

复合数字对象及版权保护权利推理机制研究

郭迎九¹, 林 闯², 尹 浩²

GUO Ying-jiu¹, LIN Chuang², YIN Hao²

1. 北京科技大学 信息工程学院, 北京 100083

2. 清华大学 计算机科学与工程系, 北京 100084

1. Information Engineering School, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China

2. Department of Computer Science and Technology, Tsinghua University, Beijing 100084, China

E-mail: guoyingjiu@csnet1.cs.tsinghua.edu.cn

GUO Ying-jiu, LIN Chuang, YIN Hao. Research of hybrid digital object and inference of rights. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(31): 25-27.

Abstract: The authors have conducted the research to the hybrid digital object in order to meet the need of network multimedia applications which have interoperability, standard as well as the intellectual property protection function. Put forward the hybrid digital object model HDO_IDOP (Hybrid Digital Object in IPTV DRM Operating Platform) which includes the methods, semantics and management. The Petri model is adopted to establish the rights expression model of the HDO_IDOP_REL, and the mechanism of logical inference is established which makes the rights expression to be understood and explained by machine widely.

Key words: hybrid digital object; copyrights protection; Horn clause; Petri net

摘要: 考虑到网络多媒体应用对具有适应互操作、标准性以及知识产权保护功能的数字媒体的需要, 对复合数字对象进行了研究, 提出了HDO_IDOP(Hybrid Digital Object in IPTV DRM Operating Platform)复合数字对象模型。模型分数据、语义、管理等几个层次。采用Petri网模型对HDO_IDOP复合数字对象权利描述语义进行建模, 建立推理机制, 使复合数字对象使用权利描述能被广泛理解和解释。

关键词: 复合数字对象; 版权保护; Horn子句; Petri网

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.31.007 文章编号: 1002-8331(2008)31-0025-03 文献标识码: A 中图分类号: TP301

1 复合数字对象研究介绍及结构特点

随着数字内容在网络上的大量传播, 传统的类型单一、结构平面化的内容信息无法满足网络多媒体应用的需求, 人们更希望通过将多种类型的信息有机组织, 封装完善的行为方法与元数据, 建立内容集成、结构复杂的复合数字信息对象, 从根本上解决信息组织与服务之间的矛盾, 并提供完善的版权保护。目前, 利用复合数字对象进行数字媒体分发得到了越来越多的应用。

很多机构和研究单位对复合数字对象进行了研究^[1]。CNRI (Corporation for National Research Initiative) 提出的分布式数字对象模型具有自描述、自组织、独立性、分布式互操作等特征, 同时具有灵活性与可扩展性, 但缺乏安全管理机制和可移动性。Buckets 是一种侧重信息集成的数字对象, 包括 4 个层次: 元素 (Element)、包 (Package)、桶 (Bucket)、文档 (Archive)。元素是组成对象的基本数据; 包代表信息类型, 由多个元素按

一定规则组成; 桶是一个基本的数字对象, 由多个包组成; 文档是对象的管理层。MPEG 专家组致力于为多媒体传输和使用定义一个标准化的开放框架, MPEG-21 是最新制定的标准, 基于两个基本概念: 分布和处理基本单元 DI (the Digital Item) 以及 DI 与用户间的互操作^[2]。

复合数字对象的主要特点在于它是封装了数据、元数据及方法且数据、元数据与方法又各自具有复合性的信息复合体。从组织结构来看, 复合数字对象应包含表示媒体内容的数据流层 (Streams)、代表内容组织方式的结构层 (Structures)、定义逻辑视图的空间层 (Spaces)、定义功能行为的场景层 (Scenarios)、实现综合实体及其相互间关系的社会层 (Societies) 等^[3]。

2 复合数字对象 HDO_IDOP 模型

CNRI、Buckets 等多是从内容存储与管理的角度来设计,

基金项目: 国家自然科学基金 (the National Natural Science Foundation of China under Grant No.60673184, No.60673187, No.60673054, No.90412012); 973 计划前期研究专项 (No.2006CB708301); 中国移动通信研究院项目和教育部科技创新培育重点项目 (No.707005)。

作者简介: 郭迎九 (1969-), 男, 博士生, 研究方向为网络安全与数字版权保护, 随机 Petri 网的理论和应用; 林闯 (1948-), 男, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为计算机网络和系统性能模型及评价; 尹浩 (1974-), 男, 博士后, 副教授, 研究方向为网络多媒体应用、信息安全等。

收稿日期: 2008-06-26 **修回日期:** 2008-08-01

缺乏互操作、跨平台以及对内容版权保护的设计,而 MPEG-21 的一些标准现在还在制定中。为了建立 IPTV 等数字分发媒体领域适用异构网络运行的多媒体数字版权保护平台,提出了 HDO_IDOP 复合数字对象模型^[4]。此复合数字对象将操作方法、Web 语义、使用权利推理等融为一体,对数据、元数据及方法进行了复合性封装。复合数字信息技术代表未来数字媒体的发展方向。

