

doi:10.13756/j.gtxyj.2018.04.015

无线通信技术

基于多背包模型的分布式网络服务布局算法

李嘉琪, 朱晓荣

(南京邮电大学 通信与信息工程学院, 南京 210003)

摘要:随着物联网海量终端设备的接入以及不同的业务需求, 需要实现网络范围内的服务灵活部署, 提供不同等级的内容和服务。为此, 文章提出一种基于多背包模型的分布式协同网络服务布局算法, 通过网络各节点协同, 获取全局网络状况, 将网络服务实例的布局问题建模为多背包问题, 求解得到网络服务实例最优布局。仿真结果表明, 网络服务在网络中的合理布局可以最大化网络效益、提高节点效用比和响应率, 有助于物联网及其应用的良好运行。

关键词:物联网; 服务布局; 多背包问题

中图分类号: TN929.5

文献标志码: A

文章编号: 1005-8788(2018)04-0061-05

A Service Layout Algorithm for the Distributed Network based on Multi-Knapsack Model

LI Jia-qi, ZHU Xiao-rong

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

Abstract: With the access of mass terminal devices and different business requirements in the Internet of Things, it is necessary to flexibly deploy services within the network. This paper proposes a distributed collaborative network service layout algorithm based on multi knapsack model. By collaborative acquisition of global network through the network nodes, the network modeling layout problem service can be modelled as multi knapsack problem. Therefore, the optimal layout can be obtained. The simulation results show that the reasonable layout of the network service in the network can maximize the network efficiency, improve the utility ratio and the response rate of the node. The proposed method can achieve smooth operation of the Internet of Things and its applications.

Key words: Internet of Things; service layout; multi-knapsack problem

0 引言

近年来, 物联网(Internet of Things, IoT)快速发展, 机器与机器通信是一种不受人为干扰、直接进行通信的方式^[1-3]。各种业务服务在全局网络中存在多个实例, 所以服务实例的布局优化对于提升服务质量和全局网络效益具有较大的现实意义。大量的IoT终端设备将导致软件定义网络(Software Defined Network, SDN)交换机需要不断地扩大流表, 设备持续进出网络时交换机和控制器之间的通信开销会增大^[4]。

服务布局问题是一个NP难问题^[5-6], 其求解算法已经获得广泛研究。文献[7]提出一种基于纳什讨价还价解决方案的算法, 作为虚拟机(Virtual Machine, VM)迁移决策的实用方法, 该算法能够随着时间的推移提高资源利用率, 其缺点在于没有考虑网络服务类型的多样性。文献[8]提出了如何在网络环境中放置和有效利用资源的问题, 以最大限

度减少提供需求的成本。文献[9]提出一种基于博弈论的服务布局算法, 将不同类型的网络服务看作博弈的参与者, 博弈的商品则是网络节点资源。文献[10]提出选择网络交换协议 OpenFlow 作为南向接口协议, 通过分离控制平面和数据平面模型, 使IoT的部署和管理更加方便。文献[11]~[14]提出了多背包问题的解决方案以及优化算法。

本文提出了基于多背包模型的分布式协同网络服务布局算法, 主要解决IoT不同服务类型业务的布局问题, 建立多背包模型。通过仿真全局网络最大效益、节点响应率、节点效用比以及不同基本量下的节点响应率、节点效用比, 验证了算法的有效性。

1 系统模型

1.1 网络模型及问题描述

本文研究的系统模型如图1所示。网络由多个SDN控制器组成, 网络中节点是单个SDN控制器, 在单节点上可以布局多种类型的IoT服务实例。

收稿日期: 2017-12-12

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61372125)

作者简介: 李嘉琪(1993—), 男, 山西晋中人。硕士, 主要研究方向为软件定义网络。

通信作者: 李嘉琪, 硕士。E-mail: 2646066676@qq.com

传统服务布局算法仅仅考虑热点服务,使得布局量较大,而业务服务也是均匀分布在网络中的各个节点上的,导致全局网络服务总效益不高,损失了部分业务的价值。每类服务在网络中的布局,既要从网络角度出发提升网络资源利用率,又要从服务角度出发提升用户体验。网络中的所有节点掌握其他节点在某时刻的服务承载能力以及处理的服务请求分布等全局知识,因此服务布局问题(Placement Problem, PP)可转变为网络效用最大化问题。

