

# 基于置信度理论的网络知识融合系统和应用<sup>①</sup>

王海栋, 郑晓庆, 张红俊

(复旦大学 软件学院, 上海 201203)

**摘要:** 由于网络知识资源的异构性, 知识融合系统需要对多源数据、信息进行集成与整合并消除歧义。在知识融合过程中, 由于知识科学的复杂性和模糊性, 需要对多源知识的不一致、不完整等不确定性问题进行处理。基于此, 提出了一种基于置信度理论的网络知识融合系统模型, 弥补了传统知识融合系统在不确定性处理上的不足, 并使用反馈自适应机制自动校正置信度因子以避免初始置信度设置的主观性。针对互联网药品违规主体追查问题, 解决了主体融合过程中信息冗余和矛盾, 为互联网药品监管部门提供了有效可靠的药品主体信息。

**关键词:** 知识融合; 置信度理论; 反馈与自适应; 互联网药品违规主体追查

## Web Knowledge Fusion System Based on Certainty Factor Theory and its Application

WANG Hai-Dong, ZHENG Xiao-Qing, ZHANG Hong-Jun

(Software School, Fudan University, Shanghai 201203, China)

**Abstract:** As a result of heterogeneity of network knowledge resources, knowledge fusion systems have to integrate and combine the multi-source data and information and reduce the ambiguity. Inconsistency and incompleteness leads to uncertainty in the knowledge fusion procedure due to complexity and ambiguity of the knowledge science. A web knowledge fusion system based on certainty factor theory is proposed, making up the defect on uncertainty processing of traditional knowledge systems. The subjectivity of the initial setup of the certainty factor is reduced by the feedback and self-adaption mechanism. The system is then applied to the online drug subject tracking problem, which solves the redundancy and contradiction in the drug subject fusion procedure and provides reliable drug subject information for the online drug supervisory board.

**Keywords:** knowledge fusion; certainty factor theory; feedback and self-adaption; online drug subject tracking

在信息时代, 互联网以其信息的丰富性, 越来越成为人们获取信息的主要渠道。随着 Web2.0 时代的到来, 更多普通人参与了互联网信息的创建于发布, 这使得互联网信息资源日益加速增长。权威资料表明<sup>[1]</sup>, 互联网上网页的数量, 正以每年超过 100% 的速率增长。然而, 无用信息的爆炸给有用知识的发现带来了极大障碍。虽然搜索引擎从关键词角度部分解决了信息找寻的问题, 但是并不能解决提供更高层次的信息集成与知识融合服务。作为一门新兴学科, 知识融合正受到越来越多的关注。

知识融合是建立在知识科学和信息融合的基础上发展出来的一个新概念。它不仅可以从多个相关的分布式异构信息来源发现、抽取、整合数据, 而且还可以加入主观判断和识别, 消除歧义、数据冗余和不确定性等问题, 从而形成新的知识。

在知识融合的过程中, 一方面由于知识资源的分布式异构性, 将出现冗余和矛盾的情况, 另一方面, 由于知识科学复杂性和模糊性, 将不可避免的需要处理不确定性问题。Shortliffe 和 Buchanan<sup>[2]</sup>率先于上世纪 70 年代中期在 MYCIN 系统中使用了置信度模型,

<sup>①</sup> 基金项目: 国家自然科学基金(60903078)

收稿时间: 2010-04-22; 收到修改稿时间: 2010-05-22

用来管理在基于规则的专家系统中的不确定性。置信度(Certainty Factor)作为一种解决不确定性的方案,是指特定个体对特定命题准确性、真实性、可靠性相信程度的度量,是概率对个人信念合理性的度量。

