

按需智能问答系统 Uniponse

曾承^{1,3} 陈桂生² 杜钢¹ 林晨¹

(武汉大学软件工程国家重点实验室 武汉 430072)¹ (中国电子系统工程研究所 北京 100141)²

(清华大学软件学院 北京 100084)³

摘要 现有的智能问答系统(IQAS, Intelligent Question-Answer System)局限于针对简单问题寻找最适合的答案,无法满足用户日益复杂的个性化问题要求。基于需求元描述框架 RGPS,经过需求识别、需求分析和需求验证等手段,将用户的个性化问题转换为一种问答服务需求,然后通过动态挖掘 Internet 上软件服务所构成的服务管理库,并结合基于服务关系网络的流程服务组合思想,最终形成能够回答此类问题的智能问答服务。构建了面向交通领域的按需智能回答原型系统 Uniponse,验证了上述方法的有效性和可行性。

关键词 Uniponse, Web 服务, RGPS, IQAS, 本体

Intelligent Question-answer System Uniponse Based on Requirement

ZENG Cheng^{1,3} CHEN Gui-sheng² DU Gang¹ LIN Chen¹

(State Key Lab of Software Engineering of Wuhan University, Wuhan 430072, China)¹

(Institute of Electronic System Engineering, Beijing 100141, China)² (School of Software of Tsinghua University, Beijing 100084, China)³

Abstract The current intelligent question-answer systems(IQAS) are restricted to find the best answer for a simple question. They are unable to meet increasingly complex personalized question-answer demands of users'. This paper transformed the user question to question-answer service requirement based on the requirement meta-description framework RGPS, which passes through requirement recognition, requirement analysis, requirement verification and so on. Then a local services database constructed by dynamically mining software services in internet was used to generate the intelligent question-answer service, which could answer some similar questions, with process services composition technology based on services relationship network. We developed an IQAS Uniponse in the traffic domain which verifies the effectiveness and feasibility of our method.

Keywords Uniponse, Web services, RGPS, IQAS, Ontology

自 1966 年 Joseph 实现了第一个问答系统 Eliza^[1]以来,人们就一直在探索能够让机器帮助回答人所需信息的技术。发展至今,问答系统的智能化程度越来越高,并已演化为以下 3 大分支:

(1) 基于关键字的问答系统

这类系统以知道、爱问、奇虎等为代表,利用 IR 领域中成熟的关键字及其相关技术,抽取网页中与用户问题相近的内容间接回答;或者靠群体力量构建问答知识库,通过 FAQ 技术寻找最匹配的问题答案。很多学者围绕此类系统展开研究并取得了一定进展,如文献[2]通过构建词-句语义空间,提出基于潜在语义分析的问答匹配度方法;文献[3]抽取问题特征集、答句特征集和组合特征集作为分类特征,结合最大熵模型和支持向量机实现答案自动分类;文献[4]将词语概念描述分解为属性和语义角色两部分,通过加权计算词语相似度;文献[5]基于关键字重叠率、密度、信息检索反馈、回答频率等 6 种特征,研究跨语言的问答排序问题。

(2) 基于自然语言的问答系统

自 1991 年 Loebner 奖设立以来,许多基于自然语言的聊天式问答系统相继问世,如支持知识库扩展的 Alice、提供在线语音问答的 Talk-Bot、提供跨语言问答的 Jabberwock、能够自我学习的 Niall 以及 2008 年的最佳得主艾尔伯特等。这些系统以模式匹配相关方法为核心,通过用户问题理解、用户问题学习、答案合理性分析等技术,实现问题的巧妙回答。此外,文献[6]通过人机对话,挖掘用户情绪,自适应地调整网页中的音视频内容作为回答,延伸了问答系统的应用外延。

(3) 基于语义网的问答系统

2004 年 McGuinness^[7]指出了语义网对于问答系统发展的推动作用,尤其是本体的引入,提高了问题的理解、答案的分析、知识库的构建等环节语义描述的精确性以及问答系统的智能性。陆汝钊院士主持开发的“Pangu”将自然语言理解与语义网相结合,是问答领域的典型代表;中科院开发的“知网”,提供了一个庞大的知识库,为大型智能问答系统的实现奠定了基础;张^[8]等人通过构建用户 profile,并结合本体,实现了移动平台上的个性化问答系统。

