

文章编号: 1002-0411(2003)05-0407-06

人一机智能分工算法设计与人一机接口智能值计算

马力波^{1,2}, 黄席樾¹

(1. 重庆大学自动化学院, 重庆 400044; 2. 贵州广播电视大学理工教学部, 贵州 贵阳 550004)

摘要:本文系统地提出了一个适用于人一机合作智能系统的人一机智能任务分配定量算法. 在定义机器智能和人一机接口智能的基础上, 为一机合作智能系统引入一个模拟和分析系统智能的工具, 即智能任务图. 通过使用智能任务图及其描述的方程, 能够把人一机合作智能系统需要完成的任务分解为人承担的任务和机器承担的任务, 同时能够对人一机接口性能进行分析和优化. 通过实例计算, 证实了该算法在人一机合作智能系统设计和分析中的有效性和重要性.*

关键词:人一机系统; 机器智能; 人一机任务分配; 接口; 智力负荷

中图分类号: TP24

文献标识码: B

ALGORITHM DESIGN OF HUMAN-MACHINE INTELLIGENCE TASK ALLOCATION AND CALCULATION OF INTELLIGENT VALUE ON THE HUMAN-COMPUTER INTERFACE

MA Li-bo^{1,2}, HUANG Xi-yue¹

(1. College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China;

2. Department of Science and Technology, Guizhou T. V. University, Guiyang 550004, China)

Abstract: In this paper, a quantitative algorithm of human-machine intelligence task allocation is systematically presented for the intelligent system of human-machine cooperation. Basing on the definitions of machine intelligence and human-computer interface intelligence, we introduce a tool of modeling and analyzing system intelligence, namely an intelligent task graph, for the human-machine cooperation system. By using the intelligent task graph and its described equations, the entire task to be executed by the intelligent system can be clearly divided into subtasks for human and subtasks for machine, and the human-computer interface performance can also be analyzed and optimized. By a calculating example, the validity and importance of the algorithm are verified in the design and analysis of a human-machine cooperation intelligence system.

Keywords: human-machine system; machine intelligence; human-machine task allocation; interface; mental workload

1 引言 (Introduction)

智能是人类具有的特征之一, 把人的智能赋予机器, 让机器承担人的部分脑力和体力劳动, 是人工智能研究的一个目标. 这里研究的智能是建立在计算机科学、生物学、生态学、数学等学科基础之上的. 目前, 具有人工智能的自动化设备, 在取代人类的知识/智能以及人类的体力劳动方面, 已开始显示出巨大的作用. 由于智能机器能够给人们带来极大的好处, 所以各个国家都投入相当大的人力、物力和财力进行智能机的研究和开发.

为了定量地描述机器智能, 开发一个表示机器智能度量, 并在设计智能机器时指导其设计目标的指标是十分必要的. 从商业的观点看, 增加机器智能度指标将成为智能机器的重要设计目标之一, 因为机器的开发者能够使用智能度指标来评价智能机产品, 以显示出产品在智能上的优越性, 同时让消费者能够从智能指标上比较各种产品的优劣.

1997年, Chalfant 提出了一个能用机器人描述语言 (RDL) 模拟系统智能的度量方法^[1]. 但是, 当系统设计师用这种 RDL 语言对机器动作进行编码时, 感

* 收稿日期: 2002-11-10

基金项目: 重庆市自然科学基金资助项目 (6007347); 教育部博士点基金资助项目 (99061116)

到非常困难而且也不实用.在认真地考虑人一机系统的智能概念之后,人们认识到机器智能不可能按RDL结构的复杂度成比例的变化.在1998年,Bien和Kim首先引入机器智商(MIQ)的概念,作为表示机器智能的一个新指标.Bien定义了MIQ,并提出了两个度量方法^[2]:即本体论方法和表象方法.Kim把控制性能、可靠性和故障诊断能力等作为MIQ的主要智能因子,并且通过使用表象方法,给出了度量过程控制系统的MIQ的一个实例.但是,他们提出的MIQ概念都太笼统,而且方程也不准确(采用智能因子的加权和),这使得他们的理论远远脱离实际.用这些方法不能完全地模拟真实世界的控制系统,而且用户很难理解MIQ值的含义.采用加权和方法的主要困难和缺点概括如下^[3]:

- 1) 难于选取恰当表示检测目标的加权因子,并保证因子之间的独立性;
- 2) 获得的权值根据不同的观点可能有冲突;
- 3) 智能指标与其因子之间的关系实际上是非线性关系.

