

## 物联网资源寻址模型<sup>\*</sup>

孔宁<sup>1,2,3+</sup>, 李晓东<sup>1,2</sup>, 罗万明<sup>1,2</sup>, 阎保平<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(中国科学院 计算机网络信息中心,北京 100190)

<sup>2</sup>(中国互联网络信息中心,北京 100190)

<sup>3</sup>(中国科学院 研究生院,北京 100049)

### Model of the Resource Addressing in the Internet of Things

KONG Ning<sup>1,2,3+</sup>, LI Xiao-Dong<sup>1,2</sup>, LUO Wan-Ming<sup>1,2</sup>, YAN Bao-Ping<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(Computer Network Information Center, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

<sup>2</sup>(China Internet Network Information Center, Beijing 100190, China)

<sup>3</sup>(Graduate University, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

+ Corresponding author: E-mail: nkong@cnnic.cn, http://www.cnnic.cn

Kong N, Li XD, Luo WM, Yan BP. Model of the resource addressing in the Internet of things. *Journal of Software*, 2010,21(7):1657-1666. <http://www.jos.org.cn/1000-9825/3614.htm>

**Abstract:** By analyzing the property of the resource addressing, this paper proposes the general layered model of the resource addressing in the IOT by extending the model in Internet. It provides the theoretical basis for the particular addressing conflict problems in the Internet of Things (IOT) caused by multiple existing code standards. According to the model, this paper further puts forward the application architecture model of IOT. By realizing the main function, the validity and feasibility of the model can be verified.

**Key words:** Internet of things; RFID (radio frequency identification); naming; addressing; layered iteration

**摘要:** 通过分析物联网资源寻址特性,对互联网资源寻址的层次迭代模型进行扩展.提出物联网资源寻址的通用层次模型,为解决由多种物品编码标准共存而引起的物联网资源寻址的特有问题提供理论模型依据.根据此模型,建立物联网资源寻址的应用结构模型,并通过对其功能性的实现,验证了通用层次模型的有效性及其可行性.

**关键词:** 物联网;射频识别;命名;寻址;层次迭代

中图法分类号: TP393 文献标识码: A

射频识别(radio frequency identification,简称 RFID)是当前备受瞩目的热门技术.通过该技术可以实现无接触的信息传递,从而达到自动识别物品的目的<sup>[1]</sup>.然而,RFID 并不是新技术,它最早由美国学者 Harry Stockman 于 1948 年 10 月在 IRE(无线电工程师协会)学报上发表的论文《利用反射的功率进行通信》中提出,并在二战时用于区分联军和纳粹飞机的敌我识别系统之中<sup>[2,3]</sup>.RFID 至今已经走过了 50 多年的发展历程,其技术本身已经比较成熟.国际电信联盟(International Telecommunication Union,简称 ITU)在其名为物联网(the Internet of things,简称 IOT)的 2005 年年终报告中指出,利用 RFID 和 Internet 可以构造一个覆盖世界上万事万物的网络,

\* Supported by the National Basic Research Program of China under Grant No.2009CB320502 (国家重点基础研究发展计划(973))

Received 2008-03-21; Accepted 2009-03-31; Published online 2010-04-30

从而实现物品的自动识别和物品信息的互联与共享<sup>[4]</sup>.如果说 RFID 为物品提供自我表达的能力,那么这个新型的物联网将为物品提供交流的平台.

物联网思想可以看作是对普适计算(ubiquitous computing)的扩展.Ubiquitous 源自拉丁语,意为存在于任何地方.1991年,Xerox 实验室的计算机科学家 Mark Weiser 首次提出此概念,描述了一个任何人无论何时何地都可通过合适的终端设备,以不可见的方式获取计算能力的全新信息社会.在此基础上,日本、韩国衍生出了泛在网络(ubiquitous network),欧盟提出了环境感知智能(ambient intelligence)等概念.虽然这些概念与物联网不尽相同,但是其理念都是相当的一致<sup>[5]</sup>.本文侧重于研究网络泛在化所引发的与物品信息相关的资源寻址问题,因此采用物联网这一概念.

如前所述,RFID 技术为客观世界中的物品和虚拟世界中的网络提供了沟通的桥梁,未来全球的物品都可能被物联网所覆盖.通过 RFID 技术联入物联网的物品数量,将远远超过当前互联网用户的数量.换言之,物联网将会是比当前互联网更为庞杂的网络,无以量计的物品将随时在物联网上交换信息.全球性质的物联网必然存在跨域通信的问题,因此为确保联网物品的相关信息都能被高效、准确和安全地寻址、定位以及查询,物联网上同样需要完善的资源寻址技术支撑.

然而,由于物联网中的物品编码具有特殊性,当前互联网现有的资源寻址技术无法完全应对物联网的需求,因此分析研究物联网的资源寻址特性,在此基础上设计物联网资源寻址模型,有助于推动物联网在全球范围的互联互通.

本文第 1 节介绍物联网资源寻址的研究现状,指出当前研究存在的不足.第 2 节对物联网资源寻址的特性进行分析.第 3 节详述本文提出物联网资源寻址的通用层次模型,并简要论述其复杂性.第 4 节对该通用层次模型的有效性和合理性进行实现和验证.第 5 节对本文进行总结.

