

面向 QoE 驱动的软件定义网络业务流控制模型

王 莉

(南京邮电大学,江苏 南京 210003)

摘 要:文中主要研究基于软件定义网络的业务流的优化控制,通过面向用户体验质量(Quality of Experience, QoE)的驱动,引入 QoS 匹配和优化模型,采用最终用户之间的服务和通信参数的协商机制,根据约定的服务配置分配用于提供业务流传输的网络路径。文中基于软件定义网络的概念,网络的逻辑控制功能和高层策略可以通过中央控制器灵活地进行动态管理和配置,以达到集中式的多用户路径分配的优化。为此,提出建立一种新型的业务流控制模型,从而使多媒体业务流采用最好的服务配置在最佳可用的路径上传递,最终实现总体 QoE 最大化的目标。

关键词:软件定义网络;业务流控制;用户体验质量;服务协商;路径优化

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)11-0125-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.11.025

Model of Software Defined Network Service-flow Control to QoE-driven

WANG Li

(Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

Abstract: In this paper, study the optimization of service-flow control based on software defined network, through Quality of Experience (QoE)-driven, introducing a QoS matching and optimization models, adopting the negotiation of service and network communication parameters between end-users, assign the network paths that are used for delivering multimedia flows according to the agreed service configuration. Based on the concept of software defined networks, the logical control functions and high-level policy of the network can be dynamically managed and configured flexibly by the central controller, in order to achieve a centralized multi-user optimization of the path assignments. Therefore, propose a new service-flow control model that allows delivering multimedia service-flow over the best available path using the best service configuration, in order to achieve the goal of maximizing the overall QoE.

Key words: software defined network; service-flow control; QoE; service negotiation; path optimization

0 引 言

随着计算机与网络技术的飞速发展,人们早已不再满足传统的以文字、数字和图片为主的方式来传递信息,转而更倾向于多种媒体业务的包含高质量的音频和视频等多种综合的形式。在这一背景下,媒体流业务的应用已经渗透到人们工作生活的方方面面。

媒体流业务是利用流的方式在网络中传输音频、视频等多媒体文件。流式传输方式是将视频和音频等多媒体文件经过特殊的压缩方式分成一个个压缩包,由服务器向用户计算机连续、实时传送。在采用这种传输方式的系统中,用户不必等到整个文件全部下载完毕后才能看到当中的内容,而只需要经过短暂的启

动延时即可在用户计算机上进行实时观看。然而,这种业务流具有数据量大、实时性要求高和误码敏感等特点,不同的媒体类型和用户体验质量要求,对网络资源的需求也不同。为了得到最佳的用户体验质量,需要建立一种在资源约束条件下,根据 QoE 进行业务内容传输的协商和优化机制。在业务层上,设计多种媒体流业务以适应传输不同质量等级的配置。而在网络层上,所有的数据流在给定的源点和目的点之间遵循相同的路径,这样的路径在所有的媒体类型中可能不是最优的。例如,一个音频流应该在延迟最小的路径上传输,而一个非实时的数据流通常应该在具有足够的带宽容量的路径上传输。因此,文中需要设计一个

收稿日期:2015-01-17

修回日期:2015-04-22

网络出版时间:2015-09-23

基金项目:国家“863”高技术发展计划项目(2009AA01Z212)

作者简介:王 莉(1989-),女,硕士研究生,研究方向为下一代通信网络与 IP 技术。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150923.1503.008.html>

系统,使用最好的服务配置在最佳可用的路径上传递媒体流给每个用户,以使所有用户总的 QoE 最大化。

由于实施共同优化网络元素和终端主机配置的服务是困难的,它需要精确地控制应用需求上的数据包转发。因此,文中提出了一种新的体系结构。该体系结构由软件定义网络 (Software Defined Network, SDN) 构成,它能提供与硬件设备独立的 API 来实现这样的功能。文中首先从整体概括系统架构,其次是一个说明性的例子,介绍执行情况和今后的工作。

