

面向图像高清传输的解码器 同步触发信号调制技术

郭斌

(中国人民解放军 92493 部队, 辽宁 葫芦岛 125000)

摘要: 当前解码器同步触发信号在调制过程中容易受到噪声影响造成信号失真, 导致解码后的图像细节模糊; 为了增强图像清晰度, 提出面向图像高清传输的解码器同步触发信号调制技术; 在设计 FPGA 平台中, 采用并发控制机制确保 SRAM 存储模块多任务访问时避免数据冲突与不一致; 并结合电力载波模块和 PLC 网络传输器保证系统的同步性与一致性; 基于 16×16 并行累加器输出对 SRAM 进行寻址, 并通过同相与正交频率运算获取基带信号; 同时结合 DDS 数字合成理论实现符号速率自由控制, 在此基础上, 使用 5 通道解码器同步触发信号调制将传输信息位映射成同步传输序列, 并通过施加振荡电流, 并利用数据拟合辨识方法构建传递函数, 调整调制信号以改善传输中的畸变与衰减, 由此完成信号调制; 实验结果表明, 该技术对 BPSK、QPSK、FSK 信号的调制误差分别为 1 dB、1 dB、2 dB, 对图像解码效果的影响较低, 能够获得细节清晰的高清图像。

关键词: 图像高清传输; 解码器; 同步触发; 信号调制; FPGA 平台; DDS 数字合成理论

Decoder Synchronous Trigger Signal Modulation Technology for High Definition Image Transmission

Guo Bin

(Unit 92493 of PLA, Huludao 125000, China)

Abstract: The synchronization trigger signal of the current decoder is easily affected by noise during the modulation process, causing signal distortion and blurred image details after demodulation. To enhance image clarity, a decoder synchronous trigger signal modulation technology for high-definition image transmission is proposed. In the designed FPGA platform, a concurrency control mechanism is adopted to ensure that SRAM storage modules avoid data conflicts and inconsistencies during multitasking access. Combined the power carrier module and PLC network transmitter, it ensures the synchronization and consistency of the system. The SRAM based on 16×16 parallel accumulator output are addressed, and baseband signals are obtained through in-phase and orthogonal frequency operations. At the same time, digital synthesis theory (DDS) digital synthesis theory is combined to achieve the symbol rate free control, on this basis, a 5-channel decoder is used to synchronously trigger signal modulation to map the transmitted information bits into synchronous transmission sequence. The oscillation current and data fitting identification methods are adopted to construct the transfer function, the modulation signal is adjusted to improve distortion and attenuation during the transmission, thus completing the signal modulation. The experimental results show that by using this technology, the modulation errors of binary phase shift keying (BPSK), quadrature phase shift keying (QPSK), and frequency shift keying (FSK) signals are 1 dB, 1 dB, and 2 dB, respectively. It has relatively low influence on image decoding, and can obtains high-definition images with clear details.

Keywords: high-definition image transmission; decoder; synchronous triggering; signal modulation; FPGA platform; DDS

0 引言

在高清图像传输过程中, 图像数据通过信号调制技术进行编码, 然后通过信道传输到接收端, 最后再进行解码恢复成原始图像。然而, 在高清图像传输中, 由于图像数据量庞大、传输带宽有限等因素的限制, 通常会出现传输过程中的数据丢失、失真以及同步问题。

为了保证传输过程中的调制稳定性, 众多学者展开了相应研究。如文献 [1] 提出了基于调制 m 序列的信号调制方法, 利用 m 序列的优良自相关和互相关特性, 将信息数

据嵌入到 m 序列中, 通过改变 m 序列的某些参数 (如相位或幅度) 来实现信号调制。该方法的缺点是 m 序列的解调需要精确的同步, 微小的时间偏移可能导致解调失败; 文献 [2] 提出了基于被动时间反转-自编码器的信号调制识别方法, 利用被动时间反转 (PTR) 和自编码器 (AE) 的结合, 对信号进行调制识别。PTR 技术通过对接收到的信号进行时间反转处理, 提取出与原始信号相关的特征。然后, 自编码器利用这些特征进行学习, 从而实现对信号的调制识别。然而, 该方法对噪声较为敏感, 噪声可能干扰特征提取和调制识别过程; 文献 [3] 旨在基于非线性差分

收稿日期: 2024-01-10; 修回日期: 2024-02-06。

作者简介: 郭斌 (1982-), 男, 大学本科, 工程师。

引用格式: 郭斌. 面向图像高清传输的解码器同步触发信号调制技术[J]. 计算机测量与控制, 2024, 32(7): 301-307, 328.

