

# 智慧标识网络控制平面设计与实现

丁 杰, 郜 帅

(北京交通大学 电子信息工程学院, 北京 100044)

**摘 要:**随着互联网的迅速普及和爆炸性发展,网络资源利用率低、网络能耗高等弊端逐步显现。而互联网相对“静态”和“僵化”的网络体系和机制,导致互联网网络新技术和新思想在现有互联网的部署困难。现有互联网具有“三重绑定”的特征,即:服务的“资源和位置绑定”、网络的“控制和数据绑定”及“身份与位置绑定”。智慧标识网络从根本上解决了网络的“三重绑定”,能够使互联网的安全性、移动性等方面的性能得到极大改善。智慧标识网络原型系统是智慧标识网络理论体系验证平台,对理论研究的发展和新成果、新思想的验证具有重要意义。文中将提出一种智慧标识网络原型系统控制平面的设计思想,阐述了实现方案并定性验证了功能,完成了对智慧标识网络原型系统控制平面资源适配和决策下发的初步实现。

**关键词:**智慧标识网络;控制平面;资源适配;控制转发分离

**中图分类号:**TP393

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2015)10-195-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.10.043

## Design and Implementation of Control Plane in Smart Identity Network

DING Jie, GAO Shuai

(School of Electronics and Information Engineering, Beijing Jiaotong University,  
Beijing 100044, China)

**Abstract:** With the rapid spread and explosive growth of the Internet, there have been an increasing demand of the Internet. The rigid and static Internet make it difficult to implement new technologies and new ideas. On the whole, the current Internet has three types of bindings due to the defect of design, namely the binding between resource and locators, the binding between control and data, and the binding between identity and locator, which are basically solved in smart identity network, greatly improving the security and mobility and other performance of Internet. While the prototype system of smart identity network means much to the development of theory and identification of novel achievement and idea. A design thought of the control plane of the prototype system is proposed in this paper and a qualitatively functional validation scheme is described, which fundamentally accomplish the implementation of resource adaption and decision delivery of the control plane.

**Key words:** smart identity network; control plane; adaptive resource allocation; separation between control and forwarding

## 1 概 述

现有互联网原始设计的缺陷,导致互联网在可扩展性、移动性、安全性等方面存在难以完全解决的问题。近年来国内外都非常重视未来互联网体系的研究工作。

2005 年,美国启动了 GENI (Global Environment for Networking Innovations) 计划<sup>[1]</sup>,旨在为分布式网络、新型应用的研究提供较大规模的网络环境。2006 年,美国进一步启动 FIND (Future Internet Network Design) 计划<sup>[2]</sup>,旨在设计全新的未来互联网架构。在

GENI 和 FIND 计划研究的基础上,美国自然科学基金委在 2010 年启动了 FIA 计划,资助对象囊括了 NDN (Named Data Networking)<sup>[3-5]</sup>、Mobility First<sup>[6]</sup>、NEBULA<sup>[7]</sup>、XIA (eXpressive Internet Architecture)<sup>[8]</sup>、ChoiceNet<sup>[9]</sup> 这五个重大项目,从服务质量、移动性、安全性、云计算、未来互联网通信模型等侧面对未来互联网进行了研究。2008 年,斯坦福大学的科学家在 SANE<sup>[10]</sup> 和 Ethane<sup>[11]</sup> 的研究基础上提出了 OpenFlow 技术,实现了控制平面和数据转发平面分离的网络设计思想。OpenFlow 技术以其灵活性和规范性引起了

收稿日期:2014-11-24

修回日期:2015-03-04

网络出版时间:2015-09-23

基金项目:国家“973”重点基础研究发展计划项目(2013CB329100)

作者简介:丁 杰(1989-),男,硕士研究生,研究方向为智慧标识网络;郜 帅,博士,副教授,研究方向为新一代信息网络关键理论与技术。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150923.1508.064.html>

学术界和产业界的共同关注,并进一步将逻辑控制和数据转发分离的思想推广为软件定义网络(Software Defined Network, SDN)。

我国对未来互联网体系架构的研究也非常重视。智慧标识网络(Smart Identifier Network, SINE)在国家 973 项目“一体化可信网络与普适服务体系基础研究”<sup>[12]</sup>的基础上,提出了“三层”、“两域”的总体架构模型。“三层”即:智慧服务层、资源适配层和网络组件层;“两域”分别指“实体域”和“行为域”<sup>[13-14]</sup>。在这个网络基础框架下,进一步提出了智慧服务层的工作机理<sup>[15]</sup>、网络组件层协同机制<sup>[16]</sup>和应用场景<sup>[17]</sup>。

