



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 116527896 A  
(43) 申请公布日 2023. 08. 01

(21) 申请号 202310374023.8  
(22) 申请日 2023.04.10  
(71) 申请人 中国科学院国家空间科学中心  
地址 100190 北京市海淀区中关村南二条1号  
(72) 发明人 张倩倩 周莉 安军社  
(74) 专利代理机构 北京方安思达知识产权代理有限公司 11472  
专利代理师 杨小蓉 杨青

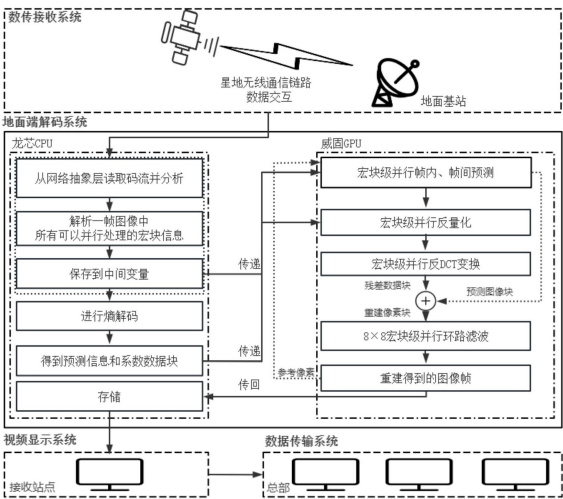
H04N 19/51 (2014.01)  
H04N 19/61 (2014.01)  
H04N 19/625 (2014.01)  
H04N 19/82 (2014.01)  
H04N 7/20 (2006.01)

(51) Int.Cl.  
H04N 19/117 (2014.01)  
H04N 19/124 (2014.01)  
H04N 19/176 (2014.01)  
H04N 19/436 (2014.01)  
H04N 19/44 (2014.01)

权利要求书2页 说明书6页 附图3页

(54) 发明名称  
一种星载异构H.264视频压缩解码系统及解码方法

(57) 摘要  
本发明属于星载异构视频压缩技术领域,具体涉及一种星载异构H.264视频压缩解码系统及解码方法,所述系统基于国产CPU和GPU实现,包括:地面端解码分系统和视频显示分系统;其中,所述地面端解码分系统,用于通过网络抽象层实时读取卫星下传的待解码视频图像码流,通过熵解码得到预测信息和系数数据块,根据预测信息依次进行宏块级并行帧内预测和帧间预测得到预测图像块,对系数数据块依次进行宏块级并行反量化、宏块级并行反DCT变换,得到残差数据块,对预测图像块和残差数据块经相加处理后,再通过宏块级并行环路滤波得到重建帧;所述视频显示分系统,用于对地面端解码分系统得到的重建帧实时显示。



1. 一种星载异构H.264视频压缩解码系统,其特征在于,所述系统基于国产CPU和GPU实现,包括:地面端解码分系统和视频显示分系统;其中,

所述地面端解码分系统,用于通过网络抽象层实时读取卫星下传的待解码视频图像码流,通过熵解码得到预测信息和系数数据块,根据预测信息依次进行宏块级并行帧内预测和帧间预测得到预测图像块,对系数数据块依次进行宏块级并行反量化、宏块级并行反DCT变换,得到残差数据块,对预测图像块和残差数据块经相加处理后,再通过宏块级并行环路滤波得到重建帧;

所述视频显示分系统,用于对地面端解码分系统得到的重建帧实时显示。

2. 根据权利要求1所述的星载异构H.264视频压缩解码系统,其特征在于,所述地面端解码分系统包括:部署在CPU上的码流分析模块和熵解码模块,以及部署在GPU上的宏块级并行帧内预测模块、宏块级并行帧间预测模块、宏块级并行反量化模块、宏块级并行反DCT变换模块和 $8\times 8$ 宏块级并行环路滤波模块;其中,

所述码流分析模块,用于从网络抽象层读取被压缩的码流,逐帧解析所有能够并行处理的宏块信息保存到中间变量,并发送至熵解码模块;

所述熵解码模块,用于对待解码码流进行熵解码得到量化系数数据块和预测信息,将量化系数数据块传递至宏块级并行反量化模块,将预测信息传递至宏块级并行帧内预测模块和宏块级并行帧间预测模块;

