

一种基于浏览器的可访问 NOAA 图像解码器

原标题: An accessible browser-based decoder for NOAA images

原作者: sashae

原作链接:

<https://publiclab.org/notes/sashae/05-03-2022/an-accessible-browser-based-decoder-for-noaa-images>

翻译及续作: 李欢(<https://github.com/muzihuaner>)

发布日期: 2023 年 9 月 7 日

摘要:

这是关于解码、解调和处理 NOAA 卫星图像的一组观察和文档的初稿, 最终产生了一个名为 **快点 NOAA 卫星图像解码** 的新的基于浏览器的解码器。您可以通过以下网址访问解码器 <https://noaa.quickso.cn/>

关键字: NOAA; 气象卫星; 卫星解码

1. 引言

NOAA 卫星是美国国家海洋和大气管理局 (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA) 运营的一系列卫星。这些卫星主要用于收集关于地球的大气、海洋和气候的数据。

NOAA 的卫星系统主要包括两类: 极轨卫星和静止卫星。

1. **极轨卫星:** 这些卫星的轨道使得它们可以覆盖地球的全球范围。它们以较低的轨道高度 (一般在几百到几千公里) 绕地球飞行, 提供全球覆盖的观测数据。

NOAA 的极轨卫星系统包括 Joint Polar Satellite System (JPSS)。

2. **静止卫星:** 这些卫星位于地球的赤道平面上, 与地球同步旋转, 因此它们相对于地面的某一点是静止的。这使得它们可以持续监测同一地区的天气和环境条件。NOAA 的静止卫星系统包括 Geostationary Operational Environmental Satellites (GOES)。

这些卫星系统为天气预报、气候研究、灾害预警和响应等提供了关键的数据。例如, 它们可以帮助预测风暴和飓风的路径, 监测海洋表面温度, 以及观测大气中的气体和颗粒物。

NOAA 卫星使用六个可见光传感器和红外传感器来感知地球表面。来自这些传感器的数据被组合起来生成图像。

卫星将图像数据编码或调制为 2400 Hz 信号。该信号通过 137MHz 到 138 MHz 之间的无线电波传输到地球，具体频率取决于接收到的 NOAA 卫星的型号。传输信号的格式称为自动图像传输 (Automatic Picture Transmission 简称 APT)。

使用天线和软件定义无线电 (SDR)，您可以记录 NOAA 卫星传输的信号。您可以使用不同的方法将 WAV 文件形式的录音解码为图像。

绝对值、余弦定律和希尔伯特傅里叶快速变换 (Hilbert FFT) 是将 WAV 文件解码或解调为图像的三种方法。它们的运作方式略有不同，所以会产生不同的图像。直方图均衡用来增加图像的对比度。

