

Overview of Video Transmission Methods and Techniques in Ad Hoc Networks*

Zhaohui Wang

Computer Science and Technology School, Soochow University, Suzhou
Email: zhhwang@suda.edu.cn

Received: Nov. 1st, 2011; revised: Nov. 27th, 2011; accepted: Dec. 9th, 2011

Abstract: Topology change and nodes move in Ad Hoc networks leads to regular interruption of the path, making Ad Hoc network channel bit error rate and transmission packet loss rate very high. This brings a new challenge for video transmission. As a result, research on video coding and transmission methods that suitable for Ad Hoc networks has become a hot spot today. On the basis of transmission characteristics of Ad Hoc networks, it starts with video encoding, video transmission and the receiver all together, gives a systematic introduction to the current research status and main methods of video transmission in Ad Hoc networks, moreover forecasts the future of the key technologies and new mechanisms which are suitable for video transmission in Ad Hoc networks.

Keywords: Ad Hoc; Video Encoding; Video Transmission; Frame Reconst

Ad Hoc 网络中的视频传输方法与技术综述*

王朝晖

苏州大学计算机科学与技术学院, 苏州
Email: zhhwang@suda.edu.cn

收稿日期: 2011 年 11 月 1 日; 修回日期: 2011 年 11 月 27 日; 录用日期: 2011 年 12 月 9 日

摘要: Ad Hoc 网络由于拓扑变化以及节点的移动导致路径经常性中断, 使得 Ad Hoc 网络信道误码率和传输丢包率高, 这给视频传输带来了新的挑战。因此, 研究适合 Ad Hoc 网络的视频编码和传输方法成为了当今一大热点。在结合 Ad Hoc 网络传输特性的基础上, 从视频编码、传输和接收端同时入手, 对目前 Ad Hoc 网络视频传输的研究现状和主要方法进行了系统的论述, 并对适合 Ad Hoc 网络传输视频的新机制及其关键技术进行了展望。

关键词: Ad Hoc; 视频编码; 视频传输; 帧重构

1. 引言

随着人们对摆脱有线网络束缚、随时随地可以进行自由通信的渴望, 一种新的网络技术——Ad Hoc 网络技术应运而生。作为一种新的组网方式, Ad Hoc 网络可以在任何时刻、任何地点不需要硬件基础网络设

施的支持, 快速构建起一个移动通信网络。它的建立不依赖于现有的网络通信设施, 具有一定的独立性; Ad Hoc 网络没有严格的控制中心; 所有节点的地位平等, 节点可以随时加入和离开网络; 任何节点的故障不会影响整个网络的运行, 具有很强的抗毁性。Ad Hoc 网络的这些特点使得它能满足许多应用领域的特殊需求, 如军事通信网络、应急救援等^[1-3]。

Ad Hoc 网络在带来便利性的同时, 也增加了网络

*资助项目: 本文工作受国家自然科学基金(61170124, 61170020), 江苏省科技支撑计划项目(BE2009048), 江苏省自然科学基金资助项目(BK2009116)以及苏州市应用基础研究计划(SYG201116)的资助。

节点的复杂度和网络拓扑的变化,加之无线信道本身的物理特性,使得它提供的网络带宽相对有线信道要低得多。除此以外,考虑到竞争共享无线信道产生的碰撞、信号衰减、噪音干扰等多种因素,移动终端可得到的实际带宽远远小于理论中的最大带宽值,使得 Ad Hoc 网络面临许多问题,包括带宽问题、能量消耗、链路断合、传输延时、数据丢失等。因此,目前 Ad Hoc 仍以传输简单数据为主。由于视频信息具有表达直观、内容丰富等特点,高质量的视频传输已经成为了一个重要的研究课题^[4-6]。但是,由于无线节点的移动性,已经建立起来的从源节点的路由在视频传输过程中可能会丢失,这会导致目的节点接收到时断时续、抖动的视频信号;无线 Ad Hoc 网络较高的随机丢包率、网络信道误码率以及视频对延迟的严格要求等都会影响到传输视频的质量。因此,Ad Hoc 网络进行可靠视频传输还有许多挑战^[7-10],且已经引起国内外学者的关注。

