

视频传感器网络中基于 GOP 与 距离感知的协作 ARQ 机制*

靳 勇¹, 白光伟², 李明杰¹

(1. 常熟理工学院 计算机科学与工程学院, 江苏 常熟 215500; 2. 南京工业大学 计算机科学与技术系, 南京 210009)

摘 要: 针对视频传感器网络协作通信的中继选择和多样性服务质量需求保障等问题, 提出了基于 GOP 与距离感知的协作 ARQ 机制。基于传感器节点物理属性和 MPEG-4 编码算法, 综合考虑了影响视频传输的各种因素, 建立了网络状态感知分析模型, 在此基础上建立了距离感知的中继选择机制, 并根据应用业务需求确定最佳差错控制方案。数学分析和仿真实验表明, 所提策略在视频播放质量、实时性和能效方面表现出了比传统 ARQ 和距离感知的协作 ARQ 更优越的性能。

关键词: 视频传感器网络; 图像组结构; 距离感知; 协作自动请求重传; 服务质量保障

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)02-0529-05

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2013.02.058

Cooperative ARQ protocol based on GOP and distance aware in video sensor networks

JIN Yong¹, BAI Guang-wei², LI Ming-jie¹

(1. School of Computer Science & Engineering, Changshu Institute of Technology, Changshu Jiangsu 215500, China; 2. Dept. of Computer Science & Technology, Nanjing University of Technology, Nanjing 210009, China)

Abstract: There are two critical factors in cooperative communication of video sensor networks: relay selection and diversity of the quality of service guarantee of end to end communication. Therefore, this paper proposed the cooperative ARQ protocol based on GOP and distance aware. According to the physical characteristic of sensor node and the MPEG-4 encoding algorithm, it provided the mathematical analytical model of network station-aware, which was used to research the influence of video communication performance. It established a cooperative ARQ based on the awareness model, which was able to select the relay nodes adaptively and guarantee the diversity of the quality of service of video streaming. The mathematical analyses and simulation results show that the proposed mechanism can perform better in terms of video quality assessment, real time performance and energy efficiency, compared to the traditional ARQ and distance aware cooperative ARQ alone, with adapting to the fluctuation of the video sensor network state dynamically.

Key words: video sensor networks; group of pictures structure; distance aware; cooperative automatic repeat request protocol; QoS guaranteeing

0 引言

协作通信技术作为下一代无线通信系统关键技术^[1], 能够充分利用视频传感器网络节点部署高密度的特性^[2], 通过协同合作的方式综合考虑视频播放质量、实时性、可靠性、能耗等与视频传感器网络应用密切相关的因素, 提高网络资源利用率和保障多样 QoS (quality of service) 需求^[3]的视频数据性能, 得到了学术界和工业界的广泛关注^[4-13]。然而, 限制于协作通信技术的特点和服务质量保障问题, 在视频传感器网络中还存在着如下需要解决的问题: a) 如何有效选择转发视频数据的协作中继节点; b) 针对多样性 QoS 需求的视频应用业务, 如何确定视频编码的最佳 GOP (group of pictures) 结构; c) 如何在提高能效的同时, 改善视频传输的通信性能, 有效满足视频应

用业务的端到端 QoS 需求, 达到优化网络效用的目的 (该 QoS 需求包括可解码帧率、GOP 平均端到端时延等)。

Tacca 等人^[4]在能量收集无线传感器网络上, 对传统 ARQ (automatic repeat request) 与协作 ARQ 进行了对比分析, 发现协作 ARQ 在保持可靠传输的同时具有较高的能量利用率。但是对于在协作差错控制中如何进行中继选择未作进一步分析。于是胡映波等人^[5]建立了一种马尔可夫链模型, 基于切换与保持节点选择提出了一种协同 ARQ 机制, 与传统 ARQ 相比具有更高的吞吐量和能效性能。然而, 该马尔可夫链模型对于丢包率、时延和能效未作深入研究。此外对于视频传感器网络而言, 进行中继选择时能效和能量控制应是首先考虑的问题。Fallahi 等人^[6]提出了一种 QoS 感知的能量管理模型。Lee 等人^[7]针对基于译码转发的协作 ARQ 中继机制进行了性能分

收稿日期: 2012-06-11; **修回日期:** 2012-07-19 **基金项目:** 国家自然科学基金资助项目 (61073197); 江苏省科技支撑计划资助项目 (BE2011186)

作者简介: 靳勇 (1981-), 男, 山西长治人, 讲师, 硕士, 主要研究方向为多媒体通信、差错控制 (jinyong@cslg.edu.cn); 白光伟 (1961-), 男, 教授, 博士, 主要研究方向为网络体系结构和协议、性能分析与评价; 李明杰 (1963-), 男, 副教授, 硕士, 主要研究方向为计算机网络与信息安全。

