

NHẬN BIẾT THỜI GIAN THỰC CÁC TƯ THẾ YOGA SỬ DỤNG MÁY TÍNH
 TẦM NHÌN CHĂM SÓC SỨC KHỎE THÔNG MINH

IN TRƯỚC

Phòng ECE Abhishek Sharma	Phòng ECE Yash Shah	Phòng ECE Yash Agrawal	Prateek Jain GIÁC QUAN
LNMIIT, Ấn Độ LNMIIT, Ấn Độ LNMIIT, Ấn Độ	Đại học VIT AP, Ấn Độ		

Ngày 19 tháng 1 năm 2022

TRƯỜNG TƯỢNG

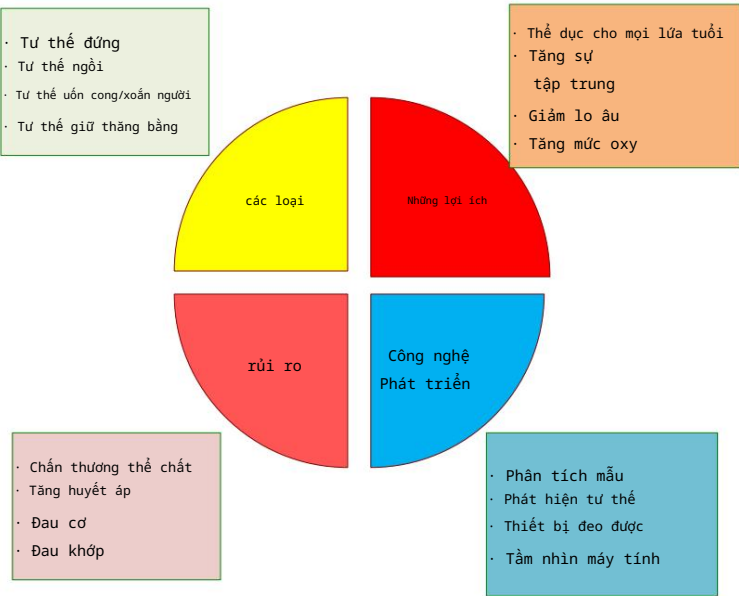
Ngày nay, yoga đã trở thành một phần cuộc sống của nhiều người. Các bài tập và hỗ trợ công nghệ thể thao được thực hiện trong xác định tư thế yoga. Trong nghiên cứu này, một kỹ thuật nhận dạng tư thế yoga dựa trên sự tự hỗ trợ được phát triển, giúp người dùng thực hiện Yoga với tính năng chỉnh sửa trong thời gian thực. Tác phẩm cũng trình bày nhận dạng Yoga-hand mudra (cử chỉ tay). Bộ dữ liệu YOGI đã được phát triển bao gồm 10 tư thế Yoga với khoảng 400-900 hình ảnh của mỗi tư thế và cũng chứa 5 thủ ấn để xác định các tư thế thủ ấn. Nó chứa khoảng 500 hình ảnh của mỗi ấn. Tính năng này đã được trích xuất bằng cách tạo một bộ xương trên cơ thể cho các tư thế yoga và bàn tay cho các tư thế thủ ấn. Hai thuật toán khác nhau đã được sử dụng để tạo khung xương, một thuật toán dành cho các tư thế yoga và thuật toán thứ hai dành cho thủ ấn tay. Các góc của khớp đã được trích xuất như một tính năng cho các mô hình học máy và học sâu khác nhau. trong số tất cả các mẫu XGBoost với RandomSearch CV là chính xác nhất và cho độ chính xác 99,2%. Khung thiết kế hoàn chỉnh được mô tả trong bài báo hiện tại.

1. Giới thiệu

Yoga, bất cứ khi nào từ này xuất hiện trong đầu chúng ta, nó được hình dung như một bài tập, nhưng loại bài tập này nên được thực hiện bởi những người có kiến thức đúng đắn về tư thế quan trọng. Chúng tôi cần một người hướng dẫn thích hợp cho nó, nhưng, điều này không dễ để tìm được một người hướng dẫn tốt, cũng như nhiều người trong số họ, thậm chí không đủ khả năng cho những người hướng dẫn. Ngày nay, mọi người đang nghiên cứu vấn đề này để số hóa thứ này để bắt buộc phải trả tiền cho một lớp học yoga hoặc thuê một người hướng dẫn để thực hiện yoga. Có một công cụ phần mềm mà mọi người có thể sử dụng để thực hiện yoga mà không cần bất kỳ hướng dẫn nào. Phần mềm này giống như một người hướng dẫn. Mỗi khi bắt buộc phải tham gia lớp học nào hoặc thuê người hướng dẫn, người hướng dẫn sẽ giúp đỡ như thế nào. Điều này sẽ giống như hướng dẫn bằng miệng của người hướng dẫn để thực hiện bất kỳ tư thế nào. Nếu các tư thế sai, một thực thể phải sửa chúng và một người cụ thể sẽ thực hiện các tư thế đúng. Thảo luận cơ bản về liệu pháp yoga được trình bày trong Hình 1.

