

# 物联网命名和寻址技术研究

江凌云, 穆晏如, 朱洪波

(南京邮电大学通信与信息工程学院, 江苏 南京 210003)

**摘要:** 随着物联网应用的飞速发展, IP 和 URI 等传统命名和寻址方案正面临着移动性、安全性、可扩展性等诸多挑战。针对这些问题, 阐述了基于传统网络架构和基于未来网络架构的命名和寻址技术的研究进展情况, 总结了该领域的研究发展趋势与核心问题, 期望对国内该领域的研究起到参考和帮助作用。

**关键词:** 物联网; 命名和寻址; IPv6; 统一资源标识符; 内容中心网络; 命名数据网络

**中图分类号:** TP915.9

**文献标识码:** A

**doi:** 10.11959/j.issn.2096-3750.2018.00063

## Research on naming and addressing technology of the Internet of things

JIANG Lingyun, MU Yanru, ZHU Hongbo

College of Telecommunications and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China

**Abstract:** With the rapid development of Internet of things, traditional naming and addressing schemes such as IP and URI are facing many challenges, including mobility, security and scalability, etc. In such context, the research progress of naming and addressing technology based on traditional network architecture and future network architecture was described. Then the development trend and core problems in this field were discussed. It was expected to be helpful for the domestic research in the related field.

**Key words:** IoT, naming and addressing, IPv6, URI, CCN, NDN

### 1 引言

命名和寻址既是物联网架构的重要组成部分, 又是支撑万物互联互通的中枢神经系统。在物联网中, 联网对象既可以是物理实体, 也可以是虚拟实体, 例如网络资源、软件和内容等, 各种物理和虚拟的实体都具有自己的标识, 作为基础共性技术的标识对物联网中信息的互联互通具有重要作用<sup>[1]</sup>。未来, 要实现所有物理实体和虚拟实体的灵活交互, 物联网标识技术应能够更加便捷、有效地区分所有联网对象。现有联网对象的命名和寻址技术主要是基于传统互联网的 IP 技术, 并且得到了广泛的开发和部署。然而, 面对未来物联网应用大规模部署, 为支持海量异构终端接入以及移动性、安全性需求, 现有的命名和寻址技术仍然面临诸多挑战<sup>[2]</sup>,

目前还没有成熟的解决方案。

本文将分析基于传统 IP 命名和寻址方式的物联网服务面临的挑战, 探讨基于传统 IP 网络架构的命名和寻址的改进方案以及基于未来网络架构的命名和寻址方案的研究进展与核心问题, 期望对国内该领域的研究起到参考和帮助作用。

### 2 基于传统 IP 命名和寻址方式的物联网服务面临的挑战

随着物联网的发展, 海量、异构、资源受限的物体连接到互联网, 实现跨域、实时、动态的交互, 这对底层网络和系统构成了巨大的挑战。今天的物联网系统很大程度上是基于 TCP/IP 架构的, 然而, TCP/IP 体系的命名和寻址机制在可扩展性、移动性以及安全性等方面存在严重缺陷<sup>[3-4]</sup>, 不能很好地适

应 IoT 的需求。

### 2.1 可扩展性

思科预测,到2020年,互联网上将有大约500亿个物联网设备,如传感器、射频识别(RFID)标签和执行器等。流量激增带来包括命名、名称解析、路由和转发在内的多个层面的可扩展性问题。在命名方面,需要系统命名每个实体,包括数据、设备、服务等;在名称解析方面,系统应能够实现在短时间内注册/更新/解析名称;在路由转发方面,由于TCP/IP体系结构是基于IP地址的点到点通信模式,导致所有通信流量都被汇聚到骨干网络上,骨干路由表急剧膨胀,导致转发性能下降。

### 2.2 移动性

IP地址被赋予主机标识和网络位置标识双重功能,这种语义的过载使得移动后主机和IP地址的动态绑定过程较为复杂,无法很好地支持智能终端、可穿戴设备等大量节点频繁移动的情况,而移动IP的思想又使得协议栈冗余、处理效率低下。