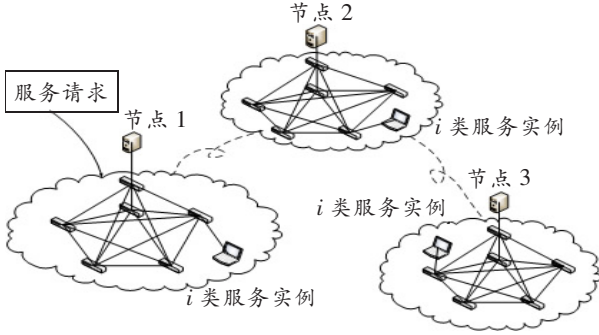


图1 系统模型

1.2 数学模型

将网络抽象为无向图模型 $G = (N, e)$, 式中: $N = \{v_1, v_2, \dots, v_N\}$ 为节点集合; e 为链路集合。该抽象网络模型中的节点是一个由控制器控制的SDN。单个控制器节点可布局 M 个类型的服务, 设不同类型服务的请求数为随机变量。 y_{dk} 用以标识 k 节点是否为业务请求 d 的本地节点, 其中, $d=1, 2, \dots, D; k=1, 2, \dots, N$ 。 $y_{dk}=1$ 表示 k 节点为请求 d 的本地节点, 反之则不是本地节点。设 D_{ik} 为用户对位于节点 k 的服务类型为 i 的请求量, 则网络整体的请求量 D 可表示为

$$D = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N D_{ik} \quad (1)$$

节点 N 的布局资源约束向量为 $\mathbf{Z} = \{z^1, z^2, \dots, z^N\}$, 即网络节点 k 的布局资源为 z^k 。由于布局一类服务的实例达到一定的规模时才会产生期望的效益, 所以本模型综合考虑布局的成本与效益。为了保证最小布局量, 本模型拟设每类服务 i 的最低布局规模为基本量 B_i 。节点 k 上响应的 i 类服务实例个数为 n_{ik} ,

$$n_{ik} = \sum_{d=1}^D x_{dk} \cdot f_{id} \quad (2)$$

$$Y = \sum_{i=1}^M n_{ik} \cdot w_i \leq z^k \quad (3)$$

式(2)中, $f_{id}=1$ 表示业务请求 d 为 i 类型服务实例,

否则为 0; $x_{dk}=1$ 表示 k 节点响应请求 d , 反之, k 节点未对请求 d 响应。式(3)中, Y 为 k 节点上所有服务所占节点的资源量; w_i 为 i 类型业务请求所占资源。

服务布局问题可表述如下: 已知服务请求分布 D_{ik} 在可行域内, $i=1, 2, \dots, M, k=1, 2, \dots, N$; 从布局策略集合 $S = \{n_{ik}\}$ 中选择最优策略, $i=1, 2, \dots, M, k=1, 2, \dots, N$ 。基于多背包的分布式协同网络服务布局问题, 在网络资源约束和用户请求分布已知的情况下, 以此来优化网络服务实例的布局, 实现网络收益 R 最大化。本文提出的算法分配目标是在满足单个节点资源容量的基础上, 最大化全局网络服务实例的效益之和, 即最大化网络总效益。

2 业务服务布局算法

2.1 业务服务实例产生的效益

当用户请求服务类 i 的实例时, 若请求在本地节点上响应, 则产生的效益为 r_i^{loc} ; 若该请求在本地节点以外的节点被响应, 则产生的效益为 r_i^{rem} 。显而易见, $r_i^{\text{loc}} > r_i^{\text{rem}}$ 。设 p_i 为产生的效益, 则

$$p_i = \begin{cases} r_i^{\text{loc}} & \text{本地响应} \\ r_i^{\text{rem}} & \text{远程响应} \end{cases} \quad (4)$$

