

文章编号: 2095-2163(2024)03-0104-07

中图分类号: TP393.09

文献标志码: A

基于强化学习和梯度下降的智能配餐方法

李飞龙

(浙江理工大学 计算机科学与技术学院, 杭州 310018)

摘要: 为更好地解决营养配餐中的组合食材、计算重量等问题,设计了一种基于强化学习与梯度下降的智能配餐方法。通过对营养配餐的原则和方法进行深入研究,采用数学建模方法对整个配餐过程进行建模;根据配餐过程分别对组合食材和计算重量这2个问题进行建模,并设计相应算法进行求解;设计相关实验,验证该智能配餐方法的可行性和稳定性。实验结果表明,该智能配餐方法不仅可以根​​据用户偏好食材、健康状况等信息智能地组合食材,还能根据膳食宝塔和营养素均衡等营养学指标,优化出合理的饮食方案,具有一定的应用价值。

关键词: 健康饮食; 配餐方法; 智能算法; 强化学习; 梯度下降

Intelligent catering method using reinforcement learning and gradient descent

LI Feilong

(School of Computer Science and Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to better solve the problems of combination of ingredients and calculation of weight in nutritional diet, an intelligent diet method based on reinforcement learning and gradient descent is designed. First of all, after in-depth research on the principles and methods of nutritional catering, the whole catering process is modeled by mathematical modeling method; Then, according to the catering process, the two problems of combining ingredients and calculating weight are modeled, and corresponding algorithms are designed to solve them; Finally, relevant experiments are designed to verify the feasibility and stability of the intelligent catering method. The experiment shows that the intelligent catering method can not only intelligently combine ingredients according to user preferences, health status and other information, but also optimize a reasonable diet plan according to nutritional indicators such as diet pagoda and nutrient balance, which has certain application value.

Key words: healthy diet; catering method; intelligent algorithm; reinforcement learning; gradient descent

0 引言

随着社会经济的发展,人们的饮食习惯也发生了变化。不健康的饮食方式可能会带来肥胖、高血压、心血管疾病、糖尿病等健康问题,而均衡饮食不仅能够增强体质、提高抗病能力,还能对各种疾病的预防起着重要作用^[1-3]。智能配餐是借助人工智能技术^[4-5]和机器学习算法^[6-7],根据用户的健康状况与营养要求,并结合食谱和食物的相关数据,自动生成符合用户要求的餐饮方案。由于智能配餐算法能够明显地提高营养配餐效率,有效改善用户的餐饮体验,因此智能配餐技术的研究和应用受到了更多研究者的密切关注。

智能配餐算法的研究跨越了营养学、医学、计算

机学等多门学科。在营养学中,为了促进健康饮食的可持续发展,Barbour等学者^[8]通过3种方法呈现研究问题的结果,并为澳大利亚营养师们提供了关于改造现有食物体系的相关建议。Willett等学者^[9]提出了一种具有本地适应性和扩展性的通用框架,为可持续食品生产和健康饮食提供定量科学目标,通过这些目标为食物系统定义了一个安全空间,从而使该食物系统安全运行。

在膳食结构与评估指标研究中,文献[10]科学合理地给出了膳食结构在中国不同区域的演进方向以及健康效应,为平衡城乡居民的膳食结构提供了依据。文献[11]通过对膳食模式的评价方法进行总结,为研究者选择合适的评价方法提供了便利。文献[12]以中国居民膳食指南与膳食营养素推荐

基金项目: 国家自然科学基金(61272311,61672466); 浙江省自然科学基金(LZ20F020003,LZ21F020003,LSZ19F010001,LY17F020003)。

作者简介: 李飞龙(1996-),男,硕士研究生,主要研究方向:智能计算、智能系统。Email:lfmaster@163.com

收稿日期: 2023-03-10

哈尔滨工业大学主办 ◆ 专题设计与应用

摄入量为基础,根据中国居民膳食摄入变化及对慢病的影响筛选出一种能够进行营养评价与健康评估的指标体系。

在配餐系统设计中,为了给用户高效、便捷的配餐服务,文献[13]根据高速铁路列车开行方案,对列车配餐业务的经营模式与工作流程进行优化,以餐食质量和系统总成本最优为目标、列车需求量和车站供应能力为约束建立配餐计划编制模型,最终设计并实现了一个高速列车配餐信息系统。文献[14]在构建标准化配餐业务管理流程的基础上,从知识库管理系统中提取营养学、诊断学先验知识及历史数据进行分析并构建规则知识库,采用多维数据建模技术设计并构建了一个智能化配餐辅助决策系统。

