

应用主观逻辑的无线传感器网络信任更新算法

谢福鼎¹ 周晨光² 张 永² 杨东巍²

(辽宁师范大学城市与环境学院 大连 116029)¹ (辽宁师范大学计算机信息与技术学院 大连 116081)²

摘 要 为了解决基于信誉的传感器网络安全框架存在的信任更新失真问题,提出了基于主观逻辑的信任更新算法。首先,对基于信誉的安全框架的信任更新过程进行认知和分解,指出了信誉随机变量期望描述的信任无法完全反映节点当前的行为趋势是导致信任更新失真的主要原因。在此基础上给出了总体设计模型。然后,改进了基于信誉随机变量期望的信任更新,采用主观逻辑意见忽略当前行为趋势支持度低的信任更新,避免了描述长期行为趋势的信任更新在反映节点当前行为趋势时出现的失真。最后,通过仿真实验,证明了所提算法既可以描述节点的长期行为趋势,又可以在一定程度上反映节点当前的行为趋势。

关键词 无线传感器网络,主观逻辑,条件推理,信任更新,支持度

中图法分类号 TP393 **文献标识码** A

Trust Updating Algorithm Using Subject Logic in Wireless Sensor Network

XIE Fu-ding¹ ZHOU Chen-guang² ZHANG Yong² YANG Dong-wei²

(College of Urban and Environmental, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)¹

(College of Computer Information and Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116081, China)²

Abstract To solve the distortion of trust updating for Reputation-based Framework for Sensor Networks(RFSN), an algorithm of trust updating using subject logic was presented. Firstly, the process of trust updating in RFSN was recognized and decomposed. It was pointed out that the prime reason in the distortion of trust updating is the partial reflection of current behavior tendency of the node owing to the representation of trust in expectation of reputation variable, and the general design model was constructed. Then, the trust updating based on the expectation of reputation random variable was adjusted adaptively by importing the subject logic opinion to overlook the trust updating with comparatively weaker support about current behavior tendency so as to avoid the distortion caused by using long-term behavior tendency oriented trust updating to reflect the current behavior tendency of the node. Finally, by J-Sim, it was demonstrated that the presented algorithm could not only represent the node's long-term behavior tendency but also reflect the current behavior tendency to some extent.

Keywords Wireless sensor network, Subject logic, Conditional reasoning, Trust updating, Support

1 引言

无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)通常用于提供事件报告^[1]、农业监测^[2]、医疗检测^[3,4]、工业监测^[5,6]、煤矿瓦斯监测^[7]、环境监测^[8]等。它有一些独特之处,如受限制的电池供电、较高的节点部署密度、单向数据传输等。低廉的硬件成本使节点可以大量部署,但有限的硬件性能也为部署传统安全机制带来困难。安全因此成为无线传感器网络设计需要考虑的问题。

信任一般被认为是一种人或事物之间信赖的等级。许多工程模型都将信任的概念融入其中^[9]。对于无线传感器网络来说,信任用于衡量节点是否有能力提供需要的服务^[10-13]。信任管理需要许多节点合作完成,可以作为传统安全策略的

补充^[14,15]。结合信任机制是无线传感器网络服务及安全性能的主要设计目标之一。

目前有很多致力于将信任计算应用于无线传感器网络的研究。文献[16]提出了一种基于信誉的传感器网络安全框架(Reputation-based Framework for Sensor Networks, RFSN),即利用服从Beta分布的信誉随机变量的期望来描述信任,通过贝塔后验分布更新信誉随机变量。文献[17]通过对无线传感器节点进行信誉评估来改进信息融合与传输的可靠性,同时使用基于多路径数据传输的Reed-Solomon编码策略保证数据向基站的可靠传输。文献[18]针对减少簇型网络信任评估开销,提出了一种轻量级的基于组的信任管理机制,并从理论和模拟实验上证明了该算法比最新的信任管理机制节省存储、能量及通信开销。文献[19]将监测节点作为叶节点,将基

