

节水灌溉管理智能决策支持系统研究

汪志农, 吕宏兴, 王密侠, 熊运章, 马孝义

(西北农林科技大学水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

【摘要】 应用人工智能中的专家系统技术, 开发并集成了3个不同层次的节水灌溉管理决策支持系统: 灌溉预报与节水灌溉决策子系统、灌区计划用水与水量调配管理系统、灌区管理体制改革子系统; 介绍了节水灌溉管理智能决策支持系统的理论基础, 系统结构, 实际应用以及陕西省旱情决策子系统等。

【关键词】 灌溉预报; 节水灌溉; 灌溉管理; 智能决策支持系统

我国北方各省区水资源紧缺, 干旱多发性一直是阻碍这一地区农业生产持续发展的一个最主要的制约因素, 供水危机已日益显现。管理不善, 特别是田间过量灌溉或因渠系水量调配不当, 农业用水浪费现象严重。因此, 灌溉水的利用率仍很低, 平均为0.4左右。如果采用节水灌溉管理决策技术, 将灌溉水的利用率平均提高10%, 按全国年农业用水量 $4\ 000 \times 10^8\ \text{m}^3$ 估算, 每年可节约水量 $400 \times 10^8\ \text{m}^3$, 这对缓解我国水资源供需矛盾将起到极其重要的作用。为此, 实施节水型的灌溉农业, 是事关我国农业持续发展乃至国民经济持续发展的一项带战略性的根本大事。实践证明, 灌溉节水50%潜力是在管理上。因此, 从水源到作物产量形成的整个用水过程中, 都要做好节水灌溉的管理工作。节水灌溉管理智能决策支持系统的研究、开发与推广、应用, 将对我国北方缺水地区农业水资源的科学管理与优化调配提供科学的决策依据与决策方案。这对于普及、推广节水型的灌溉农业, 将会起到重大的推动作用^[1]。

1 节水灌溉智能决策支持系统的理论基础

智能决策支持系统是把人(专家)在解决生产实际问题过程中所使用的启发性知识和判断性知识

分成事实和规则, 以一定的知识表示形式存入计算机, 建立知识库。并采用合适的产生式系统(Production System), 按输入的原始数据, 选择合适的规则, 进行推理、演绎, 作出智能判断与决策。它的最大作用是代表一个专门领域的专家群体, 对农业生产与节水灌溉中的实际问题提供咨询、决策意见。

智能决策支持系统的理论基础是人工智能的知识表示和问题求解技术, 以知识和推理构成整个系统的两大要素。而智能决策支持系统的核心是知识, 所以又常称为知识基系统, 或基于知识的系统(Knowledge-Based System)。国际上, 把决策支持系统技术在学科方向上称之为知识工程(Knowledge Engineering)^[2]。

1.1 知识表示

常用的知识表示方法有: 产生式规则、框架、语义网络、谓词逻辑、模糊关系及模糊逻辑、人工神经网络学习等。

1) 产生式规则(production rule)是最常用的表示方法, 它的表示格式为: 如果条件集合成立, 则结论成立。亦即: IF (condition is satisfied) THEN (action)

2) 框架(frame)是20世纪80年代初, 由美国麻省理工学院 M. Minsky 提出的一种知识表示的新理论。他从心理学的证据出发, 认为人们在日常的

【收稿日期】 2000-12-13; 修回日期 2001-01-08

【基金项目】 国家自然科学基金资助项目(59979032), 渠灌类型区农业高效用水模式与产业化示范资助项目(99-021-01-02)

【作者简介】 汪志农(1948-), 男, 浙江杭州市人, 西北农林科技大学水利与建筑工程学院教授 博士

认识活动中，使用了大批以前的经验中获取并经过整理的知识。该知识是以一种类似框架的结构存在于人脑中。当人们面临新的情况，或者对问题的看法有重要变化时，总是从自己的记忆中找出一个合适的框架，然后根据实际情况对它的细节加以修改、补充，从而形成他对所观察到的事物的认识。所以，框架也是一种表示定型状态的有层次的数据结构：顶层是固定的，表示某个固定的概念、对象或事件；下层由一些称为槽（slot）的结构组成，每个槽有若干“侧面”组成。框架下层的槽可以带子框架，子框架本身还可以进一步分层^[3]。

