

一种基于非均匀分簇的混合无线传感网数据收集方法

沙超^{1,2} 吴梦庭³ 王汝传¹

(南京邮电大学计算机学院 南京 210003)¹

(苏州大学江苏省计算机信息处理技术重点实验室 苏州 215006)²

(南京邮电大学海外教育学院 南京 210003)³

摘要 提出了一种针对混合无线传感网的数据收集协议。将网络划分为非均匀高度的网格,并利用主次簇头分别构建针对矢量和标量信息的数据收集路径。实验结果表明,与MTP,CDFUD等分层和分簇的数据收集方法相比,本算法具备较好的能耗均衡性。

关键词 混合无线传感网,数据收集,非均匀分簇

中图分类号 TP393 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2017.08.016

Type of Data Gathering Algorithm Based on Uneven Clustering for Hybrid Wireless Sensor Networks

SHA Chao^{1,2} WU Meng-ting³ WANG Ru-chuan¹

(School of Computer Science, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)¹

(Provincial Key Laboratory for Computer Information Processing Technology, Soochow University, Suzhou 215006, China)²

(College of Oversea Education, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)³

Abstract A type of data gathering algorithm for hybrid wireless sensor networks was proposed in this paper. The network is divided into non-equalization grids and a primary as well as a secondary cluster head are selected in each grid to construct data collection paths for transmitting scalar and vector sensor data. Simulation results show that, compared with the layer-based data gathering protocol MTP and the cluster based protocol CDFUD, the proposed algorithm performs well in balance of energy consumption.

Keywords Hybrid wireless sensor networks, Data gathering, Uneven clustering

1 引言

密集分布的无线传感网往往以多跳多径的簇树状数据收集模式开展信息交互^[1-3];同时,具备标量和矢量感知能力的混合无线传感网已逐渐成为泛在网络的重要前端^[3-4]。如何在现有体系的基础上进一步利用数据融合、数据聚合等方式来提高混合无线传感网的感知数据质量,已经并将进一步成为提升其执行效率的关键技术之一^[2,4]。

LEACH^[5]是最为经典的簇树状数据收集协议,节点以层簇方式开展多跳信息传递,且簇头可轮转,部分确保了能耗均衡^[5],然而其未能有效开展数据聚合;PEGASIS^[6]同样是无线传感网经典的链状数据收集协议,然而链式结构的鲁棒性较差且负载较小;MTP^[7]协议优先选择能量充足且距离基站最近的节点与基站通信,其他节点数据则通过邻居节点逐层聚合与转发,以此实现能耗均衡,但当距离基站较远的节点充当簇头时,还需汇聚网络中所有节点的信息,耗能过大;SF-

DA^[8]则将网络划分为若干个栅格,节点以栅格为单位进行“多对多”的数据收集,有利于提高收集效率,但其能耗远大于分簇数据融合算法;CDFUD^[9]算法则将网络划分为若干个非均匀的矩形栅格,每个栅格分别选择一个剩余能量最大的节点担任簇首,非均匀的栅格更好地减少了簇间数据收集能耗的差异,这也是本文算法的基础架构,但距离基站很远的簇头的能耗开销过大;UCDP^[10]算法则提出了基于动态分区负载均衡的分布式成簇路由协议,减小了需要承担转发任务的节点的通信开销,但仍采用节点串行传输数据,在混合类型数据传输时节能效果较为一般。

本文在上述模型的基础上设计了一种面向混合类型数据收集的非均匀分簇方法(Data Gathering Algorithm Based on Uneven Clustering for Hybrid Wireless Sensor Networks, DGUC),以异构节点间的能耗均衡为目标,构建非等大小的网格,并开展针对标量和矢量两类异构节点的混合多路径数据收集与上传。实验结果表明,相比于MTP和CDFUD等相

到稿日期:2016-07-05 返修日期:2016-11-04 本文受江苏省自然科学基金(BK20160089),江苏省普通高校研究生培养创新工程(KYCX17_0796, KXYC17_0797, SJCX17_0238)资助。

沙超(1983-),男,博士,副教授,主要研究方向为无线传感网数据收集技术,E-mail:shac@njupt.edu.cn;吴梦庭(1995-),女,主要研究方向为无线传感网拓扑优化技术;王汝传(1943-),男,教授,主要研究方向为无线传感网分布式信息处理技术。