所述宏块级并行帧内预测模块,用于获得当前宏块的预测信息,通过表示预测方式相关的比特流利用空间相关性得到预测值;

所述宏块级并行帧间预测模块,用于利用视频图像帧的时间相关性根据预测信息得到预测图像块;

所述宏块级并行反量化模块,用于对量化系数数据块通过宏块级并行反量化处理得到反量化后的系数数据块;

所述宏块级并行反DCT变换模块;用于对反量化后的系数数据块通过宏块级反DCT处理,得到残差数据块;

所述 $8\times 8$ 宏块级并行环路滤波模块,用于对重建像素块进行环路滤波处理,消除方块效应,得到重建帧,所述重建像素块通过残差数据块和预测图像块相加得到。

3. 根据权利要求2所述的星载异构H.264视频压缩解码系统,其特征在于,所述宏块级并行帧间预测模块根据帧间运动补偿函数中内插的特点进行并行优化设计,根据参考帧中的整像素点得到二分之一像素点,再通过二分之一像素点和整像素点得到四分之一像素点,其中二分之一像素点和四分之一像素点的内插过程相互独立,并行进行。

4. 根据权利要求2所述的星载异构H.264视频压缩解码系统,其特征在于,所述宏块级并行反DCT变换模块和宏块级并行反量化模块的处理过程包括:将反DCT变换和反量化两个过程中的乘法合二为一并采用整数运算,利用GPU并行处理乘法运算,提高解码实时性。

5. 根据权利要求2所述的星载异构H.264视频压缩解码系统,其特征在于,所述 $8\times 8$ 宏块级并行环路滤波模块对 $8\times 8$ 块边界进行去方块滤波,计算边界强度,由GPU线程并行处理整幅图像不同块的垂直边界和水平边界以减少数据依赖性。

6. 根据权利要求1所述的星载异构H.264视频压缩解码系统,其特征在于,所述国产CPU为龙芯CPU,国产GPU为威固GPU。

7. 一种星载异构H.264视频压缩解码方法,根据权利要求2-5之一的所述系统实现,所述方法包括地面端解码流程和视频显示流程,其中,

所述地面端解码流程包括:

码流分析模块从网络抽象层读取被压缩的码流,逐帧解析所有能够并行处理的宏块信息保存到中间变量,并发送至熵解码模块;

熵解码模块对待解码码流进行熵解码,得到量化系数数据块和预测信息,将量化系数数据块传递至宏块级并行反量化模块,将预测信息传递至宏块级并行帧内预测模块和宏块级并行帧间预测模块;

宏块级并行帧内预测模块获得当前宏块的预测信息,通过表示预测方式相关的比特流利用空间相关性得到预测值;

宏块级并行帧间预测模块利用视频图像帧的时间相关性,根据预测信息得到预测图像块;

宏块级并行反量化模块对量化系数数据块通过宏块级并行反量化处理,得到反量化后的系数数据块;

宏块级并行反DCT变换模块对反量化后的系数数据块通过宏块级反DCT处理,得到残差数据块;

$8 \times 8$ 宏块级并行环路滤波模块对重建像素块进行环路滤波处理,消除方块效应,得到重建帧,所述重建像素块通过残差数据块和预测图像块相加得到;

所述视频显示流程包括:

视频显示分系统对重建帧实时显示。

## 一种星载异构H.264视频压缩解码系统及解码方法

### 技术领域

[0001] 本申请涉及星载异构视频压缩技术领域,特别是涉及一种星载异构H.264视频压缩解码系统及解码方法。

### 背景技术

[0002] 随着卫星技术变革性发展,我国卫星地面站面临着海量空间探测数据接收能力不足以及时效性不足的挑战。迫切通过新技术、新架构解决日益突出的星地不匹配之间的矛盾。视频压缩解码器是地面基站接收系统中的关键部件之一,将星载端通过无线通信链路传来的视频图像进行实时解压缩并播放。如图1所示是传统的解码框架,常规的解码器主要由熵解码模块、反量化模块、反DCT变换模块、帧间预测模块、帧内预测模块以及滤波模块组成。通过测试分辨率分别为480P、720P、1080P的解码耗时情况得出反DCT变换、反量化、帧内/帧间预测以及环路滤波占整个解码时间的60%左右。

