

意图物联网

张佳鸣, 杨春刚, 庞磊, 李建东

(西安电子科技大学综合业务网理论及其关键技术国家级重点实验室, 陕西 西安 710071)

摘要: 意图驱动网络是一种新兴的网络技术, 以其在意图转译、闭环验证和自动化部署等方面的优势, 成为继软件定义网络后又一革命性网络技术。针对目前物联网发展出现的可扩展性弱、数据管理难和安全性能不佳等问题, 提出了基于软件定义网络的意图物联网架构, 并阐述了南/北向接口等关键技术。针对多意图北向接口的一致性问题, 提出意图冲突分解策略, 经仿真验证, 该策略是有效的。

关键词: 意图物联网; 软件定义网络; 物联网; 意图驱动网络

中图分类号: TP393

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.2096-3750.2019.00115

Intent driven Internet of things

ZHANG Jiaming, YANG Chungang, PANG Lei, LI Jiandong

State Key Laboratory of Integrated Service Networks, Xidian University, Xi'an 710071, China

Abstract: Intent driven network (IDN) is an emerging network technology. With its advantages in intent translation, closed-loop verification and automate deployment, it has become another revolutionary network technology after software-defined network (SDN). Aiming at the problem of weak scalability, difficult data management and poor security performance in the current development of the Internet of things, the SDN-based intent driven Internet of things was proposed, and the north-south interface and other key technologies were introduced. Aiming at the consistency problem of multi-intention northbound interface, an intentional-conflict decomposition strategy was proposed, which is proved to be effective by simulation.

Key words: intent driven Internet of things, software-defined network, Internet of things, intent driven network

1 引言

意图驱动网络 (IDN, intent driven network) 是一种新兴的网络技术, 它使得管理员无须关注网络技术的实现细节, 仅需表达网络服务需求, 即可获得自动化的可靠服务。其中, 意图是一种描述系统状态的声明方式, 它从需求的角度抽象出网络的操作对象和功能, 并可以转换为高级策略。

IDN 具有如下特征:

1) 网络状态可感知: 系统实时感知其管控下的系统实时网络状态。

2) 网络策略自动部署、实时验证: 将基于意图的北向接口 (Intent NBI, intent-based northbound interface) 的用户应用意图转换为必要的网络配置

后, 系统将自动部署并实时验证配置的正确性。

3) 保证实施和动态优化: 系统实时验证用户的业务意图是否得到满足, 并在未满足所需意图时, 采取纠正措施。

根据 Gartner 预测, 到 2020 年, 全球物联网设备接入量将达 260 亿台, 面对未来更加庞大的数据流量的处理, 依靠网络设备进行数据流量转发的传统物联网将面临更多挑战, 应用意图物联网可以解决目前物联网面临的可扩展性弱、数据管理难和安全性能不佳等问题。

1) 可扩展性弱: 当数量庞大的物联网设备接入网络时, 设备的按需扩展将是一个较大的挑战。

在意图物联网中, 软件定义网络 (SDN, software-defined network) 控制器可在东/西向按需

扩展, 组成分布式集群来及时响应物联网设备的增加, 增强了网络的可扩展性。

2) 数据管理难: 大量物理设备连接到网络, 将生成大量数据, 如何对数量庞大的数据进行管理和使用成为关键问题。

在意图物联网中, 控制层与数据转发层分离, 主要采用 OpenFlow 技术, 其流表式转发使得数据分组一进入交换机就查询流表内容以获取转发规则, 提高了数据转发效率。

3) 安全性能不佳: 由于物联网设备数量的快速增长, 其传感网络日益庞大, 如何确保数十亿网络设备的安全性也应纳入考虑范围内。通过在意图物联网各层中增加安全管理应用及模块, 可以提高网络设备的安全性。

