

一种新颖的自适应多叉树防碰撞算法的研究

韦冬雪 郑嘉利 李亮亮 姚富士

(广西大学计算机与电子信息学院 南宁 530004)

摘要 在改进型自适应多叉数防碰撞算法(IAMS)基础上,提出了一种新颖的自适应算法。该算法根据碰撞位数来自适应地选择搜索方式。当阅读器检测到两个碰撞位时,对最高碰撞位置“0”和置“1”来进行二叉树搜索;当碰撞位数大于2时,记录最高最低碰撞位,设置最高最低碰撞位的比特数,采用四叉树搜索方式。在matlab平台上,对3种算法进行了对比仿真实验。仿真结果与分析表明,与后退式二进制搜索算法和IAMS相比,该算法在搜索次数上平均减少了46.7%,31.52%,吞吐量平均提高了85.8%,24.22%,传输数据量平均减少了85.3%,82.54%。

关键词 RFID,防碰撞算法,二进制搜索算法,自适应

中图分类号 TN92,TP312 **文献标识码** A

Study of Novel Adaptive Multi-tree Anti-collision Search Algorithm

WEI Dong-xue ZHENG Jia-li LI Liang-liang YAO Fu-shi

(College of Computer and Electronic Information, Guangxi University, Nanning 530004, China)

Abstract This paper proposed an adaptive binary search algorithm based on IAMS. The adaptive algorithm chooses binary-tree or quad-tree search adaptively by the number of collisions. In this algorithm, if the number of detected collisions is 2, the reader will begin binary tree search by setting the maximum collision position "0" or "1". If the number of detected collisions is more than two, the reader will record the position and set the bits value of the maximum and minimum collisions, then starting the quad-tree search. Finally we simulated the 3 algorithms on Matlab platform. The results and analysis show that compared with the return binary search algorithm and IAMS, the average number of search instructions reduces 46.7%, 31.52%, and throughput is increased by an average of 85.8%, 24.22% and average 85.3%, 82.54% reduction in the amount of data transmitted in our algorithm.

Keywords RFID, Collision anti-collision, Binary-tree search algorithm, Self-adaption

1 前言

一个基本的RFID系统包括以下3个组成部分:电子标签、天线和阅读器、计算机通信网。防碰撞技术研究是目前RFID研究的一个主要方面。所谓的碰撞是指在阅读器的作用范围内同时有多个标签向阅读器传输数据,进行通信,此时就会出现相互干扰,以致读写器无法正确接收数据。防碰撞算法就是提出相应的策略和方法,使得阅读器对各个标签都能够准确识别^[1]。

目前主要的防碰撞算法主要分为两类:一类是基于ALOHA协议的随机算法,另一类是基于二进制树的确定算法^[2]。基于ALOHA协议的防碰撞算法一般包括时隙ALOHA算法(Slotted Aloha, SA)、帧时隙ALOHA算法(Frame-slotted ALOHA, FSA)、动态帧时隙ALOHA算法(Dynamic Frame-slotted ALOHA, DFSA)和分组帧时隙ALOHA算法(Group Framed-Slotted ALOHA, GFSA)。基于二进制搜索算法(Binary Search, BS)的自适应算法有动态二进制搜索算法(Dynamic Binary Search, DBS)、后退式二进制搜索算法

(Regressive-style Binary Search)^[3]、跳跃式动态二进制搜索算法(Jumping and Dynamic Searching, JDS)等。基于ALOHA协议的防碰撞算法简单,易于实现,但是会存在“标签饥饿问题”,当一个标签响应时总是与其他标签发生碰撞,这样就会存在错判、漏判的问题,而且随着标签数量的增多,算法的性能会下降^[4]。二进制搜索算法不存在“标签饥饿问题”,具有较高的识别率,但是通信复杂度会增大,算法性能会受到标签长度的影响。文献[2]在二进制算法中引入了随机分组机制,先是对标签进行分组,然后再在组内采用跳跃动态二进制算法来进一步提高吞吐率。文献[5]中提出的增强型防碰撞算法(EAA)引入计数器和堆栈来减少碰撞的概率,当读写器接收到两个碰撞位后,不再接收后续的数据,直接开始下一轮的搜索,缩短了识别时间。文献[6]中提出的CRB算法中引入了阻塞协议,AQS算法一次只发送一个查询前缀,而CRB算法发送两个查询前缀来识别2个驻留标签。文献[7]通过计算碰撞因子,自适应选择搜索的方式,但其存在空闲时隙的情况。文献[8]提出了一种改进型的自适应算法(IAMS),它在进行四叉数搜索时,首先确定存在的前缀,然后

