

# 移动自组网中能量优化的路由算法研究综述<sup>\*</sup>)

罗玉宏<sup>1,2</sup> 王建新<sup>1</sup> 陈松乔<sup>1</sup>

(中南大学信息科学与工程学院 长沙 410083)<sup>1</sup> (湖南网络工程职业学院 长沙 410004)<sup>2</sup>

**摘要** 移动自组网是在没有中心基础设施情况下由一些移动用户自组织形成的多跳无线移动网络,通常为一些特殊环境提供临时通信便利。由于移动自组网中终端设备依赖于电池供电,为了延长节点的工作时间,要求尽量减少节点的能量消耗,从而延长整个网络的使用寿命。本文对当前存在的基于能量优化的单播和组播路由算法进行了分析和比较,阐述了目前亟待解决的主要问题和今后的研究方向。

**关键词** 移动自组网,能量效率,路由算法,优化

## Optimal Routing Algorithms Based on Energy-efficient in Mobile Ad Hoc Network

LUO Yu-Hong<sup>1,2</sup> WANG Jian-Xin<sup>1</sup> CHEN Song-Qiao<sup>1</sup>

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083)<sup>1</sup>

(Hunan Network Engineering Vocational College, Changsha 410004)<sup>2</sup>

**Abstract** Mobile ad hoc network(MANET) is an autonomous collection of mobile nodes that communicate over relatively bandwidth-constrained wireless links. MANET can be quickly installed without technical persons in such areas where infrastructure networks are difficult or impossible to establish. Power supplies nodes in MANET depend on the batteries. To extend nodes and networks lifetime, it calls for efficient use of their batteries. The problems about optimal unicast and multicast routing algorithms based on energy-efficient in MANET are deeply discussed, and some routing mechanisms are analyzed and compared. It points out the direction to the research in the future.

**Keywords** MANET, Energy-efficient, Routing algorithms, Optimize

## 1 引言

移动自组网(MANET)是在没有中心基础设施情况下由一些移动用户自组织形成的多跳无线移动网络,通常为一些特殊环境提供临时通信便利。在自组网中,每个用户终端兼有路由器和主机两种功能。与其他通信网络相比,自组织网具有动态变化的网络拓扑结构、有限的无线传输带宽、移动终端的能量限制等特点。随着无线移动通信和移动终端技术的高速发展,自组网不但在军事领域中得到了充分发展,而且为民用移动通信服务奠定了技术基础,MANET路由协议成为近些年国际上一个广泛研究的热点。目前,已存在多种以自组网为网络环境的路由协议<sup>[1]</sup>,其中较为基础和常见单播路由协议有:主动路由协议 DSDV、WRP、FSR、OLSR 和按需路由协议 DSR、AODV、TORA、ABR 等,常见的组播路由协议有:基于树的协议 AMRIS、MAODV 和基于网格的协议 ODMRP、CAMP、FGMP 等。在 MANET 中,由于移动终端设备本身依赖于电池供电,为了延长节点的工作时间,要求尽量减少节点的能量消耗,从而延长整个网络的使用寿命。网络层路由协议的合理设计可以极大地降低能量的消耗,但是上述路由协议都没有考虑能量的使用效率问题。

## 2 基于能量优化的单播路由算法的研究

单播指网络中从源节点向目的节点转发数据的过程。在

单播方式下,只有一个发送方和一个接收方。对 MANET 单播的能量效率研究主要集中在以下方面。

### 2.1 研究热点

#### (1) 总能量消耗的最小化

总能量消耗的最小化是找到一条传送路径,使从源节点传送一个数据包到达目的节点所消耗的网络总能量最小。在 MANET 中,传送一个包所消耗的总能量就是传送路径中多个节点转发数据所消耗的能量之和。每个节点所消耗的能量包括数据包发送所需的能量和数据包接收所需要的能量。这种特性使得路由更趋向于选择多跳路由而不是最小跳路由。

