

# 一种分布式无线传感器网络跨层移动通信技术研究\*

阴国富

(渭南师范学院 数学与信息科学学院, 陕西 渭南 714000)

**摘要:** 针对无线多媒体传感器网络对带宽和实时性等的高要求,建立了一种基于能量优化和跨层协同交互的分布式多路径路由技术,并应用于移动通信领域。该技术采用了遗传算法优化节点传输多媒体数据能耗,建立节点剩余能量预测模型,根据感知能量建立跨层协同工作体系,以较小代价在动态无线网络拓扑中选择最优路径。仿真实验和数学分析表明,该技术能够高效地支持实时移动视频通信,适合于计算能力、存储能力和能量等受限的无线多媒体传感器网络。

**关键词:** 无线多媒体传感器网络;遗传算法;移动通信;跨层交互

**中图分类号:** TN929.5      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-3695(2012)09-3441-03

**doi:**10.3969/j.issn.1001-3695.2012.09.064

## Research on mobile communication multimedia sensor distributed cross-layer interaction technology

YIN Guo-fu

(College of Mathematics & Information Science, Weinan Normal University, Weinan Shaanxi 714000, China)

**Abstract:** For wireless multimedia sensor network bandwidth and real-time, high demand, this paper built a kind to be based on energy optimization and cross-layer interactive distributed multi path routing technology and application in the field of mobile communication. The first, it used genetic algorithm to optimize the node to transmit multimedia data establishment of residual energy of nodes energy consumption prediction model, and then according to the perception of the energy based cross-layer coordination work system, with lesser cost in dynamic wireless network topology optimal path. Simulation experiment and mathematical analysis show that, the technology can effectively support the real-time mobile video communication, suitable for computation ability, memory ability and energy constrained wireless multimedia sensor networks.

**Key words:** wireless multimedia sensor network; genetic algorithm; mobile communication; cross-layer interaction

传统的无线传感器网络移动通信技术主要是针对无线动态特性、能量受限等问题提出的,难以满足多媒体数据流的长时间实时通信的服务质量要求。因此,研究如何为无线多媒体传感器网络服务质量提供有效保障的路由技术面临着一系列挑战<sup>[1,2]</sup>,并已经取得一系列研究成果<sup>[3-7]</sup>。文献[3]研究一种适用于无线 Mesh 网普适环境的可信体系结构和路由技术;文献[4]针对无线多媒体传感器网络带宽受限和多媒体通信的实时性,提出了一种协同合作路由技术;文献[5]主要分析了无线多媒体传感器网络中,考虑负载均衡和能量感知的路由技术;文献[6]提出了一种基于 Greedy-Compass 的自适应能量感知多路径路由协议;文献[7]构建了适用于无线多媒体传感器网络的基于数据传输体系。

本文针对以往研究的不足:对于无线多媒体传感器网络的能量感知和剩余能量的预测及判断均未作进一步深入研究;同时,无线信道质量和节点剩余能量对于建立路由有重要影响<sup>[8]</sup>。因此,基于跨层交互和协同合作,建立一种短时间内收敛的遗传优化算法模型预测剩余能量和感知能量比,据此建立最佳多路径路由。该技术基于预测网络整体能量和节点感知能量,并结合无线链路信道质量,进化迭代后生成可靠性和稳定性折中的分布式协同合作路由。

### 1 多媒体传感器遗传算法的能量优化

#### 1.1 基于遗传算法能量优化

通过模拟生物学中遗传优化和自然选择的迭代阶段可知,在每个迭代周期内根据生物种群需求自适应优化参数和因子,记录待解即无线多媒体传感器节点能量消耗和剩余能量之比;然后对待解通过进化、置换和转置等遗传优化操作,计算将来的新待解即预测无线多媒体传感器节点剩余能量:

$$\sum_{i=1}^m A\partial_i X_i \tag{1}$$

$$\sum_{i=1}^m \partial T_i X_i \leq N \quad X_i \in \{0,1\}, 1 \leq i \leq m \tag{2}$$

其中:式(1)表示遗传迭代的最大化过程,式(2)表示最大化操作过程中的优化限制条件,第*i*个活动阶段进化所消耗资源记为 $T_i$ , $\partial$ 表示迭代优化权值, $N$ 表示无线多媒体传感器网络可用资源,第*i*个活动阶段迭代收益记为 $X_i$ 且采用二进制计数。如果迭代优化进入第*i*个阶段,则进化活动中 $X_i$ 为1,其余情况赋值为0。

综上所述,无线多媒体传感器节点感知能量预测的问题归结为:在可用总体无线多媒体传感器网络资源和节点剩余资源的限制条件下追求感知能量最大收益。因此,基于遗传算法求解感知能量工作流程如下:

a) 初始化阶段。随机产生 $N$ 个数据序列 $\theta F_k$ 且要求 $1 \leq k \leq N$ ,用于记录当前无线多媒体传感器网络状态参数和因子