到稿日期:2013-01-08 返修日期:2013-03-25 本文受广西自然科学基金面上项目(2011GXNSFA018169),广西自然科学基金青年项目(2012GXNSFBA053160),广西科学研究与技术开发计划课题(12118017-9A)资助。

郑嘉利(1979—),男,副教授,主要研究领域为多媒体通信、物联网技术,E-mail:lemontree312@live.cn。

再发送查询命令。

本文在基于 RFID 后退式二进制搜索算法和 IAMS 算法的基础上,提出了一种新颖的自适应多叉树二进制搜索算法。算法根据碰撞位数,自适应地选择搜索树的分叉数,当只有两个碰撞位时采用二叉树的搜索算法;当碰撞位数大于 2 时,采用四叉树的搜索算法。在本文算法中同时引入矩阵的思想和状态计数器,用于对碰撞位进行处理。

2 新颖的自适应多叉树搜索算法

2.1 算法思想

本文提出一种新颖的自适应多叉树二进制搜索算法,算法的思想如下:

1) 阅读器向电子标签发送请求命令,符合条件的电子标签向阅读器回传自身存储的信息。阅读器检查碰撞位置信息,自适应地将标签进行四叉树或二叉树搜索。

2) 在标签回传信息时,如果采用四叉树搜索,对于读写器来说,最高碰撞位之前和最低碰撞位之后的数据是已知的,因为没有发生碰撞,所以标签不需要再传这些信息。标签回传的是最高碰撞位 DH 与最低碰撞位 DL 之间的数据,进行二叉树搜索时,标签只需向读写器发送最高碰撞位 DH 之后的数据,从而减少了标签与读写器之间的通信量。

3) 由于算法采用的是曼彻斯特编码,二进制位上的取值具有相互排斥的特性(非 0 即 1)^[9],因此当检测到只有一个碰撞位时,读写器便可将碰撞位分别置“0”和置“1”,直接识别这两个标签。这样便减少了搜索的次数。

2.2 算法描述

该算法采用曼彻斯特编码来确认碰撞位的准确位置^[10],在读写器中引入矩阵。为了便于描述,在算法中引入以下 4 种命令。

(1) 查询命令 REQUEST。命令形式为 REQUEST(NULL)、REQUEST(DH, DHValue, DL, DLValue) 和 REQUEST(DH, DHValue)。

REQUEST(NULL)的含义为当第一次查询时,阅读器要求区域内所有标签响应,标签将自身的标签 EPC 值返回给阅读器。

REQUEST(DH, DHValue, DL, DLValue) 中,参数 DH、DL 分别是检测到的碰撞位的最高位和最低位,参数 DHValue、DLValue 为 0、1 的排列组合。当阅读器检查到碰撞位个数大于 2 时发送此命令,要求标签返回其第 DH-1 至 DL+1 的数据。

REQUEST(DH, DHValue) 中,参数 DH 为检测到的最高碰撞位, DHValue 是最高碰撞位的取值,取值为“0”或“1”。当阅读器检查到只有两个碰撞位时,先将碰撞最高位 DH 置“0”,即 DHValue=0,发送次命令,识别标签并将其处于休眠状态以后,再将 DHValue 置 1,再发送此命令,符合条件的标签响应并返回自身的 EPC 值。