#### (2) 网络生存时间的最大化

使用总能量消耗最小化的缺陷在于路由选择不考虑各个节点的能量资源的使用情况,可能导致网络的负载不均衡,部分节点由于过快的电池能量消耗而导致死亡,出现网络分区。延长网络的生存时间主要考虑:①最大化网络生存时间直到第 1 个节点死亡;②最大化网络生存时间直到网络出现分区。这两种方法的区别在于前者侧重于网络中的每个节点,后者更侧重于整个网络的连通性。

(3) 在大型和移动的 ad hoc 网络,路由协议设计考虑低开销和可扩展性,结合能量使用效率进行综合考虑。

### 2.2 解决方案

#### (1) 能量消耗的最小化路由

文[2,3]采用了能量消耗的最小化路由方案,文[2]中提

<sup>\*</sup> 基金资助:国家自然科学基金网络与信息安全重大研究计划(90304010)和湖南省自然科学基金(03JJY5032)。罗玉宏 博士研究生,主要研究领域为无线网中的 QoS 问题、路由算法、网络性能评价;王建新 教授、博士生导师,主要研究方向为路由算法及网络性能评价;陈松乔 教授、博士生导师,主要研究方向为软件工程。

到的 MTPR 是典型的能量消耗最小化路由协议。协议选择路径上各节点所消耗的能量之和最小的那条路径为最优路由。文[3]提出的 PARO 协议在此基础上做了改进,规定在链路层上的控制报文用最大功率发送,数据报文和应答用最小功率发送。能量消耗的最小化路由协议没有考虑移动节点的剩余能量资源,有可能使得一些关键节点频繁地落入最小传送能量的路径上,过量的负载使得这些节点过早地死亡,产生网络分区。同时,跳数过多也对网络的性能(可靠性、延迟等)造成较大的影响,有可能浪费更多的能量。

### (2) 网络生存时间的最大化路由

文[4]提出了基于节点的电池剩余能量资源的路由策略 MBCR 和 MMBCR。MBCR 通过计算路径上各节点剩余能量的倒数和,选取值最小的路径作为最优路由。协议实际上尽量使用能量资源较多的节点进行通信,达到网络中各节点的能量资源使用均衡的目的,延长网络的生存时间。MMBCR 考虑在每条可用的路径上,找到一些能量残余最小的节点,选择具有最大剩余能量的节点所在的路径。协议主要考虑尽量避开网络中的瓶颈节点(电池能量最小的节点),延缓网络中第一个节点死亡的时间,达到延长网络生存时间的目的。以上两种策略从节点的电池能量资源出发,分别从网络节点能量使用均衡和避开瓶颈节点,达到延长网络的生存时间的目的。但是这两种策略只考虑了节点的剩余能量,没有考虑节点能量的消耗变化情况。

文[6,7]提出了基于节点的生存时间的路由策略。文[6]提出的 MDR 路由协议,通过计算节点的剩余能量与当前传输能量消耗的比值,来估算节点的生存时间,判断选择路由的关键节点,再选择具有最长生存时间的节点所在的路径。协议考虑了通信开销所带来的能耗,并且通过指数平滑法考虑了过去能耗的影响,提高了节点生存时间预测的精确性,具有较好的性能。文[7]利用过去多个包的能量消耗速度来预测当前时刻数据包到来时节点的生存时间。基于节点生存时间的路由策略既考虑了节点的剩余能量,又考虑了节点能量的具体消耗速度,模拟结果显示比基于电池剩余能量的路由协议具有更好的能量使用效率。但是这些协议都不能保证被选的路径总的传输能量最小。因此,在路径总能量的最小化和瓶颈节点能量资源使用之间总存在一个 trade-off, 找到一个最佳的平衡点,就能够获得一个好的能量有效的路由算法,这是一个 NP 难问题。

文[8,9]提出了结合节点电池能量资源和总能量消耗最小两种情况,选择各个节点能量消耗总和最小的路由,但是它没有反映节点的能量消耗的变化情况。文[5]提出 CMBCR 路由策略,给定一个值  $\lambda$ ,当存在这样的路径,其路径上的节点最小剩余能量大于  $\lambda$ ,就在这些路径中找一条总能耗最小的路由,否则执行对应的 MMBCR 算法。文[7]相应提出了 CMDR 的路由策略,区别在于它考虑的是关键节点的生存时间。综合考虑路径总能量消耗最小和避开瓶颈节点的路由策略,在模拟实验中比单独考虑其中一项指标具有更好的性能,但是 CMBCR 和 CMDR 中  $\lambda$  的选取是一个很困难的事,并对实验的结果有较大的影响。