到稿日期:2010-02-05 返修日期:2010-06-05 本文受国家 973 项目(2007CB310802),国家教育部博士点基金(20070486064)资助。

曾承 男,博士,副教授,CCF 会员,主要研究方向为跨媒体信息检索、服务计算、数据库;陈桂生 男,博士,高级工程师,主要研究方向为不确定性人工智能、自然语言处理、复杂网络、云计算;杜钢 男,本科生,主要研究方向为云计算;林晨 男,本科生,主要研究方向为云计算。

值得一提的是,文献[9,10]将语义 Web 服务应用于问答系统,针对每个用户问题寻找一个合适的 Web 服务用于回答;文献[11]通过用户指定的 Web 服务集,自动生成服务组合树,然后利用数据库领域的查询优化技术,寻找最优的服务组合路径,实现跨领域 Web 查询。该文并非针对问答领域,但其思想对于智能问答技术的发展具有借鉴意义。

以上 3 类系统中,第一类的特点是系统并不理解问题及答案的真正含义,而仅提供一个异步式提问解惑的途径,并且它们完全依赖于预先构建的问题-答案关联库。第二类系统在与用户交互过程中,侧重于谈话技巧和程序技巧,而非常识,从而回避领域知识库问题,但其返回的内容往往不是用户所需的答案。第三类系统通过语义网相关技术提高问答系统的语义性,并有效利用 Web 服务回答问题,省去了知识库维护的任务,但仅局限于某类应用,并没有从软件构造方法学的角度给出生产这类软件服务的一般思路,无法按需满足复杂、个性化的用户提问。

与以上问答系统旨在回答当前用户问题的目标不同,本文将用户的提问视为一种 QA(Question-Answer)需求。基于需求元描述框架 RGPS,并结合利用本体构建的领域模型,系统根据 QA 需求在互联网上搜寻与当前问题相关的 Web 服务集,通过事先构建的 Web 服务关系网络,动态组合这些服务,生成能够回答与当前提问相关的一类问题的 QA 服务。若其他用户提出相似问题,可直接调用该 QA 服务进行回答,或者在其基础上进行一定调整,生成能够回答相近问题的新 QA 服务。为了验证此方法的可行性,本文搭建了一个面向交通领域的按需智能回答原型系统 Uniponse,其整体框架如图 1 所示。

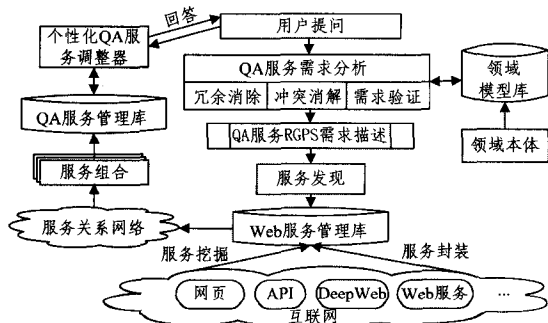


图 1 按需智能回答原型系统 Uniponse 框架图

1 QA 需求分析

在现有的 IQAS 中,许多用户可能提出相同或相近的问题,FAQ 技术的蓬勃发展证明了该现象存在的普遍性。因此,本文提出 QA 服务的概念,即为一系列相近问题生成一个共用的基于 Web 服务松散耦合的软件服务,用于回答此类问题;并且能够演化更新,快速改变其适用的问题范围。例如,用户 a 提问“从天安门到鸟巢怎么坐车?”,系统搜寻提供 GIS 的 Web 服务,并生成一个 QA 服务 S_i 用于回答;若用户 b 提问“我在王府井,到北京大学怎么乘车?”,则可以直接调用 S_i 回答。然而,当用户 c 提问“若天气晴朗,如何从西直门乘公交到颐和园?若下雨,如何到军事博物馆?”,此时的问题范围发生了变化,且存在逻辑性信息传递,需要组合一个天气预报 Web 服务,并基于其结果共同回答该问题。由此可见,构建