(2) 选择命令 SELECT。满足请求命令的标签被激活,并作为执行其他命令(如读出或写入数据)的切入开关,即某个标签被选中。

(3) 读取数据命令 READ。被选中的标签执行此命令,并将自身存储的数据发送给阅读器。

(4) 退出选择命令 UNSELECT。取消事先选中的电子标签屏蔽,使其处于“无声”状态。此时标签不再响应阅读器的查询命令 REQUEST。若要重新激活标签,则标签必须暂时离开阅读器的作用范围,进行复位后再进入读写器作用范围。

2.3 算法流程

假设区域内的标签数 N 和标签 ID 的编码位数 n 已知,当发生新一轮的碰撞且碰撞位数大于 2 时, sHtdr 用于保存最高碰撞位, sLtdr 用于保存最低碰撞位, str 用于保存当前状态计数器 statue 的值, DHValue、DLValue 分别表示最高、最低碰撞位的取值。本文算法的软件实现如下。

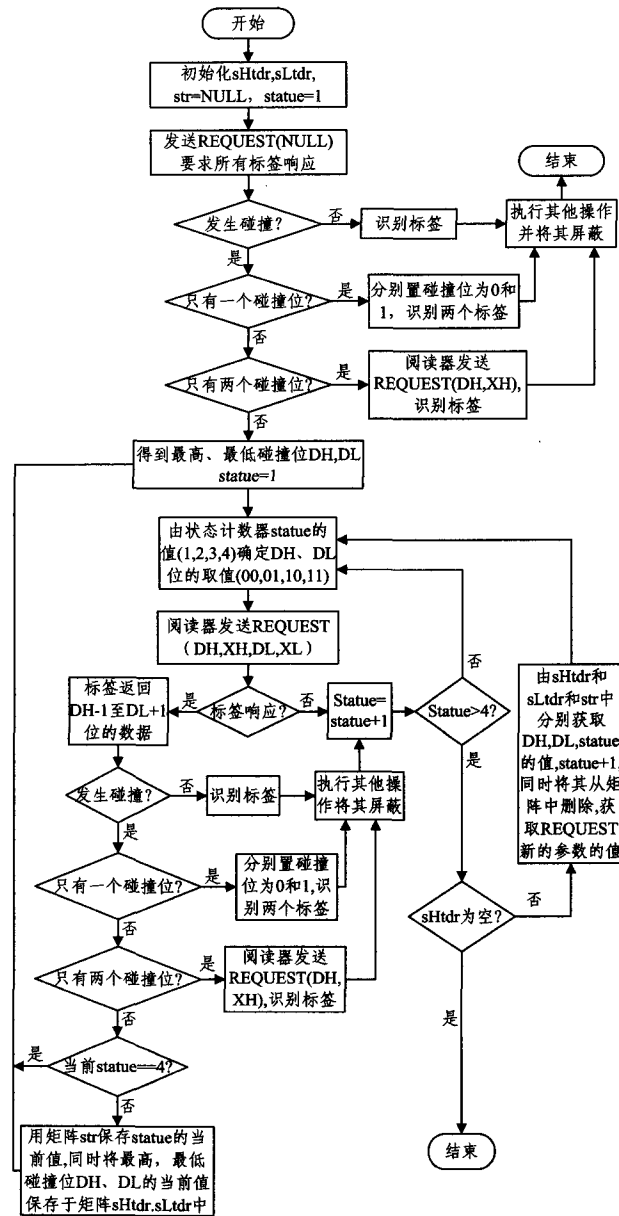


图 1 本文算法流程图

矩阵 sHtdr, sLtdr, str 为空, 标志位 statue=1//初始化

RESQUEST(NULL)//发送第一次查询命令

If(无标签响应) 结束算法

If(不发生碰撞) 识别标签并进行读写, 结束算法

If(只有一个碰撞位) 分别置碰撞位为 0 和 1, 识别两个标签并进行读写, 结束算法

If(有两个碰撞位) REQUEST(DH, DHValue), 进行二叉树搜索, 识别标签后结束算法

Else

```

While(两个以上碰撞位)
//DH,DL 分别表示最高、最低碰撞位,当前状态计数器 statue 为
1,2,3,4,对应的 DHValue,DLValue 的取值分别为(0,0),(0,
1),(1,0),(1,1)
{ 记录 DH,DL,statue=1
  While(statue<=4)
  { 发送 REQUEST(DH,DHValue,DL,DLValue)//发送命令
    查询要求标签返回 DH-1 至 DL+1 位的数据。
    If(只有一个碰撞位) 分别置碰撞位为 0 和 1,识别两个标
    签
    If(有两个碰撞位) REQUEST(DH,DHValue),进行二叉
    树搜索,识别标签
    statue= statue+1
    If(statue>4)
    If(sHtdr 为空)算法结束
    Else
    Pop sHtdr(DH),Pop sLtdr(DL),Pop str(statue)//出栈操
    作,获取相关命令参数
    If(两个以上碰撞位) break;
  }
  Push DH into sHtdr,Push DL into sLtdr,Push statue into str//进
  入入栈操作,记录相关参数
}

```

3 算法性能分析

3.1 变量定义