[0003] 常规的解码器存在计算量大、耗时长的问题。为了提高解码效率,往往采用并行技术优化解码速度。目前并行技术在业内主要有两种发展思路,一种是基于FPGA流水线技术或者CPU多核并行技术实现加速;另一种是基于异构实现加速。常见的异构有基于FPGA+CPU、基于FPGA+ARM、基于FPGA+DSP、基于ARM+DSP、基于CPU+GPU以及基于FPGA+CPU+NPU+DSP/GPU的异构形式。第一种并行优化方式的优点是单个器件功耗较低,但缺点是系统的流程控制和数据运算都由FPGA或CPU实现处理能力相对有限,且FPGA硬件描述语言开发难度较大。第二种并行优化方式的优点是算力强大。其中,基于FPGA的异构需要考虑各种时序,基于DSP的异构相较于基于GPU的异构实现速度较慢,基于FPGA+CPU+NPU+DSP/GPU的异构实现成本较高。GPU虽然非常适合进行视频解码处理,但基于安全可靠的发展问题,急需一种基于国产CPU+GPU异构的H.264视频压缩解码系统及解码方法。

### 发明内容

[0004] 针对现有解码技术中现有解码技术中反DCT变换、反量化、帧内、帧间预测和环路滤波模块计算量大、耗时长的的问题,本发明的目的在于克服上述现有技术缺陷,提出了一种星载异构H.264视频压缩解码系统及解码方法。

[0005] 为了实现上述目的,本发明提出了一种星载异构H.264视频压缩解码系统,所述系统基于国产CPU和GPU实现,包括:地面端解码分系统和视频显示分系统;其中,

[0006] 所述地面端解码分系统,用于通过网络抽象层实时读取卫星下传的待解码视频图像码流,通过熵解码得到预测信息和系数数据块,根据预测信息依次进行宏块级并行帧内预测和帧间预测得到预测图像块,对系数数据块依次进行宏块级并行反量化、宏块级并行反DCT变换,得到残差数据块,对预测图像块和残差数据块经相加处理后,再通过宏块级并行环路滤波得到重建帧;

[0007] 所述视频显示分系统,用于对地面端解码分系统得到的重建帧实时显示。

[0008] 作为上述系统的一种改进,所述地面端解码分系统包括:部署在CPU上的码流分析

模块和熵解码模块,以及部署在GPU上的宏块级并行帧内预测模块、宏块级并行帧间预测模块、宏块级并行反量化模块、宏块级并行反DCT变换模块和 $8 \times 8$ 宏块级并行环路滤波模块;其中,

[0009] 所述码流分析模块,用于从网络抽象层读取被压缩的码流,逐帧解析所有能够并行处理的宏块信息保存到中间变量,并发送至熵解码模块;

[0010] 所述熵解码模块,用于对待解码码流进行熵解码得到量化系数数据块和预测信息,将量化系数数据块传递至宏块级并行反量化模块,将预测信息传递至宏块级并行帧内预测模块和宏块级并行帧间预测模块;

[0011] 所述宏块级并行帧内预测模块,用于获得当前宏块的预测信息,通过表示预测方式相关的比特流利用空间相关性得到预测值;

[0012] 所述宏块级并行帧间预测模块,用于利用视频图像帧的时间相关性根据预测信息得到预测图像块;

[0013] 所述宏块级并行反量化模块,用于对量化系数数据块通过宏块级并行反量化处理得到反量化后的系数数据块;

[0014] 所述宏块级并行反DCT变换模块;用于对反量化后的系数数据块通过宏块级反DCT处理,得到残差数据块;

[0015] 所述 $8 \times 8$ 宏块级并行环路滤波模块,用于对重建像素块进行环路滤波处理,消除方块效应,得到重建帧,所述重建像素块通过残差数据块和预测图像块相加得到。

[0016] 作为上述系统的一种改进,所述宏块级并行帧间预测模块根据帧间运动补偿函数中内插的特点进行并行优化设计,根据参考帧中的整像素点得到二分之一像素点,再通过二分之一像素点和整像素点得到四分之一像素点,其中二分之一像素点和四分之一像素点的内插过程相互独立,并行进行。

[0017] 作为上述系统的一种改进,所述宏块级并行反DCT变换模块和宏块级并行反量化模块的处理过程包括:将反DCT变换和反量化两个过程中的乘法合二为一并采用整数运算,利用GPU并行处理乘法运算,提高解码实时性。