编码实现光谱整形技术,提高 PAM 信号的传输性能,并通过结合 LLR 解码实现所需光功率的 4 dB 改善。而均衡器的参数设置可能会影响信号的恢复和解码效果。因此需要对均衡器的参数进行充分调整和优化,以获得最佳的传输性能。文献 [4] 提出了多径信道下的信号调制方法,利用多径效应,通过在信号中引入适当的延迟和相位偏移,以增强信号在多径信道中的传输性能。然而,多径信道的不稳定性会对信号调制性能产生影响,需要更精确的信道估计和补偿技术。除上述方法外,还有学者在高清图像传输、图像修复和移动边缘计算方面提出了创新的思路和解决方案,并在实验证明了其有效性和可行性。如文献 [5] 提出了多路高清图像组合编解码光纤传输技术。基于 FPGA 设计的编解码器利用通道时分复用和伪随机码调制解调,实现了多路高清图像的有效利用和稳定传输。文献 [6] 提出了增强语义双解码器生成模型。利用双解码器结构和多种损失函数,提高图像修复的语义一致性和视觉一致性,并通过跳跃连接和注意力机制优化特征提取。文献 [7] 提出了边一端协同的并行解码器图像修复方法:边一端共享参数的 ETG-Net 网络结构实现了移动边缘计算和图像修复的协同工作,降低终端计算负担,并通过卸载策略进一步优化计算时延和能耗。

综合已有文献分析可知,解码器同步触发信号调制技术是确保图像数据正确解码的关键环节。解码器是指将压缩编码后的视频数据进行解码并还原成原始图像的设备或算法。常见的图像编码技术包括 JPEG、H.264、HEVC 等。随着高清视频的普及,各类多媒体设备都需要具备高效的解码能力,以保证视频质量的同时降低传输带宽和存储空间需求。而同步触发信号调制技术则是为了保证图像和音频之间的同步性。在多媒体系统中,图像和音频通常分别以数据流的形式传输,通过同步触发信号调制技术可以确保它们在播放过程中的同步性,避免出现图像和声音不匹配的情况。因此提出了一种面向图像高清传输的解码器同步触发信号调制技术。

1 FPGA 平台设计

在实现面向图像高清传输的解码器同步触发信号调制技术时,解码器的性能对于实时高清图像传输至关重要。高清图像的解码包含大量的计算量和复杂的算法,通常需要选择适合的高速脉冲宽度调制硬件平台,以支持高速高精度的脉冲宽度调制。为此,设计了一种基于 FPGA 的解码器同步触发信号调制平台。平台架构如图 1 所示。

图 1 中,该平台集成了多路功能模块,以提高解码器同步触发信号的生成和处理效率。其中基带信号通路主要用于对基带信号进行收发,以保证信号的稳定与完整。该通路包括信号接收、信号处理和信号发送 3 个功能,主要用于接收来自源头的模拟信号。在模拟信号的情况下,必须将基带通路中的模拟信号转化为数字信号。该过程为了提高信号质量,需要对信号进行滤波和放大处理。滤波器

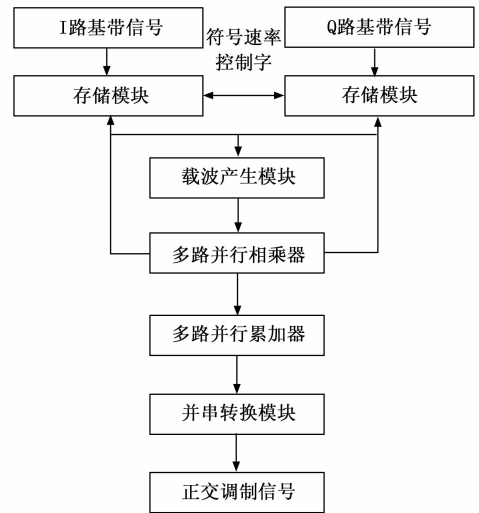


图 1 解码器同步触发信号调制的 FPGA 平台

可以消除信号中的噪声和干扰,而放大器则可以增强信号的幅度,使其更容易被检测和处理。在进行滤波和放大处理时,需要选择合适的滤波器和放大器,并调整其参数,以达到最佳的信号处理效果,经过处理的基带信号需要被传输到后续模块中进行进一步处理和调制,确保信号的准确性和实时性。时钟同步是将接收到的基带信号与系统时钟进行同步,确保各个模块之间的时钟同步性,从而保证整个系统的稳定性和可靠性。

在存储模块中使用 SRAM 型号的存储器用于存储解码器同步触发信号的相关数据,包括调制参数、载波信息等。其中调制参数是解码器同步触发信号调制过程中的重要参数,包括调制方式、调制深度、载波频率等^[8]。存储模块负责将这些参数存储起来,以便后续的信号生成和处理过程中能够准确无误地使用这些参数;载波信息是解码器同步触发信号的重要组成部分,包括载波的幅度、相位、频率等。在解码器同步触发信号的生成和处理过程中,可能需要多次读取和写入数据^[9]。利用存储模块作为缓存区,暂存数据,减少了对外部存储器的访问,提高了系统的工作效率。使得平台可以在多重工作环境下,同一时间处理存储模块中的数据。在存储模块中,为了确保数据的一致性与完整性,必须引入并发控制机制,确保在多任务访问时不会出现数据冲突或数据不一致的情况^[10-11]。SRAM 存储器结构图如图 2 所示。

