

一种无线传感器网络中多应用系统级分布式接入控制策略^{*})

袁 勇 杨宗凯 程文青 何建华

(华中科技大学电子与信息工程系 武汉 430074)

摘 要 本文从无线传感器网络中多应用场景下的能量管理问题出发提出了一个系统级分布式接入控制策略。其目的为在一定的网络初始配置能量的前提下最大化总用户收益期望值。在设计该策略时,本文将多应用接入控制问题抽象成为一个特殊的“动态随机背包问题”,并采用相关理论对该问题建立了模型。为了求解这一模型,本文还提出了一个估计应用 Reward 及 Cost 联合概率分布的方案。并采用相关算法对该模型进行了求解,并据此设计了最优系统级分布式接入控制策略。经实验表明,本文提出的分布式接入控制策略能在各种网络初始能量配置下获取显著的总用户收益期望值的提高。另外,经实验还发现可以采用一个最优阈值的“阈值准则”来获取次优的接入控制效果,从而大大简化最优接入控制策略的设计。

关键词 无线传感器网络,分布式接入控制,动态随机背包问题

System Level Distributed Admission Control Scheme for Wireless Sensor Networks in the Presence of Multiple Applications

YUAN Yong YANG Zong-Kai CHEN Wen-Qing HE Jian-Hua

(Department of Electronics and Information, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract The system level distributed admission control scheme for wireless sensor network (WSN) in the presence of multiple applications is developed. The objective of the admission control scheme is to gain the maximum expected overall reward under the residual energy constraint of the network. In order to design the admission control scheme, the problem of admission control for multiple applications is abstracted as a dynamic and stochastic knapsack problem. The related theory is employed to model the problem. A scheme to estimate the joint probability distribution of the Reward and Cost of the applications is proposed, which is needed in solving the problem. Then, the related algorithms are used to solve the problem. Based on the result, the system level distributed optimal admission control scheme is developed. The experimental results show that the obvious improvement on the expected overall reward is gained by the admission control scheme in all the investigated scenarios. In addition, an optimal threshold policy is found to gain the sub-optimal expected overall reward in the experiments, which can simplify the design of optimal admission control greatly.

Keywords Wireless sensor network, Distributed admission control, Dynamic and stochastic knapsack problem

1 引言

无线传感器网络是由众多能量受限的结点以自组织方式构成的网络。由于无线传感器网络结点能量是有限的,又很难考虑充电问题,节省能量以延长网络生命周期就成为无线传感器网络设计时的关键问题^[1~6]。现有针对无线传感器网络的节能设计主要关注的是单应用情况下的相关技术包括:单个节点上的节能技术,如动态电压缩放(DVS)^[1]、节能 DSP 算法设计等^[2];一对节点间传输时的无线通信技术,如调制缩放(Modulation Scaling)^[3]、协作式 MIMO^[4]等;及从整网角度出发的节能技术,如节能路由^[5]、拓扑管理^[6]等。而见报道的针对无线传感器网络中多应用场景下的节能技术还比较少。

事实上无线传感器网络是有多应用特点的。这主要体现在下面两个方面:首先,在无线传感器网络的设计中一个节点可能配有多种传感器,如 Rockwell WINS 的传感器节点上就带有振动、声音、磁场、温度、压力等多种传感器^[7],网络一旦配置后就可以支持多类传感数据的采集。其次,在实际的无线传感器网络中往往有多应用共存的需求。例如:在火灾监测应用中就需要在不同的时间段从不同的区域内收集各种类型的数据,而 Sink 的位置可能是固定的,也可能是变化的。

在多应用的场景下,除了要考虑采用前面所提到的节能技术以节省网络能量开销外,还要考虑由于多个应用共存所带来的新问题。例如各种应用所需要的能量代价往往是不一样的,所采集到数据的价值也是不一样的,必须考虑对各个应用的接入控制问题,以根据各应用的价值、代价及当时网络的能量状况确定是否执行该应用,以使得在网络的生命期内尽可能获取有价值的信息。

本文考虑了无线传感器网络中多应用场景下的接入控制问题,设计了一种针对多应用的系统级分布式接入控制策略。在该策略中我们考虑的无线传感器网络是连续监测(Continuous Monitoring)型的传感网络,每个应用被抽象为需要从源节点集合 $V_s = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ 中采集数据并传输给 Sink,每个节点 S_i 的采集速率为 R_i pps(Packets Per Second),采集时间为 T 秒。网络一旦布置下去后,随着时间的推移,各种不同的应用请求随机动态到来,这些应用可能来自于同一个 Sink,也可能来自于不同的 Sink。我们的接入控制策略的目标是根据每个应用的价值和代价及网络当时的状况决定是否接入该应用,以使得在网络的生命期内获得尽可能大的价值。

