剖析ffmpeg视频解码播放：时间戳的处理

原创 泡沫o0 于 2023-05-31 17:46:38 发布 阅读量2.3k 收藏 6 点赞数 1 版权

分类专栏： # C/C++ 多媒体编程实践 文章标签： ffmpeg 音视频 开发语言 c++ c语言

C/C++ 多媒体编程实践 专栏收录该内容 23 订阅 53 篇文章 订阅专栏

一、视频播放基础理论

1.1 视频编码和解码基础

视频编码和解码是视频播放的基础，理解它们的工作原理对于深入理解视频播放至关重要。在这一部分，我们将详细介绍视频编码和解码的基础知识。

视频编码（Video Encoding）是将原始视频数据转换为特定格式的过程，以便于存储或传输。视频编码的主要目标是压缩原始视频数据，以减少所需的存储空间和带宽。视频编码通常涉及到以下几个步骤：

帧间预测（Inter-frame Prediction）：这个步骤是通过比较相邻的帧来预测当前帧的内容。例如，如果两个相邻的帧的内容非常相似，那么我们可以只存储第一个帧的内容和两个帧的差异，而不是存储两个帧的完整内容。

变换编码（Transform Coding）：这个步骤是将像素数据转换为频域数据，以便于压缩。常用的变换编码方法包括离散余弦变换（DCT）和快速傅里叶变换（FFT）。

量化（Quantization）：这个步骤是将连续的数据转换为离散的数据，以便于压缩。量化的过程通常会损失一些信息，但是如果量化的级别选择得当，这种损失可以被人眼忽略。

熵编码（Entropy Coding）：这个步骤是将数据编码为比特流，以便于存储或传输。常用的熵编码方法包括哈夫曼编码（Huffman Coding）和算术编码（Arithmetic Coding）。

视频解码（Video Decoding）则是视频编码的逆过程，它将编码后的视频数据转换回原始的视频数据。视频解码的过程通常涉及到以下几个步骤：

熵解码（Entropy Decoding）：这个步骤是将比特流解码为数据。这个过程是熵编码的逆过程。

反量化（Dequantization）：这个步骤是将离散的数据转换回连续的数据。这个过程是量化的逆过程。

反变换编码（Inverse Transform Coding）：这个步骤是将频域数据转换回像素数据。这个过程是变换编码的逆过程。

4.

帧间预测解码（Inter-frame Prediction Decoding）：这个步骤是通过预测的差异和参考帧来恢复当前帧的内容。这个过程是帧间预测的逆过程。

以上就是视频编码和解码的基础知识。理解这些知识点可以帮助我们更好地理解视频播放的过程。在接下来的部分，我们将深入探讨时间戳的作用以及如何处理时间戳。

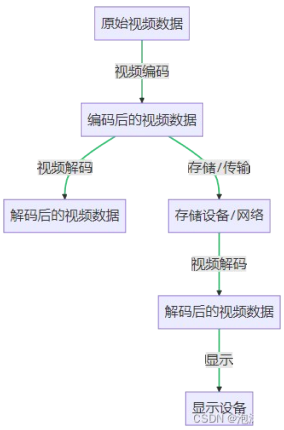
1.2 时间戳的作用与理解（PTS和DTS）

在视频播放中，时间戳是非常重要的一部分，它决定了视频帧的解码和显示顺序。在视频编码中，我们主要关注两种时间戳：解码时间戳（Decoding Time Stamp，DTS）和显示时间戳（Presentation Time Stamp，PTS）。

解码时间戳（DTS）是指视频帧应该何时被解码。在一些复杂的视频编码格式中，例如使用了B帧（双向预测帧）的编码格式，帧的解码顺序可能不同于它们的显示顺序。在这种情况下，DTS就变得非常重要，因为它可以帮助解码器确定何时解码每一帧。

显示时间戳（PTS）则是指视频帧应该何时被显示。在播放视频时，我们需要根据PTS来控制每一帧的显示时间，以保证视频的播放速度与视频的帧率相匹配，也可以保证音频和视频的同步。

