Performance

HRTOS 4.0 性能实测报告

1. 测试概述

HRTOS 4.0 是一款面向 8051 系列微控制器的实时操作系统，针对资源受限的嵌入式应用，提供任务管理、实时调度、任务同步、中断处理及时间管理等功能。

本报告基于 STC12C5A60S2 微控制器上的实际测试数据，对 HRTOS 4.0 的系统启动耗时、任务切换性能、中断响应能力、事件唤醒延迟及延时函数精度进行测试与分析，为系统性能评估和工程应用提供参考。

1.1 测试平台

项目	参数
操作系统	HRTOS 4.0
微控制器	STC12C5A60S2
系统时钟频率	11.0592 MHz
CPU 工作模式	1T 模式
测量方式	逻辑分析仪实测
时间片参数	10000

1.2 测试内容

本次测试主要包括以下内容：

- 系统启动与首个任务启动耗时
- 普通任务与高速任务切换耗时
- 不同调度触发方式下的任务切换性能
- 普通中断响应与中断嵌套响应时间
- 事件阻塞、事件唤醒与任务运行延迟
- `os_delay()` 与 `os_delay_ms()` 延时精度

2. 系统启动性能

系统启动性能用于衡量微控制器上电后进入 HRTOS 主函数，以及主函数启动后进入首个任务执行阶段所需的时间。

测试项目	实测结果
上电至进入 `hrtos_main()`	347.21 ms
`hrtos_main()` 至首个任务执行	11.025 ms

2.1 测试结果分析

从上电到进入 `hrtos_main()` 的实测时间为 347.21 ms。该阶段包含进入应用主函数之前所经历的启动过程，其结果与具体硬件启动条件及程序配置有关。

从 `hrtos_main()` 到首个任务执行的实测时间为 11.025 ms，反映了应用主函数执行后，系统完成相应初始化与任务启动流程的时间开销。

以上数据用于描述本次测试平台上的启动表现，不代表所有应用配置下的固定启动时间。

3. 任务切换性能

任务切换是实时操作系统调度性能的重要指标。HRTOS 4.0 支持普通任务与高速任务，并可在不同调度触发方式下执行任务切换。

本次测试分别测量调度触发位方式和时间片触发方式下的任务切换耗时。

3.1 普通任务切换

调度触发方式	实测切换耗时
调度触发位方式	394.33 μs
时间片触发方式	550.33 μs

调度触发位方式下，普通任务切换耗时为 394.33 μs；时间片触发方式下，实测耗时为 550.33 μs。

在本次测试条件下，调度触发位方式的切换耗时比时间片触发方式低 156 μs。

3.2 高速任务切换

调度触发方式	实测切换耗时
调度触发位方式	143.5 μs

调度触发方式	实测切换耗时
时间片触发方式	229.5 μs

高速任务在调度触发位方式下的实测切换耗时为 143.5 μs，在时间片触发方式下为 229.5 μs。

高速任务切换耗时明显低于本次测试中的普通任务切换耗时，体现了 HRTOS 4.0 高速任务机制在特定调度场景下的性能优势。

3.3 不同任务类型之间的切换

为进一步观察任务类型变化对调度开销的影响，本次对指定任务切换场景进行了测试。

切换场景	实测耗时
高速任务指定普通任务	205.917 μs
普通任务指定普通任务	253 μs

上述数据反映了指定任务切换场景下的实测开销。不同任务类型之间的切换涉及的上下文处理与状态维护可能不同，因此应结合具体切换路径理解测试结果。

3.4 时间片模式下的任务切换

切换方向	实测耗时
普通任务 → 高速任务	285.917 μs
高速任务 → 普通任务	437.750 μs

时间片模式下，不同切换方向的耗时存在差异。该差异与具体切换路径及其处理开销有关。

3.5 调度触发位模式下的任务切换

切换方向	实测耗时
普通任务 → 高速任务	199.333 μs
高速任务 → 普通任务	351.583 μs

在本次测试中，调度触发位模式下，普通任务切换至高速任务的耗时为 199.333 μs，高速任务切换至普通任务的耗时为 351.583 μs。

3.6 任务切换性能总结

综合本次实测数据：

- 普通任务切换耗时为 394.33 μs（调度触发位方式）和 550.33 μs（时间片触发方式）。
- 高速任务切换耗时为 143.5 μs（调度触发位方式）和 229.5 μs（时间片触发方式）。
- 调度触发位方式下的任务切换耗时，在本次对应测试场景中低于时间片触发方式。
- 高速任务机制在本次测试中表现出较低的切换耗时，适用于对任务调度延迟较为敏感的应用场景。