2 Công việc liên quan trước đây

Trong công việc trước đây của chúng tôi, bài báo đã đề xuất việc xác định các tư thế yoga khác nhau thông qua các kỹ thuật học máy và các bước xử lý hình ảnh khác nhau [1]. Bài viết này nói về việc điều chỉnh tư thế yoga và phát hiện các thủ ấn yoga. Có một số tài liệu nghiên cứu để xác định các thủ ấn yoga thông qua các kỹ thuật thị giác máy tính, nhưng theo hiểu biết tốt nhất của các tác giả, việc phát hiện các thủ ấn và tư thế yoga hoàn toàn là đóng góp mới của công trình. Công việc được trình bày ở đây cung cấp một tính năng độc đáo trong đó có thể đạt được hiệu chỉnh tư thế, nhận dạng và xác định thủ ấn của các học viên trong một màn hình duy nhất. Các kỹ thuật khác nhau đã được phát triển bởi các nhà nghiên cứu khác nhau trên toàn thế giới, bao gồm theo dõi bàn tay bằng cảm biến gắng tay và kỹ thuật thị giác nhân tạo. Một số công việc quan trọng bao gồm phân đoạn màu, phát hiện đường viền và phân đoạn hồng ngoại [2-5]. Các thuật toán nhận dạng như tìm kiếm các đầu ngón tay hoặc phát hiện các chỗ trũng giữa các ngón tay và đầu ngón tay là những cách để trích xuất các cử chỉ của bàn tay [2, 4]. Trong những năm qua, cảm biến Microsoft Kinect là một thiết bị có cảm biến độ sâu. Camera RGB đã giúp nhiều nhà nghiên cứu cải thiện hệ thống hiện có về độ chính xác cao [6].



Hình 1: Mô tả ngắn gọn về các hoạt động Yoga

Một số nhà nghiên cứu đã phát triển ý tưởng của họ bằng cách sử dụng xử lý hình ảnh với khung 4 kết nối của mặt nạ phân đoạn để theo dõi và phát hiện tay nơi máy ảnh quay video trong phần phân đoạn [7]. Một chiếc mặt nạ được chiết xuất theo tay của người dùng. Các điểm nhiễu được loại bỏ bằng cách sử dụng các hoạt động hình thái học khác nhau và khung 4 kết nối được trích xuất. Trong phần cuối cùng, trung tâm của bàn tay và vị trí của các ngón tay được chiết xuất.

Công việc được trình bày bởi [8] theo dõi bàn tay được đề xuất bằng cách sử dụng tổng mô hình Gaussian bất đẳng hướng trong đó nhiều camera RGB được sử dụng và hình ảnh đầu vào được thu thập sau một số xử lý trước đầu vào. Nó kết hợp các mô hình 2D Quadtree và 3D SAG (Điều chỉnh mô hình tự động) và sau đó tối ưu hóa tư thế để đạt được tư thế tay được theo dõi. Một số nhà nghiên cứu đã đề xuất ý tưởng theo dõi bàn tay thông qua một camera độ sâu duy nhất [9, 10]. Có thể thu được luồng độ sâu đầu vào thông qua bất kỳ máy ảnh độ sâu nào như Microsoft Kinect hoặc Intel Real Sense, sau đó xác định vùng quan tâm hình vuông (RoI) xung quanh bàn tay và phân chia bàn tay khỏi nền sau khi áp dụng mô hình phân biệt theo lớp cho Vùng quan tâm. Việc tối ưu hóa nó bằng cách sử dụng trình tối ưu hóa ngẫu nhiên cung cấp một thiết lập linh hoạt chẳng hạn như theo dõi ở khoảng cách lớn và đặt máy ảnh trên vai.

2.1 Động lực từ công việc trước đây

Theo khảo sát của Statista, năm 2018 số người tập yoga đã lên tới 28,75 triệu người. Thật vậy, con số này sẽ tăng lên trong tương lai do những lợi ích mà yoga mang lại. Do dễ đáp ứng khoảng cách công nghệ, mô hình huấn luyện viên-người dùng truyền thống sẽ vẫn tồn tại và hỗ trợ sẽ có sẵn thông qua ứng dụng dựa trên điện thoại di động. Việc triển khai ban đầu phát hiện tư thế Yoga được trình bày trong [1] là một thử nghiệm dựa trên bộ dữ liệu được phát triển. Người ta đã quan sát thấy trong các thử nghiệm trên nhiều người dùng khác nhau rằng các thủ ấn tức là cử chỉ của tay cũng là một thành phần thiết yếu trong việc luyện tập yoga. Với động lực như vậy, các tính năng này đã được thực hiện trong công việc hiện tại.

