

Research on Evaluation of Emergency Ability of Virtual Emergency Logistics Based on Projection Pursuit Recurrence*

Qingrong Wang, Jingyu Yang, Xiaoning Zhao

School of Traffic and Transportation, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou
Email: wangqr003@163.com

Received: Jan. 18th, 2013; revised: Feb. 24th, 2013; accepted: Mar. 5th, 2013

Copyright © 2013 Qingrong Wang et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: In order to improve the efficiency of emergency rescue, the alliance collaboration mechanism of virtual emergency logistics was analyzed in this paper, and evaluation model of response capabilities of emergency logistics alliance has been built based on projection pursuit regression theory through the projection pursuit to get the projection characteristics of high dimensional data in one-dimensional space value. On this basis, hybrid particle swarm optimization algorithm is designed to solve this model. Finally, a case study has been carried out in order to testify validity of this model and its algorithm by using Matlab to calculating and comparing analysis. This method for response capabilities evaluation of emergency logistics alliance has some reference value.

Keywords: Emergency Logistics; Emergency Response Capacity; Projection Pursuit; Regression; PSO

基于投影寻踪回归的虚拟应急物流联盟应急能力评价*

王庆荣, 杨景玉, 赵小柠

兰州交通大学交通运输学院, 兰州
Email: wangqr003@163.com

收稿日期: 2013年1月18日; 修回日期: 2013年2月24日; 录用日期: 2013年3月5日

摘要: 为了提高应急救援的效率, 本文在分析虚拟应急物流联盟协同运作机理, 通过投影寻踪得到高维数据在一维空间上的投影特征值, 构建了虚拟应急物流联盟应急能力的投影寻踪回归评价模型, 在此基础上, 设计了混合粒子群优化算法。最后, 以实例分析了该模型的客观性和科学性, 并采用 Matlab 软件平台分析计算。

关键词: 应急物流; 应急能力; 投影寻踪; 回归; PSO

1. 引言

随着突发事件的频发, 社会亟需科学高效的应急物流体系。现有应急物流运作的协调指挥是在突发事件时, 由政府临时组建一个应急协调机构来完成, 但

这种运作模式未能有效整合社会力量, 各部门间缺乏统一视角的信息共享渠道。为了最大限度地合理配置社会资源, 虚拟应急物流(Virtual Emergency Logistics, VEL)已成为研究的热点, 也是应急物流的发展方向^[1]。

虚拟应急物流背景下, VEL 联盟企业与应急物流管理中心间、VEL 联盟企业间的协作效应是影响应急

*基金项目: 教育部人文社会科学研究规划基金(11YJCZH170); 兰州市科技局研政产合作支撑计划项目(2011-1-111); 甘肃省青年科技基金(1208RJYA054)。

效率的关键问题之一。近年来,应急能力评价的研究,经历了从规范性研究转向实证性研究、从单项效应评价转向综合效应评价。主成分分析法的物理意义不够明确,难以在应急活动中选择相对应的控制点;灰色评价法虽能很好地处理不确定性问题,但需要归纳和简化评价指标体系,使得很多具体问题被掩盖;模糊评价法在权重确定上存在一定的不足。同时,VEL 联盟应急能力的评价受多种因素的影响,存在大量非线性、非正规律,常规的线性回归评价无法充分挖掘和利用其潜在信息。也会出现解释变量比样本多的现象,样本容量的不足容易引起多元线性回归模型的多重相关性^[2]。实际选择自变量时,不但要对自变量的数量进行约简,同时又要尽可能不遗漏重要的因素。当自变量数目过大时,多元回归模型计算复杂,变量多重相关性难以避免,会扩大估计方差,降低模型精度,在样本数量较少时,使模型缺乏说服力。而投影寻踪(Projection Pursuit, PP)是用来分析和处理高维观测数据。它通过把高维数据投影到低维子空间上,达到分析高维数据的目的,具有稳健性、抗干扰性和准确高等优点。基于此,本文提出基于蚁群投影寻踪回归(Projection Pursuit Regression, PPR)的VEL 联盟应急能力评价方法,对VEL 体系的不断完善具有一定的借鉴意义。

