

相关性动态感知的电力系统传感服务发现策略

王 峥^{1,2}, 王于波^{1,2}, 庞振江^{1,2}, 任孝武^{1,2}, 朱承治³

(1 北京智芯微电子科技有限公司, 国家电网公司重点实验室 电力芯片设计分析实验室, 北京 100192;

2 北京智芯微电子科技有限公司, 北京市电力高可靠性集成电路设计工程技术研究中心, 北京 100192;

3 国网浙江省电力公司, 浙江 杭州 310027)

摘 要: 提出了相关性动态感知的服务发现策略, 根据对节点空间相关性和传感数据的时间相关性的感知, 将网络中的节点划分多个逻辑区域, 并结合传感节点的处理能力、缓存容量和通信范围等因素, 合理地选择目录节点, 并以逻辑区域的距离为参数匹配服务提供节点, 从而完成整个服务发现的过程. 结果表明, 所提出的服务发现策略能够在不增加网络负载的情况下, 有效提高服务发现的准确性和成功率.

关键词: 无线传感网络; 电力系统; 服务发现; 服务注册; 目录节点

中图分类号: TP393.01

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2017)08-0118-05

Correlation-aware Service Discovery Policy in Power Distribution Sensor Network

WANG Zheng^{1,2}, WANG Yu-bo^{1,2}, PANG Zhen-jiang^{1,2},
REN Xiao-wu^{1,2}, ZHU Cheng-zhi³

(1 State Grid Key Laboratory of Power Industrial Chip Design and Analysis Technology,
Beijing Smart-Chip Microelectronics Technology Co., Ltd., Beijing 100192, China;

2 Beijing Engineering Research Center of High-reliability IC with Power Industrial Grade,
Beijing Smart-Chip Microelectronics Technology Co., Ltd., Beijing 100192, China;

3 Zhejiang Electric Power Corporation of State Grid, Hangzhou 310027, China)

Abstract: In this paper, we propose a service discovery strategy based on dynamic correlation-aware method. Firstly, the nodes of the network are divided into multiple logical regions, according to the spatial correlation of nodes and the temporal correlation of sensor data. Secondly, considering the sensor node's processing ability, cache capacity and communication range and so on, the dictionary node can be selected reasonably. And then the parameter matching service provides nodes based on the distance of the logical region, thus completing the whole services discovery process. Results show that the reliability of service discovery can be enhanced by our proposed mechanism.

Key words: wireless sensor network; power grid; service discovery; service register; dictionary node

1 引言

近年来随着分布式电源、电动汽车、柔性负荷等电力应用形态的不断丰富, 电力系统网络规模的不断扩大、结构日趋复杂, 运用无线传感网络技术

(Wireless Sensor Network, WSN)^[1-2] 进行监控和数据采集对配电网运行状态评估与预测、故障检测与诊断、运行控制策略优化具有重要意义^[3].

无线传感器网络往往具有众多的传感节点, 而产生大量的感知数据. 庞大的传感器数据对网络

的传输及后端数据分析处理都带来了极大的挑战,因此如何在保障监测任务的前提下,有效地传输、处理数据成为研究热点.针对传统的互联网架构,互联网工程任务组(Internet Engineering Task Force, IETF)提出了服务定位协议(Service Location Protocol, SLP),根据节点的地址,SLP将网络划分为多个区域,且节点仅为所在域内提供相关服务^[4].文献^[5]根据节点的带宽、电能等因素选取服务目录节点,进而提出了适用于MANET的DSDM服务发现协议.文献^[6]根据地理位置信息,将相近节点分为不同的区域,各种服务按照树形关系注册在目录节点中.文献^[7]根据网络拓扑和服务状态变化情况选择目录节点,以适应动态变化的无线网络,高效地为网络中的节点提供服务.电力系统无线传感网络通过多跳路由的方式将数据信息进行逐条转发的方式传输,并汇聚传输到宽带无线通信平台.考虑电力系统无线传感网络的特性,本文提出了一种高效服务发现策略(Service Discovery for Power Sensor Network, SDPSN),根据网络节点属性的相关性,以分布式的方式将网络划分为多个区域,进而,根据节点处理能力、缓存容量及通信范围多个因素的差异,动态地选择社区内的目录节点,以完成服务注册、服务扩散、服务查询等相关功能,最终,根据节点间的物理距离合理地选择服务提供节点,触发相关服务.仿真表明,SDPSN服务发现策略有效提高了服务发现成功率,降低了网络负载.

