

# 应用于物联网的现代信息智能处理技术

许钰雪, 刘笑

上海工程技术大学管理学院, 上海

收稿日期: 2023年10月30日; 录用日期: 2023年12月22日; 发布日期: 2023年12月29日

## 摘要

现代智能信息处理方法是模仿生物智能利用计算机及人工智能技术和计算机科学处理信息。本文基于梳理现代智能信息处理的发展历程、结构特性, 以物联网行业为案例探讨智能计算在物联网的应用。另外, 也对智能信息处理的发展与应用进行了展望, 详细描述了蜂群算法(ABC)特征的系统结构, 为解决物联网在大数据特征算法选择方面低计算效率、低可扩展性的问题提供理论基础, 此架构由四个层次组成, 能够高效地收集有效数据, 清除不需要的数据, 具有更好的扩展性和有效性。

## 关键词

物联网, 蜂群算法, 智能计算

# Modern Information Intelligent Processing Technology Applied to the Internet of Things

Yuxue Xu, Xiao Liu

School of Management, Shanghai University of Engineering Science, Shanghai

Received: Oct. 30<sup>th</sup>, 2023; accepted: Dec. 22<sup>nd</sup>, 2023; published: Dec. 29<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

Modern intelligent information processing method refers to the imitation of biological intelligence using computer and artificial intelligence technology and computer science to process information. Based on the development history and structural characteristics of modern intelligent information processing, this paper discusses the application of intelligent computing in the Internet of Things by taking the Internet of Things industry as a case study. In addition, it also prospects the development and application of intelligent information processing, and describes in detail the system structure of bee swarm algorithm (ABC) features, which provides a theoretical basis for solving the problems of low computational efficiency and low scalability in the selection of big data fea-

ture algorithms in the Internet of Things. This architecture consists of four levels, which can efficiently collect effective data and remove unwanted data. It has better scalability and effectiveness.

## Keywords

Internet of Things, Bee Swarm Algorithm, Intelligent Computing

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

人工蜂群算法是模仿蜜蜂的行为方式一项算法,它在智能思维中实际应用,其主要特点是不需要了解问题特殊的具体信息,只涉及需要对关键问题自下而上的比较,最终通过对所有类别中的每一个蜂个体进行比较,强调整体里的最佳价值。为解决多变量函数的最优问题, Karaboga 提出了一个 ABC 蜂群算法模型[1]。循序渐进的人工蜂群算法是一种精密算法,灵感来自对蜜蜂寻找蜂蜜及采摘过程,而比之于较为普遍使用的启发式算法,该算法的使用具有较低的控制参数,其优点是高可靠性,每次迭代都会寻求全局和局部最优解,这大大增加了找到最优解的可能性。与遗传算法相比,人工蜂群算法更具寻优能力以及局部收敛效果也突出,不存在遗传算法中的早期成熟现象,算法也简单。然而,因为遗传算法涉及交叉,其在寻求最优价方面比人工蜂群算法更好。此外,人工蜂群算法也适用于连续函数的全局优化,而不适用于某些离散函数。

人工蜂群算法由学者 Karaboga 提出,模仿蜜蜂是为了解决一些多维问题,最初是应用到了数值优化,提出后颇受学者们关注,之后广泛应用于数据提取、工程和图像应用、神经网络等若干领域。自 2013 年以来,通过谷歌学术研究,记录有 18,200 条发表研究 ABC 计算方法的文章,ABC 算法得到了许多科研者的关注和比较分析[2] [3] [4];文献[5]通过对其他著名进化算法,如蚁群算法、粒子群算法、差分算法等做比较,是第一次详细全面的各方法性能分析;文献[6]通过分析在多层次和多模数值问题下的影响,得出 ABC 参数取值的不同以及与其他智能算法的性能的比较;文献[7]研究 ABC 性能受参数变化的影响。使用随机过程理论,文献[8],提供了一系列定义和算法在 Markov 链模型进一步迁移的可能性,并引入随机搜索算法的收敛界定,通过分析 Markov 链的性质,证明了人工蜂群算法具备全局收敛性;文献[9]-[15]对人工蜂群算法的性能分析。目前对于人工蜂群算法的研究主要集中在性能分析和参数优化方面。虽然已经有许多文献对人工蜂群算法进行了比较分析,并且提出了一些改进方法,但仍然存在一些缺陷问题。例如,对于人工蜂群算法的参数取值的影响尚未得到充分的解决,而且与其他智能算法的性能比较也还需要进一步的研究。此外,虽然有文献证明了人工蜂群算法具备全局收敛性,但在实际应用中仍然存在收敛速度较慢的问题,需要进一步改进。因此,对于人工蜂群算法的缺陷问题仍然需要更多的研究和探讨,本文将物联网为案例说明人工蜂群算法的优化,并提供可借鉴的研究方向,深入研究基于物联网的各种智能技术的应用,将会提升人工蜂群算法应用可扩展性。

