



Linux Thermal 开发指南

版本号: 2.3

发布日期: 2024.04.17

版本历史

版本号	日期	制/修订人	内容描述
1.0	2020.12.24	AWA0863	添加初始版本。
1.1	2021.02.02	AWA0863	补充常见问题章节。
1.2	2021.05.11	AWA0863	增加参数测量介绍章节。
1.3	2021.06.01	AWA1442	1. 补充部分 thermal 参数的测试方法。 2. 补充常见问题章节。
1.4	2021.06.07	AWA1442	1. 更新 thermal 参数的测试方法。 2. 补充常见问题章节。
1.5	2021.06.25	AWA1442	更正 gpu 参数计算方法。
1.6	2021.08.05	AWA0863	增加 Linux4.9 和 Linux5.4 的内核配置。
1.7	2022.04.07	AWA0863	增加目标温度、过温关机温度的情况说明。
1.8	2022.11.30	AWA0863	增加 T113-i 说明。
1.9	2022.12.08	AWA2099	增加 T3/A40I 说明。
2.0	2023.03.15	AWA1691	1. 增加 A523 说明。 2. 修改部分格式。
2.0	2023.04.25	AWA1691	添加 MR527 的适配。
2.1	2023.06.21	AWA1691	添加 AI985 的适配。
2.2	2023.08.01	AWA1691	添加 T527 的适配。
2.3	2024.04.17	AWA0863	增加 stepwise 温控策略说明。

目 录

1 前言	1
1.1 文档简介	1
1.2 目标读者	1
1.3 适用范围	1
2 模块介绍	2
2.1 模块功能介绍	2
2.2 相关术语介绍	2
2.3 模块配置介绍	3
2.3.1 Device Tree 配置说明	3
2.3.2 kernel menuconfig 配置说明	8
2.4 参数测量介绍	9
2.4.1 cpu cooling device 参数	10
2.4.1.1 contribution	10
2.4.1.2 dynamic-power-coefficient	10
2.4.1.3 static	12
2.4.2 gpu cooling device 参数	12
2.4.2.1 contribution	12
2.4.2.2 GPU 其他参数	12
2.4.3 thermal zone 参数	13
2.4.3.1 temperature (target)	13
2.4.3.2 temperature (threshold)	13
2.4.3.3 temperature (crit)	14
2.4.3.4 sustainable-power	14
2.4.3.5 k_po	17
2.4.3.6 k_pu	17
2.4.3.7 k_i	17
2.4.3.8 k_d	17
2.5 源码结构介绍	17
3 FAQ	18
3.1 调试方法	18
3.1.1 调试节点	18
3.1.1.1 查看 sensor 温度	18
3.1.1.2 模拟温度	18
3.1.1.3 关闭温控	18
3.2 常见问题	19
3.2.1 不同温控策略下芯片性能和温度的关系	19
3.2.2 如何设定过温不关机	19

3.2.3	如何修改温控策略的目标温度	20
3.2.4	高温场景下出现卡顿、掉帧等性能不足问题	20
3.2.5	为什么温度超过 switch_on 温度而没有超过目标温度，cpu 频率会被限制到最低频	22
3.2.6	为什么使用 IPA 温度从高于目标温度降回低于目标温度一段时间后，系统性能还是被限制	22
3.2.7	其他温控方法	22
3.2.8	如何选择温控策略	22

表 格

表 1-1	适用产品列表	1
表 2-1	术语介绍	2
表 2-2	平台支持 cooling device 列表	3
表 2-3	cpu cooling device 参数	9
表 2-4	gpu cooling device 参数	9
表 2-5	IPA 温控策略 thermal zone 参数	9

ALLWINNER®

1 前言

1.1 文档简介

该使用文档介绍了 thermal 的温控策略配置方法，以及调试使用说明。

1.2 目标读者

thermal 模块开发、维护人员。

1.3 适用范围

表 1-1: 适用产品列表

产品名称	内核版本	驱动文件
T507/T507-H	Linux-5.10	bsp/driver/thermal/*
T517/T517-H	Linux-5.10	bsp/driver/thermal/*
T113-i	Linux-5.15	bsp/driver/thermal/*
T3/T3-C/T3PRO	Linux-5.10	bsp/driver/thermal/*
A40I-C/A40I-H	Linux-5.10	bsp/driver/thermal/*
A523	Linux-5.15	bsp/driver/thermal/*
A133	Linux-5.15	bsp/driver/thermal/*
MR527	Linux-5.15	bsp/driver/thermal/*
AI985	Linux-5.15	bsp/driver/thermal/*
T527	Linux-5.15	bsp/driver/thermal/*

2 模块介绍

2.1 模块功能介绍

Thermal 俗称热控制系统，其功能是通过 temperature sensor 测量当前 CPU、GPU 等设备的温度值，然后根据此温度值，影响 CPU、GPU 等设备的调频策略，对 CPU、GPU 等设备的最大频率进行限制，最终实现对 CPU、GPU 等设备温度的闭环控制，避免 SOC 温度过高。

常见温控策略：

IPA(Intelligent Power allocator) 温控策略：引入 PID 控制，根据系统温度动态分配 power 给各个设备，并将 power 转化为频率限制。

stepwise 温控策略：通过判断温度的上升/下降趋势来限制各个设备的最大工作频率。温度超过目标温度触发温控后，当温度趋势为上升趋势时，系统将设备限制为更高一级状态即调低一个频点；温度趋势为下降趋势时系统将设备限制为更低一级状态即调高一个频点，直到温度的趋势不再变化维持稳定。

2.2 相关术语介绍

表 2-1: 术语介绍

术语	说明
Temperature sensor	温度传感器。
Thermal	CPU 温度控制系统。
CPU	中央处理器。
GPU	图像处理器。
thermal zone	将提供温度及 trip 点相关信息给 thermal core 子系统。
cooling device	thermal core 子系统通过 cooling device 对 CPU、GPU 等设备最大频率进行限制。

2.3 模块配置介绍

说明

A133 和 A523 的 charger 部分是配合 step_wise 使用，且默认不开

表 2-2: 平台支持 cooling device 列表

平台	CPU	GPU	CHARGER	VE	CPUIDLE	ISP	DE	NPU
A133	支持	不支持	支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持
A523	支持	不支持	支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持
T507	支持	支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持
T507-H	支持	支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持
T517	支持	支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持
T517-H	支持	支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持
T113-i	支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持
MR527	支持	不支持	支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持
AI985	支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持
T527	支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持	不支持

2.3.1 Device Tree 配置说明

设备树中存在的是该类芯片所有平台的模块配置，以 Linux5.15 为例，设备树文件的路径为：

bsp/configs/linux-5.15/sun55iw3p1.dtsi

- of-thermal

在 thermal 模块开发中，只需要将 thermal zone、thermal Sensor、trip point、cooling Device 的关系在 DTS 文件内按照规定的格式描述，of-thermal 模块就会根据 DTS 将描述的内容自动注册，逻辑关系由 of-thermal 模块维护，使驱动代码量大大减少。

