từ các hình ảnh siêu âm, công trình trong [46] cung cấp một nghiên cứu của CNN để chẩn đoán ung thư tuyến giáp. Kết quả của công việc cho thấy hiệu suất tương tự của CNN chống lại các bác sĩ X quang lành nghề. Mặt khác, công việc của Reda và những người bạn của ông xem xét vai trò của DL trong chẩn đoán sớm ung thư tuyến tiền liệt [47]. Trong công việc, các ứng dụng được thực hiện trên dữ liệu MRI cho thấy tỷ lệ thành công khoảng 94% với chẩn đoán dựa trên DL. Điều quan trọng là kỹ thuật CNN đặc biệt hiệu quả đối với không chỉ dữ liệu hình ảnh mà cả các loại dữ liệu y tế khác. Trong nghiên cứu của Deperlioglu [48], điện tâm đồ được CNN sử dụng để chẩn đoán bệnh tim. Ngoại trừ CNN, DL cũng có các kỹ thuật chẩn đoán ung thư khác nhau. Ví dụ, chẩn đoán ung thư với Deep Belief Networks (DBN) đã được báo cáo trong nhiều công trình gần đây như [49–52]. Từ góc độ rộng hơn, tất cả các kỹ thuật DL đều có vai trò rất quan trọng trong chẩn đoán y khoa vì nó có thể được nhìn thấy ngay cả trong các công trình rất gần đây của năm 2019 [53–59]. Trong công trình [60], phát hiện và phân loại khối u não được thực hiện thông qua ANFIS. Một nghiên cứu tương tự chỉ đặc biệt là phát hiện và phân đoạn được báo cáo bởi [61]. Cả hai công việc đều có tỷ lệ thành công cao khoảng 99%. Trong [62], Yadollahpour và những người bạn của ông đã sử dụng ANFIS để dự đoán sự tiến triển của bệnh thận mãn tính.

Ở đây, dường như có một xu hướng đáng chú ý là sử dụng ANFIS cho nghiên cứu chẩn đoán. Để chẩn đoán sớm ung thư vú, công trình [63] cung cấp một nghiên cứu về việc sử dụng ANFIS được tối ưu hóa tập trung vào vấn đề lựa chọn tính năng. Là các bệnh thay thế, các công trình [64] và [65] lần lượt sử dụng mô hình ANFIS để chẩn đoán bệnh tiểu đường loại 2 và viêm gan. Cả hai công trình đều cho thấy kết quả tích cực về việc sử dụng ANFIS cho mục đích chẩn đoán y học. Trong công trình [66], Ahmad và những người bạn của mình sử dụng phương pháp hỗ trợ ra quyết định bằng cách bao gồm ANFIS, k-NN và Phương pháp thu thập thông tin. Hệ thống của họ cho thấy tỷ lệ thành công cao trong chẩn đoán bệnh tuyến giáp. Như một nghiên cứu gần đây, [67] cung cấp việc sử dụng VOA để đào tạo ANFIS, nhằm chẩn đoán các bệnh về tuyến giáp, viêm gan và thận mãn tính. Công việc cho thấy kết quả tích cực về việc sử dụng ANFIS-VOA để chẩn đoán y tế. Một nghiên cứu gần đây khác do Udoh và bạn bè của ông cung cấp đã sử dụng ANFIS để chẩn đoán ung thư tuyến tiền liệt [68]. Công trình báo cáo kết quả khả quan cho mô hình ANFIS. Nghiên cứu trong công trình [69] giới thiệu việc sử dụng ANFIS cho bệnh tim mạch. Trong một công trình rất gần đây, ANFIS đã được đưa vào một nghiên cứu để đánh giá một phương pháp dự đoán được giới thiệu để chẩn đoán bệnh viêm gan [70]. Trong công trình [71], Padmavathy và những người bạn của cô đã thực hiện một nghiên cứu về chẩn đoán ung thư vú, bằng cách sử dụng phân cụm thích nghi và ANFIS để áp dụng chúng trên các hình ảnh chụp nhũ ảnh. Các kết quả trong công việc cho thấy hiệu suất đáng khích lệ khi sử dụng các hệ thống định hướng ANFIS cho vấn đề chẩn đoán mục tiêu. Người đọc cũng được tham khảo [72–76] để biết một số cách sử dụng ANFIS thay thế khác, rất gần đây trong các ứng dụng định hướng chẩn đoán y tế.

Như có thể thấy từ các công trình gần đây đã đề cập, tài liệu đã chạy thành công cả kỹ thuật học máy và học sâu của trí tuệ nhân tạo để chẩn đoán y tế. Điều đáng chú ý là các phương pháp xử lý dữ liệu như xử lý hình ảnh và xử lý tín hiệu có vai trò quan trọng để làm cho dữ liệu y tế sẵn sàng cho các giải pháp được phát triển. Ngoài ra, có một xu hướng xây dựng các hệ thống kết hợp bằng cách sử dụng tối ưu hóa thông minh để đào tạo một kỹ thuật cụ thể thực hiện chẩn đoán. Vì vậy, nghiên cứu trong nghiên cứu này được dành cho việc sử dụng Swarm Intelligence (SI) để huấn luyện ARNN. Điều quan trọng là không có việc sử dụng đáng chú ý mô hình ARNN để giải quyết vấn đề chẩn đoán bệnh. Hơn nữa, hỗ trợ một mô hình như vậy với quá trình tiền xử lý thông qua tối ưu hóa thông minh có thể là một cách thay thế để cải thiện chẩn đoán y khoa. Trong bối cảnh này, phần tiếp theo giải thích thêm về chi tiết của hệ thống.

## 3. Sử dụng mạng thần kinh tái phát dựa trên bộ mã hóa tự động (ARNN) và trí thông minh bầy đàn (SI) để chuẩn đoán y tế.

Cách tiếp cận giải pháp trong chương này tập trung vào việc phát triển một môi trường giải pháp thay thế có thể sử dụng lợi thế của Mạng thần kinh tái phát dựa trên bộ mã hóa tự động (ARNN) được hỗ trợ bởi tối ưu hóa thông minh. Tại thời điểm này, các thuật toán-kỹ thuật Swarm Intelligence (SI) đã được sử dụng để cung cấp cho mô hình ARNN mặc định với các kết hợp dữ liệu có kết quả tốt hơn. Vì mọi kỹ thuật SI có thể đưa ra kết quả thay thế cho các tập dữ liệu khác nhau, nên một cơ chế giải pháp tự động 'chạy các kỹ thuật SI khác nhau để có các lựa chọn tính năng khác nhau cho ARNN và chọn kết quả tốt nhất' đã được thiết kế. Hệ thống này được gọi là SIARNN là từ viết tắt của SI và ARNN. Các phần phụ sau đây cung cấp thông tin ngắn gọn về các thành phần hệ thống (ARNN, SI).

### 3.1. Mạng thần kinh tái phát dựa trên bộ mã hóa tự động (ARNN)

Để hiểu thêm về mô hình Mạng thần kinh tái phát dựa trên bộ mã hóa tự động (ARNN), điều quan trọng là phải giải thích một số về cấu trúc Mạng thần kinh tái phát cũng như cơ chế của Bộ mã hóa tự động. Mô hình của Mạng thần kinh tái phát (RNN) sử dụng cách tiếp cận giải pháp, để xử lý chuỗi dữ liệu đầu vào và đầu ra từ các trạng thái bên trong. Do đó, một cấu trúc hệ thống, hoạt động như một bộ nhớ, được thiết kế [77, 78]. Từ đó, có thể nói rằng mô hình RNN được sử dụng hiệu quả khi điều quan trọng là phải hiểu điều gì đó từ chuỗi dữ liệu. Hình 1 cho thấy cấu trúc mô hình cho RNN [78].

Xử lý dữ liệu thông qua RNN như sau [78]:

• Tại thời điểm t, ot tương ứng với đầu ra trong khi xt tương ứng với đầu vào. Bộ nhớ của mạng thần kinh được xác định với st, là trạng thái ẩn tại thời điểm: t.

• Bằng cách sử dụng một chức năng như ReLU hoặc tanh, st được lấy thông qua f(Uxt+ Wst-1), trong đó đầu vào hiện tại và trạng thái ẩn trước đó được đăng ký (Theo mặc định, s-1 được đặt là tất cả các số 0).

