

一种基于蚁群优化的多媒体传感器网络 服务感知路由算法

孙 岩,马华东,刘 亮

(北京邮电大学智能通信软件与多媒体北京重点实验室,北京 100876)

摘 要: 本文针对多媒体传感器网络中三类基本服务:异常事件告警服务、信息查询服务以及流媒体查询服务,分析了不同服务的 QoS 需求,并抽象出多媒体传感器网络 QoS 路由模型.进而,利用改进的蚁群算法,设计了一个基于蚁群优化的服务感知路由算法 ASAR (Ant-colony optimization based Service Aware Routing).本文设计服务感知的路由协议,旨在依据各类媒体数据包不同的 QoS 需求,选择相应的路由以合理利用全网资源、提高网络性能.最后,我们通过 NS2 仿真表明了较其他路由算法,本文提出的方法能够为多媒体传感器网络的多种服务提供更好的 QoS 保障,同时,比传统的蚁群算法具有更好的收敛性.

关键词: 多媒体传感器网络;蚁群优化;QoS 路由;服务感知

中图分类号: TN925 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2007) 04-0705-07

An Ant-Colony Optimization Based Service Aware Routing Algorithm for Multimedia Sensor Networks

SUN Yan, MA Hua-dong, LIU Liang

(Beijing Key Laboratory of Intelligent Telecommunications Software and Multimedia, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

Abstract: Aiming at three basic services, abnormal event alarm, information query and stream query service, the paper abstracts a QoS routing model for the multimedia sensor networks. Moreover, based on the traditional ant-based algorithm, we propose an ant-colony optimization based service aware routing (ASAR). The ASAR chooses the suitable paths to satisfy with the diverse QoS requirements from different kinds of service, thus maximizes network utilization and improves network performance. Finally, extensive simulation using NS2 is conducted to verify the effectiveness of our solution. Compared to the traditional ant-based algorithm, our ASAR algorithm has better convergence and significantly provides better QoS for multiple types of services in the multimedia sensor networks.

Key words: multimedia sensor networks; ant-colony optimization; QoS routing; service aware

1 引言

无线通信技术、微电子技术和微机电技术的迅猛发展,使得低成本、低功耗无线传感器节点的出现成为可能.无线传感器网络^[1]可以最大限度地获取环境信息,从而帮助我们建立更为精确的物理世界模型,在军事、民用及商业领域中具有广阔的应用前景.然而,随着监测环境的日趋复杂多变,普通无线传感器网络所获取的简单数据(如温度、湿度和光强)愈加不能满足人们对环境监测的全面需求,迫切需要将信息量丰富的图像、音频、视频等媒体引入到以传感器网络为基础的环境监测

活动中来,实现细粒度、精准信息的环境监测.近年来,对多媒体传感器网络技术^[2]的研究已引起了科研人员的密切关注.

一般来说,多媒体传感器网络所提供的服务可归纳为两种基本模式,即基于异常事件驱动(Event-driven)的服务模式和基于用户查询驱动(Query-driven)的服务模式^[3].

(1) 基于异常事件驱动的服务模式.在此服务模式,多媒体传感器节点对采集的原始环境数据进行预处理(如:识别、匹配等),提取并传输有价值的语义信息至汇聚节点.异常事件告警服务是基于此种模式服务的典

收稿日期:2005-09-13;修回日期:2007-01-05

基金项目:国家“863”高技术研究发展计划(No. 2006AA01Z304);国家自然科学基金(No. 90612013);北京市自然科学基金(No. 4062024);高等学校博士点基金(No. 20050013010);教育部新世纪人才支持计划

型代表.例如,对独居老人或病人实施监控过程中,当音频传感器节点匹配到人痛苦的呻吟声,立刻发出数据量很小的警告消息,自动报告当前的紧急情况^[4].由此可见,此类型服务需满足数据传输的强实时性和高可靠性.

(2) 基于用户查询驱动的服务模式.该服务模式通常是由用户发起服务请求,多媒体传感器网络响应后将结果返回给用户.根据用户查询内容的不同,基于该模式的服务可分为两大类:流媒体查询服务和信息查询服务.

a. 流媒体查询服务.该服务针对用户对多媒体传感器节点采集到的音视频数据进行实时查询.此类型服务对时延敏感,对差错可适度容忍.

b. 信息查询服务.该服务提供给用户的是节点对音视频流数据处理后得到的语义信息.例如,用户查询车库中车位信息,视频传感器节点只需传输分析得出的车位信息如“占用”或“空闲”,而不是大量视频流.相对于异常事件告警服务和流媒体查询服务,该服务对时延要求不紧迫,但对数据传输的可靠性要求较高.