赋值初始遗传种群。

b) 遗传优化迭代阶段。根据  $N$  字符串  $\theta F_k$ , 优化记录解为可能待解。在第  $i$  个进化阶段, 如果进行优化竞选操作, 则  $\theta F_k(i)$  为 1, 否则为 0。

c) 优化待解轮询阶段。根据无线多媒体传感器节点的待解建立预测感知能量目标函数:

$$G(\theta F_k) = \sum_{i=1}^N RF_k(i) \partial A_i \quad (3)$$

然后对优化迭代进程中实现算子和参数预算操作, 据此求得进化惩罚情况出现时构建感知能量迭代的参考权重  $\sigma$ 。

d) 待解感知阶段。对于待解序列  $\theta F_k(i)$ , 在迭代最优阶段进行存放的概率  $P_k$  为

$$P_k = f(\sqrt{T_k}) / g(T_k) \sum_{j=1}^N g(\sqrt{T_j}) \quad 1 \leq k \leq N \quad (4)$$

根据轮询迭代计算得到的  $P_k$  数组, 对随机得到的  $N$  个数据序列  $\theta F_k$  进行更新选择然后杂交个体。

e) 转置进化迭代进程<sup>[9]</sup>。

f) 在无线多媒体传感器网络中簇头节点上重复执行步骤 b) ~ e), 直到建立分簇区域内所有节点感知能量二维表, 以便据此分析得到当前视频数据发送端到接收端的感知能量最大节点序列。

为了对比遗传优化算法与文献 [10, 11] 中的优化算法的收敛速度, 采用 MATLAB 工具进行了一系列实验, 其结果如表 1 所示。

表 1 几种优化算法比较

优化算法搜索次数	局部极大点	全局极大点
遗传优化	8	46
文献[10]	20	58
文献[11]	57	178

从表 1 中可以看出, 优化算法对于无线多媒体传感器网络进行能量预测, 实现局部最优和全局最优的收敛速度明显高于文献 [10, 11] 中所采用的优化算法。

### 1.2 能量优化模型性能分析

假设无线多媒体传感器网络中分别部署了 20、30、40、50 个节点。NS-2 仿真系列实验中, 分别假设共有 5 个和 10 个视频数据发送源节点, 同时建立 5 和 10 对视频会晤, 数据包发送的速率为 10 bps。其他参数如表 2 所示。在不同网络规模下, 源节点与接收节点之间传输每比特平均信噪比仿真实验统计值与预测值对比结果如图 1 所示。从图 1 可以看出, 随着网络规模的增加, 感知能量与剩余能量之比逐渐降低, 在这个过程中传感器节点剩余能量在逐渐减少, 表明传感器能量感知的能力随着节点数的增加会逐渐减弱。这是因为分簇内各节点间的无线广播消息增加了干扰信号, 使得无线链路质量越来越差, 很难满足多媒体数据在无线传感器网络上传输的服务质量。然而, 基于遗传优化算法的预测模型, 可以在传感器节点能量感知能力减弱的趋势下显著提高感知能量之比, 明显优于仿真实验统计值。此外, 对比图 1(a) 和 (b) 发现, 随着无线多媒体传感器网络中视频会晤数的增加, 预测比值与统计比值相比, 随着网络规模和视频业务规模增大, 误差越来越大。这是因为遗传优化算法中, 对于随机  $N$  个数据序列  $\theta F_k$  进行更新过程特别是对待解更新时受到越来越大的噪声干扰, 进行转置筛选后存放的概率  $P_k$  逐渐降低, 但是最大的误差值仍小于 0.163, 表明遗传优化算法可以满足无线多媒体传感器网络对实

时性的高要求, 能够在较短的时间内收敛并预测感知能量。

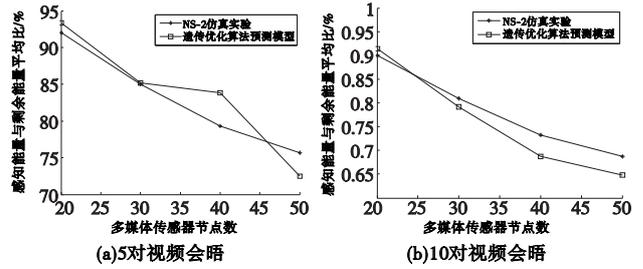


图 1 不同视频会晤个数条件下感知/剩余能量比对比

## 2 跨层交互分布式路由技术

无线多媒体传感器网络可表示为一个有向图  $G(V, E)$ , 其中  $V$  表示多媒体传感器节点集合,  $E$  表示视频数据传输无线信道集合。假设随机分布  $N$  个节点。每个分簇内多媒体传感器节点的编号记为  $(O(1) \leq n \leq O(N))$ ,  $O(i)$  表示多媒体传感器节点所处分簇,  $d_{ij}$  表示节点  $O(n_i)$  与  $O(n_j)$  之间的一跳通信距离。多媒体传感器节点的直接通信距离为  $\gamma$ , 节点信号发射的干扰半径为  $\omega$ 。对于出错或丢失的视频数据, 根据 MPEG-4 视频帧的类型可分为三类, 即属于  $I$  帧、 $P$  帧和  $B$  帧的数据包分别记录为  $FE_I, FE_P, FE_B$ 。