2.2 业务服务实例布局

当节点的资源充足时, 可以为每个业务请求分配充足的资源, 则取得最大化网络效益; 当节点资源短缺, 不能够为所有的业务请求分配资源时, 则需要对请求业务进行取舍以达到最大化网络效益。

网络中的节点被视作资源为 z^k ($k=1, 2, \dots, N$) 的 N 个背包, 每个业务请求视作一个物品, 网络中总共有 D 个物品, 并且每类业务请求的重量为 w_i ($i=1, 2, \dots, M$), 即每类业务请求所占的资源; 每类业务请求所产生的效益为 p_i 。全局网络所产生的总效益是每个业务请求在节点上所产生的效益之和。

假设节点资源 z^k ($k=1, 2, \dots, N$) 都为 z , 则业务请求 d 所得的效益 p_d 和所占资源 w_d 可以表示为

$$p_d = \sum_{i=1}^M f_{id} \cdot p_i \quad (5)$$

$$w_d = \sum_{i=1}^M f_{id} \cdot w_i \quad (6)$$

综上所述, 优化方程可表示为

$$\text{Maximize } \sum_{k=1}^N \sum_{d=1}^D x_{dk} \cdot p_d \quad (7)$$

$$\text{s.t. C1: } \sum_{d=1}^D x_{dk} \cdot w_d \leq z \quad k=1, \dots, N;$$

$$\text{C2: } \sum_{k=1}^N x_{dk} \leq 1 \quad d=1, \dots, D;$$

C3: $x_{dk} \in \{0,1\}$ 。

可见优化方程(7)为一个典型的 0-1 多背包模型。其解为 $N \times D$ 的矩阵,每一位表示业务请求和节点的关系。 $x_{dk}=1$ 为业务请求 d 在 k 节点上响应,反之表示业务请求 d 没有在 k 节点上响应;约束 C1 为每个节点的资源约束;约束 C2 为每个服务请求 d 仅在一个节点上响应。如若使用遗传算法进行二进制编码,当节点数和业务请求数乘积比较大时,搜索空间规模很大,能够达到 $O(2^{N \times D})$, 因此为了降低搜索规模,将式(7)转化为式(8):

$$\begin{aligned} & \text{Max} \sum_{d=1}^D (x_d \approx 0) \cdot p_d, \\ \text{s. t} \quad & \text{C1: } \sum_{d=1}^D (x_d \equiv k) \cdot w_d \leq z, \quad k=1, \dots, N, \\ & x_d \in \{0,1,2, \dots, N\}, \end{aligned} \tag{8}$$

式中: $x_d=k(k \neq 0)$ 为节点 k 响应了第 d 个业务请求, $x_d=0$ 表示业务请求没有被响应; $(x_d \equiv k)$ 和 $(x_d \approx 0)$ 为逻辑表达式,表达式为真时其值为 1, 否则为 0;约束 C1 为每个节点的资源约束。

3 仿真分析

为了体现本文提出的基于多背包模型的分布式协同网络服务布局算法的优越性,将本文所提算法与传统服务布局算法进行比较。业务性能参数如表 1 所示,仿真参数如表 2 所示。

表 1 业务性能参数

p_d/w_d	时延/ms	业务优先级
>10	10	1
$7 \sim 10$	50	2
$4 \sim 7$	200	3
$2 \sim 4$	—	4
$0 \sim 2$	—	5

注: p_d/w_d 为业务单位重量效应。

表 2 仿真参数

参数名称	参数值
业务类型个数 M	10
基本布局量 B	500
节点个数 N	50
节点资源 z	8 000
业务所占资源	10~50
业务效益	20~260

3.1 网络总效益

图 2 所示为在请求不断增加的情况下,本文所提算法与传统算法网络总效益与业务请求数的比较。仿真结果表明,在业务请求较少的情况下,本文

所提算法与传统算法得到的网络总效益相同。当请求增加到一定程度时,会出现节点资源不足的情况,而本文所提算法优先考虑布局效益比较高的业务,得到的总效益明显高于传统算法。