### (3) 其它解决方案

#### a) 最小化路由协议开销

通过减少路由发现过程阶段的能量消耗,建立能量优化的路由。文[10]提出的 LAPAR 协议采用全球定位系统(GPS)辅助。依靠节点的位置信息进行局部的路由选择,从

而得到全局次优的路由。文[11]提出将 ad hoc 网络划分成多个区,每个区中轮流选择一个节点负责跨区的路由,这样将网络分为两层,路由算法同时包括区内路由和区间路由。这种路由策略的主要困难在于如何获得整个网络路由的能量效率,这需要获得每个区的能量信息。

#### b) 路由的可靠性

文[12,13]在路由选择中考虑了数据传送的可靠性问题。文[12]在文[8]的基础上进行了改进,在节点的能量代价函数中综合考虑了数据传送的可靠性和节点剩余能量两种因素的影响,选择节点能量消耗总和最小的路由。还有其它一些方案的采用,如增加方向天线在路由算法中的应用<sup>[14]</sup>,考虑信噪比对路由算法的影响<sup>[15]</sup>等。由于对某个影响能量消耗的因素进行了更加准确的描述,因而也得到了较好的能量使用效率。表 1 列出几种常见的能量优化的单播路由算法特征表。

### 2.3 解决方案中存在的主要问题

(1) 没有结合网络节点的具体能耗情况,对节点能量使用建立一个有效的节点能耗模型和相应的评价指标;

(2) 大部分算法片面地追求路径总能量的最小化或延长瓶颈节点生存时间两种极端情况,对延长网络的生存时间是不利的。部分路由算法(如上述 CMBCR、CMDR)即使将二者综合起来考虑,也没有结合网络节点能耗的动态变化的具体情况,在具体的实施过程中操作很困难;

(3) 没有结合节点的睡眠状态等其它多种因素做节能的综合考虑,能量优化的路由算法对网络的其它性能的影响缺乏较深入的研究。

表 1 几种能量优化的单播路由算法特征表

路由协议	总能耗	生存时间	能量优化特征
MTPR	✓		总传送功率最小
PARO	✓		功率控制减少控制信息
MBCR		✓	节点能量使用均衡
MMBCR		✓	瓶颈节点生存时间
MDR		✓	能耗干率
CMBCR	✓	✓	给定阈值进行条件选择
CMDR	✓	✓	给定阈值进行条件选择
LAPAR	✓		GPS 辅助

## 3 基于能量优化的组播路由算法的研究

组播是指单个发送者对多个接收者的一种网络通信,在 MANET 中扮演着重要的角色。

### 3.1 研究热点

(1) 定义组播成员的节点能耗模型,以减少组播成员总的能量消耗为目的,采用功率控制的方法,延长整个网络生存时间。

(2) 定义组播的生存时间,以均衡组播中各节点的使用寿命为目的,采用功率控制的方法,延长组播的系统时间。

(3) 结合网络拓扑结构对节点的发射功率进行动态调整,让每个无线设备自主调节它的传送范围,选择某些邻居节点通信,达到减少整个网络能量消耗和提高网络吞吐量的目的。

### 3.2 解决方案

#### (1) 构造基于能量优化的源组播树

基于源组播树的路由算法具有数据传输效率高、控制简单的优势而被广泛采用。文[16]证明了构造能量最优的广

播/组播树问题是 NP 难,文[16~20]介绍了几种构造基于能量效率的广播/组播树的启发式算法。

### 1)组播树的总能量消耗最小化

文[16]提出了一个 EWMA 算法和相应的分布式算法,通过精简一棵 MST 组播树来提高能量效率。文[17]提出了一个集中式 LESS 算法,较好地提高了广播的能量效率。文[18]提出了一个分布式算法 S-REMiT,首先构造初始的能量有效的 MST,然后在树中利用无线组播的优势,通过深度优先搜索依次选择节点,进行能量的优化。通过交换一些 MST 节点的父亲节点来使整个组播树的能量趋向最优,取得了较好的性能,但没有考虑由此带来的部分瓶颈节点因过量的能量消耗而迅速死亡,影响了整个组播树的生存时间。

