

基于分布式信源编码的果园视频压缩方法研究

代媛¹ 何东健² 张建锋¹ 方勇¹

(1. 西北农林科技大学信息工程学院, 陕西杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学机械与电子工程学院, 陕西杨凌 712100)

摘要: 分布式信源编码将编码端的复杂度转移至解码端, 可有效解决果园无线视频传感器网络采集节点能量和计算能力受限的问题, 但其实际性能还不够理想。为了进一步提高编码的率失真性能, 针对果园视频时空相关性强的特点, 提出一种基于块自适应的分布式视频编码架构, 该架构根据视频内容的相关性选择编码方式, 对于 WZ 帧块采用 LDPC 编码的方式并利用联合比特平面 LDPC 算法进行译码。以苹果和葡萄果园视频样本进行测试, 结果表明, 基于块自适应的分布式视频编码架构能充分利用视频的时空相关性, 在相同的量化前提下, 相比传统架构苹果和葡萄果园视频样本分别节约了 6% ~ 10% 及 9% ~ 13% 的码率。

关键词: 果园; 无线视觉传感器网络; 视频编码; 分布式信源编码

中图分类号: TP399 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2016)03-0298-07

Video Compression of Orchard Based on Distributed Source Coding

Dai Yuan¹ He Dongjian² Zhang Jianfeng¹ Fang Yong¹

(1. College of Information Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China

2. College of Mechanical and Electronic Engineering, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Due to the limitation of the nodes energy and computation ability in wireless visual sensor network (WVSN), the high complexity of traditional video coding in encoder is difficult to meet the requirement of practical application. Distributed source coding (DSC) can fully exploit the source statistics at the decoder to reduce the computational burden at the encoder. DSC provides a new way for video compression of orchard because it can effectively solve the problem of limited resources of sensor node in WVSN. Distributed video coding (DVC) is based on DSC, but it is a lossy compression coding technique. It suggests that under ideal conditions, the same rate distortion performance can be achieved as traditional video codecs. In practice however, there is still a significant performance gap between the two coding architectures. In order to improve the performance of DVC, a block adaptive DVC architecture was proposed according to the strong spatial and temporal correlation of the orchard video. It selected the coding pattern in accordance with the correlation of video content. WZ blocks were encoded with low density parity check (LDPC) code. For practical consideration of computational complexity and error-correction performance of the decoder, the joint-bitplane LDPC decoding algorithm was used. Apple and grape orchard videos were tested and the experimental results show that the block adaptive DVC architecture can make the best use of the spatial and temporal correlation for compression coding. Compared with the traditional DVC, at the same quality of coding, it can save around 6% ~ 10% and 9% ~ 13% of the bit rate for apple video and grape video, respectively.

Key words: orchard; wireless visual sensor network; video coding; distributed source coding

收稿日期: 2015-11-25 修回日期: 2015-12-27

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863计划)项目(2013AA102304)、国家自然科学基金项目(61271280)和中央高校基本科研业务费专项资金项目(2452015059)

作者简介: 代媛(1981—),女,讲师,博士,主要从事农业信息化、压缩编码研究,E-mail: dy@nwsuaf.edu.cn

通信作者: 何东健(1957—),男,教授,博士生导师,主要从事图像处理、智能监测及虚拟现实研究,E-mail: hdj168@nwsuaf.edu.cn

引言

为了对果园进行精准管理,实现高产、优质、高效、生态的可持续发展目标^[1],需要采集与果树生长紧密相关的各种信息^[2]。通过基于无线视觉传感器网络(Wireless visual sensor network, WVSN)实时采集果园生产过程与果树长势视频信息并对其智能化处理^[3-4],可帮助果农以更加精细和动态的方式认知、管理和控制果树的生长与生产^[5-6]。