到稿日期:2010-10-02 返修日期:2011-03-22 本文受国家自然科学基金(10771092),辽宁省科技厅博士启动基金(20081079)资助。

谢福鼎(1965—),男,博士,教授,主要研究领域为数据挖掘、人工智能, E-mail: xiefd@sohu.com; 周晨光(1982—),男,硕士生,主要研究领域为无线传感器网络、信任计算; 张 永(1975—),男,博士,副教授,主要研究领域为无线传感器网络、信任计算; 杨东巍(1981—),男,硕士生,CCF会员,主要研究领域为无线传感器网络、信任计算, E-mail: ydw50@sohu.com(通信作者)。

站视为根节点,使用基于神经网络的学习算法,根据邻居节点报告的数据预测其它节点的监测数据,把预测数据和报告数据的不同用于更新信任值。文献[20]提出了一种基于信任代理的信誉管理机制,即通过将信誉及信任管理的开销限制在本地来避免额外的通信开销和时间延迟。文献[21]提出了一种基于高斯信任的信誉管理系统,它将监测到的连续事件作为信任反馈。文献[22]的信任管理采用分布式代理机制,代理节点利用看门狗机制观察节点并进行信任评估。文献[23-25]提出的信任模型用来防止恶意和沦陷节点成为簇头。文献[26]提出一种用云理论定义的风险信号,并构建基于该风险评估方法的无线传感器网络云信任模型。该模型考虑到无线传感器网络中节点动态上下文的不确定性,引入一种新的基于云理论的风险评估方法,并提出把风险和信任不确定性统一起来。文献[27]提出了一个基于信任的动态密钥分配方案。通过密钥分配,在基站与簇头之间、簇头与簇内节点之间建立了一条信任链,用以提供数据传输的安全路径。在文献[16]中,RFSN使用信誉随机变量期望描述信任的方法忽略了节点当前的行为趋势。本文提出了基于主观逻辑^[28]的信任更新算法,利用主观逻辑意见评估基于期望的信任是否能反映当前行为趋势。仿真实验表明,本文提出的算法能够在一定程度上同时反映节点的长期行为趋势与当前行为趋势。

2 概念描述

交易:节点间遵守一定网络通信协议,按照网络既定应用目的进行数据发送、数据接收、数据转发的行为称为交易。

随机试验 S :交易前检查交易对象 j 的信誉值 θ_j 处于某一区间的过程是一次随机试验。

随机事件 A_i :根据决策需要,查知节点 j 的信誉随机变量处于样本空间 $\Omega = \{\theta | \theta \in [0, 1]\}$ 中某一子区间的事件为随机事件。

事件域 F : A 为信誉样本空间 $\Omega = \{\theta | \theta \in [0, 1]\}$ 的子区间的全体。用 F 表示 A 的元素经过交集、余集和可列次并的运算及其反运算得到的集合的全体,称 F 是事件域。

3 RFSN 的信任更新

RFSN 通过更新信誉随机变量 θ 的后验分布来更新期望,进而达到更新信任值的目的。通过最新的交易结果,更新信誉随机变量取值的趋势。但这种趋势的更新并没有准确反映节点当前的行为趋势。本文提出基于主观逻辑的信任更新,利用支持度评价信誉随机变量取值期望所在区间的后验概率,来评价信任更新能否反映节点当前的行为趋势。

4 基于主观逻辑的信任更新

4.1 信誉期望描述信任的局限性

RFSN 信任更新是针对节点长期行为趋势的信任评估。节点的行为趋势是指信誉随机变量期望所表现的趋势,它能大体反映节点履行诚实或恶意行为的趋向。如果用随机变量 $\theta_j, j=1, 2, \dots, n$ 的一个取值落入某一区间来表示随机试验 S 中发生的随机事件 $A_i, A_i \in F$,那么随机试验 S 进行 n 次,将得到随机变量序列 $\{\theta_n\}$ 。 $\{\theta_n\}$ 中的随机变量互不相关, $\text{cov}(\theta_i, \theta_j) = 0 (i \neq j)$, $\mu_j = E(\theta_j)$, $\text{var}(\theta_j) \leq C, j=1, 2, \dots, n$, 其中 C 是常数。 ϵ 是随机变量,对任何 $\epsilon > 0$,由切比雪夫大数定

律,有:

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P(|\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \theta_j - \mu_j| \geq \epsilon) = 0 \quad (1)$$