为了解决前人工作中存在的问题,应从操作者使用机器(例如机器人、过程控制机械、飞机等实际环境)出发,研究机器智能问题.通常,计算机控制器在没有人工干预的情况下,不能完成整个控制过程;整个控制系统是由操作者、机器和控制对象构成^[8].考虑了这种真实的控制环境之后,引入一个人—机合作模型和智能任务图(ITG),以此作为检测具体机器智能的建模和分析工具.通过使用ITG图,能够容易地将人一机合作系统中机器承担的任务与人承担的任务区别开来,并可通过变量和方程直接表示;同时,人一机接口的交互智能得到了量化评估.

2 机器智能(Machine intelligence, MI)

2.1 MI的定义

在开发智能度量之前,首先分析一些已知机器智能的定义.下面表示智能机器应具备的一些属性:

1) 机器智能是分析、组织以及转换数据为知识的过程.其中机器知识被定义为具有结构的信息,获得的这些信息能够用来消除智能机器特定任务的不可知和不确定性^[3].

2) 为了让人工智能系统起作用,智能机器可以模仿生物功能,并最终达到模仿人类智能的能力.

3) 智能控制是控制理论学科中的一个分支,在这个分支中,通过模仿生物系统的某些智能特性来开发控制算法^[4].

4) 智能控制系统是一个高度自治(即:自学习、自重构、推理、规划和决策)的控制系统^[3].

5) 智能机器是设计来执行拟人任务的,具有与操作者最少交互的机器.

尽管这些定义中的词语和表达可能显得抽象,但是能够概括出共同点:机器智能就是复制人类的智能并具有象人一样的执行任务的能力,例如:如果使用新手或具有较少专门知识的操作者来完成某一控制任务,将需要更多的机器智能来对人—机控制系统的控制对象进行操作.现在,考虑在人—机控制系统中增加机器智能,智能控制系统就会增强对不确定环境中的不可预测事件的反应能力,随着机器智能化程度的提高,对不可预测事件的控制能力就能够随之提高^[7].根据上面所述内容,定义MI如下:

定义 MI 是对不可预测事件的自治性及其性能的度量.

2.2 MI的检测

(1) 机器智能的主要构件

机器智能由两个构件组成,即:机器控制智能和人—机接口智能.机器控制智能的要求是,能根据不确定环境中的不可预测事件做出反应和控制.通常,要想获得控制对象的足够状态信息和参数是很困难的,因为动力学特性和模拟真实世界对象的困难所在.不可预测的事件是难以预料的或随机发生的情况,如:机器故障和对象的异常性.机器智能的另一个构件就是接口智能.人一机接口智能表示人一计算机交互(HCI)的智能度.目前,HCI在复杂的控制系统中,例如:核能发电厂的控制室和飞机驾驶舱,起着越来越重要的作用,因为以用户友好界面设计的控制系统能够减少人操作时的失误,并且能够有利地发挥人的创造才能.机器控制智能和人—机接口智能能够采用ITG图和方程来构造.

(2) 人与机器在智能上的分工协作

在大多数情况下,整个人—机智能控制系统由人类监督器和机器组成.因此,在无人类监督的情况下,计算机控制器不能够完成整个控制任务.人和机器的界限是不很明确的,因为它们在完成某一任务时需要互相补充和加强.这一点体现在人一机接口智能上的人—机交互.

(3) 尽量减小用数值表示的MI和用户感知的机器智能度之间的差距

MI的检测方法应该从人的角度加以考虑,以便于用MI表示的机器智能度就像用户自己感觉一样.在反映人的智能因素的检测过程中,人承担的智能

采用智力负荷概念进行描述.为简便起见,后面将用 M 表示机器智能,用 H 表示人的智能.

3 人-机合作系统建模 (Modeling of human machine cooperation system)

3.1 人-机合作系统模型

图 1 表示人-机合作系统模型以及它的控制过程.在人-机控制系统和对象中发生的各种事件,应该产生相应的实时控制响应.对某一特殊事件的控制任务能够分解成一些小的子任务,并能把这些子任务分配给人和机器来完成.如果机器能够执行给定的任务,人类的监督就可以从中解脱出来.然而,如果由于任务的复杂性或机器的知识不够使机器不能单独地执行任务,则人类监督器将负责执行该项目的部分任务.