在基于 WVSN 的果园生长信息采集中,视频信息数据量庞大,而无线信道带宽有限,为减小视频数据传输量以节约带宽,在传输前对视频进行压缩是关键技术之一^[3,6-7]。然而无线传感器节点由电池供电,其发送端受到能量、存储容量、计算能力及功率资源的限制,传统的混合式视频编码器需要的计算量远远大于解码器,难以满足其需求^[8]。基于分布式信源编码(Distributed source coding, DSC)原理的视频编码架构——分布式视频编码(Distributed video coding, DVC)为解决该问题提供了方法^[9-10]。DVC 系统在编码端对各视频帧进行独立编码,而在解码端对各帧进行联合解码,同时将运动估计和运动补偿等复杂的运算移至解码端,有效地减少编码端的计算复杂度,且 DVC 系统通常采用性能接近 Shannon 理论限的纠错码,同时可提高无线传输的抗干扰性^[11],非常适合果园无线视频监控节点能量与计算能力受限的场合。目前尚未见到 DVC 系统在基于 WVSN 的果园视频监测中的研究报道。

本文基于分布式信源编码原理,研究面向果园监控 WVSN 的分布式视频编码,但与传统视频编码相比,其率失真性能有一定的差距。因此,本文设计一种块自适应的分布式视频编码架构,根据视频内容相关性选择编码方式,以进一步提高其率失真性能。

1 整体设计方案

基于分布式信源编码的果园视频压缩编码整体设计方案如图 1 所示,由于视觉传感器节点能量和计算能力有限,因此其采用 DSC 的原理对视频编码,即 DVC 编码。DVC 编码端计算复杂度低,非常适合传感器节点。传感器节点对视频进行编码后以无线的方式传送至基站,基站的计算能力强且支持有线电源,可满足 DVC 解码端复杂度高的需求。之后再利用传统的混合编码器进行再次压缩,传统编码器复杂度高,而基站可满足其要求,再通过 Internet 或者 4G 网络远距离传送到手机、Pad 及计算机等用户端,这些用户端就可利用低复杂度的传

统解码器进行解码。这样传感器节点和接收终端用户都可以使用低复杂度的设备,而高复杂度的计算则由计算能力强大的基站服务器执行。该方案既在传感器节点处节省能量又能保证远距离传输时对视频进行充分压缩以更有效地节省带宽。本文重点研究分布式视频编码及解码。

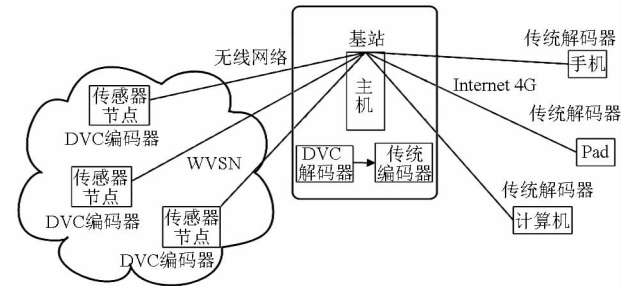


图 1 基于 DSC 的整体设计方案图
Fig. 1 Whole design scheme with DSC

2 基于 DSC 的视频编解码

DSC 是基于 SLEPIAN 和 WOLF^[12]提出的无损编码理论而建立的。SLEPIAN 和 WOLF 证明,在保证信源不失真的情况下,对 2 个互不通信的统计相关信源进行独立编码,同样可以达到传统信源编码(信源之间相互通信)的联合编码效率。Slepian - Wolf 理论是针对相关信源的无损压缩,而 WYNER 和 ZIV^[13]把该理论扩展到了有损压缩的领域,提出了联合高斯信源的有损编码方案,为有损分布式信源编码奠定了理论基础,因而 Wyner - Ziv 视频编码也称 DVC 编码。Wyner - Ziv 编码器通常可以认为是 Slepian - Wolf 编码器加量化器构成,而系统失真主要来源于信源编码器中的量化器。

在分布式视频编码方案中,将视频序列中各帧图像看作是多个信源,各帧之间进行独立编码。在解码端,利用时域相邻帧之间的高度相关性,通过对已解码帧进行运动估计与运动补偿可求取当前欲解码帧对应的边信息(边信息可看作是解码端对当前帧的预测),解码端利用边信息和码流联合迭代解码重构当前欲解码帧图像。在已知帧与帧之间相关性的前提下,单独编码并不影响理论的最小编码效率,仍可以达到和传统的联合编码同样的效率,其优点是单独编码时编码端的复杂度大大降低。

