

长期保存系统数据存储管理策略研究与应用

吴振新 付鸿鹄 王玉菊 孔贝贝 陈子俊 (中国科学院文献情报中心)

摘要 本文对数字资源长期保存系统的数据存储管理策略进行了深入研究。首先分析了OAIS中需要管理的信息类型和存储模型,进而归纳总结了国际各保存项目所采用的数据存储管理策略和方法,在参考前人研究的基础之上,笔者在中国科学院文献情报中心的数字资源长期保存系统的研发过程中,制定了基于Fedora仓储的混合型数据存储管理策略,并在文章最后给出了相关建议。

关键词 长期保存 存储策略 数据管理

DOI: 10.13663/j.cnki.lj.2017.09.011

Research and Application of Data Storage & Management Strategy of Digital Preservation System

Wu Zhenxin, Fu Honghu, Wang Yuju, Kong Beibei, Chen Zijun

(National Science Library, Chinese Academy of Sciences)

Abstract The article makes an intensive study of data storage & management strategy of digital preservation system. Firstly, the authors analyze information type and storage model in OAIS standard, and then summarize current data storage and management strategies, and methods that have been used in many international preservation projects. Base on these studies, the authors plot a complex strategy for data storage and management when they are developing digital preservation system for Chinese Academy of Sciences. And in the end of this article, they give some suggestions on how to make data storage and management strategy.

Keywords Digital preservation, Storage strategy, Data management

0 前言

长期保存的根本目标是实现数字对象长久存储并保持其可用性,存储是保存系统首先要研究解决的关键问题,数据存储管理策略是长期保存活动中一个关键的策略,良好的数据存储管理策略能够有效控制和降低与长期保存相关的资源需求,对于保存实践起着非常重要的作用。

本文首先分析了开放存档信息系统(Open Archival Information System, OAIS)^[1]中需要管理的信息类型,进而调研归纳了国际各保存项目已采用的数据存储管理策略和方法,在参考前人研究的基础之上,笔者在中国科学院文献情报中心的数字资源长期保存系统(Digital Preservation System, DPS)的研发过程中,制

定了基于Fedora仓储的混合型数据存储管理策略。

1 OAIS 信息类型及存储模型分析

OAIS参考模型包括6个功能模块,其中存档存储(Archival Storage)功能实体负责从摄入功能实体中接收存档信息包AIP(Archival Information Package),放入到存储系统中进行保存管理。数据管理(Data Management)功能实体负责维护内容数据和元数据的关系,对与存档信息资源相关的描述信息及管理信息进行管理。因此本文除了分析汇总OAIS中涉及的信息类型,还会通过分析这两个功能模块所管理的信息进一步明确OAIS中的信息存储管理情况。

1.1 OAIS 中的信息类型分析

OAIS 中涉及多种类型的信息, 每种信息类型可以看做一个完整的信息对象, 根据内容和功能不同分为内容信息 (Content Information), 保存描述信息 (Preservation Description Information, PDI), 封装信息 (Packaging Information) 和描述性信息 (Descriptive Information)。

内容信息是保存的基本目标。保存描述信息是能够对内容信息进行永久解释的信息, 包含保存内容信息所必须的信息, 主要侧重在描述内容信息过去和现在的状态, 保证它们可被唯一标识, 且不会被非法改动。封装信息是将包的组件与指定媒体上可识别的实体进行实际或逻辑绑定的信息, 由于它并不是构成内容信息和保存描述信息的一部分, 通常不必被 OAIS 保存, 只有在需要精确再生原始提交包的情况下才需要封装信息。描述性信息是内容信息的特征信息, 以保证用户对所需资源进行访问, 也是提供数据永久存储所必须的信息。描述性信息通常从内容信息和保存描述信息中获得, 可以看做对数据对象建立的索引。

1.2 OAIS 存档信息模型分析

OAIS 中支持信息长期存储的概念结构称为信息包 (Information Package), AIP 是在保存系统中用于存储保存的信息包, 是保存系统的主要管理对象。信息包是一个概念化容器, 包含