对于 IPA 温控策略，通常配置如下。

```
thermal-zones{
    cpu_thermal_zone{
        polling-delay-passive = <500>; //温度超过阈值，轮询温度周期(ms)
        polling-delay = <1000>; //温度未超过阈值，轮询温度周期(ms)
        thermal-sensors = <&ths 2>;
        sustainable-power = <1000>; //温度达到预设温度最大值，系统可分配的最大power
        k_po = <25>; //超过预设最高温度时pid的p参数
        k_pu = <50>; //未超过预设最高温度时pid的p参数
        k_i = <0>; //pid的i参数
        cpu_trips: trips{
            cpu_threshold: trip-point@0 {
```



```
temperature = <70000>; //代表系统温控在70度左右开启
type = "passive";
hysteresis = <0>;
};
cpu_target: trip-point@1 {
    temperature = <80000>; //代表系统最高温度是80度左右
    type = "passive";
    hysteresis = <0>;
};
cpu_crit: cpu_crit@0 {
    temperature = <110000>; //代表系统到达110度就会过温关机
    type = "critical";
    hysteresis = <0>;
};
};

cooling-maps {
    map0 {
        trip = <&cpu_target>;
        cooling-device = <&cpu0
        THERMAL_NO_LIMIT
        THERMAL_NO_LIMIT>;
        contribution = <1024>; //cpu分配功率权重，通过调整cooling device对应的contribution，可以调整降频顺序和降
        频尺度
    };
    map1 {
        trip = <&cpu_target>;
        cooling-device = <&gpu
        THERMAL_NO_LIMIT
        THERMAL_NO_LIMIT>;
        contribution = <1024>; //gpu分配功率权重，通过调整cooling device对应的contribution，可以调整降频顺序和降
        频尺度
    };
};

gpu_thermal_zone {
    polling-delay-passive = <500>;
    polling-delay = <1000>;
    thermal-sensors = <&ths 0>;
};

ve_thermal_zone {
    polling-delay-passive = <0>;
    polling-delay = <0>;
    thermal-sensors = <&ths 1>;
};

ddr_thermal_zone {
    polling-delay-passive = <0>;
    polling-delay = <0>;
    thermal-sensors = <&ths 3>;
};
};
```

cpu_target节点中的temperature:

可根据产品温控规格，适当调整该参数。提高该参数，会允许系统在高温情况下运行更快，性能更好。当然，也会让产品的温度更高，所以需要注意，修改该参数后能否满足产品温度要求和高温测试等。同理，降低该参数就会在一定程度上降低高温情况下的性能，可以让产品运行在较低的温度。

对于 stepwise 温控策略，通常配置如下。

```
thermal-zones {
    cpu_thermal_zone {
        polling-delay-passive = <1000>;
        polling-delay = <10000>;
        thermal-sensors = <&ths 0>;

        trips {
            cpu_trip0: t0 {
                temperature = <95000>; // 当温度达到95度, trip0被触发
                hysteresis = <0>;
                type = "passive";
            };

            cpu_trip1: t1 {
                temperature = <105000>; // 当温度达到105度, trip1被触发
                hysteresis = <0>;
                type = "passive";
            };

            cpu_trip2: t2 {
                temperature = <112000>;
                hysteresis = <0>;
                type = "passive";
            };

            cpu_trip3: t3 {
                temperature = <114000>;
                hysteresis = <0>;
                type = "passive";
            };

            cpu_trip4: t4 {
                temperature = <117000>;
                hysteresis = <0>;
                type = "passive";
            };

            crt_trip0: t5 {
                temperature = <120000>;
                hysteresis = <0>;
                type = "critical";
            };
        };

        cooling-maps { // cooling-maps, 将对应trip和cooling-device映射
            map0 {
                trip = <&cpu_trip0>; // 对应trip0
                cooling-device = <&cpu0 1 1>, // 当trip0被触发时, cpu0温控等级的范围是为1-1
                    <&cpu1 1 1>,
                    <&cpu2 1 1>,
                    <&cpu3 1 1>;
            };

            map1 {
                trip = <&cpu_trip1>; // 对应trip1
                cooling-device = <&cpu0 2 2>, // 当trip1被触发时, cpu0温控等级的范围是为2-2
                    <&cpu1 2 2>,
                    <&cpu2 2 2>,
                    <&cpu3 2 2>;
            };
        };
    };
}
```

```

map2 {
    trip = <&cpu_trip2>;
    cooling-device = <&cpu0 3 3>,
        <&cpu1 3 3>,
        <&cpu2 3 3>,
        <&cpu3 3 3>;
};

map3 {
    trip = <&cpu_trip3>;
    cooling-device = <&cpu0 4 4>,
        <&cpu1 4 4>,
        <&cpu2 4 4>,
        <&cpu3 4 4>;
};

map4 {
    trip = <&cpu_trip4>;
    cooling-device = <&cpu0 5 5>,
        <&cpu1 5 5>,
        <&cpu2 5 5>,
        <&cpu3 5 5>;
};
};
};
};

```

温控等级越高，cpu性能被限制越大，即发热越少。温控等级为0时，cpu性能不被限制。

以cpu调频为例，对温控等级做进一步说明。当温控等级为0时，cpu性能不被限制，可以运行在最高频率；当温控等级为1时，cpu可以运行在不高于次高频率；当温控等级为2时，cpu可以运行在不高于第三高频率；依次类推。

• Thermal driver

```

ths: thermal_sensor{
    compatible = "arm,sun50iw9p1";
    reg = <0x0 0x05070400 0x0 0x400>;
    clocks = <&clk_ths>;
    clock-names = "bus";
    nvmem-cells = <&ths_calib>;
    nvmem-cell-names = "calibration";
    #thermal-sensor-cells = <1>;
};

```

• Cooling device

1. cpu device

```

cpu0: cpu@0 {
    device_type = "cpu";
    compatible = "arm,cortex-a53","arm,armv8";
    reg = <0x0 0x0>;
    enable-method = "psci";
    clocks = <&clk_pll_cpu>;
    operating-points-v2 = <&cpu_opp_l_table>;
    cpu-idle-states = <&CPU_SLEEP_0>;
};

```

```
dynamic-power-coefficient = <100>;
#cooling-cells = <2>;
};
```

dynamic-power-coefficient: cpu动态功耗系数，由 $P = c * v * v * f / 1000000$ 得来（参数c就是动态功耗系数）。