### 2.3 安全性

由于现有TCP/IP架构缺乏内在安全机制,叠加式的安全手段无法应对层出不穷的网络安全问题。例如,现有的命名和寻址技术都关注容易升级、分布式命名和寻址等服务,而在一定程度上忽略了安全的重要性,出现网络地址欺骗、数据泄露、拒绝服务攻击、异常流量等安全问题。

## 3 基于传统TCP/IP架构的命名和寻址的演进方案

当前Internet中最常见的命名方案无疑是统一资源标识符(URI),用于标识Web资源<sup>[5]</sup>。IP地址本身也是一个标识符,它标识了主机或网络接口的位置和身份。域名系统(DNS)通过URI和IP地址之间的映射,可以在不知道IP地址的情况下连接Web资源。当今互联网通过IP、URI和DNS连接了数百万的网络资源,所有基础设施和标准都建立在这套命名和寻址机制上,因此完全抛弃它们是不明智的。

作为TCP/IP的演进,IPv6能够满足物联网对地址、网络自组织以及扩展性等诸多方面的要求,被看作未来有能力统一各种传统物联网标识技术的基础架构。然而,IPv6在无线传感器网络中的应用还存在着一些问题,例如,IPv6协议栈过于庞大复杂,并不支持物联网中的互联对象;另外还存在

成本、存储容量、传送速率、能耗、移动性、规模化应用等问题,因此需要对IPv6协议栈和路由机制进行精简。欧洲物联网研究总体协调组的IoT6项目目前开发了基于IPv6的寻址代理器,提供传统物联网标识到IPv6的映射。

### 3.1 IPv6低功率无线个域网

IPv6的提出最初是为了弥补IP地址空间的不足,通过提供 $10^{38}$ 个可能的地址,IPv6将不仅满足现在不断增长的互联网规模,也将满足物联网到2020年五千万至一亿个联网对象。尽管发展缓慢,但IPv6仍被认为是未来互联网的自然选择。小型和低功率的传感器和设备设计之初并不使用IP,但它们是物联网的重要组成部分,可以通过改进的IPv6来解决这类设备的标识问题。

IPv6低功率无线个域网(6LoWPAN),是由Internet工程任务组(IETF)提供的解决方案<sup>[6]</sup>。到目前为止,这些低功耗设备和具有有限处理能力的传感器的大部分个域网使用ZigBee和WirelessHART规范,它们基于电气和电子工程师协会(IEEE)802.15.4标准。6LoWPAN将IPv6扩展到这些设备的方式是允许IP数据分组通过封装和头压缩机制,通过IEEE802.15.4网络传输。在IPv6中,以前分离的节点可以集成到更大的IP网络中,并最终集成到整个IoT中,可以使用URI或IPv6地址来定位和连接周围的小型设备。

如果IPv6可以扩展到通过无线网络连接的小对象,那么就会出现另一个问题,即如何将由EPCglobal标准化的RFID标签加入IPv6框架中。作为最广泛使用的命名方案之一,RFID标签使用64~96位标识符,并且是数百万个小对象的ID。目前已有两种主要的解决方案:一个是使用代理将RFID标识映射到64位字段,然后将其应用到IPv6地址的接口ID;另一个是将RFID信息作为IPv6分组的有效负载。

### 3.2 Global IP协议和访问地址/标识符

6LoWPAN固有的缺点之一是它的开销相对较大,这在IEEE802.15.4协议中限制了有效负载的大小。6LoWPAN的开销为26~41字节,将25字节的扩展MAC地址计算在内,总开销占IEEE802.15.4标准提供的127字节长的最大传输单元(MTU)的52%,这将导致系统严重低效。在文献[7]中,作者提出了一个解决此问题的方法,其中包括一个新的命名方案,即访问地址/标识符(AAID)。

作为 6LoWPAN 的一种改进协议，GlowbalIP 协议可以使一个 IEEE 802.15.4 的网络连接 IPv6 网络。其中，AAID 是协议的关键部分，它可以大大降低 IPv6 的开销。如图 1 所示，IEEE 802.15.4 网络和全球 IPv6 网络通过一个网关或边界路由器连接，在网关处完成地址的翻译工作。当一个客户端和一个节点之间建立连接时，通过散列算法，基于源节点 IP 地址、目的节点 IP 地址和每个节点的端口生成的一个 32 位的 AAID，并用它取代 IPv6 的开销（在网关处完成），这样，减少的 22~35 字节开销意味着在有效载荷中可以增加 40%~60%的空间。