了内容信息和保存描述信息。信息包可以和两种信息对象相关联: 封装信息和包描述性信息。内容信息包括数据对象 (物理对象或数字对象) 和呈现信息 (包括结构信息、语义信息等)。保存描述信息包括: 引用信息 (Reference)、起源信息 (Provenance)、情境信息 (Context)、不变性信息 (Fixity) 以及访问权限信息 (Access Rights)。除了内容信息外, 其他都属于不同类型的元数据信息。图 1 为 OAIS 模型对 AIP 的内容和结构的详细描述。不同项目通常以各种格式封装实现 AIP 存储, 例如 METS (Metadata Encoding and Transmission Standard)、FOXML 等。

1.3 OAIS 的数据管理信息

数据管理功能实体负责管理数字内容对象、元数据及二者之间的相关关系, 并提供对数据的导入、导出、查询、访问等基础服务功能。主要包括定义和描述了获取信息以支持发现的描述性元数据数据库和管理支持 OAIS 内部系统操作的管理性元数据, 图 2 给出了 OAIS 数据管理功能实体中需要管理的主要信息类型。

包描述信息和存档管理信息是数据管理功能实体需要管理的主要信息类型。其中, 包描述信息是存档信息包的描述元数据, 而存档管理信息是存档系统日常工作或日常运营过程中需要应用到的一些信息。存档管理信息包含系统中所有的日常存储操作所需的数据, 包

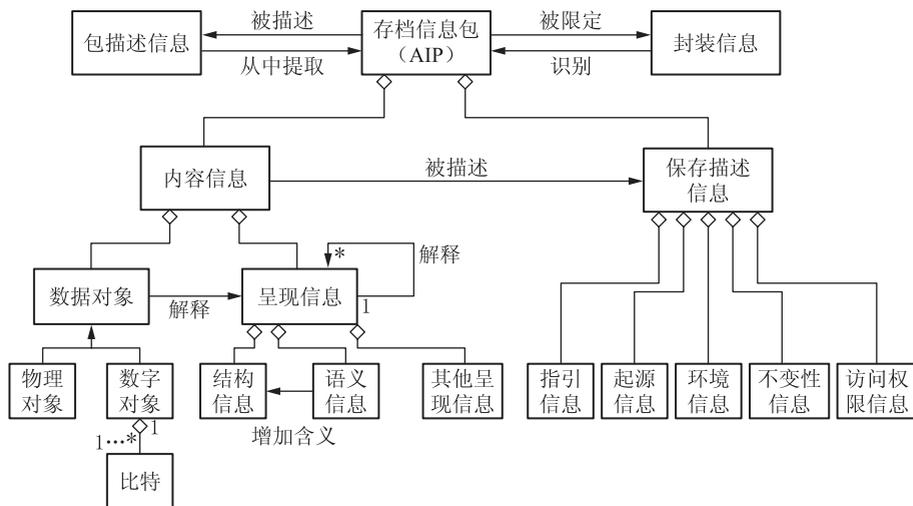


图 1 AIP 信息模型的详细结构图^[2]

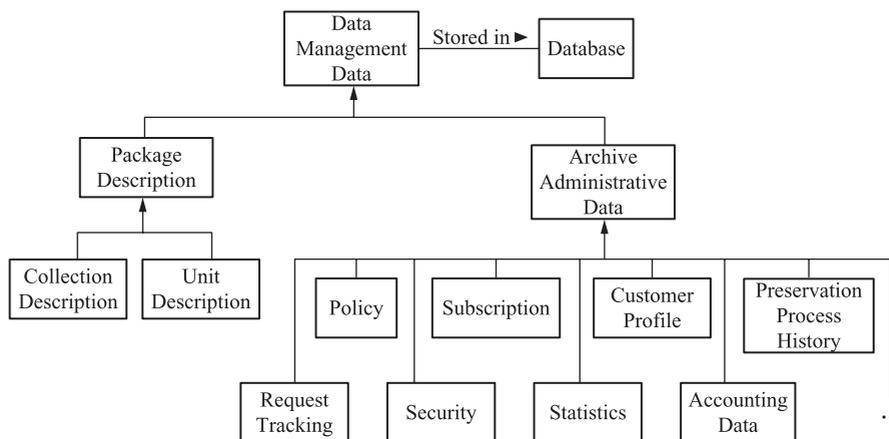


图2 OAIS 数据管理功能实体管理的主要信息类型^[1]