智慧标识网络理论体系从根本上解决网络的三个“绑定”,实现控制平面与转发平面的分离、资源与位置的分离、身份与位置的分离。而智慧标识网络控制平面是网络原型系统设计实现过程中的重要组成部分,主要负责网络信息的收集和维护与资源适配机制的部署。

## 2 控制平面的设计

### 2.1 设计需求和目标

在智慧标识网络整个“三层”、“两域”的网络架构体系中,控制平面需要完成的工作主要包括:网络信息的收集和维护和资源适配机制的实现。

#### (1) 网络信息的收集和维护。

在智慧标识网络理论体系中,控制平面由分层分级的智慧标识网络控制中心组成,每一个控制中心对其管辖区域内的网络具备完全的管控能力。因此,控制中心必须对其管辖区域内的网络信息完全掌握,并保持网络状态的实时同步。本小节将从网络信息收集的内容和网络信息收集的方式两个角度阐述智慧标识网络控制平面网络信息的收集和维护的需求。

网络信息收集的内容可以概括为三个方面:组件(定义网络组件为一种具有数据采集、生成、转发、存储、计算等一种或多种功能的网络设备)能力信息、网络拓扑信息和服务信息。

组件能力信息分为组件的动态信息和静态信息。动态信息表征组件实时的可用资源,静态信息表征组件总体资源。组件能力信息收集的对象包括组件的处理能力、存储能力、数据传输能力、物理端口信息。网络拓扑信息需要收集网络连接状态和网络拓扑形态。服务信息收集组件所能提供的服务的标识、行为描述等相关信息。

网络信息收集的方式分为主动和被动两种方式。主动方式由控制平面特定条件触发,由控制中心主动向网络组件问询;组件在收到问询消息后向控制器发送相应的信息。被动方式由网络组件主动向控制平面

注册新信息,并在节点状态/网络状态发生变化时,及时向控制平面发送更新消息。

#### (2) 资源适配机制的部署。

资源适配机制是智慧标识网络提高网络资源利用率、实现网络节能等目标的重点。智慧标识网络资源适配层的工作主要由网络的控制平面完成。资源适配机制的部署包括:计算路径代价;选取服务资源;下发决策结果。本小节将阐述智慧标识网络资源适配过程所需要完成的工作。

首先,控制平面需要根据服务请求者的需求,从所有已经注册的网络服务提供者列表中筛选出所有满足需求的服务标识(Smart ID, SID)。然后根据服务标识,完成一次服务标识到服务行为描述(Service Behavior Description, SBD)的映射查找。服务行为描述是智慧标识网络对于服务的带宽需求、时延需求、位置信息、服务安全等级、服务优先等级等服务本身信息的抽象描述。根据查找结果,解析得到服务提供者所在的网络组件的组件标识(Node ID, NID)。控制平面根据服务请求者的组件标识和服务提供者的组件标识计算出所有可能的数据传输路径,并记录路径上所有参与数据传输的网络组件的组件标识。根据组件标识完成与组件行为描述(Node Behavior Description, NBD)的映射查找,获取组件的网络拓扑、带宽信息、时延信息、存储状况等网络组件信息。控制平面计算对每一条可能获取到服务的路径完成一次服务所需要占用的网络资源,并进行比较得出最优路径。最后,控制器将资源适配的结果以转发表项的形式向路径中的每一个网络组件下发决策结果,完成资源适配过程。

路径代价计算是资源适配过程的基础。智慧标识网络需要根据不同服务请求者的服务需求,提供不同的路径代价计算方法。最优路径可能是网络资源消耗最少的路径、获取服务最快的路径等。

服务资源的选取是资源适配机制的核心。智慧标识网络完成服务资源的选取需要具备两个条件:存在具备缓存能力网络组件,能够根据控制平面策略缓存数据;控制平面掌握网络基本信息。

决策结果的下发是控制器向决策结果在网络组件层生效的重要步骤。下发过程依赖智慧标识网络协议体系,保证决策结果的转发表项在网络组件中正确安装。

### 2.2 OpenFlow 控制器分析

基于 OpenFlow 的软件定义网络架构是学术界和产业界一致认可的网络新技术。在 OpenFlow 软件架构下展开智慧标识网络的研究和试验,能够利用开放的网络接口,较灵活地进行方案实现。但是,OpenFlow 技术仅仅解决了“三个绑定”中的“控制和转发绑定”,