QA 服务的首要问题是如何将用户的提问转换为 QA 需求。

1.1 RGPS 需求元描述与领域模型

RGPS 是软件服务需求的一种形式化描述框架,包括角色(Role)-目标(Goal)-过程(Process)-服务(Service) 4 个层次的元模型及其之间关系的元模型,它即将成为国际 ISO 需求描述标准。R 层描述需求问题空间中组织、角色、参与者及其之间的交互。G 层刻画对用户提出问题的目标进行逐层精化的过程,并确定目标之间的相互约束关系。P 层描述用来达成目标所需的 Web 服务的逻辑过程,即组合关系,定义了过程的控制结构、输入/输出以及前置/后置条件。S 层聚集了所有涉及的 Web 服务的抽象描述,以用于搜寻实际的 Web 服务。关于 RGPS 的详细介绍可参考我们早期的论文^[12]。

本文基于 RGPS 框架,并结合一个包含 1100 个概念及关系的领域本体,构建了交通领域模型,即系统覆盖的所有 QA 服务涉及的全部角色、目标、过程、服务,以及针对整个领域同层或跨层之间交互的共性信息集合,通过层次化网状图的形式呈现。它类似于一个特定领域的需求知识库。随着系统中 QA 服务的增加或调整,领域模型也将随之更新。

1.2 基于 RGPS 的 QA 需求识别

本文支持类自然语言的用户提问方式,其关键技术问题是如何将这种无结构化信息转换成半结构化的 RGPS 需求描述。本文采用 SORL^[13] 作为用户问题向 QA 需求过渡的桥梁。它与传统自然语言理解技术的预处理过程类似,区别在于分析的目标是利用领域知识识别出可能存在的 R(角色)和 G(目标),并通过冗余消除和冲突消解机制来删除重复或不合规范的 R 和 G,然后利用领域模型,推导出对应的 P(过程)和 S(服务),从而形成针对当前个性化问题的 QA 需求描述。QA 需求识别过程如图 2 所示。

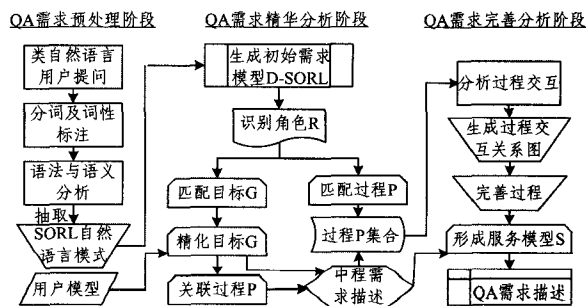


图 2 QA 需求识别过程示意图

此外,本文为每个用户创建了一个三元模型: {兴趣偏好, 历史 QA 需求, 系统记录}。其中,兴趣偏好是传统个性化领域所涉及的用户属性;历史 QA 需求记录了用户曾经提出的自然语言问题及相应识别出的 RGPS 需求描述,它们可用于分析该用户的问题关注范围,以提高需求识别的精度;系统记录包括用户使用过的 QA 服务操作日志及使用后的评价、获得的推荐服务等,用以显式或隐式地挖掘用户特征。用户三元模型在需求识别过程中,能够通过约束或扩展等方式精化需求目标,从而影响逻辑流程,是提供个性化 QA 服务的基础。

实际上,对于任何一个 QA 需求的描述,它都是领域模型的一个子集或其近似形式,以 owl 格式存储。那么,我们能够通过半结构化数据的相似性算法实现以下操作:计算系统记录的不同用户不同 QA 需求之间的相似性大小,甚至基于这

些相似值进行 QA 服务聚类,以发现整个用户群的问题倾向;根据用户个性化的 QA 需求,匹配最适合的 QA 服务,直接用于回答。

2 Web 服务管理

完全依靠人工构建 IQAS 知识库的传统方式,越来越难以适应日益繁多的用户问题。而 Web 本身就是一个蕴含着大量不同领域知识的信息仓库,Web 上的信息通常由以下几种形式提供:网页(或 SurfaceWeb)、DeepWeb、Web 系统 API、统一标准描述的 Web 服务等。许多问答领域专家已开始关注 Web 这个免费且自生长的“知识库”,但由于 Web 上提供标准服务描述的系统非常有限,绝大部分信息是以前 3 种形式存在,因此大多数研究仍然局限于通过网页分析获取问答知识。另外,只有采用统一的描述规范,才能使得以上 4 种形式的信息得以交互,知识得以共享。为此,本文采用服务挖掘和服务封装两种方式获取 Web 上的服务资源,最终将服务描述集成到 WSDB 中统一管理。

