

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1802045

## 基于最大化网关流量的物联网路由方案研究\*

方 军<sup>1</sup> 马 涛<sup>1</sup> 杜 聪<sup>1</sup> 张雪峰<sup>2</sup> 张 璋<sup>3</sup>

(1. 国家质量监督检验检疫总局信息中心 北京 100088; 2. 北京赛迪工业和信息化工程监理中心有限公司 北京 100048;  
3. 北京中质信维科技有限公司 北京 100088)

**摘要:**为解决现有依赖具体链路探测包的物联网路由方案易遭受干扰的问题,给出了一种基于虚拟网络估计的物联网路由方案。所给方案首先利用网络状态矢量和活动共享估计每条链路的成功传输数据率,然后根据节点局部产生流量、邻居节点的流入流量和重传流量估计节点流量,最后选择能够增加网关流量的节点作为下一跳节点,并按照这一原则建立物联网路由。仿真分析结果表明,所给路由方案估计的传输数据包数与仿真实验结果一致,并且所给路由方案的吞吐量优于基于负载感知的物联网路由方案。因此,所给路由方案可以很好地用于寻找物联网的有效传输路径,具有较好理论研究价值和实际推广应用价值。

**关键词:** 物联网;路由;虚拟网络估计;流量估计;吞吐量

**中图分类号:** TN99    **文献标识码:** A    **国家标准学科分类代码:** 510.5030

## Research on internet of things routing scheme based on maximizing gateway traffic

Fang Jun<sup>1</sup> Ma Tao<sup>1</sup> Du Cong<sup>1</sup> Zhang Xuefeng<sup>2</sup> Zhang Zhang<sup>3</sup>

(1. Information Center of the General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, Beijing 100088, China;  
2. Beijing Sai Di Industrial and Information Engineering Supervision Center Co., Ltd., Beijing 100048, China;  
3. Beijing Zhong Xin Wei Technology Co., Ltd., Beijing 100088, China)

**Abstract:** In order to solve the problem that existing internet of things routing schemes relying on specific link detection packages are vulnerable to interference, an internet of things routing scheme based on virtual network estimation is proposed. Firstly, the proposed scheme uses the network state vectors and the activity sharing to estimate the successful transmission rate of each link. Secondly, the traffic of the node is estimated according to the local traffic generated by the node, the inflow traffic of the neighbor node and the retransmission flow. Finally, the node that can increase the gateway traffic is selected as the next hop node, and the internet of things routing is established according to this principle. The simulation results show that the number of the data packets estimated by the proposed scheme and the simulation results are consistent, and the throughput of the proposed routing scheme is superior to that of the load-aware routing scheme. Therefore, the proposed routing scheme can be well used to find the effective transmission path of the internet of things, which has good theoretical research value and practical application value.

**Keywords:** internet of things; routing; virtual network emulation; traffic estimation; throughput

## 0 引 言

物联网(internet of things, IoT)提供服务的关键问题是维持通信连接<sup>[1-2]</sup>。最近,国内外研究人员对蜂窝网络技术进行扩展研究,用以处理 IoT 流量,该项研究也称为机器类通信(machine-type communication, MTC)技术<sup>[3]</sup>。MTC 技术可支持大量的 IoT 设备。然而,由于制造成本、

操作费用以及较短的电池寿命等因素,使得 MTC 蜂窝链路并不适用于 IoT。但是短程免费宽带无线电(shorter range free band ratios)却是实施 MTC 蜂窝技术的一个不错选择。在基于短程无线电的 IoT 网络中,IoT 设备能够连接至 IoT 网关,IoT 设备通过网关能够连接 internet 上<sup>[4]</sup>。IoT 设备之间、IoT 设备与 IoT 网关间的数据传递可以通过其他 IoT 设备转发,即通过多跳无线路由实现数据