2.1 基于块自适应的 DVC 系统架构

传统的 DVC 系统架构是基于预先定义好的帧组(Group of pictures, GOP),GOP 的大小为 2 帧,即原始的视频信号被分为 I 帧和 P 帧。I 帧又称关键帧,采用传统的编码方法进行帧内编码;P 帧采用 Wyner - Ziv 编码,即 WZ 帧,其利用边信息和码流联合进行解码。但传统的 DVC 架构不适合对果园视

频进行编码,原因是 GOP 大小固定时,不能很好地利用视频帧之间时空的相关性,比较适合运动剧烈的视频序列。通常情况下,果园监控拍摄场景很长时间是不变的,视频帧之间时间相关性非常强,在某段时间内其内容运动缓慢甚至静止,或者帧内某区域静止。因此,采用传统的 DVC 架构以固定大小的 GOP 对果园视频流进行编码压缩率较低。

针对此问题,本文提出一种基于块自适应的 DVC 系统架构,根据果园视频流时空相关性强的特点,将帧分成适当大小的块,视频第 1 帧中的所有块都定义为关键块,接下来帧中各块的编码方式是根据当前块与之前对应位置关键块内容之间的相关性来决定:若其相关性强,则采用 WZ 编码方式;若其相关性弱,则定义为关键块,采用传统帧内编码方式,连续相关的 WZ 块和其前面的关键块形成一个块组(Group of blocks, GOB)。将每帧图像分成 $88 \text{ 像素} \times 72 \text{ 像素}$ 的块(块太小会增加编码端的计算复杂度),视频帧块是否为关键块取决于其时空的差异,时间上差异用 T 表示,空间差异用方差 σ^2 表示,有

$$T_{i,j,t} = \sum_{(m,n) \in B_{i,j,t}} |x_t(m,n) - x_{t-d_1}(m,n)| \quad (1)$$

$$\sigma^2_{i,j,t} = \frac{1}{S} \sum_{(m,n) \in B_{i,j,t}} |x_t(m,n)|^2 - \left(\frac{1}{S} \sum_{(m,n) \in B_{i,j,t}} x_t(m,n) \right)^2 \quad (2)$$

式中 t ——时间 (i,j) ——块索引
 (m,n) ——当前块 $B_{i,j,t}$ 中像素坐标
 x_t ——像素值

S ——每个块中像素的个数
 d_1 ——当前块和关键块之间的距离

若帧块的 T 大于一个预先定义的阈值或者 σ^2 低于预先定义的阈值,则定义为关键块(由于果园视频在时间上相关性更强,因此可将 T 的阈值设置更大些)。GOB 动态分配结构如图 2 所示,视频中第 1 帧全部为关键块,对于帧中第 $(0,1)$ 个块,其 GOB 分别为 2、1、3。因此,第 2、5、6 帧中第 $(0,1)$ 个块的边信息由第 1、3、4、7 帧中的第 $(0,1)$ 个块得出。本文所设计的 DVC 系统架构如图 3 所示,帧组的格式采用自适应块选择模式。对于关键块采用传统帧内编码方式;对于 WZ 块,经过量化后每个像素的所有比特平面可进行编码。由于信源编码可以通过信道编码来实现,如可通过 Turbo 码或低密度奇偶校验码(Low density parity check, LDPC)等编码方法来实现^[14]。LDPC 码是一类可以用非常稀疏的校验矩阵定义的线性纠错码,与性能良好的 Turbo 码相比,LDPC 码描述和实现更为简单,具有较大的灵活性,而且当 LDPC 码的码长足够长时,其相对 Turbo 码具有更好的性能;此外,由于 LDPC 码的线性译码复杂度低于 Turbo 码,因而还具有更快的译码效率,是实现分布式视频编码良好方案^[15]。因此,本系统编码端采用累积 LDPC(LDPC accumulate, LDPCA)码进行编码并控制比特平面的码率^[16],解码端以边信息作为参考,通过码流以迭代的方式重建 WZ 帧。最后通过块组合重建视频流。由于 LDPC 码是一种近 Shannon 限的线性纠错码,因此对无线信道有很好的抗干扰性。