将电力载波模块与 PLC 网络传输器结合组成载波产生模块,可以根据需要调整载波的频率、幅度、相位等参数,以适应不同的调制方式和传输要求,生成所需的载波信号^[12-13]。除了生成载波信号外,载波产生模块还可以与解码器同步触发信号进行配合,实现同步触发功能^[14]。在特定的时间或条件下,载波产生模块能够生成与解码器同步的触发信号,以确保整个系统的同步性和一致性。其中,载波频率范围为 20 kHz~1 MHz;载波幅度范围在 200 mV

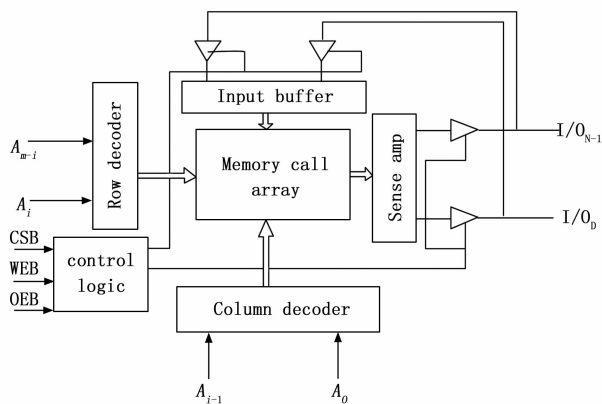


图 2 SRAM 存储器结构图

~5 V 之间，载波相位范围为 0°至 360°。

多路并行相乘器使用的是 D-Link DES-3052 交换机。将接收基带信号和载波信号作为输入，通过多个并行运算单元同时对输入信号进行相乘操作。将基带信号乘以载波，得到一个已调信号^[15]。该信号包含了基带信号的信息，同时具有载波的特性，为后续的解码器同步触发信号处理提供了基础。

使用一种 16×16 并行的多路累加器可以适应来自不同源的信号输入，如来自不同摄像头或传感器采集的图像数据。通过调整累加器可以实现对不同源信号的叠加操作，从而满足不同图像传输场景的需求，以增强解码器同步触发信号的强度和稳定性。

解码器同步触发信号通常以基带信号形式传输，而解码器需要识别特定格式的信号才能正确解码图像数据。因此，使用基于 ADC0809 串行数据流的并行转换模块可将接收到的基带信号转换为解码器可以识别的特定格式。ADC0809 串行数据流的应用原理如图 3 所示。

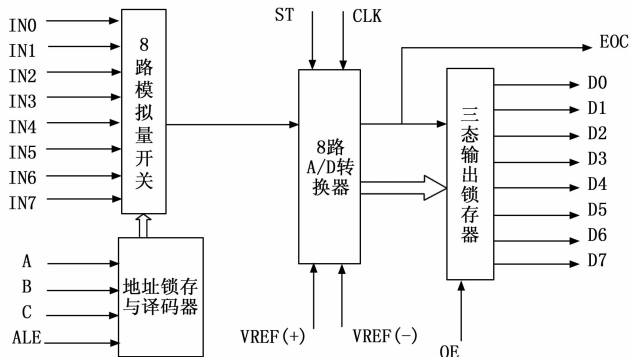


图 3 ADC0809 串行数据流

综上所述，通过 FPGA 平台的设计，可以对载波信号进行调制和处理，实现高质量图像的传输。

2 解码器同步触发信号调制

在面向图像高清传输的解码器中，需要保证信号的实时性，以避免信号丢失或延迟。所设计的 FPGA 平台具有

高度并行的处理能力，能够同时处理多个信号或数据流。同时该平台支持实时信号处理，可以在较短时间内完成大量数据的处理。

将 FPGA 平台中的基于 16×16 并行的多路累加器输出作为地址，寻址 SRAM 存储器。SRAM 存储器含有波形数字幅度信息的一个周期信息，而该存储器的每个地址均表示 0 到 2π 之间的一个相位点^[16]。

经过 t 个时钟后，多路累加器以频率控制字的频率控制累加。其中，累加器的输出用作 SRAM 存储器的地址，而 SRAM 存储器则把输入的相位信息转换成波形的幅值信号，并经 DAC 转换成模拟信号^[17]。当时间为 t 时，累加器恢复到原来的状态。经过一个循环周期后，SRAM 存储器恢复到初始状态。

