

# 知识网格环境

诸葛海

知识网格环境将成为与科学、技术、文化和社会共同演化的人机互联环境。

## 追求知识网格环境的理想

知识网格环境首先是一个自主的人机互联环境。现有的技术如：互联网、网络、知识发现、信息检索、问题回答、人工智能等技术可以为研究和实现知识网格环境提供参考技术，但并非是现有技术的简单叠加。下面的陈述有助于我们了解知识网格环境。

- 知识网格环境≠知识发现+网络；
- 知识网格环境≠知识库+网络；
- 知识网格环境≠分布式知识库；
- 知识网格环境≠分布式数据挖掘。

知识网格环境包括自主的个体，自组织的社区，自适应的网络机制，一个演化的语义覆盖层用来反映个体间的语义关系，实现动态资源共享的流，支持有效资源管理以及能为问题求解和群体创新提供恰当知识服务的机制。

知识网格环境的主要研究对象是其结构和功能、个体间的关系、社区间的关系以及环境与社会经济发展间的关系。它有以下特点：

- 自主性。在微观上，环境中的个体自主地获取、创造和共享知识并根据社会经济发展来运行。在宏观上，个体通过交互和自主的知识共享自组织成社区。
- 演化性。在微观上，组织知识的个体结构（数据模型）自动生成并根据个人知识的增长和多样性向越来越个性化的方向演化。在宏观上，环境的支撑网络的结构可以根据知识共享的互联特征自适应地调整。
- 多学科方法学。方法学的构建要求对互联网、软件系统及其方法学作重新思考，需要结合认识论和本体论来反映人类认识特征，运用多学科（如：管理科学、生态学和经济学原理）研究成果，并吸收互联网发展所产生的技术和方法。

中国科学院计算所知识网格研究组一直致力于追求知识网格的理想。于 2001 年开发出基于 Web 的知识网格系统雏型用于 Web 知识管理和检索，并在 2002 年 5 月发表了知识网格的初步理念 [12]。2004 年 1 月较为全面地阐述了知识网格环境的理念 [15]。同年 12 月出版知识网格领域的第一本专著[16]，较为系统地论述了知识网格方法学及相关技术。2005 年发起系列国际会议 SKG (International Conference on Semantics, Knowledge and Grid, [www.knowledgegrid.net/](http://www.knowledgegrid.net/))，目前已成功举办 3 届，第 4 届将在 2008 年 12 月在北京举行，为推动知识网格领域的形成和发展做出了贡献。2007 年底发表专著《The Web Resource Space Model》[23]。

千里之行，始于足下。近年来我们一直从事知识网格的基础研究，迄今主要研究进展体现在以下方面：

- 资源空间模型——基于分类语义对各种知识资源进行有效组织的规范化的语义数据模型 [16, 23]。
- 语义链网络模型——基于链接语义组织各种知识资源并支持关系查询和关系推理的自组织语义数据模型 [16, 19]。提出资源空间模型、语义链网络模型、数据库和语义互联网本体语言的集成方法，为互联网智能应用提供语义平台。

- 知识流网络——自组织的动态知识共享过程模型 [16, 24]。
- 知识网格方法学——知识网格的科学问题及研究方法 [16]。
- 分散式语义覆盖层——支持分散式智能应用的各种对等网语义索引覆盖层[18, 20, 21, 22]。
- 互联语义学——研究互联网环境中的语义问题。

此外,我们还开展了知识网格在文化和科学研究领域的应用,将理想与现实联系起来。

国家重大基础研究计划 973 “语义网格的基础理论、模型与方法” 于 2004 年正式立项,及时支持了该方向的研究。四年来的实践证明,该项目的实施明显地提升了我国在该领域的国际竞争力。

## 基于 Web 2.0 的知识网格：大规模交互知识互联网

知识网格的实现并不一定需要网格平台、也不一定需要高性能计算机。Web、对等网络和局域网均可作为实现知识网格的支撑平台。Web 1.0 须要信息的发布者用 HTML 来表达,因而它对普通用户来说是一个只读的信息网络。Web 2.0 是一个对普通用户来说可读可写的互联网,它为现阶段实现知识网格提供了一个大规模群体参与的交互式信息共享支撑平台。基于 Web 2.0 构建的知识网格可以实现如下功能:

- (1) 自动聚集关联知识,包括:
  - 根据 Tag、其关联信息和常识自动发现内容之间、知识贡献者之间、知识贡献者与享用者之间,以及知识贡献者与元信息之间的语义关系并用语义链表示出来形成一个内容语义链网。语义链网络模型可以用来对此实施有效的管理。
  - 自动对文本进行聚类从而构建关于内容的分类层次(资源空间模型可以用来有效地管理这种分类内容)。
  - 自动在语义链网络上发现社区结构,特别是语义社区结构。
- (2) 自动收集问题及其解答的知识。
- (3) 基于网络内容语义链网络与关系推理的分布式关系查询。
- (4) 能用关联知识来解释内容、用问题求解知识来解释内容和关联知识、用关联知识来完善补充问题求解知识的机制。
- (5) 信息共享激励机制促使关联知识的不断演化。
- (6) 资源组织结构可扩展并能适应社区语义的演化。这样一种结构与查询间是松耦合的关系。

Web 2.0 将传统知识工程中由知识工程师完成的知识获取工作改变为知识的群体奉献,实现:“我为人人,人人为我”的知识共享理念。

## 知识网格环境中的个体模型

形形色色的个体和群体组成了我们这个世界。60 多年前, Vannevar Bush 提出了 Memex 的理念,一种能够存贮书籍、唱片、各种交流信息并可提供快速灵活咨询服务的设备[4]。通用计算机和互联网的发明基本实现了这个理想。