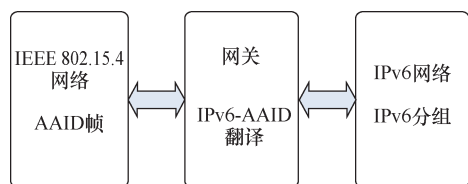


图 1 IEEE802.15.4 网络和 IPv6 网络之间的 AAID 翻译

当然，移动性和多宿主问题对于 Glowbal IP 协议来说，仍然是一个巨大的挑战。当出现终端移动或者多宿主情况时，生成和管理 AAID 将会变得更加复杂。

### 3.3 基于当前 Internet 架构的其他 IoT 命名和寻址方案

除了 IP 相关的解决方案外，针对某些物联网应用需求，例如制造业、物流等领域，还开发了一些其他的命名和寻址方案。虽然它们可能没有潜力成为未来物联网的基础，但由于它们在具体应用领域的出色性能，将来也会在物联网领域占有一席之地。

#### 3.3.1 传感器 Web Enablement 和传感器 UID

传感器应用于日常生活中的许多地方，从交通监视器到卫星成像设备。因为它们是实时数据的主要来源，因此在未来的 IoT 中是不可或缺的。由开放地理信息联盟 (OGC) 开发的传感器 Web Enablement (SWE) 标准，使开发人员能够通过 Web 发现、访问和使用所有类型的传感器、转换器和传感器数据库。

在所有主要的 SWE 标准中，传感器描述语言 (SensorML) 是与传感器命名方案直接相关的。它提供了标准化模型和可扩展标记语言 (XML) 编码，用于实现对网络中传感器的发现和观测数据的获取。其描述之一就是传感器或传感器系统的元数

据。元数据可以被用来检索重要的参数，例如传感器的名称。在文献[8]中，作者创建了一个基于 SensorML 的模板，并采用国际标准组织 (ISO) 19130 定义的传感器 UID 和平台 UID 作为元数据中的标识符。通过这种方式可以发现传感器，尤其是远程传感器。

SensorML 是对物联网相关数据描述的早期工作，鉴于物联网不同场景中的设备之间的连接和通信无处不在，XML 的使用对语义互操作性造成了严重的限制。

#### 3.3.2 基于语义本体的 IoT@Work 命名方案

语义 Web 是解决互操作性问题的方案之一，事实上，前面提到的 URI 就是语义本体的一个例子。它是资源描述框架 (RDF) 的基本标准，RDF 是万维网联盟 (W3C) 的规范。除了 URI 之外，其他语义本体支持不同类型的命名方案。在本节中，将讨论其中的一种情况。

IoT@Work<sup>[9]</sup> 是一个欧洲的物联网研究项目 (IERC)，主要关注工厂自动化系统的自动配置和改进的安全性。在这个项目中，为了解决工厂生产过程中发生的事件，设计了一种名为事件通知服务的机制，该机制采用发布/订阅模式，而不是传统系统中的请求/响应模式。为了让事件通知服务能正常工作，系统构建了一个层次化的命名空间。

在该名称空间中，一组与特定需求或服务相关的已发布事件以树的形式组织在一起，如图 2 所示。它的叶子节点通常指的是物理实体，比如生产线上的某个机器人，而中间节点是虚拟实体，以简化订阅者获取所需信息的方式。每个节点有 4 个主要属性，分别是名称、描述、实体 URI 和 URI。其中，名称是节点的标识符，其他 3 个用于加速和改进事件的处理。因为不同名称空间的节点通常是不相关的，因此在完全不同的层次结构下，可能存在以相同方式命名的叶子节点。

