

# Выбор ОСРВ для ПЦОС TI TMS320C6678 и среды TMSDK разработки ПО для АМС-модулей TORNADO-A6678x

**П.А. Семенов, к.т.н.**  
**О.Ю. Милосердин, к.т.н.**

Настоящий прикладной материал является частью руководства пользователя среды TMSDK® (сокращение от TORNADO-Axxx Software Development Kit) разработки прикладного программного обеспечения (ПО) для АМС-модулей TORNADO-A6678x (далее как TA6678x) фирмы МикроЛАБ Системс ([www.mlabsys.com](http://www.mlabsys.com)), построенных на базе 8-ми ядерного процессора ЦОС (ПЦОС) TMS320C6678 фирмы Texas Instruments (TI, [www.ti.com](http://www.ti.com)) и ПЛИС Xilinx Virtex-7 ([www.xilinx.com](http://www.xilinx.com)).

Данный материал содержит обзор, сравнение, результаты тестирования и рекомендации по выбору операционной системы реального времени (ОСРВ) для разработки прикладного ПО ПЦОС TMS320C6678 АМС-модулей TA6678x на базе среды TMSDK фирмы МикроЛАБ Системс ([http://www.mlabsys.ru/products/tasdk/tasdk\\_ru.htm](http://www.mlabsys.ru/products/tasdk/tasdk_ru.htm)).

Этот же материал может быть рекомендован как общее руководство по выбору ОСРВ для разработки прикладного ПО для любых устройств на базе ПЦОС TI TMS320C6678x.

## Нужна ли ОСРВ для ПЦОС TI TMS320C6678?

В общем случае, если учесть архитектуру и особенности функционирования 8-ми ядерного ПЦОС TI TMS320C6678, то вопрос "Нужна ли ОСРВ для ПЦОС TI TMS320C6678?" является риторическим и не совсем корректным.

Рассмотрим несколько примеров.

### Когда ОСРВ не нужна ...

Так, если рассматривать ПЦОС TI TMS320C6678 как аппаратную платформу для выполнения только алгоритмов ЦОС, то ответ будет однозначный - "Не только не нужна, но и вредна".

Это связано с тем, что любой ПЦОС и его прикладное ПО всегда "затачиваются" исключительно на выполнение алгоритмов ЦОС с максимально возможной скоростью в реальном времени, а любая ОСРВ для ПЦОС только снижает его производительность и существенно повышает риск "не уложиться" во временные спецификации конкретного приложения.

Именно поэтому, все ОСРВ не нашли применения для одноядерных ПЦОС для диспетчеризации задач управления и ЦОС. Эта "печальная" участь постигла как порты ПЦОС таких широко известных, универсальных, мультиплатформенных и отлично оптимизированных ОСРВ как Nucleus RTX/Plus фирмы Accelerated Technology (сегодня подразделение фирмы Mentor Graphics) и многих других, так и специализированную ОСРВ SPOX фирмы Spectron Microsystems для ПЦОС TI TMS320C3x/C4x (была куплена в 1995г. фирмой Texas Instruments и далее преобразовалась в TI DSP SysBIOS и TI-RTOS). Известны даже порты Linux для ПЦОС TI TMS320C64xx, которые бессмысленны по своей сути.

### Когда ОСРВ нужна ...

Однако, если учесть 8-ми ядерную архитектуру ПЦОС TI TMS320C6678 со множеством интегрированных контроллеров и при этом переформулировать вопрос "Нужна ли ОСРВ для ПЦОС TI TMS320C6678?" в "Нужна ли ОСРВ для ПЦОС TI TMS320C6678 в случае, если требуется .... ?", то такая постановка может быть вполне корректна и оправдана.

Примером является требование поддержки внешней коммуникации через локальную сеть (LAN) с применением встроенных портов 1GbE ПЦОС TI TMS320C6678. Фирма TI задумала и реализовала архитектуру "Keystone" с оптимизированными высокоскоростными каналами внутренней коммуникации как в своих гетерогенных мультиядерных "системах на кристалле" ARM+ПЦОС (66KAK2Exx, 66AK2Gxx, 66KAK2Lxx, и др.), так и в гомогенных мультиядерных ПЦОС типа TMS320C667x и др. Все из этих устройств имеют встроенные периферийные

встроенные порты 1GbE (SGMII) с коммутатором Ethernet, которые предназначены для внешней коммуникации через LAN для задач приемо-передачи данных реального времени и для удаленного управления, в зависимости от конкретного приложения.