关于意图物联网的研究, Pham 等在文献[1]中提出了 Intent NBI 的 3 层框架, 但未考虑 Intent NBI 多意图一致性的问题。在文献[2]中, Cerroni 等参考欧洲电信标准化协会 (ETSI, European Telecommunications Standards Institute) 的网络功能虚拟化 (NFV, network function virtualization) 架构, 提出了一个异构的参考网络架构和一个用于跨多个技术领域的端到端服务管理的 Intent NBI, 为未来跨多领域物联网业务的编排提供了解决方案, 但是在该文章提出的架构中并没有明确定义具体各模块的内容及模块相互作用的过程。

在已有研究的基础上, 本文提出了 4 层意图物联网架构, 包括业务应用层、意图使能层、数据转发层和信息感知层。业务应用层根据用户需求提供对上层应用的支持; 意图使能层对用户意图进行响应; 数据转发层负责上下层之间的信息交换; 信息感知层为业务应用层提供必要的的数据支持。

2 意图物联网

2.1 SDN 与 IDN 使能物联网

SDN 通过打破控制面和数据面的垂直集成, 提供了网络可编程的能力, 为物联网带来了如下 3 个好处。

1) 简化物联网: 使用 SDN 通过远程配置和管理, 可以实现资源动态、灵活分配。

2) 增强物联网的可拓展性: 由多个 SDN 控制器组成分布式、高可用集群, 可以避免单一控制器节点存在的单点失效问题。通过控制器集群中控制器数目的增加, 可以快速增加新的物联网设备。

3) 优化物联网数据流量: 使用 OpenFlow 技术转

发数据流量, 若数据分组进入交换机, 则立即查询流表内容以获取转发规则, 并且可以根据网络流量需求定义特殊的转发规则, 提高了数据流量的转发效率^[3]。

相对于 SDN 来说, 应用 IDN 有以下 5 点优势。

1) SDN 面向专业人员, 而 IDN 着眼于满足终端用户的业务诉求, 为垂直行业非专业人员带来便捷。

2) IDN 因其可闭环验证、实时动态更改的特性, 相较 SDN 有更优的顽健性。

3) SDN 对数据信息依赖度较低, 而 IDN 对数据信息依赖度高, 物联网庞大的信息数据更能发挥 IDN 的优势。

4) 虽然 SDN 实现了网络自动化的配置, 但是专业人员仍需手动配置网络策略, 然后交给网络; 而 IDN 可以实现对用户意图的解析直到自动下发全过程, 对网络专业人员依赖较少。

5) 相较 SDN 而言, IDN 通过精细化的策略映射, 改变了传统网络基于粗粒度 KPI 的网络配置, 可提供细粒度的服务交付。

2.2 意图物联网概念

意图物联网是一种新型物联网技术, 它使得用户无须关注物联网的网络内部技术实现细节, 仅需使用自然的会话语言表达网络应用需求, 即可获得自动化、高可靠性和闭环可实时验证的网络服务, 改变了传统物联网的建网、管网方式, 提升了用户体验。同时, 能对物联网中庞大的信息数据流量进行快速转发与处理, 是物联网未来发展的趋势^[4]。

2.3 意图物联网架构

1) 业务应用层

根据用户需求提供对上层应用的支持, 网络管理人员可以通过可编程接口实现对网络的控制和管理功能。

2) 意图使能层

意图使能层的重要组件是意图处理模块, 此模块包括意图的转译和验证, 主要负责对来自 Intent NBI 的用户意图进行处理。基本功能模块主要包括拓扑计算、路径计算、路由和转发等。对物联网设备的定位可以通过 IP 定位实现, 也可以使用名称定位, 因此, 定义了信息名称库来存储设备名称信息。物联网设备管理实现了对物联网设备的接入控制、整体感知等功能。基础支撑模块包括模块管理、事件系统、日志系统、时间管理和存储服务 5 个部分, 为其他模块的运行提供总体支撑^[5]。