收稿日期:2018-11-02

\* 基金项目:河南省高等学校重点科研项目(17A520047)资助

传输。因此,研究物联网数据传输主要以基于多跳 IoT 网络的路由为研究对象,目的是寻找能够有效地传输数据的路径。所谓有效路径是指具有较高吞吐量和较低能量消耗<sup>[5-6]</sup>。现有用于保证路径质量的大多数路由大都依赖于探测流量包,如 ETX<sup>[7]</sup>、ETT<sup>[8]</sup>、Iaware<sup>[9]</sup>。在这些方案中,邻居节点之间交互各自的探测包,并利用这些探测包测量链路质量。然而,具体的链路探测包将会引入较高的开销,这对于能量受限的 IoT 设备来说是非常关键。此外,探测流量包也可能会导致错误的路由决策,这是因为链路质量容易受邻近链路的干扰,但探测包却很难发现这些干扰。为此,考虑节点流量变化问题,给出了一种基于虚拟网络估计的物联网路由方案(routing scheme based on virtual network emulation for IoT, RVNE)。该方案首先估计每条链路的数据包传输成功率,然后计算节点流量,最后根据节点流量动态构建路由,使网关流量最大化。仿真实验数据表明,所给 RVNE 方案能有效提高网络吞吐量。

### 1 网络模型

假设仅考虑单一网络,其中该网络是由多个 IoT 节点和一个网关路由(gateway router, GR)构成,且按照 IEEE 802.11 链路维持节点连通。此外,每个节点产生流量并将流量传输至 GR。所给 RVNE 方案虽然比较容易扩展处理下行流量,但其主要研究上行流量。因此,网络路径可看成一个树结构形式,且 GR 为树根。图 1 所示给出了该网络的拓扑结构。其中,S 表示路由网关,其他从 0~10 的数字表示 10 个节点,节点间的连接表示它们间的链路。每个节点旁边的数字表示由节点产生的流量(如节点 1 所产生的流量为 50)。

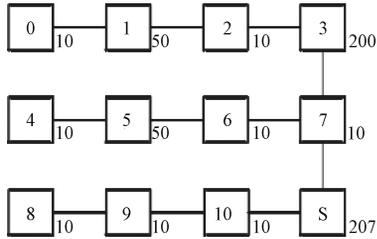


图 1 单一网络拓扑结构示例

因此,所给 RVNE 方案采用矩形网格拓扑结构。假定每个节点只能感测它的一跳邻居节点,且仅有一跳邻居节点间才可能完成数据的直接传输。例如,节点 5 有 4 个一跳邻居节点,分别是节点 1、节点 4、节点 6 和节点 9。此外,每个节点与它的对线节点之间存在隐藏终端关系。例如,节点 5 与节点 0、节点 2、节点 8 和节点 10 具有隐藏终端关系。由于隐藏终端会引起竞争和碰撞,所以各节点产生的全部流量可能难以成功地传输至网关。所给 RVNE 方案的目的就是最大化网关所接收的流量,即使网关流量最大化。从图 1 可以看出网关 S 此时所接收的流量为 207。而

且所给 RVNE 方案采用单一路径的静态路由,即仅一条消息复本在预定路径上传输。

## 2 RVNE 方案设计

### 2.1 传输成功率计算

下面分析如何估计每条链路的成功传输数据率。为了更好地表述节点在传输阶段的状态,首先定义 1 个二值矢量。在定义的矢量中,每个比特位对应每个节点。如果比特位为 1,则该节点正参与数据传输;反之,如果比特位为 0,则表示该节点目前未参与数据传输(即处于空闲状态)。例如,假设网络由 A、B 和 C 3 个节点构成,那么存在 8 类网络状态矢量{000,100,010,001,110,011,101,111}。当矢量  $\vartheta$  为{100}时,则说明仅节点 A 参与数据传输,节点 B 和节点 C 空闲。且每个矢量  $\vartheta$  都对应一个活动共享(active share, AS),AS 主要是反映此矢量维持的归一化时间。所谓归一化时间是指此矢量维持的时间占整个抽样间隔的比例,如图 2 所示。当矢量  $\vartheta$  为{100}时,其 AS 为 0.25,也即表示保持此状态的归一化时间为 0.25。假定整个抽样时间为 10 s,则维持此状态的时间为  $0.25 \times 10 \text{ s} = 2.5 \text{ s}$ 。