## 1 物联网资源寻址研究现状

物联网尚处于萌芽阶段,当前相关研究者主要关注闭环(close-loop,局域范围)物联网研究,重点集中在 RFID 硬件设备(芯片设计<sup>[6]</sup>、天线设计<sup>[7]</sup>等)、RFID 中间件<sup>[8]</sup>等方面.针对开环(open-loop,跨域范围)物联网的研究相对较少,现有的研究涉及到 RFID 信息服务<sup>[9]</sup>、寻址服务<sup>[10,11]</sup>以及发现服务<sup>[12,13]</sup>等方面.

EPCglobal 提出 ONS(object name service,对象名字服务)<sup>[10]</sup>,利用互联网中现有的 DNS(domain name system,域名系统)协议<sup>[14,15]</sup>来实现物联网的寻址需求.它采用按照物品编码的分级结构,将物品编码用点分隔并倒置,最后添加根后缀的方式,将物品编码转化为一一对应的 FQDN(fully qualified domain name,全域名)格式,进而采用 DNS 协议完成寻址,并通过 NAPTR(the naming authority pointer)DNS 资源记录<sup>[16]</sup>来存储相关寻址信息.该寻址方案仅支持单一的物品编码格式,即其 EPC(electronic product code,电子产品代码)编码,而未能同时支持其他物品编码类型的寻址.

uID Center(ubiquitous ID center,泛在识别中心)提出专有的寻址解析协议 ucodeRP(ucode resolution protocol,泛在编码解析协议),同样采用类似互联网的 DNS 协议,对物联网提供分布式轻量目录寻址服务<sup>[17,18]</sup>.该寻址方案同样只支持单一的物品编码格式,未考虑同时对其他物品编码类型提供支持.

当前,对于物联网资源寻址方面的研究还处于照搬互联网资源寻址模式的阶段,而未在分析物联网资源寻址特性的基础上提出适合物联网的资源寻址模型.

## 2 物联网资源寻址特性分析

本质上讲,物联网的资源寻址系统与互联网的资源寻址系统在功能上类似,两者都完成从资源名称到相关资源地址的寻址解析工作.物品编码是一种典型的物联网资源名称,虽然物品编码和互联网的域名(domain name)一样具有一定的分级结构,但其分级结构信息具有隐含性,即物品编码的分级结构信息是无法直接从物品编码中获取的.例如,物品编码 AA1AG3GEDFGD111R 具有 3 级分级结构:开头 2 位 AA 为公司代码,中间 6 位 1AG3GE 为物品种类代码,最后 8 位 DFGD111R 为物品序列号码,这些分级结构信息是隐含在物品编码所对

应的物品编码标准中的,无法直接通过 RFID 设备获得。

相对而言,传统的互联网资源名称的分级结构信息具有显性特征,例如 IP(Internet protocol,国际互联网协议)地址和域名,并且其具有全球统一的树状分级结构,即由全球统一规划分配;而物联网中的物品编码至今还没有全球统一的规划分配标准。最初物品编码标准体系由成立于 1977 年的国际物品编码协会(Globe Standard 1,简称 GS1)构建。目前全世界已有 100 多个国家和地区的超过 100 万家企业使用该标准体系对物品进行标识和供应链管理。伴随着物联网概念的出现,该物品编码标准体系受到极大的冲击。基于 RFID 技术制造的电子标签与传统条码标签的最大区别在于物品编码容量的大大增加,以至于未来地球上的每一粒沙子都可以分配到一个物品编码。由于现有的物品编码体系无法满足对物品单体进行识别的需求,并且物联网将使得物品编码成为更为重要的战略资源,因此,各相关标准组织都在制定并推广新的物品编码标准,意欲打破现有的物品编码体系,从而最终成为新的全球物品编码标准体系的管理者。例如,EPCglobal 提出了 EPC 编码规范,uID Center 提出了 uCode 编码规范,我国也提出了 NPC(national product code,全国产品与服务统一代码)国家编码标准。目前,各标准组织分争物品编码体系的局面仍僵持不下,并且很可能会持续相当长的时间,因此,多种标准组织的物品编码将共存于物联网之中。由于物品编码所遵循编码标准的不同,物品编码的分级结构也是不同的,并且分别归属于不同树状结构的根。

**定义 1.** 物联网隐性资源名称是指物联网中分级结构信息具有隐含性特征并且不遵循全球统一树状分级结构的资源名称,本文简称为隐性资源名称。

相对而言,本文将物联网中与互联网资源名称具有相同特征的资源名称定义为物联网显性资源名称。

**定义 2.** 物联网显性资源名称是指物联网中分级结构信息具有显性特征并且遵循全球统一树状分级结构的资源名称,本文简称为显性资源名称。

通过上述分析可知,物联网资源名称具有两种类型:物联网隐性资源名称和物联网显性资源名称。其中,隐性资源名称的分级结构信息具有隐含性并且不具有全球统一的树状分级结构。物联网隐性资源名称会造成物联网资源寻址的冲突,它无法直接作为物联网资源寻址的输入,因此,物联网资源寻址需要首先去除隐性资源名称分级结构信息的隐含性,并将其分级结构扩展为全球统一的树状分级结构,最终使其转化为物联网显性资源名称,才能实现全球范围无冲突的物联网资源寻址。

### 3 物联网资源寻址模型的提出及分析

传统的互联网资源寻址系统完成互联网资源名称到互联网资源地址的寻址解析工作。互联网资源地址是指用于访问互联网资源的直接或者间接地址,本文将 MAC(media access control,介质访问控制)地址认为是互联网资源的直接地址,而将 URL(uniform resource locator,统一资源定位符)、IP 地址等其他地址标识符看作是间接地址。互联网资源寻址的层次迭代模型指出,传统的互联网资源寻址过程具有层次迭代性,即互联网资源名称到互联网资源地址的寻址解析需要经过若干次寻址操作来完成,上一次寻址操作的寻址结果即间接地址将作为下一次寻址操作的资源名称继续寻址,循环至解析到直接地址为止<sup>[19]</sup>。该模型有效地诠释了现有互联网资源寻址技术,对于理解现有互联网资源寻址系统之间的关系具有较好的理论支持作用;同样,对于本文设计满足物联网寻址特性的物联网资源寻址架构提供了必要的理论研究基础。