本文将结合 Ad Hoc 网络的特点和视频编码特性,从编码、传输和解码等角度,对 Ad Hoc 网络中鲁棒视频传输的研究现状和关键技术进行了综述。

2. 适合 Ad Hoc 网络传输的视频编码方法

针对 Ad Hoc 网络丢包率和误码率高、带宽有限、传输延迟等特点,目前视频传输所采用的编码方式主要有:分层编码(LC)、多描述编码(MDC)以及结合两者优点的分层多描述联合编码等^[11,12]。它们与传统编码的明显不同之处在于:传统编码方式每次只生成一个传输码流,而这几种编码方式下,每次均可以生成两个或两个以上的子码流。尽管构成 LC 和 MDC 的编解码器还是采用传统的编解码方式(如基于 DCT 或小波的 Codec),但相对于传统编码器而言,由于编码结构的改善,可以有效保护对视频解码贡献更大的信号成分,在一定程度上提高了接收端解码视频信号的 PSNR 值和重构视频的质量,更适合高丢包率和带宽有限的 Ad Hoc 网络中的视频传输。

2.1. 分层编码

LC 编码器的基本结构是将原始视频序列分解成一个基本信息层(简称基本层, BL)和若干个增强信息层(简称增强层, EL)如图 1 所示。

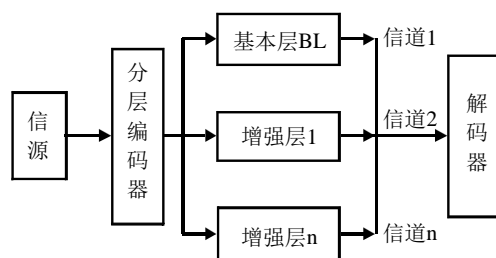


Figure 1. Level coding model
图 1. 分层编码模型

LC 的优点在于可以通过控制增强层的码流速率来适应不同的网络带宽。然而它的致命弱点在于基本层信号的丢失会导致原始信息完全不可恢复。因此,在差错网络环境尤其是 Ad Hoc 网络中传输时,LC 必须通过 ARQ 等相应的信道控制机制来保证基本层信息的可靠传输。Shiwen Mao, Meng-Yen Heieh, T. Schierl 等人利用多径传输以及带有重传机制的分层编码进行视频传输,将视频流分解为基层(BL)和增强层(EL)流,使用多路径传输技术在两条互不相交的路径上分别传输 BL 和 EL 分组流,并采用 ARQ 机制来保护 BL 分组,取得了一定的效果^[13-18]。但是,如果承载基层分组的信道出现故障,视频传输质量将急剧下降。

2.2. 多描述编码

针对差错网络环境和 LC 的缺陷,另外一种编码策略——多描述编码(MDC)被用于视频编码中。编码模型如图 2 所示。

MDC 对原始信号生成多个描述,并假定这些描述在发送端和接收端之间的多个独立的、并行的信道上传输。这些生成的多个描述没有优先级的安排,它的接收质量仅取决于接收到的描述的数量。MDC 的优点在于通过冗余(多个描述)来抵抗差错网络的影响从而提高接收端的解码性能。Ad Hoc 网络的路径经常

