

基于 AHP 的物联网数据接入控制的研究

陈晓阳,江凌云,王 蕾,刘博伟

(南京邮电大学 通信与信息工程学院,江苏 南京 210003)

摘 要:随着物联网规模的不断扩大,网络中节点的数量也不断增加,因而数据的接入量剧增,造成了数据接入控制中的拥塞问题,导致数据包的实际丢包率随之上升,同时由于缺乏数据接入的优先级机制,使得部分重要数据无法及时更新。针对以上问题,基于层次分析法提出了一种设备属性优先级模型。该模型通过相应的准则构建比较矩阵,然后进一步具体量化每个属性所占的权值,得出对应的优先级顺序,并在智能家居场景下给出了属性优先级的具体求解方法,得到各属性的具体优先级等级。最后将其应用于物联网数据接入控制中,实验结果表明,该方法能够按照优先级顺序接收和处理数据包,缓解了大量数据接入时的拥塞问题,同时使得重要数据能及时进行更新。

关键词:层次分析法;拥塞;属性;优先级

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2018)04-0196-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2018.04.042

Research on Data Access Control in IoT Based on Analytic Hierarchy Process

CHEN Xiao-yang, JIANG Ling-yun, WANG Lei, LIU Bo-wei

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

Abstract: With the expansion of Internet of Things, the number of nodes in the network is also increasing. Thus, the amount of data access is dramatically increased, which brings about the congestion in the process of data access and control and also increases the actual packet loss rate. At the same time, part of the important data cannot be timely updated due to lack of data access priority mechanism. To solve the above problems, we propose a model of device attribute priority based on analytic hierarchy process. It constructs the comparison matrix according to the corresponding criteria, and specifically quantifies the weight of each attribute. Then, the corresponding priority order can be obtained. The specific solution method of the priority of attributes in the smart home scene is given. Finally, the model is applied in the data access control of IoT. The experiments show that the data packets can be received and processed in priority order, which alleviates the congestion when large quantities of data are accessed, and also keeps important data being updated in time.

Key words: analytic hierarchy process; congestion; attribute; priority

0 引言

随着物联网规模的日益庞大,各种类型的传感终端数量也随之不断增加^[1]。为了实现更好地覆盖和采集数据,通常会布置较多的冗余节点;同时为了获取更多的样本数据,节点往往处于过采样的状态,即远高于采样频率^[2]。这样不仅会导致拥塞等问题,同时也给设备本身的软硬件资源、应用层的连接存储资源等带来了巨大的负荷。

但是,当上述情况发生时,所采集的数据不能简单

地随机丢弃,这样会使部分重要数据丢失,导致无法获取实时的状态信息;也不能随机处理,这样会因为重要数据延后处理而使得数据更新不及时。因而,需要将各类传感数据的重要性进行具体量化排序,得出优先级进行相应处理。

对此,文中提出一种基于层次分析法的设备属性优先级模型,并给出了算法流程;以智能家居场景为例给出了模型求解的过程;最后给出了模型的具体实现和应用。

1 相关工作

针对以上问题,国内外有了一定的研究。文献[3]从数据接入的安全性和可靠性角度,考虑了设备本身的 CPU 资源和数据库的存储资源,同时限制在指定时间段接收数据,这样一定程度上缓解了数据接入时的拥塞问题,但是无法根据实际情况有选择地接收重要数据。文献[4]通过粒计算给出了一个具体场景下的属性筛选方法,但是所考虑的受限条件不完整,当场景变得较为复杂时,模型无法动态地进行扩展。文献[5]给出了海量数据情况下的安全处理模型,较好地解决了接入后的数据安全存储问题,但是并未考虑接入中并发以及拥塞问题。

文中基于层次分析法提出了一种通用的属性优先级模型,可以根据具体场景选择需要受限的条件以及终端属性,最终求解得出优先级队列,并应用于大量节点接入网络时产生的拥塞问题。

2 层次分析法模型

各种类型的传感器所采集的传感数据不断上传,使得数据处于过采样状态,造成拥塞问题,同时给设备的软硬件资源、连接存储资源等带来了巨大的负荷。因而针对不同的条件,需要建立一个通用的模型来具体量化传感数据的重要性,得出相应的优先级。层次分析法^[6]可以根据不同准则得出各方案所占权重,因而在此方法的基础上,建立了设备属性优先级模型。