在配餐算法研究中,为了提供个性化的饮食建议和方案,文献[15]设计了一个新型的智能营养配餐系统设计方案。该方案首先借助改进的加权随机抽样算法选取不同种类的食物;然后,采用多元线性回归模型及优化求解算法来调优配平结果,并通过反馈机制判别配餐结果的合理性;最后,通过实验优化模型和相关参数以此提高配餐结果的科学性。文献[16]针对不同用户搭配出具有特定功效的菜品进行研究,提出一种加入用户偏好的多目标优化遗传算法,以此来完成食材搭配的任务。通过在算法中加入默认随机权重、食材选择概率策略和一种新的表现型基因交叉方法,来解决用户偏好、食材数量控制和算法收敛过快的问题。文献[17]提出一种基于交互式进化计算的食谱智能优化方法。首先,根据用户评价价值和食谱菜品优化模型确定食谱样本中的隐式与显式指标,并基于文献[18]中的NSGA-II算法获得食谱样本 Pareto 优化解;然后,引入指标均衡度指导进化从而使 Pareto 优化解更好兼顾用户偏好与营养均衡;最后,用遗传算法最优解替换原优化结果中指标均衡度最低个体,进而改造 Pareto 前沿。

总体来说,配餐系统是一个涵盖了配餐全过程的综合性系统,而配餐算法是配餐过程中使用的计算方法。随着人工智能技术的发展,智能算法在营养配餐中的应用取得了可观的成果,不仅能够帮助用户进行复杂的数值计算,还能根据用户的相关信息,智能地为用户服务,提高用户的使用体验。因此,本文基于对营养配餐和智能算法的研究,将配餐过程分为组合食材和计算重量两部分,对其分别建立各自的模型,并使用强化学习算法^[19]解决组合食材模型中精选食材问题,使用梯度下降算法^[20]解决

计算重量模型中优化目标问题,从而构造出一个完整的智能配餐方法。

1 配餐流程

从营养学角度来讲,营养配餐是一种为满足人体营养需求而制定的饮食计划。该饮食计划是通过控制蛋白质、碳水化合物、脂肪、维生素、矿物质等元素的摄入量,使人们的身体达到健康状态,起到预防各种疾病的作用。在制定饮食计划过程中,可以根据个人的年龄、性别、活动量、疾病情况等因素进行调整,以此获得最佳的营养方案。

为了更加准确地获取饮食计划中各种营养素的含量,还需要了解一些营养素的计算方法。例如,计算法、食物交换份法等。对于配餐算法研究人员来说,必须了解计算法的基本操作,才能更加准确地计算配餐方案中各种营养素的含量,这关乎到配餐算法评价指标的选择,是使用营养学中的膳食宝塔、营养素均衡等评价指标,还是使用算法本身的准确率、召回率、ROC 曲线等评价指标,或者是基于用户的喜好、口感等体验来进行评价,不同的评价指标直接影响着配餐方案的效果。

为了便于设计配餐算法,算法中使用到中国居民膳食能量需求量参考数据表(EER)与中国居民膳食营养素摄入量参考数据表(DRI)。营养师为用户制定营养配餐流程如下:

(1)根据客户的年龄、性别、劳动强度等基本信息,并参考 EER 表和 DRI 表的数据,确定用户每日的能量需求量和营养素摄入量。

(2)根据用户的偏好食材、健康状况和配餐记录等信息为用户初步组合食材;通过对组合食材进行多次调整后,使其满足客户的身体需求和口味偏好等要求。

(3)使用计算法或食物交换份法,根据相关指标确定食材的重量,确保其营养均衡、科学合理。

(4)给出完整的饮食计划并与客户进行沟通和反馈,帮助客户理解饮食计划的重要性,确保客户正确地使用食谱,以此达到最佳的营养效果。

2 配餐算法模型

2.1 组合食材模型

组合食材模型的功能是根据用户和食材的相关信息,搭配出符合用户特定需求的食材方案。在该模型中,为了实现食材的排序,首先引入了一个食材分数,是根据用户的相关信息和食材间的搭配信息