假设每个标签的编码为 n bit,阅读器的作用区域内有 N 个标签, N 个标签的 EPC 值是唯一的,标签的 EPC 值由 matlab 程序随机产生。吞吐量定义为单位时间内成功识别的标签量^[11]。

3.2 性能分析

在本文的算法中,考虑的性能指标包括搜索次数、吞吐量、传输的比特数。根据本文算法可知,当标签数 $N=2^n$ 时,系统的吞吐量最大,此时本文自适应算法总的搜索次数为:

$$\begin{cases} Q_{ad} = \frac{2^{n+1}-1}{3} (n=\text{奇数}) \\ Q_{ad} = \frac{5 \times 2^n - 2}{6} (n=\text{偶数}) \end{cases} \quad (1)$$

证明:当电子标签的编码为 1bit 时,读写器的作用范围内只有一个标签,识别这个标签只需发送一次查询命令即可。故总的寻呼次数为:

$$Q_{ad} = 1 (n=1) \quad (2)$$

当电子标签的编码为 2bit 时,读写器的作用范围内有 4 个电子标签,要识别这 4 个电子标签,由标签 EPC 值的唯一性可知,当读写器需要发送一次 REQUEST(NULL)命令时,4 个标签全部响应,此时有两个碰撞位,所以阅读器依次将 DHValue 置“0”和置“1”,只需发送两次 REQUEST(DH, DHValue)命令,便可识别这 4 个标签。故总的查询次数为:

$$Q_{ad} = 1 + 2^1 = 3 (n=2) \quad (3)$$

当电子标签的编码位数为 3,标签个数 $N=2^3$ 时,由 EPC 值的唯一性可知第一次响应时会有 3 个碰撞位。当读写器在发送一次 REQUEST(DH, DHValue, DL, DLValue)命令时,只

有一个碰撞位,便可直接识别两个标签。故读写器只需发送一次 REQUEST(NULL)、4 次 REQUEST(DH, DHValue, DL, DLValue)便可识别这全部 8 个标签。

$$Q_{ad} = 1 + 2^2 = 5 (n=3) \quad (4)$$

当电子标签的编码位数 $n=4$ 、标签个数 $N=2^4$ 时,读写器共需发送一次 REQUEST(NULL)命令、8 次 REQUEST(DH, DHValue)和 4 次 REQUEST(DH, DHValue, DL, DLValue)才可识别这 16 个标签。

通过数学归纳法可知,当电子标签的编码为 n 、读写器的作用范围内有 $N(N=2^n)$ 个电子标签、编码位数 n 为偶数时,总的寻呼次数为:

$$\begin{aligned} Q_{ad} &= 1 + 2^2 + 2^4 + \dots + 2^{n-2} + 2^{n-1} \\ &= \frac{1-4^{\frac{n}{2}}}{1-4} + 2^{n-1} = \frac{5 \times 2^n - 2}{6} (n=\text{偶数}) \end{aligned} \quad (5)$$

