

文章编号:1001-9081(2005)12-2945-03

基于信息流的大型灌区信息传递与控制模型研究

王成军

(西安建筑科技大学 管理学院, 陕西 西安 710055)

(cjwang@pub.xaonline.com)

摘要:为深入研究大型灌区的要素表示和构建灌区系统的整体模型,应用系统工程方法,通过对灌区信息源与信息流分析,系统地描述了系统中各个元素之间的相互联系与状态传递关系,构造了构建灌区信息传递数学模型与控制模型。在灌区信息化系统中的应用结果表明,该模型为灌区信息系统的实现与精确控制提供了可操作的量化模型。

关键词:大型灌区;信息流;信息传递与控制模型;灌区信息化

中图分类号: TP182 **文献标识码:** A

Study on the model of information transmission and controlling of the large-scale irrigated area based on information flow

WANG Cheng-jun

(School of Management, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an Shaanxi 710055, China)

Abstract: For further investigate the essential element of information expressed of large-scale irrigation area and constructs the overall model of irrigation area system, the system engineering method was used to analyses the information source and information flow of irrigated area. By this method, the connection and state between each element transmit the relation in the system was described systematically and a model of Information transmission and controlling of the large-scale irrigated area was constructed. The application of this model to the irrigation are informationization shows that this model has offered the feasible quantization model for realization and accurate control of the information system of irrigated area.

Key words: large-scale irrigated area; information flow; information transmission and controlling model; irrigated area informationization

0 引言

灌区被分为自流灌区、抽水灌区、水库灌区,各个灌区不同程度地开展了信息化建设工作,在灌区信息化的技术实现与技术研究领域也有了一定的成果。比较典型有,文献[1]对灌区水资源优化配置方法进行了研究;文献[2]对灌区水资源优化调度系统进行了研究;文献[3]实现了 Web GIS 平台和 Java 技术在水利信息系统中的应用;文献[4]对灌区管理信息系统进行了设计;文献[5]对网格 GIS 在大型灌区信息化建设中的应用进行了研究;文献[6]对网络架构下的大型灌区信息化系统结构进行了整体分析,给出了一个通用的软硬件技术结构。这些研究针对灌区的一个特定项目展开研究的较多,但是,从系统观点出发,通过灌区的信息源、信息流及信息的传递分析来建立灌区系统模型的文章未见报道。所以,本文应用系统工程方法,通过研究该系统的组成和系统输入、输出等因素,构建系统模型,进而刻画系统中要素之间的信息传递关系与联系,本文研究的模型已应用于陕西省某大型的灌溉决策系统实施中。

1 灌区信息传递模型的数学分析

一个大型灌区,通常是按照“灌区管理局、灌溉管理站、灌溉执行站”三层组织结构进行管理,也有的灌区按照“灌区管理局、灌溉管理站(完成灌溉执行工作)”,还有的是“灌区

管理局、灌溉管理总站、灌溉管理站、灌溉执行站”等多种模式。综合来看可以将灌区分成三个层次“灌区管理层、灌溉管理参层、灌溉执行层”,如图 1 所示。

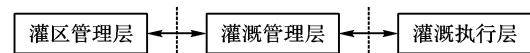


图 1 灌区管理层次模型

按照上述灌区三层架构模型,对灌区系统的各个要素以及相关量定义如下:

(1) 记 E 为系统的全体元素集, E^k 表示系统第 k 层的全体元素集, E_i^k 为第 k 层的第 i 个元素集, e_{ij}^k 为第 k 层的第 i 个元素集中的第 j 个元素。则有:

$$E = \{ \cup_k E^k \mid k \in I \}; E^k = \{ \cup_i E_i^k \mid i \in I \}; E_i^k = \{ \cup_j e_{ij}^k \mid j \in I \}。其中, I 为自然数集。$$

(2) 记 A 为 E 的属性集, $A_m(E_i^k)$ 、 $A_m(e_{ij}^k)$ 分别表示 E_i^k 与 e_{ij}^k 的第 m 个属性集,且有, $\cup_m A_m(E_i^k) = \{ \cup_{n,j} A_n(e_{ij}^k) \mid m, n, j \in I \}$ 。其中, $A_{mk}(e_{ij}^k)$ 表示 e_{ij}^k 的第 m 个属性集中第 k 个属性。

