

## 水产品线上交易匹配模型及算法研究

周超,陈明,王文娟

上海海洋大学 信息学院, 农业部渔业信息重点实验室, 上海 201306

**摘要:** 近年来,随着电子商务与互联网的不断发展,如何能够将传统的线下商品交易与现代的互联网经营模式相结合成为研究热点。作为日常生活中的消费大户,水产品由于其易腐性,其对于生产销售的时效性要求更为突出,将其与电子商务线上交易相结合可以极大提高其销售效率。本文在研究了线上交易的背景下,水产品交易匹配优化的问题。首先定义了新的买卖双方的商品交易匹配度及其计算方法,以此为基础构建了水产品交易匹配模型以最大化双方的加权匹配度。随后通过采用鸟群觅食算法针对模型进行求解。最后通过一个实例验证了算法的可行性,并与传统遗传算法进行对比证明了其有效性。

**关键词:** 水产品; 线上交易; 匹配; 算法

**中图分类号:** F762.6;F713.36

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-2324(2017)03-0459-05

## Study on Online Trading Matching Model and Algorithm for Aquatic Products

ZHOU Chao, CHEN Ming, WANG Wen-juan

Key Laboratory of Fisheries Information Ministry of Agriculture, College of Information Technology/Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

**Abstract:** In recent years, with the continuous development of e-commerce and the internet, how to combine the traditional offline commodity trading with the modern internet business model becomes a focus. Aquatic products have so large sale volume and perishability that the timeliness of the production and sales become more prominent and the combination with e-commerce online transaction can greatly improve the efficiency of sales. This paper studied the problem of matching optimization of aquatic product trading in the context of online trade. First of all, a new trading matching degree and its calculation method were defined so as to construct the aquatic product transaction matching model to maximize the weighted matching between the two sides. Then the bird foraging algorithm was used to solve the model. Finally, an example was given to verify the feasibility of the proposed algorithm, and the effectiveness of the proposed algorithm was verified by comparison with the traditional genetic algorithm.

**Keywords:** Aquatic product; online trade; matching; algorithm

互联网技术的不断发展近年来给电子商务领域带来了革命性的变化,其通过数字通讯方式进行商品和服务的交换抑或资金的转账,这为传统的产品流通带来了极大的便利<sup>[1-3]</sup>。水产品作为传统的日常消费大户,其在日常生活中的地位不可或缺,如果能够将其纳入电子商务的发展,必会带来极大的回报<sup>[4]</sup>。

自新中国成立以来,水产企业一直是根据国家的“统收统支,统负盈亏”政策进行生产。1985年后取消统购统销随后逐步采用市场调节方式。时至今日,水产品领域的流通也基本是以传统的贸易方式为主。其中买卖双方隔离,难以交流沟通,不能很好的进行信息的匹配洽谈;另一方面,买卖双方市场信息掌握不完善,不能对产品行情很好地判断。而水产品其易腐性的特点又表明其对于交易的时效性要求极高,如果不能在较短的时间内完成买卖双方的信息匹配,就会由于信息的滞纳而造成水产品的腐败,使得资源让费造成经济损失<sup>[5,6]</sup>。因此建立水产品线上交易以方便买卖双方的信息交流,建立合适的交易匹配模型根据买卖双方信息以在最短时间内达成有效交易显得尤为重要。

为了解决线上商品交易的匹配问题,已经进行了多方面的研究。如NASDAQ为代表的股票交易系统,但是其将关注点只集中在了价格属性方面。虽然张振华等人也研究了多个属性商品的交易匹配问题<sup>[7,8]</sup>,但是其目标函数设定依然仅仅围绕价格因素。这与水产品不单单关注价格,更加看重

