

Thermal 开发指南

前言

概述

主要描述 thermal 的相关概念、配置方法和用户态接口。

产品版本

芯片名称	内核版本
所有芯片	Linux4.4、Linux4.19

读者对象

本文档（本指南）主要适用于以下工程师：

技术支持工程师

软件开发工程师

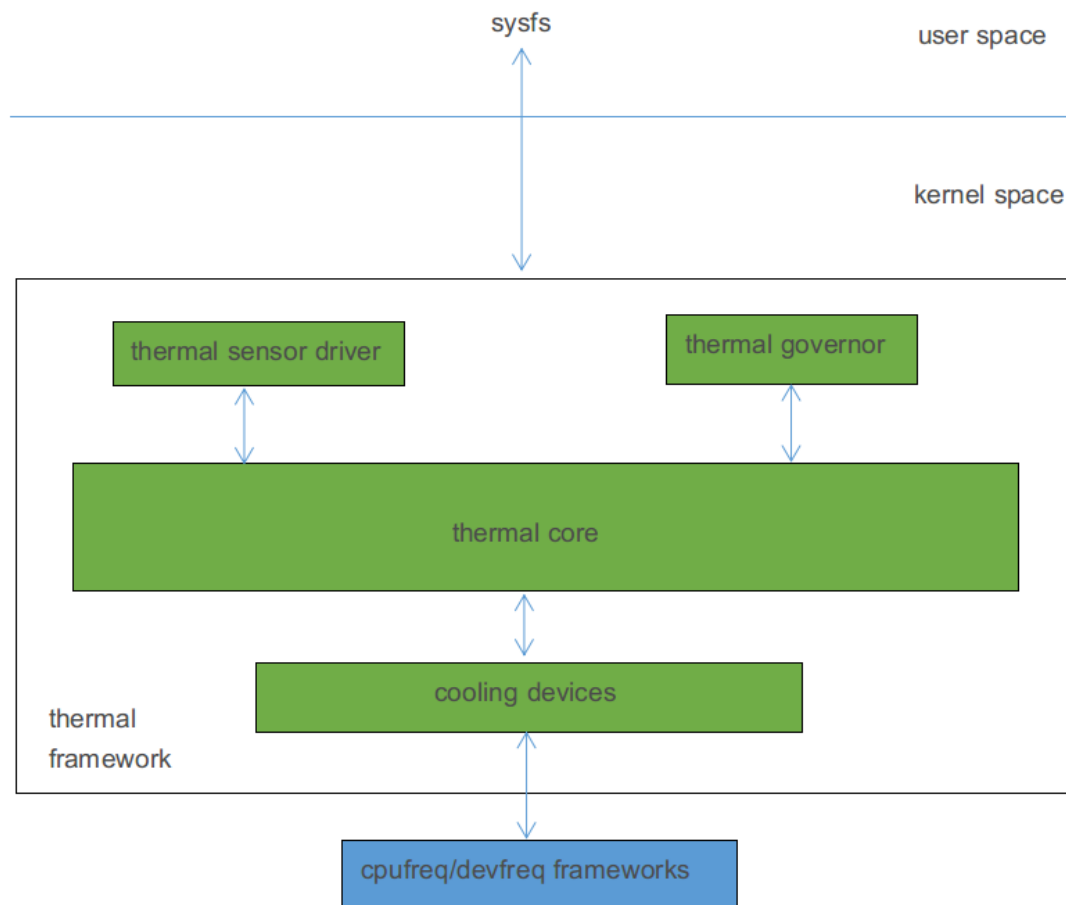
目录

Thermal 开发指南

1. 概述
2. 代码路径
3. 配置方法
 - 3.1 Menuconfig 配置
 - 3.2 Tsadc 配置
 - 3.3 Power allocator 策略配置
 - 3.3.1 CPU 配置
 - 3.3.2 GPU 配置
 - 3.3.3 Thermal Zone 配置
 - 3.3.4 温控参数调整
4. 用户态接口介绍
5. 常见问题
 - 5.1 关温控
 - 5.2 获取当前温度

