

人机一体化智能系统综合感知体系建模方法研究*

杨灿军 陈 鹰 TP11 TP18

(浙江大学流体传动及控制国家重点实验室·杭州, 310027)

摘要: 在分析人机感知的不同特征基础上, 提出人机一体化综合感知方法, 并对人机一体化综合感知体系进行了建模研究, 并以智能驾驶系统为例对人机一体化智能驾驶综合感知体系作了简要说明, 阐明了人机一体化综合智能感知技术的广泛应用前景。

关键词: 智能系统; 人工智能; 人机系统; 人机一体化; 智能感知

文献标识码: A

Study the Model of the Comprehensive Perception of Humachined Intelligent System

YANG Canjun and CHEN Ying

(The State Key Laboratory for Fluid Power Transmission and Control, Zhejiang University · Hangzhou, 310027, P. R. China)

Abstract: This paper studied on modeling the humachined perception of humachined system based on the analysis of human and machine's perception, and the humachined perception system for the intelligent driving system had been introduced simply.

Key words: intelligent system; artificial intelligence; man-machine system; humachined system; intelligent perception

1 引言 (Introduction)

随着计算机、传感器、机电自动化、系统工程及人工智能技术的迅速发展, 目前智能系统的研究已成为许多研究领域的热点课题之一。而智能感知是实现系统智能化的关键技术之一, 为了让机器能充分地理解环境, 人们发明了各种各样的传感器, 为智能系统的研究打下了良好基础。人们试图利用现代传感器技术、多传感器信息融合等技术来模拟人的各种感觉器官来感知周围环境, 虽然取得了一定的研究成果, 但离能够真正模拟人的各种感觉系统还相距较远。为此, 我们基于人机一体化思想^[1~3]提出了人机一体化综合感知的实现方法。我们在比较了人和机器感知特征区别的时候, 认识到人的有些感知功能是机器无法模拟的, 而有时机器能够感知到的人却无法感知得到, 所以在可能的情况下, 在充分发挥人和智能机器各自的感知优势的基础上, 建立人机一体化感知体系, 将能更进一步扩大人类的视野, 提高人类认识世界的能力。

2 人机感知特征对比 (Contrast with man machine characteristics)

人类在感知外界事物时, 常常把许多部分或多种属性组成的对象看作是具有一定结构的统一整体。人们在感知熟悉对象时, 只要感知到它的个别属性或主要特征, 就可以根据积累的经验而知道它的全部属性和特征, 整体地感知它。这往往是机器所无法感知得出来的。再者, 人类在感知对象时, 能把某些对象从背景中优先区分出来, 并予以清晰地反映其特征。另外, 在人们的感知事物的过程中, 人们不自觉地用以往所获得的知识经验来理解当前所感知对象的特征, 所以人类在感知某一事物时, 同这个事物有关的知识经验越丰富, 对它的认识就越深刻。但由于人的感知系统受生理和心理因素的影响, 人的感知系统也有一定的局限性, 例如人的感知具有有限性、模糊性、个体差异性等, 同时由于人的各感觉器官之间存在着相互作用, 因此, 有时人会产生错觉^[3~5]。

与人相比, 机器感知具有精确性强、环境适应性强、感知范围广、统一性好的优点, 但机器的综合感知困难, 与人相比机器感知最主要的优点就是精确性强, 机器传感器可以对相关的物理量进行定量检

* 基金项目: 本文得到国家自然科学基金(N59975079)资助。

收稿日期: 1998-09-03; 收修改稿日期: 1999-06-03。

测,根据传感器的精度,可以对相关的物理量检测到一定的精确度,而人对这些物理量只能通过定性的估计来比较大小;机器感知器对环境具有高度的承受能力,在一些人所不能到达的环境,机器往往可以胜任,例如:在有毒或有放射线刺激的环境下的监测,以及在超高压、超低压及核辐射环境下的检测等;到目前为止,机器能感知的范围远远超过人的感知范围,例如:人所看不到的红外线、紫外线,听不到的超声波等过强或过弱的感知信号,机器传感器大部分都能检测出来;由于所设计的传感器具有统一的标准,所以不同的同一种传感器所检测出的量具有统一性,不象人的感知具有个体差异;机器在感知单一信息时,往往很精确,范围很广,但是有许多综合信息需要同时感知时,机器实现起来就不象人那么方便。

