

# 基于事例推理的车身内部布置关键技术<sup>\*</sup>

李迪 徐家川 刘媛媛

(山东理工大学交通与车辆工程学院, 淄博 255049)

**【摘要】** 根据汽车车身内部布置的特点,通过扩展对象模型提出了车身内部布置事例的面向对象表达模型,将车身内部布置的约束分为范围、规则和表达式3种形式,并研究了其对象表达模型。利用最近邻方法检索相似事例,结合参数替换和约束满足方法提出了布置事例修改策略,实现了布置事例的修改。利用UG和VC++开发了试验系统,应用实例验证了方法的可行性和有效性。

**关键词:** 车身 内部布置 基于事例推理 约束满足 面向对象

**中图分类号:** U463.83 **文献标识码:** A

## Key Technologies of Auto-body Interior Layout with Case-based Reasoning

Li Di Xu Jiachuan Liu Yuanyuan

(School of Transportation and Vehicle Engineering, Shandong University of Technology, Zibo 255049, China)

### Abstract

Considering the characteristic of auto-body interior layout, the object-oriented case presentation models of auto-body interior layout were presented by employing the extended object model, in which the index and solution objects were appended. Constraints of auto-body interior layout were divided into three forms: domain, rule and formulation, and their definitions were described with object models. The nearest neighborhood method was adopted for case retrieval. The strategies for case adaptation, combining parameter substitution with constrain satisfaction, were presented to modify case solution. A test system was developed with UG and VC++, and the application shows the validity and feasibility of the presented method.

**Key words** Auto-body, Interior Layout, Case-based reasoning, Constraint satisfaction, Object-oriented

## 引言

汽车车身内部布置是汽车概念设计阶段重要的方案设计工作,它以座椅为中心进行布置,主要是确定踏板、座椅、方向盘的相对位置<sup>[1~2]</sup>。而现代车身设计一般是采取先设计车身外形,再进行车身总布置的由外而内的反向设计过程。因此,在车身设计过程中,基于车身外形快速确定踏板、座椅和方向盘的几何与位置关系,保证操纵舒适、内部空间尺寸合理,就成为一项重要的工作。

汽车车身内部布置需要专家利用设计知识、经验等进行判断和选择,是一个多方案的迭代设计过

程。基于事例的推理技术(case-based reasoning,简称CBR)是建立在以实例为中心的认知模型基础上,其关键技术包括事例表示、事例检索、事例修改以及事例学习<sup>[3]</sup>。实例可以认为是以前问题的优化解,蕴含着许多的设计经验与知识。因此借助于汽车内部布置方案的相似性,根据类似产品的布置方案,采用事例推理辅助制定新产品的布置方案,以减少设计过程的迭代。

## 1 关键技术

### 1.1 事例表示

在面向对象建模中,对象模型由属性和方法构

成,表示为<sup>[4]</sup>

$$O = (i, A, M) \quad (1)$$

式中  $i$ ——对象模型实例的唯一标识

汽车车身内部布置包含丰富的信息,如座椅等布置对象的基本信息、几何信息和设计方案,布置对象之间的相对位置关系等。传统的对象模型很难表达这种复杂事例,需要在对象模型的基础上添加两个特殊属性,即关系对象集合  $R$  和约束对象集合  $C$ ,从而构成扩展对象模型<sup>[5]</sup>

$$E = (i, A, M, R, C) \quad (2)$$

### 1.1.1 事例对象模型

事例的表达是事例推理系统的基础,一般包括2部分:事例的问题和属性的描述;事例的答案。为适应 CBR 系统对事例检索和事例修改的要求,在扩展对象模型的基础上增加索引对象和答案对象,从而构成事例对象模型

$$\text{Case} = (i, A, M, R, C, X, S) \quad (3)$$

式中  $A$ ——问题定义属性集,如车身关键特征点、乘员数、外形尺寸等

$M$ ——事例对象方法集,如定义绘制 5%、50%、95% 的人体模型成员函数<sup>[2]</sup>

$R$ ——事例与其子事例之间的关系集,关系对象模型与式(1)相同,可利用链表结构实现关系集

$C$ ——事例对象中的约束集

$X$ ——事例索引对象

$S$ ——事例答案对象,描述了该事例的问题解决方法

### 1.1.2 事例的约束对象模型

约束对象定义了事例中属性的约束条件,每一个约束可表示为  $(Cname, Ccode)$ ,其中  $Cname$  为约束的名称, $Ccode$  为该约束用适当语言表达的具体描述,如表达规则时, $Ccode$  表示为  $(Condition, Conclusion)$ 。采用式(1)对象模型表示约束对象,并利用链表结构实现约束集。