图 1 人-机合作系统模型

Fig.1 Model of human-machine cooperation system

3.2 智能任务图

在计算机技术的并行处理或调度的研究领域中,任务集及其所属数据通常通过数据流图 (DFG) 描述.设任务数为 n ,数据流图 $G_d(V, E)$ 是一个有向图,它的顶点集合 $V = \{v_i; i = 1, 2, \dots, n\}$ 与任务集一一对应.有向边缘集合 $E = \{e_{ij}; i, j = 1, 2, \dots, n\}$ 与数据从一个任务到另一个任务的变换相对应^[5].

在这里,将把 DFG 的应用领域推广到人-机合作控制任务上.能够使用决策模型作为表达任务分配和操作人员与机器之间通信的框架.它能够代表监督控制的多决策行为,该模型通过八个行为步骤来表达决策和任务执行过程,即:检测、观察、辨识、解释、评估、界定任务、选择行动和执行.然而,该研究既没有定义任务或通信的智能量化,又没有通过使用量化对任何智能复杂性进行度量.在并行处理中,能够根据计算应用程序所完成的时间、任务的执行时间、通信的变换时间和任务的分配,配置不同的处理器.类似地,考虑以任务的智能价值、智能交互价值和任务分配大小值来精确地度量机器智能.

从智能角度的需要修改 DFG,并把它转化成 ITG 图,以便用于分析机器智能.如上所述,某一事

件的控制任务能够分解成许多小任务,并且这些任务的执行能够分配给人或机器来做.ITG 图由圆和有向线段构成.圆表示控制工作的任务.有向线段表示一个任务到另一个任务的信息流.图 2 表示 ITG 图的例子.符号定义如下:

1) 任务集 T :控制事件具有的 n 个任务的集合,定义为:

$$T = \{T_1, T_2, T_3, \dots, T_n\} \quad (1)$$

2) 任务智能值 I : 执行任务 T_i 的智能值为 I_i .

$$I = \{I_1, I_2, I_3, \dots, I_n\} \quad (2)$$

3) 接口复杂度 c_{hm} 和 c_{mh} : 通过显示装置、键盘、控制开关、鼠标等把人和机器之间的一个单元数据进行变换的复杂度. c_{hm} 是从人到机器进行数据变换的接口复杂度,而 c_{mh} 是从机器到人的数据变换复杂度.

4) 接口智能值 $t_{ij} \cdot c_{mh}$ 和 $t_{ij} \cdot c_{hm}$: 人必须理解显示对象的数据,并发出让机器进行信息交换的控制指令.需要与机器交换数据的人的智能度就是接口的智能值,它与数据转移量和接口的复杂度成比例关系.

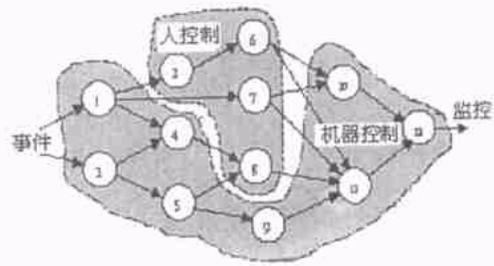


图 2 人-机任务分配和信息交换的 ITG 图

Fig.2 The ITG of human-machine task allocation and intercommunication

5) 数据转移矩阵 S : t_{ij} 是从第 i 个任务向第 j 个任务转移的数据量.

$$S = \begin{pmatrix} 0 & t_{12} & t_{13} & \dots & t_{1n} \\ t_{21} & 0 & t_{23} & \dots & t_{2n} \\ t_{31} & t_{32} & 0 & \dots & t_{3n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ t_{m1} & t_{m2} & t_{m3} & \dots & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

6) 任务分配矩阵 A : 矩阵 A 的值由二进制值 (0 或 1) 构成.如果人执行了任务 T_i ,那么 $a_{i1} = 1$; 如果机器执行了任务 T_i ,那么 $a_{i2} = 1$; 如果 T_i 既不分配给人,又不分配给机器,那么 $a_{i3} = 1$.因此, $a_{i1} + a_{i2} + a_{i3} = 1$, 对于 $\forall i, 1 \leq i \leq n$.定义矩阵 A 为:

$$A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & a_{n3} \end{pmatrix} \quad (4)$$

3.3 人一机接口智能值 H_{inter} 、人的智能值 H 和机器智能值 M 的表达式

设控制智能 C 是整个人—机合作系统的智能,它包含人和机器的智能,是所有任务智能值的总和:

$$C = \sum a_{i1} \cdot I_i + \sum a_{i2} \cdot I_i \quad (5)$$

人与计算机交互的智能值 H_{inter} 为:

$$H_{inter} = c_{nh} \sum \sum a_{i1} a_{j2} t_{ij} + c_{hm} \sum \sum a_{i2} a_{j1} t_{ij} \quad (6)$$

