

文章编号: 1001-0920(2009)09-1321-05

语义决策过程支撑环境及其语义表示方法

向 阳¹, 张 波¹, 张 蓓^{1,2}, 黄震华¹

(1. 同济大学 电子与信息工程学院, 上海 201804; 2. 中国矿业大学 计算机科学与技术学院, 江苏 徐州 221008)

摘 要: 针对决策支持系统缺乏有效的决策过程控制手段的问题, 提出了语义决策及其过程支撑环境(DPSE)的概念. DPSE 利用决策问题语义指导系统方案, 以决策过程中行为为应激式调度, 实现决策支持系统运行全过程中语义形式化. DPSE 将决策环境分为需求组织、资源分配和行为规划 3 个方面, 并定义了语义决策过程中动态语义的表示方法, 提供了语义封装的方法及其过程支撑相关的算法. 最后给出了系统原型, 并通过实验表明 DPSE 的有效性.

关键词: 语义决策; 决策过程支撑环境; 描述逻辑; 语义封装

中图分类号: TP391

文献标识码: A

Semantic decision process supporting environment and expression of its semantics

XIANG Yang¹, ZHANG Bo¹, ZHANG Bei^{1,2}, HUANG Zhen-hua¹

(1. College of Electronics and Information Engineering, Tongji University, Shanghai 201804, China; 2. College of Computer Science and Technology, China University of Mining and Technology, Xuzhou 221008, China.

Correspondent: ZHANG Bo, E-mail: sh.zhangbo@gmail.com)

Abstract: Decision process supporting environment (DPSE) is a kind of meta-process computation environment which supports the semantic decision support system running. DPSE uses the semantics of decision problems to guide the system plans and arranges the running process reactively according to the semantics of decision behaviors, and realizes semantics formally in the whole process of decision-making. DPSE can be divided into three parts in the course of decision-making, requirement organizing, resource assigning, and behavior layout. The expression of dynamic semantics is defined based on the description logic, and the semantics encapsulation of objects in DPSE is presented. Then the process supporting related algorithms are proposed. Finally, the prototype of DPSE is presented, and simulations show the effectiveness of DPSE.

Key words: Semantic decision; Decision process supporting environment; Description logics; Semantics encapsulation

1 引 言

决策支持系统缺乏有效的决策过程控制手段, 使其很好地适应开放的互联网环境, 充分利用互联网提供的大量与决策相关的资源和知识, 实现新一代决策支持的转型. 针对该问题, 本文提出了语义决策及其过程支撑环境的概念. 语义决策是指通过扩展现存的决策方法, 充分利用语义网技术和资源^[1], 使各类与决策相关的信息和数据等均具有能够被计算机充分理解的语义, 并通过有效的决策过程支撑环境控制, 使决策成员之间进行自主交互和合作.

过程支撑环境(PSE)是一种支持软件过程元过

程的计算机环境^[2]. 目前关于 PSE 的研究有很多, 如以活动为中心和角色为中心^[3]、主动式与反应式控制等^[4]. 文献[5]提出了一个集中式的工作流模型, 并由该模型进行过程控制, 支撑在异构计算环境中不同的系统应用能够有效执行. 董广智等^[6]提出了一种反应式软件过程模型, 并利用 XYZ/E 提供动态语义. 人们在系统语义表示方面也进行了很多研究. 史忠植等^[7]提出了一种动态描述逻辑, 在传统描述逻辑基础上扩展了对动作的描述方式, 从而描述语义网中的动态语义. [8]提出了一种简便有效的自然语言表示方法, 通过本体映射的方法将独立而

收稿日期: 2008-11-12; 修回日期: 2009-03-16.

基金项目: 国家自然科学基金项目(70771077); 国家 863 计划项目(2008AA04Z106); 上海市科委制造业信息化专项基金项目(08DZ1122303).

作者简介: 向阳(1962—), 男, 山东泰安人, 教授, 博士生导师, 从事智能决策支持系统、人工智能等研究; 张波(1978—), 男, 江苏常州人, 博士生, 从事语义网、智能决策理论等研究.

