

基于地理位置的无线传感器网络路由协议

Routing Algorithms Based on Location Information for Wireless Sensor Network

郑锴/ZHENG Kai, 童利标/TONG Li-biao, 陆文骏/LU Wen-jun

(中国人民解放军炮兵学院, 安徽 合肥, 230031)
(Artillery Academy of PLA, Hefei, 230031, China)

中图分类号: TN92 文献标识码: A 文章编号: 1009-6868 (2008) 06-0037-05

摘要: 基于地理位置的路由协议是无线传感器网络路由协议研究的一个重要方向。利用位置信息指导路由的发现、维护和数据转发, 能够优化路径选择, 减少路由能耗, 实现网络的全局优化。从限制洪泛机制、虚拟分区机制、最优路由确认机制3个方面, 可以看出地理位置信息在路由协议中的重要性。

关键词: 无线传感器网络; 路由协议; 地理位置; 虚拟分区

Abstract: Routing algorithms based on geographical location information is an important research subject in the wireless sensor network. The routing algorithms based on geographical location information can confirm the best routing, reduce the energy consumption, and optimize the whole network. Through three aspects involving the flooding restriction scheme, the virtual area partition scheme and the best routing choice scheme, the importance of location information is seen in the routing algorithm.

Key words: wireless sensor network; routing algorithm; location information; virtual area partition

无线传感器网络(WSN)是将大量的具有通信与计算能力的微小传感器节点设置在无人值守的监控区域, 构成的智能自治测控网络系统。在WSN的实际应用中, 尤其是军事应用中, 往往需要实现对传感器节点的定位, 获取监控区域的地理位置信息, 因此, 位置信息也很自然地被考虑到WSN路由协议的设计中。基于地理位置的路由协议是当前路由协议研究的一个重要方向, 受到了广泛

关注。

基于地理位置的路由协议利用位置信息指导路由的发现、维护和数据转发, 能够实现信息的定向传输, 避免信息在整个网络的洪泛, 减少路由协议的控制开销, 优化路径选择, 通过利用节点位置信息构建网络拓扑图, 易于进行网络管理, 实现网络的全局优化。

国内外的学者针对不同的应用背景已经提出了多种基于地理位置

的路由协议, 如何充分地利用地理信息来实现高效的路由是研究的重点。本文将具体分析地理信息在路由协议中的应用, 分别从限制洪泛机制、虚拟分区机制、最优路由确认机制等3个方面进行分析。

1 基于位置信息的限制洪泛机制

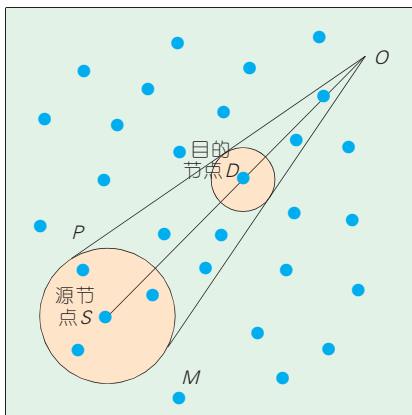
传统的Flooding洪泛路由协议具有简单性和鲁棒性的优点^[1], 许多路由协议的设计中都采用了洪泛路由的思想, 然而洪泛路由存在着信息重叠和信息“内爆”现象, 造成了大量的信息冗余和盲目的资源浪费。利用距离、方位等地理信息来指导和限制路由洪泛, 界定洪泛路由搜索区域, 能够大大提高路由搜索的方向性和有效性。当在路由受限区域内没有合适的路径时, 可以自适应地对洪泛区域进行调整, 或采用传统洪泛的方法继续进行路由搜索。受限洪泛区域主要有距离受限域、角度受限域和矩形受限域等形式。