3 Tại sao Yoga cần thiết cho việc chăm sóc sức khỏe

Nhận dạng tư thế yoga khám phá việc sử dụng Microsoft Kinect để xác định tư thế trong thời gian thực. Công việc dựa trên cảm biến hồng ngoại độ phân giải thấp được trình bày bởi [4], việc sử dụng thuật toán học sâu và phát hiện tư thế trong môi trường trong nhà được trình bày, cho thấy kết quả đầy hứa hẹn. Một công trình khác được trình bày bởi [5] cũng dựa trên các bộ phân loại học máy và học sâu. Công việc được trình bày trong tác phẩm này lấp đầy những khoảng trống nghiên cứu sau:

1. Loại bỏ việc sử dụng phần cứng bên ngoài hoặc phần cứng bổ sung để phát hiện tư thế Yoga.
2. Thực thi các thuật toán Trí tuệ nhân tạo trên nền tảng di động.
3. Hỗ trợ thời gian thực với các tính năng ghi dữ liệu.

4 Đóng góp mới trong bài báo hiện tại

Hệ thống iYogacare được đề xuất được khám phá để nhận dạng yoga theo thời gian thực và tự điều chỉnh sức khỏe của con người. Khung thời gian thực này được thể hiện dưới dạng một huấn luyện viên yoga ảo với các tư thế yoga ít sai sót nhất. Sự đóng góp của nghiên cứu được giới thiệu pháp nêu bật để đại diện cho công việc đổi mới. Đóng góp mới lạ được thể hiện như sau: -

1. Điểm tính năng và báo cáo hoạt động hàng ngày/hàng tuần của người dùng được thu thập bằng cách sử dụng các tiêu chuẩn giao thức phù hợp để theo dõi các tư thế liên quan đến thời gian. Phần công việc này chủ yếu được xem xét để phát hiện tư thế chính xác.
2. Thông tin đã được thu thập thông qua hỗ trợ âm thanh và văn bản để phát hiện tư thế theo thời gian thực.
3. Hồ sơ cải thiện và chi tiết phiên như mô-đun được đào tạo hoặc dữ liệu đã được sử dụng và chia sẻ giữa mọi người để nhận dạng yoga chính xác và cũng có thể tự điều chỉnh thông qua các quy trình này.
4. Nền tảng dựa trên ứng dụng di động được sử dụng để cung cấp các thủ ấn và tư thế chính xác nhằm cải thiện các hoạt động tự yoga cho các cá nhân. Ứng dụng tương tự được sử dụng để cung cấp cơ sở thực hành yoga.

5 Khung iYogacare mới cho chăm sóc sức khỏe

Có một khuôn khổ, đóng vai trò của người hướng dẫn. Nó đại diện cho các tư thế biểu diễn yoga và cũng hướng dẫn cách sửa nếu người đó làm sai. Trong công việc trước đây, chúng tôi đã thực hiện phát hiện tư thế yoga với độ chính xác gần như 98%. Bây giờ, chúng tôi đã đưa điều này lên một cấp độ cho đến khi chúng tôi đã thêm nhiều tính năng khác. Đầu tiên là tính năng chỉnh sửa giúp bạn chỉnh lại tư thế nếu có ai thực hiện sai. Đây là tính năng chính vì nếu người hướng dẫn không nói với người đó rằng họ đang làm đúng hay sai thì không có vai trò của người hướng dẫn tại thời điểm đó. Tuy nhiên, trong công việc hiện tại của chúng tôi, có một tính năng cung cấp hướng dẫn về tư thế và "Mudras" đúng. Như chúng ta đã biết tư thế Mudras cũng quan trọng không kém tư thế yoga. Đây là một hoạt động thể chất được thực hiện trong khi tập yoga và nó có khả năng tạo ra niềm vui và hạnh phúc. Người ta đã chứng minh rằng sự thẳng hàng khác nhau của bàn tay có khả năng ảnh hưởng đến sức mạnh thể chất và cảm xúc của chúng ta. Thủ ấn giúp kết nối cơ thể với não, kích thích endorphin, giảm đau, tăng mức năng lượng và thay đổi tâm trạng. Vì vậy, tất cả những điều này được giữ trong tâm trí. Một tính năng khác được thêm vào trong khuôn khổ, đó là phát hiện tư thế ẩn. Ở đây, khoa học dữ liệu và kỹ thuật thị giác máy tính được sử dụng để phát hiện các tư thế. Một bộ dữ liệu hình ảnh lớn đã được tạo để phát hiện, bao gồm 2500 hình ảnh của 5 tư thế thủ ấn khác nhau. Các tính năng đã được trích xuất sau khi tạo bộ xương tay. Bộ xương đã được tạo ra bằng cách đánh dấu tất cả các khớp và sau đó kết nối chúng. Góc của các khớp đã được coi là một đặc điểm cho các mô hình máy học khác nhau. Nhiều mô hình máy học đã được sử dụng để phát hiện và trong số tất cả các mô hình XGBoost có RandomSearch CV cung cấp độ chính xác cao nhất, xấp xỉ 99%. Trong Hình 2, người ta giải thích những lợi ích của việc tập yoga thường xuyên, những lợi ích bao gồm lưu thông máu thích hợp, giảm đau khớp và cơ, giúp tim và phổi khỏe mạnh, v.v.

