

# 物联网订阅信息的安全投递

路国翠<sup>1</sup> 李千目<sup>1</sup> 张煜<sup>2</sup>

(南京理工大学计算机科学与技术学院 南京 210094)<sup>1</sup> (中电科技第二十八研究所 南京 210094)<sup>2</sup>

**摘要** 针对大规模物联网应用中订阅信息的投递有效性,提出了一种低负载、自配置的投递方法。基于网络负载最低原则,将更多工作交给终端完成。同时,为更好适应大规模物联网的应用,提供了网络自配置方法,实现了节点失效后或新节点加入网络后的相应处理,使该方法具有良好的容错性。实验证明了该投递方法的正确性。

**关键词** 信息订阅,安全投递,物联网,自配置,节点处理

**中图分类号** TP309.2 **文献标识码** A

## Safe Delivery of Subscribe Information in the Internet of Things

LU Guo-cui<sup>1</sup> LI Qian-mu<sup>1</sup> ZHANG Yu<sup>2</sup>

(School of Computer Science and Technology, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)<sup>1</sup>

(NRIIE, Nanjing 210094, China)<sup>2</sup>

**Abstract** This paper presented a safe delivery method with low-load and self-configuration. The safe delivery method delivers subscription information effectively in the large-scale networking applications. It allows the terminal to complete more work which is based on the principle of the lowest network overload. Meanwhile, it provided a network self-configuration way which has a good fault-tolerance to deal with the situation when nodes come to a failure or when the network needs to add new nodes, thus it better adapts to the large-scale networking applications. Experiments proved the correctness of the delivery method.

**Keywords** Information subscribe, Safe delivery, Internet of things, Self-configuration, Nodes disposal

## 1 引言

随着大规模物联网应用研究的深入,如何安全、低功耗地将订阅条件发送给需要的分发代理或传感节点成为物联网普及所需要解决的重要问题<sup>[1-4]</sup>。近年来,有众多学者对订阅信息投递开展了深入研究<sup>[5-9,11]</sup>,具有代表性的有:(1)基于生成树的转发方法。系统中的所有事件代理都预先组织成一个层级结构。当某事件代理收到客户端发来的订阅请求时,订阅消息由当前节点逐级地向根节点发送,并利用过滤条件的覆盖关系对消息转发进行优化。当某事件代理收到其客户发布的事件时,事件的传播采用“生成树转发”广播算法,即该事件由当前节点逐级向根节点发送,途中每个节点将其转发到对其感兴趣的各个子树。典型系统 SIENA 和 JEDI 中都采用了这种方法。其缺点在于,每个节点都保存了其子树中所有客户的订阅信息,所以越是上层的节点,其保存的订阅信息就越多,处理负担就越重,从而造成各节点负载的不均匀。此外,一个事件代理的失败使得所有与之相连的子网节点和其他节点断连,易产生单点失败问题。(2)逆向路径转发方法。订阅消息的传播来自“基于源转发”广播算法,事件消息的传播采用“逆向路径转发”广播算法。每个事件代理都预先知道一棵以自己为根的生成树,当它收到其客户的订阅请求后,就按这

棵生成树将订阅消息转发给其它各事件代理,并利用过滤条件的覆盖消息对消息转发进行优化。当每个事件代理都收到其客户发布的事件时,就按照各订阅消息的逆向路径把该事件转发给其它事件代理。网络上大部分基于内容的发布/订阅系统都采用这种路由算法(逆向路径转发方法)。在一些主流的基于内容的发布/订阅系统中(Rebeca, SIENA 的无环图结构等),为了简化路由策略,各事件代理被组织成一个无环的连通网络。因此,每个代理都有一个唯一的以其为根的生成树。其缺点在于,物联网中的每个节点都同时处在多棵事件分发树之中,其中包含的投递信息难以被其它节点所替代,一旦某节点失效,整个系统的投递重配工作将很困难。

事实上,传统方法在物联网应用中还有以下问题:首先,传统集中式的订阅信息投递架构下不能满足物物相联的发展趋势;其次,分布式架构含有多个分发代理,实际应用中会出现以下两种情况:(1)对于同某个分发代理连接的发布者和订阅者,其事件和订阅条件不匹配,需要匹配的内容可能在其分发代理;(2)事件和订阅条件在本域匹配以后,发现订阅该事件的用户不在本域。事实上,只要是采用分布式架构的物联网订阅信息投递都会遇到上述两个问题。

针对目前物联网订阅信息投递方法的不足,本文提出一种低负载、自配置的投递方法。该方法基于网络负载最低原

本文受国家自然科学基金(60903027),江苏省自然科学基金重大项目(BK2011023),江苏省自然科学基金(BK2011370),江苏省自然科学基金重大项目(江苏 973)(BK2011022)资助。