1 背景及相关工作

1.1 软件定义网络

在传统路由器和交换机的设计中,数据层面的快速报文转发和高层的路由决定是集成在一起的。但随着网络规模的急剧膨胀和应用类型的不断丰富,封闭的网络设备的结构和功能日趋复杂,管控能力日趋减弱,这种紧耦合大型主机式的发展限制了 IP 网络创新技术的出现。然而,美国斯坦福大学的 Clean slate 研究组提出了一种新型网络架构—软件定义网络。利用分层的思想,SDN 解耦了网络的数据转发层与控制层,两层之间采用开放的统一接口进行交互,可在逻辑上进行集中控制,通过标准接口进行编程^[1]。在软件上实施它们自己的规则和策略,并在抽象、虚拟化的网络基础设施中进行部署,网络运营商可以在网络服务上实现灵活控制,实现网络的集中管控和网络应用的可编程,使整个网络变得更加可控。

SDN 体系结构如图 1 所示。在逻辑上有三层:数据层、控制层、应用层。

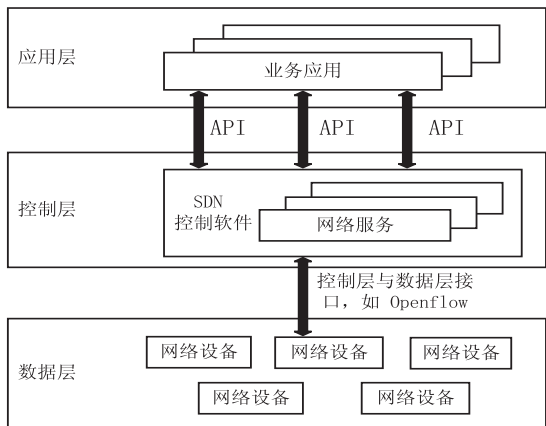


图 1 软件定义网络架构

数据层表示网络的底层转发设备,仅提供简单的数据转发功能,快速处理匹配的数据包,适应日益增长的流量需求。

控制层集中维护全局网络状态,并通过南向接口 (如 OpenFlow 等) 获取底层基础设施信息,同时为应用层提供可扩展的北向接口,以便应用能够通过全网信

息进行网络的统一配置^[2]。

应用层的各项业务通过编程方式调用所需网络抽象资源,方便用户对网络配置和应用部署等业务的快速推进^[3]。

目前,开放网络基金会 (Open Networking Foundation, ONF) 推广的 OpenFlow 协议,在控制层和数据层之间提供了第一个标准化的接口^[4-5]。ONF 还致力于控制层和应用层之间的 API,应用层根据网络不同的应用需求,调用控制层的北向接口,实现不同功能的应用程序,简化网络模型,用户仅需通过控制层提供的接口对网络进行简单配置,就可自动完成沿路径转发设备的统一部署。通过这种软件模式,网络管理者能够通过动态的 SDN 应用程序来配置、管理和优化底层的网络资源,从而实现灵活、可控的网络,这也是 SDN 开放性和可编程性最重要的体现。因此,软件定义网络为业务流控制提供了一种新的解决方案。

在这种控制转发分离架构下,网络的逻辑控制功能和高层策略可以通过中央控制器灵活地进行动态管理和配置,在现有的网络中实现和部署新型网络架构,最终实现业务流控制。SDN 的控制层拥有全局的网络拓扑图,它可以通过流量工程使用传统的图形优化算法实现控制应用程序。例如, Ethane 是一个集中控制系统,用来优化数据中心的业务流^[6]。使用 OpenFlow 实现网络服务器之间的负载均衡^[7]等。

文中引入用户体验质量的相关概念,如下所述。

1.2 用户体验质量

传统的服务质量管理一直是以客观的服务质量 (Quality of Service, QoS) 为衡量标准。QoS 的作用主要用来计算和预测不同的网络层参数,如丢包率、时延、抖动等,反映当前网络的服务质量,这对服务质量的评测结果和用户实际体验之间存在很大的差距。服务提供商主要关心如何利用网络提供服务,不断优化自身的业务,保证向用户提供的服务达到 QoS 要求。网络提供商主要关心的是采取何种保证策略以满足网络层 QoS 需求,但它们并不能直接反映用户对服务的认可程度。事实上,用户才是服务的直接体验者和最终评价者。为此,文中引入用户体验质量 (Quality of Experience, QoE) 的概念^[8]。ITU 对 QoE 的定义为:终端用户对应用或者服务整体的主观可接受程度^[9]。它从用户的角度来感知系统的整体性能,在一定程度上表达了用户对业务的满意程度。它综合了服务、用户、环境、设备和应用程序等多种因素,成为新的衡量服务质量的重要标准。

