**Точное измерение времени (PTM)**

Аппаратная поддержка PTP обеспечивает точную синхронизацию GPS с часами сетевого адаптера, а также точную синхронизацию по сети между часами одного сетевого адаптера и часами другого сетевого адаптера. Но почти все компьютерные программы написаны с использованием системных часов компьютера, а не часов сетевого адаптера. Это означает, что системные часы должны быть синхронизированы с часами сетевого адаптера, но PTP работает только с часами сетевого адаптера и не помогает в этом.

PTM — это функция PCI Express (PCIe), которая позволяет устройствам на шине PCIe синхронизировать свои тактовые частоты. В частности, она обеспечивает аппаратную поддержку точной синхронизации тактовых частот сетевого адаптера и системных часов. На высоком уровне это похоже на PTP, но для шины PCIe, а не для сети. PTM требует поддержки как со стороны сетевого адаптера, так и со стороны компьютера (в частности, подсистемы PCIe чипсета материнской платы).

Ядро Linux позволяет приложениям использовать преимущества PTM с помощью системного вызова, который выполняет *перекрестное тимекейджинг*, то есть один системный вызов одновременно получает системное время и время по часам сетевого адаптера. (Системный вызов — это PTP\_SYS\_OFFSET\_PRECISE ioctl.) Вы можете узнать, поддерживает ли конкретный сетевой адаптер перекрестное тимекейджинг, с помощью команды phc\_ctl из пакета linuxptp с указанием только имени интерфейса в качестве аргумента. В последней строке вывода будет указано has cross timestamping support, если для этого сетевого адаптера поддерживается перекрестное тимекейджинг. Драйвер e1000e поддерживает перекрестную синхронизацию времени для некоторых сетевых карт на материнской плате, таких как Intel I219-V, с помощью специального метода, не зависящего от PTM. Кроме того, поддержка перекрестной синхронизации времени в настоящее время основана на PTM.

Вы можете проверить, поддерживает ли подсистема PCIe PTM, выполнив поиск по Precision Time Measurement в выводе sudo lspci -vv. Для работы PTM его должны поддерживать устройство сетевого адаптера, корневой комплекс (хост-мост) и все мосты PCI между ними. Вы можете использовать lspci -t для определения соответствующих мостов. Процессор также должен поддерживать функцию Always Running Timer; она соответствует флагу art в /proc/cpuinfo.

Драйвер сетевого адаптера также должен поддерживать перекрестную синхронизацию времени: [поиск](https://elixir.bootlin.com/linux/latest/A/ident/getcrosststamp) в ядре Linux для getcrosststamp позволит найти драйверы, которые могут поддерживать перекрестную синхронизацию времени

Единственными широко доступными сетевыми адаптерами с поддержкой PTM являются Intel i225/i226, которые используют драйвер igc. Однако драйвер igc [отключает](https://patchwork.kernel.org/project/netdevbpf/patch/20211228182421.340354-2-anthony.l.nguyen@intel.com/) поддержку PTM на i225-V, что означает, что PTM работает на контроллерах i225-LM, i226-V и i226-LM. i225-V встречается гораздо чаще, чем более дорогой i225-LM. Карта PCIe i225-T1 использует контроллер i225-LM.

Непросто предугадать, есть ли у материнской платы необходимая поддержка. Я протестировал множество систем, и правило, которое применимо ко всем протестированным мной системам, заключается в том, что если материнская плата использует чипсет 11-го поколения или новее, то она, скорее всего, будет работать. Для материнских плат с отдельными процессорами я обнаружил, что B660 и Z690 работают, а Z490 — нет. (Z490 поддерживал PTM, но мост для слота x16 не поддерживал: я использовал этот слот, так как это была система ITX.) Для мини-ПК с процессорами, припаянными к материнской плате, я обнаружил, что Jasper Lake (N5095/N6000) и Alder Lake-N (N100) работают, а Gemini Lake (J4125) — нет.