

## KSZ DSA 驱动程序的使用

作者: Jacky Hou  
Microchip Technology Inc.

### 简介

本应用笔记介绍KSZ分布式交换架构（Distributed Switch Architecture, DSA）子系统，以及如何使用KSZ DSA驱动程序实现交换应用。DSA设计旨在使用未经修改的网络工具（如`bridge`、`ip`和`ifconfig`）来配置或查询KSZ交换芯片端口。

本文中演示或介绍的示例和软件基于运行Microchip GitHub软件的Microchip EVB-KSZ9477评估板。

KSZ DSA支持的部件编号包括：

- KSZ8463 及等效器件
- KSZ9477 及等效器件
- KSZ8895 及等效器件
- KSZ8863 及等效器件
- KSZ8795 及等效器件

注： 用户应对Switchdev有基本的了解。

### 章节

本文档包含以下主题：

[第2页的“DSA架构”](#)

[第3页的“KSZ交换芯片标记协议”](#)

[第3页的“网络设备”](#)

[第3页的“使用Switchdev”](#)

[第4页的“内核引导消息的片段”](#)

[第4页的“KSZ DSA限制”](#)

[第4页的“KSZ DSA驱动程序和演示软件”](#)

[第6页的“演示”](#)

[第7页的“验证前端口与CPU端口之间的通信”](#)

### 参考资料

有关本文档中提及的特定器件的详细信息，请参见以下文档。

- *KSZ9477S Data Sheet* ([www.microchip.com/DS00002392](http://www.microchip.com/DS00002392))
- EVB-KSZ9477 软件和用户指南 (<https://github.com/Microchip-Ethernet/EVB-KSZ9477>)
- Linux® 内核文档

# AN3761

## 术语和缩写

本文中使用了以下术语和缩写：

- CPU 端口——面向主机处理器的端口，在 DSA 术语中也称为 CPU 端口
- DSA——分布式交换架构
- 前端口——交换芯片用户端口，在 DSA 术语中称为辅助设备接口
- MDIO/SPI/I<sup>2</sup>C 控制器——控制路径中的主要设备角色
- MDIO/SPI/I<sup>2</sup>C 器件——控制路径中的辅助设备角色
- NIC/MAC——网络接口控制器，在 DSA 术语中称为主要设备接口

此外，以下术语在本文中可互换使用：

- 帧与数据包
- 前端口与用户端口
- 外部CPU与主机处理器

## DSA 架构

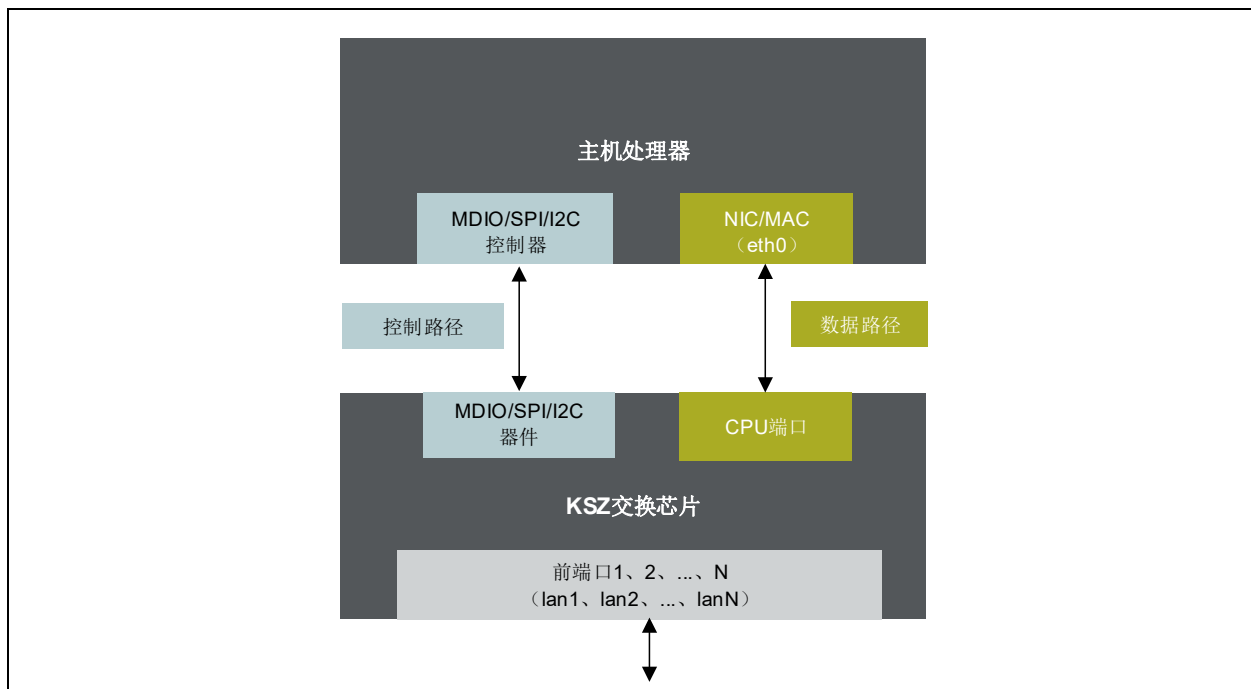
KSZ 交换芯片通常包括多个前端口，以及一个用于连接外部 CPU（从交换芯片接收帧或向交换芯片发送帧）的以太网控制器的 CPU 端口。