2 传感网络模型

通常电力系统监测网络包括的测量传感器有开关触头、变压器油温、环境温度等温度传感器、电压电流传感器、环境湿度传感器等.电力系统无线传感器网络中传感器节点负责各类传感原始数据的采集,然后按照一定的方法进行分簇汇聚至汇聚节点,再由网关节点连接到电力通信宽带无线网络.

考虑由 n 个分布在电力系统网络监测区域的传感器节点组成的无线传感器网络 $G(V, E)$,其中, V 表示由传感器节点构成的节点集合, E 表示由节点间通信链路构成的边集,若节点 v_i, v_j 之间可直接通信,则称存在链路 $e = (v_i, v_j)$,且 $v_i \in V, v_j \in V, i \neq j$.传感器节点能够从外部环境中采集数据,并且具有无线通信功能,可以通过一跳或者多跳传输的方式将采集到的数据聚集到汇聚节点上;处理能力较强的节点可以作为汇聚节点转发其临近节点的数据.此外,所有的传感器节点都可以通过预设地理标

签或者某种定位服务方式获知节点自身的位置信息.

3 相关性动态感知方法

对于较大规模的无线传感器网络,可以通过聚类分簇和分层的方式进行管理.根据电力系统传感网络的特点,由传感器节点的位置属性信息对网络进行空间相关性感知;由传感节点的类型和采集数据的特征对网络进行时序相关性感知,进而为无线传感网络的服务发现策略提供决策依据.

对于无线传感器中的两个节点 v_i 和 v_j ,其之间的欧拉距离表示为

$$\delta(v_i, v_j) = \sqrt{(v_{ix} - v_{jx})^2 + (v_{iy} - v_{jy})^2 + (v_{iz} - v_{jz})^2} \quad (1)$$

为简化模型设节点间的有效无线通信距离的最大阈值为 r ,那么当两节点之间的欧拉距离小于 r 时,则 v_i 和 v_j 成为邻居节点,并且两节点之间存在一条链路.利用相关邻近图(Relative Neighborhood Graph, RNG)^[8]构造网络拓扑结构,对RNG中任一节点 v_p ,若满足式(2),则节点 v_i 和 v_j 相邻.

$$\delta(v_i, v_j) \leq \max\{\delta(v_p, v_i), \delta(v_p, v_j)\} \quad (2)$$

另一方面,考虑传感器采集数据的相关性.电力系统传感器网络产生的数据可以看成一系列的时序数据,空间上相关的同类传感器产生的数据在时间上往往也具有一定的相关性,可以用于传感数据的融合、缺值处理、网络传输优化等方面.电力系统无线传感器网络传感器采集的数据矩阵表示如下:

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{21} & \cdots & x_{n1} \\ x_{12} & x_{22} & \cdots & x_{n2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{1t} & x_{2t} & \cdots & x_{nt} \end{bmatrix}$$

式中, x_{nt} 表示第 n 个传感器在 t 时间点采集到的数据,即矩阵中行表示某一个传感器节点在不同时刻的采样数据,每一列表示不同传感器在同一时刻的采集的数据.

