

Rockchip DDR DQ 眼图工具指南

文件标识: RK-YH-YF-167

发布版本: V1.2.0

日期: 2023-03-23

文件密级: 绝密 秘密 内部资料 公开

免责声明

本文档按“现状”提供, 瑞芯微电子股份有限公司 (“本公司”, 下同) 不对本文档的任何陈述、信息和内容的准确性、可靠性、完整性、适销性、特定目的性和非侵权性提供任何明示或暗示的声明或保证。本文档仅作为使用指导的参考。

由于产品版本升级或其他原因, 本文档将可能在未经任何通知的情况下, 不定期进行更新或修改。

商标声明

“Rockchip”、“瑞芯微”、“瑞芯”均为本公司的注册商标, 归本公司所有。

本文档可能提及的其他所有注册商标或商标, 由其各自所有者所有。

版权所有 © 2023 瑞芯微电子股份有限公司

超越合理使用范畴, 非经本公司书面许可, 任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部, 并不得以任何形式传播。

瑞芯微电子股份有限公司

Rockchip Electronics Co., Ltd.

地址: 福建省福州市铜盘路软件园A区18号

网址: www.rock-chips.com

客户服务电话: +86-4007-700-590

客户服务传真: +86-591-83951833

客户服务邮箱: fae@rock-chips.com

前言

概述

Rockchip DDR DQ 眼图工具提供了在 U-Boot 下输入命令查看各 DQ 读写眼图的功能。

产品版本

芯片名称	软件版本
RV1126	U-Boot 2017.09
RK3568/RK3566	U-Boot 2017.09/DDR Bin V1.16
RK3562	DDR Bin V1.04
RK3528	DDR Bin V1.04
RK3588	DDR Bin V1.10

读者对象

本文档（本指南）主要适用于以下工程师：

硬件工程师

技术支持工程师

软件开发工程师

修订记录

版本号	作者	修改日期	修改说明
V1.0.0	姚旭伟	2021-03-05	初始版本
V1.1.0	姚旭伟	2022-11-07	明确支持本功能的 DDR bin 版本。 RV1126 平台需要 V1.09 或以上， RK3568/RK3566 平台需要 V1.07 或以上。 将 RK356x 的表述明确为 RK3568/RK3566。
V1.2.0	汤云平	2023-3-23	增加RK3566/RK3568/RK3588/RK3562/RK3528 2D眼图工具使用说明

目录

Rockchip DDR DQ 眼图工具指南

1. 一维眼图的获取
 - 1.1 支持的平台
 - 1.2 使用方法
 - 1.2.1 前期准备
 - 1.2.2 U-Boot 下查看 DDR DQ 读写眼图
 - 1.2.3 输出结果分析
 - 1.3 DDR DQ 最小眼宽限制
 - 1.3.1 RV1126 DDR DQ 最小眼宽限制值
 - 1.3.2 RK3568/RK3566 DDR DQ 最小眼宽限制值
2. 二维眼图的获取
 - 2.1 支持的平台
 - 2.2 使用方法
 - 2.2.1 输出结果分析
 - 2.3 DDR DQ最小眼宽限制
 - 2.3.1 RK3588
 - 2.3.2 RK3562/RK3528/RK3566/RK3568

1. 一维眼图的获取

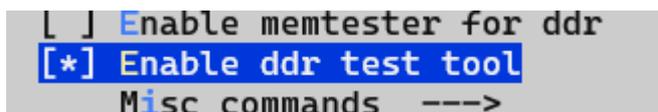
1.1 支持的平台

RV1109、RV1126、RK3566、RK3568、RK3528、RK3562

1.2 使用方法

1.2.1 前期准备

1. 确认 DDR bin 版本（RV1126 平台需要 V1.09 或以上，RK3568/RK3566 平台需要 V1.07 或以上），如果版本太旧请更新 rkbin 工程
2. 编译 U-Boot 工程前，在工程根目录下打开 menuconfig，进入 Command line interface，配置 Enable ddr test tool 并保存编译配置（Rockchip DDR DQ 眼图工具集成在 DDR Test Tool 中）。