什么是计算机世界中的个体? 计算机科学家已经运用抽象发明了许多个体模型。面向对象程序设计及其开发方法用对象和类的概念来统一多样的抽象方法、简化复杂客观世界的概念建模过程[3]。在计算机科学的历史中,数据同程序分离是非常重要的理念,它极大地推动了数据结构和算法的研究发展。

图灵奖获得者 Jim Gray 提出了个人 Memex 和社会 Memex 的观念[7]。个人 Memex 能够记录每个人的所见所闻, 并且能够按需快速得到任何所需要的信息。而社会 Memex 可以像领域专家一样准确而迅速地回答关于给定文本(或艺术作品、音乐和电影等)的问题并进行归纳总结。

什么是知识网格环境的个体和群体? 它们的结构和功能是怎样的? 它们是如何产生和演化的? 它们又是如何自组织来完成任务的?

文档是人类知识的主要载体。计算机科学家一直致力于研究如何从文档中提取知识, 但并非易事, 因为大量知识是隐藏于其中的。一个很有趣的方法是在文档形成过程中就将知识从文档中分离出来, 这就需要对文档本身进行重大改进和创新。主动文档框架 ADF 的提出就是一种尝试, 它使文档具备了主动地提供信息服务的基础 [14]。软设备概念的提出是用来对未来互联环境中各种被动或主动的资源进行统一建模的[13]。下面是我们提出的个体模型 ME (“我”, 也是 Memex Extension 的缩写) 的概念:

ME 是一种可配置、自适应和知晓上下文环境的服务机制, 它能模拟各种类型的网络资源, 可以作为分布式网络软件和设备的宿主。一个 ME 可以有选择地继承另外一个 ME 的功能, 并且多个 ME 可以组合成为一个具有丰富功能的新 ME。

目前的搜索引擎(如 Google) 无法根据需求进行功能继承, 因此它们不是 ME。在宏观上, ME 通过互相交流和与人类的交互形成自组织, 从而形成一个不断演化的 ME 的社会。在这个社会中建立起一种竞争机制将会帮助提高其有效性。在微观上, ME 通过信息流来合作完成任务。信息封装在 ME 内部, 因此从 ME 的观点出发, 软件的行为与其结构是一致的。根据这个定义目前的中间件还不是 ME。

ME 模型将成为信息与知识的高级阶段。信息、知识和软件最终将被统一成为 ME。

## “我”(ME) 的世界

ME 是一种能够根据各种用途进行配置的网络服务有机体, 它能自动地寻找需求来主动提供可选的服务, 还能够根据变化做出相应调整。ME 不但能够自主运行还可向其它 ME 提供服务。可配置的特点使得早期的专用计算机发展为能够运行各种软件的通用计算机。配置 ME 类似于安装计算机或打印机。

ME 的世界包括自组织的 ME 社会、需求空间、以及生产者和消费者这两个角色。生产者可以输入 ME 必要的内容并根据新的服务需求对其进行配置。消费者可以享受由任何 ME 以推荐和定制这两种方式提供的服务。ME 可以主动给消费者推荐服务也可以接受用户订制从而提供长期服务(一种服务提供过程)。人们既可以通过输入相关资源的内容来产生 ME 的方式来扮演生产者的角色, 也可以通过发布他们的需求或通过选择和使用 ME 来获得所需要的服务。一个 ME 既可以扮演消费者的角色又可以扮演生产者的角色。ME 能够接受多个提供者的内容定义, 并以一定的代价为多个消费者提供服务。通过使用虚拟机技术[11], ME 可以执行网络上任何计算设备的功能。

如图 1 所示, ME 的组成如下:

- 探测器探测环境的容量和需求空间中的需求、处理非形式的需求并把它们转换为更加规范的形式, 然后在资源空间中寻求解决方案或者自己采取适当的行动。
- 交互界面支持 ME 之间及其组件之间的交互, 它也支持生产者对内容进行定义, 并通过适当的工作流对其它 ME 提供服务。
- 解释器对需求、信息、知识和服务进行解释。
- 内置的工作流使得 ME 根据预先设定的任务进行工作。它们通过协调组件的执行对 ME 进行时间敏感和自适应的操作。

- 推理机制根据知识空间中指定的知识进行推理。解释器解释推理结果并把结果提交给交互界面显示出来。
- 资源空间通过分类语义与关联语义的结合来规范地组织和管理资源[16]。作为一种资源，知识被组织在知识空间中，它支持解释器、探测器和协调器的操作。它也包含用来在变化的情况下对过程进行调整的元知识。元知识有与领域相关的也有与领域无关的。
- 协调器根据组件间的信息流、知识流、工作流以及合作演化和可持续发展的原理对以上组件进行协调。这就需要有一个适当的评估函数对这种协调进行评估。