[0018] 作为上述系统的一种改进,所述 $8 \times 8$ 宏块级并行环路滤波模块对 $8 \times 8$ 块边界进行去方块滤波,计算边界强度,由GPU线程并行处理整幅图像不同块的垂直边界和水平边界以减少数据依赖性。

[0019] 作为上述系统的一种改进,所述国产CPU为龙芯CPU,国产GPU为威固GPU。

[0020] 另一方面,本发明提出了一种星载异构H.264视频压缩解码方法,根据上述系统实现,所述方法包括地面端解码流程和视频显示流程,其中,

[0021] 所述地面端解码流程包括:

[0022] 码流分析模块从网络抽象层读取被压缩的码流,逐帧解析所有能够并行处理的宏块信息保存到中间变量,并发送至熵解码模块;

[0023] 熵解码模块对待解码码流进行熵解码,得到量化系数数据块和预测信息,将量化系数数据块传递至宏块级并行反量化模块,将预测信息传递至宏块级并行帧内预测模块和宏块级并行帧间预测模块;

[0024] 宏块级并行帧内预测模块获得当前宏块的预测信息,通过表示预测方式相关的比特流利用空间相关性得到预测值;

[0025] 宏块级并行帧间预测模块利用视频图像帧的时间相关性,根据预测信息得到预测图像块;

[0026] 宏块级并行反量化模块对量化系数数据块通过宏块级并行反量化处理,得到反量化后的系数数据块;

[0027] 宏块级并行反DCT变换模块对反量化后的系数数据块通过宏块级反DCT处理,得到残差数据块;

[0028]  $8 \times 8$ 宏块级并行环路滤波模块对重建像素块进行环路滤波处理,消除方块效应,得到重建帧,所述重建像素块通过残差数据块和预测图像块相加得到;

[0029] 所述视频显示流程包括:

[0030] 视频显示分系统对重建帧实时显示。

[0031] 与现有技术相比,本发明的优势在于:

[0032] 1、本发明所述宏块级并行帧间预测模块用于通过视频图像帧的时间相关性得到预测数据。根据帧间运动补偿函数中内插的特点进行并行优化设计,实现耗时低、步骤简单的帧间预测;

[0033] 2、本发明所述的宏块级并行反DCT变换和宏块级并行反量化模块,在H.264编码标准固有的将两个过程中量化乘法和变换归一化合二为一通过乘法和移位实现并采用整数运算的基础上,利用GPU并行处理大量乘法运算,进一步降低计算规模,提高编码压缩的实时性;

[0034] 3、本发明所述的 $8 \times 8$ 宏块级并行环路滤波模块是对 $8 \times 8$ 块边界进行去方块滤波而非 $4 \times 4$ 块边界,基于更大的块边界滤波可以明显减少需要处理的边界数量,数据依赖性较小,更适合并行处理。

## 附图说明

[0035] 图1是传统的视频压缩解码系统流程框图;

[0036] 图2是本发明的星载异构H.264视频压缩解码系统设计框图;

[0037] 图3是本发明的宏块级并行帧间预测内插流程图;

[0038] 图4是本发明的宏块级并行反DCT和反量化流程图;

[0039] 图5是本发明的 $8 \times 8$ 宏块级并行环路流程图;

[0040] 图6是本发明星载异构H.264视频压缩解码方法示意图。

## 具体实施方式

[0041] 本发明提出了一种星载异构H.264视频压缩解码系统,所述系统包括地面端解码分系统和视频显示分系统;其中,

[0042] 所述地面端解码分系统,用于实时解码卫星通过星地无线通信链路传来的视频图像。

[0043] 所述视频显示分系统,用于实时播放解码后的视频图像,解码后的视频可供总部使用。

[0044] 一种星载异构H.264视频压缩解码方法,包括:首先,龙芯CPU从网络抽象层单元读取码流并解析一帧图像中所有可以并行处理的宏块信息保存到中间变量,然后将得到的数

据信息传送给威固GPU。威固GPU通过并行帧间预测子模块得到预测数据,通过并行反量化/反DCT变换子模块得到残差数据,将预测数据和残差数据相加可以得到重建图像帧,通过并行环路滤波去除重建图像中的块效应,提高图像质量,最后将重建得到的图像帧传回到龙芯CPU进行存储以便后续帧使用。实现地面实时解码的功能。