分离的语义与领域知识进行有效整合,从而在多领域系统中实现语义表示.[9]采用二元语义对决策问题进行语言集结,并用二元语义间距离和群体集成信息构建非线性规划模型.[10]分析了面向决策的各种类型知识形态,提出了对异构决策知识的描述方法.

语义决策需要一个有效的过程控制方法,将语义作为主导,为决策各成员提供自动理解和交互的能力.本文提出决策过程支撑环境(DPSE)来为语义决策支持系统提供过程支持.采用决策问题语义为中心的主动式策略,针对决策活动为导向的应激式驱动,实现语义决策的完成.同时定义了DPSE的动态语义表示方法,结合了语义封装概念,形成了有效的DPSE实施方案.

2 语义决策的基本结构

语义决策主要由3部分组成:1)决策终端.决策终端是独立的决策支持系统,拥有完整的决策功能,可作为语义决策中发布端或参与端.2)异步通信模块.异步通信模块提供有效的机制保证决策端之间的协商、谈判等交互工作.3)DPSE.决策过程支撑环境为语义决策提供动态运行计算环境.图1给出了语义决策的基本体系结构.

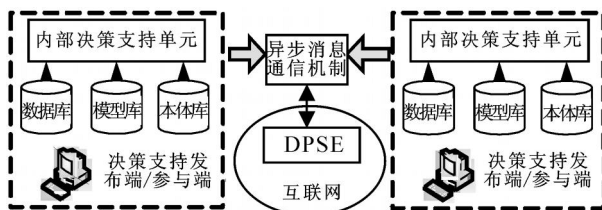


图1 语义决策基本结构

3 DPSE

将DPSE元模型的工作策略分为两个方面:以问题语义为中心的主动式策略和以决策活动为导向的反应式驱动^[2].从3个主要构成要素来研究DPSE的组成:需求组织、资源分配和行为规划.

3.1 需求组织

需求组织是将该决策任务根据用户的意图进行结构化、形式化的处理,并且根据一定的描述规则将其中包含的语义处理为能够在互联网的开发环境中被广泛理解的方式.主要有如下几个语义处理包含在需求组织中:1)决策用户意图获取:用户意图是整个决策的趋势,意图是由若干的规划组成,直接指向一些可预测的目标.2)决策问题结构语义:主要指复杂问题的结构化,形成由若干不可分解且可以直接求解的子问题组成的树形结构.3)问题组织语义描述:区别于结构语义,组织语义是指整个需求中问题的求解规划,一般由用户意图的获取得到.4)初始状

态获取:指定决策问题在开始以前所拥有的初始状态.5)语义描述规则绑定:语义描述规则是指定某一个需求的描述本体.绑定了语义描述规则后,任何一个决策端获取到来自其他决策端的信息后均可以获取该信息的语义描述规则.6)预期目标:预期目标由用户意图产生,是对决策的期望值.预期目标可以为空.

在上述几个部分中最主要的是决策问题结构语义和决策问题组织结构语义的获取.

3.2 资源分配

语义决策的主要资源是决策模型和决策数据.资源分配从本质上而言是由决策需求语义所决定的决策执行者、执行对象及其两者之间关系的结构组织.DPSE采用确定性角色为基础的动态组合方法来解决资源分配问题.该资源分配方案在实际应用中有两种模式:主动式决策请求和被动式决策竞标.主动式决策请求是指决策需求发布端在发布了某一个决策需求后,根据自己的需要在DPSE中发现其他决策端在互联网上注册的决策模型,然后向选中模型的所在终端提出参与决策的邀请,进而进行交互决策;被动式决策竞标是指决策发布端发布决策需求,通过类似竞标的方式等待其他决策终端的参与,而其他决策终端在发现有决策需求后,通过竞标、中标的方式参与发布端的需求决策.

3.3 行为规划

行为规划是指所有决策模型需要执行的决策动作形式化描述及其组织方式.模型的行为是由一个状态到另一个状态的迁移所表示.这种状态迁移表示了行为之间的一种时序关系,同时带有一定的约束规则,从而决定了模型进行决策过程的控制流.行为主要分为以下几个类型:

- 1) 开始行为和结束行为:表示过程的开始与终结.
- 2) 原子行为:不能被细化、可直接进行的行为.
- 3) 复合行为:由若干原子行为通过一定约束规则组成的复杂行为.
- 4) 挂起:未被激活的行为,等待直到某些条件满足才能进行的行为.