本项目的出现源于人们对了解将 APT 音频记录解码为 NOAA 卫星图像的过程的渴望，以及为新的从业者或者爱好者提供可访问的在线解码器的需求。

本项目是 Thatcher APT 3000

(<https://jthatch.com/APT3000/APT3000.html>) 的分支项目。

2. 声音如何变成图像？

使用软件定义无线电 (SDR) 记录 NOAA 卫星信号会生成音频文件。该音频文件如何转换为图像？

我们先来看看 APT 传输的格式：NOAA 卫星向地球发送什么？

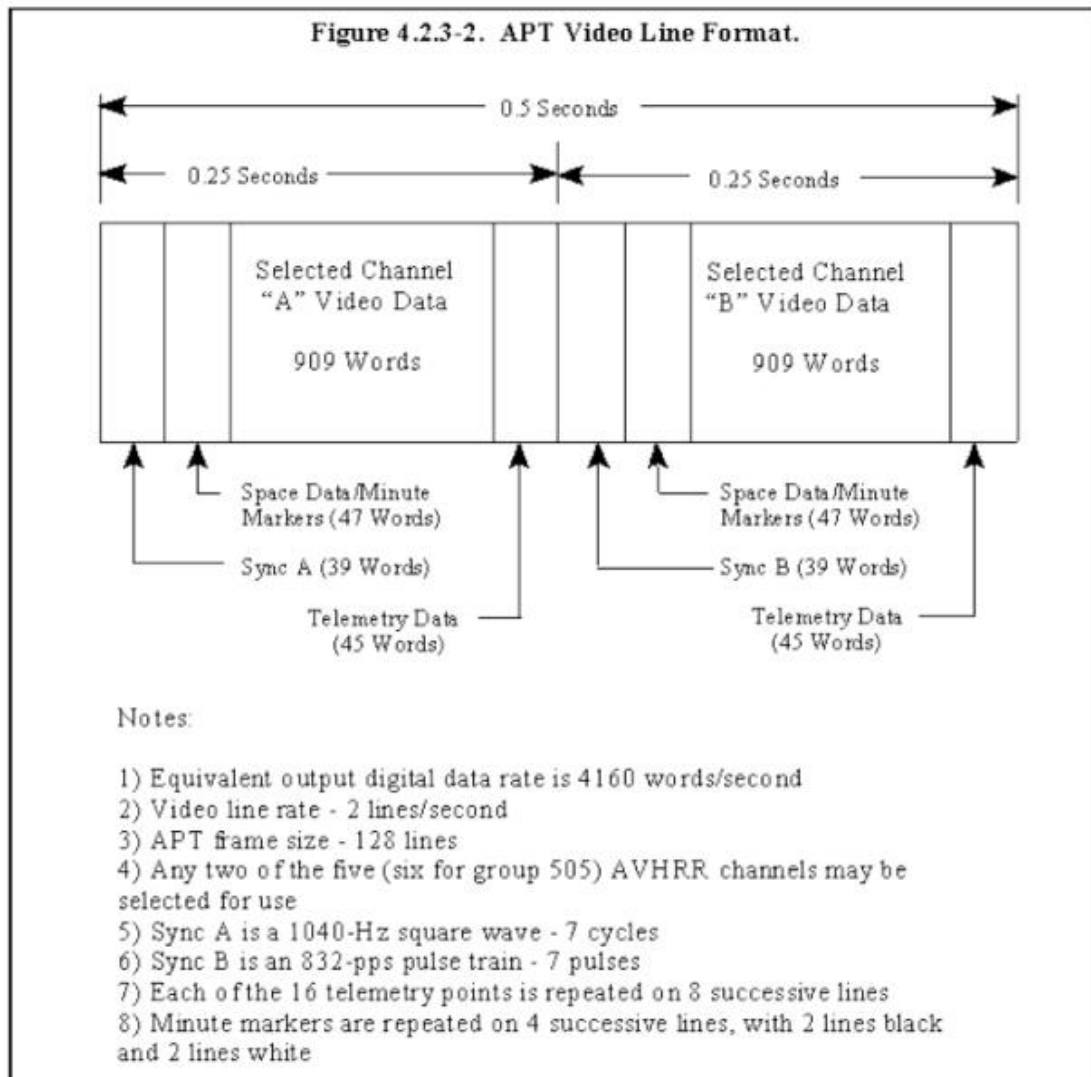


图 1 APT 传输格式。资料来源：NOAA 用户指南

APT 格式包括：

- 两个视觉数据通道，A 和 B
- 两个同步信号：同步 A 和同步 B
- 遥测数据
- 空间数据/分钟标记

APT 格式的一行信息（包括同步信号、遥测、空间数据和通道 A/B 图像）需要 0.5 秒。这意味着每秒传输两整行数据。

NOAA 信号听起来如何？它有节奏或音调吗？你能区分任何重复的元素或结构吗？这是一个音频示例：

<https://huangenet.lanzoub.com/ij61f17lmnrc>

听完后，你可能会发现音频中有明显的节奏。每隔一段时间就会出现特有的“滴答声”。还有一种听起来很像这样的高音“铃声”或音调。

你听到什么？音频文件包含三个重要的频率：2400 Hz、1040 Hz 和 832 Hz。这些频率对应于 APT 格式的特定部分。音频文件中的所有其他频率都是由您的无线电环境、地面站设置或您的身体引起的噪音。以下是这三个频率的用途：