在汽车车身内部布置中,既要检查踏板、座椅和方向盘之间的相对位置关系,又要保证合理的内部空间尺寸,这构成了约束集。布置对象之间的约束关系可以分成范围、规则和表达式3种形式。

范围约束用来限制对象中属性的取值范围。本文将人体模型各肢体夹角定义为范围约束,用来保证坐姿舒适性,即检查人体模型的肢体夹角是否在舒适范围内<sup>[6]</sup>。

约束表达式建立对象的位置与几何约束。本文利用不同百分位人体尺寸建立踏板、座椅和方向盘之间的约束表达式,以约束设计变量。

规则形式用来表达设计知识和经验。要保证合理的内部空间尺寸,需要检查头部、肩部和肘部空间以及适当的踏板空间尺寸等,可利用规则描述这一类约束。如定义座椅  $H$  点至踵点的垂直距离  $H_z$  的约束为

$$H_z = H_l - H_{61} \quad (4)$$

式中  $H_l$ ——驾驶员座椅位置处驾驶舱内部高度,属于车身内部布置问题定义特征

$H_{61}$ ——座椅  $H$  点至顶盖的距离,需要根据相似事例的事例解确定

定义触发该约束的条件为驾驶员头部和顶盖之间的间隙值  $h$  过小,那么可形成规则

$$\text{If } h < 100 \text{ mm then } H_z = H_l - H_{61}$$

对于范围约束,不同的设计事例可以规定不同的约束范围,本文用来判断设计是否成功,这些约束仅仅从属于某一事例,规定这类约束为“局部约束”,在事例答案的约束集中表达。本文建立的约束表达式和规则适用于所有事例,称为“全局约束”,可在事例的约束集中表达。

### 1.1.3 事例的索引对象模型

事例的索引信息是事例进行相似检索所必需的信息,采用式(1)对象模型表示索引对象。

根据汽车车身内部布置的特点和过程,决定车身内部布置形式的主要参数是车辆的轴距、轮距和外形尺寸。系统采用车辆的轴距、轮距、外形尺寸作为检索特征信息来检索匹配事例。

### 1.1.4 事例的答案对象模型

采用式(2)扩展对象模型表示答案对象。

在关系集中定义了事例的答案对象与子事例(如踏板、座椅等)或父事例答案对象的关系,通过这些关系,可获得子事例或父事例的答案信息,与式(3)中关系对象的实现相同。

在约束集中定义了从属于该事例的“局部约束”,即人体模型各肢体夹角的范围约束。

## 1.2 事例检索

事例检索是指利用检索信息,从事例库中检索出潜在可用的源事例。

采用最近邻法检索相似事例<sup>[7]</sup>。相似性度量是事例检索的关键技术。 $s$  代表相似度, $s(x_i, y_j)$  表示特征属性  $x_i$  与  $y_j$  在属性值上的相似度。连续型数值特征属性相似度为

$$s(x_i, y_j) = 1 - \frac{|x_i - y_j|}{\max(x_i, y_j)} \quad (5)$$

离散型数值特征属性相似度为

$$s(x_i, y_j) = 1 - \frac{|x_i - y_j|}{Q} \quad (6)$$

式中  $Q$ ——属性数值范围,对于字符型的属性值,需要写出属性值的各种组合,由技术人员事先根据经验确定

若事例  $U(x)$ 、 $V(y)$ 同属论域  $\Phi$ ,设存在  $x' \subset x$ ,  $y' \subset y$ ,且满足: $U'(x')$ 与  $V'(y')$ 同构,即存在一一映射  $h: x' \rightarrow y'$ ,则称  $U$ 与  $V$ 为准同构。可以认为同构事例是准同构事例的特例。准同构事例  $U$ 、 $V$ 相似度定义为

$$s(U, V) = \sum_{i=1}^l \omega_i s(x_i, h(x_i)) - \alpha \sum_{j=1}^{n-l} \omega_j - \beta \sum_{k=1}^{m-l} \omega_k \quad (7)$$

