

基于蚁群算法的多路径多约束 QoS 路由研究

肖 伟,全惠云,刘 枫

XIAO Wei,QUAN Hui-yun,LIU Feng

湖南师范大学 数学与计算机学院,长沙 410081

College of Mathematics and Computer Science, Hunan Normal University, Changsha 410081, China

E-mail: ylxw@sohu.com

XIAO Wei, QUAN Hui-yun, LIU Feng. Study of multiconstrained QoS multipath routing on ACO algorithm. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(30): 111-113.

Abstract: QoS routing with multiconstrained is an important issue in wireless sensor networks. The Quality-of-Service (QoS) routing in a wireless sensor network is challenge because the network topology may change constantly, and the available state information for routing is inherently imprecise. First, this paper introduces QoS routing problem in wireless sensor networks, and gives basic steps and characteristics in harmonic ACO. Then, after the probability about ACO is applied to QoS routing problem in wireless sensor networks is analyzed. The algorithm is presented. This algorithm can effectively solve multiconstrained QoS multipath problem. Computing simulation examples show its validity

Key words: multiconstrained multipath; QoS routing; harmonic; Ant Colony Optimization (ACO)

摘 要: 多路径多约束服务质量(Quality of Service, QoS)路由问题是无线传感器网络的核心问题之一,由于网络拓扑的不断变化和链路的固有的不精确性,解决这个问题具有很大的挑战性。首先给出无线传感器网络中 QoS 路由问题描述及调和蚁群算法(Ant Colony Optimization, ACO)的基本算法步骤及其特点。然后在分析了蚁群算法应用于 QoS 路由问题的可能性的基础上,给出了调和蚁群算法解决多路径多约束 QoS 问题的算法。最后通过仿真实例得到满意的结果。

关键词: 多路径多约束; QoS 路由; 调和; 蚁群算法

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.30.034 **文章编号:** 1002-8331(2008)30-0111-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP301

1 引言

无线传感器网络综合了传感器技术、分布式处理技术、嵌入式计算技术和无线通信技术等方面的技术,能够协作地实时监测、感知和采集各种环境或监测对象的信息,并对其进行处理,及时传送到这些信息的用户。无线传感器网络在军事、工业和抢险等方面具有广阔的应用前景^[1-2]。

随着网络技术的不断发展,新的业务层出不穷,用户不再仅仅满足于网络资源的可达性,特别是一些实时音视频业务对网络带宽、传输时延、时延抖动等度量参数都提出了很高的要求。同时网络运营商也希望通过有保障和区分的业务,提高用户的满意度,从而从中获得利益。近年随着光纤等通信媒质性能的大幅度提高,在有线环境中实现 QoS 保证相对简单,而无线环境下的资源是相当有限的,无线信道的性能也无法和有线信道相比,再加上与移动性相关的种种问题,在无线环境中进行 QoS 保障面临诸多挑战。所谓的 QoS^[3-4]就是指网络在将数据流从源节点向目的节点传输过程中所必须满足的一套可预先定义的基于端到端性能的服务属性,常用的有带宽、延迟、包丢失率、延迟抖动以及代价等。QoS 路由协议的目标是在源节

点及其目的节点之间选择一条满足相关 QoS 指标的可行路径。

2 无线传感器网络中多路径多约束 QoS 路由

2.1 无线传感器网络中多路径多约束 QoS 路由的研究

由于传感器网络自身的特性,在实现各种支持 QoS 网络协议和应用系统时,需要考虑如下的情况^[5]:(1)能量消耗问题,如何高效使用能量来最大化网络生命周期,成为传感器网络协议设计的重要目标。(2)传感器网络节点分布更为密集,网络拓扑结构的变化频繁需要消耗更多的能量来维持和更新链路状态信息,因此需要更复杂的 QoS 的支持。(3)传感器网络是以数据为中心的网络,它要周期性的或非周期性的传送数据,这就又增加了 QoS 支持的复杂性。(4)异类传感器网络会影响连通等特性。怎样满足服务要求和保证信息传输质量,这对 QoS 控制和管理都提出了挑战。