同数据收集模式的协议, DGUC 可有效延长网络生命期并提升混合数据收集效率。

2 网络模型

为降低基站附近节点的数据收集(含转发)能耗,确保全网能耗均衡,采用非均匀分簇方式。令节点分布在边长为 Lm 的正方形区域中,并假定网络及节点具有如下性质:

1)网络中存在两种类型的节点,即感知普通环境信息的标量节点和感知音视频等多媒体信息的矢量节点,所有节点位置固定,且初始能量均相同;

2)所有节点的通信功率动态可调,仅标量节点可充当簇头;

3)基站位于正方形区域正上方 Hm 处。

网络划分为宽度相等且高度非均匀的 $M_1 \times M_2$ 个子区域,如图 1 所示。根据文献[11],令越远离基站的子区域的面积越大,以减轻基站附近节点的数据转发任务量。各子区域中节点自组成簇,同一层中不同子区域中的簇称为兄弟簇,其簇头称为兄弟簇头。在各簇中同时选举出一个主簇头和一个次簇头,它们分别用于收集簇中的标量和矢量以感知数据,在各自完成数据融合后转发至其相邻的上一层子区域中的主簇头与次簇头,直至到达基站。

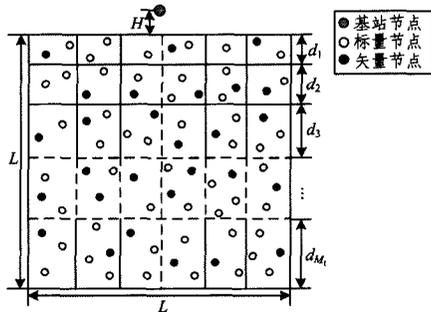


图 1 网络模型

定义网络中数据收集节点的部署密度为 ρ ,则在全向无线传感网中,为确保完全覆盖,需要部署的最大密度 ρ_{max} 和最小密度 ρ_{min} 分别表示如式(1)和式(2)所示。

$$\rho_{max} = 2/\sqrt{3}r^2 \tag{1}$$

$$\rho_{min} = 2/\sqrt{3}r^2 \tag{2}$$

其中, r 为节点的初始通信半径。

如图 2 和图 3 所示,当节点部署密度大于 ρ_{max} 时,将出现冗余节点;而当节点部署密度小于 ρ_{min} 时,将出现传感盲区。不失一般性,本文令 $\rho = (\rho_{max} + \rho_{min})/2$ 。

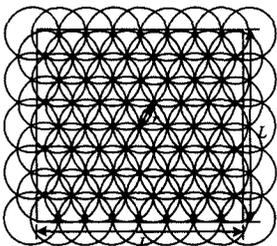


图 2 最大密度节点部署

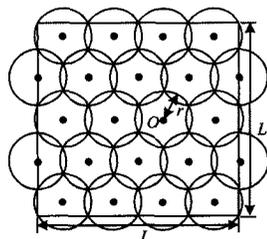


图 3 最小节点密度部署

3 混合类型数据的收集过程

3.1 网络区域划分

在网络初始运行阶段,第一层子区域中分别选择距离基站最近的一个标量节点作为主簇头,标记为 $CH-M_{1j}$ ($1 \leq j \leq M_2$);随后选择距离基站次近的标量节点作为次簇头,标记为 $CH-S_{1k}$ ($1 \leq k \leq M_2$)。若满足条件的标量节点有多个,则优先选择与子区域内各邻居节点距离之和最小的节点。对于第 i ($1 < i \leq M_1$) 层子区域,将选择距离第 $i-1$ 层中所有主簇头和次簇头最近的节点分别作为其主簇头和次簇头,并标记为 $CH-M_{ij}$ 和 $CH-S_{ij}$ ($1 < i \leq M_1, 1 \leq j \leq M_2$),如图 4 所示。其中,虚线和实线分别代表簇内节点和簇头节点的数据收集路径。