路国翠(1990—),女,硕士生,主要研究方向为物联网信息安全,E-mail:lqc2009sx@163.com;李千目(1979—),男,博士后,副研究员,主要研究方向为网络与信息安全;张煜(1982—),男,工程师,主要研究方向为大型信息系统。

则,把大量工作交给终端完成;同时,提供网络自配置方法,实现节点失效后或是新的节点加入网络后的对应处理<sup>[10]</sup>。

## 2 订阅信息的安全投递方法设计

大规模物联网应用由若干个节点按照一定的拓扑结构连接而成。其中,每个节点相当于一个集中式发布/订阅系统,即由一个分发代理服务器、若干个发布者和若干个订阅者组成。对于一个节点而言,其本身所属的分发代理、发布者和订阅者称为本域;而对于其他节点,则称为相对于该节点的异域。定义4类非转发通信报文:

(1)探测报文:某节点对相邻节点是否在线发出询问,由探测方IP地址加上网络报文类型构成,网络报文类型为单字节16进制数,规定为0x00;

(2)探测应答报文:收到探测报文的节点对发送方做出的应答,由被探测方的IP地址加上网络报文类型构成,网络报文类型为单字节16进制数,规定为0x01;

(3)接入申请报文:当一个新的节点需要加上当前网络时,对其加入位置的相邻节点的通知,由接入者的IP地址加上网络报文类型构成,网络报文类型为单字节16进制数,规定为0x02;

(4)网络重组报文:当一个节点失效后,通知网络上所有节点重建节点邻接表的报文,由新的邻接表加上网络报文类型构成,网络报文类型为单字节16进制数,规定为0x03。网络重组报文是一种广播形式的报文。

在本方法中,各节点可以按照无向图的形式组成任何拓扑结构。图1所示就是一个简单的网络拓扑结构。

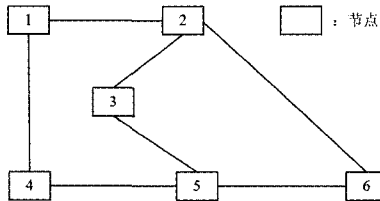


图1 一个网络拓扑结构的示例

对于节点的网络拓扑结构,采用邻接表的方式描述。以图1的拓扑结构为例,其邻接表如图2所示。

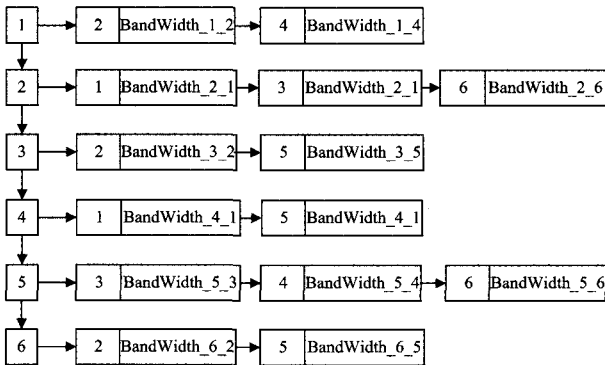


图2 示例节点网络拓扑结构的邻接表

其中,BandWidth<sub>*n*<sub>1</sub><sub>*n*<sub>2</sub></sub>表示从节点 $n_1$ 到节点 $n_2$ 链路的当前带宽,其值可以由网络流量监测软件测得。</sub>

事实上,大规模物联网应用系统中,一个事件或订阅条件被发布后,很少有在本域匹配成功的情况。因此需要对该事件或订阅条件在网络中转发。本方法尽量减轻了网络负载,让分发代理完成了更多的工作。同生成树转发方法相比,本方法加入了选择带宽最高链路传输机制,可以有效降低网络

压力,使网络利用率更加均衡;与逆向路径转发方法相比,本方法通过引入自配置策略,可以避免某节点失效后带来的重组问题。

订阅条件转发过程如下:

步骤1 当一个订阅条件被发布后,在本域对其进行匹配。若在本域匹配失败,则在邻接表中查找所有与本域相邻的节点,选取其中带宽最高的链路把该事件或该订阅条件发送给某个相邻节点,相邻节点若匹配成功,则返回匹配结果给本域;反之,则通知本域匹配不成功。

步骤2 若第一次转发没有成功,则选取链路带宽第二高的节点,重复步骤1和步骤2的过程,直到匹配成功或所有与本域相邻的节点都转发过该事件或该订阅条件。

步骤3 若匹配结束后依旧没有成功,则从本域的邻接节点出发,重复步骤1-步骤3的过程,直到匹配成功或网络中所有节点都已转发过该事件或订阅条件。转发过程结束。

大规模物联网应用系统中,不可避免地会出现节点失效的问题。节点失效处理过程如下:

步骤1 对于某节点,每隔一定的时间(探测时间间隔),向其所有相邻节点发送探测报文,探测时间间隔可以根据网络状况自行规定;当网络带宽高时,减少探测时间间隔;反之,则增加探测时间间隔。

步骤2 相邻节点在收到探测报文后,立即向发送探测报文的节点发送探测应答报文。

步骤3 若发送探测报文在一定的时间间隔(应答时间间隔)后没有收到来自某相邻节点的探测应答报文,即认为该相邻节点已失效。此时,对于所有与失效节点相邻的节点,由其中ID号最小的节点,在本域更新整个节点网络的邻接表,删除邻接表中所有与失效节点有关的信息,再将新的邻接表以网络重组报文的形式广播给网络中所有的在线节点,接收到网络重组报文的节点在本域启用新的邻接表。应答时间间隔可以根据网络状况自行规定;当网络带宽高时,减少应答时间间隔;反之,则增加应答时间间隔。

当大规模物联网应用系统中需要加入新节点以扩大系统规模时,处理过程如下:

步骤1 当一个节点需要加入现有网络时;采用链路状态选择算法得到所有与之相连的节点中全局资源最优的节点,发送接入申请报文;

步骤2 当待加入节点的某个相连节点接到接入申请报文后,向待加入节点发送探测应答报文,表明允许其加入;

步骤3 待加入节点在本域更新网络邻接表,加入与自己有关的信息,再将新的邻接表以网络重组报文的形式广播给网络中所有的在线节点;接收到网络重组报文的节点在本域启用新的邻接表。

## 3 实验与分析

在网络仿真平台NS2.30上实现了本文方法。设置等待投递的缓冲队列大小为64个分组,发送等待队列(等待MAC层发送)为50个分组。MAC层采用IEEE802.11DCF,传输速率为2Mbps,节点发送范围为250m。节点移动模型采用随机移动模型;每个节点停留预设停滞时间后,在规定的移动区域内随机选择一个目的位置,然后在 $[0, \text{maxspeed}]$ 速度区间内随机选择一个速度,按该速度恒定移向目的位置;节点到达目的位置后,停留预设停滞时间,然后重新选择新的目的位置和移动速度,如此反复。本文选用数据包投递率、标准化载荷

等指标来衡量本方法性能。

(1)包投递率<sup>[5]</sup>:模拟过程中所有目的节点成功接收的数据分组数目与所有源节点发送的分组数目之比。包投递率越大,传输过程中丢弃的包越少,网络性能越好。

$$\text{包投递率} = \frac{\text{成功接收的分组数}}{\text{发送分组数}} = \frac{\text{发送分组数} - \text{丢弃分组数}}{\text{发送分组数}} \quad (1)$$

(2)标准化载荷:成功发送一个数据分组到目的节点而发送的控制分组的个数。

$$\text{标准化载荷} = \frac{\text{发送的控制分组总数}}{\text{接收到的数据分组总数}} \quad (2)$$

实验按照不同的停滞时间共设计了6种移动场景进行模拟。具体协议相关参数设置值中:投递目的地发现尝试总次数(RREQ\_RETRIES)设置为3,最大投递发现搜寻时间(MAX\_RREQ\_TIMEOUT)设置为10sec,投递有效期(ACTIVE\_ROUTE\_TIMEOUT)设置为10sec,广播序列号存活期(BACAST\_ID\_SAVE)设置为6sec,广播HELLO消息时间间隔(HELLO\_INTERVAL)设置为1sec,邻节点残存率计算周期(NRR\_INTERVAL)设置为 $3 \times \text{HELLO\_INTERVAL}$ ,HELLO报文允许丢失的次数(ALLOWED\_HELLO\_LOSS)设置为3,网络直径NETWORK\_DIAMETER设置为20hop。模拟场景相关参数设置值中:网络覆盖范围设置为 $1000\text{m} \times 1000\text{m}$ ,测试节点总数设置为50个,网络业务采用CBR,报文大小设置为512字节,节点发送速率设置为4个分组/s,MAC模型采用802.11 DCF,通信信道容量设置为2M,最大连接数设置为30个,节点覆盖范围设置为250m, Radio模型设置为Two-Ray模式,移动模型设置为Random way-point模式,节点移动最大速度设置为20m/s,停滞时间分别采用0s,50s,100s,150s,200s,250s 6种情况,仿真时间设置为900s。为了防止实验的偶然性,试验的每个样本数据均由5个仿真结果平均值获得。

