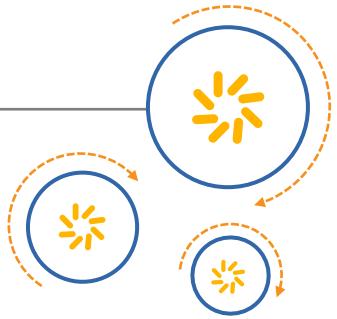




Qualcomm Technologies, Inc.



# 双摄像头装配与校准指南

80-N5126-3SC 版本 B

2015 年 6 月 16 日

QUALCOMM®  
2015-10-13 19:22:43 PDT  
dylan.tsai@o-film.com

机密和专有信息 – Qualcomm Technologies, Inc.

© 2015 Qualcomm Technologies, Inc. 和/或其附属公司。版权所有。

**禁止公开披露：**如若发现本文档在公共服务器或网站上发布, 请报告至: [DocCtrlAgent@qualcomm.com](mailto:DocCtrlAgent@qualcomm.com)。

未经 Qualcomm Technologies, Inc. 的明确书面许可, 不得使用、拷贝、复制或修改其全部或部分内容, 或以任何方式泄露其内容。

QUALCOMM®  
2015-10-13 19:22:43 PDT  
dylan.tsai@o-film.com

**限制分发：**未经 Qualcomm 配置管理部门的明确批准，不得向非 Qualcomm 员工或非 Qualcomm 子公司员工分发。

Qualcomm 是 Qualcomm Incorporated 在美国及其他国家/地区所注册的商标。其他产品和品牌名称可能是其各自所有者的商标或注册商标。

本技术资料可能受美国和国际出口、转口或转让（统称“出口”）法律的约束。严禁违反美国和国际法律。

Qualcomm Technologies, Inc.  
5775 Morehouse Drive  
San Diego, CA 92121  
U.S.A.

## 修订记录

版本	日期	说明
A	2015 年 6 月	初始版本
B	2015 年 6 月	更新了有关 qcaldc v1.3.1 的内容

QUALCOMM®  
2015-10-13 19:22:43 PDT  
dylan.tsai@o-film.com

# 目录

---

<b>1 简介 .....</b>	<b>6</b>
1.1 文档用途 .....	6
1.2 符号惯例 .....	6
1.3 技术协助 .....	6
<b>2 双摄像头系统要求 .....</b>	<b>7</b>
2.1 非对称双摄像头组件的摄像头要求 .....	7
2.2 对称双摄像头组件的摄像头要求 .....	9
2.3 摄像头对齐要求 .....	10
2.3.1 静态容差要求 .....	10
2.3.2 动态容差要求 .....	11
2.4 双摄像头模块的电气考量因素 .....	11
<b>3 双摄像头校准 .....</b>	<b>12</b>
3.1 校准过程 .....	13
3.2 校准场景 1 (非平面 L 形图) .....	14
3.2.1 构建测试图 .....	14
3.2.2 设置测试场景 .....	15
3.2.3 执行校准 .....	16
3.3 校准场景 2 (平面几何图) .....	17
3.3.1 构建测试图 .....	17
3.3.2 设置测试场景 .....	17
3.3.3 执行校准 .....	18
3.4 检验校准过程 .....	19
<b>4 qcaldc 用户指南 .....</b>	<b>20</b>
4.1 安装 .....	20
4.1.1 可执行程序 .....	20
4.1.2 前提条件 .....	20
4.1.3 包括的文件 .....	21
4.2 使用 .....	21
4.2.1 语法 .....	21
4.2.2 运行 .....	24
4.2.3 输出 .....	24
4.3 Qcaldc.exe 前端的示例代码 .....	26
<b>A 参考资料 .....</b>	<b>28</b>
A.1 相关文档 .....	28
A.2 缩略词和术语 .....	28

**图**

图 2-1 非对称双摄像头模块机械指南 .....	7
图 2-2 对称双摄像头模块机械指南 .....	9
图 2-3 双摄像头模块对齐容差 .....	10
图 3-1 校准场景示意图 .....	13

**表**

表 2-1 非对称双摄像头模块传感器选型 .....	8
表 2-2 对称双摄像头模块传感器选型 .....	9
表 4-1 必要参数 .....	21
表 4-2 输出文件表 .....	25

# 1 简介

---

## 1.1 文档用途

本文档给模块供应商详细介绍了双摄像头模块的制造和校准步骤，以配合 Qualcomm Technologies Inc. (QTI) 软件使用此类硬件实现增强功能。

## 1.2 符号惯例

函数声明、函数名称、类型声明、属性以及代码示例均以不同字体表示，例如`#include`。

代码变量括在尖括号内，例如`<number>`。

要输入的命令以不同字体显示，例如`copy a:*.* b:.`

按钮和按键名称以粗体显示，例如，点击**Save**或按**Enter**键。

## 1.3 技术协助

针对本文档中的信息，如需协助或说明，可通过<https://support.cdmatech.com/>向Qualcomm Technologies, Inc. (QTI) 提交用例。

如果无法访问 CDMA Tech 支持网站，则须注册后再进行访问，或发送电子邮件至[support.cdmatech@qti.qualcomm.com](mailto:support.cdmatech@qti.qualcomm.com)。

## 2 双摄像头系统要求

本章介绍双摄像头组件的要求，旨在概要说明关键的机械、光学和电气特性，以高效匹配 QTI 的双摄像头架构。装配架、屏蔽和连接器/柔性电缆等方面由模块集成商及 OEM 负责。如果部件尺寸从生产到最终组装过程中能够保持稳定，就与总成接口是否兼容 QTI 架构无关。

下面介绍了两种类型的双摄像头组件。第一种是非对称双摄像头组件，该组件使用一个分辨率较高的主传感器和一个用于生成深度图的、分辨率较低的副传感器。第二种是对称摄像头组件，该组件使用等效的传感器和光学元件，或是采用 Bayer+Bayer，亦或是 Bayer+Mono 滤镜配置。

### 2.1 非对称双摄像头组件的摄像头要求

图 2-1 所示为采用 1/3" 主摄像头的非对称双摄像头组件的顶层视图。该模块由两个摄像头和一个存储校准系数的非易失性存储器 (NVM) 组成。主摄像头通过 Bayer 色彩滤镜阵列 (CFA) 实现自动对焦 (AF)。