1. 概述

Thermal 是内核开发者定义的一套支持根据指定 governor 控制系统温度，以防止芯片过热的框架模型。Thermal framework 由 governor、core、cooling device、sensor driver 组成，软件架构如下：



Thermal governor: 用于决定 cooling device 是否需要降频，降到什么程度。目前 Linux4.4 内核中包含了以下几种 governor:

- power_allocator: 引入 PID（比例-积分-微分）控制，根据当前温度，动态给各 cooling device 分配 power，并将 power 转换为频率，从而达到根据温度限制频率的效果。
- step_wise: 根据当前温度，cooling device 逐级降频。
- fair share: 频率档位比较多的 cooling device 优先降频。
- userspace: 不限制频率。

Thermal core: 对 thermal governors 和 thermal driver 进行了封装和抽象，并定义了清晰的接口。

Thermal sensor driver: sensor 驱动，用于获取温度，比如 tsadc。

Thermal cooling device: 发热源或者可以降温的设备，比如 CPU、GPU、DDR 等。

2. 代码路径

Governor 相关代码:

```
drivers/thermal/power_allocator.c      /* power allocator温控策略 */
drivers/thermal/step_wise.c           /* step wise温控策略 */
drivers/thermal/fair_share.c          /* fair share温控策略 */
drivers/thermal/user_space.c          /* userspace温控策略 */
```

Cooling device 相关代码:

```
drivers/thermal/devfreq_cooling.c
drivers/thermal/cpu_cooling.c
```

Core 相关代码:

```
drivers/thermal/thermal_core.c
```

Driver 相关代码:

```
drivers/thermal/rockchip_thermal.c    /* 除了RK3368外的其他平台的tsadc驱动 */
drivers/thermal/rk3368_thermal.c      /* RK3368平台tsadc驱动 */
```

3. 配置方法

3.1 Menuconfig 配置

```
<*> Generic Thermal sysfs driver --->
    --- Generic Thermal sysfs driver
    [*]   APIs to parse thermal data out of device tree
    [*]   Enable writable trip points
           Default Thermal governor (power_allocator) ---> /* default thermal
governor */
    [ ]   Fair-share thermal governor
    [ ]   Step_wise thermal governor                        /* step_wise governor
*/
    [ ]   Bang Bang thermal governor
    [*]   User_space thermal governor                      /* user_space governor
*/
    --*-- Power allocator thermal governor                 /* power_allocator
governor */
    [*]   generic cpu cooling support                       /* cooling device */
    [ ]   Generic clock cooling support
    [*]   Generic device cooling support                    /* cooling device */
    [ ]   Thermal emulation mode support
    < >   Temperature sensor driver for Freescale i.MX SoCs
    <*>   Rockchip thermal driver                          /* thermal sensor
driver */
    < >   rk_virtual thermal driver
    <*>   rk3368 thermal driver legacy                      /* thermal sensor
driver */
```