为了设计该策略,我们首先需要对无线传感器网络的生命期及网络剩余能量进行定义。在本文中,我们定义无线传感器网络的生命期为从网络初始布置后到出现一个节点死亡

^{*}) 本研究受国家自然科学基金项目支持,项目编号:60200205。

之间的时间长度。根据这一生命期的定义,定义网络的剩余能量(Remain energy)为网络当前所有节点的剩余能量的最小者。另一方面,我们需要对应用的价值及代价有一个定量的描述。为了描述应用的价值,我们为每个应用定义了用户收益(Reward),Reward 主要反映应用所采集数据的价值。假设应用的 Reward 与所涉及到的源节点离请求应用的 Sink 之间的平均距离 d ,源节点个数 n_s ,及要求的平均采集速率 R 有关,我们定义了一个用户收益函数 $Re(d, n_s, R)$ 来确定应用的 Reward。而应用的代价(Cost)则定义为执行该应用后网络剩余能量的减少值。对同一个应用而言,不同的传输方案所需的能量代价是不一样的。我们在文[8]中提出了一个基于凸优化模型的最优传输方案以使应用的能量代价最小,因此我们这里所指的网络剩余能量的减少值是指按该最优传输方案执行应用后的网络剩余能量减少值。在这样定义的前提下,我们的多应用接入控制策略可以定义为:给定一定的网络剩余能量 n_0 ,如何在网络的生命期内针对一系列应用请求 $\{a_i\}$ (应用可能来自于同一个 Sink,也可能来自不同的 Sink)作出合理的接入控制,以获取尽可能大的平均总用户收益。在本策略中,涉及到的关键问题有下面两个:1)将来可能发生的应用是不可预知的,而需要在这样的场景下获取最大的平均总用户收益;2)不存在一个中心节点来专门负责接入控制,接入控制策略应该是分布式的。为了在一系列不可预知的应用中,作出合理的接入控制以确保在网络的生命期内获得尽可能大的平均总用户收益,我们将多应用的接入控制问题抽象成为一个特殊的“动态随机背包问题”(Dynamic and stochastic knapsack problem),并根据相关理论对该问题进行了建模。为了求解这一模型,我们还设计了估计应用 Reward 和 Cost 的联合概率分布 $P(r_i, c_i)$ 的方案。最后根据已有的相关算法对该问题进行了求解^[9],并设计了最优接入控制策略。

与本文研究工作比较相近的工作是 A. Boulis 等人提出的节点级多应用能量管理策略^[10]。A. Boulis 等人的思路是从应用 Reward 中提取出参与应用的各节点的任务 Reward,再根据该节点的当前能量状况及执行该任务的能量代价(Cost)来决定该任务是否接入。若参与应用的一个节点拒绝接入该任务,则整个应用被拒绝接入。与之不同的是,我们这里把网络作为一个整体来考虑应用是否应该得到接入,从而能更好地反映网络实际情况并能更大程度地提高所获得的平均总用户收益。

本文第 2 部分叙述了建立多应用系统级分布式接入控制策略的过程;在第 3 部分给出了实验结果并进行了讨论;最后对全文进行了总结并给出了今后的研究方向。

2 多应用系统级分布式接入控制策略

本节将叙述多应用系统级分布式接入控制策略的设计过程。在 2.1 节中我们将接入控制问题抽象成为一个特殊的“动态随机背包问题”,并对其进行了建模。为了求解这一模型,我们在 2.2 节中估计出了必需的应用 Reward 及 Cost 的联合概率分布 $P(r_i, c_i)$ 。根据 2.1 节及 2.2 节的结果,在第 2.3 节中利用已有算法对该模型进行了求解,并据此提出了针对多应用的分布式接入控制策略。

2.1 接入控制问题的抽象及模型建立

由第 1 节所述,接入控制策略的关键问题在于应用的发生是动态的,而各应用的 Reward 及 Cost 在应用到来之前是

未知的。因此需要在这样的情况下,对每个到来的应用作出接入与否的判决,以使得在网络的生命期内获取最大的平均总用户收益。为了求解这一问题,我们采用了类似文[10]的思路即把问题抽象成一个“动态随机背包问题”。