A picture containing diagram

Description automatically generatedTrong nghiên cứu ở đây, một mô hình RNN đã được kết hợp với Autoencoder. Bộ mã hóa tự động là một loại mạng thần kinh, có thể được sử dụng để giảm kích thước cao của dữ liệu đích. Nhờ học cách biểu diễn mức thấp của (các) đầu vào,

Diagram

Description automatically generatedHình 1. Cấu trúc mô hình RNN điển hình [78]

Hình 2. Cấu trúc mô hình bộ mã hóa tự động điển hình [80]

Autoencoder rất hữu ích để giải quyết các vấn đề phức tạp. Một mô hình Autoencoder điển hình bao gồm ba lớp đầu vào, ẩn và đầu ra, trong đó sử dụng cùng một số nơ-ron cho (các) đầu vào và (các) đầu ra. Trong cấu trúc hệ thống, các lớp đầu vào và ẩn chạy một sơ đồ mã hóa trong khi các lớp ẩn và đầu ra dùng để giải mã, dẫn đến kích thước dữ liệu mục tiêu thấp [79, 80]. Hình 2 cho thấy một đại diện điển hình của mô hình Autoencoder [80].

### 3.2. Trí thông minh bầy đàn và Tối ưu hóa thông minh trong (SIARNN)

Do các phương pháp tối ưu hóa truyền thống không đủ để giải quyết các vấn đề tối ưu hóa phức tạp hơn, các phương pháp tối ưu hóa thông minh bằng Trí tuệ nhân tạo đã được sử dụng hiệu quả trong một thời gian. Vì cuộc sống thực sự là một hỗn hợp của các vấn đề tối ưu hóa, nên tối ưu hóa thông minh được sử dụng rộng rãi trong mọi lĩnh vực với các quan điểm định hướng tối ưu hóa khác nhau như tối ưu hóa liên tục và tối ưu hóa tổ hợp. Hiện nay, có nhiều thuật toán-kỹ thuật dựa trên tối ưu hóa thông minh khác nhau, được lấy cảm hứng từ các thành phần khác nhau của tự nhiên [81]. Vì vậy, có thể phân loại các thuật toán-kỹ thuật này dưới các tiêu đề khác nhau. Nhưng cái toàn diện nhất là Swarm Intelligence (SI). Là một lĩnh vực phụ của Trí tuệ nhân tạo, khái niệm SI đề cập đến các hành vi giải quyết vấn đề tập thể, tương tác của một nhóm (hầu hết) các sinh vật sống như động vật, côn trùng hoặc thậm chí cả con người [82, 83]. Về mặt thiết kế thuật toán, Trí tuệ nhân tạo đảm bảo các bước toán học và logic để mô phỏng các hành vi liên quan theo các quy trình tối ưu hóa lặp đi lặp lại. Theo cách này, các vấn đề tối ưu hóa cuộc sống thực được mô hình hóa được giải quyết bằng một số hạt, các tham số của chúng có thể thay đổi tương đối theo trạng thái của nhau trong bầy [81, 84].

Cơ sở hạ tầng của SIARNN dựa trên việc đào tạo mô hình ARNN thông qua các kỹ thuật SI. Nhưng vì luôn có trạng thái cạnh tranh giữa các kỹ thuật SI khác nhau để có giải pháp tốt hơn cho các vấn đề mục tiêu, SIARNN đã được cấu trúc để bao gồm việc chạy các kỹ thuật SI khác nhau trên cùng một mô hình ARNN để tìm ra giải pháp tốt nhất cho dữ liệu chẩn đoán y tế cụ thể. Trong bối cảnh này, SIARNN xem xét các quy tắc sau cho quá trình chẩn đoán:

• Đọc dữ liệu chẩn đoán bệnh mục tiêu để xác định mức độ phức tạp của bệnh mục tiêu,

• Liệt kê và xác định các kỹ thuật SI hoạt động tốt nhất trong quá khứ cho bệnh mục tiêu,

• Dựa trên các tham số mặc định hoặc do người dùng xác định, hãy bắt đầu thực hiện trích xuất tính năng với từng kỹ thuật SI và cung cấp ARNN,

• Đánh giá hiệu suất của từng tổ hợp ARNN-SI lai để chẩn đoán bệnh mục tiêu.

Dựa trên các quy tắc đã đề cập, thuật toán chạy mặc định của SIARNN được trình bày trong Hình 3.

Diagram

Description automatically generatedHình 3. Thuật toán chạy của SIARNN

Việc lựa chọn tính năng theo từng kỹ thuật SI được thực hiện thông qua các hạt bằng cách đánh giá kết quả của các tính năng khác nhau qua (các) chỉ số đánh giá (tức là Phương trình 2: Độ chính xác trong nghiên cứu này) liên quan đến chẩn đoán của ARNN (chẩn đoán trong nghiên cứu này là một phương pháp phân loại điển hình ).

Hệ thống SIARNN trong nghiên cứu của nghiên cứu này bao gồm năm kỹ thuật SI khác nhau. Bản chất của các kỹ thuật này được giải thích ngắn gọn như sau:

#### 3.2.1. Đàn ong nhân tạo – Artificial Bee Colony

Đàn ong nhân tạo (ABC) là một kỹ thuật tối ưu hóa thông minh phổ biến, được giới thiệu bởi Karaboga và Basturk [85]. ABC lấy cảm hứng ngắn gọn từ ong mật và cung cấp cách tiếp cận dựa trên vai trò để xử lý các vấn đề tối ưu hóa nâng cao. Cụ thể, ABC sử dụng các quy trình tối ưu hóa dưới dạng mô phỏng toán học, đơn giản về hành vi tìm kiếm thức ăn do ong thể hiện. Các đặc điểm cơ bản của ABC có thể được diễn đạt ngắn gọn như sau [85–87]:

• Luồng thuật toán được liên kết với sự tương tác giữa các hạt (ong) và nguồn mật hoa thức ăn tương ứng với các giá trị được tìm thấy trong không gian giải pháp.

• Có ba vai trò cho các hạt-ong; một con ong có thể là ong thợ, ong quan sát hoặc ong trinh sát. Nói chung, tất cả các con ong đều tìm kiếm (các) giá trị tối ưu bằng cách tương tác lẫn nhau.

• Sau khi những con ong được tuyển dụng tìm thấy một số giá trị - mật hoa, chúng sẽ thực hiện các động tác nhảy múa để thu hút ong xem và nếu điều đó là phù hợp, một số ong xem sẽ trở thành ong được tuyển dụng bằng cách diễn ra ở vị trí của ong được tuyển dụng.

• Ngoài sự tương tác giữa những con ong làm việc và những con ong quan sát, những con ong trinh sát chỉ tìm kiếm ngẫu nhiên (những) giá trị tốt hơn. Trong suốt quá trình thuật toán, những con ong được tuyển dụng, những con không thể cải thiện hơn nữa, sẽ được chuyển thành những con ong trinh sát. Về ABC, có thể tham khảo thêm thông tin từ các nguồn: [85, 87, 88].

#### 3.2.2. Thuật toán tối ưu hóa dòng xoáy – Vortex Optimization Algorithm

Theo giới thiệu của Kose và Arslan [89, 90], Thuật toán tối ưu hóa dòng xoáy (VOA) dựa trên động lực học của các dòng xoáy trong tự nhiên. Vì không dựa trên một loại sinh vật sống cụ thể, VOA coi các hạt này đóng vai trò là 'dòng chảy bình thường' hoặc 'xoáy'. Theo trạng thái của hạt, cơ chế loại bỏ theo định hướng tiến hóa của kỹ thuật cố gắng thu được các hạt tốt đủ hiệu quả để tìm (các) giải pháp tối ưu mong muốn. Có thể kể đến một số đặc điểm nổi bật của VOA như sau [89, 90]:

• Thông qua quá trình lặp lại, vai trò của một hạt có thể thay đổi thành dòng chảy bình thường hoặc dòng xoáy, tùy theo hiệu suất của nó.

• Dòng xoáy có giá trị tốt hơn theo dòng chảy thông thường. Vì vậy, các hạt dòng chảy bình thường có xu hướng di chuyển về phía các xoáy.

• Toàn bộ quần thể hạt được làm mới một phần bằng cách loại bỏ các hạt xấu nhất và định vị các hạt mới trong không gian dung dịch.

• VOA cũng sử dụng phương pháp tối ưu hóa trong hệ thống để xử lý các vấn đề tối ưu hóa khó và nâng cao.

Để biết thêm chi tiết về VOA, độc giả có thể tham khảo các nguồn: [89–91].