通过“Default Thermal governor”配置项，可以选择温控策略，开发者可以根据实际产品需求进行修改。

3.2 Tsadc 配置

Tsadc 在温控中作为 thermal sensor，用于获取温度，通常需要在 DTSI 和 DTS 都做配置。

以 RK3399 为例，DTSI 包括如下配置：

```
tsadc: tsadc@ff260000 {
    compatible = "rockchip,rk3399-tsadc";
    reg = <0x0 0xff260000 0x0 0x100>; /* 寄存器基地址和寄存器地址总长度 */
    interrupts = <GIC_SPI 97 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH 0>; /* 中断号及中断触发方式 */
    assigned-clocks = <&cru SCLK_TSADC>; /* 工作时钟，750KHz */
    assigned-clock-rates = <750000>;
    clocks = <&cru SCLK_TSADC>, <&cru PCLK_TSADC>; /* 工作时钟和配置时钟 */
    clock-names = "tsadc", "apb_pclk";
    resets = <&cru SRST_TSADC>; /* 复位信号 */
    reset-names = "tsadc-apb";
    rockchip,grf = <&grf>; /* 引用grf模块，部分平台需要 */
    rockchip,hw-tshut-temp = <120000>; /* 过温重启阈值，120摄氏度 */
    /* tsadc输出引脚配置，支持两种模式：gpio和otpout */
    pinctrl-names = "gpio", "otpout";
    pinctrl-0 = <&otp_gpio>;
    pinctrl-1 = <&otp_out>;
    /*
     * thermal sensor标识，表示tsadc可以作为一个thermal sensor，
     * 并指定了引用tsadc节点的时候需要带几个参数。
     * 如果SoC里面只有一个tsadc，可以设置为0，超过一个必须设置为1。
     */
    #thermal-sensor-cells = <1>;
    status = "disabled";
};

/* IO口配置 */
pinctrl: pinctrl {
    ...
    tsadc {
        /* 配置为gpio模式 */
        otp_gpio: otp-gpio {
            rockchip,pins = <1 6 RK_FUNC_GPIO &pcfg_pull_none>;
        };
        /* 配置为over temperature protection模式 */
        otp_out: otp-out {
            rockchip,pins = <1 6 RK_FUNC_1 &pcfg_pull_none>;
        };
    };
    ....
}
```

DTS 的配置，主要用于选择通过 CRU 复位还是 GPIO 复位，低电平复位还是高电平复位。需要特别注意的是如果配置成 GPIO 复位，硬件上需要否把 tsadc 输出引脚连到 PMIC 的复位脚，否则只能配置成 CRU 复位。

```
&tsadc {
    rockchip,hw-tshut-mode = <1>;          /* tshut mode 0:CRU 1:GPIO */
    rockchip,hw-tshut-polarity = <1>; /* tshut polarity 0:LOW 1:HIGH */
    status = "okay";
};
```

参考文档"Documentation/devicetree/bindings/thermal/rockchip-thermal.txt"。

3.3 Power allocator 策略配置

Power allocator 温控策略引入 PID（比例-积分-微分）控制，根据当前温度，动态给各 cooling device 分配 power，温度低的时候可分配的 power 比较大，即可以运行的频率高，随着温度上升，可分配的 power 逐渐减小，可运行的频率也逐渐降低，从而达到根据温度限制频率。

3.3.1 CPU 配置

CPU 在温控中作为 cooling device，节点中需要包含#cooling-cells、dynamic-power-coefficient 属性。

以 RK3399 为例：

```
cpu_l0: cpu@0 {
    device_type = "cpu";
    compatible = "arm,cortex-a53", "arm,armv8";
    reg = <0x0 0x0>;
    enable-method = "psci";
    #cooling-cells = <2>; /* cooling device标识，表示该设备可以作为一个cooling device */
    clocks = <&cru ARMCLKL>;
    cpu-idle-states = <&CPU_SLEEP &CLUSTER_SLEEP>;
    dynamic-power-coefficient = <100>; /* 动态功耗常数C，动态功耗公式为Pdyn=C*V^2*F */
};
...
cpu_b0: cpu@100 {
    device_type = "cpu";
    compatible = "arm,cortex-a72", "arm,armv8";
    reg = <0x0 0x100>;
    enable-method = "psci";
    #cooling-cells = <2>; /* cooling device标识，表示该设备可以作为一个cooling device */
    clocks = <&cru ARMCLKB>;
    cpu-idle-states = <&CPU_SLEEP &CLUSTER_SLEEP>;
    dynamic-power-coefficient = <436>; /* 用于计算动态功耗的参数 */
};
```