对于每个前端口，KSZ DSA 都会创建一个网络设备以用作控制和帧流端点，同时也供 Linux 网络协议栈使用。这些网络接口在 DSA 术语和代码中称为辅助设备网络接口（Linux 网络应用程序中的“eth0”为主要设备接口）。具体来说，每个设备都充当独立的网络接口控制器（Network Interface Controller, NIC）。

KSZ DSA 的使用思路是 KSZ 交换芯片支持专用的尾部标记模式，这是一项硬件功能，允许交换芯片在发送到特定端口/从特定端口接收的每个帧的末尾插入尾部标记字节。也就是说，尾部标记在主机处理器与交换芯片之间提供传入和传出端口信息。

图 1 为启用 KSZ DSA 驱动程序的典型应用（如 EVB-KSZ9477）的简化框图，其中包括控制路径和数据路径。

图 1： KSZ DSA 框图

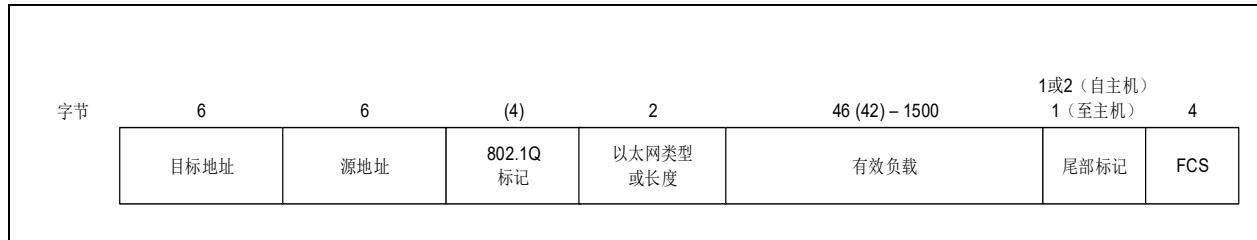


**注：** 交换芯片端口被建模为 Linux 网络接口（辅助接口或主要接口），DSA 不会为 CPU 端口创建辅助网络设备。

## KSZ 交换芯片标记协议

如前文所述，KSZ DSA通过在数据包末尾插入尾部标记字节来支持标记协议。尾部标记的帧格式如图2所示。

图2: KSZ 尾部标记帧格式



当交换芯片将接收到的数据包转发到主机端口时，交换芯片会在数据包中添加一个尾部标记字节，以向主机处理器指示该数据包是从哪个端口接收的。

反过来，主机处理器必须在发送到交换芯片的每个数据包中添加一两个尾部标记字节，以指示预期的传出端口。当启用多个优先级队列时，尾部标记也用于指示优先级队列。尾部标记仅适用于CPU端口，而不适用于前端口。

**注：** 由于主机处理器应通过 DSA 驱动程序处理尾部标记字节，因此与常规驱动程序相比，CPU 端口与主机处理器之间的数据包转发吞吐量较小。根据 EVB-KSZ9477 上的 IPerf 测试，该吞吐量减小了 40%。

## 网络设备

在 DSA 驱动程序实现中，需要两种网络设备：主要设备和辅助设备。

### • 主要设备

主要网络设备是用于交换芯片 CPU 端口的未经修改的网络设备驱动程序（即，重复利用原始的工作网络设备驱动程序）。这种设备充当主机处理器（外部 CPU）与 KSZ 交换芯片之间的管道。典型名称为 **eth0**。

### • 辅助设备

DSA 在主要设备之上堆叠创建的辅助网络设备。每个网络辅助设备都充当一个前端口的控制和帧流端点。

辅助设备接口既用于在交换芯片端口之间转发帧时插入或移除交换芯片标记协议，也用于向交换芯片查询 *ethtool* 操作，例如端口统计信息以及端口链路速度/双工模式等。