此时，累加器输出一个周期波形，该波形对应的同相位频率和正交频率表达式为：

$$\eta_l = l \cdot \frac{\eta_c}{2^C} \tag{1}$$

$$\eta_Q = \frac{\eta_c}{2^C} \tag{2}$$

上述公式中， η_l 表示同相位频率，即载波在相位中^[18]； η_Q 表示正交频率，即载波偏移了 90°； l 表示采样点的步进； C 表示相位； η_c 表示初始频率^[19]。

在实际应用中，由于内存资源的限制，多路累加器输出的所有相位都不能作为 SRAM 存储器的地址输入，需要进行截断处理。在多路累加器相位中，留下高位元作为地址，截断低位元，但是低位元仍然留在多路累加器内进行累积^[20]。由此，在能够减少 SRAM 存储器存储容量的同时，不会降低频率分辨率。

N 路并行 DDS 能够在 t 个时钟周期内获得 N 个采样点，取样点的步长为 l ，然后将单路累加器按 N 级步长进行累积，获得下一个时钟周期的 N 个样本点。以 N 倍采样速率按步进 l 采样，对应的波形同相位频率和正交频率表达式为：

$$\eta_{lN} = l \cdot \frac{N \cdot \eta_c}{2^C} \tag{3}$$

$$\eta_{QN} = \frac{N \cdot \eta_c}{2^C} \tag{4}$$

对波形同相位频率和正交频率进行正交调制处理的原因是为了实现信号的调制。正交调制是一种常见的方法，它是把一个低频段的信号乘以两个正交载波，从而产生两个正交已调信号^[21]。两个正交已调信号的频率和相位都是相同的，将两路正交调变后，通过对其幅值、相位进行校正，可以产生不同的调制信号，达到不同的调制效果。同时，正交调制还具有抗干扰能力强的特点，避免受到噪声干扰。对于同相位频率和正交频率下的待调制信号，可表示为：

$$X_l(t) = \eta_{lN}(t) \cos[\omega t + \varphi(t)] \tag{5}$$

$$X_Q(t) = \eta_{QN}(t) \cos[\omega t + \varphi(t)] \tag{6}$$

上述公式， ω 表示载波角频率； $\varphi(t)$ 表示载波相位^[22]。通过确定同相、正交分量信息，就可实现不同信号的调制，

其中这两个分量信息对应的数字基带信号可表示为：

$$a(X_I) = \cos[\theta_n f(t - nT_a)] \quad (7)$$

$$a(X_Q) = \sin[\theta_n f(t - nT_a)] \quad (8)$$

上述公式， $f(t)$ 表示门函数； T_a 表示码元宽度； θ_n 表示第 n 个信号相位^[23]。

基带信号是通信系统中的原始信号，包含了要传输的信息。在数字通信中，基带信号通常表现为一系列的二进制码元，这些码元携带着发送端和接收端之间的信息。为了确保信息的准确传输，需将产生的基带信号存入 SRAM（静态随机存取存储器）中。将基带信号存入 SRAM 存储器中，可以实现信号的快速读取和写入，也可以随时访问和处理这些信号，以满足不同通信场景的需求。根据 DDS（直接数字合成）原理，可以使用数字逻辑电路和存储器来处理这些基带信号，以生成所需的波形和信号。

DDS 技术是一种基于数字信号处理和数字逻辑电路的技术，它通过将数字信号直接转换为模拟信号来生成所需的波形和信号。在 DDS 系统中，数字逻辑电路和存储器是核心组件，它们可以实现对信号的快速处理和生成，该过程涉及滤波、放大和调制环节。在基带信号中，常常包含各种噪声和干扰成分，这两种因素都可能不利于信号的发送和接收。因此，通过滤波可以有效地去除这些噪声和干扰，提高信号的信噪比和质量。在 DDS 系统中，通常使用数字滤波器来实现滤波功能。数字滤波器可以根据需要设计不同的滤波特性，例如低通、高通、带通等，以实现基带信号中不同频率成分的滤除或保留；放大是将基带信号的幅度进行提升的过程，以确保信号在传输过程中的可靠性和稳定性。在 DDS 系统中，放大通常通过数字放大器来实现。数字放大器可以根据需要调整放大倍数，使得基带信号的幅度达到合适的水平。此外，数字放大器还具有良好的线性度和较低的失真度，能确保精确的信号传送。调制是一种将基带信号变换成适于发送的高频率信号的处理方法，在 DDS 中，一般采用数字调制器进行调制。为了高效地传送基带信号，数字调制器可以采用幅度调制、调频、调相等多种调制方法进行有效传输。利用该方法，可以将基带信号中的信息装入高频载波，使其在通道内进行数据传输。

根据 DDS（直接数字合成）原理，可以推出符号速率控制字。符号速率控制字是用于控制基带信号传输速率的关键参数。在数字通信中，符号速率决定了每个码元的持续时间，进而影响信号的带宽和传输效率，计算公式为：

$$S = \frac{\eta_{IN}(t) \cdot 2^C}{N \cdot \eta_{QN} \cdot 2^P} \quad (9)$$

公式 (9) 中， 2^P 表示待发送的 PN 码序列长度。如此，在一定符号速率下，就可以求出符号速率的控制字，然后按照多通道 DDS 技术的要求，变换控制字的符号速率，从而实现符号速率的自由控制。