2. cpu opp table

```
cpu_opp_l_table: opp_l_table {
    compatible = "operating-points-v2";
    opp-shared;

    opp@408000000 {
        opp-hz = /bits/ 64 <408000000>;
        opp-microvolt = <820000>;
        clock-latency-ns = <244144>; /* 8 32k periods */
    };
    opp@816000000 {
        opp-hz = /bits/ 64 <816000000>;
        opp-microvolt = <880000>;
        clock-latency-ns = <244144>; /* 8 32k periods */
    };
    opp@1008000000 {
        opp-hz = /bits/ 64 <1008000000>;
        opp-microvolt = <940000>;
        clock-latency-ns = <244144>; /* 8 32k periods */
    };
    opp@1200000000 {
        opp-hz = /bits/ 64 <1200000000>;
        opp-microvolt = <1020000>;
        clock-latency-ns = <244144>; /* 8 32k periods */
    };
    opp@1416000000 {
        opp-hz = /bits/ 64 <1416000000>;
        opp-microvolt = <1100000>;
        clock-latency-ns = <244144>; /* 8 32k periods */
    };
};
opp-hz: 频率
opp-microvolt: 频率对应的电压
```

3. gpu device

```
gpu: gpu@0x01800000 {
    device_type = "gpu";
    compatible = "arm,mali-midgard";
    reg = <0x0 0x01800000 0x0 0x10000>;
    interrupts = <GIC_SPI 95 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH>,
        <GIC_SPI 96 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH>,
        <GIC_SPI 97 IRQ_TYPE_LEVEL_HIGH>;
    interrupt-names = "JOB", "MMU", "GPU";
    clocks = <&clk_pll_gpu>, <&clk_gpu0>, <&clk_gpu1>;
    clock-names = "clk_parent", "clk_mali", "clk_bak";
    #cooling-cells = <2>;
    ipa_dvfs: ipa_dvfs {
        compatible = "arm,mali-simple-power-model";
        static-coefficient = <17000>;
    };
};
```

```
dynamic-coefficient = <750>;
ts = <254682 9576 0xfffff98 4>;
thermal-zone = "gpu_thermal_zone";
ss-coefficient = <36>;
ff-coefficient = <291>;
};
};
static-coefficient: gpu静态功耗计算系数
dynamic-coefficient: gpu动态功耗计算系数
```

4. gpu dvfs

```
gpu dvfs表:
gpu: gpu@0x01800000 {
    gpu_idle = <1>;
    dvfs_status = <1>;
    operating-points = <
        *KHz uV*/
        600000 950000
        576000 950000
        540000 950000
        504000 950000
        456000 950000
        420000 950000
        384000 950000
        360000 950000
        336000 950000
        306000 950000
    >;
};
```

2.3.2 kernel menuconfig 配置说明

进入 longan 根目录，执行

```
./build.sh menuconfig。
```

详细配置如下所示：

```
Allwinner BSP ---> Device Drivers ---> Thermal Drivers
---> <*> Allwinner Thermal Driver
Device Drivers --->
-* Thermal drivers --->
--- Generic Thermal sysfs driver
[] Thermal netlink management
[*] Thermal state transition statistics
(0) Emergency poweroff delay in milli-seconds
[*] APIs to parse thermal data out of device tree
[*] Enable writable trip points
Default Thermal governor (step_wise) --->
[*] Fair-share thermal governor
[*] Step_wise thermal governor
[*] Bang Bang thermal governor
[*] User_space thermal governor
[*] Power allocator thermal governor
```

- [*] Generic cpu cooling support
- [*] CPU frequency cooling device
- [*] Generic device cooling support
- [*] Thermal emulation mode support

配置项说明：

Default Thermal governor 选择，默认为power_allocator
 Thermal emulation mode support:支持thermal模拟温度功能
 generic cpu cooling support :打开通用的cpu cooling
 generic device cooling support:打开通用的device cooling
 Allwinner sunxi next generation thermal driver:sunxi thermal驱动

2.4 参数测量介绍

温控参数汇总如下。

表 2-3: cpu cooling device 参数

参数	说明
contribution	cpu 分配功率权重，可以不定义使用预设值，也可以根据方案实测通过 dts 或文件系统节点配置
dynamic-power-coefficient	cpu 动态功耗系数，根据芯片实测通过 dts 配置
static	cpu 静态功耗系数

表 2-4: gpu cooling device 参数

参数	说明
contribution	gpu 分配功率权重，可以不定义使用预设值，也可以根据方案实测通过 dts 或文件系统节点配置
dynamic-coefficient	gpu 动态功耗系数，根据芯片实测通过 dts 配置
static-coefficient	gpu 静态功耗系数，根据芯片实测通过 dts 配置
ts	gpu 静态功耗系数，根据芯片实测通过 dts 配置
ss-coefficient	
ff-coefficient	

表 2-5: IPA 温控策略 thermal zone 参数

参数	说明
temperature (threshold)	ipa 温控策略介入温度，根据方案规格要求通过 dts 或文件系统节点配置

参数	说明
temperature (target)	ipa 温控策略目标温度，根据方案规格要求通过 dts 或文件系统节点配置
temperature (crit)	过温关机温度，根据方案规格要求通过 dts 或文件系统节点配置
sustainable-power	温度达到目标温度时，系统可分配的最大功率，根据方案规格要求通过 dts 或文件系统节点配置
k_po	pid 的 p 参数，可以不定义使用预设值，也可以根据方案实测通过文件系统节点配置
k_pu	pid 的 p 参数，可以不定义使用预设值，也可以根据方案实测通过文件系统节点配置
k_i	pid 的 i 参数，可以不定义使用预设值，也可以根据方案实测通过文件系统节点配置
k_d	pid 的 d 参数，可以不定义使用预设值，也可以根据方案实测通过文件系统节点配置

由于 stepwise 温控策略 thermal zone 参数比较简单、容易理解，直接根据方案需求确定即可。此处不做详细介绍，可以参考“Device Tree 配置说明”章节。

2.4.1 cpu cooling device 参数

2.4.1.1 contribution

cpu 分配功率权重，如果方案规格没有特别要求，可以设置为 <1024>。

通过调整 cooling device 对应的 contribution，可以调整降频顺序和降频尺度。假如在高温下，cpu 和 gpu 都满负载运行，发现 cpu 更容易被降频，如果想让 gpu 优先降频，可以增大 cpu 的 contribution，比如修改为 <4096>。