意图使能层为业务应用层提供 Intent NBI，通过此接口，用户可以使用正常的会话语言来描述自己对网络应用的需求，控制器被当作集成核心网络服务的智能黑盒，构建网络应用来满足用户请求；通过调用南向接口并通过 OpenFlow 协议来集中管控所有的网络基础设施。同时，意图使能层通过对 OpenFlow 交换机的管理，可以动态添加、删除和修改 OpenFlow 交换机的流表项，从而改变 OpenFlow 交换机的转发规则，实现底层设备的集中化控制。

3) 数据转发层

数据转发层由网络中的各种交换设备组成，主要功能为支持 OpenFlow 交换机和接入网、核心网等各层网络，该层通过物联网网关与下层感知层设备进行高可靠性、高安全性的数据传输。物联网网关主要包括通信模块、中央控制单元和数据收集模块，具有一定的数据处理和设备管理能力，可以对来自底层的数据进行粗粒度处理^[6-8]，再上报给上层控制器，提高了控制器的效率。

4) 信息感知层

信息感知层的主要作用是通过带有各类传感器的智能终端收集底层数据信息^[4]，收集的信息通过物联网网关与上层进行通信，为业务应用层执行各项命令提供数据信息。

5) Intent NBI

Intent NBI 位于业务应用层和意图使能层之间，网络应用程序通过使用 Intent NBI 与控制器进行通信，表达网络行为、定义配置要求和程序转发需求。Intent NBI 隐藏网络对象和服务的底层细节，使得用户可以用声明性的方式而不是命令性的方式来表达意图。

6) 南向接口

意图物联网的南向接口用来定义控制器和网络设备之间的通信协议。OpenFlow 作为成熟的南向接口指导转发型插件，SDN 控制器使用其来更新和插入流规则，这些规则指定了通过给定网络设备的每个流需要执行的相关操作。