设人的智能 H 是人控制对象所需的智能值,它包括分配给人单独完成任务的智能值和人与计算机接口交互完成的智能值 H_{inter} ,因此,有:

$$H = \sum a_{i1} I_i + H_{inter} \quad (7)$$

由于 H 是分配给人完成任务的智能值和接口智能值的总和,通过 C 减去 H ,能够获得机器智能 M :

$$M = C - H \quad (8)$$

机器控制智能 $M_c = \sum a_{i2} \cdot I_i$, 它由机器智能 M 和人—机接口智能 H_{inter} 构成,即:

$$M_c = M + H_{inter} \quad (9)$$

公式(9)说明:如果接口智能值为零,即人没有参与系统控制,这时系统处于自主运行状态(自主机器人运行状态),要求机器具有较高的智能值,或机器智能达到最大值;在机器控制智能值一定的情况下,增加接口智能即人参与到系统中对系统进行控制,这时要求相应减少机器智能值;对于不同的接口智能值能够设计不同智能度的机器设备。

表1显示了 C 、 H_{inter} 、 H 和 M 之间的关系。当 C 不变且 H_{inter} 和 H 增加时,由方程(9)可知, M 减小。这意味着增加接口智能,即增加人的智能负荷,将会减小机器智能,减少机器制造成本(实例 A);反之,会增加机器的智能,增加机器制造成本,减轻人的工作劳动强度(实例 B)。如果 C 和 H_{inter} 不变,而是用户智能增加,即用专家代替新手或增加操作人员的数量,机器的智能会得到减少(实例 C);反之,增加机器的智能(实例 D)。当 H_{inter} 和 H 不变,即人的劳动强度不变时,增加/减小机器智能,能够控制比较复杂/简单的对象(实例 E/F)。采用具有较高的 C 和较低 H 的计算机控制器,能够设计和开发更为有

智能的机器,因为较高的 C 意味着对对象的控制反映出更多的智能,而较低的 H 表示较低的用户复杂度和较高的机器自主性(独立性)^[8]。

表1 C 、 H_{inter} 、 H 、 M 的关系

实例	C	H_{inter}	H	M
A	不变	增加	增加	减小
B	不变	减小	减小	增加
C	不变	不变	增加	减小
D	不变	不变	减小	增加
E	增加	不变	不变	增加
F	减小	不变	不变	减小

4 H 、 H_{inter} 、 M 的测量过程 (Procedure of measurement on the H , H_{inter} , M)

通过实际测量智力负荷和数据量,能够获得任务智能值、数据转移量和接口复杂度。智力负荷定义为,在任务执行期间人处理信息能力的量值。假设:任务智能值和接口复杂度与智力负荷是相一致的,因为较高的任务智能度或接口复杂度需要人承担更多的信息处理负荷。已开发出许多评价智力负荷的技术,其中有些用于设计飞机驾驶舱、主控板、和用户接口的实际评估方法。已有的检测智力负荷的六种方法如下:1)动作信号参数法;2)双重任务法;3)信息检测法;4)眼睛移动扫描法;5)主观检测法;6)生理学变量法。选取一个方法的依据取决于控制性能和可获得的设备^[6]。

采用表象检测方法的优点在于,不需使用不熟悉的检测工具如 RDL,并且能够避开那些有冲突的加权和因子。 H 、 H_{inter} 、 M 检测步骤如下:

第一步:列出测试列表。例如:能够选择电厂的几个异常状态作为测试背景以检测诊断专家系统的 M 。
第二步:构造测试集 ITG 图。在许多情况下,能够将利用 Asmussen 开发的决策模型应用于监控 ITG 中。
第三步:度量任务智能值的智力负荷和接口的复杂度,然后为计算各种形式的数据量作准备。
第四步:计算出给定变量的 C 、 H 、 M_c 、 H_{inter} 、 M 值。

5 实现举例 (Realization example)

电厂控制是一个人—机结合模型的典型例子。为了说明提出的测量过程和解释特定的 C 、 H 、 M_c 、 H_{inter} 、 M 值的含义,下面给出了一些评价发电厂专家系统的例子。为了减少认知负荷(智力负荷)、减少

人在操作中的失误率,改善识别电厂工作状态的速度和精度,下面对人—机合作智能系统进行研究.

通过选择报警状态和故障状态,列出测试集.根据决策模型,构造出电厂操作环境的 ITG 图,如图 3 (a)所示.