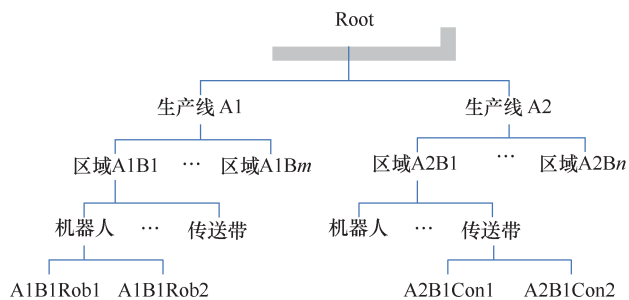


图 2 IoT@Work 事件通知服务层次化命名空间的例子

层次化命名结构特别适合于客户端和服务端之间的通信，然而，对于物联网中机器类（M2M）通信模式，这种命名结构是低效的，这种方案同样也不支持移动性。

#### 4 未来网络架构下的命名和寻址方案

未来网络研究是通过采用“革命性”的技术路线，对未来互联网的体系架构进行重新设计。2010 年以来，未来网络体系架构的研究得到各国的高度重视，并启动了一系列相关的重大项目和研究计划。其中，美国国家科学基金会（NSF）资助的命名数据网络（NDN）<sup>[10]</sup>和 MobilityFirst（以下简称 MF）<sup>[11]</sup>两个项目提出了全新的命名和寻址方案，可以应用于物联网。与基于传统网络结构的演进方案相比，NDN 和 MF 在重新设计 Internet 的体系架构时采取了更为激进的方式，并希望这些变化能解决例如可扩展性、移动性和安全性等主要问题，具体细节将在以下两部分中讨论。

命名和寻址方案是这些革命性方案的核心，因为它与如何查看 IoT 中的对象或数据密切相关，这也正是变化的意义所在。传统结构如 TCP/IP 以主机为中心、点到点通信模型<sup>[12]</sup>是解决移动性问题的障碍，同时新的命名方案也针对安全性问题，在命名的同时考虑内嵌安全。

##### 4.1 NDN

作为未来网络架构项目，NDN 旨在颠覆 TCP/IP 通信模式，并通过一个以内容/数据为中心的网络结构取而代之。它采用类似于 URI 的全新命名方案，数据的名称将是执行路由、转发、安全性和内容交付等关键功能的核心。

##### 4.1.1 内容中心网络和 NDN

NDN 遵循 Van Jacobson<sup>[13]</sup>提出的以内容为网络中心的概念。内容发布是当今互联网的一个重要功能，它在 TCP/IP 以主机为中心的模式中效率不高。在通过 Internet 获取感兴趣内容的过程中，需要通过 DNS 提供地址映射服务，发现内容所在的位置（例如 IP 地址），然后才能建立连接。而对于只对内容感兴趣的用 户，这些步骤似乎无关紧要。

内容中心网络（CCN）/NDN 的目的是开发一个可以天然适应当前内容获取模式的新型互联网架构，其核心思想是保留 IP 协议栈的沙漏模型，但是细腰层采用类似 URL 的层次化内容命名，从而实现从 IP 为中心向内容/数据为中心的转变；其协

议栈模型如图 3 所示，细腰部分为内容块，取代了传统的 IP 细腰。CCN/NDN 中包含两种数据分组，分别是兴趣分组和数据分组，如图 4 所示。兴趣分组主要包含内容命名；数据分组除了包含内容命名外，还有安全签名和数据。