2. VEL 联盟协同运作机理分析

VEL 是由物流元素、物流环节、物流实体组成的相互联系、相互协调的有机整体,各要素间表现出非线性的、动态而密切的联系,在各子体系互联、互动、互补、互促的协同运作机制支撑下,通过结构、功能目标、技术标准、政策等内部层面协同以及与社会经济、环境的外部层面协同,高效合理地利用联盟成员企业的各种优势资源,形成高效、畅通、网络化的物流体系,实现VEL 体系的整体耦合和协同运作,进而实现时间效用、空间效用和形质效用,最大程度满足应急救援的需求。VEL 协同体系如图1所示。VEL 联盟知识协同概念模型如图2所示。

VEL 体系可释放系统内部的诸多潜能,其应急能力取决于新结构体系的合理性。通过系统耦合,降低各任务在时间、空间、功能等方面的约束或冲突,使VEL 体系作为一个整体在动态变化的应急环境中具

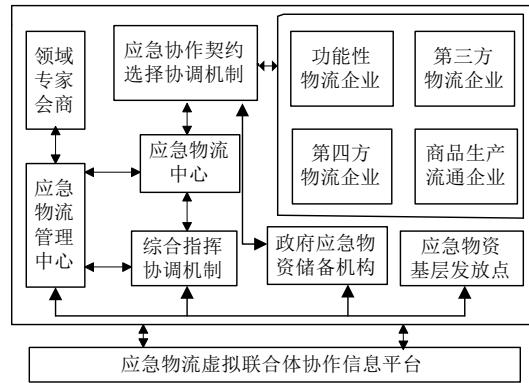


Figure 1. VEL collaborative system
图 1. VEL 协同体系

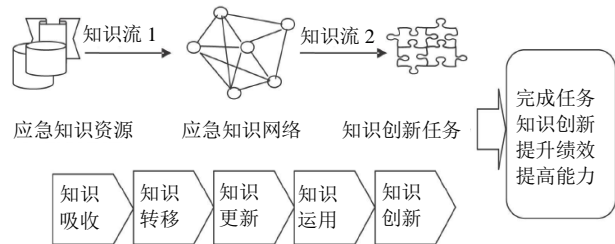


Figure 2. VEL alliance knowledge collaborative concept model
图 2. VEL 联盟知识协同概念模型

有更高的活性与缓冲能力。因此,科学管理是提高应急协同效应的关键。

VEL 协同体系的网络拓扑模型如图3所示。图3(a)为各应急任务间的逻辑关系,图3(b)为各任务的细化。 $T(E) < LT(E)$ 表示整个应急活动最迟应在 $LT(E)$ 时刻之前完成(刚性约束),虚箭线表示不同工作间的相关关系(柔性约束)^[3]。

在VEL 协同体系运作过程中,包含着组织结构、管理方法等一系列序参量。不同的序参量在临界点处的行为不尽相同,通过相互作用、相互制约,控制着系统演化的整个过程,反映了VEL 协同体系的态势、抗风险的能力和应急活动的有序化、规范化。当超过阈值时,系统处于不稳定的状态,某种随机的微小涨落可能通过协同效应而迅速放大,使系统由一种不稳定的状态跃迁到新的状态。因此,VEL 的体系应急能力处在一种动态环境当中,给其评价带来了一定的难度。