根据大数定律的统计意义,当 n 充分大时, $\{\theta_n\}$ 的均值将比较紧密地围绕在其期望 μ_j 附近。式(1)中 θ_j 描述了一种趋势,即随机试验 S 进行无数次时,如果用随机变量 θ_j 的取值范围描述随机事件,那么 $\{\theta_n\}$ 均值的期望 μ_j 可以描述为事件域 F 中随机事件 A_i 出现的长期趋势,亦即节点 j 的长期行为趋势。但 μ_j 描述的长期趋势未必能准确描述随机序列中下一个随机变量的取值。RFSN 信任更新是对 μ_j 的更新,是从节点长期行为趋势出发的信任评估,它不能明确描述节点当前的行为趋势。

4.2 基于后验概率推理的当前行为趋势

RFSN 信任更新通过更新后验分布来更新信誉期望。如式(2)所示,服从贝塔分布的随机变量 θ 描述由节点 i 维护的 j 的信誉, $a(\theta)$ 是处于某一信誉区间的节点数占网络节点总数的基率。

$$a(\theta) = \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \theta^{\alpha-1} (1-\theta)^{\beta-1} \quad (2)$$

$\forall 0 \leq \theta \leq 1, \alpha \geq 0, \beta \geq 0$

贝塔分布有两个参数 α, β 。 $\Gamma(\cdot)$ 代表伽马分布,贝塔分布的均值是 $\alpha/(\alpha+\beta)$, 方差为 $\alpha\beta/((\alpha+\beta)^2(\alpha+\beta+1))$ 。服从二项分布的随机变量 $X \in \{0, 1\}$ 代表节点 i 对 j 的交易分级,1 代表交易成功,0 代表交易失败。给定节点 j 的信誉 θ , 则 i 与 j 交易成功或失败的概率为

$$P(X|\theta) = \theta^X (1-\theta)^{1-X} \quad (3)$$

节点 i 计算的关于 j 的信任值按下式计算:

$$T_{ij} = E[\theta_{ij}] = E[\text{Beta}(\alpha_j, \beta_j)] = \frac{\alpha_j}{\alpha_j + \beta_j} \quad (4)$$

交易完成后,使用后验分布更新 j 的信誉,如式(5)所示。

$$\begin{aligned} P(\theta | X) &= \frac{P(X|\theta)a(\theta)}{\int_{[0,1]} P(X|\theta)a(\theta)d\theta} \\ &= \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \cdot \theta^{\alpha+X-1} (1-\theta)^{\beta+1-X-1} \end{aligned} \quad (5)$$

然后更新 Beta 分布的参数,如式(6)所示。其中 p 按式(2)计算。最后,更新信任值 T_{ij}^{new} 如式(7)所示。

$$\alpha_j^{\text{new}} = \alpha_j + p \quad \beta_j^{\text{new}} = \beta_j + 1 - p \quad (6)$$

$$T_{ij}^{\text{new}} = E[\theta_{ij}^{\text{new}}] = E[\text{Beta}(\alpha_j^{\text{new}}, \beta_j^{\text{new}})] = \frac{\alpha_j^{\text{new}}}{\alpha_j^{\text{new}} + \beta_j^{\text{new}}} \quad (7)$$

基于期望的信任更新利用交易结果更新信誉随机变量服从的后验分布来更新其期望,从而更新信任值。而不是通过对随机变量 θ 取一次具体值 θ_i 的概率 $P(\theta = \theta_i | X = x_i)$ 预测随机事件 A_i 发生的可能性。如果随机试验前,对 j 的信誉随机变量 θ_j 赋值,给定最新的交易结果值 x_i ,则按照式(5)计算的后验概率代表节点 j 的信誉值 θ_j 处于某一区间,这一行为趋势确实导致交易结果随机变量 X 取值 x_i 的概率。

例1 节点 i 根据以往与 j 的交易记录对节点 j 的两级信誉评价如下:

$$\theta_1: 0.0-0.5; \theta_2: 0.6-1.0$$

交易结果分为:

$X=0$, 交易成功; $X=1$, 交易失败。

给定信誉区间的交易成功或失败的条件概率,如表1所列。

表1 条件概率:给定信誉区间的交易结果

先验概率	x_1 交易成功	x_2 交易失败
$P(X \theta_1)$	$P(x_1 \theta_1)=0.25$	$P(x_2 \theta_1)=0.75$
$P(X \theta_2)$	$P(x_1 \theta_2)=0.75$	$P(x_2 \theta_2)=0.25$