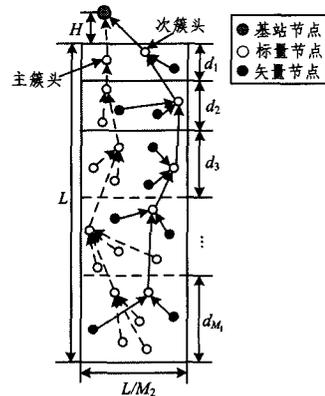


图 4 基于主、次簇头的混合无线传感网数据收集路径

根据主、次簇头的选取原则及数据收集模式,需确保纵向的相邻的两个子区域内任意两个节点一跳可达,即节点的通信半径 R_t 需大于相邻两层内两个节点所能够达到的最远间距。如图 5 所示,令该间距为 d' ,则需满足:

$$R_t \geq d' = \sqrt{(d_{M_1} + d_{M_1-1})^2 + (L/M_2)^2} \\ = \sqrt{(L - \sum_{i=1}^{M_1-2} d_i)^2 + (L/M_2)^2} \tag{3}$$

故此时,若主、次簇头的初始通信半径小于 R_t ,则需增大其发射功率,使其通信半径满足式(3)。

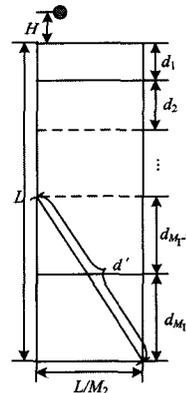


图 5 相邻层间节点最大距离约束

当各子区域中的主簇头和次簇头被选出后,分别向本簇中所有节点广播自己成为簇头的消息。此时,网内形成了若干条以主簇头为中继点的标量感知信息收集路径和以次簇头

为转发点的矢量感知信息收集路径(见图4)。

令所有节点的采样周期均为 T 。首轮数据收集过程完成后,各节点的剩余能量将出现差异。为进一步提升能耗均衡性,将重新选择主、次簇头。这里在 LEACH 协议簇头轮转算法的基础上进一步考虑了网络中各节点的剩余能量,定义节点 i 的优先级为 p ,且令:

$$p = \alpha E_i + \beta \left(\frac{1}{d_{i0}} \right) + \gamma \left(\frac{1}{\chi_c} \right) \quad (4)$$

其中, E_i 为节点 i 收集数据消耗的能耗, d_{i0} 为节点 i 与其所在子区域中心的距离, χ_c 为前 c 轮节点 i 当选为簇头的次数, α, β, γ 分别为常参数。于是, p 值最大的节点将被当选为下一轮的簇头。若下一轮簇头与本轮簇头是同一节点,则无需广播,以节约能量;否则,新当选的簇头需在整个子区域中进行广播,以确定其簇头身份。由此易知,若同一子区域中的主、次簇头中至少 1 个需要更新,则上一轮所形成的数据收集路径也需重新建立。

3.2 数据收集能耗分析

令标量和矢量节点单轮所收集的数据量大小分别为 G_1 和 G_2 。由凯泽曼公式^[11]易知,在本文模型中,节点能耗一般由发送、接收及数据融合能耗构成。于是,对于第 i 层子区域而言,其内部的所有标量和矢量节点在一轮周期内的数据收集量可分别表示为:

$$Z_{is} = \rho_s \times (d_i \times (L/M_2)) \times G_1 \quad (5)$$

$$Z_{iv} = \rho_v \times (d_i \times (L/M_2)) \times G_2 \quad (6)$$

对于第 M_1 层子区域而言,有:

$$E_{M_1} = E_{fM_1} + E_{rM_1} + E_{M_1} \quad (7)$$

E_{fM_1}, E_{rM_1} 和 E_{M_1} 分别为第 M_1 层子区域中的节点在单轮时间内开展数据融合、收集和发送的能耗; ρ_s 和 ρ_v 分别为标量和矢量节点的部署密度。简便起见,除第一层子区域外,令主、次簇头的单跳数据上传距离为其所在的子区域及其父节点所在子区域高度之和的一半;同样,令簇内节点至簇头的单跳传输距离为该簇所在子区域高度的一半。于是有:

$$E_{rM_1} = \left(\rho_s \left(\frac{L}{M_2} d_{M_1} \right) - 2 \right) G_1 E_{elec} + \rho_v \left(\frac{L}{M_2} d_{M_1} \right) G_2 E_{elec} \\ = (Z_{M_1s} + Z_{M_1v} - 2G_1) E_{elec} \quad (8)$$

$$E_{fM_1} = \left(\rho_s \left(\frac{L}{M_2} d_{M_1} \right) - 1 \right) G_1 f + \left(\rho_v \left(\frac{L}{M_2} d_{M_1} \right) G_2 + G_1 \right) f \\ = (Z_{M_1s} + Z_{M_1v}) f \quad (9)$$

$$E_{M_1} = (E_{elec} + \mu_{fs} ((d_{M_1} + d_{M_1-1})/2)^2) \times (Z_{M_1B} + Z_{M_1s}) \eta + \\ (n_{M_1} - 2) \times (E_{elec} + \mu_{fs} (d_{M_1}^2 + (L/M_2)^2)/4) \quad (10)$$