框架的形式表达如下：

框架名：FRAME 节水灌溉

状态槽：STATE 灌溉预报

处理槽：PROCESS 作物需水量

下面以灌溉预报与决策的框架库结构为例说明：

/* 提问集 */

灌溉预报 = (灌溉预报原理, 灌溉决策, 灌溉制度)

灌溉决策 = (灌溉决策计算, 决策方案比较)

灌溉制度 = (小麦、玉米、油菜、棉花、苹果)

FRAME1 节水灌溉 /* 框架 1 */

STATE 灌溉预报与决策 /* 状态槽 */

IF 灌溉预报与决策 = 灌溉预报 THEN GGYB

IF 灌溉预报与决策 = 灌溉决策 THEN GGJC

IF 灌溉预报与决策 = 灌溉制度 THEN GGZD

PROCESS GGYB /* 处理槽 */

ADVICE (略)

PROCESS GGJC /* 去子框架 2 */

PROCESS GGZD /* 去子框架 3 */

.....

END

3) 语义网络 (Semantic Networks Representation)

被用来描述基于网络结构的知识表示方法。语义网络最初是作为研究人脑的心理学模型而提出的，现在已成为人工智能和决策支持系统中的一种标准的知识表示方法。语义网络由节点和描述节点间关系的弧连接而成。其中，节点表示目标、概念或事件，弧则表示它们之间的关系。语义网络表示方法，可以把事物的结构、属性及因果关系，通过节点与弧链的形式，明显而简要地表示出来。自然直观，易于理解，也符合人们在处理问题时的思维习惯。

对基于网络结构的知识，宜采用“规则架+规

则体”规则组库的知识表示技术。上述的框架可自动调用规则组库执行。规则组库的结构形式如下所示^[4,5]：

DEFINES (宏定义)

FUNCTION 规则组名 功能集

MODE A THEN B (规则组集)

⋮

END_KB

现以灌溉预报与决策支持系统中计算 ET_0 值的规则组库为例：

DEFINES /* 宏代换 */

ALT 测点海拔高度 /m

ET_0 参考作物蒸发蒸腾量 / $mm \cdot d^{-1}$

LAT 测点纬度 /度

TEM 日平均气温 / $^{\circ}C$

RH 日平均相对湿度 /%

FUNCTION1 GGJCS ET_0 /* 决策显示变量

*/

MODE3 P A V RN E THEN ET_0

MATH END_TMP

$ET_0 = (P \cdot A / V \cdot RN + E) / (P \cdot A / V + 1)$;

.....

MODE48 TEM RH U_2 N_1 THEN ET_0

MATH END_TMP

$ET_0 = 2.1 + 0.093 TEM - 0.022 RH +$

$0.311 U_2 + 0.279 N_1$;

MODE50 TEM RH N_1 THEN ET_0

MATH END_TMP

$ET_0 = 2.8214 + 0.916 TEM - 0.0268 RH +$

$0.2655 N_1$;

.....

END_KB

1.2 推理策略

推理是根据一定的原则，从已知的判断得出另一个新判断的思维过程。推理中进行判断的依据叫前提，由前提所推出的那个判断叫做结论。

1) 反向推理 (Backward Chaining) 的思路是一种称作“假设-测试”的策略。先假定某一个目标，然后自上而下去寻找以此目标为结论的规则集。如果此目标经推理达不到真值，则说明此假设测试失败，应选下一目标进行“假设-测试”，直至选择到某一目标为真值止。如果所有目标全部搜索后，无一目标为真值，则此次推理没有结果，或

叫无解。

2) 正向推理 (Forward Chaining) 是以事实或数据驱动, 由用户提供的事实、数据开始, 自下而上进行推理。推理时, 逐一将用户提供的信息与各规则的条件进行匹配, 直至某条路径到达某个目标节点, 求得当前问题的解答。

3) 混合推理 (Forward and Backward Chaining) 即正向推理与反向推理配合进行。它运用这两种推理各自的优点。可以先通过某些已知数据或事实的驱动去选择合适的目标, 然后再反向推理, 这样既减少了反向推理选择目标的盲目性, 又克服了单纯应用正向推理漫无目标的盲目性^[3,4]。