**收稿日期:** 2017-01-20

**修回日期:** 2017-02-22

**基金项目:** 国家科技支撑计划资助项目:鲜活水产品物流过程品质维持与质量安全控制技术集成应用与示范(2013BAD19B06)

**作者简介:** 周超(1991-),男,硕士研究生,主要研究方向为电子商务、智能匹配优化研究. E-mail:m140551657@st.shou.edu.cn

数字优先出版:2017-05-27 <http://www.cnki.net>

时效, 物流, 新鲜度的特点不相符合。为此, 提出新的买卖双方满意度及其计算方法。以此为基础为了最大化所提的双方匹配度, 构建了关注时效、价格、物流等多方面因素的水产品交易匹配模型, 采用鸟群觅食算法进行模型寻优求解。通过实例证实了其可行性, 通过与遗传算法的对比证明了其有效性。

### 1 交易匹配模型

一般在线上水产品的交易中, 进行目标交易匹配的为买卖双方存在的多个买家和卖家, 因为水产品交易一般为大数量的交易因此假定一般模型中的交易对象为大数量的同类水产品。假设存在  $m$  个买家以及  $n$  个潜在卖家,  $b_i, s_j$  分别表示对应的买家和卖家, 潜在交易的水产品数量分别为  $e_i, h_j$ , 且该水产品共有时效、价格、运输等 1 个不同属性。

针对买家而言,  $b_i$  其对于水产品的属性  $k(K_b=\{k|k=1,2,\dots,l_b\})$  存在的某些要求称之为约束条件。如果该约束为相等约束就为硬约束, 而凡是非等号的约束统称为软约束。这当中软约束可以进一步分为三种类型: 1. 买方要求该属性越大越好, 例如水产品鲜活度, 称之为效益型属性约束; 2. 买方要求该属性的值越小越好, 例如水产品价格, 称之为成本型属性约束; 3. 买方对该属性要求不高, 只需要处于某一区间即可, 称之为区间型属性约束<sup>[9-12]</sup>。假定  $b_i$  买家对水产品的效益型抑或成本型约束的临界值为  $c_i^k$ , 而对水产品的区间约束条件为  $[c_{i1}^k, c_{i2}^k]$ 。卖家  $s_j$  所持有的水产品的某一属性  $k$  以  $p_j^k$  表示, 并且买方对于各种不同属性的侧重通过不同的加权系数决定, 买家对于不同属性  $k$  的加权系数为  $w_{ik}$ , 所有的加权系数之和为 1, 即:  $\sum_{k \in K_b} w_{ik} = 1, w_{ik} \geq 0$

相同的, 对于卖家而言, 一个卖家  $s_j$  对某一属性  $k$  的要求同样可以分为硬约束与软约束, 而其中软约束也同样的可以分为不同的三种类型。假定卖家  $s_j$  对于水产品的效益型抑或成本型属性约束的要求临界值为  $d_j^k$ , 而其对于区间型属性的约束则为  $[d_{j1}^k, d_{j2}^k]$ 。同样的, 买家对于水产品属性  $k$  的取值  $q_i^k$  表示, 并且卖方对水产品的某一特定属性的侧重也是通过加权系数决定, 用  $w_{jk}$  表示, 其满足相同的条件, 即:  $\sum_{k \in K_s} w_{jk} = 1, w_{jk} \geq 0$ 。在进行交易时, 买卖双方都在线上提出自己的各类要求,

包括时效、价格、约束条件等等, 这些要求被交易平台接收, 随后由交易中介根据他们不同的条件进行匹配, 匹配的最大原则是实现买卖双方匹配度的最大化。为了能够进一步简便的建立起水产品交易匹配的数学模型, 下面进一步给出匹配度的概念定义及其计算方法。

**概念 1** 卖家匹配买家, 对于: ①硬约束条件, 必须满足  $p_j^k = c_i^k$ ; ②效益型约束条件, 必须满足  $p_j^k \geq c_i^k$ ; ③成本性约束条件, 必须满足  $p_j^k \leq c_i^k$ ; ④而对于区间型约束条件则必须满足  $c_{i1}^k \leq p_j^k \leq c_{i2}^k$ 。

