

无线局域网中增强 3D 视频传输的队列管理机制

张义¹ 赵旭¹ 涂华² 路博¹ 李阳阳³

(1. 中国信息通信研究院, 北京 100191;

2. 工业和信息化部信息通信管理局, 北京 100804;

3. 中国电子科学研究院, 北京 100041)

摘要: 随着智能终端、平板电脑的普及, 用户越来越多地通过 Wi-Fi 上网。与此同时, 人们对视频业务的要求也不断提升, 3D 等技术给人们带来全新的视觉体验。相对于普通的 2D 视频, 3D 视频需要的传输带宽更大, 如何在无线网络中提高 3D 视频的传输质量是一个值得研究的问题。我们提出了一种主动队列管理机制来增强 3D 视频在无线局域网中的传输质量, 在视频业务层需要标识出视频数据的重要性, 并将其映射到无线局域网中优先级不同的队列中, 保护关键视频数据的传输, 提高 3D 视频的传输质量。

关键词: 无线局域网; 队列管理; QoS; 多媒体应用

中图分类号: TP393.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1673-5692(2017)03-246-06

A Queue Management Mechanism to Improve 3D Video Transmission in WLAN

ZHANG Yi¹, ZHAO Xu¹, TU Hua², LU Bo¹, LI Yang-yang^{3*}

(1. China Academy of Information and Communications Technology, Beijing;

2. Ministry of Industry and Information Technology, Beijing;

3. China Academy of Electronics and Information Technology, Beijing)

Abstract: With the rapid development of intelligent terminals and tablets, more and more users take on-line through WLAN. The requirement for the video traffic is higher, and 3D technology could bring new visual experience. Compared with the traditional 2D video, it needs more transmission rate to download the 3D video, it's a challenge to improve the 3D video transmission in WLAN. In order to resolve this problem, we propose a queue management strategy to improve the 3D Video Transmission in WLAN: the importance of video data is identified, and the video data will be mapped to different queue based on its importance. It could make sure that the important video data is received successfully, and the performance will be enhanced.

Key words: WLAN; Queue management; QoS; Multimedia application

0 引言

随着智能终端、平板电脑等设备的普及, 人们采

用无线上网方式观看视频节目。视频业务对网络的传输时延和误码率都有较高的要求。但是无线环境下, 由于用户运动、干扰等因素, 无线带宽和误码率都难以满足视频传输的要求^[1]。无线传输中分组

收稿日期: 2017-02-01 修订日期: 2017-05-31

基金项目: 装备预研中国电科联合基金项目(6141B08020101)

丢失将会对压缩的视频的播放有严重的影响。为了减少传输的信息量,视频编码器一般采用运动补偿算法压缩视频,视频分组在网络中的丢失和接收端视频恢复质量之间不是简单的线性关系。视频压缩流中帧在接收端解码时具有依赖关系,即使较少的网络分组丢失也可能造成大量成功传输的数据实际上变得不可用。避免视频关键分组的重传是提高视频传输质量的有效手段^[2]。

为了提供立体观感,研究者提出了多视角视频和交互式多视角视频。前者为人的左眼和右眼提供不同的角度的视频,通过相位视差带来3D效果;后者则允许用户实时切换观看视角,通过运动视差获得全方位“浸入式”立体效果。采用多视角编码方式,利用多个视角的图像相关性同时压缩多个视角的信息以提高编码效率,但是采用这种方式仍然需要传输多个视角的视频。交互式多视角视频则需要对每个视角分别编码和存储,在播放过程中根据用户的需求请求不同的视角图像即可,可以有效地降低传输带宽,但是在传输过程中则可能存在交互延时。为了提供更多的视点,研究者提出采用深度图像绘制技术(Depth Image Based Rendering, DIBR)借用摄像头采集的真实视角图像合成虚拟视角图像。根据用户与服务器之间的交互,交互式多视角视频提供了全方位多视角的3D立体用户体验。