行为的组合执行方式基本可以分为以下几种:

- 1) 顺序执行:由前后次序决定的执行序列.
- 2) 循环:在满足某一特定约束条件时,重复执行指定行为.
- 3) 并发:同时执行多个不同的行为.
- 4) 选择:在不同约束条件下,选择提供的备选行为中的一个执行.

采用一种 OEB 法则定义状态与状态之间进行转换的约束性规则, O 指行为所涉及的对象, E 指需要满足的环境, B 描述这个行为. 当环境 E 被满足时, 行为 B 就针对对象 O 执行, 从而引起 O 所涉及的状态的变迁.

3.4 DPSE 的语义约束规则

下面给出 DPSE 中最基本的语义约束.

定义 1 需求约束如下:

- 1) 分解所得的问题语义结构树中所有叶子节点必须是无法再分解的原子问题;
- 2) 问题组织结构视图所包含的复合问题, 最终必须拥有若干原子问题组成的机构视图;
- 3) 所发布的需求中, 组织结构视图中起始问题的状态语义不能为空, 中间问题的语义描述不能为空, 而且语义描述规则绑定不能为空.

定义 2 资源约束如下:

- 1) 发布端与参与端交互的需求和模型语义必须通过语义封装形式;
- 2) 参与端的同一模型不能同时参加两个及以上的角色竞标和协作决策;
- 3) 参与端模型在参与决策的过程中, 不能中途放弃.

定义 3 行为约束如下:

- 1) 任一行为必须有环境语义的支撑才能执行;
- 2) 开始行为的所有前提集和结束行为的所有结果不能带有变元;
- 3) 复合行为必须能够被分解为可实现的原子行为;
- 4) 并发行为在并发结束点必须经历挂起行为等待同步结束.

4 DPSE 中的语义表示

语义决策中的动态语义必须是形式化的. 为此, 借鉴文献[7]描述逻辑的动态描述方法, 提出一种改进的描述逻辑方法来对 DPSE 中的动态语义进行表示.

4.1 基本概念

定义 4 DPSE 包括如下基本符号:

- 1) 问题概念名为 PC_1, PC_2, \dots ;
模型概念名为 MC_1, MC_2, \dots ;
一般概念名为 AC_1, AC_2, \dots
- 2) 结构关系名为 SR_1, SR_2, \dots ;
调用关系名为 PR_1, PR_2, \dots ;
一般关系名为 AR_1, AR_2, \dots
- 3) 个体常元为 a, b, c, \dots
- 4) 个体变元为 x, y, z, \dots
- 5) 概念运算为 \neg, \wedge, \vee , 量词 \exists, \forall .

6) 公式运算为 \neg, \wedge, \vee , 量词 \forall .

7) 决策行为名为 B_1, B_2, \dots

8) 决策行为构造算子为 \oplus (合成), \otimes (交替), $\&$ (反复), $\%$ (测试).

9) 行为变元为 \dots

10) 公式变元为 \dots

11) 状态变元为 u, v, w, \dots

定义 5 MC 是问题概念, SR 是结构关系, AR 是调用关系, a 和 b 是问题个体常元, x 和 y 是问题个体变元, c 是模型个体常元, z 是模型个体变元, 是行为, 则问题公式定义如下:

- 1) 形如 $MC(a), SR(a, b), AR(a, c)$ 和 $MC(a)$ 的表达式称为问题断言公式, 不带变元;
- 2) 形如 $MC(x), SR(x, y), AR(x, z)$ 和 $MC(x)$ 的表达式称为一般公式, 带变元;
- 3) 断言公式和一般公式都称为公式;
- 4) 如果 ϕ 和 ψ 是公式, 则 $\phi \wedge \psi, \phi \vee \psi$ 都是公式;
- 5) 如果 ϕ 是公式, 则 $\forall x \phi$ 也是公式.

定义 6 一个冲突是指具有以下任一情况的集合:

- 1) $\{ \neg(a) \}$,
- 2) $\{ C(a), \neg C(a) \}$,
- 3) $\{ R(a, b), \neg R(a, b) \}$.