3. 编译 U-Boot 工程并烧写编好的 Loader 和 uboot（具体请参考 UBOOT 文档中“编译烧写”相关章节）。
4. 将待测单板的串口连接至上位机，确保单板与上位机可以通过串口正常通信。单板开机时，上位机长按 Ctrl + C 让单板停留在 U-Boot（出现“<INTERRUPT>”说明单板已停留在 U-Boot）。

```
hclk_top 150000 KHz
pclk_top 100000 KHz
aclk_perimid 300000 KHz
hclk_perimid 150000 KHz
pclk_pmu 100000 KHz
Net: eth0: ethernet@fe010000
Hit key to stop autoboot('CTRL+C'): 0
=> <INTERRUPT>
=> <INTERRUPT>
=> <INTERRUPT>
```

1.2.2 U-Boot 下查看 DDR DQ 读写眼图

U-Boot 下输入命令

```
ddr_dq_eye <DDR frequency in MHz>
```

参数 <DDR frequency in MHz> 指定需要查看 DQ 眼图的 DDR 时钟频率，单位为 MHz，留空时默认为最高频率。

- 例：查看 DDR 时钟频率为 1056MHz 时的 DQ 眼图，U-Boot 下输入命令

```
ddr_dq_eye 1056
```

- 例：查看 DDR 最高时钟频率时的 DQ 眼图，U-Boot 下输入命令

```
ddr_dq_eye
```

1.2.3 输出结果分析

```
=> <INTERRUPT>
=> ddr_dq_eye
Rockchip DDR DQ Eye Tool v0.0.4
DDR type: DDR3
CS0 1056MHz read DQ eye:
 0  4  8 12 16 20 24 28 32 36 40 44 48 52 56 60  Margin_L Sample Margin_R Width  DQS
DQ0 -----|----- 6 13 6 [ 13] 17
DQ1 --*****|***** 10 12 11 22 17
DQ2 --*****|***** 10 12 11 22 17
DQ3 --*****|***** 10 12 11 22 17
DQ4 --*****|***** 10 11 11 22 17
DQ5 --*****|***** 11 12 11 23 17
DQ6 --*****|***** 10 13 10 21 17
DQ7 --*****|***** 11 12 11 23 17
DQ8 --*****|***** 11 13 11 23 17
DQ9 --*****|***** 10 12 11 22 17
DQ10 --*****|***** 11 13 11 23 17
DQ11 --*****|***** 11 13 11 23 17
DQ12 --*****|***** 11 13 11 23 17
DQ13 --*****|***** 11 13 11 23 17
DQ14 --*****|***** 11 13 11 23 17
DQ15 --*****|***** 11 13 11 23 17
DQ16 --*****|***** 11 14 11 23 18
DQ17 --*****|***** 11 14 11 23 18
DQ18 --*****|***** 10 13 11 22 18
DQ19 --*****|***** 11 13 11 23 18
DQ20 --*****|***** 11 14 11 23 18
DQ21 --*****|***** 10 12 11 22 18
DQ22 --*****|***** 11 14 11 23 18
DQ23 --*****|***** 10 14 11 22 18
DQ24 --*****|***** 11 12 11 23 17
DQ25 --*****|***** 11 13 11 23 17
DQ26 --*****|***** 10 12 11 22 17
DQ27 --*****|***** 10 12 11 22 17
DQ28 --*****|***** 10 12 11 22 17
DQ29 --*****|***** 11 12 11 23 17
DQ30 --*****|***** 10 12 11 22 17
DQ31 --*****|***** 11 13 11 23 17

CS0 1056MHz write DQ eye:
 0  4  8 12 16 20 24 28 32 36 40 44 48 52 56 60  Margin_L Sample Margin_R Width  DQS
DQ0 -----|----- 11 31 12 24 36
DQ1 -----|----- 11 33 12 24 36
DQ2 -----|----- 11 31 12 24 36
DQ3 -----|----- 11 33 11 23 36
DQ4 -----|----- 11 32 12 24 36
DQ5 -----|----- 11 32 12 24 36
DQ6 -----|----- 11 32 12 24 36
DQ7 -----|----- 11 31 12 24 36
DQ8 -----|----- 11 26 12 24 29
DQ9 -----|----- 11 25 12 24 29
DQ10 -----|----- 11 25 12 24 29
DQ11 -----|----- 11 25 12 24 29
DQ12 -----|----- 11 25 12 24 29
DQ13 -----|----- 11 25 11 23 29
DQ14 -----|----- 11 26 11 23 29
DQ15 -----|----- 11 25 12 24 29
DQ16 -----|----- 11 35 11 23 38
DQ17 -----|----- 11 34 12 24 38
DQ18 -----|----- 11 33 12 24 38
DQ19 -----|----- 11 33 12 24 38
DQ20 -----|----- 11 34 12 24 38
DQ21 -----|----- 11 34 11 23 38
DQ22 -----|----- 11 35 11 23 38
DQ23 -----|----- 11 34 12 24 38
DQ24 -----|----- 11 25 12 24 28
DQ25 -----|----- 11 25 12 24 28
DQ26 -----|----- 11 25 11 23 28
DQ27 -----|----- 11 24 11 23 28
DQ28 -----|----- 11 24 11 23 28
DQ29 -----|----- 11 25 11 23 28
DQ30 -----|----- 11 25 12 24 28
DQ31 -----|----- 11 25 11 23 28

DQ eye width min: 13(read), 23(write)
DQ eye width limit: 14(read), 14(write) in 1056MHz
DQ eye width may be unreliable, please check!
```