3.3.2 GPU 配置

GPU 在温控中作为 cooling device，节点需要包含#cooling-cells 属性和 power_model 子节点。

以 RK3399 为例：

```

gpu: gpu@ff9a0000 {
    compatible = "arm,mali-t860",
        "arm,mali-t86x",
        "arm,mali-t8xx",
        "arm,mali-midgard";

    reg = <0x0 0xff9a0000 0x0 0x10000>;

    interrupts = <GIC_SPI 19 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH 0>,
        <GIC_SPI 20 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH 0>,
        <GIC_SPI 21 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH 0>;
    interrupt-names = "GPU", "JOB", "MMU";

    clocks = <&cru ACLK_GPU>;
    clock-names = "clk_mali";
    #cooling-cells = <2>; /* cooling device标识, 表示该设备可以作为一个cooling device
*/
    power-domains = <&power RK3399_PD_GPU>;
    power-off-delay-ms = <200>;
    status = "disabled";

    gpu_power_model: power_model {
        compatible = "arm,mali-simple-power-model";
        static-coefficient = <411000>; /* 用于计算静态功耗的参数 */
        dynamic-coefficient = <733>; /* 用于计算动态功耗的参数 */
        ts = <32000 4700 (-80) 2>; /* 用于计算静态功耗的参数 */
        thermal-zone = "gpu-thermal"; /* 从gpu-thermal获取温度, 用于计算静态功耗 */
    };
};

```

3.3.3 Thermal Zone 配置

Thermal zone 节点主要用于配置温控策略相关的参数并生成对应的用户态接口。

以 RK3399 为例:

```

thermal_zones: thermal-zones {
    /* 一个节点对应一个thermal zone, 并包含温控策略相关参数 */
    soc_thermal: soc-thermal {
        /* 温度高于trip-point-0指定的值, 每隔20ms获取一次温度 */
        polling-delay-passive = <20>; /* milliseconds */
        /* 温度低于trip-point-0指定的值, 每隔1000ms获取一次温度 */
        polling-delay = <1000>; /* milliseconds */
        /* 温度等于trip-point-1指定的值时, 系统分配给cooling device的能量 */
        sustainable-power = <1000>; /* milliwatts */
        /* 当前thermal zone通过tsadc0获取温度 */
        thermal-sensors = <&tsadc 0>;

        /* trips包含不同温度阈值, 不同的温控策略, 配置不一定相同 */
        trips {
            /*
            * 温控阈值, 超过该值温控策略开始工作, 但不一定马上限制频率,
            * power小到一定程度才开始限制频率
            */
            threshold: trip-point-0 {

```



```

/* 超过70摄氏度，温控策略开始工作，并且70摄氏度也是tsadc触发中断的一个阈值 */
*/
temperature = <70000>; /* millicelsius */
/* 温度低于temperature-hysteresis时触发中断，当前未实现，但是框架要求必须填 */
hysteresis = <2000>; /* millicelsius */
type = "passive"; /* 表示超过该温度值时，使用polling-delay-passive */
*/
};
/* 温控目标温度，期望通过降频使得芯片不超过该值 */
target: trip-point-1 {
/* 期望通过降频使得芯片不超过85摄氏度，并且85摄氏度也是tsadc触发中断的一个阈值 */
temperature = <85000>; /* millicelsius */
/* 温度低于temperature-hysteresis时触发中断，当前未实现，但是框架要求必须填 */
hysteresis = <2000>; /* millicelsius */
type = "passive"; /* 表示超过该温度值时，使用polling-delay-passive */
*/
};
/* 过温保护阈值，如果降频后温度仍然上升，那么超过该值后，让系统重启 */
soc_crit: soc-crit {
/* 超过115摄氏度重启，并且115摄氏度也是tsadc触发中断的一个阈值 */
temperature = <115000>; /* millicelsius */
/* 温度低于temperature-hysteresis时触发中断，当前未实现，但是框架要求必须填 */
hysteresis = <2000>; /* millicelsius */
type = "critical"; /* 表示超过该温度值时，重启 */
};
};

/* cooling device配置节点，每个子节点代表一个cooling device */
cooling-maps {
map0 {
/*
* 表示在target trip下，该cooling device才起作用，
* 对于power allocator策略必须填target
*/
trip = <&target>;
/* A53做为cooling device， THERMAL_NO_LIMIT不起作用，但必须填 */
cooling-device =
<&cpu_l0 THERMAL_NO_LIMIT THERMAL_NO_LIMIT>;
contribution = <4096>; /* 计算功耗时乘以4096/1024倍，用于调整降频顺序和尺度 */
};
map1 {
/*
* 表示在target trip下，该cooling device才起作用，
* 对于power allocator策略必须填target
*/
trip = <&target>;
/* A72做为cooling device， THERMAL_NO_LIMIT不起作用，但必须填 */
cooling-device =
<&cpu_b0 THERMAL_NO_LIMIT THERMAL_NO_LIMIT>;
contribution = <1024>; /* 计算功耗时乘以1024/1024倍，用于调整降频顺序和尺度 */
};
map2 {