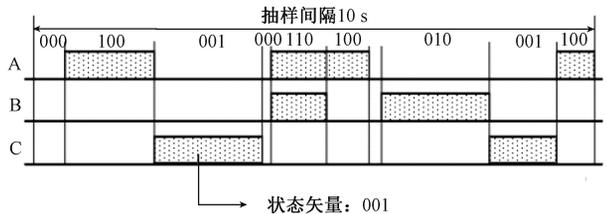


图 2 网络状态矢量及其 AS 示例

由此可知,当网络有  $N$  个节点时,网络状态矢量可以表示为  $\bar{\vartheta} = (b_1, b_2, \dots, b_N), \vartheta_i \in \{0, 1\}$ 。由于有  $N$  个节点,则存在  $2^3 = 8$  个网络状态矢量,即  $\bar{\vartheta}_1, \bar{\vartheta}_2, \dots, \bar{\vartheta}_8$ 。而矢量  $\bar{\vartheta}_j$  的 AS 等于该矢量的持续时间占抽样间隔  $L$  的比例。每个节点记录数据传输的开始时间和结束时间,并将这些数据传输至网关,当网关收集了所有节点的信息后,就能得到相应的 AS<sup>[10]</sup>。

令  $l_{ij}$  表示从节点  $i$  至节点  $j$  的链路,则采用下述方法推导每条链路的传输成功率。为保证数据能成功传输,需要满足两个条件:1) 链路开始传输数据包时,未有隐藏节点传输它们的数据包;2) 在它的任何隐藏节点开始传输数据包之前,数据传输已完成。假定节点间的数据传输并非相互独立,那么隐藏节点传输数据的开始时间服从指数分布。令 ON 表示至少有一个隐藏节点正在传输数据包的时期,而 OFF 表示未有隐藏节点传输数据包的时期。则链路  $l_{ij}$  上发生碰撞的概率可定义为:

$$l_{ij} = \frac{\bar{T}_{\text{OFF}}}{\bar{T}_{\text{ON}} + \bar{T}_{\text{OFF}}} \exp(-h/\bar{T}_{\text{OFF}}) \quad (1)$$

其中,  $\bar{T}_{\text{OFF}}$  和  $\bar{T}_{\text{ON}}$  分别表示它们各自的归一化时间,

即将  $T_{OFF}$  和  $T_{ON}$  的平均时间与抽样间隔相除可得  $\overline{T}_{OFF}$  和  $\overline{T}_{ON}$  值。 $h$  表示数据包传输时间。

由式(1)可知,式(1)的第 1 项与条件 1 相关,第 2 项与条件 2 相关。从节点  $i$  的角度而言, $\overline{T}_{OFF} + \overline{T}_{ON}$  等于节点  $i$  有机会数据包的时期,则有:

$$\overline{T}_{OFF} + \overline{T}_{ON} = 1 - B_i \tag{2}$$

$\overline{T}_{ON}$  可按式(3)计算:

$$\overline{T}_{ON} = AS_{HT} = \sum_l AS(\vartheta_l) \tag{3}$$

其中,  $l \in (\exists m \in V_{HT}(i, j): \vartheta_l^m = 1) \cap (\vartheta_l^n = 0, \forall n \in V_{CS}(i)), V_{HT}(i, j)$  表示链路  $l_{ij}$  上的隐藏节点数。则依据式(1)、(2)和(3)可得:

$$\frac{\overline{T}_{ON}}{\overline{T}_{ON} + \overline{T}_{OFF}} = \frac{AS_{HT}}{1 - B_i} = AS_{nHT} \tag{4}$$

最后可得链路  $l_{ij}$  成功传输数据包的概率  $\rho_{ij}$ :