3. VEL 联盟协同效应的 PPR 评价模型

根据自变量的共同特性,划分自变量对综合特征因素的隶属^[4],利用PP 将综合特征因素作为新的解释

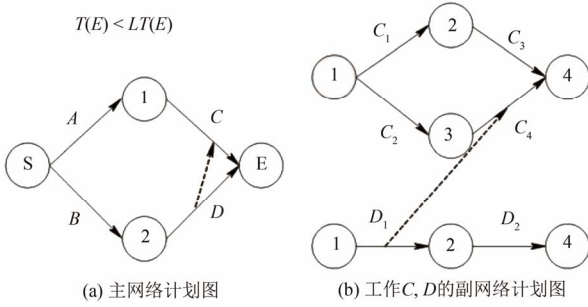


Figure 3. Group network planning model topological diagram
图3. 群体网络计划模型拓扑示意图^[1]

变量对因变量的多元线性回归分析,使自变量的筛选更符合实际。

设 X 为 n 维评价变量, θ 为 n 维投影向量, 则影响变量与评价之间的回归关系

$$Y_k = G(x_k) + \varepsilon_k, 1 \leq k \leq n \quad (1)$$

式中: $G(x_k) = E\{Y_k | x_k = x\}$ 为岭函数,

投影寻踪回归的实质是基于线性投影的多个多元回归的线性组合, 得到投影方向固定时的岭函数值, 通过平滑得到函数值, 以逼近基本的数据结构规律。即 $G(x_k)$ 先将 n 元变量投影成一元变量, 取 $u = \theta'x_k$, 再将 u 代入 $G(x_k)$, 建立映像, 投影方向 $\theta = \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p$ 的选择是要使误差平方和最小。

若解释变量集合 $\{x_k, 1 \leq k \leq n\}$ 是来自密度函数 f 的 n 元随机样本, 对每一个 n 元样本, 有一元观察 Y_k 与之对应, 且 $E\{Y_k | x_k = x\} = G(x)$, 此时, $G(x)$ 既是回归函数, 也是目标函数。为了防止因维数太高而带来的计算困难, 本文作沿着方向 θ 的一元函数, 即

$$g_\theta(u) = E\{G(x) | \theta \cdot X = u\}, \theta \in \Omega \quad (2)$$

在 $A \in R^p$ 内, 按函数 $G_1(u) = g_{\theta_1}(\theta_1 \cdot x)$ 对 G 的第一次投影逼近, 其中

$$S_\theta = E\left\{[G(x) - g_\theta(\theta \cdot X)]^2 I\right\} \quad (3)$$

设 $\theta_1 \cdot x$ 的密度为 f_θ , 即沿投影方向 θ 的 X 的边沿密度, 不包括 x_k 构造 f_θ 的核评价为

$$\hat{f}_{\theta(k)}(u) = \frac{1}{(n-1)h} \sum_{j \neq k} k\left[\frac{(u - \theta \cdot x_j)}{h}\right] \quad (4)$$

式中: k 为核评价函数; h 为窗宽, 可根据文献[5]的有关研究取值。

对式(5)极小化, 其解 $\hat{\theta}_1 < 1$ 就作为 θ 的评价,

$\hat{G}_{1(k)}(x) = \hat{g}_{\hat{\theta}_{1(k)}}(\hat{\theta}_1 \cdot x_k)$ 可作为回归函数 G 在区域 A 的第一次投影寻踪回归逼近。

$$\hat{S}(\theta) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \left[Y_k - \hat{g}_{\hat{\theta}_k}(\hat{\theta}_k \cdot x_k) \right]^2 I, (x_k \in A) \quad (5)$$

投影寻踪回归是对方程(6)的拟合过程, 计算 $u = \theta'x_k$ 的密度核预测 $f(u)$ 时, 由于有未知参数 θ , 可利用权函数进行 G 的非参数分析 g , 最后用交叉核方法求 $S(\theta) = \sum(Y - g)^2$ 的极小值, 从而求出的评价分析。

$$Y = \bar{Y} + \sum_{k=1}^n f_k \left(\sum_{j=1}^n \theta_{ji} X_j \right) \quad (6)$$