3 人机一体化综合感知体系模型(The model of the comprehensive perception of humachined intelligent system)

通过以上对人和机器感知特征的分析比较可知:有些信息只有人才能感觉到,而有些信息只有用机器传感器才能检测到,而且不同的人或传感器所感知或检测的范围也不一样,因此,在可能的情况下,应尽量将适合于人感知的任务交给人去感知,把适合于机器感知的任务交给机器去做,另外,可以根据人机的不同感知特征,采用人帮机或机帮人的方式,来增强整个系统的感知功能。为此,我们建立了以下人机一体化感知模型。

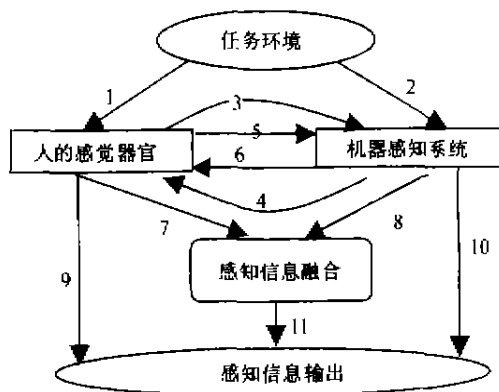


图1 人机一体化信息感知体系模型

Fig. 1 The model of the comprehensive perception of humachined intelligent system

图1中数字标号的含义如下:

- 1——适合于人感知的信息;
- 2——适合于机器感知的信息;
- 3——人感知的信息向机器传递;
- 4——机器感知的信息向人传递;

- 5——机器对人本身的状态监测;
- 6——人对机器状态的监控;
- 7——人感知的需要和机器感知信息融合的信息;
- 8——机器感知的需要和人感知信息融合的信息;
- 9——人直接感知的信息;
- 10——机器直接感知的信息;
- 11——人机感知信息的融合信息。

4 实现方法研究(Study on the implement methods)

所谓的人机一体化信息感知,其关键在于人机信息感知的合理化分工与密切的协作配合。

4.1 人机信息感知分工(Dividing the work of human and machine's perception)

根据人和机器感知的不同特征,我们对人机信息感知进行了合理化分工,我们将适合于机器进行检测的精确度高的定量信息、人类感知阈值之外的信息、人类无能为力的恶劣环境及恶劣条件下的信息等交给机器去进行检测感知,对于模糊定性信息、整体综合信息、具有多义性的信息等信息的感知以及同时需要感知视觉、听觉、触觉、嗅觉等多种信息才能准确获得的信息通常交给人去感知^[1-3]。

4.2 人机信息感知的融合(Fusing the human and machine's perception)

在信息感知过程中,常常需要人和机器进行综合感知,有时候有些信息需要先由人感知进行粗定位,然后由机器进行精确定位,而有些信息则需要先由机器进行感知,然后由人再去进行确认,有时候有些信息往往需要人和机器同时进行感知,然后对所感知信息进行融合才能获得所需的准确信息。

为了实现人机感知信息的融合,首先应该让人和机器都能充分了解对方感知的信息,为了让人能充分形象地理解机器所感知的信息,通常将机器所感知的信息以人类容易接受的形式(如:可视化的语音、图象等形式)表示出来,为此人们正不断地研究出各种各样的可视化理论方法,在建立人机一体化感知体系过程中,我们将借鉴一系列的可视化技术和方法,为了让人更好地理解机器所感知的信息,有时还需要将机器感知的精确信息模糊化,目前信息模糊化技术已经是比较成熟的技术,通常是根根据机器感知输入信息的上下限,确定信息的论域 U ,将输入信息的变化范围相应地映射到特定的论域上,其次给出输入信息量的模糊量级,最后建立这些模糊集的隶属度函数,常见的模糊隶属度函数有三角形函数、梯形函数、正态函数、高斯函数、钟形函数等^[7]。