意图物联网架构如图 1 所示。

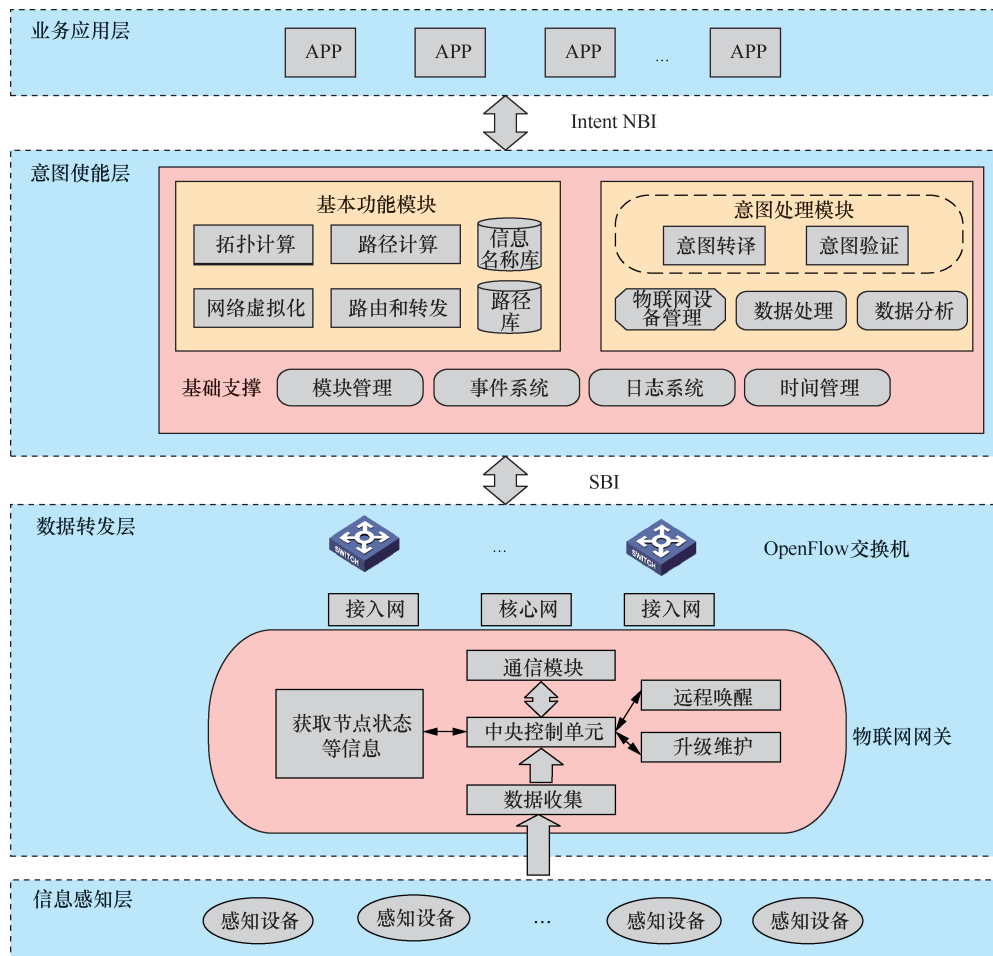


图 1 意图物联网架构

3 多条意图下发冲突分解策略

当多条意图下发时，首先，将每条命令分解为元命令（即物联网中两个操作对象之间的单个操作）；然后，对所有源节点（src）和目的节点（dst）进行归类，形成一个（src, dst）（或（dst, src））的节点对；再将不同集合的操作行为和优先级进行记录（假定网络中两个反向操作为流量的发生与阻止流量的发生，将这两种操作规定为“+”和“-”）^[8]。

当接收大量意图命令时，对意图命令逐条分解，获取该元命令，并将该元命令中的源节点和目的节点的节点对计入表中，同时记录其操作行为和优先级。当某一个元命令已在表中重复（重复指源节点、目的节点的节点对相同且操作相同）时，直接舍弃该操作行为；当某个元命令的节点对与已在表中节点对的操作有冲突时，将操作行为更新为优先级更高的操作（若优先级相同，则先将两个反向操作都计入表中，当下一次对该节点对的操作出现时，选择当前操作，舍弃另一个反向操作；否则，直接选取新出现的操作结果）。如此循环，直至所有意图命令分解完毕，再执行表中的所有操作，所有操作执行结果的初始值为 0，已执行操作的操作结果更改为 1，检查表中所有命令执行结果均为 1，则意图冲突分解完成。意图冲突分解流程如图 2 所示。

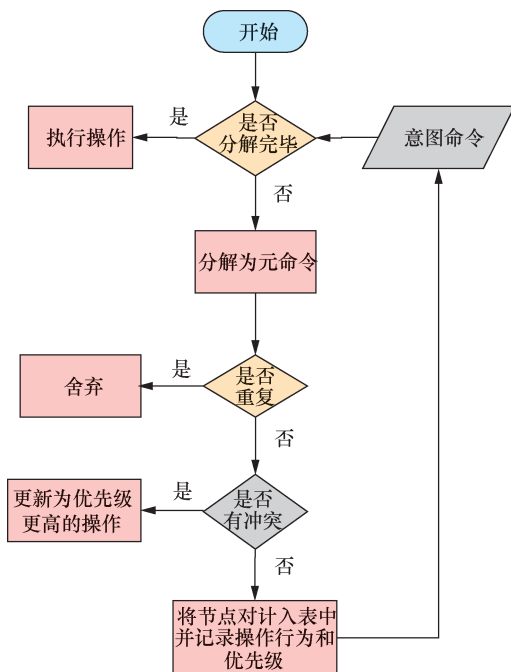


图 2 意图冲突分解流程

假设现在有两条意图命令，即命令 1 和命令 2。其中，命令 1：允许节点 $h1$ 与 $h3$ 之间流量的发生，定义其优先级为 50；命令 2：阻止节点 $h5$ 和 $h2$ 之间流量的发生，定义其优先级为 100。

