

面向应急物资调度的一种灰色规划模型*

宋晓宇, 刘春会, 常春光

(沈阳建筑大学 信息与控制工程学院, 沈阳 110168)

摘要: 为了科学合理地进行救援物资的调度, 考虑在满足处置突发应急事件需求的同时, 所耗物资降到最低限度, 并且从总体上最大限度地降低处置突发应急事件物资运输调度的费用。在现有研究成果的基础上引入了灰色理论的知识, 建立了应急开始时间最短、出救点个数最少以及需求约束偏爱度最大的多目标灰色规划模型, 并通过算例用遗传算法实现该问题的求解, 通过测试优选了种群数目、交叉率和变异率三种控制参数数值以提高算法性能。实验所得的数据值越大, 说明调度方案越好。实验结果表明, 同限期最大量算法相比, 在所有物资供应点提供的物资总量一定的情况下, 应急地点所需的物资数量较少时, 遗传算法针对该模型的求解体现更强的优化能力, 其所得适应值更高, 遗传算法对于求解应急物资调度灰色规划问题的适应性较强。

关键词: 应急物流; 物资调度; 灰色规划; 白化权函数; 遗传算法; 多目标模型; 优化; 组合

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 1001-3695(2010)04-1259-04

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2010.04.015

Gray programming model for emergency material dispatch

SONG Xiao-yu, LIU Chun-hui, CHANG Chun-guang

(School of Information & Control Engineering, Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

Abstract: In order to dispatch material scientifically and logically, considered both reducing the consumption of material and the cost of material transit dispatch to the greatest extent during the course of sufficing the requirement of dealing with the emergency. This paper introduced gray theory by using the existing results, presented the gray programming model with multi-objectives including the earliest emergency start-time, the fewest relief participant areas and the highest preference degree of requirement constraints. Solved a calculation instance by genetic arithmetic(GA). Selected preferentially three control parameters by testing to improve the performance of algorithm. The bigger value of data gained by experimentation is, the better dispatch proposal is. The results of the experimentation in this paper compare with the time limit maximum algorithm, which show that genetic algorithm manifests more optimizing capability and the better fitness values by the solution of the modal and the adaptability of genetic arithmetic is better for the solution of gray programming problem about emergency material dispatch, when the numbers of the material that all the material providers supply with emergency places are same and the numbers of the material that emergency places require are less.

Key words: emergency logistics; material dispatch; gray programming; whitening weight functions; genetic algorithm; multi-objective model; optimization; combination

0 引言

近几年来,自然灾害、公共卫生事件以及各种事故灾害时有发生,而且爆发的频率和规模都明显大于往常。九八洪水、SARS 危机、南方暴风雪、汶川大地震等各种灾害给人类造成重大甚至是毁灭性打击,对人类生存和社会的发展构成了重大威胁。灾害发生时,应急物资调度一直是该领域研究的热点问题^[1-8]。戴更新^[1]、刘春林^[2-4]、李连宏^[5]等人在不同的约束条件下研究了应急开始时间最短的单目标、应急开始时间最短和出救点数目最少的多目标的应急物资调度问题。但这些文献中涉及的应急物资需求量都是确定的,这在现实中是不实际的。虽然有些学者建立的模型涉及的应

急物资的需求量是一个范围,但没有考虑物资的连续消耗问题,这在应急活动中以时间效率作为第一考虑要素的现实中也并不实际的。目前国外学者对多点应急组合问题的研究大多局限于对路径问题^[9-12]的探讨,并且仅把“时间最短”作为目标^[10],但从应急系统的稳定可靠性或费用角度来看,出救点数目少也应是应急优化目标。本文在参考相关文献的基础上引入灰色理论的知识,对多种物资的、非匀速连续消耗的应急物资多供应点的选择问题建立模型,最后通过算例用遗传算法对模型进行求解,并将结果同其他方法进行比较。比较结果表明,用遗传算法求解该模型对于所有物资供应点提供的物资总量一定的情况下,应急地点所需的物资数量较少时的应急物资调度问题效果非常明显。

收稿日期: 2009-08-17; **修回日期:** 2009-09-27 **基金项目:** 国家科技支撑计划资助项目(2006BAJ06B08-03);辽宁省高等学校优秀人才支持计划资助项目(2008RC42);国家教育部人文社会科学研究一般项目(规划项目)(09YJA630102)