“背包”问题指的是:给定一组尺寸和价值分别为 W_1, W_2, \dots, W_n 和 R_1, R_2, \dots, R_n 的若干物体,和容量为 C 的背包。要求找出这 n 个物体的一个子集,使其尽可能地填满容量为 C 的背包,且使得背包内所装物体的总价值最大。若在“背包”问题中,物体的到达是动态随机的,而物体的尺寸和价值在物体到达之前是未知的,而希望设计一套策略以决定是否装入各到达的物体,以在装满背包的时候能获取最大的总期望价值,则称这一“背包”问题为“动态随机背包问题”^[11]。Kleyweget 等人深入地研究了“动态随机背包问题”并提出了相应的求解算法^[11,12]。Kleyweget^[12]等人提出的“动态随机背包问题”还包括了一些附加的选项,如考虑不装入某物体的惩罚(penalty),存储代价(hosting cost),价值折扣率(discount rate)及期限(deadline)等。

本文所考虑的多应用接入控制问题就是一类特殊的“动态随机背包问题”。其中,“背包”的容量就是网络剩余能量,“物体”就是所考虑的应用,“物体的尺寸”就是应用的 Cost,而“物体的价值”就是应用的 Reward。是否接入某应用就相当于是否装入某物体。在我们所考虑的问题中,应用的到来是动态随机的,而其 Reward 及 Cost 在应用到来前是未知的,与 Kleyweget^[12]等人提出的“动态随机背包问题”类似,同样,为了避免接入控制策略始终等待接入 Reward 最大、Cost 最小的应用,我们也引入了“惩罚”的概念,并将惩罚值设为应用的 Reward,即如果一个应用的 Cost 小于网络剩余能量,而又没有得到接入,则网络的总用户收益需要减去该应用的 Reward。但我们在这里不需要考虑存储代价,价值折扣率及期限等问题。

根据上面的分析,我们可以给出多应用接入控制问题的数学描述,设网络的剩余能量为 n ,已获得的总用户收益为 R ,这时产生了一个待接入应用,该应用的 Reward 及 Cost 分别为 r 和 c ,在应用发生之前 r 和 c 的具体值是未知的,但其联合概率密度函数 $p(r, c)$ 是可以估计得到的。根据接入控制策略 $W(r, c, n)$ 对该应用接入($W(r, c, n)=1$)还是拒绝($W(r, c, n)=0$)的决定,总用户收益和网络剩余能量按下面的方式进行改变:

$$R = \begin{cases} R+r, & W(r, c, n)=1 \\ R-r, & W(r, c, n)=0 \& c \leq n \\ R, & W(r, c, n)=0 \& c > n \end{cases} \quad (1)$$

$$n = \begin{cases} n-c & W(r, c, n)=1 \\ n & W(r, c, n)=0 \end{cases} \quad (2)$$

由前所述应用的产生是动态随机的,其 Reward 及 Cost 也是随机的。因此,网络每次具体运行实例都是随机过程的一个具体实现,每次所获得的总用户收益都是随机的。因此我们的问题应该是寻求最优的接入控制策略 $W_{opt}(r, c, n)$,使得总用户收益的期望值最大。

若假设网络初始配置时,各节点的初始能量均为 n_0 ,即初始的网络剩余能量为 n_0 。定义 $V_w(n_0)$ 为采用接入控制策略 $W(r, c, n)$ 时所能获得的期望总用户收益,则根据文[10], $V_w(n_0)$ 应满足下面的递推公式:

$$V_w(n_0) = P(\text{app i accepted}) \cdot \{E[r_i | \text{app i accepted}] + E[V_w(n_0 - c_i) | \text{app i accepted}]\} + P(\text{app i$$

$$\text{rejected}) \cdot V_w(n_0) - P(\text{app i rejected and } n_0 \geq c_i) \cdot E[r_i | \text{app i rejected and } n_0 \geq s_i] \quad (3)$$

我们可以将 (r, c) 平面分为下面三个区域:

$$\Phi_{1n} = \{(r, c) | W(r, c, n) = 1\}$$

$$\Phi_{2n} = \{(r, c) | W(r, c, n) = 0 \quad c \leq n\}$$

$$\Phi_{3n} = \{(r, c) | W(r, c, n) = 0\}$$

这三个区域的划分是和网络的剩余能量 n 及 $W(r, c, n)$ 有关的,其中 $\Phi_{2n} \subset \Phi_{3n}$ 。

根据这三个区域及 r, c 的联合概率密度函数 $p(r, c)$,式(3)可以写作:

$$V_w(n_0) = \frac{\int_{(r,c) \in \Phi_{1n_0}} (r + V_w(n_0 - c)) p(r, c) dr dc - \int_{(r,c) \in \Phi_{2n_0}} r p(r, c) dr dc}{(1 - \int_{(r,c) \in \Phi_{3n_0}} p(r, c) dr dc)} \quad (4)$$