- 2400 Hz - 通道 A 和 B 图像的像素值（灰度）
- 1040 Hz - 通道 A 同步信号
- 832 Hz - 通道 B 同步信号

我们可以将这些频率可视化，以更好地了解它们如何携带数据。下图显示了一段录音中的 APT 信号。（注意：应用了绝对值函数，因此我们只能看到信号的正值。波通常包括正值和负值）。

APT 信号由蓝线表示。x 轴是数据样本。y 轴的单位取决于用于可视化信号的程序。在 x 轴上的 34000 到 34600 个样本，信号的“电平”或幅度发生变化，但频率保持不变。不同的幅度可以映射到灰度像素值，其中黑色对应于非常低的值（例如 0），而白色对应于高值。

然而，这并不像将波幅的每个值映射到像素值那么容易。根据录制音频文件的采样率，每秒会有不同数量的样本。常见的音频采样率为每秒 48000、44100 或 11025 个样本。

APT 图告诉我们，卫星在通道 A 的一行中仅发送 909 个“字”，在通道 B 的一行中仅发送 909 个“字”。对于 NOAA，“字”意味着信息单位或像素。这意味着通道 A 和通道 B 的每行分别只有 909 个像素。一整行数据，包括遥测、同步和空间数据，有 2080 个像素。为了确定这些像素的值，需要对音频文件的原始采样率进行下采样。本项目以 11025 个样本/秒的速度接受音频文件，并将该信息下采样至每秒 4160 个样本（0.5 秒内每行 2080 像素 $\times 2 =$ 每秒 4160 像素）。

在 x 轴上经过 34600 个采样后，频率和幅度发生变化：蓝线中有七个不同的尖峰。这七个尖峰是通道 A 同步信号。这表示 APT 格式的新数据行的开始。

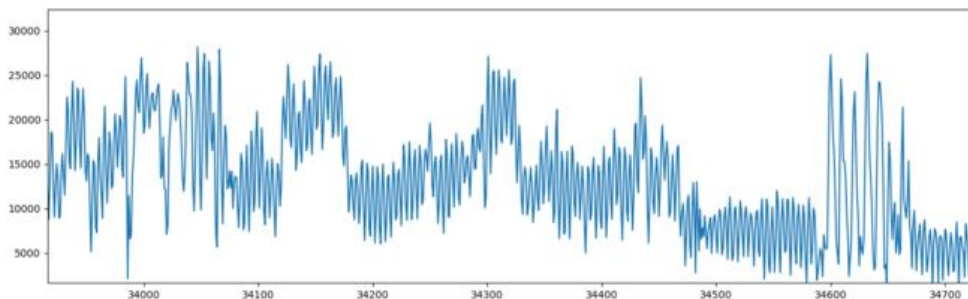


图 2 APT 信号的可视化。资料来源：比尔·莱尔斯

卫星图像的清晰度部分取决于信号强度。随着信号强度降低，图像质量也会降低，所以区分 2400 Hz 幅度水平确定像素值变得更加困难。当信号较弱时，信噪比也较差，因此可能无法确定正确的幅度或幅度不一致。此外，弱信号或嘈杂的文件可能会导致丢失通道同步信号，可能会产生如下所示的倾斜图像：