2.1 Web 服务封装

Web 服务封装包括两部分工作:服务描述的生成(采用 WSDL 标准)以及服务调用代码的生成。本文主要利用 DOM 技术以及 TF-IDF 的改进算法,开发了一个基于 IE 插件的 Web 服务封装器。用户仅需对某个网页进行一次完整操作,并通过简单选择即可发布为 Web 服务。该插件甚至可以将多个基于 Web 的问答系统也封装成 Web 服务,从而快速构建类似元搜索的综合问答系统。

2.2 Web 服务管理库 WSDB

WSDB(Web Services Data Base)主要负责 Web 服务的挖掘、检索、存储及调用。用户的提问在被转换成 QA 需求后,将利用 S 层的抽象服务描述,在 WSDB 中发现实际的 Web 服务。WSDB 检索页面如图 3 所示。WSDB 会记录所有检索条件,定期到互联网上搜索(如利用 Google 搜索引擎等)或挖掘所需的 Web 服务。WSDB 中包括一个 QoS 检测子系统,分析库中已有 Web 服务的运行质量,删除长期运行不稳定的服务,从而保证库中的 Web 服务均能单独调用,直接用于回答某个用户问题。

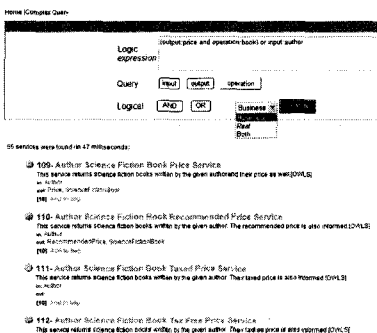


图 3 WSDB 逻辑检索页

此外,WSDB 还将保存不同 Web 服务之间的关联信息,用于形成 Web 服务网络。目前,WSDB 中定义的 Web 服务关联包括 3 个方面。

- (1) 语义概念层 R_S : 基于 Web 服务名称及介绍中的核心关键词,通过领域本体扩展;
- (2) 接口匹配层 R_I : 综合考虑操作、输入输出的名称及数

据类型;

(3) 历史关系层 R_H : 分析历史调用日志,对曾经相互调用的 Web 服务之间建立关系。

假设 Web 服务网络中任意两个服务 S_i, S_j 的关系大小表示为 Φ_{ij} ,其计算公式如下:

$$\Phi_{ij} = \omega_1 \lambda_{ij} + \omega_2 \vec{\lambda}_{ij} \quad (\omega_1 \text{ 和 } \omega_2 \text{ 是关系权重, } i \neq j) \quad (1)$$

式中,

$$\lambda_{ij} = \frac{\tau_1 \cdot \sum_a \sum_b \zeta(a, b)}{C(a, b) \cdot \Theta(C_a, C_b)} \quad (2)$$

$$\Theta(C_a, C_b) = \sqrt{C_a^2 + C_b^2} \cdot \sin(|\arctan \frac{C_b}{C_a} - 45|) \quad (3)$$

$$\zeta(a, b) = \frac{\theta(a, b) f_1(L_a)}{f_2(L_a, L_b)} \quad (4)$$

$$\vec{\lambda}_{ij} = \tau_2 \cdot \sum_{(u,v)}^K \sigma(x), \sigma(x) = \begin{cases} \int_1^p x^{1/3} dx, & (p \geq 1) \\ 1, & (p < 1) \end{cases} \quad (5)$$