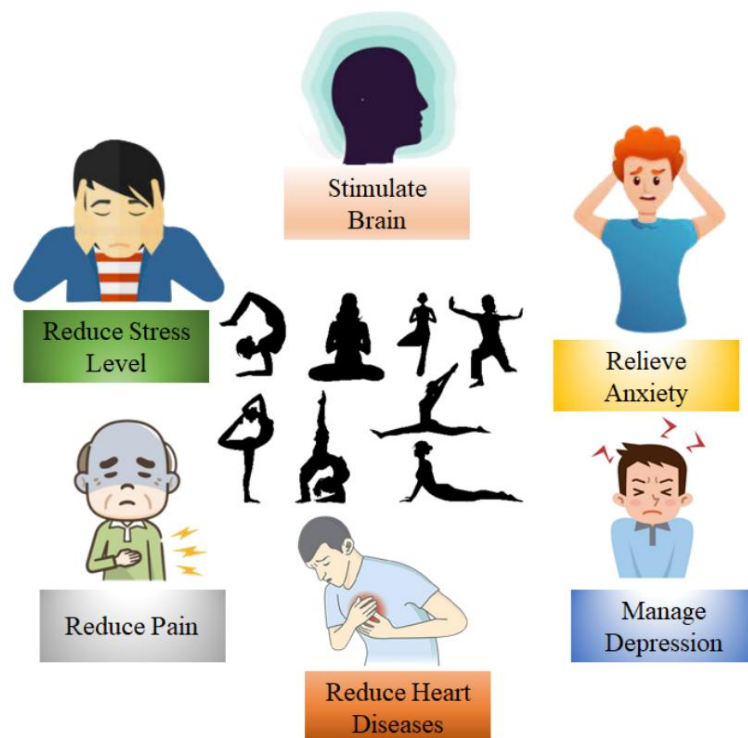
6 Phương pháp Nhận biết Thông minh và Tự điều chỉnh

Tính năng này giúp phát hiện xem một người đang thực hiện đúng tư thế hay chưa và nếu thực hiện sai thì hệ thống sẽ sửa và đưa ra các lệnh khác nhau. Trong công việc này, thuật toán tf-pose được sử dụng để trích xuất các tọa độ khác nhau. Bằng cách sử dụng tọa độ, các góc khác nhau của khớp, khoảng cách và độ dốc giữa hai điểm đã được trích xuất và sử dụng làm tham số đánh giá để điều chỉnh các tư thế yoga. Các công thức Toán học khác nhau đã được sử dụng để hiệu chỉnh như quy tắc Cosine, khoảng cách Euclidean. Sau khi trích xuất các tham số, một so sánh đã được thực hiện giữa các tham số được trích xuất và được xác định trước cho từng khớp và độ dốc để chứng minh kết luận về tính đúng đắn của tư thế. Việc điều chỉnh tư thế yoga được thể hiện trong Hình 3.

7 Khung đề xuất cho iYogacare

7.1 Thu thập và phân tích dữ liệu

Thủ ấn là một phần của văn hóa yoga, nơi các học viên có thể điều khiển năng lượng và được sử dụng cho ứng dụng trị liệu. Nói một cách đơn giản, thủ ấn có nghĩa là một cử chỉ được tạo ra bằng cách sử dụng một cấu hình khác của việc nối các đầu ngón tay. Để tìm một bộ dữ liệu có cấu trúc với ánh sáng hoàn hảo dành riêng cho các ấn yoga độc quyền là một nhiệm vụ khó khăn. Vì vậy, tạo ra một tập dữ liệu hiệu quả và chính xác là bước đầu tiên của quy trình. Bộ dữ liệu này bao gồm 5 Yoga Mudras là Pataaka, Mudrakhya, Prana, Pallava và Tripataka Mudra được chụp bằng máy ảnh di động 16 MP, f/1.7, 1/2.8". Mỗi yoga



Hình 2: Lợi ích của việc tập Yoga thường xuyên



Hình 3: Biểu diễn yoga chỉnh sửa tư thế

tư thế thủ ấn bao gồm 500 hình ảnh của cả tay trái và tay phải với nhiều người thuộc các nhóm tuổi khác nhau. Trong tổng số 2500 hình ảnh màu được thu thập trong tập dữ liệu này. Yoga Mudra gồm năm lớp được thể hiện trong Hình 5 và 6.

