

文章编号 1004-924X(2014)07-1938-08

面向无线链路压缩数据可靠传输的高效纠删编码

李其虎^{1,2*}, 文运丰¹, 马梦奇¹, 李光¹, 韩伟¹

(1. 中国电子科技集团公司第五十四研究所, 河北石家庄 050081;

2. 西安电子科技大学综合业务网理论及关键技术国家重点实验室, 陕西西安 710071)

摘要:机上载荷获取的视频图像数据经压缩后在误码率为 1×10^{-5} 的无线通信链路中传输时极易受到干扰, 从而使得地面终端无法正常解码显示。本文通过分析无人机测控下行链路数据传输误码模型, 设计了一种高效的纠删编码技术以提高压缩后码流的抗误码性能。该算法首先将编码后的数据按照一定数量的字节数进行分帧, 对分帧后的数据按列进行改进后的快速范德蒙纠删编码; 然后对编码后的数据再按帧格式进行快速循环冗余校验(CRC)编码; 最后将编码后的码流送入信道传输。仿真结果表明, 该纠删编码抗误码技术能够将误码率为 1×10^{-5} 信道降低到 1×10^{-8} 左右, 可以使得经过高压压缩比后的视频码流正确解码显示。此外设计时使用的纠删编解码技术运算量低、延迟小、非常易于硬件实现。提出的高效纠删编码技术已成功应用于多项无人机测控系统。

关键词: 视频压缩; 纠删编码; 循环冗余校验; 无线传输; 抗误码

中图分类号: TN919.8 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20142207.1938

High efficient erasure code for reliable transmission of compressed data in wireless link

LI Qi-hu^{1,2*}, WEN Yun-feng¹, MA Meng-qi¹, LI Guang¹, HAN Wei¹

(1. The 54th Research Institute of China Electronics Technology Group Corporation, Shijiazhuang 050081, China;

2. State Key Laboratory of Integrated Service Network, Xidian University, Xi'an 710071, China)

* Corresponding author, E-mail: gucas07@126.com

Abstract: The compressed data obtained from the load of an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) are highly suffer from interference when it transmits in the wireless communication link with a rate of bit error of 1×10^{-5} , so that the ground terminal can not decode and display the video data. This paper proposes an efficient erasure coding technology to improve the error resilience ability of the compressed stream based on analysis of the error mode of the down-link data transmission. Firstly, the encode data were framed according to the number of bytes and the improved fast Vandermonde erasure coding was used to the column data framed. Then the fast Cyclic Redundancy Check (CRC) was used for the encoded data according to the frame format. Finally, the stream was encoded and put into the transmission channel. Experiment results show that this erasure coding technology reduces the channel bit error rate from 1×10^{-5} to 1×10^{-8} , and the compressed stream can be decoded and displayed correctly. Moreover, the technology has the features of low computational complexity, small delay, and easy implementation by the hardware. The erasure coding has applied to measuring

收稿日期: 2013-09-16; 修订日期: 2013-10-30.

基金项目: 中国博士后科学基金资助项目 (No. 2013M541202); 河北省高层次人才资助项目 (No. B2013003019)

and control systems of UAVs successfully.

Key words: video compress; erasure code; CRC check; wireless transmission; error resilience