定义 7 一个断言公式集合 Σ 是一致的, 当且仅当 Σ 中不含有冲突.

定义 8 对于问题概念 PC, 模型概念 MC 和结构关系 SR, 若出现 $SR(PC, MC)$ 或者 $SR(MC, PC)$, 则称该关系是不一致的.

定义 9 问题概念 PC, 模型概念 MC 和调用关系 PR, 若存在 $PR(PC_1, PC_2), PR(MC_1, MC_2)$, 或者 $PR(MC, PC)$, 则称该关系是不一致的.

4.2 决策问题与决策模型语义表示

决策问题和决策模型的语义表示需要满足几个基本要求: 语义的完备、共享性、异构知识统一描述、基于语义的逻辑推理能力. 根据以上几点, 进行下列定义:

定义 10 决策问题的语义可以定义为

$$P = (Id \mid PC, O, S, G, Sub P, Relation P).$$

其中: 序对 $Id \mid PC$ 表示该问题的唯一标志以及问题概念名, 非空集合 O 表示对该问题进行描述的本体, 非空集合 S 表示该问题在某一时刻所拥有的状态集合, G 表示该决策问题可能的目标集合, $Sub P$ 表示该决策问题可能的子问题集合, $Relation P$ 是指与该决策问题存在非父子关系以外的别的关系的决策问题.



定义 11 决策模型的语义可以定义为

$$M = (\text{Id} | \text{MC}, O, \text{Input} | \text{Output}, S, B).$$

其中:序对 $\text{Id} | \text{MC}$ 表示该模型的唯一标志以及模型概念名,非空集合 O 表示对该模型进行描述的个体, $\text{Input} | \text{Output}$ 表示该决策模型可能的输入输出格式,非空集合 S 表示该模型在某一时刻所拥有的状态集合,非空集合 B 表示该模型可实行决策行为。

4.3 动态语义表示

给出一种新的行为描述方法,既能够指明行为执行者和影响对象,又可以反映行为的执行前提和执行效果。

定义 12 一个行为描述是一个形如 $B(x_1, \dots, x_n / y_1, \dots, y_m) (P_B, E_B)$ 的表达形式,其中:

- 1) B 为行为名,指示行为表示符。
- 2) x_1, x_2, \dots, x_n 为个体变元,指定行为的发出者,称为执行变元; y_1, y_2, \dots, y_m 也是个体变元,指定行为的执行对象,称为对象变元。
- 3) P_B 为前提公式集,指定行为执行前执行变元必须满足的前提条件。
- 4) E_B 为结果公式集,指定行为执行后得到的结果集, E_B 是状态公式序对 exu / obj 集合,其中 exu 表示执行变元在执行后的结果集, obj 是对象变元在行为执行后的结果集。

对于任何一个对象而言,其周围必然存在一个环境来描述其所处状态、拥有的能力以及可能的趋势等。因此,提出了动态环境的语义定义。

定义 13 一个环境的描述形如 $E(X / (R, S)) (E_B, E_F)$ 。其中: $X / (R, S)$ 序对指明任一对象 X 所拥有的二元关系 $R_1(X, y_1), \dots, R_n(X, y_n)$ 集合以及在某一时刻 X 所拥有的状态集合, E_B 是在这种环境中,对象 X 可以执行的行为集合(行为集合可以为空), E_F 是该对象所指明的条件断言公式集。

动作语义中的前提公式集可以看作是执行该动作的一系列条件判断,而环境语义则是一种确定性的说明,是行为的上下文环境。

4.4 语义封装

在语义决策过程中,很多语义都不具备完整语义的决策资源而无法被其他决策端理解,进而有效地参与决策。采用语义封装,通过 DPSE 中的语义表示方法,将决策过程中对象所包含的语义按照一定的方式进行形式化的、固定化的表示,使之能够被计算机自动理解,进行决策。

定义 14 一个决策需求是指一个需求语义封装,当且仅当形如 $\text{Sim}_P = (P, R, U, I)$ 中所有个体除了状态空间个体之外均为常元,且所有空间是一致的。其中: P 为决策问题空间, $P = \{P / \text{SR}\}$