析,并给出了基于信道质量的能量分配算法。王向东等人^[8]针对非能量约束下的视频传输,研究了一种视频传输的码率失真模型并得到编码性能与失真的定量关系,提出了一种适用于视频传感器网络的优化模型,但是忽略了应用层视频帧传输及其解码依赖关系对网络性能的影响。于是樊晓平等人^[9]设计了一个视频编码方案,可以综合考虑网络能耗与视频编码压缩率、视频播放质量之间的平衡。周军等人^[10]基于 GOP 取帧和变速率提出了一种 VCR 实现方法。此外前期研究结果表明^[11],当通信距离小于一定值时,ARQ 能效几乎保持一条直线,大于该值后会急剧下降,可以考虑距离感知的中继选择。邓克波等人^[12]通过设定合理的节点感知距离,使得传感器网络在满足区域覆盖要求的同时能量消耗最低。随后 Zou 等人^[13]综合考虑了编码速率、中断概率和能耗,结合源数据和信道速率调制提出了一种基于网络编码的差错控制方案,以便延长视频传感器网络生命周期和解决视频失真的问题。因此,如何有效降低视频传感器网络的整体能耗,改善视频接收方播放质量和缩短传输时延,成为视频传感器网络差错控制研究的主要目标。

针对上述问题,本文首先深入分析和研究视频传感器网络协议机制、传感器节点能效模型以及 MPEG 编码算法特点,提出了一种适用于视频传感器网络的基于 GOP 和距离感知的协作 ARQ 机制记为 GD-CARQ。本文的主要工作包括:a)基于视频帧解码依赖关系和 GOP 结构建立了网络状态感知分析模型,并给出了可解码帧率、GOP 平均端到端时延和能效的分析方法;b)针对 a)中建立的感知模型分析了传感器节点近地参考距离、GOP 结构和数据包封装长度等因素随距离的变化规律,并据此建立距离感知的自适应中继选择机制,进一步提出了一种协作 ARQ 策略;c)采用数学分析和仿真实验的方法,在不同误码率和对特定应用业务服务质量保障等方面,对所提策略与传统 ARQ 和协作 ARQ 在可解码帧率、实时性和能效等方面进行性能分析与评价,表明所提协作策略能在有效改善视频播放质量的同时保持高能效和实时性。

1 网络模型及其状态感知模型

1.1 网络模型

为了便于分析且不失一般性,考虑一个视频传感器网络平台,每个节点采用了基于 Crossbow 公司的使用 Atmega-128L 处理器和 CC1000 射频模块^[14]的 Mica2 型节点^[15],且配置了相同的 IEEE 802.15.4 无线网卡,无线信道采用对数距离路径损耗模型, d 表示任意两节点之间的距离 ($10\text{ m} \leq d \leq 100\text{ m}$)。Mica2 节点使用非相关 FSK 解调,其误码率 P_b (bit error rate, BER) 为

$$P_b = \frac{1}{2} \exp\left(-\left(P_t - P(d_0) - 10\beta \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) - P_n\right) \frac{B_N}{2R_{\text{radio}}}\right) \quad (1)$$

其中: β 表示路径损耗参数且 $\beta = 3$; d_0 表示近地参考距离,可根据实测得到; P_n 表示噪声功率; B_N 表示噪声带宽; R_{radio} 表示 CC1000 的数据发射速率。

在视频传感器网络中,视频数据发送节点、接收节点和转发节点的链路层均采用 ARQ 机制,则误包率 P_{ARQ} (packet error rate, PER) 为

$$P_{\text{ARQ}} = 1 - (1 - P_b)^{\text{MTU}} \quad (2)$$

其中:MTU 是数据包封装长度,为帧头、帧校验位长度与确认帧长之和。

此外,视频传感器节点上采用 MPEG-4 多媒体数据压缩技术,定义了帧内编码(即 I 帧)和帧间编码(P 帧和 B 帧)两类视频帧。采用帧内编码方式的 I 帧可以独立解码;而采用帧间编码方式的 P 帧或 B 帧则必须在其所依赖的全部参考帧被正确接收后方可正常解码。一般而言,MPEG-4 编码的视频是以图像组 GOP(group of picture)为单位,视频帧均按照固定模式编码且其结构可定义为 $\langle N, M, C_I, C_P, C_B \rangle$ 。其中: N 表示 GOP 中帧的数量, M 表示 I 帧到相邻 P 帧或 P 帧到相邻 P 帧的帧数, C_I 、 C_P 和 C_B 分别表示 I 帧、 P 帧和 B 帧的平均分割后数据包个数。