前端口 1、2、...、N、N+1 的典型名称分别为 **lan0**、**lan1**、...、**lan(N-1)**、**lanN**。

发送和接收方向的数据路径如下：

- 发送方向（从主机处理器到交换芯片 CPU 端口）：

辅助设备接口 > 标记器程序 > 主要设备接口 > cpu 端口 > 移除标记 > 前端口

- 接收方向（从交换芯片前端口通过交换芯片 CPU 端口到主机处理器）：

前端口 > 添加标记 > cpu 端口 > 主要设备接口中的 *netif\_receive\_skb()* > 标记解析器程序 > 辅助设备接口中的 *netif\_receive\_skb()*

## 使用 SWITCHDEV

如前文所述，对于 DSA 中的控制，Switchdev 用于连接桥接层，其中包括通过 Linux 网络协议栈的控制平面进行 VLAN 过滤。因此，在 Linux 内核配置中，必须使能 CONFIG\_SWITCHDEV，以便 DSA 框架可以利用 Switchdev 文件 *net/switchdev*。

**注：** Switchdev 不属于驱动程序模型，不涉及数据平面，仅涉及控制平面。对于数据平面，DSA 的行为就像连接到外部 CPU 的 NIC 或 MAC 端口以形成平面的端口。

## 内核引导消息的片段

若要检查KSZ DSA驱动程序是否已加载，可以监视内核引导消息并检查是否有打印以下或类似消息：

```
Starting kernel ...
...
...
/* 截去了中间消息 */
...
...
DSA: switch 0 0 parsed
DSA: tree 0 parsed
libphy: dsa slave smi: probed
Microchip KSZ9477 dsa-0.0:00: attached PHY driver [Microchip KSZ9477] (mii_bus:phy_addr=dsa-0.0:00, irq=-1)
Microchip KSZ9477 dsa-0.0:01: attached PHY driver [Microchip KSZ9477] (mii_bus:phy_addr=dsa-0.0:01, irq=-1)
Microchip KSZ9477 dsa-0.0:02: attached PHY driver [Microchip KSZ9477] (mii_bus:phy_addr=dsa-0.0:02, irq=-1)
Microchip KSZ9477 dsa-0.0:03: attached PHY driver [Microchip KSZ9477] (mii_bus:phy_addr=dsa-0.0:03, irq=-1)
Microchip KSZ9477 dsa-0.0:04: attached PHY driver [Microchip KSZ9477] (mii_bus:phy_addr=dsa-0.0:04, irq=-1)
```

## KSZ DSA 限制

KSZ DSA 驱动程序不支持以下功能：

- IEEE1588/PTP 消息指示
- 传出队列优先级更改
- KSZ 交换芯片级联
- 多个标记端口

## KSZ DSA 驱动程序和演示软件

Microchip GitHub 中的驱动程序 (<https://github.com/Microchip-Ethernet>) 由 Microchip 维护，这些驱动程序通常与 Linux 开源社区维护的 Linux 主线版本不同。用户在调试 DSA 问题时应参考 Microchip GitHub 代码。

## 源文件

**驱动程序：** <kernel base>/drivers/net/dsa/microchip/\*

用于实现 `dsa_switch_ops` 结构以支持基于 DSA 的交换芯片配置、PHY 管理、桥接层功能（VLAN 和 STP）以及端口统计信息。

例如，在 `drivers/net/dsa/microchip/ksz9477.c` 中，`ksz9477_switch_ops` 实现了交换操作，如下所示：

- `ksz_port_bridge_join()` 和 `ksz_port_bridge_leave()` 用于桥接管理
- `ksz9477_port_vlan_filtering()`、`ksz_port_vlan_prepare()`、`ksz9477_port_vlan_add()` 和 `ksz9477_port_vlan_del()` 用于 VLAN 管理

`ksz9477_tag_ops` 用于在 DSA 协议层中检索尾部标记字节（见图 2）。

若要确定支持 DSA 的 KSZ 部件编号，应在文件夹中搜索以下数据结构：

```
ksz8463_chip_names[ ]          ksz8863_chip_names[ ]
ksz9477_chip_names[ ]          ksz8795_chip_names[ ]
ksz8895_chip_names[ ]
```

**协议：** <kernel base>/net/dsa/tag\_ksz.c

用于注册 CPU 端口标记操作（即，尾部标记处理程序）。

例如，在 `net/dsa/tag_ksz.c` 中，`ksz_xmit()` 和 `ksz_rcv()` 作用于 `sk_buff`，并插入或解析由 DSA 驱动程序提取的尾部标记字节。