为获得良好的景深效果，建议将摄像头间距设为 20 mm。如果主摄像头采用即时对焦 (IAF)，则间距可低至 10 mm，从而使组件可以设计得更为小巧。

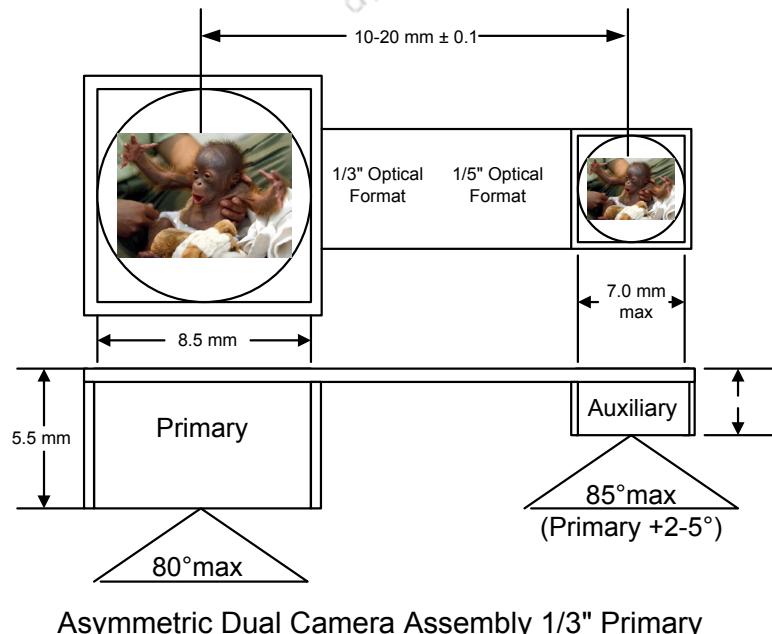


图 2-1 非对称双摄像头模块机械指南

为满足光学要求，辅助摄像头的视野 (FOV) 应考虑以下因素：

- 两个摄像头的制造公差
- 主摄像头的 FOV 在对焦范围内的变化
- 两个摄像头的 FOV 在生产过程和环境中的变化
- 距离最短时产生的重叠
- 预计在最短工作距离下产生的最大分辨率损失

根据典型光学设计，建议主摄像头的视野不超过 80°，既可满足所需模块高度，同时不会导致过度失真、引入逻辑单元阵列 (LCA)、产生阴影或其他偏差。更为大胆的设计方案需要 QTI 参与研究。

为生成 DDM，副摄像头的分辨率应与主摄像头的分辨率成正比。我们的分析和经验表明，在保证图像画质的前提下，辅助传感器的分辨率（在两种尺寸下）最低可降至主传感器分辨率的 1/4。对于 13 MP 双摄像头，图 2-1 中的辅助传感器在 2x2 分格模式下工作，能够在 30 fps 的帧率下输出 800x600 像素。对于 21 MP 双摄像头模块，辅助传感器能够在 24 fps 的帧率下支持 1600 x 1200 像素的全分辨率。

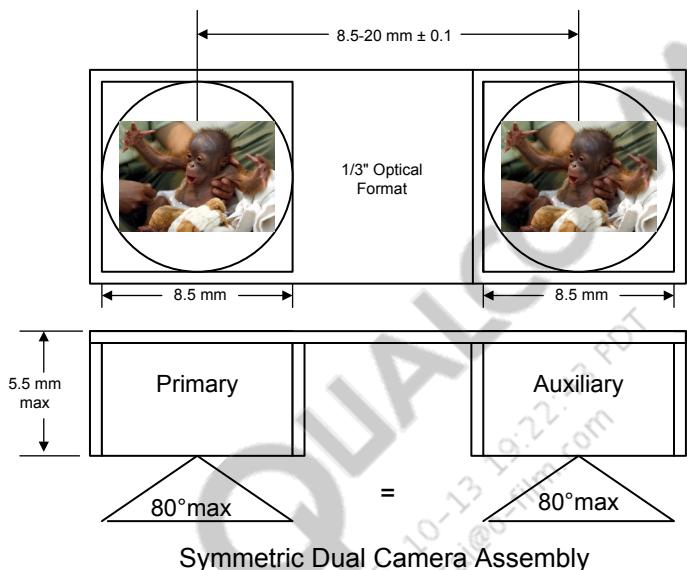
**表 2-1 非对称双摄像头模块传感器选型**

配置	主摄像头	副摄像头
13 MP+2 MP	OV13850	OV2685
21 MP+2 MP	IMX230	OV2685

## 2.2 对称双摄像头组件的摄像头要求

图 2-2 所示为采用 1/3”传感器的对称双摄像头组件的顶视图。该模块由两个摄像头和一个存储校准系数的 NVM 组成。主摄像头通过 Bayer CFA 实现 AF。副摄像头支持 AF，可采用单目传感器或 Bayer 传感器。

建议的摄像头间距取决于主摄像头的预期用途。为获得良好的景深效果，建议将摄像头间距设为 20 mm。如果主摄像头用于 IAF，则间距可低至 10 mm。如果模块之间采用最小间距，用于 Fusion 是最佳选择。如此可获得可接受的 IAF 性能。



**图 2-2 对称双摄像头模块机械指南**

根据典型光学设计，建议主摄像头的视野不超过 80°，既可满足所需模块高度，同时不会导致过度失真、引入 LCA、产生阴影或其他偏差。可以考虑更为大胆的设计方案，但需要 QTI 参与研究。

**表 2-2 对称双摄像头模块传感器选型**

配置	主摄像头	副摄像头
13 MP+13 MP	OV13850	OV13850/OV13851
8 MP+8 MP	OV8865	OV8865

## 2.3 摄像头对齐要求

这些对齐要求适用于两个摄像头在同一块电路板上的情况。要满足本节所介绍的摄像头对齐要求，采取正确的方法设计双摄像头组件至关重要。本节介绍两组要求：

- 静态容差 – 此类容差由供应商在模块校准前确定。
- 动态容差 – 在模块校准结束后，此类容差在摄像头对齐过程中发生变化。

### 2.3.1 静态容差要求

静态容差反映校准前的模块对齐情况。静态容差要求由三个平移容差和三个旋转容差组成。

模块的设计需要满足本节介绍的三个平移容差和三个旋转容差。第 2.3.2 节介绍如何在生产测试过程中测试这些容差限值。

图 2-3 显示双摄像头的理想布局，其中传感器平面与摄像头光轴完美对齐。两个摄像头位于同一平面，间距为 B，不沿 X 轴方向垂直移位。在理想对齐条件下，二者不发生由转头、俯仰和侧倾所定义的相对旋转偏差。

这种理想布局方式不切实际，必须考虑旋转和移位。

俯仰、转头和侧倾的最大旋转容差为  $1.0^\circ$ 。移位的平移容差为  $\pm 0.3 \text{ mm}$ 。如果工艺允许，应严格遵守旋转容差和平移容差。