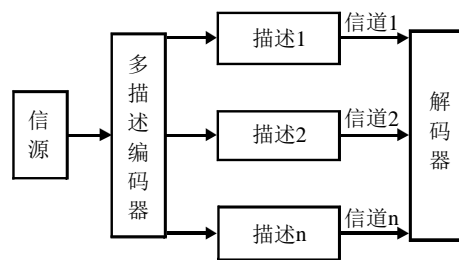


Figure 2. Multiple description coding model
图 2. 多描述编码模型

中断, 如果采用单描述编码, 当传输该描述的信道出现问题或中断时, 接收端就无法对其进行恢复, 多描述编码则很好的解决了这一问题。文献[1,5,19-26]结合多径传输和多描述编码进行视频传输, 每个信号首先被分解为多个描述, 然后每个描述被独立地编码。多描述编码是非分层编码机制, 每个子信号都包含足够的信息可以使接收端重构质量可以接受的信号, 额外收到的子信号可以提高信号质量。多描述通过在源编码器引入冗余来克服信道质量变化带来的影响。然而, 多描述编码方法没有考虑图像中不同内容对图像的作用, 同时不能根据信道的传输状况自适应地调整冗余度, 也没有涉及减少错误扩展的相关机制。文献[27,28]进一步提出了利用参考帧选择机制减少错误的扩展, 同时提高编码效率。在参考帧选择机制中, 奇数帧和偶数帧通过不同的信道进行传输, 接受端发送反馈信息, 编码端根据反馈信息确定编码下一帧的参考帧, 但在误码率很高的情况下并不适用。

2.3. 分层多描述联合编码

结合分层编码和多描述编码两者优点的分层多描述联合编码技术 MDLC 最近被一些学者提出, 并通过仿真实验证明该方法有着比分层编码和多描述编码更好的网络适应性和鲁棒性。吕庆江, 邹静娴等对分层多描述联合编码技术进行了研究, 证明了该方案能在一定程度上提高视频通信的质量^[29]。张朝鹏、倪江群等提出了一种先对视频流进行分层编码, 然后再对重要的基本层采用多描述编码的分层多描述联合编码方案, 并通过两类不同的分层多描述联合策略进行了仿真实验, 实验结果表明无论在有无 ARQ 保护的差错网络环境中, 都能明显提高重构视频的 PSNR 值^[30]。

2.4. 基于 ROI(Region of Interest)内容的编码

目前, 广泛运用于视频编码压缩的统计编码、预测编码和变换编码技术大多以像素或块作为编码的对象, 没有利用图像的结构特点, 因此, 编码性能有待进一步提高。此外, 这类技术在设计编码器时也没有考虑人类视觉系统的特性和图像内容的重要性。而 Ad Hoc 网络丢包率高、带宽有限, 并且路径经常中断, 因此在编码时对重要的内容进行保护就显得尤为重要。MPEG-4 提供了基于内容的视频编码工具, 基于

ROI 内容的编码技术也被采用到无线网络中^[31], 最新的视频压缩标准 H.264 也有采用 ROI 的内容自适应的视频编码技术。徐进等提出了一种内容自适应的 H.264 视频冗余片编码算法, 先将 H.264 视频流分成视觉敏感片组和常规片组, 然后利用动态的灵活宏块排序技术(FMO), 对属于视觉敏感区域的冗余片技术进行保护, 实验结果表明, 该算法在丢包网络中能明显地提高重构图像的主客观质量^[32]。将基于 ROI 内容的视频编码技术运用到 Ad Hoc 网络视频传输中, 可以显著提高重构图像的 PSNR 值, 保证视频的鲁棒可靠传输。

3. 传输

视频通信需要可靠的传输信道, 同时包丢失和传输延迟也需尽可能小, 以便通过差错控制和错误隐藏进行恢复。目前针对 Ad Hoc 网络上的视频可靠传输的研究主要集中在路由选择、传输层差错控制和错误恢复以及多径传输等方面。

3.1. 路由选择

路由选择是 Ad Hoc 网络中的一个基本问题, 反映了 Ad Hoc 网络所能提供的服务质量。

文献[33,34]分析了目前用于 Ad Hoc 网络视频传输的几种主要路由协议: 动态源路由(Dynamic Source Routing, DSR)协议、按需距离矢量路由协议(AODV)、目的序列距离矢量(Destination Sequenced Distance Vector, DSDV)路由协议, 并通过仿真实验结果表明: DSR 协议仅能传输一般要求的视频, 但不能保证视频数据的连贯性和流畅性; DSDV 在试验中各项性能均无法满足多媒体业务的要求; 较其他 Ad Hoc 网络路由协议, AODV 协议传输多媒体数据具有延时抖动小、网络收敛时间短的优势, 特别有利于实时视频数据的传输, 但是, 3 种协议中, 没有一种协议可以有效地保证实时要求较高的传输, 其平均延时都超过了能保证 QoS 的范围。因此, 如何在 Ad Hoc 网络环境下, 通过完善协议将延时参数控制在多媒体数据能够容忍的门限值以下仍然是一个研究难点。