[0045] 下面结合附图和实施例对本发明的技术方案进行详细的说明。

[0046] 实施例1

[0047] 如图2所示,本发明的实施例1提出了一种星载异构H.264视频压缩解码系统,包括地面端解码分系统和视频显示分系统。

[0048] 地面端解码分系统,用于通过网络抽象层实时读取卫星下传的待解码视频图像码流,通过熵解码得到预测信息和系数数据块,根据预测信息依次进行宏块级并行帧内预测和帧间预测得到预测图像块,对系数数据块依次进行宏块级并行反量化、宏块级并行反DCT变换,得到残差数据块,对预测图像块和残差数据块经相加处理后,再通过宏块级并行环路滤波得到重建帧;

[0049] 视频显示分系统,用于对地面端解码分系统得到的重建帧实时显示。

[0050] 龙芯CPU具有较强性能的控制单元、缓存器以及少量的算术逻辑单元,主要负责数据依赖关系强且分支操作频繁适合串行处理的模块以及存储调度部分。威固GPU具有大量的算术逻辑运算单元,主要负责处理运算简单且大量重复的密集型运算以及数据间无依赖关系且访存小的模块。国产龙芯CPU和国产威固GPU协同合作共同实现实时解码功能。

[0051] 地面端解码分系统包括:部署在CPU上的码流分析模块和熵解码模块,以及部署在GPU上的宏块级并行帧内预测模块、宏块级并行帧间预测模块、宏块级并行反量化模块、宏块级并行反DCT变换模块和 $8 \times 8$ 宏块级并行环路滤波模块;其中,

[0052] 码流分析模块,用于从网络抽象层读取被压缩的码流,逐帧解析所有能够并行处理的宏块信息保存到中间变量,并发送至熵解码模块;

[0053] 熵解码模块,用于对待解码码流进行熵解码得到量化系数数据块和预测信息,将量化系数数据块传递至宏块级并行反量化模块,将预测信息传递至宏块级并行帧内预测模块和宏块级并行帧间预测模块;

[0054] 宏块级并行帧内预测模块,用于获得当前宏块的预测信息,通过表示预测方式相关的比特流利用空间相关性得到预测值;

[0055] 宏块级并行帧间预测模块,用于利用视频图像帧的时间相关性根据预测信息得到预测图像块;

[0056] 宏块级并行反量化模块,用于对量化系数数据块通过宏块级并行反量化处理得到反量化后的系数数据块;

[0057] 宏块级并行反DCT变换模块;用于对反量化后的系数数据块通过宏块级反DCT处理,得到残差数据块;

[0058]  $8 \times 8$ 宏块级并行环路滤波模块,用于对重建像素块进行环路滤波处理,消除方块效应,得到重建帧,所述重建像素块通过残差数据块和预测图像块相加得到。

[0059] 图3是本发明的宏块级并行帧间预测内插流程图,宏块级并行帧间预测根据帧间运动补偿函数中内插的特点进行并行优化设计,实现耗时低、步骤简单的帧间预测。帧间运动补偿中宏块类型包括 $16 \times 16$ 、 $16 \times 8$ 、 $8 \times 16$ 以及 $8 \times 8$ 四种,最终都以正方形的宏块为单位

进行运动补偿。运动补偿函数根据宏块的大小进行内插之后再行补偿,由于视频中物体运动不可能完全是刚好落在整数像素点上,所以需要1/4像素亮度插值的运动估计,内插原理是根据参考帧当中的整像素点得到二分之一像素点,再通过二分之一像素点和整像素点得到四分之一像素点,内插过程是相互独立的,可以通过并行实现。

[0060] 图4是本发明的宏块级并行反DCT和反量化流程图,反量化和反变换在原理上是两个相对独立的过程,为了进一步提高运算效率、降低计算规模。本发明不仅将把反量化和反变换的乘法运算一起计算,同时通过并行方式实现,大大减少该过程的运算量。