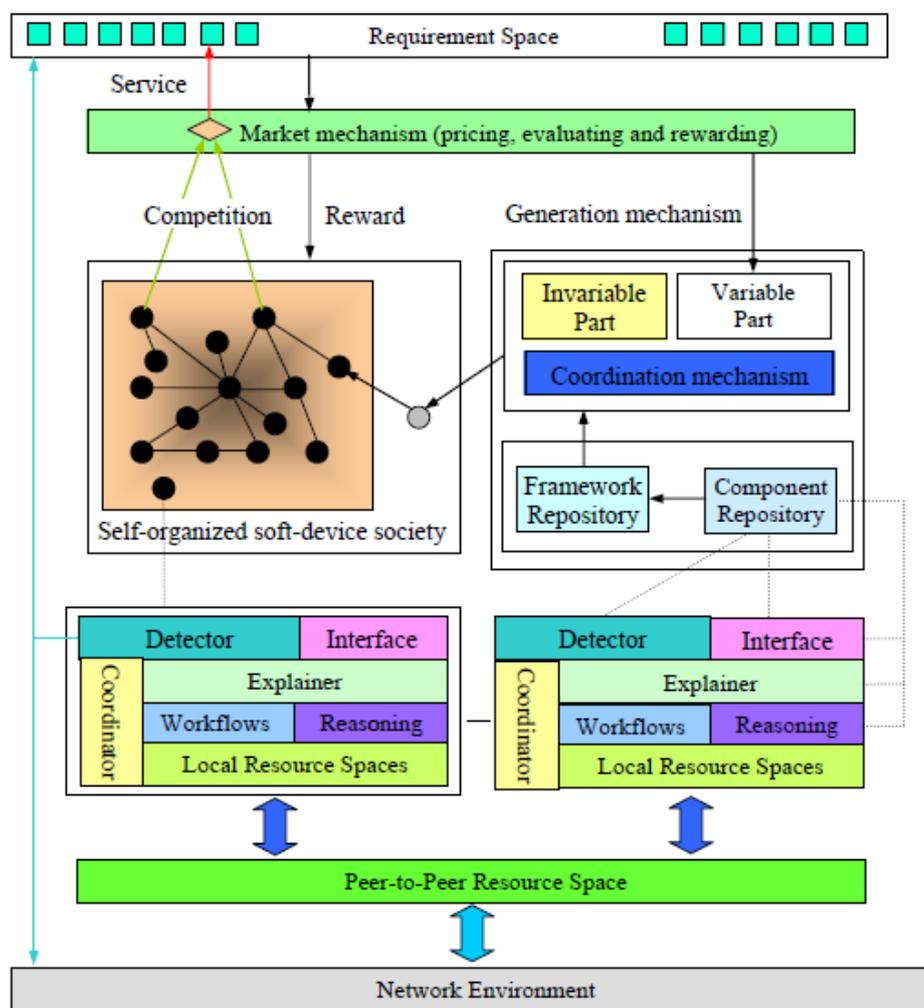


图 1. ME 世界体系结构，对等资源空间由语义上相互链接的本地资源空间以对等方式构成。

在 ME 的世界中没有集中控制，它完全是自主和对等的 [1]。ME 中的局部资源空间由私有资源空间和可供其它 ME 访问的共享资源空间组成。所有的共享资源空间组成了对等网中的全局资源空间，该空间提供了可扩展的资源定位和管理。

应用对需求空间进行初始化并在其中添加需求。发布需求方在市场机制中需要支付费用并且还可以给出需求的初始价格。已经满足的需求将被删除。随着新 ME 的添加和旧需求的删除，需求空间不断的演化。

局部可共享的资源可通过合并或加入到相关的局部资源空间从而得到全局视图来实现共享，在全局视图中资源是统一分类的，这些局部可共享资源还能够通过对等语义链网络中的语义链接被访问。资源的共享在 ME 间建立了共生关系。

ME 的世界可以用五元组  $\langle MEs, Flows, Time, Relations, \varphi \rangle$  来定义, 一个 ME 可看作是在完整性约束条件下资源空间操作过程的封装, 即,  $ME = \langle ResourceSpace, Processes, Constraints \rangle$  或详细地描述为:  $ME = \langle ResourceSpace, Operations, Detector, Interface, Explainer, Workflows, Reasoning, Coordinator, Constraints \rangle$ 。这些过程通过操作探测器、解释器、交互界面、协调器、工作流以及推理机制实现了 ME 的功能。资源空间对信息、知识和满足范式的其它资源进行规范和组织。ME 中定义的过程必须满足约束条件从而确保过程完整性: 一个过程将其结果输出到另一个过程或者输出到资源空间, 也要确保一个过程的输入来自另一个过程或来自资源空间。

为提高效率, ME 的世界需要一种市场机制来对 ME 所提供的服务进行定价、交换、评估和回馈。有时 ME 之间需要通过谈判来达成双赢的解决方案。ME 根据它们之间的关系和服务过程中的交互来自组织。ME 社会随着服务的变化、新 ME 的加入、以及对长期未提供服务的 ME 的淘汰而不断演化。ME 在市场中通过互相竞争来贡献服务并通过服务评估机制获得回馈 (如: 提高声誉等)。社会中 ME 的等级分布在社会规则的限制下或许符合幂律分布[2, 17]。新的 ME 可以通过从 ME 结构库里获取结构然后根据市场机制的需求与可变部分相结合而产生。

## 继承和融合

### 关于继承

继承是生物界的自然现象。遗传信息保持物种的进化, 而遗传信息变异导致物种的多样性。在人类社会中, 继承的社会特征使人类社会区别于动物。法律和道德为婚姻和遗传设定条件, 个体被赋予继承其父母遗产的法律权力。生物学中的遗传是指关于支配性别染色体的基因遗传原理。男性和女性拥有不同的性染色体。演化计算借鉴了这一思想来实现优化求解。作为一种特殊关系, 遗传在人工智能领域也得到广泛研究[10]。