1 引言

随着现代传感器技术、电子与通信技术以及空间技术的迅速发展,高分辨率、高帧频的 CCD 载荷被广泛应用于航空飞行器上,从而使机上载荷获取的视频数据量呈指数级增长。为了实时地将机上载荷获取的视频数据传输至地面终端的控制系统,必须将载荷获取的视频数据进行高性能视频压缩后,再通过无线链路进行传输。由于无线信道环境复杂且不稳定,使得传输的数据易受复杂电磁信号的干扰而出现误码。若事先对无线信道中传输的数据进行高效压缩之后再行传输,如采用 H. 264 算法进行压缩,则压缩后的码流会对信道误码非常敏感,即使是单个比特发生错误,也可能使恢复后的视频质量急剧下降,甚至不能够正常解码(本文在第三节将有详细的实验分析)。因此,对采用无线链路传输的高压缩比的码流数据进行抗误码保护是必要的。文献[1]在编码图像采用渐进数据传输时,对每段分段数据采用独立的分装打包传输,该方式更加适合于 SVC 编码抗误码传输。文献[2]采用喷泉纠删编码方式进行编码,但该方式延时较大,且需要反馈信道参与编码通信。文献[3-4]考虑到视频编码中各个条带是独立编码的特性,通过在各个条带中加入特殊标志,在解码端检测该标志来更新解码参数,以恢复错误。文献[5]在光纤传输中引用了对编码数据行列分别校验的 FEC 纠错算法,使得编译码算法通过全硬件实现,较好地解决了图像传输的不可靠问题。此外,国内外诸多学者还针对数据可靠性传输提出并设计实现了多种性能优良的抗误码措施^[6-10]。

航空飞行器测控系统在对载荷获取的视频数据进行压缩传输时,对抗干扰、抗误码性能提出了更高的技术要求。首先,要确保传输数据能够在链路误码率为 1×10^{-5} 时传输可靠,即在该信道误码率下,接收到的数据通过终端进行译码后要能够满足测控系统的技术要求;其次,由于测控系统对延迟限制较高,整个编译码传输延迟要尽可能低。因此,抗误码算法的复杂度、运算量都不能

太高;最后,测控系统在进行图像数据传输时为单向链路传输,没有反馈信道参与,这就要求不能采用带有自动重复应答(Automatic Repeat Request, ARQ)机制的抗误码保护措施。

本文在参考国内外相关技术研究的基础上^[11-15],根据航空飞行器测控系统的特殊需求,结合飞行器下行链路数据传输误码特性,提出并实现了一种低复杂度、高效率的抗信道误码的保护措施。该算法较好地解决了高效视频压缩码流在误码率较高的无线通信链路传输后,在终端系统无法正确解码显示这一实际工程难题。另外,还解决了传统纠删编码算法中编译码复杂度,难以在嵌入式软件系统中实时实现的问题,且大幅度提高了纠错效率。整个算法复杂度低,资源消耗少,同时也非常易于全硬件电路实现。

2 算法的提出与实现

2.1 算法背景

为了设计出合理的针对飞行器测控系统下行链路数据传输的误码保护措施,本文根据 CCSDS 标准,建立了如图 1 所示的飞行器下行信道数据传输模型。该传输模型外面采用 RS 纠删编码,内码采用卷积码。其中:RS 参数为 (255, 239); 纠正错误比特数为 8; 交织采用 2×8 卷积; 交织编码参数为 (2, 1, 1); 调制方式为 BPSK。为了使经过 Viterbi 译码、解交织和解 RS 后的信道误码率为 1.0×10^{-5} , AWGN 信道的信噪比(SNR)设置为 1.14 dB, 模型末端对误码进行统计。