其中, f 为单位数据融合能耗, η 为数据融合率。对于第 k ($1 < k < M_1$) 层子区域而言:

$$E_k = E_{fk} + E_{rk} + E_{M_k} \quad (11)$$

$$E_{rk} = (Z_{ks} + Z_{kv} - 2G_1) E_{elec} + \sum_{i=k+1}^{M_1} (Z_{is} + Z_{iv}) \eta^{i-k} E_{elec} \quad (12)$$

$$E_{fk} = (Z_{ks} + Z_{kv} + \sum_{i=k+1}^{M_1} (Z_{is} + Z_{iv}) \eta^{i-k}) f \quad (13)$$

$$E_{M_k} = (E_{elec} + \mu_{fs} ((d_k + d_{k-1})/2)^2) \times \eta \times \left(\sum_{i=k+1}^{M_1} (Z_{is} + \right.$$

$$Z_{iv}) \eta^{i-k} + Z_{ks} + Z_{kv} \left. \right) + (n_k - 2) (E_{elec} + \mu_{fs} (d_k^2 + \\ (L/M_2)^2)/4) \quad (14)$$

为实现全网数据收集过程中的能耗均衡,需令各层子区域中节点的总能耗大致相同,即:

$$E_1 \approx E_2 \approx \dots \approx E_{M_1-1} \approx E_{M_1} \quad (15)$$

4 实验验证与分析

为验证所提算法在混合类型数据收集过程中的能耗均衡性,将其与 MTP 算法及 CDFUD 算法进行比较。实验在 MATLAB 8.0 和 VC++6.0 下进行。其中, MATLAB 实验环境主要用于计算层高、各层能耗及能耗差值,而 VC++ 实验环境则主要用于实现数据收集过程。令 $M_1 = 4, M_2 = 3$ 。取 $\rho_s = \rho_v = 1.926 \times 10^{-3}$, 实验中其余参数的设置如表 1 所列。其中, $d_1 - d_4$ 的具体数值由式(11)一式(15)解出。

表 1 实验参数设置

名称	参数	取值	单位
第 1 层高度	d_1	34.61	M
第 2 层高度	d_2	52	M
第 3 层高度	d_3	69.23	M
第 4 层高度	d_4	84.16	M
网络边长	L	240	M
节点初始通信半径	r	20	M
无线收发电路能耗	E_{elec}	50	nJ × b ⁻¹
放大器能耗	μ_{fs}	10	pJ × (b/m ²) ⁻¹
多路衰减放大器能耗	μ_{amp}	0.0013	pJ × (b/m ⁴) ⁻¹
单位融合能耗	f	1.67×10^{-11}	J × b ⁻¹
标量节点单轮数据收集量	G_1	1	bit
矢量节点单轮数据收集量	G_2	10	bit
基站到网络边缘的距离	H	20	M
单跳节点间的距离门限	d_0	60	M
节点数据收集周期	T	10	S
计算节点优先级的常参数	α	0.5	-
计算节点优先级的常参数	β	0.3	-
计算节点优先级的常参数	γ	0.2	-

图 6 示出了同为分层结构的 DGUC 与 MTP 协议的能耗比较结果(其中,方形和三角形标注的折线分别是 DGUC 在不同数据融合率下的实验结果),横坐标为各层的数据收集能耗情况。由于主、次簇头在收集和转发的同时均需进行数据融合,因此 DGUC 算法各层的能耗都小于 MTP。此外, η 值的变化对 DGUC 中各层能耗间的差异几乎没有影响,这是因为 DGUC 以各层子区域内的能耗近似相等为约束,实现了自“近基站”至“远离基站”的非均匀分簇,且充分利用了剩余能量和位置最优的节点,最大限度地实现了能耗均衡。