继承在面向对象程序设计中起软件可重用的作用[3]。继承构成类层次, 子类继承超类的属性和方法。子类可以增加变量和方法, 也可以放弃继承的方法并重新为这些方法提供特殊实现。一种观点认为继承只能在类之间发生, 类具有一组对象的相似特征并规定了其实例的结构和行为。另一种观点是原型继承或对象继承, 认为一个原型代表了某些概念的缺省行为, 在基于原型的系统中没有类, 新对象类型通过构建具体的对象直接形成。两种继承类型的差别反映了关于抽象表示的不同哲学观点。基于原型的方法更多的是利用相似而不是分类来观察世界。以往的软件继承机制更适合稳定、局部的环境。如何在动态分布的环境中实现继承机制, 是互联网环境下软件工程所面临的一个问题。

继承是 ME 世界中产生新 ME 的主要方式。不同于上述继承机制, ME 继承本质上是动态的, 这归因于 ME 持续不断地演化。不同时期从同一 ME 继承的 ME 可能会有所不同, 并且新 ME 也将演化。

根据需要, 可以通过如下操作产生新的 ME:

- **融合**, 用  $\oplus$  表示, 它通过  $ME \oplus ME' = \langle ResourceSpace \otimes ResourceSpace', Operation \cup Operation', Processes \cup Processes', Constraints \vee Constraints' \rangle$  产生新的 ME, 其中  $\otimes$  是两个资源空间的连接或融合[16];  $\cup$  是两个操作集的合并, 也表示两个过程的融合, 如: 对于过程输入域中的任意输入  $\xi$  有  $processes(\xi) = processes \cup processes'(\xi)$ ; 且  $Constraints \vee Constraints'$  是对两个限制条件的逻辑或运算。

$ME \otimes ME' = \langle ResourceSpace \otimes ResourceSpace', Operation \cap Operation', Processes \cap Processes', Constraints \wedge Constraints' \rangle$ .

- **约简**, 它将根据资源空间、操作和过程约束来产生新的 ME。
- **继承**, 通过现有 ME 来产生新的 ME, 可表示为:  $New.ME \rightarrow ME$ .  $New.ME = \langle ResourceSpace \otimes \Delta ResourceSpace, Operation \cup \Delta Operation, Detector \cup \Delta Detector, Interface \cup \Delta Interface, Explainer \cup \Delta Explainer, Workflows \cup \Delta Workflows, Reasoning \cup \Delta Reasoning, Coordinator \cup \Delta Coordinator, Constraints \wedge Constraints' \rangle$ 。
- **多继承**, 允许一个新的 ME 继承两个或多个 ME, 可表示为:  $New.(ME' \otimes ME'') \rightarrow ME' \otimes ME''$ .  $New.(ME' \otimes ME'') = \langle ResourceSpace' \otimes ResourceSpace'' \otimes \Delta ResourceSpace, Operation' \cup Operation'' \cup \Delta Operation, Detector' \cup Detector'' \cup \Delta Detector, Interface' \cup Interface'' \cup \Delta Interface, Explainer' \cup Explainer'' \cup \Delta Explainer, Workflows' \cup Workflows'' \cup \Delta Workflows, Reasoning' \cup Reasoning'' \cup \Delta Reasoning, Coordinator' \cup Coordinator'' \cup \Delta Coordinator, Constraints' \wedge Constraints'' \wedge \Delta Constraints \rangle$ 。

ME 在时间、继承性和多样性这三个维度上演化。ME 的继承层次随需求和自身状态的变化而随时间不断变化, 这种变化可导致其后代的社会状态的变化, 也会产生新的后代。像人类社会一样, 由 ME 构成的社会随社会和市场规则演化, 因为他们也需要和谐共存和发展 [13]。在市场机制中, ME 之间的继承具有如下社会特征:

- 演化的 ME 总是倾向提高其在社会中的等级;
- 等级较高的 ME 在拥有等级较高的后代方面占优;
- 如果 ME 社会的自组织选择自由竞争机制, ME 总是倾向使其市场利益最大化。
- 如果 ME 社会的自组织选择利他机制, ME 总是倾向使其声誉得到提升, 帮助他人可以更容易地获得他人的帮助。

## 自组织、自适应性

自组织在万维网结构、万维网服务和智能主体等方面得到了研究 [2]。相关的观念包括 J.V. Neumann 提出的自复制自动机, SYSER 系统 (SYstem of SElf-Reproduction, <http://pespmc1.vub.ac.be/>) 和多主体 [5]。ME 由演化的服务空间和需求空间以及继承、知识和信息流来自组织 [16]。

ME 之间互相竞争, 根据探测的需求提供服务并得到回馈。为了保证竞争的公平性, 需要建立一种市场机制用于选择 ME 并且符合逻辑地组织 ME 以满足需求。一个提供服务的 ME 也可以在需求空间中提出需求来得到其它 ME 所提供的服务。

信息和知识在 ME 之间流动以加强协同行为。在一个大规模的 ME 世界中竞争导致 ME 之间的等级分布的不平等性。了解分布法则有助于制定路由策略以增强信息和知识流的效率。信息和知识流的驱动力是所有参与的 ME 的利益。在信息和知识流网络中, ME 的影响表现为它们做出决定参与市场竞争的社会因素。

一个 ME 需要做出决策以便在其生命周期内按照 ME 世界中的生存法则存活下来。做出的决定需要能够惠及个体和群体。为了使利益最大化, 一个 ME 需要改进其自身功能, 符合社区的变化。决策需要考虑下面几个因素:

- 调整的代价——从提供服务到获得利润的时间以及提出需求并获得其它 ME 服务的代价。
- 市场份额和趋势——根据市场信息和竞争来确定进行调整的机遇。
- 利润——根据可能的市场份额和调整所需代价对利益进行评估。