- 工具首先输出工具版本、DDR 类型、频率等信息

- 工具分别输出各 CS 的读眼图与写眼图
- 输出眼图图形中，“-”标记的位置位于眼图外，“*”标记的位置位于眼图内，“|”标记的位置为采样点
- 眼图图形右边显示了采样点距离眼图左右边界的裕量（Margin_L、Margin_R）、采样点位置（Sample）、眼宽（Width）等信息，方括号标记的为不满足最小眼宽限制的眼宽（如图中读眼图 DQ0）
- 工具最后输出了读眼图和写眼图的最小眼宽，以及最小眼宽限制值（选取相近的频率）

1.3 DDR DQ 最小眼宽限制

根据 DEMO 测试和相关项目经验，本文档对 DDR DQ 的最小读写眼宽做出了相应的限制。如果最小读写眼宽不满足此限制值，DDR 的运行可能不稳定。

满足 DDR DQ 最小眼宽限制只能说明当前设计下 DDR DQ 眼宽大小较为可靠，不代表 DDR 的相关设计一定不存在其它问题，请根据实际使用需求做进一步的可靠性测试。

1.3.1 RV1126 DDR DQ 最小眼宽限制值

DDR 类型	DDR 时钟频率	最小读眼宽限制值	最小写眼宽限制值
LPDDR4	1056MHz	12	13
LPDDR4	924MHz	15	15
DDR4	1056MHz	13	9
DDR4	924MHz	15	11
LPDDR3	1056MHz	15	13
LPDDR3	924MHz	16	15
DDR3	1056MHz	14	14
DDR3	924MHz	17	17

1.3.2 RK3568/RK3566 DDR DQ 最小眼宽限制值

DDR 类型	DDR 时钟频率	最小读眼宽限制值	最小写眼宽限制值
LPDDR4	1560MHz	25	24
LPDDR4	1184MHz	30	29
DDR4	1560MHz	30	22
DDR4	1184MHz	32	26
LPDDR3	1184MHz	34	25
LPDDR3	1056MHz	39	28
DDR3	1184MHz	32	31
DDR3	1056MHz	39	34