由上述可知,多媒体传感器网络提供的服务具有多种类型,且衡量每类服务 QoS 的标准也不尽相同,因此,如何保障不同服务 QoS 且有效利用全网资源,成为多媒体传感器网络研究领域的一个突出问题.本文主要讨论如何设计一种路由方法,以根据不同服务对数据传输的不同需求,选择合适的传输路径,以实现网络中各种服务 QoS 的最大兼顾.该路由算法需要满足如下几个条件:

a. 支持服务感知路由,即根据每类服务的 QoS 需求,形成一条至汇聚节点的路径,该路径能够最大保障该类服务的 QoS;

b. 支持多 QoS 限制,即每条路径都需满足多种 QoS 参数约束,如时延、差错率、能耗、带宽等;

c. 支持路由的动态变化,即当网络的拓扑发生变化时,路径也能相应进行改变.

现有无线传感器网络研究大都假定基于单一的“尽力而为”数据传输服务模型,各类业务平等竞争网络资源,网络拥塞时,业务被不加区分地丢弃,不利于服务质量要求高的业务传输.而传统网络中的 QoS 路由方法往往没有考虑到传感器网络规模大,网络拓扑具有变化性这些特点,因而并不适用于多服务的多媒体传感器网络中.本文根据多媒体传感器网络提供的三种服务的特点,充分考虑到多种类型 QoS 约束因素对多媒体应用的重要影响,引入蚁群算法来求解多媒体传感器网络中服务感知的最优路径.本文定义了多媒体传感器网络中服务感知路由模型,将服务感知的路由问题抽象到蚁群优化模型解决问题的范畴内.在此模型的基础上,针对多媒体传感器网络设计了基于蚁群优化的服务感知路由

算法 ASAR (Ant-colony optimization based Service Aware Routing algorithm).在该算法中,我们将系统内的蚂蚁分为三类,每一类对应于多媒体传感器网络提供的一种服务,根据每种服务的 QoS 需求计算相应的信息素增量和局部信息启发因子.进而,通过对信息素的值进行均匀量化处理,可以降低反向蚂蚁的发送频率,加快算法的收敛,节约网络的开销.

2 基于蚁群优化路由算法概述

蚁群优化方法 (Ant Colony Optimization, ACO)^[5] 是 M. Dorigo 于 1992 年提出的一种性能优良的启发式随机优化算法,采用正反馈机制实现分布式全局优化,通过信息素的不断更新达到最终收敛于最优路径上,可应用于单目标和多目标的全局优化以及通信网中路由的组合优化求解,其固有的并行计算特性有利于实现分散控制,能够大大提高系统的可靠性、鲁棒性和增强通信网适应诸如传输故障、突发业务等意外事件的能力.算法无需进行大量的概率计算或建立复杂的数学模型来进行系统预测等,并不给网络信令系统增加很多负担,很容易实现.尤其当网络的规模很大、系统运行动态多变、难以为系统建立一个较准确的数学模型进行集中控制时,蚁群优化的优点更加明显.

随着 Internet 上广泛的分布式多媒体应用对服务质量 (QoS) 需求的增长,各种服务应用对网络所能提供的 QoS 提出了不同的要求,而路由是实现 QoS 的关键方面.将蚁群算法用于解决受限路由问题,比现有的链路状态路由算法具有明显的优越性^[6],可以解决包括带宽、延时、包丢失率和最小花费等约束条件在内的 QoS 路由问题.目前,很多研究者也将蚁群算法用于 Ad Hoc 网络和传感器网络的路由算法设计.文献[7]提出了一种基于蚁群系统的 Ad Hoc 网络多播路由算法.算法使用蚂蚁通过信息素进行间接通信,以有效地获得动态拓扑变化信息,产生安全的多播路径.文献[8]提出了一个 Ad Hoc 网络中基于蚁群系统的分布式的路由算法—ADRA. ADRA 可以提供冗余路径,减少开销并且降低了再次选路的时延.文献[9]描述了一个适用于无线传感器网络的新型路由协议.该协议利用蚁群算法优化路由,提供了一种有效的多路数据发送机制,以便在节点失效的情况下可以获得可靠的通信.

3 多媒体传感器网络路由模型

多媒体传感器网络由多媒体传感器节点和汇聚节点组成,多媒体传感器节点不但采集和处理多媒体数据,而且在通信中起着路由转发的功能.如图 1 所示,多媒体传感器网络在研究当中将其抽象为有权图 $G(V, E)$, 记为 $G = (V(G), E(G))$. 其中, $V(G)$ 称为图 G 的

节点集,元素 $v \in V$ 称为图 G 的一个顶点或节点; $E(G)$ 称为图 G 的边集. 元素 $e_{ij} \in E$ 记为 $e(v_i, v_j)$ 或 $e_{ij} = v_i v_j$, 为 V 中元素的有序对, 称为图 G 的一条从 v_i 到 v_j 的边(弧). V 中的元素为多媒体传感器网络所有节点; E 为 V 中可直接通信的两个节点之间的链路. 在多媒体传感器网络中, 由于节点的失效, 新增以及休眠, 集合 V 、 E 可以看作是动态的, 若 $s \in V$ 为汇聚节点, 则 $o \in \{V - \{s\}\}$ 都可能成为相应的源节点.