在信号调制之前推出符号速率控制字是为了实现信号的速率控制。符号速率控制字是指控制调制信号的符号速

率，即每秒传输的符号数量。通过调整符号速率控制字，可以实现对信号传输速率的精确控制。此外，符号速率控制字还可以帮助系统更好地适应不同的传输环境和条件。例如，在信道质量较差的情况下，可以适当降低符号速率控制字，以降低误码率；而在信道质量较好的情况下，可以适当提高符号速率控制字，以充分利用信道容量。

根据符号速率控制字，设计基于 5 通道的解码器同步触发信号调制原理，如图 4 所示。

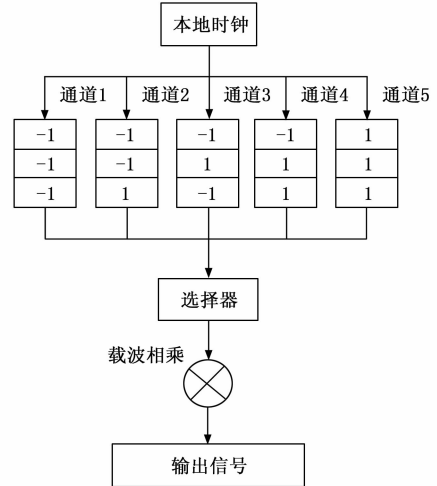


图 4 基于 5 通道的解码器同步触发信号调制原理

结合图 4 可知，对相继 0/1 信息比特流进行串行和并行变换，每 3 位为一组，共计包含表 1 中所示的 5 种组合情形。

表 1 同步传输序列对应码片与信息比特流码片关系

通道编号	第 1 组	第 2 组	第 3 组
1	同相	同相	同相
2	同相	同相	正交
3	同相	正交	同相
4	同相	正交	反相
5	正交	正交	正交

正交基于在表 1 中所示的规则，根据当前的信息位包执行多路选择，将传输信息位映射成对应的同步传输序列。在映射过程中，传输的信息位必须被正确地编码，这包括将二进制数据转换成一种特殊的编码，如曼彻斯特码或差分曼彻斯特。这两种编码模式能为接收机提供时钟信息，从而实现接收机与发射机的精确同步。该编码后的信息位随后被映射至同步发送序列，此序列不但含有信息位，也含有同步所需的额外位。为了确保数据的完整且正确，一般会在发送序列中添加帧头和帧尾。帧头含有与数据帧相关的元数据，例如帧长度、类型等。而帧尾则用于验证数据的完整性，通常通过某种校验码来实现。将经变换、处理的同步发射序列调制成适用于发射的信号格式，再经由通信通道将其发射出去。在接收端，通过解调，将其还原

为原始的同步发送信号。

在清晰视频传输的环境中，信号极易受多种干扰及噪声的干扰。调制信号参数整定可以增强信号的抗干扰能力，减少干扰和噪声对信号的影响，提高通信稳定性和可靠性。为此，构建了开环传递函数，真实反映信号传输稳定性，为后续的参数整定提供依据。

在电流调节器的电流参考环节上施加信号振荡电流，公式为：

$$\Delta I_i = SI_i \cos(\omega_i t + \varphi_i) \quad (10)$$

公式 (10) 中， ω_i 、 φ_i 分别表示相应振荡角频率和相位； I_i 表示经过 i 次振荡的电流幅值。由于传输系统在运行点附近呈线性排列的，所以在工作点附近的输电网络是线性的。由此，能够在同一时间应用具有不同频率的干扰电流信号。

对系统进行暂态实验直到处于稳定状态，提取公共周期内的信号振荡电流增量和输送有功功率增量。在此基础上利用数据拟合辨识方法，构建开环传输函数：

$$G(\omega_i t) = \frac{\Delta P_i(\omega_i t)}{\Delta I_i(\omega_i t)} \quad (11)$$

公式 (11) 中， $\Delta P_i(\omega_i t)$ 表示输送有功功率增量。

在此基础上，利用开环传输函数的特点，对解调过程中的增益、相位进行调节，使其具有较高的检波质量。在调制时，通道匹配是必须考虑的。通过调节调制参数，使通道匹配达到最优，降低了传输时的畸变与衰减，由此完成触发信号调制结果的整定。从而保证了在整个传送过程中信号稳定性。