2.4.1.2 dynamic-power-coefficient

cpu 动态功耗系数，只与芯片平台相关，方案不需要修改。

计算方法有如下。

1. cpu 硬件负责人提供 cpu 最大功率下的功耗数据。

A013 (VDD = 0.9V)							
CPU Freq(MHz)	R_V (mV)	CPU_I (mA)	Power (mW)	V*V*Freq (V ² *MHz)	P-L (mW)	ΔP/ΔF (mW/MHz)	Temp (°C)
888	103.96	1039.60	935.64	719.28	73.00		49
936	109.82	1098.20	988.38	758.16	73.00	1.10	50
984	115.64	1156.40	1040.76	797.04	73.00	1.09	50
1032	121.26	1212.60	1091.34	835.92	73.00	1.05	52
1080	126.95	1269.50	1142.55	874.80	73.00	1.07	52
1128	132.65	1326.50	1193.85	913.68	73.00	1.07	53
1176	138.38	1383.80	1245.42	952.56	73.00	1.07	54
1224	144.08	1440.80	1296.72	991.44	73.00	1.07	54
1272	149.77	1497.70	1347.93	1030.32	73.00	1.07	55
1320	155.56	1555.60	1400.04	1069.20	73.00	1.09	56
1368	161.27	1612.70	1451.43	1108.08	73.00	1.07	57
1416	167.02	1670.20	1503.18	1146.96	73.00	1.08	57
1464	172.87	1728.70	1555.83	1185.84	73.00	1.10	59
1512	178.71	1787.10	1608.39	1224.72	73.00	1.10	60
1560	184.52	1845.20	1660.68	1263.60	73.00	1.09	60

图 2-1: cpu 最大功率下的功耗

2. 通过 Excel 工具，将 $V^2 \cdot F$ 和 cpu 动态功耗 power 拟合，得到如下的线性折线图。

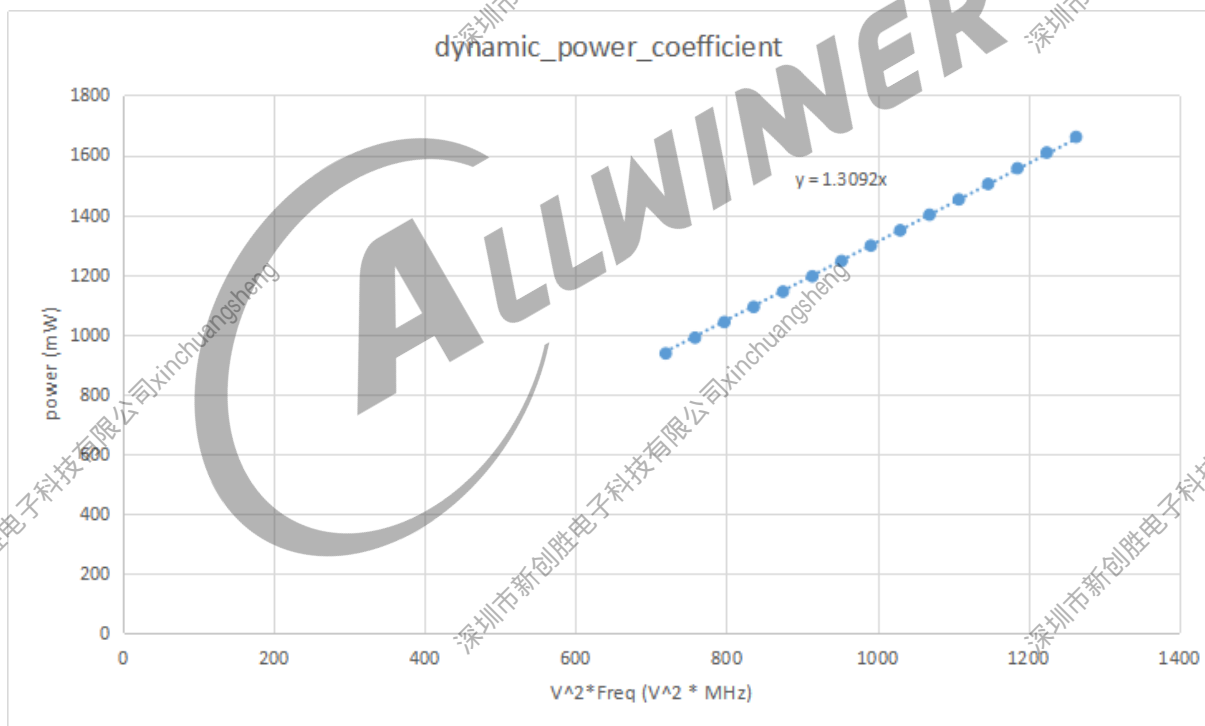


图 2-2: dynamic_power_coefficient 曲线

3. 假如 cpu 功耗数据是四核下的功耗数据，而我们实际需要的是单核的动态功耗系数。所以动态功耗系数 $\text{dynamic_power_coefficient} = 1.3092/4 = 0.327$ 。

动态功耗系数 $\text{dynamic_power_coefficient}$ 需要配置在 Device Tree 的 cpu 节点中，为了计算方便，参数需要是整数。


```
cpu0: cpu@0 {  
    device_type = "cpu";  
    .....  
    dynamic-power-coefficient = <327>;  
    .....  
};
```

所以，根据 cpu 动态功耗系数，也可以计算出 cpu 动态功耗。

cpu动态功耗计算公式：Pdyn = Capacitance * Voltage^2 * Frequency * Utilisation (linux-4.9/Documentation/thermal/cpu-cooling-api.txt)，其中，
Capacitance是动态功耗系数dynamic-power-coefficient；
Voltage为供电电压；
Frequency为运行频率；
Utilisation为利用率，一般为1；

2.4.1.3 static

cpu 静态功耗系数，Linux4.16 及后续版本内核不再使用，详见如下提交：

```
commit 84fe2cab48590e4373978e4ef2031c977de98995  
Author: Viresh Kumar <viresh.kumar@linaro.org>  
Date: Tue Dec 5 11:02:46 2017 +0530  
  
    cpu_cooling: Drop static-power related stuff  
  
    No one has used it for the last two and half years (since it was  
    introduced by commit c36cf0717631 (thermal: cpu_cooling: implement the  
    power cooling device API), get rid of it.  
  
    Acked-by: Eduardo Valentin <edubezval@gmail.com>  
    Signed-off-by: Viresh Kumar <viresh.kumar@linaro.org>  
    Signed-off-by: Rafael J. Wysocki <rafael.j.wysocki@intel.com>
```

2.4.2 gpu cooling device 参数

2.4.2.1 contribution

gpu 分配功率权重，如果方案规格没有特别要求，可以设置为 <1024>。

2.4.2.2 GPU 其他参数

GPU 的其他相关参数，只与芯片平台相关，方案不需要修改。

GPU 的其他相关参数、动态功耗计算公式、静态功耗计算公式等，由 GPU 模块负责人直接提供，如有疑问，可以找相关负责人咨询。

2.4.3 thermal zone 参数

2.4.3.1 temperature (target)