分别代表决策问题语义集合、问题结构关系集合; R 为问题关系语义空间; U 表示由与所包含决策问题相关的状态; I 表示决策者关联的意图空间。

定义 15 一个决策模型是一个模型语义封装,当且仅当 $\text{Sim}_M = (M, R, U, B)$ 中的所有个体除了状态空间外都是常元,同时所有空间都是一致的,所有个体行为常元都是可实现的。其中: M 为模型概念空间, $M = \{MC, \text{SR}\}$ 分别代表模型概念名集合、模型结构关系集合; R 为模型关系空间,表示该模型与其他对象调用关系和一般关系的集合; U 表示由模型具有的状态集合组成的状态空间; B 表示动作空间。

5 基于 DPSE 语义表示的过程支撑算法

当决策行为达成一定的目标,那么必然的结果就是对环境产生影响。本文借鉴文献[11]所提出的方法,给出一种环境添加算法。

算法 1 环境状态添加算法如下:

Step1: 执行扩展函数 $\text{Extend}(F)$,将该扩展函数所得结果存入集合 F 。

Step2: 对于集合 F 中的任意一个公式 F ,如果 E ,则从公式集 F 中删除 F ;直到所有的 F 都满足 $F \in E$;将环境 E 和公式集 F 合并。

Step3: 执行扩展函数 $\text{Extend}(E \cup F)$,并将所得到的集合记为 E 。

Step4: 执行一致性判断函数 $\text{Consistent}(E)$,如果该函数返回结果为真,则将 E 作为已添加完成的环境状态返回,算法结束;如果返回结果为非真,则继续执行 Step5。

Step5: 设 (F, E) 为 E 的冲突集合 $\text{conflict}(E)$,如果 $F \in E$,则返回 $E - \{F\}$;如果 $F \notin E$,则返回 $E - \{F\}$,否则将两个冲突元素均删除,不添加入新环境中。

Step6: 返回结果 E ,算法结束。

在该算法中, $\text{Extend}()$ 函数利用领域公理对公式集 F 进行推理和扩充,包括使用基本公理、领域公理以及分离规则,最后返回扩充后的公式集。 $\text{Consistent}()$ 用于检测公式集对象是否一致。如果存在冲突,则返回冲突的公式子集。

环境支撑行为算法主要由两个部分组成:指定行为前提条件的判定和指定对象的环境冲突判定。

算法 2 环境支撑行为判定算法如下:

Step1: 令 $P = bP_b$ 。

Step2: 对于一个指定将要执行的动作 $b(x_1, \dots, x_n / y_1, \dots, y_m) (P_b, E_b)$ 进行下列操作:

- 1) 对任一 x_n, y_m , 获取指定环境 $E(x_n / (R, S)) (E_B, E_F)$ 和 $E(y_m / (R, S)) (E_B, E_F)$ 。

2) 对于每个 $x_n = \{ x_n | b \in E(x_n) E_B \}$, 说明行为 b 是对象 x_n 的相关行为, 此时执行 $match(bP_b, E(x_n) E_F)$.

3) 如果对于所有的 x_n 都返回 $match(bP_b, E(x_n) E_F)$ 成功, 则 $P \in E(x_n) E_F$, 转入 Step3; 如果无法匹配成功, 说明动作的前提集没有实现, 则将动作标记为挂起状态, 等待下次判定, 算法结束.

Step3: 对于任一 $x_n = \{ x_n | b \notin E(x_n) E_B \}$, 说明行为 b 是对象 x_n 的不相关行为, 则 $P \notin E(x_n) E_F$.

Step4: 对于 $p_l = \{ p_l | p_l \in bP_b, p_l \in E(x_n) E_F \}$, 找到与 p_l 相对应的对象集 L . 对于所有 $l \in L$, 执行 $match(bP_l, E(l) E_F)$.

Step5: 如果匹配成功, 则有 $P \in E(l) E_F$, 转 Step6; 如果不成功, 则说明前提集不成立, 行为状态为挂起, 等待下次判定, 算法结束.

Step6: 计算 $conflictset(P)$, 如果没有冲突, 则行为为执行, 算法结束.