HDO_IDOP 复合数字对象的结构模型如图 1 所示。模型分 5 个层次,依次是:数据层、数据结构层、语义层、管理层和标识层。复合数字对象统一以元数据为数据组织的方式。



图 1 HDO_IDOP 模型图

(1)数据层:在复合数字对象的最底层,以元数据的组织方式存在,是组成对象内容的信息集合。元数据的组织方式决定了数字对象可操作的最小粒度。

(2)数据结构层:借助特定的结构组织体系,对数据单元空间中的信息内容、组织规则、过程与体制进行定义、描述、识别与解释,并绑定行为方法,从而构造出特定结构的信息实体。

(3)语义层:按照语义关系、知识体系、应用需求,运用逻辑、语义、语法等方法,对信息资源进行基于知识的描述、连接和组织,提供知识发现、确认、检索、组合服务以及逻辑推理等。

(4)管理层:负责数字对象的全局属性管理、存储管理、版权管理、支持分布式数字对象的互操作等。

(5)标识层:在网络中标识惟一 HDO_IDOP 身份。

由于本文主要目的在于研究复合数字对象在版权保护方面的作用,因此下面章节中我们将着重研究复合对象中权利描述语义及其推理机制。

3 HDO_IDOP 复合数字对象的权利推理机制

3.1 HDO_IDOP 复合数字对象权利描述语言结构及推理机模型

权利描述语义是复合数字对象语义层的重要结构内容。以权利描述语义为基础的权利描述语言(REL, Rights Expression Language)可精确描述复合数字对象的权利推理机制,确定用户使用权限,实现用户权利的机器解释和翻译,保证数字内容在异构网络之间分发时对数字内容版权进行有效保护^[5]。HDO_IDOP_REL 是 HDO_IDOP 权利描述语言,其结构模型如图 2 所示。通过对使用主体(Principle)、使用资源(Resource)、使用权利(Rights)和使用限制(Constraints)等 4 部分语义的定义通过推理机推理得到用户实际使用权利从而实现对数据(Controlled Data)使用进行控制。

复合数字对象推理机模型如图 3 所示,Request 表示用户对复合数字对象使用请求。在本文中利用 Petri 模型做复合数字对象的推理机模型,这是因为 Petri 网不仅具有很好的模型描述特性:并发、不确定和异步,而且 Petri 网还有很好发展的

理论和数学分析方法支持它。将利用 Petri 网模型结合 Horn 子句对复合数字对象的使用权利进行逻辑推导^[6]。

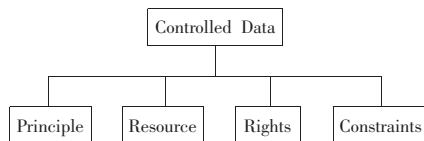


图 2 IDOPHD_REL 结构图

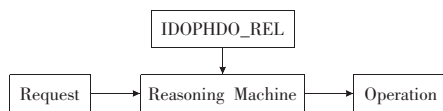


图 3 HDO_IDOP 语义推导模型

3.2 Petri 网和命题逻辑模型

Petri 网定义参见文献[7]。

定义 1(关联矩阵) 一个 Petri 网的结构可用一个关联矩阵 $C=[C_{ij}]_{n \times m}$ 表示,其中, $m=|P|, n=|T|$, 并且 $c_{ij}=W(t_i, p_j)-W(p_j, t_i)$ 。

定义 2(T -不变量) 设 Petri 网 PN 的关联矩阵为 $C=[C_{ij}]_{n \times m}$, 称 n 维非零非负整数向量 X 是 PN 的 T -不变量, 当且仅当 $C^T X=0$ 。

定义 3 (Horn 子句及其 Petri 表示) Horn 子句是至多有一个肯定文字的子句。一个命题逻辑的 Horn 子句常具有如下形式: $P_1 \wedge P_2 \wedge P_3 \cdots P_n \rightarrow Q$, 其中, P_i 和 Q 是命题, \wedge 和 \rightarrow 是逻辑连接符, 分别表示合取和蕴含。该式表明如果条件 P_1 到 P_n 都得到满足, 则可得出结论 Q 。根据前件(前提)和后件(结论)是否为空, Horn 子句可以分为如下 3 种类型, 图 4-图 6 为它们的 Petri。

(1)前提和结论均不为空, 形如 $P_1 \wedge P_2 \wedge P_3 \cdots P_n \rightarrow Q$, 这类子句常被称为一个“规则”如图 4 所示。