#### 3.2.3. Cuckoo Search

Cuckoo Search (CS) là một kỹ thuật tối ưu hóa thông minh khác dựa trên hành vi ký sinh của chim bố mẹ được thể hiện bởi một số loài chim cu gáy. CS được giới thiệu bởi Yang và Deb [92] và nó chủ yếu tập trung vào việc nhân giống chim cu cu do có liên quan đến ký sinh trùng. Cùng với quá trình tối ưu hóa, các hạt (chim cu gáy) cố gắng tiếp tục sinh sản bằng cách đi qua các giá trị thay đổi, đó là các tổ có trứng. Theo nghĩa này, một số tính năng của CS như sau [92, 93]:

• Mỗi con chim cu gáy có thể có một quả trứng và quả trứng đó có thể được đặt vào một tổ ngẫu nhiên trong quá trình tìm kiếm trong không gian giải pháp. Tại thời điểm này, các tổ được chim cu cu tìm thấy có giá trị, được cho là (các) giải pháp tối ưu.

• Nhờ một số bước toán học và logic, chim cu gáy cố gắng tìm tổ tốt hơn và loại bỏ trứng lạ. Các tổ hợp giá trị tốt hơn được đưa đến các thế hệ tiếp theo trong quá trình thuật toán.

• Điều đáng chú ý là cơ chế tìm kiếm trong CS được thực hiện thông qua Levy Flights, đây là một loại cơ chế tìm kiếm ngẫu nhiên, lấy cảm hứng từ chuyển động của nhiều sinh vật sống trong cuộc sống [94].

Thông tin chi tiết về cấu trúc thuật toán và cơ chế giải pháp của CS có thể được tìm thấy tại [92, 95, 96].

#### 3.2.4. Tối ưu hóa Ant-Lion – Ant-Lion Optimizer

Ant-Lion Optimizer (ALO) là một kỹ thuật-thuật toán rất mới để tối ưu hóa thông minh. Như được phát triển bởi Mirjalili [97], ALO sử dụng cơ chế giải pháp bằng cách mô phỏng hành vi săn mồi của kiến sư tử trong giai đoạn ấu trùng của chúng. Tóm lại, kiến sư tử xây bẫy dưới đất để săn kiến. Hành vi đó là nguyên nhân để gọi loài côn trùng này là kiến sư tử. ALO bao gồm các bước thuật toán để đảm bảo sự tương tác giữa kiến và kiến sư tử, là các phần tử để tìm kiếm và giữ các giá trị tối ưu tiềm năng. Xem xét thuật toán, một số điểm quan trọng như sau [98, 99]:

• Cả kiến và sư tử đều chịu trách nhiệm tìm kiếm các giá trị trong không gian lời giải.

• Trong quá trình tìm kiếm, phương pháp đi bộ ngẫu nhiên được sử dụng để thay đổi vị trí-giá trị.

• Hành vi bẫy kiến của kiến sư tử chỉ là điều chỉnh vị trí của kiến sư tử (các giá trị để tính toán mức độ phù hợp) với kiến mục tiêu, có vẻ như có (các) giá trị tốt.

Thông tin chi tiết về thuật toán này có thể được tìm thấy tại các nguồn: [97–99].

#### 3.2.5 Thuật toán tìm kiếm điện – Electro-Search Algorithm

Được giới thiệu bởi Tabari và Ahmad [100], Electro-Search Algorithm (ESA) là kỹ thuật gần đây nhất được sử dụng trong nghiên cứu của nghiên cứu này. ESA xem xét ngắn gọn chuyển động của các electron có quỹ đạo xung quanh hạt nhân nguyên tử và cung cấp một cách thuật toán cho các bài toán tối ưu hóa. Quá trình giải pháp là một hỗn hợp của các hạt định vị (nguyên tử), chuyển đổi giữa các quỹ đạo và cập nhật vị trí hạt nhân. Một số tính năng đáng chú ý của ESA như sau [100]:

• ESA sử dụng cơ chế toán học trong một số nguyên tắc đã biết như Mô hình Bohr hoặc Công thức Rydberg và cung cấp một quy trình giải pháp có cấu trúc tốt.

• Nguyên tử là giải pháp tiềm năng trong đó quỹ đạo của các electron và vị trí hạt nhân là (các) giá trị thành phần được xác định trong quá trình tối ưu hóa.

• ESA sử dụng phương pháp tối ưu hóa trong hệ thống được gọi là Orbital-Tuner để đảm bảo rằng các giá trị tham số ban đầu không ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất (giống như các thuật toán-kỹ thuật SI khác).

Độc giả tham khảo [100] để biết thêm chi tiết về ESA.

Xem xét các thuật toán-kỹ thuật SI, ta thấy SIARNN đã được phát triển bằng cách sử dụng ngôn ngữ lập trình Python. Vì đây là một cách tiếp cận mô-đun đã được tuân theo và sử dụng hiệu quả. Phần tiếp theo trình bày một số thông tin về thiết kế chung của SIARNN theo cách này.

## 4. Thiết kế của SIARNN

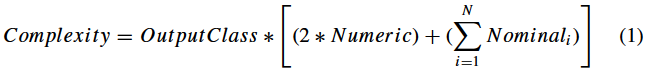
SIARNN đã được mã hóa bằng cách sử dụng ngôn ngữ lập trình Python, được cho là môi trường đủ nhanh và toàn diện để chạy một hệ thống bao gồm các kỹ thuật Trí tuệ nhân tạo khác nhau cùng chạy. Giống như nhiều ứng dụng tương tự được thực hiện thông qua Python, một số thư viện nổi tiếng cũng được đưa vào khi thiết kế toàn bộ cơ chế SIARNN. Đối với các phiên bản tiếp theo của hệ thống và các bổ sung mã điều chỉnh hiệu suất, một phương pháp mô-đun, theo sau việc sử dụng các mô-đun-tệp mã riêng biệt, đã được xây dựng. Một số ghi chú thiết kế đáng chú ý cho SIARNN như sau:

• Numpy và SciPy là hai thư viện Python nổi tiếng được sử dụng trong SIARNN, đặc biệt dành cho các tính toán khoa học-toán học trong các quy trình giải.

• SIARNN sử dụng tệp Root.py làm cơ chế kiểm soát trung tâm của hệ thống.

Tất cả các mô-đun khác bao gồm cả phía Trí tuệ nhân tạo đều được kết nối với tệp đó.

• DataProblemSet.py được sử dụng để đánh giá tập dữ liệu đích, tính toán độ phức tạp và đặt các biến vấn đề ban đầu hoặc các thành phần kỹ thuật SI trước khi chạy tối ưu hóa. Phép tính độ phức tạp sau đây được sử dụng cho từng bộ dữ liệu bệnh mục tiêu:

 Trong phương trình (1), OutputClass là viết tắt của tổng số lớp trong thuộc tính đầu ra, Numeric là viết tắt của tổng số thuộc tính đầu vào có số thực và Danh nghĩa là tổng số lớp cho mỗi thuộc tính đầu vào có giá trị danh nghĩa. Có thể hiểu, sự đa dạng về các lớp khác nhau hoặc số thuộc tính số gây ra sự phức tạp hơn. Giá trị được tính toán sau đó được hệ thống sử dụng để cải thiện hiệu quả của hệ thống trong các ứng dụng mới.

Nếu dữ liệu bệnh đã được đánh giá trước đó được sử dụng lại để chẩn đoán, thì kỹ thuật SI có điểm thành công cao nhất sẽ được sử dụng trực tiếp (nếu người dùng chỉ muốn SIARNN thực hiện chẩn đoán cho dữ liệu đầu vào đích). Mặt khác, thứ tự của các kỹ thuật SI để chạy với ARNN được xác định theo sự tương đồng giữa các giá trị độ phức tạp trong quá khứ được giải quyết bởi từng kỹ thuật SI và giá trị độ phức tạp hiện tại.

Sự tương đương trong các điểm tương đồng gây ra thứ tự ngẫu nhiên hoặc xác định thứ tự theo điểm thành công và/hoặc thứ hạng.

• Performance.py được sử dụng để phát hiện tổ hợp ARNN-SI hoạt động tốt nhất và lưu trữ dữ liệu cho các hoạt động chẩn đoán trước đây. Dữ liệu được lưu trữ bao gồm thứ hạng của từng kỹ thuật SI cho dữ liệu bệnh mục tiêu, điểm thành công chung của từng kỹ thuật SI (thứ nhất chiếm 4 điểm, thứ 2 chiếm 2 điểm và thứ 3 chiếm 1 điểm trong khi các kỹ thuật khác 0 điểm) và độ phức tạp của phương pháp được sử dụng bộ dữ liệu bệnh tật.