决策的结果是实现新功能的规范。协同机制将根据调整的目标重新组织其功能。

## 文化知识网格

### 让壁画飞天动起来

敦煌石窟文化是东西方文化在古代丝绸之路上的融合。ME 可以用来表现敦煌洞窟文化的内容。图 2 表示了通过 ME 间的协作来实现敦煌飞天动画的过程。使用一个三维资源空间来规范动画场景和各个 ME 的状态。相比之下, 如果使用关系数据模型来规范动画场景, 我们将需要大量的关系表, 而且还需要维护表与表之间的一致性。使用资源空间模型还可提供对动画场景和本地资源的全局视图。

语义链用来建立角色间的关系, 比如: 哪些角色(飞天)与哪些角色(荷花)可以共现, 哪些音乐可以配哪些场景和内容, 从而使得 ME 能选择恰当的表现形式。

ME 须显示画中的飞天、控制显示形状的大小、随时监测自己目前的位置和其它飞天的位置从而与其它 ME 保持协作、不断调整运动模式来协同表现一个场景。人可以通过鼠标的点击和键盘输入来与 ME 交互、了解相关的故事、历史演进和文献资料。

在展示内容时, 资源空间可以帮助解释内容的分类, 语义链可以解释内容间的关系, 还可以推出隐含的关系。这可以帮助人们了解、学习文物的来龙去脉及相互关系。语义链可以由不同的人(群)来建立, 大家共用一个像 ACM CCS 一样的概念层。在建立大规模文物间语义关系后还可以帮助考古发现, 因为人很难在复杂的文物网络中发现两个没有直接关系的文物间的关系。

动画的第一步需要系统设计者来决定画中的角色、它们与其它角色间的关系、以及与洞窟文档间的关系。以下是两个基本的语义链定义操作: 在现有的结点间加一条语义链, 将一个资源链接到一个现有结点。当然, 这些关系的定义可以是不完备的。设计者用一般的规则和对动作角色的约束条件来配置 ME。

动画可以通过以下两种方式实现:

- 给定一个脚本来规定 ME 的行为;
- 给定一个最终状态的描述, 让参与动画的 ME 根据一些基本规则(如: 对称原则、均匀原则、运动规律、避免重叠等), 它们的知识以及他们对当前场景的理解自主地表演。

为了提高观赏性, 领域专家根据实际意义和美学标准来评估动画表演, 并给出他们的反馈意见, 作为 ME 根据经验学习到的补充规则和约束。每一个 ME 都表现演出模式, 并探测演出模式来判断他们是否能在当前的语义空间解释得通、是否简单可行。我们正在做的一个工作是如何自动评价一个演示过程是否能给人带来美感, 据此指导 ME 的演示过程。