括: 存档政策信息、订购请求处理信息、安全信息、订单信息、统计信息、保存处理历史信息、用户信息、会计信息。上述信息通常都存入关系数据库以方便使用和管理。

2 国际保存项目的数据存储管理方案分析与比较

虽然存档存储功能实体和数据管理功能实体在 OAIS 中是两个独立的功能模块, 但在数字保存的具体实践中, AIP 的管理通常是与数据管理的相关功能结合在一起统一实现。

PREMIS (Preservation Metadata: Implementation Strategies) 执行委员会的一项调查^[2]表明, 数字保存仓储系统是以不同的存储策略进行数据存储管理的。AIP 多采用文件系统方式, 而元数据存储则采用了多种方法, 包括关系数据库、XML 数据库、专有数据库、固定结构的文件、面向对象的数据库或是与相关内容数据文件捆绑存放, 见表 1。大多数系统采用两种甚至更

表 1 PREMIS 元数据存储方法统计^[3]

存储方法	数量	百分比
关系数据库	33	69%
相关内容文件捆绑存放	22	46%
XML 数据库	13	27%
专有数据库	11	23%
固定格式的文件	9	19%
面向对象的数据库	2	4%

多种方法存储元数据, 较为普遍的是把元数据存储存储在关系数据库的表中, 其次是把 XML 元数据文档与内容数据文件一起捆绑存放, 另外就是把元数据存储为 XML 文档保存在 XML 数据库中。

作为保存系统整体数据存储管理策略, 内容数据与元数据的存储通常以多种方式组合出现, 作者将其汇集成如下的 3 种主要方式。

2.1 元数据和内容数据分别独立存储

元数据和内容数据文件之间一个重要的区别是进入保存系统后元数据是动态的、变化的, 而内容数据文件是不变的, 保持相对的稳定性。一种较为简单的处理方法就是元数据和数据文件分开存储, 但存在的问题就是保持两者之间链接的正确性和更新的同步。目前这种模式下较常采用的几种数据存储方案包括:

(1) 文件系统+关系数据库。内容数据对象被存储在文件系统中, 元数据保存在关系数据库中, 作为另一个变化, 数据可以存放在离线媒介中(如 DVD 或 CDROM), 元数据存放在数据库中。

荷兰国家图书馆第一代数字存档系统 e-Depot^[4], 核心的存储组件包括 IBM 内容管理器(Content Manager)和 IBM DB2, 内容管理器在对象服务器中存储所有的数字内容文档, 允许不同的格式文档共存, 元数据则存储在荷兰国家图书馆的目录服务器中, 该目录服务系统是一个基于 IBM DB2 的图书馆目录服务数据

库系统,实现编目信息的管理、保存对象的检索查询、对保存内容的存取安全控制以及实现与对象服务器之间的通讯,e-Depot通过该系统提供对数字对象的访问。内容管理器管理的对象服务器被用于存储真正的数字对象,对象服务器又与IBM的另外一个存储管理产品TSM(Tivoli Storage Manager)结合在一起实现一个灵活、可扩展的存储方案。这一存储方案可以根据需要将数字对象分别存储于磁盘、光盘和磁带之上。DSpace^[5]开源仓储系统也是采用文件系统与关系数据库管理系统。