下面的图示展示了视频数据从原始数据到显示设备的整个过程，其中包括了视频编码、存储/传输、视频解码和显示等步骤。在这个过程中，DTS和PTS起到了关键的作用。



1.3 根据PTS控制视频帧的显示

在播放视频时，我们需要根据视频帧的显示时间戳（PTS）来控制每一帧的显示时间。这通常涉及到在每一帧之间添加适当的延迟，以保证每一帧都在正确的时间被显示。

具体来说，我们可以通过比较当前时间和下一帧的PTS来计算出需要的延迟。例如，假设当前时间是T1，下一帧的PTS是T2，那么我们需要等待(T2-T1)的时间后再显示下一帧。如果T2小于或等于T1，说明下一帧应该立即被显示。

这种方法可以保证视频的播放速度与视频的帧率相匹配，也可以保证音频和视频的同步（如果有音频的话）。但是，这需要播放器有能力精确地控制延迟，这在某些情况下可能是个挑战（例如，如果播放器的计时精度不够，或者系统的调度延迟太大）。

下面的图示展示了如何根据PTS控制视频帧的显示的过程：

二、视频播放中的时间戳处理

2.1 如何获取和解析PTS和DTS

在视频播放中，时间戳是非常关键的一部分，它决定了视频帧的解码和显示顺序。在这个小节中，我们将详细介绍如何获取和解析显示时间戳（PTS，Presentation Time Stamp）和解码时间戳（DTS，Decoding Time Stamp）。

首先，我们需要明确一点，PTS和DTS都是在解码前就已经知道的，它们都是存储在AVPacket结构中的。当你从媒体文件中读取一个AVPacket时，你就可以获取到这个AVPacket的DTS和PTS。

在FFmpeg这样的媒体库中，你可以通过以下的方式获取AVPacket的DTS和PTS：

```
AVPacket* packet = av_packet_alloc();
// 假设你已经打开了媒体文件，并创建了AVFormatContext* formatContext
int ret = av_read_frame(formatContext, packet);
if (ret == 0) {
    int64_t dts = packet->dts;
    int64_t pts = packet->pts;
    // 你现在可以使用dts和pts了
}
```

在这个例子中，我们首先创建了一个AVPacket，然后使用av_read_frame函数从媒体文件中读取一个帧。如果读取成功，我们就可以直接从AVPacket中获取DTS和PTS。

需要注意的是，DTS和PTS的单位通常是时间基（time base），而不是秒或者毫秒。时间基是一个表示时间的单位，它通常是一个分数，表示一帧的时间长度。你可以通过AVStream的time_base字段获取到时间基。

在获取到DTS和PTS后，你可能需要将它们转换为你需要的时间单位。在FFmpeg中，你可以使用以下的方式将DTS和PTS转换为秒：

```
AVStream* stream = formatContext->streams[packet->stream_index];
double dts_in_seconds = dts * av_q2d(stream->time_base);
double pts_in_seconds = pts * av_q2d(stream->time_base);
```

在这个例子中，我们首先获取到了包含当前帧的流（AVStream），然后使用av_q2d函数和流的时间基将DTS和PTS转换为了秒。

至此，我们已经知道了如何获取和解析PTS和DTS。在下一节中，我们将讨论如何根据PTS来控制视频帧的显示。

2.2 如何根据PTS控制视频帧的显示

在视频播放中，我们需要根据显示时间戳（PTS）来控制每一帧的显示时间，以保证视频的播放速度与视频的帧率相匹配，也可以保证音频和视频的同步。具体来说，我们可以通过比较当前时间和下一帧的PTS来计算出需要的延迟。

例如，假设当前时间是T1，下一帧的PTS是T2，那么我们需要等待(T2-T1)的时间后再显示下一帧。如果T2小于或等于T1，说明下一帧应该立即被显示。

下面是一个简单的示意图，描述了这个过程：

这种方法可以保证视频的播放速度与视频的帧率相匹配，也可以保证音频和视频的同步。但是，这需要播放器有能力精确地控制延迟，这在某些情况下可能是个挑战（例如，如果播放器的计时精度不够，或者系统的调度延迟太大）。