将其列入表中，意图冲突分解操作示例如表 1 所示。

节点对	操作行为	优先级	操作结果
($h1, h3$)	+	50	0
($h2, h5$)	-	100	0

对于两种特殊情况：

- 1) 阻止所有节点之间流量的发生；
- 2) 允许所有节点之间流量的发生。

用第一条特殊情况举例，将其优先级与其他操作的优先级进行比较。首先阻塞所有节点之间的流量，再将高于这条命令优先级且操作不同的命令进行冲突化解，最后执行冲突化解结果。

4 实际应用：意图泛在电力物联网

目前，电力行业的发展面临以下 4 点问题。

- 1) 不同的地区用电需求不同，导致能源分配不合理。
- 2) 电力设备的定期检修耗时、耗力，未将人工解放出来。
- 3) 特殊地理位置的电力抢修困难。
- 4) 灾害突发情况下电力抢修不及时。

若将意图物联网架构应用于泛在电力场景下，可实现电力精准抢修，则其过程描述如下。

在意图泛在电力物联网场景下，信息感知层通过感知层设备（如电表等）按照用户意图定期收集底层设备的状态信息；数据转发层将信息感知层收集的信息传输到意图使能层；意图使能层将信息存储于数据库中，并将数据库中存储的当前设备状态信息与已有历史信息进行对比，以判断设备状态是否正常；业务应用层通过 Intent NBI 调取数据库信息并根据用户意图对信息进行计算处理，然后将处理结果（即网络此时需要执行的命令）通过南向接口进行下发并实时动态验证“意图命令”的执行情况。若故障不能被故障修复系统自动修复，则安排人工修复，同时告知故障发生地点、故障类型和故障发生原因等，以实现精准抢修。

通过应用意图泛在电力物联网，还可以实现对

电网中电子设备的定期检修, 此时, 只需要用户下发包含“巡检频次、巡检区域和巡检部件”等参数, 便可使网络自动执行巡检命令, 实现了定时巡检、解放人工等目的, 避免了对电力设备突发故障发现不及时等问题的发生, 实现了电力设备故障的及时发现、定位, 并可以精准抢修。

5 仿真

仿真使用环境如表 2 所示。

表 2	仿真使用环境
环境	版本
虚拟机系统	VMware.Workstation.Pro.15.04
操作系统	Ubuntu 16.04.5
仿真软件	Mininet 2.3.0
SDN 控制器	OpenDaylight (Boron-SR2)

泛在电力物联网拓扑结构如图 3 所示, 图 3 中, s1、s2 和 s3 分别用来表示变电、输电和配电过程, s4、s5 和 s6 都用来表示用电过程。交换机下联主机 h1~h6 等用来表示电力网中各个重要设施, 如变电过程中有继电保护装置、变压器、测试装置等。

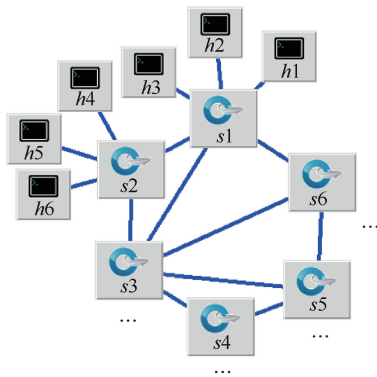


图 3 泛在电力物联网拓扑结构

启动 Mininet, 建立实验拓扑后, 在 OpenDaylight 下 NIC 插件中添加如下 7 条意图命令, 由于 NIC 插件下发意图命令默认优先级相同, 故此假设以下命令的优先级相同。

- 命令 1: 允许主机 h1、h6 传输数据到 h2。
- 命令 2: 阻止主机 h1 与 h2、h6 之间的数据传输。
- 命令 3: 阻止主机 h5 与 h3 之间的数据传输。
- 命令 4: 允许主机 h3 传输数据到 h4、h5。
- 命令 5: 阻止主机 h6 与 h2 之间的数据传输。