有很多文献给出了对多路径多约束 QoS 问题的研究。Mieghem 和 Kuipers^[6]使用交互的 Dijkstra 算法来减少路径的查找空间,代价是降低了计算的精确性。文献[7]中使用一个非线性代价函数来避免使用简单混合度量造成的问题,当合适的路

基金项目: 湖南省教育厅资助科研课题(the Research Project of Department of Education of Hunan Province, China under Grant No.06C525)。

作者简介: 肖伟(1971-),男,副教授,主要研究方向:计算数学与移动计算的研究应用;全惠云(1949-),男,教授,主要研究方向:计算数学的教学与研究;刘枫(1982-),男,硕士生,主要研究方向:智能算法在无线网络中的应用。

收稿日期: 2008-05-27

修回日期: 2008-08-11

径存在时,能够找到一个最小的代价路径。Chen 和 Nahrstedt^[8]在无线传感器网络中通过限定查询路径的数量来分布解决 QoS 问题。Das^[9]等给出了自适应算法,在传送大量数据时,算法能在路径错误出现之前发现合适的结果。

在本文中,使用多约束源结点与接收结点之间的多路径来满足 QoS 的要求。研究在 QoS 路由中可靠性及延迟的约束。这里,可靠性可以定义为包的传递率。由于链路转变及错误,传感器网络是不可靠的。在无线网络中,具有多约束的 QoS 路由得到很好地研究。在无线传感器网络中已存在的研究文章主要集中在简单的服务度量,例如可靠性、延迟和能量。单路径路由和多路径路由来解决,但是,很少有人考虑传感器网络中的多约束。

对于无线网络,不确定性使得 QoS 路由比在有线网络要困难。众所周知,满足两个或更多的附加约束的路径的查找是 NP 完全问题。因此使用一个带有启发式的逼近方法来解决这个问题是唯一可行的方法,特别对于资源有限的传感器结点。

延迟和可靠性需要在不同的方面来满足。延迟是时间约束,可靠性可以通过路径的多样来提高。在这方面,使用时间和空间的功效来满足包的不同特性。相应的,可靠性的增强是通过多路径路由来保证的。存在两种多路径路由,一种是查找多路径来选择其中的一个路径来传输数据;另一种方法结合多路径资源来传递数据流。

2.2 无线传感器网络中多路径多约束 QoS 路由形式化定义

无线传感器网络往往被抽象成有向图 $G(V, E)$ 。其中 V 为顶点集, E 是图的边的集合。给每边赋一定的权度量,度量的操作包括最小性,可乘性和可加性。业务对 QoS 度量的多约束要求设为 QoS 约束 $C=(c_1, c_2, \dots, c_n)$ 。这里的多约束条件具体可以量化为带宽、延迟、抖动、丢失率、吞吐量等性能指标。

本文采用 Xiaoxia Huang^[10]等给出的形式定义。 d_i 表示延迟约束,它与一个数据包有关。 r_i 表示可靠性,如果没有简单合适的路径来满足约束值,多路径路由能提高可靠性。虽然,单个路径不能满足性能,但多路径能达到要求。多路径的集合功效比不可靠的传感器网络要高的多。很明显,存在很多合适的路径集合,它们具有最少数量路径的集合被选择作为传输路径集合,而且节约能量消耗。

定义 1 d 是 sink 结点,假设是固定不动的。 $P(s, d)$ 表示从源结点 s 到 d 的所有可能路径集合 P 。每条路径 $P_j \in P(s, d), j=1, 2, 3, \dots$ 关联延迟 d_j 和可靠性 r_j 。

定义 2 求 $Minimize \sum_{j=1}^P x_j$ 满足条件: $x_j d_j \leq D, r=1 - \prod_{j=1}^P (1 - x_j r_j) \geq R, x_j=0$ 或 $1, P$ 。