• Kỹ thuật ARNN và SI ở dạng tệp riêng biệt. Miễn là các tham số của Root.py và ProblemSet.py được đáp ứng, các kỹ thuật SI riêng biệt có thể được mã hóa thành các tệp .py riêng biệt để đưa vào cơ sở hạ tầng SIARNN.

Hình 4 trình bày sơ đồ chung về thiết kế mã SIARNN và mối quan hệ giữa các mô-đun SIARNN.

Nhờ thiết kế mã Python hiện tại, SIARNN có thể được chạy bằng cách chỉ đưa ra các tham số thích hợp trên bảng điều khiển. Đối với người dùng SIARNN chưa có kinh nghiệm, có thể chạy hệ thống bằng cách cung cấp một số tham số cụ thể (chẳng hạn như số hạt, số lần lặp) và dữ liệu đích nhưng hệ thống cho phép người dùng nâng cao xác định bất kỳ tham số cụ thể nào, chẳng hạn như tham số cho từng SIARNN khác nhau. kỹ thuật-thuật toán hay mô hình ARNN.

## 5. Ứng dụng và Đánh giá

Điều quan trọng là phải có ý tưởng về hiệu suất của SIARNN trong bối cảnh chẩn đoán y tế. Để đạt được điều đó, SIARNN đã được áp dụng cho một số bộ dữ liệu về bệnh y tế và các giá trị hoạt động tốt nhất của SIARNN đã được đánh giá tương ứng. Ngoài ra, những giá trị hoạt động tốt nhất đó được so sánh với hiệu suất của một số kỹ thuật thay thế. Các phần phụ tiếp theo cung cấp thông tin về tất cả các giai đoạn Diagram

Description automatically generatednày.

Hình 4. Thiết kế về cơ sở hạ tầng của SIARNN

### 5.1. Ứng dụng chẩn đoán y tế với SIARNN

Hiệu suất chẩn đoán y tế của SIARNN đã được đánh giá bằng cách xem xét bốn bộ dữ liệu bệnh khác nhau từ Kho lưu trữ học máy của UCI [101]. Là tập dữ liệu đầu tiên, Bệnh tiểu đường của người da đỏ Pima bao gồm 8 thuộc tính với 614 dữ liệu huấn luyện và 154 dữ liệu thử nghiệm. Là tập dữ liệu thứ hai, Tuyến giáp bao gồm 21 thuộc tính và cung cấp 2800 dữ liệu huấn luyện và 972 dữ liệu thử nghiệm. Tập dữ liệu thứ ba, Viêm gan sử dụng 19 thuộc tính trong 100 dữ liệu đào tạo và 55 dữ liệu thử nghiệm. Cuối cùng, bộ dữ liệu Bệnh thận mãn tính dựa trên 25 thuộc tính trong 295 dữ liệu huấn luyện và 105 dữ liệu thử nghiệm. Tất cả các bộ dữ liệu phân loại các giá trị tương ứng cho các thuộc tính đầu vào của chúng là 0: người khỏe mạnh hoặc 1: người mắc bệnh tại thuộc tính đầu ra.

Đối với các ứng dụng chẩn đoán, tất cả các kỹ thuật SI sử dụng 120 hạt và các tham số của chúng được đặt thành các giá trị mặc định được báo cáo trong tài liệu. Sau các giai đoạn trích xuất tính năng trong mỗi bộ dữ liệu bệnh, hiệu suất của SIARNN với kỹ thuật SI khác nhau được đánh giá với dữ liệu thử nghiệm, bằng cách xem xét phép tính tỷ lệ chính xác đơn giản trong biểu thức. (2). Trong phương trình liên quan, TC là viết tắt của phân loại đúng của dữ liệu đích (dù nó là 0 hay 1 ở đầu A picture containing box and whisker chart

Description automatically generatedra) và FC là phân loại sai:

Dựa trên từng kỹ thuật trong số năm kỹ thuật SI, hiệu suất chẩn đoán của các hệ thống SIARNN được cung cấp trong Bảng 1. Như đã biết, SIARNN đã xác định tổ hợp ARNN-SI hoạt động tốt nhất khi kết thúc chạy các tổ hợp khác nhau. Vì vậy, Bảng 1 hiển thị tỷ lệ chính xác và xếp hạng cho tất cả năm kết hợp ARNN-SI của SIARNN trong khi các giá trị cho kết hợp tốt nhất được chọn (xếp hạng là 1) trong mỗi bộ dữ liệu bệnh (chẩn đoán) được hiển thị theo kiểu in đậm.

Chuyển từ Bảng 1, có thể bày tỏ rằng có những hoạt động tốt nhờ các kết hợp ARNN-SI khác nhau để chẩn đoán bốn bệnh khác nhau. Tuy nhiên, các mô hình ARNN với ALO và CS nói chung vượt trội hơn các mô hình khác.

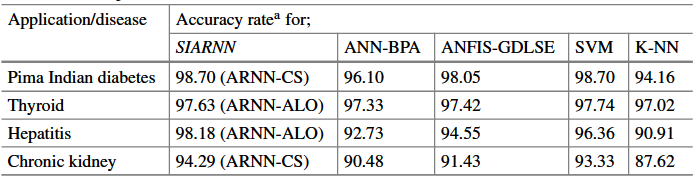
Table

Description automatically generatedBảng 1. Hiệu suất SIARNN trong mỗi ứng dụng chẩn đoán y tế

### 5.2. Đánh giá so sánh

Để đánh giá SIARNN hơn nữa, nó được so sánh với một số kỹ thuật Trí tuệ nhân tạo bổ sung. Tại thời điểm này, kết quả hoạt động tốt nhất của ARNN-ALO và ARNN-CS (Bảng 1) được so sánh với kết quả của bốn kỹ thuật bổ sung. Trong bối cảnh này, mô hình Mạng thần kinh nhân tạo Perceptron nhiều lớp truyền thống được đào tạo thông qua Thuật toán lan truyền ngược (ANN-BPA) [102, 103], mô hình ANFIS mặc định được đào tạo bởi Công cụ ước tính độ dốc gốc và bình phương nhỏ nhất (ANFIS-GDLSE) [104, 105], Máy vectơ hỗ trợ (SVM) [106, 107] và thuật toán K-Láng giềng gần nhất (K-NN) [108, 109] được đưa vào để so sánh. Kết quả về tỷ lệ chẩn đoán chính xác của từng kỹ thuật được trình bày trong Bảng 2 (các giá trị tốt nhất được in đậm).

Như có thể thấy từ Bảng 2, các phát hiện SIARNN hoạt động tốt nhất thường tốt hơn các kỹ thuật thay thế từ tài liệu. Bằng cách xem xét cả hai Bảng 1, và 2, có thể nói rằng hệ thống SIARNN đã hình thành có thể thực hiện chẩn đoán y tế hiệu quả cho các bộ dữ liệu bệnh khác nhau. Hơn nữa, thật dễ dàng để làm việc với SIARNN vì nó có thể xác định tổ hợp ARNN-SI hoạt động tốt nhất cho tập dữ liệu đích. Lợi thế đó rất quan trọng đối với người dùng đặc biệt, những người không biết loại hệ thống định hướng Trí tuệ nhân tạo nào đang hoạt động trên nền nhưng chờ hiệu suất chẩn đoán đủ tốt nhờ sự hỗ trợ của máy tính.

Bảng 2. Đánh giá so sánh với SIARNN, ANN-BPA, ANFIS-GDLSE, SVM và K-NN

## 6. Kết quả và công việc trong tương lai

Trong chương này, Mạng thần kinh tái phát (ARNN) dựa trên bộ mã hóa tự động hỗ trợ Trí tuệ bầy đàn (SI) đã được giới thiệu cho các quy trình chẩn đoán y tế. Cụ thể, hệ thống bao gồm một số thuật toán SI được xác định trước để thực hiện các phiên trích xuất tính năng để cung cấp ARNN dựa trên tập dữ liệu đích. Nó tự động phát hiện tổ hợp ARNN và SI hoạt động tốt nhất để có kết quả cuối cùng tốt hơn. Hệ thống được mã hóa bằng ngôn ngữ lập trình Python theo cách mô-đun và nó được hỗ trợ với năm thuật toán SI khác nhau: Thuộc địa ong nhân tạo (ABC), Thuật toán tối ưu hóa xoáy (VOA), Tìm kiếm chim cúc cu (CS), Trình tối ưu hóa Ant-Lion (ALO) và Thuật toán tìm kiếm điện tử (ESA). Được gọi ngắn gọn là Mạng thần kinh tái phát dựa trên bộ mã hóa tự động hỗ trợ Trí thông minh Swarm (SIARNN), đây là một môi trường chẩn đoán y tế điển hình, có thể được cải thiện trong các phiên bản tương lai.