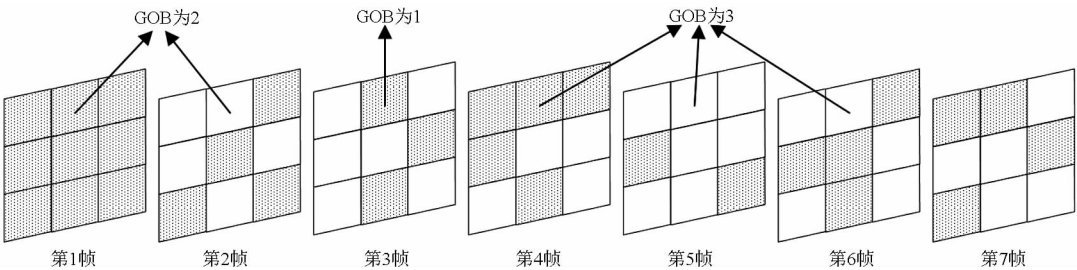


图 2 动态分块结构示意图
Fig. 2 Illustration of dynamic GOB structure

2.2 编码

LDPCA 编码器由 LDPC 伴随式生成器连接一个累加器构成^[16],如图 4 所示,其中空心圆圈表示变量节点,方框表示伴随式节点或称校验节点,实心圆圈表示累积伴随式节点。其中,伴随式 $(s_1, s_2, \dots, s_8)$ 是由信源 $(x_1, x_2, \dots, x_8)$ 根据 LDPC 的因子图在伴随节点端进行模 2 和所得到的,这些伴随式再依次模 2 和得到累积伴随式 $(a_1, a_2, \dots, a_8)$ 。编码器将这些累积伴随式存储在缓冲器中,根据解码端

反馈回来的消息以逐次递增即码率自适应的方式传递给解码端。最初根据最小理论码率传递较少的累积伴随式,解码端利用这些累积伴随式进行解码,若不能成功解码,则解码端利用反馈信道传递消息至编码端,要求编码器发送更多的累积伴随式比特,再重新解码,如此反复进行,直到解码成功或迭代次数达到预设的阈值。