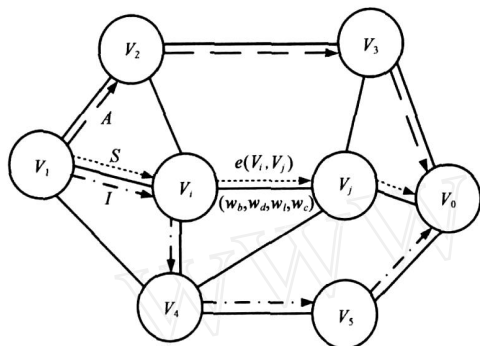


图 1 多媒体传感器网络路由模型

令元素 $e \in E$ 具有一组有序数列 (w_b, w_d, w_l, w_c) 作为 e 的属性, 称为弧 e 的度量(权值). w_b 为可用带宽, w_d 为延迟, w_l 为丢包率, w_c 为能耗. 对于对称网络有 $e_{ij} = e_{ji}$, 而不对称网络中通常 $e_{ij} \neq e_{ji}$. 现实中的网络往往是不对称的, 但在研究中为了简便起见, 常常使用对称网络模型以减少弧的数量, 本文亦如此. 对于 e_{ij} 其 4 个属性值可表示为 $w_{i,j}^b, w_{i,j}^d, w_{i,j}^l$ 和 $w_{i,j}^c$.

在图 G 中, 如果对 $i = 1, 2, \dots, k-1$ 有 $v_i, v_{i+1} \in E$, 则 $P = (v_1, v_2, \dots, v_k)$ 为图 G 的一条从 v_1 到 v_k 的路径. 路径的 QoS 要求需要通过可测量的 QoS 度量来实现. 本模型中 QoS 度量包括可用带宽 ($w_{i,j}^b$)、端到端延迟 ($w_{i,j}^d$)、丢包失率 ($w_{i,j}^l$) 和能耗 ($w_{i,j}^c$). 这些度量具有不同的性质, 按照这些性质, 端到端延迟和能耗为可加性度量、丢包失率为可乘性度量, 可用带宽为最小性度量. 对于路径 $P = (v_1, v_2, \dots, v_k)$, 即

$$w^b(P) = \min_{i=1,2,\dots,k-1} \{w_{i,i+1}^b\}, w^d(P) = \sum_{i=1}^{k-1} w_{i,i+1}^d \quad (1)$$

$$w^l(P) = 1 - \prod_{i=1}^{k-1} (1 - w_{i,i+1}^l), w^c(P) = \sum_{i=1}^{k-1} w_{i,i+1}^c$$

定义 1(服务集) 在图 G 中, 称 $S(G)$ 为图 G 的服务种类集, 元素 $s \in S$ 称为图 G 中的一类服务.

如前文所述, 在多媒体传感器网络中服务通常包含三类, 即 $S(G) = \{s_a, s_s, s_i\}$. s_a 为异常事件告警服务, 其数据包简称为 A 包; s_s 为流媒体查询服务, 其数据包简称为 S 包; s_i 为信息查询服务, 其数据包简称为 I 包.

定义 2(数据包路径) 在图 G 中, $s \in S$, s 服务的

数据包经过路径 $P = (v_1, v_2, \dots, v_k)$, 则称该路径为以 v_1 为源节点, v_k 为目标节点的 s 服务的数据包路径, 记为 $P_s(v_1, v_k)$.

定义 3(数据包路径集) 在图 G 中, 设 v_s 为源节点, v_t 为目标节点, 则称 $P(v_s, v_t) = \{P_s(v_s, v_t) \mid s \in S\}$ 为从 v_s 到 v_t 的数据包路径集.

$P(v_s, v_t)$ 也为一个有向图的结构, 如图 1 中虚线所示. 在该图中, 每个节点的出度和入度都不大于 $|S|$.

定义 4(目标值函数) 对数据包路径 $P_s(v_1, v_k)$, 函数:

$$f(P_s(v_1, v_k)) = \frac{b}{s}(w^b(P_s(v_1, v_k))) + \frac{d}{s}(d_{\max} - w^d(P_s(v_1, v_k))) + \frac{l}{s}(1 - w^l(P_s(v_1, v_k))) + \frac{c}{s}(c_{\max} - w^c(P_s(v_1, v_k))) \quad (2)$$

称为 $P_s(v_1, v_k)$ 的目标值函数, 该函数表征了该路径对于服务 s 的 QoS 值. 该函数的值越大, s 的 QoS 值越大. d_{\max}, c_{\max} 分别为最大可容忍时延和最大可容忍能耗. $\frac{b}{s}, \frac{d}{s}, \frac{l}{s}, \frac{c}{s}$ 分别表示 s 服务的带宽、延时、丢包率以及能耗的权重因子.

多媒体传感器网络的路由问题即可描述为: 在图 G 中, 找出一个数据包路径集 $P(v_s, v_t)$, 使得每种服务的目标函数值都尽可能大.