文件系统+关系数据库也是信息系统最为常见的数据存储方式,这种方式因在维护、管理和访问等实际使用中相对简单、清晰,因而为大多数保存系统所采用。

(2) 文件系统+XML数据库。内容数据对象被存储在文件系统中,元数据保存在XML数据库中(这里包括支持XML文档的关系数据库的扩展以及原生的XML数据库)。

英国国家档案馆的数字存档(Digital Archives)^[6]项目中所开发的数字档案仓储系统,采用的是运行在Unix(Sun Solaris)下的Oracle 9i XML database来存储元数据,内容数据对象被存储在文件系统中,保存在康柏(Compaq)的RAID服务器中,同时使用Filetek's Storhouse/RFS应用组件来管理磁带库(Tape Library)系统,保存从RAID服务器中传送过来的数据。VRES项目中内容数据对象同样被存储在文件系统中,利用Jukebox服务器来管理存储在CD Jukebox中的内容对象,元数据保存在XML数据库。美国梅隆基金资助的EVIA Digital Archive^[7]项目,是将内容数据对象存储在文件系统中,采用的媒介是Digibeta磁带,元数据保存同样选择了Oracle 9.2 XDB。

XML数据库使用了关系型数据库来存储XML文档,它能够存储和查询异构文档,适合管理复杂数据结构的数据集,其另一个优势是可以方便实用的方式提供文档检索,特别是提供高质量的全文搜索引擎。因此这种方式更适合需要提供高质量访问功能的存档系统。

(3) 文件系统+文件系统。内容数据

对象被存储在文件系统中,元数据也以文档形式保存在文件系统中。康奈尔大学的Preserving Cornell's Digital Image Collections项目^[8]将内容对象保存为RDO3文档,使用专用的文件系统XDOD(The Xerox Documents on Demand System)管理,元数据保存为CDL格式文档,在SUN存储系统内与内容文件集合一起保存。另外还有美国斯坦福大学图书馆的LOCKSS系统^[9]也是采用文件系统管理元数据。

这种方式虽然存储管理相对简单,但数据更新与使用不便,所以通常适用于数据内容相对稳定,修改需求比较少,同时也不提供大量访问的情况,也就是通常意义上的“Dark Archive”系统,上述的两个项目皆为此种情况。

2.2 元数据与内容数字对象一起保存

为了确保元数据和文件不会被分开,而且备份处理简单,一些系统把它们作为一个数字对象保存。有些系统采用数据库系统,有些系统采用文件系统。

比较典型的是国际互联网保存联盟(International Internet Preservation Consortium, IIPC)早期推荐的存储格式ARC_IA文档和后期的WARC(Web ARChive)国际标准ISO/DIS 28500:2009^[10]。每一个ARC或WARC文件由多个资源记录Record顺序连接构成,每个Record包括一组记录标头和内容块。其中,记录标头存储相关元数据信息,内容块则存储内容数据。而荷兰国家档案馆DEPOT 2000项目^[11],则是将存档记录和元数据一起保存在ORACLE数据库当中。

元数据记录作为数字对象与内容对象一起保存也有它的优势:元数据与内容很难分隔,便于同步更新,很好地保持一致性,而且对于内容对象采用的保存策略同样可以应用到元数据保存中。然而,这种方法也会导致难以生成大的数字对象,同时编辑这些记录也成了潜在的复杂处理,因为它牵扯到大规模获取和并发数据上载,它需要执行额外的安全措施来保证元数据的更新与数字对象的稳定。

2.3 内容信息和元数据混合保存

全部(或部分)元数据存放在关系数据库中,同时全部(或部分)元数据与数据内容对象一同保存在文件系统中。

(1) 文件系统+关系数据库+元数据备份。内容数据存储在文件系统中,元数据存放在关系数据库中,元数据同时也被复制与数据对象一同保存在文件系统中。作为另一个变化,就是元数据和数据存放在离线媒介中(如DVD或CDROM),元数据保持一份副本在数据库或电子数据表单中提供快速检索服务。

DAITSS项目^[12]将元数据描述信息保存到档案的数据管理功能组件MySQL中便于使用,同时将METS格式的元数据文件和数据内容文件一起打成AIP包进行永久存储,所有存储在数字管理数据库中的元数据都被冗余地存储在AIP包中。