传感器采集的数据可以视为随采集时刻 t 变化的变量 x ,为了分析各传感器变量之间的相关程度,本文利用皮尔逊相关系数计算传感器节点 i, j 之间的相关性系数如式(3):

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_i)(x_{jk} - x_j)}{\sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_i)^2} \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{jk} - x_j)^2}}, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

式中, x_{ik}, x_{jk} 分别表示传感器节点 i, j 在 k 时刻的测

量值, x_i, x_j 分别表示传感器节点 i, j 的测量平均值. 相关性系数取值范围满足 $-1 \leq r_{ij} \leq 1$, 取值为正、负的情况分别表示正、负相关. 若节点 i, j 为同类节点则 r_{ij} 表示同类数据相关性; 反之若 i, j 为同类节点则 r_{ij} 表示异类数据相关性. 当 $r_{ij} > 0.8$ 时, 传感器节点之间数据为强相关关系, 当 $r_{ij} < 0.3$ 为弱相关关系, 否则为中度相关关系.

传感器节点发出的数据包表示为 $\langle \text{srcID}, \text{SeqNo}, \text{OpState}, \text{Pos}, \text{Hops}, \text{DestID}, \text{Data} \rangle$. 其中, srcID 表示采集数据的传感器节点的标识; SeqNo 表示保温的时序号; Pos 用于存储传感器节点的位置标签信息; OpState 表示数据包当前的初始化、转发或终止等操作状态; $\text{Hops} = \text{Hops} - 1$ 用于描述数据包当前还可最多转发多少跳, 为避免过多的转发次数对网络资源的过度消耗, 每经过一次转发 Hops 值减 1; DestID 表示目标节点的标识; Data 域则存储采集的感知数据. 根据节点相关性分析方法, 以公式 2 作为约束条件, 计算相邻节点之间的时序数据相关性, 并以式 (3) 中 r_{ij} 的值作为判据, 进行节点服务发现的区域划分依据, 本文取中度相关即 $r_{ij} > 0.3$.

4 服务发现策略

本文所提出的服务发现策略分为三个部分: 分别为服务注册、服务询问和服务提供. 其过程如图 1 所示, 其中 DN 为目录节点, SP 为服务提供节点, RN 为服务请求节点.

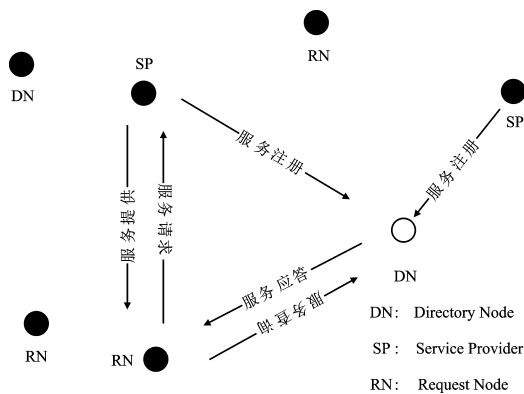


图 1 服务发现实施过程

4.1 服务注册

服务注册过程中, 服务提供节点将其相关资源信息传输至目录节点, 以便服务请求节点查找. 服务注册阶段的核心问题是合理地选择目录节点. 在网络结构及节点相关性动态感知的基础上, 本文提出一种适用于电力系统无线传感网络的分布式目录节

点选择方案, 根据节点的空间相关性和时间序列相关性划分为多个传感器区域后, 综合考虑节点的服务处理能力、节点缓存容量以及节点传输范围等方面因素, 在各个传感器区域分布式地选择目录节点, 负责存储服务提供区域内部各个节点的资源信息, 选择方法如式 (4) 所示.

$$Q(n) = \sum \alpha_i \frac{R_i^n}{R_i^{\max}} \quad (4)$$

式中, $Q(n)$ 表示节点 n 的权值大小; R_i^n 表示节点 n 在限制条件 i 的数值; $R_i^{\max}$ 表示限制条件 i 在本区域内的最大值; α_i 代表限制条件 i 的权重.

