

基于 DEA 模型的 GIS 工程技术开发 方法的综合评价

张 目¹

(1 武汉大学空间信息与数字工程研究中心, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘 要: 引入数据包络分析(DEA)评价方法对 GIS 进行综合评价, 评价结果一方面可以对工程建设进行有效的设计与组织, 另一方面可以通过建立合理的评价指标体系来优化工程项目。对国土资源和房屋管理系统的设计开发进行了分析评价, 并给出了实例性结论。

关键词: 地理信息系统; 数据包络分析; 系统工程; 综合评价

中图法分类号: P208; TP311.11

在地理信息工程技术飞速发展的数十年中, 虽然设计、开发与组织管理手段都越来越先进, 但对工程建设各个环节中规范化、标准化以及共性化的关键技术进行的综合分析研究还不够。其主要表现在对工程建设中技术细节的考虑常常集中在某一个环节上, 如数据如何组织等, 而往往忽视了每个环节可能产生的互相制约与互相影响的因素, 缺乏对工程建设中人力、物资、设备、财力、任务和信息等六个要素都要满足一定制约的认识。尽管一项工程中各组成部分的直接影响可能并不明显, 但其间的相互作用却通常会产强烈且无法预测的结果。笔者认为, 应当在地理信息工程建设中引入一定的综合评价机制, 并依托综合评价的排序和评价结果能动地求得制约下系统的最优运转。

1 地理信息工程建设的综合评价

1.1 确立评价目标

制约分为经济规律的制约和技术条件的制约两大类。为了充分考虑到每一类制约对地理信息工程建设可能带来的影响, 所开展的综合评价应当在运用系统评价模型进行无量纲处理的基础上, 采取定性分析和定量分析相结合, 搜集、整理、分析大量工程建设活动的规模、水平、结构、布局、速度、比例、效益。此外, 由于每个项目通常是由

多个不同层次的研究与开发活动、不同领域、不同类型的单位与人员组成, 因此还应当了解系统结构、子系统协同以及系统功能在系统环境作用下的演化规律, 充分反映出评价对象在一定时间、地点和条件下的具体状态和作用。

对地理信息工程建设进行综合评价, 不仅可以用来研究对象的结构, 还可以为优化结构指明方向, 从而实现对不同工程建设方法进行评价, 制定有效的设计与组织策略, 建立合理的评价指标体系, 优化专业地理信息工程项目。

1.2 选择评价方法

由于地理信息工程的建设是一项极其复杂的高智力活动, 这就为其投入与产出以及对社会、经济的影响等方面的测度与量化带来很大困难, 因此, 应当选用合理的评价方法对数据进行处理。根据评价目标对客观事物的影响因素进行分解, 构造不同层次的评价指标体系, 然后对这些指标进行赋值并确定其权重系数, 最后建立适当的评价模型进行综合评价, 得到综合评价价值。根据综合得分对研究对象进行排序, 从而评价出优劣, 找出差距。评价要素具体见文献 [1]。

目前已经有几十到上百种评价方法, 每一种评价方法都可以提供解决属性之间不可公度的问题的方法, 并且构建一个纯量实多元函数, 用以权衡评价对象的综合效用或综合水平。为了满足预期的评价目标, 在评价方法的选择上应当依据一

定的准则,具体见文献[2]。本文选用数据包络分析(data envelopment analysis, DEA)方法进行地理信息工程建设的综合评价。

2 数据包络分析

2.1 DEA 理论

数据包络分析是使用数学规划模型评价具有多个输入和多个输出的部门或单位(称为决策单元, decision making unit, DMU)间的相对有效性的方法^[3]。它主要用于评价决策单元之间的相对效率,也是估计多输入与多输出及多目标决策类问题的有力工具。目前,DEA 已作为管理科学与系统工程领域中一个重要而有效的分析工具被广泛采用。

根据对各 DMU 观察的数据判断 DMU 是否对 DEA 有效,本质上是判断 DMU 是否位于生产可能集的前沿面上。生产前沿面是经济学中生产函数向多产出情况的一种推广,使用 DEA 方法可以确定生产前沿面的结构,因此又可将 DEA 方法看作是一种非参数的统计估计方法。使用 DEA 对 DMU 进行效率评价时,由于 DEA 方法对输入、输出指标有较大的包容性,可以接受那些在一般意义上很难定量的指标,因此,它在处理评价问题时比一般常规统计方法更有优越性。主要表现在如下几方面。