**设备树源文件:** <kernel base>/arch/arm/boot/dts/\*.dts

用于定义主机处理器的设备树，以描述将要使用的外设资源。

例如，at91-sama5d3\_xplained\_ung8071.dts适用于EVB-KSZ9477。

在at91-sama5d3\_xplained\_ung8071.dts中，可以看到以下用户端口和CPU端口绑定的片段。

spi1: spi@f8008000节点描述了如何通过name = "value"属性来定义用户端口和CPU端口。

用户端口的定义如下所示：

```
port@0 {
    reg = <0>;
    label = "lan1";
};
```

以上内容可按照DTS文件中的方式进行复制和使用。

CPU端口的定义如下所示：

```
port@5 {
    reg = <5>;
    label = "cpu";
    ethernet =
        <&macb0>;
    fixed-link {
        speed = <1000>;
        full-duplex;
    };
};
```

该接口通过“fixed-link”子节点定义为固定链路速度和双工模式（即，1000 Mbps链路速度和全双工设置），因为它不是MDIO管理的PHY器件，所以无法执行自动协商过程来协商链路模式。

另请注意，phy-mode = "rgmii-txid"针对CPU端口的接口进行定义，该接口是连接到EVB-KSZ9477上的SAMA5D36A处理器的RGMII接口。

## GitHub 软件编译

1. 使用EVB-KSZ9477 GitHub代码（v1.2.1不支持编译KSZ DSA源代码；请使用更高版本）。
2. 按照编译说明（见*EVB-KSZ9477 Source Build Instructions Guide*），在配置文件EVB-KSZ9477/KSZ/Atmel\_SOC\_SAMA5D3/buildroot/.config中使用启用DSA的内核配置sama5\_ksz\_dsa\_defconfig。例如，在上述.config文件中指定如下Linux内核配置：  
BR2\_LINUX\_KERNEL\_CUSTOM\_CONFIG\_FILE="\$(KSZ\_HOME)/kernels/linux-4.9.143/arch/arm/configs/sama5\_ksz\_dsa\_defconfig"

或者，使用以下代码编译软件：

```
$ git clone https://github.com/Microchip-Ethernet/EVB-KSZ9477.git
$ cd EVB-KSZ9477/KSZ
$ export KSZ_HOME=`pwd`
$ cd Atmel_SOC_SAMA5D3/buildroot
$ make O=mybuild atmel_sama5d3_xplained_ksz9897_defconfig
```

此时，会创建mybuild文件夹。如果打开mybuild/.config文件并搜索KSZ\_HOME，则可以找到内核和关联的sama5\_ksz\_defconfig配置文件。

该应用程序使用以下命令进行编译：

```
$ cd mybuild
$ make
```

# AN3761

## 演示

本节演示如何使用Linux网络工具来配置KSZ交换芯片，例如使用`ip`配置接口，使用`bridge`进行桥接，以及使用`ethtool`获取端口统计信息。

### 使用`ip`创建桥接设备并列已创建的设备

```
#ip link add name br1 type bridge /* 添加一个桥接设备br1 */
#ip link show /* 下面显示使用EVB-KSZ9477创建的网络设备 */
```

```
1: lo: <LOOPBACK,UP,LOWER_UP> mtu 65536 qdisc noqueue state UNKNOWN mode DEFAULT group default qlen 1
    link/loopback 00:00:00:00:00:00 brd 00:00:00:00:00:00
2: can0: <NOARP,ECHO> mtu 16 qdisc noop state DOWN mode DEFAULT group default qlen 10
    link/can
3: eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc pfifo_fast state UP mode DEFAULT group default qlen 1000
    link/ether 00:10:a1:94:77:10 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
4: sit0@NONE: <NOARP> mtu 1480 qdisc noop state DOWN mode DEFAULT group default qlen 1
    link/sit 0.0.0.0 brd 0.0.0.0
5: lan1@eth0: <NO-CARRIER,BROADCAST,MULTICAST,UP> mtu 1500 qdisc noqueue master br0 switchid 00000000 state LOWERLAYERDOWN mode DEFAULT group default qlen 1000
    link/ether 00:10:a1:94:77:10 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
6: lan2@eth0: <NO-CARRIER,BROADCAST,MULTICAST,UP> mtu 1500 qdisc noqueue master br0 switchid 00000000 state LOWERLAYERDOWN mode DEFAULT group default qlen 1000
    link/ether 00:10:a1:94:77:10 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
7: lan3@eth0: <NO-CARRIER,BROADCAST,MULTICAST,UP> mtu 1500 qdisc noqueue master br0 switchid 00000000 state LOWERLAYERDOWN mode DEFAULT group default qlen 1000
    link/ether 00:10:a1:94:77:10 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
8: lan4@eth0: <NO-CARRIER,BROADCAST,MULTICAST,UP> mtu 1500 qdisc noqueue master br0 switchid 00000000 state LOWERLAYERDOWN mode DEFAULT group default qlen 1000
    link/ether 00:10:a1:94:77:10 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
9: lan5@eth0: <NO-CARRIER,BROADCAST,MULTICAST,UP> mtu 1500 qdisc noqueue master br0 switchid 00000000 state LOWERLAYERDOWN mode DEFAULT group default qlen 1000
    link/ether 00:10:a1:94:77:10 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
10: lan6@eth0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc noqueue master br0 switchid 00000000 state UP mode DEFAULT group default qlen 1000
    link/ether 00:10:a1:94:77:10 brd ff:ff:ff:ff:ff:ff
11: br0: <BROADCAST,MULTICAST,UP,LOWER_UP> mtu 1500 qdisc noqueue state UP mode DEFAULT group default qlen 1000
```