无法实现“身份和位置的分离”、“资源和位置的分离”。

目前,支持 OpenFlow 协议的控制软件数量繁多,各有特点<sup>[18]</sup>。其中,NOX 也已经发布了多个版本,如 NOX Destiny、NOX Zach、POX 等。但是,这些控制器都是围绕着基于 OpenFlow 协议的 SDN 架构进行开发的。因此,在作用上相当于智慧标识网络控制平面的 OpenFlow 控制器,无法实现智慧标识网络的目标。本小节将在智慧标识网络背景下进一步分析以 POX 为代表的 OpenFlow 控制器。

首先,分析 POX 控制器在智慧标识网络理论体系下信息收集和维护方面的不足。从信息收集的深度来看,OpenFlow 协议在连接建立的时候会发送一对 Feature Request/Reply 包,用于收集 OpenFlow 交换机上的端口信息,包括端口数量、端口的 IP/MAC 地址等。但是,控制器并不能收集交换机本身的性能信息,例如,处理能力、存储能力等。从信息收集的效率来看,对于网络拓扑信息的收集,POX 控制器通过使用 LLDP 格式的消息来实现,而使用这种收集方法会造成大量的 LLDP 数据包占用控制链路带宽。从信息收集的对象来看,OpenFlow 控制器信息收集只针对于 OpenFlow 交换机,并不能完全掌握管辖区域内的所有物理设备的信息。从信息维护的手段来看,POX 控制器将收集的信息存放于程序内部。这种方式虽然更加容易实现,但所存储数据的安全性无法得到保障,在程序重新启动后需要重新收集。

然后,分析 POX 控制器的路由转发机制相对于智慧标识网络资源适配机制的不足。第一,POX 控制器中的路由转发机制是基于传统的基于连接的网络进行设计的,无法实现基于服务的资源匹配过程。第二,由于信息收集的缺陷,POX 控制器路径计算的算法无法完成到智慧标识网络多样化的匹配机制。

最后,由于智慧标识网络架构与现有互联网架构的本质区别,OpenFlow 的协议已经无法满足智慧标识网络控制平面的需求:无法支持多样化信息的收集和维护;无法实现智慧标识网络中基于服务标识的查找和基于组件标识的转发。

虽然 OpenFlow 控制器的设计已经较为成熟,但是仍然无法满足智慧标识网络控制平面的功能需求,必须对智慧标识网络控制平面重新进行设计。

2.3 方案设计

针对智慧标识网络控制平面的设计需求,对 POX 控制器重新进行设计。设计思路是在现有的 POX 控制器基础上,加入 SINE 模块来完善 POX 的功能,以满足智慧标识网络控制平面的设计需求。总体框架如图 1 所示。

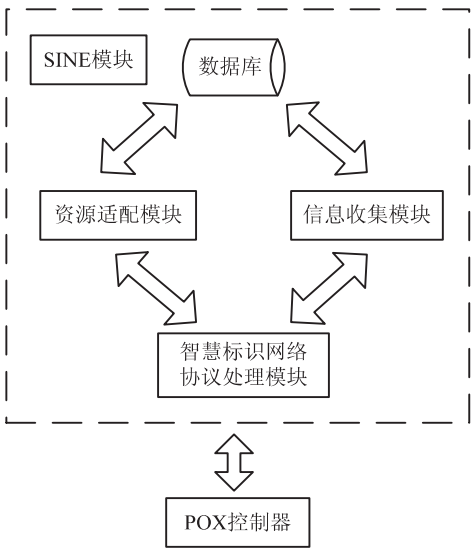


图 1 智慧标识网络控制平面设计框架

方案实现的主体思想是通过 POX 软件的事件系统,在 POX 程序主进程中添加 SINE 事件,从而将智慧标识网络的 SINE 模块与原本 POX 软件中的 OpenFlow 协议模块独立开来。当 POX 控制器与智慧标识网络数据转发平面的组件建立安全连接后,控制平面开始检测安全通道中带有智慧标识网络协议头的数据包。控制平面在接收到相关数据包后,将会触发 SINE 事件,进入到 SINE 模块处理流程。SINE 模块包含四个子模块:智慧标识网络协议处理模块、信息收集模块、资源适配模块和数据库模块。