对上述模型进行误码仿真,其误码统计如图 2 所示。从图 2 可以看出,误码不再体现 AWGN 信道的随机特性,而是以数据包的形式出现,且误

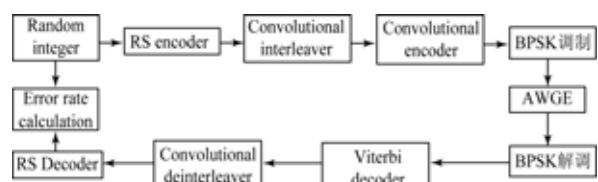


图 1 无人飞行器下行链路数据传输模型

Fig. 1 Model of down link data transmission for UAV

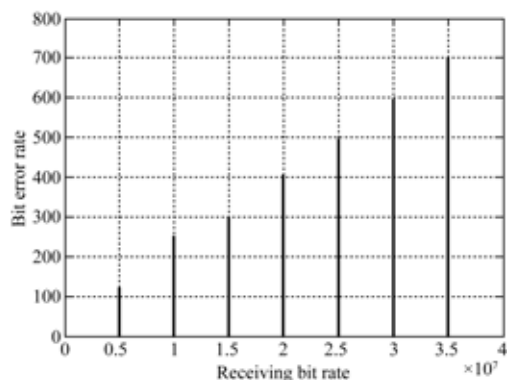


图 2 误码统计分布图

Fig. 2 Statistical distribution of bit error

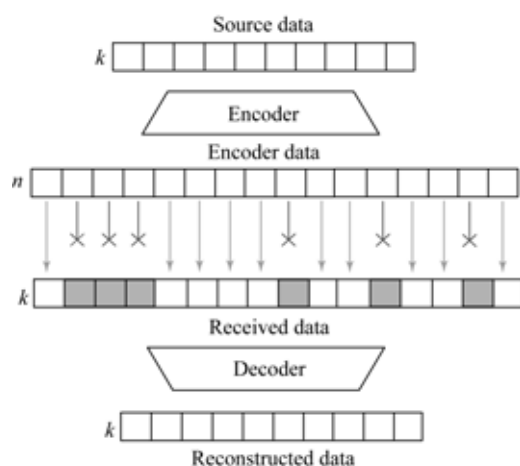


图 3 纠删编码原理图

Fig. 3 Schematic diagram of erasure coding

码出现的时间间隔较大。这种误码形式表明在信源端先采用纠删编码可以起到抗误码保护的作用。纠删编译码的原理如图 3 所示,其可以简单概括描述为:信源端将 k 个信源数据包按照一定的策略编码为 n 个数据包 ($n > k$),编码后产生的 n 个数据包被送入信道进行传输。只需在接收端收到一定数据的编码数据包 k' 就可以正确恢复原始数据。目前纠删编码主要分为 RS (Reed Solomon) 码, LDPC (Low-Density Parity-Check) 码和数字喷泉码 (Fountain Code)。虽然 LDPC 码和数字喷泉码的纠错性能好于 RS 码,在卫星通信和深空通信中应用也较为广泛,但是由于它

们受编码算法的复杂度和应用机制的限制,如喷泉码需要反馈信道,这两种编码方式并不适用于飞行器测控系统下行链路数据抗误码传输。而 RS 码也是一类有着很强纠错能力的编码方式,它不仅能纠正突发错误,还可以纠正随机错误。本文所设计的抗误码保护措施就是基于范德蒙纠删编码方式的。

2.2 算法数学原理

范德蒙纠删编码的纠删编码生成矩阵采用了范德蒙矩阵。范德蒙纠删编码的数学过程是将待编码的数据矩阵 $D_{k \times m}$ 与生成矩阵进行矩阵 $G_{n \times k}$ 相乘,从而得到传输矩阵 $E_{n \times m}$,再在接收端利用伴随矩阵 S 找出错误行,并利用校验矩阵 S 进行错误恢复。对于标准纠删编码,其编译码过程中最大的问题是算法复杂度太高,算法的复杂度主要集中在计算伴随式和寻找错误位置多项式的根。此外,编译码延迟太大,编码效率并不理想也是制约标准纠删编码在测控系统中难以工程化应用的障碍之一。

针对以上问题,本文算法以解决实际工程问题为目的,采用了结构简单、运算复杂度低、纠错能力强、易于实现的改进型范德蒙纠删码,避免了复杂伴随式和错误多项式计算。下面将详细描述本文的编译码算法。

为方便描述编码过程,设待编码的数据矩阵为 $D_{k \times m}$;其中: k 表示数据包个数, m 表示每个数据包含有的元素个数,则 $D_{k \times m}$ 的矩阵表现形式为:

$$D_{k \times m} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & \cdots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & \cdots & d_{2m} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & \cdots & d_{3m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{k1} & d_{k2} & d_{k3} & \cdots & d_{km} \end{bmatrix}$$