(3) 记 Z 为 A 的值域, $Z(A_m(e_{ij}^k))$ 表示 $A_m(e_{ij}^k)$ 的值域。

(4) 记 S^t 为一个 t 时刻的状态,称 $S^t(A_m(e_{ij}^k))$ 为 $A_m(e_{ij}^k)$ 在 t 时刻的状态,即 e_{ij}^k 的第 m 个属性集在 t 时刻的取值,将 $S^t(A_m(e_{ij}^k))$ 简记为 $S_m^t(e_{ij}^k)$ 。同理,将 $S^t(A(E_i^k))$ 简记为 $S^t(E_i^k)$ 。

(5) 记 $R(E_i^k, E_j^{k+1})$ 或 $R(A_m(E_i^k), A_n(E_j^{k+1}))$ 表示两个不

同层次之间元素集或属性集之间的关系,若二者之间存在关系,则有 $R = 1$, 否则 $R = 0$ 。

(6) 记 $U(e)$ 与 $D(e)$ 分别为元素 e 的上传递算子和下传递算子,其中,上传递矩阵实现所采集的信息上传和融合,下传递矩阵实现决策集的分解和执行动作。

定义 1 记 $\Theta = \{E, A, Z, \Sigma\}$ 为灌区系统模型,其中 E_i^k 代表实体管理单位, e_{ij}^k 代表实体管理单位中的生产或管理元素。

实际中,系统的每一个层次都会与环境产生信息交换,不失一般性的对系统信息传递方式做如下假设:

假设:系统中所有的与外界产生的信息交换均通过“灌区设施层”实现,并且逐层传递上去。对于其他层与环境产生的信息交换,可以看成是经过虚拟的低一个层次的无变化的传递,与外界发生信息交换也由最底层进行。

$$S_m^t(E_i^k) = \bigoplus_{j, R(E_i^k, E_j^{k+1}) \neq 0} \bigoplus_{n, R(A_m(E_i^k), A_n(E_j^{k+1})) \neq 0} U_{mn}(S_n^t(E_j^{k+1})), k = 1, 2; i, j, m, n \in I \quad (1)$$

灌区管理层的决策依据是其状态,因此,其决策可以表示为:

$$(E_i^1)_{act}^t = \underset{i, m, s \in [t, t-\alpha]}{opt} f_d(S_m^s(E_i^1)) \quad i = 1; m \in I; s, t, \alpha \in R, \alpha \geq 0 \quad (2)$$

对于灌溉管理层,是上一层的决策集经过下传递矩阵分解,基于本层次的要素进行。因此给出如下定义:

定义 4 记若 Q 为一个决策集,称 $Q|_A$ 为基于限制在 A 的决策。

按照上述定义,有如下的关系式:

$$(E_i^{k+1})_{act}^t = \underset{R(E_i^k, E_j^{k+1}) \neq 0}{D_{ij}} ((E_j^k)_{act}^t) |_{(A(E_i^{k+1}))} \quad k = 1, 2; i, j \in I \quad (3)$$

式(1)、(2)、(3)构成了系统信息与决策传递的动态闭合回路,整个灌区就是在该回路中不断的进行动态调节,达到系统目标。该回路的概念模型如图 2 所示。

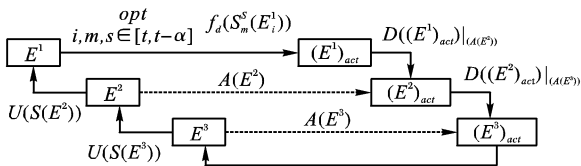


图 2 灌区系统信息与决策传递概念模型

2 应用实例

该模型已应用于陕西省不同类型的大型灌区的信息化规划与工程实施中^[7-9],本实例为其中的一个大型自流灌区的部分应用。该自流灌区由“灌区管理局、灌溉管理站、灌溉执行站”构成三层管理体系,各灌溉执行站控制的主要是闸门。灌区实行计划用水,主要是依据水源情况、渠系布置、田间工程状况、水的有效利用程度和渠道输水能力、用水户的需水类型(灌溉用水(灌溉面积与作物)、其他用水)、灌溉制度和用水单元的申请编制用水计划。为简化起见,以下模型仅就需水和供水分析的核心要素进行分析且忽略渠道等各种损耗(扩展应用时,引入相应的损耗函数即可)。