为了提高视频传输的服务质量,主要有两种解决方法^[3],分别是以端系统和以网络为中心的方法。以端系统为中心的方法,需要端系统估计网络的带宽,并实施的修改视频的压缩速率,这种方法已经得到了广泛的研究,但是端系统一般较为复杂。而以网络为中心的方法,在网络节点中通过修改传输的关键机制来改进视频的传输质量QoS。

队列管理作为在路由器中支持拥塞控制提供服务质量机制,是网络的研究热点。早在1993年Sally Floyd等人^[4]提出了随机早期检测(Random Early Detection, RED)算法,它能根据在网络将发生拥塞的时候,主动丢弃队列中缓冲区的数据避免队列上溢出,这样使得TCP的拥塞控制机制能够及早发现网络拥塞以进入拥塞避免状态,有效地减少网络拥塞。但是在无线局域网中,为了提高网络的服务质量,研究者提出了增强分布式协调功能(Enhance Distributed Coordination Function, EDCF),它为不同的业务提供了差异性接入无线信道的机会,以保障实时业务的传输。但是上述机制仍然不能保障3D视频的传输。为此,我们提出了一种队列管

理机制来提高无线局域网中视频业务的传输质量。

1 相关研究工作

为了提高有线网络中视频流的传输质量,文[5]中提出了基于速率的RIO(Rb-RIO)队列管理算法。算法中将I帧、P帧和B帧分组映射到三个优先级类,其中I帧表示关键帧,I帧可以完整保留画面,解码时只需要本帧数据就可以完成;P帧表示前向预测编码帧,P帧表示的是这一帧跟之前的一个关键帧(I帧)的差别,解码时需要用之前缓存的画面叠加上本帧定义的差别,生成最终画面;B帧表示双向预测内插编码帧。B帧是双向差别帧,也就是B帧记录的是本帧与前后帧的差别。根据分组优先级的差别修改RIO算法的丢弃概率。文[6]提出分层编码的视频业务,使用多等级RED(称作REDN3),将不同帧分组映射到WRED算法的不同的丢弃优先级中。这些区分视频流分组重要性的队列管理方法,根据视频编码中帧类型的不同,直接将视频分组按照帧类型映射到不同的优先级。

为了保障无线局域网不同业务的服务质量,研究者提出了EDCF^[7]。它将业务分成8个不同的优先级(User Priorities, UP),它们被映射为4个用户类别(Access Categories, AC):音频业务(AC_VO),视频业务(AC_VI),尽力而为业务(AC_BE)和背景业务(AC_BK)。不同的AC有不同的队列和接入参数(AIFS[AC], CWmin[AC], CWmax[AC]和TXOP_limit[AC])。通过调节这些参数,就可以改变不同业务接入无线信道的机会和时长,提供差异性的服务。

尽管上述的队列管理机制可以应用到无线局域网场景下,通过修改EDCF队列的管理机制提高视频的传输质量,但是这种方案没有充分发挥EDCF多队列的性能。并且现有的研究没有考虑交互式多视角3D视频流的视角切换等特性。

2 系统模型

图1描述了推荐的无线局域网中多视角视频业务的传输模型。假定从不同视角的拍摄同一场景,并且每个视角都包括了平面和深度视频信息。这些视频数据都压缩并存储在服务器中。移动终端向服务器请求视频业务,相应的视频数据会从服务器通过互联网,无线接入点传送到移动终端。在传输过