式中: \bar{Y} 为输出变量均值; m 为拟合单元个数; f_i 为拟合单元函数; θ_{ji} 为投影方向参数。

4. 算法设计

PPR 模型是一个复杂的非线性优化问题, 优化 f_k 、 θ_{ji} 和岭函数时, 须先固定其中两个优化另一个, 完成后再固定两个优化另一个, 逐个进行, 使得已优化好的参数会在下一个参数优化时失去其最优性。为了防止循环内部的拟合抵消, 本文采用改进的 PSO 算法有效解决该问题。

设 N 为粒子种群规模, S_l 为第 l 个粒子的位置; v_l 为粒子的速度; f_l 为适应值。在随机产生初始位置和速度之后的每一次迭代中, 粒子跟踪个体极值 $p_{best_l}(t)$ 和全局极值 $g_{best}(t)$ 来更新, 即

$$\begin{aligned} v_l(t+1) &= wv_l(t) + c_1b_1(t)(p_{best_l}(t) - s_l(t)) \\ &\quad + c_2b_2(t)(g_{best}(t) - s_l(t)) \\ s_l(t+1) &= s_l(t) + v_l(t+1) \end{aligned}$$

式中, w 为惯性权重; c_1 、 c_2 为粒子个体和学习因子; $b_1(t)$ 、 $b_2(t)$ 为(0,1)之间均匀分布的随机数。

设 $f_l(t+1)$ 为 $t+1$ 时刻粒子 l 的适应值; $f(p_{best_l}(t))$ 为粒子 l 的个体历史最好适应值; $s_{max}(t+1)$ 为 $t+1$ 时刻 $f(p_{best_l}(t))$ 所对应的粒子位置。则个体极值和全局极值可按照下式更新

$$p_{best_l}(t+1) = \begin{cases} s_l(t+1) & f_l(t+1) \geq f(p_{best_l}(t)) \\ p_{best_l}(t) & f_l(t+1) < f(p_{best_l}(t)) \end{cases}$$

$$g_{best}(t+1) = s_{max}(t+1)$$

根据罚函数法, 将约束最优化问题转化为增广目标函数极小值问题。即^[5]

$$\min_{x \in R^n} F(x, r) = \min \{ f(x) + r * p(x) \}$$

$$p(x) = \sum_{i=1}^n [\max g_i(x), 0]^2 + \sum_{i=1}^m [h_j(x)]^2$$

其中, r 为惩罚因子, $f(x)$ 为不加惩罚项的目标函数, $r * p(x)$ 惩罚项。

在 $p(x)$ 中, 对于不满足约束条件的, 惩罚项 $r * p(x) > 0$, 满足约束条件时, $r * p(x) = 0$ 。

PSO 算法流程图如图 4 所示。

5. 实证分析

文献[1,2,4]分别从不同的角度研究了应急物流的绩效和能力, 但相关系数分析、逐步回归等方法, 单纯从数据分析的角度进行筛选指标, 致使其评价指标体系有一定的差别。同时, 由于不同指标的同级标准数值差异很大, 若直接依据指标数据建立描述 VEL 体系应急能力的 PPR 模型, 则最终得到不同指标或回

归系数必定各不相同。因此, 本文通过对各项指标值之间变化规律的归纳、试算和调整, 使不同指标的同级标准值, 经规范变换后的规范值差异尽可能小, 而不同标准的指标之间的标准规范值差异尽可能大, 即认为所有指标皆“等效”于某个规范指标。