### 2)组播树的生存时间最大化

文[19]提出的分布式算法 L-REMiT 同样通过交换一些 MST 节点的父亲节点来减少 MST 树中能量瓶颈节点的能量消耗,延长整个组播树的节点的使用寿命。它通过移走瓶颈节点的最远孩子来减少它的能量消耗,延长组播树的生存时间,由此却带来组播树总的能量消耗的增加,耗费了更多的能量。

### 3)综合考虑总能耗最小化和生存时间最大化

文[20]提出了 BIP/MIP 集中式算法,BIP 算法使用节点能耗作为代价函数,采用类似于普里姆(Prim's)算法构成一棵最小能量生成树。BIP 算法是一种集中式的算法,并且有较高的时间复杂度。两种 BIP 改进的分布式的算法(Dist-BIP-A,Dist-BIP-G),性能有所下降。表 2 列出了几种构造能量优化的源组播树的算法特征表。

表 2 几种构造能量优化的源组播树的算法特征表

Algorithms	Min.	Max.	Dist. /
	Energy	Lifetime	Centralized
EWMA	✓		C,D
LESS	✓		C
BIP/MIP	✓	✓	C
Dist-BIP-A			D
Dist-BIP-G	✓		D
S-REMiT	✓		D
L-REMiT		✓	D

### (2)构造基于能量优化的网络组播

当节点的移动性较大时,源组播路由算法要频繁地更新、重构生成树,给网络带来了巨大的资源损耗,同时对通信的 QoS 造成了影响。基于网络的组播路由协议的优点是在源和目的节点之间有多条路径,稳健性好,链路的断开不一定引起网络的重建;缺陷是在网格内洪泛数据而引起的高开销,由于支持多条路径而容易引起节点冲突,数据分组会消耗比较多的资源,最重要的是,降低了能量的使用效率。解决的主要方案有:

#### 1)基于网络的中继分组技术

文[21]提出了 E<sup>2</sup>MRP 协议,它采用了“中继组”的概念。中继组由所有组播接收者的节省能量路径上的所有中间节点组成,它们完成组播分组的传送。采用图的结构,构造节省能量的网格来中继分组,延长了节点和网络的寿命,并且克服了源组播树的连接性差、频繁的树重建等缺点。协议在一个称为“代价函数转换器”(CFS)的定时器控制下,交替采用分组平均能量消耗最少(MECP)和最大节点代价最小(MMNC)两

种原则。MECP 原则采用的方法是从组播源节点到它的一个组播接收者之间总能量最小化的单播路由策略,选取总能量消耗最少的路径。

仿真表明,E<sup>2</sup>MRP 较一般的组播选路协议更能适应节点的移动性,比 MIP 协议和 ODMRP 协议有更好的能量有效性。

#### 2)降低控制信息的开销

文[22~24]提出了几种基于网格组播路由协议 ODMRP 的改进方法,包括利用历史信息减少转发组成员的个数,利用移动预测方法减少周期性控制包发送的总数等。其中文[24]提出的 CQMP 协议周期性使用询问包,询问包负责更新匹配当前网络条件的路由和帮助新的组成员进行路由发现,它通过在网络中每个节点增加一个消息缓存区来存放要中继的询问包信息,通过合并一些从相同的节点来的控制信息,成功地减少了不同源节点将要到来的冗余信息包的转发。CQMP 协议较 ODMRP 协议降低了 30%控制包的负载,提高了 10%~20%的多播效率,达到了节省网络的总能耗的目的。