## 2. 人工蜂群算法描述

在人工蜂群算法中,蜜源位置为解,获得花粉数表解的适应值。蜜蜂分为以下三类,各司其职:雇佣蜂被用于寻找原始蜜源并分享信息,跟随蜂根据信息留住蜂巢,探索蜂在放弃原始蜜源后负责寻找新

的蜜源, 其中跟随蜂与雇佣蜂各占总体的一半。与其他智能算法一样, 人工蜂群算法也会迭代。对蜜蜂和蜜源投入使用后, 反复开展三过程行动, 即三种蜜蜂操作的追踪探索, 最终获取解决问题最优解。

## 2.1. 蜂群的初始化

开始制定 ABC 算法参数, 其中包括蜜源变量 SN、蜂蜜来源限制的次数和迭代终止的次数。在 ABC 标准算法中, 蜜源变量 SN 与雇佣蜜蜂的数量是相当的。产生蜜源数的方程式:

$$x_{ij} = x_{\min j} + \text{rand}[0,1](x_{\max j} - x_{\min j}) \quad (1)$$

以上公式:  $x_{ij}$  表示第  $i$  个蜜源的第  $j$  维度值,  $i$  的取值:  $\{1, 2, \dots, \text{SN}\}$ ,  $j$  的取值:  $\{1, 2, \dots, \text{D}\}$ ;  $x_{\min j}$  和  $x_{\max j}$  分别代表最小值和最大限度的第  $j$  维。初始化蜜源是通过上述方程式计算每一种蜜源在数值范围内的所有层面的随机数值, 从而随机产生 SN 个最初蜜源。

## 2.2. 雇佣蜂阶段

在此阶段, 使用以下方程式来寻找求取新蜜源:

$$v_{ij} = x_{ij} + \varphi_{ij}(x_{ij} - x_{kj}) \quad (2)$$

以上公式:  $x_k$  指的是邻域蜜源,  $k$  的取值:  $\{1, 2, \dots, \text{SN}\}$ ,  $k \neq i$ ;  $\varphi_{ij}$  的取值:  $[-1, 1]$ , 通过式(2)计算新蜜源后, 结合贪婪算法对比新旧蜜源, 选择最优解。

## 2.3. 跟随蜂阶段

再上述雇佣蜂共享了信息之后, 跟随蜂接收并分析信息, 运用的是轮盘赌策略选择要进行跟踪的蜜源并开采, 协同工作来确保是具有更高适应值的蜜源被选择优先开采。对于跟随蜂阶段的测算, 由于开采过程基本上是同雇佣蜂的, 所以测算方法一致, 留下最优解。蜜源的参数  $\text{trial}$ , 在初始蜜源被保留时,  $\text{trail}$  是 0; 相反,  $\text{trail} + 1$ 。知道从  $\text{trial}$  中统计出蜜源多少次没有更新。

