

地空战术数据链话数同传技术研究

王 锋¹, 廉保旺¹, 丁在田²

(1. 西北工业大学 电子信息学院, 陕西 西安 710072; 2. 空军工程大学 电讯工程学院, 陕西 西安 710077)

摘 要:基于 CS - ACELP 语音压缩算法,提出了地空战术数据链话数同传技术方案,使有限的信道带宽内,数传同时可传输高效高质的多路语音。在实现方法中,采用了二次端点递归法进行自适应码本快速搜索,很大程度上提高了软件效率,硬件方面考虑了 DSP 的外设资源,对其接口进行了合理设计。

关键词:地空战术数据链;语音压缩;话数同传;端点递归法

中图分类号:V243 **文献标识码:**A **文章编号:**1009 - 3516(2004)03 - 0045 - 04

在新的地空战术数据链系统中,由其功能任务要求和业务环境需求可以看出,语音信号经数字化压缩后与其它信息化数据复用传输将是下一步解决语音信号传输的一条必然途径。由于不同的飞行任务对地空战术数据链的信息传输速率和更新速率有不同的需求,因此要求在实现语音信号数字化压缩时,一方面尽量提高其压缩效率,以节约信道资源,另一方面由于各项飞行任务的重要性,也要求尽量保证语音信号的高音质传输,以确保飞行人员对各类指挥控制和引导命令的正确接收。为了满足以上要求,在研究话数同传技术中,选择语音信号数字化压缩方案时,必须兼顾压缩效率和压缩质量 2 个因素。本文根据新的地空战术数据链的需求,提出一种基于高音质语音压缩的话数同传技术方案,并对基于 CS - ACELP 算法的语音压缩技术进行了改进。

1 地空战术数据链话数同传技术方案

新的地空战术数据链的发展趋势是对语音信号进行数字化压缩,与情报信息数据复用之后进行传输。对于语音的数字化压缩,目前有的数传电台中虽然采用了声码话技术,但是却一直未能很好解决码速率与语音质量的关系。针对新的地空战术数据链的发展需求,提出一种话数同传数据链传输方案,在地空战术数据链端机中采用话数同传单元,首先对语音信号进行高效和高音质压缩,之后以较低的数据率与情报信息数据进行动态时分复用传输,其工作模型如图 1 所示。为了兼顾语音压缩效率和语音压缩质量 2 个方面,需要对语音压缩方案进行选择。目前有的声码器对语音的压缩数据率可以达到 1.2 kbps 甚至更低,但是其语音质量在通信环境平静的情况下一般能够达到可懂质量,在电子对抗的环境中却难以保证语音的顺利传输,因此它们一般用在带宽资源较为紧张的信道(例如 HF 信道)或者不得已的情况下。有的编码方法,例如 LD - CELP、RPE - LTP 等,虽然能够实现较高的语音传输质量,其编码数据率却相对较高,会不同程度地降低信道利用率。由于未来的实际应用大多是

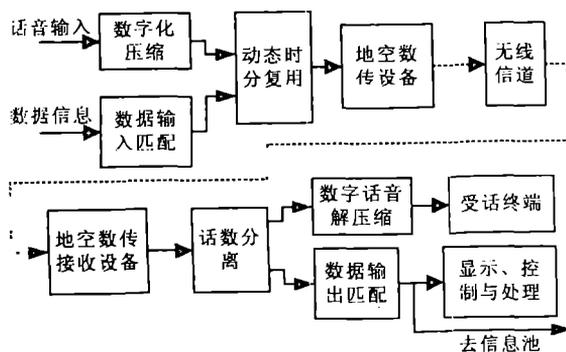


图 1 话数同传地空数据链路工作模型

收稿日期:2003 - 11 - 27

基金项目:军队专项科研基金资助项目

作者简介:王 锋(1970 -),男,山西临汾人,讲师,博士生,主要从事通信、导航与测控技术研究;
廉保旺(1962 -),男,河南武陟人,教授,主要从事数字信号处理及航空电子技术研究。