2.1 属性优先级模型

由于不同场景下的不同因素会对各种类型传感数据的优先级产生影响,因而需要根据不同准则建立对应模型,最终得出各属性的优先级,具体模型如图 1 所示。

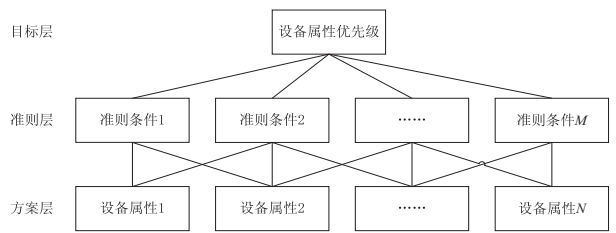


图 1 属性优先级模型

从图 1 可以看出,模型分为目标层、准则层和方案层。目标层即为各种类型传感设备的属性优先级队列;准则层中根据不同的场景和应用,可以针对性地列举出对应的条件,分别记为 $Condition_1, Condition_2, \dots, Condition_m$;而方案层中则列举了相应场景下的各个传感设备的属性,分别记为 $Attribute_1, Attribute_2, \dots, Attribute_n$ 。

每个属性 $Attribute$ 两两比较以及每个准则条件 $Condition$ 两两比较的重要性程度不同,用以构建比较

矩阵,确定最终的权系数。在实际应用场景中,设备属性通常很多,受限的准则条件亦如此,无原则的两两比较在增加工作量的同时,也会给最终结果的正确性带来一定的问题,因而首先需要确定方案层中各属性重要程度和准则层中各准则条件重要程度的大致分类。这样不仅统一规范了物联网场景中各属性和准则条件比较的原则,降低构造过程中的工作量,同时也确保最终的优先级不会出现错乱,并且有理可依。

在构造设备属性相对准则层的比较矩阵的过程中,应该遵循以下原则:

- (1) 涉及安全方面的属性值的重要程度最高,例如检测火灾的烟雾属性值,因为这些值用以实时反馈安全性数据,涉及生命财产安全,需要优先接收处理;
- (2) 实时性要求高或需要反向控制的属性值的重要程度次要高,例如门禁中的红外属性值,因为这些属性值需要对所接收的数据或下发的指令做出及时的处理和反应,以确保实时性要求,但是相比于安全性数据重要程度较低;
- (3) 其余一般属性值的重要程度最低,例如检测房间的湿度属性值,因为这些数据通常无需做出及时反馈,仅用于检测和数据储存。

需要注意的是,在不同场景下,相同属性值间的相对重要程度可能有所不同,因而需要根据具体场景进行确定。

而在确定准则条件相对目标层的比较矩阵的过程中,需要根据实际场景中软硬件资源的不同以确定各准则条件的重要程度,例如当服务器的接入资源足够,而其他资源受限时,那么服务器接入资源的重要程度应最低。

通过以上原则构建比较矩阵,并进行一致性判决。矩阵通过一致性判决后,需要确定各属性的权系数,分别记为 W_1, W_2, \dots, W_n ,对应的矩阵记为 $A = (a_{ij})_{n \times n}$,求解步骤如下:

步骤一:将矩阵 A 按行求 $O_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}, i, j = 1, 2, \dots, n$;

步骤二:将 O_i 进行归一化: $W_i = \frac{O_i}{\sum_{i=1}^n O_i}, i = 1, 2, \dots, n, \bar{W} = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$ 即为矩阵 A 的特征向量;

步骤三:计算最大特征根: $\lambda_{\max} = \sum_{i=1}^k \frac{(AW)_i}{nW_i}$,其中 $(AW)_i$ 表示 AW 中的第 i 个元素。

通过得出的权系数,可以得出最终的设备属性优先级模型表达式。

$$\text{Level}_n = \left\lfloor \frac{W_n}{\min(W_1, W_2, \dots, W_N)} + \frac{1}{2} \right\rfloor, n = 1, 2, \dots, N \tag{1}$$

