

CAD 可听化数据映射算法及其应用研究

张银南¹, 张建荣², 方志刚³

(1. 浙江科技学院信息与电子工程学院, 杭州 310023; 2. 金华职业技术学院机电工程学院, 金华 321007;

3. 浙江大学城市学院信息与电气工程学院, 杭州 310015)

摘要: 听觉是视觉很好的辅助手段, 使用多通道用户界面有利于提高人机交互的效率。可听化是用非语音来表示信息的技术, 可听化正成为一种新的可用于模式识别、数据分析的工具。该文提出 CAD 可听化研究的实现途径, 从工程应用角度总结归纳了适合可听化的 CAD 数据类型, 分析了相应的数据映射算法设计, 在 CAD 机构设计中, 通过设计方案实时运动仿真, 进行运动学和动力学分析计算, 讨论二维连续数据的可听化。

关键词: 可听化; CAD; 算法; 数据映射; 实例

Research of Data Mapping Arithmetic and Application of Sonification on CAD

ZHANG Yinnan¹, ZHANG Jianrong², FANG Zhigang³

(1. School of Information and Electronic Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023;

2. School of Mechanical and Electronic Engineering, Jinhua College of Profession and Technology, Jinhua 321007;

3. School of Information & Electrical Engineering, City College, Zhejiang University, Hangzhou 310015)

【Abstract】 Auditory is an excellent auxiliary way of visual, the efficiency of human-computer interaction is promoted by using multi channels. Sonification is the technology to show information without any sound, and becoming a new tool to identify models and analyze data. The paper provides realizing means of sonification on CAD, concludes that CAD data type is suitable for sonification, and analyzes corresponding design of data mapping calculation. It discusses the sonification on 2D continued data through CAD motion imitate in CAD mechanism design.

【Key words】 Sonification; CAD; Arithmetic; Data mapping; Example

1 概述

CAD 的图形界面给工程师提供一个洞察产品结构和性能的有效途径, 使得虚拟产品的性能得以体现, 工程师不仅看到产品的外形, 还要了解产品的物理性能、设计和制造工艺合理性, 虚拟产品的性能需要有仿真数值计算来支撑, 而数值模拟产生了大量复杂的数据, 为了显示这些数据, 经常需要做一些复杂的用户界面, 同时将多维的信息降解为一维或二维, 提供给用户观察不能从全局视图上观察的数据。

可听化就是用非语音声音信号表达信息, 即为了便于交流和解释, 将所研究领域的数据的联系转化为以听觉信号表现的感觉的联系^[1]。听觉是视觉很好的辅助手段, CAD 设计分析结果的部分信息以可听化进行反馈, 可增加用户接收的信息量, 或者是分流从过多的单纯依靠视觉通道获取的信息量, 减轻视觉通道的负荷, 从而减轻视觉疲劳, 这对一直处于较为紧张设计状态的 CAD 工程师尤为重要。

可听化在工程分析方面, 国内外也有一定应用, 如在有限元分析、流体力学数值模拟等方面。在路维尔大学的 Exvis 计划中, Smith^[2]解决了如何用一维连续信号表达区域或多维数据的问题, McCabe 尝试将计算流体力学数据映射到声音^[3]。

20 世纪 90 年代中后期, 国内有中科院软件所、北京大学、上海交通大学和浙江大学等单位开始对多通道多媒体界面进行深入研究, 如中科院软件所在多通道用户界面开发环

境及三维 CAD 人机对话方面的研究, 北京大学信息科学中心视觉与听觉信息处理国家重点实验室在语音信号处理与听觉计算模型方面的研究; 上海交通大学对三维涡流结构结合视觉听觉触觉的多通道感知方法进行了研究; 浙江大学信电学院进行了可听化应用研究方面的探索。但目前国内外可听化在工程分析上的应用还比较少, 可听化研究还处于起步阶段并且局限于特定领域。本文对可听化在通用 CAD 方面的应用进行了探讨, 提出了一种计算机模拟合成的新方法。

2 CAD 可听化的实现框图

CAD 可听化的体系结构可分为 3 部分: CAD 几何建模及分析仿真, CAD 分析数据及映射, 系统的可听化实现。软件数据分析接口主要有两种^[4]: (1) 显式存在, 可输出结构化的文本文件; (2) CAD 软件提供的二次开发接口, 另外 CAD 软件产生的分析数据转化成声音的数据类型后, 建立数据范围与声音属性间的关系, 根据具体工程数据的类型特点建立线性或非线性的函数对应关系, 改变声音的音调或音色等参数,