针对视频传感器网络的无线链路,网络状态用参数 $\langle P_{\text{ARQ}}, N_{\text{max}}, \text{MTU}, N_{\text{dec}}, \text{GOP}_{\text{RTT}}, \eta \rangle$ 来描述。其中: N_{max} 表示链路层 ARQ 最大重传次数, N_{dec} 表示总的可解码帧数, GOP_{RTT} 为正确传输一个 GOP 的平均端到端往返时延(单位:s), η 表示相邻节点之间的有效传输所使用的能量效率。随着 d_0 、 d 和 MTU 的变化,引起 N_{dec} 、 GOP_{RTT} 和 η 的值随之改变,导致 GOP 中的可解码帧数和能效的变化。作为视频序列中可以相对独立解码的视频片段,提高 GOP 中的可解码帧数,不仅可以改善无线视频传输的质量,而且能够有效提高能量的使用效率,最大化网络的寿命。

1.2 网络状态感知模型

当所有属于 I 帧的数据包被正确接收时该帧是可解的,可解码 I 帧数期望值记为 $N_{\text{dec-I}}$ 。假设一个 GOP 中有 N_P 个 P 帧,当且仅当属于同一 P 帧的数据包均被正确接收且该帧所参考的 I 帧或 P 帧均是可解的,该 P 帧才是可解的且可解码 P 帧数期望值记为 $N_{\text{dec-P}}$;对于 B 帧而言,当且仅当属于同一 B 帧的数据包均被正确接收且该帧所参考的之前和之后的 I 帧或 P 帧均是可解的,该 B 帧才是可解的且可解码 B 帧数期望值记为 $N_{\text{dec-B}}$ 。结合式(2)可得到 $N_{\text{dec-I}}$ 、 $N_{\text{dec-P}}$ 和 $N_{\text{dec-B}}$ 为

$$N_{\text{dec-I}} = (1 - P_{\text{ARQ}})^{C_I} N_{\text{GOP}} = (1 - P_b)^{\text{MTU} \times C_I} N_{\text{GOP}} \quad (3)$$

$$N_{\text{dec-P}} = (1 - P_{\text{ARQ}})^{C_I} \sum_{j=1}^{N_P} (1 - P_{\text{ARQ}})^{jC_P} N_{\text{GOP}} = (1 - P_b)^{\text{MTU} \times C_I} \sum_{j=1}^{N_P} (1 - P_b)^{\text{MTU} \times jC_P} N_{\text{GOP}} \quad (4)$$

$$N_{\text{dec-B}} = (M - 1)(1 - P_{\text{ARQ}})^{C_I + C_B} [(1 - P_{\text{ARQ}})^{C_I + N_P C_P} + \sum_{j=1}^{N_P} (1 - P_{\text{ARQ}})^{jC_P}] N_{\text{GOP}} = (M - 1)(1 - P_b)^{\text{MTU} \times (C_I + C_B)} [(1 - P_b)^{\text{MTU} \times (C_I + N_P C_P)} + \sum_{j=1}^{N_P} (1 - P_b)^{\text{MTU} \times jC_P}] N_{\text{GOP}} \quad (5)$$

其中: N_{GOP} 表示视频数据流中所包含的 GOP 数。因此视频可解码帧率为

$$Q = \frac{N_{\text{dec}}}{(N_{\text{dec-I}} + N_{\text{dec-P}} + N_{\text{dec-B}})} \quad (6)$$

由于无线网络状态的变化,使得每个数据包重传次数不同,因此平均重传次数 $N_{\text{avg-ARQ}}$ 为

$$N_{\text{avg-ARQ}} = P_{\text{ARQ}} + P_{\text{ARQ}}^2 + \cdots + P_{\text{ARQ}}^{N_{\text{max}}} \quad (7)$$

因此,传输一个 GOP 所需平均端到端往返时延 GOP_{RTT} 为

$$\text{GOP}_{\text{RTT}} = N \times T \times \frac{1 - P_{\text{ARQ}}^{N_{\text{max}} + 1}}{1 - P_{\text{ARQ}}} = N \times T \times \frac{1 - (1 - (1 - P_b)^{\text{MTU}})^{N_{\text{max}} + 1}}{(1 - P_b)^{\text{MTU}}} \quad (8)$$

其中: T 表示无线链路传输一个数据包所需的往返时延。

基于可靠性的视频传感器网络传输能效为

$$\eta = \frac{E_{\text{eff}}}{E_{\text{total}}} (1 - P_{\text{ARQ}}) \quad (9)$$

它表示数据包中负载的能耗 E_{eff} 占总能耗 E_{total} 的比值。能效 η

代表了相邻通信节点之间的有效传输。根据前期研究结果^[11],可知 ARQ 能效 η_{ARQ} 为

$$\eta_{\text{ARQ}} = \frac{E_{\text{eff}}^{\text{ARQ}}}{E_{\text{total}}^{\text{ARQ}}} (1 - P_{\text{ARQ}}) = \frac{(I_{\text{tr}} + I_{\text{re}}) V_{\text{radio}} l_{\text{payload}} T_{\text{tr}}}{(I_{\text{tr}} + I_{\text{re}}) V_{\text{radio}} (\text{MTU}) T_{\text{tr}}} (1 - P_{\text{ARQ}}) = \frac{l_{\text{payload}}}{\text{MTU}} (1 - P_{\text{ARQ}}) = \frac{l_{\text{payload}}}{\text{MTU}} (1 - P_b) \quad (10)$$