Để hiểu thêm về sự thành công của SIARNN, nó đã được đánh giá bằng cách sử dụng bốn bộ dữ liệu bệnh y tế khác nhau. Theo các phát hiện, SIARNN có thể chẩn đoán thành công các bệnh mục tiêu nhờ cơ sở hạ tầng linh hoạt cho phép phát hiện sự kết hợp thuật toán ARNN và SI tốt nhất. Người ta thấy rằng SIARNN đặc biệt là ALO và CS có thể đạt được chẩn đoán tốt hơn so với các thuật toán-kỹ thuật SI khác. Ngoài ra, so sánh được thực hiện với SIARNN và một số kỹ thuật Trí tuệ nhân tạo khác cho thấy SIARNN có thể là một công cụ hiệu quả để chẩn đoán y tế thông minh.

Kết quả đặc biệt tích cực là dấu hiệu quan trọng để suy nghĩ về các công việc trong tương lai. Trong bối cảnh này, SIARNN có thể được hỗ trợ với các thuật toán SI bổ sung và các mô-đun mới (về mặt lập trình) cho các tính năng và chức năng mới (tức là tối ưu hóa tham số trong hệ thống, cấu trúc mạng thần kinh linh hoạt). Ngoài ra, hệ thống có thể được đánh giá với các bộ dữ liệu bổ sung để hiểu thêm về sự thành công đối với các bệnh khác nhau. Mặt khác, có thể có nhiều nhiệm vụ đánh giá hơn cho các trường hợp khác nhau, chẳng hạn như thời gian xử lý chung và hiệu suất đối với các loại dữ liệu y tế khác nhau, tính linh hoạt của hệ thống đối với các nguồn khác nhau, v.v. Cuối cùng, cũng có thể có những nỗ lực trong tương lai để phát triển các hệ thống chẩn đoán y tế tương tự bằng cách bao gồm các mạng thần kinh định hướng Deep Learning (DL) thay thế.

## 7. Tổng kết

Điều quan trọng là lĩnh vực trí tuệ nhân tạo luôn có mối quan hệ chặt chẽ với các lĩnh vực nghiên cứu khác nhau liên quan đến các phương pháp xử lý dữ liệu đặc biệt. Bởi vì các quy trình máy học/học sâu thực sự là các vấn đề tối ưu hóa cần được giải quyết, nên các thuật toán—kỹ thuật tối ưu hóa cũng đã được sử dụng để cải thiện khả năng của các kỹ thuật đã biết. Theo đó, trí thông minh bầy đàn đã là một công cụ thành công để thiết kế các hệ thống lai, ngoài các phương pháp hình thành hệ thống lai thay thế được thực hiện bằng cách sử dụng các kỹ thuật tính toán ngoài lĩnh vực trí tuệ nhân tạo.

Chương này cung cấp cách sử dụng điển hình Trí thông minh bầy đàn (SI) trong một giải pháp học sâu để chẩn đoán y tế dẫn đến hỗ trợ ra quyết định. Theo nghĩa này, Mạng thần kinh tái phát dựa trên bộ mã hóa tự động (ARNN) đã được giới thiệu cho các quy trình chẩn đoán y tế, do SI đào tạo. Được gọi ngắn gọn là Mạng thần kinh tái phát dựa trên bộ mã hóa tự động hỗ trợ Swarm Intelligence (SIARNN), hệ thống được phát triển bao gồm một số thuật toán SI được xác định trước để đảm bảo các phiên trích xuất tính năng để cung cấp ARNN dựa trên tập dữ liệu đích. Nó tự động phát hiện tổ hợp ARNN và SI hoạt động tốt nhất để có kết quả cuối cùng tốt hơn. Điều quan trọng là SIARNN đã được sử dụng cho các bộ dữ liệu chẩn đoán khác nhau và nó cung cấp đủ kết quả thành công để đạt được giải pháp đa bệnh/đa chẩn đoán ở giai đoạn cuối. Hệ thống được mã hóa bằng ngôn ngữ lập trình Python theo cách mô-đun và phiên bản hiện tại của nó bao gồm năm thuật toán SI khác nhau: Thuộc địa ong nhân tạo (ABC), Thuật toán tối ưu hóa xoáy (VOA), Tìm kiếm chim cúc cu (CS), Trình tối ưu hóa Ant-Lion (ALO) và Thuật toán tìm kiếm điện tử (ESA). Tất nhiên, nó mở ra cho những cải tiến trong tương lai để có tỷ lệ chẩn đoán tốt hơn và hình thành một môi trường chẩn đoán lớn hơn.

Vì các chương cho đến nay đã chỉ ra sự hỗ trợ chẩn đoán của các giải pháp học sâu đối với các bệnh có triệu chứng và dấu hiệu thường được biết đến để phân tích bằng các phương pháp vật lý. Mặt khác, một ứng dụng quan trọng của các hệ thống hỗ trợ quyết định y tế là trong bối cảnh của các phương pháp tiếp cận tâm lý vì con người cũng có các vấn đề về tinh thần và tâm lý do các yếu tố khác nhau. Vì đó là một cách chẩn đoán y tế rất cụ thể, khác biệt và phức tạp, nên vai trò của học sâu cũng cần được giải thích tương ứng. Trong các trang tiếp theo của chương sau sẽ cung cấp một hệ thống hỗ trợ tâm lý cá nhân dựa trên phương pháp học sâu.

## 8. Tài liệu tham khảo.

1. E. Alpaydin, Introduction to Machine Learning (MIT Press, Cambridge, MA, 2009)

2. P. Harrington, Machine Learning in Action (Manning Publications Co., New York, US, 2012)

3. E. Bonabeau, D.D.R.D.F. Marco, M. Dorigo, G. Theraulaz, Swarm Intelligence: From Natural to Artiﬁcial Systems (No. 1) (Oxford University Press, Oxford, 1999)

4. X.S. Yang, Z. Cui, R. Xiao, A.H. Gandomi, M. Karamanoglu (eds.), Swarm Intelligence and Bio-inspired Computation: Theory and Applications (Newnes, London, 2013)

5. G. Lakemeyer, B. Nebel (eds.), Exploring Artiﬁcial Intelligence in the New Millennium (Morgan Kaufmann, Los Altos, CA, 2003)

6. B. Thuraisingham, Data Mining: Technologies, Techniques, Tools, and Trends. (CRC Press, London, 2014)

7. M. Brady, L.A. Gerhardt, H.F. Davidson (eds.), Robotics and Artiﬁcial Intelligence, vol. 11 (Springer, New York, 2012)

8. A. Ghosal, Robotics: Fundamental Concepts and Analysis (Oxford University Press, Oxford, 2006)

9. A. Abraham, E. Corchado, J.M. Corchado, Hybrid learning machines. Neurocomputing 72(13–15), 2729–2730 (2009)

10. S. Wermter, Hybrid Neural Systems (No. 1778) (Springer, New York, 2000)

11. L.R. Medsker, Hybrid Intelligent Systems (Springer, New York, 2012)

12. C. Grosan, A. Abraham, Hybrid evolutionary algorithms: methodologies, architectures, and reviews, Hybrid Evolutionary Algorithms (Springer, Berlin, Heidelberg, 2007), pp. 1–17

13. S. Sahin, M.R. Tolun, R. Hassanpour, Hybrid expert systems: A survey of current approaches and applications. Expert Syst. Appl. 39(4), 4609–4617 (2012)

14. F. Jiang, Y. Jiang, H. Zhi, Y. Dong, H. Li, S. Ma, …, Y. Wang, Artiﬁcial intelligence in healthcare: past, present and future. Stroke Vasc. Neurol. 2(4), 230–243 (2017)

15. P.L. Miller (ed.), Selected Topics in Medical Artiﬁcial Intelligence (Springer, New York, 2012)

16. D.D. Luxton (ed.), Artiﬁcial Intelligence in Behavioral and Mental Health Care (Elsevier,

Amsterdam, 2015)