Для программной реализации коммуникации через LAN требуется ПО IP-стека с поддержкой UDP и TCP/IP пакетов, который, в свою очередь, требует наличия ОСПВ для эффективной работы. Т.к. 8-ми ядерный ПЦОС TMS320C6678 имеет встроенный загрузчик, который стартует на ядре #0 ПЦОС, то в случае приложений с коммуникацией по портам 1GbE через LAN, ядро #0 ПЦОС разумно выделить для задач удаленного управления и приемо-передачи данных реального времени на базе ОСПВ и IP-стека, а ядра #1..#7 - для выполнения приложений ЦОС реального времени без ОСПВ ("bare-metal").

По сути, в этом случае ядро #0 ПЦОС выполняет функционал встроенного управляющего контроллера на базе дешевого процессора (например ARM или RISC), что характерно для ядер ARM при использовании "систем на кристалле" ARM+ПЦОС (66КАК2Ехх, 66АК2Gхх, 66КАК2Lхх, и др.). Однако, если сравнить с максимально возможной загрузкой приложениями ЦОС, то это приводит к незначительной потере всего лишь 1/8 (12.5%) от суммарной производительности ПЦОС, но при этом придает универсальные возможности дистанционного управления устройством и внешней коммуникации. Конечно, в общем случае ПО для ядер #1..#7 ПЦОС может также использовать ОСПВ, но это не целесообразно, т.к. приведет к неоправданной потере производительности приложений ЦОС для этих ядер.

### Организация ПО для ПЦОС TMS320C6678 АМС-модулей TA6678x на базе ОСПВ и среды TASDK

Именно описанным выше образом организовано функционирование ПО для ПЦОС TMS320C6678 АМС-модулей TA6678x на базе ОСПВ и среды TASDK фирмы МикроЛАБ Системс:

- Ядро #0 ПЦОС выполняет готовое управляющее системное приложение *TASDK DSP System Manager* на базе ОСПВ и IP-стека, которое предназначено для управления всем устройством, загрузкой приложений для ядер #1..#7 ПЦОС и внешней коммуникации по портам 1GbE SGMII ПЦОС.
- Ядра #1..#7 ПЦОС выделяются для выполнения приложений ЦОС реального времени без ОСПВ, которые разрабатываются пользователем на базе библиотеки *TASDK "bare-metal"* для ПЦОС.

## Поддерживаемые ОСПВ для ПЦОС TI TMS320C6678 и среды TASDK для АМС-модулей TA6678x

Среда TASDK разработки ПО для ПЦОС АМС-модулей TA6678x поддерживает следующие ОСПВ:

- "Свободная" бесплатная ОСПВ с открытым кодом *SysBIOS (TI-RTOS)* фирмы Texas Instruments. Эта ОСПВ входит в стандартный комплект поставки TASDK для АМС-модулей TA6678x и также доступна для скачивания с сайта TI (<http://www.ti.com/tool/PROCESSOR-SDK-C667x>).
- Коммерческая пре-сертифицированная ОСПВ *ThreadX®* фирмы Express Logic Inc ([http://www.mlabsys.ru/products/distributed/el\\_ru.htm](http://www.mlabsys.ru/products/distributed/el_ru.htm), [www.expresslogic.com](http://www.expresslogic.com)) промышленного уровня для высокоскоростных и "критических" приложений с последующей сертификацией разрабатываемого ПО. Эта ОСПВ поставляется в составе специального комплекта поставки TASDK/ThreadX, который доступен по отдельному заказу. Возможны различные конфигурации поставки ОСПВ ThreadX в зависимости от требований разработки прикладного ПО и поэтапного перехода к сертификации ПО.

В последующих разделах приводится сравнение ОСПВ для среды TASDK для АМС-модулей TA6678x по общим критериям и объективным показателям различных тестов, что позволяет сделать правильный выбор ОСПВ для среды TASDK в зависимости от конкретных требований разрабатываемого прикладного ПО и требований эксплуатации АМС-модулей.

## Общие критерии сравнения ОСПВ для среды TASDK для АМС-модулей TA6678x

Общее сравнение ОСПВ для среды TASDK для АМС-модулей TA6678x можно провести на основе сравнительного анализа следующих характеристик для каждой из ОСПВ:

- Функционал ОСПВ.
- Функционал сетевой функции (опции) ОСПВ.
- Наличие исходного кода ОСПВ.
- Наличие и качество технической поддержки.
- Качество API интерфейса библиотек ОСПВ.
- Наличие пре-сертификации ОСПВ на соответствие промышленным стандартам.
- Области применения ОСПВ и количество устройств, на которых работает ОСПВ.