由式(1)可知, P_b 只与 d 和 d_0 有关,同时式(3)~(10)综合考虑了以 GOP 为单位的视频通信性能,由此建立了一种基于 GOP 与距离的网络状态感知分析模型。

2 基于 GOP 与距离感知的协作 ARQ 机制

2.1 视频传感器网络性能分析

假设在一个视频传感器节点上发送一个中等质量的 MPEG-4 视频片段 *Verbose_StarWars_IV*^[16]。该片段包含 89998 个视频帧, GOP 结构为 IBBPBBPBBPBB ($N = 12, M = 3$), 视频帧的发送速率为 30 fps。表 1 给出了该视频的相关统计参数且 N_{max} 取 1。

表 1 视频统计参数

参数	值	参数	值
压缩比/YUV:MP4	97.8350027837119	最大帧长/Byte	4690
平均帧长/Byte	388.59849107758	平均比特率/bit/s	77720.5617965043
最小帧长/Byte	26	峰值比特率/bit/s	938000

由式(3)~(5)可得,近地参考距离 d_0 分别取 12、15 和 20 时,总可解码帧数和可解码 I 帧数随距离的变化规律如图 1 所示。对于视频传感器节点不同的近地参考距离,总有唯一的距离门限值与之对应,小于等于该值时总可解码帧数和可解码 I 帧数趋于平稳且为最大值,大于该值后均开始急剧下降。

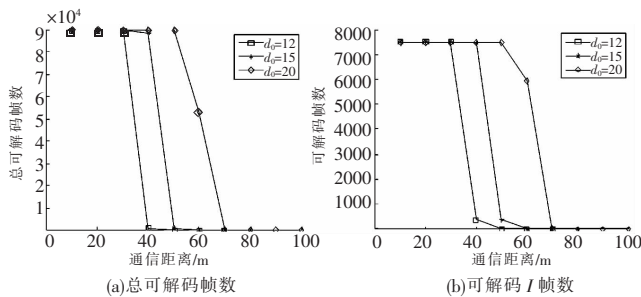


图 1 可解码帧数随距离的变化

接下来,分析数据包封包长度 MTU 对于视频质量的影响,如图 2 所示。当 d_0 固定时,MTU 越大,其对应的总可解码帧数和 I 帧可解码帧数越大,即视频质量越高。这是因为数据包长度越大,每个帧需要分割的数据包越少;距离、误码率相同时,与 MTU 较小的情况相比,丢失的数据包越少,则失效的视频帧越少,使得视频质量较高。此外,当 $d_0 = 20$ m 时,大于距离门限值后总可解码帧数和 I 帧可解码帧数下降与 $d_0 = 15$ m 相比较小,表明可以通过增大数据包长度进一步改善视频质量。

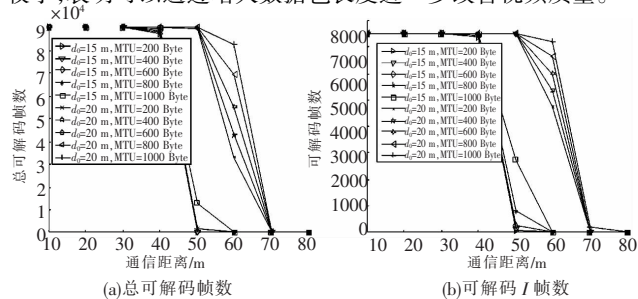


图 2 MTU 对视频质量的影响

在改善视频质量同时需要考虑视频传感器网络能效问题,因此根据式(1)可以得到不同 MTU 值下,能效随距离的变化趋势如图 3 所示。可以看出,数据包长度越长,网络能效越高。这是因为如果 MTU 值越大,视频帧分割后的数据包数越少,在相同的距离和误包率条件下,与短数据包相比丢失或出错的数据包越少,且需要重传的数据包越少,从而使得可解码帧数越大,视频播放质量和能效较高。