当编码位数 n 为奇数时,总的寻呼次数为:

$$\begin{aligned} Q_{ad} &= 1 + 2^2 + 2^4 + \dots + 2^{n-3} + 2^{n-1} \\ &= \frac{1-4^{\frac{n+1}{2}}}{1-4} = \frac{2^{n+1}-1}{3} (n=\text{奇数}) \end{aligned} \quad (6)$$

在仿真实验中分别对 n 取不同的数,且标签数量满足 $N=2^n$ 时进行仿真验证,如图 2 所示。

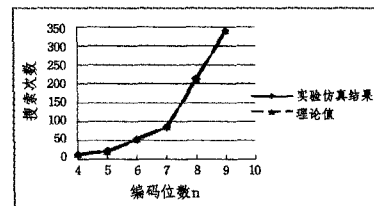


图 2 标签数满足 $N=2^n$ 时,自适应算法理论结果与仿真结果比较

图 2 中绿色标记的是以上理论推导出的对于不同的标签编码位数,识别读写器作用范围标签个数 $N=2^n$ 时的搜索次数、红色标记的是识别 $N=2^n$ 时实验仿真所得结果。由图 2 可见,绿色线与红色线重叠,可知以上的理论推导是正确的。

4 仿真实验及结果分析

下面将本文算法与 IAMS 和退式二进制算法进行比较,采用 matlab 仿真平台对算法的搜索次数、吞吐量和传输的比特数进行仿真,仿真 50 次取平均。

图 3 和图 4 分别描述了当编码位数 $n=8,9$ 时,这 3 种算法在搜索次数上的比较。当标签数量比较少时,三者的搜索次数区别不大。从图中可知,当标签数量在 200 左右时,本文算法与改进的自适应算法差别不大,如图 3 中,当 $n=8$ 、阅读器的作用范围内有 100 个标签时,本文算法的搜索次数为 119.84, IAMS 算法为 127.27,后退式二进制算法的搜索次数为 199。在同样标签数量情况下,编码位数为 9 时,本文算法的搜索次数比 IAMS 多用了 10 次,因为相对于 IAMS,本文算法没有去空闲时隙,所以会出现空命令的情况,读写器进行了一次无效的搜索。但是,随着标签数量的增多,本文算法的优势越来越明显,因为标签数量增多,空闲时隙的情况也会不断减少,而 IAMS 算法多发送了一次命令,确定存在的前缀,这便会增多搜索次数。由图 3 与图 4 可知,在标签编码位数 n 相同的情况下,随着标签数量的增多,本文算法的搜索次数比 IAMS 和后退式二进制搜索算法的更少,平均减少了 31.52%、