2.3 边信息生成

边信息根据已解码块和关键块采用线性内插法

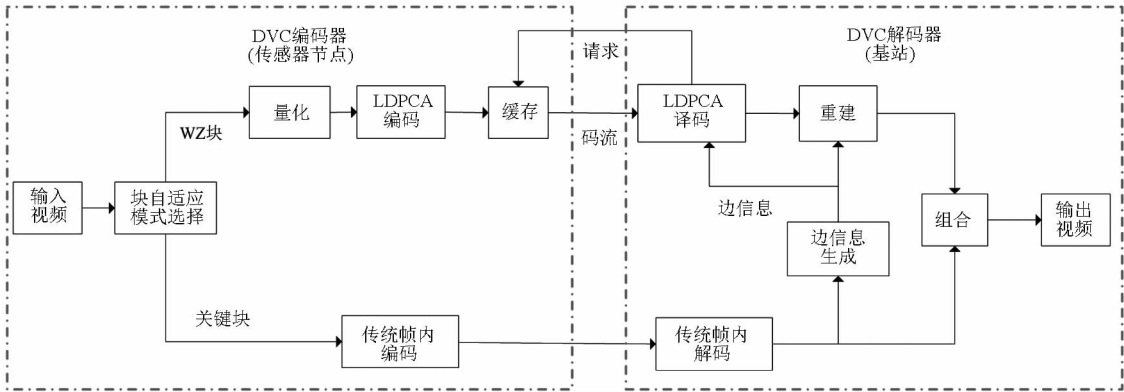


图 3 DVC 系统架构图
Fig. 3 System diagram of DVC

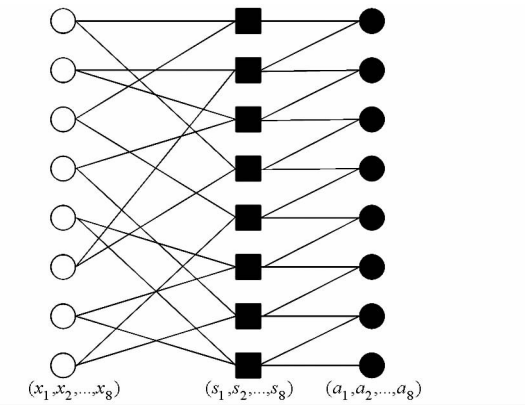


图 4 LDPC 编码器
Fig. 4 Encoder of LDPC

产生,即当前 WZ 块根据其前一帧对应块和后面最近的关键块通过内插产生。设 d_2 为 WZ 块与其后面最邻近关键块时间上的距离,则其边信息 Y 计算式为

$$Y_{i,j,t} = \frac{P_{i,j,t-1}(m,n) + d_2 K_{i,j,t+d_2}(m,n)}{1 + d_2} \quad (3)$$

式中 $P_{i,j,t-1}$ ——WZ 块前一帧对应位置已解码块
 $K_{i,j,t+d_2}$ ——后面对应位置最近的关键块

由于边信息需要后续帧中的关键块来生成,因此解码时需要将视频帧分组送入缓冲区,优先对每组中的关键块进行解码,进而再对 WZ 块进行解码。

2.4 基于联合比特平面 LDPC 算法译码

事实上,一个 LDPCA 码往往包含多个不同 LDPC 子码。解码过程总是从低码率的 LDPC 子码开始(可通过计算得出最小码率),若 LDPC 子码译码成功,则表示 LDPCA 码译码成功。否则,解码端通过反馈信道请求编码端发送更多的伴随式比特,即增加码率再进行译码,如此反复进行,直到给定某一码率的 LDPC 子码译码成功。以这种方式译码的系统可以实现完全独立编码,编码端无需获得边信息,因而不需要进行复杂的运动估计运算,也可避免在编码端进行码率估计。在解码端预测的边信息和

原始信源越接近,则译码所需的伴随式比特就越少,压缩比就越高。

考虑到解码端计算复杂度和纠错性能,一个好的 LDPC 解码方案是置信传播算法 (Belief propagation, BP),该算法主要是利用变量节点和校验节点之间的置信信息进行迭代计算,从而获得最大编码增益,具有很好的性能。但在视频编码中,每帧中一个像素用多个比特来表示。尽管每个比特可以使用单个二进制 LDPC 码分别进行压缩,但这样每个比特平面需要进行码率控制,且很难利用比特平面之间的相关性。因此,最好的办法就是采用一个二进制 LDPC 码对表示一个像素的所有比特进行压缩编码,最后采用联合比特平面置信传播算法在解码端进行译码,即联合比特平面 LDPC 译码。

2.4.1 联合比特平面 LDPC 译码初始化

联合比特平面 LDPC 译码算法最初是 VARODAYAN 等^[17]提出的,它用在像素域基于无监督运动向量学习的解码器运动估计中,用来开发一个像素的多个比特平面之间的相关性。本文使用联合比特平面 LDPC 译码算法的目的也是为了开发帧像素比特平面间的相关性,其解码端利用边信息从校验信息中恢复信源。如图 5 所示,联合比特平面 LDPC 译码算法包括 3 种节点: n 个符号节点(用椭圆表示), nq 个变量节点(用正圆表示; $q = 8$,每个像素用 8 个比特表示), m 个校验节点(用正方形表示)。

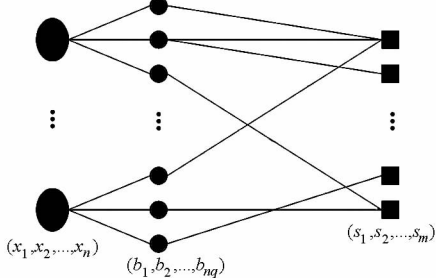


图 5 联合比特平面 LDPC 译码算法因子图
Fig. 5 Factor graph of joint-bitplane LDPC decoder

示)。在解码前译码端需通过 2 个步骤初始化译码算法:①符号节点初始化:需要根据相关参数和模型计算所有符号节点的本征概率分布函数。②变量节点初始化:主要是根据对应符号节点的本征概率分布函数计算每个变量节点的偏差概率,也称为置信消息。