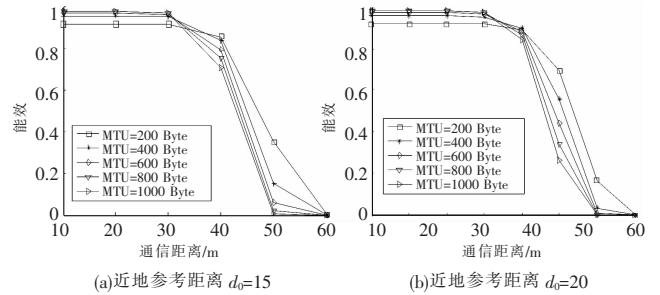


图 3 MTU 对能效的影响

假设在一个视频传感器节点上发送一个中等质量的 MPEG-4 视频片段 *forman_qcif.yuv*^[16]。该片段包含 400 个视频帧, GOP 结构中 $N = 9, 12$ 和 $15, M = 3$ 且 $\text{MTU} = 1024$ Byte。图 4 给出了不同 GOP 结构和 d_0 下,总可解码帧数和可解码 I 帧数。由图可见, d_0 相同时, N 越小则总可解码帧数和可解码 I 帧数越大,视频质量越好。随着距离和误码率的增大,不同 GOP 结构之间的视频质量差别越大。这是因为误码率增大导致丢包率增大,此时如果丢失的数据包属于 I 帧会导致同一个 GOP 中其他帧成为无效帧。如果 N 越长则丢失的 I 帧必须等待较长的时间直到下一个 I 帧的到来,才能正确解码。对于 N 越小的视频流,等待下一个 I 帧的时间会比较短。

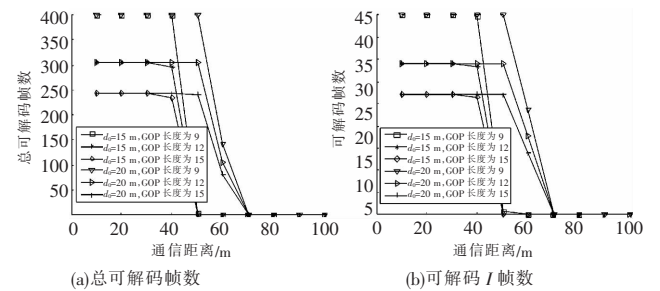


图 4 GOP 结构对视频质量的影响

由式(8)可得 GOP 平均端到端时延如图 5 所示。由图可见, d_0 相同时, N 越小 GOP 平均端到端时延越小,表明对于时延敏感和时延不敏感的视频应用在发送端进行视频编码时需要充分考虑 GOP 结构满足多样性需求。

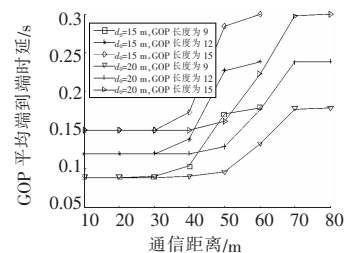


图 5 GOP 平均端到端时延

2.2 协作 ARQ 机制

由图 1~5 可知,传感器节点 d_0 取 12 m,当发送节点与下一跳接收节点之间距离小于 40 m 时,因为此时信道条件较好,数据包传输的差错概率非常小,可解码帧数、误包率、GOP 平均端到端时延和能效均保持最优性能;当距离大于 40 m 后,因

为通信距离的增大导致信噪比下降,接收节点误码率迅速增大,可解码帧数和能效急剧下降,数据包丢弃概率和 GOP 平均端到端时延急剧增大,此时 40 m 可作为中继选择的距离门限值。同理,传感器节点的近地参考距离 d_0 取 15 m 和 20 m 时,可分别选择 50 m 和 60 m 作为中继选择的距离门限值。因此,对于远距离视频通信,直接传输视频性能无法保障且能效较低,必须考虑基于距离的协同合作方式进行视频流传输。不同的传感器节点的近地参考距离 d_0 有唯一的距离门限值与其一一对应,而且综合图 3~5 可知,距离门限值只与传感器节点的近地参考距离有关,与 MTU 和 GOP 结构无关。

因此在协作通信时,应选择距离小于或等于距离门限值的传感器节点作为下一跳接收节点即中继节点,而且可以根据发送端到接收端的通信距离 d 计算,得到在每次传输或重传时所需的中继节点数为

$$d = \begin{cases} \bar{D} & d < \bar{D} & H_{\max} = 1 \\ H_{\max} \bar{D} & d \bmod \bar{D} = 0 & H_{\max} = d/\bar{D} \\ H_{\max} \bar{D} & d \bmod \bar{D} \neq 0 & H_{\max} = \lceil d/\bar{D} \rceil + 1 \end{cases} \quad (11)$$

其中: $\bar{D}$ 表示距离门限值; $\bmod$ 表示取模运算; $\lceil d/\bar{D} \rceil$ 表示取整运算,即直接截取整数部分。若已知 d 即可计算出协作传输跳数 $H_{\max}$ 值,则所需协作中继节点数为 $H_{\max} - 1$ 。