6 实验与仿真

本文自主研发了 DPSE 原型系统, 为语义决策支撑环境研究提供了仿真测试. 该原型由 16 台 PC 节点组成, 每个节点上开发了 1 或 2 个决策端, 共计 28 个决策端. 本原型仿真系统主要进行计算机领域选课任务的决策分析, 采用的领域本体是自主研发的“计算机科学领域本体”. 该本体由 6 个子本体组成, 呈树形结构, 采用 $prolog \ 6.1$ 开发完成.

6.1 环境支撑行为判定算法影响分析

为了证明环境判定算法能够有效地提高语义决策效率, 任意选择决策端, 共跟踪 100 次决策任务. 作为对比实验, 在取消环境判定算法后, 执行同样的决策任务. 环境支撑行为判定算法效果分析如图 2 所示. 从图 2 中可以看出, 在具有了环境判定算法的决策中, 出现环境冲突、行为挂起等而导致决策实施无法正常进行的情况明显低于不采用这种算法的情况. 同时注意到, 采用了环境添加算法的决策过程比未采用该算法平均多费时 8% ~ 12%, 并没有带来极大的时间开销.

6.2 DPSE 原型系统效果分析

对 DPSE 原型系统的运行进行长期跟踪, 对各个决策端所执行的语义决策从需求组织、资源分配到行为规划的整个过程进行分析, 获取每次决策的成功率 (按需求发布后每个子问题获得求解的比例计算) 以及用户对决策效果的满意度调查. 图 3 为原型系统实验分析, 列出了 28 个决策端中 15 个决策端的决策成功率和用户满意度统计. 从图 3 中可以看出, 求解成功率维持在 83.68% 左右, 满意率平均

为 89.1 分. 在进行约 1000 次决策仿真后, 28 个决策端总体成功率约为 81.56%, 满意率约 86.4 分.

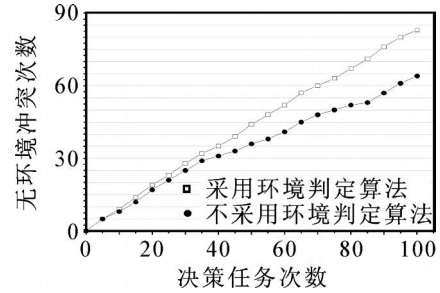


图 2 环境支撑行为判定算法效果分析

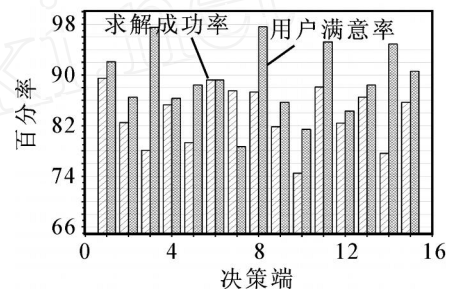


图 3 原型系统实验分析

7 结 论

语义决策是为决策过程中所有的资源、对象等标注计算机可以理解的语义, 由这些语义指导计算机进行智能化的决策. DPSE 即为进行决策的过程语义环境, 它提供了内在的机制, 支持决策端与决策端之间的交互, 同时可以有效地为决策过程中的动态语义环境进行描述. 通过实验室平台验证了多个终端下基本的需求发布、协作求解原型系统可以正常运作. 下一步的工作将主要集中在如何处理动态环境中的语义进化机制, 如何使系统符合大规模的决策要求等研究.

参考文献 (References)

- [1] Berners L T, Hendler J, Lasilla O. The semantic web [J]. Scientific American, 2001, 284(5): 34-43.
- [2] Ambriola V, Conradi R, Fuggetta A. Assessing process-centered software engineering environments[J]. ACM Trans on Software Engineering and Methodology, 1997, 6(3): 282-328.
- [3] Cugola G. Inconsistencies and deviations in process support system [M]. Milano: Politecnico di Milano, 1998.
- [4] Sutton S M, Osterweil L J. The design of a next generation process language[C]. Proc of the ESEC '97. Zurich: Springer-Verlag, 1997: 142-158.
- [5] Curran Oisin, Shearer Andy. A workflow model for heterogeneous computing environments [J]. Future Generation Computer Systems, 2009, 25(4): 414-425.