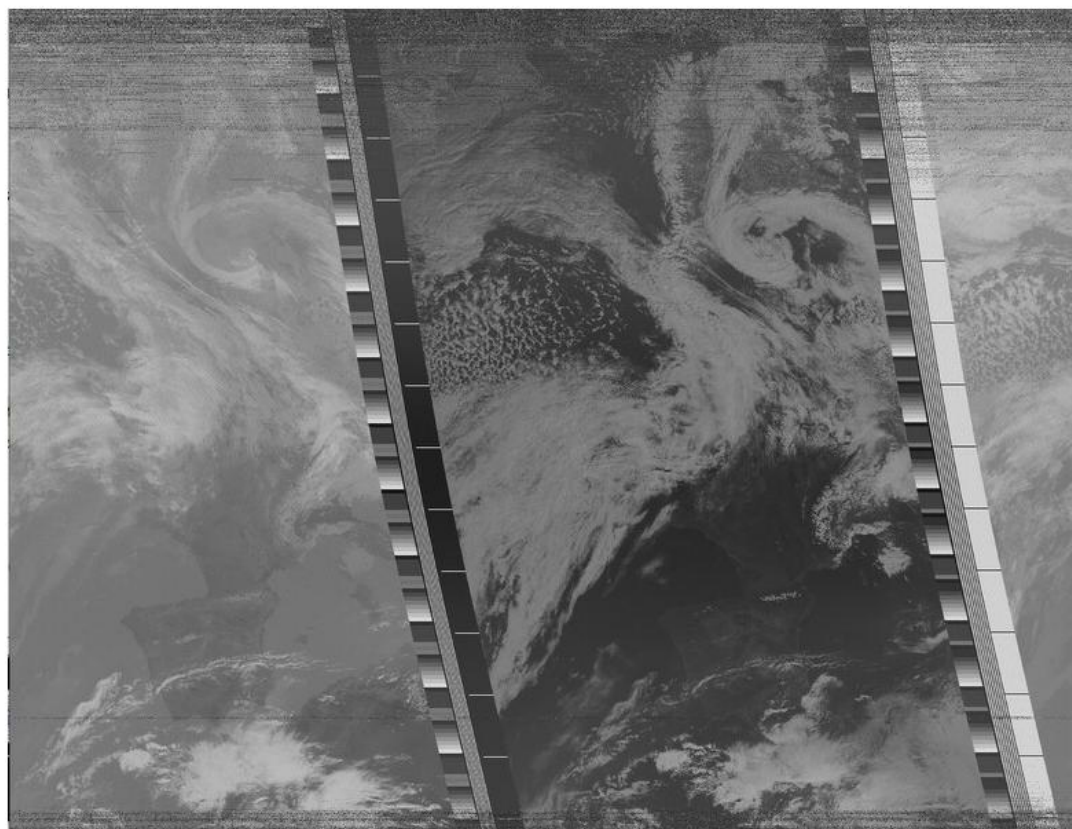


图 3 原始卫星图像错过了第一次同步。资料来源：Floren Noel，来自 open-weather apt

本项目在设计时就考虑到了首次卫星信号解码器。与其他不指定在音频文件中搜索第一个“同步”的卫星信号解码器不同，本项目允许您修改程序搜索第一个同步的秒数。这意味着即使音频文件的开头非常嘈杂，程序也可以更轻松地找到第一个同步。

3. 解调方法

有几种不同的方法可以将 APT 信号解调为图像。下图展示了这些方法。

绿线是消息信号（我们可以将其视为卫星传输的原始数据）。红线是载波信号，紫色线显示调制信号（其中载波信号已被消息信号调制）。解调过程应该检索尽可能接近原始消息信号的东西。