基率如下: $a(\theta_1)=0.2, a(\theta_2)=0.8$ 。按照式(3)得到后验概率,如表2所列。

表2 条件概率:给定交易结果的信誉区间

信誉区间	$P(\theta x_1)$ 交易成功	$P(\theta x_2)$ 交易失败
$\theta_1: 0.0-0.5$	$P(\theta_1 x_1)=0.08$	$P(\theta_1 x_2)=0.43$
$\theta_2: 0.6-1.0$	$P(\theta_2 x_1)=0.92$	$P(\theta_2 x_2)=0.57$

但上面的概率推理可能带来误导,因为它隐藏了某种不确定性。这种不确定性是指按照后验概率推理,代表节点行为趋势的信誉随机变量取值期望所在区间的概率,不一定能真实描述节点的行为趋势。这种不确定性源于基率的取值。使用主观逻辑意见可以明确地表达这种不确定性。

4.3 主观逻辑意见

主观逻辑使用了与后验概率推理相类似的过程,但明确表达了后验概率推理的不确定性,并给出了支持度。主观逻辑使用主观逻辑意见进行推理,主观逻辑意见表示如图1所示, $i=1,2,\dots,n$ 。

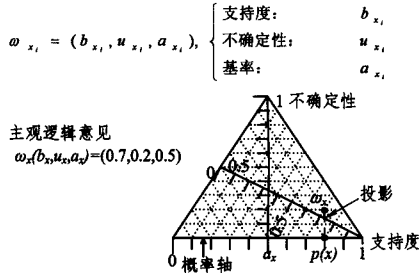


图1 主观逻辑意见

在图1中,点 a_x 代表基率 $a(\theta)$,点 ω_x 代表主观逻辑意见,其在概率轴的投影 $E(\omega_x)=p(x)$ 。支持度和不确定性满足式(8)的约束:

$$u_x + \sum_{x=1}^k b_x(x_i) = 1 \quad (8)$$

定义概率期望如式(9)所示:

$$E(\omega_{x_i}) = P(x_i) = b_{x_i} + u_{x_i} a_{x_i} \quad (9)$$

概率期望满足条件如式(10)所示:

$$E_x(\phi) = 0, \sum_{x \in X} E_X(x) = 1 \quad (10)$$

后验概率信任更新是基于基率 $a(\theta)$ 的,基率的变化会影响信任更新。例如,给出先验概率 $P(x_1|\theta_2)=0.9999, P(x_1|\theta_1)=0.001$ 。并给出 θ_1 两个基率, $a_A(\theta_1)=0.01, a_B(\theta_1)=0.0001$,即两个传感器网络A,B中处于信任区间 θ_1 的节点数占各自节点总数的比例分别为1%和0.01%。那么,按照 $a_A(\theta_1), a_B(\theta_1)$ 两种基率,由式(5)会得到 θ_1 的两个不同后验概率: $P(\theta_A|x_1)=0.9099; P(\theta_B|x_1)=0.0909$ 。因此,基率的不同将会在很大程度上影响后验概率推理的结果。按照式(11)、式(12)更新基率。

$$a(\theta_1) = \frac{C_1}{B_x} \quad (11)$$

$$a(\theta_2) = \frac{C_2}{B_x} \quad (12)$$

式中, C_1 是网络中信誉值处于区间 θ_1 的节点数, C_2 是信誉值处于区间 θ_2 的节点数, B_x 为节点总数。

4.4 使用支持度决定信任更新有效性

主观逻辑信任更新利用后验概率推理得出节点的当前行为趋势,并明确地表达后验概率推理隐藏的不确定性。下面使用主观逻辑推理对例1重新描述如下。

例2 节点 i 对 j 的两级信誉评价如下:

$\theta_1: 0.0-0.5; \theta_2: 0.6-1.0$

给出基率式(13):

$$\omega_x = \begin{cases} a(x_1)=0.2 \\ a(x_2)=0.8 \end{cases} \quad (13)$$

按照式(14),得到表3。

$$E_{X|\Theta}(x_i|\theta_j) = P(X|\Theta) = b_{X|\theta_j}(x_i) + a_{X|\theta_j}(x_i)u_{X|\theta_j} \quad (14)$$