46.7%，优势更明显。

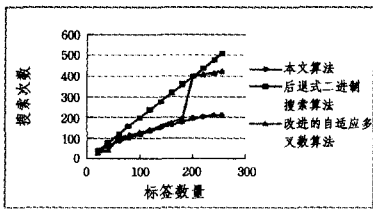


图3 标签编码位数 $n=8$ 时的搜索次数的比较

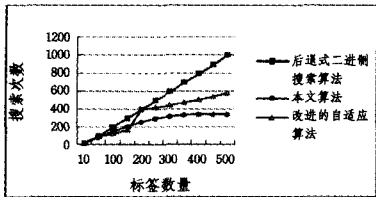


图4 标签编码位数 $n=9$ 时搜索次数的比较

图5和图6显示了在 $n=8, 9$ 时, 3种算法在吞吐量上的比较。在 n 一定的情况下, 标签数量越多, 系统吞吐量越大, 当标签数量达到 $N=2^n$ 时, 吞吐量达到最大。编码位数 $n=8, 9$ 时, 阅读器作用范围内的标签数取 $N=2^n$, 即分别对应的标签数为 256 和 512 时, 本文自适应算法的吞吐量分别为 1.202 和 1.501, 而后退式二进制搜索算法的吞吐量分别为 0.501 和 0.500, IAMS 为 0.600 和 0.8599, 吞吐量比后退式算法分别提高了 140% 和 200%, 比 IAMS 算法提高了 100.2789% 和 74.5398%。因为本文在进行自适应搜索的同时, 只有一个碰撞位便可直接识别这两个标签, 所以可达到很高的吞吐率。而当吞吐量达到最大时, 假设此时 $n=9$, 后退式二进制搜索算法的搜索次数为 1023, 而本文算法的搜索次数为 341, IAMS 为 595.365, 大大减少了搜索次数, 从而提高了查询效率。因为此时每发送一次命令, 都有标签响应, 不存在空命令的情况, 每次搜索都是有效搜索。经计算, 本文算法的吞吐量比后退式二进制算法和 IAMS 平均提高了 85.8% 和 24.22%, 具有更高的吞吐量。

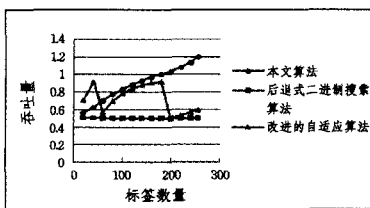


图5 标签编码位数 $n=8$ 时的吞吐量的比较

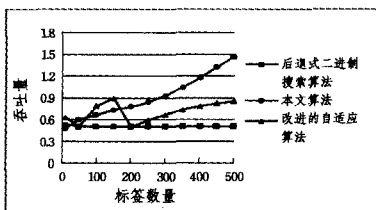


图6 标签编码位数 $n=9$ 时的吞吐量的比较

图7和图8中分别比较了 $n=8, 9$ 时, 3种算法在传输比特数上的比较。由图可知, 当标签数量比较大时, 本文算法所传输的比特数远远少于后两种算法。经实验仿真得出, 当 $n=9$ 、标签数 N 为 250 时, 本文算法只传输了平均 563.64 个

比特, 而后退式二进制搜索算法的总传输比特数为 4491, IAMS 为 3229.31。经计算结果分析, 本文算法的传输比特数较后退式二进制搜索算法和 IAMS 平均减少了 85.3% 和 82.54%。

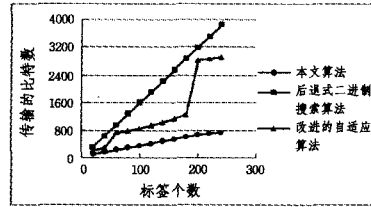


图7 标签编码位数 $n=8$ 时的传输比特数的比较

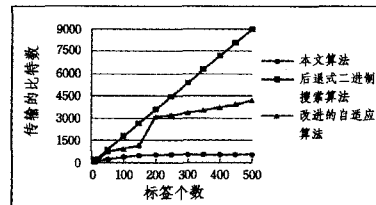


图8 标签编码位数 $n=9$ 时的传输比特数的比较

通过以上仿真结果分析发现, 本文算法在搜索次数、吞吐量和传输比特数上较其他两种算法都有一定的提高, 尤其是在传输数据量上的提高尤为明显。这是因为其他两种算法每次标签传送的是其自身全部的数据位, 对于读写器来说不产生碰撞的位是已知的, 所以在本文算法中不必再传送已知的数据位, 在采用二叉树搜索时传送的只是最高碰撞位与最低碰撞位之间的数据, 进行二叉树搜索时传送的数据位是最高碰撞位以下的数据, 所以在传输数据量上有较大幅度的提高。

总的来说, 改进的算法较其他两种算法有以下优势: (1) 减少了阅读器对电子标签的平均搜索次数, 从而减少了计算时间; (2) 本文算法具有更高的吞吐率, 尤其是随着标签数量的增多, 本文算法的性能优势更加明显; (3) 在标签数量较大的情况下, 发送的比特数远远低于后退式二进制搜索算法和 IAMS, 减少了读写器与标签之间的通信量, 提高了标签的识别速度, 从而验证了该算法的优越性。