命令 6: 允许主机 h1、h3、h6 与 h2 之间的数据传输。

命令 7: 阻止主机 h4 与 h3 之间的数据传输。

添加上述 7 条意图命令后, 对所有命令使用未添加意图冲突化解模块的 NIC 插件进行编译, 原命令如图 4 所示, 编译命令如图 5 所示。其中, Original policies 为下发的原命令, Compiled policies 为编译整合后的结果。

```
>>> Original policies:
from [10.0.0.1, 10.0.0.6] to [10.0.0.2] apply [ALLOW]
from [10.0.0.1] to [10.0.0.2, 10.0.0.6] apply [BLOCK]
from [10.0.0.5] to [10.0.0.3] apply [BLOCK]
from [10.0.0.3] to [10.0.0.4, 10.0.0.5] apply [ALLOW]
from [10.0.0.6] to [10.0.0.2] apply [BLOCK]
from [10.0.0.1, 10.0.0.3, 10.0.0.6] to [10.0.0.2] apply [ALLOW]
from [10.0.0.4] to [10.0.0.3] apply [BLOCK]
```

图 4 原命令

```
>>> Compiled policies:
from [10.0.0.5] to [10.0.0.3] apply [BLOCK]
from [10.0.0.3] to [10.0.0.4, 10.0.0.5] apply [ALLOW]
from [10.0.0.4] to [10.0.0.3] apply [BLOCK]
from [10.0.0.1] to [10.0.0.6] apply [BLOCK]
from [10.0.0.3] to [10.0.0.2] apply [ALLOW]
from [10.0.0.6] to [10.0.0.2] apply [BLOCK]
from [10.0.0.1] to [10.0.0.2] apply [BLOCK]
```

图 5 编译命令

根据上文提出的意图冲突分解策略, 对上述 7 条互相冲突的意图进行分解, 得到如下结果:

- 1) 允许主机 h1 传输数据到 h2。
- 2) 允许主机 h2 传输数据到 h6。
- 3) 阻塞主机 h1 与 h6 之间的数据传输。
- 4) 允许主机 h3 传输数据到 h5。
- 5) 阻塞主机 h3 与 h4 之间的数据传输。
- 6) 允许主机 h2 传输数据到 h3。

将 NIC 插件下发结果与意图冲突分解策略得到的结果进行对比, 原命令的结果如图 6 所示, 意图冲突分解结果如图 7 所示。

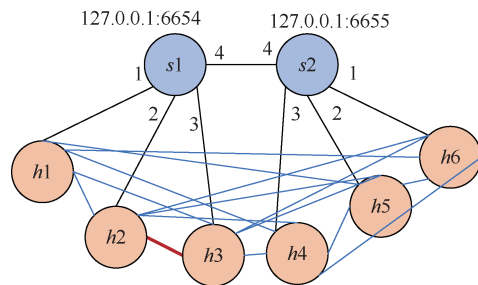


图 6 原命令的结果

图 6 和图 7 中的红色连接表示两个主机之间互通, 蓝色连接表示两台主机之间不互通。将图 6 和图 7 所示结果进行分析, 命令 1 和命令 6 都允许 h1 和 h2 之间以及 h2 和 h6 之间的数据传输, 但若

在 NIC 插件中直接下发原 7 条命令时,在得到的结果中,这两组主机之间不能进行数据传输,而在提出的意图冲突分解策略下,这两组主机之间的流量可以发生,可见此意图冲突分解策略是有效的^[9]。