式中  $n$ 、 $m$ —— $U$ 、 $V$ 的特征属性个数  
 $l$ —— $U$ 、 $V$ 共有属性的个数( $1 < l < m, n$ )  
 $\omega_i$ —— $U$ 、 $V$ 共有属性的权值  
 $\omega_j$ —— $U$ 中存在而 $V$ 中不存在的属性权值  
 $\omega_k$ —— $V$ 中存在而 $U$ 中不存在的属性权值  
 $\alpha$ ——待检索事例独有属性对相似度的影响  
 $\beta$ ——事例库事例独有属性对相似度的影响  
 若事例  $U$ 、 $V$ 同构,则应取系数  $\alpha$ 、 $\beta$ 为0。

### 1.3 事例修改

检索出事例后,绝大多数情况下,需要对事例的问题定义和答案进行修改,使事例适合当前问题的定义,这样一个过程称为事例修改。本文将参数替换和约束满足方法结合起来,实现车身内部布置事例的修改。

#### 1.3.1 约束求解

基于约束满足问题的求解是将设计要求与限制看成对变量的约束,而设计则要使结果满足约束条件<sup>[8]</sup>。因此必须建立设计变量之间的约束网络。

构造如图1所示的4层内部布置约束网络。对象层由汽车车身内部布置涉及的对象组成。对象属性层由对象的属性组成,如踏板对象的属性:踏板位置、踏板角度等。约束节点层由定义的约束构成,一个节点表示一个约束,“箭头”表示约束和对象属性关联。根据约束的类型,搜索每个约束对应的所有对象属性,建立约束节点与对象属性的一对多关系形成约束节点层。由于汽车内部布置参数是相互制约、整体协调的,因而各约束之间必然具有相互依存

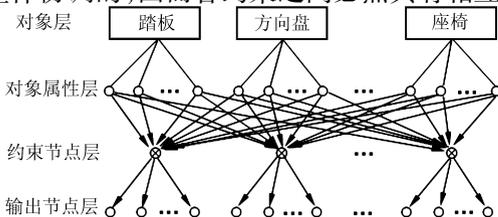


图1 车身内部布置约束网络图

Fig.1 Constraint network of auto-body interior layout

关系和因果关系。通过深度优先搜索和拓扑排序算法,去掉各约束之间的相互依存关系,使之只存在单向的因果关系。输出节点层就由只存在因果关系的布置参数组成。这样可以根据布置参数的因果关系依次求解。

#### 1.3.2 事例修改策略

- (1) 简单参数替换:将最相似事例中的问题定义用当前问题定义来代替,如式(4)中用当前问题的  $H_1$  值替换最相似事例的  $H_1$ 。
- (2) 求解全局约束属性:根据替换的当前问题定义求解。
- (3) 全局约束检查:判断是否符合全局约束要求,并提取有冲突的全局约束。
- (4) 约束满足求解:建立设计变量约束网络,利用约束满足方法修改最相似事例。
- (5) 局部约束检查:检查最相似事例的局部约束,判断修改是否满足要求。