## 2.4. 探索蜂阶段

此阶段是检测是否存在多次开采的蜜源没更新, 就是此时的  $\text{trial}$  值超过了规定的阈值门槛, 则应当放弃此蜜源, 进入探索蜂阶段。这反映了人工蜂群算法的负反馈与不稳定性[16]。在这一阶段, 探索蜂利用方程式(3)应用随机方法探索新蜜源替代被抛弃的蜜源。

$$x_{ij} = x_{\min j} + \text{rand}[0,1](x_{\max j} - x_{\min j}) \quad (3)$$

## 3. 现代智能信息处理技术

随着互联网与通信技术的发展与创新, 信息处理技术在理论层也已进入新阶段。过去信息处理研究具有一定的局限性, 受限原有理论与方法, 信息处理技术的发展与创新是十分重要的, 寻求扩大研究领域是具有一定必要性的, 要积极探寻新方法和理论。如今, 信息处理技术的研究对象变化体现在两方面: ① 从简单系统到非线性、非因果、非最小相位系统的发展; ② 随着随时变化的信号研究分析。此处理技术一大特点在于能够对模糊及不可靠的信息加工为确定又可靠, 通过处理后, 可以从一系列的不确定中提取为确认的结果, 所以, 智能信息处理技术的发展对信息处理的未来发展具有重要意义, 能够使得已获取的信息得到更充分合理地利用, 提升了信息利用率。

### 3.1. 基本原理

对智能信息的处理, 即计算智能, 此智能技术是将信息处理智能化的集合, 是处理信息中的“非线性

性”、“分布式”和“同步”“决策”的最佳智能方法,已成为信息研究领域最活跃的领域。现代智能信息的处理是逐步将获取到的不完整、不准确、不可靠、不一致的信息或者知识转化为完整、准确、可靠、连贯的信息与知识的一种计算机方法。智能信息处理作为当今科学和技术发展的学科领域前沿,同时带来新思想、新概念及新理论的出现,迅速地成为一个新发展学科,其涉及信息科学的若干领域,也是神经网络、信号处理、模糊理论等各理论方法的综合应用。信号处理与分析是信息处理技术最重要趋势之一。智能信息处理不仅在学术领域广泛应用,也在商业有重要的应用。例如,智能信息处理技术在财务、医疗和运输领域得到广泛应用,从而提高了效率,降低了成本,提高对于信息处理的精度与准确性。此外,也为人工智能和机器学习的发展提供了重要推动了。随着技术发展,智能信息处理技术将继续在促进信息和技术进步方面发挥重要作用。

### 3.2. 发展历程

智能信息处理技术的起源可追溯到 1930 年,由于当时缺乏某些计算工具,运算力的缺失使得智能信息的处理作用有限,阻碍了智能信息处理技术的发展。计算机的出现是智能信息处理技术的快速发展的基础,具有智能信息处理能力的产品应用逐渐出现在日常视野中,为生活与学习带来巨大的惠益并带来良好的经济效益。例如目前广泛运用于医学的 CT 机就是以智能信息处理为基础技术的,由著名美国科学家 J.W.Cooley 领导的一个科学家小组提出的算法对科学界产生了巨大影响,在计算机的硬件电路应用这一算法之后,该算法被广泛应用于不同的智能探测器,带来自动探测设备的高速增长,并产生了极好的效果。近年来,计算机技术和智能信息处理技术不断发展,科学技术水平的提高,许多信息处理系统都有可能嵌入对于智能信息处理技术的开发。

### 3.3. 主要理论与方法

智能信息处理技术涵盖范围广泛的领域,涉及信息科学的多学科领域,包括对于计算机、通信、控制等技术的组合。从目前的研究现状,智能信息处理方法包括以下几种:

#### 3.3.1. 人工神经网络方法

人工神经网络以数学和网络模型为基础,在数学模型中,人工神经元是信息处理的基本单元,多种组合在一起成为复杂的神经网络。此结构基础在于一个人工神经元与每个神经元的通讯结构。网络模型的基础也是人工神经元,据特定结构构成一个完整的模型。根据目前的研究统计,开发了几十种的人工神经网络模型。如果根据连接形式及信息流动的方向对人工神经网络模式进行分类,可分为两类:前倾型网络和相互综合网络。在前倾网络模型中,没有反馈机制,而相互综合型中信息能够反馈,可以被称为反馈的神经网络模型。