在 Ad Hoc 网络中按路径的数目可将路由分为两种: 单路径路由和多路径路由。当使用多路径路由时, 分组可以在多条路径中传输, 因此比使用单路径路由具有更好的灵活性。一些针对无线 Ad Hoc 网络的多

路径路由协议已经在文献[35-37]中被提出。然而, 这些协议的性能只在某些特定的场景中通过仿真被评估。一些文章也曾提出了分析模型对多路径路由协议的不同方面加以研究^[38-44]。在对无线 Ad Hoc 网络中负载分布研究方面, 提出了一个分析模型评估了使用最短路径路由时 Ad Hoc 网络中的负载问题。对多路径路由, 则假定流量均匀分布在网络中, 并没有考虑多路径数目以及如何选路的问题。

在 Ad Hoc 网络中, 节点的移动性和网络拓扑频繁变化的特性, 使得彼此间的连接易于断裂, 从而导致一些节点处于非连接状态。当两个要通信的节点不在它们传输范围内, 而恰好有视频信息需要传递给这些节点, 就会导致信息传送失败。另外, 网络的多跳路由、动态拓扑等特性又很难保证网络的 QoS。若要找到一条可行路径, 使其既能满足一系列端到端的 QoS 约束, 同时又可以有效的利用网络资源是一个很困难的问题。因此, 优化 Ad Hoc 网络路由, 特别是容错路由, 对于合理利用的网络资源, 提高网络生存能力具有重要的意义。

3.2. 传输层的混合差错控制与错误恢复机制

研究表明, 当传输超过 3 跳时, 重建视频质量将严重下降。尽管对重要信息, 如纹理信息、对象信息等可采取重传、FEC 等机制。但是, 当网络处于拥塞时, 重传会恶化网络性能, 这对带宽受限的 Ad Hoc 网络来讲是无法容忍的。因此, 为了保证视频数据在网络中的可靠传输, 必须根据 Ad Hoc 网络的特点, 研究新的差错控制与错误恢复技术。现有的传输层差错控制技术 FEC 会对信道的其它传输特性造成一定的影响, 如流量、时延和抖动等^[45,46]。ARQ 的一个关键问题是时延。为克服 ARQ 时延过大的缺点, 可以采用时延受限的重传机制。同 FEC 相比, ARQ 需要一个从接收端到发送端的反馈信道。Ad Hoc 由于存在相互独立的多个信道, 因此, 满足这一要求。此外, 由于视频编码输出的码流对重建质量的影响是不同的, 一旦码流的重要信息发生了错误, 必将造成视频重建质量的严重下降。在传输时需要根据所传输的信息的重要程度来决定对各部分采取不等的保护措施。为此, 需结合分层编码与视频对象信息编码, 研究不等错误保护机制 ARQ 和不等错误保护机制的混合差错控制机制。

3.3. 加入负载均衡及路径优化的多径传输体

如前所述, 现有传输模式主要为分层传输和多径传输。所采用的方法通常是结合多描述编码与多路径传输或分层编码与多描述编码结合再利用多径传输^[13,14,19,20,37-40]。文献[41,42]采用基于聚类的多径传输协议, 将视频资源同时由几个源节点用多路径传输, 实行了多对一传输编码后的视频, 有效地解决了 Ad Hoc 网络动态拓扑变化的问题。文献[43]对 AODV 协议进行了改进, 并将其应用于 Ad Hoc 网络多径传输, 节省了传输延迟, 改善了视频传输的质量, 取得了一定的效果。文献[44]采用基于标量量化的多描述编码和基于层次聚类的多径传输策略进行视频传输, 明显地提高了重构视频的 PSNR 值, 并且为解码端的错误恢复提供了保障。文献[45]提出了一种新的在无线 Ad Hoc 网络中进行视频传输的多路径包调度算法。该算法充分考虑到视频流传输的特殊 QoS 要求, 针对视频流中的每个数据包进行操作, 通过计算将其指定在某条路径上传输。避免了传统多路径传输中的接收端数据包乱序和重新排序的问题, 有效地减小了接收端的启动延时和缓冲区需求。然而, 这些多径传输策略较少考虑到最佳路径选择和负载均衡的问题。