```

```

/*
 * 表示在target trip下，该cooling device才起作用，
 * 对于power allocator策略必须填target
 */
trip = <&target>;
/* GPU做为cooling device， THERMAL_NO_LIMIT不起作用，但必须填 */
cooling-device =
    <&gpu THERMAL_NO_LIMIT THERMAL_NO_LIMIT>;
contribution = <4096>;/* 计算功耗时乘以4096/1024倍，用于调整降频顺序和
尺度 */
    };
};
/* 一个节点对应一个thermal zone，并包含温控策略相关参数，当前thermal zone只用于获取温
度 */
gpu_thermal: gpu-thermal {
    /* 包含温控策略配置的情况下才起作用，要求必须填 */
    polling-delay-passive = <100>; /* milliseconds */
    /* 每隔1000ms获取一次温度 */
    polling-delay = <1000>; /* milliseconds */

    /* 当前thermal zone通过tsadc1获取温度 */
    thermal-sensors = <&tsadc 1>;
};
};

```

参考文

档"Documentation/devicetree/bindings/thermal/thermal.txt"、"Documentation/thermal/power_allocator.txt"。

3.3.4 温控参数调整

有些参数是跟芯片相关，一般不需要修改。有些参数需要根据产品实际情况调整，通常情况可以按以下步骤进行：

- (1) 确定目标温度。

假设我们希望 70 度以上温控开始工作（更频繁地获取温度），最高温度不超过 85 度，超过 115 度系统重启。于是要做如下配置：

```

thermal_zones: thermal-zones {
    soc_thermal: soc-thermal {
        ....
        trips {
            threshold: trip-point-0 {
                /*
                 * 70度以上温控开始工作，缩短了获取温度的时间间隔，但不一定马上降频，
                 * 还跟sustainable-power有关
                 */
                temperature = <70000>; /* millicelsius */
                hysteresis = <2000>; /* millicelsius */
                type = "passive";
            };
            target: trip-point-1 {
                /* 期望最高温度不超过85度 */
                temperature = <85000>; /* millicelsius */
                hysteresis = <2000>; /* millicelsius */
            };
        };
    };
};

```

```

        type = "passive";
    };
    soc_crit: soc-crit {
        /* 超过115度系统重启 */
        temperature = <115000>; /* millicelsius */
        hysteresis = <2000>; /* millicelsius */
        type = "critical";
    };
};
...
}
};

```

(2) 确定 cooling device。

以 RK3399 为例，有些产品需要用到 CPU 和 GPU，可以做如下配置：

```

thermal_zones: thermal-zones {
    soc_thermal: soc-thermal {
        ...
        /* A53、A72、GPU三个模块都作为cooling device，可通过降频降温 */
        cooling-maps {
            map0 {
                trip = <&target>;
                cooling-device =
                    <&cpu_l0 THERMAL_NO_LIMIT THERMAL_NO_LIMIT>;
                contribution = <4096>;
            };
            map1 {
                trip = <&target>;
                cooling-device =
                    <&cpu_b0 THERMAL_NO_LIMIT THERMAL_NO_LIMIT>;
                contribution = <1024>;
            };
            map2 {
                trip = <&target>;
                cooling-device =
                    <&gpu THERMAL_NO_LIMIT THERMAL_NO_LIMIT>;
                contribution = <4096>;
            };
        };
        ...
    };
};