#### 3)基于拓扑控制技术

拓扑控制技术是通过缩小每个无线节点的传送范围(小于它的最大传送范围)去有效覆盖被选择的最远邻节点。这种技术不仅能节省节点的能量消耗,延长网络的生存时间,而且能够通过减少 MAC 层的访问冲突来改进网络的吞吐量。在 MANET 中,拓扑控制技术通常采用局部和自适应方式进行维护以减少通信的开销。

COMPOW<sup>[25]</sup>是统一功率控制的典型协议,它的每个节点采用统一的发射功率,这个功率是维持整个网络连通的最小功率,是一种近似最优的功率调整方案。COMPOW 协议把功率控制放在网络层中实现,通过在网络层中增加并行模块,为每个发射功率级建立一个路由表,采用功率代理选定最优功率,就可以使用这个功率级相对应的路由表。协议从降低路由的复杂性和减少网络通信的开销出发,减少了网络总能量的消耗。

常见的非统一控制功率的拓扑控制<sup>[26~28]</sup>采用早期的图结构,如 RNG,GG 和 YG 等来构造(图 1)。文[28]证明了两个 RNG 和 GG 图的能量放大因子(因为部分连接边的取消而造成任意两节点间通信的最小能量增大)传送分别是  $O(n)$  和  $O(\sqrt{n})$ 。文[27]指出所有这三种图不能保证节点的度有界。目前,关于减少长度的放大因子和控制节点的度有界是热点研究问题,一直没有得到很好的解决。

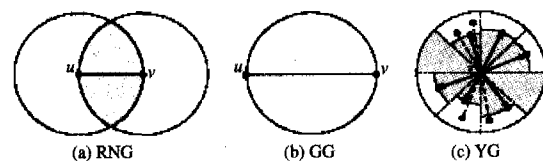


图 1 RNG,GG 和 YG 的定义

### 3.3 解决方案中存在的主要问题

(1)大多数源组播路由算法只片面考虑了生成树的最小能量消耗或瓶颈节点的最长使用寿命,对延长组播的连接时间都不利。如何在这二者之间找到一个最优的平衡点,对延长组播树的生存时间有很重要的意义;

(2)部分网格路由协议(E<sup>2</sup>MRP)没有结合网络拓扑结构对节点的发射功率进行动态调整;

(3)没有结合节点的睡眠状态对转发包的节点数量进行

控制,拓扑结构控制没有和具体的组播路由协议结合起来研究。

#### 4 能量优化的路由算法的研究方向

研究移动自组网中基于能量优化的路由算法,可以从以下几个方面进行考虑:

##### (1) 研究节点能量消耗模型

目前的节点能耗模型存在一定的片面性,有的只考虑节点能量的剩余情况或节点剩余能量与节点初始能量的比值;有的仅仅考虑节点剩余能量与节点能耗比值的线性关系,没有综合考虑网络整体能耗的动态变化过程。要利用无线传输的特性,对已有的移动节点能耗模型进行改进,使它能够在动态地反映节点的能耗情况与网络整体能耗之间的关系,用来计算节点转发包的概率和发射功率的调节。

##### (2) 研究能量优化的单播路由算法

已有的单播节能路由策略一般仅针对某个具体的目标,如基于最小传送能量路由只考虑为每个报文或者每次传送找到一条最小能耗的路径;而基于节点剩余能量的路由则只考虑如何尽量地减小较低电量的节点继续为别的节点传送的几率。研究表明,应该尽可能全方位地考虑能耗代价,从而得到综合的协同策略。根据网络的使用情况,把路径总能量的最小化和瓶颈节点之间的对立有机地结合起来,动态寻找有效的平衡点,提高路由算法的能量效率,延长网络的使用时间。同时,考虑降低路由发现过程中的能量消耗,提高链路的可靠性等,综合考虑路由算法的性能,提出有效的多目标最优解决方案。

##### (3) 研究能量优化的组播路由算法

针对目前已有的能量优化组播树在建立和维护过程中存在的片面性,结合无线组播的能量传播优势和节点能耗模型,综合考虑组播树总能耗和生存时间的性能。可以采用概率的方法来构造能量效率的组播树,减少一棵组播树的总能量消耗,延长组播树中瓶颈节点的使用寿命。同样,在保证网络连通的情况下,结合网络的拓扑结构控制,对节点能量的传送范围进行调节,延长瓶颈节点的使用寿命。要考虑移动终端睡眠状态的高节能特性,通过减少参与转发数据包的节点数,增加睡眠节点的方法达到降低网络整体能耗的目的;结合网络通信的其它属性(如节点的移动性、连通性、可靠性、QoS等)对算法进行综合考虑。