设第 i 个样本的第 j 个指标为

x_{ij}^* ($i = 1 \sim n, j = 1 \sim n$), x_{ij}^* 为指标 j 的规范值; x_{ij} 为指标 j 的变换值, $x_{j \max}$ 、 $x_{j \min}$ 分别为分析指标样本集中第 j 个指标的最大值和最小值。则

$$x_{ij} = (x_{ij}^* - x_{j \min}) / (x_{j \max} - x_{j \min}) \quad (1)$$

$$x'_{ij} = \frac{1}{10} \ln x_{ij}$$

根据训练结果, 最后得到的 VEL 体系应急能力评价指标体系如图 5 所示。

由图 5 可见, 要对 VEL 体系应急能力进行科学评价, 有 12 个需要同时优化的参数, 实质上属于多维参数寻优的问题。

依据上述指标体系以及文献[1,2,4]的有关基础数据, 利用 MATLAB 仿真平台, $c_1 = c_2 = 2$, 种群规模 $N = 400$, $v = 0.5 * rand(m, n)$, 惯性权重 $w = 0.9965$, 最大迭代次数 $G_{\max} = 50$ 。投影目标函数值与迭代次数的关系如图 6 所示。

最终得到的最佳投影方向为(0.216、0.241、0.345、0.176、0.421、0.309、0.287、0.178、0.207、0.457、0.306、0.431)。参照文献[3]对应急能力评价等级的分类, 经非线性函数拟合, 得到综合评价值 $y(i)$ 与投影值 $z(i)$ 之间的关系表达式。

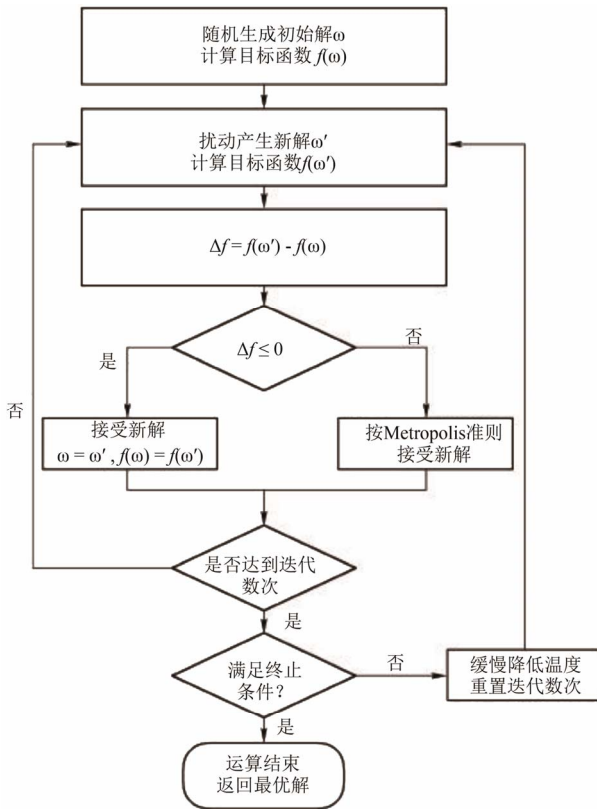


Figure 4. Flow chart of the PSO algorithm
图 4. PSO 算法流程图

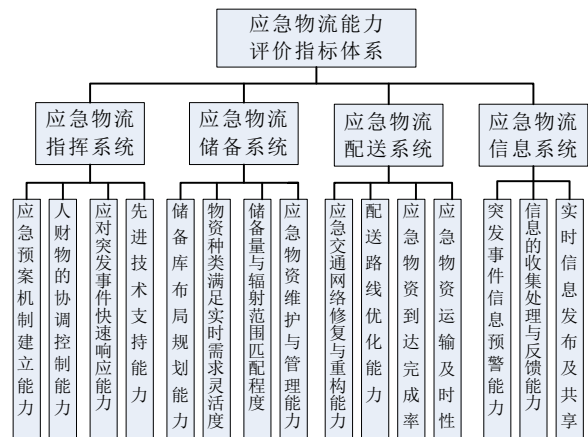


Figure 5. VEL system synergy effect evaluation index system
图 5. VEL 体系协同效应评价指标体系