基金项目: 浙江省教育厅科研基金资助项目(20061460); 浙江省自然科学基金资助项目(602060)

作者简介: 张银南(1964 -), 男, 硕士、讲师、工程师, 主研方向: 图形图像, CAD 等计算机应用; 张建荣, 硕士、讲师; 方志刚, 教授、博士

收稿日期: 2006-10-11 **E-mail:** zyn96@163.com

选择合理的映射函数,映射声音的合理、舒适性要与工程数据特点相对应,实现单通道或多通道的声音合成。

图1是CAD可听化体系实现框图。可以看出,可听化系统实现的第一步是获取数据,对数据进行预处理;第二步映射关系将数据映射到各种声音的控制维度上,如频率、响度、音色等;第三步产生声音样本;最后通过输出设备播放声音。在可听化设计中,映射是整个系统中的关键。

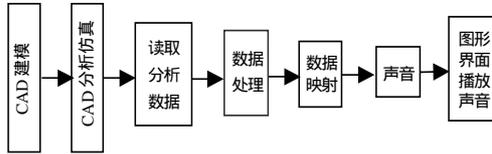


图1 CAD可听化实现框图

3 CAD可听化的适用数据类型

CAD可听化适合对视觉界面的补充,以充分性代替精确性^[5],获得定性的认识,降低CAD设计过程中交互负荷水平,提高理解数据的能力。这里以CAD的技术功能出发,讨论各类典型的CAD分析数据。

3.1 CAD设计分析数据

静态单一的数据,主要有CAD产品的零件和装配体的质量属性,如体积、密度、质量、重心位置、惯性张量等;几何属性如距离、角度、面积、二面角等各类尺寸;装配体中零件间的干涉量、配合间隙等;机构设计中,如齿轮传动中传动比、四杆机构的急回特性系数、曲柄滑块行程等,这些均属于离散的点数据。

CAD中呈动态变化的分析数据,是一维或多维连续数据。如曲线曲率、曲面高斯质量分析,一些自定义的变量分析等。

CAD设计分析数据,无论是点数据还是连续数据,对于视觉反馈受限的场合,因听觉对暂态特性或者随时间的变化特别敏感,利用人耳对微小变化的检测能力和听觉所固有的模式识别能力,可将此类分析数据以可听化显示。如大型装配中零件间运动干涉的分析检查,对于有细小部分干涉的分析结果。

3.2 CAD机构仿真分析数据

CAD机构运动仿真分析,可以实现机械工程中复杂、精确的机构运动分析,在实际制造前利用零件的三维数字模型进行机构运动仿真已成为现代CAD工程中的一个重要方向及研究课题^[4]。

在机构设计中,机构仿真分析所解决的问题有以下几点:位移,速度,加速度,力。它解决零件间干涉、作用力、反作用力等问题。因视觉界面显示维度的限制,用户对产品多种不同性能分析数据的信息获取不方便,可采用听觉显示与视觉显示相结合的方式,可听化可作为一个补充,可以作为某一类数据视觉的有效替代方式。如在机构运动中,某点的运动速度可观察运动速度曲线,而受力分析数据以可听化来实现,以判断是否满足运动和性能要求。

3.3 CAD设计数据的对比分析

CAD的产品设计过程从一定角度上讲,就是修改的过程,为达到设计的功能、结构及加工工艺要求,要进行不断的分析校核。CAD软件强大的参数化功能满足了设计要求,改变某一个或几个参数,对产品的相关性能随着改变,对设计要求与目标要求进行对比,从而调整其影响的相应参数,这就要求能事先判断设计参数与目标参数的符合程度及变化

规律。

4 数据映射

4.1 离散数据映射

CAD数据中,单一静态的分析数据,如零件质量大小、零件之间干涉检查结果,零件拔模斜度超出允许的范围的面积,这些属于无结构离散信息,可用听标或耳标来表示。结构化离散信息,如零件某点3个方向的受力大小,可通过改变耳标的声音参数来构造层次化或序列化的耳标。高维点数据的情况,如2个零件的质量属性中的体积、表面积、质量、惯性张量重心等参数进行比较,可将各参数值映射到声音的几个维度。