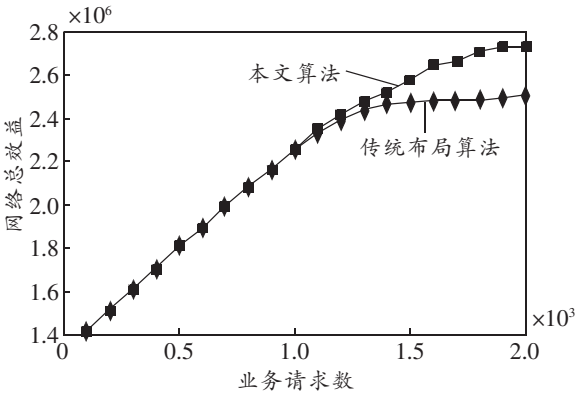


图 2 网络总效益与业务请求数的关系

3.2 节点响应率

如图 3 所示为本文所提算法与传统算法的节点响应率与业务请求关系的比较。在业务请求较少的情况下,本文所提算法与传统算法的节点响应率均为 1。当请求增加到一定程度时,由于业务服务有限,本文算法和传统算法都会出现节点响应率降低的情况,但本文算法确定节点中每种业务服务的布局量不同,所以请求响应率明显高于传统算法。

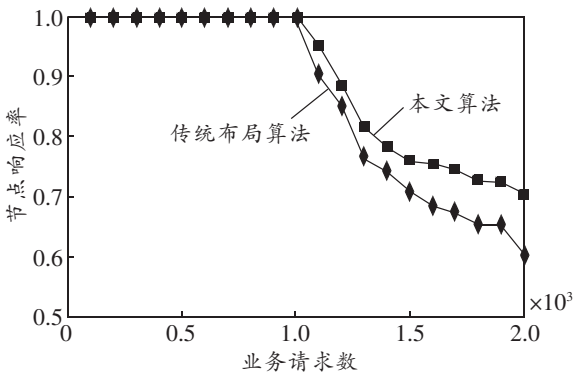


图 3 节点响应率与业务请求数的关系

3.3 节点效用比

节点效用比用来度量网络利用率,反映了单元资源的收益情况。图 4 所示为不同算法下节点效用比与业务请求数的关系。仿真结果表明,在业务请求较少的情况下,本文所提算法与传统算法的节点效用比相同。当业务请求数量增加时,本文算法和传统算法的节点效用比都增加,但是由于本文算法优先布局效益比较高的业务服务,所以在业务请求数高的情况下,本文算法的节点效用比明显高于传统算法。

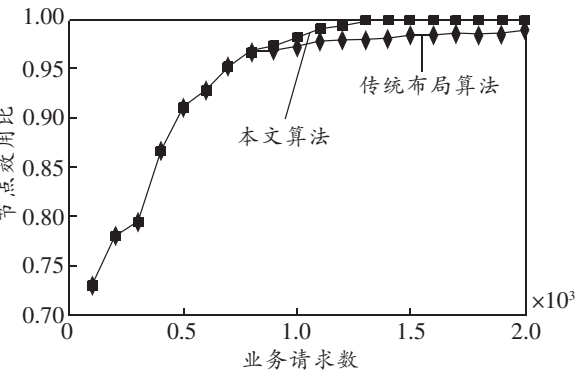
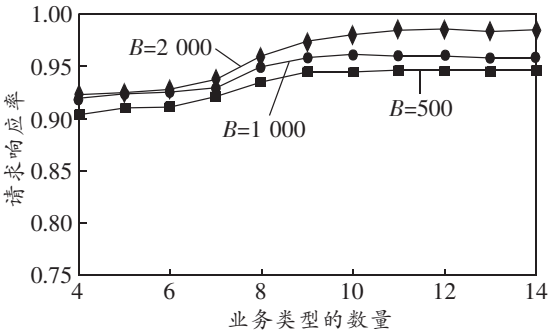