为了便于数值计算,我们可以将 (r, c) 可能出现的区域划分为多个网格,并统计应用的 r, c 在各网格内出现的概率,从而得到离散的概率分布 $P(r_i, c_i)$ 。根据这一离散的概率分布,可以将式(4)简化为下面的递推式:

$$V_w(n_0) = \frac{\sum_{(r_i, c_i) \in \Phi_{1n_0}} (r_i + V_w(n_0 - c_i)) P(r_i, c_i) - \sum_{(r_i, c_i) \in \Phi_{2n_0}} r_i P(r_i, c_i)}{(1 - \sum_{(r_i, c_i) \in \Phi_{3n_0}} P(r_i, c_i))} \quad (5)$$

若接入策略 $W(r, c, n_0)$ 与 $V_w(n_0)$ 无关,如采用 $Accept$ if $r/c > th$ 的“阈值准则”;或采用“全部接入准则”(即不考虑接入控制的问题)。则式(5)的求解就是一个递推公式,且由于 $V_w(0) = 0$,可以很容易地递推得到 $V_w(n_0)$ 。

但是正如文[10]中所述,最优的接入控制策略 $W_{opt}(r, c, n_0)$ 往往是与 $V_w(n_0)$ 有关的。假设按照最优接入策略得到的总用户收益期望值为 $V_{w_{opt}}(n_0)$ 。这时产生了一个应用,其Reward及Cost分别为 r 和 c ,且 $(c < n)$ 。若接入这个应用,则总用户收益期望值将变为 $r + V_{w_{opt}}(n_0 - c)$,而若不接入这个应用的话,总用户收益期望值将变为 $V_{w_{opt}}(n_0) - r$ 。最优的接入控制策略应该是当 $r + V_{w_{opt}}(n_0 - c) > V_{w_{opt}}(n_0) - r$ 时,接入应用,否则不接入应用。因此,最优的接入控制策略可以表示为下式:

$$W_{opt}(r, c, n_0) = \begin{cases} 1, & (r \geq \frac{V_{w_{opt}}(n_0) - V_{w_{opt}}(n_0 - c)}{2} \text{ AND } n \geq c) \\ 0, & (r < \frac{V_{w_{opt}}(n_0) - V_{w_{opt}}(n_0 - c)}{2} \text{ OR } n < c) \end{cases} \quad (6)$$

由式(6)可见, $W_{opt}(r, c, n_0)$ 的求解依赖于序列 $V_{w_{opt}}(0), V_{w_{opt}}(1), \dots, V_{w_{opt}}(n_0)$,而 $V_w(n_0)$ 的求解也不再仅仅是一个递推的过程。文[9]提出了一个迭代求解算法来求解这一问题,我们将采用这一算法进行求解,具体的过程及相应的接入控制策略将在2.3节中进行描述。另外,为了求解这一问题,我们必须要知道各应用的 r 和 c 的联合概率分布 $P(r_i, c_i)$ 。我们将在2.2节中叙述 r 和 c 的联合概率分布 $P(r_i, c_i)$ 估计的过程。

2.2 Reward与Cost的联合概率分布估计

如2.1节所述,为了求解该接入控制问题,我们必须知道应用的Reward与Cost的联合概率分布 $P(r_i, c_i)$ 。本节将讨论估计 $P(r_i, c_i)$ 的方法。

首先,我们需要对应用的Reward有一个定量的描述,应用的Reward主要反映所采集数据的价值,它主要和应用所涉及到的源节点集合离产生应用请求的Sink之间的距离 d ,源节点个数 n_s ,及要求各源节点的平均采集速率 $R = \frac{1}{n_s} \sum_{i=1}^{n_s} R_i$ 有关,式(7)中定义了一个用户收益函数 $Re(d, n_s, R)$ 来确定应用的Reward。

$$Re(d, n, R) = \alpha_1 \times \frac{d}{d_{\max}} + \alpha_2 \times \frac{n_s}{n} + \alpha_3 \times \frac{R}{R_{\max}} \quad (7)$$

式中 d_{\max} 指的是Sink离网络内最远节点的距离, n 是网络内节点的个数, R_{\max} 是可能的最大距离, $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ 是相对权重。

其次,由第1节所述,应用的Cost定义为按文[8]给出的最优传输方案执行应用后网络剩余能量的减少值。即若执行应用前网络剩余能量为 E_1 ,而按最优传输方案执行应用后网络剩余能量变为 E_0 。则应用的Cost可以表示为

$$Cost = E_1 - E_0 \quad (8)$$

根据上面的分析,我们可以对网络实际运行场景的模拟,通过仿真随机产生多组应用。然后根据式(7)及式(8)推出其对应的Reward及Cost,并对其概率分布进行统计。