1.1 距离洪泛受限域

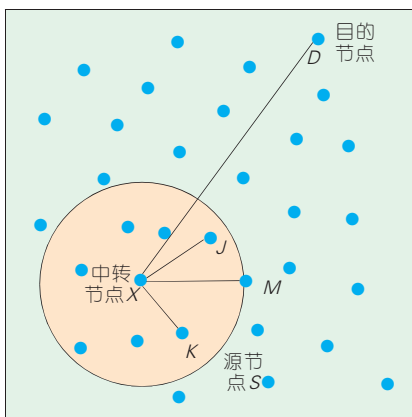
目的区域的位置不确定时, 可以构建一种简单的距离限制域: 路由搜索信息向距离信息发送节点更远的方向进行洪泛, 只有距离信息发送节点更远的节点收到数据包时才进行转发, 通过这种方式能够减少信息的冗余。目的区域的位置能够确定时, 可以由距离目的区域更近的节点所在的区域来构成路由请求区域。如位置辅助路由(LAR)协议中确定路由请求区域的其中一种方案, 便采用了这种思想^[2]。

1.2 角度洪泛受限域

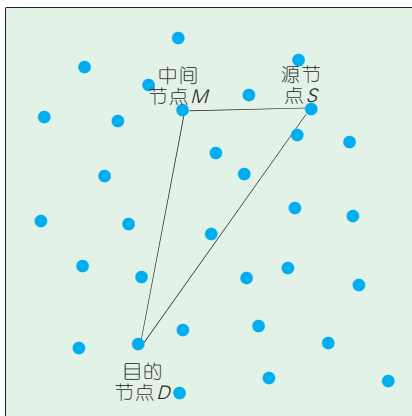
角度限制域是根据某一个角度而确定的受限域, 也就是说, 位于一定的角度范围内的中间节点才能作为路由洪泛的中继转发节点。限制角度的选取有多种方法, 图1、图2和图3分别示意了3种角度选取方法。



▲图1 角度不变的受限域构建方法



▲图2 角度变化的受限域构建方法



▲图3 角度预定的受限域构建方法

图1中所确定的角度受限域由两条相交的射线 OM 和 OP 所构成^[3],以源节点 S 和目的节点 D 为圆心、以 RS 和 RD 为半径构造了两个界限圆,不妨假设 $RS > RD$,可以得出两圆的公切线以及它们的交点 O ,易于算出限制角 $\angle SOM$ 的度数。 RS 和 RD 的大小根据

具体应用进行设定。

图2中所确定的限制角度是变化的,而不是固定不变。 S 点为源节点, D 点为目的节点, X 为一个中转节点。 X 所转发的路由请求包中包含限制角 $\angle DXM$,可以根据式(1)计算:

$$\angle DXM = \min\left\{\frac{\pi}{4} \times \left[1 + \left(1 - \frac{|XD|}{|SD|}\right)\right], \frac{\pi}{2}\right\} \quad (1)$$

收到 X 转发的数据包的节点 J 和 K 分别计算 $\angle DXJ$ 和 $\angle DXK$,并与 $\angle DXM$ 比较大小。若该角度小于限定角的节点继续转发数据包,则节点 K 丢弃数据包,节点 J 将转发路由请求数据包,并且节点 J 将按照上述处理方法更新限定角的大小并继续转发数据包。

图3中源节点的路由请求数据包中包含自身的位置信息和预定的限制角度^[4],中间节点 M 收到数据包后,通过三角公式可以得出自己和源节点 S 、目的节点 D 间的夹角 $\angle SMD$,如果 $\angle SMD$ 大于预定的转发限制角,则继续转发,否则就丢弃数据包。预定的限制角度可以根据具体应用进行设定。

1.3 矩形洪泛受限域

矩形限制域即是通过一定的策略所划定的矩形洪泛区域,具体给出以下两种划分方法。

图4中的矩形区域即为矩形受限域的一种构造方法。以源节点 S 和目的节点 D 作为两个顶点总可以构造矩形区域。为提高路由请求的成功率,可以将目的地扩展为一个半径为 R 的圆形区域进行优化。半径 R 一般不超过节点的通信半径,其设置可以根据节点的稠密程度进行调整,一般情况下,如果节点稠密可以将 R 设定得小些,如果节点稀疏则可以将 R 设定得大些,以保证路由的成功率。