新的 ME 可以通过继承已有的 ME 得到。这些动态继承关系构成了 ME 社会, 也构建了文化演化的基础。

图 3 是飞天壁画自主动画的环境。左侧界面可以让用户通过点击和拖动来干预个体飞天的位置。右侧界面可以让飞天根据表演规则和屏幕上的分布自主地表演。

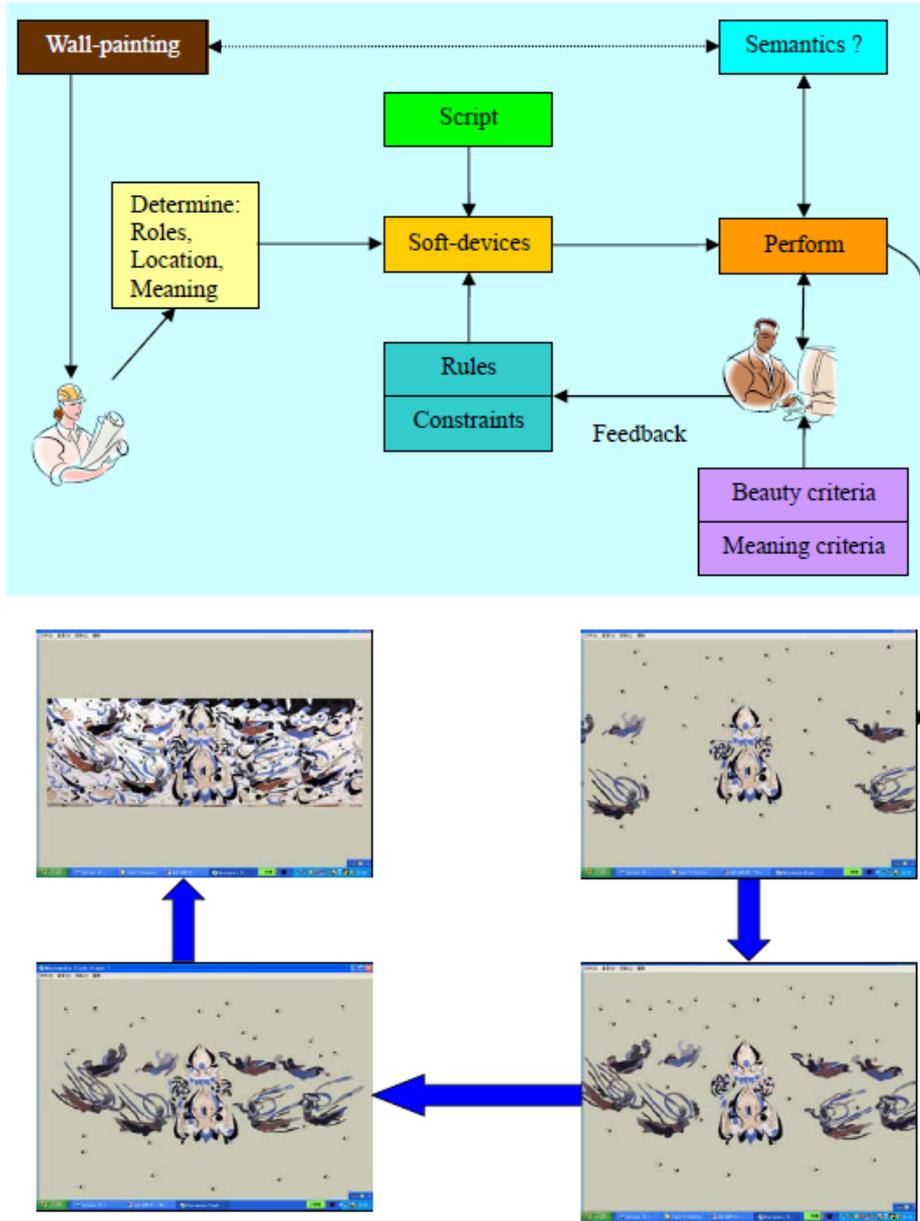


图 2. 敦煌壁画的自主动画过程示意。

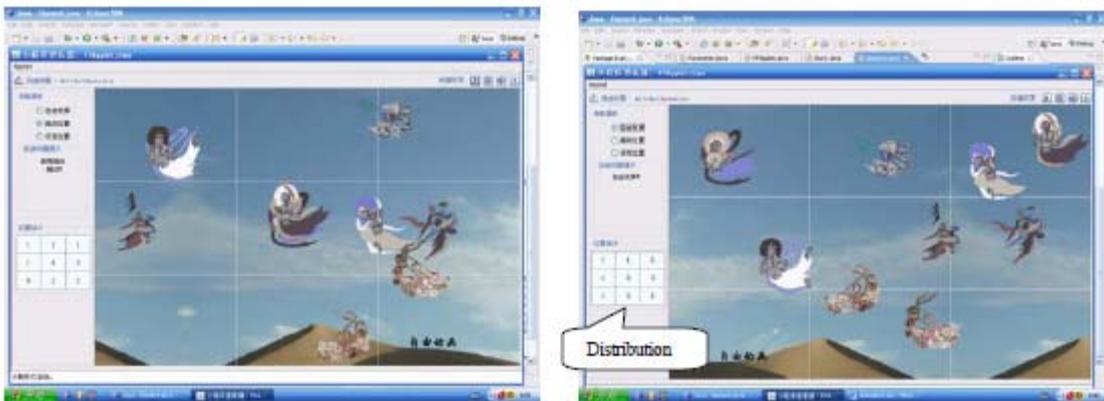


图 3. 飞天艺术的自主动画系统（知识网格研究组博士生杜攀帮助开发了该系统）。

## 文化的表现与继承

壁画通常说明一个故事并反映古代文化。图 4 显示了一个基于互联网的敦煌壁画表现系统，画中的角色可以像演员一样表演，同时配有音乐。当用户点击它们的时候，他们还可以自我解释。用户可以点击左下端的按钮来获得当前场景的解释、查询本地资源空间、搜索网络从而获得更多的信息，搜索结果将会被分类并存储在本地资源空间中以备后用。

壁画的场景可以看作是一个通过多个 ME 组合而成的 ME。场景间的 ME 继承关系蕴含着不同朝代文化之间的继承关系。场景 ME 通过语义空间和一个操作集来描述。语义空间是正交的多维语义空间和语义链网的协同： $SemanticSpace = \langle \langle Author, Dynasty, Actors, Content, Cave, ResourceType, ArtifactType \rangle, \langle LinkToScenes, LinkToResources, LinkToStory, LinkToReality, LinkToKnowledge, SemanticRelationship \rangle \rangle$ ，其中资源类型  $ResourceType$  可以是文本、图像、视频和音频。文物类型  $ArtifactType$  是指建筑、彩塑和壁画。操作包括移动  $Move(\text{from} \langle x_1, y_1, x_2, y_2 \rangle \text{ to} \langle x_1', y_1', x_2', y_2' \rangle)$ 、解释  $Explanation(resource)$ 、旋转  $RotateAt(\langle x, y \rangle)$ 、缩小  $ZoomIn(\langle x, y, rate \rangle)$ 、放大  $ZoomOut(\langle x, y, rate \rangle)$  和聚焦  $Focus(\langle x, y, Radius \rangle)$ 。

文化通过文化元素和结构来表现。文化继承可以聚焦于某些特征上。对于描述场景的两个特征集  $A$  和  $A'$ ， $A = \langle \{Color, Style, Layout, Architecture, Skill\}, Time \rangle$  和  $A' = \langle \{Color', Style', Layout', Architecture', Skill'\}, Time' \rangle$ ，如果颜色  $Color$ ，风格  $Style$ ，布局  $Layout$  和结构  $Architecture$  与  $Color'$ ， $Style'$ ， $Layout'$  和  $Architecture'$  分别相似，并且  $A'$  在  $A$  之后创立（即  $Time' > Time$ ），那么我们可以说  $A'$  继承了  $A$ 。

判断文化继承关系的关键是发现相应特征之间的相似性。以下规则可以帮助我们发现：

- 颜色： $A$  中出现的用来描述  $Y$  的颜色  $X$  也在  $B$  中出现以描述  $Y$ 。
- 风格： $X$  的形状与  $Y$  相似，如果它们在几何形状上相似。
- 布局： $X$  的布局与  $Y$  相似，如果它们之间存在一个同构。
- 架构： $X$  的结构与  $Y$  相似，如果它们之间存在一个同构。
- 工艺： $X$  的工艺与  $Y$  相似，如果它们实现相似的结构或者布局。