但按式(7)及式(8)得到的Reward及Cost值都是实数,为了对其分布进行有效的估计,我们必须对其分布区域进行离散化处理。设采集到的(Reward, Cost)的数据对中, Reward和Cost的均值及方差分别为 (m_r, σ_r) 及 (m_c, σ_c) ,定义 $\min_- r = m_r - 2\sigma_r, \max_- r = m_r + 2\sigma_r; \min_- c = m_c - 2\sigma_c, \max_- c = m_c + 2\sigma_c$ 。将区域 $((\min_- r, \max_- r), (\min_- c, \max_- c))$ 分成 $M \times M$ 个等间隔区域,统计实验得到的(Reward, Cost)的数据对在各区域内出现的频率(其中若 $Reward < \min_- r$,则认为 $Reward = \min_- r$;若 $Reward > \max_- r$,则认为 $Reward = \max_- r$;对Cost作同样处理)。

$$\text{定义 } \Delta r = \frac{\max_- r - \min_- r}{M}, \Delta c = \frac{\max_- c - \min_- c}{M} \text{ 为应用}$$

Reward及Cost的最小单位,即每个应用的Reward及Cost都是 Δr 及 Δc 的整数倍。经过这样处理后就得到了应用的Reward及Cost在各区域 (r_i, c_i) 内的概率分布 $P(r_i, c_i)$ 。

2.3 模型求解及接入控制策略的设计

由2.1节所述,本文所考虑的接入控制问题的求解可以归结为对式(5)及式(6)的求解。A. Boulis在文[9]中已提出了 $V_{w_{opt}}(n)$ 序列求解的迭代算法,我们在这里将采用该算法进行求解,下面对该算法进行一个简要的描述。

假设 $V_{w_{opt}}(0), V_{w_{opt}}(1), \dots, V_{w_{opt}}(n-1)$ 已知,现在要求 $V_{w_{opt}}(n)$ 。从式(5)可以知道,如果 $\Phi_{1n}, \Phi_{2n}, \Phi_{3n}$ 知道的话,就可以推导出 $V_{w_{opt}}(n)$ 。可是从式(6)中可以看到, $\Phi_{1n}, \Phi_{2n}, \Phi_{3n}$ 又依赖于 $V_{w_{opt}}(n)$ 的取值。一种可行的求解办法是首先猜测一个 $V'_{w_{opt}}(n)$,然后带入式(6)确定出 $\Phi_{1n}, \Phi_{2n}, \Phi_{3n}$,然后再带入式(5)求出 $V_{w_{opt}}(n)$ 。若 $V_{w_{opt}}(n)$ 与 $V'_{w_{opt}}(n)$ 的差值小于一定的阈值则认为求出的 $V_{w_{opt}}(n)$ 就是所需的 $V_{w_{opt}}(n)$ 。否则令 $V'_{w_{opt}}(n) = V_{w_{opt}}(n)$ 再进行上述迭代。在我们的实验中,我们首次猜测的 $V'_{w_{opt}}(n) = V_{w_{opt}}(n-1) + 0.2 \times M \times \text{random}()$,其中 $\text{random}()$ 函数产生一个0到1之间均匀分布的随机数。经实验表明该迭代算法的收敛速度很快,通常迭代3~5次就可以收敛。求出序列 $V_{w_{opt}}(n)$ 后,就可以根据式(5)得到接入控制策略 $W(r, c, n)$ 。

根据上述的分析,在设计实际的接入控制策略时,可以首先通过仿真的方法按照上面的过程得出序列 $V_{w_{opt}}(n)$,并在每个Sink中保留该序列。当Sink需要判决是否接入一个应

用时,可以根据该应用的 Reward, Cost, 当前网络剩余能量状况 n , 及所保留的序列 $V_{wopr}(n)$, 按照式(6)作出接入与否的判决。由于 Sink 只需要这些信息就可以独自对应用进行接入控制, 因此该接入控制策略是分布式的。

3 实验结果及其讨论

为了验证本文提出的多应用接入控制策略的有效性, 我们在 PARSEC^[13] 环境下开发了一个专门针对多应用场景的离散事件驱动的仿真器。实验主要包括下面两个方面的内容:

1) 针对随机出现的应用, 采用 2.2 节提出的方法估计应用 Reward 及 Cost 的联合概率分布 $P(r_i, c_i)$;