**总结** 本文较全面地回顾了与 MANET 相关的各种基于能量优化的路由算法,并根据不同的策略对协议进行了分类,分别对单播中总能量消耗的最小化、网络生存时间的最大化等相关路由协议和组播中源组播、网络组播路由及相关的协议进行了分析和比较,指出了各自的特点和存在的问题,并且指出了有待进一步研究的课题。随着 MANET 网络的应用范围越来越广,对基于能量优化的路由算法的研究会越来越深入,不久的将来,有望取得更好的研究成果。

#### 参 考 文 献

- 1 郑相全,等. 无线自组网技术实用教程[M]. 北京:清华大学出版社,2004
- 2 Scott K, Bambos N. Routing and channel assignment for low power transmission in PCS [C]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Universal Personal Communications (ICUPC '96), Cambridge, MA, September 29, 1996. 498~502

- 3 Gomez J, Campbell A T, Naghshineh M, et al. PARO: Power-Aware Routing Optimization for Wireless Ad Hoc Networks [C]. In: Proc. of IEEE 9th International Conference on Network Protocols (ICNP 2001), Riverside, California, 2001
- 4 Singh S, Woo M, Raghavendra C S. Power-aware with Routing in Mobile Ad Hoc Networks [C]. In: Proceedings of Mobicom 1998, Dallas, TX, 1998. 181~190
- 5 Toh C-K. Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad Hoc Networks [J]. IEEE Communications Magazine, 2001; 138~147
- 6 Kim Dongkyun, Garcia-Luna-Aceves J J, Obraczka K. Routing Mechanisms for Mobile Ad Hoc Networks based on the Energy Drain Rate [J]. IEEE Transactions on Mobile Computing, 2003, 2 (2); 161~173
- 7 Maleki M, Dantu K, Pedram M. Lifetime Prediction Routing in Mobile Ad Hoc Networks [C]. In: Proceedings of IEEE Wireless Communication and Networking Conf. 2003
- 8 Sheu Jang-Ping, Lai Chen-Wei, Chao Chih-Min. Power-Aware Routing for Energy Conserving Balance in Ad Hoc Networks [C]. In: Proceedings of IEEE International Conference on Networking, Sinsing & Control, 2004
- 9 Liang Weifa, Yang Yuansheng. Maximizing Battery Life Routing in Wireless Ad Hoc Networks [C]. In: Proceedings of the 37th Hawaii International Conference on System Sciences, 2004
- 10 Ko Young-Bae, Vaidya N H. Location-Aided Routing (LAR) in Mobile Ad hoc Networks [C]. In: Proceedings of the Fourth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking, Dallas, United States, 1998. 66~75
- 11 Chen B, Jamieson K, Balakrishnan H, et al. Span: An energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks [C]. In: Proceedings of Mobicom, Rome, 2001. 85~96
- 12 Xu Li, Zheng Baoyu. Cross layer coordinated energy saving strategy in manet [J]. J Electronics, 2003, 20(6); 451~455
- 13 Misra A, Banerjee S. MRPC: Maximizing Network Lifetime for Reliable Routing in Wireless Environments [C]. In: Proceedings of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Orlando, 2002
- 14 Nasipuri A, Li Kai, Sappidi U R. Power Consumption and throughput in Mobile Ad Hoc Networks using Directional Antennas [C]. In: Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Communication and Networks (ICCCN2002), Miami, 2002. 14~16
- 15 Liu Yu, Lau J. A Power-Based Source Routing for Wireless Mobile Ad Hoc Communications [C]. In: Proceedings of the Fourth IEEE Conference on Mobile and Wireless Communications Networks, Stockholm. 2002. 363~367
- 16 Galaj M, Hubaux J P, Enz C. Minimum-energy broadcast in all wireless networks; NP-Completeness and distribution issues [C]. In: Proc. ACM MobiCom, Atlanta, Georgia, 2002. 172~182
- 17 Kang I, Poovendran R. Broadcast with Heterogeneous Node Capability [C]. IEEE Global Telecommunications Conference (GlobeCom), Nov 29-Dec 03, 2004
- 18 Wang B, Gupta S K S. S-REMIT: An algorithm for enhancing energy efficiency of multicast trees in wireless ad hoc networks [C]. In: Proceedings of IEEE Global Communication Conference (GLOBECOM 2003), San Francisco, CA, 2003. 3519~3524