表3 主观逻辑意见:给定信誉区间的交易结果

$E(x_i \theta_j)=P(X \Theta)$	x_1 交易成功	x_2 交易失败	X 不确定性
$P(X \theta_1):$	$b(x_1)=0.25$	$b(x_2)=0.75$	$u=0$
$P(X \theta_2):$	$b(x_1)=0.75$	$b(x_2)=0.25$	$u=0$

按照表3,由式(15)、式(16),其中 $l=2; i=1,2; j=1,2$,得到表4。

$$E(\theta_j|x_i) = \frac{a(\theta_j)E(\omega_{X|y_i}(x_i))}{\sum_{j=1}^l a(\theta_j)E(\omega_{X|y_i}(x_i))} \quad (15)$$

$$\omega_{\Theta|x_i} = \begin{cases} b_{\Theta|x_i}(\theta_j) = E_{\Theta|X}(\theta_j|x_i) - a_{\Theta|x_i}(\theta_j)u_{\Theta|x_i} \\ u_{\Theta|x_i} = u_{\Theta|x_i}^t \\ a_{\Theta|x_i} = a_{x_i} \end{cases} \quad (16)$$

式中,找到支持度 $b_{\theta_j|x_i}=0$ 的主观逻辑意见 $\omega_{\theta_j|x_i}$,即可按式(17)求出 $u_{\Theta|x_i}^t$,如图2所示。

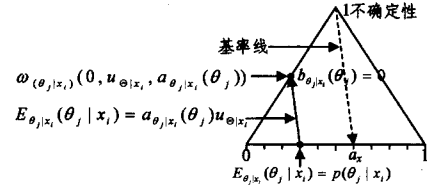


图2 求解不确定性的主观逻辑意见

$$u_{\Theta|x_i}^t = \frac{E_{\theta_j|x_i}(\theta_j|x_i)}{a_{\theta_j|x_i}(\theta_j)} \quad j=1,2 \quad (17)$$

表4 主观逻辑意见:给定交易结果的信誉区间

信誉支持度与不确定性	$P(\theta x_1)$ 交易成功	$P(\theta x_2)$ 交易失败
$\theta_1(0.0-0.5)$	$b(\theta_1)=0.00$	$b(\theta_1)=0.29$
$\theta_2(0.5-1.0)$	$b(\theta_2)=0.60$	$b(\theta_2)=0.00$
Θ 不确定性	$u=0.40$	$u=0.71$

按照表2,给定最近一次交易成功,如果按照式(6)和式(7),将 θ 的取值区间设为信任值 T_{ij}^{new} (例如 $T_{ij}^{new}=0.7$)所在的区间,则 $P(\theta_2|x_1)=0.92$ 的意义是随机变量 θ 取值期望所在的区间导致交易成功的概率,它代表节点的当前行为趋势。由表4,其对应的支持度 $b(\theta_2)=0.60$,相对于 θ 在区间 θ_1 取值 $P(\theta_1|x_1)=0.08$ 、支持度 $b(\theta_1)=0.00$ 的情况, θ 取值期望所在区间的后验概率和支持度均较大,说明信誉随机变量的期望可以代表节点当前的行为趋势。

给定最近一次交易失败,如果将 θ 的取值区间设为信任值 T_{ij}^{new} (例如 $T_{ij}^{new}=0.7$)所在的区间,如表2所列,则 $P(\theta_2|x_2)=0.57$ 的意义是 θ 的期望所在区间导致交易失败的概率,它代表节点的当前行为趋势。根据表4,其对应的支持度 $b(\theta_2)=0.00$,相对于 θ 在区间 θ_1 取值 $P(\theta_1|x_2)=0.43$ 、支持度为 $b(\theta_1)=0.29$ 的情况, θ 取值期望所在区间的后验概率较大,但支持度较小。说明信誉随机变量的期望不能完全反映