式中, λ_{ij} 代表 R_S 层无向关系,关联对象为整个 Web 服务。式(2)对不同 Web 服务关键词计算平均概念关系,其中 $C(a, b)$ 为概念关联总数,而 $\Theta(C_a, C_b)$ 反映两个 Web 服务关键词数量的差异。式(4)利用领域本体,计算关键词 a 和 b 的语义距离 $\zeta(a, b)$, $\theta(a, b)$ 表示领域本体中两个概念 a 和 b (上式中代表两个不同 Web 服务描述中的关键词)可能存在的关联规则(如 is-a 关系)的量化函数,而 L_a 和 L_b 表示对应关键词在本体中的抽象层次。假设 L_a 对应概念更为抽象,则 $f_1(L_a)$ 为两个关键词关联比较时的抽象程度函数,若两个概念越抽象,则关联程度越低; $f_2(L_a, L_b)$ 为抽象程度差距函数,其实际意义是若两个概念抽象程度越接近,则它们关联程度越高。 $\vec{\lambda}_{ij}$ 代表 R_I 和 R_H 层有向关系,即服务调用的先后次序有要求,关联对象为 Web 服务的接口操作。式(5)中 K 为 R_I 层可以关联的不同 Web 服务接口“操作对”的总量,调用次数 $p \geq 1$ 表示当前接口操作对 (u, v) 在 R_H 层存在调用日志,采用积分方式实施累加;否则,仅通过 1 反映 R_I 层当前操作对关系的存在。此外,当前服务 i 和 j 在 R_I 和 R_H 层调用关系方向的叠加结果,将决定关系 Φ_{ij} 的主导方向。 τ_1 和 τ_2 均为常量,用以保证关系大小范围为 $(0, 1]$ 。

3 基于流程服务组合构建 QA 服务

Web 服务本身的信息有限性,使得某些用户的提问必须通过多个 Web 服务组合才能回答,例如本文第 1 节中提到的根据天气情况回答不同问题。由于用户提问被转换成基于 RGPS 的 QA 需求,即能够获取到回答当前个性化问题的抽象服务集合,因此可以利用 WSDB 搜寻出对应的实际 Web 服务,并通过流程组合,生成回答该问题的 QA 服务。

假设当前提问涉及的 Web 服务集合是 $\Gamma = \{S_1, S_2, \dots, S_N\}$, 此时的关键问题在于如何组织这些 Web 服务的调用流程,从而形成合理的 QA 服务。首先,基于第 2.2 节中介绍的 Web 服务关系网络,扩展与这 N 个服务在 R_H 层关系最为显著的 M 个外围服务,也纳入集合 Γ 。然后,抽取此 $N+M$ 个服务及其相互关联信息,组成初始的服务关系子网,如图 4(a)所示。由于用户问题是已知的,因此能够确定组合结果的输入(即起始服务集 Γ_B),并且最终的组合方案应该完全包含 Γ_B ; 应该注意,扩展的 M 个服务不能作为起始服务。此时,图 4(a)中的关系子网将能过滤掉一些节点及关系,并根据服务

之间的有向关系,转换为层次化网状图,同时显示了服务之间的关系大小值 Φ_{ij} ,如图 4(b)所示。

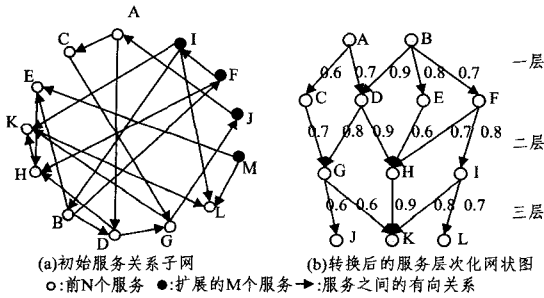


图 4 基于 Web 服务关系网络的流程服务组合策略选择示意图

表 1 描述了服务流程组合算法的主要步骤,它可获得与层次数量相同的 QA 服务,即相同数量的答案。理论上,层次越多,则服务信息涉及面越广,提供的答案准确性也将越高。因此,本文采用用户决策与层次判断相结合的答案排序方式,即先根据历史用户答案选择结果的统计进行排序。当用户选择数量相同时,则采用之前的层次判断方式排序。