2 节水灌溉管理智能决策支持系统的结构

从上节可知, 智能决策支持系统主要包含知识库和推理机两大部分。而事实上, 一个完整的智能决策支持系统应由四部分组成: 知识库、推理机、解释器、学习器。各部分之间的关系如图 1 所示^[1]。

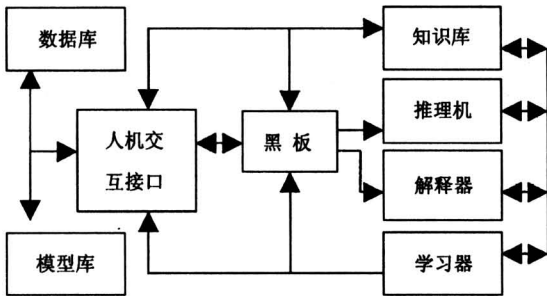


图 1 智能决策支持系统的结构及组成

Fig.1 Structures and components of an intelligent decision - making support system

1) 知识库 (Knowledge Base) 用来存放决策支持系统提供的专门知识。在这里, 知识以一定的形式表示, 在系统中它独立于其他各部分, 这是专家系统结构的一个重要特征。

2) 推理机 (Inference Engine) 的功能, 是根据一定的推理策略, 从知识库中选择有关知识, 对用户提供的证据进行推理, 直到得出相应的结论为止。推理机包括推理方法和控制策略两部分。

3) 解释器 (Explanatory Interface) 专用于向用户解释“为什么”, “怎样”之类的发问。例如, 显示中间推理结果, 或整个推理路径。它的功能强弱

反映了该决策支持系统的透明性和可信任程度。

4) 学习器或知识获取 (Knowledge Acquisition) 根据系统运行经验, 自动、不断地修正和补充知识库的内容, 达到自学习的功能。又称为知识获取或机器学习。

5) 黑板 (Black Board) 又称中间数据库, 它存放并显示各种中间推理结果和通讯信息, 是人机交互接口与决策支持系统之间非常重要的联接通道。

6) 人机交互接口 (Man-machine Interface) 又叫用户界面, 即用户与决策支持系统进行双向信息交换的部分。一般是用来进行数据、信息或命令的输入, 结果的输出和信息的显示等。

7) 数据库 (Data Base) 存放系统历史的或动态的有关数据。

8) 模型库 (Model Base) 产生并存放知识库所需的各种预测预报模型。其预报的精度及准确性直接影响系统决策的可靠性与科学性^[2~5]。

3 节水灌溉管理智能决策支持系统的应用

节水灌溉管理智能决策支持系统由 3 个不同层次的子系统加以集成。

3.1 灌溉预报与节水灌溉决策子系统

本子系统把近几年来国内外对节水灌溉管理的最新研究成果: 作物水分生产函数、非充分灌溉、调亏灌溉、分根交替灌溉以及节水灌溉信息的监控技术等加以集成, 并立足田间, 面向农户。通过人机对话, 只要输入当地的气象、土壤、作物等参数, 即可快速、准确地作出节水灌溉预报与灌溉决策方案。

在节水灌溉实践中, 一般均采用农田水量平衡原理, 即:

$$I + P + G = ET + D + R \pm ASW \quad (1)$$

式中: I 为时段 T 内的灌水量 (mm); P 为时段 T 内的降水量 (mm); G 为时段 T 内的地下水补给量 (mm); ET 为时段 T 内的作物蒸发蒸腾总量 (mm); D 为深层渗漏量 (mm); R 为地面径流量 (mm); ASW 为时段初土壤的有效储水量 (mm)。

预报未来灌水时间:

$$t = (Pe + ASW)/(ETc - Ge) \quad (2)$$

式中: t 为预报的未来灌水间隔天数 (d); Pe 为有效降雨量 (mm); Ge 为时段 T 内平均地下水有效补给量 (mm/d); ETc 为时段 T 内平均作物蒸发蒸

腾量 (mm/d); 其余符号意义同前。

整个系统的推理过程为：先由已知的气象资料推求 ET_0 值，由作物类型、生长月份或累计积温 ($>15^{\circ}\text{C}$) 来估算 K_c 值，从而可得 $ET_c = K_c \cdot ET_0$ ；再由土壤类型、入渗特性、初始含水量以及地下水埋深，来确定有效降雨量 P_e ，地下水有效补给量 G_e 以及土壤有效储水量 ASW ； K_c 为作物特性对作物需水量的影响 (mm/d)。