$D_{k \times m}$ 经过范德蒙矩阵纠删编码后的矩阵表示为 $E_{n \times m} = GD$ 。对 G 进行矩阵变换,使 G 矩阵上面变成一个 K 阶单位阵,则 $E_{n \times m}$ 变为:

$$\mathbf{E}_{n \times m} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \cdots & 1 \\ 1 & \alpha^1 & \alpha^2 & \cdots & \alpha^{k-1} \\ 1 & \alpha^2 & (\alpha^2)^2 & \cdots & (\alpha^2)^{k-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 1 & \alpha^{n-1} & (\alpha^{n-1})^2 & \cdots & (\alpha^{n-1})^{k-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & \cdots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & \cdots & d_{2m} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & \cdots & d_{3m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{k1} & d_{k2} & d_{k3} & \cdots & d_{km} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ a_{11} & a_{12} & a_{13} & \cdots & a_{1k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n-k,1} & a_{n-k,2} & a_{n-k,3} & \cdots & a_{n-k,k} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & \cdots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & \cdots & d_{2m} \\ d_{31} & d_{32} & d_{33} & \cdots & d_{3m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{k1} & d_{k2} & d_{k3} & \cdots & d_{km} \end{bmatrix}.$$

令 $c_{i,j} = a_{i,1} \times d_{1,j} + a_{i,2} \times d_{2,j} + a_{i,3} \times d_{3,j} + \cdots + a_{i,k} \times d_{k,j}$,

则 $\mathbf{E}_{n \times m}$ 可表示为:

$$\mathbf{E}_{n \times m} = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & \cdots & d_{1m} \\ d_{21} & d_{22} & d_{23} & \cdots & d_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{k1} & d_{k2} & d_{k3} & \cdots & d_{km} \\ c_{11} & c_{12} & c_{13} & \cdots & c_{1m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ c_{L1} & c_{L2} & c_{L3} & \cdots & c_{Lm} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{D} \\ \mathbf{C} \end{bmatrix}.$$

为避免在译码端计算复杂的伴随式和寻找错误位置多项式的根。在编码端对每一行数据进行 16 bitCRC 校验,并将校验值 CC 放在每一行的后面。如何快速计算出校验值 CC 和纠错码 C 是编码时最为关心的问题。在此处本算法采用查表法进行快速计算,即对于一个二进制数进行 16 bit CRC 校验时,先将其左移 16 位,再除以 CRC,从而生成多项式,所得到的余式即为所求的 CRC 校验码。16 bitCRC 生成多项式为 $G17 = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ 。一个二进制数按字节可表示为:

$$m(x) = m_n 2^{8n} + m_{n-1} 2^{8(n-1)} + m_{n-2} \times 2^{8(n-2)} + \cdots + m_1 2^8 + m_0. \quad (1)$$

对此二进制数进行 16 bitCRC 编码,先将(1)向左整体左移 16 bit,得到:

$$\frac{m(x)2^{16}}{G17} = \frac{m_n 2^{8n} 2^{16}}{G17} + \frac{m_{n-1} 2^{8(n-1)} 2^{16}}{G17} + \frac{m_{n-2} 2^{16} 2^{8(n-2)}}{G17} + \cdots + \frac{m_1 2^{16} 2^8}{G17} + \frac{m_0 2^{16}}{G17}. \quad (2)$$

(2)余式即为所求的 CRC 校验码。

$$\text{设 } \frac{m_n 2^{16}}{G17} = Q_n + \frac{r_n}{G17}, \quad (3)$$

其中: Q_n 为整数; r_n 为 16 bit 二进制余数。将式(3)带入式(2),得到:

$$\frac{m(x)2^{16}}{G17} = \left[Q_n + \frac{r_n}{G17} \right] 2^{8n} + \frac{m_{n-1} 2^{8(n-1)} 2^{16}}{G17} + \frac{m_{n-2} 2^{16} 2^{8(n-2)}}{G17} + \cdots + \frac{m_1 2^{16} 2^8}{G17} + \frac{m_0 2^{16}}{G17},$$