物联网隐性资源名称的特殊性从根本上决定了物联网资源寻址模型要复杂于传统的互联网资源寻址模型。物联网的资源寻址首先需要完成从物联网隐性资源名称到物联网显性资源名称的转换过程。该过程需要从物联网资源寻址支持物品编码到与其所属物品编码标准相关分级结构信息以及将其分级结构扩展为全球统一树状结构所需的扩展信息。

**定义 3.** 分级结构扩展信息是指将物联网隐性资源名称的分级结构信息扩展为全球统一树状结构所需的扩展信息。

这就导致在物联网资源寻址体系中,资源寻址系统的输出结果可能不仅仅是资源地址,还可能是与生成资源地址(即下一层次寻址操作的显性资源名称)相关的信息。本文将其统称为物联网资源地址信息。

**定义 4.** 物联网资源地址信息是指生成物联网资源地址所需的信息,它可以是资源地址本身,也可以是生成资源地址所需的隐性资源名称的分级结构信息以及分级结构扩展信息.本文简称为资源地址信息.

相应地,物联网资源寻址系统的输入也不能仅仅是资源名称,而应该是由资源名称和资源地址信息经过转换后的显性资源名称.据此,本文提出了物联网资源寻址的通用层次模型,如图 1 所示.其中,资源地址信息集是指若干资源地址信息的集合.