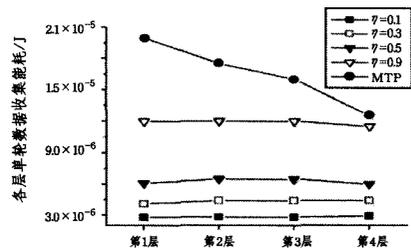


图 6 DGUC 与 MTP 单轮数据收集下各层能耗的比较

图 7 示出了 DGUC 与 MTP 相邻层间能耗差值的比较结果。其中, $E(L_i) - E(L_j)$ 代表第 i 层和第 j 层间子区域在单

轮数据收集过程中的能耗差。由此可以更为明显地看出,除 η 值较大的个别情况外, DGUC 算法中相邻各层子区域间的能耗差值都接近于 0, 远优于 MTP 算法。

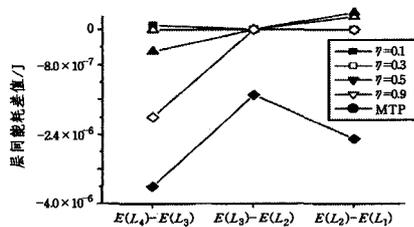


图 7 DGUC 与 MTP 的相邻层子区域的能耗差值

图 8 示出了 DGUC 与分簇模式的 CDFUD 算法单轮的数据收集能耗比较结果。同样地,在不同的 η 值下, DGUC 的能耗均小于 CDFUD(例如,在第 1 层, DGUC 在 $\eta=0.1$ 时的能耗仅为 1.3×10^{-6} J, 远低于 CDFUD 方法的 2.38×10^{-5} J; 而在第 4 层, 由于网络内的节点数量增多, CDFUD 的能耗均衡性更差, 其能耗接近 2.5×10^{-4} J, 远高于 DGUC 方法在各种数据融合率下的能耗)。这是因为在 CDFUD 中, 无论距离基站远近, 簇首都会将所收集的数据不经融合直接传送给基站, 增大了层间传输开销; 此外, 若对单跳数据上传的距离无任何约束, 则当此距离超过 d_0 时, 传输能耗将与距离的 4 次方成正比, 造成能耗陡增。而 DGUC 不仅利用子区域内的主、次簇头实现了本地数据的融合, 更对层间的单跳最大距离进行了约束, 降低了能耗开销。

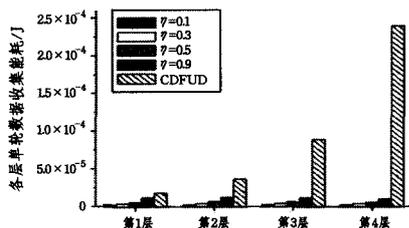


图 8 DGUC 与 CDFUD 各层能耗的对比

图 9 示出了 DGUC, MTP 及 CDFUD 的单轮数据收集总能耗对比结果。由于利用了剩余能量和位置最优的节点充当主、次簇头, 且实现了非均匀分簇, 有效降低了“近基站”节点的负载, 因此 DGUC 的总能耗最低, 即使在 η 高达 0.9 时, 相对于 MTP 及 CDFUD, 其仍具备一定的优势。而 CDFUD 尽管也采用了分簇的数据收集方式, 但簇头到基站始终为单跳, 使得其簇头轮转后的执行效果可能更差, 因此能耗值最高。

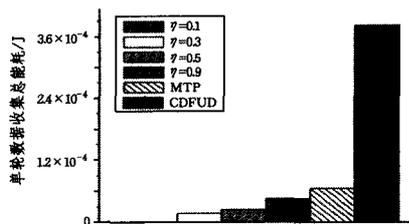


图 9 DGUC, MTP, CDFUD 的总能耗对比

改变标量节点和矢量节点的部署比例。令 $\rho_s = 5\rho_v = 1.926 \times 10^{-3}$, 再次分析网络的能耗情况。图 10 是不同数据融合率下的 DGUC 算法与 MTP 及 CDFUD 的能耗对比图。

易知, 在标量节点和矢量节点的部署密度发生变化时, DGUC 的层间能耗标准差及总能耗仍明显小于其余两种方法。这是因为 DGUC 在混合无线传感网中建立了两类非交叉的数据收集路径, 可分别确保标量和矢量数据收集与上传过程中的能耗均衡, 适应于节点的各种分布情况。