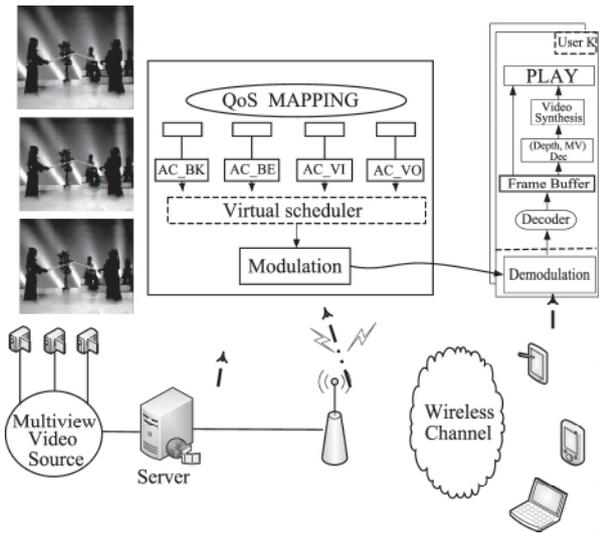


图 1 无线局域网交互式多视角视频传输框架

程中,终端会周期性或者非周期性地反馈用户的视角。当用户请求虚拟视角视频的时候,可以先下载两个相邻真实视角的视频,然后在客户端通过 DIBR 技术合成虚拟视角视频。

3 队列管理操作

我们提出的队列管理机制结合了 EDCF 多队列的特征和自治的思想。自治机制的核心点是自治反馈控制环的形式。无线接入收集视频业务的队列的平均队列长度,根据这些信息判断网络的拥塞状况进行自适应的决策。同时在应用层标记视频编码的特征信息,包括帧类型、帧位置和帧大小等信息,需要在源端进行视频压缩编码后,记录到分组头的字段中。无线接入点中的视频队列管理机制根据缓冲区的情况,当网络将要发生拥塞的时候将不重要的分组塞入其它低优先级的队列中,避免关键视频分组由于队列溢出而被丢弃。如图 2 所示,在无线接入点的队列中,视频业务的缓冲区可能发生溢出,我们可以将不重要的非关键分组(如承载 P、B 帧的分组)动态地映射到其他的 AC_BE 和 AC_BK 队列中,最大限度地保护视频关键分组(如承载 I 帧的分组)的传输。

在已有的 RED、WRED^[8]等队列管理算法中,算法的参数都是静态设置的。本算法则根据网络的状态动态调整视频分组的映射策略。具体说来,如图 3 所示:

当任意视频分组进入 AC_VI 队列时,首先计算 AC_VI 和 AV_BE 队列缓冲区的长度,然后根据 AC_

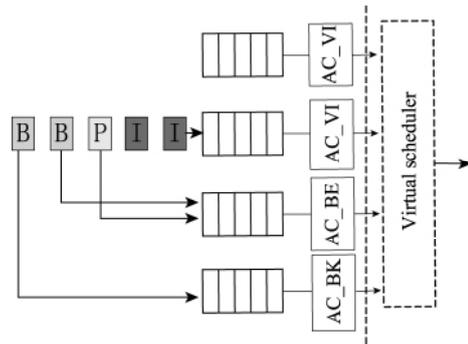


图 2 队列管理机制示意图

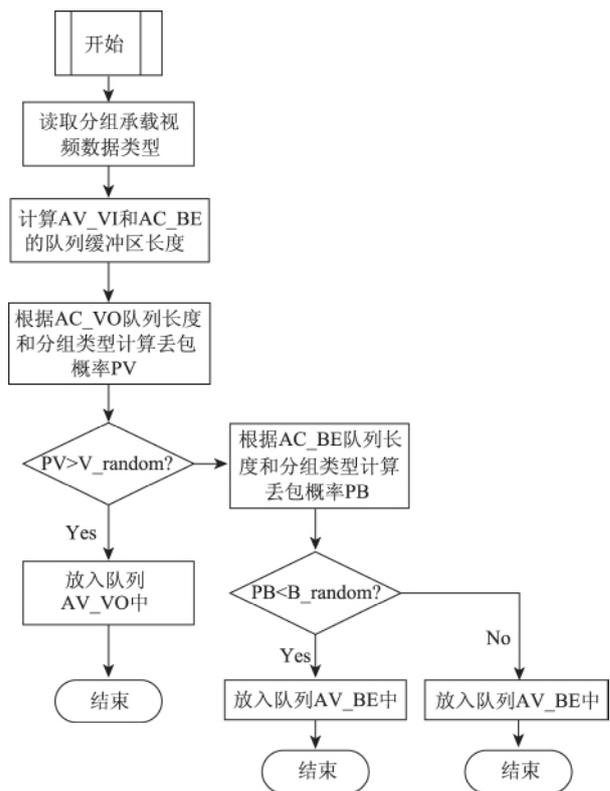


图 3 队列管理算法流程图

VI 队列缓冲长度和分组类型计算丢弃概率 PV, 如果决定不丢弃分组, 则将视频分组塞入 AC_VI 队列中。如果决定丢弃分组, 则根据 AV_BE 队列缓冲区长度和分组类型计算丢弃概率 PB, 再次决定是否丢弃分组, 如果决定不丢弃分组, 则将视频分组塞入 AV_BE 队列中, 否则塞入队列 AC_BK 中。这种动态的队列管理机制最大限度地利用了 EDCF 多缓冲区队列的特征, 充分地保护了关键分组的传输, 同时并没有影响高优先级的音频业务服务质量, 也尽量降低对 BE 和 BK 等业务的影响。

下面我们讨论如何计算丢弃概率 PV 和 PB。对于 RED 和 WRED 算法, 最重要的参数是分组最

大丢包率 \max_p 。本算法为了减少重要视频分组的丢失,根据分组的重要性来对最大丢包率进行调整。算法中初始设置的针对 I 帧分组、P 帧分组和 B 帧分组的最大丢包率分别表示为 \max_p_i 、 \max_p_p 和 \max_p_b ,而且三个数值依次增大已达到对重要分组的优先保护。

如果有 I 帧分组到达, \max_p 设置为 \max_p_i 。如果有 P 帧分组到达,将根据 P 帧编号来调整 \max_p_p 的值。如果当前分组是 P 帧分组,最大丢包率调整为 $\max_p = \max_p_i + (\max_p_p - \max_p_i) * a$, a 是一个常量。如果当前分组是 B 帧分组,最大丢包率调整为 $\max_p = \max_p_p + (\max_p_b - \max_p_p) * b$,其中 b 是一个常量。算法中使用的静态参数包括:平均队列长度 q_{vi} ,队列长度低门限 th_{min} ,队列长度高门限 th_{max} ,最大丢包率 \max_p_i 、 \max_p_p 和 \max_p_b 。而使用的业务上下文信息则从到达分组头的相应字段中直接收集获取即可。当 AC_VI 平均队列长度 q_{vi} 小于 th_{min} 时,直接使当前分组进入队列。当平均队列长度 q_{vi} 大于 th_{max} 时,则选择分组进入 AV_BE 或者 AC_BK 队列。当平均队列长度在两个门限之间时,根据分组类别信息调整最大丢包率参数 PV。如果决定分组不进入 AC_VI 队列中,则可以进入 AC_BE 或者 AC_BK 队列中。计算过程与上述判断分组是否进入 AC_VI 队列相似,不同之处在于统计的是 AC_BE 的队列长度 q_{be} 。

推荐的队列管理机制机制伪代码如表 1 所示。

表 1 队列管理算法的伪代码

```

1. Loop 1: Should arrival packet be mapped to AC_VI queue: calculate
   the average queue length  $q_{vi}$  and  $q_{be}$ 
2. if the arrival packet carrying I frame data then
3.  $\max_p = \max_p_i$ 
4. else if the arrival packet carrying P frame data then
5.  $\max_p = \max_p_i + (\max_p_p - \max_p_i) * a$ 
6. else
7.  $\max_p = \max_p_p + (\max_p_b - \max_p_p) * b$ 

8. if ( $q_{vi} > th_{max}$ ) then
9. go to Loop 2
10. else if ( $q_{vi} < th_{min}$ ) then
11. enter the arrival packet into the queue AC_VI
12. else
13.  $p = \max_p * (q_{vi} - th_{min}) / (th_{max} - th_{min})$ 
14. randomize number  $u_{vi}$ 
15. if ( $u_{vi} < p$ )
16. go to Loop 2
17. else