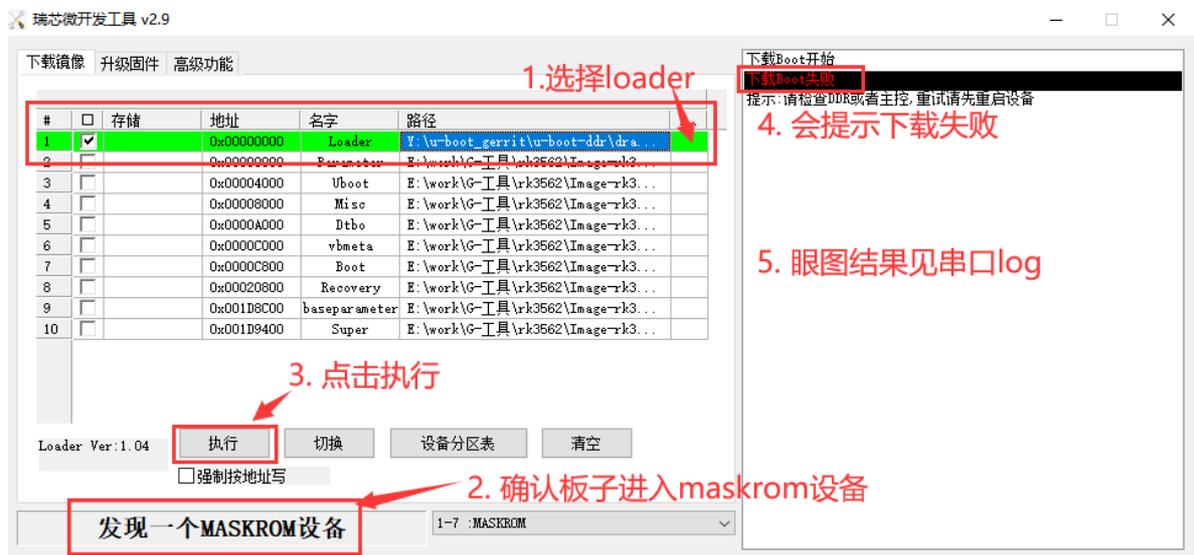
2. 二维眼图的获取

2.1 支持的平台

RK3528、RK3562、RK3566、RK3568、RK3588

2.2 使用方法

- Loader需要使用rkbin/bin/rkxx目录（与常规ddrbin同目录）下带eyescan后缀的ddrbin（如rkbin/bin/rk35/rk3568_ddr_1560MHz_eyescan_v1.16.bin）自行合成完整Loader使用。Loader的合成方法详见文档：Rockchip-Developer-Guide-DDR-CN.pdf。
- 如需要其他频率的ddrbin，可使用rkbin/tools/ddrbin_tool修改ddrbin频率，再合成Loader使用。ddrbin_tool的使用方法详见rkbin/tools/ddrbin_tool_user_guide.txt。
- 进入maskrom状态，通过下载工具下载loader到板子中。结果会通过串口输出。loader扫描完DDR 2D眼图后会自动停下，所以会提示下载失败。



- 如果是loader状态下烧写会烧写成功，每次开机都会扫描完2D眼图后停止，结果同样是通过串口输出。开机无法正常进入系统，需要进入maskrom设备烧写普通loader恢复。

2.2.1 输出结果分析

- 每个step单位在眼图log最开始处有打印出，单位为fs即0.001ps。例如下图第一行Unit: 1901fs，则每个step为1.901ps。

```
Unit: 1901 fs
scan ch[0]:
cs0 result:
rxvref:16.6%-39.3%-65.3%
rx all dq, max_eye vref:37.8%[96]:
  vref 57.8%:-----*****|-----[-5 ~ -1 ~ 3(8)]
  vref 55.3%:-----*****|-----[-38 ~ -7 ~ 23(61)]
  vref 52.8%:-----*****|-----[-39 ~ -5 ~ 28(67)]
  vref 50.3%:-----*****|-----[-41 ~ -5 ~ 31(72)]
  vref 47.8%:-----*****|-----[-44 ~ -5 ~ 34(78)]
  vref 45.3%:-----*****|-----[-47 ~ -5 ~ 37(84)]
  vref 42.8%:-----*****|-----[-50 ~ -5 ~ 40(90)]
+vref 40.3%:-----*****|-----[-52 ~ -4 ~ 43(95)]
* vref 37.8%:-----*****|-----[-50 ~ -2 ~ 46(96)]
  vref 35.3%:-----*****|-----[-47 ~ -2 ~ 43(90)]
  vref 32.8%:-----*****|-----[-45 ~ -2 ~ 40(85)]
  vref 30.3%:-----*****|-----[-42 ~ -1 ~ 39(81)]
  vref 27.8%:-----*****|-----[-39 ~ -2 ~ 34(73)]
  vref 25.3%:-----*****|-----[-35 ~ -3 ~ 28(63)]
  vref 22.8%:-----*****|-----[-31 ~ -4 ~ 23(54)]
  vref 20.3%:-----*****|-----[-28 ~ -6 ~ 16(44)]
  vref 17.8%:-----*****|-----[-22 ~ -7 ~ 8(30)]
```