17. P. Hamet, J. Tremblay, Artiﬁcial intelligence in medicine. Metabolism 69, S36–S40 (2017)

18. P.J. Lisboa, A.F. Taktak, The use of artiﬁcial neural networks in decision support in cancer: A systematic review. Neural Networks 19(4), 408–415 (2006)

19. M. Hengstler, E. Enkel, S. Duelli, Applied artiﬁcial intelligence and trust—the case of autonomous vehicles and medical assistance devices. Technol. Forecast. Soc. Chang. 105, 105–120 (2016)

20. F. Amato, A. López, E.M. Peña-Méndez, P. Vanˇhara, A. Hampl, J. Havel, Artiﬁcial neural networks in medical diagnosis. J. Appl. Biomed. 11(2), 47–58 (2013)

21. Q.K. Al-Shayea, Artiﬁcial neural networks in medical diagnosis. Int. J. Comput. Sci. Issues 8(2), 150–154 (2011)

22. E.H. Shortliffe, M.J. Sepúlveda, Clinical decision support in the era of artiﬁcial intelligence. JAMA 320(21), 2199–2200 (2018)

23. C.C. Bennett, T.W. Doub, Expert systems in mental health care: AI applications in decision-making and consultation, Artiﬁcial Intelligence in Behavioral and Mental Health Care (Academic Press, London, 2016), pp. 27–51

24. C. Yao, Y. Qu, B. Jin, L. Guo, C. Li, W. Cui, L. Feng, A convolutional neural network model for online medical guidance. IEEE Access 4, 4094–4103 (2016)

25. Y. Jing, Y. Bian, Z. Hu, L. Wang, X.Q.S. Xie, Deep learning for drug design: an artiﬁcial intelligence paradigm for drug discovery in the big data era. AAPS J 20(3), 58 (2018)

26. A.C. Bovik, Handbook of Image and Video Processing. (Elsevier Academic Press, 2010)

27. T.K. Moon, W.C. Stirling, Mathematical Methods and Algorithms for Signal Processing (Vol. 1) (Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2000)

28. O. Erkaymaz, M. Ozer, M. Perc, Performance of small-world feedforward neural networks for the diagnosis of diabetes. Appl. Math. Comput. 311, 22–28 (2017)

29. O. Erkaymaz, M. Ozer, Impact of small-world network topology on the conventional artiﬁcial neural network for the diagnosis of diabetes. Chaos, Solitons Fractals 83, 178–185 (2016)

30. O. Er, O. Cetin, M.S. Bascil, F. Temurtas, A Comparative study on Parkinson’s disease diag- nosis using neural networks and artiﬁcial immune system. J. Med. Imaging Health Inf. 6(1), 264–268 (2016)

31. N. Yalcin, G. Tezel, C. Karakuzu, Epilepsy diagnosis using artiﬁcial neural network learned by PSO. Turk. J. Electr. Eng. Comput. Sci. 23(2), 421–432 (2015)

32. U. Kose, An Ant-Lion optimizer-trained artiﬁcial neural network system for chaotic electroencephalogram (EEG) Prediction. Appl. Sci. 8(9), 1613 (2018)

33. J.A.M. Saucedo, J.D. Hemanth, U. Kose, Prediction of electroencephalogram time series with electro-search optimization algorithm trained adaptive neuro-fuzzy inference system. IEEE Access 7, 15832–15844 (2019)

34. B. Procopet, V.M. Cristea, M.A. Robic, M. Grigorescu, P.S. Agachi, S. Metivier, … J.P. Vinel, “Serum tests, liver stiffness and artiﬁcial neural networks for diagnosing cirrhosis and portal hypertension. Dig. Liver Dis. 47(5), 411–416 (2015)

35. A. Badnjevic´, L. Gurbeta, M. Cifrek, D. Marjanovic, Classiﬁcation of asthma using artiﬁcial neural network, in 2016 39th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO). (IEEE, 2016), pp. 387–390

36. E.O. Olaniyi, O.K. Oyedotun, K. Adnan, Heart diseases diagnosis using neural networks arbitration. Int. J. Intell. Syst. Appl. 7(12), 72 (2015)

37. P. Dande, P. Samant, Acquaintance to artiﬁcial Neural Networks and use of artiﬁcial intelligence as a diagnostic tool for tuberculosis: a review. Tuberculosis 108, 1–9 (2018)

38. S.K. Pandey, R.R. Janghel, ECG arrhythmia classiﬁcation using artiﬁcial neural networks, in Proceedings of 2nd International Conference on Communication, Computing and Networking. (Springer, Singapore, 2019), pp. 645–652

39. S.F. Cankaya, I.A. Cankaya, T. Yigit, A. Koyun, Diabetes diagnosis system based on support vector machines trained by vortex optimization algorithm, in Nature-Inspired Intelligent Techniques for Solving Biomedical Engineering Problems. (IGI Global, 2018), pp. 203–218

40. N. Zeng, H. Qiu, Z. Wang, W. Liu, H. Zhang, Y. Li, A new switching-delayed-PSO-based optimized SVM algorithm for diagnosis of Alzheimer’s disease. Neurocomputing 320, 195– 202 (2018)

41. T. Santhanam, M.S. Padmavathi, Application of K-means and genetic algorithms for dimen- sion reduction by integrating SVM for diabetes diagnosis. Proc. Comput. Sci. 47, 76–83 (2015)

42. A.D. Dolatabadi, S.E.Z. Khadem, B.M. Asl, Automated diagnosis of coronary artery disease (CAD) patients using optimized SVM. Comput. Methods Programs Biomed. 138, 117–126 (2017)

43. A. Subasi, E. Alickovic, J. Kevric, Diagnosis of chronic kidney disease by using random forest, in CMBEBIH 2017. (Springer, Singapore, 2017), pp. 589–594

44. B. Dai, R.C. Chen, S.Z. Zhu, W.W. Zhang, Using random forest algorithm for breast cancer diagnosis, in 2018 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C). (IEEE, 2018), pp. 449–452

45. Z. Hu, J. Tang, Z. Wang, K. Zhang, L. Zhang, Q. Sun, Deep learning for image-based cancer detection and diagnosis—a survey. Pattern Recogn. 83, 134–149 (2018)

46. X. Li, S. Zhang, Q. Zhang, X. Wei, Y. Pan, J. Zhao, …, F. Yang, Diagnosis of thyroid cancer using deep convolutional neural network models applied to sonographic images: a retrospective, multicohort, diagnostic study. Lancet Oncol. 20(2), 193–201 (2019)

47. I. Reda, A. Khalil, M. Elmogy, A. Abou El-Fetouh, A. Shalaby, M. Abou El-Ghar, …, A. El-Baz, Deep learning role in early diagnosis of prostate cancer. Technol. Cancer Res. Treat. 17, 1533034618775530 (2018)

48. O. Deperlioglu, Classiﬁcation of phonocardiograms with convolutional neural networks. BRAIN. Broad Res. Artif. Intell. Neurosci. 9(2), 22–33 (2018)

49. J.R. Burt, N. Torosdagli, N. Khosravan, H. RaviPrakash, A. Mortazi, F. Tissavirasingham, …, U. Bagci, Deep learning beyond cats and dogs: recent advances in diagnosing breast cancer with deep neural networks. British J. Radiol. 91(1089), 20170545 (2018)

50. S. Azizi, F. Imani, B. Zhuang, A. Tahmasebi, J.T. Kwak, S. Xu, …, B. Wood, Ultrasound-based detection of prostate cancer using automatic feature selection with deep belief networks. In International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention. (Springer, Cham, 2015), pp. 70–77

51. A.M. Abdel-Zaher, A.M. Eldeib, Breast cancer classiﬁcation using deep belief networks. Expert Syst. Appl. 46, 139–144 (2016)

52. M.A. Al-antari, M.A. Al-masni, S.U. Park, J. Park, M.K. Metwally, Y.M. Kadah, …, T.S. Kim, An automatic computer-aided diagnosis system for breast cancer in digital mammograms via deep belief network. J. Med. Biol. Eng. 38(3), 443–456 (2018)

53. S. Khan, N. Islam, Z. Jan, I.U. Din, J.J.C. Rodrigues, A novel deep learning based framework for the detection and classiﬁcation of breast cancer using transfer learning. Pattern Recogn. Lett. 125, 1–6 (2019)

54. C.J. Wang, C.A. Hamm, B.S. Letzen, J.S. Duncan, A probabilistic approach for interpretable deep learning in liver cancer diagnosis, in Medical Imaging 2019: Computer-Aided Diagnosis (Vol. 10950). (International Society for Optics and Photonics, 2019), p. 109500U