```

```

18. enter the arrival packet into the queue AC_VI
19. Loop 2: Should arrival packet be mapped to AC_BE queue:
20. if the arrival packet carrying I frame data then
21.  $\max_p = \max_p_i$ 
22. else if the arrival packet carrying P frame data then
23.  $\max_p = \max_p_i + (\max_p_p - \max_p_i) * a$ 
24. else
25.  $\max_p = \max_p_p + (\max_p_b - \max_p_p) * b$ 
26. if ( $q_{be} > th_{max}$ ) then
27. enter the arrival packet into the queue AC_BK
28. else if ( $q_{be} < th_{min}$ ) then
29. enter the arrival packet into the queue AC_BE
30. else
31.  $p = \max_p * (q_{be} - th_{min}) / (th_{max} - th_{min})$ 
32. randomize number  $u_{be}$ 
33. if ( $u_{be} < p$ ) then
34. enter the arrival packet into the queue AC_BK
35. else
36. enter the arrival packet into the queue AC_BE

```

4 仿真结果及分析

我们通过 NS3 的仿真验证推荐方法性能。假设多个用户同时请求多视角视频业务。

采用 H. 264 JM 编码视频序列“Kendo”和“Balloons”^[9]。其中,所有视频采用了前 240 帧并将视频重复播放 10 遍,仿真实验中涉及两个参数 GoP (Group of Picture 图像组) 和 QP (Quality Parameters 量化参数)。其中,GoP 表示图片组中帧的个数,即 I 帧的间隔数,一般为 8-64,GoP 设置过小,视频压缩比太小,GoP 设置过大,I 帧之间的预测帧补偿还原效果太差;QP 表示视频压缩的量化参数,直接决定视频的压缩比,QP 越大,视频的压缩比越大,生成视频的码率越低。根据实验和经验值,我们设置 GoP 和 QP 为分别为 16 和 32^[10]。视频 Kendo 的平均码率值为 820 Kbps,视频 Balloons 的平均码率值为 840 Kbps。用 JM 将视频的深度信息压缩为 100 Kbps。仿真中,MPEG 虚拟视角合成软件 MPEG VSRS 用来合成虚拟视角。在仿真过程中,视点 1,3 和 5 为真实视点,视点 2 和 4 为虚拟视点。该仿真采用了文献[11]中的视点切换模型,该文献中视角切换模型是相关作者在大量实验数据基础上,对人们进行视角切换规律的分析 and 总结,即一般而言用户会保持相同的视角切换轨道。这个视角模型假定用户会保持相同的视角切换轨道。如图 4 所示,如果用户在第 $i-1$ 个时刻观看的视频角度是 1,在第 i 个时间分片观看的角度为 2,那么用户在第 $i+1$ 个

时刻观看视点 1、2 和 3 的概率分别为 $(1 - P2 - P3)$ 、 $P3$ 和 $P2$ 。如果用户在第 $i - 1$ 个时刻观看的视频角度是 2, 在第 i 个时间分片观看的角度为 2, 那么用户在第 $i + 1$ 个时刻观看视点 1、2 和 3 的概率分别为 $(1 - P1) / 2$ 、 $P1$ 和 $(1 - P1) / 2$ 。

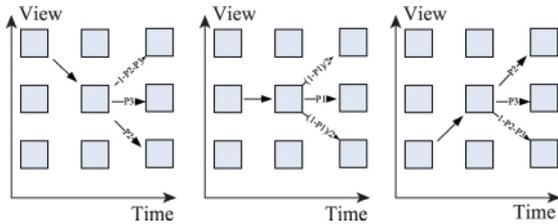


图 4 视角切换模型

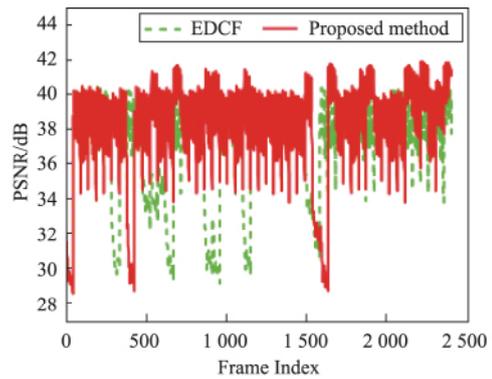
我们使用 NS3 在 WLAN 场景下进行仿真, 分析比较默认 EDCF 算法和推荐方法的性能。队列管理算法部署在无线接入点队列管理机制上。仿真拓扑中的 10 个无线终端在规定的 1000×1000 区域内随机移动。我们使用 NS3 提供的随机路点移动模型 (random waypoint mobility mode, RWP)。仿真场景中无线信道设置为双径路损模型和瑞丽衰退模型。