作者简介: 宋晓宇(1963-),男,辽宁沈阳人,教授,博士,主要研究方向为应急调度、智能混合优化、地理信息系统、计算机图像识别与处理等(sxy@sjzu.edu.cn);刘春会(1979-),女,山东德州人,硕士,主要研究方向为基于灰色理论应急物资;常春光(1973-),男,辽宁辽阳人,副教授,博士,主要研究方向为建模与智能优化。

1 多目标数学模型的构建

1.1 问题描述

有 n 个出救点 A_1, A_2, \dots, A_n , 现有一应急地点 A , 共需要 m ($m > 1$) 种应急物资分别为 X_1, X_2, \dots, X_m , 需求量分别为 $x_1(\otimes), x_2(\otimes), \dots, x_m(\otimes)$, $x_j(\otimes) \in [h_j, \bar{h}_j]$ 为灰数, $1 \leq j \leq m$ 。假设第 i 个出救点对第 j 种资源的现存储量为 x_{ij} , 此处 $1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m$, 且 $\sum_{i=1}^n x_{ij} \in [h_j, \bar{h}_j], j = 1, 2, \dots, m$; 对于任一 $A_i, x_{ij} \geq 0$ 且不完全为 0 ($j = 1, 2, \dots, m$)。从 A_i 到 A 的运输时间分别为 t_i ($t_i > 0$), 第 i 种物资的消耗速度为 v_i 。要求给出一种调度方案, 即如何确定出救点及其提供的应急物资的数量使得在尽量保证应急需求的前提下, 对突发应急事件的物资救援时间最早, 并且出救点的数目也尽可能少。

由于在实际的应急活动中, 应急物资的消耗速度一般都不是匀速的, 而是随着应急阶段的转换而产生变化, 为此, 本文采用黄金虎在其硕士论文中提到的方法, 将物资消耗量映射成以时间 t 为自变量的函数, 采用函数 $f_j(t)$ 表示第 j 种物资的消耗速度 v_j 。由于突发事件通常在不可预知的状态下发生, 应急物资的需求具有一定的不确定性, 决策者必须在不能完全确定需求的情况下, 以较短的时间完成调度方案, 使应急资源在尽可能短的时间内到达应急地点以保证应急开始时间最早。

1.2 问题假设

- a) 此系统为连续消耗系统, 即应急活动一开始, 就有物资消耗, 连续性条件就是要保证已到达的物资量在任何时候都能满足物资的持续消耗, 即不能因物资供应不足而使应急活动停止;
- b) 仅有一个地点发生突发事件;
- c) 运输过程中没有意外事件发生, 即运输时间设为常量;
- d) 应急物资储备量充足, 不需要进行紧急生产和补给。

1.3 目标函数

目标函数如式(1)所示:

$$f(x) = \min z = w_1 \times \sum_{i=1}^n S_j^i + w_2 \times \max\{t_j^i - \tau_j\} - w_3 \times \mu_\phi(x) \quad (1)$$

其中: $w_1, w_2, w_3 \in (0, 1), 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m$ 。

该模型的目标函数分为三部分。其中, 第一项表示出救点个数, 考虑运输费用, 期望出救点个数最少, 这里 S_j^i 表示第 i 个供应点是否提供的第 j 种应急物资; 第二项表示应急开始时间, 期望应急开始时间最早, t_j^i 表示第 j 种物资从物资供应点 i 出发到达应急服务点所需时间, τ_j 表示已到达应急地点的第 j 种物资所能持续的应急时间; 第三项表示表示需求约束, 期望偏爱度最高。 $\mu_\phi(x)$ 表示方案 ϕ 提供的应急物资总量 x 的白化权函数值。白化权函数可表示为

$$f_\phi(x) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & x \in [a, b] \\ 1 & x \in [b, c] \\ (d-x)/(d-c) & x \in (c, d] \end{cases} \quad (2)$$

其中: 当 $x \in [b, c], f_\phi(x) = 1$, 偏爱值最大, 这是笔者所期望的。 w_1, w_2, w_3 分别表示各优化子目标所对应的权值, 它们反映了这三个优化子目标在问题整体考虑中所占的地位, 针对不同应用可赋予相应的数值。

1.4 约束条件

$$S_j^i (S_j^i - 1) = 0 \quad 1 \leq i \leq n \quad 1 \leq j \leq m \quad (3)$$

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1 \quad w_1, w_2, w_3 \in (0, 1) \quad (4)$$

$$h_j \leq \sum_{i=1}^n x_{ij} \leq \bar{h}_j \quad 1 \leq j \leq m \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij}^k \geq \int_0^{t_k} f_j(t) dt \quad 1 \leq j \leq m \quad (6)$$