(2)前提为空, 形如 $\rightarrow Q$, 这类子句常被称为一个“事实”如图 5 所示。

(3)结论为空, 形如 $P_1 \wedge P_2 \wedge P_3 \cdots P_n$, 这类子句常称为一个“目标”如图 6 所示。

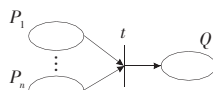


图 4 规则

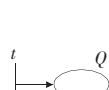


图 5 事实

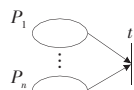


图 6 目标

规则 1 给定一个由 n 条子句和 m 个文字构成的 Horn 子句集, 通过如下转换程序可以得到该 Horn 子句集对应的 Petri 网模型的关联矩阵 $C=[C_{ij}]_{n \times m}$:

(1)每一个子句对应着关联矩阵的一行。若用 t_1, \dots, t_n 表示 n 条子句, 则子句 t_i 对应着 C 的第 i 行;

(2)每一个文字对应着关联矩阵的一列。若用 p_1, \dots, p_m 表示 m 个文字, 文字 p_j 代表 C 的第 j 列;

(3)若文字 p_j 在子句 t_i 的前提中出现, 则元素 $c_{ij}=1$; 若文字 p_j 在子句 t_i 的结论中出现, 则元素 $c_{ij}=-1$; 否则, $c_{ij}=0$ 。

定义 4 一个用户请求可以用一个三元组 $RS=(I_{prov}, O_{req}, BC_{user})$ 表示, 其中:

(1) I_{prov} 表示请求者提供的输入所引用的语义概念集合 $(I_{prov}^1, I_{prov}^2, I_{prov}^3, \dots)$;

(2) $Oreq$ 表示用户得到的输出语义概念(使用权利)集合 $(O_{req}^1, O_{req}^2, O_{req}^3 \dots)$;

(3) $BCuser$ 表示服务请求者定义的行为约束集合 $(BC_{user}^1, BC_{user}^2, BC_{user}^3 \dots)$ 。

在逻辑推理之前, 将用户请求和 HDO_IDOP_REL 描述的使用限制用一组 Horn 子句表示, 将用户请求表示为 Horn 子句中的一组事实, 用户期待的使用权利表示为 Horn 子句中的目标, HDO_IDOP_REL 定义的使用语义规则表述为 Horn 子句中的规则。根据可满足性原理: 若 S 是一组一阶公式, G 是一个一阶公式, G 是 S 的逻辑推论当且仅当 $S \cup \{ \neg G \}$ 是不满足的。因此, 要证明 $O_{req}^1 \wedge O_{req}^2 \wedge \dots \wedge O_{req}^k$ 为真, 可将 $\neg (O_{req}^1 \wedge O_{req}^2 \wedge \dots \wedge O_{req}^k)$ 加入到由用户输入所转化的 Horn 子句集中, 证明该 Horn 子句集包含有矛盾(也即不满足), 从而得出 $O_{req}^1 \wedge O_{req}^2 \wedge \dots \wedge O_{req}^k$ 成立, 即用户操作复合数字对象的要求得到满足, 从而将寻找一个满足使用复合数字对象条件的问题转化为一个 Horn 子句推理问题。

可利用 Petri 网模型的 T -不变量技术进行 Horn 子句集的推理, 求解根据规则 1 转化的矩阵的 T 不变量 X , 并判断是否 $X \geq 0$, 且 $X(tg) > 0$, 其中 tg 是目标变迁来判断是否存在一个满足用户要求的使用权利。为了讨论的方便, 称这种方法为 REL_PETRI。

定理 1 方法 REL_PETRI 是合理的。

证明 已将用户是否满足使用复合数字对象条件的问题转化为一个 Horn 子句集 S 的推理问题。因此判断用户请求的使用复合数字对象的权利是否得到满足, 只需推导 Horn 子句中目标子句是否得到满足即可。文献[8]指出 Horn 子句推理问题完全可以利用按照规则 1 转化的 Petri 网通过求解 T 不变量进行解决。而求解 Petri 网 T 不变量的过程其实是 Horn 子句进行归结反演的过程, 如存在 T -不变量 $X \geq 0$, 且 $X(tg) > 0$, 其中 tg 是目标变迁 tg , 则 Horn 子句归结反演产生空子句, 即子句集 S 是不可满足的, 从而可判定用户所请求的权利是满足的且子句归结反演的方法本身满足合理性, 因此 REL_PETRI 方法是合理的。