3 实验与分析

3.1 实验设置

实验过程中集成了 NS-2 网络实验平台，用于模拟 D2200 图像编码器的图像高清传输实验系统框图，如图 5 所示。

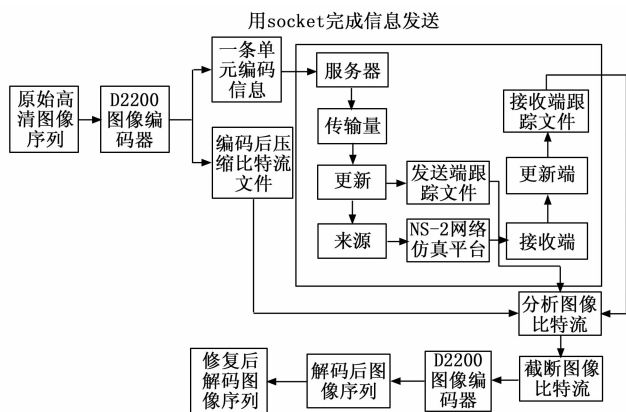


图 5 图像高清传输实验系统框图

对图 5 模块说明，如下所示。

1) D2200 图像编码器：

D2200 图像编码器模块主要由输入接口、编码算法模块、输出接口、控制模块组成，其中输入接口用于接收原

始信源文件，可以是视频、图像或其他类型的信号；编码算法模块负责将输入的原始信源文件进行编码处理，将其转换为适合传输或存储的格式；输出接口负责将编码后的数据输出，可以传输到其他设备或存储介质中。控制模块负责控制整个模块的工作流程，包括输入、编码和输出等环节。

该模块的主要作用是能够实时接收和处理原始信源文件，通过高效的编码算法对数据进行压缩，根据实际需求将原始信源文件转换为不同的格式，以满足不同的应用场景。跟踪记录原始信源文件，并将其转换为适合传输或存储的格式。

2) Socket：

在该模块中，通过使用 Socket 进行信息发送，可以实现多个节点之间的图像传输。这意味着在分布式系统中，可以将图像数据发送到不同的节点进行处理和显示，实现图像传输的扩展性和灵活性。Socket 的参数设置如表 2 所示。

表 2 Socket 的参数设置

参数名称	数值
发送缓冲区大小	64 kB
接收缓冲区大小	128 kB
限制传输速率	1 000 个/s
传输量	8 kB/次
数据传输优先级	TCP 协议的 TOS 字段
发送超时	1 s
接收超时	3 s

3) 服务器：

服务器模块主要由文件存储模块、网络通信模块、单元管理模块、丢包检测与重传模块、控制模块组成，其中文件存储模块用于存储文件，包括读取、写入、删除等功能；网络通信模块是用来与网络通信的，其中包含了传输和接收数据包；单元管理模块负责对文件单元的管理，包括长度、顺序等；丢包检测与重传模块负责检测网络丢包情况，并根据需要进行重传；控制模块负责控制整个模块的工作流程，包括文件存储、网络通信、单元管理等环节。

该模块的主要作用是使文件单元长度与网络最大传输长度一致，通过丢包检测与重传模块及时发现并重传丢失的文件单元，以避免文件传输的错误和丢失。

4) NS-2 网络实验平台：

NS-2 网络实验平台主要由文件接收模块、应用层包分割模块、UDP 包分割模块、发送端跟踪模块组成，其中文件接收模块负责接收来自源端的新文件单元包；应用层包分割模块负责将接收到的文件单元包按照应用层协议进行分割，生成多个应用层包；UDP 包分割模块负责将每个应用层包按照 UDP 协议进行分割，生成多个 UDP 包；发送端跟踪模块负责在发送端对文件进行跟踪，确保文件传输的完整性和顺序性。

该模块的主要作用是模拟各种网络协议在传输过程中的行为，通过模拟文件传输过程，评估网络性能。

5) 图像比特流分析模块：

图像比特流分析模块主要由比特流解析模块、丢失检测模块、聚合前原始单元丢失分析模块组成，其中比特流解析模块：负责解析图像比特流，提取其中的数据和参数集；丢失检测模块：通过网络传送，检测 UDP 数据包的丢包；聚合前原始单元丢失分析模块：判断初始 NAL 单元在聚合之前缺失情况。

在图 5 所示的图像高清传输编码器同步触发过程中，会产生 OFDM、BPSK、QPSK、FSK、QAM 共 5 种信号。为了使实验更具有可靠性，在信号中添加了信噪比由 0 逐渐增加到 25 dB 的高斯白噪声，其中将 0~5 dB 的信噪比视为低信噪比，将 5~25 dB 的信噪比视为高信噪比。

解码器同步触发信号受到噪声干扰时，会导致图像信号的失真，噪声失真表现为图像的细节模糊，以某市山区的 220 kV 变电站为研究对象，信号失真后的图像如图 6 所示。



图 6 信号失真后的图像

噪声信号会叠加在原始的触发信号上，导致触发信号的幅度、频率等参数发生变化。噪声信号的不规则性会导致触发信号的抖动，使得解码器在同步过程中出现偏差，进而导致图像信号的失真。当解码器接收到带有噪声的触发信号时，它可能会误判图像信号的某些部分，导致图像的细节模糊。由图 6 可知，信号失真后导致图像模糊且有噪点。