### 使用`bridge`添加/删除VLAN接口

```
#bridge vlan add dev lan1 vid 1 pvid untagged
#bridge vlan del dev lan1 vid 1
```

### 使用`ethtool`获取lan5接口统计信息

```
# ethtool -S lan1
```

NIC统计信息:

```
tx_packets: 6
...
/* 截去了中间转储信息 */
...
tx_discards: 0
```

**注:** `sysfs`系统`/sys/class/net`仍可用于交换芯片管理。

## 验证前端口与CPU端口之间的通信

以下步骤用于验证CPU端口与外部CPU的NIC/MAC端口之间的网络连接。

1. 将网络设备设置为在线（请注意，必须先设置主要设备，再设置辅助设备）。

```
#ip link set eth0 up
#ip link set lan5 up
```

2. 创建一个桥接器br0，然后向其中添加lan5。

```
#ip link add name br0 type bridge
#ip link set dev lan5 master br0
```

3. 为br0分配一个IP地址并将其设为在线。

```
#ip addr add 10.9.52.100/24 dev br0
#ip link set dev br0 up
```

4. 通过为PC分配静态IP地址10.9.52.109，将其连接至lan5。

5. 在lan5与br0之间进行测试（ping）。测试应成功通过。

现在，CPU端口与主机处理器之间已准备好转发数据包。

此外，还可使用*tcpdump*实用程序监视数据包和DSA标记。

```
# tcpdump -x -i eth0 icmp
tcpdump: verbose output suppressed, use -v or -vv for full protocol decode
listening on eth0, link-type EN10MB (Ethernet), capture size 262144 bytes
08:46:09.517381 IP 10.9.52.109 > 10.9.52.100: ICMP echo request, id 1, seq 863, length 40
0x0000: 4500 003c bee6 0000 8001 fef7 0a09 346d
0x0010: 0a09 3464 0800 49fc 0001 035f 6162 6364
0x0020: 6566 6768 696a 6b6c 6d6e 6f70 7172 7374
0x0030: 7576 7761 6263 6465 6667 6869 04

08:46:09.518323 IP 10.9.52.100 > 10.9.52.109: ICMP echo reply, id 1, seq 863, length 40
0x0000: 4500 003c 33d3 0000 4001 ca0b 0a09 3464
0x0010: 0a09 346d 0000 51fc 0001 035f 6162 6364
0x0020: 6566 6768 696a 6b6c 6d6e 6f70 7172 7374
0x0030: 7576 7761 6263 6465 6667 6869 0010
```

在上述捕捉的数据包中，可以看到在Rx方向（从lan5到CPU端口）上插入了一个尾部标记字节**04**，在相反的Tx方向上插入了两个尾部标记字节**0010**。

# AN3761

---

## 附录 A: 应用笔记版本历史

表 A-1: 版本历史

版本与日期	节/图/条目	更正
DS00003761A (2020年12月17日)		初始版本



注:

## MICROCHIP 网站

Microchip 网站 ([www.microchip.com](http://www.microchip.com)) 为客户提供在线支持。客户可通过该网站方便地获取文件和信息。我们的网站提供以下内容：