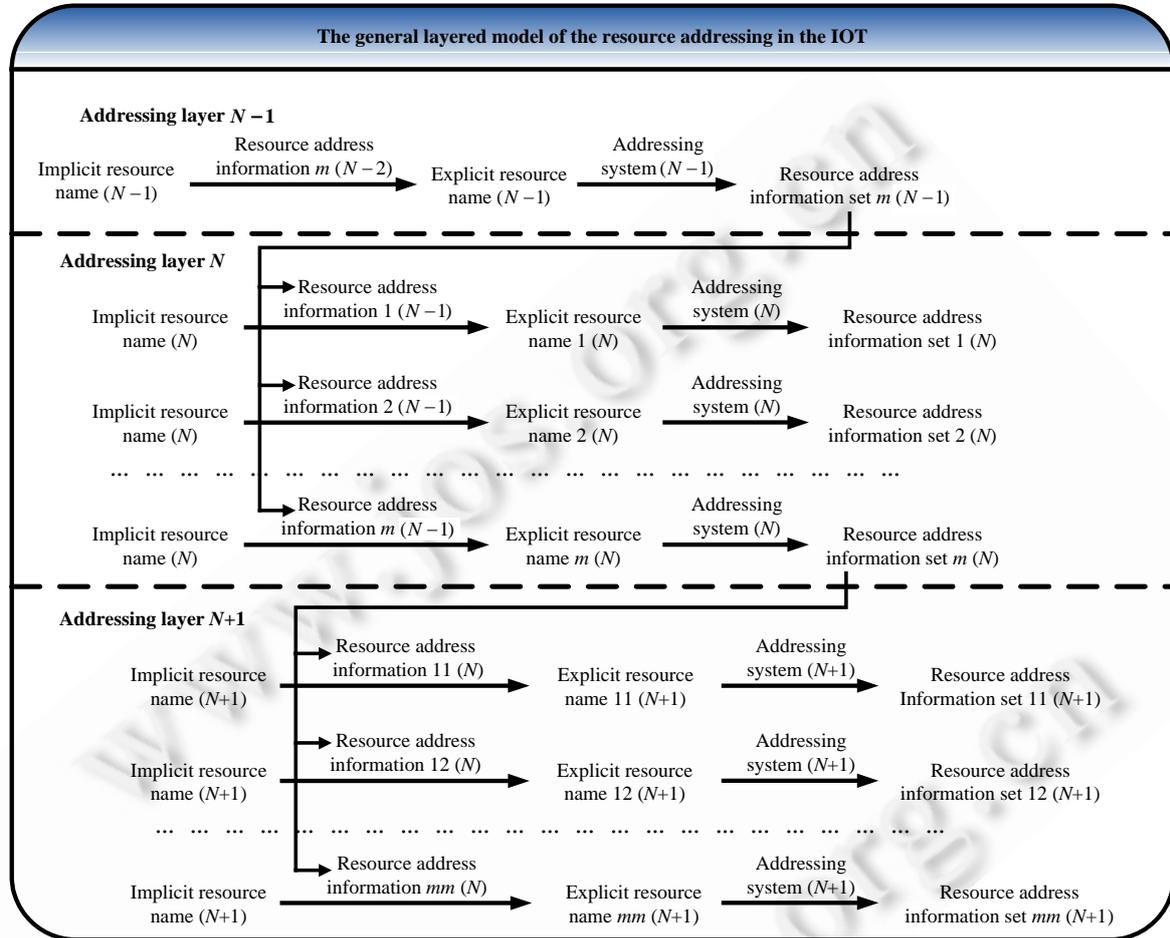


Fig.1 General layered model of the resource addressing in the IOT

图 1 物联网资源寻址的通用层次模型

在物联网资源寻址的通用层次模型中,隐性资源名称( $N-1$ )是指物联网寻址层次中  $N-1$  层次的隐性资源名称.由于隐性资源名称所具有的特性,它不能直接作为  $N-1$  层次的寻址输入,需要经过上层次即  $N-2$  层次获取到的资源地址信息  $m(N-2)$  转换成显性资源名称( $N-1$ ).资源地址信息  $m(N-2)$  属于寻址层次  $N-2$  层次的资源地址信息集.该集是生成寻址层次  $N-2$  层次的地址所必需的相关信息集合,并可用于寻址层次  $N-1$  层次中显性资源名称( $N-1$ )的生成.显性资源名称( $N-1$ )采用符合寻址系统( $N-1$ )的语法结构进行描述,是寻址系统( $N-1$ )的输入.基于显性资源名称( $N-1$ )查询寻址系统( $N-1$ )获得与其对应的资源地址信息集( $N-1$ ),即  $N-1$  层次的资源地址信息集.资源地址信息集中的每个地址信息属性都由地址信息属性类型和地址信息属性值对组成,这样, $N-1$  寻址层次的资源地址信息集就能对应生成多个  $N$  寻址层次的显性资源名称,假设为显性资源名称集合={显性资源名称 1( $N$ ),显性资源名称 2( $N$ ),...,显性资源名称  $m(N)$ }.由于寻址层次  $N-1$  层次中的资源地址集对应生成的  $N$  层

次显性资源名称有  $m$  个,寻址层次  $N$  中的寻址系统就可能有  $m$  个,而每个  $N-1$  层次资源地址信息属性的地址信息属性类型则决定了  $N$  层次显性资源名称对进行寻址所需查询的  $N$  层次寻址系统的选择。 $N$  层次  $m$  个显性资源名称通过多个  $N$  层次寻址系统将可能寻址得到  $m$  个  $N$  层次资源地址信息集( $N$ ),而每个资源地址信息集( $N$ )与寻址层次  $N+1$  层次间的逻辑与资源地址信息集( $N-1$ )与寻址层次  $N$  层次之间的逻辑相同。寻址层次中的隐性资源名称可以为空,但其上一层次输出的资源地址信息集应当是资源地址本身,它直接作为此层次的显性资源名称,参与该层次的寻址操作。

在形式化分析物联网资源寻址的通用层次模型之前,本文首先给出互联网资源寻址的层次迭代模型的形式化描述<sup>[19]</sup>。定义互联网的资源名称为  $R$ ,资源地址为  $D$ ,则第  $N$  层次的资源名称以及资源地址的名字空间分别表示为

$$NameSpace^{R_N} = \{R_1, R_2, \dots, R_j, \dots, R_k\} \quad (1)$$

$$NameSpace^{D_N} = \{D_1, D_2, \dots, D_j, \dots, D_k\} \quad (2)$$

定义互联网的寻址函数为一元函数  $AS$ ,则第  $N$  层次的寻址函数表示为

$$NameSpace^{D_N} = AS_N(NameSpace^{R_N}) \quad (3)$$

且

$$R_i = R_j \Rightarrow AS_n(R_i) = AS_n(R_j) \quad (4)$$

互联网资源寻址的层次迭代模型可以形式化地表示为

$$NameSpace^D = AS(NameSpace^R) \quad (5)$$

下面,我们对上述物联网资源寻址的通用层次模型进行形式化描述。首先定义隐性资源名称为  $Y$ ,显性资源名称为  $X$ ,资源地址信息为  $D$ ,则第  $N$  层次隐性资源名称、显性资源名称以及资源地址信息的名字空间分别表示为

$$NameSpace^{Y_N} = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_j, \dots, Y_k\} \quad (6)$$

$$NameSpace^{X_N} = \{X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_k\} \quad (7)$$

$$NameSpace^{D_N} = \{D_1, D_2, \dots, D_j, \dots, D_k\} \quad (8)$$

定义隐性资源名称到显性资源名称的转化函数为二元函数  $TS$ ,则第  $N$  层次的转化函数表示为

$$NameSpace^{X_N} = TS_N(NameSpace^{Y_N}, NameSpace^{D_{N-1}}) \quad (9)$$

并且满足公式(10)和公式(11):

$$Y_i = Y_j \Leftrightarrow TS_n(Y_i, D_{n-1}) = TS_n(Y_j, D_{n-1}) \quad (10)$$

$$TS_n(\phi, D_{n-1}) = D_{n-1} \quad (11)$$

定义显性资源名称到资源地址信息的寻址函数为一元函数  $AS$ ,则第  $N$  层次的寻址函数表示为

$$NameSpace^{D_N} = AS_N(NameSpace^{X_N}) \quad (12)$$

并且满足公式(13)

$$X_i = X_j \Rightarrow AS_n(X_i) = AS_n(X_j) \quad (13)$$

物联网资源寻址的通用层次模型可以形式化地表示为

$$NameSpace^{D_N} = AS_N(TS_N(NameSpace^{Y_N}, NameSpace^{D_{N-1}})) \quad (14)$$

即

$$D_n = AS_n(TS_n(Y_n, AS_{n-1}(TS_{n-1}(Y_{n-1}, AS_{n-2}(\dots AS_1(TS_1(Y_1, D_0))))))) \quad (15)$$