#### 3.3.2. 模糊理论

如果涉及的研究对象是具有一定不确定性的现象时,就应当使用模糊理论。研究对象的不确定性是本身就存在的,不受数学理论的二元性原则的限制,而是研究对象差异的中间过渡,很难明确界定,从而使对象的划分变得模糊。模糊性系统的基础是模糊理论,这是一个能够对于模糊信息处理的动态模型。一般的模糊系统可被视为单一的输入与输出对应,并可作为连续性函数的逼近器,由四部分组成,其中包括产生器、推理器、规则库和反模糊化器。在模糊系统和神经网络的基础上发展了一个模糊神经网络。最终,模糊神经网络将神经网络的理论同模糊系统的理论结合起来,补充其优势,并将逻辑计算、语言、治疗方法和动力学理论结合起来,具有学习、识别以及良好的模糊处理能力。模糊神经网络的核心是向普通神经网络施加模糊的信号和权值,它们优势互补,充分结合到了神经网络与模糊系统的优势。可以说模糊神经网络能够作为智能信息处理技术的一个里程碑,意义重大。

### 3.3.3. 进化算法

以生物群落中的自然选择法和遗传法为基础进行学习和借鉴, 是对于优化利用和机械学习等领域研究的重要指南。该算法很简单, 适合多信息并行处理。遗传算法的对象为个体然后进行选择及异质操作, 使算法具有不同于传统算法的独特性。科学家的研究表明, 进化算法被广泛应用于许多自动化控制、图像识别方面以及机器学习的领域, 这个方法也是智能信息处理中最常用的算法。

## 4. 应用

首先, 智能自动化可以降低人类脑力劳动量的使用频率。第二, 拥有在生活中识别物体的能力, 无论是书面的、语音的、视觉的还是其他的, 机器都将帮助识别加以分析翻译。第三, 互联网目前正在广泛地应用, 借助路由器智能信息处理能够分析数据是如何传输的, 并寻找最优路径来处理网络阻塞。第四, 如今计算机技术已经在实际生产中被广泛的应用, 计算机技术的发展必须加快, 存储能力逐步加强, 成本更低, 智能信息处理技术的开发能够有效地推进计算机技术的发展并完成某些先前不能够完成的任务。另外, 具体的技术包括, 计算机识别技术, 用于自动识别物体、影音、符号等, 一般程序包括取样本的收集、信息数字化、预先的处理、提取数据特征及对标准化模式识别、比较和分类等。

### 4.1. 物联网行业算法应用

#### 4.1.1. 物联网描述

从物联网名称可以显示出物联网指的就是物与物的联通构建的网络。一般有两方面含义: 一方面, 物联网还是要构建于互联网的基础, 但是作为此基础上网络的延展; 另一方面, 它的用户是广泛扩展了的, 不仅是人与物之间的连接, 还能够传输物与物之间的信息。因此, 物联网是一种网络, 定义为通过红外线激光感应器、无线电识别设备(RFID)和全球定位系统等信息传感传输设备[17], 根据约定的通信和信息交换协议将任何物品元件都连接到互联网的网络, 用于智能定位、追踪、检测与管理[18]。物联网目前还属于一个迅速发展的新兴技术, 学习其技术理论, 发展方向及应用是高等教育的主要目标[19] [20] [21] [22]。智能家居物联网实验室的典型应用是智能住宅, 是一种居住环境, 在平台安装了智能家庭系统, 实施“智能住宅”是智能家具的整合过程。这项集成通过综合的布线技术、网络通信技术、安全保护与监控技术、自控技术及影音技术将有关家庭生活的设备进行大集合。智能家居实训室包含主要子系统: 家庭(中央)控制系统、家庭照明控制系统、家居安全系统、环境控制系统, 中央管理系统处理来自子系统的信息并发布相关指示。家庭照明控制系统: 检测全部的照明灯系统, 据传感器探测人是否存在来控制灯泡的开关操作。家庭保护系统: 家庭保护系统包括门磁开关、烟雾警报、紧急呼救、气体泄露警报与红外微波探测等。家庭环境控制: 窗帘、喷雾等, 以确保室内湿度和温度, 使得室内环境永远处于最舒适。