在实际的编程中，我们可以使用各种方法来实现这个延迟。例如，我们可以使用线程睡眠（thread sleep）、定时器（timer）或者事件循环（event loop）等方法。具体的选择取决于你的应用程序的需求和环境。

在下一节中，我们将讨论解码时间戳（DTS）在解码中的作用和处理方法。

2.3 解码时间戳(DTS)在解码中的作用

解码时间戳（DTS，Decoding Time Stamp）是指媒体帧（音频或视频）应该何时被解码。这在视频流中特别重要，因为在许多情况下，帧的解码顺序并不同于它们的显示顺序。例如，许多视频编码格式使用B帧（双向预测帧），这些帧需要在它们之前和之后的帧都被解码后才能解码。在这种情况下，DTS可以帮助解码器确定何时解码每一帧。

具体来说，DTS的主要作用是帮助解码器确定何时解码每一帧。在一些复杂的视频编码格式中，例如使用了B帧（双向预测帧）的编码格式，帧的解码顺序可能不同于它们的显示顺序。在这种情况下，DTS就变得非常重要，因为它可以帮助解码器确定何时解码每一帧。

在实际的编程中，我们可以通过以下的方式获取AVPacket的DTS：

```
AVPacket* packet = av_packet_alloc();
// 假设你已经打开了媒体文件，并创建了AVFormatContext* formatContext
int ret = av_read_frame(formatContext, packet);
if (ret == 0) {
    int64_t dts = packet->dts;
    // 你现在可以使用dts了
}
```

在这个例子中，我们首先创建了一个AVPacket，然后使用av_read_frame函数从媒体文件中读取一个帧。如果读取成功，我们就可以直接从AVPacket中获取DTS。

总的来说，虽然DTS和PTS都是重要的，但在大多数情况下，你可以直接从队列中取出AVPacket并解码，不需要特别关注DTS。你需要关注的是PTS，因为它决定了每一帧的显示时间。

三、处理复杂视频编码格式的挑战

3.1 B帧(Bi-directional Predicted Frame)的理解和处理

在视频编码中，B帧（双向预测帧）是一种特殊的帧类型，它的内容是根据它之前和之后的帧来预测的。这种预测方式使得B帧能够更有

效地压缩视频，从而减小视频文件的大小。然而，B帧也给视频的解码和播放带来了一些挑战。

首先，我们来理解一下B帧的工作原理。在一个典型的视频序列中，我们可能会有以下的帧序列：

```
I P B B P B B P B B I
```

在这个序列中，I帧（Intra-coded Picture）是关键帧，它是完全自足的，可以独立解码。P帧（Predicted Picture）是预测帧，它的内容是根据前一个I帧或P帧预测的。B帧则是双向预测帧，它的内容是根据前后的I帧或P帧预测的。

因为B帧的内容是根据前后的帧预测的，所以在解码B帧时，我们需要先解码它前后的帧。这就意味着，B帧的解码顺序（DTS）通常早于它的显示顺序（PTS）。例如，对于上面的帧序列，如果我们按照显示顺序（PTS）来解码，那么解码顺序（DTS）可能会是这样的：

```
I P P B B P B B P B B I
```

可以看到，所有的B帧都被移动到了它们前后的P帧之后。

这种解码顺序和显示顺序的不同，给视频的解码和播放带来了一些挑战。在实际应用中，我们需要根据每一帧的DTS来进行解码，然后再根据每一帧的PTS来进行显示。这就需要我们在解码和播放时，都能正确地处理DTS和PTS。

在下一节中，我们将详细介绍如何处理这种挑战。

3.2 变帧率(Variable Frame Rate)视频的处理

变帧率（Variable Frame Rate，VFR）是一种特殊的视频编码方式，其中的帧率并不是固定的，而是可以根据视频内容的变化而变化。例如，如果视频的某一部分内容变化较小（例如，静止画面或者慢动作），那么这一部分的帧率可能会降低；反之，如果视频的某一部分内容变化较大（例如，快速运动或者大量细节），那么这一部分的帧率可能会提高。这种方式可以更有效地压缩视频，从而减小视频文件的大小。