其中,  $Y_j$  可以为  $\emptyset$ 。当  $Y$  为  $\emptyset$  时,根据式(11)可得:

$$\begin{aligned} TS_N(NameSpace^{Y_N}, NameSpace^{D_{N-1}}) &= TS_N(\phi, NameSpace^{D_{N-1}}) \\ &= NameSpace^{D_{N-1}} \\ &= NameSpace^{X_N} \end{aligned} \quad (16)$$

当  $Y$  为  $\emptyset$  时,物联网资源寻址的通用层次模型可以形式化地表示为

$$NameSpace^{D^N} = AS_N(NameSpace^{X^N}) \quad (17)$$

即

$$NameSpace^D = AS(NameSpace^X) \quad (18)$$

通过分析可以看出,在隐性资源名称为空的情况下,资源地址信息等同于该层次的显性资源名称,直接作为该层次寻址系统的输入,物联网资源寻址的通用层次模型(18)等价于互联网资源寻址的层次迭代模型(5).因此,互联网资源寻址的层次迭代模型是物联网资源寻址的通用层次模型的简化模型,而物联网资源寻址的通用层次模型是基于互联网资源寻址的层次迭代模型的扩展模型.

物联网资源寻址的通用层次模型与基于互联网资源寻址的层次迭代模型相比,仅在寻址层次中增加了隐性资源名称到显性资源名称的转换操作,而该操作只涉及字符串匹配、替换等简单运算,其带来的时间消耗相对于寻址层次中与寻址系统交互而建立网络连接的消耗而言可忽略不计.因此,物联网资源寻址的通用层次模型在与基于互联网资源寻址的层次迭代模型保持相同量级复杂性的条件下,实现了功能上的扩展.

#### 4 物联网资源寻址模型的实现和验证

本文采用将物联网资源寻址的通用层次模型与物联网资源寻址应用相结合的方式构建物联网资源寻址的应用结构模型,如图 2 所示.通过对此模型进行功能性的实现来验证本文提出的物联网资源寻址的通用层次模型的有效性.

在讨论物联网资源寻址的应用结构模型之前,我们首先给出互联网资源寻址的应用结构模型<sup>[19]</sup>.该模型将互联网的资源寻址应用划分为搜索寻址层、名字寻址层、标识寻址层和数字寻址层这 4 层.其中,搜索寻址层提供互联网资源名称到所有与其相关资源地址的寻址,例如 Google、百度等搜索引擎服务;名字寻址层提供互联网资源名称到与其特殊绑定的资源地址的寻址,例如 CNNIC 通用网址等网络实名服务;标识寻址层提供互联网资源名称到与其对应 IP 地址的寻址,例如 DNS 域名解析服务;数字寻址层提供与互联网资源名称对应的 IP 地址和 MAC 地址之间的寻址.

根据目前与物联网的相关研究结果<sup>[9,10,12]</sup>,我们认为物联网的资源寻址应用可划分为 5 层,即物品标准寻址层、物品编码寻址层、物品发现寻址层、物品信息寻址层和物理地址寻址层.在进一步分析物联网的资源寻址应用各层之前,本文定义如下概念:

**定义 5.** 物品编码标准识别码是指经全球统一规划管理,用于唯一标识物品编码所属编码标准的号码,本文简称标准识别码.

物品标准寻址层位于物联网资源寻址应用中的顶层,其相对于互联网资源寻址的应用结构模型而言是全新的一层,用于实现由物品编码所属标准识别码到与其对应的物品编码分级结构信息以及分级结构扩展信息的寻址.以物品编码对应的标准识别码作为输入,通过该层的物品标准寻址系统,为下一层物品编码寻址层输出包含物品编码对应的分级结构等信息的资源地址信息,使其能够以此完成该层隐性资源名称到显性资源名称的转换.由此可见,物品标准寻址层为物联网资源寻址支持任意物品编码标准的物品编码提供基础.

物品编码寻址层位于第 2 层,类似于互联网中的名字寻址层,但不尽相同.该层用于实现由物品编码到与其对应的特定资源地址信息的寻址.该层以物品编码作为输入,首先需要根据上层提供的物联网资源地址信息将物品编码转换为显性资源名称,而后通过该层的物品编码寻址系统输出资源地址信息.该层输出的资源地址信息既可以是储存特定资源信息的地址信息,即第 4 层物品信息寻址层所需的资源地址信息,也可以是提供资源信息汇聚服务的地址信息,即第 3 层物品发现寻址层的资源地址信息.因此,物品编码寻址层为物联网资源寻址完成通过物品编码定位到与其相关的特定信息服务的定位,而最终的资源地址由后续寻址层寻址完成.

物品发现寻址层位于第 3 层,类似于互联网中的搜索寻址层,完成物品编码到所有与其相关的资源地址的寻址.该层同样以物品编码作为输入,并需要根据上层提供的物联网资源地址信息将物品编码转换为显性资源名称,而后通过该层的物品发现寻址系统为下一层物品信息寻址层输出所有相关资源地址集合.物品发现寻址

层为物联网资源寻址实现物品历史信息追溯提供支持<sup>[12]</sup>.