D 和 P 分别表示延迟和可靠性 QoS 需求, x_j 用 0 和 1 表示路径 j 是否被选中。

3 具有调和特性的蚁群算法及应用

人们往往从生物的进化和生理活动中去寻找解决人类问题的方法,例如演化规则、遗传算法、进化策略等,并成功地用于解决实际问题。蚁群算法是近几年提出的一种新的优化方法。该算法不依赖于具体问题的数学描述,具有很强的全局优化能力和本质上的并行性,是解决 NP-完全问题的有效方法。许多学者对蚁群算法进行了很多的改进,来解决基本算法出现

的无效搜索或陷入局部最优的问题。文献[11]给出的调和蚁群算法(Harmonic Ant Colony Optimization, HACO)的思想,具有一定的创新性和有效性。

采用蚁群算法最大的问题是易于陷于局部最优解和收敛速度慢。HACO 算法中加入一种调和操作,在完成一次循环以后,下一次循环之前,还没有对信息素进行全局更新时,选择一定数量 Δm 的调和操作蚂蚁,重新运行一次完整的搜索过程,基本过程和群蚁过程一样,只是在选择边时,不是选择最大概率的那条边,而是选择次概率的边。整个过程,因为蚂蚁数量少,所花费的代价不会太大。而对蚁群算法的帮助有如下两方面:(1)通过调和过程可能找到更好的路径结果。(2)最主要的帮助是通过该过程来调整不同路径上的信息素含量,扩大下次循环的搜索空间。

3.1 节点选择调和策略

在蚁群算法系统(Ant Colony System, ACS)算法中,当蚂蚁从结点 i 选择下一结点 j ,首先要比较禁忌表,然后再计算每个相邻结点的转移概率,需要较长的计算时间。而根据 ACS 算法的原理,被选择的结点通常为比较邻近的结点。为了达到调和的目的,对于要计算转移概率的结点,设为 K 个,按距离的远近取最近的 10 个连续的和次近的 10 个连续的结点计算概率,两者相隔的距离为 $K/5$,如 $K < 20$ 则取所有的相邻结点来计算,例如距离从近到远的结点为 a_1, a_2, \dots, a_{100} ;则选择计算的结点 a_1, \dots, a_{10} 和 a_{31}, \dots, a_{40} 。

这样既可有效地减少结点计算的数量,提高计算的速度;又能调和一味选取最近的结点而造成的易陷于局部最优解的问题。

3.2 个体调和变异的策略

蚁群中各个体的运动是随机的,虽然通过信息交换能够向着最优路径转化。但是当群体规模很大时,从较优的路径到最优解的收敛时间所占的比重很大。利用变异算法可以提高进化最优解的能力,为了达到调和的目的,不仅要选取最优个体进行变异,而且可按一定的比例选择部分次优和劣个体来变异,大大提高寻优的速度。

上文已说明了 QoS 和多约束 QoS 路由的基本概念,各种参数指标的基本定义和类型,同时也指出了当路由选择的约束条件包含两个或两个以上的可加性参数或者可乘性参数组合时的多约束 QoS 路由选择是 NP-C 问题,在这种情况下需要采用启发式算法来寻求次优化解,而蚁群算法正好满足这样的条件。

4 基于调和特性的蚁群算法的多约束多路径 QoS 路由算法的基本步骤

(1)初始化网络拓扑中各链路的相应信息素,投放 m 只蚂蚁到源节点。将结点的序号放入相应蚂蚁的禁忌表 $tabu_k (k=1, 2, \dots, m)$ 中,计算相邻结点集合。

(2)对于每个蚂蚁,以当前的结点为中心,按节点选择调和策略,按传统公式确定下一个结点 j ,并将加入禁忌表。

(3)搜索禁忌表许可,各蚂蚁通过应用状态转移规则来选择下一跳节点;找到下一跳节点后,花费较小的路径为蚂蚁从当前结点到下一结点的选择路径。在选路过程中,如果蚂蚁在到达目的节点前死亡,另外一只和死亡蚂蚁同类的蚂蚁重新放出来代替死亡的蚂蚁,重新开始选择从源节点到目的节点的路