根据电力系统传感网络的特性, 划分区域的内部节点之间的通信频率较高, 当网络运行稳定后, 通过对比节点各自的相应信息, 节点将获得限制条件 i 在本区域内的最大值 $R_i^{\max}$, R_i^n 参数的数值可以从本地监测结果中计算获得, 按照这种方式, 节点可以根据本地获得的网络状态参数计算自身的权值. 由于 $R_i^n \leq R_i^{\max}$, $0 \leq R_i^n / R_i^{\max} \leq 1$, 各个约束条件的权重满足归一化关系, 即 $\sum \alpha_i = 1$, 因此 $0 \leq Q(n) \leq 1$.

显然, 节点处理能力、缓存容量以及传输范围是衡量节点承载能力的重要因素. 节点处理能力衡量节点的数据处理和转发能力, 其具有较强的数据扩散能力; 缓存大小反映节点为其他节点存储服务信息的能力, 无线传感器网络在采用逐跳转发的方式传输数据时, 网络拓扑存在动态变化的空间, 网络服务状态改变将使得节点需要一定的存储空间承载服务信息; 节点传输范围反映了节点与其他节点建立链路的能力, 显然, 相同环境下, 传输范围较大的节点邻居较多, 数据传输机会也直接上升. 综合这些限制条件选出的节点将以“尽力而为”的方式满足目录节点的要求. 所提出的方法综合考虑多个方面的因素, 为目录节点的选取和切换提供了保障.

4.2 服务选择

服务选择过程中, 服务请求节点从目录节点中获取当前网络所能提供的服务信息, 显然, 此过程还需要包括服务查询过程. 如何高效地查找相关服务, 且当某种服务存在多个提供者时, 如何选择最佳服务提供节点是服务选择的关键问题.

无线传感网络的资源相对有限, 服务选择过程需要以最小化控制开销和最大化数据传输概率为目标. 服务提供节点和服务选择节点之间的距离直接决定了节点之间信息转发过程中所需要的中继次数, 进而影响网络资源开销. 基于相关性感知的电力系统传感区域划分的方法, 区域内部的节点具有较

强的相关性,关系较为紧密且距离较短,因此节点间的距离可作为关键参数以选择最佳服务提供节点.利用本文提出的节点相关性感知方法,空间相关性和时间序列相关性较高的节点属于相同的区域.同时,节点在本地保存归属区域的标签,以标识节点在网络中的位置,因此,根据空间距离计算方法,节点可利用归属社区的标签获知两者的距离,即:

$$D_{ab} = \sqrt{(x_a - x_b)^2 + (y_a - y_b)^2 + (z_a - z_b)^2}$$

(5)

式中, $x_a, x_b, y_a, y_b, z_a, z_b$ 分别为节点 a 和节点 b 所在区域的标签, D_{ab} 代表两节点所在社区的距离.当某个节点在服务注册节点中查到其所需服务有多个提供者时,采用式(5) 分别计算与各个服务提供者之间的距离,进而选出最佳服务提供者.

4.3 服务唤醒

服务唤醒过程中,服务请求节点通过服务查询过程获知服务提供者的信息,进而服务请求节点发送控制信息,触发服务提供节点的相关服务.

传统 MANET 网络中,服务提供节点和服务请求节点之间需要建立端到端连接,其服务唤醒过程以及后续的服务提供过程通常采用相同的路径承载^[9].为了降低策略的复杂度和网络负载,并提高所提出策略的扩展性,本文对服务唤醒不做特别设计,采用典型的无线传感器网络路由策略传递控制信息以及数据分组.

5 仿真验证及数据分析

本文利用 ONE 仿真平台对所提出的服务发现策略进行验证,相关参数如表 1 所示.