社会主体和艺术品之间的交互形成了以下文化网络：

- 艺术品参考网络 —— 一个由观赏自然和艺术品形成的网络，书写关于艺术品的文献（通常包括艺术品的图片和描述）、引用或者评论艺术品的文献。
- 艺术品语义链网络——艺术品元信息之间的语义关系网。艺术品的属性可通过所连接的语义链和相关艺术品元信息的语义关系大致推断出来。
- 艺术品价值网 —— 艺术品间以及人与艺术品间的互相影响构成了艺术品价值网。以下因素影响一个艺术品的价值：相关艺术品的价值（如：同一个作者的作品、同一个时代的作品等），评价者的定价及其权威程度，引用、读者或鉴赏者的数量。

由文化 ME 组成的世界可以采用一种市场选择机制来解释文化演化中文化选择机制的合理性。例如，朝代演化过程中文化特征的发生次数就可以作为一个选择标准。研究飞天壁画的动画交换式展示可以帮助我们在时间的长河中理解现实世界中文化的形式、内容和及其创造，人们如何从中获益，以及激发思索知识网格环境中的文化——载体、形式、创造和演化。

目前，知识网格研究组还在继续完善敦煌文化知识网格，深入研究相关的理论和方法，要实现知识网格的理想尚需长期不懈的努力。

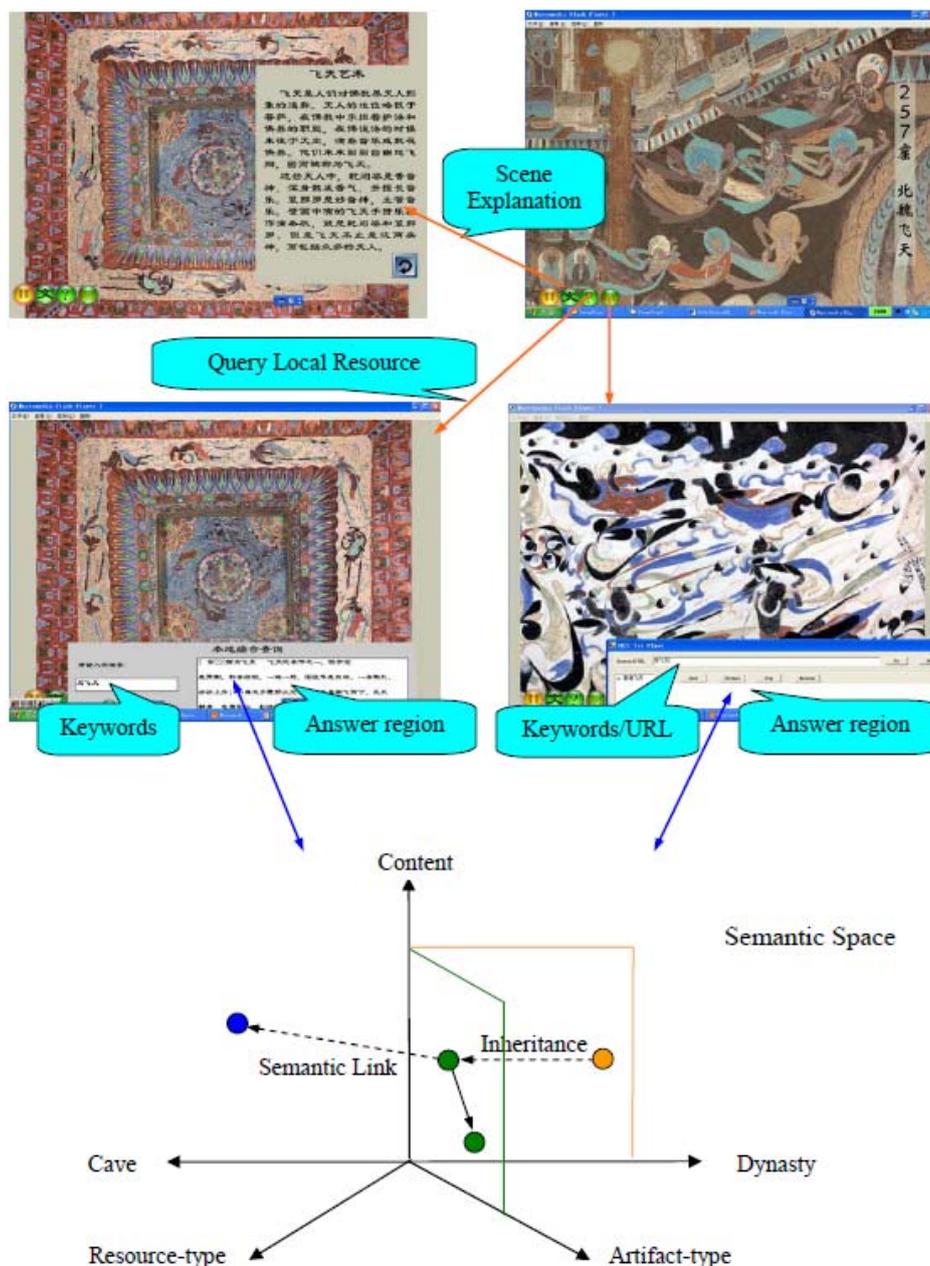


图 4. ME 可以通过与用户的交互来解释内容。从互联网获取的相关内容通过处理、聚类后被存贮在资源空间中以提高检索效率。知识网格研究组研究生王建增帮助开发了该系统。