3.2 结果与分析

为了证明通过面向图像高清传输的解码器同步触发信号调制技术，可以实现对高清图像的传输和解码。设定实验参数如表 3 所示。

表 3 实验参数

参数	说明及数值	
图像编码模块	D2200 图像编码器	压缩比为 50
信号调制模块	5 通道	调制深度为 16
采样率	44.1 kHz	
帧率	30 fps	
信道传输模块	模拟多径信道	添加高斯白噪声,信号功率为 0 dB,信道衰减为 0.5
信道接收模块	进行时钟恢复和频率同步处理	
信号解调模块	开环传输函数	
图像解码模块	将接收到的信号解码为图像	

在上述参数设定下进行多次调制实验，取 5 次平均结果如表 4 所示。

表 4 调制效果分析

实验编号	时间偏移 / μ s	噪声/dB	参数设置	多径信道	传输速率 /Mbps	解码成功率/%
1	0	-10	默认	稳定	100	95
2	5	-10	默认	稳定	100	90
3	0	-20	默认	稳定	100	85
4	0	-10	参数优化	稳定	150	97
5	0	-10	默认	不稳定	100	80

表 4 中，默认表示使用默认的图像编码模块、信号调制模块参数；参数优化表示对上述两个模型参数进行优化调整。优化前后的参数为：压缩前图像数据大小：10 MB；压缩后图像数据大小：2 MB；压缩比率：80%；调整前调制方式-16 QAM、调制深度-16；调整后调制方式-64 QAM、调制深度-32。由表 4 可知，时间偏移对解调效果有一定影响。当时间偏移较小时，解码成功率高；当时间偏移增大，解码成功率会降低。噪声对解调效果有较大影响。噪声较大在-20 dB 时，解码成功率明显下降。参数设置的优化能够提高传输性能。通过对均衡器参数进行优化，传输速率和解码成功率都有所提高。多径信道的不稳定性对传输性能有较大影响。在不稳定的多径信道条件下，解码成功率明显降低。综上所述，面向图像高清传输的解码器同步触发信号调制技术通过综合考虑时间偏移、噪声、参数设置和多径信道 4 项因素对调制效果的影响，并针对这些因素进行相应的优化和调整，提高了传输性能和解码成功率。

为了验证所研究技术的合理性，设置了两种实验情况。

情况一：高斯白噪声信噪比由 0 逐渐增加到 5 dB；

在该信噪比情况下分析 OFDM、BPSK、QPSK、FSK、QAM5 种信号的调制结果，如表 5 所示。

表 5 低信噪比下 5 种信号调制结果

信号类型	实际调制范围/dB	理想范围/dB
OFDM	-10~10	-10~10
BPSK	-5.1~5.1	-5~5
QPSK	-24.8~24.8	-25~25
FSK	-30~30	-30~30
QAM	-15~15	-15~15

由表 5 可知，使用所研究技术对 OFDM、QAM 信号实际调制范围与理想范围完全一致，对 BPSK、QPSK 信号实际调制范围与实际范围分别存在 0.1 dB、0.2 dB 的误差。

情况二：高斯白噪声信噪比由 5 dB 逐渐增加到 25 dB；

设置 OFDM、BPSK、QPSK、FSK、QAM5 种信号的理想范围分别是 [-20~20] dB、[-20~20] dB、[-10~10] dB、[-30~30] dB、[-40~40] dB。在该信噪比情况下分析 5 种信号的调制结果，如图 7 所示。

由图 7 可知，OFDM、FSK、QAM 信号调制结果均与

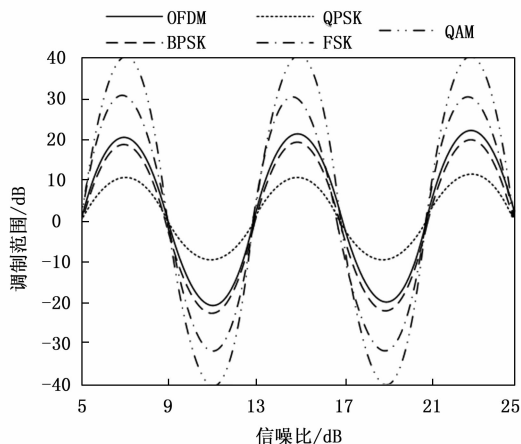


图 7 高信噪比下 5 种信号调制结果

理想调制范围一致, 分别为 $[-20 \sim 20]$ dB、 $[-30 \sim 30]$ dB、 $[-40 \sim 40]$ dB; BPSK 信号调制结果与理想调制范围存在 2 dB 的偏差, 其范围为 $[-18 \sim 18]$ dB; QPSK 调制结果与理想调制范围存在 0.5 dB 的偏差, 其范围为 $[-9.5 \sim 9.5]$ dB。