4 基于蚁群优化的服务感知路由算法

4.1 ASAR 算法描述

本文根据多媒体传感器网络中提供的三种服务的不同 QoS 需求, 提出了基于蚁群优化的服务感知路由算法 ASAR. 该算法对传统蚁群优化算法进行了改进, 周期地合理选择三条不同的路径, 以满足三种服务的 QoS 需求. 同时, 由于传感器网络对于节能的要求, 三条路径都考虑了能耗参数, 可以最大限度利用多媒体传感器网络中的资源, 延长网络寿命. 并且, 三条路径可以减少互相干扰, 提高服务质量, 避免了同一节点有多种服务并存时链路的拥塞.

人工蚂蚁就是一些探测包, 它们在所经路径上会留下人工信息素, 通过统计路径上的信息素以及启发因子可以计算蚂蚁在每个路由器上的转移概率, 在经过多次迭代后, 信息素最高的路由就是所求之解. 在多媒体传感器网络中, 人工蚂蚁将针对服务类型分为三类, 分别构造各类蚂蚁对应的信息素更新公式与启发因子.

在时间 t 第 s 类服务的蚂蚁 k 从节点 v_i 转移到节点 v_j 的转移概率函数如公式 (3) 所示.

$$(P_{ij}^s(t))_k = \begin{cases} \frac{(\tau_{ij}^s(t))(\eta_{ij}^s(t))}{\sum_{v_j \in \text{tabu}_k} (\tau_{ij}^s(t))(\eta_{ij}^s(t))} & v_j \notin \text{tabu}_k \\ 0 & v_j \in \text{tabu}_k \end{cases} \quad (3)$$

其中: $s \in S$; $tabu_k (k = 1, 2, \dots, m)$ 用于记录蚂蚁 k_s 已经走过的节点集合, 称为禁忌表; $\tau_{ij}^s(t)$ 表示时刻 t 在路径 (v_i, v_j) 上的第 s 类服务的信息素; $\tau_{ij}^s(t)$ 为第 s 类服务的启发因子; 参数 α 、 β 可反映路由选择中路径上残留信息素和启发因子的重要程度。

蚂蚁 k 从源簇头节点 v_0 在经过 t 时间转移到达汇聚节点 v_i , 所经路径 $p = P_s(v_0, v_i)$, 采用基于全局状态 (ant-cycle) 的信息素更新策略。多媒体传感器网络中, 由于节点众多, 网络拓扑复杂, 有时不能及时采集到网络的全局状态信息, 因此需要构造基于局部状态信息的启发式因子。这样概率转移函数就能综合反映网络的全局和局部的状态信息, 并可以通过调整参数 α 、 β 使得全局和局部综合达到最优。当由于网络一些突发原因使得全局状态信息不能及时反映到汇聚节点时, 可以加大启发因子的参数值, 更多地根据局部状态信息进行路由选择。路径 p 上的信息素更新规则为

$$\tau_{ij}^s(t + t) = \tau_{ij}^s(t) + \Delta\tau_{ij}^s(t, t + t) \quad (4)$$

$$\begin{cases} \Delta\tau_{ij}^s(t, t + t) = \sum_{k \in A_s} (\tau_{ij}^s)_k(t, t + t) \\ 0 \quad \text{蚂蚁 } k \text{ 未经过该路径} \end{cases} \quad (5)$$

式(4)和(5)中, 集合 A_s 表示发送的 s 类蚂蚁集合;

$\Delta\tau_{ij}^s(t, t + t)$ 表示在 t 时刻发起的搜索周期中链路 $e(v_i, v_j)$ 上 s 类信息素的增量; ρ ($0, 1$) 是挥发因子, 用于限制信息素的无限增长; $(\tau_{ij}^s)_k(t, t + t)$ 表示第 k 只蚂蚁在时间段 $(t, t + t)$ 释放在链路 $e(v_i, v_j)$ 上 s 类信息素数量。即

$$\begin{aligned} (\tau_{ij}^s)_k(t, t + t) = & \frac{b}{s} (w_{ij}^b(p)) + \frac{p}{s} (1 - w_{ij}^l(p))^{\frac{1}{|p|}} \\ & + \frac{d}{s} (d_{\max} - w_{ij}^d(p)) + \frac{c}{s} (c_{\max} - w_{ij}^c(p)) \\ & |p| \end{aligned} \quad (6)$$

构造反映局部信息的启发因子为

$$\begin{aligned} \tau_{ij}^s(t) = & \frac{b}{s} (w_{ij}^b) + \frac{p}{s} (1 - w_{ij}^l) + \frac{d}{s} (d_{\max} - w_{ij}^d) \\ & + \frac{c}{s} (c_{\max} - w_{ij}^c) \end{aligned} \quad (7)$$

定义 5(信息素路由表) 每个节点都有一张表, 维护着每类信息素值以及每类蚂蚁从该节点到下一跳节点的实时转移概率, 称之为信息素路由表 (PRtable)。

该表为一个三维结构, 在 x 轴方向上为与该节点能够直接通信的其他节点; 在 y 轴方向上为三种类型的数据: 启发因子、信息素和转移概率; 在 z 轴方向上为三种服务: s_a 、 s_i 和 s_s 。