2.4.2 联合比特平面 LDPC 译码算法

联合比特平面 LDPC 译码算法可从符号节点中恢复变量节点,进而恢复信源。算法从变量节点开始,也在变量节点结束,其包括 2 部分:变量节点和校验节点之间的标准 BP 算法;符号节点和变量节点之间的 BP 算法。

变量节点与校验节点间的 BP 算法,需要 3 步完成:①计算变量节点到校验节点的置信信息。②计算校验节点到变量节点的置信信息。③计算变量节点总的来自校验节点的置信信息。

符号节点与校验节点间的 BP 算法,也需 3 步完成:①计算符号节点外来的概率分布函数。②计算

符号节点总的概率分布函数。③计算变量节点总的置信信息。

收敛测试:获得变量节点总的置信信息后,解码端做出硬判决。

3 实验结果与分析

针对本文所提出的分布式视频编码架构,分别以 50 帧的苹果果园及葡萄果园监控视频为对象进行测试,图像大小为 352 像素 × 288 像素,帧速率为 25 帧/s。图 6a、6b 为苹果果园视频序列前一帧(第 68 帧)及当前帧(第 69 帧),图 6c 为 2 帧之间残差。首先将彩色图像分解为 Y 、 Cb 、 Cr 3 个分量, Y 表示亮度信号, Cb 和 Cr 表示色差信号,由于 YCbCr 颜色空间各分量之间相关性较小,可更好地去除冗余进行压缩编码。再对各分量采用从左至右、从上到下的分块法,将其分为 88 像素 × 72 像素的 16 个块(标记为 block0, block1, ..., block15),分块情况和图 6c 分块情况一致。



图 6 苹果果园视频序列帧
Fig. 6 Frames of apple orchard video

首先,分别对苹果果园视频 Y 、 Cb 、 Cr 3 个分量采用 LDPCA 码进行无损压缩编码测试,对应边信息由前一帧块和后续最近关键帧块产生,图 7 为第 69 帧 3 个分量每个小块无损压缩时的压缩比,由于图像能量集中在亮度分量上,因而亮度分量 Y 的压缩比整体较低,但对于该分量,block0 和 block3 的压缩比高出其他块很多,其次是 block2。这是由帧内容的运动情况决定的,从图 6c 两帧的残差可看出,block0 和 block3 中残差很细微,因而预测的边信息块质量较好,这样解码端需要很少的 LDPC 校验子就可恢复当前块,所以压缩比较高;其他块树叶均有微小运动,导致生成边信息的质量较差,因此需要更多的 LDPC 校验子才能恢复原始帧块从而压缩比较低。 Cb 分量虽然比 Y 分量压缩率整体高,但对于不同的分块,压缩比变化规律类似 Y 分量。 Cr 分量压缩比整体较高且变化不大,这是由该分量的自身的特点决定的。

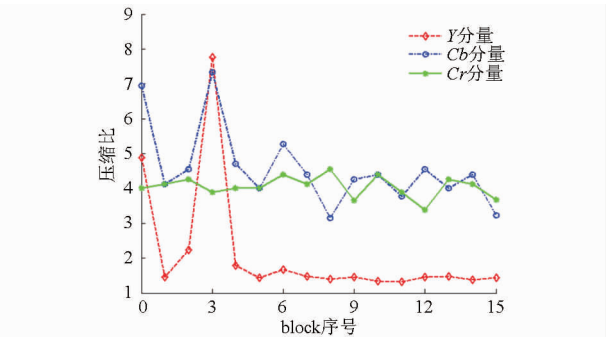


图 7 第 69 帧无损压缩比曲线
Fig. 7 Compression ratio of the 69th frame with lossless

其次,对苹果果园视频序列进行率失真性能测试。关键块采用传统帧内编码方式,WZ 块采用分布式视频编码方式,当 WZ 块压缩时 GOB 最大不超过 20,否则影响边信息的质量。等级量化系数 Q 分别选取为 3、4、5、6、7,对应不同的峰值信噪比(Peak signal to noise ratio, PSNR),对视频序列每帧亮度分量分别采用块自适应架构和传统架构进行测试(人