(下转第 26 页)

## 参考文献

- 1 曹淑敏. 第三代移动通信的概念及发展. <http://www.knowsky.com/12310.html>
  - 2 潘毅, 龚建荣. 用于3G无线网络的精细可分级编码技术. <http://www.mc21st.com/techfield/design/art/2004/d0528-34.htm>
  - 3 卓力, 沈兰荪, 张晓玲. 无线视频编码技术的发展. 测控技术, 2003, 22(5): 1~4
  - 4 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11. Overview of the MPEG-4 standard. N3536, Beijing, 2000, 7
  - 5 ISO/IEC 14496-2/ PDAM4. Coding of Audio-Visual Objects. Part-2 Visual, Amendment 4; Streaming Video Profile, 2000, 7
  - 6 Sikora T. MPEG digital video-coding standards. IEEE Signal Processing Magazine, 1997, 14(5): 82~110
  - 7 王相海. 基于小波的图像和视频可分级编码研究: [南京大学博士后研究报告]. 2001
  - 8 Li W. Overview of fine granularity scalability in MPEG-4 video standard. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2001, 11(3): 301~317
  - 9 Jiang H, Thayer G M. Using frequency weighting in FGS bit-plane coding for natural video. ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, MPEG99/M5489, 1999, 12
  - 10 Li W. Frequency weighting for FGS. ISO/IEC JTC1/ SC29/ WG11, MPEG99/M5589, 1999, 12
  - 11 王相海, 张福炎. 静态图像编码研究进展. 计算机研究与发展, 2001, 38(11): 1315~1326
  - 12 Yan R, Wu F, Li S, et al. Error resilience methods in the FGS enhancement bitstream. ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG00/M6207, July 2000
  - 13 van der Schaar M, Radha H, Chen Y. An all FGS solution for hybrid temporal-SNR scalability. ISO/IEC JTC1/ SC29/ WG11, MPEG99/M5552, Dec. 1999
  - 14 Macnicol J, Frater M, Arnold J. Results on fine granularity scalability. Melbourne, Australia, ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG99/m5122, Oct. 1999
  - 15 Li S, Wu F, Zhang Y Q. Study of a new approach to improve FGS video coding efficiency. ISO/IEC JTC1/ SC29/ WG11, MPEG99/M5583, Dec. 1999
  - 16 Wu F, Li S, Zhang Y Q. A framework for efficient progressive fine granularity scalable video coding. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology, 2001, 11(3): 332~344
  - 17 Li S, Wu F, Zhang Y Q. Experimental results with progressive fine granularity scalable (PFGS) coding. ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG99/ M5742, 2000
  - 18 Sun X, Wu F, Li S, et al. Macroblock-based progressive fine granularity scalable video coding. IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), Tokyo, August, 2001
  - 19 孙晓艳, 高文, 吴枫, 等. 基于宏块的渐进、精细可伸缩的视频编码. 软件学报, 2002, 13(11): 2134~2141
  - 20 孙晓艳, 高文, 吴枫, 等. 基于宏块的具有时域和SNR精细可伸缩的视频编码. 计算机学报, 2003, 26(3): 345~352
  - 21 Wang Q, Wu F, Li S, et al. Fine-granularity spatially scalable video coding. In: IEEE International conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Salt Lake City, 2001, 3: 1801~1804
  - 22 Chen C W, Lagendijk R I, Reibman A R, et al. Introduction to the special issue on wireless communication. IEEE Transactions in Circuits and Systems for Video Technology. 2002, 12(6): 357~359
  - 23 van der Schaar M, Radha H. Adaptive motion-compensation Fine-Granular-Scalability (AMC-FGS) for wireless video. IEEE Trans on Circuits for Video Technology. 2002, 12(6): 360~371
  - 24 van der Schaar M, Radha H. Motion-compensation based fine-granular scalability. (MC-FGS). ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG2000/ M6475, October, 2000