为了便于机器接受人的感知信息,综合考虑人的语言变量信息,常常还要用模糊定位规则,把每个语言值用估计的渐变函数定位,使之离散化、量化、精确化.在自然语言中还常常利用修饰词来区分和刻划语言模糊值的程度,如:“较”、“很”、“稍微”、“相当”、“极”、“大约”、“近似”、“倾向于”等来描述模糊值.为此人们常常引入语言算子的概念,语言算子通常分成三类:语气算子、模糊化算子和判定化算子.其中语气算子是表达模糊值的肯定程度,如:很、微、极、略、比较、特别等,若把它放在模糊语言的前面,可调整该模糊语言词义的肯定程度.这就意味着,这类词可视为某种算子或变换,称之为语气算子,可表示为:

$$H_\lambda: H_\lambda(\tilde{A}(\mu)) = (\tilde{A}(\mu))^\lambda, \quad (1)$$

这里的 H_λ 即称为语气算子,其中 λ 为一实数,当 $\lambda > 1$ 时, H_λ 叫做集中化算子(比如:“很” = H_2 , “极” = H_4);当 $\lambda < 1$ 时, H_λ 叫做松散化算子(比如:“略” = $H_{1/2}$, “微” = $H_{1/4}$);诸如“大约”、“几乎”、“近似”等修饰词属于模糊化算子,它是将肯定的转化为模糊的,把模糊的变得更加模糊.模糊算子可以用模糊线性变换来表示.给定模糊关系 $\tilde{E} \in (U \times U)$,由 $\tilde{E}$ 诱导的线性变换 $F: U \rightarrow U$,则:

$$F(\tilde{A})(\mu) = \bigvee_{v \in U} (\tilde{A}(v) \wedge \tilde{E}(v, \mu)), \quad (2)$$

一般情况下,这里所用的模糊关系 $\tilde{E}$,通常是 U 上的模糊相似关系;

$$\tilde{E}(v, u) = \begin{cases} e^{-(v-u)^2}, & |v-u| < \delta, \\ 0, & |v-u| \geq \delta. \end{cases} \quad (3)$$

特别当 $U = R$ (实数域)时,可以置其中 δ 为适当选定的正实数;诸如“偏向”、“倾向于”、“多半是”等词汇,也可对模糊词给出一种粗糙的判断,叫做判定化算子,它一般表示形式为:

$$P_a: P_a(\tilde{A})(u) = d_a(\tilde{A}(u)), \quad (4)$$

其中 d_a 是定义在 $[0, 1]$ 上的实函数:

$$d_a(x) = \begin{cases} 0, & x < a, \\ 1/2, & a < x \leq 1-a, \\ 1, & x > 1-a, \end{cases} \quad (5)$$

这里 $a \in (0, 1/2]$.如图2所示给出了 d_a 的示意图.特别地,称 $P_{1/2}$ 为“偏向”;另外,有些语言变量根本就无法以量化的形式出现,通常可以用语言变量加表示该语言变量的程度来描述,例如:“天气好”可以用一天气好的模糊变量 $\tilde{w}$ 和表示天气好程度的模糊量表示.此模糊量的范围亦可规格化为 $(0, 1)$.

这样就可以将人和机器所感知的信息统一起来

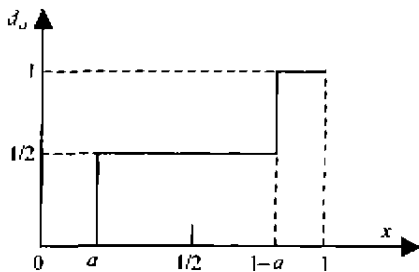


图2 d_a 的示意

Fig. 2 d_a 's meaning

进行信息融合^[8].

在人机融合感知信息系统中,由于人和机器感知系统的不同特点,人和机器所感知信息的范围也有所不同,人和机器所感知信息的不同范围可以用图3来表示.假设人和机器都基于自己的局域独立

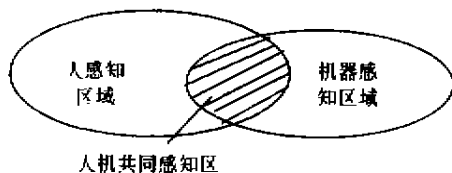


图3 人机感知区域

Fig. 3 The area of human and machine's perception

感知相关信息,这些局域信息通过一定的手段送到信息融合中心可构成融合中心的观测向量:

$$\mu = (\mu_{m1}, \mu_{m2}, \dots, \mu_{mn}, \mu_{h1}, \mu_{h2}, \dots, \mu_{hn}). \quad (6)$$

信息融合中心基于 μ 获得全局信息,系统的这一全局信息可以通过模糊逻辑推理的方法获得融合信息.现将整个推理过程描述如下.