节点当前的行为趋势,则此次信任更新无效。

4.5 算法描述

算法伪代码:

```
{
For i=1 to n{
    Step1 节点 i 计算表 2、表 3 和表 4 的主观逻辑意见;
    1) 给定表 1 和最新的交易结果,根据文献[16]按式(3)、式(5)计算后验概率得到表 2;
    2) 按式(11)、式(12)更新信誉区间  $\theta_1$  与  $\theta_2$  的基率;
    3) 根据文献[28],给定表 1,按照式(14)得到表 3 的主观逻辑意见;
    4) 给定最新结果,根据文献[28],按式(15)一式(17)得到表 4 的主观逻辑意见;
    Step2 利用主观逻辑评估信任更新的有效性;
    1) 根据文献[16],按式(2)和式(5)对 Beta 分布的两个参数进行更新,按照式(6)更新期望描述的信任值  $T_{ij}^{ew}$ ;
    2) 如果  $T_{ij}^{ew}$  落入  $\theta_1$  或  $\theta_2$  两个区间中的一个,则按表 2 判断其落入区间的后验概率是否最大;
    3) 由表 2 和表 4,如果信任更新  $T_{ij}^{ew}$  落入区间的后验概率较大且支持度较高,则  $T_{ij}^{ew}$  生效。如果  $T_{ij}^{ew}$  落入的信誉区间概率期望较大,但支持度较低,则  $T_{ij}^{ew}$  无效。
}
```

5 仿真实验及分析

5.1 仿真环境

两种信任更新算法已经在 J-Sim1.3 patch4 仿真平台上实现。仿真实验中,在 100×200 的区域内随机部署 150 个节点,初始能量为 1.0。MAC 层采用 802.15.4 协议,网络层采用 LEACH 协议,信任管理系统采用 RFSN 框架。对比试验从信任更新轨迹和能量消耗两个方面对后验分布信任更新和主观逻辑信任更新进行对比。然后分析了试验中主观逻辑意见各成分的变化关系及其对信任更新的影响。仿真运行 240 轮,得到如下结果。

5.2 信任更新及支持度

两种信任更新及其支持度如图 3 所示。图中每轮的两个数据柱其右面代表长期趋势支持度,即信誉随机变量取其期望所在信誉区间的后验概率支持度;左面代表当前趋势支持度,即信誉随机变量取其它信誉区间的后验概率支持度。当右面的数据柱高时,两种更新算法的更新轨迹相同。当左面的数据柱高时,表示长期行为趋势偏离当前行为趋势,主观逻辑信任更新不予支持,更新轨迹不重叠。由图中可以看出,主观逻辑信任更新在更新前,首先检查支持度,当前信誉区间支持度大的更新将被支持,反之则维持节点当前信任评估值。利用支持度可以明确表达由于基率变化而导致的后验概率信任更新失真。对比两种更新算法,主观逻辑信任更新算法在长期行为趋势的基础上,更好地反映了节点的当前行为趋势。

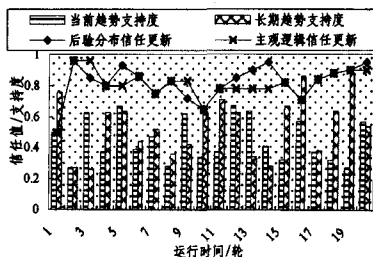


图 3 信任更新轨迹与支持度

5.3 基率变化引起的不确定性变化

如图 4 所示,给定交易成功或失败,概率期望 1 为式(16)中用于计算不确定性的概率期望,概率期望 2 为支持度不为 0 的概率期望。主观逻辑意见的各个成分如图 4 所示。如式(9)所示,在支持度为 0 的情况下,随着基率增大,概率期望 1 增大,不确定性也增大,说明基率变大可能导致后验推理的不确定性变大。图 4 中不确定性与支持度的变化成反比,表明支持度可以有效度量基于期望的信任更新,反映当前行为趋势的不确定性。在同一次随机试验中,不同的基率可以由相同的不确定性反映,再得出不同概率期望的不同支持度。因此,主观逻辑意见可以更好地表现基率变化对后验概率推理的影响。同时,支持度可以根据不确定性对后验概率推理结果做出评价。

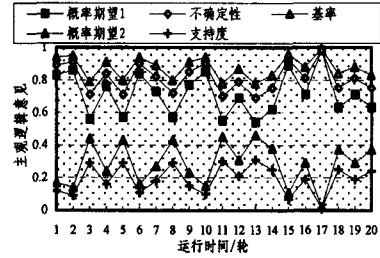


图 4 基率与不确定性

5.4 能量消耗对比

图 5 显示两种信任更新算法的能耗基本相当。主观逻辑信任更新能耗之所以较高,是因为评估节点当前的行为趋势要计算表 2、表 4 的主观逻辑意见。但由于主观逻辑意见的计算量不大,因此能耗与后验分布信任更新的能耗相当。