- 1) 输入和输出的数据可以为不同计量单位的指标;
- 2) 可以同时计算多种输入和输出指标;
- 3) 不需预定指标间的关系和赋予主观权重;
- 4) 改变了过去评价方法中将有效与非有效 DMU 混为一谈的局面,估计出确实有效的生产前沿面;
- 5) 致力于每个 DMU 优化而不是对整个集合的统计回归优化,不仅可排序,还可提供具体的改进建议。

一般来说,利用 DEA 模型进行评价可以获得如下信息。

- 1) 设计出科学的效率评价指标体系;
- 2) 确定各 DMU 的 DEA 有效性(技术有效性和规模有效性);
- 3) 算出各 DMU 在有效生产前沿面上的“投影”,为今后提高生产效率和管理水平提供参考信息;
- 4) 分析各 DMU 的有效性对各输入、输出指标的依赖情况,了解其在输入和输出方面的优势

和劣势;

- 5) 各 DMU 之间 DEA 有效性的依赖关系;
- 6) 对各 DMU 进行“类序”分析,为宏观决策提供参考。

2.2 DEA 模型

在 DEA 方法理论体系中,4 个最具有代表性的 DEA 模型为 C^2R ^[4]、 BC^2 ^[5]、 FG ^[6] 和 ST ^[7]。以 C^2R 为例,假设有 n 个部门或单位(DMUs),每个 DMU 都有 m 种输入和 s 种输出,其数据分别为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)$,其中 $x_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T > 0, y_j = (y_{1j}, y_{2j}, \dots, y_{sj})^T > 0, x_{ij} =$ DMU j 为对第 i 种输入的投入量, $y_{ij} =$ DMU j 为对第 r 种输出的产出量 ($j = 1, 2, \dots, n; i = 1, 2, \dots, m; r = 1, 2, \dots, s$)。

记 DMU j_0 对应的输入、输出数据分别为 $x_0 = x_{j_0}, y_0 = y_{j_0}, 1 \leq j_0 \leq n$ 。对已知的 n 个决策单元,可用 DEA 方法来判断各个单元投入与产出的合理性与有效性。评价 DMU j_0 的 DEA 模型(C^2R)为(分式规划):

$$\max \frac{u^T y_0}{v^T x_0}, \frac{u^T y_j}{v^T x_j} \leq 1, j = 1, 2, \dots, n$$

式中, $v = (v_1, v_2, \dots, v_m)^T, u = (u_1, u_2, \dots, u_s)^T$, 分别为 m 种输入和 s 种输出的权系数, $u \geq 0, v \geq 0$ 。对该分式规划进行 Charnes-Cooper 变换:

$$t = \frac{1}{v^T x_0} > 0, \omega = tv, \mu = tu$$

可将该分式形式的模型(C^2R)转化为等价的线性规划:

$$\begin{cases}
 (P_{C^2R}) \begin{cases} \max \mu^T y_0 = h^0 \\ \omega^T x_j - \mu^T y_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \\ \omega^T x_0 = 1 \\ \omega \geq 0, \mu \geq 0 \end{cases} \\
 (D_{C^2R}) \begin{cases} \min \theta \\ \sum_{j=1}^n x_j \lambda_j \leq \theta x_0 \\ \sum_{j=1}^n y_j \lambda_j \geq y_0 \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n, \theta \in E^1 \end{cases}
 \end{cases}$$

该模型的经济含义为:

- 1) 若 (P_{C^2R}) 的最优目标值 $h^0 = 1$, 称 DMU j_0 为弱 DEA 有效(h^0 称为效率指数);
- 2) 若 (P_{C^2R}) 存在最优解 ω_0, μ_0 , 满足 $\omega_0 > 0, \mu_0 > 0, \mu_0 y_0 = 1$, 则称 DMU j_0 为 DEA 有效;
- 3) 若 (D_{C^2R}) 的任意最优解 $\theta^0, \lambda_j^0 (j = 1, 2, \dots, n)$ 都满足

$$\theta^0 = 1, \sum_{j=1}^n x_j \lambda_j^0 = \theta^0 x_0, \sum_{j=1}^n y_j \lambda_j^0 = y_0$$

则称 DMU- j_0 为 DEA 有效。

前面提到的 4 种模型可以通过统一的形式表达为 $\{\min \theta, (\theta x_0, y_0) \in T\}$, 即综合的 DEA 模型由 (P) 和对偶规划 (D) 构成:

$$(P) \begin{cases} \min \theta \\ \sum_{j=1}^n x_j \lambda_j \leq \theta x_0, \sum_{j=1}^n y_j \lambda_j \geq y_0 \\ \hat{q} \left[\sum_{j=1}^n \lambda_j + \hat{q}(-1) \delta_3 \lambda_{r+1} \right] = \hat{q} \\ \lambda_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, n+1, \theta \in E^1 \end{cases}$$

$$(D) \begin{cases} \max (\mu^T y_0 - \hat{q} \mu_0) \\ \omega^T x_j - \mu^T y_j + \hat{q} \mu_0 \geq 0, j = 1, 2, \dots, n \\ \omega^T x_0 = 1 \\ \omega \geq 0, \mu \geq 0, \hat{q} \hat{q}(-1) \delta_3 \mu_0 \geq 0 \end{cases}$$