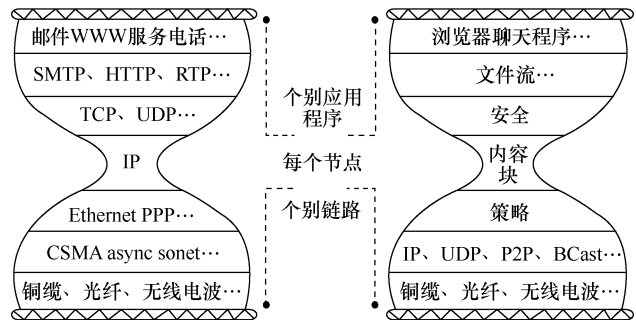


图 3 NDN 协议栈

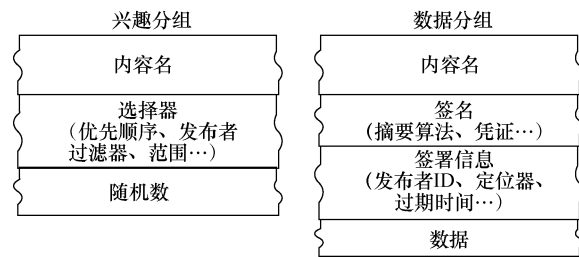


图 4 NDN 分组格式

CCN/NDN 的通信是由接收端（即数据请求者）驱动的。为了接收数据，请求者向网络发送兴趣分组，路由器记录收到兴趣分组的接口，存储在 PIT（pending interest table）中，并且通过在 FIB（forwarding information base）表中查找命名以转发兴趣分组。当兴趣分组到达目的节点后，数据分组将会按记录的 PIT 原路返回，沿路删除 PIT 条目，并根据缓存策略决定是否缓存在途经节点的内容存储表中，这样的一次请求和内容返回就构成了 CCN/NDN 的基本通信过程。

##### 4.1.2 NDN 的命名机制

命名机制是 NDN 体系结构的重要组成部分，它采用了层次化的命名方式，例如，由 PARC 生产的一个视频可以命名为 /parc/videos/WidgetA.mpg，其中“/”表示名字组成部分的分界，而不是名字的组成部分。这种分层式的命名结构有利于体现不同数据块之间的关系，可以进行有效聚合，以减少路由条目。为了检索动态生成的数据，请求者与发布者在数据的命名规范上需要统一。

需要注意的是，虽然层次化命名机制具有良好的可读性和聚合性，但是在查表速度上难以匹敌扁

平化命名机制,因此 CCN 领域中也存在以扁平命名为基础的体系架构,但目前命名领域的研究还没有定论,仍需要进一步的探讨和论证。

#### 4.1.3 命名方案在 NDN 中的作用

事实上,定位和路由取决于数据的命名,这意味着名称的选择将影响 Internet 操作的许多方面。如果引入合适的命名机制,路由的可扩展性、网络交付和应用程序开发将得到改善。特别是路由的可扩展性问题将是 NDN 在未来物联网中的一大挑战。由于 NDN 直接基于名称路由数据分组,且物联网有数十亿个对象需要命名,如果命名方案不能限制名称结构的复杂性,路由表将激增,以至于没有一个商业路由器可以支持。

安全性是与命名方案有关的另一个关键问题。在 CCN 中,确保内容安全的最佳方法是给数据的名称分配一个密钥,当数据将被传输时,密钥会被添加到数据中<sup>[14]</sup>。与 TCP/IP 架构中保护通信信道的安全相比,该方法直接对数据进行加密。这将极大地提高整个网络的服务质量,因为涉及的组件越少,数据的完整性受到损害的可能性就越小。

虽然文献[15]证明了 NDN 在内容分发上更有效,并且在 IoT 的环境下是可行的<sup>[16]</sup>,但是,NDN 要想成为未来网络的体系架构,还有很多问题需要解决,包括一个全面的命名方案。

## 4.2 MF

MF 是 NSF 未来网络体系架构项目的一部分,它致力于为移动服务开发高效和可伸缩的体系架构。MF 的核心思想是将名址分离,以实现更强的移动性能。它提出了一个通用的全局唯一标识符 (GUID, globally unique identifier) 框架,可以用来命名用户、设备、内容、环境等。

### 4.2.1 MF 体系架构

MF 体系架构的主要设计目标是:用户和设备的无缝移动、网络的移动性、对带宽变化和连接中断的容忍、对多播、多宿主和多路径的支撑、安全性和隐私性。这些目标通过名址分离、分散的名字认证服务、全局名字解析服务、存储感知路由、内容和上下文感知服务等共同实现,其中最突出的创新是名址分离。

MF 体系架构如图 5 所示,该体系结构以网络对象的“名字”作为协议栈的基础。在 MF 中,基于名字的服务层使用扁平、不分层的 GUID 来标识物联网对象。从一个简单的设备(如智能手机),到