底部的三根紫色线显示使用 ABS（绝对值）解调的信号；使用希尔伯特快速傅里叶变换方法解调的信号；最后，利用余弦定律对信号进行解调。

你认为哪种方法最精确？

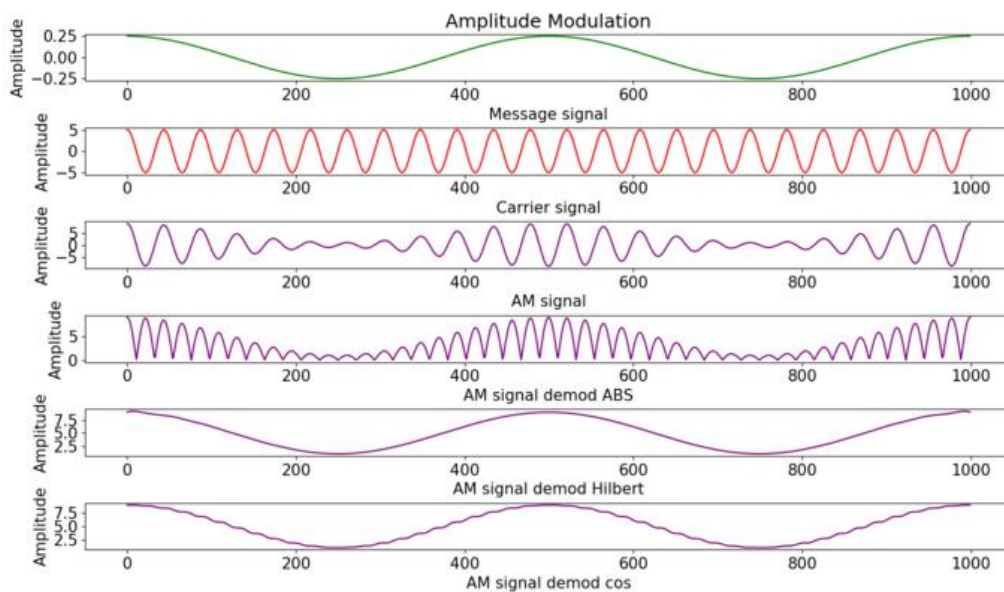


图 4 比较 AM 解调方法。资料来源：比尔·莱尔斯

绝对值

这是将 APT 信号的音频记录解码为图像的最简单、最快捷的方法。

波（例如 2400 Hz 正弦波）具有负值和正值。如果我们取波中所有点的绝对值，我们最终会得到时间序列中的正值。应用采样器后，我们可以导出 NOAA 卫星图像中“字”或像素的数据。

希尔伯特快速傅里叶变换 (Hilbert FFT)

这是将 APT 信号的音频记录解码为图像的处理量最大但最精确的方法。

我们有一个时间序列的样本。首先，我们将该时间序列转换为所谓的 I/Q 信号。

什么是 I/Q 信号？正弦波可以分解为两个调幅正弦波或由两个调幅正弦波合成，这两个正弦波相位偏移四分之一周期（90 度或 $\pi/2$ 弧度）。这些是同相或正交分量（I/Q 信号）：https://en.wikipedia.org/wiki/In-phase_and_quadrature_components

有两种方法可以做到这一点。一种是使用 FIR（有限脉冲响应滤波器）以及一组称为希尔伯特变换的特定系数。该过滤器生成 Q 时间序列与 I 时间序列。另一种方法是对输入时间序列进行快速傅里叶变换 (FFT)，将变换的所有负频率设置为零，然后进行逆傅里叶变换。这是本项目中使用的方法：

给定 I/Q 时间序列，AM 解调是每对点的绝对值，定义为： $\text{abs}(I_i, Q_i) = \sqrt{I_i * I_i + Q_i * Q_i}$ 其中 I_i 和 Q_i 是 I/Q 时间序列。

余弦定律

该解调方法源自 Martin Bernardi 的开源卫星信号解码程序 NOAA APT 1.3.1 的代码。

为了生成每个输出样本，我们使用当前输入样本、先前输入样本和载波频率。注意：正弦和余弦函数以弧度而不是度数计算。 $\text{Theta}(\theta)$ 是 2π 乘以以 Hz 为单位的载波频率除以以样本/秒为单位的采样率。