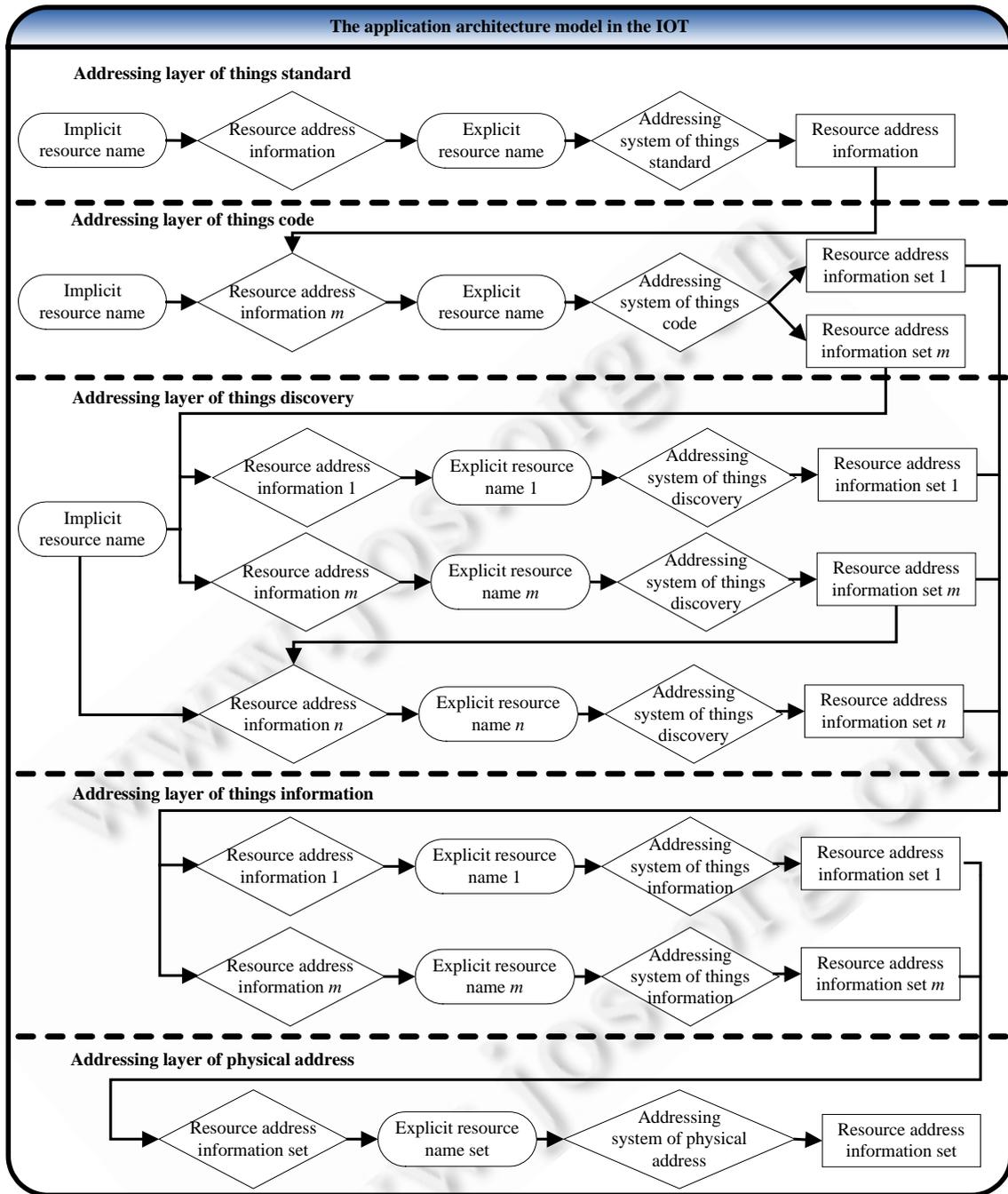


Fig.2 Application architecture model of the resource addressing in the IOT

图 2 物联网资源寻址的应用结构模型

物品信息寻址层位于第 4 层,等同于互联网中的标识寻址层,完成物品相关资源地址到 IP 地址的寻址.该层直接以物品编码寻址层和物品发现寻址层输出的资源地址信息作为显性资源名称,通过该层的物品信息寻址

系统为下层输出 IP 地址.

物理地址寻址层位于最底层,与互联网的物理寻址层完全相同,完成 IP 地址到 MAC 地址的寻址.该层直接以物品信息寻址层输出的 IP 地址作为显性资源名称,通过该层的物理地址寻址系统,为物联网资源寻址应用最终输出与物品相关资源信息的物理地址.

下面,我们给出应用结构模型各层中物联网资源寻址的通用层次模型的具体实现.在应用结构模型的每层中都可能包含物联网资源寻址的通用层次模型的多个寻址层次,例如物品发现寻址层可能需要包含若干个寻址层次才能完成物品相关信息的发现操作.应用结构模型的同一寻址层中不同的寻址层次所采用的寻址系统可能各不相同,也可能是采用同一技术的同一个寻址系统.

我们仍以物品编码 AA1AG3GEDFGD111R 为例,对物联网资源寻址的通用层次模型的具体实现进行说明.位于顶层的是物品标准寻址层,该层中的隐性资源名称是物品编码所属的标准识别码,该识别码的分级结构信息以及分级结构扩展信息应作为已知资源地址信息,即公式(15)中的  $D_0$ ,预先内置于物联网资源寻址的解析客户端中,以用于完成识别码到显性资源名称的转换.假设物品编码 AA1AG3GEDFGD111R 所对应的识别码为 08600100001,它具有 3 级分级结构,开头 3 位 086 为国家码,中间 4 位 0010 为区域码,后 4 位 0001 为序列号.假设其对应的分级结构扩展信息为 codestandard.cn,解析客户端根据上述已知资源地址信息,将识别码 08600100001 转换为符合 FQDN 格式的显性资源名称 0001.0010.086.codestandard.cn.该层的物品标准寻址系统用 BIND(berkeley Internet name domain)<sup>[14]</sup>实现,并通过 NAPTR 资源记录存储下层转换所需的资源地址信息,即物品编码的分级结构信息和分级结构扩展信息.该物品编码的分级结构信息参见本文第 2 节,分级结构扩展信息假设为 testcode.cn.借鉴 DDDS(dynamic delegation discovery system,动态授权系统)的思想,将物品编码的分级结构信息以及分级结构扩展信息以正则表达式的形式存储在 NAPTR 记录中<sup>[16,20-24]</sup>:

```
-----
0001.0010.086.codestandard.cn.
IN NAPTR 0 0 "u" "standard" "!^(.{2}).{6}).{8})!3.2.1.testcode.cn!"
-----
```