结束语 防碰撞算法是 RFID 研究中的一个关键技术, 本文对现有的二进制标签防碰撞搜索算法进行了分析, 并在改进的自适应多叉数搜索算法的基础上提出了一种新颖的自适应多叉树二进制防碰撞算法。实验仿真结果表明, 本文算法在搜索次数、吞吐量和发送比特数方面都有很大的改善, 特别是随着标签数量的增多, 这种优势更加明显, 显著地提高了系统的识别性能。

参考文献

[1] 江雨, 马满福. 物联网中 RFID 位匹配防碰撞算法[J]. 计算机应用研究, 2012, 29(1): 88-91
 [2] 王亚奇, 蒋国平. 基于分组机制的跳跃式动态二进制防碰撞算法[J]. 自动化学报, 2010, 36(10): 1390-1400
 [3] Bai Cheng-sen, Zhu Jiang. Research on an RFID anti-collision improved algorithm based on binary search[C]// International Conference on Computer Application and System Modeling, 2010: 430-432

(下转第 64 页)

文献[16]给出在 MICA2 传感器上,节点发送与接收一个字节能耗分别为 $59.2\mu\text{J}$ 和 $28.6\mu\text{J}$,设一个消息数据长度 $d=41$ 字节,节点做一次算术运算的功耗要远小于发送与接收的功耗,仿真时忽略不计。假设在一个计算信任周期内每个节点向邻居节点发送消息 c 次,同时对方接收消息 c 次,每个节点均要计算其邻居节点(网络节点为 N ,邻居个数为 $n \approx \sqrt{N}^{[17]}$)的信任值。计算信任值的能耗 $E = E1 + E2$, $E1$ 和 $E2$ 分别为计算直接信任与间接信任值时的能耗。两种方案的直接信任计算能耗一样,即 $E1 \approx c * n(59.2 + 28.6)d\mu\text{J}$,而本案中 $E2 \approx (n * (59.2 + 28.6)d)\mu\text{J}$,RFSN 方案 $E2 \approx (2 * n * (59.2 + 28.6)d)\mu\text{J}$ 。仿真实验中假定 $c=10$,仿真结果如图 4 所示。

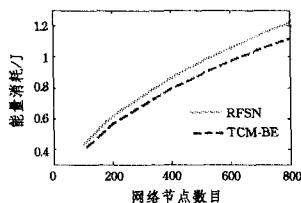


图 4 计算信任值时的能耗比较

图 4 表示的是两种方案在没有考虑算术运算时计算一次综合信任值所消耗能量的对比,而 RFSN 方案中涉及的算术运算次数远大于本案(TCM-BE)。因此,与 RFSN 相比,本案节约了能量,更适合能量有限的 WSN。

结束语 信任管理是安全机制的补充,本文提出了一种基于 Bayes 估计的节点信任度计算模型,该模型充分考虑 WSN 拓扑多变、高度自治、节点资源受限等特点,采用节点对其他节点信任度进行的评估以自身的经验为主,同时考虑邻居节点的推荐信息的轻量级计算方法,其可扩展性强,适合大规模无人值守网络。在不同的应用环境下可以通过改变先验方差 σ 的值来调节直接信任和推荐信息在信任值计算中的比重。实验结果表明,该计算模型能够以较小计算、存储与通信代价实现与 RFSN 同等程度的安全,将异常节点或恶意节点排除在网络之外,提高了网络的安全性。

参 考 文 献

[1] 李建中,高宏. 无线传感器网络的研究进展[J]. 计算机研究与发展,2008,45(1):1-15
 [2] Lopez J, Roman R, Agudo I, et al. Trust management systems

for wireless sensor networks: Best practices[J]. Computer Communications, 2010, 33: 1086-1093