定义 6(最优路径表) 每个节点维护的用于三类服务的数据包路由的表称之为最优路径表 (OPtable), 在每次迭代收敛后更新。

每条路径的各条链路上都要更新三种数据流的信息素, 以便节点建立三类数据流的路由表, 当节点发送某类数据时, 选择适合该类业务 QoS 的路径。

多媒体传感器网络中, 上行多媒体信息的数据量大, QoS 要求高, 因此应当尽量减少网络中的下行控制信息的传播; 同时还应当加快蚁群算法的收敛速度以及降低计算复杂度。基于上述两方面的考虑, 在汇聚节点对信息素值进行量化处理。设链路上每类业务信息素的最大值为 $\tau_{\max}^s (s \in S)$, 对区间 $[0, \tau_{\max}^s]$ 进行量化处理, 分为 M 个量化级, 即 $[\tau_1^s, \tau_2^s, \dots, \tau_{\max}^s]$ 。当根据式(6)计算的每类信息素值落在某个区间 $[\tau_q^s, \tau_{q+1}^s]$, $q = 1, \dots, M - 1$, 则

$$\tau_{ij}^s(t + t) = \frac{\tau_q^s + \tau_{q+1}^s}{2} \quad (8)$$

采用均匀量化将信息素取值限制在有限的量化级上。这样能使算法的收敛速度加快, 并且, 当信息素值落在同一量化区间时, 其量化值是相同的, 因而没有必要发送反向蚂蚁来更新路径上的信息素及其概率取值, 即不必要频繁刷新最优路径, 从而降低下行控制流的数量。 $\tau_{\max}^s (s \in S)$ 是影响量化性能的一个非常重要的参数, 对它的选取不能太大也不宜太小。

4.2 ASAR 算法步骤

ASAR 算法流程如下:

步骤 1 初始化 $\tau_{ij}^s = 0$ 和 $\tau_{ij}^s = 0$; 初始化每个簇头节点的三类服务的信息素路由表 PRtable 和最优路径表 OPtable 为空; 在汇聚节点对区间 $[0, \tau_{\max}^s]$ 量化为 M 个量化级; 将 $3m$ 只蚂蚁均匀放置在 m 个簇头节点上, 即每个簇头节点上放置 3 只蚂蚁, 对应寻找三类服务的最优路径。

步骤 2 对每只蚂蚁 $k (k = 0, 1, \dots, 3m)$ 按概率 $(p_{ij}^s(t))_k$ 选择下一跳簇头节点, 概率值由式(3)得出。

步骤 3 当所有蚂蚁到达汇聚节点, 根据式(5), (6) 计算 $3m$ 个路径上每条链路的平均信息素增量 $\Delta\tau_{ij}^s$, 然后按式(4) 计算 $3m$ 个路径上每条链路的当前信息素值 τ_{ij}^s 。

步骤 4 比较每个信息素值各自落在自己的哪个量化区间, 根据公式(8) 得出量化值为当前信息素值。

步骤 5 假设当前信息素值发生变化的路径数目为 $n (n \leq 3m)$, 发送 n 只反向蚂蚁到对应的簇头节点, 根据每只蚂蚁的爬行路径改变每条链路 (i, j) 上的信息素的量, 修改信息素轨迹强度, 更新簇头节点上的各类服务的最优路径表 OPtable 和信息素路由表 PRtable。

步骤 6 对各链路 (i, j) , 置 $\tau_{ij}^s = 0$; $Nc = Nc + 1$ 。

步骤 7 若 $Nc <$ 预定的迭代次数且不收敛, 则转到步骤 2; 否则, 转到步骤 8。

步骤 8 更新簇头节点上的各类服务的最优路径表 OPtable, 一次路径搜索结束。下一个周期到来时, 转向步骤 1。

5 仿真实验与分析

5.1 仿真环境

我们利用 NS2 进行了一系列仿真实验,以验证本文算法的有效性.文中仿真实验均基于同一实验场景:在 500 * 500m² 区域内随机部署 20 个节点,各节点的位置如图 2 所示.表 1 则列出了节点的主要配置参数.

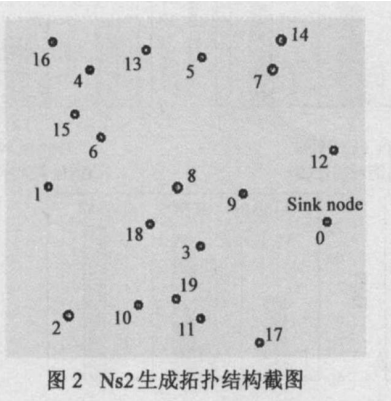


图 2 NS2 生成拓扑结构截图

表 1 节点主要配置参数

Name of Parameters	Value of Parameters
Link Layer	LL
Mac Layer	IEEE 802.11
Radio propagation	Two Ray Ground
Interface Queue	PriQueue
Transmission range	200m
Antenna	Omni-Antenna

在此拓扑结构之上,我们生成了 20 个 CBR (Constant Bit Rate) 流量发生器,每个 CBR 流量发生器在 0 到 150 秒之间的一个随机时刻启动,每秒钟发送 10 个 512-byte 的包直至仿真结束.每个节点上的数据包的排队时延、平均包到达率和包丢失率分别如图 3 (a) ~ (b) 所示.