表 1 仿真参数设置

参数	数值
仿真时间/s	16 000
网络大小/(m×m)	4 200×4 200
区域个数	4
节点个数	100 (default)
每个区域中节点个数	25 (default)
节点通信方式	Bluetooth
传输范围/m	20 (default)
传输数率/(Mb/s)	4
数据分组大小/kB	25~50
服务产生间隔/s	600 (default)
服务请求间隔/s	400 (default)
节点缓存大小/MB	25 (default)
数据生存时间(TTL)/s	6 000

对本文提出的 SDPSN 策略,以及 DSDM^[5] 和

无中心节点^[10] 三种服务发现策略的性能进行比较.文献[5]中的服务发现策略综合考虑多个因素选取目录节点,进而实现整个网络范围内的服务发现,文献[10]中的服务发现策略采用分布式体系架构,网络中不存在目录节点,两者均属于比较典型的服务发现策略.式(4)中节点相关性、节点处理能力、节点缓存和节点传输范围的权重分别定为 0.5, 0.2, 0.1, 0.2,本文采用 LEACH 路由算法承载服务发现相关控制信息.

仿真实验结果的网络各项性能参数变化情况如图 2~5 所示.从图 2 中可看出,SDPSN 服务注册成功率较高且稳定在 90%以上,虽然,当节点数量为 120 以上时,无中心节点算法的服务注册率也达到 90%以上,但是其扩展性较差,在节点数量较少的时候,服务注册成功率过低.从图 3 中可看出,随着节点个数的增加,SDPSN 的服务查询成功率比其他两种策略至少提高 30%,其主要原因在于所提出的方法综合考虑多个方面因素,合理地选择了目录节点,使得网络中的其他节点更容易从目录节点处获取所需信息.从图 4 可看出,SDPSN 的服务发现成功率比其他两种提高 40%以上.显然,服务查询成功率的提高将直接改善节点获取相应服务的能力.从图 5 可看出,由于提高了服务获取的概率,减少了不必要的信息传输,SDPSN 和 DSDM 的网络负载率相差不大,但其网络负载要比无中心节点的策略低 25%.

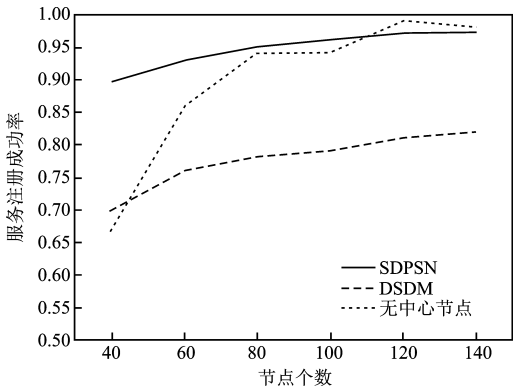


图 2 服务注册成功率

6 结束语

为了设计适用于电力系统无线传感网络的服务发现策略,本文将节点按照相关性感知的方法划分节点归属区域.利用节点的相关性,选择合适的目录节点,并提出了一种适用于电力系统无线传感网络特性的服务发现策略.仿真结果表明,本文所提出基