需要注意，不同切换场景的测量起止点和执行路径可能不同，不宜将所有数据视为完全相同条件下的直接横向比较。

4. 中断响应性能

中断响应时间用于衡量系统从中断事件发生到相应中断处理阶段开始之间的时间开销。本次测试分别测量普通中断响应和中断嵌套响应。

测试项目	实测响应时间
普通中断响应	12.167 μs
中断嵌套响应	11.917 μs

4.1 测试结果分析

普通中断响应时间的实测值为 12.167 μs，中断嵌套响应时间的实测值为 11.917 μs。

两项数据均在微秒量级，说明 HRTOS 4.0 在本次测试条件下具有较快的中断响应表现。

中断响应时间会受到具体中断路径、处理器状态、中断屏蔽状态及测量起止点等因素影响。上述数据是对应测试场景的实测结果，不应直接等同于所有运行条件下的最大中断响应时间。

5. 事件阻塞与唤醒性能

事件机制用于协调任务之间的同步关系。任务等待事件时可以进入阻塞状态；当事件满足唤醒条件后，系统可使相应任务重新具备运行条件。

本次测试对事件阻塞后的任务切换，以及事件唤醒到任务实际运行之间的时间进行了测量。

测试项目	实测耗时
任务通过事件阻塞，到下一个任务运行	720.917 μs
事件唤醒到任务运行（原始测量）	568 μs
扣除 `os_event_delete(1)` 约 6 μs 开销后的参考值	562 μs

5.1 事件阻塞后的任务运行

任务通过事件进入阻塞状态后，系统需要完成相应的任务状态处理，并调度其他可运行任务。

本次测试中，从任务通过事件阻塞到下一个任务运行的实测耗时为 720.917 μs。

该数据反映了本次事件阻塞与后续任务调度场景的整体耗时。

5.2 事件唤醒到任务运行

本次测试测得事件唤醒到任务运行的原始耗时为 568 μs。

测试过程中，`os_event_delete(1)` 约产生 6 μs 的额外开销。扣除该部分开销后，得到约 562 μs 的参考值。

其中，568 μs 是原始测量结果；562 μs 是扣除指定操作估算开销后的计算结果，两者应予以区分。

事件唤醒延迟反映了事件处理与任务重新运行之间的综合开销，实际结果会受到当前调度状态、任务优先级及具体执行路径的影响。

6. 延时函数精度

延时函数用于控制任务等待时间，是实时应用中常用的时间管理接口。本次分别测试了 `os_delay()` 与 `os_delay_ms()` 的实际延时表现。

6.1 os_delay() 延时测试

在时间片参数设置为 10000 的测试条件下，测得以下结果：

调用参数	实测延时
`os_delay(1)`	12.572 ms
`os_delay(5)`	56.6729 ms
`os_delay(10)`	111.80 ms
`os_delay(100)`	1.104 s

6.2 os_delay() 测试结果分析

本次测试中，`os_delay(1)` 的实际耗时为 12.572 ms，`os_delay(5)` 为 56.6729 ms，`os_delay(10)` 为 111.80 ms，`os_delay(100)` 为 1.104 s。

随着延时参数增大，实测等待时间也随之增加。具体耗时与系统时间基准、延时参数

的语义及调度执行过程有关。

因此，使用 `os_delay()` 时，应根据其接口定义理解参数含义，不应仅凭函数名称将参数直接解释为毫秒数。

6.3 os_delay_ms() 延时测试

目标延时	实测延时
1 ms	1.000 ms
5 ms	4.988 ms
10 ms	9.970 ms
100 ms	99.690 ms

6.4 os_delay_ms() 测试结果分析

本次测试中，`os_delay_ms()` 的实测结果与目标延时较为接近：

- 目标 1 ms，实测 1.000 ms。
- 目标 5 ms，实测 4.988 ms。
- 目标 10 ms，实测 9.970 ms。
- 目标 100 ms，实测 99.690 ms。