在进行灌溉决策时，除了考虑作物生长所处的生育阶段、作物生长适宜的土壤水分下限指标外，最终的决策将取决于本次灌水的边际收益 ($P_y \cdot \Delta y$) 是否大于边际资源成本 ($P_x \cdot \Delta x$)^[6-10]。

上式中： y 为某作物的产量； Δy 为本次灌水的增产量 (kg/hm^2)； P_y 为作物产品的销售价格 (元/kg)； P_x 为灌溉水水的价格 (元/ m^3)； Δx 为本次灌水的定额 (m^3/hm^2)。

3.2 灌区计划用水与水量调配管理系统

本子系统主要针对某一灌区的计划用水管理及渠系水量调配决策。其功能涵盖了灌区计划用水管理的 3 个主要方面：第一是用水前编制各级用水计划，包括年度轮廓用水计划、全渠系用水计划、干支渠段 (管理站) 用水计划以及用水单位 (配水斗) 用水计划；第二是实际用水时的渠系水量调配，包括按需配水、按比例配水以及渠系优化配水等不同用水工况下的配水方案；第三是某一时段用水结束，快速准确地进行各时段的计划用水总结，包括每天、每轮、每季以及每年的计划用水总结。因此，整个系统可为灌区实施节水灌溉管理提供智能的决策方案，其系统结构框图如图 2 所示。

该系统已在陕西关中泾、洛、渭等大型灌区实际应用。以洛惠渠灌区为例，节水、增产、增收的成效显著。由于引水及时，科学地输、配水，为灌溉管理局平均年增水费收入 29.5×10^4 元，年增社会经济效益 1320×10^4 元^[11]。