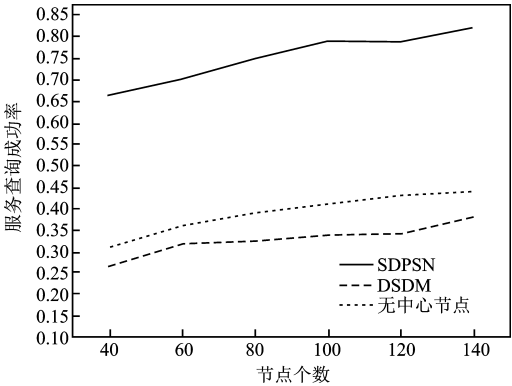


图 3 服务查询成功率

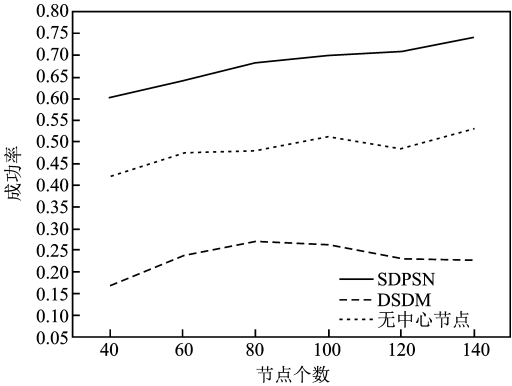


图 4 服务发现成功率

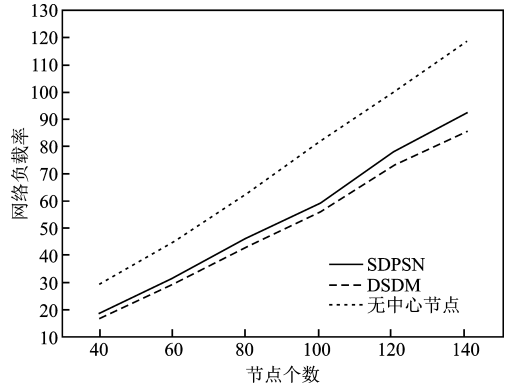


图 5 网络平均负载率

于相关性动态感知的服务发现方法充分地考虑了服务提供节点和服务选择节点之间的空间相关性和时间序列相关性,有效地降低了数据传输过程中的网络负载,进而大大地优化了电力配网无线传感网络中服务发现过程的性能。

参考文献:

[1] Wu Dapeng, He Jing, Wang Honggang, et al. A hierarchical packet forwarding mechanism for energy harvesting wireless sensor networks[J]. IEEE Communi-

cation Magazine, 2015, 53(8): 92-98.

[2] Wu Dapeng, Yang Boran, Wang Honggang, et al. Privacy-preserving multimedia big data aggregation in large-scale wireless sensor networks[J]. ACM Trans. Multimedia Computing, Communications and Applications, 2016, 12(4): 1-19.

[3] 徐心怡, 贺兴, 艾芊, 等. 基于随机矩阵理论的配电网运行状态相关性分析方法[J]. 电网技术, 2016, 40(3): 781-790.

[4] Mian A N, Baldoni R, Beraldi R. A survey of service discovery protocols in multihop mobile Ad Hoc networks [J]. IEEE Pervasive Computing, 2009, 8(1): 66-74.

[5] Artail H, Mershad K W, Hamze H. DSDM: A distributed service discovery model for MANETS [J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2008, 19(9):1224-1236.

[6] Sivavakeesar S, Gonzalez O F, Pavlou G. Service discovery strategies in ubiquitous communication environments [J]. IEEE Communications Magazine, 2006, 44(9):106-113.

[7] Valenzuela S G, Vuong S T, Leung V C. A mobile-directory approach to service discovery in wireless Ad Hoc networks [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2008, 7(10):1242-1256.

[8] 路纲, 周明天, 牛新征, 等. 无线网络邻近图综述[J]. 软件学报, 2008, 19(4): 888-911.

[9] Chakraborty D, Joshi A, Yesha Y. Toward distributed service discovery in pervasive computing environments [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2006, 5(2):97-111.

[10] Koubaa H, Fleury E. A fully distributed mediator based service location protocol in ad hoc networks [C] // IEEE GLOBECOM. USA: IEEE, 2001: 2949-2953.

作者简介:

王 峰 男, (1983-), 博士, 工程师. 研究方向为电力无线传感器网络、微电子学与固体电子。
E-mail: 13708314065@163.com.

王于波 男, (1969-), 硕士研究生, 高级工程师. 研究方向为智能电网、信号处理与专用集成电路设计。

庞振江 男, (1978-), 硕士, 工程师. 研究方向为数据融合与信息安全。

任孝武 男, (1983-), 工程师. 研究方向为电力物联网产品研究与应用。

朱承治 男, (1977-), 高级工程师. 研究方向为电力系统及其自动化。