当取 \hat{q} 、 \hat{q} 、 \hat{q} 为不同参数时, 可相应地得到模型 (PC^2R) 、 (DC^2R) 、 (PBC^2) 、 (DBC^2) 、 (PFG) 、 (DFG) 、 (PST) 、 (DST) 。类似地, 对综合的 DEA 模型 (P) 和 (D), 可以定义 DMU 的弱 DEA 有效性和 DEA 有效性。并且, (弱)DEA 有效 $(C^2R) \Rightarrow$ (弱)DEA 有效 $(FG) \Rightarrow$ (弱)DEA 有效 (BC^2) ; (弱)DEA 有效 $(C^2R) \Rightarrow$ (弱)DEA 有效 $(ST) \Rightarrow$ (弱)DEA 有效 (BC^2) , 其中, (弱)DEA 有效 (C^2R) 表示在 C^2R 模型下 DMU- j_0 为 (弱)DEA 有效, 其他表示意义见文献 [8]。

20 世纪 80~90 年代以来, 在综合 DEA 模型的基础上又相继提出了更多的扩展模型, 如为了处理含有不同目标的多目标问题而形成的加法模型 C^2GS^2 ; 具有无穷多个 DMU 的半无限规划 DEA 模型 C^2W 和 C^2WY ; 输入、输出均为随机变量的机会约束模型; 体现决策者偏好的锥比例 DEA 模型 C^2WH 等。

3 评价实例

3.1 利用 DEA 综合评价空间型事务系统的设计与开发方法

本次实验选取空间型事务系统的设计与开发作为样本进行分析评价。空间型事务系统除了完成业务工作之外, 突出特点是这些工作大部分与空间信息有关。如国土资源与房屋管理信息系统, 它主要为国土资源和房产的管理(业务管理、内部管理)与决策服务, 是实现地籍地政、土地利用规划、土地利用变更、用地审批、土地开发复垦与整理、地价与土地市场交易、土地分等定级以及

房屋权证管理、房地产交易管理、土地与房屋监察、城市房屋拆迁等业务的信息系统。

按照常规设计开发过程, 可以有以下几种做法来组织系统:

1) 以受理对象(主观性的, 以用户为功能主体, 如房屋土地权属处、土地划拨处、土地整理储备中心等)为基础单元来组织;

2) 以业务对象(概括性的, 相对独立的一项完整业务, 如国有土地和集体土地确权登记、办理建设用地许可证等)为基础单元来组织;

3) 以工作节点(抽象性的, 由独立的业务节点组成, 如针对办理房产证可能存在受理、初审、复审、审核、发证等工作节点)为基础单元来组织;

4) 以功能节点(功能性的, 如录入申请表、扫描、打印等)为基础单元来组织。

为了适应不同的系统组织方式, 在实际开发时又可能存在基于业务受理对象的系统原型方法和基于空间工作流引擎的功能部件方法等功能设计与开发方法。

在进行系统工程建设时, 客观条件、技术手段、决策人的经验等各方面都可能影响到决策的正确性, 选取的评价模型也应根据不同的评价目的有所侧重。在现有研究条件和研究时间可以确保的范围内, 将本次实验的目的确定为: 基于 DEA 评价模型, 评价上述系统组织方法与设计开发方法的优劣性。

对问题进行定性描述为: 对一组已知的输入向量(如设计人员数量)、输出向量(如项目按时完成程度)样本和假设要投入的输入向量, 如何得到它的最大或有效的输出向量。设 $X_{m \times n}$ 、 $Y_{s \times n}$ 分别为由 n 个已知的输入向量(m 维)和输出向量(s 维)组成的矩阵, x_0 为将要投入的输入向量, y_0 为与 x_0 相对应的未知输出向量, 且

$$x_0 = (x_{10}, x_{20}, \dots, x_{m0})^T$$

$$y_0 = (y_{10}, y_{20}, \dots, y_{s0})^T$$

3.2 选择 DMU, 建立输入/输出指标体系

选择合适的 DMU 是评价成立的关键, 评价指标有成本型(越小越好)、效益型(越大越好)、适中型(既不能太大也不能太小)。针对本实验的评价目的, 建立如下输入/输出指标体系。