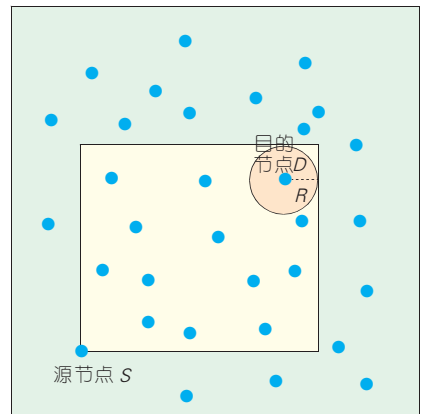
图5中给出了另外的一种矩形受限区域^[5],源节点 S 和目的节点 D 分别作为所构造矩形两条对应边 $L1$ 、 $L2$ 的中心,以与源节点和目的节点所构成的直线所平行的两条线段 $L3$ 、 $L4$ 作为

矩形的另外两条边。其中 w 为 $L1$ 、 $L2$ 的边长,其大小可根据具体应用进行设定。

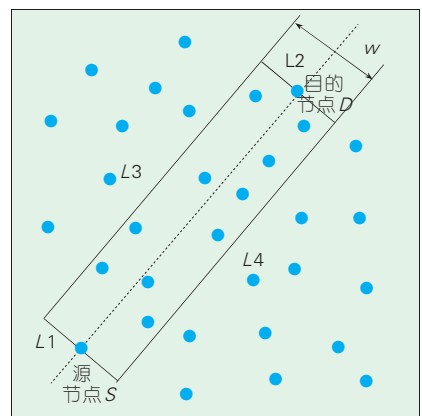
此外,通过对整个区域划分为网格,进而查询信息分别在各个矩形网格内进行洪泛,如双层数据发布(TTDD)协议^[6],也可以理解为矩形限制域的一种构造方法。

2 基于位置信息的网络虚拟分区机制

基于虚拟分区的路由机制是利用地理位置信息将整个监控区域划分为若干子区域,进而利用区域的位置信息来设计路由的机制。它适合于大规模网络,可扩展性强,利用组织结构设计的方法较好地解决了大规模网络的协同问题;各分区所包含的位置信息利于路由的建立,能够实现



▲图4 以源节点和目的节点为顶点的矩形受限域构建方法



▲图5 以源节点和目的节点为对应边中心的矩形受限域构建方法

方向性信息传输,减少信息传输的盲目性,减少信息冗余,便于信息融合和移动节点处理,信息传输的实时性好;此外通过对区域内的节点的任务分配和调度,可以使部分节点处于休眠状态,节省能量,延长网络寿命。

虚拟分区可以有多种形式,包括规则的几何网络分区、虚拟极坐标系以及由分簇算法形成的不规则分区等。具体实现中,可以考虑将整个网络均衡地划分为网格区域;也可以根据节点密度、连通度、网络规模等信息将网络非均匀地划分为若干分区。路由搜索过程中,可分为区域内路由和区域间路由两个过程分别进行考虑。

2.1 规则网络区域的划分

规则网络分区可以考虑采用包括矩形、正六边形、三角形、菱形、圆形、扇形区域等多种形式。正六边形区域是借鉴蜂窝网的小区机制,由于其计算较为复杂,较少采用;圆形区域方法是通过比较分区半径和节点到分区中心点距离确定节点的所属分区,在分区的边界会有重叠;文献[7]中提出了三角形或菱形区域的分区方法,即是将网络区域划分为三角形或菱形的网格分区。文献[8]中提出了将网络区域划分为环带扇形栅格的分区方法;矩形区域划分方法不存在重叠区域,实现过程比较简单,在实际中得到了较多的采用。