为了达到面向 QoE 驱动的网络资源分配决策的目的,必须了解网络性能和用户感知质量之间的相关性。在经济学上,效用函数通常被用作一个正式的数

学方法以表示最终用户对相应的多标准服务性能的满意程度。不同类型的带宽函数的效用曲线描绘出相应的不同的流量类型,如弹性和非弹性的流量类型。音频和视频流量通常具有适应性的功能,可以容忍某些延迟或丢失,只要它低于某一阈值。一般情况下,效用曲线依赖于应用程序级别的配置参数,如编解码器、帧速率等。在具有多个媒体组件的多模式会话情况下,不同的效用函数对应于每一个媒体组成部分,整个会话效用则表现为某种形式的加权组合。

文中将 QoE 模型部署在网络中,以实现 QoE 优化和控制的目的。QoE 的优化可以从单个用户会话的角度考虑,包括当前终端、网络和服务约束。而对于多用户域范围内的 QoE 优化问题,将涉及跨多个会话进行的域范围内的资源分配决策。

其实,许多相关文献提到优化业务流的目的是为了最大限度地提高网络吞吐量,然而,提高吞吐量并不一定能获得较好的用户感知质量^[10-11]。因此,为了使 QoE 最大化,在数据层上共同考虑终端用户的 QoE 和路径分配,可能会提高业务流的路径优化,从而最大限度地提高 QoE。在下一节,将提出一个创新的架构,它结合了在应用层的业务协商和 SDN 的概念,进行最优的路径分配。

2 基于软件定义网络的系统架构

文中提出的基于 SDN 的业务流控制体系结构如图 2 所示。

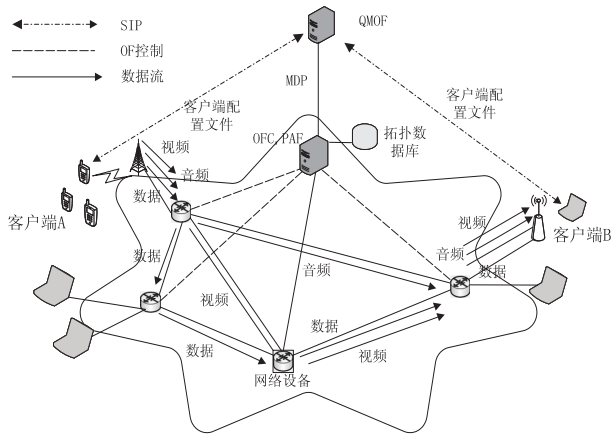


图 2 QoE 驱动的业务优化和路径分配

为了实现所提出的功能,关键是采用 QoS 的匹配和优化函数(QoS Matching and Optimization Function, QMOF)和路径分配函数(Path Assignment Function, PAF)。该 QMOF 应用在 SDN 应用层,而 PAF 应用在 SDN 控制层。同时,文中还提出了两个优化程序:一个是媒体降级路径(Media Degradation Path, MDP)的计算,其由 QMOF 执行;另一个是最优路径分配的计算,其由 PAF 执行。

2.1 服务协商模块

文中所采用的 QMOF 已被作为一个具有通用和可复用的服务性能提出,包含在沿着端到端的信令路径上,支持优化的会话传递和控制会话的适应性^[12]。该 QMOF 在业务会话协商中的作用如下:

(1) 当启动一个服务请求,用户的性能、喜好和服务效用映射都将由终端用户发出信号,并通过 QMOF 来收集。QMOF 进行初始参数的匹配过程,以确定可行的服务配置;

(2) 通过基于效用的优化过程,对于给定的服务会话、少量用户、服务和网络约束,来确定最佳的服务配置和相应的资源需求。整个会话效用(QoE)被表示为基于参数的单个媒体流的效用函数的加权组合,参数如个人用户的喜好、使用环境和服务内容。

最佳的服务配置指定了流操作参数配置,如帧速率、编解码器等,资源需求和表示特定配置的 QoE 数值估计的效用值的配置。除了最佳配置,还需要计算一些次优的配置,并通过下降的效用值进行排序,从而形成媒体降级路径。