物品编码寻址层中的隐性资源名称是物品编码,通过上一层获取到的资源地址信息,将其相应地转换为符合 FQDN 格式显性资源名称 DFGD111R.1AG3GE.AA.testcode.cn.该层的物品标准寻址系统同样用 BIND 实现,完成物品编码到与其相关的特定资源地址信息的寻址.此层寻址系统既可以为第 4 层物品信息寻址层输出与物品相关的特定资源地址信息,例如该物品编码所对应的生产厂商的信息服务地址,也可以为第 3 层物品发现寻址层输出与物品相关的资源信息汇聚服务的地址信息.假设该物品编码所对应的生产厂商的信息服务地址为 <http://product.test.cn/service.jsp>,那么对应的 NAPTR 资源记录可以表示为<sup>[10]</sup>

```
-----
DFGD111R.1AG3GE.AA.testcode.cn.
IN NAPTR 0 0 "u" "IS" "!^.*$!http://product.test.cn/service.jsp!"
-----
```

假设该物品编码所对应的发现服务地址为 <http://discovery.test.cn/service.jsp>,那么对应的 NAPTR 资源记录可以表示为<sup>[10]</sup>

```
-----
DFGD111R.1AG3GE.AA.testcode.cn.
IN NAPTR 0 0 "u" "DS" "!^.*$!http://discovery.test.cn/service.jsp!"
-----
```

物品发现寻址层的隐性资源名称同样是物品编码,通过第 2 层输出的资源地址信息可以将其转化为显性的物品发现资源名称 <http://discovery.test.cn/service.jsp?AA1AG3GEDFGD111R>,该名称实际上是包含物品发现寻址系统入口地址以及物品编码的资源地址.通过该层的物品发现寻址系统,可以获得到所有与该物品编码相关的资源地址信息,如零售商的信息服务地址 <http://retail.test.cn/service.jsp>,或者是其他物品发现服务地址,如 <http://anotherdiscovery.test.com/service.jsp>.该层的物品发现寻址系统也可以基于 DNS 实现,考虑到未来该层的

寻址负荷会非常大,也可以采用半分布式拓扑结构的 P2P(peer-to-peer,对等计算)网络进行实现<sup>[12,25]</sup>。

物品信息寻址层位于第 4 层,该层没有隐性资源名称,第 2 层、第 3 层输出的资源地址信息可以直接作为该层的显性资源名称,如生产厂商的信息服务地址 <http://product.test.cn/service.jsp>。通过物品信息寻址系统,类似于互联网中的 DNS 系统,完成物品网址到 IP 地址的寻址。物理地址寻址层完全等同于互联网的物理寻址层,在此不再赘述。

通过上述分析,基于物联网资源寻址的通用层次模型构建的物联网的应用结构模型将物联网资源寻址划分为 5 个层次,每层各司其职,共同完成物联网的资源寻址工作。该模型通过增加物品标准寻址层,支持遵循任意物品编码标准的物品编码作为寻址输入,从而解决了第 1 节中 ONS 以及 ucodeRP 只支持解析单一物品编码格式的问题。

## 5 结束语

本文在分析物联网寻址特性的基础上对互联网资源寻址模型进行扩展,首先对资源名称的类型进行了细化,提出了资源名称可以划分为显性和隐性两种类型,并且隐性资源名称可以通过相应的信息转换为满足寻址系统的显性资源名称;其次对寻址系统的输出做了扩展,将资源地址扩展为生成资源地址所必须的相关地址信息,通过此扩展,寻址系统的输出将不仅限于资源地址本身,而且可以是包含生成资源地址的信息,从而为隐性资源名称到显性资源名称的转换提供了条件。在此基础上,本文提出了物联网资源寻址的通用层次模型以及应用结构模型,为研究物联网资源寻址的相关问题提供了理论依据,便于今后提出合理而可行的物联网资源寻址解决方案。