## 总结

知识的有效共享一直是人类所面对的重大科学问题。知识工程的研究在上世纪 80 年代就成为研究热点, 涉及知识获取、知识表示和知识推理。1994 年的图灵奖授予了倡导知识工程研究的 E. Feigenbaum。知识工程所关注的主要问题是静态知识库系统为中心的知识共享, 即, 人(知识工程师)需要将人(专家)的知识形式化并存储到知识库系统中为人(用户)提供知识服务。

互联网应用的分散式、自主性、动态性和社会性对传统的知识共享提出了挑战。在知识网格环境中, 知识流将实现动态、自主的知识共享。它不仅使人与人之间的知识共享更为便

利、有效,而且人与知识载体、知识载体与知识载体之间也可实现知识共享。

作为知识网格环境中可配置、自适应、具有语境感知能力的有机体,ME根据社会学和经济学原理自组织地执行运行,并确保其简单性、多样性和有效性。ME之间的继承性使得在一个演化的环境中产生新的ME。

ME模型本身也可看作是一种知识模型,能够主动地探测问题,继承并融合其它ME的知识,并获取解决问题所带来的回报。面向服务的结构在微观上支持ME间的交互 [6, 8]。由于ME模拟环境中所有的个体和行为,知识网格环境中文化的形式、多样性及其演化值得进一步探索。

集中式、分散式和个性化资源管理模型支持知识网格环境实现多样化的资源管理模式,知识网格环境将发展成为一个自主的、和谐发展的人机互联环境 [17],与科学、技术、文化和社会共存并一起得到可持续发展。

## 参考文献

1. H. Balakrishnan, et al. Looking Up Data in P2P Systems. *Communications of the ACM*, 46 (2) (2003) 43-48.
2. A.L. Barabási, and R. Albert, Emergence of Scaling in Random Networks. *Science*, 286, (1999) 509-512.
3. G. Booch, Object Oriented Design with Applications, Redwood City, Calif.: Benjamin/Cummings Pub. Co., 1991.
4. V. Bush, As We May Think, *Atlantic Monthly*, July, 1945.
5. J. Ferber, Multi-Agent Systems: an Introduction to Distributed Artificial Intelligence, Harlow: Addison Wesley Longman, 1999.
6. I. Foster, Service-Oriented Science, *Science*, 308(5723)(2005) 814-817.
7. J.Gray, What Next?: A Dozen Information-Technology Research Goals, *Journal of ACM*, 50(1), (2003) 41-57.
8. T.Hey, and A. E. Trefethen, Cyberinfrastructure for e-Science, *Science*, 308 (5723) (2005)817-821.
9. A. Taivalsaari, On the Notion of Inheritance. *ACM Computing Surveys*, 28, 3 (1996) 438-479.
10. L. Morgenstern, Inheritance Comes of Age: Applying Non-monotonic Techniques to Problems in Industry. *Artificial Intelligence*. 103 (1998) 1-34.
11. J.E. Smith, and R. Nair, The Architecture of Virtual Machines, *IEEE Computer*, 38 (5) (2005) 32-38.
12. H.Zhuge, A Knowledge Grid Model and Platform for Global Knowledge Sharing. *Expert Systems with Application*, 22(4) (2002) 313-320.
13. H.Zhuge, Clustering Soft-Devices in Semantic Grid. *IEEE Computing in Science and Engineering*, 4 (6) (2002) 60-62.
14. H.Zhuge, Active e-Document Framework ADF: Model and Platform, *Information and Management*, 20 (43) (2003) 1-11.
15. H.Zhuge, China's e-Science Knowledge Grid Environment, *IEEE Intelligent Systems*, Jan./Feb, 2004, pp.13-17.
16. H.Zhuge, The Knowledge Grid. *World Scientific Publishing Co.* Singapore, 2004.
17. H.Zhuge, The Future Interconnection Environment, *IEEE Computer*, April, (2005) 27-33.
18. H.Zhuge, X.Sun, J.Liu, E.Yao and X.Chen, A Scalable P2P Platform for the Knowledge Grid,

*IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 17 (12) (2005) 1721-1736.

19. H.Zhuge, Autonomous Semantic Link Networking Model for the Knowledge Grid. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 7(19) (2007) (1065–1085).
20. H.Zhuge and X.Li, Peer-to-Peer in Metric Space and Semantic Space, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 6(19) (2007) 759-771.
21. H.Zhuge, X.Chen, X.Sun and E.Yao, HRing: A Structured P2P Overlay Based on Harmonic Series, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, 19, (2) (2008) 145-158.
22. H.Zhuge and L.Feng, Distributed Suffix Tree Overlay for Peer-to-Peer Search, *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, 20, (2) (2008) 276-285.
23. H.Zhuge, *The Web Resource Space Model*, Springer, 2007.
24. H.Zhuge, Discovery of Knowledge Flow in Science, *Communications of the ACM*, 49 (5) (2006) 101-107.



诸葛海。中国科学院计算技术研究所知识网格研究组研究员，国家重大基础研究计划973“语义网格的基础理论、模型与方法”项目首席科学家。《The Knowledge Grid》和《The Web Resource Space Model》的作者。IEEE和CCF资深会员。IEEE Intelligent Systems 编委。个人主页：[www.knowledgegrid.net/~h.zhuge](http://www.knowledgegrid.net/~h.zhuge)。Email: [zhuge@ict.ac.cn](mailto:zhuge@ict.ac.cn)。