[0061] 图5是本发明的 $8 \times 8$ 宏块级并行环路流程图,传统的H.264环路滤波以 $4 \times 4$ 为单位进行,其优点是能一定程度减小块效应,但是导致GPU为BS开辟的GMEM空间较大。对于 $4 \times 4$ 为单位的环路滤波,按照宏块顺序先后对宏块内部每一个 $4 \times 4$ 小块的竖直和水平边界进行滤波,几乎图像中每个点都要被调入到内存中用来被修正或者用来判断边界点是否要被修正。其缺点在于耗时长、复杂度高以及相邻的边界之间存在数据依赖关系,不利于数据的并行化处理。为了增强视频解码算法的并行性,以 $8 \times 8$ 块的边界进行处理,滤波边界的判决只和边界相邻的两个 $4 \times 4$ 块的像素值有关和其他边界没有依赖关系,整幅图像不同块的水平或垂直边界滤波可实现并行处理,这种算法上的改进大大提高了环路滤波的并行性。

[0062] 图6是本发明的一种基于国产CPU+GPU异构的H.264视频压缩解码方法,首先,龙芯CPU从网络抽象层单元读取码流并解析一帧图像中所有可以并行处理的宏块信息保存到中间变量,然后将得到的数据信息传送给威固GPU。威固GPU通过并行帧间预测子模块得到预测数据,通过并行反量化/反DCT变换子模块得到残差数据,将预测数据和残差数据相加可以得到重建图像帧,通过并行环路滤波去除重建图像中的块效应,提高图像质量,最后将重建得到的图像帧传回到龙芯CPU进行存储以便后续帧使用。实现地面实时解码的功能

[0063] 实施例2

[0064] 本发明的实施例2提出了一种星载异构H.264视频压缩解码方法,根据实施例1的系统实现,包括地面端解码流程和视频显示流程,其中,

[0065] 地面端解码流程包括:

[0066] 码流分析模块从网络抽象层读取被压缩的码流,逐帧解析所有能够并行处理的宏块信息保存到中间变量,并发送至熵解码模块;

[0067] 熵解码模块对待解码码流进行熵解码,得到量化系数数据块和预测信息,将量化系数数据块传递至宏块级并行反量化模块,将预测信息传递至宏块级并行帧内预测模块和宏块级并行帧间预测模块;

[0068] 宏块级并行帧内预测模块获得当前宏块的预测信息,通过表示预测方式相关的比特流利用空间相关性得到预测值;

[0069] 宏块级并行帧间预测模块利用视频图像帧的时间相关性,根据预测信息得到预测图像块;

[0070] 宏块级并行反量化模块对量化系数数据块通过宏块级并行反量化处理,得到反量化后的系数数据块;

[0071] 宏块级并行反DCT变换模块对反量化后的系数数据块通过宏块级反DCT处理,得到残差数据块;

[0072]  $8 \times 8$ 宏块级并行环路滤波模块对重建像素块进行环路滤波处理,消除方块效应,



得到重建帧,所述重建像素块通过残差数据块和预测图像块相加得到;

[0073] 视频显示流程包括:

[0074] 视频显示分系统对重建帧实时显示。

[0075] 最后所应说明的是,以上实施例仅用以说明本发明的技术方案而非限制。尽管参照实施例对本发明进行了详细说明,本领域的普通技术人员应当理解,对本发明的技术方案进行修改或者等同替换,都不脱离本发明技术方案的精神和范围,其均应涵盖在本发明的权利要求范围当中。