  - 25 Huang H-C, Wang C-N, Chiang T. A robust granularity scalability using trellis-based predictive leak. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 12(6): 372~385
  - 26 Ghanbari M, Seferidis V. Efficient H. 261-based two-layer video codecs for ATM networks. IEEE Trans Circuits Syst Video Technol, 1995, 5: 171~175
  - 27 Chen T P-C, Chen T. Fine-grained rate shaping for video streaming over wireless networks. EURASIP Journal on Applied Signal Processing, Special Issue on Multimedia over IP and Wireless Networks, 2004, 2: 176~191
  - 28 Man H, de Queiroz R L, Smith M J T. Three-dimensional subband coding techniques for wireless video communications. IEEE Trans on Circuits for Video Technology, 2002, 12(6): 386~397
  - 29 Stockhammer T, Jenkac H, Weiß C. Feedback and error protection strategies for wireless progressive video transmission. IEEE Trans. CSVT, 2002, 12(6): 465~482
  - 30 Wang Z, Lu L, Bovik A C. Rate scalable video coding using a foveation-based human visual system model. In: IEEE International Conference on Acoustics, Speech, & Signal Processing, 2001, 3: 1785~1789
- 
- (上接第10页)
- 19 Wang B, Gupta S K S. On maximizing lifetime of multicast trees in wireless ad hoc networks [C]. In: Proceedings of International Conference On Parallel Processing (ICPP-03), Kaohsiung, Taiwan, China, 2003. 333~340
  - 20 Wieselthier J E, Nguyen G D, Ephremides A. On the construction of energy-efficient broadcast and multicast tree in wireless networks [C]. In: Proceedings of IEEE INFOCOM 2000, Tel Aviv: IEEE Computer and Communications Societies, 2000. 585~594
  - 21 姜海, 叶猛, 等. 一种节省能量的移动 Ad Hoc 网络组播选路协议 [J]. 电路与系统学报, 2002, 7(2): 115~118
  - 22 Das B S M S K, Murthy C S R. A dynamic core based multicast routing protocol for ad hoc wireless networks [C]. In: Proceedings of the 3rd ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, Lausanne, ACM Press, 2002. 24~35
  - 23 Zhao Yao, Xu Leiming, Shi Meilin. On-demand multicast routing protocol with multipoint relay (odmrp-mpr) in mobile ad-hoc network [C]. In: Proceedings of ICCT2003, ICCT, 2003
  - 24 Dhillon H, Ngo H Q. CQMP: A Mesh-based Multicast Routing Protocol with consolidated Query Packets [C]. In: Proceedings of the IEEE Wireless Communications & Networking Conference (WCNC 2005), New Orleans, 2005
  - 25 Narayanaswamy S, Kawadia V, et al. Power Control in Ad hoc Networks: Theory, Architecture, Algorithm and Implementation of the COMPOW Protocol [C]. In: Proceedings of European Wireless Conference, 2002. 156~162
  - 26 Song Wen-Zhan, Wang Yu, et al. Localized Algorithms for Energy Efficient Topology in Wireless Ad Hoc Networks [C]. In: Proceedings of the MobiHoc 04, Roppongi, ACM press, 2004. 98~108
  - 27 Li Xiang-Yang, Wan Peng-Jun, Wang Yu. Power efficient and sparse spanner for wireless ad hoc networks [C]. In: IEEE Int Conf on Computer Communications and Networks (ICCCN01), 2001. 564~567
  - 28 Bose P, Devroye L, Evans W, et al. On the spanning ratio of Gabriel graphs and beta-skeletons [C]. In: Proceedings of the Latin American Theoretical Infocomatics (LATIN), 2002