- **产品支持** —— 数据手册和勘误表、应用笔记和示例程序、设计资源、用户指南以及硬件支持文档、最新的软件版本以及归档软件
- **一般技术支持** —— 常见问题解答 (FAQ)、技术支持请求、在线讨论组以及 Microchip 设计伙伴计划成员名单
- **Microchip 业务** —— 产品选型和订购指南、最新 Microchip 新闻稿、研讨会和活动安排表、Microchip 销售办事处、代理商以及工厂代表列表

## 变更通知客户服务

Microchip 的变更通知客户服务有助于客户了解 Microchip 产品的最新信息。注册客户可在他们感兴趣的某个产品系列或开发工具发生变更、更新、发布新版本或勘误表时，收到电子邮件通知。

欲注册，请访问 [www.microchip.com/pcn](http://www.microchip.com/pcn)，然后按照注册说明进行操作。

## 客户支持

Microchip 产品的用户可通过以下渠道获得帮助：

- 代理商或代表
- 当地销售办事处
- 应用工程师 (ESE)
- 技术支持

客户应联系其代理商、代表或 ESE 寻求支持。当地销售办事处也可为客户提供帮助。本文档后附有销售办事处的联系方式。

也可通过 <http://microchip.com/support> 获得网上技术支持。

---

---

请注意以下有关 Microchip 产品代码保护功能的要点：

- Microchip 的产品均达到 Microchip 数据手册中所述的技术规范。
- Microchip 确信：在正常使用且符合工作规范的情况下，Microchip 系列产品非常安全。
- Microchip 注重并积极保护其知识产权。严禁任何试图破坏 Microchip 产品代码保护功能的行为，这种行为可能会违反《数字千年版权法案》(Digital Millennium Copyright Act)。
- Microchip 或任何其他半导体厂商均无法保证其代码的安全性。代码保护并不意味着我们保证产品是“牢不可破”的。代码保护功能处于持续发展之中。Microchip 承诺将不断改进产品的代码保护功能。

---

提供本档的中文版本仅为了便于理解。请勿忽视文档中包含的英文部分，因为其中提供了有关 Microchip 产品性能和使用情况的有用信息。Microchip Technology Inc. 及其分公司和相关公司、各级主管与员工及事务代理机构对译文中可能存在的任何差错不承担任何责任。建议参考 Microchip Technology Inc. 的英文原版文档。

本出版物及其提供的信息仅适用于 Microchip 产品，包括设计、测试以及将 Microchip 产品集成到您的应用中。以其他任何方式使用这些信息都将被视为违反条款。本出版物中的器件应用信息仅为您提供便利，将来可能会发生更新。如需额外的支持，请联系当地的 Microchip 销售办事处，或访问 <https://www.microchip.com/en-us/support/design-help/client-supportservices>。

**Microchip “按原样”提供这些信息。Microchip 对这些信息不作任何明示或暗示、书面或口头、法定或其他形式的声明或担保，包括但不限于针对非侵权性、适销性和特定用途的适用性的暗示担保，或针对其使用情况、质量或性能的担保。**

在任何情况下，对于因这些信息或使用这些信息而产生的任何间接的、特殊的、惩罚性的、偶然的或间接的损失、损害或任何类型的开销，Microchip 概不承担任何责任，即使 Microchip 已被告知可能发生损害或损害可以预见。在法律允许的最大范围内，对于因这些信息或使用这些信息而产生的所有索赔，Microchip 在任何情况下所承担的全部责任均不超出您为获得这些信息向 Microchip 直接支付的金额（如有）。如果将 Microchip 器件用于生命维持和 / 或生命安全应用，一切风险由买方自负。买方同意在由此引发任何一切损害、索赔、诉讼或费用时，会维护和保障 Microchip 免于承担法律责任。除非另外声明，在 Microchip 知识产权保护下，不得暗中或以其他方式转让任何许可证。

有关 Microchip 质量管理体系的更多信息，请访问 [www.microchip.com/quality](http://www.microchip.com/quality)。

#### 商标

Microchip 的名称和徽标组合、Microchip 徽标、Adaptec、AVR、AVR 徽标、AVR Freaks、BesTime、BitCloud、CryptoMemory、CryptoRF、dsPIC、flexPWR、HELDO、IGLOO、JukeBlox、KeeLoq、Kleer、LANCheck、LinkMD、maXStylus、maXTouch、MediaLB、megaAVR、Microsemi、Microsemi 徽标、MOST、MOST 徽标、MPLAB、OptoLyzer、PIC、picoPower、PICSTART、PIC32 徽标、PolarFire、Prochip Designer、QTouch、SAM-BA、SenGenuity、SpyNIC、SST、SST 徽标、SuperFlash、Symmetricom、SyncServer、Tachyon、TimeSource、tinyAVR、UNI/O、Vectron 及 XMEGA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的注册商标。

