

ICB 协议说明文档

1. 概述

ICB (Internal Chip Bus) 是 RISC-V 蜂鸟处理器设计使用的总线协议。ICB 的设计初衷是为了结合 AXI 和 AHB 的优点，兼顾高速性和易用性。因此，ICB 协议支持流水线设计，**命令与返回通道分离**，每次传输至少需要消耗一个时钟周期，支持**连续传输**。对于低功耗处理器而言，ICB 总线能够被用于几乎所有的相关场合，包括作为内部模块之间的接口，SRAM 模块接口，低速设备总线，系统存储总线等等。

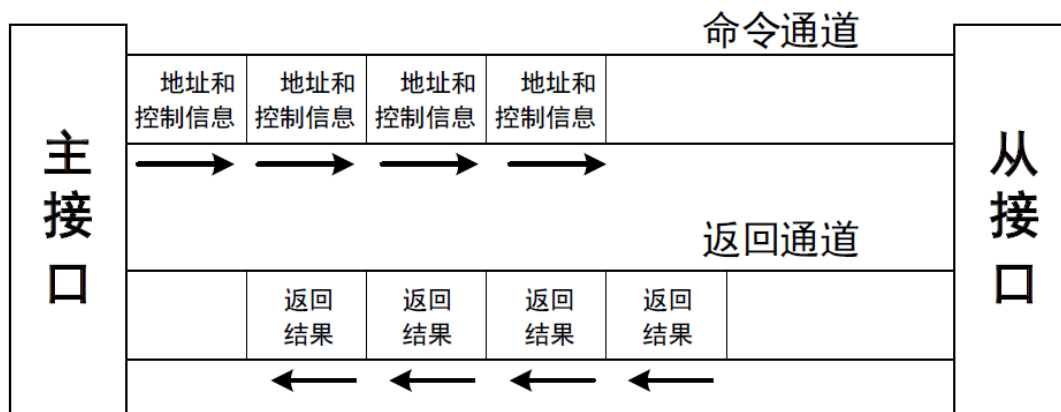


图 1 ICB 总线通道结构

1.1 特点总结

- 读写操作共用地址通道，共用结果返回通道，控制简单
- 地址和数据阶段分离
- 支持任意主从数目：一主一从，一主多从，多主一从……
- 每个读写操作都会在地地址通道上产生地址
- 支持非对齐访问，使用 mask 来控制部分写操作
- 支持多个滞外交易
- 结果顺序返回
- 支持高频时序，便于添加流水线级数
- 协议简单，已于桥接转换

2. 信号

ICB 总线主要包含 2 个通道，其信号及含义如下图所示，下图的方向是依据主设备决定，从设备的方向与主设备相反。

- 命令通道 (Command Channel): 主要用于主设备向从设备发起读写请求。
- 返回通道 (Response Channel): 主要用于从设备向主设备返回读写结果。

通道	方向	宽度	信号名	介绍
Command Channel	Output	1	icb_cmd_valid	主设备向从设备发送读写请求信号
	Input	1	icb_cmd_ready	从设备向主设备返回读写接受信号
	Output	32	icb_cmd_addr	读写地址
	Output	1	icb_cmd_read	读或是写操作的指示。读则以总线宽度（譬如 32 位）为单位读回一个数据。写则靠字节掩码 (icb_cmd_wmask) 控制写数据的大小 (Size)。
	Output	32	icb_cmd_wdata	写操作的数据，数据的摆放格式与 AXI 协议一致
	Output	4	icb_cmd_wmask	写操作的字节掩码，掩码的摆放格式与 AXI 协议一致
Reponse Channel	Input	1	icb_rsp_valid	从设备向主设备发送读写反馈请求信号
	Output	1	icb_rsp_ready	主设备向从设备返回读写反馈接受信号
	Input	32	icb_rsp_rdata	读反馈的数据，数据的摆放格式与 AXI 协议一致
	Input	1	icb_rsp_err	读或者写反馈的错误标志

图 2 ICB 总线信号

注 1: 上图中数据位宽并非固定在 32 位，可修改，本实验使用的为 32 为数据位宽。

注 2: 关于 wmask 的意思，以数据位宽 32 位为例（4 个字节，假定数据为 32'h11223344），其对应的 mask 位宽为 4bit，换句话说，每一 bit 用来指示写数据的其中一个字节是否会写入从机。我们假定 0 表示会写入（写数据不被 mask），1 表示不会写入（写数据被 mask）。如果 mask=0000，那么发送给从设备的写数据就是 11223344；如果 mask=1100，那么发送给从设备的数据就是 00003344；依次类推。