(2) 文件系统+关系数据库+元数据拆分存放。内容数据存储在文件系统中,一部分元数据存放在关系数据库中,一部分元数据与数据对象一同保存在文件系统中,有时候会存在元数据重复存储的情况。

NETLIB项目的DSEP系统^[13]把那些属于原有数字对象的元数据(即那些离了它们数字对象就不完整的元数据)与AIP中的内容对象(也就是字节流)存储在一起。而那些为了完成保存和检索功能所需要的元数据则放到关系数据库中,保证这些元数据能根据需要方便地更新或者迁移到其他新的系统或新的数据结构,而不必解开或者修改被保存在AIP中的数据对象信息。

Fedora仓储系统^[14]采取了文件系统和关系数据库以及MPTStore共同工作的保存模式,元数据文档与内容数据文档一起保存在文件系统中,同时重复存储部分元数据在关系数据库中,另外还将对象关系管理相关的信息重复保存在MPTStore数据库中,利用RDF实现对象关系的有效管理和呈现。

虽然内容信息和元数据混合保存这种方法具有较大的优势,但实际处理起来比较困难,有的系统把存放元数据的XML文件只作为一个内容文件同其他内容数据文件一起保存;有的系统则把元数据和内容文件一起打包

存储;还有的系统把XML和内容文件存在同一个容器内。没有办法识别这3种处理是否为不同的方法或者只是描述同一种方法的不同方式。

3 基于Fedora仓储的DPS保存系统数据存储管理策略

中国科学院文献情报中心的数字资源长期保存系统DPS,底层采用的是Fedora开源仓储系统作为数字对象的基本管理仓储,在之上封装开发了预处理及摄入管理、保存管理、公共服务多个子系统共同执行长期保存的功能。DPS通过预处理及摄入管理对接收的数据包进行管理,并对接收的数据进行一系列检验。为保障被保存对象在数字保存的全生命周期中的任何时候都能够保持数字信息资源的完整性、真实性、可理解性,在存入保存系统后,还要通过保存管理功能对数据对象在保存与服务过程中进行长期有效管理,提供必需的控制功能和处理过程,建立标准模块对保存数据进行监控、报告和管理。

DPS基于Fedora的存储系统进行了扩展,形成了Fedora仓储(文件系统+数据库+Triplestore)+MySQL数据库+Solr索引+文件系统来协同构成保存系统的数据存储管理体系,如图3所示。

DPS的数据分两部分进行存储和管理,一部分是Fedora仓储自身的存储,包括存储数字对象AIP的文件系统、实现基本登记和管理功能的关系数据库以及存储关系的三元组数据库Triplestore,DPS不直接管理Fedora仓储的数据,通过相关API接口访问Fedora所管理的数字对象。另一部分是DPS扩展的存储部分,包括一个关系数据库NslRepository,用于存储支持保存管理的相关元数据;一个文件系统,用于存储相关处理日志;建立Solr索引,用于支持相关浏览、检索、统计等功能。

NslRepository主要包括如下内容:(1)数字集合及对象的信息:包括部分描述信息、部分技术元数据信息、部分起源元数据信息、部分版权元数据信息,用以支持查询和保存管理;(2)预处理及摄入流程处理信息;(3)保存管理过程的处理信息(包括保存事件信息);