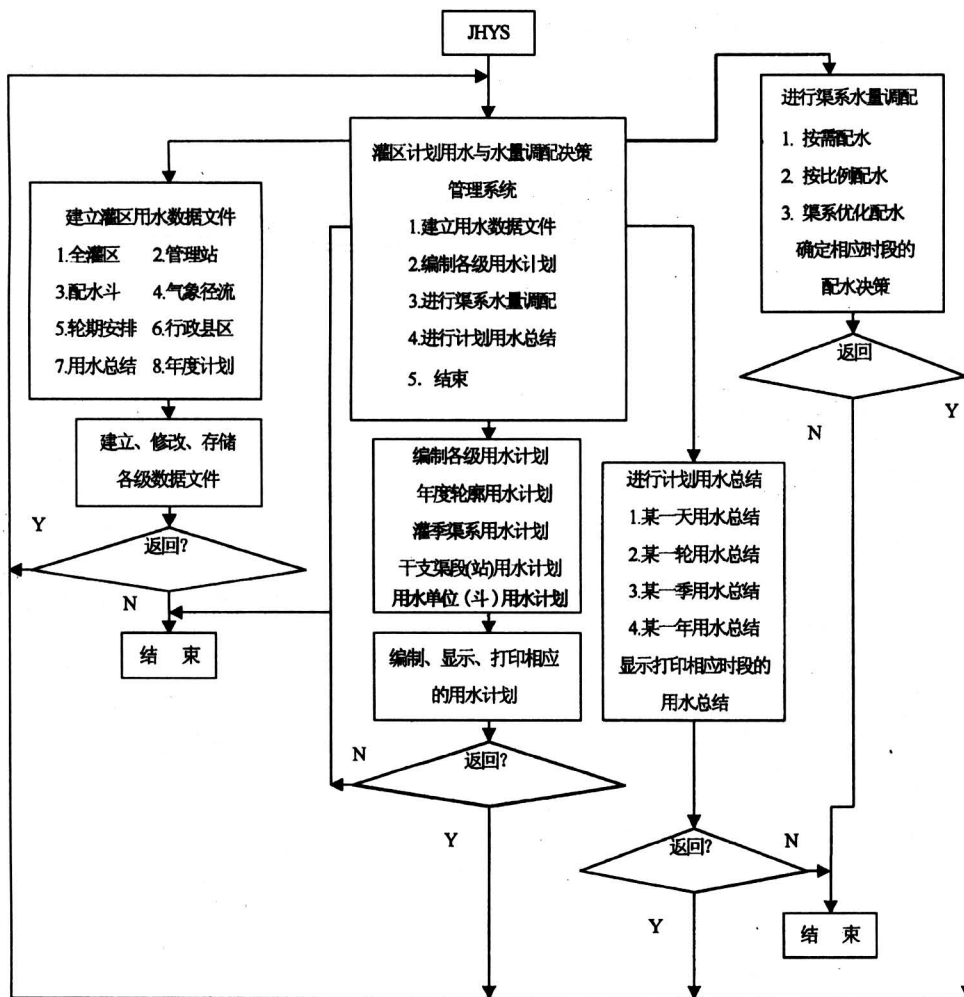


图 2 灌区计划用水管理系统结构框图

Fig.2 Structure and flow chart of management system for planning water use

3.3 灌区管理体制改革的专家系统

灌区管理体制改革的专家系统是随着我国各灌区主动适应社会主义市场经济发展，提高自身发展活力，促进水利经济良性循环的一项创新性的事业。为此，本子系统较详细地阐述了灌区管理体制改革的意义，支、斗渠管理体制改革的模式及其运作程序；分析了各改制模式的特点、成效、利弊，以及民办水利工程的水价核定原则与方法；介绍了灌区主系统即干支渠系改革的实施内涵，以及陕西关中灌区管理

体制改革监测评价的网络体系与实施方案。该子系统正在有效地指导陕西关中9大灌区管理体制改革的平稳发展^[12]。

4 陕西省旱情决策子系统

该系统是为陕西省抗旱办公室进行全省作物旱情宏观决策而研制的专用软件。该系统包含的内容较广，主要包括全省自然地理特性描述；按9大自然区域分区评述各主要作物的抗旱对策；抗旱服