**致谢** 在此,我们向对本文的工作给予支持和建议的同行,尤其是中国互联网络信息中心的杨孟辉博士以及中国科学院计算机网络信息中心的同学表示感谢。

## References:

- [1] Finkenzeller K. RFID Handbook. New York: Wiley, 1999.
- [2] Landt J. The history of RFID. Potentials, 2005,24(4):8-11. [ftp://162.105.201.22/incoming/top100@IEEE/TOP100@IEEE\\_200604/01549751.pdf](ftp://162.105.201.22/incoming/top100@IEEE/TOP100@IEEE_200604/01549751.pdf)
- [3] Li JT, Guo JB, Luo HY, Cao G, Feng B, Chen YQ. RFID technology and application. Information Technology Letter, 2004,11(2): 1-10 (in Chinese with English abstract).
- [4] ITU. The Internet of thing. 2005. [http://www.itu.int/dms\\_pub/itu-s/opb/pol/S-POL-IR.IT-2005-SUM-PDF-E.pdf](http://www.itu.int/dms_pub/itu-s/opb/pol/S-POL-IR.IT-2005-SUM-PDF-E.pdf)
- [5] Yuan CW, Jia XY, Huang T. The security issues of mobile ubiquitous network. China New Telecommunications, 2007,(10):80-81 (in Chinese with English abstract).
- [6] Juels A, Rivest RL, Szydlo M. The blocker tag: Selective blocking of RFID tags for consumer privacy. In: Atluri V, ed. Proc. of the 10th ACM Conf. on Computer and Communications Security. New York: ACM Press, 2003. 103-111.
- [7] Hua RC, Ma TG. A printed dipole antenna for ultra high frequency (UHF) radio frequency identification (RFID) handheld reader. IEEE Trans. on Antennas and Propagation, 2007,55(12):3742-3745.
- [8] Floerkemeier C, Lampe M. RFID middleware design—Addressing application requirements and RFID constraints. In: Proc. of the 2005 Joint Conf. on Smart objects and Ambient Intelligence: Innovative Context-Aware Services: Usages and Technologies. New York: ACM Press, 2005. 219-224.
- [9] EPCglobal Inc. EPC information services (EPCIS) Version 1.0.1 specification. 2007. [http://www.epcglobalinc.org/standards/epcis/epcis\\_1\\_0\\_1-standard-20070921.pdf](http://www.epcglobalinc.org/standards/epcis/epcis_1_0_1-standard-20070921.pdf)
- [10] EPCglobal Inc. Object name service (ONS) Version 1.0. 2005. [http://www.epcglobalinc.org/standards/ons/ons\\_1\\_0-standard-20051004.pdf](http://www.epcglobalinc.org/standards/ons/ons_1_0-standard-20051004.pdf)
- [11] Uo Y, Suzuki S, Nakamura O, Murai J. Name service on the EPCnetwork. 2004. <http://www.m-lab.ch/auto-id/SwissReWorkshop/papers/NameServiceOnTheEPCnetwork.pdf>

- [12] University of Cambridge, AT4 wireless, BT Research, SAP Research. High level design for discovery services. <http://www.bridge-project.eu/data/File/BRIDGE%20WP02%20High%20level%20design%20Discovery%20Services.pdf>
- [13] Jin BH, Cong LL, Zhang L, Zhang Y, Wen YF. Towards an RFID-oriented service discovery system. In: Indulska J, Ma JH, Yang LT, Ungerer T, JN Cao, eds. Ubiquitous Intelligence and Computing. Berlin: Springer-Verlag, 2007. 235–245.
- [14] Albitz P, Liu C. DNS and BIND. 4th ed., Sebastopol: O'Reilly Media, 2001.
- [15] Salamon A. DNS related RFCs. <http://www.dns.net/dnsrd/rfc/>
- [16] Mealling M, Daniel R. The naming authority pointer (NAPTR) DNS resource record. RFC 2915, IETF, 2000.
- [17] Sakamura K. Ubiquitous ID technologies, 2008. [http://www.uidcenter.org/pdf/UID910-W001-080226\\_en.pdf](http://www.uidcenter.org/pdf/UID910-W001-080226_en.pdf)
- [18] Minegishi K. On ucode resolution server connection tests. TRONWARE, 2003,84:71–73.
- [19] Li XD. Research on computer network resources naming and addressing technologies [Ph.D. Thesis]. Beijing: Institute of Computing Technology, the Chinese Academy of Sciences, 2003 (in Chinese with English abstract).
- [20] Mealling M. Dynamic delegation discovery system (DDDS) part one: The comprehensive DDDS. RFC 3401, IETF, 2002.
- [21] Mealling M. Dynamic delegation discovery system (DDDS) part two: The algorithm. RFC 3402, IETF, 2002.
- [22] Mealling M. Dynamic delegation discovery system (DDDS) part three: The domain name system (DNS) database. RFC 3403, IETF, 2002.
- [23] Mealling M. Dynamic delegation discovery system (DDDS) part four: The uniform resource identifiers (URI) resolution application. RFC 3404, IETF, 2002.
- [24] Mealling M. Dynamic delegation discovery system (DDDS) part five: URI.ARPA assignment procedures. RFC 3405, IETF, 2002.
- [25] Zhang D, Mou J, Yang Z. SOUNDE: A hybrid structure of service discovery system for decentralized e-commerce. In: Proc. of the IEEE Int'l Conf. on E-Business Engineering (ICEBE 2006). Washington: IEEE Computer Society Press, 2006. 71–77.

#### 附中文参考文献:

- [3] 李锦涛,郭俊波,罗海勇,曹岗,冯波,陈益强. 射频识别(RFID)技术及其应用. 信息技术快报, 2004,11(2):1–10.
- [5] 袁超伟,贾晓芸,黄韬. 移动泛在网络中的安全问题. 中国新通信, 2007,(10):80–81.
- [19] 李晓东. 计算机网络资源命名和寻址技术的研究[博士学位论文]. 北京:中国科学院计算技术研究所, 2003.



孔宁(1980—),男,河北石家庄人,博士,助理研究员,主要研究领域为计算机网络与通信,互联网资源寻址技术,物联网资源寻址技术.



李晓东(1976—),男,博士,副研究员,主要研究领域为计算机网络管理,网络地址资源,网络服务安全,网络分析.



罗万明(1973—),男,博士,副研究员,CCF高级会员,主要研究领域为下一代互联网技术.



阎保平(1950—),女,博士,研究员,博士生导师,CCF高级会员,主要研究领域为计算机网络与通信.