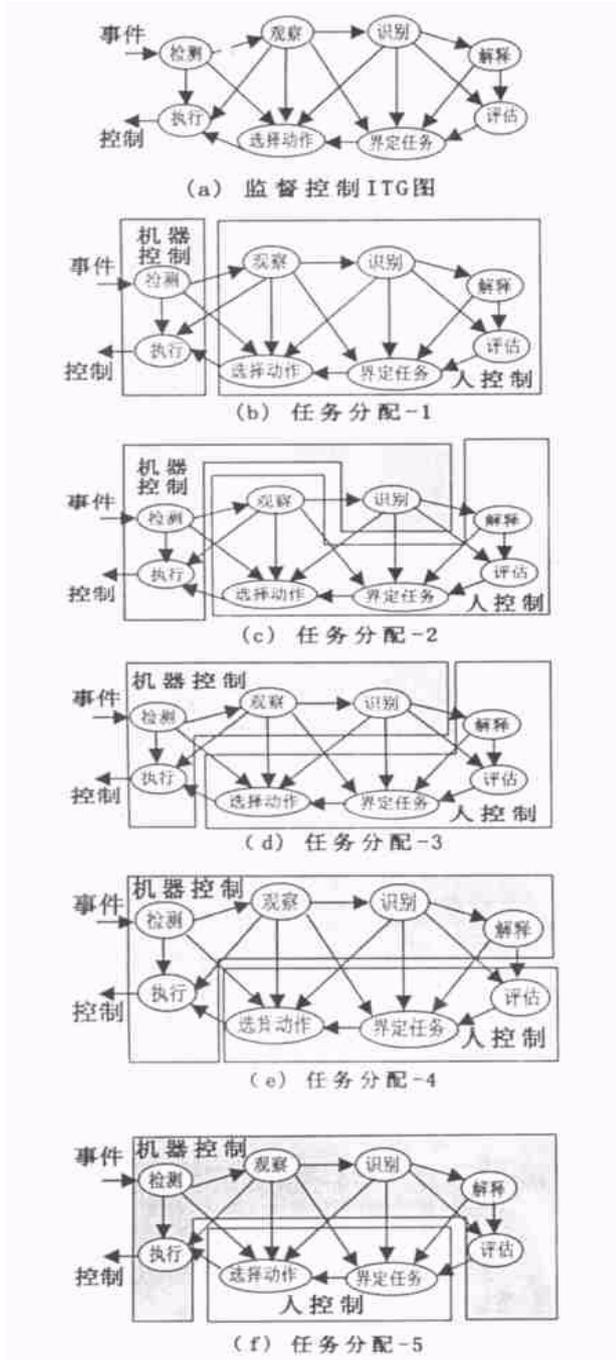


图3 监控系统 ITG 图以及任务分配

Fig.3 The ITG of supervisory control and task allocation

设测得任务智能值、接口复杂度和数据转移量为:

$$I = \{ I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7, I_8 \}$$

$$= \{ 6, 8, 13, 20, 19, 16, 12, 9 \};$$

$$c_{hm} = 0.08, \quad c_{mh} = 0.06;$$

$$S = \begin{pmatrix} 0 & 30 & 0 & 0 & 0 & 0 & 21 & 18 \\ 0 & 0 & 32 & 0 & 0 & 12 & 17 & 10 \\ 0 & 0 & 0 & 20 & 18 & 1 & 10 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 20 & 13 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 27 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 22 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 34 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

从机器的操作记录中,能够得到图 4(b),(c),(d),(e),(f)所示的任务分配图,任务分配矩阵和各参数计算值:

$$A_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad A_2 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$A_3 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad A_4 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