整理得:

$$\frac{m(x)2^{16}}{G17} = Q_n 2^{8n} + \left\{ \frac{r_n 2^8}{G17} + \frac{m_{n-1} 2^{16}}{G17} \right\} 2^{8(n-1)} + \cdots + \frac{m_1 2^{16} 2^8}{G17} + \frac{m_0 2^{16}}{G17}. \quad (4)$$

因为 $r_n 2^8$ 可以表示为:

$$\lfloor r_{nh} 2^8 + r_{nl} \rfloor 2^8 = r_{nh} 2^{16} + r_{nl} 2^8,$$

所以有:

$$\frac{m(x)2^{16}}{G17} = Q_n 2^{8n} + \left\{ \frac{r_{nh} 2^8}{G17} + \frac{\lfloor r_{nh} + m_{n-1} \rfloor 2^{16}}{G17} \right\} 2^{8(n-1)} + \cdots + \frac{m_1 2^{16} 2^8}{G17} + \frac{m_0 2^{16}}{G17}. \quad (5)$$

再设

$$\frac{r_{nl} 2^8}{G17} + \frac{\lfloor r_{nh} + m_{n-1} \rfloor 2^{16}}{G17} = Q_{n-1} + \frac{r_{n-1}}{G17}. \quad (6)$$

式中: Q_{n-1} 为整数; r_{n-1} 为 16 bit 二进制数。此外对于 $\frac{r_{nl} 2^8}{G17}$, 如果 $r_{nl} 2^8$ 的位宽小于 17 bit, 则 $\frac{r_{nl} 2^8}{G17}$ 即为 $r_{nl} 2^8$, 若不足位, 前端补零。

将式(6)代入式(5), 依此类推可得:

$$\frac{m(x)2^{16}}{G17} = Q_n 2^{8n} + Q_{n-1} 2^{8(n-1)} + Q_{n-2} 2^{8(n-2)} + \cdots + Q_0 + \frac{r_0}{G17}. \quad (7)$$

式中: r_0 即为 $m(x)$ 所求的 CRC 校验码。

在实际编码过程中,每包编码数据为 250 个字节,每 17 个编码数据包后加上 3 个编码校验包(编码校验包提供给译码端使用,属于冗余包)。由上述分析可知,在编译码过程中所有运算都属于 $GF(2^8)$ 上元素的运算。编码生成矩阵 $E_{20 \times 250}$ 中的前 17 行数据包为原始数据包,在编码时可直接复制到 $E_{20 \times 250}$ 矩阵中,编码的关键是计算 $c_{i,j}$ 元素。由于 $c_{i,j} = a_{i,1} \times d_{1,j} + a_{i,2} \times d_{2,j} + a_{i,3} \times d_{3,j} + \dots + a_{i,k} \times d_{i,k}$ 。为加快速度,提供了 2 个编码表 $gf_exp[]$ 和 $gf_log[]$ 。其中: $gf_exp[i]$ 中存储的为 α^i 向量对应的十进制数,如 α^9 在 $GF(2^8)$ 中的向量表现形式为 (01011100), 则 $gf_exp[9]$ 所对应的十进制数为 92, 即 $gf_exp[9] = 92 = 0x5c$ 。 $gf_log[]$ 中存储的元素为十进制数所对应的幂指数次数, 即 $gf_log[gf_exp[9]] = 9$ 。事先将上述 2 个编码表构建好,则在编译码时只需要查询这 2 个表即可,从而有效地减少了编译码的计算量。

为便于终端接收系统对接收到的数据进行正确译码,本文算法对编码端的数据进行了必要的帧格式定义,具体帧格式定义如表 1 所示:

表 1 数据包帧格式

Tab. 1 Frame format of data packages (Byte)

帧头	有效标志	帧计数	数据	CRC 校验
2	1	1	250	2

图 4 为进行编码保护后的数据格式。将经过编码分装后的数据再送入信道进行信道编码,从而可以大幅度提高被保护数据的抗误码性能,译码端同样根据图 4 数据格式展开,以快速译码。