文中提出了 MDP 方案,其目标是作为控制业务适应性的备选方案,从而在少量动态条件下获得最大可能的效用。例如,在给定的视听服务中,当一个用户表明相对于视频更偏好音频的情况时,MDP 将被构造成为在网络资源可用性下降的情况下首先降低视频质量,同时保持较高的音频质量。因此,在限制资源可用性的情况下,次优的配置可以被激活,从而防止服务不可预知的降级。图 3 是 MDP 中的一个例子。

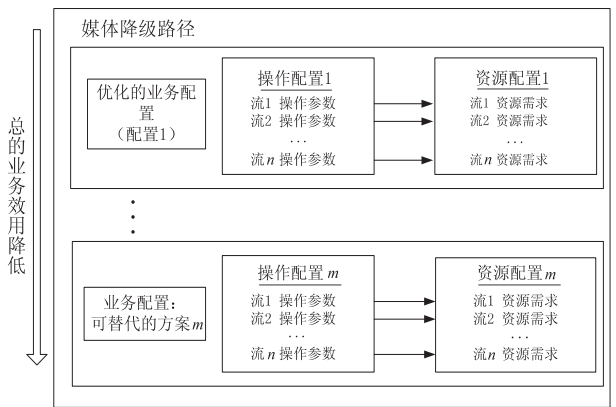


图 3 媒体降级路径

得到计算结果后,将 MDP 转发到 PAF,随后优化网络路径,以满足当前活动的服务配置的资源需求。

2.2 路径分配模块

PAF 是一个在 OpenFlow 控制器(OFC)上执行的应用程序。该 PAF 维护网络的拓扑结构数据库,包含了带有链路容量的网络连接图。拓扑数据库通过使用由 OpenFlow 提供的拓扑发现机制来建设。此外,PAF 作为 OFC 的一部分,更新当前网络中的活动流。

PAF 开放了一个 API,应用层通过该 API 将会话中关于一组流的 MDP 通知 PAF。一旦建立,QMOF 就会报告一组新会话的 MDP。然后该 PAF 优化路径路由。优化的目的是最大限度地提高业务会话的 QoE,同时还考虑在 MDP 中描述的质量退化。使用 MDP 中的配置,PAF 试图在给定的配置中分配相应路径给每个流以使其满足指定的服务需求,首先从满足最优配置要求开始,然后沿着 MDP 向下移动。若没有找到解决办法,则将进行全局的优化过程,并考虑在一个给定的网络域中有多个会话活动的 MDP,以重新分配路径为目标,以便能够允许会话进入。

路径分配问题可归结为最小成本的多商品流问题的一个变种,成本是负的 QoE 值。解决优化问题将得到每个流的网络路径和速率^[13-14]。

为了实现网络中的解决方法,使用 OpenFlow 协议,PAF 用来配置网络设备的转发表。采用带有 OpenFlow 协议的 PAF 能在每个网络设备上指定,什么是一个流的下一跳,什么是最低速率。

除了 OpenFlow 的支持,文中所提的架构并不需要网络设备有任何其他的特殊功能。因此,PAF 是独立于所使用的链路层技术。类似的功能-链路层独立的 QoE 优化流量路由,它可以通过使用覆盖网络来实现。

然而,该架构更加轻便灵活,因为没有覆盖需要维护,并且路由不依赖于任何覆盖结构。

3 多会话流的服务协商优化

本节将通过一个例子来说明所提出的架构的运作。该方案包括建立两个用户之间的多媒体会话,他们分别是客户端 A 和客户端 B。这次会话涉及多个业务流在不同的网络路径上进行路由,以满足他们对网络资源的需求,从而优化整体会话的 QoE。根据用户的喜好、终端硬件和软件配置方面的能力、服务需求和能力、接入网络的特性和当前网络资源的可用性,一个特定的业务流质量配置的可行性取决于 QMOF。

客户端 A 使用一个智能手机通过高速分组接入 (High-Speed Packet Access, HSPA) 连接到网络,而客户端 B 用笔记本电脑通过无线局域网 (Wireless Local Area Network, WLAN) 连接到网络。客户端 A 和客户端 B 都运行一个会议工具,并允许他们建立音频/视频会议、交换文件以及发送即时消息。会议软件采用 SIP/SDP 信令来和用户中的一组可行的会话流和它们的参数进行协商。图 4 描述了在所提议的体系结构的元素之间的高级别控制交互的信令图。