目前我国在医药电子商务领域的发展还处于起步阶段。2004 年,国务院颁布的《互联网药品信息服务管理办法》给出了法律规范<sup>[3]</sup>。然而,互联网药品监管技术和手段的落后,制约了我国药品电子商务的发展。近期更是出现了某著名搜索引擎的竞价排名中存在虚假医药网站的现象,严重危害了广大人民群众的健康。为了促进医药电子商务市场的健康发展,急需对在线医药信息发布进行规范,并对在线医药信息进行有效监控和管理。但是互联网药品信息发布的自由性和不确定性,以及需要查验的信息的分布式异构等特点,给互联网药品主体的追查过程带来了很大的困难。

本文主要针对互联网药品主体追查问题,提出一种基于置信度理论的知识融合方法,用以消除多源信息间的不一致性和不完整性。论文第 1 部分介绍了国内外相关研究背景和现状;第 2 部分提出了基于置信度理论的网络知识融合系统架构和置信度反馈校正机制;第 3 部分将本文提出的系统应用于互联网药品违规主体追查中,并给出了实例分析;第 4 部分给出了结论和未来工作展望。

## 1 国内外研究现状

### 1.1 置信度理论(Certainty Factor, CF)

置信度理论被用来管理基于规则的不确定性,最初是在 MYCIN<sup>[2]</sup>系统中提出的,该理论也常被称为斯坦福代数(Stanford Algebra)。在该专家系统中,置信度理论被应用于血液感染和髓膜炎的诊断与医疗决策。Weber 和 Bartels<sup>[4]</sup>随后分析了置信度理论的性能,给出了置信度因子的范围。Jafari 和 Shabaninia<sup>[5]</sup>使用神经网络中的 BP 算法,动态估计置信度因子的大小。

置信度理论不仅仅在医学诊断专家系统中发挥着重要作用,而且在其它各个领域都有着广泛的应用。Monden 和 Ogino<sup>[6]</sup>结合置信度理论,在博弈理论中解决了冲突情况下的超决策分析。He 和 Yin<sup>[7]</sup>通过在访问控制系统中赋予用户一定的置信度,来限制低可信度用户的高级访问权限。Qu 和 Shirai<sup>[8]</sup>在置信度理论模型中,利用信任度学习的方法来预测置信度因子,

从而进行文本分类。

### 1.2 知识融合系统(Knowledge Fusion Systems)

知识融合本质上是知识科学和信息融合的交叉学科,其研究对象主要针对知识,而采用信息融合的基本思想进行具体技术实现。

目前知识融合采用的主要方法是通过多 Agent、网格计算和中间件等技术进行异构知识的转换、映射和融合。最具代表性的知识融合系统应该是由欧洲多个大学和研究机构参与的 KRAFT<sup>[9]</sup>项目,该项目从众多分布式异构的网络知识资源中,动态地搜索和抽取相关知识,并转化为统一的知识模式,从而为某一领域的问题求解构造有效的知识资源。在 KRAFT 系统架构(图 1)中,定义了三种核心模块 Facilitator、Wrapper 和 Mediator,旨在解决知识定位、知识转换和知识融合三个关键问题。该系统架构对于知识融合系统的后续研究具有很强的指导意义,本文后继章节的系统架构讨论也部分参考了 KRAFT 系统的核心思想。

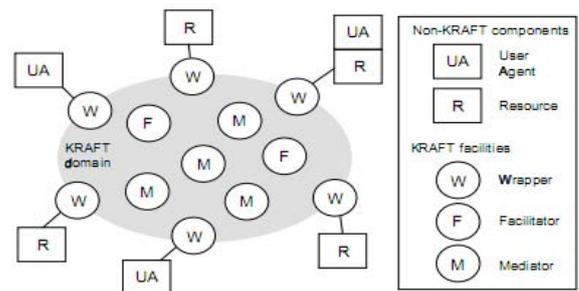


图 1 KRAFT 系统架构概念视图

由美国军方资助的 ARPIKSE 项目<sup>[10]</sup>,通过对分布式知识融合体系结构化再组织,为美国军方的各类行动给出基于知识的辅助决策信息。而其中一个子课题 KQML/KRSL 成为了知识科学领域最为常用的工具之一,另一个子课题 CoBase 则着重通过将知识融合过程中的功能模块化来提高系统的工作效率。