然而，变帧率也给视频的解码和播放带来了一些挑战。因为帧率不再是固定的，所以我们不能简单地通过帧率来预测每一帧的显示时间戳（PTS）。相反，我们需要根据每一帧的实际PTS来进行显示。

在处理变帧率视频时，我们需要注意以下几点：

解码顺序和显示顺序可能不同：和B帧一样，变帧率视频中的解码顺序（DTS）和显示顺序（PTS）可能不同。我们需要根据每一帧的DTS来进行解码，然后再根据每一帧的PTS来进行显示。

PTS可能不连续：在固定帧率的视频中，相邻两帧的PTS之差通常是固定的。但在变帧率的视频中，相邻两帧的PTS之差可能会变化。我们需要正确处理这种情况。

需要精确的计时：因为PTS可能会变化，所以我们需要有能力精确地控制每一帧的显示时间。这可能需要高精度的计时器，以及能够精确控制显示硬件的能力。

3.3 网络传输中的挑战

在网络上接收和播放视频流时，网络的状况可能会对视频的解码和播放带来一些挑战。例如，网络的延迟、丢包、带宽变化等都可能影响到视频的解码和播放。

网络延迟：网络的延迟会影响到视频帧的接收时间，从而影响到帧的解码和显示时间。如果网络延迟较大，那么可能需要在播放器中添加一定的缓冲，以减少因网络延迟引起的播放卡顿。

丢包：在网络传输中，可能会出现丢包的情况。如果丢失的是关键帧（I帧），那么可能会影响到后续帧的解码，因为后续的预测帧（P帧）和双向预测帧（B帧）都依赖于关键帧。在这种情况下，可能需要请求重传丢失的帧，或者跳过不能解码的帧。

带宽变化：如果网络的带宽发生变化，那么可能需要动态调整视频的码率，以适应当前的网络状况。这可能需要支持多码率的视频编码格式，以及能够动态切换码率的播放器。

在处理这些挑战时，我们需要注意以下几点：

预缓冲：为了减少因网络延迟引起的播放卡顿，我们可以在播放器中添加一定的预缓冲。预缓冲的大小可以根据网络的状况动态调整。

错误恢复：为了处理丢包的情况，我们需要在播放器中添加错误恢复的机制。这可能包括请求重传丢失的帧，或者跳过不能解码的帧。

码率切换：为了适应网络带宽的变化，我们需要支持动态码率切换。这可能需要支持多码率的视频编码格式，以及能够动态切换码率的播放器。

四、实际应用中的时间戳处理策略

4.1 面对固定帧率视频的处理策略

在处理固定帧率（Fixed Frame Rate）的视频时，我们可以利用视频帧率的固定性质来简化时间戳（Timestamp）的处理。固定帧率意味着每一帧的显示时间间隔是固定的，这个间隔就是帧率的倒数。例如，如果视频的帧率是30帧/秒，那么每一帧的显示时间间隔就是1/30秒。

在这种情况下，我们可以通过以下步骤来处理时间戳：

读取第一帧的显示时间戳（PTS）：当我们从媒体文件中读取第一帧时，我们可以获取到这一帧的PTS。这个PTS将作为我们的基准时间，用来计算后续每一帧的显示时间。

计算每一帧的预期PTS：由于我们知道视频的帧率，所以我们可以计算出每一帧的预期PTS。具体来说，第n帧的预期PTS就是基准时间加上n乘以帧间隔。例如，如果基准时间是T，帧率是30帧/秒，那么第n帧的预期PTS就是T + n/30。

根据预期PTS控制每一帧的显示：当我们解码出一帧时，我们可以获取到这一帧的实际PTS。然后，我们可以比较这一帧的实际PTS和预期PTS，以决定何时显示这一帧。如果实际PTS早于预期PTS，那么我们需要等待一段时间后再显示这一帧；如果实际PTS晚于预期PTS，那么我们应该立即显示这一帧。