约束条件式(6)表示连续性条件判断, 在非匀速连续消耗多目标多应急物资调度问题中, 对于物资调度方案 F_j , 关于应急开始时间 t_j 连续可行可以定义如下: 如果对于 $\forall t_k \in [t_j, t_k]$, 都存在有 $\sum_{i=1}^n x_{ij}^k \geq \int_0^{t_k} f_j(t) dt$, 称物资调度方案 F_j 关于应急开始时间连续可行。其中 $\sum_{i=1}^n x_{ij}^k$ 为 t_k 之前时间到达应急服务点的应急物资数量; $\int_0^{t_k} f_j(t) dt$ 为处置突发事件时 t_k 时刻所消耗的物资量。

2 模型求解

应急物资调度是一种组合优化问题。事故发生时, 通常的应急反应思路是: 让最近的出救点参与应急活动。这里暗示了一个假设, 即平息事故所需的应急资源量不能大于每个出救点的供应能力。但是, 当大的灾难或事件发生时, 仅一个出救点一般不能提供应急所需的大量物资, 于是产生了多出救点的组合出救问题。

针对本文提出的应急物资运输调度模型, 采用遗传算法加以求解, 因为遗传算法具有如下特点: 遗传算法以决策变量的编码作为运算对象; 遗传算法直接以目标函数值作为搜索信息; 遗传算法同时使用多个搜索点的搜索信息; 遗传算法使用概率搜索技术。

2.1 遗传编码与初始种群的构造

编码是应用遗传算法时要解决的首要问题, 也是设计遗传算法时的一个关键步骤。遗传编码及初始种群的构造由以下步骤组成:

a) 将 n 个应急物资供应点表示为 A_1, A_2, \dots, A_n , 第 i 个供应点提供的第 j 种应急物资的数量为 $x_{ij}, 1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m$; 应急地点需求量为 $x_1(\otimes), x_2(\otimes), \dots, x_m(\otimes), x_j(\otimes) \in [h_j, \bar{h}_j]$ 。

b) 以应急物资供应点 A_i 的下标, A_i 提供的应急物资 j 的数量 x'_{ij} 以及从供应点到应急地点所需时间 t_i 作为基因 (i, x'_{ij}, t_i)。如果 A_i 参与应急活动, 则 $x'_{ij} = x_{ij}$; 否则, $x'_{ij} = 0$ 。

c) 染色体的生成。

(a) 参与应急活动的供应点提供的第 j 种物资总数量 $\text{sum_quantity} = 0$, 第 j 种应急物资总数量 $\text{sum} = 0$ 。

(b) 当第 j 种应急物资总数量 $\text{sum} < h_j$, 进入下一步; 否则, 转入(f)。

(c) 在 $1, 2, \dots, n$ 中随机选择一个供应点 A_i 的下标, 如选择 2, 则表示物资供应点 A_2 。

(d) 如果第一次被选中, $\text{sum} + = A_i$ 提供的第 j 种应急物资的数量 x_{ij} , 进入下一步; 否则, 转入(b)。

(e) 如果 $\text{sum_quantity} < \bar{h}_j$, 计算第 j 种应急物资总数量加 A_i 的相关信息, 转入(f); 否则, $\text{sum_quantity} - = A_i$ 提供的第 j 种应急物资的数量 x_{ij} , 转入(b)。

(f) 结束。

d) 个体可行性判断。以选择的基因段 (i_1, x'_{1j}, t_1) (i_5, x'_{5j}, t_5) (i_8, x'_{8j}, t_8) (i_{10}, x'_{10j}, t_{10}) 为例, 如果提供第 j 种应急物

资的总量 $\text{sum} \in [\underline{h}_j, \overline{h}_j]$, 并且满足连续性条件, 则按各个供应点到应急地点的时间 $t_i (t_i > 0)$ 从小到大排序组成一个个体, 否则转入 c)。

e) 随机产生一定数目 N 的个体形成种群。种群数目的大小影响算法的性能和效率, 太小导致算法的优化性能差, 太大会增加计算量。

2.2 适应度的计算

本文将求应急开始时间最早的子目标作为第一目标; 求需求约束偏差度最高的子目标作为第二目标, 求出救点个数最少的子目标作为第三目标, 其权系数也相应减小。本文为求目标函数的全局最小值, 对于这类优化问题, 可采用如下的由目标函数值 $f(x)$ 到适应度函数值 $F(x)$ 的转换方法: $F(x) = c - f(x)$ 。其中 c 为一个大数, 因为本文中建立的模型的目标函数值 $f(x)$ 均小于 15, 因此在本文中 c 取值为 15。