输入指标: ①人员投入强度: (设计人员与开发人员/人员总数) $\times 100\%$; ②人才投入强度: (硕士及以上学历人员/人员总数) $\times 100\%$; ③设备比率: (设备原值/有形固定资产原值) $\times 100\%$; ④工期容忍度: (实际工期/预定工期) $\times 100\%$ 。

输出指标: ①系统灵活度: (当用户需求变化时

引起的修改工作量/总工作量)×100%，指标值愈高，系统灵活度愈低；②团队协调度：(实现某项特定要求的响应时间/总工作时间)×100%，指标值愈高，团队协调度愈低；③技术成果附加值：项目结束后所形成的论文或其他形式的附加技术成果总量。

3.3 选择 DEA 模型

依据本实验的评价目的可知，输入指标的种类不易有较大变动，而且指标值必须维持在一定水平上，应当选用基于输出的 DEA 模型。此外，就有效性本身而言，应当同时针对规模有效性和技术有效性得到总体有效性，而且决策者对于输入、输出指标之间的相对重要性有所偏好，并要在评价中对此偏好有所体现，因此应当采用锥结构的 DEA 模型。

首先，建立如下的 s 个规划问题模型：

$$\begin{cases} \max y_{i0}, i = 1, 2, \dots, s \\ \text{s. t. } Y \cdot \lambda - y_0 = 0 \\ X \cdot \lambda \leq x_0 \\ e^T \lambda = 1 \\ \lambda \geq 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中， $\lambda = (\lambda_1, \dots, \lambda_n)^T$ ； $e = (1, \dots, 1)^T$ ；各个约束表示 (x_0, y_0) 有效并在生产可能集内。通过该模型可求得由 $y_{i0}^* (i = 1, 2, \dots, s)$ 组成的最理想结果集 $y_0^* = (y_{10}^*, y_{20}^*, \dots, y_{s0}^*)^T$ 。将该理想结果集代入如下评价模型：

$$\max \sum_{i=1}^s \frac{y_{i0}}{\bar{y}_i} \quad (2)$$

式中， $\bar{y}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n y_{ik}$ ，各约束条件同式 (1)。解该规划模型可得最优解 $y_{iA} (i = 1, 2, \dots, s)$ 。

为进一步优化评价结果，在上述评价模型基础上加入一个不等式约束：

$$y_{i0} \geq y_{iA} + \frac{(y_{i0}^+ - y_{iA})^2}{y_{i0}^+ - y_{i0}^-} \quad (3)$$

再多次迭代式 (2) 的规划问题，则可取得多个不同的有效输出以供选择，其中 y_{iA} 为前次迭代取得的最优解。算法流程如图 1 所示。

3.4 评价结果与分析

对于本实例，参与评价的开发方法对象为：

- ① 以受理对象为基础单元，基于业务受理对象的系统原型方法；
- ② 以业务对象为基础单元，基于业务受理对象的系统原型方法；
- ③ 以工作节点为基础单元，基于业务受理对象的系统原型方法；
- ④ 以功能节点为基础单元，基于业务受理对象的系统原型方法；
- ⑤ 以受理对象为基础单元，基于

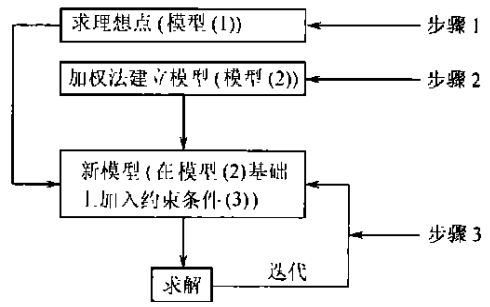


图 1 算法流程

Fig. 1 Procedure of Algorithm

空间工作流引擎的功能部件方法；⑥ 以业务对象为基础单元，基于空间工作流引擎的功能部件方法；⑦ 以工作节点为基础单元，基于空间工作流引擎的功能部件方法；⑧ 以功能节点为基础单元，基于空间工作流引擎的功能部件方法。