首先根据方案需求，确定温控策略的目标温度，一般考虑“性能”、“温升”等因素，分为以下几种情况：

1. 方案规格有明确的温度限制要求。如“播放 3 小时本地全景视频，产品表面温升 ≤ 15 度”。

这种情况下，可以先关闭温控，让样机运行在方案规格指定的场景，测试 5-10 分钟，得出 cpu 稳定温度。

- 若 cpu 稳定温度低于方案规格的指定温度，目标温度可以设置为方案规格的指定温度。
- 若 cpu 稳定温度高于方案规格的指定温度，需要综合考虑规格合理性、芯片寿命和稳定性、硬件散热等情况，目标温度由方案硬件负责人确定。

2. 方案规格有明确的高温性能限制要求。如“高温下 cpu 频率不能低于 1.4G”、“高温下 cpu 不能降频”、“高温下 cpu 保持最高性能 80%”等。

这种情况下，可以先关闭温控，让样机运行在方案规格指定的高温性能，使用 stability 在满负载场景下测试 5-10 分钟，得出 cpu 稳定温度。

- 若 cpu 稳定温度低于 90 摄氏度，目标温度可以设置为 90 摄氏度。
- 若 cpu 稳定温度高于 90 摄氏度，低于 110 摄氏度，目标温度可以设置为 cpu 稳定温度。
- 若 cpu 稳定温度高于 110 摄氏度，需要综合考虑规格合理性、芯片寿命和稳定性、硬件散热等情况，目标温度由方案硬件负责人确定。

3. 方案规格有明确的温度和高温性能限制要求。如“cpu 最高温度不能超过 90 度，且 cpu 频率不能低于 1.4G”。

这种情况下，可以先关闭温控，让样机运行在方案规格指定的高温性能，使用 stability 在满负载场景下测试 5-10 分钟，得出 cpu 稳定温度。

- 若 cpu 稳定温度低于方案规格的指定温度，目标温度可以设置为方案规格的指定温度。
- 若 cpu 稳定温度高于方案规格的指定温度，需要综合考虑规格合理性、硬件散热等情况，目标温度由方案硬件负责人确定。

2.4.3.2 temperature (threshold)

如果方案规格没有特别要求，温控策略介入温度可以设置为比温控策略目标温度低 10-15 摄氏度。

2.4.3.3 temperature (crit)

方案规格有明确的过温关机要求，如“支持 IC 过温保护：115 度, 断电关机功能”。

这种情况下，可以先关闭温控，让样机运行在最低性能，使用 stability 在满负载场景下测试 5-10 分钟，得出 cpu 稳定温度。

- 若 cpu 稳定温度低于方案规格的指定温度，过温关机温度可以设置为方案规格的指定温度。
- 若 cpu 稳定温度高于方案规格的指定温度，需要综合考虑规格合理性、芯片寿命和稳定性、硬件散热等情况，过温关机温度由方案硬件负责人确定。

另外，过温关机温度需要比温控策略目标温度高 5-10 摄氏度，否则高温下很容易触发过温关机，温控策略也将失去意义。

2.4.3.4 sustainable-power

sustainable-power 是指，温度达到目标温度时，系统可分配的最大功率。

IPA 策略最后在计算 CPU 可分配的 power 时会受 sustainable-power 和 CPU 负载的影响。在 CPU 负载一定的情况下，同个温度点下 CPU 可分配的 power 与 sustainable-power 成正比关系，即 sustainable-power 越大 CPU 可分配的 power 越大；在 sustainable-power 一定的情况下，同个温度点下 CPU 可分配的 power 与 CPU 负载成反比关系，即 CPU 负载越小，CPU 分配的 power 越大，即无法使用一个 sustainable-power 同时满足不同负载下的温控行为，需要根据实际情况选择不同的负载系数计算得出。

由此可以看出，在利用 CPU 作为 cooling-device 的时候，CPU 的负载情况会对 IPA 策略有较大影响，表现出来的可能是相同温度下 CPU 满载时会降频，而空载时迟迟不降频。因此，**在利用 CPU 作为 cooling-device 时，不建议搭配 performance 等不会根据负载调频的 cpufreq governor 使用，建议使用 ondemand 或 conservative 等会根据负载自动调频的 governor，利用 cpufreq governor 弥补 IPA 策略在 CPU 轻载时的控制不足。**

IPA 策略最终也是通过限制 cooling-device 的频率的来达到降温控温的效果，所以需要确保所有的 cooling-device 工作在最低频点时系统的温度不会超过目标温度。如果因为环境温度过高或 cooling-device 本身发热过大，导致各 cooling-device 工作在最低频点时系统的温度依然超过目标温度，IPA 策略也无法起到降温控温的作用。

在基于上述认知的情况下，sustainable-power 的计算方法有如下两种。

- 方法一

简单来说，比如温控策略的目标温度是 90 摄氏度，如果 cpu 长期运行在 1.4G 频率下温度可以稳定在 90 摄氏度，那么 sustainable-power 就是 cpu 运行在 1.4G 频率下的功率。

当考虑有 gpu 等其他 cooling device 时，情况也是类似的，比如温控策略的目标温度是 90 摄

氏度，如果“cpu 运行在 1.4G，gpu 运行在 600M.....” 温度可以稳定在 90 摄氏度，那么 sustainable-power 就是“cpu 运行在 1.4G，gpu 运行在 600M.....” 下的功率。

以仅有 cpu cooling device 为例，说明 sustainable-power 的计算方法。

首先确保各 cooling-device 均工作在最低频率点时设备的温度不会超过目标温度 90 摄氏度，然后再需要找到一个可以让设备稳定运行在目标温度为 90 摄氏度的频率点。假如 cpu 运行在 1608M 频点，使用 stability 在满负载场景下测试 5-10 分钟，cpu 温度基本在 90 度左右。所以 sustainable-power 采用了 cpu 工作在 1608M 时的功率。

cpu 动态功耗计算：

根据公式 $P_{\text{dyn}} = \text{Capacitance} * \text{Voltage}^2 * \text{Frequency} * \text{Utilisation}$ (linux-4.9/Documentation/thermal/cpu-cooling-api.txt)，

假如 Capacitance=0.225 (dynamic-power-coefficient 配置为 225)，cpu 电压 Voltage=1.04V，cpu 频率 Frequency=1608M，四核，cpu 动态功耗为：

$\text{sustainable-power} = \text{cpu_dynamic_power} = 4 * 0.225 * 1608 * 1.04^2 = 1565\text{mW}$

若使用 sustainable-power=1565 进行 stability 测试，发现存在温度达到 92 度的情况，为了防止出现此类温度，后续将 sustainable-power 调整为 1550，调整后基本消除了 cpu 达到 92 度的情况。

若各 cooling-device 长期运行在最高频点下跑 stability 依然无法使温度达到 target 温度，则选取最高频点进行 sustainable-power 的计算。如：一个方案的目标温度是 90 摄氏度，该方案只有 cpu 作为 cooling-device，该 cpu 的最高频点是 1560MHz。将 cpu 频率设置为 1560MHz 后使用 stability 进行测试后发现 SOC 在该条件下最终温度稳定在 60 摄氏度，那依然取 cpu 在 1560MHz 下的数据计算 sustainable-power。