2.1 系统元素集与属性集分析

按照灌区管理层次模型,采用从下至上的分析过程对各个层次的要素进行提取,分别给出“灌溉执行站的核心元素”,“灌溉管理站的核心要素集”,“灌区的核心要素集”,各

按照灌区管理层次模型,一个灌区系统可定义如下:

$E_i^1 = \{\text{灌区管理局元素} \mid i \in I\}$, $E_i^2 = \{\text{灌溉管理站元素} \mid i \in I\}$, $E_i^3 = \{\text{灌溉执行站元素} \mid i \in I\}$ 。基础信息来自 E_i^3 , 核心管理信息来自 E_i^1 , 并逐层下达直至 E_i^3 。对于每一层次都由层次要素、要素属性和属性状态构成,因此:

定义 2 称 $\{E_i^k, S_m^t(E_i^k), t\}$ 为系统的层次描述, $\{e_{ij}^k, S_m^t(e_{ij}^k), t\}$ 为系统的元素描述。

定义 3 记 $(e)_{act}$ 分别为元素 e 的执行状态信息集。 $f_d(\cdot)$ 为系统的决策函数。

按照灌区管理的层次模型(图 1)和系统的信息传递方式假设,对于时刻 t 不同层次的系统信息上传状态有如下的关系(其中 \oplus 代表运算):

集合如下:

(1) 灌溉执行站的核心元素集为:

$E_i^3 = \{e_{i1}^3, e_{i2}^3, e_{i3}^3\} = \{\text{配电系统, 闸门, 渠道}\} (i \in I)$ 。各个元素的属性集如下:

$A(e_{i1}^3) = \{A_1(e_{i1}^3); A_2(e_{i1}^3)\} = \{\text{配电系统基本属性集; 配电系统状态属性集}\};$

$A(e_{i2}^3) = \{A_1(e_{i2}^3); A_2(e_{i2}^3)\} = \{\text{闸门基本属性集; 闸门运行属性集}\};$

$A(e_{i3}^3) = \{A_1(e_{i3}^3); A_2(e_{i3}^3)\} = \{\text{渠道基本属性集; 渠道供水状态属性集}\}。$

(2) 灌溉管理站的核心元素集为:

$E_i^2 = \{e_{i1}^2, e_{i2}^2\} = \{\text{用户, 配水}\} (i \in I)$ 。各个元素的属性集如下:

$A(e_{i1}^2) = \{A_1(e_{i1}^2); A_2(e_{i1}^2)\} = \{\text{用户基本属性集; 用户需水量属性集}\};$

$A(e_{i2}^2) = \{A_1(e_{i2}^2); A_2(e_{i2}^2)\} = \{\text{配水制度属性集, 配水量属性集}\};$

(3) 灌区管理层的核心元素集为:

$E_i^1 = \{e_{i1}^1, e_{i2}^1, e_{i3}^1, e_{i4}^1\} = \{\text{用户, 水源, 渠系, 灌溉制度}\} (i = 1)$ 。各个元素的属性集如下:

$A(e_{i1}^1) = \{A_1(e_{i1}^1); A_2(e_{i1}^1)\} = \{\text{用户分类属性集; 用户需水量属性集}\};$

$A(e_{i2}^1) = \{A_1(e_{i2}^1); A_2(e_{i2}^1)\} = \{\text{水源基本属性集, 来水属性集}\};$

$A(e_{i3}^1) = \{A_1(e_{i3}^1); A_2(e_{i3}^1)\} = \{\text{渠系基本属性集; 渠系供水状态属性集}\};$

$A(e_{i4}^1) = \{A_1(e_{i4}^1); A_2(e_{i4}^1)\} = \{\text{基本制度属性集; 水量调配方法属性集}\};$

为简化起见,各个层次取具有代表性的属性集来研究,则构成如下的表示系统整体核心参数的状态属性集,结果如下:

$$\begin{cases} A(E^3) = \{A_2(e_{i2}^3); A_1(e_{i3}^3); A_2(e_{i3}^3)\} \\ A(E^2) = \{A_2(e_{i1}^2); A_2(e_{i2}^2)\} \\ A(E^1) = \{A_2(e_{i1}^1); A_2(e_{i2}^1); A_2(e_{i3}^1); A_2(e_{i4}^1)\} \end{cases} \quad (4)$$