输入指标集如表 1，输出指标集如表 2。

表 1 输入指标集

Tab. 1 Input Factors

| 输入样本集 | 评价对象 | | | | | | | |
|--------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ |
| 设计人员数/人 | 2 | 3 | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | 5 |
| 开发人员数/人 | 15 | 15 | 13 | 13 | 10 | 8 | 8 | 6 |
| 硕士及以上学历人员数/人 | 4 | 4 | 4 | 6 | 3 | 4 | 5 | 5 |
| 参与工程人员总数/人 | 23 | 25 | 20 | 20 | 20 | 18 | 15 | 15 |
| 设备原值/万元 | 25 | 25 | 25 | 23 | 20 | 20 | 18 | 15 |
| 有形固定资产原值/万元 | 25 | 25 | 25 | 25 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| 预定工期/天 | 365 | 365 | 335 | 335 | 310 | 310 | 300 | 300 |
| 实际工期/天 | 410 | 380 | 330 | 325 | 308 | 305 | 295 | 287 |

表 2 输出指标集

Tab. 2 Output Factors

| 输出样本集 | 评价对象 | | | | | | | |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ |
| 系统灵活度 | 0.73 | 0.72 | 0.55 | 0.32 | 0.58 | 0.49 | 0.22 | 0.16 |
| 团队协调度 | 0.85 | 0.83 | 0.64 | 0.56 | 0.52 | 0.51 | 0.32 | 0.24 |
| 技术成果附加值 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 4 |

通过前述算法的迭代，评价对象①~⑧的评价结果 (DMU 的相对有效性 (%)) 分别为 64.39、76.35、78.77、85.42、83.48、87.63、93.29、99.56。可以看出，最优的技术开发方法为⑧。

使用该方法，对项目管理层和监督层人员要求较高，系统设计人员也应具备相当的知识层次，但是占项目投入比例最大的其他开发人员、协同工作人员只需具备一般性计算机开发经验和熟练的编码能力即可。且在资源配置上，项目实施的各个阶段都可以很好地协调，不必投入过多人力、物力。所完成的系统组织灵活，可扩展性好。当用户业务流程发生了调整和改变，对软件提出新

要求时, 毋需改变系统原有的基本构架, 只需直接完善和扩展单个或多个功能部件, 系统更新和升级的成本很小。同时, 功能部件还可在不同的软件体系结构下实现, 大大降低了同类系统开发的工作量和人力成本。

4 结 语

在地理信息工程建设中引进综合评价机制, 是一种跨学科、跨层次的综合性工作, 它既要求社会科学、经济学与自然科学的综合, 又要求决策层、执行层与研究层的结合。因此, 应进一步开展对评价方法的深入研究, 并结合地理信息工程技术发展的实际状况, 作出评价理论和方法的实际应用。根据评价实践中遇到的不同问题来选择不同的评价模型, 建立不同的评价体系, 还需要从工程建设可能涉及到的各个层面选取大量的样本进行更全面、更完整的实验。

参 考 文 献

- 1 秦寿康. 综合评价原理与应用. 北京: 电子工业出版社, 2003
- 2 陈晓剑, 梁 梁. 系统评价方法及应用. 北京: 中国科

学技术出版社, 1993

- 3 魏权龄. 数据包络分析(DEA). 科学通报, 2000, 45(17): 1 793~1 808
- 4 Chames A, Cooper W W, Rhodes E. Measuring the Efficiency of Decision Making Units. European Journal of Operational Research, 1978(2): 429~444
- 5 Banker R D, Charnes A, Cooper W W. Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. Management Science, 1984, 30(9): 1 078~1 092
- 6 F re R, Grosskopf S. A Nonparametric Cost Approach to Scale Efficiency. Journal of Economics, 1985, 87: 594~604
- 7 Seiford L M, Thrall R M. Recent Development in DEA, the Mathematical Programming Approach to Frontier Analysis. Journal of Econometrics, 1990, 46: 7~38
- 8 Yu G, Wei Q L, Brockett P. A Generalized Data Envelopment Analysis Model. Annals of Operations Research, 1996, 66: 47~89
- 9 吴文江, 周 萍. 使决策单元变为 DEA 有效(M)的方法及其应用. 上海建材学院学报, 1995, 8(1): 35~41
- 10 卢宗华, 魏恒泰. 具有不可控因素的非有效决策单元的修正方法. 系统工程学报, 1999, 14(1): 15~22

作者简介: 张巨 博士生, 讲师. 现从事 GIS 研究

E-mail: immumu@126.com

Synthetic Valuation of Geographic Information Engineering Based on DEA Model

ZHANG Mu¹

(1 Research Center of Spatial Information and Digital Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

Abstract: A method for synthetic valuation based on DEA theory, which can support to construct the geographic information engineering organically, is presented. A set of valued factors of the designing and developing approaches of a land and house management system are introduced.

Key words: GIS; data envelopment analysis (DEA); systems engineering; synthetic valuation

About the author: ZHANG Mu, Ph. D candidate, lecturer, majors in GIS.

E-mail: immumu@126.com

(责任编辑: 晓平)