4. 接收端解码恢复

通过在多径传输中加入负载均衡机制及优化路径, 可有效地提高传输可靠性以及网络的吞吐率, 降低丢包率, 保证视频的鲁棒传输。然而, 因 Ad Hoc 网络环境的特殊性, 仍不免会产生丢包现象, 这就需要在解码端利用有效手段尽可能恢复传输中丢失的信息, 提高重构帧的质量。目前可采用的方法有: 在解码端进行错误隐藏和差错控制; 采用多源动态信息融合技术进行帧重构等。

4.1. 解码端错误隐藏和差错控制技术

在宽带视频传输以及无线视频传输等方面, 错误隐藏技术得到了有效的应用^[46]。与差错控制相比, 错误隐藏技术不需要占用额外的比特数或者引起额外的传输延迟。同时与差错控制相结合, 可进一步保证视频传输的质量。错误隐藏包含基于时间的错误隐藏、基于空间的错误隐藏、基于时-空的错误隐藏和频域错误隐藏。基于时间的错误隐藏利用时间上连续的相邻

块之间的相关性,坏块由前面完好帧的对应块替代。隐藏的效果取决于视频图像中的运动特性及人眼对包丢失的容忍度。如果运动矢量完好,运动矢量可用于该块的运动补偿;如果运动矢量也不可用,则运动小时,这种替代的效果较好,运动大时取决于运动矢量的重建。基于空间的错误隐藏的立足点是视频图象空间变化的平滑性。典型的方法是使被恢复块的边界像素与周边块边界像素的方差值最小。简单插值会模糊图象中的边界,增加其它约束可以改善高频特性,但也增加了复杂性,并且还和图象本身的相关性有关。基于时-空的错误隐藏结合时空两种算法,在运动大时用空间插值,运动小时用时间替代,空间插值采用拉普拉斯算子的最大平滑算法。频域错误隐藏直接在频域重建受损块的 DCT 系数。通常利用邻块 DCT 系数插值和加边界平滑约束条件的 DCT 系数恢复计算。

尽管现有的错误隐藏方法可以达到一定的效果,然而,并没有利用视频中的对象信息,还属于第一代错误隐藏方法^[47],用于传输信道极其恶劣、具有高误码率和高丢失率的 Ad Hoc 网络则无法达到预期效果。尤其是在 Ad Hoc 网络中,经常会出现整帧图像丢失的情况,引起视频质量的严重下降^[48]。文献[4]进一步分析了 FEC(Forward Error Correction)和基于重传机制的错误恢复,并指出这些机制不适合实时视频传输。事实上,丢包也是一种不完备信息。因此,研究不完备信息下的视频重构技术,充分利用 Ad Hoc 网络复杂的拓扑结构及视频中的对象模型信息,结合分层编码以及其他差错控制技术,是解决恶劣条件下视频传输的有效方法。

4.2. 多源动态信息融合技术

Ad Hoc 网络所传输的视频信息存在一定的冗余性,对网内冗余数据进行综合处理,即数据融合,可以提高重构视频的质量、优化网络传输效率、节省节点宝贵的能量资源,并可以有效减轻网络传输拥塞,消除单个节点因外界环境影响造成传输数据的误差,提高数据精度和可信度。

多路径动态主动信息融合分为三个部分:节点的选择机制、动态主动融合操作、解码(融合的决策)。由于所有在网络中传输的信息都是随时间动态变化的。各个节点都有自身的数据信息,不同节点所传输信息的可信度也有很大的差别,并且在节点中的数据

存在着不完备性(包括数据丢失、数据不准确等)。因此可以利用一个节点选择机制,通过一些预先定义的代价函数,用一个新颖的启发式的方法找到网络节点的最优的融合函数的映射,有效的选择最优节点作为信息融合的信息源。动态主动融合操作可以应用一个融合函数对单一信息源、多个信息源或者信息源集合和另外一些融合函数的流数据序列进行融合。其中这个融合操作包含了数据同步、结构管理、相关性控制、计算量管理、内存管理以及信息源与融合函数之间的反馈等问题。最后根据动态主动融合进行解码,得到传输的视频信息。经过动态信息融合之后解码得到的视频信息可以尽可能的保持原始的信息。