图 4 编码后数据格式样图

Fig. 4 Format diagram of encoding data

译码前,先搜索接收到数据的帧头,一旦在固定位置处连续 3 次搜到帧头,则进入译码状态。译码时首先对被保护数据进行快速 CRC 校验,计算出的 CRC 校验值一旦和接收到的校验值不同,则表示这帧数据出现了误码。依此类推计算出 17 行被保护数据的 CRC 校验值,并对错误帧数据进行标记。由于编码是采用 (20, 17) 进行纠删的,故一列中的错误数据个数只能有一个,但一帧中允许有多个错误数据。设终端接收到的数据为 \tilde{D} , \tilde{D} 中 $\tilde{d}_{i,j}$ 对应的字节的数据出错,故经过 CRC 校验后,错误行都会被标记出来。译码端利用生成矩阵中的一行 $a_{i,j}$ 构建一个新的生成矩阵,通过计算出该新生成矩阵与接收到的数据 \tilde{D} , 得到一个新的纠删码矩阵 \tilde{E} , 如果 \tilde{E} 中的 $\tilde{c}_{i,j}$ 和 $c_{i,j}$ 的值不同,则表示这一列有错。

$$\tilde{E} = \begin{bmatrix} d_{1,1} & d_{1,2} & d_{1,3} & \dots & d_{1,m} \\ \tilde{d}_{2,1} & d_{2,2} & d_{2,3} & \dots & d_{2,m} \\ d_{3,1} & \tilde{d}_{3,2} & \tilde{d}_{3,3} & \dots & \tilde{d}_{3,m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{k,1} & d_{k,2} & d_{k,3} & \dots & d_{k,m} \\ \tilde{c}_{k+1,1} & \tilde{c}_{k+1,2} & \tilde{c}_{k+1,3} & \dots & \tilde{c}_{k+1,m} \end{bmatrix}$$

现对第二行进行纠错,先用矩阵 G_1 和 D_1 得到 E_1 ,

$$G_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ a_{1,1} & a_{1,2} & a_{1,3} & \dots & a_{1,k} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$D_1 = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & \dots & d_{1m} \\ c_{k,1} & c_{k,2} & c_{k,3} & \dots & c_{k,m} \\ d_{31} & \tilde{d}_{32} & \tilde{d}_{33} & \dots & \tilde{d}_{3m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{k1} & d_{k2} & d_{k3} & \dots & d_{km} \end{bmatrix}$$

$$E_1 = G_1^{-1} \times D_1 = \begin{bmatrix} d_{11} & d_{12} & d_{13} & \dots & d_{1m} \\ d'_{2,1} & d'_{2,2} & d'_{2,3} & \dots & d'_{2,m} \\ d_{31} & \tilde{d}_{32} & \tilde{d}_{33} & \dots & \tilde{d}_{3m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{k1} & d_{k2} & d_{k3} & \dots & d_{km} \end{bmatrix}$$

再利用生成矩阵的一行 $a_{i+1,j}$ 构建一个新的生成矩阵,计算出矩阵 \tilde{E}' :

$$\tilde{\mathbf{E}}' = \begin{bmatrix} d_{1,1} & d_{1,2} & d_{1,3} & \cdots & d_{1,m} \\ d'_{2,1} & d'_{2,2} & d'_{2,3} & \cdots & d'_{2,m} \\ d_{3,1} & \tilde{d}_{3,2} & \tilde{d}_{3,3} & \cdots & \tilde{d}_{3,m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ d_{k,1} & d_{k,2} & d_{k,3} & \cdots & d_{k,m} \\ \tilde{c}'_{k+1,1} & \tilde{c}'_{k+1,2} & \tilde{c}'_{k+1,3} & \cdots & \tilde{c}'_{k+1,m} \end{bmatrix}.$$

比较 $\tilde{c}'_{k+1,1}$ 与 $c_{k+2,1}$ 的值,如果它们相同,则表明该列所对应的值 $d'_{2,j}$ 即为纠正出的错误数据。这样就可以纠正出第二行中的所有错误值。按照同样的方式纠正出其他行的错误。