В настоящем разделе кратко рассматриваются перечисленные выше общие критерии сравнения ОСПВ для среды TADSK для АМС-модулей TA6678x. Для более детальной информации обращайтесь к документации для рассматриваемых ОСПВ или в службу технической поддержки МикроЛАБ Системс.

**Сравнение функционала ОСПВ и сетевой функции ОСПВ для среды TADSK для АМС-модулей TA6678x**

В таблице 1 приведено сравнение функционалов ОСПВ и сетевых функций (опций) ОСПВ для среды TADSK для АМС-модулей TA6678x.

Таблица 1. Сравнение функционала ОСПВ SysBIOS+NDK (TI) и ThreadX+NetXDuo (Express Logic) для TADSK для АМС-модулей TA6678x.

Компонент/функция	Поддержка в ОСПВ SysBIOS+NDK (Texas Instruments)	Поддержка в ОСПВ ThreadX+NetXDuo (Express Logic)	Унифицированные API функции в библиотеках TADSK_RTOS_xxx.LIB
<b>Функционал ОСПВ</b>			
Управление задачами (task control)	+	+	+
Программируемая задержка (delay)	+	+	+
Сообщения (message)	+	+	+
Семафоры (semaphore)	+	+	+
Мьютексы (mutex)	+	+	+
События (event)	+	+	+
Таймеры (timer)	+	+	+
<b>Функционал сетевой функции ОСПВ</b>			
Поддержка IP v4	+	+	
Поддержка IP v6	+	+	
Прием/передача UDP пакетов	+	+	
Прием/передача TCP/IP пакетов	+	+	
Дополнительные IP протоколы (AutoIP, DHCP, DNS, FTP, HTTP, POP3, PPP, SMTP, SNMP, Telnet, TFTP)	-+ (только несколько протоколов)	++	
Поддержка защищенных IP протоколов (IPsec)	-	+	
<b>Сервисный функционал</b>			
Трассировщик (trace) и визуализатор событий ядра ОСПВ, сетевой функции и приложения пользователя	-	++	
Системный отладчик (system level debugger)	-	++	

Как видно из приведенного сравнения, функционал ОСПВ SysBIOS (TI) и ThreadX (Express Logic) примерно одинаков. Однако, функционал сетевой функции ОСПВ ThreadX+NetXDuo несколько шире, чем у сетевой функции ОСПВ SysBIOS+NDK. Кроме того, у ОСПВ ThreadX имеется богатый сервисный функционал в виде универсального трассировщика и системного отладчика, которые полностью отсутствуют у ОСПВ SysBIOS, что значительно упрощает отладку и "тонкую" настройку разрабатываемого многозадачного прикладного ПО.

### **Интерфейс API библиотек ОСПВ для среды *TASDK* для АМС-модулей *TA6678x***

Сравнение "качества" интерфейса API библиотек ОСПВ является достаточно субъективным критерием, который может быть различным у разных пользователей.

Однако, при реальном сравнении синтаксиса и имен API функций ОСПВ, можно сказать, что "качество" API интерфейса ОСПВ *ThreadX+NetXDuo* (Express Logic) гораздо лучше, чем у ОСПВ *SysBIOS+NDK* (TI) за счет легко запоминающихся имен API функций без сокращения.

Необходимо отметить, что данный критерий сравнения ОСПВ является несущественным для разработки приложений для ядра #0 ПЦОС TI TMS320C6678 на базе среды *TASDK* для АМС-модулей *TA6678x*, т.к. пользователю рекомендуется пользоваться унифицированными библиотеками *TASDK\_RTOS\_xxx.LIB* с удобным унифицированным интерфейсом ОСПВ вместо непосредственного вызова API функций ОСПВ. При использовании библиотек *TASDK\_RTOS\_xxx.LIB* пользователю не потребуется использовать непосредственно вызовы API функций ОСПВ. Библиотеки *TASDK\_RTOS\_xxx.LIB* транслируют унифицированные API функции ОСПВ в соответствующие вызовы ОСПВ *SysBIOS+NDK* и *ThreadX+NetXDuo*, что позволяет иметь единый код разрабатываемого приложения для всех ОСПВ и обеспечить быструю компиляцию приложения для любой поддерживаемой ОСПВ без модификации самого кода.