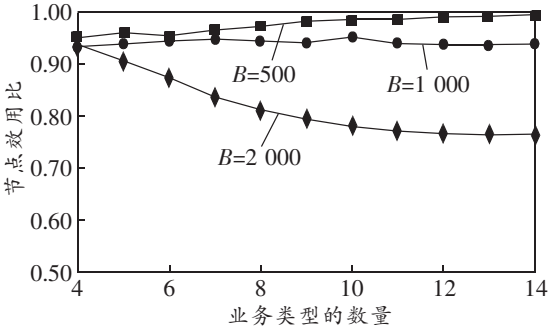
图 4 节点效用比与业务请求数的关系

3.4 基本布局量

不同基本布局量下的请求响应率与节点效用比仿真结果如图 5 所示。随着基本布局量的增加，请求响应率也随之上升，而节点资源的利用率呈现下降趋势。这是由于随着业务的基本量布局增加，会造成各种业务类型布局量过高，有部分业务服务不会得到请求，使业务服务空闲，也就造成了节点效用比降低，以及全局服务总效益下降等。当基本布局量过多(2 000)时，下降的最为明显。仿真结果表明，在布局中设置合适的基本布局量 ($B = 1\,000$)，能够降低业务服务类型数量变化带来的影响，使得请求响应率和节点效用比之间达到均衡。



(a) 基本布局量与请求响应率的关系



(b) 基本布局量与节点效用比的关系

图 5 不同基本布局量下的请求响应率和节点效用比

4 结束语

针对全局网络的效益最大化问题，本文通过分析 IoT 业务的特性，提出了基于多背包模型的分布式协同网络服务布局算法，优先分配单位重量效益高的业务请求，保障了业务服务质量，并且业务请求优先在本地节点响应，减少业务请求远程节点响应的代价。仿真结果表明，该算法可以提高全局网络的总效益，同时还能够提高节点响应率和节点效用比，具有一定的优越性。

参考文献：

[1] Mehmood Y, Görg C, Muehleisen M, et al. Mobile M2M Communication Architectures, Upcoming Challenges, Applications, and Future Directions[J]. Eurasp Journal on Wireless Communications & Networking, 2015, 2015(1):250.

[2] Wang Q, Chen D, Zhang N, et al. LACS: A Lightweight Label-based Access Control Scheme in IoT-based 5G Caching Context[J]. IEEE Access, 2017, (5):4018–4027.

[3] Elsadek W F. Toward Hyper Interconnected IoT World Using SDN Overlay Network for NGN Seamless Mobility[C]// IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science, Luxembourg City, Luxembourg;IEEE, 2017:460–463.

[4] Zhou J, Jiang H, Wu J, et al. SDN-based Application Framework for Wireless Sensor and Actor Networks [J]. IEEE Access, 2016, (4):1583–1594.

[5] Liu Y, Gao C, Zhang Z, et al. Solving NP - Hard Problems with Physarum-based Ant Colony System [J]. IEEE/ACM Transactions on Computational Biology & Bioinformatics, 2017, (99):1.

[6] Chung C, Matsuoka A, Yang Y, et al. Serious Games for NP-Hard Problems; Challenges and Insights[C]// IEEE/ACM International Workshop on Games and Software Engineering, Austin, USA; ACM, 2016:29–32.

[7] Feng Y, Li B, Li B. Bargaining Towards Maximized Resource Utilization in Video Streaming Data Centers [C]//INFOCOM 2012. Orlando, Florida, USA; IEEE, 2012:131(5):1134–1142.

[8] Rochman Y, Levy H, Brosh E. Resource Placement and Assignment in Distributed Network Topologies [C]//INFOCOM 2013. Turin, Italy; IEEE, 2013,12 (11):1914–1922.

[9] 程国振. 基于元能力的网络功能组合关键技术研究

[D]. 郑州:解放军信息工程大学, 2015.