的肉眼对视频的亮度分量更敏感,在通过对色度分量进行子采样来减少色度分量后,肉眼察觉不到图像质量的变化,所以色度分量需要很低的码率即可传送),其率失真性能对比如图 8 所示,可以看出本文提出的块自适应 DVC 架构相比传统架构在相同的量化前提下节省 6% ~ 10% 的码率,图 9 为第 69 帧在不同量化系数下重构的效果。苹果果园视频测试的详细数据见表 1。此外,以相同的方法对葡萄果园视频进行率失真性能测试,葡萄果园视频帧及性能对比如图 10 所示,可看出块自适应架构相比传统架构在相同的量化前提下节省 9% ~ 13% 的码率,该样本测试的详细数据见表 2。从 2 个样本的测试数据可看出,基于块自适应架构的分布式视频编码提高了率失真性能,但编码端计算效率稍有降低。

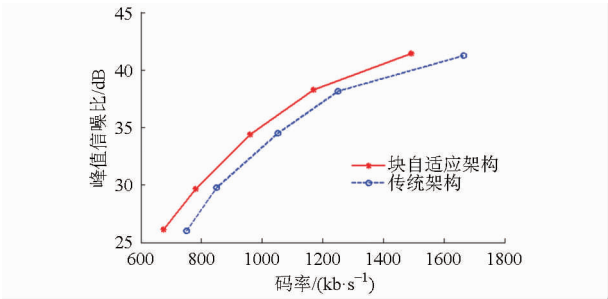


图 8 苹果果园视频帧率失真性能对比曲线
Fig. 8 Comparison of ratio distortion performance



图 9 第 69 帧重构效果
Fig. 9 Reconstruction results of the 69th frame

表 1 苹果果园视频序列测试结果

Tab. 1 Test results of apple orchard video

量化 系数 Q	PSNR/ dB	码率/($\text{kb}\cdot\text{s}^{-1}$)		编码时间/s	
		自适应	传统	自适应	传统
3	26. 12	675	750	10. 74	9. 86
4	29. 65	780	850	12. 41	11. 26
5	34. 50	960	1 053	13. 68	12. 73
6	38. 17	1 170	1 250	15. 48	14. 32
7	41. 23	1 492	1 665	16. 53	15. 41

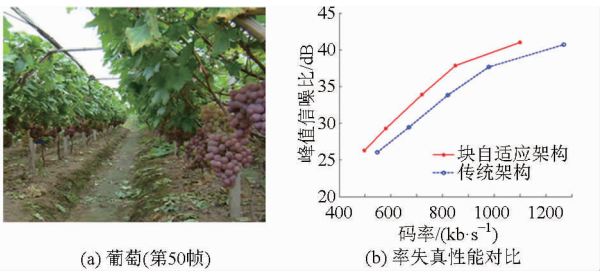


图 10 葡萄果园视频帧及其率失真性能曲线
Fig. 10 Grape frame and ratio distortion performance

表 2 葡萄果园视频序列测试结果

Tab. 2 Test results of grape orchard video

量化 系数 Q	PSNR/ dB	码率/($\text{kb}\cdot\text{s}^{-1}$)		编码时间/s	
		自适应	传统	自适应	传统
3	26. 08	498	548	10. 42	9. 64
4	29. 45	580	670	12. 27	11. 38
5	33. 81	720	820	13. 51	12. 54
6	37. 67	850	980	15. 58	14. 41
7	40. 73	1 100	1 270	16. 33	15. 21

4 结论

- (1) 针对果园视频帧时空相关性高的特点,提出一种基于块自适应的分布式视频编码架构,以提高其率失真性能。
- (2) 对基于块自适应的 DVC 系统,采用苹果及葡萄果园视频样本进行测试,结果表明块自适应架构可充分利用时间和空间相关性,在相同的量化前提下,相比传统架构苹果果园视频和葡萄果园视频样本分别节约了 6% ~ 10% 及 9% ~ 13% 的码率。
- (3) 采用内插法生成边信息,其生成边信息质量较差,影响了率失真性能。因此,在边信息生成方法上仍需进一步改进。