来更新分数;然后形成一个用户食材库;最后通过一种基于强化学习的精选食材算法,从用户食材库中为用户挑选配餐食材。组合食材模型的工作流程如下:

(1) 创建并初始化食材分数表。

(2) 根据用户的偏好食材、上次配餐食材、健康状况等信息和食材的相克与宜搭信息来更新食材分数表。

(3) 根据膳食宝塔的各层食材种类信息和各食材的分数粗略地挑选出分数较高的食材,并与用户的偏好食材和上次配餐食材进行合并,形成用户食材库。

(4) 使用强化学习算法从用户食材库中精选出符合用户需求的食材,并输出配餐食材的名称。

为了使精选食材过程能够使用强化学习算法,首先需要对该过程进行详细分析,然后对强化学习方法中的环境、智能体和行为等元素进行定义,最后使用 SARSA 算法模型对精选食材的过程进行建模。

精选食材算法的流程如图 1 所示。其中,环境是由用户信息、食材信息、各种评价指标等数据组成;状态是由选中的配餐食材所组成的列表来表示,配餐食材列表中每添加或删除一种食材则为一种新的状态;动作则是从用户食材库中选择食材。在 SARSA 算法中, Q 表用于存储不同状态下各个动作的 Q 值。为了更好地计算 Q 值,首先对当前状态的配餐食材列表进行评价打分,然后执行所有可能出现的动作,并对新状态的配餐食材列表进行打分,再把所有的 Q 值更新为加入该动作后的配餐食材列表分数,最后选取分数最高的配餐食材列表所对应的动作,作为下一次需要执行的动作。

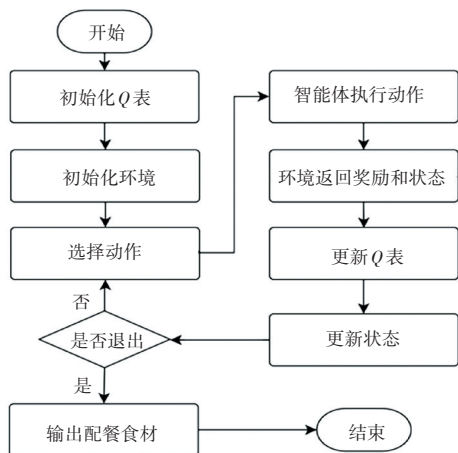


图 1 精选食材算法流程图

Fig. 1 Flow chart of selected ingredients algorithm

2.2 计算重量模型

在营养配餐中,计算食材重量的目的是通过确定每种食材中营养成分含量来确保配餐的营养均衡与合理,而计算食材重量的过程是一个多目标优化问题。因此,在对影响食材重量的因素进行分析后,决定使用数学建模方法对计算重量过程建立一个线性规划模型,并对模型中的决策变量、目标函数和约束条件等要素进行定义,最后使用梯度下降方法设计一种优化算法,对模型中的目标函数进行求解。

在设计计算重量模型时,将配餐食材的重量用行向量 $\mathbf{X}_{1 \times n}$ 作为决策变量,如式(1)所示:

$$\mathbf{X}_{1 \times n} = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\} \quad (1)$$

其中, n 表示配餐食材的总个数。

约束条件是由膳食宝塔、营养素配比、能量需求量等指标确定。为了计算配餐食材中的能量和营养素的含量,需要从中国食物成分表中获取 100 克食材中所含的能量、蛋白质、碳水化合物、脂肪等营养素的数据,使用一个矩阵 $\mathbf{A}_{n \times m}$ 来表示该数据,为此可推得:

$$\mathbf{Y}_1 = \mathbf{X}_{1 \times n} \mathbf{A}_{n \times m} \quad (2)$$

其中, m 表示能量和营养素的总个数, \mathbf{Y}_1 表示配餐食材中能量和营养素含量的行向量。

膳食宝塔是均衡饮食的一项重要指标,使用 p 来表示膳食宝塔中食材的总类别数,用 \mathbf{Y}_2 表示膳食宝塔中各类食材的重量。为了方便计算,引入一个矩阵 $\mathbf{B}_{n \times p}$ 表示配餐食材在膳食宝塔中的类别位置,该矩阵的值为 0 或 1 两种。其中,列表示膳食宝塔中的一个指标,行表示一个配餐食材属于膳食宝塔中的指标,数学公式可写为:

$$\mathbf{Y}_2 = \mathbf{X}_{1 \times n} \mathbf{B}_{n \times p} \quad (3)$$

计算重量模型是根据各种指标值的范围来确定 \mathbf{Y}_1 和 \mathbf{Y}_2 的范围,通过不断调整决策变量 $\mathbf{X}_{1 \times n}$ 的值,使 \mathbf{Y}_1 和 \mathbf{Y}_2 的值落在指定范围内。因此,目标函数的优化目标是通过改变配餐食材的重量,使配餐食材中的指标值无限接近符合用户需求的标准指标值,其优化算法描述如下:

(1) 初始化决策变量组并计算评价配餐结果时所需要的各项指标的理论值。其中,决策变量组是由多个决策变量 $\mathbf{X}_{1 \times n}$ 组成,每一个决策变量 $\mathbf{X}_{1 \times n}$ 是一组解。

(2) 根据决策变量组的值计算所有配餐方案的食材重量和各项指标的真实值。

(3) 根据各项指标的理论值和真实值计算均方差,并判断是否达到退出条件。其中,退出条件可以

根据迭代次数或均方差数值的变化进行设置。

(4)若达到退出条件,则输出当前所有配餐方案的食材重量并退出优化算法的计算。

(5)若没有退出条件,则计算目标函数的梯度,并采用梯度下降的方法来更新决策变量组的值。

(6)重复上述的步骤2至步骤5,直到达到退出条件并输出配餐食材的重量。

3 实验与分析

为了验证智能配餐方法的有效性,使用 Python 语言对算法模型进行实现,使用爬虫工具构建实验所需的数据集,并通过实验结果进行分析验证。

3.1 数据集

实验中所需数据集由用户信息数据集和食材信息数据集组成。在用户信息数据集中,需要有用户的年龄、性别、劳动强度、偏好食材、健康状况、配餐记录等数据信息,由于这些信息涉及个人隐私,很少有公开的数据集,因此本实验通过 Python 程序模拟出 1 000 名用户信息来构建用户数据集。对于食材数据集,在 <http://db.foodmate.net/yingyang> 网站上总共收集了 1 512 种食材由相关数据,该数据主要为 100 g 食材中能量、蛋白质、碳水化合物、脂肪等营养素的含量信息,在香哈网上收集了 462 种食材的相克与宜搭数据,以及 199 条与用户症状相关的宜吃食材和忌吃食材的数据信息。

3.2 评价指标

为了研究配餐结果的好坏和配餐方法的特性,从营养配餐指标和算法评价指标两个角度对实验结果进行分析。营养评价指标主要包括配餐食材中的能量、蛋白质、脂肪、碳水化合物等营养素的含量是

否符合要求,比例是否合理,是否符合膳食宝塔的要求等。算法评价指标是使用均值和均方差,对 1 000 名用户的配餐结果进行统计分析,以确认本文的配餐方法是否具有稳定性和智能性。首先,使用式(4)计算出每个评价指标的均值:

$$\mu_t = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{q_i} \sum_{j=1}^{q_i} e_{ij}^i \times 100\% \right) \quad (4)$$

其中 $e_{ij}^i = 1$ 或 0 。

然后,通过式(5)计算出每个评价指标的均方差:

$$\sigma_t = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{q_i} \sum_{j=1}^{q_i} e_{ij}^i - \mu_t \right)^2 \quad (5)$$

其中, μ 表示均值; σ 表示均方差; t 表示不同的评价指标; k 表示用户的总个数; q 表示每个评价指标中元素的总个数; e_{ij}^i 表示元素的值。 e_{ij}^i 值为 1 表示该元素对应的指标符合标准,值为 0 则表示不符合标准。