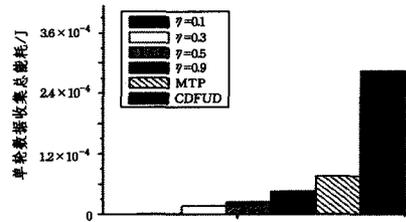


图 10 $\rho_s = 5\rho_v$ 时, DGUC, MTP, CDFUD 的总能耗对比

结束语 本文实现了一种混合无线传感网数据收集协议 DGUC, 该协议以非均匀分簇和主、次簇头的形式开展网内标量和矢量数据收集与上传, 确保了网内能耗的均衡, 可有效延长网络的生命期。

参 考 文 献

[1] LU X L, WANG Y Y. Data collection algorithm for mobile sink in delay-constrained network[J]. Journal on Communications, 2014, 35(10):107-116. (in Chinese)
卢先领, 王莹莹. 时延受限的移动 sink 数据收集算法[J]. 通信学报, 2014, 35(10):107-116.

[2] YUAN L Y, ZHU Y H, QIU S W. Segmented Address Assignment Policy and Routing for Wireless Sensor Mesh Networks [J]. Computer Science, 2016, 43(6):116-121, 155. (in Chinese)
袁利永, 朱艺华, 邱树伟. 无线传感 mesh 网络的分段地址分配策略及其路由[J]. 计算机科学, 2016, 43(6):116-121, 155.

[3] YUN Y S, XIA Y. Maximizing the lifetime of wireless sensor networks with mobile sink in delay-tolerant applications [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2010, 9(9):1308-1318.

[4] LIU T, SUN Y Q. Distributed Clustering Algorithm in Heterogeneous Wireless Sensor Network Based on Load Balance and Shortest Path [J]. Computer Science, 2014, 41(10):169-172, 209. (in Chinese)
刘唐, 孙彦清. 基于负载均衡和最短路径的异构无线传感器网络成簇算法[J]. 计算机科学, 2014, 41(10):169-172, 209.

[5] HEINZELMAN W R, CHANDRAKASAN A, BALAKRISHNAN H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]//Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, 2000. IEEE, 2000:1-10.

[6] YU Y C, WEI G. An Improved PEGASIS Algorithm in Wireless Sensor Network [J]. Chinese Journal of Electronics, 2008, 36(7):1309-1313. (in Chinese)
余勇昌, 韦岗. 无线传感器网络中基于 PEGASIS 协议的改进算法[J]. 电子学报, 2008, 36(7):1309-1313.