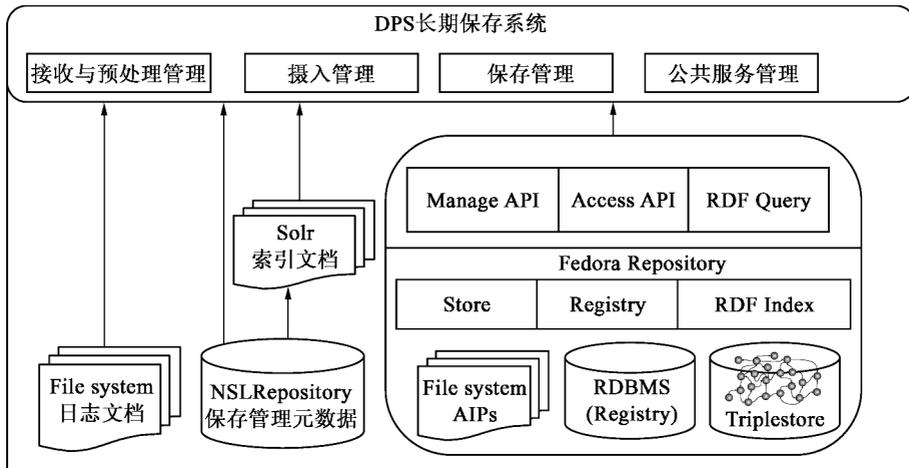


图3 DPS系统的数据存储和管理的体系

(4) 保存协议信息 (包含资源清单、机构清单); (5) 用户权限管理功能; (6) 统计信息 (摄入统计、存档统计、访问统计)。

AIP 则包括数字对象以及全部元数据信息, 具体组成参见图4。

DPS 系统目前已保存了 15 种数字资源超过 4 000 万的全文以及数亿的元数据条目, 既可以从保存管理的角度进行保存周期内数字对象的追踪管理, 也可以在用户服务访问方面支持目前主流的查询浏览服务, 包括分面检索和浏览等。这种混合的数据存储策略既有效实现了数据存储, 又确保了用户访问服务的功能多样

性和高效。但是这种方式确实需要在研发过程中设计比较复杂和完善的数据管理方案, 在实现中也要考虑提供简洁的功能以及较高的自动化水平以降低人工参与成本。

4 结语

OAIS 作为保存系统研发的参考模型, 详细定义了保存系统所存储和管理数据类型, 并给出了明确的组织和存储模型。但是作为参考模型, 其提出的需要管理的信息类型也是概念性的, 不能代替保存系统研发中具体信息类型及存储模型设计, 必须要根据实际需求进一步

	PID	数字对象永久识别符
Fedora的保留 DataStream	Dublin Core (DC)	描述元数据
	Audit Trail (AUDIT)	审计元数据 (起源)
	Relations (RELS-EXT)	外部关系元数据 (环境)
	Relations (RELS-INT)	内部关系元数据 (环境)
自定义的 DataStream	NSLDescMeta	描述元数据 (JATS)
	NSLPresMeta	保存元数据 (权限、事件)
	NSLTechMeta	技术元数据 (格式)
	NSLFile	全文PDF文档(保存对象信息内容)
自定义的可选 DataStream	ArchMeta	出版商提交的元数据文件
	NslSuppFile*	附加文档(保存对象信息内容)
	NSLTechMeta*	附加文档技术元数据 (PRIMIS)

图4 基于FOXML的AIP内容模型^[2]

细化。

从国际各项实践的实践不难看出, 制定数据存储管理策略时, 除了完整定义 AIP 结构与内容, 还需要根据保存系统的实际需求明确定义数据管理功能实体需要管理的信息类型, 除了 OAIS 所定义的包描述信息和存档管理信息, 还需要从存档信息包 (包括内容信息、保存描述信息、封装信息和描述信息) 中抽取一些重要的元数据信息放入数据库中以便更容易地使用和管理, 同时还要兼顾存储与长期保存管理过程中所需的其他信息。

在具体的存储方式和方法上, 也要根据实际需求进行选择, 本文归纳了一些原则作为参考:

(1) 充分考虑元数据和内容数据的特性: 内容数据通常是不变的, 保持相对的稳定性, 元数据大多更新变化频繁。因此考虑长期保存对于 AIP 包的稳定性和管理追踪要求, 不宜频繁更新 AIP, 因此建议频繁更新的元数据与