CAD可听化的听标或耳标只包含必要的信息,不要使听觉通道过载。在任何给定的应用中,只有少量的信息需要显示,过多的显示信息会导致混乱,使操作人员过载。

考虑到CAD可听化适合作为负荷过大的视觉界面的一个补充,适合对分析效果呈连续变化的、视觉显示相对不明显直观时的情况,故本文CAD可听化的应用研究重点在连续数据的映射。

4.2 连续数据映射

CAD可听化的参数类型很多,要从显示的声音中获得相应的有效信息,声音的多维度特性对表达多维数据很有利,但也使我们在选择维度时无所适从,很大程度上依靠精心设计的数据声音映射,数据维度到听觉维度的映射中有以下3个问题。

(1)维度的选择

需要知道听觉显示的哪一个维度最适合于表示给定的数据维度,CAD连续数据适合表达的数据维度,可以是音量、频率、音色等。人类对频率的变化比较敏感,人耳能听到的频率范围大致是20Hz~20000Hz,频率的最灵敏处在1000Hz~4000Hz之间,微小的频率变动就能被感知;频率在技术上相对于其它参数较易控制和实现,故频率是CAD连续数据可听化设计中的首选参数,其它参数根据具体情况进行选择。

(2)极性

从数据到显示的映射中,哪个方向(或极性)用户更愿意接受。如果映射中频率代表速度,人们会认为频率升高表示速度加快,如果频率代表尺寸,最好以频率升高表示尺寸减小,因为高频声音通常来自较小的物体,如果音量代表受力,最好以音量升高表示受力增大。

(3)比例关系

映射模型设计中关键的一部分是映射函数选取,映射函数是具体的某个数据和某个声音参数间的对应函数关系。怎么样的映射函数最符合人的听觉感受,这没有一个规则或者标准可循,我们只能通过测试多种函数关系来进行比较选择。即数据维度和对应的声音维度之间的比例因子,数据维度和声音维度之间是线性关系还是非线性关系。CAD数据是随机的不确定的,设计师一般事先不清楚其变化规律,我们在CAD实例研究中,均采用线性关系来对应数据和声音参数,这样根据输入的数据,其比例因子由给定维度的范围来确定。

4.3 数据声音映射函数

我们在设计可听化系统中,也必须考虑人机交互的效率和人的舒适度等感受。怎么样的映射函数最符合人的听觉感受,这没有一个规则或者标准可循,只能通过测试多种函数关系来进行比较选择。

实验主要在 MatLab 中完成，MatLab 中的发声函数 sound(y,Fs)可将向量转换为声音。其中的 y 代表声音数据，范围在-1~1 之间；Fs 代表采样频率，应用这个函数可测试采样频率等声音特性。

通过测试几种基本函数图形及其对应的频率随函数规律变化的波形，作为模拟的声音波形；根据 sound(y,Fs)函数，试听各种映射函数关系下的声音效果。 $y=a*f(x)+b$ 代表数据与声音参数间的函数关系式，x 代表数据，y 代表声音参数；如图 2 所示。

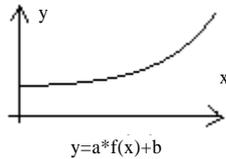


图 2 函数模型

(1)线性函数

一次函数的自变量和参变量间呈简单的线性关系，表现在数据声音映射模型中，即声音参数随数据的增加而均匀增加。用发声函数模拟时，将横轴数据轴变为时间轴，将声音参数选为频率。实验中选用了 $y=1.2*x-0.5$ 的函数关系，函数图形和波形图如图 3 所示。

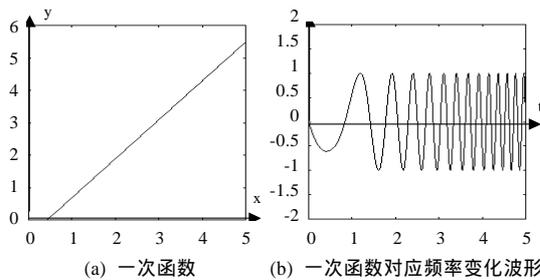


图 3 一次函数及对应波形

(2)几种非线性函数

声音的物理特性与人的知觉特性并不成正比，频率随时间线性变化的声音听起来不是均匀变化的，而且不同人的感觉也有差异。几种非线性映射函数关系，如幂函数、指数函数、阶梯函数、分段函数等。

5 研究实例

在 CAD 机构设计中，通过设计方案实时运动仿真，进行运动学和动力学分析、计算，需考察判断的有相互影响关系的参数较多，下面以四杆机构为例，讨论二维连续数据的可听化。