AgileSwitch、ClockWorks、The Embedded Control Solutions Company、EtherSynch、Flashtec、Hyper Speed Control、HyperLight Load、Liberio、motorBench、mTouch、Powermite 3、Precision Edge、ProASIC、ProASIC Plus、ProASIC Plus 徽标、Quiet-Wire、SmartFusion、SyncWorld、TimeCesium、TimeHub、TimePictra、TimeProvider 和 ZL 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国的注册商标。

Adjacent Key Suppression、AKS、Analog-for-the-Digital Age、Any Capacitor、AnyIn、AnyOut、Augmented Switching、BlueSky、BodyCom、Clockstudio、CodeGuard、CryptoAuthentication、CryptoAutomotive、CryptoCompanion、CryptoController、dsPICDEM、dsPICDEM.net、Dynamic Average Matching、DAM、ECAN、Espresso T1S、EtherGREEN、EyeOpen、GridTime、IdealBridge、IGaT、In-Circuit Serial Programming、ICSP、INICnet、Intelligent Paralleling、IntelliMOS、Inter-Chip Connectivity、JitterBlocker、Knob-on-Display、MarginLink、maxCrypto、maxView、memBrain、Mindi、MiWi、MPASM、MPF、MPLAB Certified 徽标、MPLIB、MPLINK、mSIC、MultiTRAK、NetDetach、Omniscient Code Generation、PICDEM、PICDEM.net、PICkit、PICtail、Power MOS IV、Power MOS 7、PowerSmart、PureSilicon、QMatrix、REAL ICE、Ripple Blocker、RTAX、RTG4、SAM-ICE、Serial Quad I/O、simpleMAP、SimpliPHY、SmartBuffer、SmartHLS、SMART-I.S.、storClad、SQL、SuperSwitcher、SuperSwitcher II、Switchtec、SynchroPHY、Total Endurance、Trusted Time、TSHARC、Turing、USBCheck、VariSense、VectorBlox、VeriPHY、ViewSpan、WiperLock、XpressConnect 和 ZENA 均为 Microchip Technology Incorporated 在美国和其他国家或地区的商标。

SQTP 为 Microchip Technology Incorporated 在美国的服务标记。

Adaptec 徽标、Frequency on Demand、Silicon Storage Technology 和 Symmcom 均为 Microchip Technology Inc. 在除美国外的国家或地区的注册商标。

GestIC 为 Microchip Technology Inc. 的子公司 Microchip Technology Germany II GmbH & Co. KG 在除美国外的国家或地区的注册商标。

在此提及的所有其他商标均为各持有公司所有。

© 2024, Microchip Technology Incorporated 及其子公司版权所有。

ISBN: 978-1-6683-4096-7

## 全球销售及服务中心

### 美洲

公司总部 **Corporate Office**  
2355 West Chandler Blvd.  
Chandler, AZ 85224-6199  
Tel: 1-480-792-7200  
Fax: 1-480-792-7277

技术支持:  
<http://www.microchip.com/support>

网址: [www.microchip.com](http://www.microchip.com)