参考文献

- [1] BELL D E, LAPADULA L J. Secure Computer Systems; Mathematical Foundations [R]. Electronic Systems Division, Air Force Systems Command, Hanscom Air Force Base, Bedford, MA, USA, 1973.
- [2] BELL D E, LAPADULA L J. Secure Computer Systems; A Mathematical Model [R]. Electronic Systems Division, Air Force Systems Command, Hanscom Air Force Base, Bedford, MA, USA, 1973.
- [3] BELL D E, LAPADULA L J. Secure Computer Systems; A Refinement of the Mathematical Model [R]. Electronic Systems Division, Air Force Systems Command, Hanscom Air Force Base, Bedford, MA, USA, 1974.
- [4] BELL D E, LAPADULA L J. Secure Computer System; Unified Exposition and MULTICS Interpretation: MTR-2997 Rev. 1 [R]. The MITRE Corporation, Bedford, MA, USA, 1976.
- [5] FAN Y F, CAI Y. Collaboration Supported Mandatory Access Control Model[J]. Journal of Computer Research and Development, 2015, 52(10): 2411-2421. (in Chinese)
范艳芳, 蔡英. 支持协作的强制访问控制模型[J]. 计算机研究与发展, 2015, 52(10): 2411-2421.
- [6] FAN Y F, CAI Y, GENG X H. A Mandatory Access Control Model with Temporal and Spatial Constraints [J]. Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications, 2012, 35(5): 111-114. (in Chinese)
范艳芳, 蔡英, 耿秀华. 具有时空约束的强制访问控制模型[J]. 北京邮电大学学报, 2012, 35(5): 111-114.
- [7] WU Y J, LIANG H L, ZHAO C. A Multi-Level Security Model with Least Privilege Support for Trusted Subject[J]. Journal of Software, 2007, 18(3): 730-738 (in Chinese)
武延军, 梁洪亮, 赵琛. 一个支持可信主体特权最小化的多级安全模型[J]. 软件学报, 2007, 18(3): 730-738.
- [8] ZHANG X F, XU F, SHEN C X. Research on Multilevel Security Model Based on Trustworthy State and Its Application[J]. Acta Electronica Sinica, 2007, 35(8): 1511-1515. (in Chinese)
张晓菲, 许访, 沈昌祥. 基于可信状态的多级安全模型及其应用研究[J]. 电子学报, 2007, 35(8): 1511-1515.
- [9] THOMAS R K. Team-based Access Control (TMAC): A Primitive for Applying Role-based Access Controls in Collaborative Environments [C]// Proc of the 2nd Workshop on Role-Based Access Control. ACM, Fairfax, VA, USA, 1997: 13-19.
- [10] GEORGIADIS C K, MAVRIDIS I, PANGALOS G, et al. Flexible Team-based Access Control Using Contexts [C]// The ACM Symposium on Access Control Models and Technologies 2001. Chantilly, Virginia, USA, 2001: 21-27.
- [11] 翟治年. 企业级协作环境中访问控制模型研究[D]. 北京: 华南理工大学, 2012.
- [12] BIJON K Z, SANDHU R S, KRISHNAN R. A Group-centric Model for Collaboration with Expedient Insiders in Multilevel Systems [C]// The 2012 International Conference on Collaboration Technologies and Systems, 2012: 419-426.
- [13] YAN X X, GENG T. Fused access control scheme for sensitive data sharing[J]. Journal on Communications, 2014, 35(8): 71-77. (in Chinese)
闰玺玺, 耿涛. 面向敏感数据共享环境下的融合访问控制机制[J]. 通信学报, 2014, 35(8): 71-77.
- [14] BIJON K Z, SANDHU R, KRISHNAN R. A group-centric model for collaboration with expedient insiders in multilevel systems[C]// International Conference on Collaboration Technologies and Systems. IEEE, 2012: 419-426.
- [15] BIJON K Z, SANDHU R, KRISHNAN R, et al. A lattice interpretation of group-centric collaboration with expedient insiders [C]// International Conference on Collaborative Computing: Networking, Applications and Worksharing. IEEE, 2012: 200-209.
- [16] RUSHBY J. Noninterference, Transitivity and Channel-control Security Policies: Technical Report, CSL-92-02 [R]. Menlo Park; Stanford Research Institute, 1992.
- (上接第 89 页)
- [7] LIU X, WANG Q Y, JIN X L. An Energy-Aware Data Gathering and Routing Protocol for WSN[J]. Journal of Computer Research and Development, 2008, 45(1): 83-89. (in Chinese)
刘昕, 王全玉, 金旭亮. 基于能量感知的数据汇聚和路由协议[J]. 计算机研究与发展, 2008, 45(1): 83-89.
- [8] YUE J, ZHANG W M, XIAO W D, et al. Structure-free and dynamic-adaptive data fusion algorithm for wireless sensor networks[J]. Journal of China Institute of Communications, 2012, 33(9): 53-65. (in Chinese)
乐俊, 张维明, 肖卫东, 等. 无结构动态适应无线传感器网络数据融合算法[J]. 通信学报, 2012, 33(9): 53-65.
- [9] YUE J, ZHANG W M, XIAO W D, et al. A Clustering Data Fusion Algorithm Based on Unequal Division for Wireless Sensor Networks[J]. Journal of Computer Research and Development, 2011, 48(1): 247-254. (in Chinese)
乐俊, 张维明, 肖卫东, 等. 无线传感器网络中一种基于非均匀划分的分簇数据融合算法[J]. 计算机技术与发展, 2011, 48(1): 247-254.
- [10] SUN Y Q, PENG J, LIU T, et al. Uneven clustering routing protocol based on dynamic partition for wireless sensor network [J]. Journal on Communications, 2014, 35(1): 198-206. (in Chinese)
孙彦清, 彭舰, 刘唐, 等. 基于动态分区的无线传感器网络非均匀成簇路由协议[J]. 通信学报, 2014, 35(1): 198-206.
- [11] LIU A F, YANG G J, CHEN Z G. Energy hole avoid by alternately working with different cluster-radius for wireless sensor networks[J]. Journal on Communications, 2010, 31(1): 1-8. (in Chinese)
刘安丰, 阳国军, 陈志刚. 基于不等簇半径轮换工作的传感器网络能量空洞避免研究[J]. 通信学报, 2010, 31(1): 1-8.