这种处理策略的优点是简单易懂，适用于大多数的视频播放场景。然而，它也有一些局限性。首先，它假设视频的帧率是固定的，这在实际应用中可能并不总是成立。其次，它假设每一帧的解码时间可以忽略不计，这在处理高清或者复杂编码格式的视频时可能并不成立。因此，当我们面对这些挑战时，我们可能需要采用更复杂的时间戳处理策略。

4.2 面对变帧率视频的处理策略

变帧率（Variable Frame Rate，VFR）视频是一种帧率不固定的视频，这种视频的每一帧的显示时间间隔可能会有所不同。处理VFR视频的时间戳（Timestamp）比处理固定帧率（Fixed Frame Rate，FFR）视频的时间戳更为复杂，因为我们不能简单地假设每一帧的显示时间间隔是固定的。

在处理VFR视频的时间戳时，我们需要采取以下步骤：

读取每一帧的显示时间戳（PTS）：当我们从媒体文件中读取每一帧时，我们需要获取到这一帧的PTS。这个PTS将告诉我们这一帧应该在何时被显示。

计算每一帧的显示延迟：由于VFR视频的每一帧的显示时间间隔可能不同，所以我们需要为每一帧计算一个显示延迟。具体来说，第n帧的显示延迟就是第n帧的PTS减去第n-1帧的PTS。例如，如果第n-1帧的PTS是T1，第n帧的PTS是T2，那么第n帧的显示延迟就是T2 - T1。

根据显示延迟控制每一帧的显示：当我们解码出一帧时，我们可以获取到这一帧的显示延迟。然后，我们需要等待这个延迟的时间后再显示这一帧。

这种处理策略的优点是它可以准确地控制每一帧的显示时间，从而保证VFR视频的播放质量。然而，它也有一些局限性。首先，它需要为每一帧计算显示延迟，这可能会增加处理的复杂性。其次，它假设每一帧的解码时间可以忽略不计，这在处理高清或者复杂编码格式的视频时可能并不成立。因此，当我们面对这些挑战时，我们可能需要采用更复杂的时间戳处理策略。

4.3 面对复杂编码格式的处理策略

在处理一些复杂的视频编码格式时，我们可能需要采用更复杂的时间戳（Timestamp）处理策略。这是因为这些编码格式可能会使用一些特殊的帧类型，例如B帧（Bi-directional Predicted Frame），这些帧的解码顺序可能不同于它们的显示顺序。

在处理这种情况时，我们需要考虑到解码时间戳（DTS）和显示时间戳（PTS）的区别：

> **解码时间戳（DTS）**：DTS是指媒体帧（音频或视频）应该何时被解码。在一些复杂的视频编码格式中，例如使用了B帧的编码格式，帧的解码顺序可能不同于它们的显示顺序。在这种情况下，DTS可以帮助解码器确定何时解码每一帧。
>
> **显示时间戳（PTS）**：PTS则是指媒体帧应该何时被显示。在播放视频时，你需要根据PTS来控制每一帧的显示时间，以保证视频的播放速度与视频的帧率相匹配，也可以保证音频和视频的同步。

在处理这种情况时，我们需要采取以下步骤：

> **读取每一帧的DTS和PTS**：当我们从媒体文件中读取每一帧时，我们需要获取到这一帧的DTS和PTS。这两个时间戳将告诉我们这一帧应该在何时被解码和显示。
>
> **根据DTS控制每一帧的解码**：我们需要根据每一帧的DTS来控制解码的顺序。具体来说，我们需要先解码DTS较早的帧，然后再解码DTS较晚的帧。
>
> **根据PTS控制每一帧的显示**：我们需要根据每一帧的PTS来控制显示的时间。具体来说，我们需要等待到PTS指定的时间后再显示这一帧。

这种处理策略的优点是它可以准确地控制每一帧的解码和显示时间，从而保证视频的播放质量。然而，它也有一些局限性。首先，它需要为每一帧计算显示延迟，这可能会增加处理的复杂性。其次，它假设每一帧的解码时间可以忽略不计，这在处理高清或者复杂编码格式的视频时可能并不成立。因此，当我们面对这些挑战时，我们可能需要采用更复杂的时间戳处理策略

这部分的内容主要参考了以下的文献：

1. Table 1: The detailed process of the video feature decoding.