**概念 2** 买家匹配卖家, 对于: ①硬约束条件, 必须满足  $q_j^k = d_i^k$ ; ②效益型约束条件, 必须满足  $q_j^k \geq d_i^k$ ; ③成本性约束条件, 必须满足  $q_j^k \leq d_i^k$ ; ④而对于区间型约束条件则必须满足  $d_{i1}^k \leq q_j^k \leq d_{i2}^k$ 。

假设  $\alpha_{ij}^k$  在 0 到 1 之间,  $p_{\min}^k, p_{\max}^k \in S_i^k$ , 而  $S_i$  是所有与  $b_i$  匹配的  $s_j$  的集合,  $S_i^k$  表示的则是属性  $k$  的集合。将  $\alpha_{ij}^k$  定义为在属性  $k$  下  $b_i$  与  $s_j$  的匹配度, 且匹配度满足如下条件: 对于任何的约束, 如果  $s_j \notin S_i$ , 那么匹配度为 0; 否则的话, 对于硬约束条件和区间约束条件匹配度值为 1, 对于效益型约束条件和成本型约束条件的匹配度计算公式如下:

$$\alpha_{ij}^k = \left( \frac{p_j^k - p_{\min}^k + \varepsilon}{p_{\max}^k - p_{\min}^k + \varepsilon} \right)^t, \quad \alpha_{ij}^k = \left( \frac{p_j^k - p_{\min}^k + \varepsilon}{p_{\max}^k - p_{\min}^k + \varepsilon} \right)^{1/t}$$

这之中,  $t = \frac{c_i^k + (\frac{p_{\max}^k + p_{\min}^k}{2})}{p_{\max}^k + p_{\min}^k}, \varepsilon = \frac{p_{\min}^k}{2}$ 。

同理，可以定义在属性  $k$  下  $s_j$  与  $b_i$  的匹配度  $\beta_{ij}^k$ ，同时他也满足以上条件，不过其对于效益型约束条件和成本型约束条件的匹配度计算如下：

$$\beta_{ij}^k = \left( \frac{q_j^k - q_{\min}^k + \varepsilon}{q_{\max}^k - q_{\min}^k + \varepsilon} \right)^t, \quad \beta_{ij}^k = \left( \frac{q_j^k - q_{\min}^k + \varepsilon}{q_{\max}^k - q_{\min}^k + \varepsilon} \right)^{1/t}$$

这之中， $t = \frac{d_i^k + (q_{\max}^k + q_{\min}^k)}{2(q_{\max}^k + q_{\min}^k)}, \varepsilon = \frac{q_{\min}^k}{2}$

根据以上对于水产品线上交易匹配问题的描述以及给出的匹配度定义以及不同约束条件下的计算方法<sup>[13-16]</sup>，水产品线上交易匹配模型建立如下：

$$\max \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \left( \sum_{k \in K_s} w_{ik} \alpha_{ij}^k \frac{x_{ij}}{\sum_{j \in J} x_{ij}} + \sum_{k \in K_b} w_{jk} \beta_{ij}^k \frac{x_{ij}}{\sum_{i \in I} x_{ij}} \right) \tag{1}$$

$$\text{S.t. } \sum_{i \in I} x_{ij} \leq h_j, \forall j \in J \tag{2}$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq e_i, \forall i \in I \tag{3}$$

$$x_{ij} \geq 0, i \in I, j \in J \tag{4}$$

表达式 1 为模型的目标函数，目标是能够最大化该函数的值即买卖双方的匹配度。表达式 2 和 3 是买卖双方各自对于水产品数量的限制。表达式 4 是所建立模型的决策变量约束，表示买卖双方有无水产品交易发生。

## 2 模型匹配算法

建立的水产品线上交易模型的目标函数是非线性函数，传统的线性求解算法对其不具备很好的适用性，而转而采用精确算法进行求解的话则不能同时满足求解所要求的高效性和精确性。为了能够更好的解决模型的求解问题，采用鸟群觅食算法进行求解。