• 方法二

由于 IPA 策略使用的是 PID 控制算法，其对当前可分配能量的计算公式为： $\text{Power} = \text{sustainable-power} + P + I + D$ ，其中“ I ”作为累计误差只考虑了温度超过目标温度时候取值为负数的误差，且 I 值只有在温度低于介入温度 (switch_on 温度) 时才会被清零 reset。因此当温度如果比较长时间超过目标温度时，会导致“ I ”一直进行进行累积，当“ I ”累积值大于 sustainable-power + P 时，可分配的能量将一直为 0，cooling-device 将一直处于最低频率状态，直到温度降回介入温度。

因此，我们希望温度不要到了目标温度再进行降频，而是在介入温度和目标温度之间的某一个我们预期的温度点就进行降频降温，让系统的温度不会轻易达到目标温度，尽量不要让“ I ”参数的误差累积过大。

例如，我们设置的温控策略介入温度设置为 70 摄氏度，温控策略目标温度设置为 85 摄氏度，这表示系统在 70 摄氏度的时候会提供一个比较大的功率值，随着温度的升高，提供的功率逐渐减小，减到一定程度后开始降频，如果温度继续升高，功率继续降低，cpu 等 cooling device 频率也继续降低。所以超过 70 摄氏度的时候，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-power 的值进行调整。

以某个平台为例，我们设置的温控策略介入温度设置为 70 摄氏度，温控策略目标温度设置为 85 摄氏度，温控策略限制频率的温度为 75 摄氏度，CPU（四核）和 GPU 都作为 cooling device。当温度超过 70 摄氏度，温控策略开始工作，即缩短获取温度的时间间隔，75 摄氏度的时候开始限制频率（比介入温度高 5 摄氏度，这样设置可以减小温控刚开始时频率波动的幅度），最终最高温度不超过 85 摄氏度。那么 75 摄氏度时的功率值就是所有 cooling device 的最大功率之和。

首先，要确保各 cooling-device 均工作在最低频率点时设备的温度不会超过目标温度，然后再根据我们的设定的目标温度进行下面的计算。

它们的最大功率之和计算如下：

cpu动态功耗计算：

根据公式 $P_{\text{dyn}} = \text{Capacitance} * \text{Voltage}^2 * \text{Frequency} * \text{Utilisation}$ (linux-4.9/Documentation/thermal/cpu-cooling-api.txt)，

假如 $\text{Capacitance}=0.100$ (dynamic-power-coefficient配置为100)，cpu最大频点电压 $\text{Voltage}=1.125\text{V}$ ，cpu最大频点频率 $\text{Frequency}=1416\text{M}$ ，四核，cpu动态功耗为：

$\text{cpu_dynamic_power} = 0.100 * 1416 * 1.125^2 = 179\text{mW}$

gpu动态功耗计算：

根据公式 $P_{\text{dyn}} = \text{Capacitance} * \text{Voltage}^2 * \text{Frequency}$ (仅作举例，实际以gpu模块负责人的说法为准)，

假如 $\text{Capacitance}=0.733$ (dynamic-power-coefficient配置为733)，gpu最大频点电压 $\text{Voltage}=1.10\text{V}$ ，gpu最大频点频率 $\text{Frequency}=800\text{M}$ ，gpu动态功耗为：

$\text{gpu_dynamic_power} = 0.733 * 800 * 1.10^2 = 709\text{mW}$

gpu静态功耗计算：

根据以下公式 (仅作举例，实际以gpu模块负责人的说法为准)，

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

$v_scale = V^3$

$P(s) = (C / 1000) * (t_scale / 1000000) * v_scale$

假如static-coefficient设置为411000，ts设置为32000 4700 -80 2，则 $C=411000$ ， $a=2$ ， $b=-80$ ， $c=4700$ ， $d=32000$ ，开始降频的温度值 $T=75\text{C}$ ， $V=1.1\text{V}$ ，那么

$t_scale = (2 * 75 * 75 * 75) + (-80 * 75 * 75) + (4700 * 75) + 32000 = 778250$

$v_scale = 1.1 * 1.1 * 1.1 = 1.331$

$\text{gpu_static_power} = (411000 / 1000) * (778250 / 1000000) * 1.331 = 425\text{mW}$

最大功率之和： $P_max = K * \text{cpu_dynamic_power} + \text{gpu_dynamic_power} + \text{gpu_static_power}$

对于CPU的power，我们按照半载进行计算，即K取CPU核数的一半为2，带入公式计算得到：

$P_max = 2 * \text{cpu_dynamic_power} + \text{gpu_dynamic_power} + \text{gpu_static_power} = 1492$

sustainable-power 的计算如下：

整个系统可分配的power可以通过以下公式计算得到：

$\text{Power} = \text{sustainable-power} + P + I + D$ (linux-5.4/drivers/thermal/power_allocator.c)

按照上面我们方案的设定，75摄氏度时系统开始限制频率，即整个系统的在75摄氏度时的可分配power为所有的cooling-device的power之和，此时PID参数中的I和D均为0：

$P_75 = P_max = \text{Power} = \text{sustainable-power} + P = \text{sustainable-power} + 2 * \text{sustainable-power} / (\text{target} - \text{threshold}) * (\text{target} - 75)$

$\text{sustainable-power} + 2 * \text{sustainable-power} / (85 - 70) * (85 - 75) = 1492\text{mW}$

$\text{sustainable-power} = 639\text{mW}$

使用 sustainable-power=639 进行不同场景的测试，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 CPU 温度过多低于目标温度、性能限制太早，可以适当调高 K 值；如果 cpu 温度过多高于目标温度、性能限制太晚，可以适当调低 K 值，重新进行计算，反复调试，直到符合预期。

2.4.3.5 k_po

超过目标温度时 pid 的 p 参数，如果方案规格没有特别要求，可以不定义使用预设值。

k_po计算：

根据公式 $k_{po} = \text{sustainable-power} / (\text{desired_temperature} - \text{switch_on_temp})$ (linux-4.9/Documentation/thermal/cpu-cooling-api.txt)，

假如 $\text{sustainable-power}=793$ ， $\text{desired_temperature}=85$ ， $\text{switch_on_temp}=70$ ，四核，cpu动态功耗为：

$k_{po} = 793 / (85 - 70) = 53$

若使用 stability 进行测试，出现 cpu 温度过多的大幅低于目标温度值的情况，即为 k_po 调节过量，可以适当将 k_po 改小。

2.4.3.6 k_pu

未超过目标温度时 pid 的 p 参数，如果方案规格没有特别要求，可以不定义使用预设值。

k_pu计算：

根据公式 $k_{pu} = 2 * \text{sustainable-power} / (\text{desired_temperature} - \text{switch_on_temp})$ (linux-4.9/Documentation/thermal/cpu-cooling-api.txt)，