在复杂的电子对抗环境中,而且未来战术数据链的发展主要在 V/UHF 信道和 L_x 信道^[1],综合考虑之下,我们可以选择编码数据率为 8 kbps 的基于 CS - ACELP 算法的语音压缩编码方案。一方面 8 kbps 的数据率对 V/UHF 和 L_x 信道中其它数据信息的传输不会带来多大影响,另一方面 CS - ACELP 语音压缩算法能够使语音传输达到较高质量,通常情况下可以达到长话音质^[2],即 MOS 分 4.0 左右。CS - ACELP 算法基于码激励线性预测模型,是 ITU - T G. 729 建议中采用的算法^[3]。该算法在采样频率为 8 kHz 时,每 10 ms 语音作为一帧。对每帧语音信号经过分析,计算出 CELP 模型的参数,对这些参数进行编码和传输。接收端利用这些编码数据来恢复激励和滤波器系数,将激励信号通过短时合成滤波器得到重构语音。重构的语音信号产生后,经后置滤波处理进一步提高语音质量。

2 语音压缩算法的改进

CS - ACELP 算法的编码运算较为复杂,计算量大。为了减小算法时延,提高实时性,在算法实现时,对于耗用计算资源比较多的自适应码本搜索,可以采用二次端点递归法进行搜索运算。二次端点递归法是一种基于端点递归法的整数时延二次搜索的快速算法,而端点递归法常应用于长时预测和随机码书的搜索,它利用码矢间的相关性快速递推码矢的卷积^[4]。为了能够减少计算准则的次数,提高长时预测的计算效率,同时又能借助端点递归法来减少求卷积的运算量。由文献[4]可知 2 次端点递归法的思想,即首先以 2 为步长搜索长时参数,找到最佳值 L' 后再与 $L' - 1$ 和 $L' + 1$ 进行比较,使准则最大者就是长时参数 L 。二次端点递归法实质上是按端点递归法的基本方法,首先以较粗的精度进行搜索,接着在小范围内以高精度进一步搜索来找到长时参数。不但对判别准则的计算次数可以减少很多,而且能够有效减少码矢卷积的计算量。

通常情况下长时预测可以看作是对重叠码本的搜索。求卷积的过程中,将每次计算的子帧长度 N 点作为 1 个序列,每次计算本序列 N 点,就包括前一序列的 $N - 1$ 点,即每个序列与前一序列仅有 1 个值不同。若 $r(n)$ 为自适应码本, $c_L(n)$ 是延迟为 L 时自适应码本的输出, $c'_L(n)$ 是 $c_L(n)$ 经过合成滤波器 $H(Z)$ 滤波后的输出,同时为了避免当延迟 L 小于子帧长度时,码本集不能提供 N 点,只能提供 L 点的情况,需要对剩下的 $N - L$ 个点以 L 为周期进行扩展,这时

$$c_L(n) = r(n - [(n + L)/L]L) \quad (1)$$

式中 $[(n + L)/L]$ 为取整运算,则 $H(z)$ 对 $c_L(n)$ 的响应为

$$c'_L(n) = c_L(n) * h(n) = \sum_{i=0}^n c_L(i) h(n - i) \quad (2)$$

若定义:

$$Z_L(n) = \sum_{i=0}^{\min(n, L-1)} r(i - L) h(n - i) \quad (3)$$

则可以得到 $Z_L(n)$ 的递推公式

$$Z_L(n) = Z_{L-1}(n - 1) + r(0 - L) h(n) \quad \text{其中 } 1 \leq n \leq N - 1 \quad (4)$$

取 $L_{\min} = N/2$ 时,总的计算方法如下:

$$\begin{aligned} Z_L(0) &= r(N - L) h(0) \\ Z_L(n) &= Z_{L-1}(n - 1) + r(0 - L) \cdot h(n) \\ c'_L(n) &= \sum_{i=0}^{\lfloor n/L \rfloor} Z_L(n - iL) \end{aligned} \quad (5)$$

当以 2 为步长进行长时预测的闭环搜索时,相当于移 2 位重叠码本的搜索,即每个序列与前一序列有 2 个值不同。

若仍定义式(3),则有:

$$c'_{L'}(n) = \sum_{i=0}^{\lfloor n/L' \rfloor} Z_L(n - iL') \quad (6)$$

又因为

$$Z_{L'}(n) = Z_{L'-1}(n - 1) + r(0 - L') h(n) \quad (7)$$

$$Z_{L'-1}(n - 1) = Z_{L'-2}(n - 2) + r(0 - L' + 1) h(n - 1) \quad (8)$$

所以有递推公式:

$$\begin{cases} Z_{L'}(n) = Z_{L'-2}(n - 2) + r(0 - L' + 1) h(n - 1) h(n) \\ L' = L' + 2 \end{cases} \quad (9)$$