参 考 文 献

1 何勇,聂鹏程,刘飞. 农业物联网与传感仪器研究进展 [J]. 农业机械学报,2013,44(10):216-226.
HE Yong, NIE Pengcheng, LIU Fei. Advancement and trend of internet of things in agriculture and sensing instrument [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013,44(10):216-226. (in Chinese)

2 陈威,郭书普. 中国农业信息化技术发展现状及存在的问题 [J]. 农业工程学报,2013, 29(22):196-205.
CHEN Wei, GUO Shupu. Current situation and existing problems of agricultural informatization in China [J]. Transactions of the CSAE, 2013, 29(22):196-205. (in Chinese)

3 杨信廷,吴滔,孙传恒,等. 基于 WMSN 的作物环境与长势远程监测系统 [J]. 农业机械学报,2013,44(1):167-173.

YANG Xinting, WU Tao, SUN Chuanheng, et al. Remote monitoring system of crop environment and growing based on WMSN [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(1):167–173. (in Chinese)

4 马浚诚,李鑫星,温皓杰,等. 面向叶类蔬菜病害识别的温室监控视频采集系统 [J]. 农业机械学报,2015,45(3):282–287.

MA Juncheng, LI Xinxing, WEN Haojie, et al. Monitoring video capture system for identification of greenhouse vegetable diseases [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2015, 45(3):282–287. (in Chinese)

5 葛文杰, 赵春江. 农业物联网研究与应用现状及发展对策研究 [J]. 农业机械学报,2014,45(7):222–230.

GE Wenjie, ZHAO Chunjiang. State-of-the-art and developing strategies of agricultural internet of things [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2014, 45(7):222–230. (in Chinese)

6 ANTONIO J, GARCIA S, FELIPE G S, et al. Wireless sensor network deployment for integrating video-surveillance and data-monitoring in precision agriculture over distributed crops [J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2011, 75(2):288–303.

7 SI-YEONG Bae, SUNG-KEUN Lee, KYOUNG-WOOK Park. Design and implementation of the environment monitoring system for outdoor cultivation based on WMSN [C]//Proceedings of International Conference, GST and SIA 2012, 2012: 314–319.

8 陈富春,周鸣争. 分布式信源编码在视频编码中的应用研究[J]. 计算机技术与发展,2012,22(1):198–201.

CHEN Fuchun, ZHOU Mingzheng. Application and research of distributed video coding based on distributed source coding [J]. Computer Technology and Development, 2012, 22(1):198–201. (in Chinese)

9 DRAGOTTI P L, GASTPAR M. Distributed source coding: theory, algorithms and applications [M]. New York: Academic Press, 2009.

10 李敏,贺贵明. 分布式视频编码及关键技术分析 [J]. 小型微型计算机系统,2008,29(11):2131–2136.

LI Min, HE Guiming. Distributed video coding and key techniques analysis [J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2008, 29(11): 2131–2136. (in Chinese)

11 GUILLEMOT C, PEREIRA F, TORRES L, et al. Distributed monoview and multiview video coding [J]. IEEE Signal Processing Magazing, 2007,24(5): 67–76.

12 SLEPIAN D, WOLF J. Noiseless coding of correlated information sources [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1973, 19(4): 471–480.

13 WYNER A, ZIV J. The rate-distortion function for source coding with side information at the decoder [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1976, 22(1): 1–10.

14 GALLAGER R G. Low-density parity-check codes [J]. IRE Transactions Information Theory, 1963, 8(1): 21–28.

15 PARK J Y, CHUNG K S. Parallel LDPC decoding using CUDA and OpenMP [J]. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2011:172.

16 VARODAYAN D, AARON A, GIROD B. Rate-adaptive codes for distributed source coding [J]. Signal Processing, 2006, 86(11): 3123–3130.

17 VARODAYAN D, CHEN D, FLIERL M, et al. Wyner–Ziv coding of video with unsupervised motion vector learning [J]. Signal Processing: Image Communication, 2008, 23(5): 369–378.