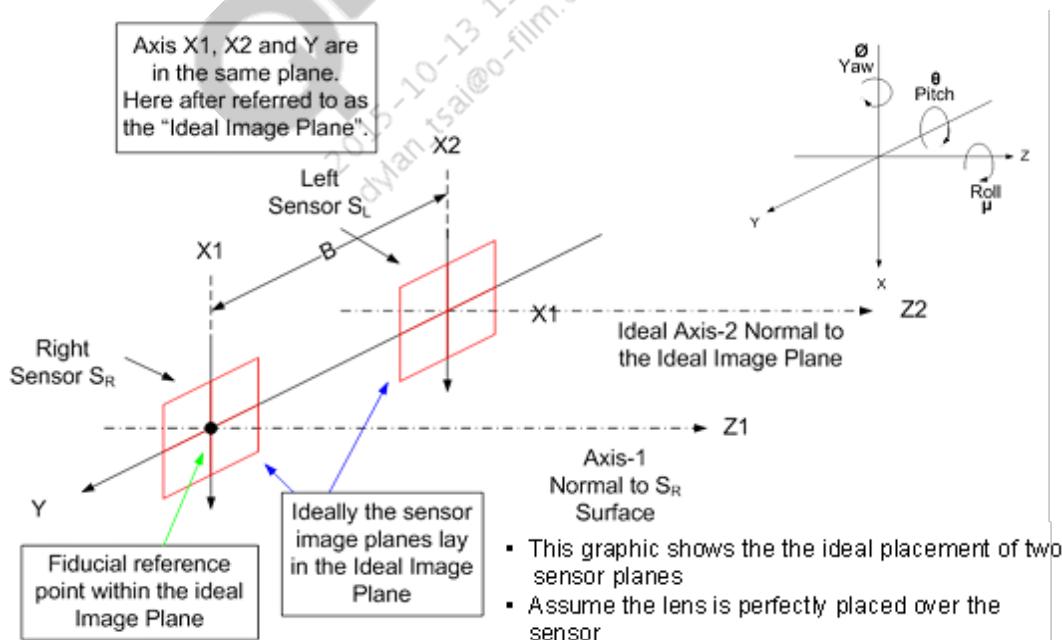


图 2-3 双摄像头模块对齐容差

### 2.3.2 动态容差要求

确保 3D 静态校准后，所有旋转容差和平移容差变化严格遵守容差要求。在生产过程中，将使用 qcaldc 校准工具校准每个模块。如此将生成用于消除两个摄像头之间静态旋转容差的矩阵校正因数。

完成此校准过程后，可能存在由于摄像头变化导致对齐发生变化的情况。造成这类变化的原因包括：

- 摄像头模块坠落后发生弯曲
- 摄像头模块在手机装配后位置变歪

必须采取措施防止这些模块变化。

假设上述变化可控制为接近于零的水平，则镜头在转头和俯仰方向的动态侧倾将是下一个最为重要的考虑因素。对于 AF 镜头，机身的光轴会发生随机变化。光轴发生随机变化的原因包括：

- 镜身在 AF 过程中发生移动
- 振动
- 摄像头的方向，例如朝上、朝下、水平或任意两个方向之间的方向

动态侧倾的要求是：

- 每个摄像头光轴转头和俯仰可允许的最大动态变化为 $\pm 0.16^\circ$
- 当两个镜头在 50 cm 至无穷远范围内的相同距离对焦时，两个摄像头之间的俯仰和转头差异可允许的最大值为 $\pm 0.50^\circ$

移位的平移容差为 $\pm 0.3$  mm。

对于任何特定容差情况，实际性能取决于设计因素。本文档的附件部分提供 Dual\_Camera\_Calibration\_Parameters.xlsx 文件。填写该电子表格并通过 TAM 发送至 QTI，以获得进一步的指导。

## 2.4 双摄像头模块的电气考量因素

该模块由两个摄像头和一个存储校准系数的 NVM 组成。

每个摄像头模块通过独立的 I2C 接口与 MSM 相连，因此两个模块可使用相同的 AF 控制器和传感器。

这两个摄像头模块一个为主模块一个为从模块。主摄像头模块输出垂直帧同步信号。从摄像头模块具有一个输入管脚，用作垂直帧同步输入。这两根线通常一起连接到双摄像头组件内部或连接到电路板上。

- 每个摄像头的输出端通过 MIPI CSI-2 通道与 MSM 相连
- NVM 与任一摄像头的 I2C 线路相连

# 3 双摄像头校准

---

本章介绍双摄像头校准组件的机械布局和定向过程，以便使用随附的双摄像头校准和景深图软件库。此处介绍的方法适用于双摄像头模块的自动装配线校准。此外还介绍了基于计算指标和分配通过/失败阈值进行的检验过程。

双摄像头校准采用两张独立的校准图，即一张由两幅垂直棋盘图组成的 L 形空间图以及一张平面棋盘图。L 形图用于计算投影校准组件，平面图用于几何校正。另外还介绍了用于创建测试场景的校准图、校准图相对于包含左侧和右侧摄像头的双模块的放置方式，并简要说明了后续校准流程。本章介绍的校准机械过程可作为图像拍摄指南，用来拍摄配合 QTI 双摄像头校准库使用的图像。

### 3.1 校准过程

使用 QTI 校准库进行双摄像头系统校准的过程包括获取合适的空间校准图操作。调整相机模块的方向，使 FOV 与校准图相一致，拍摄并保存左侧和右侧校准图图像以输入到校准软件。我们将两个摄像头等效地称为左和右摄像头、参考和辅助摄像头或者主和副摄像头，相应叫法有时可以互换，因为我们知道，非对称双摄像头系统的参考和/或主摄像头包含分辨率更高的传感器。

校准流程的第二步是通过平面图的测试模块获得一个双图像对。在拍摄的 L 形图后，使用完全相同的焦距设置拍摄后续的图像。将平面几何图放在 L 形图旁作为附加的预构出厂校准场景。模块可沿传送带平移至该场景，或进行旋转以观察到该新场景图。场景设置见图 3-1 所示，箭头表示移动摄像头模块以查看场景 2。

