# AUTOMATED MACHINE LEARNING

# USING

# PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

**PRATIBHA SINGH**

**DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING**

**INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI**

**MAY 2021**

# AUTOMATED MACHINE LEARNING

# USING

# PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

by


## PRATIBHA SINGH

DEPARTMENT OF ELECTRICAL ENGINEERING


Submitted

in fulfillment of the requirements of the degree of Doctor of Philosophy

to the


INDIAN INSTITUTE OF TECHNOLOGY DELHI

MAY 2021

# Certificate

This is to certify that the thesis titled **Automated Machine Learning using Particle Swarm Optimization** being submitted by **Ms. Pratibha Singh** to the **Department of Electrical Engineering**, Indian Institute of Technology Delhi, for the award of **Doctor of Philosophy** is a record of bona-fide research work carried out by her under our guidance and supervision. In our opinion, the thesis has reached the standards fulfilling the requirements of the regulations relating to the degree. The work presented in this thesis has not been submitted elsewhere, either in part or full, for the award of any other degree or diploma.


Prof. Santanu Chaudhury

Department of Electrical Engineering

Indian Institute of Technology Delhi

New Delhi - 110016, India

Prof. Bijaya Ketan Panigrahi

Department of Electrical Engineering

Indian Institute of Technology Delhi

New Delhi - 110016, India

# Acknowledgements

I would like to extend my sincere gratitude to my advisors Prof. Santanu Chaudhury and Prof. Bijaya Ketan Panigrahi. Their important observations and suggestions guided me to determine the direction of the research work and widen my research work. This thesis is only possible because of their guidance, continuous support and motivation. I will always be grateful for their kindness, patience, encouragement and immense knowledge.

I am thankful to the members of my review committee Prof. Niladri Chatterje, Prof. Sumantra Dutta Roy, Prof. K. K. Vishwas, and Prof. Jayadeva for their valuable suggestions during my presentations. They were always being very supportive and generous throughout the discussions.

I admire and express my gratitude Prof. P. S. Gill and Prof. Shailesh Tiwari who has always been very supportive and encouraging throughout my tenure of job under them towards finishing my Ph.D. I am heartily thankful to my friends Ms. Deepti Goyal and Ms. Nidhi Singh for always being there with their unstinting support and continuous encouragement.

I acknowledge the significant contribution of my parents (Sri Shiv Nath Singh and Mrs. Gaya Kumari) and my brothers (Mr. Pradeep Singh and Mr. Sandeep Singh). Their support and encouragement is always my inspiration.

I would like to express my heartiest gratitude and sincere appreciation to my husband Mr. Shyamal Mishra for his continuous support through all my efforts and encouragement for pursuing my Ph.D.

Pratibha Singh

# Abstract

The new era in Artificial Intelligence has seen lots of advances in machine learning algorithms, its many applications in widespread domains, and still has more capabilities to emerge. The performance of these machine learning algorithms is very sensitive and typically dependent on the choice of parameters that accomplishes the assigned task. Human engineers are very prominent in doing this task of selecting parameters with satisfactory performance. They are the key role contributors to the success of many machine learning algorithms. This may also lead to the overhead of the good or bad design of any algorithm. The process of identifying a perfect set of parameters for satisfactory performance is difficult for non-Machine Learning experts and even most of the time for experts also. This problem has a solution which is to automate the process of parameter selection and it is the objective of Automated Machine Learning (AutoML). AutoML makes the machine learning algorithms convenient to use for everyone by automatically determining appropriate parameters selected from large search space with all possible parameters outperforming the performance of human experts. Our work is inspired by the fast evolving field of AutoML and one of the most important population based metaheuristic methods of Particle Swarm Optimization (PSO) which will explore and exploit the optimal solution for the betterment of the design of an algorithm. This thesis presents insight on state-of-the-art methods already popular in AutoML. It has also been observed that random search, meta-heuristic and Bayesian optimization methods have eminent contribution in designing automated pipeline of machine learning. We have proposed optimal architectures which will use PSO for the selection of features and create optimal weighted decision trees for a Random Forest Classifier (RFC). Literature on machine learning further guided us towards the most demanding architecture design of the neural networks in deep learning which outperforms many machine learning algorithms. Deep learning architectures are very popular but emerge with very high computational costs. The main challenge in deep learning is the optimal design of neural network architecture and its hyperparameter optimization. It is difficult to work with every suggested path in its design comprising of different

combinations of its architecture and hyperparameters. Thus it has motivated us to look for a metaheuristic algorithm that optimizes the search in a large space of possible configurations and drive the solution towards the global optimum. The proposed PSO optimized architecture of Convolutional Neural Network (CNN) is optimal as confirmed through results but a very expensive learning model generated after many numbers of steps of evolution. This Swarm optimized pre-trained CNN model is thus subsequently deployed to work for other applications. We used transfer learning to extend the contribution of the PSO optimized CNN model in various other applications without putting in much effort. Our swarm optimized models are robust and have shown significant improvement in results in the most popular standard datasets for classification. The results have also been compared with many approaches suggested in most eminent and recent researches in the relevant fields.