假如 $\text{sustainable-power}=793$ ， $\text{desired_temperature}=85$ ， $\text{switch_on_temp}=70$ ，四核，cpu动态功耗为：

$k_{pu} = 2 * 793 / (85 - 70) = 106$

若使用 stability 进行测试，出现 cpu 温度过多的大幅度超过目标温度值的情况，即为 k_pu 调节过量，可以适当将 k_pu 改小。

2.4.3.7 k_i

pid 的 i 参数，如果方案规格没有特别要求，可以不定义使用预设值。

2.4.3.8 k_d

pid 的 d 参数，如果方案规格没有特别要求，可以不定义使用预设值。

2.5 源码结构介绍

kernel/

-- drivers/thermal/sunxi_thermal-ng.c //thermal sensor驱动代码

-- drivers/thermal/cpu_cooling.c //thermal cpu cooling代码

-- drivers/thermal/devfreq_cooling.c //thermal devfreq cooling代码

3 FAQ

3.1 调试方法

3.1.1 调试节点

3.1.1.1 查看 sensor 温度

不同平台温度 sensor 的个数及温度监控区域 thermal_zone 是不一样的。多个温度监控区域在/sys/class/thermal 目录下就会有多个 thermal_zone。查看 thermal_zone 的温度，下面以 thermal_zone0 为例：

查看thermal_zone的类型

```
#cat sys/class/thermal/thermal_zone0/type  
cpu_thermal_zone
```

查看thermal_zone温度

```
#cat sys/class/thermal/thermal_zone0/temp  
36000  
温度单位为mC,也就是36摄氏度
```

3.1.1.2 模拟温度

thermal 有温度模拟功能，可以通过模拟温度校验温度策略是否符合预期。

设置thermal_zone0的模拟温度

```
#echo 80000 > /sys/class/thermal/thermal_zone0/emul_temp
```

关闭thermal_zone0的模拟温度功能

```
#echo 0 > /sys/class/thermal/thermal_zone0/emul_temp
```

3.1.1.3 关闭温控

可以通过调试节点关闭温控，以关闭 cpu 温控为例，其他模块温控类似。

确认cpu温控为thermal_zone0

```
# cat /sys/class/thermal/thermal_zone0/type  
cpu_thermal_zone
```

关闭温控策略

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

```
解除所有cooling device的限制  
#echo 0 > /sys/class/thermal/thermal_zone0/cdev*/cur_state
```

也可以通过修改 dts 节点关闭温控，以关闭 cpu 温控为例，删除 cpu_thermal_zone 下的其他节点和属性。

```
cpu_thermal_zone{  
    polling-delay-passive = <0>;  
    polling-delay = <0>;  
    thermal-sensors = <&ths 2>;  
};
```

3.2 常见问题

3.2.1 不同温控策略下芯片性能和温度的关系

传统的 stepwise 温控策略，通过 dts 配置芯片在不同温度下 cpu 运行频率、打开核数等性能限制。所以对于 stepwise 策略，芯片在特定温度下性能是确定的。

与 stepwise 温控策略不同，对于 IPA 温控策略，芯片在特定温度下性能是不确定的。若需要了解，可以通过实际测试得出。

3.2.2 如何设定过温不关机

以 cpu 温控为例，修改 cpu_crit@0 节点的 temperature 为很大的值；其他模块温控类似修改。这样就不会触发过温关机。

```
cpu_trips: trips{  
    .....  
  
    cpu_crit: cpu_crit@0 {  
        temperature = <110000>; //代表系统到达110度就会过温关机  
        type = "critical";  
        hysteresis = <0>;  
    };  
};
```

同时，在使用 PMIC 的方案上，可能也需要关闭 PMIC 的过温保护功能。详见《Linux_PMIC_开发指南》。

```
pmu0: pmu@0{  
    .....  
  
    pmu_hot_shutdown = <1>; //过温保护，0为关闭  
    pmu_hot_shutdown_value = <145>; //过温保护温度
```


3.2.3 如何修改温控策略的目标温度

可以根据方案需求，修改 trip-point@1 节点的 temperature 为温度策略的目标温度。

如若实测温度高于目标温度，可以适当改小 sustainable-power 和 trip-point@0 节点的 temperature；若修改后仍不起效，可以考虑瓶颈是否在硬件。

```
cpu_thermal_zone{
    .....

    sustainable-power = <1000>;    //温度达到预设温度最大值，系统可分配的最大power
    .....

    cpu_trips: trips{
        cpu_threshold: trip-point@0 {
            temperature = <70000>;    //代表系统温控在70度左右开启
            type = "passive";
            hysteresis = <0>;
        };
        cpu_target: trip-point@1 {
            temperature = <80000>;    //代表系统最高温度是80度左右
            type = "passive";
            hysteresis = <0>;
        };
        .....
    };
    .....
};
```

3.2.4 高温场景下出现卡顿、掉帧等性能不足问题

这种高温下由于温控导致的性能问题原因可以有多种，可以针对不同的场景、不同的原因采用不同的调试解决方法。但是不管是哪种原因造成的，其根本原因都是因为在 IPA 策略下系统可以分配的 power 变小了。所以在调试这类问题之前，要对 IPA 控温的策略有一个基本的了解：

IPA 控温策略是通过对比当前温度与设定的目标温度之间的误差做 PID 闭环控制，从而决定当前温度下每个性能设备（如：CPU、GPU 等）可以分配到的 power。一旦当前温度超过目标温度，且超过的温度值越来越大时，整个系统每个性能设备可以分配到的功耗都会越来越小，因此温度越高系统的性能下降越厉害。在 IPA 控温策略下，系统的温度主要由两部分决定：发热 + 散热。发热主要由两部分组成：环境温度 + 各性能设备发热的温度之和。

基于上述对 IPA 策略的认知，可以对高温下性能不足的问题进行以下分类：

- **测试环境温度被人为提升（如：温箱），机器在这种环境下性能下降：**

这种场景通常出现在对机器进行高温性能实验的时候，环境温度的升高导致系统无需跑在重负载就能接近或超过目标温度点。CPU 等 cooling-device 随着温度升高会逐渐降低自身的工作频率，但是由于环境温度本身就很高导致最终系统的温度依然很接近或超过目标温度。这种情况下的温度来源是：环境温度占大头，性能设备发热温度占小头，当总的发热量一定时，环境温度越高，性能设备的发热就会被压缩减小，且当长时间超过目标温度时，PID 算法中的误差累积越来越大，最终会导致所有的 cooling-device 都工作在最低频点。