```

有些产品只用到 CPU，可以做如下配置：

```

thermal_zones: thermal-zones {
    soc_thermal: soc-thermal {
        ...
        /* 只有A53、A72两个模块作为cooling device，可通过降频降温 */
        cooling-maps {
            map0 {
                trip = <&target>;
                cooling-device =
                    <&cpu_l0 THERMAL_NO_LIMIT THERMAL_NO_LIMIT>;
                contribution = <4096>;
            };
        };
    };
};

```

```

    };
    map1 {
        trip = <&target>;
        cooling-device =
            <&cpu_b0 THERMAL_NO_LIMIT THERMAL_NO_LIMIT>;
        contribution = <1024>;
    };
};
...
};
};

```

(3) 调整 sustainable-power。

在(1)中设置了一个 70 度到 85 度的范围，表示系统在 70 度的时候会提供一个比较大的 power 值，随着温度的升高，power 逐渐减小，减到一定程度后开始降频，如果温度继续升高，power 继续降低，频率也继续降低。所以超过 70 度的时候只是获取温度的时间间隔缩短了，并不一定会降频，具体什么时候降频可以通过修改 sustainable 的值进行调整。

假如我们设置为超过 70 度温控策略开始工作，即缩短获取温度的时间间隔，75 度的时候开始限制频率（这样设可以减小温控刚开始时频率波动的幅度），最高不超过 85 度。那么可以先让 75 度时的 power 值等于所以 cooling device 的最大功耗之和，然后适当减小调试，直到满足我们的需求。

功耗分为静态功耗和动态功耗，计算公式分别如下：

静态功耗公式：

/* a、b、c、d、C是常量，在DTSI中配置，保持默认值即可，T是温度，V是电压，需要根据实际情况调整 */

$t_scale = (a * T^3) + (b * T^2) + (c * T) + d$

$v_scale = V^3$

$P(s) = C * T_scale * V_scale$

动态功耗公式：

/* C是常量，在DTSI中配置，保持默认值即可，V是电压，F是频率，需要根据实际情况调整 */

$P(d) = C * V^2 * F$

以 RK3399 为例，假设 A53、A72、GPU 都有工作，都需要限制，实际使用最高频分别为 1416MHz（1125mV）、1800MHz（1200mV）、800MHz（1100mV），功耗计算如下：

A53 动态功耗：C = 100（dynamic-power-coefficient配置为100），V = 1125mV，F = 1416MHz，四核

$P_d_a53 = 100 * 1125 * 1125 * 1416 * 4 / 1000000000 = 716 \text{ mW}$

A72 动态功耗：C = 436（dynamic-power-coefficient配置为436），V = 1200mV，F = 1800MHz，双核

$P_d_a72 = 436 * 1200 * 1200 * 1800 * 2 / 1000000000 = 2260 \text{ mW}$

GPU 动态功耗：C = 733（dynamic-coefficient配置为733），V = 1100mV，F = 800MHz

$P_d_gpu = 733 * 1100 * 1100 * 800 / 1000000000 = 709 \text{ mW}$

GPU 静态功耗：DTSI中static-coefficient配置为411000，ts配置为32000 4700 -80 2，则C = 411000，

a = 2, b = -80, c = 4700, d = 32000，温度为开始降频的温度值T = 75000mC，V = 1100mV

$t_scale = (2 * 75000 * 75000 * 75000 / 1000000) + (-80 * 75000 * 75000 / 1000) +$

$(4700 * 75000) + 32000 * 1000 = 778250$

$v_scale = 1100 * 1100 * 1100 / 1000000 = 1331$

$P_s_gpu = 411000 * 778250 / 1000000 * 1331 / 1000000 = 425\text{mW}$

```
P_max = P_d_a53 + P_d_a72 + P_d_gpu + P_s_gpu = 4110mW
```