表 1 服务流程组合算法主要步骤

步骤 1	设置阈值 δ , 作为每次流程下推时所能选择的路径范围,例如 $\delta=0.8$,则初始可以选择下推的路径包括 BD, BE。
步骤 2	定位步骤 1 中选中的每条路径所连接的新节点,此例为 D 和 E。
步骤 3	针对步骤 2 中确定的每个新节点,根据其输入参数向上路径回溯(不包括步骤 2 中已涉及的路径),即寻找它所依赖的服务节点,例如根据节点 D,通过路径 DA 回溯得到节点 A, DB 则不回溯。
步骤 4	循环步骤 3 中的回溯过程,直至根节点(即起始服务),检查此时整个流程中是否完全包含 Γ_B ;若已包含,则终止该条流程,直接列入 QA 服务备选集(如 ABD);否则,定位最近一次下推获得的新节点,回到步骤 1,重复进行流程下推(如 BE)。
步骤 5	依此类推,可以获得若干个流程组合方案作为备选 QA 服务,然后按照以下规则进行过滤,从层数相同的方案中选出最优的:
①	层数相同方案中 Φ_{ij} 之和最大;
②	层数相同方案中 QoS 之和最高;
③	层数相同方案中节点服务价格之和最低。
以上规则可由用户选择部分考虑或全部考虑,并可动态调整每条规则的权重。	

4 原型系统 Uniponse

基于以上技术方法,本文搭建了一个面向交通领域的按需智能回答原型系统 Uniponse,它采用 B/S 模式,后台使用 java 实现需求的识别及 WSDB 的构建等。目前,Uniponse 挖掘或封装了 1788 个 Web 服务,从中构建了 57 个 QA 服务。由于采用 RGPS 作为 QA 需求的形式化描述规范,我们能够计算 QA 服务的相似性,并通过聚类等操作来实现 QA 服务社区的发现。图 5 显示了以树状社区形式展现的 QA 服务管理库,其中包括每个社区包含的 QA 服务数量,或者每个 QA 服务被使用的用户列表、使用频率、服务创建时间、服务界面快照等;系统提供共性化的“所有社区”以及个性化的“我的社区”、“我的服务”3 种形式的 QA 服务管理,并支持用户对任意 QA 服务评论。

用户可通过类自然语言一次提出多个问题,系统将根据标点符号计算问题个数,并分别转换为 QA 需求。系统会首先在 QA 服务管理库中搜寻完全满足当前提问的 QA 服务。若搜索不到,则会推荐若干相近的 QA 服务。此时,用户也可以选择重新构建,即根据 QA 需求搜索相关 Web 服务,通过半自动服务组合产生一个新的 QA 服务,并可共享给其他用户调用。图 6 显示了 Web 服务发现确认页,用户可运行每个

Web 服务,判断它与自己问题的相关性大小。并且,可以删除匹配错误的服务,或基于 WSDB 增添新的服务。颜色用以区分 Web 服务的 QoS。

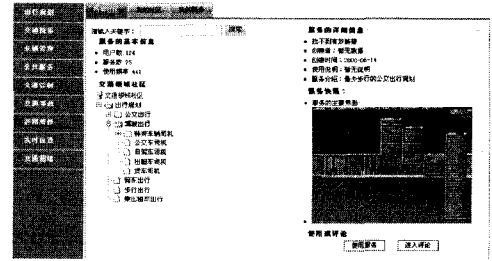


图 5 QA 服务管理库的社区分类

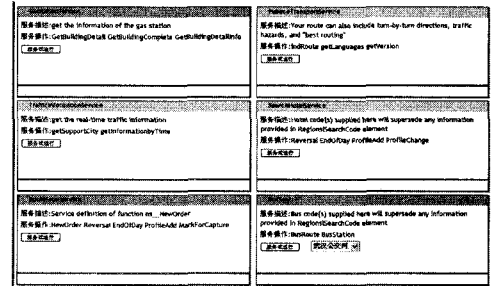


图 6 Web 服务发现结果的确认

图 7 显示了 Web 服务组合页面,系统将根据 Web 服务关系网络自动产生一个被认为是最佳的组合策略。本文提供了人机交互途径,即用户可点击查看每个 Web 服务详细信息、服务之间关系大小,甚至不同层面的关系信息,如以往服务之间调用日志等。用户也可通过简单拖拽,在不违反 R_s 层和 R_i 层关系的前提下,更新服务组合的结构,这可能改变即将生成的 QA 服务的问题适用范围。