一组单一的抽象的概念设备/人、内容,甚至上下文,都可以有自己的 GUID。GUID 基于公钥,由专门的认证单位分发给具体的网络对象,作为其持久的网络级标识符。以 GUID 为基础,基于名字的服务层可以很好地支持移动服务,同时也能很好地解决架构的安全性和可靠性方面的隐患。

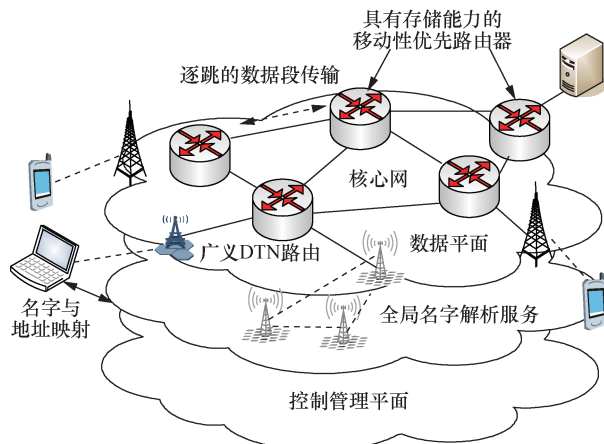


图 5 MF 体系架构

MF 网络的消息格式包括源和目的地的 GUID,还包括指定交付模式的服务标识符 (SID, security identifier),交付模式包括单播(默认)、多播、多宿主、内容检索或基于上下文等多种模式。对于路由来说,基于名称和地址的混合路由采用快速的全局名称解析服务 (GNRS, global name resolution service) 来动态绑定目标 GUID 最新的一组网络地址,从而保证高扩展性。作为 MF 的核心,GNRS 通过动态绑定名字和路由地址,从而支持动态移动性、断线或云迁移。在实际网络中,数据交付使用大数据块,同时利用网络存储来应对网络中链路质量的变化和断开。MF 的内部和域间路由协议具有边缘网络意识和后期绑定(即绑定或重新绑定 GUID 和网络地址)等功能,这些功能对实现设计目标非常重要。MF 的整体设计理念与之前最基本的基于逐跳路由的分组交换模式相似,它以最少的网络状态交换完全满足数据与权威的路由信息。

名址分离这种想法并不新鲜,由 Internet Engineering Task Force (IETF) 开发的 locator/identifier 分离协议 (LISP)<sup>[17]</sup>就使用这个方法来处理现有 IP 网络中的移动性问题。但是,MF 体系是在网络层支持它,这需要对网络架构进行彻底的重新设计。

### 4.2.2 协议设计

MF 协议的设计涉及两个不同的层:元级别的

网络服务层负责实现以抽象名字为基础的服务，核心运输服务层负责路由和转发，如图 6 所示。

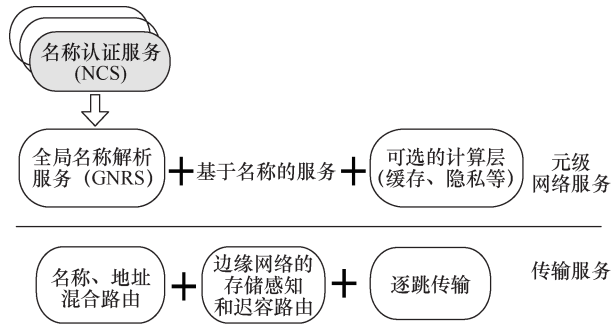


图 6 MF 协议模块

元级别的网络服务层实现为 3 个基本模块：分布式的全局名称解析服务 (GNRS)、基于 GUID 的服务层以及可选的计算层插件。其中，处于控制平面的 GNRS 支持位于数据平面的 GUID 服务层，区域内和跨路由域的控制协议支持数据平面中的路由功能，可选的计算层在 GUID 服务层之上。