注 3: 其中的 ready 和 valid 信号是基本的握手信号，简单来说，ready 表示从设备已经做好准备接受主设备的请求；valid 表示主设备已经可以发送一个请求给从设备。当这两者都为高时，表示一次握手成功。反馈通道的 rsp_valid 和 rsp_ready 也是类似的道理。在同一对 valid & ready 握手信号对中，ready 信号的变化可依赖于 valid 信号的变化，valid 信号的变化必须独立决定，不可依赖于 ready 信号。

注 4: icb_rsp_err 是用来反映传输、从设备本身是否出现错误的信号，对于不支持该功能的从设备，将 icb_rsp_err 始终拉低即可。

3. 传输时序

由于 ICB 总线命令通道与返回通道分离，同时支持多个置外交易，其传输时序非常丰富。下面介绍几种典型时序，除下方列出时序外，ICB 总线同样支持读操作同一周期返回结果，有等待的读、写操作等时序。

3.1 写操作同一周期返回结果

- 在 clk 上升沿，主设备准备好要写入的数据(icb_cmd_wdata)和地址(icb_cmd_addr)，向

- 从设备通过命令通道发送写操作请求 (icb_cmd_read 为低)
- 从设备立即接收该请求 (icb_cmd_ready 为高)。从设备在同一个周期返回读结果且结果正确 (icb_rsp_err 为低)，主设备立即接收该结果 (icb_rsp_ready 为高)。

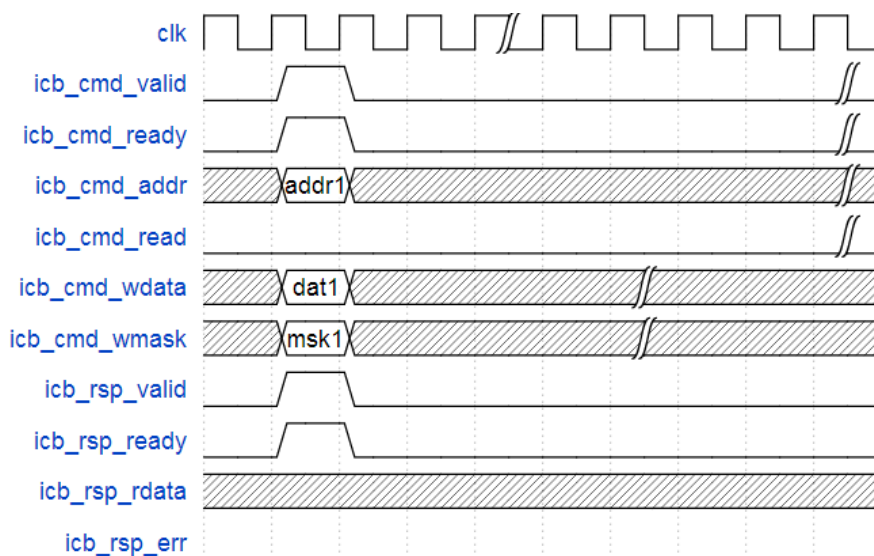


图 3 写操作同一周期返回结果

3.2 写操作下一周期返回结果

- 在第一个 clk 上升沿，主设备准备好要写入的数据 (icb_cmd_wdata) 和地址 (icb_cmd_addr)，向从设备通过 ICB 的 Command Channel 发送写操作请求 (icb_cmd_read 为低)。从设备立即接收该请求 (icb_cmd_ready 为高)。
- 在第二个 clk 周期，从设备返回写结果且结果正确 (icb_rsp_err 为低)，主设备立即接收该结果 (icb_rsp_ready 为高)。