因为 GD-CARQ 通过 GOP 和距离感知的自适应中继选择机制,从候选中继节点中选择当前最佳中继节点,所以 GD-CARQ 的网络性能可通过式(12)求得。

$$Q_{\text{GD-CARQ}} = Q_c \times H_{\max} + q \quad (12)$$

其中: $Q_{\text{GD-CARQ}}$ 表示 GD-CARQ 的可解码帧率;GOP 表示平均端到端时延或能效; Q_c 和 q 分别表示 $d > \bar{D}$ 和 $d \leq \bar{D}$ 时, GD-CARQ 的可解码帧率、GOP 平均端到端时延或能效,可由式(6)(8)(10)(12)获得,此外该算法采用邓克波等人^[12]提出的定位算法可以在低成本、低能耗下实现距离感知。GD-CARQ 在发送节点和中继节点上的视频编码感知和自适应中继选择具体工作过程如下:

发送节点:

a) 根据应用业务对于视频传输的实时性、能效需求,选择 GOP 结构即制定 N 值和 MTU 值。

b) 在数据链路层分析得到距离门限值 $\bar{D}$ 和协作传输所需中继节点数 $H_{\max} - 1$,进行自适应中继选择。

c) 开始发送数据包,如果收到 ACK,则继续发送新的数据包,同时启动定时器;如果超时或者收到 NACK,则自动重传该数据包。

中继节点:

a) 中继节点选择距离小于或等于距离门限值 $\bar{D}$ 的节点作为下一跳接收节点;

b) 在 $H_{\max} - 1$ 个中继节点上重复依次执行中继节点的 a) 直至数据包被接收节点正确接收或主动丢弃数据包。

3 性能分析与评价

假设视频传感器网络中候选中继节点采用半双工信道,用于接收监听数据和发送协作数据,同时在正交无线链路上实现,所以中继节点之间相互无干扰。假设视频发送节点到接收节点之间端到端的传输路径包含一条主路径、若干条备用主路径以及部分中继节点的备用路径。主路径和备用主路径连接视频发送节点与接收节点,中继节点的备用路径连接自身与视频接收节点。当满足路径建立条件:a) 主路径和备用主路径需要保持路径不相交;b) 中继节点的备用路径和相应的子路径保持路径不相交。采用三种传输模式:a) 直接传输方式采

用传统 ARQ;b) 协作传输方式采用只考虑距离感知的协作 ARQ 机制;c) 协作传输方式采用 GD-CARQ。数学分析和仿真实验参数如表 2 所示。

表2 参数设置

符号	名称	数值
α	MHR 和 FCS 长度之和	11 Byte
l_{ACK}	ACK 包长	7 Byte
V_{radio}	CC1000 电压	3 V
I_{tr}	CC1000 发射端电流	8.5 mA
I_{re}	CC1000 接收端电流	7 mA
B_N	噪声带宽	30 kHz
R_{radio}	发射数据速率	38.4 Kbps
T	传输数据包所需往返时延	0.01 s
d_0	近地参考距离	15 m

3.1 不同误码率情况下性能对比

图 6 给出了在不同质量的无线链路情况下,三种传输方式的可解码帧率、GOP 平均端到端时延和能效的变化趋势。分析发现 GD-CARQ 和只考虑距离感知的协作 ARQ 的性能均明显优于传统 ARQ。虽然在低误码率无线信道上传输数据时, GD-CARQ 和只考虑距离感知的协作 ARQ 相比可解码帧率相差不多,但是随着误码率的增大, GD-CARQ 可以在周围的邻居节点中选择 GOP 和距离感知的最佳传输路径和中继节点,显著缩短了 GOP 平均端到端时延。同时, GD-CARQ 的能效始终优于只考虑距离感知的协作 ARQ。结合图 3,进一步表明 GD-CARQ 可以充分感知视频质量变化,采用最佳 GOP 结构和数据包长度对视频数据进行编码,满足数据传输可靠性要求的同时保持高可解码帧率和能效。

3.2 针对特定应用的视频质量保障能力

假设视频发送节点 S 上有一种对时延敏感的应用业务,且 S 与接收节点 D 之间端到端通信距离为 200 m, S 以 10 m/s 的速度向 D 直线匀速移动,其他节点静止。 S 于 20 s 时与 D 重合,此时停止发送数据。三种传输方式的性能测试结果如图 7 所示。对比图 7 发现,传统 ARQ 在远距离通信时(即 16 s 之前),无法提供有效的视频质量保障,可解码帧率和能效较低且时延较大,难以满足该业务对时延的要求。此外,距离感知的协作 ARQ 通过多中继协同合作的方式有效地改善了远距离通信的视频质量,但 GOP 传输时延较大,故两种方式均无法为该应用业务提供有效的 QoS 保障。对于 GD-CARQ 而言,根据应用业务的 QoS 需求,选择最佳的 GOP 结构、MTU 和 $H_{\max}$ 值并建立最佳传输路径,可以较好地为该业务提供有效的视频质量保障,而且 GD-CARQ 的能效始终优于另外两种传输方式。