在校准图像拍摄过程中，L 形图和平面图必须采用相同的对焦设置。

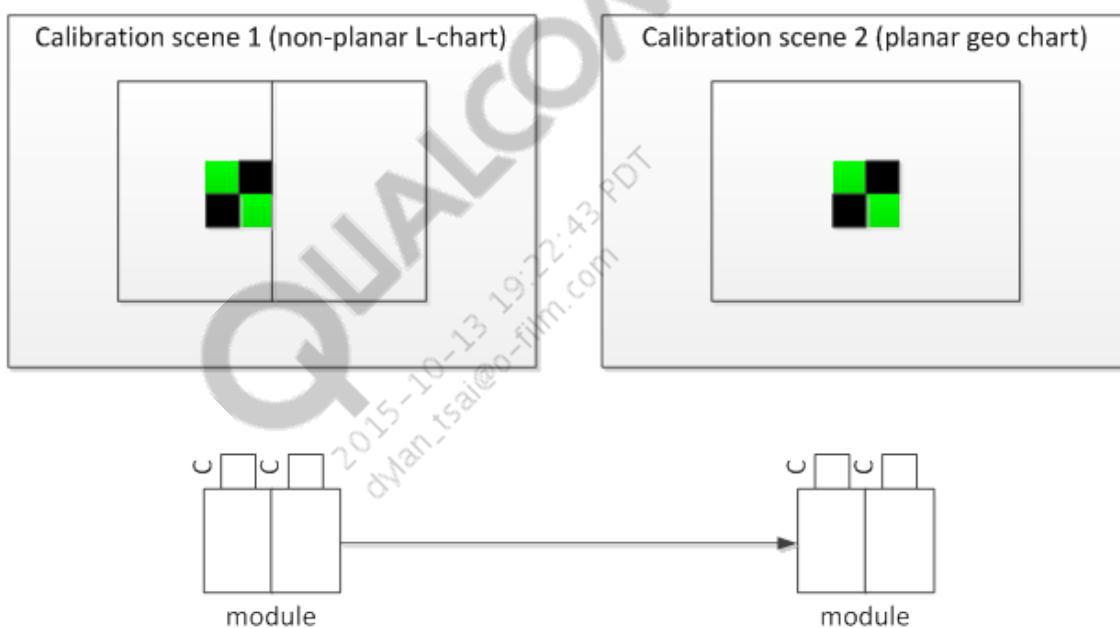


图 3-1 校准场景示意图

## 3.2 校准场景 1（非平面 L 形图）

### 3.2.1 构建测试图

测试图给校准软件提供正交参考系或测量坐标系。该参考系用于识别和关联左右两侧图像位置的对应关系。

1. 使用高品质打印机打印左右校准棋盘图图像。将其固定至牢固表面，如直纸板或刚性基板上。

在房间的一角（两面墙的交叉位置）或等效垂直表面粘贴这两张图。如下图所示，还可以构建一种移动校准（非平面）环境。

测试图由两个  $2 \times 3$  英尺的平面组成，包含  $12 \times 18$  个黑色和白色棋盘格，每个方格的边长为 2 英寸。

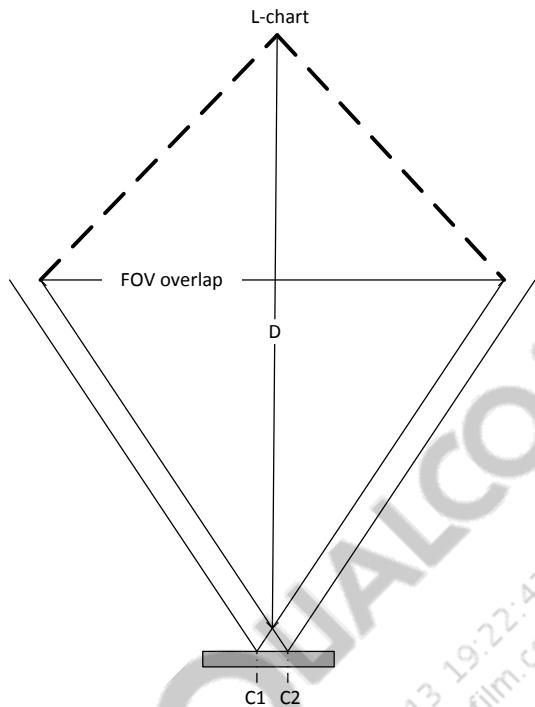


2. 完成测试图的构建后，使用格尺测量方格尺寸并将测量结果输入校准软件。
3. 将两个平面成直角放置，避免连接线出现空隙。

左侧平面包含两个绿色块，用于识别坐标系原点。将测试图成直角放置至关重要，因为校准软件需要正交度足够大的参考系。由于两张图不对称，必须在垂直方向正确定向。左右两张图不可互换，必须正确放置。

### 3.2.2 设置测试场景

1. 如图所示放置双摄像头对，以便辅助摄像头和参考摄像头的 FOV 中只出现测试图。



绿色块为世界坐标系的原点，位于摄像头 FOV 中心。

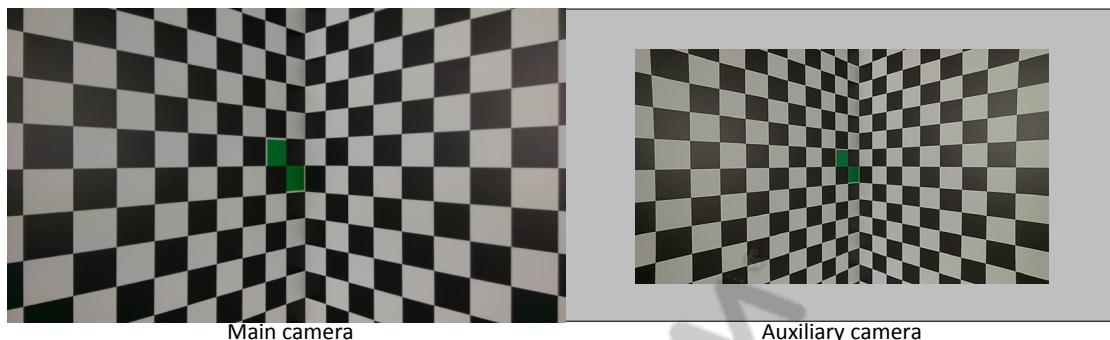
将模块放置在与两个垂直平面等距的位置，理想条件下与绿色方格相距约 65-85 cm。

2. 将 X、Y 和 Z 平面的位置容差设为 $\pm 2.5$  英寸。

在校准过程作为装配线自动化的一部分时，该容差足以满足高灵活度的要求。

3. 将基线旋转设为小于 5°。
4. 将两个绿色方格大致对齐到图像中心。
5. 确保测试图的光照强度为+500 lux（或在 8 位 Raw 图像阶段，环绕图像中心的平均光照强度约为 50 lux）。使用 D65 光源。