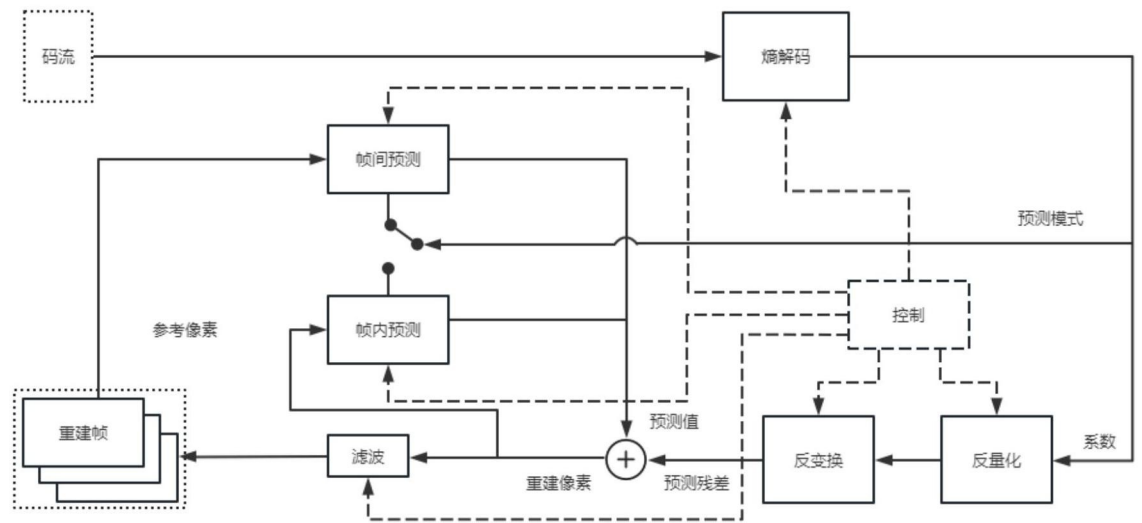


图1

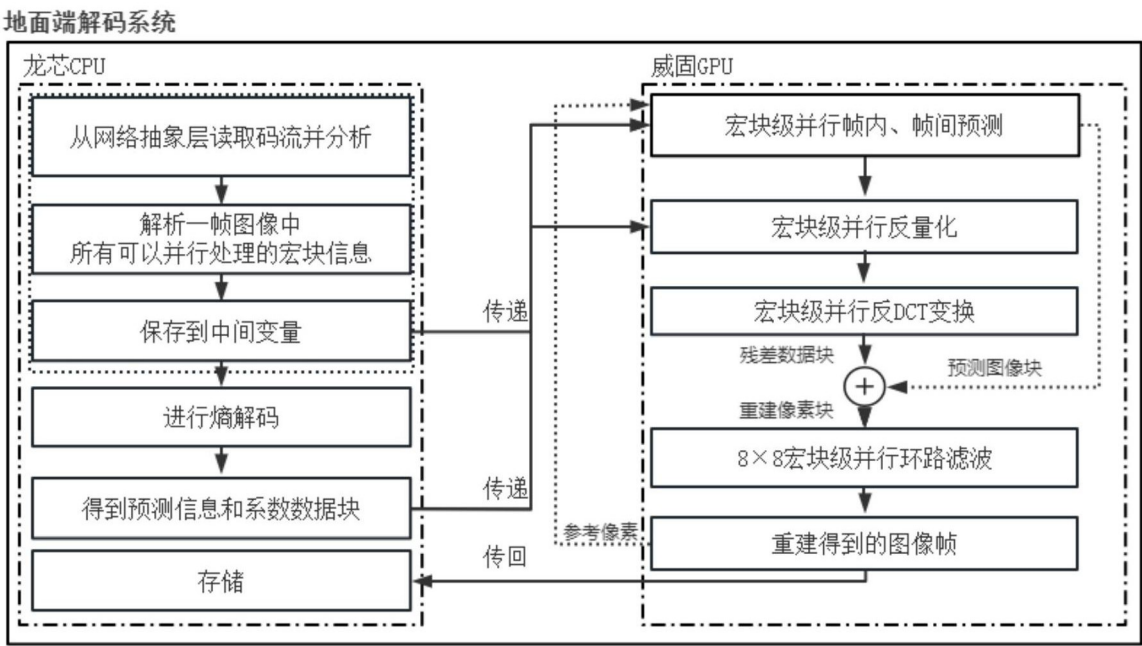


图2