$$\rho_{ij} = (1 - AS_{nHT}) \times \exp(-AS_{nHT}/(1 - AS_{nHT})) \tag{5}$$

### 2.2 节点流量估计

下面首先进行节点流量估计计算,然后利用每个节点所产生流量和每条链路的传输成功率这两项数据估计网关所接收的数据量。图 3 所示给出了节点队列模型。

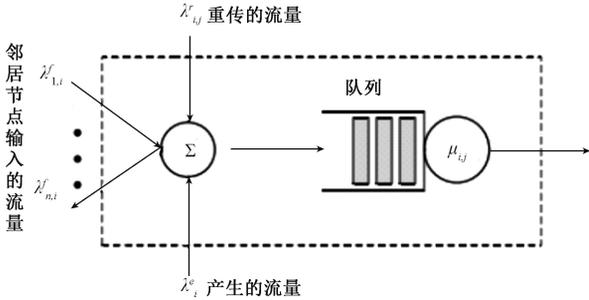


图 3 节点  $i$  的队列模型

由图 3 可知,节点  $i$  的数据包到达率由 3 项流量元素组成:局部产生流量  $\lambda_i^s$ 、来自邻居节点的流入流量  $\lambda_i^f$  和重传流量  $\lambda_i^r$ 。假定  $\mu_{ij}$  表示队列的服务率,其由传输比特率和 MAC 竞争时延组成。令  $r_{ij}$  表示链路  $l_{ij}$  的重传率,其定义如式(6)所示<sup>[11]</sup>:

$$r_{ij} = 1 - \frac{\rho_{ij}}{2 - \rho_{ij}} \tag{6}$$

假定利用因子小于 1,即  $\gamma_i = \frac{\lambda_i}{\mu_i} < 1$ 。对于给定的  $\lambda_i^s$  和  $r_{ij}$ ,则节点  $i$  的即将传输流量如式(7)所示:

$$\lambda_{ij}^s = \lambda_i^s + r_{ij} \times \lambda_i^s \tag{7}$$

其中,  $\lambda_i^s$  表示向外传输数据包的平均率,其定义如式(8)所示:

$$\lambda_i^s = \lambda_i^s + \sum_{l \in V_c(i)} \lambda_{li}^f \tag{8}$$

其中,  $V_c(i)$  表示节点  $i$  的邻居节点集。

### 2.3 路由决策

首先,计算链路的数据包传输成功率<sup>[12]</sup>,然后计算节点的传输流量,最后依据传输流量构建路由。每个节点选择传输流量大的节点作为下一跳邻居。考虑到传输流量是动态变化的,因此,每个节点需在之前建立的路径中,检测是否存在这样的邻居节点;若由此邻居节点作为下一跳节点,是否能够增加网关的流量<sup>[13]</sup>。若存在这类节点,那么就将此节点作为下一跳节点。下图 4 给出了路由决策示意图。其中,图 4(a)为初始路由,若节点 2 发现选择节点 3 的流量远远大于节点 6 的流量(节点 3 的流量为 200,节点 6 的流量为 10),那么节点 2 将选择节点 3 作为下一跳路由,更新后的路由如图 4(b)所示。通过更新路由后,可以发现网关的流量从 207 增加至 230。

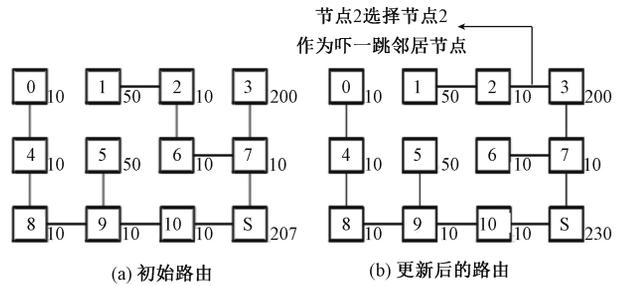


图 4 路由初始阶段

## 3 性能仿真分析

为分析所给 RVNE 方案性能,利用 OMNEET++ 软件建立仿真平台,采用 IEEE 802.11b 无线链路。主要参数设置为:数据传输比特率为 2 Mbps,最小和最大竞争窗口尺寸分别设定为 31 和 1 023,最大重传输数设为 1,节点的传输范围为 170 m,干扰范围为 250 m。采用第一节图 1 所示的矩形拓扑网格模型。两跳的邻居点距离为 150 m,且位于对角线的两个节点呈终端隐藏关系。

### 3.1 节点流量分析

分析所给 RVNE 方案对每个节点传输的数据包  $\lambda^s$  和它成功接收的数据包数  $\lambda^f$  的估计性能,并且与仿真实验的数据进行对比。

首先,按照第 2.3 节中图 4(a)的路由进行数据传输,节点产生的数据包尺寸为 150 字节。 $\lambda^s$  和  $\lambda^f$  的数据分别如图 5(a)和 5(b)所示(图中横坐标表示节点的标号)。图 5(a)表示按照图 4(a)的路由,各节点所传输的数据包数  $\lambda^s$ ;图 5(b)表示按照图 4(a)的路由,各节点所接收的数据包数  $\lambda^f$ 。