其中, $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示向下取整; $\text{Level}_1, \text{Level}_2, \dots, \text{Level}_n$ 分别记为各属性对应的优先级。

通过表达式可以发现,综合权系数所占比重越大,对应的优先级越高,因而在数据接入过程中可以根据得出的属性优先级进行合理的处理。

2.2 算法流程

以上通过层次分析法对各设备属性的权系数进行了具体量化,最终根据求解出的权系数得到各属性对应的优先级等级。具体流程如图 2 所示。

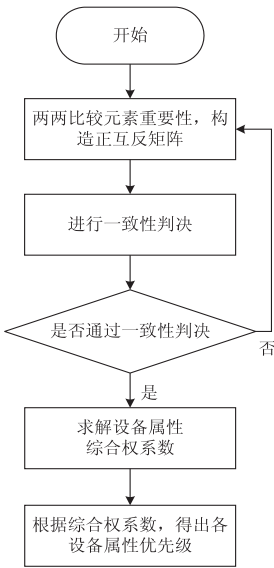


图 2 求解属性优先级流程

如图 2 所示,首先两两比较各设备属性相对每一准则的重要程度,以及各准则相对于目标的重要程度,以构造正互反矩阵;其次对所构造的矩阵进行一致性判决,若通过一致性判决便可以求解出各设备属性所占的综合权系数,若无法通过一致性判决则需要重新调整矩阵,再次进行一致性判决,直到通过一致性判决为止;最后,通过所求解出的综合权系数,根据优先级的表达式得出各设备的属性优先级。

3 模型求解

为了证明所构建的模型能够应用于实际物联网场景,以下选取智能家居^[7]这一典型应用进行模型求解。该场景下传感器属性类型较多,可以选取温度、光照、烟雾、红外以及 PM2.5 作为方案层中的五种方案,实际中若有增加动态扩展即可,求解步骤一样。

考虑到智能家居中有终端采集节点、网关以及平台侧服务器^[8],因而对属性优先级产生影响的准则有终端接入网关的物理信道资源、网关传输数据的网络性能资源、网关本身的 CPU 资源、网关与服务器的应用连接资源以及服务器中的数据存储资源^[9]。因而根据图 1 可以具体化该场景下的层次模型,如图 3 所示。

根据上述表示方法,方案层从左至右可记为 $\text{Attribute}_1, \text{Attribute}_2, \dots, \text{Attribute}_5$, 准则层从左至右可记为 $\text{Condition}_1, \text{Condition}_2, \dots, \text{Condition}_5$, 因而可以量化得出每一个 Attribute 相对 Condition 以及每一个 Condition 相对目标层的正互反矩阵。其中 Attribute 相对 Condition 的矩阵从左至右依次记为 $\text{AC}_i, i = 1, 2, \dots, 5$, Condition 相对目标层的矩阵记为 CL 。这里以每一个 Attribute 相对数据存储资源 Condition_4 的正互反矩阵 AC_4 为例,其余都可类似进行求解。

下面给出 AC_4 的构造过程:由于烟雾传感器用于检测该场景下的火灾情况,涉及安全问题,因而重要程度相对其他最高;而红外传感器用于门禁系统,需要较高的实时性,根据原则(2)应该次最高;温度、光照和 PM2.5 用于检测室内的环境参数,保存于后台数据库,供用户调用查询,因而重要程度相对最低。根据以上原则和分析,可以构建出每一个 Attribute 相对数据存储资源的比较矩阵 AC_4 如下:

$$\text{AC}_4 = \begin{pmatrix} 1 & 3 & 1/8 & 1/6 & 1/5 \\ 1/3 & 1 & 1/9 & 1/7 & 1/4 \\ 8 & 9 & 1 & 4 & 5 \\ 6 & 7 & 1/4 & 1 & 3 \\ 5 & 4 & 1/5 & 1/3 & 1 \end{pmatrix} \tag{2}$$