上述原理表明,要确保 3 组监督校验帧中至少有 2 组正确,否则无法正确译码。

3 算法验证与结果分析

为验证本文算法在误码信道中对压缩后数据码流的抗误码性能以及实时性,搭建了验证测试平台,如图 5 所示。图像视频经 FPGA 采集后,传输至 DSP 中,再采用 H. 264 算法进行视频压缩。然后,采用本文算法对压缩后码流进行保护,再将进行保护的码流经 DSP 与 FPGA 之间的通信接口送回 FPGA 中,在 FPGA 中模拟不同信道误码率对压缩后码流进行干扰,最后将经过有一定误码率信道的码流传送到 PC 机中进行译码、软解压和显示。



图 5 测试验证平台

Fig. 5 Test verification platform

为了说明高性能视频压缩后的码流在不同误码率链路传输时对误码的敏感度。本实验先令未经过抗误码保护的压缩后码流直接在不同误码率链路中传输,并通过验证平台直接对其解码显示。图 6 分别展示了链路误码率为 $1 \times 10^{-4} \sim 1 \times 10^{-6}$ 的传输解码显示视频图像。



(a)链路误码率为 1×10^{-4} 时的解码质量

(a)Decoding quality of link with bit error rate of 1×10^{-4}



(b)链路误码率 1×10^{-5} 下解码质量

(b)Decoding quality of link with bit error rate of 1×10^{-5}



(c)链路误码率 1×10^{-6} 下解码质量

(c)Decoding quality of link with bit error rate of 1×10^{-6}

图 6 不同误码率信道对解码的影响

Fig. 6 Effect of different bit error rates on decoding quality

由图 6 可知,不加信源抗误码保护措施,仅仅依赖信道纠错编码,视频解码质量难以满足实际工程需求。图 7 显示信道误码率为 1×10^{-5} 时,加入本文抗误码保护措施后的解码显示视频质量。从图 7 中可以看出,加入本文抗误码保护措施后,视频解码没有出现马赛克现象,视频质量完全满足测控系统需求。实验统计数据表明,加入

上述纠删编码方式后,可将信道误码率从 1×10^{-5} 纠正到 1×10^{-8} 左右,且整个编解码系统的延迟仅仅是缓存 20 个数据包的时间,满足测控系统的低延迟技术需求。



图 7 本文算法对视频质量的改善效果

Fig. 7 Improvement of video quality by proposed algorithm

参考文献:

- [1] CAO L. On the unequal error protection for progressive image transmission [J]. *IEEE Trans. Image Process.*, 2007,16(9):2384-2388.
- [2] AHMAD S, HAMZA OUI R, AL-AKAIDI M M. Unequal error protection using fountain codes with applications to video communication [J]. *IEEE Transactions on Multimedia*, 2011,13(1):92-101.
- [3] BACCAGLINI E, TILLO T, OLMO G. Slice sorting for unequal loss protection of video streams [J]. *Signal Processing Letters, IEEE*, 2008,15:581-584.
- [4] TILLO T, BACCAGLINI E, OLMO G. Unequal protection of video data according to slice relevance[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2011,20(6):1572-1582.
- [5] 李进,吕曾明,陶宏江,等. 适于高速 CCD 图像数据光纤传输的纠错技术[J]. *光学精密工程*, 2012,20(11):2548-2558.
- LI J, LU Z M, TAO H J, et al.. Error correction technology for CCD image using high speed optical fiber transmission[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2012,20(11):2548-2558. (in Chinese)
- [6] 宋彬,秦浩,郭春芳. 保证 H. 264 视频通信质量的实时传输协议载荷[J]. *西安交通大学学报*, 2007,41(12),1455-1459.
- SONG B, QIN H, GUO CH F. Real-time transport protocol payload for guaranteeing the QoS of H. 264 video delivery [J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2007,41(12),1455-1459. (in Chinese)
- [7] ARSLAN S, COSMAN P, MILSTEIN L. Concatenated block codes for unequal error protection of embedded bit streams [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2012,21(3):1111-1122.
- [8] BEIMEL A, DOLEV S, SINGER N. RT oblivious erasure correcting [J]. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2007,15(6):1321-1332.
- [9] 艾达,常义林,罗忠,等. 一种新的 IP 网络视频通信丢包错误纠正方案[J]. *电子与信息学报*, 2006,28(10),1879-1882.
- AI D, CHANG Y L, LUO ZH, et al.. A novel lost-packet recover scheme for video communications over IP networks[J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2006,28(10),1879-1882. (in Chinese)
- [10] 何能强,张学聃,杜军,等. 基于视频解码依赖性的低延时无线视频广播纠删编码[J]. *北京邮电大学学报*