(下转第 1330 页)

仿真是基于 Matlab5.3 的 LMI 工具箱完成的^[10]. 硬件平台为 1.5 G PentiumV CPU ,256M Memory.

6 结 论

本文对网络环境下带任意有界丢包的多包描述系统的鲁棒预测控制进行了研究. 将文献[4,6]中的基本方法进行了扩展,综合了不带自由控制作用和带一个自由控制作用的鲁棒预测控制方法. 由本文方法可方便地得到带多个自由控制作用的鲁棒预测控制和离线型鲁棒预测控制.

参考文献(References)

- [1] Goodwin G C, Haimovich H, Quevedo D E, et al. A moving horizon approach to networked control system design[J]. IEEE Trans on Automatic Control, 2004, 49(9): 1427-1445
- [2] Fu M, Xie L. The sector bound approach to quantized feedback control [J]. IEEE Trans on Automatic Control, 2005, 50(11): 1689-1711.
- [3] Yu M, Wang L, Chu T, et al. Stabilization of networked control systems with data packet dropout and network delays via switching system approach[C]. Proc of the IEEE Conf on Decision and Control. Atlantis: Paradise Island, Bahamas, 2004: 3539-3544.
- [4] Xiong J, Lam J. Stabilization of linear systems over networks with bounded packet loss [J]. Automatica, 2007, 43(5): 80-87.
- [5] Kothare M V, Balakrishnan V, Morai M. Robust constrained model predictive control using linear matrix inequalities[J]. Automatica, 1996, 32(10): 1361-1379.
- [6] Lu Y, Arkun Y. Quasi-min-max MPC algorithms for LPV systems[J]. Automatica, 2000, 36(4): 527-540.
- [7] Mao W. Robust stabilization of uncertain time-varying discrete systems and comments on "an improved approach for constrained robust model predictive control"[J]. Automatica, 2003, 39(6): 1109-1112.
- [8] Schuurmans J, Rossiter J A. Robust predictive control using tight sets of predicted states[J]. IEEE Proc on Control Theory and Application, 2000, 47(1): 13-18.
- [9] Wan Z, Kothare M V. An efficient off-line formulation of robust model predictive control using linear matrix inequalities[J]. Automatica, 2003, 39: 837-846.
- [10] Gahinet P, Nemirovski A, Laub A J, et al. LMI control toolbox for use with matlab [Z]. The Math Works Inc, 1995.
- [6] 董广智, 柳军飞, 齐璇. 一种反应式 SPM 及其动态语义 XYZ 表示[J]. 软件学报, 2005, 16(11): 1876-1885. (Dong G Z, Liu J F, Qi X. A kind of reactive SPM and the expression of its dynamic semantics with XYZ[J]. J of Software, 2005, 16(11): 1876-1885.)
- [7] 史忠植, 董明楷, 蒋运承, 等. 语义 Web 的逻辑基础[J]. 中国科学, 2004, 34(10): 1123-1138. (Shi Z Z, Dong M K, Jiang Y C, et al. Logic base for semantic web [J]. Science in China, 2004, 34(10): 1123-1138.)
- [8] Dzikovska M O, Allen J F, Swift M D. Linking semantic and knowledge representations in a multi-domain dialogue system [J]. J of Logic and Computation, 2008, 18(3): 405-430.
- [9] 王坚强. 一种多准则纯语言群决策方法[J]. 控制与决策, 2007, 22(5): 545-553. (Wang J Q. Multi-criteria group decision-making approach with linguistic assessment information [J]. Control and Decision, 2007, 22(5): 545-553.)
- [10] 王素芬, 杨保安, 封均康. 基于描述逻辑的面向管理决策的异构知识的表示[J]. 控制与决策, 2006, 21(4): 462-469. (Wang S F, Yang B A, Feng J K. Representation of isomeric knowledge on management decision problem based on description logics[J]. Control and Decision, 2006, 21(4): 462-469.)
- [11] 董明楷, 张海俊, 史忠植. 基于动态描述逻辑的主体模型[J]. 计算机研究与发展, 2004, 41(5): 780-786. (Dong M K, Zhang H J, Shi Z Z. An agent model based on dynamic description logic [J]. J of Computer Research and Development, 2004, 41(5): 780-786.)

(上接第 1325 页)