4 结束语

视频传感器网络的高误码率和动态拓扑等固有特性使得中继选择以及支持多样业务需求的视频数据传输等问题为视频传感器网络的各种应用带来了一系列的挑战。本文首先基于由 Mica2 型节点组成的视频传感器网络和 MPEG-4 编码算法,提出了一种网络状态感知分析模型;其次分析了可解码帧数、GOP 平均端到端时延和能效等基于 GOP 和距离的变化规律,并提出了 GOP 和距离感知的中继选择机制以及满足多样应用业务需求的协作 ARQ 机制。最后采用数学分析和仿真的方法,对本文所提策略与传统 ARQ、只考虑距离感知的协作 ARQ 进行性能测试,结果证明了本文提出的策略在提供高可解码帧率和能效同时可以缩短视频传输时延。

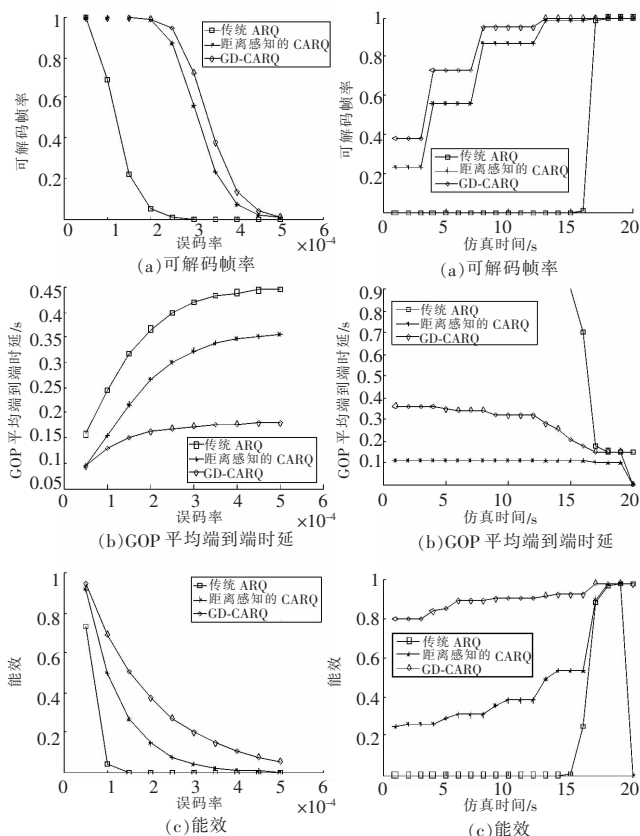


图6 网络性能随误码率的变化

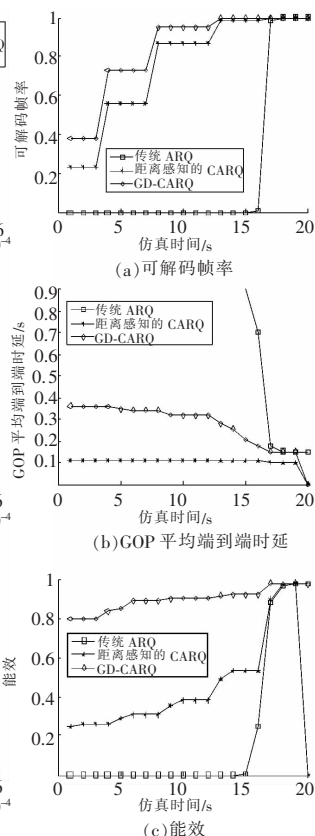


图7 端到端视频质量保障能力分析

参考文献:

- [1] NOSRATINIA A, HUNTER T E, HEDAYAT A. Cooperative communication in wireless networks[J]. *IEEE Communications Magazine*, 2004, 42(10): 74-80.
- [2] AKYILDIZ I F, MELODIA T, CHOWDHURY K R. A survey on wireless multimedia sensor networks[J]. *Computer Networks*, 2007, 51(4): 921-960.
- [3] 王玉斐. 无线多媒体传感器网络若干关键技术研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2010.
- [4] TACCA M, MONTI P, FUMAGALLI A. Cooperative and reliable ARQ protocols for energy harvesting wireless sensor nodes[J]. *IEEE Trans on Wireless Communications*, 2007, 6(7): 2519-2529.
- [5] 胡映波, 蔡跃明. 无线传感器网络中基于切换与保持节点选择的协同 ARQ 协议[J]. *通信学报*, 2010, 31(11): 17-24.
- [6] FALLAHI A, HOSSAIN E. A dynamic programming approach for QoS-aware power management in wireless video sensor networks[J]. *IEEE Trans on Vehicular Technology*, 2009, 58(2): 843-854.
- [7] SANGKOOK L, SU W F, BATALAMA S, et al. Cooperative decode-and-forward ARQ relaying: performance analysis and power optimization[J]. *IEEE Trans on Wireless Communications*, 2010, 9(8): 2632-2642.
- [8] 王向东, 梁杨, 李树江. 无线视频传感器网络的能量优化[J]. *沈阳工业大学学报*, 2009, 31(5): 558-563.
- [9] 樊晓平, 熊哲源, 陈志杰. 无线多媒体传感器网络视频编码研究[J]. *通信学报*, 2011, 32(9): 137-146.
- [10] 周军, 李俊, 朱明. 基于 GOP 取帧与变帧率的 VCR 实现方法[J]. *电子学报*, 2009, 37(8): 1675-1680.
- [11] 新勇, 乐德广, 白光伟, 等. 无线传感器网络跳数和通信距离自适应差错控制策略[J]. *控制理论与应用*, 2011, 28(4): 596-600.
- [12] 邓克波, 刘中. 基于感知距离调节的无线传感器网络节能区域覆盖[J]. *电子与信息学报*, 2009, 31(10): 2305-2309.
- [13] ZOU Jun-ni, XIONG Hong-kai, LI Cheng-lin, et al. Lifetime and distortion optimization with joint source/channel rate adaptation and network coding-based error control in wireless video sensor networks[J]. *IEEE Trans on Vehicular Technology*, 2011, 60(3): 1182-1194.
- [14] Chipcon corp. CC1000 datasheet [EB/OL]. [2010-12-01]. <http://focus.ti.com/lit/ug/swru058/swru058.pdf>.
- [15] Crossbow corp. Mica2 datasheet [EB/OL]. [2010-12-01]. http://www.xbow.com/Products/Product_pdf_files/Wireless_pdf/6020-0043-01_A_MICA2DOT.pdf.
- [16] Video traces research group [EB/OL]. [2010-12-01]. <http://trace.eas.asu.edu/index.html>.

(上接第 528 页)

参考文献:

- [1] LIU J, RAO S G, LI B, et al. Opportunities and challenges of peer-to-peer Internet video broadcast[J]. *IEEE Special Issue on Recent Advances in Distributed Multimedia Communications*, 2008, 96(1): 11-24.
- [2] 沈时军, 李三立. 基于 P2P 的视频点播系统综述[J]. *计算机学报*, 2010, 33(4): 613-624.
- [3] HAYES B. Cloud computing[J]. *Communications of the ACM*, 2008, 51(7): 9-11.
- [4] CHEN K T, HUANG P, LEI C L. Game traffic analysis: an MMORPG perspective[J]. *Computer Networks*, 2006, 50(16): 3002-3023.
- [5] Amazon EC2[EB/OL]. <http://aws.amazon.com/ec2/>.
- [6] CHEN Zhi-jia, ZHAO Yang, MIAO Xin, et al. Rapid provisioning of cloud infrastructure leveraging peer-to-peer networks[C]//Proc of ICDCS Workshops. Washington DC: IEEE Computer Society, 2009: 324-329.
- [7] ZHOU Jing, SHI Zhong-zhi. Unstructured P2P-enabled service discovery in the cloud environment[C]//Proc of the 6th IIP. Berlin: Springer, 2010: 173-182.
- [8] XU Ke, SONG Mei-na, ZHANG Xiao-qi, et al. A cloud computing platform based on P2P[C]//Proc of ITIME. [S. l.]: IEEE Press, 2009: 427-432.
- [9] YANG Jun, ZHAO Guo-hua, WANG Ke-jia, et al. A modern service-oriented distributed storage solution[J]. *The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications*, 2009, 16(1): 120-126.
- [10] RANJAN R, ZHAO Liang, WU Xiao-min, et al. Peer-to-peer cloud provisioning: service discovery and load-balancing[J]. *Cloud Computing*, 2010, 1: 195-217.
- [11] JIN Xin, KWOK Y K. Cloud assisted P2P media streaming for bandwidth constrained mobile subscribers[C]//Proc of the 16th International Conference on Parallel and Distributed Systems. Washington DC: IEEE Computer Society, 2010: 800-805.
- [12] 史佩昌, 王怀民, 刘雪宁, 等. 基于云服务传递网络的弹性 P2P VoD 覆盖网构造方法[J]. *小型微型计算机系统*, 2011, 32(11): 2230-2236.
- [13] 郑倩冰, 彭伟, 卢锡成. ERSN: 一种高效鲁棒的超节点对等网[J]. *计算机研究与发展*, 2006, 43(4): 607-612.
- [14] 徐小龙, 吴家兴, 杨庚. 一种基于 Cloud-P2P 计算模型的恶意代码联合防御网络[J]. *计算机应用研究*, 2012, 29(6): 2214-2221.
- [15] GUO Hong-fang, LIU Jiang-chuan, WANG Zong-min. Frequency-aware indexing for peer-to-peer on-demand video streaming[C]//Proc of ICC. [S. l.]: IEEE Press, 2010: 1-5.
- [16] BRAMPTON A, MACQUIRE A, RAI I A, et al. Characterising user interactivity for sports video-on-demand[C]//Proc of International Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video. 2007.