由中科院承担的国家知识基础设施工程(CNKI)项目,集成了各个学科的公共知识和各学科专家的个人知识,建立了一个庞大的共享知识库,旨在为科研、教学和知识服务提供基础。在该项目中,谢能付、曹存根等人为知识融合概念定义了形式化模型和融合架构<sup>[11]</sup>。

其他研究项目如北京理工大学的 FAQAS,以本体为核心,开发了融合多种知识驱动的自动问答系统,

并将之应用于银行领域的业务咨询服务中<sup>[12]</sup>。朱玉屏等<sup>[13]</sup>利用基于模糊证据理论的融合推理方法，解决了机械产品设计中的知识融合问题。

## 2 基于置信度理论的网络知识融合系统设计

### 2.1 基于置信度理论的知识融合系统架构

本文将在 KRAFT<sup>[9]</sup>系统中提出的系统架构的基础上，针对基于置信度理论的网络知识融合系统中的具体需求，通过多 Agent 技术给出系统架构设计，并加入反馈和自适应机制，减少由置信度因子导致的主观性。

#### 2.1.1 知识融合系统提供的服务

根据 KRAFT 系统给出的定义，一个典型的知识融合系统应该提供以下三种基本服务<sup>[9]</sup>：

a) 知识定位服务：供用户或其他组件在网络上定位相关知识。

b) 知识转换服务：对异构知识资源转换成统一的语言或本体表示。

c) 知识融合服务：对知识资源进行组合和处理，合并、简化知识，找出满足某种条件限制的解决方案。

由于知识系统本身具有复杂性和模糊性等特点，而且置信度理论又具有一定的主观性，有必要加入反馈评估服务，对知识融合结果提供反馈评估和参数校正机制。

#### 2.1.2 系统架构视图

基于以上讨论，本文提出的基于置信度理论的知识融合系统自上而下主要包括五层，如图 2 所示，即知识资源层、知识转换层、知识定位层、知识融合层和应用接口层。

知识资源指在知识融合过程之前，一切未经处理的已客观存在的信息来源总和。这些信息资源常常包含了一些粗糙的知识资源，需要进一步处理转换才能被接下去的知识融合过程所用。从结构化角度划分，常用的知识资源包括非结构化的文本知识、半结构化的网页知识和结构化的关系数据库等。

知识转换层需要把未经处理的知识资源转换成统一的知识表示。知识转换层由知识转换器组成，每一个转换器负责从不同的知识来源抽取、分析、转换成统一的知识表示。例如本文所采用的的网页知识转换器，采用元搜索和结构语义熵技术<sup>[14]</sup>，从半结构化的文本中抽取转化为结构化的可用知识。

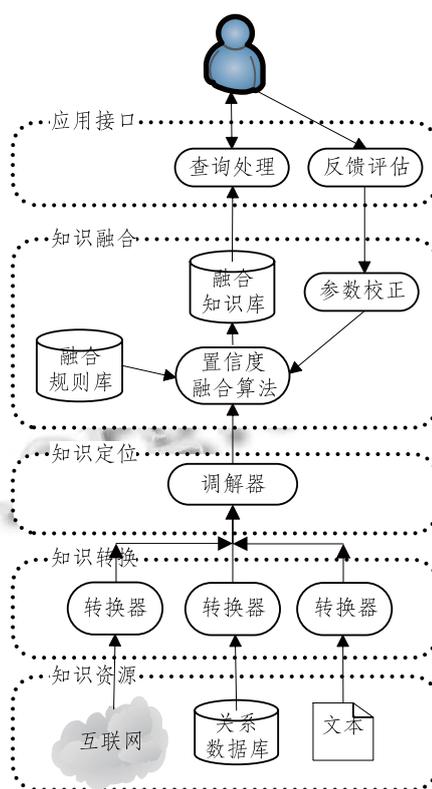


图 2 基于置信度的知识融合系统架构视图

知识定位层由调解器组成，供知识融合层定位分布式异构环境中的知识资源。知识定位层采用分散式组织方式<sup>[15]</sup>，该方式使用一个虚拟的集成视图，自动地将知识融合层对集成模式的查询请求转换为对各知识资源的查询请求。该组织方式有别于集中式信息组织方式，其所需的知识仍保存在各知识资源中，以满足高度自治、信息多变的网络知识集成需求。