下图是符合这一标准的双图像对示例。



### 3.2.3 执行校准

完成场景设置后，参考 qcaldc User Guide 的第 4 章，了解有关校准工具及其指令的介绍。

1. 按照第 3.2 节和 3.2.2 节介绍的方法设置测试图并记录该图尺寸参数。
2. 将参考/主摄像头对焦到绿色方格并记录对焦设置。拍摄 L 形图图像。
3. 确保平面图与 L 形图采用相同的对焦设置。对焦设置不可更改。采用相同的对焦设置还能够消除镜头动态误差，并且在校准过程中仅需进行一次对焦调节。
4. 存储校准参数以输入到校准软件。
5. 运行校准软件来完成双摄像头校准。

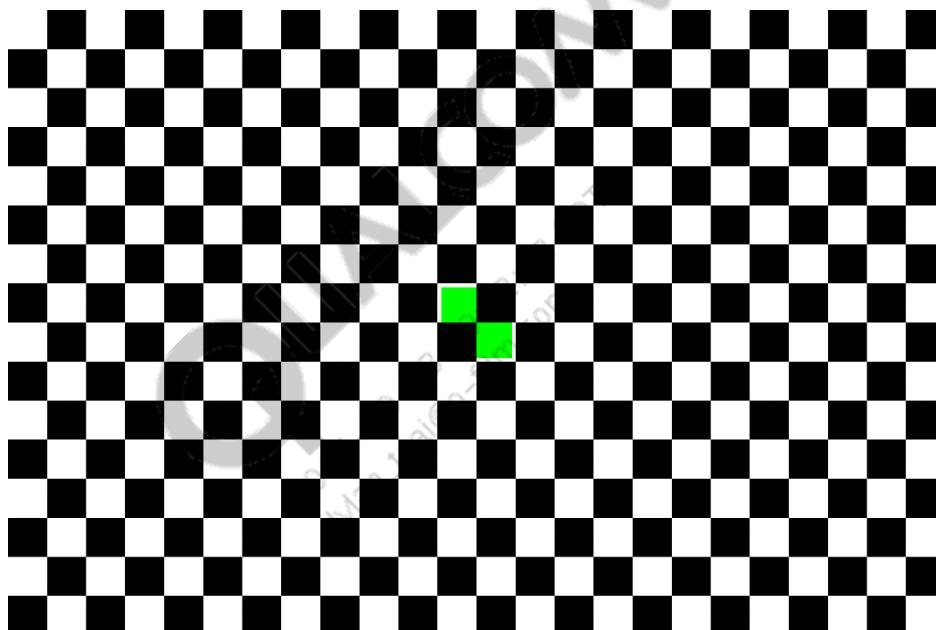
## 3.3 校准场景 2（平面几何图）

### 3.3.1 构建测试图

测试图向校准软件提供它与所在已知平面的对应关系。该参考系用于识别和关联左右两侧图像的位置对应关系。

1. 使用高品质打印机打印左右校准棋盘图图像。
2. 将图像固定至牢固表面，如直纸板、泡沫板或刚性基板上。

测试图由  $16 \times 24$  个棋盘格组成，各棋盘格边长为 1.5 英寸 (38.1 mm)。将中央的两个白色方格标记为绿色。



### 3.3.2 设置测试场景

1. 将摄像头设备放在距离测试图 15 至 30 英寸的位置，以确保左右两摄像头的 FOV 中仅出现测试图。

确保两个摄像头的 FOV 中仅观察到测试图（无法显示整幅图也可以接受）。绿色块为世界坐标系的原点，位于摄像头 FOV 的中心。

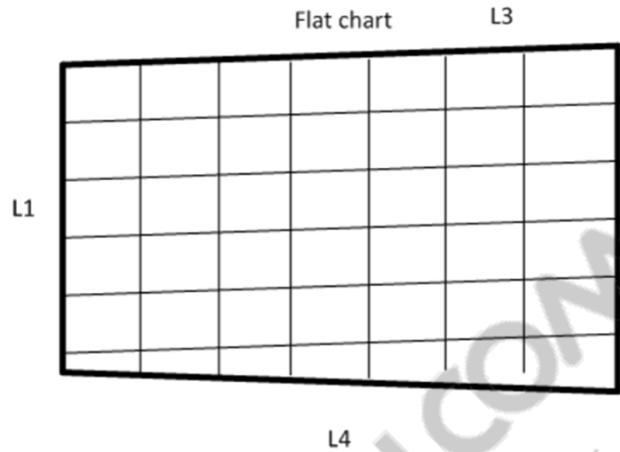
将摄像头模块放置在与两垂直平面等距位置，理想条件下是距每个平面 2 英尺（水平距离），距每个平面底部 1.5 英尺（垂直距离）的位置。

2. 将 X、Y 和 Z 平面的位置容差设为  $\pm 2.5$  英寸。

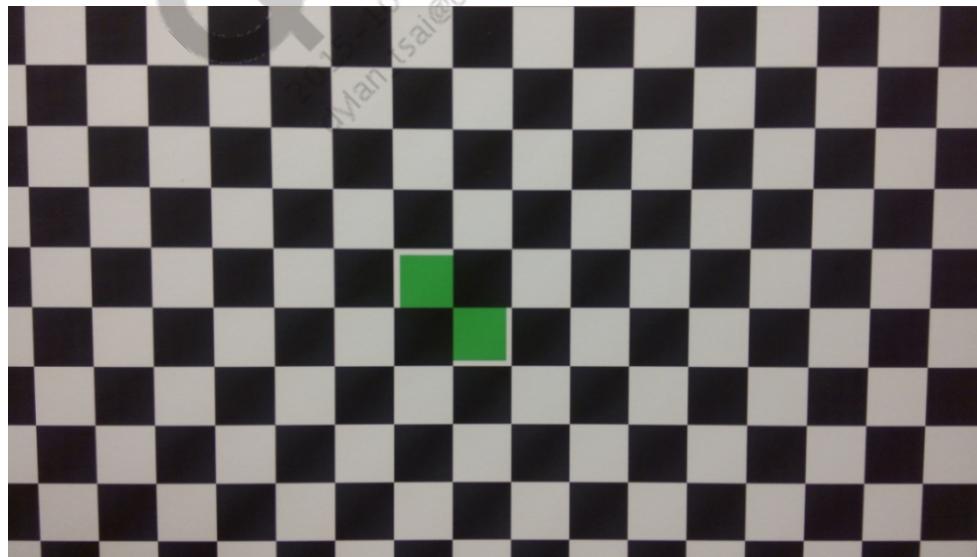
在校准过程作为装配线自动化的一部分时，该容差足以满足高灵活度要求。

3. 将基线旋转设为小于  $5^\circ$ 。
4. 将两个绿色方格大致对齐到图像中心。

对于平面图场景，确保测量测试图每一侧的垂直线长度（单位为像素）并确保差异小于 5%。这将确保转头角度小于 3°。 $L1/L2$  和  $L3/L4$  的数值均小于 5%。这确保由转头引发的侧倾很小，以便顺利进行校准。