2.3 遗传操作

a) 选择和变异的方法有很多, 通过对各种选择方法和交叉方法的实验, 本文采用轮盘赌选择法和多点(四点)交叉方法。为了提高遗传算法选择方法的性能, 本文采用稳态繁殖和没有重串的稳态繁殖的方法。为了获得种群的多样化, 本文采用对交叉后不满足条件的个体进行修正的方法。

b) 本文采用基本位变异方法设计了专门的变异算子, 其步骤为:

(a) 产生 $0 \sim l$ 间的随机数 randnum , 判断是否需要变异。如果 $\text{randnum} < \text{变异率 } P_b$, 执行第(b)步; 否则, 保留该个体到下一代。

(b) 搜索个体中运输时间最长的参与应急活动的供应点 A_i , 其提供的第 j 种应急物资的数量为 x_{ij} 。

(c) 搜索没有参与应急活动的应急物资供应点 A'_i 。

(d) 如果 A'_i 提供的第 j 种应急物资的数量与 x_{ij} 差值的绝对值小于规定的一个数(本文设置为 50), 并且如果 A'_i 参与应急活动, 参与应急活动的物资供应点提供的第 j 种物资总数量 $\text{sum_quantity} \in [\underline{h}_j, \overline{h}_j]$, 则将 A'_i 参与应急活动, 将 A_i 退出应急活动, 退出循环; 否则, 转入(c)。

3 算例

某地区发生突发事件, 需要三种应急物资, 物资的需求量分别为 2500 ~ 2600、2000 ~ 2100、1800 ~ 1900。应急地点消耗每种应急物资的速度函数分别为 $f_1(t) = -t^2 + 14t, f_2(t) = t^2 + 16t, f_3(t) = -t^2 + 12t$ 。该突发事件发生地周围有 15 个应急物流中心可以提供救援物资, 据知最近物流中心到突发事件发生地所需时间为 2 h, 最远的需 18 h。

由于每次发生突发事件的规模不同, 所需物资种类和数量也不尽相同, 根据现有资料很难找到突发事件所需物资种类及数量的实际信息情况, 因此采用随机生成的方法产生数据集(表 1)。为了能真实贴切地反映现实情况, 本文按时间段用平均分布和正态分布的方法产生数据集。由于时间 $t \in [2, 18]$, 可以将时间区间分成三部分: $[2, 5]$ 、 $[6, 12]$ 、 $[13, 18]$ 。如果产生的随机数 $t \in [2, 5]$, 那么产生的应急物资的数 $x_i \in [\min_x_i / (2N), \max_x_i / (\frac{2}{3}N)]$; 如 $t \in [6, 12]$, $x_i \in [\max_x_i / (\frac{2}{3}N), \min_x_i / (\frac{2}{5}N)]$; $t \in [13, 18]$, $x_i \in [\min_x_i / (\frac{2}{5}N), \max_x_i /$

$(\frac{4}{15}N)]$, 这也就是本文研究的价值所在。15 个应急物流中心提供每种物资的总数量分别为 4 471、5 313、5 033。

表 1 随机生成的仿真数据

S	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₆	A ₇	A ₈
t _i	2	2	3	3	3	5	7	7
x ₁	173	272	161	87	144	291	213	221
x ₂	197	88	232	235	250	400	275	413
x ₃	160	150	214	233	168	404	305	239
S	A ₉	A ₁₀	A ₁₁	A ₁₂	A ₁₃	A ₁₄	A ₁₅	
t _i	8	11	11	14	16	16	18	
x ₁	220	213	307	579	434	626	530	
x ₂	279	318	424	528	619	573	482	
x ₃	254	375	413	640	489	478	511	

3.1 控制参数对结果的影响

1) 种群数目对结果的影响

在交叉率为 0.85、变异率为 0.06 的条件下, 分别取种群大小为 30、50、70、90、110 进行实验。实验结果如表 2 所示。本文中权值系数为: $w_1 = 0.5, w_2 = 0.2, w_3 = 0.3$, 三种物资的实验结果分别用 s_1, s_2, s_3 表示。算法终止条件设定为: 迭代算法达到 50 代; 若某代染色体的最小适应度函数值达到这一代平均染色体适应度函数值的 0.95 倍, 记录迭代次数 t_1, t_2, t_3 。