根据事先制定好的由系统的行为特征和领域专家的经验写成的模糊规则,运用模糊数学理论对模糊规则进行计算推理,实际上是根据模糊规则对人和机器感知的一系列信息进行综合匹配,以得到定性的用语言表示的量,即模糊输出的人机感知融合信息.

目前,模糊逻辑推理的方法很多,在此,利用最常用的 Mamdani 推理法实现人机一体化信息感知融合.面对一个复杂系统,一般需要感知的信息是多方面的,所以应采用多输入多规则的推理.为了说明问题方便,这里以两输入多规则推理为例,其中一输入为人感知的模糊信息输入,另一输入为机器感知的精确信息输入.若有 n 条规则,其推理过程的一般形式为:

$$\begin{aligned} & \text{If } x \text{ is } A_1 \text{ and } y \text{ is } B_1 \text{ then } z \text{ is } C_1 \\ & \text{If } x \text{ is } A_2 \text{ and } y \text{ is } B_2 \text{ then } z \text{ is } C_2 \\ & \quad \vdots \\ & \text{If } x \text{ is } A_n \text{ and } y \text{ is } B_n \text{ then } z \text{ is } C_n \end{aligned} \quad (7)$$

Now x is A' and $y = y'$

Consequence then z is C'

这里假设 A' 看成是来自人感知的模糊信息, y' 看成是来自机器感知精确信息, 其中 A_i 和 A' , B_i , C_i 和 C' 分别是不同论域 X, Y, Z 上的模糊集合, 则:

"If x is A_i and y is B_i then z is C_i "

的数学表达式为:

$$\mu_{A_i}(x) \wedge \mu_{B_i}(y) \rightarrow \mu_{C_i}(z), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (8)$$

利用 Mandani 推理法, 用 Mandani 蕴含定义 $A \rightarrow B = A \wedge B$ 作代换, 上式即为:

$$[\mu_{A_i}(x) \wedge \mu_{B_i}(y)] \wedge \mu_{C_i}(z). \quad (9)$$

由此, (7) 式的推理结果为:

$$\begin{aligned} C' &= (A' \text{ AND } |y'|) \circ [(A_1 \text{ AND } B_1) \rightarrow C_1] Y \wedge Y[(A_n \text{ AND } B_n) \rightarrow C_n] = \\ &= [(A' \text{ AND } |y'|) \circ [(A_1 \text{ AND } B_1) \rightarrow C_1]] Y_1 \wedge Y[(A' \text{ AND } |y'|) \circ \\ &[(A_n \text{ AND } B_n) \rightarrow C_n]] = \\ &C'_1 Y C'_2 Y \wedge Y C'_n, \end{aligned} \quad (10)$$

其中

$$\begin{aligned} C'_i &= (A' \text{ AND } |y'|) \circ [(A_i \text{ AND } B_i) \rightarrow C_i] = \\ &= [A' \circ (A_i \rightarrow C_i)] I[|y'| \circ (B_i \rightarrow C_i)], \end{aligned}$$

$$i = 1, 2, \dots, n, \quad (11)$$

其隶属函数为:

$$\begin{aligned} \mu_{C'_i}(Z) &= \bigvee_i \{ \mu_{A'}(x) \wedge [\mu_{A_i}(x) \wedge \mu_{C_i}(z)] \} I \\ &\bigvee_i \{ \mu_{y'}(y) \wedge [\mu_{B_i}(y) \wedge \mu_{C_i}(z)] \} = \\ &\bigvee_i \{ \mu_{A'}(x) \wedge [\mu_{A_i}(x) \wedge \mu_{C_i}(z)] \} I \\ &\bigvee_i \{ \mu_{y'}(y) \wedge [\mu_{B_i}(y) \wedge \mu_{C_i}(z)] \} = \\ &(\alpha_{A_i} \wedge \mu_{C_i}(z)) I (\alpha_{B_i} \wedge \mu_{C_i}(z)) = \\ &(\alpha_{A_i} \wedge \alpha_{B_i} \wedge \mu_{C_i}(z)), \end{aligned} \quad (12)$$