最后,根据均值和均方差的数据进行分析。

3.3 实验方法

在实验前,需要对算法模型中的参数和退出条件进行设置。在使用组合食材算法时,除了设置学习率、奖励分数、惩罚分数等相关参数外,还要确定 SARSA 算法的退出条件。图 2 为 SARSA 算法迭代过程中配餐分值和奖励分值的变化过程。从图 2 中可以发现,在前 250 轮的迭代中,虽然奖励分值一直增加,但是配餐分值却没有改变;在 250 至 300 轮的迭代中,配餐分值明显增加,说明组合食材方案得到显著优化;当迭代步数超过 500 步后,奖励分值和配餐分值均达到了平衡状态。所以,在为该用户组合食材时,退出条件可以设置为迭代 500 轮后退出。

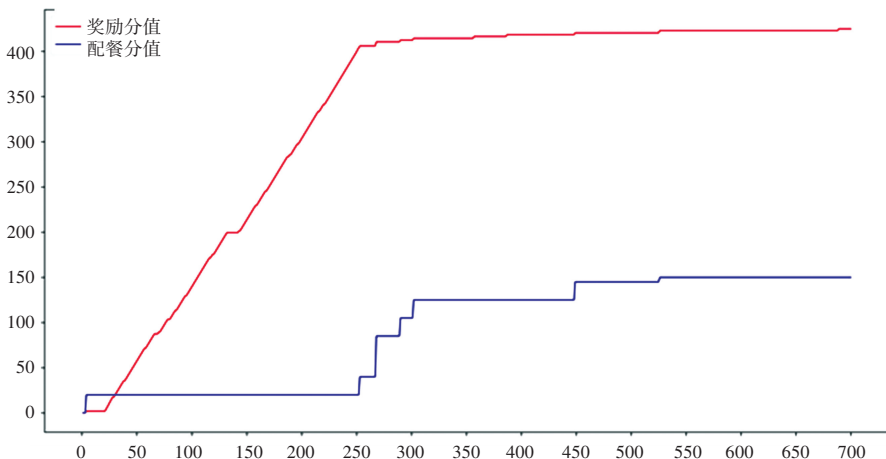


图2 奖励分值和配餐分值变化过程

Fig. 2 Change process of reward score and catering score

在使用计算重量算法时同样需要退出条件。图3为迭代过程中4种损失函数的损失分值变化过程。由图3中可以看出,当所有损失值都趋于平稳时,迭代次

数约在150以上。因此,在为该用的配餐食材计算重量时,退出条件可以设置为迭代200轮后退出。

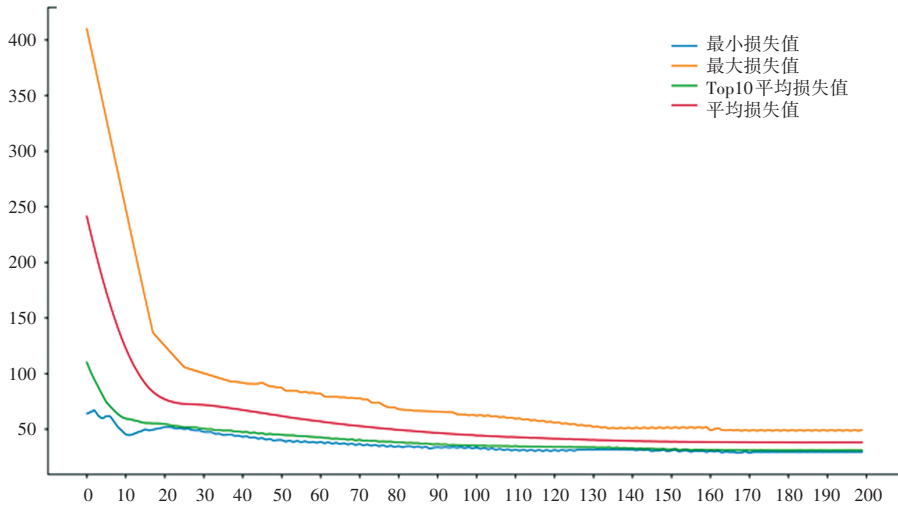


图3 损失分值变化过程图

Fig. 3 Change process of loss score

3.4 结果分析

在对模拟用户进行配餐后,使用等差选择法从1 000名用户的配餐结果中选取20个样本进行了详细分析。在膳食宝塔中,这20个配餐结果对应的各项指标值如图4所示。从图4中可见,各类食材的重量大多都在膳食宝塔的指标范围内,基本上符合膳食宝塔