5. 使用与之前拍摄 L 形图时相同的对焦位置。
6. 确保测试图的光照强度为 +500 lux（或在 8 位 Raw 图像阶段，环绕图像中心的平均光照强度约为 50 lux）。使用 D65 光源。



### 3.3.3 执行校准

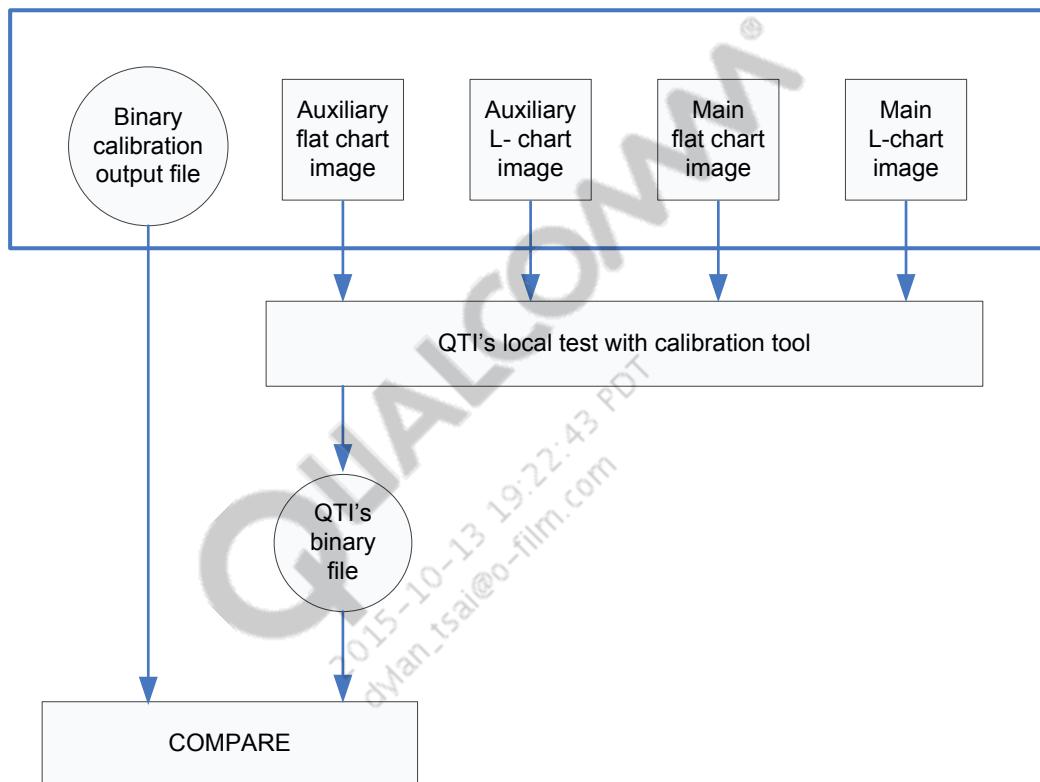
完成场景设置后，参考 qcaldc User Guide 的第 4 章，了解有关校准工具及其指令的介绍。

1. 按第 3.2.1 节和 3.2.2 节所述打印并安装几何图。

2. 拍摄几何图的参考/辅助摄像头图像（彩色）（注意：摄像头的对焦位置必须与双摄像头校准选取的对焦位置相同）。

### 3.4 检验校准过程

图 3-1 给出了检验说明和检验过程。QTI 将校准图像输入本地校准工具，并将生成的输出二进制文件与客户生成的二进制文件进行比较。



QTI 负责检验校准过程。无论是针对新项目的模块校准还是在更改了经过 QTI 检验的既有校准过程设置后，模块供应商应向 QTI 提供以下信息。

- qcaldc 工具生成的二进制校准文件和执行日志，如第 4.1.1 节所述。
- 副摄像头拍摄的平面图图像
- 副摄像头拍摄的 L 形图图像
- 主摄像头拍摄的平面图图像
- 主摄像头拍摄的 L 形图图像

# 4 qcaldc 用户指南

qcaldc 工具是一个 Windows 命令行程序，用于校准双摄像头传感器模块并生成模块校正所需的二进制数据。由于直接并行安装两摄像头传感器难度极大并且成本高昂，因此需要进行校正。将各传感器校准图的 BMP 图像输入 qcaldc 计算校正数据。这些图像与命令行变量以及配置文件一同输入，最终输出一个二进制文件。qcaldc 工具还可检查双摄像头模块是否发生垂直错位、比例以及预计的距离精度容差。

## 4.1 安装

### 4.1.1 可执行程序

qcaldc 工具使用 C 代码执行校准。C 代码以 Windows 动态库 (qcaldc.dll) 的形式封装。可执行前端 (qcaldc.exe) 识别配置文件 (qcaldc.cfg) 的名称，然后调用后端校准软件库 (qcaldc.dll)。

### 4.1.2 前提条件

qcaldc 工具使用 Microsoft Visual Studio 2010，需要 Microsoft Visual C++ 2010 Redistributable Package (x86) 的最新版本。遵循以下说明检查 PC 是否安装了该组件包：

1. 转到“开始→控制面板→程序→程序和功能”。
2. 在右上角的“搜索程序和功能”窗口中搜索 C++。
3. 检查已安装程序列表中是否存在 Microsoft Visual C++ 2010 x86 Redistributable – 10.0.40219。
4. 如果列表中不存在该项，则使用 Windows 更新或直接从 Microsoft 的[网站](#)下载该程序包（在下载链接中选择 VSU\_4\vcredist\_x86.exe 程序包）。

### 4.1.3 包括的文件

qcaldc 工具的软件工具和参考代码在本文档“附件”部分的 qcaldc\_package\_010301.TEMP 文件中提供，该文件可通过任何流行的 pdf 查看器软件进行查看。这些文件必须位于同一个文件夹。所提供的文件有：

- qcaldc.exe – 前端可执行文件；有关示例代码，参见第 4.3 节
- qcaldc.dll – 后端 QTI 专有校准软件库
- qcaldc.cfg – 示例配置文件
- 测试向量和参考输出
  - main-L.bmp – 主传感器的 L 形图（3D 图）校准图像样本
  - main-Flat.bmp – 主传感器的平面图（2D 图）校准图像样本
  - aux-L.bmp – 副传感器的 L 形图（3D 图）校准图像样本
  - aux-Flat.bmp – 副传感器的平面图（2D 图）校准图像样本
  - qcaldc-reference.log – qcaldc 工具运行测试向量和配置文件时的输出