5.1 四杆机构仿真及分析数据采集

四杆机构如图 4 所示。图中底部的是固定杆，与其它 3 根杆通过铰链连接。曲柄绕铰链作整个圆周转动，是动力输入杆，其余是从动杆件。摇杆的运动是绕固定杆上的铰链来回圆弧摆动，连杆的运动复杂些，有转动和平移。

在对各杆零件进行几何建模后，在 Pro/Assembly 模块中进行装配。完成装配后，进入软件 Mechanism Design Extension(MDE)仿真模块中，将曲柄与固定杆的铰设为驱动动力，设定匀速转动的角速度为 12/s，这样四杆机构运动周期为 30s，顺时针方向转动，进行动态运动仿真，我们要分析的是建立 1 个分析文件 AnalysisDefinition1,定义转轴处的速度和受力 2 个测量参数，输出其运动和动力的参数、连杆与摇杆连接铰处的速度和受力分析。将采集的分析数据另保

存为 .dat 格式的文件，经处理后读入实时声音平台。

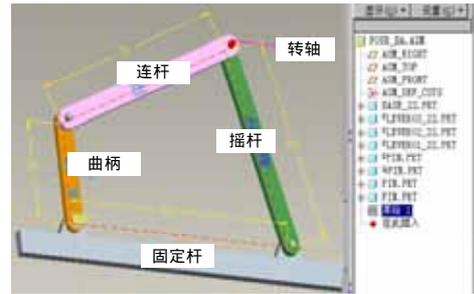


图 4 四杆机构装配图

5.2 四杆机构的数据映射设计

多维连续数据可听化，可以选多通道数据映射，对应多个 CAD 参数，选择多种不同的声音；这里采用多维度数据映射，多个 CAD 参数分别对应一个声音的多个参数，这里将速度和受力分别映射到声音的频率和音量二个维度。

(1)速度大小映射到音调

参数范围：速度大小映射到音调，频率预设定 100Hz~1 200Hz 范围。

映射函数：读入数据后，按线性映射函数，根据输出的速度大小数据，得出表达式 $F(X)=158.205*x+98.11$ ，如图 5 映射关系对话框所示。

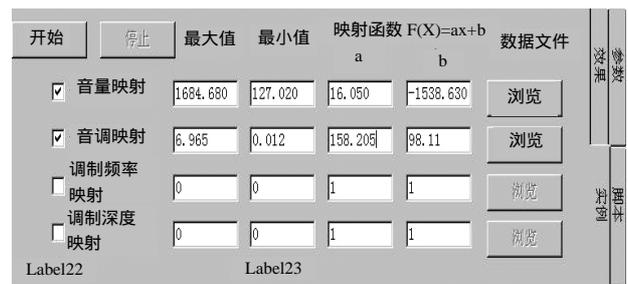


图 5 四杆机构数据映射设计

(2)受力映射到音量的设计

参数范围：将受力大小映射到音量，预设 500 Hz ~25 000Hz 范围。映射函数：读入数据后，按线性映射函数，得出表达式 $F(X)=16.05*x+(-1538.630)$ ，如图 5 所示。

5.3 四杆机构可听化模拟

将声音文件与动画文件，导入 Flash MX 2004，实现实时合成，并设置控制按钮，得到如图 6 所示的可听化模拟界面。

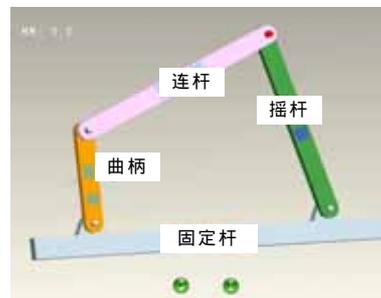


图 6 四杆机构可听化模拟界面

5.4 四杆机构可听化分析

本例的可听化模拟，上述的二种映射方案的结果表示，可听化的效果没有曲线曲率的可视化明显直观，虽然可听化有个学习适应的过程。

使用多维度如频率、强度、音色等声音属性来表示 CAD

的高维数据的不同特征，一个变量的变化可能会影响到对另一个变量的变化的感知。当单个的维度发生变化时，根据方向和持续时间变化，感觉也会不同，CAD 多维数据可听化研究尽量减小各维度之间的相互影响。