的要求。图5展示了这20个配餐结果中主要营养素含量情况。可以发现,除了蛋白质的指标值略高于本实验规定的指标上界外,碳水化合物、脂肪和能量的指标值基本都在用户的需求范围内。因此,从营养学角度来讲,该智能配餐方法具有一定的使用价值。

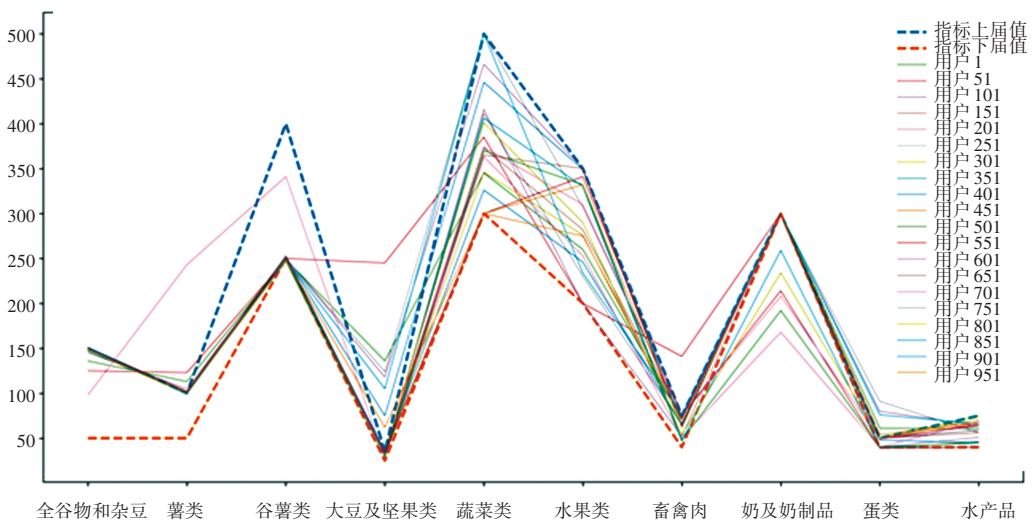


图4 膳食宝塔指标分析图

Fig. 4 Chart for analyzing dietary pagoda indicators

为了研究该智能配餐方法的稳定性和智能性,使用式(4)、式(5)分别从用户的偏好食材、健康相关食材、上次配餐食材等食材占总配餐食材的比例,以及营养素指标、膳食宝塔指标、综合指标等指标的达标率,

对1 000名用户的配餐结果进行统计分析,并设置一组对照实验,用于分析奖励分数对食材比例的影响,该配餐结果的统计数据见表1。其中,实验1的统计数据为 μ_1^i 和 σ_1^i ,实验2的统计数据为 μ_2^i 和 σ_2^i ;控制因素为选