[10] Tu L, Zhou X, Sheng Q. Analysis on Internet of Things Architecture based on SDN[J]. Wireless Internet Technology, 2016.

[11] Laalaoui Y, M'Hallah R. A Binary Multiple Knapsack Model for Single Machine Scheduling with Machine Unavailability [J]. Computers and Operations Research, 2016,72:71—82.

[12] 宋海生, 傅仁毅, 徐瑞松, 等. 求解多背包问题的混合遗传算法[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(20): 45—48.

[13] Parada L, Herrera C, Sepulveda M, et al. Evolution of New Algorithms for the Binary Knapsack Problem [J]. Natural Computing, 2016, 15(1):181—193.

[14] Huang B, Li J, Lih K W, et al. Approximation Algorithms for the Generalized Multiple Knapsack Problems with K Restricted Elements [C]//International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics. Hangzhou, China: IEEE, 2015, 1: 470—474.

(上接第 25 页)

性系数的硝酸盐玻璃为纤芯材料,采用传输矩阵法和 Bloch 理论,并利用 Comsol 软件数值研究了其传输特性。对于 HIC Bragg 光纤,可以通过调整其结构参数,从而改变其光子带隙结构,控制传输波段,也可以通过调整参数其取值来获取期望的色散特性。分析表明,折射率差 Δn 、纤芯半径 R 和包层数量 N 对色散曲线影响较大,可以通过调整其取值来改变色散曲线的平坦度,而对零色散点的控制可以通过适当调整包层周期 Λ 和包层填充率 d/Λ 的取值来实现。根据这一特点设计了波长在 $1.064\ \mu\text{m}$ 附近的色散平坦的 HIC Bragg 光纤,其在 $0.9\sim 1.2\ \mu\text{m}$ 波长区间色散曲线平坦,同时具有两个零色散点,其中第 1 个零色散点恰好位于 $1.064\ \mu\text{m}$ 附近。

参考文献:

[1] Yeh P, Yariv A, Marom E. Theory of Bragg Fiber [J]. Journal of the Optical Society of America, 1978, 68(9): 1196—1201.

[2] 石立超,张巍,邢文鑫,等. 外径波动下空心布拉格光纤的模式传输特性 [J]. 中国激光, 2010, 37(10): 2559—2564.

[3] Ren G B, Zhi W, Qin L S, et al. Mode Characteristics of High-Index-Core Bragg Fibers [J]. Journal of Optoelectronics Laser, 2004, 15(5): 565—568.

[4] Pal B P, Dasgupta S, Shenoy M R, et al. Supercontinuum Generation in a Bragg Fiber: A Novel Proposal [J]. Optoelectronics Letters, 2006, 2(5): 342—344.

[5] Monsoriu J, Silvestre E, Ferrando A, et al. High-Index-Core Bragg Fibers: Dispersion Properties [J]. Optics Express, 2003, 11(12): 1400—1405.

[6] 任国斌,王智,姜淑琴,等. 高折射率芯 Bragg 光纤的色散特性研究 [J]. 物理学报, 2004, 53(6): 1862—1867.

[7] Liao M, Yan X, Qin G, et al. A Highly Non-Linear Tellurite Microstructure Fiber with Multi-Ring Holes for Supercontinuum Generation [J]. Optics Express, 2009, 17(18): 15481—15490.

[8] 梅洛勤,叶卫民,曾淳,等. 用传输矩阵法(TMM)研究二维光子晶体传输特性 [J]. 量子光学学报, 2003, 9(2): 88—92.

[9] 李伯斌,张德刚,吴建华,等. 循环量子系统中状态演化的 Bloch 定理和同步几何相位的统一 [J]. 物理学报, 1997, 46(2): 227—237.

[10] 陈超,陈鹤鸣,汪静丽,等. 红外空心布拉格光纤损耗特性的研究 [J]. 光通信研究, 2012, (4): 33—35.

[11] 李曙光,刘晓东,侯蓝田. 光子晶体光纤的导波模式与色散特性 [J]. 物理学报, 2003, 52(11): 2811—2817.