智慧标识网络协议处理模块是 SINE 模块与 POX 主程序的接口模块,负责智慧标识网络独立协议体系下的消息处理,流程图如图 2 所示。

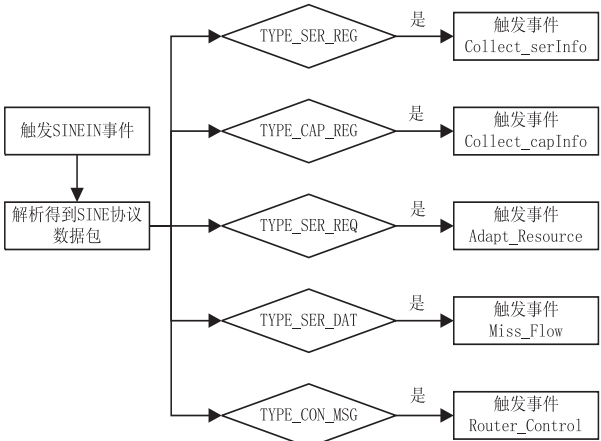


图 2 智慧标识网络协议处理子模块流程图

POX 主程序启动后,通过事件系统触发 SINEIn 事件,进入到协议处理子模块中。协议处理子模块对数据包进行解析,通过判断不同的协议类型,触发对应事件的处理句柄做进一步的处理。

信息收集模块负责提取经过协议处理的数据中的信息,流程图如图 3 所示。



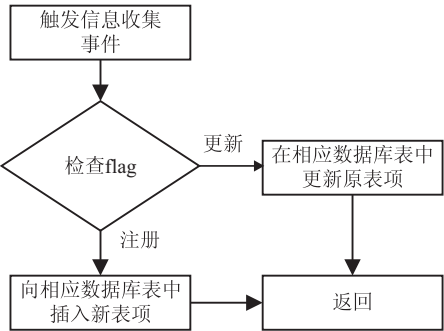


图 3 信息收集模块流程图

模块由事件 Collect\_serInfo 和 Collect\_capInfo 触发。进入事件处理句柄后,提取数据包中的标志位进行判断。若为注册信息,则向数据库对应的表中插入新的行;若为更新信息,则在数据库中根据主键查找对应行,并修改相应的数据项。

资源适配模块负责为提供数据的节点和发起数据请求的节点之间计算一条数据传输路径,流程图如图 4 所示。

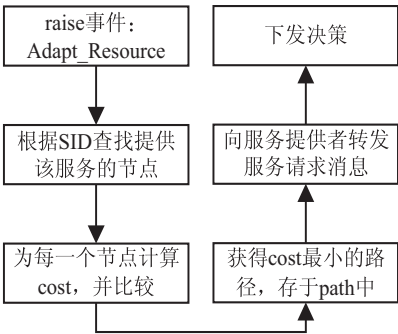


图 4 资源适配模块流程图

模块由事件 Adapt\_Resource 触发。程序进入处理句柄后,根据服务请求包中携带的 SID 完成一次从 SID 到 SBD 的映射查找。然后根据 SBD 找到服务提供者的 NID。根据服务提供者的 NID 和服务请求者的 NID 计算出所有可能提供服务的路径。然后,在数据库中查找 NID 对应的组件行为描述,从而获取网络组件信息。程序根据数据库中存储的网络组件信息(包括带宽信息、时延信息、运营商信息等)决策出一条数据转发路径。路径信息通过控制信息向路径中的 SINE 路由器传达,并在路径决策信息安装完成后向服务提供节点转发服务请求信息。

数据库模块主要负责在程序启动时与数据库建立连接,存储节点能力信息、网络拓扑信息、网络状态信息和服务信息,并为 SINE 模块提供数据库基本操作的函数接口。主要操作包括数据库的开启、插入、更新、删除以及数据库的关闭操作。

在图 1 所示总体设计框架下,加入 SINE 模块的 POX 控制器能够实现智慧标识网络控制平面设计的基本需求。第一,智慧标识网络网络组件层收集网络

节点的能力信息、服务信息,并通过拓扑发现机制收集网络拓扑信息。网络组件将收集到的信息主动向控制平面汇报,控制平面收到数据后经信息收集模块处理并存于数据库中,满足智慧标识网络网络信息收集和维 护的需求。第二,当基于 SID 服务请求到达控制平面,资源适配模块将提取服务请求数据包中的 SID,并基于 SID 和数据库中已有的信息选择合适的策略适配网络资源。资源适配模块的决策信息最终通过智慧标识网络协议处理模块向网络组件下发控制信息,从而完成智慧标识网络中的资源适配机制的部署。