# सार

आर्टिफिशियल इंटेलिजेंस में नए युग ने मशीन लर्निंग एल्गोरिदम में बहुत प्रगति देखी है, व्यापक डोमेन में इसके कई अनुप्रयोग हैं, और अभी भी उभरने की अधिक क्षमताएं हैं। इन मशीन लर्निंग एल्गोरिदम का प्रदर्शन बहुत संवेदनशील है और आमतौर पर उन मापदंडों की पसंद पर निर्भर करता है जो असाइन किए गए कार्य को पूरा करते हैं । संतोषजनक प्रदर्शन के साथ मापदंडों के चयन के इस कार्य को करने में मानव इंजीनियर बहुत प्रमुख हैं। वे कई मशीन लर्निंग एल्गोरिदम की सफलता में महत्वपूर्ण भूमिका निभाते हैं। यह किसी भी एल्गोरिथम के अच्छे या बुरे डिज़ाइन के ऊपरी हिस्से को भी जन्म दे सकता है। संतोषजनक प्रदर्शन के लिए मापदंडों के एक सही सेट की पहचान करने की प्रक्रिया गैर-मशीन लर्निंग विशेषज्ञों के लिए और यहां तक कि अधिकांश समय विशेषज्ञों के लिए भी कठिन है। इस समस्या का एक समाधान है जो पैरामीटर चयन की प्रक्रिया को स्वचालित करना है और यह ऑटोमेटेड मशीन लर्निंग (ऑटोएमएल) का उद्देश्य है। ऑटोएमएल मशीन लर्निंग एल्गोरिदम को सभी के लिए उपयोग करने के लिए सुविधाजनक बनाता है, जो मानव विशेषज्ञों के प्रदर्शन को बेहतर बनाने वाले सभी संभावित मापदंडों के साथ बड़े खोज स्थान से चुने गए उपयुक्त मापदंडों को स्वचालित रूप से निर्धारित करता है। हमारा काम ऑटोएमएल के तेजी से विकसित हो रहे क्षेत्र और पार्टिकल स्वार्म ऑप्टिमाइजेशन (पी एसओ) के सबसे महत्वपूर्ण जनसंख्या आधारित मेटाहेरिस्टिक तरीकों में से एक से प्रेरित है, जो एल्गोरिदम के डिजाइन की बेहतरी के लिए इष्टतम समाधान का पता लगाएगा और उसका फायदा उठाएगा। यह थीसिस ऑटोएमएल में पहले से ही लोकप्रिय अत्याधुनिक विधियों पर अंतर्दृष्टि प्रस्तुत करती है। यह भी देखा गया है कि मशीन लर्निंग की स्वचालित पाइपलाइन को डिजाइन करने में यादृच्छिक खोज, मेटा-हेयुरिस्टिक और बायेसियन ऑप्टिमाइज़ेशन विधियों का प्रमुख योगदान है। हमने इष्टतम आर्किटेक्चर का प्रस्ताव दिया है जो सुविधाओं के चयन के लिए पीएसओ का उपयोग करेगा और रैंडम फॉरेस्ट क्लासिफायर (आरएफसी) के लिए इष्टतम भारित निर्णय पेड़ तैयार करेगा। मशीन लर्निंग पर साहित्य ने हमें डीप लर्निंग में तंत्रिका नेटवर्क के सबसे अधिक मांग वाले आर्किटेक्चर डिज़ाइन की ओर निर्देशित किया, जो कई मशीन लर्निंग एल्गोरिदम से बेहतर प्रदर्शन करता है। डीप लर्निंग आर्किटेक्चर बहुत लोकप्रिय हैं, लेकिन बहुत अधिक कम्प्यूटेशनल लागत के साथ उभरते हैं। डीप लर्निंग में मुख्य चुनौती न्यूरल नेटवर्क आर्किटेक्चर का इष्टतम डिजाइन और इसके हाइपरपैरामीटर ऑप्टिमाइज़ेशन है। इसकी वास्तुकला और हाइपरपैरामीटर के विभिन्न संयोजनों से युक्त इसके डिजाइन में

प्रत्येक सुझाए गए पथ के साथ काम करना मुश्किल है। इस प्रकार इसने हमें एक मेटाहेरिस्टिक एल्गोरिथम की तलाश करने के लिए प्रेरित किया है जो संभावित कॉन्फ़िगरेशन के एक बड़े स्थान में खोज को अनुकूलित करता है और समाधान को वैश्विक इष्टतम की ओर ले जाता है। कन्वर्सेशनल न्यूरल नेटवर्क (सीएनएन) का प्रस्तावित पीएसओ अनुकूलित आर्किटेक्चर इष्टतम है जैसा कि परिणामों के माध्यम से पुष्टि की गई है, लेकिन विकास के कई चरणों के बाद उत्पन्न एक बहुत महंगा शिक्षण मॉडल है। इस झुंड अनुकूलित पूर्व-प्रशिक्षित सीएनएन मॉडल को बाद में अन्य अनुप्रयोगों के लिए काम करने के लिए तैनात किया गया है। हमने बहुत अधिक प्रयास किए बिना विभिन्न अन्य अनुप्रयोगों में पीएसओ अनुकूलित सीएनएन मॉडल के योगदान को बढ़ाने के लिए ट्रांसफर लर्निंग का उपयोग किया। हमारे झुंड अनुकूलित मॉडल मजबूत हैं और वर्गीकरण के लिए सबसे लोकप्रिय मानक डेटासेट में परिणामों में महत्वपूर्ण सुधार दिखाया है। परिणामों की तुलना प्रासंगिक क्षेत्रों में सबसे प्रख्यात और हाल के शोधों में सुझाए गए कई दृष्टिकोणों से भी की गई है।

# Contents

# List of Figures

# List of Tables