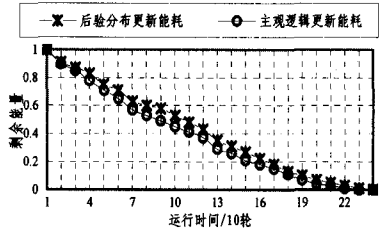


图 5 能量消耗

结束语 本文针对 RFSN 后验分布信任更新失真的情况,提出了基于主观逻辑的信任更新算法。该算法解决了 RFSN 使用信誉随机变量期望描述信任无法有效反映节点当前行为趋势的问题。最后,通过仿真实验的方式,表明算法能利用支持度评估节点信任值代表的长期行为趋势是否能反映节点当前的行为趋势,来决定信任更新是否有效。该算法适用于对节点当前行为趋势评估要求不严格的信任管理系统。对于利用信誉期望所在区间作为随机变量取值得到的后验概率支持度较低的情况,算法无法再对节点当前的行为趋势进行信任评估。所以,如何利用主观逻辑推理对偏离当前行为趋势的信任更新进行矫正,成为我们下一步将要研究的重点。

参考文献

- [1] Manolakos E S, Logaras E, Paschos F. Wireless Sensor Network Application for Fire Hazard Detection and Monitoring [J]. Sensor Applications, Experimentation, and Logistics, 2010, 29: 1-15
- [2] Mei Nian, Yuan Yi-ping. A Technical Framework for Designing Wireless Sensor Networks for Agricultural Monitoring in Xin-