3 方案验证

本小节将阐述对智慧标识网络控制平面软件的定性测试。

智慧标识网络控制平面的软件测试环境如图 5 所示。

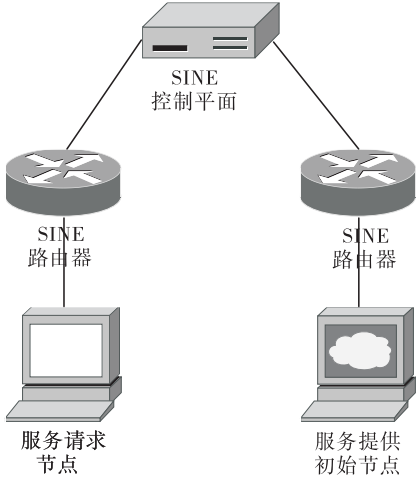


图 5 实验环境拓扑

实验环境包括一台 SINE 控制节点、两台 SINE 路由器、一台服务请求节点和一台服务提供初始节点。SINE 控制节点安装智慧标识网络控制平面的软件;SINE 路由器安装 SINE 转发软件;服务请求节点安装 FTP 客户端和 SINE 公共模块;服务提供初始节点安装 FTP 服务器和 SINE 公共模块。

测试过程中需要完成如下步骤:服务请求节点向直连的路由器发送服务请求消息,SINE 路由器 1 在接收到服务请求消息后向 SINE 控制节点转发服务请求消息。控制节点为该服务适配资源,并向相关路由器下发决策信息。决策信息下发完成后,控制节点向服务提供节点直连的 SINE 路由器 2 转发服务请求消息。SINE 路由器 2 在接收到服务请求消息后,向服务提供节点转发服务请求消息。服务提供节点在接收到服务请求消息后发送服务相关数据到直连的 SINE 路由器 2。SINE 路由器 2 在接收到数据后根据控制节点下发的决策向 SINE 路由器 1 转发数据。SINE 路由器 1 在

接收到数据后向服务请求节点转发数据,完成一次服务请求过程。

文中设计方案在上述测试环境中能够完整地完 成一次 FTP 服务请求,并能在 SINE 路由器中查询到资源适配的决策结果,满足智慧标识网络控制平面的基本功能需求。

### 4 结束语

文中以智慧标识网络理论体系为背景,详细阐述了智慧标识网络控制平面的设计需求,提出基于 OpenFlow 技术的 POX 控制器在智慧标识网络框架下的缺陷和不足,进一步提出对 POX 控制器的改进方案并介绍了该方案在 POX 控制器上的实现方法。对于控制平面进一步的开发,将围绕着国家“973”项目智慧标识网络理论体系,逐步将理论体系中新的研究成果部署到控制平面。下一步,将对控制平面可视化管理的部署进行实现。

### 参考文献:

[1] Elliott C. GENI: opening up new classes of experiments in global networking [ J ]. IEEE Internet Computing, 2010, 14 ( 1 ): 39-42.

[2] FIND; future Internet network design [ EB/OL ]. 2006. <http://find.isi.edu>.

[3] Nameddata networking [ EB/OL ]. 2010. <http://www.named-data.net/>.

[4] Jacobson V, Smetters D K, Thornton J D, et al. Networking named content [ C ] // Proc of ACM CoNEXT. New York: ACM Press, 2009.

[5] Zhang Lixia, Estrin D, Burke J. Named Data Networking (NDN) project [ R ]. [ s. l. ]: [ s. n. ], 2010.

[6] MobilityFirst [ EB/OL ]. 2010. <http://mobilityfirst.winlab.rutgers.edu/>.

[7] Nebula [ EB/OL ]. 2010. <http://nebula.cis.upenn.edu/>.

[8] XIA-eXpressive Internet architecture [ EB/OL ]. 2010. <http://www.cs.cmu.edu/~xia/>.

[9] ChoiceNet: network innovation through choice [ EB/OL ]. 2010. <https://code.renci.org/gf/project/choicenet>.