由图 5 可知,所给 RVNE 方案估计的数据包数与仿真实验所产生的数据包数相吻合,则说明采用所给 RVNE 方案能够较准确地估计各节点的流量。

类似地,按照图 4(b)的路由对各节点的流量进行估计,  $\lambda^s$  和  $\lambda^f$  的数据分别如图 6(a)和 6(b)所示。图 6(a)表示按照

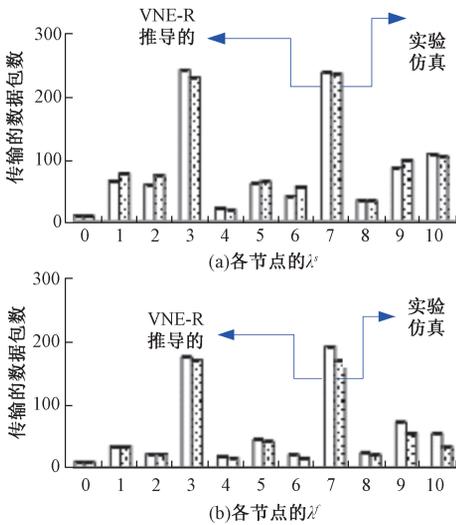


图 5 节点按照图 4(a)路由传输和接收的数据包数

图 4(b)的路由,各节点所传输的数据包数  $\lambda^t$ ;图 6(b)表示按照图 4(b)的路由,各节点所接收的数据包数  $\lambda^r$ 。

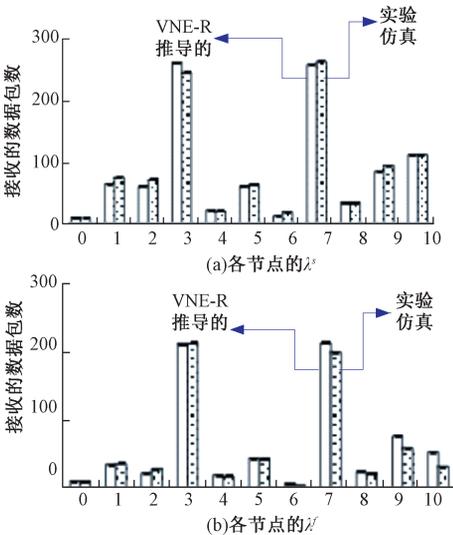


图 6 节点按照图 4(b)路由传输和接收的数据包数

由图 6 可知,仿真的数据包数与推导的数据包数相一致。结合图 5 和图 6 可以发现,所给 RVNE 方案能够较准确地估计节点所传输和接收的数据包数(流量),这也为后续的路由决策提供了基础。

### 3.2 吞吐量分析

下面分析采用所给 RVNE 方案的网关吞吐量。选择负载感知的路由(load-aware routing, LAR)作为参照。为更好地产生真实动态流量模型,选用真实的人类移动轨迹,即 Cambridge traces<sup>[14]</sup>。利用 SWIM 工具<sup>[15]</sup>按比例放大轨迹文件比较所给 RVNE 方案和 LAR 方案的吞吐量,其中包含 90 用户和 180 用户两类用户,实验结果如图 7 所示。

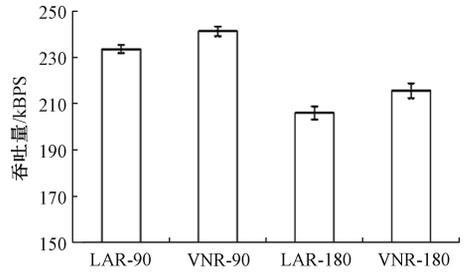


图 7 所给 RVNE 方案和 LAR 方案的吞吐量比较

由图 7 可知,所给 RVNE 方案的吞吐量要优于 LAR 路由方案。这是由于所给 RVNE 方案在选择下一跳邻居节点时,总是将吞吐量大的节点作为下一跳邻居节点,这有利于提高网络吞吐量。