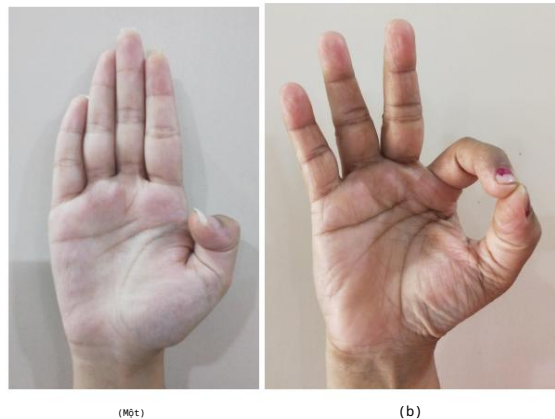
7.2 Quy trình tiếp theo để thu thập bộ dữ liệu Mudra

Các bước sau đây đã được thực hiện sau khi thu thập bộ dữ liệu mudras. Các bước được thông báo trong Hình 3.



Hình 4: Quy trình phát hiện và chỉnh sửa tư thế

- Ảnh được chụp ở các môi trường khác nhau như trong phòng kín cũng như ngoài môi trường nên rằng mô hình cuối cùng sẽ hoạt động tốt trong mọi môi trường.
- Máy ảnh di động đã được sử dụng để tạo bộ dữ liệu vì cuối cùng, phần mềm sẽ chạy như một thiết bị di động ứng dụng.
- Máy ảnh được giữ cách tay khoảng 1m để có hình ảnh hoàn hảo.
- Nền trắng để tăng hiệu quả cho mô hình khi huấn luyện.
- Hình ảnh của cả tay trái và tay phải để phần mềm có thể phát hiện chính xác tư thế thủ ấn của cả hai tay trong khi thực hiện các tư thế yoga.



Hình 5: Biểu diễn tư thế Mudras bằng tay phải

8 Phân tích và kết quả thí nghiệm

8.1 Theo dõi bàn tay

Tạo theo dõi bàn tay theo thời gian thực, hệ thống luôn là một nhiệm vụ thị giác máy tính khó khăn, vì các bàn tay thường che khuất chính họ hoặc lẫn nhau (ví dụ: bắt tay). MediaPipe Hands của Google là một giải pháp theo dõi ngón tay và bàn tay có độ chính xác cao[11]. Giải pháp này định vị 21 mốc 3D của bàn tay bằng Máy học (ML) từ một khung duy nhất.

Một quy trình ML mạnh mẽ đã được sử dụng với chủ yếu là hai mô hình hoạt động hiệu quả cùng nhau. Mô hình đầu tiên là mô hình máy dò lòng bàn tay, tạo ra một hộp giới hạn bàn tay khi đưa ra toàn bộ hình ảnh. Sau đó, hình ảnh hộp giới hạn bàn tay này được coi là hình ảnh đầu vào cho mô hình thứ hai được gọi là mô hình mốc bàn tay, mô hình này trả về các điểm chính 3D bàn tay có độ trung thực cao. Một giải pháp hiệu quả cao có thể được tạo ra bằng cách cung cấp chính xác hộp và giới hạn cho mô hình mốc tay, giúp hệ thống tận dụng năng lực của mình để dự đoán tọa độ một cách chính xác.

Nó làm giảm nhu cầu tăng cường dữ liệu (ví dụ: xoay, chia tỷ lệ và dịch). Sau đó, một bộ xương bàn tay được tạo ra để



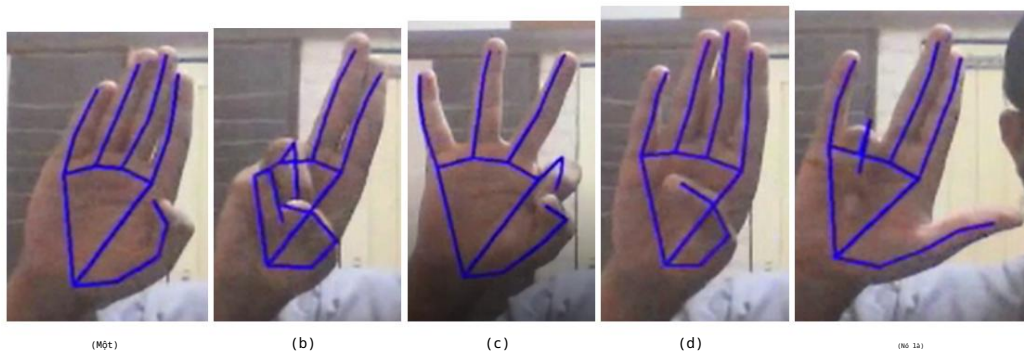
(Mặt)

(b)

(c)

Hình 6: Biểu diễn tư thế Mudras bằng tay trái

theo dõi chuyển động của bàn tay. Hình ảnh trực quan của việc theo dõi bàn tay được hiển thị trong Hình 4.