AIP 分离存储。

(2) 可以考虑把那些属于原有数字对象的元数据 (即那些离了它们数字对象就不完整的元数据) 与内容对象 (字节流) 一起存储在 AIP 中。而那些为了完成保存和检索功能所需要的元数据则放到关系数据库中, 保证这些元数据能根据需要方便地更新或者迁移到其他新的系统或新的数据结构, 而不必解开或者修改被保存在 AIP 中的数据对象信息。

(3) 可以根据数据管理功能实体要提供的具体管理功能和服务功能来反向明确各类元数据的用途, 作为确定存储管理方案的参考。

(4) 关系数据库对存储需要频繁处理和访问的元数据是一个有效的选择。

(5) 复杂的数据存储管理方案往往需要后期较多的投入, 所以要考虑功效平衡。

(6) 新的索引技术对于提高保存系统查询和访问效率非常必要。

参考文献

[1] Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS). CCSDS 650.0-M-2, Reference Model for an Open Archival Information System (OAIS) [EB/OL]. [2016-04-20]. <http://public.ccsds.org/publications/archive/650x0m2.pdf>.

[2] 付鸿鹄, 吴振新, 王玉菊. 长期保存存档信息包的研究与构建[J]. 国家图书馆学报, 2014(6):77-84.

[3] Implementing Preservation Repositories For Digital Materials: Current Practice And Emerging Trends In The Cultural Heritage Community[R/OL]. [2016-04-20]. <http://www.oclc.org/research/projects/pmwg/surveyreport.pdf>.

[4] Long-term usability of digital resources[EB/OL]. [2016-04-20]. <https://www.kb.nl/en/organisation/research-expertise/long-term-usability-of-digital-resources>.

[5] DSpace [EB/OL]. [2016-04-20]. <http://www.dspace.org/>.

[6] Digital Archives [EB/OL]. [2016-04-20]. <http://digitalarchives.co.uk>.

[7] EVIADigital Archive [EB/OL]. [2016-04-20]. <http://www.eviada.org/>.

[8] Preserving Cornell's Digital Image Collections: Implementing an Archival Strategy [EB/OL]. [2016-04-20]. <https://www.library.cornell.edu/preservation/IMLS/index.htm>.

[9] LOCKSS [EB/OL]. [2016-04-20]. <http://www.lockss.org/>.

[10] ISO 28500:2009 WARC File Format[EB/OL]. [2009-05-15] http://www.iso.org/iso/home/store/catalogue_ics/catalogue_detail_ics.htm?csnumber=44717.

[11] Nico van Emond, Hans Hofman, Jacqueline Slats, et al. DEPOT 2000:Functional Design for a Digital Depot [EB/OL]. [2016-04-20].

[12] DAITSS [EB/OL]. [2016-04-20]. <http://daitss.fcla.edu/>.

[13] Johan Steenbakkens.Setting up a Deposit System for Electronic Publications: The NEDLIB Guidelines [EB/OL]. [2016-04-20]. <https://www.kb.nl/sites/default/files/docs/NEDLIBguidelines.pdf>.

[14] Fedora [EB/OL]. [2016-04-20]. <http://fedora-repository.org/>.

吴振新 女, 中国科学院文献情报中心, 研究馆员。研究方向: 数字资源管理。作者贡献: 论文撰写、DPS保存系统数据存储管理策略制定。E-mail:wuzx@mail.las.ac.cn 北京 100190

付鸿鹄 女, 中国科学院文献情报中心, 副研究馆员。作者贡献: 参与DPS保存系统数据存储管理策略制定及系统开发。北京 100190

王玉菊 女, 中国科学院文献情报中心, 馆员。作者贡献: 参与DPS保存系统数据存储管理策略制定及系统开发。北京 100190

孔贝贝 女, 中国科学院文献情报中心, 馆员。作者贡献: 参与DPS保存系统数据存储管理策略制定及系统开发。北京 100190

陈子俊 中国科学院文献情报中心, 馆员。作者贡献: 参与DPS保存系统数据存储管理策略制定及系统开发。北京 100190

(收稿日期: 2016-04-29 修回日期: 2016-06-30)