#### 4.1.2. 物联网下的 ABC 方法优化

成本低但高效的传感器遍布城市, 正成为物联网获取数据的有效机能, 越多的设备投入于城市网络, 智慧城市将更智能化。因此当它被广泛的用于郊区将更有利于构建完整智能城市结构, 传感器收集来自环境多样化的实时数据。例如智能住宅的关键是改善住宅建筑的能源使用, 家用电器配有实时传感器, 并将数据发送给中介媒介, 此数据过滤程序将为家庭能源消耗设定阈值。还比如车辆交通系统的以降低城市交通拥堵为主要目标, 数据处理确定了两个具体点的平均运输时间, 路边传感器接收两地车辆的出入信息, 引入聚合技术分析具体地点目前的行程时间来确认堵塞的道路。还有以气象部门为例, 其作用为确认天气与其他的环境参数, 某些地点部署的传感器可监测到城市一氧化碳的浓度。以上举例的传感器将收集的数据都输送到中间层进行筛选与酌情处理, 以促进决策和事件发生。

HIABC 算法如下列步骤: 首先, 在 Hadoop 系统处理过程中, 是通过了前向的搜索策略[23]确认了采用的最佳数量以及最少数量的粒子滤波[24] [25] [26], 然后是用于在数据集中成功去除噪声, 在此策略中, 几个食物来源就会有几个特征, 其次, 对应每一个食物来源的特征子集将被分到一个分类器[27], 将其准确度当作适度值, 之后将使用 MR 参数即修正率参数确认选择能够对应食物来源的邻居, 利用蜜蜂接触每个食物来源, 然后同步探索邻居。为特征提取, 从原始的食物来源位向量确认邻居, 然后在位矢量每处地点随机生成大于 0 小于 1 的数值  $R_i$  [28] [29] [30]。如果该数值低于参数 MR, 则将该特性注入于子集。当新发现的来源质量高于已探的食物来源, 则相邻来源作为最新的来源。以上的信息将会分享给其他的蜜蜂, 在 HIABC 算法, 数据大小会呈现显著的增长趋势, 因此这一过程的结束是持续到 Hadoop 系统能够选出最佳的参数, 然后淘汰机制是一种小生境种群淘汰, 挑选了最佳的个体, 最后的 N 个特征是随机创建的, 并交给分类器, 新发现的蜜源将分配至侦察蜂, 雇佣蜂也将再次开启任务执行。

因此, 如图 1 所示, 目前试验的结果会通过调整数据集的大小来测试系统吞吐量。随着数据集的扩大, 吞吐量将会增加, 成正比关系。最初, 这三个系统的数据处理速度没有太大差别, 但随着数据集的增加, Hadoop 和 Java 查询系统的数据处理速度大大下降。相比之下, 很明显的是 HIABC 仍然能够实现更高的效率。

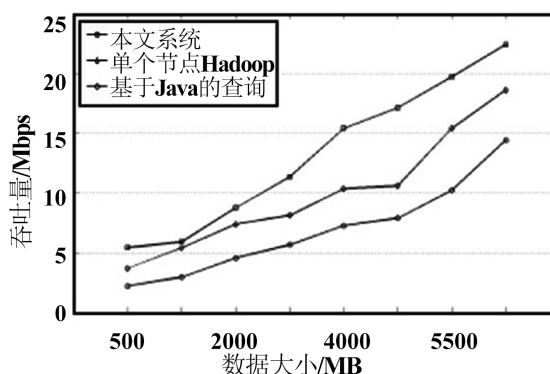


Figure 1. Compares throughput and data size of three systems

图 1. 三个系统的吞吐量与数据大小比较

## 5. 总结

最后, 物联网并不是小产品, 也不是单独依靠小型企业能够制造出的, 它需要的不仅是技术, 而且需要产业与工业各种力量的结合。这就要求国家应该有相应的产业政策与立法走在前列, 制定适合物联网发展的政策法规, 确保物联网行业的顺利发展。行业内的专家们认为, 在某种程度上, 物联网节省了许多成本并能够提高经济效率; 另一方面, 其为经济的复苏提供一些技术助力。目前, 美国、欧盟和中国在物联网研究方面进行了大量投资, 我国还非常重视物联网的深入研究, 工业和信息部与有关部门合作, 正在研究新一代信息技术, 以制定相应的政策支持措施, 推动技术的进一步发展。此外, 随着“物联网”的广泛普及, 动物和植物传感器、机器和商品传感器的开发[31] [32]也引发关注, 所以人工蜂群算法自提出也吸引了许多科研人员[33] [34] [35] [36]的注意, 以下几点十分值得深入研究:

a) 现有研究的重点是算法改进与应用, 关于人工蜂群算法的收敛性、适应特点及其动态特点的理论研究相对较少。

b) 目前的算法参数是据经验所得的, 在很大程度上取决于环境和具体的问题, 应研究人工蜂群算法参数选取的方法, 特别是关于具有普适性不需要严格调整的参数及能够自我调整的参数相关理论值得研究与提出。

c) 如果要进一步提升人工蜂群算法性能, 也可以进一步研究其搜索策略, 蜜蜂内部的运行操作机制, 算法的优化策略, 以便在探索和开采之间取得平衡, 确保算法多样性, 提升人工蜂群算法的收敛速度。

d) 扩大人工蜂群算法的应用范围, 使之包括进一步研究如何在不确定的、离散的、多约束的、多目标的环境中的优化问题。

## 参考文献

- [1] Karaboga, D. (2005) An Idea Based on Honey Bee Swarm for Numerical Optimization, TR06. Erciyes University, Kayseri.
- [2] Karaboga, D., Gorkemli, B., Ozturk, C. and Karaboga, N. (2014) A Comprehensive Survey: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm and Applications. *Artificial Intelligence Review*, **42**, 21-57. <https://doi.org/10.1007/s10462-012-9328-0>
- [3] 秦全德, 程适, 李丽, 等. 人工蜂群算法研究综述[J]. 智能系统学报, 2014, 9(2): 127-135.
- [4] 霍凤财, 杜颖, 刘洋. 人工蜂群算法及其应用[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2016, 34(4): 468-476.
- [5] Karaboga, D. and Akay, B. (2009) A Comparative Study of Artificial Bee Colony Algorithm. *Applied Mathematics and Computation*, **214**, 108-132. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2009.03.090>
- [6] Karaboga, D. and Basturk, B. (2008) On the Performance of Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm. *Applied Soft Computing*, **8**, 687-697. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2007.05.007>
- [7] Akay, B. and Karaboga, D. (2009) Parameter Tuning for the Artificial Bee Colony Algorithm. In: Nguyen, N.T., Kowalczyk, R. and Chen, S.M., Eds., *Computational Collective Intelligence. Semantic Web, Social Networks and Multiagent Systems*, Springer, Berlin, 608-619. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-04441-0\\_53](https://doi.org/10.1007/978-3-642-04441-0_53)
- [8] 宁爱平, 张雪英. 人工蜂群算法的收敛性分析[J]. 控制与决策, 2013, 28(10): 1554-1558.
- [9] Karaboga, D. and Basturk, B. (2007) A Powerful and Efficient Algorithm for Numerical Function Optimization: Artificial Bee Colony (ABC) Algorithm. *Journal of Global Optimization*, **39**, 459-471. <https://doi.org/10.1007/s10898-007-9149-x>
- [10] Krishnanand, K.R., Nayak, S.K., Panigrahi, B.K. and Rout, P.K. (2009) Comparative Study of Five Bio-Inspired Evolutionary Optimization Techniques. 2009 *World Congress on Nature & Biologically Inspired Computing (NaBIC)*, Coimbatore, 9-11 December 2009, 1231-1236. <https://doi.org/10.1109/NABIC.2009.5393750>
- [11] Mala, D.J., Kamalpriya, M., Shobana, R. and Mohan, V. (2009) A Non-Pheromone Based Intelligent Swarm Optimization Technique in Software Test Suite Optimization. 2009 *International Conference on Intelligent Agent & Multi-Agent Systems*, Chennai, 22-24 July 2009, 1-5. <https://doi.org/10.1109/IAMA.2009.5228055>
- [12] Karaboga, D. and Akay, B. (2009) Artificial Bee Colony (ABC), Harmony Search and Bees Algorithms on Numerical Optimization. *Proceeding of Innovative Production Machines and Systems Virtual Conference 2009*, Kayseri, January 2009, 1-6.
- [13] Li, H.Z., Liu, K.Q. and Li, X. (2010) A Comparative Study of Artificial Bee Colony, Bees Algorithms and Differential Evolution on Numerical Benchmark Problems. In: Cai, Z., Tong, H., Kang, Z. and Liu, Y., Eds., *Computational Intelligence and Intelligent Systems*, Springer, Berlin, 198-207. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-16388-3\\_22](https://doi.org/10.1007/978-3-642-16388-3_22)
- [14] Chu, S.C., Huang, H.C., Roddick, J.F. and Pan, J.S. (2011) Overview of Algorithms for Swarm Intelligence. In: Jędrzejowicz, P., Nguyen, N.T. and Hoang, K., Eds., *Computational Collective Intelligence. Technologies and Applications*, Springer, Berlin, 28-41. [https://doi.org/10.1007/978-3-642-23935-9\\_3](https://doi.org/10.1007/978-3-642-23935-9_3)
- [15] Civicioglu, P. and Besdok, E. (2013) A Conceptual Comparison of the Cuckoosearch, Particle Swarm Optimization, Differential Evolution and Artificial Bee Colony Algorithms. *Artificial Intelligence Review*, **39**, 315-346. <https://doi.org/10.1007/s10462-011-9276-0>
- [16] 邱云飞, 李智义. 改进人工鱼群算法在 SVM 参数优化中的应用[J]. 计算机工程与科学, 2018, 40(11): 2074-2079.
- [17] 苏占东, 杨炳濡, 游福成. 基于信息挖掘的智能决策支持系统的结构设计[J]. 计算机应用研究, 2012, 20(5): 12-14.
- [18] 黄莉. 智能信息与网络处理探究[J]. 电脑知识与技术, 2010, 6(18): 5028, 5035.
- [19] 童晓渝, 房秉毅, 张云勇. 物联网智能家居发展分析[J]. 移动通信, 2010, 34(9): 16-20.
- [20] 杨堤. 基于物联网的智能家居控制系统设计与实现[J]. 电子世界, 2012(21): 16-17.
- [21] 王怡, 鄂旭. 基于物联网无线传感的智能家居研究[J]. 计算机技术与发展, 2015(2): 234-237.
- [22] 由斌, 张桂青, 汪明, 李成栋. 基于物联网的智能家居设计与实现[J]. 自动化与仪表, 2013, 28(2): 6-10.