(Mặt)

(b)

(c)

(d)

(Mặt 12)

Hình 7: Biểu diễn tư thế Mudras

8.2 Khai thác tính năng

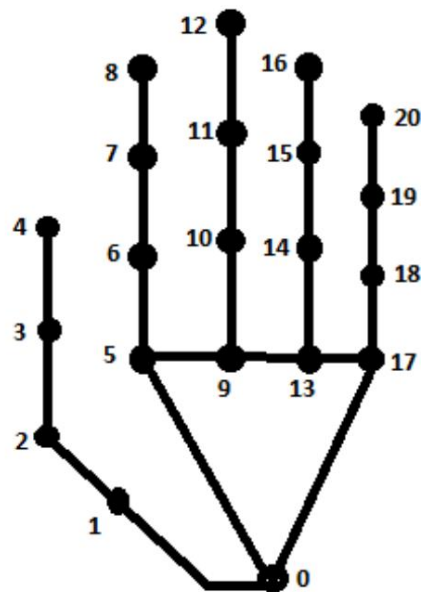
Trong giai đoạn tiếp theo, khung xương của lòng bàn tay được tạo bằng cách sử dụng hệ thống theo dõi bàn tay ống truyền thông, từ đó tọa độ của các khớp được chiết xuất. Số lượng khớp nối được hiển thị trong Hình 8. Các góc khác nhau được chiết xuất bằng cách sử dụng các khớp nối này tọa độ và sau đó các góc này được sử dụng như một đặc điểm để phát hiện các thủ ấn tay.

Công thức tính khoảng cách và góc [13] được hiển thị trong Hình 9.

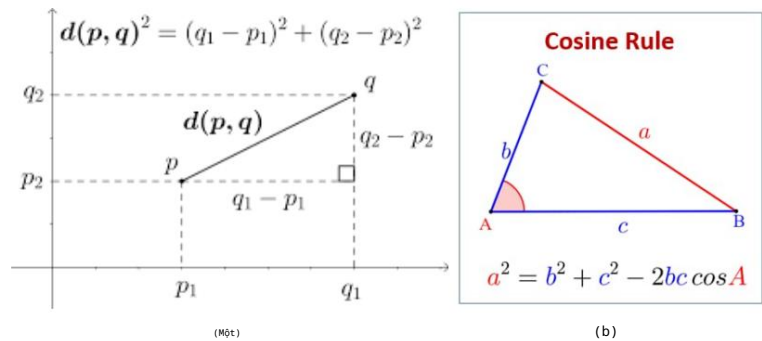
8.3 Phân loại

Các góc được trích xuất từ giai đoạn trước, được đưa trực tiếp vào mô hình phân loại để dự đoán thủ ấn yoga nào đang được thực hiện. Điều này xảy ra liên tục trong thời gian thực. Việc phân chia 80:20 được thực hiện để phân chia dữ liệu thành tập dữ liệu huấn luyện và kiểm tra.

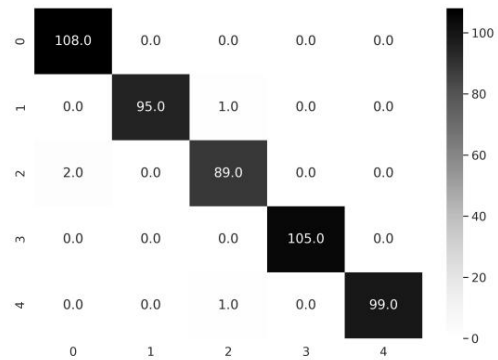
Mười mô hình phân loại cụ thể là k-hàng xóm gần nhất (KNN), Random Forest, Shallow NN, Deep NN, OnevsRest, SVM, Logistic Regression, Naive Bayes, XGBoost với CV tìm kiếm ngẫu nhiên và Cây quyết định đã được sử dụng để đánh giá tập dữ liệu trên các tham số khác nhau. 25 kết quả về độ chính xác đã được tính toán. XGBoost với Tìm kiếm ngẫu nhiên CV có độ chính xác tốt nhất và báo cáo phân tích được thể hiện trong Bảng-I. Tập huấn luyện bao gồm 2000 hình ảnh và bộ thử nghiệm bao gồm 500 hình ảnh. Các kết quả sau đây được đề cập trong Bảng II. Một bản đồ nhiệt của ma trận nhầm lẫn là thể hiện trong Hình 10.