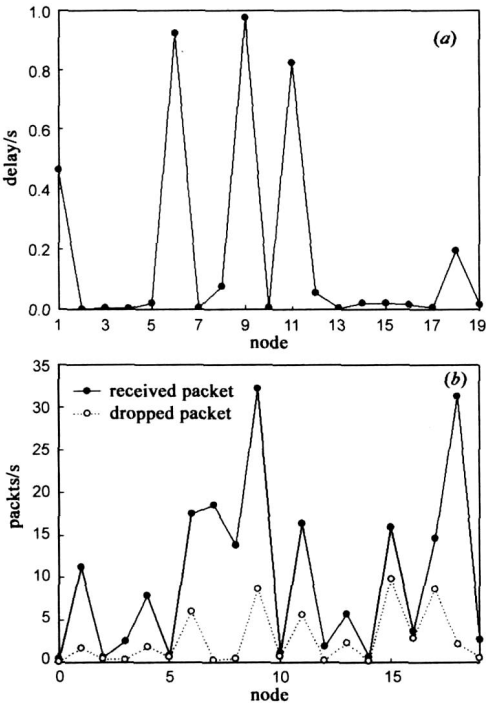


图 3 (a) 节点的平均排队时延;(b) 节点平均每秒接收到和丢弃的数据包

节点的通信模型采用 Free-Space 模型,则节点的传输能耗正比于通信长度的平方.我们用两个节点之间

距离的平方来表示两节点之间通信的能耗.

5.2 与 Dijkstra、定向扩散算法(DD) 的比较

为了说明本文方法的有效性,在上述实验环境下,我们将 ASAR 与经典的 Dijkstra 算法、无线传感器网络的 DD 算法进行比较和分析.针对流媒体查询服务、信息查询服务和异常事件告警服务,分别考量这三种路由算法对于其 QoS 的影响.

在实验中,我们设 0 号节点为汇聚节点,1 号节点为源节点.利用 Dijkstra 算法计算从节点 1 到节点 0 的路径时,以节点间的距离为路径的权值;利用 DD 算法找路径时,以传输时延、丢包率、已占用带宽、能耗之和作为路由加强的标准;对于 ASAR 算法,其各个权重的设置如表 2 所示.表 3 为三种算法运行后,分别找出的路径结果.

表 2 权重配置表

		r^b	r^d	r^l	r^e
S_s		5	2	1	2
S_a	1.5	1	4	4	1
S_i		1	1	7	1

表 3 路径表

Routing Algorithm	Route from node 1 to node 0
Dijkstra	1-18-9-0
DD	1-4-13-5-7-12-0
ASAR	S_s 1-15-13-5-14-12-0
	S_a 1-4-5-14-7-12-0
	S_i 1-4-5-7-12-0

图 4 对比了通过上述三种算法得出路径的时延、能耗、丢包率、带宽,并将上述值代入目标函数(公式(1))中,得到相应的 QoS 值.从图 4 (a) 中可以看到,对于时延而言,异常事件告警服务相比之下最为关心,ASAR 提供给该类服务路径的时延也是最小的,为 Dijkstra 时延的 75 %,为 DD 时延的 93 %.而对其他两种服务,ASAR 的时延小于 Dijkstra,但略大于 DD.由于以路径长短作为 Dijkstra 算法的权值,且能耗正比于路径的平方,因此,Dijkstra 的能耗远小于其他两种算法(图 4 (b)),对于数据量最大的流媒体查询服务,ASAR 的能耗为 Dijkstra 的 1.3 倍,而为 DD 的 87 %.图 4 (c) 显示出对于流媒体查询服务 ASAR 的丢包率大于其他两种算法,分别为 Dijkstra 和 DD 的 1.4 倍和 1.6 倍.这是由于流媒体查询服务对丢包率要求较低,而其他两种服务对丢包率要求却较高,在这两种服务中 ASAR 的丢包率在三种算法中最小.基于流媒体查询服务对带宽的需求高,对于该服务 ASAR 的带宽是最高的(图 4 (d)),分别为 Dijkstra 和 DD 带宽的 4.6 和 1.2 倍.综合上述四种参数,如图 4 (e) 所示,对于流媒体查询服务的 QoS,ASAR 为 Dijkstra 和 DD 的 1.7 倍和 1.3 倍,明显高于其他两种算法;对于异常事件告警服务的 QoS,ASAR 略低于 DD,为其 99 %,而是 Dijkstra 的 1.1 倍;对于信息查询服务的 QoS,ASAR 较之 Dijkstra 算法为优,为其 1.1 倍,而与 DD 算法性能相当.