- 
- [23] Bonabeau, E., Dorigo, M. and Theraulaz, G. (1999) *Swarm Intelligence: From Natural to Artificial Systems*. Oxford University Press, New York. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195131581.001.0001>
- [24] 黄席樾. 现代智能信息算法理论及应用[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
- [25] 陈国良. 遗传算法及其应用[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1996.
- [26] 林明星, 付晨. 基于神经网络的多传感器信息融合技术[J]. 新技术新工艺, 1999(3): 6.
- [27] 王雪, 王晟. 现代智能信息处理实践方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2009.
- [28] 王天力. 人工蜂群算法 + BP 神经网络模型在短期电力负荷预测中的应用研究[J]. 机电信息, 2022(3): 6-9.
- [29] 王玉, 申铨京, 周昱洲, 林鸿斌. 一种求解交通网络中最短路径问题的人工蜂群算法[J]. 吉林大学学报(理学版), 2021, 59(5): 1144-1150.
- [30] 单好民, 陈才学. 基于 RSSI 高斯滤波的人工蜂群定位算法[J]. 传感技术学报, 2021, 34(7): 979-983.
- [31] 黄英双, 曹辉. 改进人工蜂群算法优化支持向量机及应用[J]. 计算机应用与软件, 2021, 38(2): 258-263, 277.
- [32] 李昊伦. 改进人工蜂群算法及相关应用研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京邮电大学, 2020.
- [33] 徐晓飞, 刘志中, 王忠杰, 闵寻优, 刘睿霖, 王海芳. S-ABC——面向服务领域的人工蜂群算法范型[J]. 计算机学报, 2015, 38(11): 2301-2317.
- [34] 耿立卓, 郝雪, 刘璐, 林春龙, 高琦. 基于人工蜂群算法的电力通信网路由优化仿真[J]. 电子设计工程, 2022, 30(24): 28-32.
- [35] 许彝. 面向工业智能的制造流程优化方法研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京邮电大学, 2022.
- [36] 杨帆, 李邵梅, 金柯君. 基于改进人工蜂群算法的文本对抗样本生成[J]. 计算机系统应用, 2022, 31(11): 238-245.