Hình 8: Biểu diễn khung xương lòng bàn tay để trích xuất đặc trưng



Hình 9: Biểu diễn công thức tính khoảng cách và góc



Hình 10: Bản đồ nhiệt của ma trận nhầm lẫn

Bảng 1: Độ chính xác của mô hình cho bộ dữ liệu Mudra

Bộ phân	Thông số	Sự chính xác
loại k-hàng xóm gần nhất (KNN)	hàng xóm:3, Trọng lượng:Đồng phục, Số liệu:Hàng xóm	0,978
	Minkowski:5, Trọng lượng:Đồng phục, Chỉ số:Hàng xóm	0,970
	Minkowski:9, Trọng lượng:Đồng phục, Số liệu:Công cụ	0,964
rừng ngẫu nhiên	ước tính Minkowski:30, Tiêu chí:'gini' ,	0,984
	MaxDepth:7 công cụ ước tính:30, Tiêu chí:'gini' ,	0,990
	MaxDepth:10 công cụ ước tính:30, Tiêu chí:'gini' ,	0,990
nông cạn	MaxDepth:Không Kích thước lớp ẩn:100, Kích hoạt:relu n0.986	
NN sâu	Kích thước lớp ẩn:500, Kích hoạt:relu 0,982	
OnevsRest	Kích thước lớp ẩn:500 0,990	
SVM	Kernal: Tuyển tính, Hàm mất mát: Bản lề 0,952	
	Kernal: Đa thức, Hàm mất mát: Bản lề 0,978	
	Kernal:Chức năng cơ sở xuyên tâm, Chức năng mất mát:Bản lề 0,988	
Hồi quy logistic	Số lần lặp:2500, Bộ giải:Newton-cg 0,942	
	Số lần lặp:2500, Bộ giải:Lbfgs 0,942	
Naive Bayes	Phân phối - Bình thường 0,920	
XGBoost với	Tăng cường:GBTree 0,992	
CV tìm kiếm ngẫu nhiên		
cây quyết định	MinSampleLeaf:1, Splitter:'best', MinSampleSplit:2 0,986	
	MinSampleLeaf:2, Splitter:'best', MinSampleSplit:2 0,972	
	MinSampleLeaf:1, Splitter:'best', MinSampleSplit:3 0,986	
	MinSampleLeaf:2, Splitter:'best', MinSampleSplit:3 0,972	

Bảng 2: Phân tích XGBoost với RandomSearch CV

Mudras Precision Recall Hỗ trợ điểm F1	
Pataaka 1,00 1,00100Prakhya 0,99 0,98 Prana	108
0,98 0,98 Pallava 1,000,98 Tripataka 0,99 0,99	96
	91
	105
	100

9 Kết luận và Định hướng Tương lai

Hệ thống mà chúng tôi đã đề xuất phát hiện và sửa 10 tư thế yoga khác nhau và 5 tư thế Mudra khác nhau. Các Bộ dữ liệu về các tư thế thủ ấn đã được thử nghiệm trên mười thuật toán và độ chính xác cao nhất mà chúng tôi có được là 99,2% trên XGBoost với CV tìm kiếm ngẫu nhiên. Các tính năng từ hình ảnh đã được trích xuất bằng cách tìm tọa độ của mỗi khớp và sau đó tìm góc bằng cách sử dụng tọa độ đó. Quá trình tiền xử lý dữ liệu và huấn luyện mô hình đã được thực hiện trên thiết bị đầu cuối Ubuntu 18.04.4 LTS và Google Colab. Trong tương lai, chúng tôi sẽ mở rộng dự án này bằng cách tăng bộ dữ liệu về tư thế yoga và Mudra, đồng thời chúng tôi sẽ bổ sung hệ thống hướng dẫn bằng âm thanh. yoga phát hiện tư thế có thể được triển khai thêm cùng với khung Internet of Yoga Things (IoYT). Nó được yêu cầu tập trung vào việc xác định các tư thế trong các bài tập giống yoga khác như múa ba lê, leo núi, Thái cực quyền. trong chúng tôi công việc trong tương lai, cần phải xem xét nhiều người dùng trong các kịch bản khung đơn như lớp học và thực hành hội trường. Để cải thiện hệ thống đeo, cần tích hợp các tính năng như theo dõi huyết áp và cơ thể. nhiệt độ thông qua các thiết bị đeo được khác, có thể được kết nối với chương trình ứng dụng hiện có.