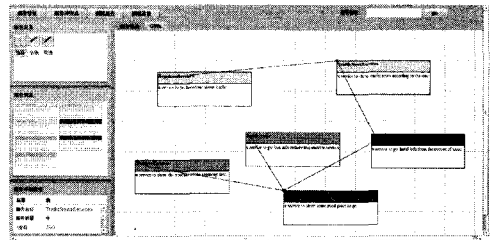


图 7 Web 服务组合

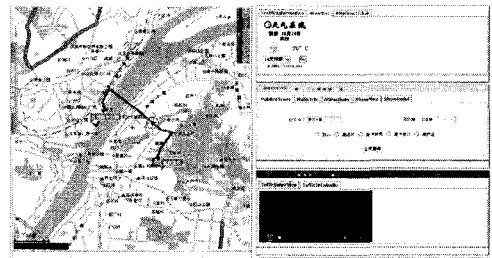


图 8 个性化的 QA 服务集界面

图 8 展示了根据用户问题集:“若天气晴朗,告诉我武汉市最好玩的景点有哪些,并提供景点视频?根据实时交通广播信息,提供从武汉大学到这些景点最快捷、最便宜的公交乘车方案。是否有这个月武汉一桥相关的交通新闻?”,并结合 Web2.0 技术,生成的个性化 QA 服务集界面,即用户将感兴趣的若干 QA 服务定制到一个界面中,并能够自定义界面布

(下转第 194 页)

应用热点。领域虚拟数据中心能够为全局应用提供有效的数据查询与数据共享服务。针对油井工程领域,本文提出了基于语义的油井工程虚拟数据中心的实现框架。其中,对于框架实现过程中的两个关键步骤,即全局本体构造和全局本体与数据源模式之间的语义映射进行了详细描述。利用全局本体实现虚拟数据访问视图,并借助全局本体与局部本体、局部本体与数据源模式之间建立两级映射关系,能够将基于领域概念的查询请求转换为底层数据源的 SQL 访问,以实现统一、透明的数据查询与共享服务。

通过在华北油田进行实际应用,油井工程虚拟数据中心能够为油井生产决策提供全面和实时的数据支持。

参 考 文 献

- [1] Archuleta R J, Steidl J, et al. The COSMOS Virtual Data Center: A Web Portal for Strong Motion Data Dissemination [J]. *Seismological Research Letters*, 2006, 77(6): 651-658
- [2] King G. An introduction to the Dataverse Network as an infrastructure for data sharing [J]. *Sociological Methods & Research*, 2007, 36(2): 173-199
- [3] Berners-Lee T, Hendler J, Lassila O. The Semantic Web [J]. *Scientific American Magazine*, 2001, 284(5): 34-43
- [4] Caragea D, Pathak J, Bao J, et al. Information Integration and Knowledge Acquisition from Semantically Heterogeneous Biological Data Sources [C]// San Diego, CA, USA. *Proceedings of the Data Integration in Life Sciences (DILS 2005)*. Berlin: Springer-Verlag, 2005: 175-190

(上接第 184 页)

局、色彩搭配等。其中包含的若干 QA 服务均能随着时间的推移,动态改变其答案内容。由于本文的 IQAS 组成单元是 Web 服务,因此用户不仅可以通过提问的方式来获取或构建 QA 服务,还可直接要求系统提供某些服务,例如用户要求提供一个能够发短信的服务,也集成到该界面中。

结束语 本文提出以流程服务组合为核心的 IQAS 构造方法,即利用 Web 服务自身提供的操作及各种信息,通过交互协同,回答用户的提问。根据 RGPS 需求元描述框架,在领域模型的指导下,用户提问被转换为 QA 需求,通过按需服务发现以及基于 Web 服务关系网络的服务自动组合机制,最终生成能够回答此类问题的 QA 服务。我们开发了一个面向交通领域的智能按需问答原型系统 Uniponse,同时搭建了 Web 服务管理库和 QA 服务管理库,该系统验证了本文提出方法的可行性和有效性。