6 测试实验与评价

针对实例中不同映射方案及不同变化特点的声音，通过 R-S 测试，从而评估 CAD 可听化可用性，提供一种可行的绩效评估方法。

6.1 测试方法

为检验 CAD 可听化实例的声音，分别从实例中截出一段呈有一定变化规律较明显的声音，时间约 2s 内，测试对其声音各维度变化的判断，根据实例，共设计了 12 个声音，以涵盖映射方案的声音类型，如图 7 所示。



图 7 R-S 测试界面

测试二维连续数据可听化，就音量和音调增大或减小变化，暂不考虑音量和音调变化持平，这样组合成 4 种情况，分别是音量和音调同时上升、同时下降、音量上升音调下降、音量下降音调上升。

测试对象为 22 名在校大学生，男女各半，年龄为 19 岁~23 岁之间，均未受过专业的音乐训练。测试开始前先让被测者明确测试步骤和意义，说明测试声音的个数、种类，要特别强调准确率和正确率并存的期望。

6.2 测试结果分析

编码性测试统计结果，如表 1 所示。表中的统计结果，四杆机构可听化中的二维连续映射中音量与音调呈反向变化的 2 种情况，正确率较低，平均反映时间也略长。整合系统，将几何图形及分析仿真界面、可听化界面，同时提供视觉和

听觉显示，能达到较好的人机交流效果。

表 1 R-S 测试统计结果

实例	菜单	平均正确反映时间 (s)	正确率 (%)
四杆机构可听化	音量音调同时上升	2.802	75.2
	音量音调同时下降	2.719	76.4
	音量上升、音调下降	3.030	68.2
	音量下降、音调上升	3.236	67.8

7 结束语

本文从可听化技术应用和 CAD 工程设计的角度，探讨 CAD 可听化实现的有效方法，适合可听化的 CAD 数据类型，分析了相应的数据映射算法设计，并给出了实例和测试分析。CAD 信息数据种类繁多，尽管进行了系统的归纳分类，但 CAD 的产品设计过程复杂，不同产品的设计要求也不一样，CAD 某一类数据可听化也不能固定映射到声音特定的维度。在本文的应用实例中，可以将映射函数设置为线性函数，CAD 数据变化的程度不一，函数关系的设置要有一定的灵活性，设定各种函数关系以供选择，优化映射方案。通过 CAD 可听化应用研究，对于实现多通道人机界面有着重要的意义，从而为用户提供一个自然、高效的设计环境。

参考文献

- Guo Zhiguo, Guizatdinova I. Sonification of Facial Expressions [EB/OL]. http://www.cs.uta.fi/~grse/NIT_2003/Student_prjs/Guo_Ioulia/ExpressionSonification.pdf.
- Smith S. Stereophonic and Surface Sound Generation for Exploratory Data Analysis[C]//Proceedings of CHI. 1990: 125-132.
- McCabe K, Rangwalla A. Auditory Display of Computational Fluid Dynamics Data[M]. Addison Wesley, 1994: 327-340.
- 王贤坤. 机械 CAD/CAM 技术、应用与开发[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.
- 方志刚, 葛列众. 多通道用户界面的可用性研究[J]. 人类工效学, 1999, 5(1): 18-22.
- 熊光楞, 王 昕. 仿真技术在制造业中的应用与发展[J]. 系统仿真学报, 1999, 11(3): 145-151.
- 孟祥旭. 人机交互技术——原理与应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004-09.
- 鲍劲松, 金 焯. 一种结合视觉听觉触觉的三维涡流结构多通道感知方法[J]. 系统仿真学报, 2002, 14(6): 743-747.

(上接第 230 页)

参考文献

- Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG. JVT-G050-2003 Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification[S]. 2003.
- Jing X, Chau L P. Fast Approach for H.264 Inter Mode[J]. Electronics Letters, 2004, 40(17).
- Chen Z, Zhou P, He Y. Fast Integer Pel and Fractional Pel Motion Estimation for JVT[Z]. http://ftp3.itu.ch/av-arch/video-site/02_12_Awaji:JVT-F017.

- 杨 鹏, 吴 华, 杨士强. 面向 H.264 的快速运动估计算法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2005, 45(4): 501-504.
- Yi Xiaoquan, Ling N. Scalable Complexity-distortion Model for Fast Motion Estimation[C]//Proceedings of International Society for Optical Engineering. 2005: 1343-1353.
- 郭晓强, 门爱东. 视频编码标准的发展: 从 H.261 到 H.264[J]. 世界广播电视, 2004, 18(9): 22-25.
- Joint Video Team (JVT) Reference Software[Z]. <http://bs.hhi.de/~suehring/tml/download>.