因此在解码端可采用动态多源融合技术,并结合多径传输有效地进行高质量视频重构以及提供同步机制,从而实现视频的可靠性传输。

5. 总结与展望

本文从视频编码、传输和接收端同时入手,对目前 Ad Hoc 网络的视频传输的研究现状和主要方法进行了系统的论述。对适合 Ad Hoc 网络传输视频的新机制及其关键技术作了进一步的展望:

- 1) 在编码端采用基于内容的分层编码和多描述编码相融合的编码方法,可为重要信息提供多路传输和渐进式重传机制以及在多描述编码中提高其冗余度;
- 2) 在传输层采用结合基于内容的视频差错控制技术,可对重要信息加以特殊保护,并通过强化学习、聚类分析等措施优化路径。同时,采用负载均衡策略,使网络运行在高吞吐率、低丢失率和低延迟的状态下,可为要求时延保证的业务提供一种良好的实现机制;
- 3) 在解码端采用多源动态信息融合技术,并结合多径传输、差错控制、错误隐藏有效地进行高质量视频重构以及提供同步机制,从而可实现视频的可靠性传输;
- 4) 压缩感知理论的提出是信号领域的重大突破,采用压缩感知技术可以针对信号的稀疏程度以低于奈奎斯特速率的采样率对数据进行压缩采样,合适的稀疏域就可以实现信号近乎完全的重构。分布式视频编码自身适合应用于编码端复杂度较低的无线终端,压缩感知理论与分布式视频编码的结合 DCVS(Dis-

tributed Compressive Video Sensing)就是一种“强强联合”^[49-51]。国外已有部分学者已经开始着力研究此方面在 Ad Hoc 网络上的应用,这也是未来方向之一。

参考文献 (References)