以上数据表明，在本次测试条件和测量范围内，`os_delay_ms()` 表现出较好的延时一致性。

实际应用中的延时结果仍可能受到定时器配置、任务调度、执行路径及测量精度等因素影响。

7. 测试结果汇总

7.1 启动性能

指标	实测结果
上电至进入 `hrtos_main()`	347.21 ms
`hrtos_main()` 至首个任务执行	11.025 ms

7.2 调度与中断性能

指标	实测结果
普通任务切换（调度触发位方式）	394.33 μs
普通任务切换（时间片触发方式）	550.33 μs
高速任务切换（调度触发位方式）	143.5 μs

指标	实测结果
高速任务切换（时间片触发方式）	229.5 μs
普通中断响应	12.167 μs
中断嵌套响应	11.917 μs
事件阻塞至下一个任务运行	720.917 μs
事件唤醒至任务运行（原始值）	568 μs
事件唤醒至任务运行（扣除指定操作开销后的参考值）	562 μs

7.3 指定任务切换性能

指标	实测结果
高速任务指定普通任务	205.917 μs
普通任务指定普通任务	253 μs
时间片模式：普通任务 → 高速任务	285.917 μs
时间片模式：高速任务 → 普通任务	437.750 μs
调度触发位模式：普通任务 → 高速任务	199.333 μs
调度触发位模式：高速任务 → 普通任务	351.583 μs

7.4 延时函数性能

接口	参数或目标延时	实测结果
`os_delay()`	1	12.572 ms
`os_delay()`	5	56.6729 ms
`os_delay()`	10	111.80 ms
`os_delay()`	100	1.104 s
`os_delay_ms()`	1 ms	1.000 ms
`os_delay_ms()`	5 ms	4.988 ms
`os_delay_ms()`	10 ms	9.970 ms
`os_delay_ms()`	100 ms	99.690 ms

8. 结论

根据本次在 STC12C5A60S2、11.0592 MHz、1T 模式下开展的实测，HRTOS 4.0 在启动流程、任务切换、中断响应、事件同步与延时控制等方面取得了上述测试结果。

本次测试体现出以下特点：

1. **支持普通任务与高速任务调度。** 高速任务在本次测试中的切换耗时低于普通任务，体现了不同任务机制在调度开销方面的差异。

2. **具备微秒量级的中断响应表现。** 普通中断响应实测为 12.167 μs，中断嵌套响应实测为 11.917 μs。
3. **支持事件阻塞与唤醒机制。** 本次测得事件阻塞至下一个任务运行的耗时为 720.917 μs，事件唤醒至任务运行的原始耗时为 568 μs。
4. **提供不同用途的延时接口。** `os_delay()` 与 `os_delay_ms()` 在本次测试中表现出不同的延时特征，应依据各自的接口定义和使用场景选用。

上述结果为 HRTOS 4.0 在 8051 平台上的性能评估提供了实际测量依据。对于需要严格实时性保障的应用，还应结合完整任务负载、中断嵌套、临界区、最坏执行路径及系统配置开展进一步验证。

9. 测试说明与适用范围

本报告记录的是指定硬件平台、时钟配置及测试场景下的实测结果，主要用于描述相应场景中的实际性能表现。

需要注意：

- 实测耗时可能随硬件型号、时钟模式、编译配置、系统负载及任务状态发生变化。
- 不同测试项目的起止点与执行路径可能不同，跨项目比较时应注意测量口径。
- `os_event_delete(1)` 开销扣除后的 562 μs 为计算参考值，原始测量值为 568 μs。
- 实测平均值、单次测量值或指定场景测量值均不能单独证明系统在所有条件下的最坏执行时间。
- 对具有严格截止时间要求的应用，应针对目标配置开展最坏情况分析、边界测试与长期稳定性验证。

报告结语： HRTOS 4.0 的上述实测数据为评估其在 8051 微控制器上的调度效率、中断响应和时间管理能力提供了参考，也为后续系统优化与工程应用验证建立了可复核的性能基线。