[10] Casado M, Garfinkel T, Akella A, et al. SANE: a protection architecture for enterprise networks [ C ] // Proc of the 15th conf on USENIX security symposium. Vancouver: USENIX Association, 2006: 137-151.

[11] Casado M, Freedman M J, Pettit J, et al. Ethane: taking control of the enterprise [ C ] // Proc of the SIGCOMM 2007. Kyoto: ACM Press, 2007.

[12] 张宏科, 苏 伟. 新网络体系基础研究——体化网络与普适服务 [ J ]. 电子学报, 2007, 35 ( 4 ): 593-598.

[13] 张宏科, 罗洪斌. 智慧协同网络体系基础研究 [ J ]. 电子学报, 2013, 41 ( 7 ): 1249-1254.

[14] 张宏科, 黄道超. 智慧标识网络的未来互联网体系 [ J ]. 电信科学, 2013, 41 ( S1 ): 20-28.

[15] 苏 伟, 陈 佳, 周华春, 等. 智慧协同网络中的服务机理研究 [ J ]. 电子学报, 2013, 41 ( 7 ): 1255-1260.

[16] 郜 帅, 王洪超, 王 凯, 等. 智慧网络组件协同机制研究 [ J ]. 电子学报, 2013, 41 ( 7 ): 1261-1267.

[17] 张宏科, 贾 濡. 未来互联网络及其应用——智慧标识网络 [ J ]. 科研信息化技术与应用, 2014 ( 1 ): 35-40.

[18] 左青云, 陈 鸣, 赵广松, 等. 基于 OpenFlow 的 SDN 技术研究 [ J ]. 软件学报, 2013, 24 ( 5 ): 1078-1097.

(上接第 194 页)

[2] 张 铮, 王艳平, 薛桂香. 数字图像处理与机器视觉 [ M ]. 北京: 人民邮电出版社, 2013.

[3] 刘海波, 沈 晶, 郭 耸. Visual C++ 数字图像处理技术详解 [ M ]. 北京: 机械工业出版社, 2010.

[4] Bradski G, Kaebler A. Learning OpenCV [ M ]. [ s. l. ]: O' Reilly Media, Inc, 2008.

[5] 肖 翔, 刘晓明, 王云柯. QR 码图像的矫正与定位方法研究 [ J ]. 计算机科学, 2007, 34 ( 11 ): 217-219.

[6] 张 琼, 沈海宏, 沈民奋, 等. 基于 HALCON 的无标记印刷品图像质量检测 [ J ]. 汕头大学学报: 自然科学版, 2011, 26 ( 2 ): 63-68.

[7] 卫晋伟, 戴曙光, 穆平安. 基于形态学和 Hough 变换的 QR 码校正与定位方法 [ J ]. 电脑与信息技术, 2010, 18 ( 6 ): 32-35.

[8] 雷 琳, 陈 涛, 李智勇, 等. 全局仿射变换条件下图像不变量提取新方法 [ J ]. 国防科技大学学报, 2008, 30 ( 4 ): 64-70.

[9] 杨 帆. 数字图像处理与分析 [ M ]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.

[10] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms [ J ]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1979, 9 ( 1 ): 62-66.

[11] Gonzalez R C, Woods R E. Digital image processing [ M ]. [ s. l. ]: Pearson Education, Inc, 2002.

[12] Chen Changsheng, Kot A C, Yang Huijuan. A two-stage quality measure for mobile phone captured 2D barcode images [ J ]. Pattern Recognition, 2013, 46: 2588-2598.

[13] Wang S, Wu C. A new impulse detection and filtering method for removal of wide range impulse noises [ J ]. Pattern Recognition, 2009, 42 ( 9 ): 2194-2202.

[14] Toh K, Ibrahim H, Mahyuddin M. Salt-and-pepper noise detection and reduction using fuzzy switching median filter [ J ]. IEEE Trans on Consumer Electronics, 2008, 54 ( 4 ): 1956-1961.

# 智慧标识网络控制平面设计与实现

作者：[丁杰](#)，[郜帅](#)，[DING Jie](#)，[GAO Shuai](#)  
作者单位：[北京交通大学 电子信息工程学院, 北京, 100044](#)  
刊名：[计算机技术与发展](#)[ISTIC](#)  
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)  
年，卷(期)：2015(10)

引用本文格式：[丁杰](#).[郜帅](#).[DING Jie](#).[GAO Shuai](#) [智慧标识网络控制平面设计与实现](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#)  
2015(10)