[3] Jøsang A, Ismail R. The Beta Reputation System[C]// 15th Bled Electronic Commerce Conference. Bled, Slovenia, June 2002: 41-55
 [4] Ganeriwal S, Srivastava M B. Reputation-based framework for high integrity sensor networks[C]// Proceedings of the 2nd ACM Workshop on Security of Ad-hoc and Sensor Networks (SASN'04). Washington DC, USA, 2004: 66-77
 [5] 肖德琴,冯健昭,杨波,等. 基于无线传感器网络的信誉形式化模型[J]. 计算机科学,2007,34(6):84-87,100
 [6] 谢福鼎,周晨光,张永,等. 应用主观逻辑的无线传感器网络信任更新算法[J]. 计算机科学,2011,38(9):50-54
 [7] Theodorakopoulos G, Baras J S. On Trust models and trust evaluation metrics for ad-hoc networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2006, 24(2): 318-328
 [8] 王良民,郭渊博,詹永照. 容忍入侵的无线传感器网络模糊信任评估模型[J]. 通信学报,2010,32(12):37-45
 [9] Ahmed M R, Huang Xu, Sharma D. A Novel Misbehavior Evaluation with Dempster-Shafer Theory in Wireless Sensor Networks[C]// MobiHoc'12. Hilton Head, South Carolina, USA, June 2012: 259-260
 [10] Yussoff Y M, Hashim H, Baba M D. Identity-based Trusted Authentication in Wireless Sensor Network[J]. International Journal of Computer Science Issues, 2012, 9(3): 1694-0814
 [11] Grawrock D. TCG specification architecture overview [EB/OL]. Technology Report. Trusted Computing Group Revision 1.4 (2007), http://www.trustedcomputinggroup.org/resources/tcg_architecture_overview_version_14, 2012
 [12] 张兴,黄强,沈昌祥. 一种基于无干扰模型的信任链传递分析方法[J]. 软件学报,2010,33(1):74-81
 [13] 数理统计编写组. 数理统计[M]. 西安:西北工业大学出版社,1997:42-49
 [14] 陈希孺,倪国熙. 数理统计学教程[M]. 合肥:中国科学技术出版社,2009:189-211
 [15] 杨光,印桂生,杨武,等. 无线传感器网络基于节点行为的信誉评测模型[J]. 通信学报,2009,30(12):18-26
 [16] 王卫生,张永. WSN 中一种高效鲁棒的对称认证方案[J]. 计算机工程与应用,2012,48(5):65-70
 [17] 蹇波,郭永辉,罗长远,等. 基于 ECC 的无线传感器网络密钥管理协议[J]. 计算机工程,2010,36(3):142-144

(上接第 55 页)

[4] Yeh M-K, Jiang J-R, Huang S-T. Adaptive splitting and pre-signaling for RFID tag anti-collision[J]. Computer Communications, 2009(32): 1862-1870
 [5] He Ming-xing, Hornig S-J, et al. A Fast RFID Tag Identification Algorithm Based on Counter and Stack[J]. Expert Systems with Applications, 2011(38): 6829-6838
 [6] Lai Yuan-Cheng, Lin C-C. Two Couple-Resolution Blocking Protocols on Adaptive Query Splitting for RFID Tag Identification [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2012(11): 1450-1463

[7] 丁治国,朱学永,等. 自适应多叉树防碰撞算法研究[J]. 自动化学报,2010,36(2):237-241
 [8] 张学军,蔡文琦,王锁萍. 改进型自适应多叉数防碰撞算法的研究[J]. 电子学报,2012,1:193-198
 [9] 樊文静,张姗姗,田智慧. 基于后退式二进制搜索的 RFID 防碰撞算法的研究[J]. 计算机应用与软件,2012,29(5):191-194
 [10] 张航,唐明浩,程晖. 改进的返回式二进制防碰撞算法[J]. 计算机工程与应用,2011,47(25):208-211
 [11] 冯娜,潘伟杰,李少波,等. 基于新颖跳跃式动态搜索的 RFID 防碰撞算法[J]. 计算机应用,2012,32(1):288-291