### 2.1 鸟群觅食算法

鸟群觅食算法的也称为粒子群算法，来源于对鸟群捕食行为的研究，算法的具体原理如下：每个寻优问题的解被认为是一个“鸟”，在一个  $N$  维的空间内进行捕食搜索；所有的“鸟”距离食物的距离即距离最优解的接近程度由一个适应度函数确定，并以此判定当前“鸟”所在位置的优劣；每一只鸟都可以记住自己找到的最佳捕食位置；每一只“鸟”还要有一个决定其飞行距离和方向的速度，该速度根据其自身与整个鸟群的经验进行动态的调整以适应问题需要。具体的算法流程如下图所示。

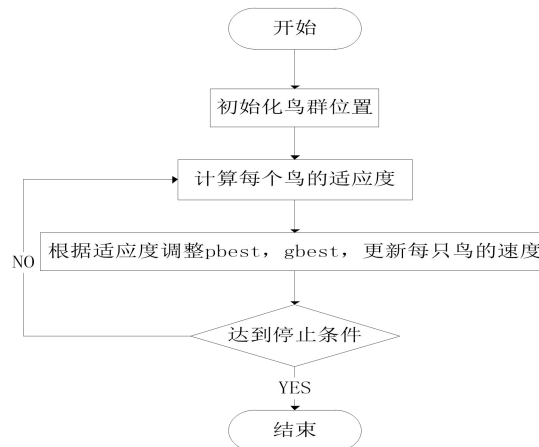


图 1 算法流程框图  
Fig.1 Algorithm process

流程图中,  $pbest$  表示某一个体“鸟”经历过的最优位置, 而  $gbest$  则表示整个鸟群所经历过的最优位置。鸟群觅食算法的基本思想就是通过整个群体中的每一个体之间进行信息共享以及共同协作来寻找问题的最优解。多个鸟同时进行最优化搜寻, 同时进行信息共享以加快整个鸟群向最优解逼近的速度, 大大提高整个问题寻优的速度与精确性。鸟群觅食算法思想简单、高效, 易于实现同时没有过多需要调整的参数, 目前在函数优化, 神经网络训练以及模糊系统控制等领域运用广泛。

### 2.2 算法设计

最优化问题的求解需要对每一个解进行编码, 最常用的编码方式就是矩阵编码, 但是矩阵编码占用空间大耗费了太多的存储空间, 所以这里采用简洁高效的 Prüfer 数编码, 即对弈一个拥有  $x$  个买家和  $y$  个卖家的水产品交易之间存在的各项匹配关系, 用  $x+y-2$  个 1 到  $x+y$  之间的数进行表示。举例加入有 3 个买家以及 4 个卖家, 那么 Prüfer 数编码可以编码为: 4-2-2-7-3, 并以此为基础得到双方的匹配量。如果产生了非法的编码, 就采用编码修复策略进行编码修复, 进而产生初始鸟群。产生的每一个个体, 即每一只“鸟”的位置都是一个随机产生的解, 将这些解带入到目标函数计算得出适应度并以此为依据进行后续处理。

本文采用设定迭代次数 ( $N$ ) 的方式, 采用鸟群觅食算法进行的交易匹配步骤如下:

- (1) 初始化鸟群, 包括每一只“鸟”的随机初始位置和速度, 个体位置  $x_i=(x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD})$ , 个体速度  $v_i=(v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD})$  并计算适应度;
- (2) 针对每一个个体, 将其当前计算得出的适应度值与其历史最佳适应度值  $pbest_i=(p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD})$  进行比较, 如果当前适应度更高, 则将当前位置记录为历史最优位置, 否则保留历史最优位置;
- (3) 针对所有个体, 将其当前适应度值与全局最优位置  $gbest=(g_1, g_2, \dots, g_D)$  进行比较, 如果当前适应度更高, 则将当前位置记录为全局最优位置, 否则保留全局最优位置;
- (4) 重复迭代  $N$  次得出最后的最优解。