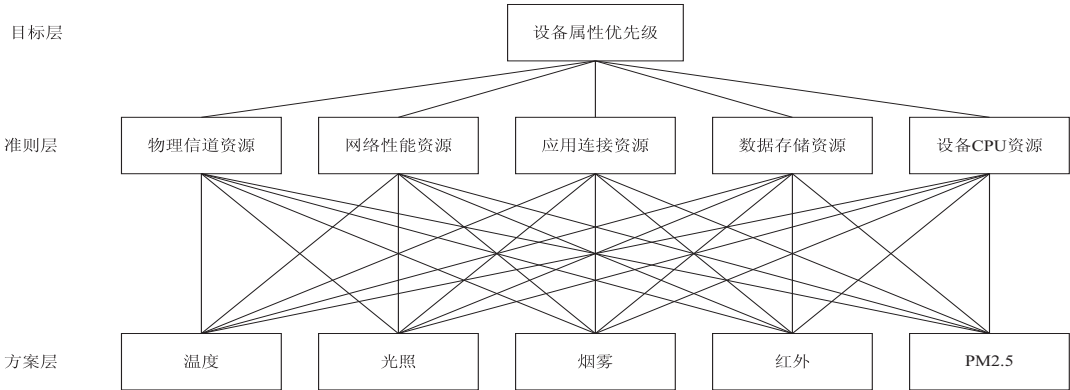


图 3 智能家居场景下的层次模型

按照 AHP 的步骤进行求解,得出最大的特征值 $\lambda_{\max} = 5.409\ 6$,一致性指标 $CI = 0.102\ 4$,一致性比率 $CR = 0.091\ 4 < 0.1$,通过检验,其正规化后的特征向量为:

$$W_4 = \begin{pmatrix} 0.052\ 9 \\ 0.033\ 0 \\ 0.536\ 2 \\ 0.245\ 1 \\ 0.132\ 8 \end{pmatrix} \quad (3)$$

其余五个矩阵的构造和求解过程与上述类似,因而可以分别得出其余五个矩阵的运算结果,具体如下所示:

AC_1 的最大特征值 $\lambda_{\max} = 5.319\ 3$, $CI = 0.079\ 8$, $CR = 0.071\ 3 < 0.1$,通过一致性检验,得到其正规化的特征向量 $W_1 = (0.047\ 5\ 0.035\ 1\ 0.540\ 5\ 0.245\ 4\ 0.131\ 5)^T$;

AC_2 的最大特征值 $\lambda_{\max} = 5.351\ 7$, $CI = 0.087\ 9$, $CR = 0.078\ 5 < 0.1$,通过一致性检验,得到其正规化的特征向量 $W_2 = (0.054\ 1\ 0.033\ 6\ 0.542\ 2\ 0.226\ 1\ 0.144\ 0)^T$;

AC_3 的最大特征值 $\lambda_{\max} = 5.261\ 0$, $CI = 0.065\ 3$, $CR = 0.058\ 3 < 0.1$,通过一致性检验,其正规化的特征向量 $W_3 = (0.048\ 4\ 0.035\ 9\ 0.5467\ 0.226\ 2\ 0.142\ 8)^T$;

AC_5 的最大特征值 $\lambda_{\max} = 5.317\ 4$, $CI = 0.079\ 4$, $CR = 0.070\ 8 < 0.1$,通过一致性检验,其正规化的特征向量 $W_5 = (0.047\ 1\ 0.034\ 9\ 0.571\ 7\ 0.215\ 6\ 0.130\ 7)^T$;

CL 的最大特征值 $\lambda_{\max} = 5.227\ 7$, $CI = 0.056\ 9$, $CR = 0.050\ 8 < 0.1$,通过一致性检验,最终可以得到其正规化的特征向量 $W_6 = (0.093\ 9\ 0.039\ 2\ 0.075\ 6\ 0.520\ 5\ 0.270\ 8)^T$ 。

通过以上结果可以最终求得温度、光照、烟雾、红外以及 PM2.5 所占的权系数,分别为 0.050 5, 0.034 0, 0.547 2, 0.235 0, 0.133 3,进而根据式(1)可以求出其对应的优先等级^[10] Level 分别为 2,1,16,7,4,也即五个属性的优先级由高到低排序分别为烟雾、红外、PM2.5、温度以及光照。这个结果与实际相吻合,烟雾传感器用于火灾的预警,涉及安全问题,因而优先级最高;光照传感器在夜晚时可有可无,因而优先级最低;红外传感器一般用于门禁,要求其实时性^[11],因而优先级也较高,但是相比预警而言等级略低;PM2.5 和温度是测试室内环境的参数值,而 PM2.5 涉及人类健康,因而优先级比温度传感器高。