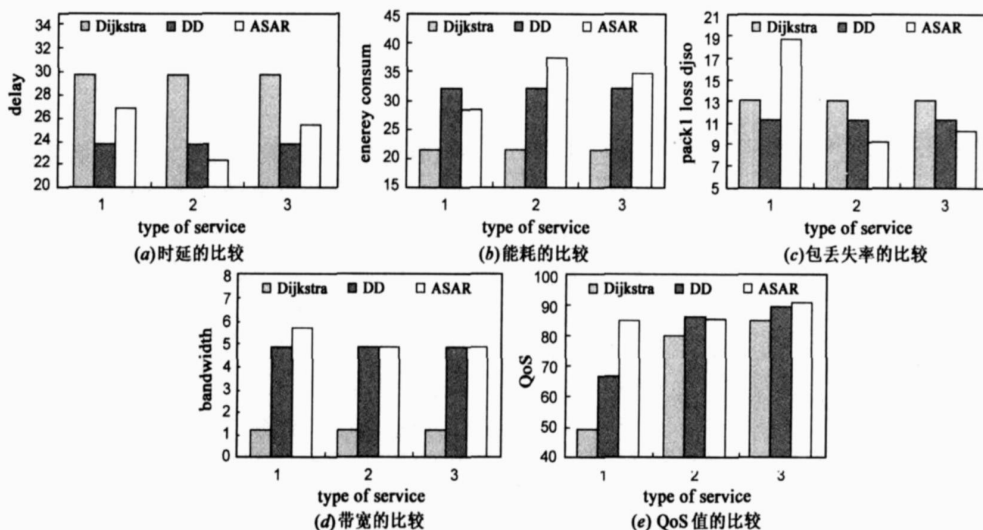


图4 三种算法性能比较. 每个图的横坐标为三种类型的服务, 其中1为流媒体查询服务, 2为异常事件告警服务, 3为信息查询服务. 图的纵坐标的值都是经过归一化处理, 因此省略单位

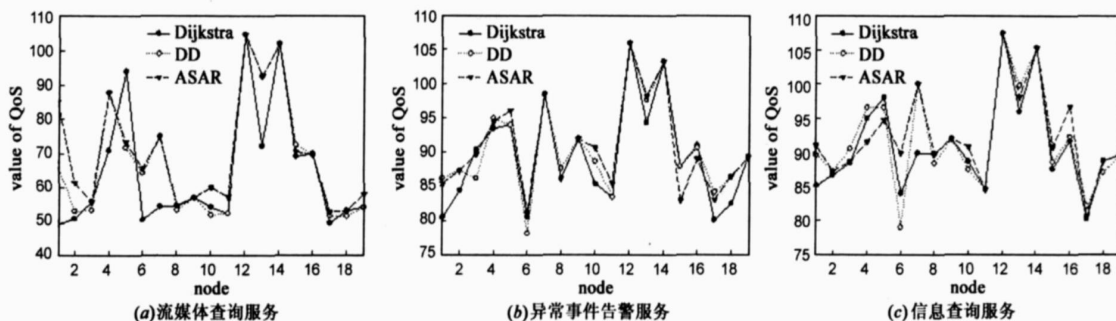


图5 算法性能比较. 每图的横坐标为作为源节点的节点ID (1至19), 纵坐标为QoS值

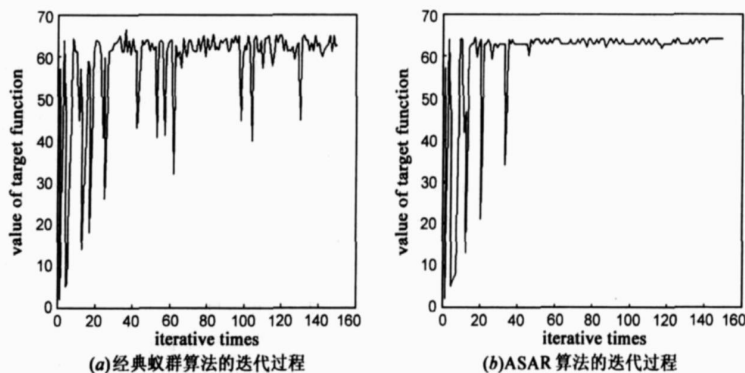


图6 迭代过程示意图

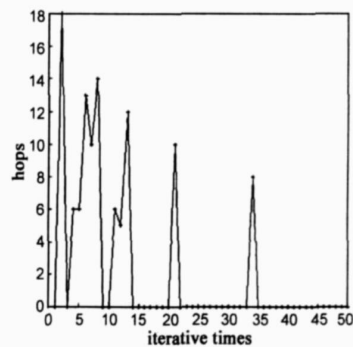


图7 反向蚂蚁跳数减少示意图

与上述实验步骤相似,我们以0号节点为目标节点,1至19号节点分别为源节点,针对3种类型的服务,分别计算三种算法找出的路径分别对应的QoS值.如图5所示,可以看出,对于多数点来说,在三种服务QoS的比较上,ASAR算法都明显优于其他两种算法.而从部分点来看,针对某一种服务QoS,ASAR算法可能稍差;但同时综合三种服务来看,ASAR算法还是较其他两种优.例如,以8号节点为源节点,对于异常事件告警服务,ASAR较其他两种算法差,但对于其他两种服务

QoS,ASAR算法都是最优的,因此,综合来看,ASAR算法还是较优.