2) 针对随机出现的应用以及实验 1 估计出的 $P(r_i, c_i)$, 验证 2.3 节提出的最优接入控制策略的有效性。

实验中所采用的网络拓扑及系统参数分别如图 1 及表 1 所示。本节将用 2 个小节分别叙述上述 2 个实验及其结果讨论。

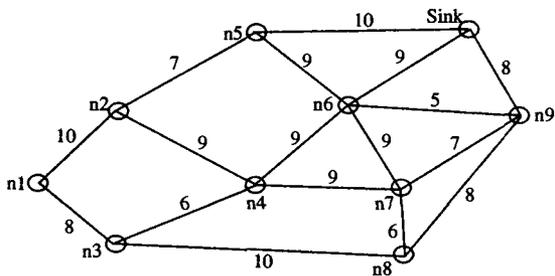


图 1 实验中采用的拓扑结构

表 1 系统参数

f_c	2.5GHz	λ	$3e+8/f_c$	P_{max}	30.3mw
P_{sym}	50mw	P_{filt}	2.5mw	P_{LNA}	20mw
P_{IFA}	3mw	P_{ftr}	2.5mw	P_b	$1e-3$
N_0	-115dBm/Hz	$G_r G_r$	5 dBi	M_l	40dB
N_f	10dB	B	10kHz	α	0.4706
P_{DAC}	15.4mw	P_{ADC}	6.7mw		

3.1 Reward 及 Cost 的联合概率分布

为了对应用的 Reward 及 Cost 的联合概率分布进行估计, 实验中随机产生了 10 万组应用, 应用涉及到的 Sink 及源节点集合随机均匀分布, 各源节点的数据采集速率从 10 到 90 均匀分布。并按照式(7)及式(8)求解出其对应的 Reward, Cost, 从而得到了 10 万组 (Reward, Cost) 数据对。并采用 2.2 节所述方法对 Reward, Cost 离散化处理以估计其联合概率分布, 估计出的联合概率分布如图 2 所示。

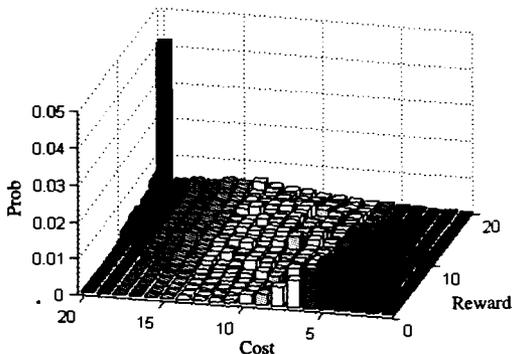


图 2 Reward 及 Cost 联合概率分布

3.2 验证最优接入控制策略

如 2.3 节所述, 为了设计最优接入控制策略, 首先必须得到总用户收益期望值序列 $V_{wopr}(n)$ 。因此, 我们针对 3.2 节得到的联合概率分布, 按照 2.3 节中介绍的算法推导了 $V_{wopr}(n)$ 。同时为了对比, 也按照“全部接入准则”及 $th=0.5, 0.8, 1$ 的“阈值准则”推导了相应的 $V_{wopr}(n)$, 结果如图 3 所示。

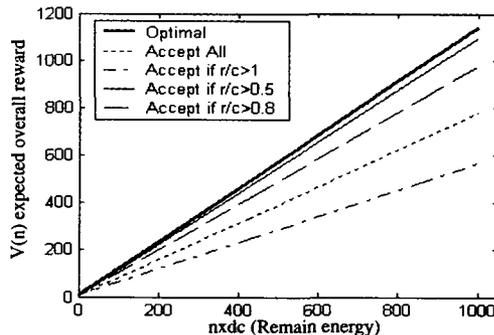


图 3 不同接入控制策略下的 $V(n)$

在得到了 $V_{wopr}(n)$ 后, 我们就可以得到式(6)所示的最优接入控制策略。为了测试接入控制策略的有效性, 我们与“全部接入准则”及 $th=0.5, 0.8, 1$ 的“阈值准则”在不同的网络初始能量配置情况下所能获得的总用户收益期望值进行了比较。

实验中网络的初始配置能量从 $10\Delta c$ 变到 $1000\Delta c$ (Δc 的定义参见 2.2 节)。在每一种网络初始能量的配置下, 随机产生一系列应用, 每个应用使用文[8]介绍的方法确定其最优传输方案, 得出其对应的 Cost, 并根据应用的参数使用式(7)算出其对应的 Reward。然后分别使用最优接入策略 $W_{opr}(r, c, n)$, “全部接入准则”及 $th=0.5, 0.8, 1$ 的“阈值准则”判决是否接入该应用。然后利用式(1)和式(2)更新所获得的总用户收益及网络剩余能量, 直到网络剩余能量变为 0 为止。

由于实验中, 网络的每一次具体运行实例都是随机过程的一个具体实现, 为了得到总用户收益的期望值曲线, 我们将上述实验重复了 50 次, 把每个策略得到的实际总用户收益进行平均处理, 所得到的平均总用户收益曲线如图 4 所示。