知识融合层是整个融合系统中的核心，由融合规则库、置信度融合算法、融合知识库和反馈参数调整组成。一方面，知识融合过程根据上层的查询需求，根据融合规则库和置信度融合算法，集成综合各分布式知识资源，融合生成新的知识，并将结果放入融合知识库。另一方面，由于知识系统的复杂性和模糊性以及置信度因子设置的部分主观性，知识融合过程接受用户或系统的反馈评估，对置信度融合算法进行参数校正，以自适应地给出更精准的融合知识。

应用接口层是用户和系统的交互接口。查询处理把用户的查询条件转换成系统所理解的查询语句，并把融合结果呈现给用户。反馈评估接受用户对融合结果的反馈意见，并把评估结果传给知识融合，以对置

信度融合算法进行参数校正。

### 2.2 网络知识融合系统中的置信度融合算法

在网络知识融合的过程中，为了对多个渠道采集的不完整信息加以融合，对可能存在的冗余和矛盾信息加以互补和校核，还必须解决融合过程中的不确定性问题。本文根据置信度理论模型的定义<sup>[16]</sup>，对置信度的所作的总结如下：

#### 2.2.1 模型基本符号

对应于规则：IF E THEN H，信息 H 的置信度表示如下：

CF(H,E): 表示在证据 E（可能包含多个证据，包括支持和否定信息 H 的证据）的情况下，信息 H 的综合可信程度。CF 被称为置信度；

MB(H,E): 表示有利证据 E 出现的情况下，信息 H 的可信程度的增加值；

MD(H,E): 表示不利证据 E 出现的情况下，信息 H 的不可信程度的增加值。

#### 2.2.2 基本计算公式

综合支持和否定证据的计算公式如下：

$$CF(H, E) = MB(H, E) - MD(H, E) \quad (1)$$

其中，

$$MB(H, E) = \begin{cases} 1 & \text{if } P(H) = 1 \\ \frac{\max[P(H | E), P(H)] - P(H)}{\max[1, 0] - P(H)} & \text{其它} \end{cases} \quad (2)$$

$$MD(H, E) = \begin{cases} 1 & \text{if } P(H) = 0 \\ \frac{\min[P(H | E), P(H)] - P(H)}{\min[1, 0] - P(H)} & \text{其它} \end{cases} \quad (3)$$

#### 2.2.3 证据的综合

当多个证据的组合作用于一个假设时，综合证据的计算方法如表 1 所示。

表 1 证据综合方法

证据	置信度综合公式
E <sub>1</sub> AND E <sub>2</sub>	min[CF(H,E <sub>1</sub> ),CF(H,E <sub>2</sub> )]
E <sub>1</sub> OR E <sub>2</sub>	max[CF(H,E <sub>1</sub> ),CF(H,E <sub>2</sub> )]
NOT E	-CF(H,E)

#### 2.2.4 规则的传递

对应于规则：IF E THEN H，信息 H 的置信度如下：

$$CF(H, e) = CF(E, e) \cdot CF(H, E) \quad (4)$$

其中，CF(E, e): 表示在间接证据 e 出现的情况下，直接证据 E 的置信度；CF(H, E): 表示直接证据 E 出现

的情况下，信息 H 的置信度。一般设 CF(H, E) = 1；CF(H, e): 表示在间接证据 e 出现的情况下，信息 H 的置信度。

#### 2.2.5 规则的综合

当存在多条规则共同作用于一个信息 H 时，例 IF E1 THEN H 和 IF E2 THEN H，其置信度分别为 CF1 和 CF2，则信息 H 的置信度综合公式如下：

$$CF_{COMB}(CF_1, CF_2) = \begin{cases} CF_1 + CF_2(1 - CF_1) & \text{both } > 0 \\ \frac{CF_1 + CF_2}{1 - \min(|CF_1|, |CF_2|)} & \text{one } > 0 \\ CF_1 + CF_2(1 + CF_1) & \text{both } < 0 \end{cases} \quad (5)$$