5.3 与传统蚁群优化算法的比较

为了显示对信息素的量化有助于算法收敛性的提高,我们以流媒体查询服务为例,分别进行了两组实验.计算每次迭代后蚂蚁所找路径的目标函数值,迭代150次后得出的结果如图6所示.一组不对信息素量化(图6(a)),另一组以800为 s_{\max} ,200个量化级来对信息素进行量化(图6(b)).很容易看到,使用信息素的量化的实

验,迭代后得到的目标函数值很快收敛到一个比较高的值,而不使用信息素的量化的算法收敛性则要差很多。

在迭代初期,蚂蚁每次找寻路径的结果往往差异性很大,很可能出现部分路径的信息素增量较小,经过量化,信息素对应的量化级不需改变。此时,我们将不用发送反向蚂蚁修改该路径上的信息素。量化信息素的方法不仅有助于算法收敛性的提高,而且还能降低迭代过程中网络中的通信量。

在上述实验环境下,在前 40 次迭代过程中,会出现 9 次信息素对应的量化级不改变的情况,每次较之不量化信息素将节约反向蚂蚁传播的能量,我们粗略地用反向蚂蚁的跳数作为衡量标准,结果如图 7 所示。

6 结束语

作为传感器网络的高级形式,多媒体传感器网络具有广泛的应用前景。本文针对多媒体传感器网络本身的特点,分析了其三类基本服务(即,异常事件告警服务、信息查询服务以及流媒体查询服务)的 QoS 需求,建立了多媒体传感器网络 QoS 路由模型。进而,对基本蚁群算法进行了改进,量化信息素值以便加快算法的收敛。基于这种改进的蚁群算法,并考虑到多媒体传感器网络中不同服务的 QoS 需求的多样性,我们设计了基于蚁群系统的服务感知的路由算法 ASAR (Ant-based Service-Aware Routing Algorithm)。该路由算法,能够依据各类服务的不同 QoS 需求,选择相应的路由以合理均衡地利用全网资源、提高网络性能,为多媒体传感器网络的多种服务提供更好的 QoS 保障。

参考文献:

- [1] I F Akyildiz, W Su, Y Sankarasubramaniam, E Cayirci. Wireless sensor networks: a survey[J]. Computer Networks, 2002, 38(4): 393 - 422.
- [2] 马华东,陶丹. 多媒体传感器网络及其研究进展[J]. 软件学报, 2006, 17(9): 2013 - 2028.
Ma Hua-dong, Tao Dan. Multimedia sensor network and its research progresses[J]. Journal of Software, 2006, 17(9): 2013 - 2028 (in Chinese)
- [3] Kulkarni P, Ganesan D, Shenoy P, Lu QF. SensEye: A multi-tier camera sensor network [A]. In Proc of the 13th Annual ACM international Conference on Multimedia '05 [C]. ACM Press, 2005. 229 - 238.
- [4] M Vacher, D Istrate, L Besacier, E Castelli, J F Serignat. Smart audio sensor for telemedicine [A]. In Smart Objects Conference [C]. Grenoble, France, 2003. 222 - 225.
- [5] 黄国锐,曹先彬,王煦法. 基于信息素扩散的蚁群算法[J]. 电子学报, 2005, 33(5): 865 - 868.
Huang Guo-rui, Cao Xian-bin, Wang Xu-fa. An ANT colony optimization algorithm based on pheromone diffusion[J]. Acta Electronica Sinica, 2005, 33(5): 865 - 868. (in Chinese)
- [6] M Dorigo, G Di Caro, L M Gambardella. Ant algorithms for discrete optimization[J]. Artificial Life, 1999, 5(3): 137 - 172.
- [7] Se-young Lee, Hyeong Soo Chang. An ant system based multicasting in mobile Ad Hoc network [A]. In the Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation [C]. IEEE Press, 2005, 2: 1583 - 1588.
- [8] Xiangquan Zheng, Wei Guo, Renting Liu. An ant-based distributed routing algorithm for ad-hoc networks [A]. In the Proceedings of International Conference on Communications [C]. Circuits and Systems, 2004, 1: 1412 - 1417.
- [9] Okdem S, Karaboga D. Routing in wireless sensor networks using ant colony optimization [A]. In the Proceedings of the First NASA/ESA Conference on Adaptive Hardware and Systems [C]. IEEE Press, 2006. 401 - 404.

作者简介:



孙 岩 女, 1970 年 9 月出生于山东省滨州市, 工学博士生, 现为北京邮电大学讲师。研究方向为多媒体传感器网络, 嵌入式单板软件和硬件。E-mail: sunyan@bupt.edu.cn