4 结 论

针对视频压缩码流在测控链路中传输缺少抗误码保护算法时会导致终端系统无法正常译码显示这一实际工程问题,结合测控系统对抗误码技术的特殊要求,设计了一种基于快速范德蒙纠删码和快速 CRC 校验编码的高效纠删编码,并通过搭建系统验证平台进行验证。实验结果表明,本文所设计的抗误码保护措施有效地提高了压缩后码流的抗误码能力,且算法复杂度低、运算量少,延迟小,满足测控系统对信源抗误码保护技术的需求。本文方法为无线链路中压缩数据的可靠性传输提供了一种很好的解决方案。

- 报,2012,35(4),85-88.
- HE N Q,ZHANG X D,DU J, *et al.*. Video decoding dependency erasure code to reduce delay in wireless video broadcast[J]. *Journal of Beijing University of Posts and Telecommunications*, 2012, 35(4), 85-88. (in Chinese)
- [11] 林永照,吴成柯,刘薇. LT码和q-LDPC码级联方案在深空通信中的应用[J]. *电子与信息学报*, 2010, 32(8):1898-1903.
- LIN Y ZH,WU CH K,LIU W. Application of the concatenation of q-LDPC and luby transform codes in deep communications [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2010, 32(8): 1898-1903. (in Chinese)
- [12] 王微,刘文予,金欣,等. 无线视频通讯中的自适应差错非均匀保护方案[J]. *微电子学与计算机*, 2004, 21(7):53-57.
- WANG W, LIU W Y, JIN X, *et al.*. Research on channel-adaptive unequal error protection for video transmission over wireless channels [J]. *Microelectronics & Computer*, 2004, 21(7):53-57. (in Chinese)
- [13] STANKOVI V, HAMZAOUI R, SAUPE D. Fast algorithm for rate-based optimal error protection of embedded codes [J]. *IEEE Trans. Commun.*, 2003, 51(11):1788-1795.
- [14] THOMOS T, BOULGOURIS N V, STRINTZIS M G. Wireless image transmission using turbo codes and optimal unequal error protection[J]. *IEEE Trans. Image Process*, 2005, 14(11):1890-1901.
- [15] 梁海华,盘丽娜,赵秀兰,等. CRC查询表及其并行矩阵生成方法[J]. *计算机科学*, 2012, 39(6A): 154-158.
- LIANG H H, PAN L N, ZHAO X L, *et al.*. CRC lookup-table and its implementation by parallel matrix[J]. *Computer Science*, 2012, 39(6A): 154-158. (in Chinese)

作者简介:



李其虎(1983—),男,安徽和县人,博士,2012于中国科学院光电技术研究所获得工学博士学位,现为中国电子科技集团第五十四研究所与西安电子科技大学联合招收博士后,主要从事飞行器测控系统中图像视频压缩与可靠性传输技术的研究。E-mail:gucas07@126.com



文运丰(1966—),男,河北石家庄人,研究员,国务院特殊津贴专家,中国电子科技集团第五十四研究所副总工程师,主要从事无人飞行器测控与信息传输技术研究与设备研制等。

(版权所有 未经许可 不得转载)