在未来的工作中,我们还将进一步研究 QA 需求的验证方法,即系统构造的 QA 服务是否能够较好地回答用户提问以及 QA 服务在用户问题发生变化时的动态演化算法。

参 考 文 献

- [1] Eliza[EB/OL]. <http://www-ai.ijs.si/eliza/eliza.html>, 1966
- [2] 余正涛,樊孝忠,郭剑毅,等. 基于潜在语义分析的汉语问答系统答案提取[J]. *计算机学报*, 2006, 29(10): 1889-1893
- [3] 孙昂,江铭虎,贺一帆,等. 基于句法分析和答案分类的中文问答系统[J]. *电子学报*, 2008, 36(5): 833-839
- [4] 李良富,樊孝忠,李宏乔. 语义相似计算驱动领域自动问答[J]. *北京理工大学学报*, 2005, 25(11): 958-962
- [5] Lee Cheng-wei, Lee Yi-hsun, Hsu Wen-lian. Exploring Shallow

- [5] Chen H, Wang Y, Wang H, et al. Towards a Semantic Web of Relational Databases: a Practical Semantic Toolkit and an In-Use Case from Traditional Chinese Medicine [C]// *Proceedings of the 5th International Semantic Web Conference*. Berlin: Springer, 2006: 750-763
- [6] Noy N F. Semantic integration: a survey of ontology-based approaches [J]. *ACM SIGMOD Record*, 2004, 33(4): 65-70
- [7] Villanueva-Rosales N, Dumontier M. yOWL: An ontology-driven knowledge base for yeast biologists [J]. *Journal of Biomedical Informatics*, 2008, 41(5): 779-789
- [8] Kashyap V, Cheung K H, Doherty D, et al. Ontology-based Data Integration for Biomedical Research [M]// Jain R, Sheth A. eds. *The Semantic Web Real-world Applications from Industry*. New York: Springer US, 2008: 97-122
- [9] Ghawi R, Cullot N. Database-to-Ontology Mapping Generation for Semantic Interoperability [C]// *Proceedings of the 3rd International Workshop on Database Interoperability*. New York: ACM, 2007: 43-50
- [10] De Laborda C P, Conrad S. Relational. OWL: a data and schema representation format based on OWL [C]// *Proceedings of the 2nd Asia-Pacific conference on Conceptual Modeling*. Australia: Australian Computer Society, 2005: 89-96
- [11] Seksun S, Djamal B, Philippe T. OWL-based Approach for Semantic Interoperability [C]// *Proceedings of the 19th International Conference on Advanced Information Networking and Applications*. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005: 145-150

Answer Ranking Features in Cross-Lingual and Monolingual Factoid Question Answering [J]. *Computational Linguistics and Chinese Language Processing*, 2008, 13(1): 1-26

- [6] Kikuchi Y, Hidaka K, Nakajima S, et al. Chat-Robot-based Web Content Presentation Interface and Its Evaluation [J]. *Human-Computer Interaction*, 2007, 4553: 934-943
- [7] McGuinness D L. Question answering on the semantic Web [J]. *IEEE Intelligent Systems*, 2004, 19: 82-85
- [8] Zhang Pengfei, Chunhua Wu, et al. Personalized Question Answering System Based on Ontology and Semantic Web [C]// *IEEE International Conference on Industrial Informatics*, 2006: 1046-1051
- [9] Chen Zhe, Wen Dunwei. A new Web-service-based architecture for question answering [C]// *IEEE International Conference on Natural Language Processing and Knowledge Engineering*. 2005: 179-183
- [10] Jang Minsu, Sohn Joo-chan, Cho H K. Automated Question Answering Using Semantic Web Services [C]// *The 2nd IEEE Asia-Pacific Service Computing Conference*, 2007: 344-348
- [11] Braga D, Ceri S, Daniel F, et al. Optimization of MultiDomain Queries on the Web [C]// *Vldb'08*. Auckland, New Zealand, August 2008: 562-573
- [12] Wang Jian, He Keqing, et al. RGPS: A Unified Requirements Meta-Modeling Frame for Networked Software [C]// *Proceedings of the 3rd International ACM Workshop on Applications and Advances of Problem Frames (IWAAPF'08)*. Leipzig, Germany, 2008: 29-35
- [13] Liu Wei, He Keqing, et al. Requirements Dynamic Elicitation and Analysis: Heavyweight Semantic Inducement Solution [J]. *Special Issue on Software Engineering and Complex Networks, DCDIS Series B*, 2007, 14(S6): 238-245