核心运输服务层同样实现为 3 个不同的模块：以 GUID/NA 为基础的全球混合路由协议、存储感知/DTN 域内路由和逐跳传输，为多个终端到终端之间的传输提供服务。这些协议提供套接字 API 给多播消息传递、延迟交付、内容检索选项等服务。在控制平面的最高层，应用程序通过名字认证服务，把人们的可读名字转化为对应的 GUID。

#### 4.2.3 GUID 在 MF 的作用

##### 1) 移动性

MF 明确地把可读的名字、GUID 和网络位置信息区分开，名字认证服务把可读的名字与 GUID 绑定，二全局名称解析服务把 GUID 映射到网络地址，从而确保可以无缝移动。

##### 2) 安全性

GUID 的唯一性是通过名称认证服务 (NCS) 指定的唯一的公钥实现，它将内容描述 (通常以字符串的形式) 映射到唯一的 GUID。用户可以通过为其网络对象选择 NCS 在 Internet 上发布新资源，想要检索这个对象的用户只需要在 NCS 中查找相应的 GUID，就可以访问该对象。由于在创建 GUID 时将私有信息的公钥和散列结合在一起，所以安全性是通过命名方案来完成的，就像 NDN 一样。

##### 3) 多宿主

多宿主是 GUID 的另一个功能，因为相同的内容可以同时出现在互联网上几个不同的地方。例

如，一本电子书可以存储在多个库中，在这种情况下，GUID 将绑定它所在的所有网络地址。点到多点映射是由全局名称解析服务完成的，这也是 MF 提供的基本服务。

#### 4.3 NDN 的命名方案与 MF 的比较

在未来网络架构项目中，NDN 和 MF 有一些共同特性，同时具有更基本的差异。命名方案是每个体系结构中的关键组件，两者之间的比较将为未来互联网架构命名方案的发展提供一个清晰的蓝图。表 1 列出了两种命名和寻址方案的共同点、优点和缺点。表中的所有内容都在前文中讨论过。

表 1 NDN 和 MF 命名方案的比较

	NDN	MF
共同点	内嵌安全	
	与网络地址分离	
	自动内容分发	
优点	需要重新设计网络架构	
	基于名字的简单路由机制	利用传统网络路由技术
缺点	更高效的内容分发	更少的移动性开销
	路由表的可伸缩性差	路由规则复杂

## 5 未来物联网命名和寻址方案的考虑

在文献[18]中，IoT 服务被分为 4 类：身份相关服务、信息聚合服务、协作感知服务和无处不在的服务。在命名和寻址问题上，每个服务都有自己的需求。例如，信息聚合服务可能不要求每个对象都有一个唯一的名称，但这是身份相关服务中必须的。这意味着未来物联网的命名和寻址方案应该足够灵活，以提供任何特定的服务。

命名和寻址方案的基础是为网络对象分配标识符，当前构造标识符主要有 4 种方法，分别为随机数据、层次化标识符、附带加密操作 (例如公钥的散列) 以及附加信息码 (如制造商、定位器)。在设计一个新的命名寻址方案时，可以同时应用几种方法。在表 2 中给出了本文提到的每个方案所使用的方法，事实上，这些方法足以构建任何新的命名方案。

## 6 结束语

本文分析了基于传统 TCP/IP 网络架构的 IoT 应用面临的挑战以及 IoT 对命名和寻址技术的需求，阐述了基于现有 IP 体系结构的命名和寻址演进方案 (例如 6LoWPAN、AAID、SensorWeb Ena-

blement、IoT@Work) 的研究进展以及存在的问题。与此同时,像 NDN 和 MF 这样的项目提出了创新的命名寻址解决方案,颠覆了现有的 IP 网络架构,同时可以解决物联网的一些问题。然而,对这些解决方案的研究还有很长的路要走,需要更全面的机制和技术以满足不断增长的物联网应用的需求。

表 2 构建命名寻址方案的方法

项目或架构	命名方案	构造方法
IPv6	URI	层次化标识符, 附加信息码
IPv6	IPv6	层次化标识符
Global IP	AAID	附加信息码
SWE	Sensor UID	附加信息码
IoT@Work	节点命名	层次化标识符, 附加信息码
NDN	内容命名	层次化标识符, 附加信息码, 加密操作
MF	GUID	附加信息码, 加密操作

参考文献:

[1] ITU Strategy and Policy Unit (SPU). ITU Internet reports 2005: the Internet of things[R]. 2005.