径。当某只蚂蚁成功地完成路由选择后,该蚂蚁所经过路径的各链路信息素根据局部信息素更新规则进行更新。

(4)调和搜索过程,产生数量为 Δm 的调和操作蚂蚁,按调和策略,在(3)中按次概率的原则,选择下一个结点,完成从源结点到 sink 的查找。

(5)计算 m 只和 Δm 只蚂蚁的路径长度 l_m 和 $l_{\Delta m}$,取 $l_{\min} = \min(l_k, l_{\Delta m}) (k=1, 2, \dots, m)$; 和本次的最优路径。 l_k 是蚂蚁 k 完成的从源结点到 sink 结点一次的路径长度。

(6)对所有蚂蚁重复第(3)~(5)步,直到 m 只蚂蚁从源节点到达目的节点。

(7)比较选择使用了最小代价并满足 QoS 限制的路由的蚂蚁,使用全局更新规则对该蚂蚁所经过的各链路信息素进行更新。

(8)重复第(3)~(7)步,直到满足结束条件。

算法中延迟作为蚁群算法的目标函数,可靠性作为最后蚁群算法结果中调和的参数,其他的参数的设定值为标准蚁群算法中参数设定值。

5 仿真与结果分析

5.1 仿真条件

硬件平台:CPU: Intel[®] Core[™] 2 .13 G, 786 MHz; 内存: 1GM 操作系统: Windows XP; 仿真软件: Microsoft Visual C++ 6.0。

5.2 构建网络模型

100×100 单元格内,起点为(0,0),终点为(100,100)。在单元格内随机产生 50 个站点及坐标,代表 50 个路由节点。其模型是一个对称的有向图; sink 结点在右上角。调节结点的传输半径,确保全网络是强连通的。链路的延迟随机选择[1, 50] ms 之间。

5.3 实验结果分析

实验 1 选择固定源结点,运行 ACO 和 HACO 算法各 100 次,平均结果与最优路径的比较结果如表 1。设 α 表示残留信息的相对重要程度; β 表示可见度的相对重要程度, ρ 表示信息素的保留率。NCYCLE 为计数器, m 为蚂蚁随机数量, n 为结点数, Δm 为调和蚂蚁数。

表 1 平均结果与最优路径比较
(NCYCLE=200, $m=150$, $n=144$, $\Delta m=15$)

算法	参数									
	$\alpha=1$		$\alpha=1$		$\alpha=0.9$		$\alpha=0.9$		$\alpha=0.8$	
	$\rho=1$	$\beta=1$	$\rho=0.9$	$\beta=0.9$	$\rho=1$	$\beta=0.9$	$\rho=0.9$	$\beta=1$	$\rho=1$	$\beta=1$
最优路径	33	33	33	33	33	33	33	33	33	33
ACO 路径	38	39	37	39	38	38	38	38	38	38
HACO 路径	38	35	34	38	35	34	38	35	34	35

从上面的结果可以看出,HACO 获得的路径比 ACO 路径获得的路径要好些,所得到的路径和最优路径相比更接近些。

实验 2 任意选择 20 个源结点,对每个源结点运行 ACO 和 HACO 算法各 100 次,比较运算结果的代价、时延与丢包率结果如表 2。 α 表示残留信息的相对重要程度; β 表示可见度的相对重要程度, ρ 表示信息素的保留率。

从实验结果中可以看出,HACO 算法的平均度量代价比 ACO 算法的平均度量代价要高,主要原因是 HACO 算法中进行了多次调和操作,总体代价要高于 ACO 算法。但它的丢包率却远远低于 ACO 算法得出的结果,原因在于调和作用能减少

表 2 代价、时延与丢包率比较

(NCYCLE=200, $m=150$, $n=144$, $\Delta m=15$)