- 上图为所有DQ累加的眼图结果，部分平台有该结果打印。
- 左侧vref为对应该参考电压下的眼宽情况，vref前的'*'表明该参考电压下的眼宽最宽，'+'为当前固件所使用的参考电压。Vref取值并非准确取值，实际内部取值会是最接近该值的可配置值，例如上图的26.6%实际内部可配置值是26.8%的话，则实际生效值是26.8%。
- 中间眼宽部分'-'为无效相位点。'*'为有效相位点。'|'为默认采样点。
- 右侧[]中的数据从左到右分别为左侧眼宽边界，中间值，右侧眼宽边界，总眼宽宽度。

```
rx dq0, max_eye vref:41.1%[97]:
  vref 60.3%:-----*****|-----[-7 ~ -4 ~ -1(6)]
  vref 57.9%:-----*****|-----[-28 ~ 2 ~ 32(60)]
  vref 55.5%:-----*****|-----[-30 ~ 3 ~ 36(66)]
  vref 53.1%:-----*****|-----[-31 ~ 4 ~ 39(70)]
  vref 50.7%:-----*****|-----[-34 ~ 3 ~ 41(75)]
  vref 48.3%:-----*****|-----[-36 ~ 5 ~ 47(83)]
  vref 45.9%:-----*****|-----[-38 ~ 5 ~ 48(86)]
  vref 43.5%:-----*****|-----[-39 ~ 6 ~ 51(90)]
+*vref 41.1%:-----*****|-----[-44 ~ 4 ~ 53(97)]
  vref 38.7%:-----*****|-----[-44 ~ 3 ~ 50(94)]
  vref 36.3%:-----*****|-----[-41 ~ 3 ~ 47(88)]
  vref 33.9%:-----*****|-----[-39 ~ 2 ~ 44(83)]
  vref 31.5%:-----*****|-----[-35 ~ 2 ~ 40(75)]
  vref 29.1%:-----*****|-----[-31 ~ 3 ~ 37(68)]
  vref 26.7%:-----*****|-----[-30 ~ 2 ~ 35(65)]
  vref 24.3%:-----*****|-----[-26 ~ 3 ~ 32(58)]
  vref 21.9%:-----*****|-----[-23 ~ 1 ~ 25(48)]
  vref 19.5%:-----*****|-----[-18 ~ 2 ~ 23(41)]
  vref 17.1%:-----*****|-----[-15 ~ 1 ~ 17(32)]
```

- 上图为单个DQ眼图结果，打印格式与所有DQ累加的结果一样。

```

cs0 RD:
max eye:
left : -42  -42  -44  -46  -39  -44  -44  -39 ,  -45  -44  -47  -44  -46  -47  -44  -49
mid  : 0  0  -2  -4  1  -2  -3  0 ,  3  3  0  3  3  1  2  -1
right: 41  43  39  38  42  40  38  40 ,  51  51  48  51  52  50  49  47
range: 83  85  83  84  81  84  82  79 ,  96  95  95  95  98  97  93  96

current eye:
left : -39  -44  -44  -43  -39  -44  -41  -39 ,  -44  -43  -45  -41  -45  -46  -40  -47
mid  : 0  -1  -2  -1  1  -2  0  0 ,  3  4  1  5  3  2  6  0
right: 38  41  39  40  41  40  40  40 ,  51  52  48  52  52  51  52  48
range: 77  85  83  83  80  84  81  79 ,  95  95  93  93  97  97  92  95

```

- 为了方便查看所有单个DQ眼图结果，上图为所有单个DQ眼图结果的总结。
- 其中max eye结果列出所有DQ最大眼宽也就是'+'所指向vref行最右侧'[]'中的左侧眼宽边界，中间值，右侧眼宽边界，总眼宽宽度信息总结。从左到右分别为DQ0，DQ1，至最大DQ。
- 其中current eye结果列出所有DQ当前所使用的vref处的眼宽结果，也就是'*'所指向vref行的结果总结。打印格式类似max eye的打印。

2.3 DDR DQ最小眼宽限制

根据 DEMO 测试和相关项目经验，本文档对 DDR DQ 的最小读写眼宽做出了相应的限制。如果最小读写眼宽不满足此限制值，DDR 的运行可能不稳定。

满足 DDR DQ 最小眼宽限制只能说明当前设计下 DDR DQ 眼宽大小较为可靠，不代表 DDR 的相关设计一定不存在其它问题，请根据实际使用需求做进一步的可靠性测试。

2.3.1 RK3588

DDR 类型	DDR 时钟频率	最小读眼宽限制值	最小写眼宽限制值
LPDDR4/4x	2112MHz	65	70
LPDDR4/4x	1848MHz	75	75
LPDDR5	2736MHz	45	50
LPDDR5	2112MHz	65	70

2.3.2 RK3562/RK3528/RK3566/RK3568

DDR 类型	DDR 时钟频率	最小读眼宽限制值	最小写眼宽限制值
LPDDR4/LP4x	1560MHz	35	40
LPDDR4/LP4x	1056MHz	40	45
DDR4	1560MHz	30	40
DDR4	1056MHz	35	45
LPDDR3	1056MHz	35	40
DDR3	1056MHz	35	40