- [1] 张晖, 董育宁, 杨龙祥, 朱洪波. 移动 Ad hoc 网络中基于稳定性的 QoS 路由算法综述[J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(1): 1-6.
- [2] 王辉, 俞能海, 刘政凯. 一种新的用于无线 Ad hoc 网络中视频传输的多路径调度算法[J]. 电子与信息学报, 2008, 30(2): 468-471.
- [3] N. Nejati, H. Yousefi`zadeh and H. Jafarkhani. Wireless video transmission: A distortion-optimal approach. Snowbird: Data Compression Conference, 25-27 March 2008: 202-211.
- [4] S. Sutor, F. Matussek and R. Reda. WSSU: High performance wireless self-contained, surveillance unit; an ad hoc video surveillance system. Athens: Fourth Advanced International Conference on Telecommunications, 8-13 June 2008: 157-161.
- [5] A. C.-W. Wong, Y.-K. Kwok. On a region-of-interest based approach to robust wireless video transmission. Hong Kong: International Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks (ISPAN'04), 2008.
- [6] R. L. Ruan, R. M. Hu, X. Q. Xiao and H. Chen. Intra refreshment algorithm for ROI over packet loss networks. Dalian: International Conference on Innovative Computing Information and Control, 18-20 June 2008: 388.
- [7] S. W. Mao, X. L. Cheng, Y. T. Hou, H. D. Sherali and J. H. Reed. On joint routing and server selection for multiple description video in wireless ad hoc networks. IEEE Transactions on Wireless Communications, 2007, 6(1): 338-347
- [8] B. Setton, T. Yoo, X. Q. Zhu, A. Goldsmith and B. Girod. Cross-Layer design of ad hoc networks for real-time video streaming. IEEE Wireless Communications, 2005, 12(4): 59-65.
- [9] X. Zhu, B. Girod. Distributed rate allocation for multi-stream video transmission over ad hoc networks. Genoa: IEEE International Conference on Image Processing (ICIP'05), 2005: 157-160.
- [10] A. Abd El Ai, T. Saadawi and M. Lee. Unequal error protection for real-time video in mobile ad hoc networks via multi-path transport. Computer Communications, 2007, 30(17): 3293-3306.
- [11] L.-J. Chen, T. Sun, G. Yang, et al. Ad hoc probe: Path capacity probing in wireless, ad hoc networks. IEEE Proceedings of the First International Conference on Wireless Internet (WICON'05), 2005: 156-163.
- [12] S. Guo and O. Yang. QoS-aware minimum energy multicast tree construction in wireless ad hoc networks. Ad Hoc Networks, 2004, 2(3): 217-229.
- [13] T. B. Reddy, J. P. John and C. S. R. Murthy. Providing MAC QoS for multimedia traffic in 802.11e based multi-hop ad hoc wireless networks. Computer Networks, 2007, 51(1): 153-176.
- [14] C. H. Tham, Y. M. Jiang and Y. S. Gan. Layered coding for a scalable video delivery system. Nantes: IEEE/EURASIP Packet Video 2003(PV 2003), 2003.
- [15] V. K. Goyal. Multiple description coding: Compression meets the network. IEEE Signal Processing Magazine, 2001, 18(5): 74-93.
- [16] S. Mao, et al. Reliable transmission of video over ad-hoc networks using automatic repeat request and multi-path. Transport in Proceedings of VTC, 2001.
- [17] S. Mao, et al. Video transport over ad hoc Networks: Multi-stream coding with multipath transport. IEEE JSAC, 2003, 21(10): 1721-37.
- [18] S. W. Mao, X. L. Cheng, Y. T. Hou and H. D. Sherali. Multiple description video multicast in wireless ad hoc networks. ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications Journal (MONET), 2006, 11(1): 63-73.
- [19] M.-Y. Hsieh, Y.-M. Huang and T.-C. Chiang. Transmission of layered video streaming via multi-path on ad hoc networks. Multimedia Tools Applications, 2007, 34(2): 155-177.
- [20] T. Schierl, et al. Rateless scalable video coding for overlay multisource streaming in MANETs. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2008, 19(8): 500-507.
- [21] S. W. Mao, Y. T. Hou, X. L. Cheng, H. D. Sherali, S. F. Midkiff and Y.-Q. Zhang. On routing for multiple description video over wireless ad hoc networks. IEEE Transactions on Multimedia, 2006, 8(5): 1063-1074.
- [22] A. C. Begen, Y. Altunbasak and O. Ergun. Multi-path selection for multiple description encoded video streaming. Signal Processing: Image Communication, 2005, 20(1): 39-60.
- [23] S. Mao, et al. Multi-path routing for multiple description video over wireless ad hoc networks. Miami: Proceedings IEEE Infocom 2005. 24th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies, 13-17 March 2005: 740-750.
- [24] J. Kim. Multiple description coding for robust video transmission over wireless ad-hoc networks. Advances in Visual Computing, 2006, 4292: 1-8.
- [25] H. H. Bai, Y. Zhao and C. Zhu. Priority encoding transmission based multiple description video coding over packet loss network. Data Compression Conference, 25-27 March 2008: 504.
- [26] U. Samarawickrama, J. Liang. M-channel multiple description coding with two-rate predictive coding and staggered quantization. Data Compression Conference, 2008.
- [27] K. Vermeirsch, Y. Dhondt, S. Mys and R. Van de Walle. Low complexity multiple description coding for H.264/AVC. Santorini: Eighth International Workshop on Image Analysis for Multimedia Interactive Services, WIAMIS'07, 6-8 June 2007: 61.
- [28] S. Lin, et al. A reference picture selection scheme for video transmission over ad-hoc networks using multiple paths. IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 22-25 August 2001: 96-99.
- [29] 昌庆江, 邹静娴, 记志成. 多描述分层编码技术的研究[J]. 数字电视与数字视频, 2005, 6: 16-18.
- [30] 张朝鹏, 倪江群, 王春桃. 分层多描述视频编码及其在差错网络环境下的仿真研究[J]. 通信学报, 2005, 26(7): 129-135.
- [31] 刘映杰, 严春满, 马义德. 基于内容的视频编码标准 MPEG-4[J]. 数字电视, 2005, 20: 50-53.
- [32] 徐进, 吴志美, 皇甫伟. 内容自适应的 H.264 视频冗余片编码算法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2007, 19(1): 84-89.
- [33] X. F. Li, L. Cuthbert. Stable node-disjoint multipath routing with low overhead in mobile ad hoc networks. Volendare: The IEEE Computer Society's 12th Annual International Symposium on Modeling, Analysis, and Simulation of Computer and Telecommunications Systems, 2004. (MASCOTS 2004) Proceedings, 4-8 October 2004: 184-191.
- [34] C.-O. Chow, H. Ishii. Enhancing real-time video streaming over mobile ad hoc networks using multipoint-to-point communication. Computer Communications, 2007, 30: 1754-1764.
- [35] L. Wang, L. F. Zhang and Y. T. Shu. Multipath source routing in wireless ad hoc networks. Halifax: 2000 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, 2000: 479-483.
- [36] S. J. Lee, M. Gerla. AODV-BR: Backup routing in ad hoc networks. Chicago: 2000 IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2000: 1311-1316.
- [37] A. Tsigros, Z. J. Hass. Multipath routing in the presence of frequent topological changes. IEEE Communications Magazine, 2001, 39(11): 132-138.
- [38] 舒炎泰, 高德云, 王雷. 无线 Ad Hoc 网络中的多径源路由[J]. 电子学报, 2002, 2: 279-282.
- [39] 刘娟. Ad Hoc 网络中一种视频编码的多径路由算法[J]. 计算机工程与应用, 2006, 21: 114-117.
- [40] Y. He, Z. Y. Chen, Y. H. Liu and Z. Xiong. A dynamic congestion control based multipath routing protocol for video transmission over ad hoc networks. International Conference on Networking, Architecture, and Storage, 12-14 June 2008: 62-69.