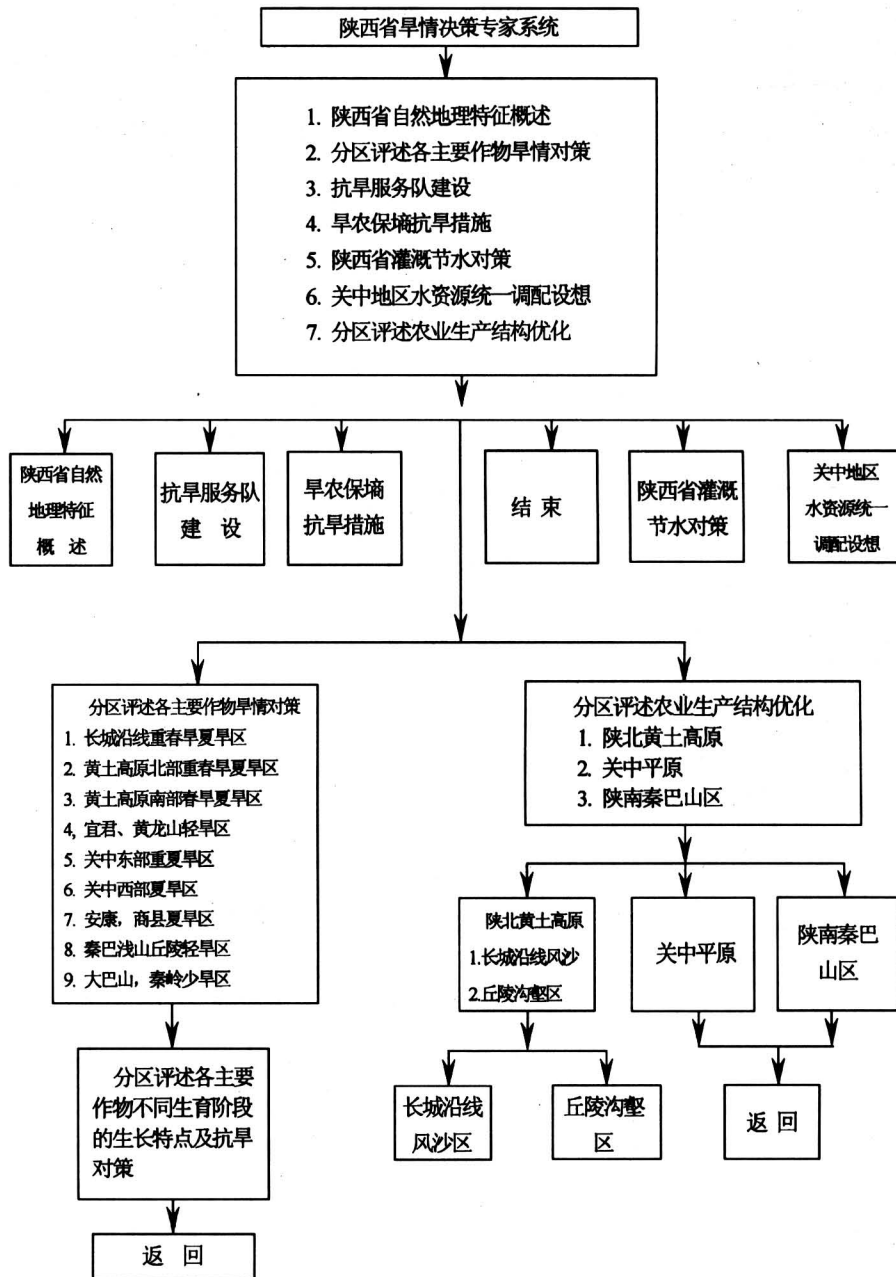


图3 陕西省抗旱决策支持系统结构简图

Fig.3 Structures of drought decision-making support system in Shaanxi Province

务队建设;旱地保墒与主要防旱抗旱措施;陕西省灌溉节水对策;关中地区水资源统一调配设想;以及分区评述农业生产结构优化等7个大的框架,如图3所示。该系统已交付陕西省抗旱办公室实际应用。用户反映整个系统结构合理、操作简单、内含信息量大,并在宏观指导全省抗旱决策中发挥了较好的作用,为全省抗旱的宏观决策提供了科学的依据与基本的对策^[13]。

5 结论

本文应用计算机前沿技术——人工智能中的专家系统技术,在节水灌溉管理决策中的应用进行了研究,相继开发出4个不同层次智能决策支持系统,并已先后在节水灌溉管理实践得到了应用,取得了较理想的成效。该系统可为我国北方缺水地区,特别是西北黄土高原地区,农业水资源的科学管理与优化调配提供科学的决策依据与决策方案。随着我国信息技术和网络通讯技术的日益普及,今后必定要开通全国的乃至各地区的农业信息网络。而本文的研究成果将对农业信息网络提供有关节水灌溉咨询与管理决策等服务,应用的前景将会更加广阔。而且随着研究、开发的不断深化,必将形成一个新的交叉学科——农业知识工程,而且极具生命力。21世纪将由生物工程与信息技术占先导地位,而农业是永不衰竭的行业。农村信息网络与农业专家系统及决策支持系统的结合,将成为中国农业现代化的必然趋势,并将加速缩短农业现代化与低素质农民间的差距,促进我国农业的跨越式发展,为迎接新的农业科技革命作出贡献。为此,研究、推广、应用智能型的决策支持系统,可作为“跨越”我国农民文化科技素质低和农村社会化服务体系较为薄弱的突破口,尽快迎头赶上世界知识经济与技术竞争的焦点“前沿高新技术”。特别是面对中央对西部大开发的战略部署及21世纪农业新的科技革命,智能决策支持系统的推广应用将是传统农业向现代化农业转变的重要标志,是科教兴农的重大突破,为把高新农业技术送到亿万农民手中开辟了一条崭新的途径^[14]。