55. A. Yala, C. Lehman, T. Schuster, T. Portnoi, R. Barzilay, A deep learning mammography-based model for improved breast cancer risk prediction. Radiology, 182716 (2019)

56. E.J. Ha, J.H. Baek, D.G. Na, Deep convolutional neural network models for the diagnosis of thyroid cancer. Lancet Oncol. 20(3), e130 (2019)

57. A. Cheng, Y. Kim, E. M. Anas, A. Rahmim, E.M. Boctor, R. Seifabadi, B.J. Wood, Deep learning image reconstruction method for limited-angle ultrasound tomography in prostate cancer, in Medical Imaging 2019: Ultrasonic Imaging and Tomography, vol. 10955. (International Society for Optics and Photonics, 2019), p. 1095516

58. A. Kharrat, M. Néji, Classiﬁcation of brain tumors using personalized deep belief networks on MRImages: PDBN-MRI, in 11th International Conference on Machine Vision (ICMV 2018), vol. 11041. (International Society for Optics and Photonics, 2019), p. 110412 M

59. N.A. Ali, A.R. Syafeeza, L.J. Geok, Y.C. Wong, N.A. Hamid, A.S. Jaafar, Design of automated computer-aided classiﬁcation of brain tumor using deep learning, in Intelligent and Interactive Computing (Springer, Singapore, 2019), pp. 285–291

60. P. Thirumurugan, P. Shanthakumar, Brain tumor detection and diagnosis using ANFIS classiﬁer. Int. J. Imaging Syst. Technol. 26(2), 157–162 (2016)

61. S. Kumarganesh, M. Suganthi, An enhanced medical diagnosis sustainable system for brain tumor detection and segmentation using ANFIS classiﬁer. Curr. Med. Imaging Rev. 14(2), 271–279 (2018)

62. A. Yadollahpour, J. Nourozi, S.A. Mirbagheri, E. Simancas-Acevedo, F.R. Trejo-Macotela, Designing and implementing an ANFIS based medical decision support system to predict chronic kidney disease progression. Frontiers Physiol. 9 (2018) 63. A. Addeh, H. Demirel, P. Zarbakhsh, Early detection of breast cancer using optimized anﬁs and features selection, in 2017 9th International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks (CICN). (IEEE, 2017), pp. 39–42

64. M. Kirisci, H. Yılmaz, M.U. Saka, An ANFIS perspective for the diagnosis of type II diabetes. Annals of Fuzzy Mathematics and Informatics. (In Press, afmi.or.kr, 2019)

65. W. Ahmad, A. Ahmad, A. Iqbal, M. Hamayun, A. Hussain, G. Rehman, …, L. Huang, Intel- ligent hepatitis diagnosis using adaptive neuro-fuzzy inference system and information gain method. Soft Comput. 1–8 (2018)

66. W. Ahmad, L. Huang, A. Ahmad, F. Shah, A. Iqbal, Thyroid diseases forecasting using a hybrid decision support system based on ANFIS, k-NN and information gain method. J. Appl. Environ. Biol. Sci. 7, 78–85 (2017)

67. T. Yigit, S. Celik, Intelligent disease diagnosis with vortex optimization algorithm based ANFIS. J. Multi. Dev. 3(1), 1–20 (2019)

68. S.S. Udoh, U.A. Umoh, M.E. Umoh, M.E. Udo, Diagnosis of prostate cancer using soft computing paradigms. Global J. Comput. Sci. Technol. 19(2), 19–26 (2019)

69. L. Sarangi, M.N. Mohanty, S. Patnaik, Design of ANFIS based e-health care system for cardio vascular disease detection, in International Conference on Intelligent and Interactive Systems and Applications. (Springer, Cham, 2016), pp. 445–453

70. M. Nilashi, H. Ahmadi, L. Shahmoradi, O. Ibrahim, E. Akbari, A predictive method for hepatitis disease diagnosis using ensembles of neuro-fuzzy technique. J. Inf. Pub. Health 12(1), 13–20 (2019)

71. T.V. Padmavathy, M.N. Vimalkumar, D.S. Bhargava, Adaptive clustering based breast cancer detection with ANFIS classiﬁer using mammographic images”. Clust. Comput. 1–10 (2018)

72. W. Rajab, S. Rajab, V. Sharma, Kernel FCM-based ANFIS approach to heart disease predic- tion, in Emerging Trends in Expert Applications and Security. (Springer, Singapore, 2019), pp. 643–650

73. E.K. Roy, S.K. Aditya, Prediction of acute myeloid leukemia subtypes based on artiﬁcial neural network and adaptive neuro-fuzzy inference system approaches, in Innovations in Electronics and Communication Engineering. (Springer, Singapore, 2019), pp. 427–439

74. M. Imran, S.A. Alsuhaibani, A neuro-fuzzy inference model for diabetic retinopathy classiﬁcation, in Intelligent Data Analysis for Biomedical Applications. (Academic Press, London, 2019), pp. 147–172

75. S. Zainuddin, F. Nhita, U.N. Wisesty, Classiﬁcation of gene expressions of lung cancer and colon tumor using adaptive-network-based fuzzy inference system (ANFIS) with ant colony optimization (ACO) as the feature selection, in Journal of Physics: Conference Series, vol. 1192, no. 1. (IOP Publishing, 2019), p. 012019

76. M.N. Fata, R. Arifudin, B. Prasetiyo, Optimization neuro fuzzy using genetic algorithm for diagnose typhoid fever. Sci. J. Inf. 6(1), 1–11 (2019)

77. B.S. Babu, A. Suneetha, G.C. Babu, Y.J.N. Kumar, G. Karuna, Medical disease prediction using grey wolf optimization and auto encoder based recurrent neural network. Period. Eng. and Nat. Sci. 6(1), 229–240 (2018)

78. W. Bao, J. Yue, Y. Rao, A deep learning framework for ﬁnancial time series using stacked auto encoders and long-short term memory. PLoS ONE 12(7), e0180944 (2017)

79. P. Baldi, Autoencoders, unsupervised learning, and deep architectures, in Proceedings of ICML Workshop on Unsupervised and Transfer Learning (2012), pp. 37–49

80. H.O.A. Ahmed, M.D. Wong, A.K. Nandi, Intelligent condition monitoring method for bearing faults from highly compressed measurements using sparse over-complete features. Mech. Syst. Signal Process. 99, 459–477 (2018)

81. C. Blum, D. Merkle, Swarm intelligence, in Swarm Intelligence in Optimization, ed. by C. Blum, D. Merkle (Springer, Boston, MA, 2008), pp. 43–85

82. A.E. Hassanien, E. Emary, Swarm Intelligence: Principles, Advances, and Applications (CRC Press, London, 2018)

83. X.S. Yang, Z. Cui, R. Xiao, A.H. Gandomi, M. Karamanoglu, (eds.), Swarm intelligence and bio-inspired computation: theory and applications, in Newnes, (2013)

84. R.C. Eberhart, Y. Shi, J. Kennedy, Swarm Intelligence (Elsevier, Amsterdam, 2001)

85. D. Karaboga, B. Basturk, A powerful and efﬁcient algorithm for numerical function optimization: Artiﬁcial bee colony (ABC) algorithm. J. Global Optim. 39(3), 459–471 (2007)

86. D. Karaboga, B. Basturk, On the performance of artiﬁcial bee colony (ABC) algorithm. Appl. Soft Comput. 8(1), 687–697 (2008)

87. D. Karaboga, B. Gorkemli, C. Ozturk, N. Karaboga, A comprehensive survey: artiﬁcial bee colony (ABC) algorithm and applications. Artif. Intell. Rev. 42(1), 21–57 (2014)

88. D. Karaboga, Artiﬁcial bee colony algorithm. Scholarpedia 5(3), 6915 (2010)

89. U. Kose, A. Arslan, On the idea of a new artiﬁcial intelligence based optimization algorithm inspired from the nature of vortex. BRAIN. Broad Res. Artif. Intell. Neurosci. 5(1–4), 60–66 (2015)

90. U. Kose, Development of Artiﬁcial Intelligence Based Optimization Algorithms (In Turkish), Doctoral dissertation, Selçuk University, Institute of Natural Sciences, (Konya, Turkey, 2017)

91. U. Kose, A. Arslan, Forecasting chaotic time series via anﬁs supported by vortex optimization algorithm: Applications on electroencephalogram time series. Arab. J. Sci. Eng. 42(8), 3103– 3114 (2017)