设想一下，一旦环境温度等于或者超过目标温度，系统的性能设备逐渐被压缩到最低频率，但是即使如此，温度也不可能降到目标温度以下。

因此，在此类场景下，要解决性能下降的方式要么是降低环境温度，以确保设备不会那么快达到目标温度；要么是提高目标温度，给设备的性能发热提供更多热量裕量。如果产品规格对某个环境温度场景下的性能有明确要求，不能修改测试的环境温度及目标温度，那 IPA 温控策略无法满足性能需求，需协同产品经理、方案软件负责人、方案硬件负责人一起商讨方案的散热处理。

- **有多个 cooling-device 情况下，高温出现性能下降：**

如果是在常温的环境下，由于系统跑大负载导致机器出现过温，性能下降，那此时的温度来源主要大头是性能设备的发热。如果此时 thermal zone 使用了多种 cooling-device（如：CPU、GPU、VE 等），可以先对现象进行归类（卡顿、显示异常、掉帧等），进而分析造成这种现象的主要原因是哪个性能设备性能下降引起（CPU、GPU、VE），然后适当提高这个性能设备在进行 power 分配时的比重，让这个性能设备能分配到更多的 power，运行在更高的频点。具体调试方法如下：

```
获取thermal_zone0下的cooling-device0的比重
#cat sys/class/thermal/thermal_zone0/cdev0_weight
1024

提高thermal_zone0下的cooling-device0的比重
#echo 4096 > sys/class/thermal/thermal_zone0/cdev0_weight

注意：这里设置的比重需为1024的倍数
```

如果上述方法依然不能改善性能下降问题，可参考上一小章的方法，提高温控目标温度并重新测定参数，或方案增加散热措施进行散热。

- **只有一个 cooling-device 情况下，高温出现性能下降：**

如果是在常温的环境下，由于系统跑大负载导致机器出现过温，性能下降，那此时的温度来源主要大头是性能设备的发热。如果此时 thermal zone 只使用了一种 cooling-device（如：CPU），想改善性能下降问题只能通过提高温控目标温度并重新测定参数，或方案增加散热措施进行散热来解决。

3.2.5 为什么温度超过 switch_on 温度而没有超过目标温度，cpu 频率会被限制到最低频

IPA 策略在计算 cpu 需要的 power 的时候还会乘上当前 cpu 的负载情况 (power * load)，当负载为 0% 时计算的 power 结果为 0，即当前 cpu 所需的 granted_power 为 0，频率会降至最低频。在一些只有 cpu 作为 cooling-device，cpufreq-governor 为 performance 的应用场景中，还会看到超过 switch_on 温度后 cpu 的频率一直在最低频和最高频之间来回跳动。这是因为 cpu 的负载情况时而为 0% 空载，时而为大于 0% 的轻载，当计算得到的 power 为 0 时分配最低功耗，cpu 最大工作频率被限制为最低频；当计算得到的 power 即使很小但是不为 0 时，由于只有一个 cooling-device，依然会在这个 cooling-device 分配全部的 power，所以 cpu 最大工作频率设置为最高频。

这类问题大多出现在通过外部方式加热机器，且 cpufreq-governor 使用 performance 的情况下。这种情况下 cpu 本身没有跑多大的负载，但却依然跑在最高频，导致偶尔会出现负载为 0 的情况。这类问题的解决办法要么是更换 cpufreq-governor 为 ondemand 或 conservative，要么适当让 CPU 跑上一定负载。

3.2.6 为什么使用 IPA 温度从高于目标温度降回低于目标温度一段时间后，系统性能还是被限制

由于 IPA 策略使用的是 PID 控制算法，其对当前可分配能量的计算公式为：Power = sustainable-power + P + I + D，其中 “I” 作为累计误差只考虑了温度超过目标温度时候取值为负数的误差，且 I 值只有在温度低于 switch_on 温度时才会被清零 reset。因此当温度如果比较长时间超过目标温度时，会导致 “I” 一直进行进行累积，当 “I” 累积值大于 sustainable-power + P 时，可分配的能量将一直为 0，cooling-device 将一直处于最低频率状态，直到温度低于 switch_on 温度将 PID 参数复位，被限制的现象才会消失。这类问题的解决办法是重新调整 IPA 参数或降低实验环境的温度，不要让系统温度长时间超过目标温度。

3.2.7 其他温控方法

- 使用更低功耗的 cpu 调频策略，如 ondemand、conservative、powersave 等。详见《Linux_CPUFREQ_开发指南》。
- cpufreq 删除高频点、增加低频点。详细咨询方案硬件开发人员。

3.2.8 如何选择温控策略

当前主要支持 IPA 温控策略和 stepwise 温控策略。

IPA 温控策略对温度控制比较好，可以保证不超温度，但不能保证高温下的系统性能。即在高温场景下温度是确定不会过温、但系统性能是不确定的。

stepwise 温控策略对性能控制比较好，但不能保证不超温度。即在高温场景下系统性能是确定足够、但温度是不确定的。

具体选择哪种温控策略，需要根据方案需求来确定。若方案规格有明确的温度限制要求，建议选择 IPA 温控策略；若方案规格有明确的高温性能限制要求，建议选择 stepwise 温控策略。




著作权声明

版权所有 © 2024 珠海全志科技股份有限公司。保留一切权利。

本文档及内容受著作权法保护，其著作权由珠海全志科技股份有限公司（“全志”）拥有并保留一切权利。

本文档是全志的原创作品和版权财产，未经全志书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制、修改、发表或传播本文档内容的部分或全部，且不得以任何形式传播。

商标声明

、 **全志科技** （不完全列举）均为珠海全志科技股份有限公司的商标或者注册商标。在本文档描述的产品中出现的其它商标、产品名称，和服务名称，均由其各自所有人拥有。

免责声明

您购买的产品、服务或特性应受您与珠海全志科技股份有限公司（“全志”）之间签署的商业合同和条款的约束。本文档中描述的全部或部分产品、服务或特性可能不在您所购买或使用的范围内。使用前请认真阅读合同条款和相关说明，并严格遵循本文档的使用说明。您将自行承担任何不当使用行为（包括但不限于如超压，超频，超温使用）造成的不利后果，全志概不负责。

本文档作为使用指导仅供参考。由于产品版本升级或其他原因，本文档内容有可能修改，如有变更，恕不另行通知。全志尽全力在本文档中提供准确的信息，但并不确保内容完全没有错误，因使用本文档而发生损害（包括但不限于间接的、偶然的、特殊的损失）或发生侵犯第三方权利事件，全志概不负责。本文档中的所有陈述、信息和建议并不构成任何明示或暗示的保证或承诺。

本文档未以明示或暗示或其他方式授予全志的任何专利或知识产权。在您实施方案或使用产品的过程中，可能需要获得第三方的权利许可。请您自行向第三方权利人获取相关的许可。全志不承担也不代为支付任何关于获取第三方许可的许可费或版税（专利税）。全志不对您所使用的第三方许可技术做出任何保证、赔偿或承担其他义务。