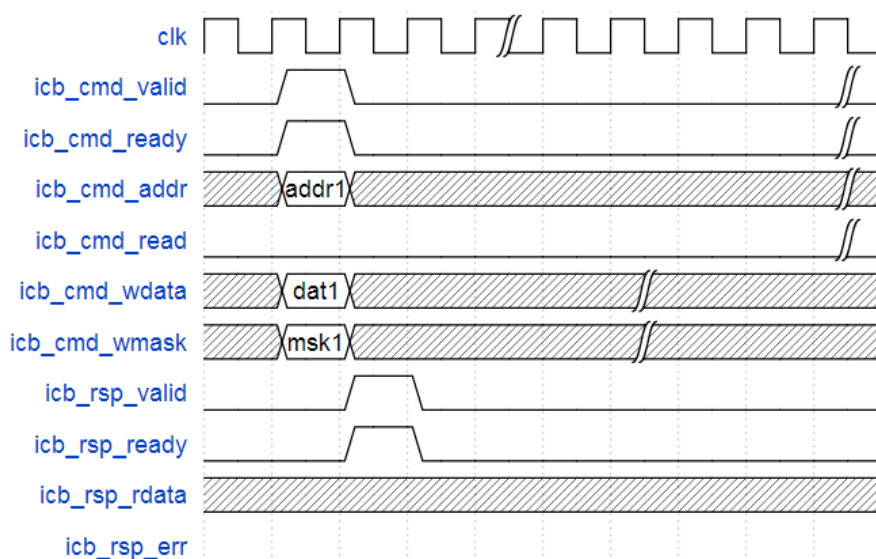


图 4 写操作下一周期返回结果

3.3 写操作若干周期返回结果

- 在第一个 clk 上升沿，主设备准备好要写入的数据(icb_cmd_wdata)和地址(icb_cmd_addr)，向从设备通过 ICB 的 Command Channel 发送写操作请求 (icb_cmd_read 为低)。从设备立即接收该请求 (icb_cmd_ready 为高)。
- 若干周期后，从设备返回写结果且结果正确 (icb_rsp_err 为低)，主设备立即接收该结果 (icb_rsp_ready 为高)。

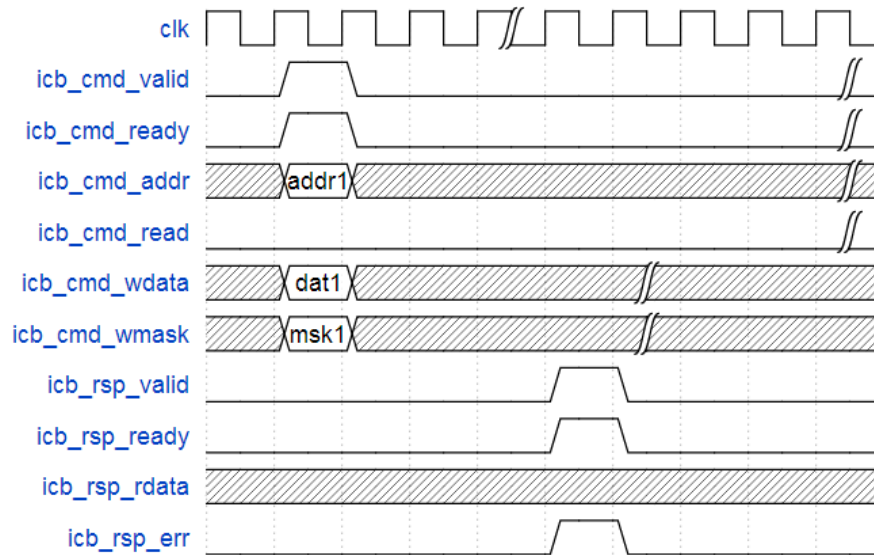


图 5 写操作若干周期后返回结果

3.4 连续写操作

- 在第一个 clk 上升沿，主设备准备好要写入的数据(icb_cmd_wdata)和地址(icb_cmd_addr)，向从设备通过 ICB 的 Command Channel 发送写操作请求 (icb_cmd_read 为低)。从设备立即接收该请求 (icb_cmd_ready 为高)。
- 若干周期后 (0-N 个周期)，从设备连续返回四个写结果，其中前三个结果正确 (icb_rsp_err 为低)，第四个结果错误 (icb_rsp_err 为高)，主设备均立即接收此四个结果 (icb_rsp_ready 为高)。
- 当命令通道连续发送的请求时，并不要求返回通道返回的结果也连续发送。