方形网格是最常用的矩形分区方法,是较多地采用的一种分区方式,如基于位置的能量感知路由(GAF)^[9]、TTDD、基于网格的路由(GRID)、基于网格的分簇路由(GROUP)^[10]等协议。本文中将对几种典型的基于方形网格的路由协议进行分析。

GAF协议中,根据节点的位置信息和通信半径,将网络区域划分成若干虚拟单元格,保证相邻单元格中的任意两个节点都能够直接通信。假设所有节点的通信半径为 R ,网格区域

划分的边长为 r ,则为了保证任两个单元格间的通信,需要满足 $r \leq \frac{R}{\sqrt{5}}$ 。网格内采用让部分节点进入休眠状态以减少能量消耗的拓扑控制算法,同时采用节点状态转换机制控制节点的状态。GAF的核心思想是尽量通过使虚拟网格中的每个区域的代表节点总是处于激活状态模式来保持网络互联。

TTDD协议中,当多个节点探测到事件发生时,选择一个节点作为发送数据的源节点。源节点以自身作为格状网的一个交叉点构造一个格状网。其过程是:源节点先计算出4个相邻交叉点的位置,利用贪婪算法请求最接近交叉点位置的节点成为转发节点,转发节点继续这个过程直至请求任务超时或到达网络边缘。转发节点保存了事件和源节点的信息,是以后进行数据传输的参与者。在汇聚节点进行数据查询时,汇聚点的查询请求采用洪泛的方式在交叉点间传播,直到源节点收到查询请求,数据反向传送到汇聚节点。

GRID协议中整个网络被分成若干固定大小的虚拟网格,路径由一组特定的虚拟网格组成。每个网格中通过一定的方法选取一个节点作为网关,负责所有经过本网格的数据包的转发,路由采取从网格到网格的方式。文献[5]中给出了多种网格边长的确定方法,其中,若设节点的通信半径为 R ,网格边长为 r ,则当满足 $r \leq \frac{R}{2\sqrt{2}}$ 时,就能保证对角的相邻网格间节点的通信畅通,即能满足八向邻域网格间的通信。

GROUP协议中,每隔一定的时间,由Sink点选出网格种子节点,进而建立以网格种子节点为基准点的一定宽度的虚拟格子。每个网格中选举出一个节点作为簇头节点,簇头节点一般接近网格交叉点,在簇头节点周围一定范围内的节点都属于该簇。

2.2 虚拟极坐标系

虚拟极坐标系是一种较为特

殊的角度分区方式,适用于数据中心存储方式的地理位置辅助路由(GEM)协议^[11]基本思想便是建立一个虚拟极坐标系来表示实际的网络拓扑结构。网络中的节点形成一个以汇聚节点为根的带环树,每个节点用到树根的跳数距离和角度范围来表示,节点间的路由通过这个带环树来表示。虚拟极坐标系建立过程为:由汇聚点将角度范围分配给每个子节点,如 $[0, 90]$ 。每个子节点得到的角度范围正比于以该节点为根的子节点的数目。每个子节点按照同样的方式将自己的角度范围分配给它的子节点。这个过程一直持续进行,直到每个叶节点分配到一个角度范围。这样,节点可以根据一个统一的规则(如顺时针方向)为子节点设定的角度范围,使得同一级节点的角度范围顺序递增或递减,于是到汇聚点跳数相同的节点就形成了一个环形结构,整个网络则形成一个以汇聚节点为根的带环树。其基本的路由过程为:节点发送数据时,若目的位置的角度不在角度范围内,就向父节点传递该消息,父节点也采用同样的方式处理该消息,直到消息到达了包含目的节点的位置角度的节点。