如果以两条两输入的规则为例, 就可以得到以下两个结论:

$$\mu_{C'_1}(z) = \alpha_{A_1} \wedge \alpha_{B_1} \wedge \mu_{C_1}(z), \quad (13)$$

$$\mu_{C'_2}(z) = \alpha_{A_2} \wedge \alpha_{B_2} \wedge \mu_{C_2}(z). \quad (14)$$

其意义为分别从不同的规则得到不同的结论, 其几何意义是分别在不同规则中用各自推理前件的总隶属度去切割本推理规则中后件的隶属函数以得到输出结果, 再对所有结论求模糊逻辑和, 即进行“并”运算, 便得到信息融合结果^[9~10], 即:

$$C' = C'_1 Y C'_2 Y \wedge Y C'_n. \quad (15)$$

以两条二输入规则的推理方法为例, 整个推理过程可用图 4 来表示。

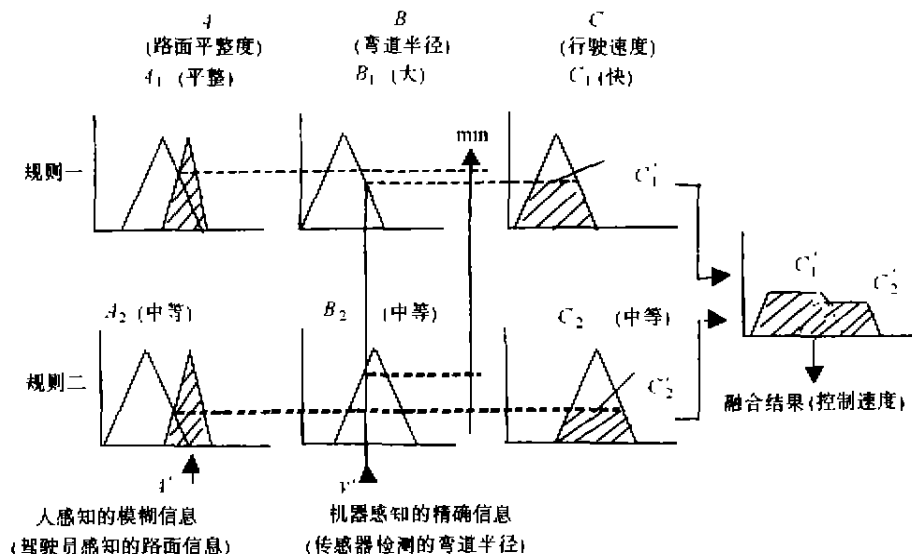


图 4 两条二输入规则的人机信息融合推理

Fig. 4 The process of humachine system's perception fusing

5 实例分析 (An example)

在汽车驾驶系统中, 一方面由于汽车的驾驶是人的生命悠关的事, 即使是目前最先进的技术也不能做到万无一失; 另一方面真正的无人驾驶汽车所需

要花费的费用实在太太, 因此, 我们基于人机一体化思想, 建议采用人机一体化智能驾驶方法来控制汽车的运行, 为此我们建立了人机一体化智能驾驶模拟系统的模型, 并进行了相应的仿真实验, 在该系统

中,我们采用了人机一体化综合感知模型.我们所建立的人机一体化智能驾驶信息综合感知体系的结构如图 5 所示.把适合于人感知的信息交给人去感知,把适合于机器感知的信息交给传感器去检测,在某些情况下,则采用人机感知融合的方式实现其对环境的感知.例如汽车在弯道转弯时,就需要通过人和机器的融合感知来确定汽车的行驶速度.此时驾驶员根据自己的经验定性判断路面的平整度,例如可

将路面平整度论域 A 设置成:

$A = \{\text{很不平整, 不平整, 平整, 较平整, 很平整}\}$,
而汽车则可以通过自己本身的传感器检测出弯道的半径,在此可将弯道半径论域 B 设置成:

$B = \{\text{很大, 大, 中, 小, 很小}\}$.

根据驾驶员的驾驶经验,我们建立了汽车驾驶转弯模糊规则库,根据模糊推理获得最终的控制速度.其推理过程的一部分如图 4 中括号内关键字所示.