### 1.4 事例学习

事例学习是事例推理系统的最后步骤。在解决了新的问题后,可以将新问题的问题描述和解决方案存入事例库,以备检索。

## 2 系统实现

### 2.1 事例推理机的实现

图2是系统中CBR推理机的主要功能和推理过程。4个中空的箭头表明推理过程必须和事例库交互。

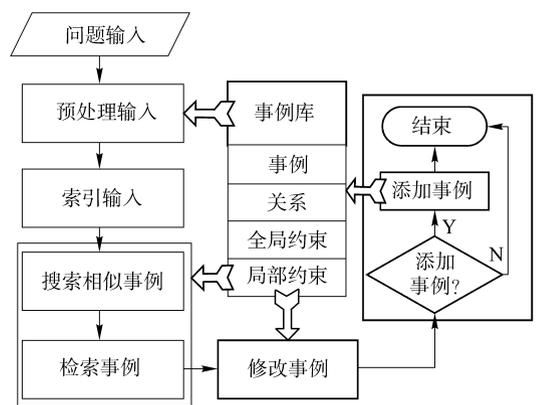


图2 CBR推理机主要功能示意图

Fig.2 Primary functions of a CBR reasoning engine

### 2.2 系统实现平台

试验系统是以UG NX3.0软件作为图形支撑平台,以UG提供的接口UG/Open API和Visual C++ 6.0语言为开发工具并结合MS Access数据库开发而成<sup>[9]</sup>。

采用关系型数据库MS Access存储事例库,可以利用关系型数据库的先进数据管理功能、很高的

检索响应速度和数据维护能力,特别是利用关系型数据库灵活的 SQL 查询语言,可以方便地实现事例检索及事例库的维护。

### 3 应用

输入车身关键特征点等问题定义属性。输入索引属性: 轴距 2 680 mm、车长 4 790 mm、车高 1 370 mm,可检索得到相似度为 82% 的最相似事例,其部分参数为:轴距 2 550 mm、车长 4 550 mm、车高 1 440 mm、H 点与踵点水平距离  $H_X$  为 740 mm、H 点与踵点的垂直距离  $H_Z$  为 348 mm、方向盘中心与踵点的水平距离  $W_X$  为 375 mm、方向盘中心与踵点的垂直距离  $W_Z$  为 657 mm、座椅水平调节距离为 210 mm、座椅垂直调节距离为 30 mm、H 点至顶盖的距离  $H_{61}$  为 860 mm、方向盘底部与驾驶员膝盖盖点的垂直距离  $e_1$  为 66 mm、方向盘底部与 H 点的水平距离  $e_2$  为 300 mm。利用最相似事例进行布置,如图 3 所示。由于设计车高比最相似事例的低,造成驾驶员头部空间偏小(15 mm),需要调用事例修改模块中参数替换、约束求解功能进行修改。

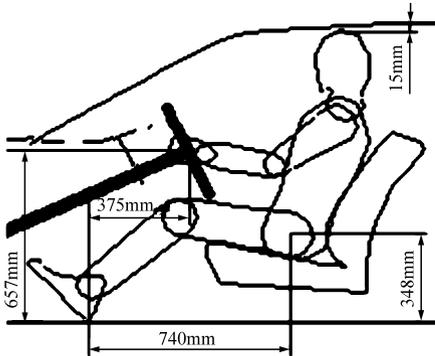


图3 利用相似事例布置局部图

Fig.3 Local view graph of layout with similar case

为说明事例修改模块中约束满足求解方法和过程,如图 4 所示,利用 95% 人体模型提取部分约束关系:

$$\begin{aligned}
 f_1: H_Z &= H_I - H_{61} \\
 f_2: H_X &= X_H - X_{AHP} \\
 f_3: H_Z &= a \sin(180^\circ - \alpha_8 - \gamma) + b \sin(180^\circ - \alpha_8 - \alpha_4) - c \sin \alpha_9 \\
 f_4: H_X &= a \cos(180^\circ - \alpha_8 - \gamma) + b \cos(180^\circ - \alpha_8 - \alpha_4) + c \cos \alpha_9 \\
 f_5: \alpha_4 + \alpha_8 &= \alpha_3 + \alpha_9 \\
 f_6: W_Z &= H_Z + c \sin \alpha_9 + e_1 + D \cos \alpha / 2 \\
 f_7: W_X &= H_X - e_2 - D \sin \alpha / 2 \\
 f_8: W_X &= H_X + d \sin \alpha_1 - e \sin(\alpha_5 + \alpha_1) - f \cos(90^\circ - \alpha_6 + \alpha_5 + \alpha_1)
 \end{aligned}$$

$$f_9: W_Z = H_Z + d \cos \alpha_1 - e \cos(\alpha_5 + \alpha_1) + f \sin(90^\circ - \alpha_6 + \alpha_5 + \alpha_1)$$