择与健康相关食材的奖励分数的设置,实验1中该奖励分数为20,实验2的奖励分数为50。从该统计表中可知,与用户相关的偏好食材、健康相关食材、上次配

餐食材在实验1中的比例约为23:19:51,而在实验2中的比例约为16:21:40。

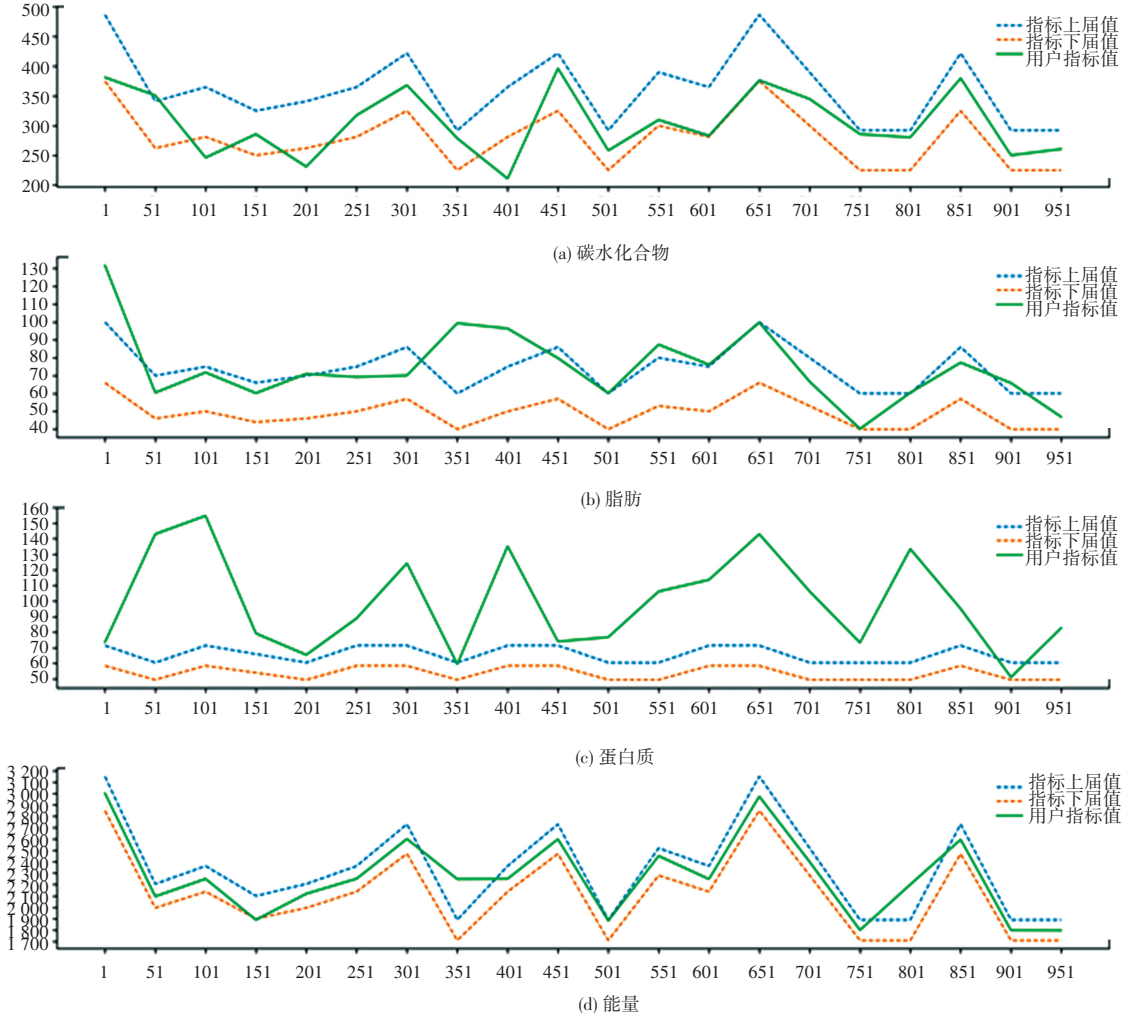


图5 营养素指标分析图

Fig. 5 Chart for analyzing nutrient indicators

表1 统计分析数据表

Table 1 Data table for statistical analysis

指标	$\mu_1^1 / \%$	$\mu_1^2 / \%$	σ_1^1	σ_1^2
偏好食材占比	23.13	16.83	0.008 5	0.006 8
健康相关食材占比	19.05	21.54	0.014 8	0.020 2
上次配餐食材占比	51.93	40.21	0.012 1	0.014 2
营养素指标达标率	55.32	56.52	0.046 7	0.046 1
膳食宝塔指标达标率	84.83	82.92	0.019 2	0.021 4
综合指标达标率	76.40	75.37	0.015 0	0.016 4