$$A_5 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

任务分配-1(基本功能系统): $C=102, H=93.98,$

$$M_t = 14, H_{inter} = 5.98, M = 8.02;$$

任务分配-2(增加识别功能): $C=102, H=82.7,$

$$M_t = 27, H_{inter} = 12.2, M = 19.3;$$

任务分配—3(增加视觉功能): $C=102, H=78.94,$

$$M_c = 35, H_{inter} = 9.38, M = 23.06;$$

任务分配—4(增加解释功能): $C=102, H=57.16,$

$$M_c = 55, H_{inter} = 10.16, M = 44.84;$$

任务分配—5(增加评估功能): $C=102, H=37.52,$

$$M_c = 74, H_{inter} = 9.52, M = 64.4.$$

图4概括出 C, H, M_c, H_{inter} 随 M 变化的关系, 从中得到如下结论: 1) 如表1所示, H 随 M 增大而减小, 这反映机器智能和人的智能在人—机智能控制系统中相互协调、相互补充、相互加强的控制机制; 2) 接口智能 H_{inter} 大约在 M 等于 20 时取得最大值, 在设计系统时, 应避免选择这样的人—机分工. 因为这样的人—机分工会增加接口智能负荷, 增加人与机器的交互次数, 过多的交互次数容易使人产生疲劳, 从而造成系统故障; 3) 机器控制智能 M_c 随机器智能 M 增加而增加, 几乎成线性关系; 4) 由人与计算机接口智能值表达式 $H_{inter} = c_{mh} \sum \sum a_{i1} a_{j2} t_{ij} + c_{hm} \sum \sum a_{i2} a_{j1} t_{ij}$ 可知, 降低 c_{hm} 和 c_{mh} 能够减小接口智能值 H_{inter} , 即降低接口复杂度能够减小人的劳动强度.

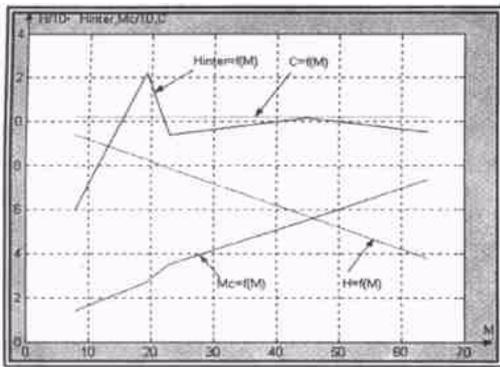


图4 C, H, M_c, H_{inter} 随 M 变化的关系

Fig.4 Changing trend of intelligent values

(C, H, M_c, H_{inter}) with the M

6 总结 (Conclusions)

定义了 M 为人—机智能系统的机器智能度指标, 同时系统地描述了人—机合作系统的智能任务

分工和人—计算机接口智能值的计算方法. 在考虑现实控制环境之后, 开发了人—机合作系统模型和 ITG 逻辑图来模拟人—机智能控制系统的整个控制过程. 从 ITG 逻辑图中推导出 H, H_{inter}, M 以及其它变量. 发电厂的监控实例证实了提出的检测过程.

本文的研究主要放在表象视图上, 即从用户的角度使用人们熟悉的检测方法, 如: 用智力负荷和数据转移量对 H, H_{inter}, M 指标进行研究. 采用本文提出的逻辑评估方法, H, H_{inter}, M 指标不仅能够用作理论分析, 而且也可用于表示系统设计目标的实用指标, 并能用于比较智能机器产品的优劣.

参考文献 (References)

- [1] Chalfant E C, Lee S. Measuring the intelligence of robotic systems: An engineering perspective [A]. Proc. Symp. Intelligent Systems [C]. Reggio Calabria, Italy: 1997. 149 ~ 160.
- [2] Bien Z. How to measure the machine intelligence quotient (MIQ): Two methods and applications [A]. Proc. World Automation Conf [C]. Anchorage, AK: 1998. 216 ~ 225.
- [3] Antsaklis P J. Defining intelligent control [J]. IEEE Control Syst. Mag., 1994, 14: 4 ~ 66.
- [4] Mpassino K. Intelligent control for autonomous systems [J]. IEEE Spectrum, 1995, 32: 56 ~ 62.
- [5] Rouse W B, et al. Modeling the dynamics of mental workload human performance in complex systems [J]. IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., 1993, 23(11): 1662 ~ 1671.
- [6] Stassen H G, Johannsen G, Moray N. Internal model, human performance model and mental workload [J]. Automatica, 1999, 26(4): 811 ~ 820.
- [7] 吴沧浦. 智能控制, 进化论与人—机交互 [J]. 北京理工大学学报, 1997, 17(3): 263 ~ 266.
- [8] 许录平, 谢维信. 人的因素及对入—机系统的影响 [J]. 电子科技, 1996, 37(3): 9 ~ 11.

作者简介

马力波(1956 -), 男, 副教授, 浙江大学硕士, 重庆大学博士研究生. 研究领域为计算机网络通信, 网络远程机器人控制, 计算机视觉, 智能人—机接口界面.

黄席樾(1943 -), 男, 博士, 重庆大学教授, 博士生导师. 研究领域为人工智能, 计算机控制, 计算机视觉, 智能机器人, 网络远程机器人控制等.