仿真中我们推荐的算法中 max_p_i , max_p_p , max_p 分别设置为 0, 0.4 和 0.8, th_{min} 和 th_{max} 分别设置为 30 和 60。本文仿真实验中 a , b 分别选取 0.5, 1, 它们会对不同分组的丢弃概率产生影响。这两个值越大, 分组的丢弃概率越大, 分组在网络拥塞的时候被主动丢弃的概率越大。一般而言, b 应该取值比 a 大, 这样对承载关键帧的分组保护力度越大。

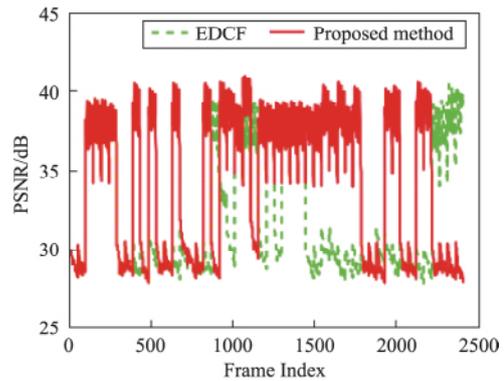
图 5 展示了推荐算法的性能, 采用 EDCF 方法和我们推荐的方法 kendo 视频的平均 PSNR 为 36.3 和 37.7 dB, Balloons 视频的平均 PSNR 为 31.9 和 34.0 dB。我们可以看出推荐的方法能够有效地提高交互式多视角视频在无线局域网的传输质量。

5 结 语

本文中提出了一种队列管理机制以提高交互式多视角 3D 视频流传输质量。能够根据视频流分组的编码特征信息决定分组的重要性, 自适应地调整机制参数, 保护重要的视频数据。最后使用 NS3 仿真比较了传统的 EDCF 机制和我们推荐的队列管理算法性能。仿真结果显示推荐算法能够获取更优的 PSNR。



(a) Kendo



(b) Balloons

图 5 算法性能比较

参考文献:

- [1] 谢佳, 徐山峰, 王兆伟, 史伟, 石伟. 无线局域网视频流传输中的图像质量性能仿真研究[J]. 中国电子科学研究院学报, 2015, 4(04): 395-400.
- [2] Bai Y, Ito M R. Application-aware buffer management: new metrics and techniques [J]. IEEE Transactions on Broadcasting, 2005, 51(1): 114-121.
- [3] Vaz R N, Nunes M S. Selective frame discard for video streaming over ip networks [C]//Proceedings of the 7th Conference on Computer Networks (CRC2004), Leiria, Portugal. 2004.
- [4] Floyd S, Jacobson V. Random early detection gateways for congestion avoidance [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking (ToN), 1993, 1(4): 397-413.
- [5] Chung J, Claypool M. Rate-based active queue management with priority classes for better video transmission [C]//Proceedings of the Seventh International Symposium on Computers and Communications, 2002: 99-105.
- [6] Ziviani A, de Rezende J F, Duarte O. C. M. B, et al. Improving the delivery quality of MPEG video streams by using differentiated services [C]// Proceedings of the 2nd European Conference on Universal Multiservice Networks, 2002: 107-115.