可以看出,实验2中的健康相关食材所占比例明显高于实验1,所以奖励分数能够影响这3种食材的占比,且成正比关系。从各项指标的达标率数据中可以

看出,实验1和实验2的均值和均方差数据无较大变化,其均方差也无明显变化,奖励分数对指标达标率无较大影响,说明该智能配餐方法具有一定的稳定性。

4 结束语

在智能配餐方法研究中,采用强化学习和梯度下降算法设计的配餐方法在一定程度上能够减轻配餐人员的工作量,帮助人们进行个性化配餐,使用简单方便。实验结果表明,该方法的配餐结果基本符合膳食宝塔和营养素配比均衡等配餐指标的要求,配餐人员可以通过修改奖励分数来改变配餐食材中各类食材的占比,并且可以单独使用组合食材和计算重量算法,以此满足用户的特殊需求。

后续工作将对该配餐方法进行更深入的研究,优化相关算法使配餐食材中蛋白质指标含量整体降到标准范围内。希望有更多的研究人员能够参与到配餐算法的研究中,共同推进餐饮行业的智能化发展。

参考文献

- [1] PATEL A, DESAI S S, MANE V K, et al. Futuristic food fortification with a balanced ratio of dietary ω -3/ ω -6 omega fatty acids for the prevention of lifestyle diseases [J]. Trends in Food Science & Technology, 2022, 120: 140-153.
- [2] BRANDILYN A, XING Jiaqian, CHEN Guochong, et al. Healthy dietary patterns are associated with the gut microbiome in the hispanic community health study/study of latinos [J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2023, 117(3): 540-552.
- [3] EICHTERC, SKULAS-RAY A, KRIS-ETHERTON P. Nutrition in the Prevention and Treatment of Disease [M]. 4th ed. USA: Academic Press, 2017.
- [4] 郑黎明, 潘文联, 成楠. 人工智能技术应用及其发展趋势[J]. 科技与创新, 2022 (17): 164-166, 169.
- [5] JAVAIDM, HALEEM A, SINGH R P, et al. Artificial intelligence applications for industry 4.0: A literature-based study[J]. Journal of Industrial Integration and Management, 2022, 7(1): 83-111.
- [6] 徐洪学, 孙万有, 杜英魁, 等. 机器学习经典算法及其应用研究综述[J]. 电脑知识与技术, 2020, 16(33): 17-19.
- [7] 李旭然, 丁晓红. 机器学习的五大类别及其主要算法综述[J]. 软件导刊, 2019, 18(7): 4-9.
- [8] BARBOUR L, BICKNELL E, BRIMBLECOMBE J, et al. Dietitians Australia position statement on healthy and sustainable diets [J]. Nutrition & Dietetics, 2022, 79(1): 6 - 27.
- [9] WILLETT W, ROCKSTRÖM J, LOKEN B, et al. Food in the Anthropocene: The EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems [J]. Lancet (London, England), 2019, 393(10170): 447 - 492.
- [10] 汪紫薇, 陈慧媛, 朱晓华. 中国居民膳食结构的区域差异及其健康效应[J]. 地理科学, 2023, 43(10): 1825-1836.
- [11] 刘琪, 黄忻, 史祖民等. 膳食模式评价方法的研究进展[J]. 营养学报, 2021, 43(6): 615-618.
- [12] 杨慧霞. 膳食营养健康风险评估指标体系构建[D]. 天津: 天津科技大学, 2021.
- [13] 辛雅闻. 高速列车配餐信息系统设计与开发[D]. 北京: 北京交通大学, 2015.
- [14] 祁明思, 陈文烈, 李旦, 等. 基于知识库的患者营养配餐推荐系统设计[J]. 中国医学装备, 2021, 18(1): 106-109.
- [15] 寇文心. 智能营养配餐系统及其核心算法的研究[D]. 北京: 北京工业大学, 2015.
- [16] 梅子杰. 食材搭配推荐算法研究[D]. 重庆: 重庆邮电大学, 2018.
- [17] 郭广颂, 席俊杰, 文振华. 个性化食谱智能优化系统[J]. 计算机工程与设计, 2021, 42(4): 1143-1150.
- [18] 阮宏博. 基于遗传算法的工程多目标优化研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2008.
- [19] 李茹杨, 彭慧民, 李仁刚, 等. 强化学习算法与应用综述[J]. 计算机系统应用, 2020, 29(12): 13-25.
- [20] 李兴怡, 岳洋. 梯度下降算法研究综述[J]. 软件工程, 2020, 23(2): 1-4.