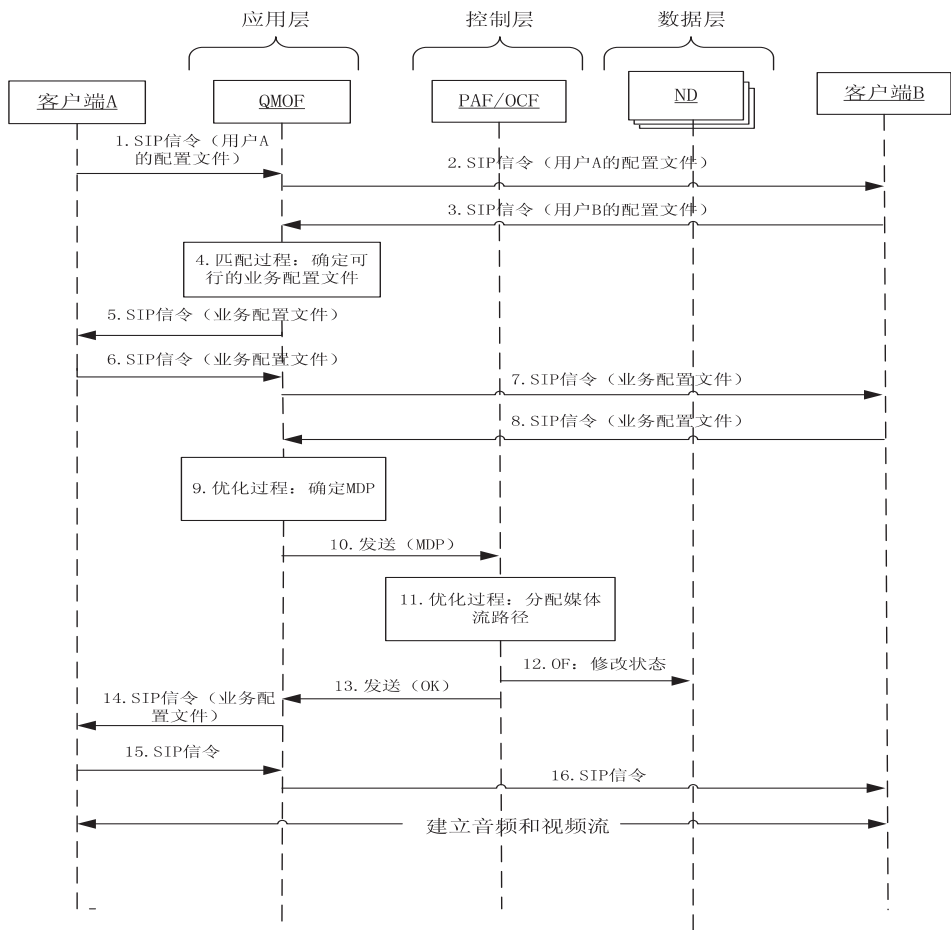


图 4 业务协商过程

客户端 A 请求与客户端 B 建立音频/视频会议,客户端 A 发送一个 SIP INVITE 请求建立会话,它是用于输送客户端 A 的用户配置文件给 QMOF,然后转发给客户端 B(见图 4 步骤 1-2)。客户端 B 用一个 SIP 响应给客户端 A,它将客户端 B 的用户配置文件传递给 QMOF(见步骤 3)。会话建立序列触发 QMOF 进行匹配过程(见步骤 4),并给客户端 A(见步骤 5-6)和客户端 B(见步骤 7-8)提供了一组潜在的会话参数,其来自可行的服务配置。用户可以接受或拒绝提供的参数。根据给定的用户、服务和网络的限制,QMOF 针对给定的会话(见步骤 9)决定 MDP,其中包括几个服务配置,根据对应的用户感知质量来排列它们的效用值。以这种方式产生的配置可以考虑所有可能在会议会话中使用的媒体流,如音频、视频和用于文件传输的数据流,即使它们中的一些在建立阶段并没有要求。这样能减轻系统,从需要到调用重新协商进程,对每个添加或删除的流,这可能在正在进行的会话期间后面发生。在当前示例中,用户请求一个视听会议,应用了带有活性的音频和视频的服务配置流。一旦计算出 MDP,QMOF 使用一个应用程序来控制平面的 API,将 MDP 转发到 PAF(见步骤 10)。