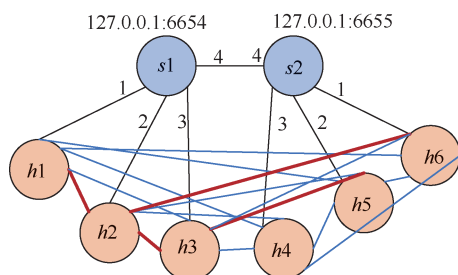


图 7 意图冲突分解结果

6 结束语

IDN 是未来网络演进的方向,在 SDN 物联网的基础上,提出了意图物联网 4 层架构,包括业务应用层、意图使能层、数据转发层和信息感知层。由于 Intent NBI 在用户多意图下发时暴露了逻辑一致性的问题,所以,提出了多意图下发时意图冲突分解策略,该策略在 Intent NBI 处执行,缓解了控制器对于冲突分解的压力。最后,在泛在电力物联网场景下进行了仿真实验,对提出的冲突分解策略与 OpenDaylight 中 NIC 插件分解冲突的能力进行对比,证实了该方法是有效的。

参考文献:

[1] PHAM M, HOANG D B. SDN applications—the intent-based north-bound interface realisation for extended applications[C]//2016 IEEE NetSoft Conference and Workshops (NetSoft). IEEE, 2016: 372-377.

[2] CERRONI W, BURATTI C, CERBONI S, et al. Intent-based management and orchestration of heterogeneous OpenFlow/IoT SDN domains[C]//2017 IEEE Conference on Network Softwarization (NetSoft). IEEE, 2017: 1-9.

[3] 查勇. 基于 SDN 的网络架构在物联网应用中的优势分析与研究[J]. 电子技术与软件工程, 2015(4): 9-10.
ZHA Y. Analysis and research on advantages of SDN-based network architecture in the application of Internet of things[J]. Electronic Technology and Software Engineering, 2015(4): 9-10.

[4] 邱岩, 姬卫东, 陈向伟, 等. 意图物联网在地下综合管廊中的应用[J]. 现代建筑电气, 2018, 9(5): 40-44.
QIU Y, JI W D, CHEN X W, et al. Application of Internet of things in underground integrated pipe gallery[J]. Modern Building Electric, 2018(5): 40-44.

[5] 姚明. IoT 平台中 SDN 控制器的设计与实现[D]. 北京: 北京邮电大学, 2016.
YAO M. Design and implementation of SDN controller in IoT platform[D]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications,

2016.

[6] 黄海昆, 邓佳佳. 物联网网关技术与应用[J]. 电信科学, 2010, 26(4): 20-24.
HUANG H K, DENG J J. Technology and application of Internet of things gateway[J]. Telecommunications Science, 2010, 26(4): 20-24.

[7] 龚钢军, 孙毅, 蔡明明, 等. 面向智能电网的物联网架构与应用方案研究[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(20): 52-58.
GONG G J, SUN Y, CAI M M, et al. Research on IoT architecture and application scheme for smart grid[J]. Power System Protection and Control, 2011, 39(20): 52-58.

[8] KREUTZ D, RAMOS F M V, VERÍSSIMO P E, et al. Software-defined networking: a comprehensive survey[J]. Proceedings of the IEEE, 2015, 103(1): 14-76.

[9] 李宇衡, 刘晓洁. 一种 SDN Intent NBI 的意图一致性问题解决方法[J]. 网络安全技术与应用, 2018(4): 14-16.
LI Y H, LIU X J. A method for intent consistency problem of SDN intent NBI[J]. Network Security Technology and Application, 2018(4): 14-16.

[作者简介]



张佳鸣(1997-),女,陕西宝鸡人,西安电子科技大学硕士生,主要研究方向为意图驱动物联网和泛在电力物联网等。



杨春刚(1982-),男,黑龙江哈尔滨人,西安电子科技大学教授、博士生导师,主要研究方向为意图驱动网络、智能通信网络和立体通信组网等。



庞磊(1995-),男,内蒙古乌海人,西安电子科技大学硕士生,主要研究方向为意图驱动网络和无线 SDN 等。



李建东(1962-),男,江苏阜宁人,西安电子科技大学教授,主要研究方向为宽带无线通信、空间信息网络、智能无线网络、大规模自组织网络、软件无线电和无线网络的干扰管理等。