各属性集取代表性的物理意义参数量(并采用常规含义符号表示),表示如下:

对于 $A(E^3) = \{A_2(e_{i2}^3); A_1(e_{i3}^3); A_2(e_{i3}^3)\}$, 其中:

$$\begin{cases} A_2(e_{12}^3) \sim \{A_{21}(e_{12}^3) = [H: \text{闸门开度}]\} \\ A_1(e_{13}^3) \sim \{A_{11}(e_{13}^3) = [S: \text{测流面积}]\} \\ A_2(e_{13}^3) \sim \{A_{21}(e_{13}^3), A_{22}(e_{13}^3), A_{23}(e_{13}^3) = [v: \text{流速}; h: \text{水位}; Q_{\text{执行站_流量}}: \text{瞬时流量}]\} \end{cases} \quad (5)$$

对于 $A(E^2) = \{A_2(e_{11}^3); A_2(e_{12}^2)\}$, 其中:

$$\begin{cases} A_2(e_{11}^3) \sim \{A_{21}(e_{11}^3) = [Q_{\text{管理站_需}}: \text{用户需水数据}]\} \\ A_2(e_{12}^2) \sim \{A_{21}(e_{12}^2) = [Q_{\text{管理站_放}}: \text{管理站放水量}]\} \end{cases}$$

对于 $A(E^1) = \{A_2(e_{11}^1); A_2(e_{12}^1); A_2(e_{13}^1); A_2(e_{14}^1)\}$, 与上

同理, 简化表示如下:

$$\begin{aligned} A(E^1) &= \{\{Q_{\text{总需}}\}; \{Q_{\text{来水总量}}\}; \{Q_{\text{放总}}\}; \{COUNT_{\text{method}}\}\} \\ &= \{\{\text{灌区用户需水总量}\}; \{\text{灌区来水总量}\}, \{\text{灌区放水总量}\}, \{\text{水量调配方法}\}\} \end{aligned}$$

2.2 层次状态与层次传递方程

记, t_0 为计量开始时间, 对于时刻 t , 各个量表示如下:

$$\begin{cases} S^t(A(E_i^3)) = \{\{H_i^t\}; \{S(h_i^t)\}; \{v_i^t, h_i^t, t\}\} \\ S^t(A(E_i^2)) = \{\{Q_{\text{管理站_需}}(t)_i\}; \{Q_{\text{管理站_供}}(t)_i\}\} \\ S^t(A(E_i^1)) = \{\{Q_{\text{需水总量}}(t)_i\}; \{Q_{\text{来水总量}}(t)_i\}; \{COUNT_{\text{method}}\}\} \end{cases}$$

各层之间的元素关系与上传递方程如下:

(1) 灌溉执行站

$$\text{其中: } Q_{\text{执行站_流量}}(t)_i = v_i^t S(h_i^t)$$

有: $U(S(E_i^3)) = \{Q_{\text{执行站_流量}}(t)_i, H_i^t\}$ (该层为多个执行

站, 为简化其间, 仅用一个代表)

(2) 灌溉管理站

$$\text{其中: } Q_{\text{管理站_供}}(t)_i = \sum_{j=0}^t Q_{\text{执行站_流量}}(s)_i ds$$

$$\text{有: } U(S(E_i^2)) = \{Q_{\text{管理站_供}}(t)_i, Q_{\text{管理站_需}}(t)_i\}$$

$$\text{可表示为: } U(S(E_i^2)) = \{\sum_j U(S(E_j^3)), Q_{\text{管理站_需}}(t)_i\}$$

(3) 灌区

$$\begin{aligned} \text{其中: } Q_{\text{需水总量}}(t) &= \sum_i Q_{\text{管理站_需}}(t)_i, Q_{\text{供水总量}}(t) \\ &= \sum_i Q_{\text{管理站_供}}(t)_i \end{aligned}$$

可表示为:

$$U(S(E_i^1)) = \{\sum_j U(S(E_j^2)), Q_{\text{来水总量}}(t), COUNT_{\text{method}}\} (i = 1)$$