通过对情况一、二分析结果可知, 当高斯白噪声信噪比由 0 逐渐增加到 5 dB 时, 使用所研究技术调制的结果与理想范围基本一致, 最大误差仅为 0.2 dB; 当高斯白噪声信噪比由 5 dB 逐渐增加到 25 dB 时, 使用所研究技术调制的结果与理想范围存在一定偏差, 最大误差仅为 2 dB。这是因为所提技术利用 DDS 数字合成理论实现符号速率的自由控制, 能够调整信号的频率和相位, 从而优化信号质量和抵抗噪声干扰。使得所提调制技术产生的偏差较低, 并不影响最终图像解码效果。

为了进一步验证所研究方法有效性, 将基于调制 m 序列的信号调制方法、基于被动时间反转-自编码器的信号调制识别方法、非线性差分编码、多径信道下的信号调制方法与所研究调制技术的解码后的图像对比分析, 对比结果如图 8 所示。该实验过程中, 所研究方法的参数为表 3 以及调整后的图像编码模块、信号调制模块参数。4 种对比方法的参数采取其实验过程中的最优参数, 如基于被动时间反转-自编码器的信号调制识别方法的参数为网络模型训练过程中, 采样率 96 kHz, 除 OFDM 和探测信号外, 其他信号的时长均为 20 ms, 训练集中探测信号选用 LFM 信号, 时长为 50 ms。此处不一一列举。

由图 8 可知, 使用基于调制 m 序列的信号调制方法获取的图像细节模糊、存在少量噪点; 使用基于被动时间反转-自编码器的信号调制识别方法获取的图像细节更加模糊且存在大量噪点; 使用非线性差分编码的图像细节相对清晰, 但存在大量噪点; 使用多径信道下的信号调制方法获取的图像边缘、细节均模糊、存在少量噪点。上述这 4 种方法均无法有效调制信号, 无法获取高清图像。而使用所研究技术通过 FPGA 对 SRAM 的并发控制, 可以确保数据访问的同步性和一致性, 避免数据冲突或数据不一致的

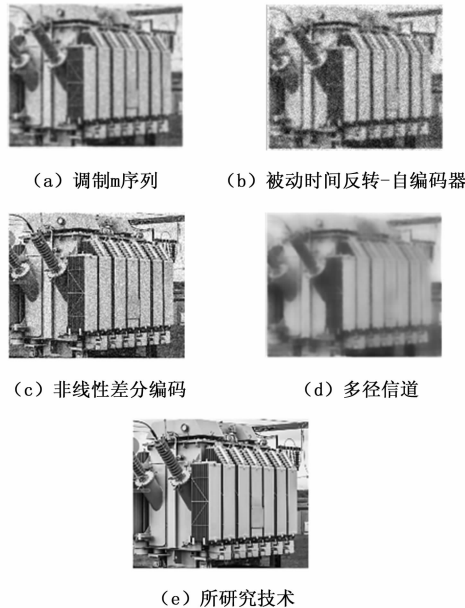


图 8 不同方法解码后图像对比分析

问题。这有助于保持信号的准确性和完整性, 进而提高图像的清晰度。

通过上述分析结果可知, 所研究技术在不同信噪比下均能获取高清图像, 说明使用该技术具有高效调制效果。

4 结束语

为了保证图像高清传输中的图像清晰, 提出了一种基于 FPGA 平台的面向图像高清传输解码器同步触发信号调制技术。实验结果表明, 所提技术通过利用 FPGA 的并行处理能力和可配置性, 实现了高效的信号调制和解调, 显著提高了图像传输的质量和实时性。同时, 该技术通过信号调制定方法, 提高了信号的传输质量和效率。同时, 该技术还具有适应性强、易于实现等优势, 可以广泛应用于各种图像高清传输系统。

参考文献:

- [1] 曾凌川, 白 燕, 卢晓春, 等. 一种基于调制 m 序列的直接序列扩频信号调制方法 [J]. 电子与信息学报, 2021, 43 (8): 2156-2164.
- [2] 胡雅琳, 付晓梅, 暴纪欣, 等. 基于被动时间反转-自编码器的水声通信信号调制识别方法 [J]. 厦门大学学报 (自然科学版), 2023, 62 (4): 590-597.
- [3] YAMAMOTO S, TANIGUCHI H, NAKAMURA M, et al. Nonlinear differential coding for spectral shaping of PAM signal in high-baudrate short-reach optical transmission [J]. Journal of Lightwave Technology: A Joint IEEE/OSA Publication, 2021, 39 (4): 1064-1071.
- [4] ZHANG J, HU S, DU Z, et al. Deep learning-based digital signal modulation identification under different multipath channels [J]. IET Communications, 2021, 15 (2) 1950-1962.

(下转第 328 页)