基于来自 MDP 的网络拓扑结构数据库,并且由其他用户建立的当前活动流的服务配置,PAF 分配路径给音频和视频流,从而最大限度地提高视听会话的 QoE(见步骤 11)。在这种情况下,在具有最小延迟的网络路径来传输音频流,而视频流被分配在具有最小延迟和具有充足的容量相结合的路径上(如图 2 所示)。然后该 PAF 通过 OF 协议(见步骤 12)配置网络设备的转发表,并确认配置(见步骤 13)。最后,为了初始化该服务,SIP 信令继续(见步骤 14-16)传递给客户端 A 和客户端 B,按约定的服务配置文件,并在各自的路径上建立媒体流。

如果在以后的某个时间,客户端 A 决定与客户端 B 共享文件时,客户端 A 将发送一个 SIP re-INVITE 请求以添加用于文件传输的数据流给正在进行的会话。该 SIP 请求被传递到 QMOF,通过使用现有的 MDP,调用 PAF 来重新计算路径的分配。对于这种情况,PAF 给网络路径分配足够容量的数据流,如果需要,在各网络设备上修改该规则,相应地包括新的流。

4 结束语

文中提出的核心思想是在软件定义网络环境下实

现业务流的控制,结合服务协商和路径分配优化,采用最好的服务配置在最佳可用的路径上传递,而从用户感知角度达到 QoE 的理想水平。SDN 控制器具有网络范围内的全局视图,又可以同时优化目标。以后的工作重点是面向多用户范围的 QoE 优化的业务流控制问题,正在一个模拟的网络环境中实施所提出的系统,以创建概念验证原型,并能运行在不同的多业务会话中的性能实验。

参考文献:

- [1] 张顺森,邹复民. 软件定义网络研究综述[J]. 计算机应用研究,2013,30(8):2246-2251.
- [2] 张朝昆,崔 勇,唐嵩祯,等. 软件定义网络(SDN)研究进展[J]. 软件学报,2015,26(1):62-81.
- [3] 雷葆华,王 峰,王 茜,等. SDN 核心技术剖析和实战指南[M]. 北京:电子工业出版社,2013.
- [4] 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.
- [5] 王文东,胡延楠. 软件定义网络:正在进行的网络变革[J]. 中兴通讯技术,2013,19(1):39-43.
- [6] Sterle J, Volk M, Sedlar U, et al. Application-based NGN QoE controller[J]. IEEE Communication Magazine, 2011, 49(1): 92-101.
- [7] Wang R, Butnariu D, Rexford J. OpenFlow-based server load balancing gone wild[C]//Proc of workshop on hot topics in management of Internet, cloud, and enterprise networks and services (Hot-ICE). Boston, MA: [s. n.], 2011:23-34.
- [8] 林 闯,胡 杰,孔祥震. 用户体验质量(QoE)的模型与评价方法综述[J]. 计算机学报,2012,35(1):1-15.
- [9] Sanchez A. ITU-T: definition of quality of experience (QoE) [S]. [s. l.]: International Telecommunication Union, 2007.
- [10] Reichl P, Tuffin B, Schatz R. Logarithmic laws in service quality perception: where microeconomics meets psychophysics and quality of experience[J]. Telecommunication Systems, 2011, 11(4):1-14.
- [11] Ozcebi T, Radovanovic R, Chaudron M. Enhancing end-to-end QoS for multimedia streaming in IMS-based networks [J]. ICSNC, 2007, 17(3):48-53.
- [12] Lea Skorin-Kapov, Mosmondon M, Dobrijevic O, et al. Application-level QoS negotiation and signaling for Advanced Multimedia Services in the IMS[J]. IEEE Communication Magazine, 2007, 45(7):108-116.
- [13] 林 澜,闫春钢,辛肖刚,等. 基于稳定分支的变权网络最优路径算法[J]. 电子学报,2006,34(7):1222-1225.
- [14] 马 超,郭 军. 遗传算法在动态权值路径寻优中的应用[J]. 广西大学学报:自然科学版,2012,37(3):588-593.

面向QoE驱动的软件定义网络业务流控制模型

作者：[王莉](#)，[WANG Li](#)
作者单位：[南京邮电大学](#), [江苏 南京, 210003](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)[ISTIC](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2015, 25(11)

引用本文格式：[王莉](#). [WANG Li](#) [面向QoE驱动的软件定义网络业务流控制模型](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#)
2015(11)