### 3 应用实例与分析

假设存在 10 个买家和 10 个卖家进行南美白对虾的线上交易, 对虾的交易涉及到的属性共有价格、数量、鲜活度、运输时效以及支付方式这五个方面, 其具体信息如下面两张表所示。买方的支付方式为硬约束条件 (支付方式共有两种信用卡与现金, 分别用  $a$  和  $b$  表示), 运输时效为区间型约束, 数量为效益型约束, 鲜活度 (值越小对应鲜活度越高) 和价格则为成本型约束, 其加权值为 0.2; 而在卖方看来, 其只关注于价格以及数量这两个输赢, 相应的加权值为 0.5。假设买卖双方预计交易的对虾数量时相等的。

**表 1 买卖双方对虾交易信息**  
**Table 1 Trading information of shrimp between buyers and sellers**

买方 Buyer	价格 Price	数量 Amount	鲜活 Fresh	时效 Time	支付 Pay	卖方 Seller	价格 Price	数量 Amount	鲜活 Fresh	时效 Time	支付 Pay
$b_1$	46	16	5	[2,6]	$a$ 或 $b$	$s_1$	27	26	3	3	$a$
$b_2$	47	17	4	[3,7]	$b$	$s_2$	40	31	3	4	$a$
$b_3$	45	19	5	[1,5]	$a$	$s_3$	35	16	4	5	$b$
$b_4$	49	19	5	[2,7]	$a$	$s_4$	45	12	5	6	$a$ 或 $b$
$b_5$	50	21	6	[3,7]	$b$	$s_5$	43	14	2	4	$a$
$b_6$	45	20	4	[1,6]	$a$	$s_6$	44	12	5	2	$b$
$b_7$	43	29	4	[1,4]	$a$ 或 $b$	$s_7$	28	25	5	5	$b$
$b_8$	48	13	3	[3,6]	$b$	$s_8$	29	41	4	7	$a$ 或 $b$
$b_9$	40	16	5	[4,7]	$a$	$s_9$	30	30	4	3	$a$ 或 $b$
$b_{10}$	47	15	5	[3,7]	$a$ 或 $b$	$s_{10}$	41	18	3	1	$a$

算法使用 C 语言在 Windows 7 平台主机 (主频 2.27 GHz, 内存 4 G) 实现, 设定迭代次数  $N=200$ , 初始鸟群为 10, 最终求得的最优匹配度值为  $F(x)_{max}=17.734$ , 其对应的最优解如表所示由此可以看出采用所提方案可以计算出模型的近似最优解, 这表明该方案是可行的。

表2 最优解对应变量值

Table 2 The variable values corresponding to optimal solutions

变量	值	变量	值	变量	值	变量	值	变量	值
Variable	Value	Variable	Value	Variable	Value	Variable	Value	Variable	Value
$x_{1,5}$	16	$x_{4,2}$	3	$x_{5,6}$	20	$x_{7,3}$	14	$x_{10,5}$	16
$x_{2,7}$	17	$x_{4,4}$	14	$x_{5,8}$	1	$x_{8,3}$	1	$x_{10,7}$	10
$x_{3,9}$	16	$x_{4,5}$	16	$x_{6,1}$	30	$x_{9,7}$	23	其他	0

随后为了验证所提方案的有效性,将其同传统的遗传算法进行对比,遗传算法参数设置为:变异率 0.4,交叉率 0.2,种群 10,迭代次数 200。对上述算例进行 10 次计算,记录下两种算法在迭代(20,40,60,100,120,140,160,180,200)次时的最优值,并进行对比分析,结果如下图所示。