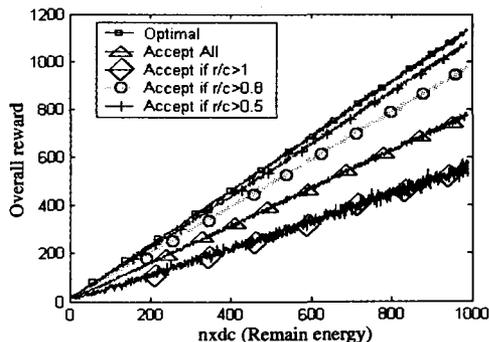


图 4 平均总用户收益曲线

图 4 表明, 本文提出的最优接入控制策略能够在所有网络初始能量配置的情况下获得最大的平均总用户收益。而且在网络初始能量较大的情况下获取的平均总用户收益差不多是不进行多应用接入控制时的 1.5 倍。因此, 采用本文提出的接入控制策略能明显地增长所能获得的总用户收益。

另一方面, 由图 3 及图 4 所示, 当采用最优接入控制策略时, 所获得的期望总用户收益 $V_{wopr}(n)$ 可以近似用线性函数 (下转第 83 页)

小结 数字权利的保护机制依赖于权利描述语言和信息安全技术。权利描述语言为学习资源的权利保护提供必要的描述信息。教育资源的元数据描述信息和数字权利语言的整合使用为主体、资源、权利、条件和义务等若干要素的描述提供了可能。

权利的可执行性问题是数字版权管理的首要问题,它依赖于需求信息、技术支持和可信任的环境。由此权利又可进一步划分为非可执行的、潜在可执行的和可执行的权利。教育资源的数字权利执行模型为权利的可执行性提供了一种使用方案,为教育资源的数字版权管理提供了一种基本模型,该模型包括三个基本过程:许可证产生、访问权限的授予和学习资源的使用控制。许可证执行机制的概念设计图包括学习资源的版权管理、内容管理传输和客户端三个部分,许可证的管理、解析、检测和解释等是各部分的中心内容,权利执行接口和权利执行模块为学习资源的访问控制和权利使用控制提供了基础。

参考文献

- 1 Iannella R. Open Digital Rights Management. Position paper for the W3C DRM Workshop, 2000, Online. Available at: <http://www.iprsystems.com>
- 2 W3C Workshop on Digital Rights Management for the Web: Workshop Report, 2001

- 3 Iannella R. digital Rights Management Architectures. [Online] www.dlib.org/dlib/june01/iannella/06iannella.html
- 4 Erickson J S, Norwich V. OpenDRM: A Standard Framework for Digital Rights Expression, Messaging and Enforcement. [Online]. <http://personal.hpl.hp.com/joberi/opendrm-project.htm>
- 5 Liu Qiong, Safavi-Naini R, Sheppard N P. Digital Rights Management for Content Distribution. Australasian Information Security Workshop 2003 (AISW2003), Adelaide, Australia. Conferences in Research and Practice in Information Technology, Vol. 21. C., 2003
- 6 Iannella R. Open Digital Rights Language. 2000, Online. Available at: <http://odrl.net/odrl-08.pdf>
- 7 ContentsGuard Inc. XrML: Extensible rights Markup Language. 2000, Online. Available at: <http://www.xrml.org>
- 8 MPEG (Motion Picture Experts Group). (2001): MPEG-21 Working Documents (IPMP Part). <http://mpeg.telecomitalia.com/working-documents.htm>
- 9 Guth S, Koppen E. Electronic Rights Enforcement for learning media. Available at: <http://nm.wu-wien.ac.at/people/Guth/icalt45.pdf>
- 10 Guth S, Koppen E, Strembeck M. Experiences with the Enforcement of Access Rights Extracted from ODRL-based Digital Contracts. ACM DRM'03. October 27, 2003, Washington, DC, USA
- 11 Abruf. IEEE Learning Technology Standards Committee (L.TSC). Learning Object Metadata - Draft Document v6. 0. <http://ltsc.ieee.org/doc/wg12/>, 2001
- 12 CELTSC. 学习对象元数据规范. 版本 1.6, CELTS-3.1
- 13 The SCORM Overview, SCORM version1. 2. <http://www.adlnet.org/ADLDOCS/Documents/SCORM-1.2-Overview.pdf>, 2001. 10. 01

(上接第 26 页)

an 进行逼近, 即: $V_{wopt}(n) \approx an$, 将其代入式(6), 可以将接入控制策略简化为:

$$W'_{opt}(r, c, n_0) = \begin{cases} 1, & (\frac{r}{c} \geq \frac{a}{2} \text{ AND } n \geq c) \\ 0, & (\frac{r}{c} < \frac{a}{2} \text{ OR } n < c) \end{cases} \quad (9)$$

