

Измерение характеристик реального времени ЗОСРВ «Нейтрино»

Махилёв Владимир Владимирович, «СВД Встраиваемые Системы», г. Санкт-Петербург ул. Кузнецовская д. 19, v.makhilev@kpda.ru

В докладе систематизированы основные типы задержек, определяющих время реакции системы реального времени на внешнее событие: аппаратная задержка, задержка диспетчеризации прерывания, задержка планирования и задержка получения управления в пользовательском потоке. Разделение задержек на указанные составляющие позволяет локализовать «узкие места» при профилировании системы.

В докладе предложен практический способ измерения характеристик реального времени целевой встраиваемой системы под управление ОС «Нейтрино» с использованием генератора прямоугольных импульсов и осциллографа с режимом накопления данных. Метод включает измерение средней и максимальной задержки обработки прерывания, а также определение предельной частоты обработки внешних событий без потерь. В отличие от программных методов замера, предложенный программно-аппаратный подход позволяет исключить погрешности, вносимые самой измеряющей системой.

Показано, что время реакции на прерывание в пользовательском потоке выше, чем в обработчике прерывания, однако сохраняет приемлемую предсказуемость для широкого класса задач реального времени. На целевой системе Rockchip RK3568 (ARM Cortex A55, 816 МГц) под управлением ОС «Нейтрино» среднее время реакции в обработчике составило 1,2 мкс, а в пользовательском потоке — 3,5 мкс. Максимальные задержки при этом не превысили 3,3 и 5,3 мкс соответственно, что демонстрирует низкий джиттер.

Определены максимальные пропускные способности системы при обработке внешних прерываний без потерь для двух сценариев: в обработчике и в пользовательском потоке. В обработчике прерываний система выдерживает период следования импульсов 5 мкс (200 кГц), тогда как при передаче управления в пользовательский поток предельный период возрастает до 11,1 мкс (90 кГц). Превышение данных частот приводит к необратимым потерям прерываний, что подтверждено экспериментально на пакете из 1 000 000 импульсов.

Экспериментально подтверждено, что для многоядерных SMP систем распределение прерываний по процессорным ядрам может ухудшать среднюю задержку реакции, но при этом улучшать максимальную пропускную способность системы. При привязке прерывания к второму ядру (из 4х) среднее время реакции в обработчике увеличилось с 1,2 до 1,9 мкс, а в пользовательском потоке — с 3,5 до 8 мкс. Однако максимальная частота обработки прерываний без потерь увеличилась с 200 до 260 кГц, что указывает на необходимость компромисса между задержкой и пропускной способностью при настройке аффинности прерываний.