

EINJ 简介与使用指南

EINJ (Error Injection) 是 ACPI APEI (Advanced Configuration and Power Interface — Advanced Platform Error Interface) 框架中的一个功能，用于在硬件层面有意触发错误事件，以测试系统对硬件错误的检测与处理能力，例如：内存 ECC 错误、CPU 缓存错误、PCIe 错误等。

1. EINJ 原理

在支持 EINJ 的平台上，固件 (BIOS/UEFI/BMC) 会通过 ACPI 表 (通常命名为 `EINJ` 表) 暴露一组注入接口给操作系统。Linux 内核在编译时需要启用 `CONFIG_ACPI_APEI_EINJ`，并在运行时加载 `einj` 模块 (若为内建则不需加载)。加载后，系统会在以下目录生成控制文件：

```
1 | /sys/kernel/debug/apei/einj/
```

包含如下关键接口文件：

- `available_error_type`：列出当前平台支持的错误类型。
- `error_type`：设置要注入的错误类型。
- `param1 ~ param4`：错误相关的地址、大小或附加参数。
- `flags / vendor_flags`：控制注入行为的标志位。
- `nottrigger`：不立即触发错误，可用于延迟方式注入。
- `error_inject`：写入 1 触发注入。

内核通过 ACPI 调用固件方法完成注入。RAS 机制 (如 MCE、SEA、SDEI、EDAC、AER 等) 会捕获这些事件并记录至日志系统或 BMC。

2. 加载 EINJ 模块

若 `EINJ` 功能编译为模块 (`CONFIG_ACPI_APEI_EINJ=m`)，可通过以下命令加载：

```
1 | modprobe einj
```

确认模块加载成功：

```
1 | lsmod | grep einj
```

若为内建 (`=y`)，则不需此操作。

3. 注入示例流程

3.1 注入 CPU 可纠正错误（Processor Correctable Error）

步骤：

```
1 # 加载模块（如需）
2 modprobe einj
3
4 # 查看可用错误类型
5 cat /sys/kernel/debug/apei/einj/available_error_type
6
7 # 设置错误类型为 Processor Correctable
8 echo 0x1 > /sys/kernel/debug/apei/einj/error_type
9
10 # 设置参数（CPU 错误一般无需地址）
11 echo 0x0 > /sys/kernel/debug/apei/einj/param1
12
13 echo 0x0 > /sys/kernel/debug/apei/einj/param2
14
15 echo 0x0 > /sys/kernel/debug/apei/einj/param3
16
17 echo 0x0 > /sys/kernel/debug/apei/einj/param4
18
19 # 设置 flags（如需要）
20 echo 0x1 > /sys/kernel/debug/apei/einj/flags
21
22 # 触发注入
23 echo 1 > /sys/kernel/debug/apei/einj/error_inject
```

3.2 注入内存可纠正错误（Memory Correctable Error）

步骤：

```
1 # 加载模块（如需）
2 modprobe einj
3
4 # 设置错误类型为 Memory Correctable
5 echo 0x8 > /sys/kernel/debug/apei/einj/error_type
6
7 # 指定物理地址（应为 System RAM 中的合法地址）
8 echo 0x20800000 > /sys/kernel/debug/apei/einj/param1
9
10 # 设置大小（如需）
11 echo 0x1000 > /sys/kernel/debug/apei/einj/param2
12
13 # 设置 flags（如需要）
14 echo 0x1 > /sys/kernel/debug/apei/einj/flags
15
16 # 触发注入
```

4. 注入结果查看方式

- **BMC/IPMI 日志：**某些平台错误仅在 BMC SEL (System Event Log) 中记录。
-

5. 注意事项

1. **平台支持：**错误类型必须出现在 `available_error_type` 中，平台才支持注入。
2. **对齐要求：**某些平台要求地址对齐至 4K / 64K / 1MB 边界。
3. **风险提示：**注入 UE (不可纠正错误) 可能导致系统宕机。
4. **BIOS 配置：**请确保 BIOS 中启用了 RAS/APEI/ECC/EINJ 等相关选项。