- [41] G. Narsimha, A. V. Reddy and B. S. Kumar. QOS multicast routing based on bandwidth and resource availability in mobile adhoc networks. Cancun: Conference on Networking Seventh International, 13-18 April 2008: 24-29.
- [42] C. Y. Liu, L. Y. Li and Y. Xiang. Research of multi-path routing protocol based on parallel ant colony algorithm optimization in mobile ad hoc networks. Las Vegas: Fifth International Conference on Information Technology: New Generations, 7-9 April 2008: 1006-1010.
- [43] E. Park, S. Han, H. Kim and K. Son. Cross-correlated FEC scheme for multimedia streaming over wireless LAN. Okinawa: 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications-Workshops, 25-28 March 2008: 217-222.
- [44] V. R. Gandikota, B. R. Tamma. Adaptive FEC-based packet loss resilience scheme for supporting voice communication over ad hoc wireless networks. IEEE Transactions on Mobile Computing, October, 2008, 7(10): 1184-1199.
- [45] 张方, 王养利, 肖嵩. Ad hoc 网络中的多描述视频通信及其分层算法[J]. 西安电子科技大学学报(自然科学版), 2005, 32(1): 1-6.
- [46] 刘娟, 林亚平, 易叶青等. Ad hoc 网络中一种视频编码的多径路由算法[J]. 计算机工程与用, 2006, 42(21): 114-117.
- [47] W. Wei, A. Zakhor. Multipath unicast and multicast video communication over wireless ad hoc networks. IEEE Proceedings of the First International Conference on Broadband Networks (BROADNETS'04), 25-29 October 2004: 496-505.
- [48] 王睿, 苏醒, 宋建新. Ad hoc 网络上多描述编码视频的 P2P 传输[J]. 西安邮电学院学报, 2006, 11(5): 18-22.
- [49] L. W. Kang, C. S. Lu. Distributed compressive video sensing. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, April 2009: 1168-1172.
- [50] J. Prades-Nebot, Y. Ma and T. Huang. Distributed video coding using compressive sampling. Chicago: Picture Coding Symposium, 6-8 May 2009: 1-4.
- [51] H. W. Huang, L. W. Kang. Dictionary learning-based distributed compressive video sensing. Nagoya: Proceeding of 28th Picture Coding Symposium (PCS2010), 8-10 December 2010: 210-213.