参考文献

- [1] 汪志农,熊运章.节水灌溉决策支持系统的研究[J].西北农业大学学报,1998,(26):71~75
- [2] N. J. 尼尔逊(美).人工智能原理[M].科学出版社,1983
- [3] 施鸿宝,王秋荷.专家系统[M].西安交通大学出版社,1991-5
- [4] 何华灿.人工智能基础[M].清华大学出版社,1988-4
- [5] 熊范纶著.农业专家系统及开发工具[M].清华大学出版社,1999-2
- [6] Wang Zhinong, Kang Shaozhong, Wang Mixia, etc. Study on management and decision-making expert system for water saving irrigation[A]. in: Proceeding of international conference on engineering and technological science 2000, Technology Innovation and Sustainable Agriculture[C]. New World Press. 2000-11, 303~309
- [7] 陈亚新,康绍忠.非充分灌溉原理[M].水利水电出版社,1995-9
- [8] Plant R E, Horrocks R D, Grimes D W, etc. CALEX/COTTON: An Integrated expert system application for irrigation scheduling [J]. TRANSACTION of the ASAE. 1992 35 (6): 11~12
- [9] Srinivasan R, Bernard A, Engel. Expert system for irrigation management(ESIM)[J]. Agriculturd System, 1991(36): 297~314
- [10] Wang Zhinong, Xiong Yunzhang, Wang Mixia, etc. Study on expert system of irrigation forecast and decision-making for water saving[A]. Proceeing of Chinese-israeli Bilateral Workshop on Water-Saving Agriculture[C]. Beijing:中国水利水电出版社, www. water-pub. com. cn. 2000-11, 237~243
- [11] 熊运章,宋松柏等.计算机在农业水土工程中的应用[M].清华大学出版社,1999-8
- [12] 汪志农,薛建新等.陕西关中灌区斗渠管理体制深化改革研究[J].农业工程学报,2000(4):64~67
- [13] 汪志农,熊运章.陕西省旱情决策子系统的研制与应用[J].干旱地区农业研究,1997,(3):90~95
- [14] 卢良恕.21世纪我国农业科学技术发展趋势与展望[J].世界农业,1998(10):6~9

(cont. on p. 58)

- International Journal, 1999, 30(1): 9~27
- [12] Wong C C, Huang B C, Chen J Y. Rule regulation of indirect fuzzy controller design [J]. IEE Proceedings-Control Theory and Applications, 1998, 145(6): 513~518
- [13] Chen J Y. Expert SMC-based fuzzy control with genetic algorithms [J]. Journal of Franklin Institute, 1999, 336(4): 589~610
- [14] Chen J Y. Design of adaptive fuzzy sliding mode controller for nonlinear systems [J]. International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems, 1999, 7(5): 463~474

Adaptive Extension Controller Design for Nonlinear Systems

Wong Chingchang¹, Chen Jenyang²

(1. Department of Electrical Engineering, Tamkang University, Tamsui, Taipei Hsien, Taiwan, China;
2. Department of Electronic Engineering, China Institute of Technology, Taipei, Taiwan, China)

[Abstract] A design method for the extension controller is developed in this paper. The proposed adaptive extension control resulting from the direct adaptive approach is employed to directly adapt the gain parameter of the extension controller. Then the constructed controller can be best approximated to a given optimal control. Unlike the fuzzy controller, only one linguistic-like level is needed in the extension controller. The merits of the proposed controller are that (a) the number of adaptation parameter is small; (b) the design algorithm is easily to be implemented. In addition, a maximum control is established to guarantee the system robust stability. The derivation shows that the proposed extension controller is stable in the sense of the Lyapunov. Finally, a nonlinear system simulation example is applied to verifying the effectiveness and the ability of the proposed adaptive extension controller.

[Key words] extension theory; adaptive control; extension controller; robust stability

(cont. from p. 53)

Study on Intelligent Decision – making Support System for Water Saving Irrigation Management

Wang Zhinong, Lü Hongxing, Wang Mixia, Xiong Yunzhang, Ma Xiaoyi
(Institute of Agricultural Soil & Water Engineering of Northwest Sci-Tech
University of Agriculture & Forestry, Yangling, Shanxi 712100, China)

[Abstract] By using the techniques of expert system of artificial intelligence, three different water saving irrigation management decision – making support systems have been developed and integrated, namely Irrigation forecast and decision making of water saving irrigation, planning water use and water distribution in an irrigation district, and management system reform in irrigation district. Meanwhile, the theoretic basis, systems structures and practical applications and the crop drought decision making in Shanxi Province are introduced. The research, development, spread and application of water saving irrigation management intelligent decision – making support system will promote the transfer of the traditional agriculture to modern one, and open a new way for sending the high and advanced agricultural technology to hundreds of millions of farmers.

[Key words] irrigation forecast; water saving irrigation; irrigation management; intelligent decision-making support system