注意到 CF<sub>COMB</sub>(X,Y)=CF<sub>COMB</sub>(Y,X)，因而多条规则可以逐一进行综合。

### 2.3 置信度融合算法的反馈评估和参数校正

考虑到对于某一条规则，初始置信度因子赋值的主观性，系统需要在使用的过程中根据用户的反馈评估，动态地对置信度因子进行校正，以产生更加准确的融合结果。

假设反馈的类型有两种：正面反馈和负面反馈。考虑以下两种极端情况：1)如果初始置信度因子过高，而反馈总是负面的，则说明此规则不可信，需要减小初始置信度因子的值；2)如果初始置信度因子比较低，而反馈结果总是正面的，则说明此规则比较可信，需要增加置信度因子的值。

令给出反馈的知识融合结果所涉及的规则集为 {R<sub>0</sub>, R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, ..., R<sub>n</sub>}，对应的初始置信度为 {CF<sub>0</sub>, CF<sub>1</sub>, CF<sub>2</sub>, ..., CF<sub>n</sub>}。对应于第 i 个置信度因子 CF<sub>i</sub> 赋予一个置信度校正上限 CF<sub>max\_i</sub> 和 CF<sub>min\_i</sub> (-1 ≤ CF<sub>min\_i</sub> ≤ CF<sub>max\_i</sub> ≤ 1)。由于往往正面反馈和负面反馈的数量不一致性，分别给定正校正因子 k<sub>pos</sub> 和负校正因子 k<sub>neg</sub> (k<sub>pos</sub> + k<sub>neg</sub> = 1 且 k<sub>pos</sub>, k<sub>neg</sub> > 0)。令每一次的反馈幅度为 A。

基于以上假设和条件，对置信度因子所作反馈校正如下：

```
if 正面反馈
foreach CFi in {CF0, CF1, CF2, ..., CFn}
CFi = min(CFmax_i, CFi + kpos*A)      (6)
```

```
elseif 负面反馈
foreach CFi in {CF0, CF1, CF2, ..., CFn}
CFi = max(CFmin_i, CFi - kneg*A)      (7)
```

由公式(6)可知，当得到正面反馈时，与该正面结



设置的主观性,可能会得出相反的结论。回到上文的例子,如果初始置信度设置为: $CF_1=0.9$ ,  $CF_2=0.95$ ,  $CF_3=0.8$ ,将会得出药品销售信息是非法的,其置信度为0.275。

表2 违规判断反馈评估参数

Rule	$CF_{init}$	$CF_{max}$	$CF_{min}$
$R_1$	0.9	1	0.72
$R_2$	0.95	1	0.76
$R_3$	0.8	0.96	0.64

为了减少初始置信度设置的主观性,在上文置信度理论的基础上加入反馈评估和参数校正机制。对应于上一节中的例子,令每一次的反馈调整幅度  $A=0.02$ , 正校正因子  $K_{pos}=0.5$ , 负校正因子  $K_{neg}=0.5$ , 相应规则的置信度上下限取初始置信度因子的上下20%范围(见表2)。

虽然暂时没有发布备案号,但如果在具有互联网药品交易服务资质的网站上发布的药品信息与批准文号相符,那么也认为这个发布记录是合法的。

假设药监人员对于上述判定结果连续进行五次评估。开始两轮,由于系统错误地把合法的判为非法的,得到的将是负面反馈;系统将判定为合法,因此接下去的反馈为正面反馈。经过五次反馈评估,系统相应的对置信度参数进行校正,校正过程如表3所示:

表3 违规判断置信度校正过程

	Init	Rnd1	Rnd2	Rnd3	Rnd4	Rnd5
$CF_1$	0.9	0.89	0.88	0.87	0.86	0.85
$CF_2$	0.95	0.94	0.93	0.92	0.91	0.9
$CF_3$	0.8	0.81	0.82	0.83	0.84	0.85
$CF_{合法}$	-0.275	-0.140	0.009	0.148	0.264	0.362

开始的两次评估,经过两次负面反馈,系统对发布信息判断从非法到了合法;接下去的三次反馈转为正面,而对合法的置信度也逐渐增加。其中反馈调整幅度  $A$  的大小影响置信度校正的速率,正负校正因子则相应地影响正负面反馈的调整速率。

#### 4 结论与展望

本文提出了一种基于置信度理论的网络知识融合系统,通过自上而下的五层架构动态集成分布式异构知识资源,并使用基于反馈与自适应机制的置信度融合算法对知识资源进行整合。针对该系统,详细讨论了该方法在互联网药品主体追查问题中的应用,通过融合多源异构信息并消除其不确定性因素,得到了精准可靠的违规主体信息。

基于置信度理论的反馈与评估机制,本文仅使用了简单的线性修正模型,粗略的确定了校正置信度的

上下限。在本文的基础上,需要进一步对该反馈机制作形式化定义及收敛性证明,探讨如何确定反馈校正参数的上下限和对反馈幅度的取值修正进行优化,以提高置信度融合的准确性。

#### 参考文献

- 第25次中国互联网络发展状况统计报告. [2010-1-30]. www.cnnic.net.cn.
- Shortliffe E. and Buchanan B. A model of inexact reasoning in medicine. *Mathematical Biosciences*, 23:351-379.
- 互联网药品信息服务管理办法. [2009-8-30]. www.sda.gov.cn.
- Weber JE, Bartels PH. Performance evaluation of an expert system using rescaled certainty factors (Medical diagnosis). *Engineering in Medicine and Biology Society*, 1988,3:1371-1372.
- Jafari S, Shabaninia F, Nava PA. Neural network algorithms for tuning of fuzzy certainty factor expert systems. *Automation Congress*, 2002,13:95-100.
- Monden A, Ogino K, Adachi N. Hypergame analysis introducing certainty factors. 1997,2:1563-1568.
- He RY, Yin JC, Chang CW. Research on access control based on certainty factor. *Intelligent Systems Design and Applications*, 2008,2:585-590.
- Qu W, Shirai K. Belief learning in certainty factor model and its application to text categorization. *Information, Communications and Signal Processing*, 2003,2:1192-1196.
- Preece A, Hui K, Gray A, et al. The KRAFT architecture for knowledge fusion and transformation. *Knowledge Based System*, 2000,13(2-3):113-120.
- Patil R, Mckay D, et al. The DARPA knowledge sharing effort: progress report. *Proc. of the 3rd Int. Conf. on Principles of Knowledge Representation and Reasoning*, 1992.
- Xie NF, Cao CG, Gao HY. A knowledge fusion model for web information. *Proc. of 2005 IEEE/WIC/ACM Int. Conf. on Web Intelligence*, 2005. 67-72.
- 李良富,樊孝忠,李乔红,等.知识是如何驱动 Q/A 系统的. *计算机工程与应用*, 2004, 20:70-74.
- 朱玉屏,刘丽兰,俞涛.基于知识融合技术的产品设计知识模型研究. *计算机应用研究*, 2009,26:3235-3238.
- 吴晓彦,李银胜.基于结构语义熵的互联网商品信息抽取技术研究[硕士学位论文].上海:复旦大学, 2009.
- 谢能付,曹存根.基于语义 Web 技术的知识融合和同步方法研究[博士学位论文].北京:中国科学院计算技术研究所, 2006.
- Roventa E, Spiricu T. Management of Knowledge Imperfection. *STUDFUZZ* 227,153-160.