- Jiang Regions [C] // Wang Qiong, ed. Second International Workshop on Education Technology and Computer Science. Washington DC, USA; IEEE Computer Society, 2010, 29: 421-424
- [3] Alexander P, Fritz M, Ulli M. Deployment of a wireless sensor network to support and optimize logistical processes in a clinical environment [C] // Higuera A G, ed. RFID- SysTech 2010; European Workshop on Smart Objects, Systems, Technologies and Applications. Berlin, German; Vde Verlag Press, 2010; 7
- [4] Wu Yung-cheng, Lai T-Y, Lin T-S. A WSN-based wireless monitoring system for intradialytic hypotension of dialysis patients [C] // Mukhopadhyay S C, ed. 2009 IEEE Sensors. Piscataway NJ, USA; IEEE Press, 2009; 1959-1962
- [5] Akhondi M R, Talevski A, Carlsen S. Applications of Wireless Sensor Networks in the Oil, Gas and Resources Industries [C] // Takizawa M, ed. 24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications. Washington DC, USA; IEEE Computer Society, 2010; 941-948
- [6] Hammoodi I S, Stewart B G, Kocian A. et al. Wireless sensor networks for partial discharge condition monitoring [C] // Al-Tai M, ed. The 44th International Universities Power Engineering Conference (UPEC). Piscataway NJ, USA; IEEE Press, 2009; 1-5
- [7] Li Mo, Liu Yun-hao. Underground coal mine monitoring with wireless sensor networks[J]. ACM Transactions on Sensor Networks(TOSN), 2009, 5(2): 10
- [8] Wang Ji, Ren Xiao-li, Shen Yu-li, et al. A Remote Wireless. Sensor Networks for Water Quality Monitoring [C] // Burt G M, Bell K, eds. International Conference on Innovative Computing and Communication and Asia-Pacific Conference on Information Technology and Ocean Engineering. Washington DC, USA; IEEE Computer Society, 2010; 7-12
- [9] Hoffman L J, Lawson-Jenkins K, Blum J. Trust Beyond Security: An Expanded Trust Model[J]. Comm. ACM, 2006, 49(7): 95-101
- [10] Pirzada A A, McDonald C. Establishing Trust in Pure Ad-Hoc Networks[C] // Estivill-Castro V, ed. Proc. 27th Australasian Computer Science Conf(ACSC'04). Sydney, Australia; Australian Computer Society, 2004; 47-54
- [11] Sun Y L, Yu W, Han Z, et al. Information Theoretic Framework of Trust Modeling and Evaluation for Ad Hoc Networks[J]. IEEE J. Selected Areas in Comm. , 2006, 24(2): 305-317
- [12] Shaikh R A, Jameel H, Lee S, et al. Trust Management Problem in Distributed Wireless Sensor Networks[C] // Lee I, Leung J, eds. Proc. 12th IEEE Int'l Conf. Embedded Real-Time Computing Systems and Applications(RTCSA'06). Washington DC, USA; IEEE Computer Society, 2006; 411-414
- [13] Momani M, Challa S, Aboura K. Modelling Trust in Wireless Sensor Networks from the Sensor Reliability Prospective[C] // Delft T U, ed. The Second International Joint Conferences on Computer, Information, and Systems Sciences, and Engineering (CISSE 2006). New York, USA; Springer-Verlag, 2006; 317-321
- [14] Shi E, Perrig A. Designing Secure Sensor Networks[J]. IEEE Wireless Comm. , 2004, 11(6): 38-43
- [15] Ng H S, Sim M L, Tan C M. Security Issues of Wireless Sensor Networks in Healthcare Applications [J]. BT Technology J, 2006, 24(2): 138-144
- [16] Ganeriwal S, Balzano L K, Srivastava M B. Reputation-based Framework for High Integrity Sensor Networks [J]. ACM Transactions on Sensor Network(TOSN), 2008, 4(3): 15: 1-37
- [17] Ozdemir S. Functional reputation based reliable data aggregation and transmission for wireless sensor networks[J]. Computer Communications, 2008, 31(17): 3941-3953
- [18] Shaikh R A, Jameel H, d'Auriol B J. Group-based Trust Management Scheme for Clustered Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2009, 20(11): 1698-1712
- [19] Mukherjee P, Sen S. Using learned data patterns to detect malicious nodes in sensor networks [C] // Rao S, ed. Proceedings of the 9th International Conference on Distributed Computing and Networking. Berlin Heidelberg; Springer-Verlag, 2008; 339-344
- [20] Boukerch A, Xu L, EL-Khatib K. Trust-based security for wireless ad hoc and sensor networks [J]. Computer Communications, 2007, 30(11/12): 2413-2427
- [21] Momani M, Challa S. GTRSSN; Gaussian Trust and Reputation System for Sensor Networks[J]. Advances in Computer and Information Sciences and Engineering, 2008(18): 343-347
- [22] Chen Hai-guang, Wu Hua-feng, Hu Jin-chu, et al. Agent-based Trust Management Model for Wireless Sensor Networks[C] // Kim S S, ed. International Conference on Multimedia and Ubiquitous Engineering. Washington D C, USA; IEEE Communications Society, 2008; 60-69
- [23] Crosby G V, Pissinou N, Gadze J. A Framework for Trust-based Cluster Head Election in Wireless Sensor[C] // Boukerche A, ed. Proceedings of the Second IEEE Workshop on Dependability and Security in Sensor Networks and Systems(DSSNS'06). Piscataway NJ, USA; IEEE Press, 2006; 10-22
- [24] Crosby G V, Pissinou N. Cluster-based Reputation and Trust for Wireless Sensor Networks[C] // Fish R, ed. Consumer Communications and Networking Conference(CCNC). Piscataway NJ, USA; IEEE Press, 2007; 604-608
- [25] Yan Li, Pan Yun, Zhang Jian-peng. Trust Cluster Head Election Algorithm Based on Ant Colony Systems[C] // Kahaner D, ed. Third International Joint Conference on Computational Science and Optimization. Washington DC, USA; IEEE Computer Society, 2010; 419-422
- [26] 马彬, 谢显中. 无线传感器网络云信任模型[J]. 计算机科学, 2010, 37(3): 128-132
- [27] Peng Jun, Fan Yan-fen, Jiang Fu. Communication Scheme in Trusted Sensor Network [C] // Li Z T, ed. The Second International Conference on Networks Security, Wireless Communications and Trusted Computing. Washington D C, USA; IEEE Computer Society, 2010; 10-13
- [28] Josang A. Conditional Reasoning with Subjective Logic[J]. Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing, 2008, 15(1): 5-38