综合上述关系, 系统的上传递方程如下:

$$\begin{cases} U(S(E_i^3)) = \{Q_{\text{执行站_流量}}(t)_i, H_i^t\} \\ U(S(E_i^2)) = \{\sum_j U(S(E_j^3)), Q_{\text{管理站_需}}(t)_i\} \\ U(S(E_i^1)) = \{\sum_j U(S(E_j^2)), Q_{\text{来水总量}}(t), COUNT_{\text{method}}\} \end{cases} \quad (i = 1) \quad (9)$$

按照最大限度的满足用户需求来进行水量调配, 则有如下

$$\text{目标函数} \begin{cases} (E^1)_{act} = \underset{i, m, t \in [t, t-h_{\text{ca}}]}{\text{opt}} f_d(S_m^t(E_i^1)) \\ \min(\cup_i Q_{\text{管理站_放}}(t)_i - \cup_j Q_{\text{管理站_需}}(t)_j) \end{cases} \quad (10)$$

$$\text{约束关系} \begin{cases} \cup_i (Q_{\text{管理站_供}}(t)_i) \leq Q_{\text{来水总量}}(t) \\ \cup_i Q_{\text{管理站_供}}(t)_i \leq C (\text{渠道设计最大流量}) \end{cases} \quad (11)$$

对于灌溉管理站所在的层面:

目标函数:

$$\min(Q_{\text{管理站_放}}(t)_i - Q_{\text{管理站_需}}(t)_i) \quad (12)$$

约束关系:

$$\{Q_{\text{管理站_供}}(t)_i\} = \cup_j Q_{\text{执行站_供}}(t)_j$$

按照上述决策规划计算, 得:

$$(E_i^2)_{act} = \{\cup_j (Q_{\text{执行站_供}}(t)_j)\} \quad (13)$$

对于灌溉执行站:

按照流量与闸门开度计算表, 最后求得:

$$H_i^{t+1} = \text{Table}(Q_{\text{执行站_供}}(t)_i)$$

构成得决策集为:

$$(E_i^3)_{act} = \{H_i^{t+1}\} \quad (14)$$

下一个时刻的状态集合为:

$$S^{t+1}(A(E_i^3)) = \{\{H_i^{t+1}\}; \{S(h_i^{t+1})\}; \{v_i^{t+1}, h_i^{t+1}\}\}$$

这样, 通过时刻 t 到 $t + 1$ 的状态与时间的转移, 构成的全灌区的灌溉用水动态控制。

3 结语

通过灌区信息源与信息流分析, 系统地描述了系统中各个元素之间的相互联系与状态传递关系, 构造了灌区动态控制的系统模型, 为更深入的研究灌区信息系统提供了可实施的量化模型。该模型为进行灌区数据分析, 决策支持系统与各类应用系统的建立奠定了一个量化的离散的量化的数学基础, 该模型更适合大规模的灌区信息系统分析。在应用该模型中, 如何更进一步离散化地描述传递关系仍需要在实际应用中不断地完善, 本文作者将进一步应用该模型分析灌区决策系统与数据应用平台的模型和实现。

参考文献:

- [1] 赵丹, 邵东国, 刘丙军. 灌区水资源优化配置方法及应用[J]. 农业工程学报, 2004, 20(4): 69-73.
- [2] 徐建新, 白雪梅. 灌区水资源实时优化调配决策软件研制[J]. 水科学进展, 2003, 14(2): 178-183.
- [3] 俞峰, 王维江. Web GIS 在水利信息系统中的应用[J]. 计算机应用, 2003, 23(6): 71-73.
- [4] 陈庆秋, 耿六成. 灌区管理信息系统模块结构设计技术研究[J]. 华北水利水电学院学报, 1997, 18(3): 28-32.
- [5] 张汉松, 方金云. 网络 GIS 在大型灌区信息化建设中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2003, (8): 23-27.
- [6] 王成军, 陈冰峰. 基于 B/S 模式的大型灌区信息化应用系统分析与设计[J]. 西安建筑科技大学学报(自然科学版), 2004, 36(3): 325-328.
- [7] 王成军, 党志良. 交口抽渭灌区信息化工程总体规划[Z]. 陕西省交口抽渭灌溉管理局, 2003.
- [8] 王成军, 党志良. 泾惠渠灌区信息化工程总体规划与 2003-2005 实施方案[Z]. 陕西省泾惠渠管理局, 2003.
- [9] 王成军, 党志良. 陕西省商洛地区水利区信息化工程总体规划[Z]. 陕西省水利厅, 2002.