如图 4 所示的 $V_{wopt}(n) \approx n$, 因此采用 *Accept if $r/c > 0.5$* 的“阈值准则”所能获得的平均总用户收益和最优接入控制策略所能获得的平均总用户收益是近似相等的。

根据这一观察, 我们可以对接入控制策略进行简化以使其实现复杂度大为降低, 同时又能获得近似最优的总用户收益期望值。具体做法是首先通过仿真的方法按照本文介绍的求解过程得出序列 $V_{wopt}(n)$, 然后寻找能逼近 $V_{wopt}(n)$ 的最优的线性函数 $a_{opt}n$ 。在找到 a_{opt} 后, 让每个 Sink 保留 a_{opt} 。在应用产生后, 按式(9)给出的“阈值准则”直接判断该应用是否接入即可。

结论 节省能量延长网络生命期是无线传感器网络研究的关键, 现有的研究工作主要从单应用的角度出发来进行研究。但实际的无线传感器网络往往需要支持多应用, 从而引入了新的节能及最大化网络价值的问题。本文从无线传感器网络中在多应用场景下的节能问题出发, 研究了针对多应用分布式接入控制策略。其目的为在网络能量耗尽之前获得的总用户收益期望值最大。在研究多应用接入控制的问题时, 我们发现问题的关键在于应用的发生是动态随机的, 而每一个应用的 Reward 和 Cost 在应用发生之前也是未知的。因此, 我们将多应用接入控制问题等效成为一个特殊的“动态随机背包问题”, 并根据相关理论对该问题进行了建模。为了求解这一模型, 我们还设计了估计应用 Reward 和 Cost 的联合概率分布 $P(r_i, c_i)$ 的方案。最后根据已有的求解类似模型的相关算法对该问题进行了求解, 并据此设计了相关的最优接入控制策略。经实验表明, 我们提出的多应用分布式接入控

制策略能在各种网络初始能量配置的情况下均获取显著的总用户收益值的提高。同时在实验最优接入控制策略的过程中, 发现可以采用一个最优阈值的“阈值准则”来获取次优解, 从而可以大大降低接入控制策略的复杂性。

参考文献

- 1 Min R, Furrer T, Chandrakasan A. Dynamic Voltage Scaling Techniques for Distributed Microsensor Networks. In: Proc. of the IEEE Computer Society Annual Workshop on VLSI (WVLSI'00), 2000
- 2 Ludwig J T, Nawab S H, Chandrakasan A. Low-Power Digital Filtering Using Approximate Processing. IEEE Journal of Solid-State Circuits, 1996, 31(3): 395~400
- 3 Schurgers C, Aberborne O, Srivastava M. Modulation scaling for energy-aware communication systems. In ISLPED, 2001. 96~99
- 4 Cui S, Goldsmith A J, Bahai A. Energy-efficiency of MIMO and Cooperative MIMO Techniques in Sensor Networks. IEEE Journal of Selected Areas in Communications, 2004, 22: 1089~1098
- 5 Park S, Srivastava M. Power aware routing in sensor networks using dynamic source routing. ACM MONET Special Issue on Energy Conserving Protocols in Wireless Networks, 1999
- 6 Schurgers C, Tsiatsis V, Ganeriwal S, Srivastava M. Topology management for sensor networks: exploiting latency and density, MobiHoc'02, 2002. 135~145
- 7 Vardhan S, Wilczvnski M, Portie G J, Kaiser W J. Wireless integrated network sensors (WINS): distributed in situ sensing for mission and flight systems, Aerospace Conference Proceedings, March 2000, 7: 18~25
- 8 Yuan Y, Chen W Q, He J. Convex Optimization Based Energy Efficient Transmission Scheme for Wireless Sensor Networks, submitted to IPSN 2005
- 9 Boulis A. Programmable Sensor Networks: Framework and Applications. [Ph. d. Dissertation]. University of California, Los Angeles, 2003
- 10 Boulis A, Srivastava M. Node-level Energy Management for Sensor Networks in the Presence of Multiple Applications. In: Proc of Percom'2003, March 2003. 41~49
- 11 Kleywegt A J, Papastavrou J D. The Dynamic and Stochastic Knapsack Problem, Operations Research, 1998, 46
- 12 Kleywegt A J, Papastavrou J D. The Dynamic and Stochastic Knapsack Problem With Random Sized Items, Operations Research, 2001, 49
- 13 PARSEC Project. Available at: <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/parsec>