下文将具体比较本文方法和生成树转发方法以及逆向路径转发方法的性能差异。

图3显示了本文方法和生成树转发方法在数据分组投递率方面的差异。

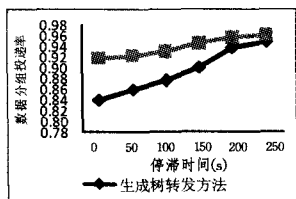


图3 数据分组投递率比较

如图3所示,本文方法较生成树转发方法在数据分组投递率方面有明显提高。本文采用了稳定路径选择算法,选择出来的路径比较稳定,因此断链的几率有所降低;即使断链,因为采用避让法进一步提高了路径的稳定性,所以由断链带来的数据分组丢失的量有所降低,从而数据分组投递率有较大提高。值得注意的是,当网络的节点停滞时间较长时,两种方法在数据分组投递率上的差距逐渐缩小,但本文方法始终较生成树转发方法在数据分组投递率的性能上具有优势。

图4显示了本文方法和逆向路径转发方法在标准化载荷方面的差异。

从图4可以看出,逆向路径转发方法较本文方法在标准

化载荷方面有所改善,但改善的效果比较有限。分析原因,本文方法为了每次投递请求都要得到最稳定的路径,所以不允许中间节点进行应答,而且允许中间节点和目的节点有条件地重复转发投递消息,导致本文方法的控制消息较逆向路径转发方法的控制消息多。值得注意的是,由于本文方法路径选择和本域修复时都尽可能避开了不稳定节点,因此很大程度上减少了断链的次数,所以本文方法整体的标准化载荷仍较逆向路径转发方法好。随着节点停滞的时间增长,两个协议的标准化载荷方面的性能都有所提高,而且本文方法相对逆向路径转发方法,其优越程度显得不再明显。究其原因,主要是节点停滞时间过长导致断链的几率不断减小,使得本文方法的优势得不到体现。

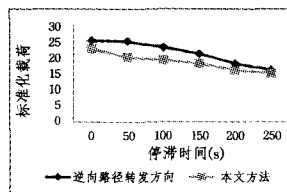


图4 标准化载荷比较

**结束语** 大规模物联网应用系统往往分布较广,造成订阅条件会被频繁地转发,这时需要一个合适的投递方法解决上述问题。本文本着尽可能减轻网络负载及合理利用资源的原则,设计了一种基于适用物联网需求的安全投递方法,引入自配置策略,使本方法具有良好容错性。其优势在于,节省网络带宽,支持自配置策略。目前工作中,对订阅信息的代理进行分类,每一类分发代理专门优先处理相同订阅条件属性名出现频率较高的一类订阅信息,分发代理对某订阅条件属性名出现的频率可以自动统计并实时地更改需要优先处理的订阅条件。订阅转发速度不是本方法的长处所在,未来将对这一方面进行加强。

## 参考文献

- [1] Aktas M S, Pierce M. High-performance hybrid information service architecture[J]. International Journal of Communication Systems, 2010, DOI:10.1002/cpe.1557
- [2] 苑洪亮. 基于内容的“发布/订阅”若干关键技术研究[D]. 长沙:国防科学技术大学, 2006
- [3] 汪锦岭. 面向Internet的发布/订阅系统的关键技术研究[D]. 北京:中国科学院软件研究所, 2005
- [4] 邓婷婷. 基于内容的发布订阅相关技术研究[D]. 长沙:长沙理工大学, 2008
- [5] Li Qian-mu. Multiple QoS Constraints Finding Paths Algorithm in TMN[J]. Journal of Information, 2011, 14(3): 271-279
- [6] Dalal Y K, Metcalfe R. Reverse path forwarding of broadcast packets[J]. Communications of the ACM, 2008, 21(12): 1040-1048
- [7] 马建刚, 黄涛, 汪锦岭, 等. 面向大规模分布式计算发布订阅系统核心技术[J]. 软件学报, 2006, 17(1): 136-142
- [8] Muhal G. Large-scale content-based publish/subscribe system [D]. Darmstadt, Germany, 2002
- [9] 齐凤亮, 金蓓弘, 陈海彪, 等. 发布/订阅系统中的原子订阅管理和匹配[J]. 计算机科学, 2009, 36(12): 111-114
- [10] 黄欢, 施化吉, 李星毅. 主动发布订阅分组拓扑和自配置策略[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(24): 114-117
- [11] 刘殿兴, 赵文, 邓鹏鹏, 等. RFID信息服务中发布/订阅系统若干关键技术问题研究[J]. 电子学报, 2008, 36(Z1): 94-101