**亚特兰大 Atlanta**  
Duluth, GA

Tel: 1-678-957-9614  
Fax: 1-678-957-1455

**奥斯汀 Austin, TX**  
Tel: 1-512-257-3370

**波士顿 Boston**  
Westborough, MA  
Tel: 1-774-760-0087  
Fax: 1-774-760-0088

**芝加哥 Chicago**  
Itasca, IL  
Tel: 1-630-285-0071  
Fax: 1-630-285-0075

**达拉斯 Dallas**  
Addison, TX  
Tel: 1-972-818-7423  
Fax: 1-972-818-2924

**底特律 Detroit**  
Novi, MI  
Tel: 1-248-848-4000

**休斯敦 Houston, TX**  
Tel: 1-281-894-5983

**印第安纳波利斯 Indianapolis**  
Noblesville, IN  
Tel: 1-317-773-8323  
Fax: 1-317-773-5453  
Tel: 1-317-536-2380

**洛杉矶 Los Angeles**  
Mission Viejo, CA  
Tel: 1-949-462-9523  
Fax: 1-949-462-9608  
Tel: 1-951-273-7800

**罗利 Raleigh, NC**  
Tel: 1-919-844-7510

**纽约 New York, NY**  
Tel: 1-631-435-6000

**圣何塞 San Jose, CA**  
Tel: 1-408-735-9110  
Tel: 1-408-436-4270

**加拿大多伦多 Toronto**  
Tel: 1-905-695-1980  
Fax: 1-905-695-2078

### 亚太地区

中国 - 北京  
Tel: 86-10-8569-7000

中国 - 成都  
Tel: 86-28-8665-5511

中国 - 重庆  
Tel: 86-23-8980-9588

中国 - 东莞  
Tel: 86-769-8702-9880

中国 - 广州  
Tel: 86-20-8755-8029

中国 - 杭州  
Tel: 86-571-8792-8115

中国 - 南京  
Tel: 86-25-8473-2460

中国 - 青岛  
Tel: 86-532-8502-7355

中国 - 上海  
Tel: 86-21-3326-8000

中国 - 沈阳  
Tel: 86-24-2334-2829

中国 - 深圳  
Tel: 86-755-8864-2200

中国 - 苏州  
Tel: 86-186-6233-1526

中国 - 武汉  
Tel: 86-27-5980-5300

中国 - 西安  
Tel: 86-29-8833-7252

中国 - 厦门  
Tel: 86-592-238-8138

中国 - 香港特别行政区  
Tel: 852-2943-5100

中国 - 珠海  
Tel: 86-756-321-0040

台湾地区 - 高雄  
Tel: 886-7-213-7830

台湾地区 - 台北  
Tel: 886-2-2508-8600

台湾地区 - 新竹  
Tel: 886-3-577-8366

### 亚太地区

澳大利亚 **Australia - Sydney**  
Tel: 61-2-9868-6733

印度 **India - Bangalore**  
Tel: 91-80-3090-4444

印度 **India - New Delhi**  
Tel: 91-11-4160-8631

印度 **India - Pune**  
Tel: 91-20-4121-0141

日本 **Japan - Osaka**  
Tel: 81-6-6152-7160

日本 **Japan - Tokyo**  
Tel: 81-3-6880-3770

韩国 **Korea - Daegu**  
Tel: 82-53-744-4301

韩国 **Korea - Seoul**  
Tel: 82-2-554-7200

马来西亚  
**Malaysia - Kuala Lumpur**  
Tel: 60-3-7651-7906

马来西亚 **Malaysia - Penang**  
Tel: 60-4-227-8870

菲律宾 **Philippines - Manila**  
Tel: 63-2-634-9065

新加坡 **Singapore**  
Tel: 65-6334-8870

泰国 **Thailand - Bangkok**  
Tel: 66-2-694-1351

越南 **Vietnam - Ho Chi Minh**  
Tel: 84-28-5448-2100

### 欧洲

奥地利 **Austria - Wels**  
Tel: 43-7242-2244-39  
Fax: 43-7242-2244-393

丹麦  
**Denmark - Copenhagen**  
Tel: 45-4485-5910  
Fax: 45-4485-2829

芬兰 **Finland - Espoo**  
Tel: 358-9-4520-820

法国 **France - Paris**  
Tel: 33-1-69-53-63-20  
Fax: 33-1-69-30-90-79

德国 **Germany - Garching**  
Tel: 49-8931-9700

德国 **Germany - Haan**  
Tel: 49-2129-3766400

德国 **Germany - Heilbronn**  
Tel: 49-7131-72400

德国 **Germany - Karlsruhe**  
Tel: 49-721-625370

德国 **Germany - Munich**  
Tel: 49-89-627-144-0  
Fax: 49-89-627-144-44

德国 **Germany - Rosenheim**  
Tel: 49-8031-354-560

以色列 **Israel - Ra'anana**  
Tel: 972-9-744-7705

意大利 **Italy - Milan**  
Tel: 39-0331-742611  
Fax: 39-0331-466781

意大利 **Italy - Padova**  
Tel: 39-049-7625286

荷兰 **Netherlands - Drunen**  
Tel: 31-416-690399  
Fax: 31-416-690340

挪威 **Norway - Trondheim**  
Tel: 47-7288-4388

波兰 **Poland - Warsaw**  
Tel: 48-22-3325737

罗马尼亚  
**Romania - Bucharest**  
Tel: 40-21-407-87-50

西班牙 **Spain - Madrid**  
Tel: 34-91-708-08-90  
Fax: 34-91-708-08-91

瑞典 **Sweden - Gothenberg**  
Tel: 46-31-704-60-40

瑞典 **Sweden - Stockholm**  
Tel: 46-8-5090-4654

英国 **UK - Wokingham**  
Tel: 44-118-921-5800  
Fax: 44-118-921-5820