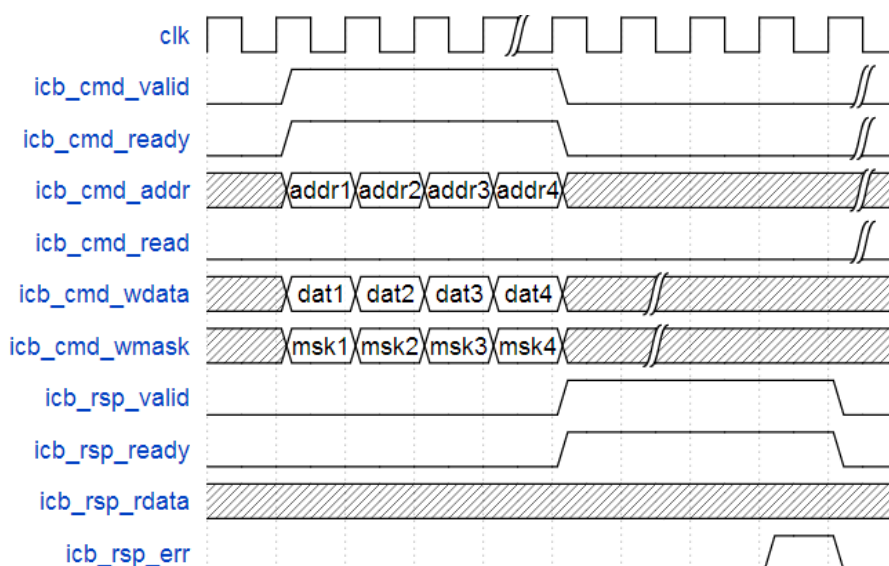


图 6 连续写操作

3.5 读操作下一周期返回结果

- 在第一个 clk 上升沿，主设备准备好要读取数据的地址(icb_cmd_addr)，向从设备通过 ICB 的 Command Channel 发送读操作请求 (icb_cmd_read 为高)。从设备立即接收该请求 (icb_cmd_ready 为高)。
- 在第二个 clk 周期，从设备返回读取的数据(icb_rsp_rdata)且结果正确 (icb_rsp_err 为低)，主设备立即接收该结果 (icb_rsp_ready 为高)。

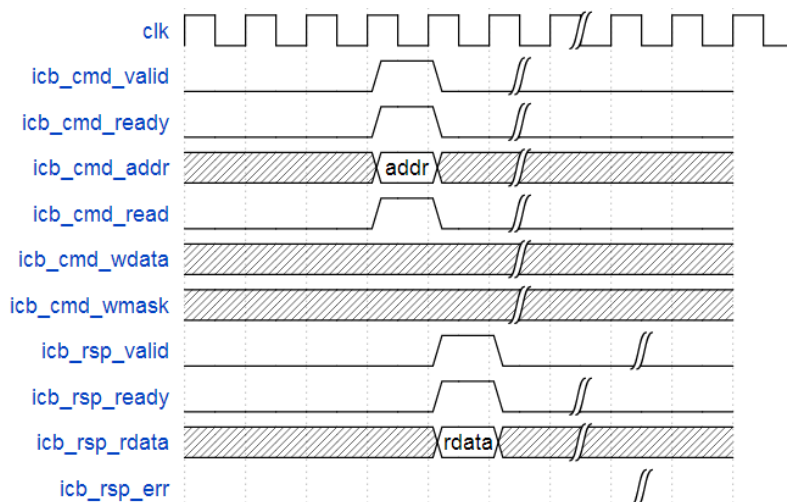


图 7 读操作下一周期返回结果

3.6 读操作若干周期返回结果

- 在第一个 clk 上升沿，主设备准备好要读取数据的地址(icb_cmd_addr)，向从设备通过 ICB 的 Command Channel 发送读操作请求 (icb_cmd_read 为高)。从设备立即接收该请求 (icb_cmd_ready 为高)。
- 若干周期后，从设备返回读取的数据(icb_rsp_rdata)且结果正确 (icb_rsp_err 为低)，