(下转第 256 页)

多任务对多源信息融合的不同应用需求。天基信息港是一个全新的概念,与传统的卫星在功能、设计思路、实现途径和应用方式等诸多方面截然不同。天基信息港采用多功能综合化设计和面向服务的开放式体系结构,能针对各种航天用户按需提供,打破了“一星一系统”的信息壁垒,实现了航天信息体系化应用,如同手机的APP一样,必将会有越来越多的应用场合和新的服务模式出现。

参考文献:

- [1] 王家胜. 中国数据中继卫星系统及其应用拓展[J]. 航天器工程, 2013, 22(1): 1-6.
- [2] 闵士权. 天基综合信息网初探[C]//中国通信学会第九届卫星通信学术年会论文集. 北京: 中国通信学会, 2013: 20-29.
- [3] 李婷. 天基信息网络的软件定义网络应用探析[J]. 电讯技术, 2016, 56(3): 259-266.
- [4] 赵阳. 一种动态开放性天基信息系统应用体系研究[J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30(6): 1111-1113.
- [5] 张乃通. 对建设我国“天地一体化信息网络”的思考. 中国电子科学研究院学报, 2015, 10(3): 223-230.
- [6] 吴曼青. 天地一体化信息网络总体架构设想[J]. 卫星与网络, 2016, 3: 20-26.
- [7] 李恒年. 地球静止轨道共位控制策略研究[J]. 宇航学报, 2009, 30(3): 967-973.
- [8] 石善斌等. 两种静止轨道多星共位位置保持策略比较[J]. 上海航天, 2009, 2: 55-60.

(上接第250页)

- [7] Standards Committee. Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service enhancements [J]. IEEE Computer Society, 2005.
- [8] Floyd, Sally, and Van Jacobson. “Random early detection gateways for congestion avoidance.” IEEE/ACM Transactions on Networking (ToN) 1.4 (1993): 397-413.
- [9] Saito T. Nagoya University Multi-view Sequences Download List [J]. Nagoya University, Fujii Laboratory, [Online]. Available: <http://www.fujii.nuee.nagoya-u.ac.jp/multiview-data/>. [Accessed 31 May 2017].
- [10] Zhao M, Gong X, Liang J, et al. A cloud-assisted DASH-based scalable interactive multiview video streaming framework [C]//2015 Picture Coding Symposium (PCS), Cairns, QLD, 2015, pp. 221-226.
- [11] Maugey T, Frossard P. Interactive multiview video system with low complexity 2D look around at decoder [J]. IEEE

- [9] 杨小牛. 基于“软件星”的综合一体化空间信息系统[J]. 电子科学技术评论, 2004, 4: 15-22.
- [10] 陈小军. 面向高效能计算的虚拟化技术研究综述[J]. 系统仿真学报, 2012, 24(4): 741-747.
- [11] 分布式航空电子系统通用开放式软件架构研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2013, 5.
- [12] 张云彬. 多源信息融合与天基信息网[J]. 信息工程大学学报, 2003, 4(4): 33-37.
- [13] 王耀南. 多传感器信息融合及其应用综述[J]. 控制与决策, 2001, 16(5): 518-522.
- [14] 潘泉. 信息融合理论的基本方法与进展[J]. 自动化学报, 2003, 29(4): 599-615.
- [15] 王军. 多 Agent 及其在信息融合中的应用[J]. 2008, 36(3): 128-130.

作者简介



李斌(1985—),男,河北人,工程师,主要研究方向为航天综合电子信息系统;

E-mail: libin04043182@163.com

刘成源(1984—),男,重庆人,工程师,主要研究方向为航天综合电子信息系统与综合射频;

章宇兵(1971—),男,河南人,研究员,主要研究方向为航天综合电子信息系统;

周彬(1966—),男,河南人,研究员,主要研究方向为航天综合电子信息系统。

Transactions on Multimedia, 2013, 15(5): 1070-1082.

作者简介



张义(1986—),男,湖北人,工程师,主要研究方向为互联网网络与架构、互联网质量监测分析、互联网交换中心、国际通信等;

E-mail: zhangyi1@catr.cn

赵旭(1983—),女,宁夏人,工程师,主要研究方向为互联网治理、互联网产业;

涂华(1978—),男,湖北人,工业和信息化部信息通信管理局副处长,主要研究方向为我国电信与互联网研究与监管工作;

路博(1986—),男,北京人,工程师,主要研究方向为移动互联网应用相关领域;

李阳阳(1987—),男,江苏人,博士,工程师,主要研究方向为网络安全和云计算技术。