92. X.S. Yang, S. Deb, Cuckoo search via Lévy ﬂights, in 2009 World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC) (IEEE, 2009), pp 210–214

93. P. Civicioglu, E. Besdok, A conceptual comparison of the Cuckoo-search, particle swarm optimization, differential evolution and artiﬁcial bee colony algorithms. Artif. Intell. Rev. 39(4), 315–346 (2013)

94. Z. Cheng, R. Savit, Fractal and nonfractal behavior in Levy ﬂights. J. Math. Phys. 28(3), 592–597 (1987)

95. X. S. Yang, S. Deb, Engineering optimisation by cuckoo search. Int. J. Math. Modell. Numer. Optim. 1(4), 330–343 (2010)

96. X.S. Yang, S. Deb, Cuckoo search: recent advances and applications. Neural Comput. Appl. 24(1), 169–174 (2014)

97. S. Mirjalili, The ant lion optimizer. Adv. Eng. Softw. 83, 80–98 (2015) 98. S. Mirjalili, P. Jangir, S. Saremi, Multi-objective ant lion optimizer: a multi-objective optimization algorithm for solving engineering problems. Appl. Intell. 46(1), 79–95 (2017)

99. A.A. Heidari, H. Faris, S. Mirjalili, I. Aljarah, M. Mafarja, Ant Lion optimizer: theory, liter- ature review, and application in multi-layer perceptron neural networks, in Nature-Inspired Optimizers. (Springer, Cham, 2020), pp. 23–46

100. A. Tabari, A. Ahmad, A new optimization method: electro-search algorithm. Comput. Chem. Eng. 103, 1–11 (2017)

101. C. Blake, C. Merz, UCI repository of machine learning databases, Department of Information and Computer Science (University of California, Irvine, CA, USA, 1998). (Online). http://www.archive.ics.uci.edu/ml (2015)

102. Y. Chauvin, D.E. Rumelhart, Backpropagation: Theory, Architectures, and Applications (Psychology Press, 2013)

103. R. Hecht-Nielsen, Theory of the backpropagation neural network, in Neural Networks for Perception. (Academic Press, London, 1992), pp. 65–93

104. J.S. Jang, Self-learning fuzzy controllers based on temporal backpropagation. IEEE Trans. Neural Networks 3(5), 714–723 (1992)

105. J.S. Jang, ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system. IEEE Trans. Syst. Man Cybern. 23(3), 665–685 (1993)

106. B. Scholkopf, A.J. Smola, Learning with Kernels: Support Vector Machines, Regularization, Optimization, and Beyond (MIT Press, Cambridge, MA, 2001)

107. N. Cristianini, J. Shawe-Taylor, An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-Based Learning Methods (Cambridge University Press, Cambridge, 2000)

108. D.T. Larose, C.D. Larose, K-nearest neighbor algorithm, in Discovering Knowledge in Data: An Introduction to Data Mining (Wiley, New York, 2005), pp. 149–164

109. Z. Song, N. Roussopoulos, K-nearest neighbor search for moving query point, in International Symposium on Spatial and Temporal Databases. (Springer, Berlin, Heidelberg, 2001), pp. 79– 96

110. J. Kennedy, Swarm intelligence, in Handbook of Nature-Inspired and Innovative Computing (Springer, Boston, MA, 2006), pp. 187–219

111. G. Beni, J. Wang, Swarm intelligence in cellular robotic systems, Robots and Biological Systems: Towards a New Bionics? (Springer, Berlin, Heidelberg, 1993), pp. 703–712

112. M.G. Hinchey, R. Sterritt, C. Rouff, Swarms and swarm intelligence. Computer 40(4), 111– 113 (2007)

113. A. Abraham, C. Grosan, V. Ramos (eds.), Swarm Intelligence in Data Mining, vol. 34 (Springer, Berlin, Heidelberg, 2007)

114. J.C. Bansal, P.K. Singh, N.R. Pal (eds.), Evolutionary and Swarm Intelligence Algorithms (Springer, Berlin, Heidelberg, 2019)

115. R.S. Parpinelli, G. Plichoski, R.S. Da Silva, P.H. Narloch, A review of techniques for online control of parameters in swarm intelligence and evolutionary computation algorithms. IJBIC 13(1), 1–20 (2019)

116. X. Li, M. Clerc, Swarm intelligence, Handbook of Metaheuristics (Springer, Cham, 2019), pp. 353–384

117. B. Inje, S. Kumar, A. Nayyar, Swarm intelligence and evolutionary algorithms in disease diagnosis—introductory Aspects, in Swarm Intelligence and Evolutionary Algorithms in Healthcare and Drug Development. (Chapman and Hall/CRC, 2019), pp. 1–18

118. J. Del Ser, E. Villar, E. Osaba, Swarm Intelligence-Recent Advances, New Perspectives and Applications. (InTechOpen, 2019)

119. G.R. Raidl, J. Puchinger, C. Blum, Metaheuristic hybrids, Handbook of Metaheuristics (Springer, Cham, 2019), pp. 385–417

120. K. Kumar, J.P. Davim, Optimization Using Evolutionary Algorithms and Metaheuristics: Applications in Engineering (CRC Press, Boca Raton, FL, 2019)

121. H. Tavakoli, B.D. Barkdoll, Sustainability-based optimization algorithm. Int. J. Environ. Sci. Technol. 17(3), 1537–1550 (2020)

122. T. Dede, M. Grzywin´ski, R.V. Rao, Jaya: a new meta-heuristic algorithm for the optimization of braced dome structures, Advanced Engineering Optimization Through Intelligent Techniques (Springer, Singapore, 2020), pp. 13–20

123. M. Mafarja, A.A. Heidari, H. Faris, S. Mirjalili, I. Aljarah, Dragonﬂy algorithm: theory, literature review, and application in feature selection, Nature-Inspired Optimizers (Springer, Cham, 2020), pp. 47–67

124. M.H. Sulaiman, Z. Mustaffa, M.M. Saari, H. Daniyal, Barnacles mating optimizer: a new bio- inspired algorithm for solving engineering optimization problems. Eng. Appl. Artif. Intell. 87, 103330 (2020)

125. Y. Zhang, Z. Jin, Group teaching optimization algorithm: a novel metaheuristic method for solving global optimization problems. Expert Syst. Appl. 148, 113246 (2020)

126. X. Zhong, D. Enke, Predicting the daily return direction of the stock market using hybrid machine learning algorithms. Fin. Innovation 5(1), 4 (2019)

127. S. Ardabili, A. Mosavi, A.R. Várkonyi-Kóczy, Advances in machine learning modeling reviewing hybrid and ensemble methods, in International Conference on Global Research and Education. (Springer, Cham, 2019), pp. 215–227

128. T. Ma, C. Antoniou, T. Toledo, Hybrid machine learning algorithm and statistical time series model for network-wide trafﬁc forecast. Transp. Res. Part C Emerg. Technol. 111, 352–372 (2020)

129. S.N. Kumar, A.L. Fred, H.A. Kumar, P.S. Varghese, S.A. Jacob, Segmentation of anomalies in abdomen CT images by convolution neural network and classiﬁcation by fuzzy support vector machine, Hybrid Machine Intelligence for Medical Image Analysis (Springer, Singapore, 2020), pp. 157–196

130. S. Bhattacharyya, D. Konar, J. Platos, C. Kar, K. Sharma (eds.), Hybrid Machine Intelligence for Medical Image Analysis (Springer, Singapore, 2020)

131. H.S. Shon, E. Batbaatar, K.O. Kim, E.J. Cha, K.A. Kim, Classiﬁcation of kidney cancer data using cost-sensitive hybrid deep learning approach. Symmetry 12(1), 154 (2020)

132. A. Shikalgar, S. Sonavane, Hybrid deep learning approach for classifying alzheimer disease based on multimodal data, Computing in Engineering and Technology (Springer, Singapore, 2020), pp. 511–520

133. N.B. Khulenjani, M.S. Abadeh, A hybrid feature selection and deep learning algorithm for cancer disease classiﬁcation. Int. J. Comput. Inf. Eng. 14(2), 55–59 (2020)

134. J. Lee, Y.K. Kim, A. Ha, S. Sun, Y.W. Kim, J.S. Kim, …, K.H. Park, Macular Ganglion cell- inner plexiform layer thickness prediction from Red-free fundus photography using. Hybrid deep learning model. Sci. Rep. 10(1), 1–10 (2020)