基于遗传优化算法预测模型的跨层交互分布式路由技术工作体系结构如图 2 所示, 其中跨层协同体系包括两个部分, 主要用于视频传输过程传递遗传优化参数及其因子和采集无线多媒体传感器网络状态信息。

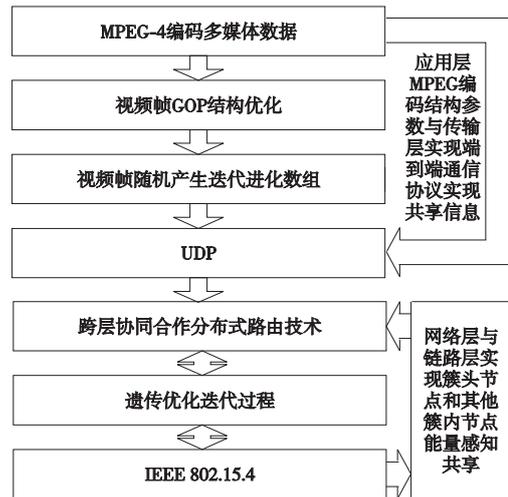


图 2 跨层协同交互分布式路由体系

综上所述, 具体工作流程如下:

- 视频数据发送源节点通过无线广播消息, 通知相邻节点或接收节点。
- 各分簇内的若干相邻节点收到源节点广播信息后向其反馈确认消息, 然后源节点根据收到的确认信息得到相邻分簇区域定位信息, 根据遗传优化算法预测该区域内所有节点感知能量, 并向该分簇广播预测消息。
- 分簇内簇头节点收集簇内所有节点的剩余能量, 然后反馈给源节点。
- 反复执行步骤 b) 和 c), 直至建立一张感知能量与剩余能量及其比值的二维表, 从中选择一条到达视频数据接收节点的比值最大路径。
- 基于图 2 所示的跨层协同路由机制, 建立协同合作分布式路由。

### 3 性能分析与评价

基于第 2 章中建立的分布式跨层交互路由算法在无线多媒体传感器网络中的体系结构,采用 NS-2 和 MATLAB 在系统能效、系统吞吐量、路由开销、时延和分组递交率上与非协同路由技术、协作路由技术进行性能分析与比较,实验参数如表 2 所示。

表 2 参数设置

参数	值	参数	值
仿真时间/s	800	MAC 层信道接入模式	RTS/CTS/Data/ACK
拓扑大小/m	1 200 × 600	多媒体数据源类型	MPEG-4
数据包/Byte	1240	MPEG-4 视频帧平均长/Byte	500
MAC 协议	IEEE 802.15.4		

分析基于遗传优化算法跨层交互分布式路由技术(GC-R)与协作路由技术采用 MATLAB 实现,同时假设无线链路信道为 Nakagami\_m 信道,调制方式为 QAM-VSB 调制。

图 3 分别从系统能效和系统吞吐率上对比了三种路由技术。其中,图 3(a)纵坐标表示能效百分比值,(b)纵坐标表示系统吞吐率百分比值;图 3 横坐标表示多媒体传感器节点数变化。分析发现,协同合作传输技术保持高效能同时增大系统吞吐率。其中基于遗传优化算法的跨层协同合作路由技术能效性能最佳。

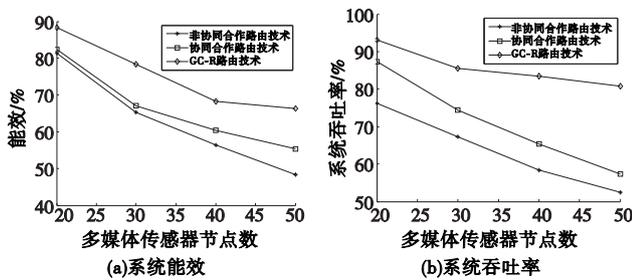


图 3 不同网络规模下能效和吞吐率性能对比

此外,无线多媒体传感器网络视频负载变化的路由开销、时延和分组递交率方面的性能对比如图 4 所示。其中,图 4(a)纵坐标表示路由开销百分比值,(b)纵坐标表示视频数据发送源节点到接收节点间端到端平均时延,(c)纵坐标表示视频分组成功递交率百分比值;图 4 横坐标表示多媒体传感器节点数变化情况。非协同合作路由技术、协同合作路由技术和基于遗传优化算法跨层交互分布式路由技术(GC-R)的端到端平均时延均随着网络视频负载增大而增大。对于基于遗传优化算法的跨层分布式协同合作路由技术而言,端到端平均时延保持最小且平滑。分组成功传递率均保持下降趋势,但是非协同合作路由技术的成功率最低。