## 4 结 论

物联网的数据传输问题是物联网提供服务关键问题之一,当前已有的路由方案大都依赖流量探测包,但是这类方案成本较高且易遭受邻居节点干扰,因此给出了一种基于虚拟网络估计的物联网路由方案。所给方案目的在于最大化网关的吞吐量。首先计算网络数据传输成功率,并根据影响节点数据到达率的因素估计估计节点的流量,然后选择能使网关流量最大的节点作为下一跳节点,最终建立整个物联网路由。仿真实验结果表明,所给路由方案估计的数据包传输数与仿真结果一致,且比 LAR 方案具有更优的网络吞吐量。所给方案简便有效,对于物联网路由建立具有较好的实际应用价值。

### 参考文献

- [1] 张德干,葛辉,刘晓欢,等.一种基于 Q-Learning 策略的自适应移动物联网路由新算法[J].电子学报,2018,46(10):2325-2332.
- [2] 郑杰,李建平.物联网传感网络路由改进设计算法研究[J].科技通报,2017,33(3):92-95,124.
- [3] MURUGANATHAN S D, MA D C, BHASIN R I. A centralized energy-efficient routing protocol for wireless sensor networks [ J ]. IEEE Radio Communications, 2015, 43(3): 8-13.
- [4] SHANG G, CHEN Y, ZUO C, et al. Design and implementation of a smart IoT gateway [ C ]. 2013 IEEE International Conference on Green Computing and Communications and IEEE Internet of Things and IEEE Cyber, Physical and Social Computing, 2013: 23-31.
- [5] 郑鑫,张晓洁,宾冬梅,等.物联网 M2M 中基于社区的能耗感知路由策略[J].小型微型计算机系统,2017,38(4):797-802.
- [6] 严圣华,王昌达.物联网高效服务路由优化选择仿真研究[J].计算机仿真,2017,34(12):283-286.

- [7] COUTO D S J D, AGUAYO D, BICKET J, et al. A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing [J]. *Wireless Networks*, 2015, 11 (4): 419-434.
- [8] DRAVES R, PADHYE J, ZILL B. Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks[J]. *Proceedings of the 10th annual international conference on Mobile computing and networking*, 2014, 6(8): 34-41.
- [9] SUBRAMANIAN A P, BUDDHIKOT M M, MILLER S. Interference aware routing in multi-radio wireless mesh networks[J]. In *IEEE Wi Mesh*, 2016, 9(7): 12-21.
- [10] MAGISTRETTI E, GUREWITZ O, KNIGHTLY E W. Measurement-driven modeling of transmission coordination for 802.11 online throughput prediction[J]. *IEEE/ACM Transactions on Networking (TON)*, 2017, 20(5): 1635-1648.
- [11] BEJERANO Y, CHOI H G, HAN S J, et al. Performance tuning of infrastructure-mode wireless LANs[C]. *International Symposium on Modeling & Optimization in Mobile, IEEE*, 2010: 56-61.
- [12] BISNIK N, ABOUZEID A A. Queuing network models for delay analysis of multihop wireless ad hoc networks[J]. *Ad Hoc Networks*, 2015, 7(1): 79-97.
- [13] ANCILLOTTI E, BRUNO R, CONTI M, et al. Load-aware routing in mesh networks: Models, algorithms and experimentation [J]. *Computer Communication*, 2016, 34(8): 948-961.
- [14] SCOTT J, et al. {CRAWDAD} trace cambridge/haggle/imote/infocom(v.2006-01-31)[EB/OL]. 2016.
- [15] KOSTA S, MEI A, STEFA J. Large-scale synthetic social mobile networks with swim[J]. *IEEE Transactions on Mobile Computing*, 2015, 13(1): 116-129

### 作者简介

**方军**, 硕士、高级工程师, 主要研究方向为信息化管理、项目管理。

E-mail: wzyasyl@163.com

**马涛**, 硕士、高级工程师, 主要研究方向为软件工程。

E-mail: maytx17@126.com

**杜聪**, 硕士、工程师, 主要研究方向为电子工程、信息化。

E-mail: xinlinzh2@163.com

**张雪峰**, 硕士、高级工程师, 主要研究方向为信息化管理、项目管理、工程造价、软件标准研究。

E-mail: zhangyyd@126.com

**张璋**, 硕士、工程师, 主要研究方向为电子工程、信息化。

E-mail: zhuhs0801@163.com