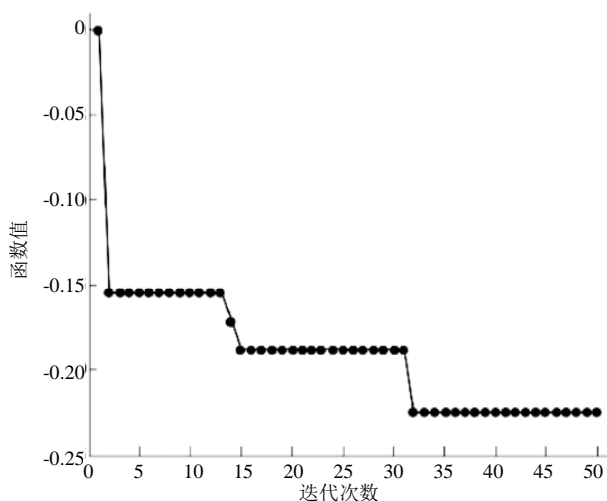


Figure 6. Projection objective function value and the relationship between the iteration times
图 6. 投影目标函数值与迭代次数的关系

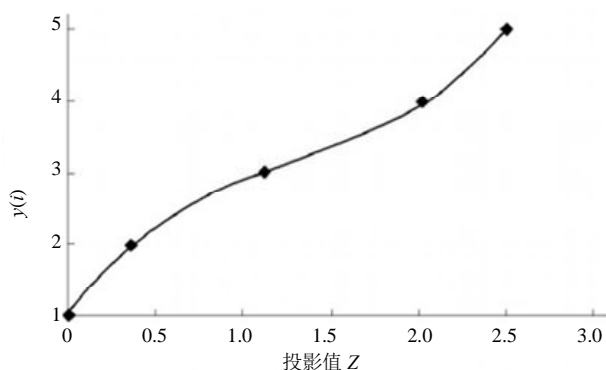


Figure 7. $y(i)$ and projection value $z(i)$ between fitting chart
图 7. $y(i)$ 与投影值 $z(i)$ 之间拟合图

$$y = 0.4636z^3 - 1.3673z^2 + 2.6832z + 0.8765$$

上式可用来描述 VEL 体系应急能力评价的投影特征值与其等级之间的关系。其拟合图如图 7 所示。

由此可见，如需评价某 VEL 体系的应急能力，根据评价指标，求得最佳投影方向和投影特征值，将其代入综合评价值 $y(i)$ 与投影值 $z(i)$ 之间的关系表达式，即可判定其应急能力的实际状况。

6. 结论

目前，虚拟应急物流的研究处于探索阶段，VEL 体系应急能力的综合评价涉及到评价标准选择、指标权重确定、评价模型选取等问题，尚缺乏统一标准和依据，使评定质量受到较大的影响。投影寻踪评价模型将指标体系的高维数据投影到一维子空间上，借助改进的 PSO 算法寻找最佳投影方向，将各评价等级对应的投影值与待评价样本的投影值相比较，得出各评价样本的所属等级。在多目标分析决策时，不受指标体系中指标个数多少的限制，无需对指标确定权重，整个评价过程无任何主观色彩，客观公正。实例分析结果表明，该方法切实可行，分类结果更加合理，为 VEL 体系应急能力的综合评价提供了新的途径。

参考文献 (References)

- [1] A. Halldorsson, J. Aastrup. Quality criteria for qualitative inquiries in logistics. *European Journal of Operational Research*, 2007, 144(2): 41-46.
- [2] W. Yi, A. Kumar. Ant colony optimization for disaster relief operations. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2009, 43(6): 60-72.
- [3] 李祚冰, 汪嘉杨, 金相灿等. 基于进化算法的湖泊富营养化投影寻踪回归预测模型[J]. *四川大学学报*, 2007, 39(2): 1-8.
- [4] Q. Fu, L. K. Wang and J. Y. Liu. Study on the PPE model based on RAGA to classify the county energy. *Journal Systems Science and Information*, 2004, 2(1): 73-82.
- [5] 田依林, 杨青. 突发事件应急能力评价指标体系建模研究[J]. *应用基础与工程科学学报*, 2008, 16(2): 200-208.