图 3、4 共同表明,基于遗传优化算法的感知能量预测跨层协同合作分布式路由技术,可以充分利用 MPEG-4 编码视频帧 GOP 结构的特点,基于多媒体传感器节点感知能量和剩余能量,合理选择协同合作路由,能够保持较高的系统吞吐率、路由开销、端到端平均时延和有效的可靠性,是一种非常适合于无线多媒体传感器网络的高能效路由技术。

### 4 结束语

本文采用遗传优化算法模型预测多媒体传感器节点感知

能量和剩余能量比,基于无线链路信道质量建立了一种应用层、网络层和链路层的跨层交互分布式优化协同合作路由技术。根据 NS-2 仿真和 MATLAB 数学分析表明,遗传优化算法能够在较短的时间内收敛运算速度,很好地满足多媒体实时通信的要求,并具有较高可靠性准确地预测网络能量状况。另一方面,该分布式跨层交互优化协同合作路由技术在提高无线多媒体传感器网络能量、带宽和信道链路等有限资源利用率的同时,有效地延长了无线多媒体传感器网络生命周期,能够很好地保证长时间的视频数据传输,验证了该路由技术可以较好地适应无线多媒体传感器网络通信。

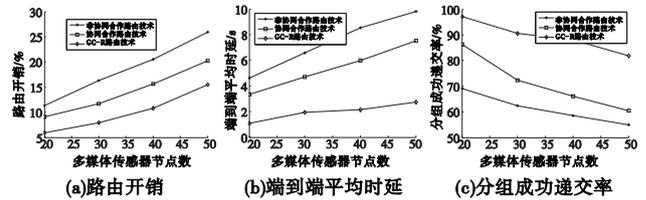


图 4 不同网络规模下路由开销、端到端平均时延和分组成功递交率性能对比

### 参考文献:

- [1] LOH P K K, JING H W, PAN Yi. Performance evaluation of efficient and reliable routing protocols for fixed-power sensor networks [ J ]. IEEE Transa on Wireless Communications, 2009, 8 ( 5 ): 1102-1109.
- [2] CAO Sha-sha, KE Zong-wu, CHEN Nian-sheng. Research of QoS routing technology for wireless multimedia sensor network [ C ] // Proc of ISECS International Colloquium on Computing, Communication, Control, and Management. 2009:334-337.
- [3] ZHANG Xia, YU Hong-yi, ZHOU Gang. Bandwidth efficient collaborative quality of service routing for real-time flow in wireless multimedia sensor networks [ C ] // Proc of IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference. Washington DC: IEEE Computer Society, 2010:509-515.
- [4] SUN Wen-zhong, SONG Ying-xiong, CHEN Min. A load-balanced and energy-aware routing metric for wireless multimedia sensor networks [ C ] // Proc of the 3rd International Conference on Wireless, Mobile and Multimedia Networks. 2010:21-24.
- [5] MEDJIAH S, AHMED T, KRIEF F. AGEM: adaptive greedy-compass energy-aware multipath routing protocol for WMSNs [ C ] // Proc of the 7th IEEE Consumer Communications and Networking Conference. Piscataway, NJ: IEEE Press, 2010:1-6.
- [6] MOHAJERZADEH A H, YAGHMAEE M H, MONSEFI R. A QoS based data dissemination protocol for wireless multimedia sensor networks [ C ] // Proc of the 3rd International Workshop on Advanced Computational Intelligence. 2010:670-675.
- [7] MOHAJERZADEH A H, YAGHMAEE M H, TOROGHI N N, et al. MREEP: a QoS based routing protocol for wireless multimedia sensor networks [ C ] // Proc of the 19th Iranian Conference on Electrical Engineering. 2011:1-6.
- [8] VITHYA G, VINAYAGASUNDARAM B. Actuation sensor with adaptive routing and QoS aware checkpoint arrangement on Wireless Multimedia Sensor Network [ C ] // Proc of International Conference on Recent Trends in Information Technology. 2011:444-449.
- [9] 林威仪,陈兵. 无线移动环境下双链路通信机制的研究与应用 [ J ]. 计算机应用, 2011, 31 ( 3 ): 621-624.