当最大化准则的 L' 找到后,接着比较延迟为 $L' - 1$ 和 $L' + 1$ 时的情况, $Z_{L'+1}(n)$ 和 $Z_{L'-1}(n)$ 仍可以从 $Z_{L'}(n)$ 递推得到:

$$\left. \begin{aligned} Z_{L'+1}(n) &= Z_L(n-1) - r(0-L'-1)h(n) \\ Z_{L-1}(n) &= Z_L(n+1) - r(0-L')h(n+1) \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

$L'-1, L', L'+1$ 中使准则最大化者即为长时预测参数 L 。

由以上讨论可以看出,采用二次端点递归法时,只需对 $N/2 + 2$ 个候选延迟计算 MSE 准则,因此长时预测的运算量大大减少。同时,也较好地保证了长时参数的精度。如果考虑乘加运算作为主要运算量,而且设 M 为时延搜索范围, N 为子帧长度,那么可以看出:利用基本方法时,其运算量约为 $NM^2 + 2MN$,利用常规端点递归法时约为 $3MN$,而利用二次端点递归法时约为 $2MN + 6N$ 。通过比较可以发现,利用二次端点递归法进行长时预测运算,可以很大程度上降低运算量。

3 话数同传单元中语音压缩的设计实现

话数同传单元语音编解码模块主要由主处理单元、数据采集单元、逻辑译码单元、数据存储传输单元和电源单元等组成。由 MIC 送来的模拟语音信号由电压变换电路将其电压范围转换为适合模数转换的电压输入范围。为了防止因为频谱混叠而在接收端恢复时引起语音失真,对 MIC 来的语音信号在采样前必须进行低通滤波,滤波时采用了四阶低通滤波器,由 2 个二阶 Butterworth 低通滤波器串联而成。模数转换电路选用 AD7863,外部可接 4 路模拟信号输入,内部 2 路同时转换,最大转换速率为 250 kHz。由于该芯片外部为 4 路,内部有 2 个数模转换器,所以外部模拟输入分成 VA1, VA2 和 VB1, VB2 两组,实行分时 A/D 转换,可以实现 4 路语音输入。由于压缩编码算法的运算量比较大,可根据编码算法分帧处理的特点,将 A/D 转换后的语音数据缓存在 FIFO 存储器中,当采样数据达到一帧时,向 DSP 发出中断信号,DSP 对采样数据进行集中读取。数据缓冲电路由两片 IDT7201 组成,为先进先出缓冲器。语音压缩编解码模块与主控制板之间采用字节宽度为 8 bit 的双端口 RAM (IDT7005S35) 交换数据,该芯片容量为 8 kByte,令牌数为 8,最快存取时间为 35 ns。编解码模块与主控制板的共享空间为 4 kByte,另外 4 kByte 的空间作为编解码模块的独占区。

语音压缩编解码软件部分主要由 boot-loader 程序、初始化配置程序、编/解码程序、数据通信程序和中断服务程序几部分组成。其中语音压缩编码实现的程序流程如图 2 所示。系统上电或复位后,DSP 引导程序把用户代码从 FLASH 中加载到程序空间的 SRAM 中,然后执行初始化程序。初始化完成以后,系统开放中断,启动 A/D、D/A 器件,主处理器 DSP 进入循环等待状态,等待语音数据帧中断信号的触发。

在对话数同传系统语音压缩的测试中,选取了不同的噪声背景和发音对象。通过随机抽取 12 个人对解码后的语音进行平均主观评分(MOS),并将评分结果与 ADPCM 编码作了比较。通过测试可以看出,采用 CS-ACELP 算法实现语音压缩方案,在接收端解码后能够得到与 ADPCM 编码相当的语音质量。由于 CS-ACELP 的数码率是 8 kbps,而 ADPCM 的数码率是 32 kbps,因此本方案应用在地空战术数据链中,与目前部分数传电台采用 ADPCM 的编码方案相比,既保证了语音信号传输的高质量,也大大提高了语音信号的压缩效率,从而可以节约信道资源,提高信道利用率。