10 tài liệu tham khảo

1. Y. Agrawal, Y. Shah và A. Sharma, "Triển khai kỹ thuật máy học để xác định Yoga Poses,"Hội nghị quốc tế lần thứ 9 của IEEE về Hệ thống Truyền thông và Công nghệ Mạng (CSNT). Tháng 4 năm 2020.

2. C Von, Hardenberg và Francois Berard, "Bare-Hand Human-Computer Interaction," Kỷ yếu hội thảo trên Giao diện người dùng cảm nhận, 2001.

3. CC Hsieh, D.-H. Liou và D. Lee, "Hệ thống nhận dạng cử chỉ tay trong thời gian thực sử dụng hình ảnh lịch sử chuyển động," Hội nghị quốc tế lần thứ 2 về Hệ thống xử lý tín hiệu. Tháng 7 năm 2010.

4. E. Yoruk, E. Konukoglu, B. Sankur và J. Darbon, "Nhận dạng bàn tay dựa trên hình dạng," Giao dịch của IEEE về Xử lý hình ảnh, tập. 15, không. 7. trang 1803-1815, 2006.

5. P. Breuer, C. Eckes, và S. Müller, "Nhận dạng cử chỉ tay bằng máy ảnh phạm vi thời gian bay hồng ngoại mới lạ-Một nghiên cứu thí điểm," Kỹ thuật hợp tác thị giác máy tính/đồ họa máy tính. Springer Berlin Heidelberg, trang 247-260.

6. R. M Atiqur, MF Rabbi, và Md Azimul Islam. "Nhận dạng cử chỉ tay động từ nền phức tạp và nhận dạng ngón tay bằng màu RGB." Tạp chí Quốc tế về Công nghệ Kỹ thuật Khoa học Máy tính (IJCSET) 9.03 (2018).

[PubMed] 7. P. Gil-Jiménez, B. Losilla-Lopez, R. Torres-Cueco, A. Campilho, và R. Lopez-Sastre, "Dò tìm và theo dõi bàn tay bằng bộ xương của Blob cho các ứng dụng phục hồi chức năng y tế, " Ghi chú Bài giảng Khoa học Máy tính. Springer Berlin Heidelberg, trang 130-137, 2012.

8. S. Sridhar, H. Rhodin, H.-P. Seidel, A. Oulasvirta và C. Theobalt, "Theo dõi bàn tay trong thời gian thực bằng cách sử dụng tổng mô hình Gaussian dị hướng," Hội nghị quốc tế lần thứ 2 về Tầm nhìn 3D. IEEE, tháng 12 năm 2014.

9. T. Sharp, C. Keskin, D. Robertson, J. Taylor, J. Shotton, D. Kim, C. Rhemann, I. Leichter, A. Vinnikov, Y. Wei, D. Freedman, P. Kohli, E. Krupka, A. Fitzgibbon và S. Izadi, "Theo dõi tay trong thời gian thực chính xác, mạnh mẽ và linh hoạt," Kỷ yếu của Hội nghị ACM thường niên lần thứ 33 về các yếu tố con người trong hệ thống máy tính. ACM, 18-04-2015.

10. C. Xu và L. Cheng, "Efficient Hand Pose Estimation from a Single Depth Image," Hội nghị quốc tế IEEE về thị giác máy tính. IEEE, tháng 12 năm 2013. doi: 10.1109/iccv.2013.429.

11. F. Zhang, V Bazarevsky, A. Vakunov, A. Tkachenka, G. Sung, C. L Chang, và M. Grundmann, 2020. MediaPipe Hands: Theo dõi tay trong thời gian thực trên thiết bị. arXiv in sẵn arXiv:2006.10214

12. Tiêu đề: Luật cosin, có tại: https://en.wikipedia.org/wiki/Law_of_cosin.

13. Tiêu đề: Khoảng cách Euclidean, có tại: https://en.wikipedia.org/wiki/Khoảng_cách_Euclidean

Giới thiệu về tác giả

Abhishek Sharma là Trợ lý Giáo sư tại Khoa ECE, LNMIIT, Jaipur, Ấn Độ. Liên hệ với anh ấy tại abhisheksharma@lnmiit.ac.in.

Yash Shah đã hoàn thành tốt nghiệp ECE tại The LNMIIT, Jaipur, Ấn Độ. Liên hệ với anh ấy tại 17uec139@lnmiit.ac.in

Yash Agrawal đã hoàn thành tốt nghiệp ECE tại The LNMIIT, Jaipur, Ấn Độ. Liên hệ với anh ấy theo địa chỉ 17uec136@lnmiit.ac.in

Prateek Jain là Trợ lý Giáo sư tại Khoa SENSE, Đại học VIT AP, Amaravathi (AP), Ấn Độ.
Liên hệ với anh ấy tại p.jain@ieee.org.