表 2 不同种群大小下的实验结果数据

N	s ₁	s ₂	s ₃	t ₁	t ₂	t ₃	时间/s
30	12.72	13.00	13.30	2	37	8	12
50	12.86	13.10	13.30	2	44	22	21
70	12.90	13.10	13.30	5	50	34	35
90	12.90	13.10	13.30	5	50	37	42
110	12.90	13.10	13.30	10	50	38	56

从试验结果的数据可以看出, 种群越大, 染色体的多样性越丰富, 搜索到的解的质量越高, 同时遗传操作的次数也相应增加, 所花费的计算时间也相应增加。但当 $N > 70$ 后, 提高的质量有限, 考虑到运算时间的因素, 本文取 $N = 70$ 。

2) 交叉率对结果的影响

在种群为 70、交叉率为 0.06 的条件下, 分别取交叉率为 0.8、0.85、0.9、0.95 进行实验, 实验结果如表 3 所示。

表 3 不同交叉率下的实验结果数据

P _j	s ₁	s ₂	s ₃	t ₁	t ₂	t ₃	时间/s
0.8	12.90	13.10	13.30	8	49	39	47
0.85	12.90	13.10	13.30	7	44	28	41
0.9	12.90	13.10	13.30	5	40	34	35
0.95	12.90	13.10	13.30	4	43	31	33

从实验结果的数据可以看出: 交叉率越大, 算法找到最优解的速度越快遗传操作的次数越小, 所花费的计算时间也相应减少, 染色体的多样性丰富。本文取交叉率为 $P_j = 0.90$ 。

3) 变异率对结果的影响

在种群为 70、交叉率为 0.90 的条件下, 分别取变异率为 0.04、0.05、0.06、0.07 进行实验, 实验结果如表 4 所示。

表 4 不同变异率下的实验结果数据

P _b	s ₁	s ₂	s ₃	t ₁	t ₂	t ₃	时间/s
0.04	12.90	13.10	13.30	2	44	29	39
0.05	12.90	13.10	13.30	5	50	35	43
0.06	12.90	13.10	13.30	8	50	34	45
0.07	12.80	13.00	13.00	11	50	39	48

从实验结果可以看出, 变异率越大, 染色体的多样性越丰富, 搜索到的解的质量越高, 同时遗传操作的次数也相应增加,

所花费的计算时间也相应增加。本文取 $P_b = 0.06$ 。

3.2 结果比较

在种群为 70、交叉率为 0.9、变异率为 0.06 的条件下得到最优解为 12.90、13.10、13.30,其调度方案分别为 $(A_2 A_5 A_9 A_{11} A_{12} A_{13} A_{15})$ 、 $(A_1 A_4 A_6 A_7 A_8 A_{12})$ 和 $(A_2 A_4 A_6 A_{11} A_{12})$ 。

根据表 1 中的仿真数据,本文分别取需求点所需三种应急物资不同的需求量进行实验,实验结果同文献[3]提出的方法(本文称之为限期最大量法)进行比较。由于文献[3]没有涉及应急物资需求量为灰数的情况,在比较时本文设定物资的需求量为该算例中物资需求量的均值,权值系数 $w_1 = 0.5, w_2 = 0.2, w_3 = 0.3$,为了便于比较,两种方法的结果均用 $F(x) = c - f(x)$ (在这里 c 为 15, $f(x)$ 为目标函数值)。比较结果分别如图 1~3 所示。可以看出当需求点所需应急物资需求量较少时,用遗传算法求得结果优于用文献[3]方法求得的结果。

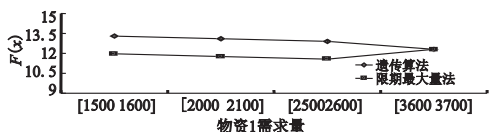


图1 两种方法求得结果随需求点所需第一种应急物资数量增加时的变化情况

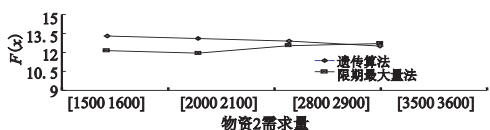


图2 两种方法求得结果随需求点所需第二种应急物资数量增加时的变化情况

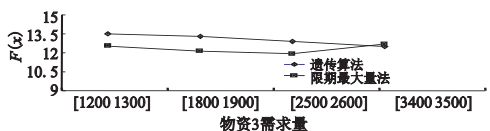


图3 两种方法求得结果随需求点所需第三种应急物资数量增加时的变化情况

4 结束语

目前关于多出救点的应急物资调度问题,许多工作主要集中对出救点个数最少、应急开始时间最短的单目标问题以及应急开始时间最短、出救点个数最少的多目标问题的研究,对于

应急物资调度中的不确定因素而不予考虑。本文考虑了物资需求量为不确定时的应急物资调度问题,建立灰色规划模型并用遗传算法对该模型进行了求解。实验结果表明在物资供应点提供物资的总数量不变情况下,物资需求点所需物资数量比较少时用遗传算法求解效果显著,在实际的应急物资调度中将更具普遍适用性。