2.3 基于分簇算法的不规则分区

位置信息在分簇路由中也能够得到重要的应用,根据不同的分簇算法所形成的各个簇往往同时构成了不规则的网络虚拟分区。簇头的产生是簇形成的基础,簇的位置信息是簇头选择算法的一个重要准则,这些地理信息包括节点距簇头的距离、簇头距基站的距离、距离能耗比等信息。如基于模糊逻辑的簇头选举(CEFL)算法^[12]将节点向心性作为一个簇头选举的准则,向心性即节点靠近簇中心的程度,用该节点到簇内其它节点的距离平方和来度量。簇头产生之后,周围节点根据簇头的分布选择所加入的簇,位置信息同样会得到应用,如在基于能量优先的分簇路由

(EECS)协议^[13]中,节点确定所加入的簇的通信代价的计算公式中,考虑到了节点到簇头的距离以及簇头到基站的距离。

3 基于位置信息的最优路径确认机制

在网络多跳转发节点选择过程中,往往要依据一定的准则选取最优节点作为下一跳转发节点。基于地理位置信息的最优路径确认机制是将角度、距离等位置信息作为一个路径选择准则而建立路由。具体列举几种典型的路由算法来说明地理信息在最优路径确认中的作用。

3.1 GPSR协议

贪婪型转发和沿周边转发路由(GPSR)^[14]是采用贪婪转发算法的典型代表协议。当节点需要转发数据分组时,它首先在邻节点中选择距离目标最近的节点作为其下一跳节点,然后将数据分组转发给该节点。针对贪婪算法引起的局部优化问题,即当找不到满足条件的下一跳节点的时候,GPSR提出了边界转发策略,作为贪婪转发算法的一个补充,采用在该区域原始网络图之上建立平面图的方法解决路由空洞的问题,即通过围绕平面图边界向目标区继续转发的方式恢复路由。完整的GPSR协议结合利用贪婪算法和边界转发算法来实现数据向目的节点的转发。网络中以贪婪转发为主,当找不到满足条件的下一跳节点时,在平面图中使用边界转发算法来决定下一跳。

3.2 GEAR协议

基于地理位置和能量的路由(GEAR)^[15]采用查询的方法来建立从源节点到事件区域的路由。借鉴了GPSR的贪婪算法的思想,利用节点的地理位置信息以及节点能量剩余情况,选择综合开销(节点能量消耗与距离目标远近的组合)最小的邻节点进行数据转发,建立查询消息到事

件区域的路径。查询信息到达事件区域后,可以采用迭代地理转发的策略或受限洪泛的方式发布该数据。

采用迭代地理转发的策略时,事件区域内首先收到查询命令的节点将事件区域分为若干的子区域,并向所有子区域的中心位置转发查询命令,子区域中最靠近中心位置的节点收到查询命令,并将自己所在的子区域再次划分为若干的子区域并向各子区域中心位置转发查询命令。该消息传播过程是一个一次迭代的过程,当节点发现自己是区域内唯一的节点,或子区域内没有节点时,则停止向该子区域发送查询命令。当所有子区域转发过程全部结束时,整个迭代过程终止。递归地理转发机制更为适用于区域节点分布密集的应用环境。

3.3 TBF协议

基于传输轨道的路由(TBF)^[16]利用参数在数据包头中指定一条连续的传输轨道而不是路由节点序列。节点利用贪婪算法根据其轨道参数和邻节点的位置,计算出最接近的邻节点作为下一跳节点。通过指定不同的轨道参数,很容易实现多路径传播、广播和对特定区域的广播和多播。

3.4 SPAN协议

基于能量协调的地理路由(SPAN)^[17]根据节点的位置选取一些节点作为协调者或主管节点,这些选出的主节点形成一个网络骨干,专门负责转发消息,不在骨干网上的节点,定期地休眠。网络中的每个节点能够以分布式方法,独立、周期性地判断自己应该处于休眠状态还是工作状态。

4 结束语

地理位置路由协议是路由协议研究的一个重要领域。从长远来看,可以从以下几个方面对基于地理位置的路由协议进行进一步研究:

(1) 结合定位技术进行路由协议

研究。现有的地理路由协议中,大都没有具体指出获取节点位置信息的具体方法,多是在假设节点位置信息已知的情况下进行研究,实际上节点的定位技术仍然是当前WSN研究中的一个重点和难点问题,节点定位的过程和精度影响着路由协议的设计。结合定位算法来考虑路由协议的设计,考虑到定位精度对协议性能的影响,能够提高路由协议的有效性和针对性。不依赖于定位信息的地理位置路由(GRWLI)协议^[18]提出了一种只需少量节点精确位置信息就可正确路由的地理路由机制,协议的关键是利用少数的信标节点来确定全局坐标系以及其他节点在全局坐标系中的位置。

(2) 考虑到地形影响的路由协议研究。实际应用中,WSN往往要受到地貌、地物等地理因素的影响。已有的一些路由往往是基于虚拟的二维地理空间进行考虑,对实际环境的考虑不够充分。因此,基于实际地理环境进行路由协议研究也是一个需要研究的问题。

(3) 基于覆盖控制的地理位置路由协议研究。路由协议的设计过程中,要考虑到节点连通和网络覆盖问题。尤其是在路由设计中考虑到休眠机制时,需要对覆盖控制问题进行分析。

(4) 基于地理位置的安全路由协议研究。许多应用中,尤其在军事应用中,必须考虑到路由协议的安全性。例如,在文献[19]中,进行了基于地理位置的密钥分配的研究。

(5) 水下、深空、地下无线传感器网络基于地理位置的路由协议的研究。针对这些特殊的应用场合,应开展相应的研究工作。

5 参考文献

- [1] HEDETNIEMI S, LIESTMAN A. A survey of gossiping and broadcasting in communication networks [J]. Networks, 1998, 18(4): 319-349.
- [2] KO YOUNG BAE, VAIDYA N H. Location-aided Routing (LAR) in mobile Ad

- Hoc networks [J]. Wireless Networks, 2000, 6(4):307-321.
- [3] 张锦. 传感器网络中基于位置信息的路由算法研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2004:14-20.
- [4] 王军, 于海斌. 一种两段式传感器网络路由协议[J]. 仪器仪表学报, 2007, 28(5):908-913.
- [5] LIAO W H, TENG Y C, SHEU J P. GRID: A fully location-aware routing protocol for mobile Ad Hoc networks [J]. Telecommunication Systems, 2001, 18(1): 37-60.
- [6] YE F, LUO H, CHENG J, et al. A two-tier data dissemination model for large-scale wireless sensor networks [J]. Wireless Networks, 2005, 11(2): 161-175.
- [7] WANG XUEQING, YANG YONGTIAN, ZHANG ZHOUGLIN, et al. A virtual rhomb grid-based movement-assisted sensor deployment algorithm in wireless sensor networks [C]// Proceedings of the International Multi-symposiums on Computer and Computational Sciences: Vol 1, Apr 20-24, 2006, Hangzhou, China. Piscataway, NJ, USA: IEEE Computer Society, 2006: 491-495.
- [8] 孙雨耕, 李桂丹, 武晓光, 等. 基于基站辅助定位的无线传感器网络通信协议[J]. 天津大学学报, 2007, 40(1): 98-103.
- [9] XU Y, HEIDEMANN J, ESTRIN D. Geography informed energy conservation for Ad-hoc routing [C]//Proceedings of the Seventh Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, Jul 16-21, 2001, Rome, Italy. 2001: 70-84.
- [10] YU LIVANG, WANG NENG, ZHANG WEI. GROUP: a Grid-clustering Routing Protocol for Wireless Sensor Networks[C]// proceedings of International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Sep 22-24, 2006, Wuhan, China. Piscataway, NJ, USA:IEEE, 2006: 1-5.
- [11] NEWSOME J, SONG D. GEM: Graph embedding for routing and data-centric storage in sensor networks without geographic information [C]//Proceeding of 1st ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, Nov 5-7, 2003, Los Angeles, CA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2003: 76-88.
- [12] GUPTA I, RIORDAN D. Cluster-head election using fuzzy logic for wireless sensor networks [C]//Proceedings of the 3rd Annual Communication Networks and Services Research Conference, May 16-18, 2005, Halifax, Canada. 2005: 255-260.
- [13] YE M, LI C F, CHEN G H, et al. EECS: An energy efficient clustering scheme in wireless sensor networks [C]//Proceeding of the IEEE International Performance Computing and Communications Conference, Apr 7-9, 2005, Phoenix, AZ, USA. New York, NY, USA: IEEE, 2005: 535-540.
- [14] Karp B, Kung H. GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks [C] //Proceeding of the 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, Aug 6-11, 2000, Boston, MA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2000: 243-254.
- [15] YU Y, GOVINDAN R, ESTRIN D. Geographical and energy aware routing: A recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks [R]. UCLA/CSD-TR-01-0023. 2001.
- [16] NICULESU D, NATH B. Trajectory based fording and its applications [C]//Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, Sep 14-19, 2003, San Diego, CA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2003: 260-272.
- [17] CHEN B, JAMIESON K, BALAKRISHNAN H, et al. SPAN: An energy efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks [J]. Wireless Networks, 2002, 8(5): 481-494.
- [18] RAO A, RATNASAMY S, PAPADIMITRIOU C, et al. Geographic Routing without