[2] 工业和信息化部电信研究院. 中欧物联网标识白皮书[S]. 2014. Telecommunications Research Institute of Ministry of Industry and Information Technology. White paper of Central European Internet of things[S]. 2014.

[3] 黄韬, 刘江, 霍如, 等. 未来网络体系架构研究综述[J]. 通信学报, 2014, 35(8): 184-197. HUANG T, LIU J, HUO R, et al. Survey of research on future network architectures[J]. Journal on Communications, 2014, 35(8): 184-197.

[4] 陈钟, 关志, 孟宏伟, 等. 未来网络体系架构及安全设计综述[J]. 信息安全研究, 2015, 1(1): 9-18. CHEN Z, GUAN Z, MENG H W, et al. A survey of future internet architecture and security design[J]. Journal of Information Security Research, 2015, 1(1):9-18.

[5] 兰巨龙, 胡宇翔, 张震, 等. 未来网络体系与核心技术[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2017. LAN J L, HU Y X, ZHANG Z, et al. Future network architecture and core technology[M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2017.

[6] KUSHALNAGAR N, MONTENEGRO G, SCHUMACHER C, et al. IPv6 over low-power wireless personal area networks (6LoWPANs): overview, assumptions, problem statement, and goals[S]. RFC4919, 2007.

[7] JARA A J, ZAMORA M A, SKARMETA A F. GLoWBAL IPv6: an adaptive and transparent IPv6 integration in the Internet of things[J]. Mobile Information System, 2012, 8(3): 177-197.

[8] HU C, CHEN N, WANG C. Remote sensing satellite sensor information retrieval and visualization based on SensorML[C]//IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS),

2011: 3425-3428.

[9] BAUER M, CHARTIER P, MOESSNER K, et al. Catalogue of IoT naming, addressing and discovery schemes[R]. IERC-AC2-D1, 2013.

[10] ZHANG L X, ESTRIN D, BURKE J, et al. Named data networking(NDN) project[R]. PARC Technical Report NDN-001, 2010.

[11] LUO Y, EYMANN J, ANGRISHI K, et al. Mobility support for content centric networking: case study[M]. Mobile Networks and Management, 2012:76.

[12] ZHU Z, AFANASYEV A, ZHANG L X. A new perspective on mobility support[R]. Technical Report NDN-0013, 2013.

[13] BAID A, VU T, RAYCHAUDHURI D. Comparing alternative approaches for networking of named objects in the future Internet[C]//Computer Communications Workshops. IEEE, 2012: 298-303.

[14] JACOBSON V, SMETTERS D K, THORNTON J D, et al. Networking named content[J]. Communications of the ACM, 2012, 55(1): 117-124.

[15] YUAN H, CROWLEY P. Experimental evaluation of content distribution with NDN and HTTP[C]//INFOCOM. IEEE, 2013: 240-244.

[16] ZHANG G, LI Y, LIN T. Caching in information centric networking: a survey[J]. Computer Networks, 2013, 57(16): 3128-3141.

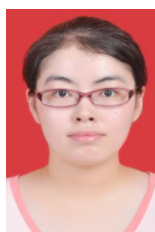
[17] FARINACCI D, FULLER V, MEYER D, et al. The locator ID separation protocol[S]. RFC 6830, 2013.

[18] GIGLI M, KOO S. Internet of things: services and applications categorization[J]. Advances in Internet of Things, 2011, 1(2): 27-31.

[作者简介]



江凌云 (1971-), 女, 南京邮电大学副教授、硕士生导师, 主要研究方向为下一代网络、移动边缘计算、物联网技术与应用等。



穆晏如 (1995-), 女, 南京邮电大学硕士生, 主要研究方向为物联网标识体系、未来网络架构等。



朱洪波 (1956-), 男, 南京邮电大学教授、博士生导师, 主要研究方向为泛在无线通信与物联网、宽带移动通信、下一代网络、无线通信与电磁兼容。