该方法使用以下方程：

$$y[i] = \frac{\sqrt{x[i]^2 + x[i-1]^2 - 2x[i]x[i-1] \cos \phi}}{\sin \phi}$$

图 5 使用余弦定律解调信号的方程。资料来源：马丁·贝尔纳迪

直方图均衡

原始的 NOAA 卫星图像通常看起来非常灰色且均匀。直方图均衡化增加了图像的对比度，以便可以观察到更多细节，例如陆地和海洋之间的差异，或云中的小特征。

本项目的直方图均衡通过有效地将像素亮度值从灰色扩展到黑色和白色来实现这一点。

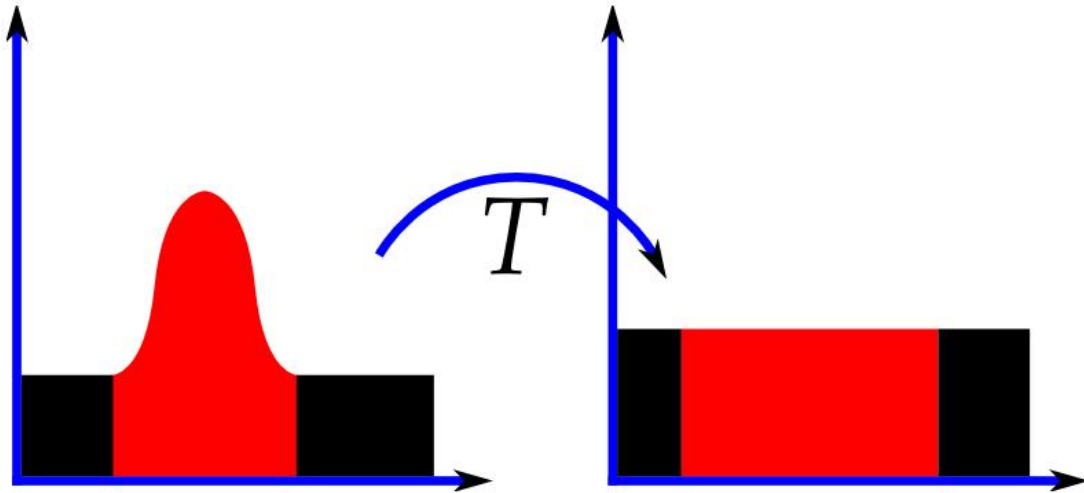


图 6 均衡前后图像的直方图。资料来源：维基百科。

4. 快点 NOAA 卫星图像解码

快点 NOAA 卫星图像解码是一个基于浏览器的 NOAA 卫星图像解码器

访问地址：<https://noaa.quickso.cn/>

项目地址：<https://github.com/muzihuaner/NOAADecoder>

快点NOAA卫星图像解码

[文档](#) [隐私政策](#)

快点NOAA卫星图像解码是一个基于浏览器的NOAA卫星图像解码器

本项目的开发是为了跨操作系统使用以及提高对NOAA卫星信号解码的可访问性。

本项目基于 Thatcher's APT 3000.

使用方法

1. 选择一个 WAV 文件从你的设备 ([举个例子](#))

未选择任何文件

2. 选择解调方法

- 绝对值
- 余弦定律
- 希尔伯特快速傅里叶变换

3. 解码图像!

5. 文献参考

[1] An accessible browser-based decoder for NOAA images

<https://publiclab.org/notes/sashae/05-03-2022/an-accessible-browser-based-decoder-for-noaa-images>

[2] ChatGPT <https://openai.com/chatgpt>

[3] 希尔伯特变换 - 维基百科

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%B8%8C%E7%88%BE%E4%BC%AF%E7%89%B9%E8%BD%89%E6%8F%9B>

[4] 快速傅里叶变换- 维基百科

<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E5%BF%AB%E9%80%9F%E5%82%85%E9%87%8C%E5%8F%B6%E5%8F%98%E6%8D%A2>