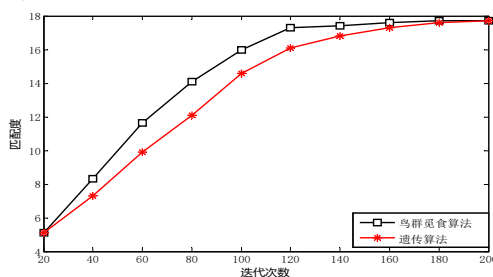


图2 鸟群算法与遗传算法迭代曲线

Fig.2 The iterative curves of bird swarm algorithm and genetic algorithm

从图中可以发现,遗传算法与鸟群觅食算法的最终计算值相差不大,具有类似的精确度。另一方面可以看出在寻优过程中,迭代相同次数的情况下,鸟群算法的寻优值要更快的接近于最优值,即其收敛速度要优于遗传算法。这证实了所提方案不但可以最终寻找出模型的最优解,同时其收敛速度也优于传统的遗传算法,其高效性可以大大提高系统的性能。

## 4 结论

该文研究了水产品线上交易的匹配问题,首先分析了水产品易腐性的特点,指出其交易对于鲜活度与运输时效的要求。随后给出买卖双方对水产品交易的匹配度定义及计算方法,考虑了双方对于不同属性的不同要求,更加符合实际情况。进一步在此基础上抽象并建立出了买卖双方进行水产品线上交易的匹配模型,紧接着为了最大化双方交易的匹配度,设计了采用鸟群觅食算法的求解算法对模型进行求解,通过一个实例计算对所提方案进行了分析。结果表明,该文所提的模型以及对算法是可行的并且很高效,从而可以为水产品的线上交易提供一种快速的匹配算法,加速买卖双方的匹配,促进水产品线上交易的发展。

## 参考文献

- [1] 徐沪萍,丁炜颀.水产品网上交易模式及其运作流程[J].中国水运:理论版,2006,4(4):108-109
- [2] 卢心宇.水产品批发市场电子交易系统的设计与实现[J].工程技术:文摘版,2015(12):200
- [3] 曹继龙,杨宁生.大连市水产品电子商务发展的问题及其对策[J].湖南农业科学,2011(2):34-36
- [4] 王静萍,夏焘.我国水产品市场电子商务应用现状分析[J].现代经济信息,2016(23):328
- [5] 卢卫平,吴维宁.再论水产电子商务与网上渔市[J].上海海洋大学学报,2004,13(3):244-249
- [6] 杨卓凡.网络经济时代中国水产品电子商务研究[D].杭州:浙江海洋学院,2012
- [7] 张振华,汪定伟.电子中介中的交易匹配研究[J].控制与决策,2005,20(8):917-920
- [8] 张振华.电子中介中的交易匹配方法及其应用研究[D].沈阳:东北大学,2005
- [9] 汪定伟.电子中介的多目标交易匹配问题及其优化方法[J].信息系统学报,2007(1):102-109
- [10] 蒋忠中,樊治平,汪定伟,等.具模糊信息的多数量多属性电子交易匹配问题[J].管理科学学报,2014,17(5):52-65
- [11] 樊治平,陈希.电子中介中基于公理设计的多属性交易匹配研究[J].管理科学,2009,22(3):83-88
- [12] 蒋忠中,袁媛,樊治平.电子中介中具有数量折扣的多属性商品交易匹配问题研究[J].中国管理科学,2010,18(6):122-130
- [13] 苑广强.交易匹配算法在电子商务平台中的研究与应用[D].长春:长春工业大学,2011
- [14] 王中兴,黄帅.一种电子商务中买卖双方交易匹配的决策方法[J].大众科技,2014(5):18-22
- [15] 盛莹,蒋忠中,樊治平.电子中介中具有模糊信息的多属性商品交易匹配方法研究[J].运筹与管理,2011(6):73-81
- [16] 陈希,樊治平.电子采购中具有语言评价信息的交易匹配问题研究[J].运筹与管理,2009,18(3):132-137