4 模型实现与应用

目前,物联网应用场景中都未按照优先级顺序接收处理数据,只是按照数据到达的先后顺序进行处理,即一般随机方式,使得数据在接入控制的过程中由于拥塞等因素产生数据处理总量低下,以及重要数据更新滞后等问题。而将优先级顺序引入实际的应用场景,可以增加数据处理的总量,及时更新重要数据。

因而,在 Eclipse 平台^[12]新建 HTTP Server^[13]端,将优先级机制写入 Server 中,同时降低其并发处理的连接数,模拟拥塞场景^[14]。开启服务器后,发送两万个包括温度、光照、烟雾、红外以及 PM2.5 的数据包,最终得出了一般随机方式和优先级模型方式接收各属性数据包个数的统计图,如图 4 所示。

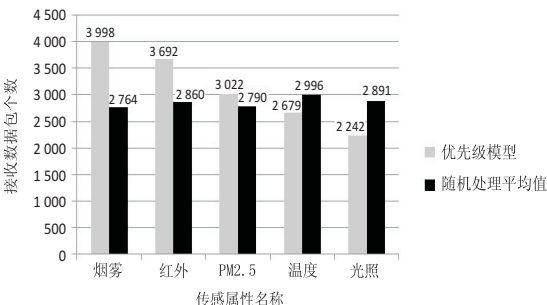


图 4 接收各属性数据包个数统计图

通过图 4 可以发现,在网络拥塞的情况下,从数据包总数来看,优先级模型能处理 15 633 个数据包,而一般随机方式只能处理 14 301 个数据包,数据包的处理总量相比提高了 9.3%,缓解了拥塞造成的丢包问题。这是因为引入了属性优先级机制,使得数据包能够有序进行处理,避免了数据竞争过程中的丢包问题。

从每个属性接收的数据包数量看,优先级较高的烟雾、红外以及 PM2.5 数据包的处理数量相比于随机处理方式分别提高了 44.6%、29.1% 以及 8.3%,而优先级较低的温度和光照分别降低了 10.6% 和 22.4%。这是因为将处理优先级较低的数据包的软硬件资源优先分配给优先级高的数据包,从而保证重要数据更新的及时性。

从各属性数据的变化趋势看,采用优先级模型所接收的数据包数目按照优先级顺序递减,而一般随机方式则较为均匀地接收各属性数据包。结果表明通过引入属性优先级能使重要数据优先进行处理,符合实际应用场景的要求,避免因延迟处理导致重要数据无法及时更新。

5 结束语

在物联网中,为了实现广覆盖,采集更多数据,节点往往处于过采样状态^[15],对设备本身的 CPU 资源、应用层的连接存储资源等带来了巨大的负荷,同时也

会造成拥塞问题。因而基于层次分析法建立了设备属性优先级模型,具体量化每个属性的重要程度,并以智能家居场景为例求解出温度、光照、烟雾、红外以及 PM_{2.5} 五类属性的优先级队列。最终将其应用于物联网数据接入控制中,结果表明,该方法能够按照优先级顺序接收和处理数据包,缓解了大量数据接入时的拥塞问题,保证系统正常运行,同时避免因延迟处理导致重要数据无法及时更新。

参考文献:

- [1] SAMIE F,BAUER L,HENKEL J. IoT technologies for embedded computing: a survey [C]//Proceedings of the eleventh IEEE/ACM/IFIP international conference on hardware/software codesign and system synthesis. New York, NY, USA:ACM,2016.
- [2] BEGUM K,DIXIT S. Industry WSN using IoT: a survey [C]//International conference on electrical,electronics, and optimization techniques. [s. l.]:IEEE,2016:499-504.
- [3] OH S W. Study on access permission control for the web of things[C]//17th international conference on advanced communication technology. [s. l.]:[s. n.],2015:574-579.
- [4] 刘 旸. 物联网中多层/跨层接入管理关键技术[D]. 大连:大连理工大学,2014.
- [5] 张桂刚,毕 娅,李 超,等. 海量物联网数据安全处理模型研究[J]. 小型微型计算机系统,2013,34(9):2090-2094.
- [6] AN J,GUI X L,WANG J,et al. A crowdsourcing assignment model based on mobile crowd sensing in the internet of things[J]. IEEE Internet of Things Journal,2015,2(5):358

-369.