式中  $f_1$ —— $H_Z$  与室内高  $H_I$  和 H 点至顶盖的距离  $H_{61}$  的关系

$f_2$ ——轴距对  $H_X$  的影响

$X_H$ ——H 点与前轮中心的水平距离

$X_{AHP}$ ——踵点与前轮中心的水平距离

$f_3$ —— $H_Z$  与人体模型腿部尺寸和角度关系

$f_4$ —— $H_X$  与人体模型腿部尺寸和角度关系

$f_5$ ——人体模型的腿部各夹角之间的关系

$f_6$ ——方向盘不与驾驶员腿部干涉约束关系

$f_7$ ——方向盘不与驾驶员躯干干涉约束关系

$f_8$ ——方向盘与踵点的水平距离  $W_X$  和  $H_X$  及人体模型上肢尺寸和夹角的关系

$f_9$ ——方向盘与踵点的垂直距离  $W_Z$  和  $H_Z$  及人体模型上肢尺寸和夹角的关系

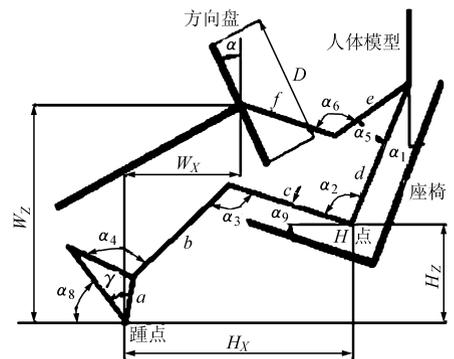


图4 约束关系示意图

Fig.4 Constraint relations

为了说明约束满足问题求解策略,假定上述 9 个公式能够满足求解。在图 5 中,图 5a 为上述 9 个公式的约束网络图,图 5b 为约束网络图的二分图表示。用增广路径法求得二分图的最大匹配,如图 5c 所示。二分图的最大匹配提供了一种判定系统约束状况的方法,如果方程  $f_k$  未获变量匹配,那么  $f_k$  将是冗余的,系统将是过约束的;反之,如果存在某一变量没有约束方程与之匹配,则系统是欠约束的。通过深度优先搜索和拓扑排序算法,去掉各约束之间的相互依存关系,使之只存在单向的因果关系,这样能够找出求解上述约束的可行路径,即图 5d 所示的因果关系图。按照图 5d 所示的求解序列,可依次求解。这是典型的约束满足问题求解算法。

修改后的部分参数为: $H_X$  为 790 mm、 $H_Z$  为 259 mm、 $W_X$  为 446 mm、 $W_Z$  为 612 mm、膝角  $\alpha_3$  为  $129^\circ$ 。如图 6 所示,可以看出,由于设计车身的轴距增大,车身高度降低,造成水平距离  $H_X$  和  $W_X$  增大,垂直距离  $H_Z$  和  $W_Z$  减小。