注意：当前只有GPU有计算静态功耗；当前只是列出计算方法，实际上通过excel表格计算比较方便；

因为我们期望 75 度后才降频，所以可以先让 75 度时的 power 为最大的 power，再通过如下公式计算得 sustainable 的值：

```
sustainable + 2 * sustainable / (target- threshold) * (target- 75) = P_75  
sustainable + 2 * sustainable / (85 - 70) * (85 - 75) = 4110  
sustainable = 1761mW
```

DTSI 中 sustainable-power 先配置为 1761，实测不同的场景，比如 Antutu、Geekbench 等，抓 trace 数据，分析频率和温度的变化情况，或者通过 lisa 工具绘图分析，看看是否符合预期，如果不符合预期就减小该值，继续调试，直到符合预期。

(4) 调整 contribution。

通过调整 cooling device 对应的 contribution 可以调整降频顺序和降频尺度，即使不配置，也会设置为 1024。假如在高温下，A53 和 A72 都满负载运行，发现 A53 更容易被降频，这时如果想让 A72 优先降频，可以增大 A53 的 contribution，比如修改为：

```
thermal_zones: thermal-zones {  
    soc_thermal: soc-thermal {  
        ...  
        cooling-maps {  
            map0 {  
                trip = <&target>;  
                cooling-device =  
                    <&cpu_l0 THERMAL_NO_LIMIT THERMAL_NO_LIMIT>;  
                contribution = <4096>; /* 从默认值1024，改为4096 */  
            };  
            map1 {  
                trip = <&target>;  
                cooling-device =  
                    <&cpu_b0 THERMAL_NO_LIMIT THERMAL_NO_LIMIT>;  
                contribution = <1024>;  
            };  
        };  
    };  
    ...  
};
```

(5) 获取 trace 数据分析。

首先，需要开启 menuconfig 中 trace 的相关配置。

```
Kernel hacking --->  
[*] Tracers --->  
--- Tracers  
[ ] Kernel Function Tracer  
[ ] Enable trace events for preempt and irq disable/enable  
[ ] Interrupts-off Latency Tracer  
[ ] Preemption-off Latency Tracer  
[ ] Scheduling Latency Tracer  
[*] Trace process context switches and events
```

```
[ ] Trace syscalls
[ ] Create a snapshot trace buffer
Branch Profiling (No branch profiling) --->
[ ] Trace max stack
[ ] Support for tracing block IO actions
[ ] Add tracepoint that benchmarks tracepoints
< > Ring buffer benchmark stress tester
[ ] Ring buffer startup self test
[ ] Show enum mappings for trace events
[*] Trace gpio events
```

方法一：通过 trace-cmd 抓取 log，lisa 的工具包中带有 trace-cmd，lisa 环境的安装可以参考 lisa 相关文档。通过 adb 将 trace-cmd push 到目标板，然后通过如下命令获取温控相关 log：

```
/* -b指定缓存的大小，单位是Kb，不同的平台DDR容量不一样，可能需要调整 */
trace-cmd record -e thermal -e thermal_power_allocator -b 102400
```

Ctrl+C 可以停止记录 log，当前目录下会生成 trace.dat 文件，通过以下命令转换格式：

```
trace-cmd report trace.dat > trace.txt
```

再用 adb 将该文件 pull 到 PC 上，直接打开分析或者通过 lisa 工具分析。也可以将 trace.dat 文件 pull 到 PC 上，在 PC 上用 trace-cmd 转换成 trace.txt。

方法二：如果没有 trace-cmd 工具，也通过命令来获取温控相关的 log。

开启温控相关 trace：

```
echo 1 > /sys/kernel/debug/tracing/events/thermal/enable
echo 1 > /sys/kernel/debug/tracing/events/thermal_power_allocator/enable
echo 1 > /sys/kernel/debug/tracing/tracing_on
```

直接打印出 trace 数据，并保存成文件：

```
cat /sys/kernel/debug/tracing/trace
```

也可以通过 adb 直接把文件 pull 出来：

```
/* 获取数据后，可以直接打开trace.txt进行分析，或者使用lisa工具分析 */
adb pull /sys/kernel/debug/tracing/trace ./trace.txt
```