Location Information [C]//Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking, Sep 14-19, 2003, San Diego, CA, USA. New York, NY, USA: ACM, 2003: 96-108.

[19] 蔡晓, 杨庚, 王江涛. 一种基于位置信息的 WSN随机密钥预分配方法[J]. 南京邮电大学学报:自然科学版, 2007, 27(1): 20-24.

收稿日期:2008-01-31

作者简介



郑锴, 解放军炮兵学院在读硕士研究生。研究方向为无线传感器网络路由协议。



童利标, 解放军炮兵学院副教授、硕士研究生导师。研究方向为多传感器信息融合、无线传感器网络等。



陆文骏, 解放军炮兵学院讲师。研究方向为无线传感器网络。

中兴通讯与中国移动合力 助推ITU-T SNOg中国发展

2008年11月, 中兴通讯作为特别赞助商参加了中国通信标准化协会与中国移动共同承办的ITU-T SNOg第五次会议。来自中国、北美、欧洲和东南亚等国家的100多位网络运营和支撑方面的专家、ITU-T和TMF代表参加了本次会议。

本届会议上参会代表就ITU-T框架内全球运营商网络和业务管理运营水平, 以及网络新技术和新业务管理运营技术等方面进行了交流和探讨。

中兴通讯此次参会的产品涉及BSS/OSS(业务运营支撑系统)、业务、网管等相关业务和网络运营领域。会议期间, 中兴通讯旗下专注于电信BSS/OSS软件子公司中兴软创的领导和专家在大会上, 就中兴通讯在全球电

信业全业务运营的趋势下, 中兴通讯ZSmart业务运营支撑系统的变革做了主题发言。同时来自中兴通讯各相关产品的技术专家也与参会代表做了深入讨论。TMF主席 Keith Willets、副主席兼CTO Martin Creaner和SNOg主席 Phillip Colenso等代表还饶有兴趣地参观了中兴通讯展台, 与中兴通讯BSS/OSS专家做了交流, 并对中兴通讯在全球电信领域的成绩给予了充分肯定。

此次在国家相关通信部门的支持下, 中兴通讯和中国移动亲密合作, 为中国标准研究部门、运营商和设备制造商更好更多地参与ITU-T SNOg相关的国际标准化活动、共同推动产业标准化进程提供了一个很好的机会, 对中国和国际间关于电信业务和网络运营方面技术及标准的交流起到了积极的促进作用。