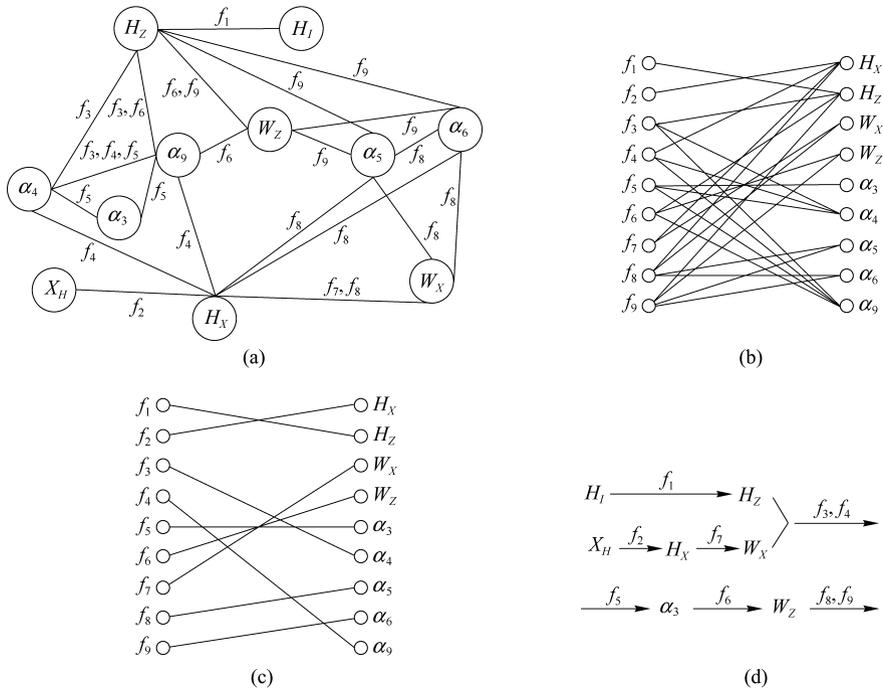


图5 约束网络求解示意图

Fig.5 Solution of constraint network

(a) 约束网络图 (b) 二分图 (c) 二分图的最大匹配 (d) 因果关系图

调用最相似事例的局部约束检查调整结果,如膝角  $100^\circ < \alpha_3 < 135^\circ$ ,符合要求。

### 4 结束语

通过分析汽车车身内部布置过程及设计知识,将事例推理方法应用到汽车车身内部布置。根据车身内部布置的特点,将车身内部布置的约束分为范围、规则和表达式3种形式,并采用面向对象的模型描述;通过扩展传统的对象模型,建立了车身内部布置事例的面向对象表达模型。

通过建立车身内部布置事例的索引对象模型,利用最近邻法检索相似事例。把参数替换和约束满

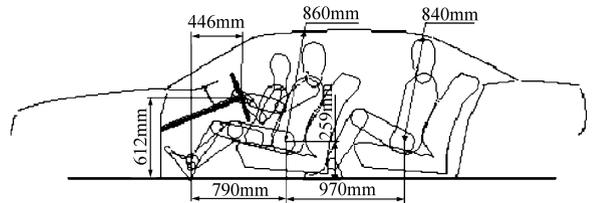


图6 事例修改后的部分布置参数

Fig.6 A part of layout parameters by after case adaptation modification

足结合起来提出了布置事例的修改策略,实现了布置事例的修改。将 VC++ 作为开发工具,以 UG 软件作为图形支撑环境,开发了试验系统。

### 参 考 文 献

- 1 黄天泽,黄金陵. 汽车车身结构与[M]. 北京:机械工业出版社,1992.
- 2 李迪,林忠钦. 概念设计阶段汽车内部布置方法研究[J]. 汽车技术,2004(6):22~25.  
Li D, Lin Z. Study on the automotive interior package method during concept design phase[J]. Automobile Techonology, 2004(6):22~25. (in Chinese)
- 3 Xia Q, Rao M. Dynamic case-based reasoning for process operation support systems[J]. Engineering Application of Artificial Intelligence, 1999, 12(3):343~361.
- 4 Raphael B, Kumar B. Object oriented representation of design cases[J]. Computers and Structures, 1997, 63(4):663~668.
- 5 许之伟,刘文剑. 工艺设计中支持事例推理的扩展对象模型[J]. 计算机集成制造系统,2002, 8(2):115~121.  
Xu Zhiwei, Liu Wenjian. An extended object model for case-based reasoning in process planning[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2002, 8(2):115~121. (in Chinese)
- 6 Judic J M, Cooper J A, Truchot P, et al. More objectives tools for the integration of postural comfort in automobile seat design[J]. SAE Paper 930113, 1993.
- 7 田盛丰. CBR 系统中的相似性计算[C]//第三届中国人工智能联合学术会议论文集. 北京:清华大学出版社,1993.
- 8 Dechter R, Pearl J. Network based heuristics for constraint satisfaction problem[J]. Artificial Intelligence, 1987, 34(1):1~38.
- 9 夏天,吴立军. UG 二次开发技术基础[M]. 北京:电子工业出版社,2005.