- [7] 易 翔,吴 蒙. 基于 Android 和 Zigbee 的监控系统的实现[J]. 计算机技术与发展,2015,25(6):234-236.
- [8] XU K,WANG X,WEI W,et al. Toward software defined smart home[J]. IEEE Communications Magazine,2016,54(5):116-122.
- [9] OH S W,KIM H S. Decentralized access permission control using resource-oriented architecture for the web of things [C]//International conference on advanced communication technology. [s. l.]:[s. n.],2014:749-753.
- [10] SHUBHAR V,DAKSHAYINI M. Priority based optimal resource reservation mechanism in constrained networks for IOT applications [C]//International conference on wireless communications,signal processing and networking. [s. l.]:[s. n.],2016:1228-1233.
- [11] 徐源吾,王 珣. 基于 Hadoop 的智能家居信息处理平台[J]. 计算机技术与发展,2014,24(9):183-186.
- [12] 李尤丰. 工程类系统通用开发平台的研究与设计[J]. 计算机技术与发展,2013,23(2):162-164.
- [13] PALLE D,KOMMU A,KANCHI R R. Design and development of CC3200-based CloudIoT for measuring humidity and temperature[C]//International conference on electrical,electronics, and optimization techniques. [s. l.]:[s. n.],2016.
- [14] BOUZOUITA M,HADJADJ-AOULT Y,ZANGAR N,et al. On the risk of congestion collapse in heavily congested M2M networks [C]//Proceedings of ISNCC. [s. l.]:[s. n.],2016.
- [15] 张有杰,陈国庆. 一种节约无线传感网能耗的时间同步方法[J]. 计算机技术与发展,2012,22(11):41-44.

(上接第 195 页)

- efficient alternative to SIFT or SURF [C]//Proceedings of 2011 international conference on computer vision. Washington,DC,USA:IEEE Computer Society,2011:2564-2571.
- [10] ROSTEN E, DRUMMOND T. Fusing points and lines for high performance tracking [C]//Proceedings of tenth IEEE international conference on computer vision. Washington, DC,USA:IEEE Computer Society,2005:1508-1515.
- [11] CALONDER M,LEPETIT V,STRECHA C,et al. BRIEF: binary robust independent elementary features [C]//Proceedings of 11th European conference on computer vision. Berlin:Springer,2010:778-792.
- [12] 陈再良,邹北骥,黄敏之,等. 图像亮度特征对 ROI 提取的影响[J]. 中南大学学报:自然科学版,2012,43(1):208-214.
- [13] GUO R,DAI Q,HOIEM D. Single-image shadow detection and removal using paired regions [C]//Proceedings of 2011 IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Washington,DC,USA:IEEE Computer Society,2011:2033-2040.

- [14] WU T P,TANG C K,BROWN M S,et al. Natural shadow matting[J]. ACM Transactions on Graphics,2007,26(2):377-388.
- [15] LEVIN A,LISCHINSKI D,WEISS Y. A closed-form solution to natural image matting[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence,2008,30(2):228-242.
- [16] 杨志娟,袁纵横,乔 宇,等. 基于图像处理的指针式仪表智能识别方法研究[J]. 计算机测量与控制,2015,23(5):1717-1720.
- [17] 郭 佳. 基于光照不均匀图像的自适应二值化方法研究 [D]. 武汉:武汉科技大学,2013.
- [18] OTSU N. A threshold selection method from gray-level histograms[J]. IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics,1979,9(1):62-66.
- [19] LING Y. Fast Hough transform straight line detection based on classification [J]. Microcomputer Information,2007,23(11):206-208.