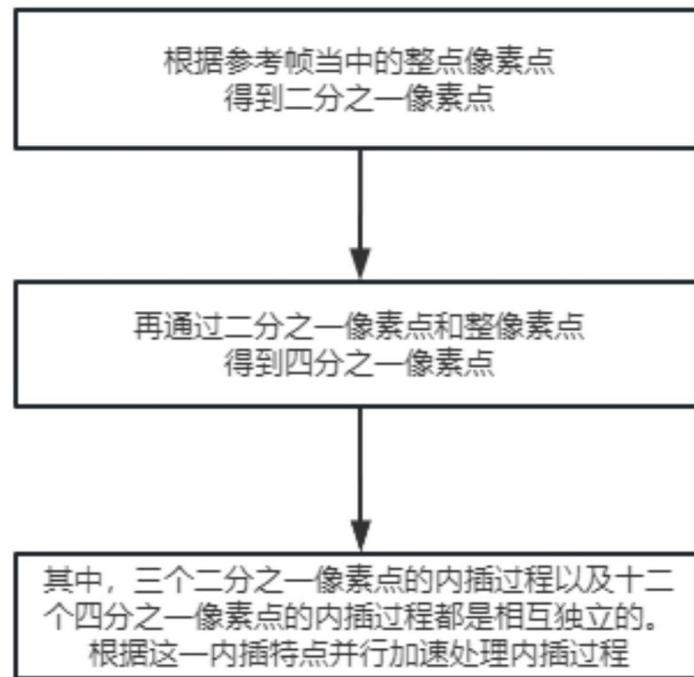


图3



图4



图5

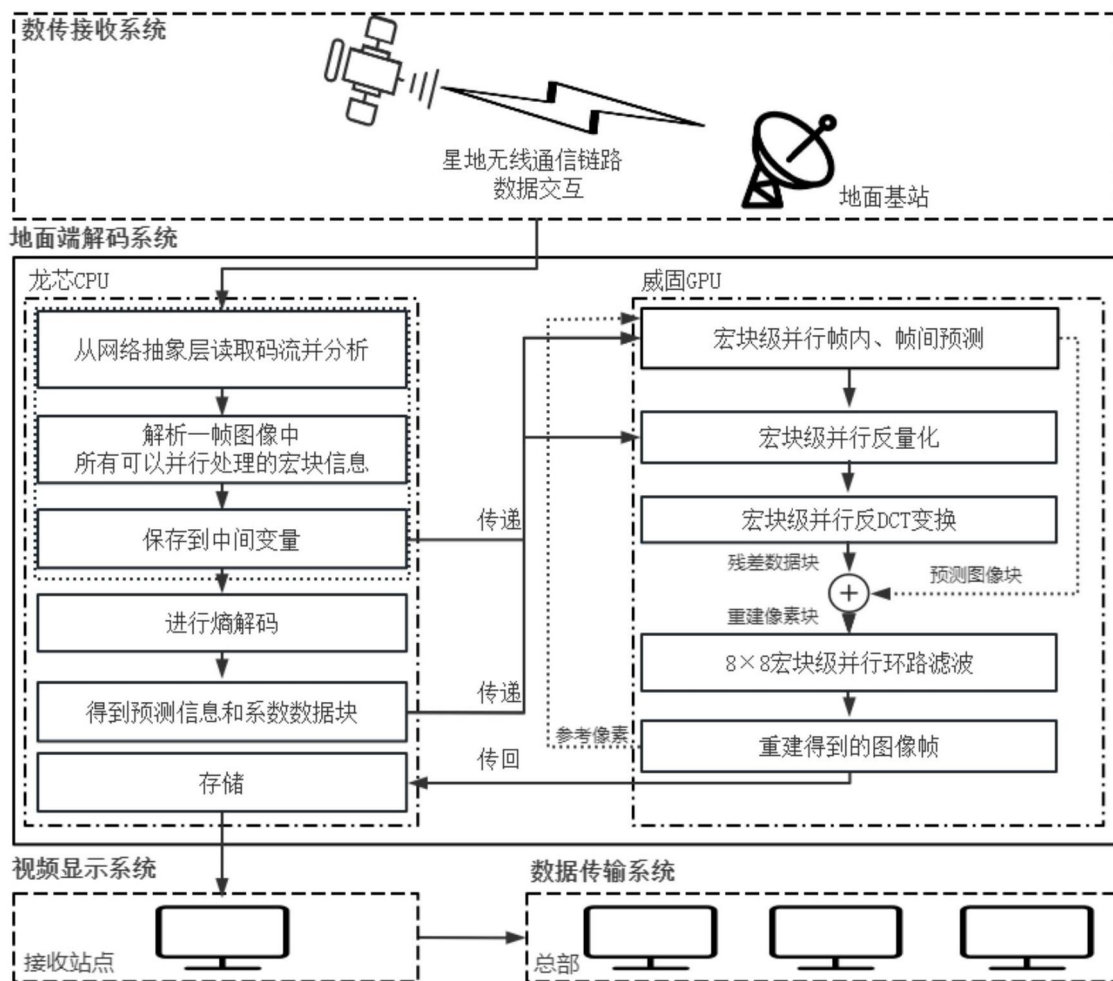


图6