## 4.2 使用

qcaldc 工具接收两个 BMP 图像对，即主传感器和副传感器拍摄的基准 L 形图（3D 图）图像以及平面图（2D 图）图像。关于校准过程的详细说明，参见第 3 章。

### 4.2.1 语法

```
qcaldc.exe <configuration file>
```

建议将 qcaldc 工具的输出重定向至日志文件进行分析或调试。

#### 使用示例

```
qcaldc qcaldc.cfg > qcaldc.log
```

#### 4.2.1.1 输入参数

qcaldc.cfg 配置文件需要表 4-1 介绍的必要参数。

**表 4-1 必要参数**

参数名称	说明
main_native_width	来自主传感器规范 – 全 FOV、传感器原生分辨率（最大可能的宽度）
main_native_height	来自主传感器规范 – 全 FOV、传感器原生分辨率（最大可能的高度）
main_f_number	F 数 注：校准算法目前并未使用该参数。

参数名称	说明
main_fovd_degrees	对角 FOV (单位为度) 注：校准算法目前并未使用该参数。
main_pixel_pitch_mm	来自主传感器规范 – 像素间距 (单位为 mm)
main_focal_length_mm	来自主传感器规范 – 无限远位置的焦距 (单位为 mm)
main_focal_length_ratio	拍摄校准图像时的焦距与 main_focal_length_mm 的比率
main_calib_input_width	输入 qcaldc 的校准图像的分辨率 (宽度) 注：校准算法要求该值应与 main_native_width 相同。
main_calib_input_height	输入 qcaldc 的校准图像的分辨率 (高度) 注：校准算法要求该值应与 main_native_height 相同。
main_calib_L_chart_image	主传感器拍摄的 L 形图 (3D 图) 校准图像的 BMP 文件名
main_calib_flat_chart_image	主传感器拍摄的平面图 (2D 图) 校准图像的 BMP 文件名
aux_native_width	来自副传感器规范 – 全 FOV、传感器原生分辨率 (最大可能的宽度)
aux_native_height	来自副传感器规范 – 全 FOV、传感器原生分辨率 (最大可能的高度)
aux_f_number	F 数 注：校准算法目前并未使用该参数。
aux_fovd_degrees	对角 FOV (单位为度) 注：校准算法目前并未使用该参数。
aux_pixel_pitch_mm	来自副传感器规范 – 像素间距 (单位为 mm)
aux_focal_length_mm	来自副传感器规范 – 无限远位置的焦距 (单位为 mm)
aux_focal_length_ratio	拍摄校准图像时的焦距与 aux_focal_length_mm 的比率
aux_calib_input_width	输入 qcaldc 的校准图像的分辨率 (宽度) 注：校准算法要求该值应与 aux_native_width 相同。
aux_calib_input_height	输入 qcaldc 的校准图像的分辨率 (高度) 注：校准算法要求该值应与 aux_native_height 相同。
aux_calib_L_chart_image	副传感器拍摄的 L 形图 (3D 图) 校准图像的 BMP 文件名
aux_calib_flat_chart_image	副传感器拍摄的平面图 (2D 图) 校准图像的 BMP 文件名
calib_square_size_mm	L 形图 (3D 图) 棋盘格的边长 (单位为 mm)

参数名称	说明
cam_baseline_mm	摄像头之间的基线间距（单位为 mm）
main_aux_position_flag	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 0 – 主摄像头在副摄像头左侧</li> <li>▪ 1 – 主摄像头在副摄像头右侧</li> </ul>
L_chart_distance_mm	校准过程中模块和 L 形图（3D 图）的物理间距（单位为 mm）
flat_chart_distance_mm	校准过程中模块和平面图（2D 图）的物理间距（单位为 mm）
calib_otp_data_file	双摄像头校准一次性可编程 (OTP) 二进制数据 (qcaldc 的输出) 的文件名
residual_vertical_disparity_threshold_pixels	应用投影变换后，主摄像头图像和摄像头图像在校准分辨率方面的剩余垂直差异阈值（单位为像素）
scale_difference_threshold_percent	主摄像头图像和摄像头图像垂直线尺度差异阈值（以百分比形式表示）
L_chart_origin_distance_threshold_percent	L 形图（3D 图）原点距离误差阈值（以百分比形式表示）

#### 4.2.1.2 必要输入参数的附加说明

表 4-1 中的一些参数需要特别注意。因此，此处对相应参数进行附加说明。

- 主摄像头的 main\_focal\_length\_ratio 应按如下说明计算：
  - 对于要校准的模块，首先记录无限远处的 VCM 位置（或 DAC 值）。
  - 接下来按照第 3.2.3 节的说明将其对焦到 L 形图的绿色方格。注意，可采用自动对焦或手动对焦。
  - 完成对焦并且镜头位置固定后，记录 VCM 位置（或 DAC 值）。在当前镜头位置拍摄 L 形图图像。注意，拍摄平面图图像时，也应将镜头固定在相同位置。
  - 计算无限远位置和当前位置之间的镜头移位（单位为 mm）。然后可知：
$$\text{main_focal_length_ratio} = \frac{\text{focal\_length\_at\_infinity\_mm} + \text{lens\_shift\_in\_mm}}{\text{focal\_length\_at\_infinity\_mm}} \quad (4-1)$$
- 副摄像头的 aux\_focal\_length\_ratio 可采用类似方法进行计算。如果镜头固定在无限远位并且摄像头焦距固定，该比率为 1。
- main\_aux\_position\_flag：为确定主摄像头在副摄像头的左侧 (0) 还是右侧 (1)，应按图 3-1 所示的相对校准图来放置摄像头模块。如果主摄像头图像相对于副摄像头图像拍摄到更多的左侧视野图像，则主摄像头在副摄像头左侧 (0)。否则，主摄像头在副摄像头右侧 (1)。

## 4.2.2 运行

qcaldc 工具在运行过程中将状态消息传递至控制台。以下输出内容是 qcaldc 显示的消息示例：

```
qcaldc version = 0x10301
=====
Validating config file qcaldc.cfg ...
=====
Parsed config file qcaldc.cfg ...
=====
Calibration verification results ...
      Metric  Value  Threshold Result
L-chart: Residual vertical disparity [pixels]  1.22    2.00    PASS
          L-chart: Distance error [%]        7.42   20.00    PASS
          L-chart: Scale difference [%]       0.16   1.00    PASS
Flat-chart: Residual vertical disparity [pixels]  1.22    2.00    PASS
          Flat-chart: Distance error [%]      6.32   20.00    PASS
          Flat-chart: Scale difference [%]     0.26   1.00    PASS
=====
Writing calibration OTP data to qcaldc-otp.bin ...
=====
qcaldc calibration success!
```