定理 2 REL_PETRI 方法是完备的。

证明 设用户权利要求得到满足, 即从 Horn 子句集 S 中推导出用户权利 a , $S \vdash a$ 。证明存在这样一个证明过程 $S \vdash a$ 。假定 Horn 子句转换的 PETRI 网关联矩阵不存在 T -不变量 ≥ 0 , 且 $X(tg) > 0$, 其中 tg 是目标变迁 tg , 则 $S \vdash a$ 不成立, 即 $S \vdash \neg a$ 。因此 $S_1 = S \cup a$ 是不可满足的。根据“基归结定理”, S_1 是不可满足的, 因此 S_1 的归结闭包产生空子句, 这与 $S \vdash a$ 产生矛盾。因此, $S \vdash a$ 假设是错误的, 这样有 $S \vdash a$ 成立。

4 REL_PETRI 方法使用举例

设一用户对一复合数字对象发出使用请求 $Oprequest1$ 以及其它的限制信息, 包括使用主体(类型 $user1$ 或 $user2$)、使用资源(URL)、使用限制(territory, playing time, playing times, flow, etc) 以及要求得到的使用权利(modify, play, diminish, enlarge, etc)。 $Oprequest1$ 请求中用户主体类型为 $user1$, 期待的使用权利为 $modify$ 和 $play$, 其它请求的信息在下面 Horn 子句有描述。用 REL_PETRI 方法判断用户的使用权利是否得到满足。

通过前面讨论的建模方法, 建立 Horn 子句集:

(1) $user1 \rightarrow validprinciple1(P_{10})$;

(2) $user2 \rightarrow validprinciple2(P_9)$;

(3) $http://www.tsinghua.edu.cn/mpeg/mp.mp3 \rightarrow Valid_URL$;

(4) $Territory, Beijing \rightarrow Territory_Perm$;

(5) $playing \text{ at } 07-22-08 \rightarrow Valid \text{ time}(Time, \text{Not before } 06-22-08)$;

(6) $exercise \ 6 \ \text{Times} \rightarrow Valid \ \text{times}(\text{Times} < 10)$;

(7) $flow > 2 \ \text{M/s} \rightarrow Valid \ \text{QosRequest}$;

(8) $Territory_Perm \wedge Valid \ \text{time} \wedge Valid \ \text{times} \wedge Valid \ \text{Qos-Request} \rightarrow Valid \ \text{Constraints}(P_{12})$;

(9) $diminish_request \vee enlarge_request \vee playrequest \rightarrow Oprequest1(P_8)$

(10) $modifyrequest \vee playrequest \rightarrow Oprequest2(P_{16})$;

(11) $\rightarrow user1(P_1)$;

(12) $\rightarrow http://www.tsinghua.edu.cn/mpeg/mp.mp3(P_2)$;

(13) $\rightarrow Territory, Beijing(P_3)$;

(14) $\rightarrow playing \ \text{at } 07-22-08(P_4)$;

(15) $\rightarrow exercise \ 6 \ \text{Times}(P_5)$;

(16) $\rightarrow flow > 2 \ \text{M/s}(P_6)$;

(17) $\rightarrow (modifyrequest \vee playrequest)(P_7)$;

(18) $(validprinciple1 \wedge Oprequest1 \wedge Valid_URL \wedge Valid-Constraints) \rightarrow Op_Perm1$;

(19) $(validprinciple2 \wedge Oprequest2 \wedge Valid_URL \wedge Valid-Constraints) \rightarrow Op_Perm2$;

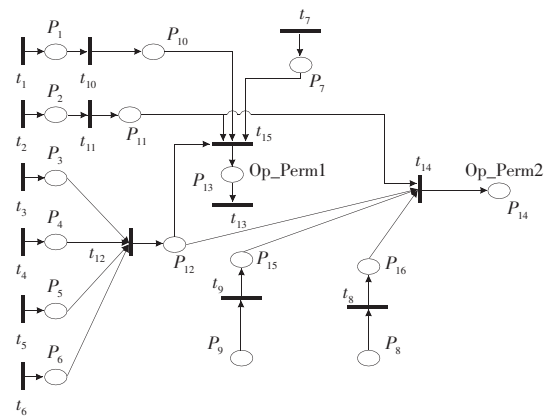


图 7 Horn 子句集的 Petri 网模型

根据 Horn 子句集利用规则可得到该子句集的关联矩阵。图 7 给出了上述子句集对应的 Petri 网模型(其关联矩阵画出)。设其关联矩阵为 C 。

求解关联矩阵 C 的 T -不变量 Y 。求解方程 $C^T Y = 0$, 得出非零解 $y = (3, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 0)$, 即 $\exists y, C^T y = 0$, 且 $X(t13) > 0$, 故用户对一复合数字对象发出使用请求。对用户其他请求, 可采用同样的方法进行逻辑推理。

5 结束语

复合数字对象及其权利描述是一项非常复杂的工作, 有关

(下转 32 页)