其他操作：

```
echo 0 > /sys/kernel/debug/tracing/tracing_on /* 暂停抓取数据 */
echo 0 > /sys/kernel/debug/tracing/trace /* 清空之前的数据 */
```

4. 用户态接口介绍

用户态接口在/sys/class/thermal/目录下，具体内容和 DTSI 中 thermal zone 节点的配置对应。有的平台 thermal zone 节点下只有一个子节点，对应/sys/class/thermal/目录下也只有 thermal_zone0 子目录；有的平台有两个子节点，对应/sys/class/thermal/目录下就会有 thermal_zone0 和 thermal_zone1 子目录。通过用户态接口可以切换温控策略，查看当前温度等。

以 RK3399 为例子，/sys/class/thermal/thermal_zone0/目录下包含如下常用的信息：

```
temp                /* 当前温度 */
available_policies  /* 支持的温控策略 */
policy              /* 当前使用的温控策略 */
sustainable_power   /* 期望的最高温度下对应的power值 */
integral_cutoff     /* PID算法中I的触发条件：当前温度-期望的最高温度
<integral_cutoff */
k_d                 /* PID算法中计算D的时候用的参数 */
k_i                 /* PID算法中计算I的时候用的参数 */
k_po                /* PID算法中计算P的时候用的参数 */
k_pu                /* PID算法中计算P的时候用的参数 */
mode                /* enabled: 自带定时获取温度，判断是否需要降频。disabled关闭该功
能 */
type                /* 当前thermal zone的类型 */
/* 不同的温度阈值，对应trips节点的配置 */
trip_point_0_hyst
trip_point_0_temp
trip_point_0_type
trip_point_1_hyst
trip_point_1_temp
trip_point_1_type
trip_point_2_hyst
trip_point_2_temp
trip_point_2_type
/* 不同cooling devic的状态，对应cooling-maps节点的配置 */
cdev0               /* 代表一个cooling device，有的平台还有cdev1、cdev2等 */
    cur_state        /* 该cooling device当前频率的档位 */
    max_state        /* 该cooling device最多有几个档位 */
    type             /* 该cooling device的类型 */
cdev0_weight        /* 该cooling device在计算power时扩大的倍数 */
```

参考文档“Documentation/thermal/sysfs-api.txt”。

5. 常见问题

5.1 关温控

方法一：menuconfig 中默认温控策略设置为 user_space。

```
<*> Generic Thermal sysfs driver  --->
--- Generic Thermal sysfs driver
[*]   APIs to parse thermal data out of device tree
[*]   Enable writable trip points
      Default Thermal governor (user_space)  ---> /* power_allocator改为
user_space */
```

方法二：开机后通过命令关温控。

首先，把温控策略切换到 `user_space`，即把用户态接口下的 `policy` 节点改成 `user_space`；或者把 `mode` 设置成 `disabled` 状态；然后，解除频率限制，即将用户态接口下的所有 `cdev` 的 `cur_state` 设置为 0。

以 RK3399 为例，策略切换到 `user_space`：

```
echo user_space > /sys/class/thermal/thermal_zone0/policy
```

或者把 `mode` 设置成 `disabled` 状态：

```
echo disabled > /sys/class/thermal/thermal_zone0/mode
```

解除频率限制：

```
/* 具体有多少个cdev，根据实际情况修改 */  
echo 0 > /sys/class/thermal/thermal_zone0/cdev0/cur_state  
echo 0 > /sys/class/thermal/thermal_zone0/cdev1/cur_state  
echo 0 > /sys/class/thermal/thermal_zone0/cdev2/cur_state
```

5.2 获取当前温度

直接查看用户态接口 `thermal_zone0` 或者 `thermal_zone1` 目录下的 `temp` 节点即可。

以 RK3399 为例，获取 CPU 温度，在串口中输入如下命令：

```
cat /sys/class/thermal/thermal_zone0/temp
```

获取 GPU 温度，在串口中输入如下命令：

```
cat /sys/class/thermal/thermal_zone1/temp
```