## 4.2.3 输出

如果输入参数全部出现并且准确无误，qcaldc 工具开始执行校准流程。在校准过程中，屏幕显示信息性消息。Qcaldc 工具同时输出验证指标、相关阈值以及成功/失败结果。

- L 形图：剩余垂直差异[以像素为单位] – 对副摄像头图像应用投影变换后，主摄像头 L 形图图像和副摄像头 L 形图图像依然存在的垂直错位。
- L 形图：距离误差[%] – 与 L 形图（3D 图）中心预计距离的误差。
- L 形图：尺度差异[%] – 应用投影变换后，主摄像头 L 形图图像和副摄像头 L 形图图像垂直线的尺度差异。
- 平面图：剩余垂直差异[以像素为单位] – 对副摄像头图像应用投影变换后，主摄像头平面图图像和副摄像头平面图图像依然存在的垂直错位。
- 平面图：距离误差[%] – 与平面图（2D 图）中心预计距离的误差。
- 平面图：尺度差异[%] – 应用投影变换后，主摄像头平面图图像和副摄像头平面图图像垂直线的尺度差异。

如果 5 项验证指标中有任意一项没通过，则校准失败。在这种情况下，qcaldc 工具不会生成任何二进制输出文件。建议将验证失败的模块撤出生产线进行进一步检查。

从另一方面来说，如果全部 5 项验证指标均显示通过，则表示校准成功。在这种情况下，qcaldc 工具生成一个二进制输出文件。输出文件的名称将使用 qcaldc.cfg 配置文件中的 `calib_otp_data_file` 参数指定。输出文件为包含校准数据的 470 字节二进制文件。**表 4-2** 所示为校准数据格式。注意，所有数据字段按小端字节顺序写出。

**表 4-2** 输出文件表

起始字节	数据	值的数量和类型	说明
0	<code>version</code>	1 个 <code>uint32_t</code>	校准 OTP 格式版本
4	<code>main_focal_length_pixels</code>	1 个浮点型	校准分辨率下的标准化焦距（以像素为单位）；是校准输出的固有参数
8	<code>main_native_width</code>	1 个无符号短整型	用于拍摄校准图像的主传感器原生分辨率（宽度）
10	<code>main_native_height</code>	1 个无符号短整型	用于拍摄校准图像的主传感器原生分辨率（高度）
12	<code>main_calib_width</code>	1 个无符号短整型	Qcaldc 校准工具内部使用的图像尺寸（宽度）
14	<code>main_calib_height</code>	1 个无符号短整型	Qcaldc 校准工具内部使用的图像尺寸（高度）
16	<code>main_focal_length_ratio</code>	1 个浮点型	主摄像头拍摄校准图像时的焦距与 <code>main_focal_length_mm</code> 的比率
20	<code>aux_focal_length_pixels</code>	1 个浮点型	校准分辨率下的标准化焦距（以像素为单位）；是校准输出的固有参数
24	<code>aux_native_width</code>	1 个无符号短整型	用于拍摄校准图像的副传感器原生分辨率（宽度）
26	<code>aux_native_height</code>	1 个无符号短整型	用于拍摄校准图像的副传感器原生分辨率（高度）
28	<code>aux_calib_width</code>	1 个无符号短整型	Qcaldc 校准工具内部使用的图像尺寸（宽度）
30	<code>aux_calib_height</code>	1 个无符号短整型	Qcaldc 校准工具内部使用的图像尺寸（高度）
32	<code>aux_focal_length_ratio</code>	1 个浮点型	副摄像头拍摄校准图像时的焦距与 <code>aux_focal_length_mm</code> 的比率
36	<code>R</code>	9 个浮点型	有关主摄像头的相对视角匹配矩阵
72	<code>G</code>	32 个浮点型	相对几何表面描述参数
200	<code>ox</code>	1 个浮点型	传感器中心相对于光轴沿水平方向的偏移
204	<code>oy</code>	1 个浮点型	传感器中心相对于光轴沿垂直方向的偏移
208	<code>position</code>	1 个短整型	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ 0 – 主摄像头在副摄像头左侧</li> <li>▪ 1 – 主摄像头在副摄像头右侧</li> </ul>
210	<code>cam_baseline_mm</code>	1 个浮点型	摄像头间距基线距离（单位为 mm）
214	<code>reserved</code>	64 个浮点型	保留供后续使用

## 4.3 Qcaldc.exe 前端的示例代码

下列 qcaldc.exe 前端的代码示例可在 qcaldc.dll 中进行调用。

```
#include <windows.h>
#include <stdio.h>

#define QCALDC_FAILURE      (0)
#define QCALDC_SUCCESS       (1)

typedef int (*qcaldc_calibrate)(const char* qcaldc_config_filename);

int main(int argc, char *argv[])
{
    HINSTANCE             handle = NULL;
    qcaldc_calibrate func_ptr = NULL;

    handle = LoadLibrary(L"qcaldc.dll");

    if (!handle)
    {
        printf ("LoadLibrary of qcaldc.dll failed (err=%d)\n",GetLastError());
        return QCALDC_FAILURE;
    }

    func_ptr = (qcaldc_calibrate)GetProcAddress(handle,"qcaldc_calibrate");

    if (!func_ptr)
    {
        printf ("GetProcAddress failed (err=%d)\n",GetLastError());
        return QCALDC_FAILURE;
    }

    if (QCALDC_SUCCESS != func_ptr(argv[1]))
    {
        printf ("qcaldc calibration failed!\n");
        return QCALDC_FAILURE;
    }

    printf ("qcaldc calibration success!\n");
}
```

```
if (handle)
    FreeLibrary(handle);

return QCALDC_SUCCESS;
}
```



# A 参考资料

## A.1 相关文档

标题	编号
<b>资源</b>	
<a href="https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=30679">https://www.microsoft.com/en-us/download/details.aspx?id=30679</a>	微软

## A.2 缩略词和术语

缩略词或术语	定义
AF	自动对焦 (Auto Focus)
CFA	色彩滤镜阵列 (Color Filter Array)
IAF	即时自动对焦 (instantAF)
FOV	视野 (Field of View)
LCA	逻辑单元阵列 (Logic Cell Array)
NVM	非易失性存储器 (Nonvolatile Memory)
OTP	一次性可编程 (One-Time Programmable)
VCM	音圈马达 (Voice Coil Motor)
DAC	数模转换器 (Digital-to-analog converter)