参数设置	代价变量			时延			丢包率			
	MAX	MIN	AVG	MAX	MIN	AVG	MAX	MIN	AVG	
$\alpha=1 \rho=1$	ACO	489.26	259.52	355.17	25	15	20	0.495	0.209	0.342
$\beta=1$	HACO	500.88	203.62	416.23	10	5	7	0.201	0.093	0.156
$\alpha=1 \rho=0.9$	ACO	479.77	254.68	347.41	24	15	19	0.488	0.197	0.332
$\beta=0.9$	HACO	518.94	267.96	356.89	11	5	8	0.212	0.089	0.168
$\alpha=0.9 \rho=1$	ACO	468.72	244.65	353.70	25	14	19	0.489	0.194	0.333
$\beta=0.9$	HACO	470.76	256.23	364.37	11	6	8	0.207	0.103	0.152
$\alpha=0.9 \rho=0.9$	ACO	468.76	237.31	358.92	25	15	20	0.505	0.216	0.347
$\beta=1$	HACO	488.49	222.52	360.47	11	6	8	0.192	0.112	0.159
$\alpha=0.8 \rho=1$	ACO	466.35	239.68	348.49	25	15	19	0.502	0.204	0.341
$\beta=1$	HACO	476.75	241.19	362.50	10	5	7	0.183	0.109	0.153

出现局部最优解的可能性,提高了算法效率。

以上的仿真实验证明了蚁群算法用于传感器网络多约束多路径 QoS 问题的可行性,而且具有调和作用的蚁群算法相对于一般蚁群算法具有很大的优势。

6 结束语

通过多组结果的分析比较可以发现,蚁群算法可成功适用于无线传感器网络的多约束多路径 QoS 路由问题。调和蚁群算法的运用大大减少了出现局部最优的可能性,并且在能满足 QoS 条件的基础上,顺利的解决最佳路径组的问题。但是蚁群算法运算代价的问题又约束了其在传感器网络的进一步运用,局部 QoS 路径问题解决算法是下一步研究的重点。

参考文献:

- [1] Akyildiz I F, Su W, Sankarasubramaniam Y, et al. Wireless sensor networks: a survey[J]. Computer Networks, 2002, 38(4): 393-422.
- [2] 李建中, 李金宝. 传感器网络及其数据管理的概念、问题与进展[J]. 软件学报, 2003, 14(10): 1717-1727.
- [3] 英春, 史美林. 自组网环境下基于 QoS 的路由协议[J]. 计算机学报, 2001, 24(10): 1026-1033.
- [4] Sesay S, Yang Zong-kai, He Jian-hua. A survey on mobile ad hoc wireless network[J]. Information Technology Journal, 2004, 3(2): 168-175.
- [5] 李娟, 陆际光. 基于 QoS 无线传感器网络路由协议的研究[J]. 计算机与数字工程, 2007, 35(5): 110-112.
- [6] Miegheem P V, Kuipers F A. Concepts of exact QoS routing algorithms[J]. IEEE/ACM Trans on Networking, 2004, 12(5): 851-864.
- [7] Korkmaz T, Krunk M. Multi-constrained optimal path selection[J]. IEEE INFOCOM, 2001, 2: 834-843.
- [8] Chen S, Nahrstedt K. Distributed quality-of-service routing in ad hoc networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1999, 17(8).
- [9] Das S K, Mukherjee A, Bandyopadhyay S, et al. Improving quality-of-service in ad hoc wireless networks with adaptive multi-path routing[C]//IEEE Global Telecommunications Conference, GLOBE-COM, 2000, 1: 261-265.
- [10] Huan Xiao-xia. Multiconstrained QoS multipath routing in wireless sensor networks[J]. Wireless Networks, 2006. DOI: 10.1007/s11276-006-0731-9.
- [11] 肖伟, 全惠云. 具有调和特性的蚁群改进算法[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(34): 46-48.