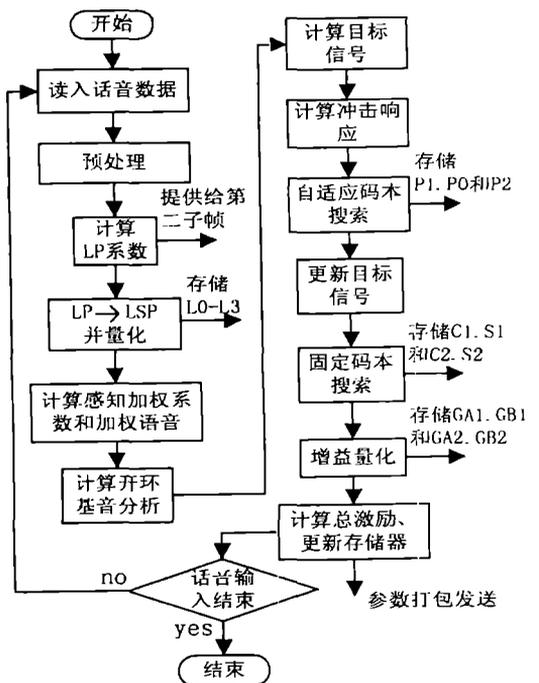


图 2 压缩编码实现程序流程

参考文献:

[1] 余晓刚,王 华,龚 诚. 美军主要战术数据链介绍[J],航空电子技术,2002,33(3):25-28.
 [2] 石长振. 飞参记录系统语音编解码器的设计与实现[D],西安:西北工业大学,2002.
 [3] ITU-T Recommendation G.729. Coding of Speech at 8 kbit/s Using Conjugate-Structure Algebraic-Code Excited Linear-

Prediction(CS - ACELP)[S].

- [4] 郑伟国,肖自美,杨群星. CELP 编码器中自适应码本快速搜索算法[J]. 电路与系统学报,1998,3(1):71-76.
 [5] 王 锋,廉保旺,丁在田. 基于 FDM - TDM 的 V/UHF 地空战术数据链研究[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2004,5(1):42-44.

(编辑:门向生)

A Study of Word Data Co - transmit Technology in the Air - ground Tactical Data Link System

WANG Feng¹, LIAN Bao - wang¹, DING Zai - tian²

(1. The Electronic Information Institute, Northwestern Polytechnic University, Xi'an, Shaanxi 710072, China; 2. The Telecommunication Engineering Institute, Air Force Engineering University, Xi'an, Shaanxi 710077, China)

Abstract: A technical scheme of word data co - transmit in the air - ground tactical data link system is presented. This scheme is based on CS - ACELP speech compress algorithm. In the limited channel bandwidth, multi - channel speech signals can be transmitted at the same time of data transmitting. In the scheme implementation, the two - order end recursion method is utilized to do the search computing for adaptive codebook, and the run efficiency of algorithm is greatly raised. In addition, the peripheral resources characteristics of DSP chip are taken into consideration, and an effective design is made for the hardware interface.

Key words: air - ground tactical data link; speech compress; word data co - transmit; end recursion method

.....
 (上接第 23 页)

参考文献:

- [1] 赵国庆. 雷达对抗原理[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1999.
 [2] 韩培尧. 雷达抗干扰技术[M]. 北京:国防工业出版社,1980.
 [3] 魏麦成. 雷达抗有源干扰性能的综合指标及仿真评估[J]. 空军工程大学学报(自然科学版),2003,4(1):30-32.

(编辑:田新华)

Passive DF and Crossing Location System in TVM Guidance Mode

ZHANG Ping - ding, WANG Rui, ZHENG Hua

(The Missile Institute, Air Force Engineering University, Sanyuan, Shaanxi 713800, China)

Abstract: Passive DF and crossing location method is an important approach of the interference suppression technology for radar networks. In this paper, the theoretical basis and the algorithm of this method are presented, and the basic composition of the system is formed. By adopting this algorithm in passive DF and crossing location system of TVM guidance mode, a strong anti - jam ability and high precision of tracking can be obtained with the requirement of less information from the secondary station.

Key words: crossing location; TVM guidance; guidance radar