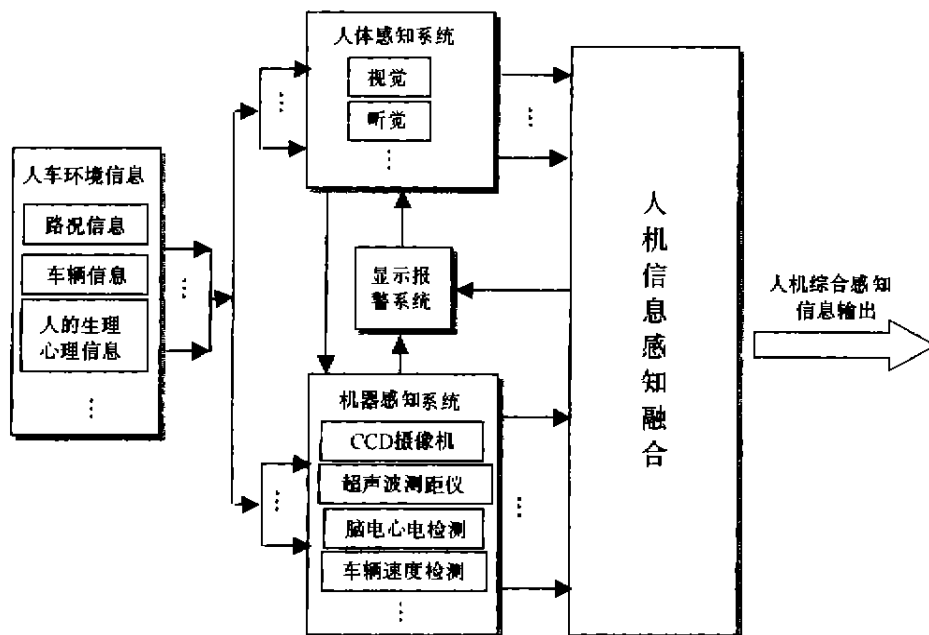


图 5 人机一体化智能驾驶信息综合感知体系结构

Fig. 5 The structure of humachined intelligent driving

6 结论(Conclusion)

本文基于人机一体化思想,建立了人机一体化综合感知体系,研究了人机一体化信息融合方法,并以人机一体化智能驾驶系统为例作了简要说明,初步的实验结果表明所提出的人机一体化感知方法是切实可行的而且是行之有效的.本文所提出的人机信息综合感知方法在交通运输、航空航天、航海、生产制造等领域都将有非常广泛的应用.

参考文献(References)

- [1] 路甬祥,陈鹰. 人机一体化系统与技术立论[J]. 机械工程学报, 1994, 30(6): 1-9
- [2] 路甬祥,陈鹰. 人机一体化系统与技术——21 世纪机械科学的重要发展方向[J]. 机械工程学报, 1994, 30(5): 1-7
- [3] 路甬祥,陈鹰. 人机一体化系统科学体系和关键技术[J]. 机械工程学报, 1995, 31(1): 1-7
- [4] [日]浅居喜代治编著,刘送高译. 现代人机工程学概论[M]. 北京: 科学出版社, 1992
- [5] 丁玉兰主编. 人机工程学[M]. 北京: 北京理工大学出版社,

1991

- [6] 杨灿军. 人机一体化智能系统理论与实践研究探索[D]. 杭州: 浙江大学, 1997
- [7] 刘有才等. 模糊专家系统原理与设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995
- [8] 王立新. 自适应模糊系统与控制——设计与稳定性分析[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995
- [9] 窦振中. 模糊逻辑控制技术及其应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995
- [10] Jie Ren and Thomas B Sheridan. An adaptive decision aid for real environments[J]. IEEE Trans. on Syst., Man, and Cybern., 1995, 25(10): 1384-1391

本文作者简介

杨灿军 1969 年生,工学博士. 1997 年毕业于浙江大学,获博士学位. 现为浙江大学流体传动及控制国家重点实验室讲师. 主要研究方向: 人机一体化、智能系统理论, 机器人, 机械电子工程, 信息网络技术等. 曾参加国家自然科学基金等多个科研项目研究, 已发表相关学术论文十余篇.

陈鹰 1962 年生,教授,博士生导师. 主要研究方向: 机械电子工程, 人机一体化, 机器人等.