主设备立即接收该结果（icb_rsp_ready 为高）。

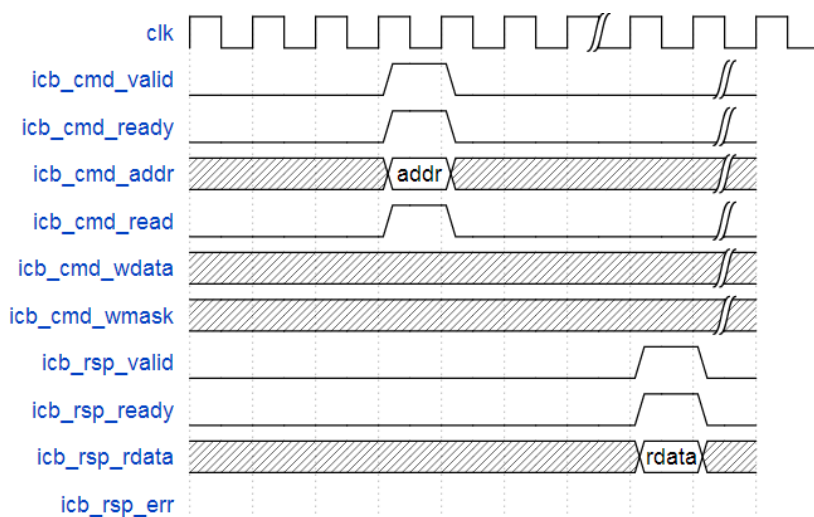


图 8 读操作若干周期返回结果

3.7 连续读操作

- 在第一个 clk 上升沿，主设备准备好要读取数据的地址(icb_cmd_addr)，向从设备通过 ICB 的 Command Channel 发送读操作请求（icb_cmd_read 为高）。从设备立即接收该请求（icb_cmd_ready 为高）。
- 若干周期后（0-N 个周期），从设备连续返回四个读数据及结果，其中前三个结果正确（icb_rsp_err 为低），第四个结果错误（icb_rsp_err 为高），主设备均立即接收此四个结果（icb_rsp_ready 为高）。
- 当命令通道连续发送的请求时，并不要求返回通道返回的结果也连续发送。

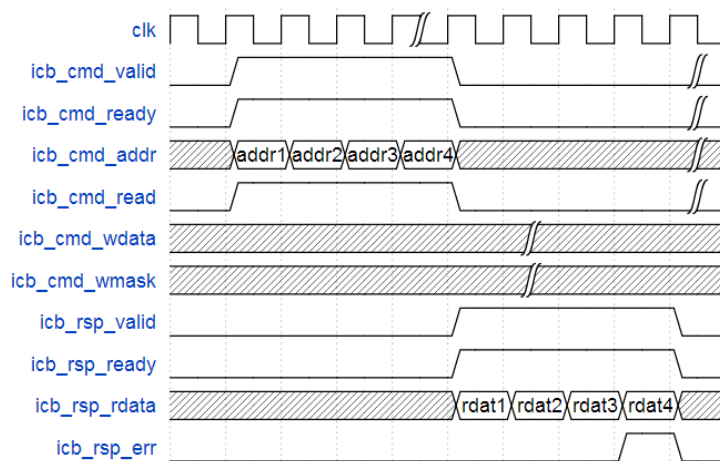


图 9 连续读操作

3.8 读写混合操作

- 主设备向从设备通过 ICB 的命令通道相继连续发送三个读和写操作请求。
- 从设备立即接受了第一个写请求并在同一个周期就返回结果且被主设备立即接受
- 从设备对第二个读请求并没有立即在第一个周期接受（icb_cmd_ready 为低），因此主

设备一直将地址控制保持不变，直到下一周期该请求被从设备接受（icb_cmd_ready 为高）。在接收读请求后，从设备立即返回读数据并被主设备立即接受。

- 从设备立即接收了第三个请求。下一个周期才返回结果，并且主设备还没有立即接受（icb_rsp_ready 为低），因此从设备一直将返回信号保持不变，知道下一周期该返回结果被主设备接受。

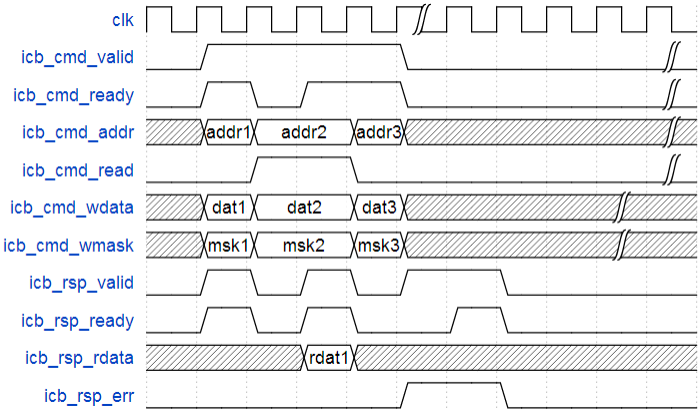


图 10 读写混合操作