参考文献:

[1] 戴更新,达庆利.多资源组合应急调度问题的研究[J].系统工程理论与实践,2000,23(9):52-55.

[2] 何建敏,刘春林,尤海燕.应急系统多出救点的选择问题[J].系统工程理论与实践,2001,8(11):89-93.

[3] 刘春林,何建敏,施建军.一类应急物资调度的优化模型研究[J].中国管理科学,2001,9(3):29-36.

[4] 刘春林,盛昭翰,何建敏.基于连续消耗应急系统的多出救点选择问题[J].管理工程学报,1999,13(3):13-16.

[5] 李连宏,王永军,李俊峰,等.多资源非恒定消耗应急调度优化模型研究[J].北京理工大学学报,2006,26(15):157-160.

[6] 刘思峰,党耀国,方志耕,等.灰色系统理论及应用[M].北京:科学出版社,2000:54-60.

[7] 罗党,刘思峰.灰色多目标规划算法研究[J].系统工程,2004,6(6):139-145.

[8] 刘北林,马婷.应急救援物资紧急调度问题研究[J].哈尔滨商业大学学报,2007,15(3):3-17.

[9] MANASSE M S, McGEOCH L A, SLEATOR D D. Competitive algorithms for server problems [J]. Journal of Algorithms, 1990, 11(2):208-230.

[10] BEN D S, BORODIN A. A new measure for the study of the on-line algorithm [J]. Algorithmica, 2004, 11(1):73-91.

[11] KOUTSOPIAS E, PAPANIMITRIOU C. On the k-server conjecture [J]. Journal of the ACM, 1995, 42(5):507-511.

[12] ALON N, KARP R M, PELEG D, et al. A graph-theoretic game and its application to the k-server problem [J]. SIAM Journal on Computing, 2006, 24(1):78-100.

[13] HU Yi-ping. Using a grey multipurpose decision system for car purchasing [J]. Journal of Grey System, 2004, 7(1):11-14.

[14] HAGHANI A, OH S O. Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network flow model for disaster relief operations [J]. Transportation Research, 1996, 30(3):231-250.

[15] OZDAMAR L, EKINCI E, KUCUKYAZICI B. Emergency logistics planning in natural disasters [J]. Annals of Operation Research, 2004, 129(1-4):218-219.

(上接第 1258 页)

未来的工作将关注于 TLMS + AP 算法中的参数设定,如在 TLMS 模型中构造最终相似度时的文本相似度、入链相似度、出链相似度的相关系数 $\alpha_u, \alpha_r, \alpha_b$ 的设定;在 AP 算法中偏向参数 $s(k, k)$ 的设定等。

参考文献:

[1] MODHA D, SPANGLER W. Clustering hypertext with applications to Web searching [C]//Proc of the 11th ACM Conference on Hypertext and Hypermedia. New York: ACM Press, 2000:143-152.

[2] WANG Yi-tong, KITSUREGAWA M. Evaluating contents-link coupled Web page clustering for Web search results [C]//Proc of the 11th International Conference on Information and Knowledge Management. New York: ACM Press, 2002:499-506.

[3] FREY B, DUCEK D. Clustering by passing messages between data points [J]. Science, 2007, 315(5814):972-976.

[4] 肖宇,于剑.基于近邻传播算法的半监督聚类 [J].软件学报, 2008, 19(11):2803-2813.

[5] XIA Ding-yin, WU Fei. Local and global approaches of affinity propagation clustering for large scale data [J]. Journal of Zhejiang University Science, 2008, 9(10):1373-1381.

[6] WEISS R, VELEZ B, SHELDON M, et al. HyPursuit: a hierarchical network search engine that exploits contentlink hypertext clustering [C]//Proc of the 7th ACM Conference on Hypertext. New York: ACM Press, 1996:180-193.

[7] 彭京,杨冬青.一种基于语义内积空间模型的文本聚类算法 [J].计算机学报, 2007, 30(8):1354-1363.