### **Наличие и качество исходного кода ОСПВ для среды *TASDK* для АМС-модулей *TA6678x***

Обе ОСПВ *SysBIOS+NDK* (TI) и *ThreadX+NetXDuo* (Express Logic) поставляются с исходными кодами, что позволяет модифицировать код при наличии такой необходимости.

Однако, при реальном сравнении "качества" исходного кода поддерживаемых ОСПВ, можно сказать, что "качество" кода ОСПВ *ThreadX+NetXDuo* (Express Logic) значительно лучше, чем у ОСПВ *SysBIOS+NDK* (TI) за счет наличия подробных комментариев, понятных имен используемых переменных и локальных функций, и лучшего оформления кода.

Аналогично критерию интерфейса API библиотек ОСПВ, данный критерий сравнения ОСПВ также является несущественным для разработки приложений для ядра #0 ПЦОС TI TMS320C6678 на базе среды *TASDK* для АМС-модулей *TA6678x*, т.к. пользователю рекомендуется пользоваться унифицированными библиотеками *TASDK\_RTOS\_xxx.LIB* с удобным унифицированным интерфейсом ОСПВ вместо непосредственного вызова API функций ОСПВ.

### **Пре-сертификация ОСПВ для среды *TASDK* для АМС-модулей *TA6678x***

Критерий наличия для конкретной ОСПВ пре-сертификатов соответствия промышленным стандартам имеет значение в случае, если к разрабатываемому прикладному ПО предъявляются повышенные требования по надежности работы и требование обязательной последующей сертификации разрабатываемого ПО. Это имеет место при использовании изделий для "критических" приложений (телекоммуникация, медицина, промышленные установки, авионика, и др).

Из поддерживаемых ОСПВ для среды *TASDK* для АМС-модулей *TA6678x*, только ОСПВ *ThreadX+NetXDuo* фирмы Express Logic имеет пре-сертификацию по целому ряду промышленных стандартов UL ([www.ul.com](http://www.ul.com)) и TUV ([www.tuvsud.com](http://www.tuvsud.com)) и стандартов IoT (интернет вещей), что позволяет гарантировать надежность ее работы в "критических" приложениях. Для множества стандартов UL и TUV имеются полные аналоги стандартов ГОСТ.

ОСПВ *SysBIOS+NDK* фирмы Texas Instruments не имеет пре-сертификации на соответствие промышленным стандартам и, соответственно, не гарантирует надежность разрабатываемого приложения ПЦОС и не допускает использования для "критических" приложений.

### **Техническая поддержка ОСПВ для среды *TASDK* для АМС-модулей *TA6678x***

Техническая поддержка любого ПО, в том числе и ОСПВ, определяется его "открытостью" и лицензией.

Так, все "свободные" бесплатные ОСПВ с открытым кодом, как правило, либо имеют техническую поддержку через он-лайн форум пользователей (и/или разработчиков), либо вообще не имеют технической поддержки. К таковой ОСПВ для среды *TASDK* для АМС-модулей *TA6678x* относится ОСПВ *SysBIOS+NDK* фирмы Texas Instruments. Она не имеет прямой технической поддержки от TI, однако имеет он-лайн форум пользователей. Ответы на технические вопросы на форуме либо приходят с большой задержкой (и, как правило с низким техническим уровнем), либо не приходят вообще (типовой случай).

Полной противоположностью является быстрая и высококвалифицированная техническая поддержка коммерческой ОСПВ *ThreadX+NetXDuo* фирмы Express Logic. При этом, базовую техническую поддержку осуществляет фирма МикроЛАБ Системс (как официальный дистрибьютор Express Logic на территории РФ), а поддержку по специальным техническим вопросам - сама фирма Express Logic.



Однако, данный критерий является несущественным для разработки приложений для ядра #0 ПЦОС TI TMS320C6678 на базе среды TSDK для АМС-модулей TA6678x, т.к. пользователю рекомендуется пользоваться унифицированными библиотеками TSDK\_RTOS\_xxx.LIB с удобным унифицированным интерфейсом ОСПВ вместо непосредственного вызова API функций ОСПВ. В результате, техническая поддержка ОСПВ не потребуется.

Всем разработчикам прикладного ПО на базе среды TSDK для АМС-модулей TA6678x фирмой МикроЛАБ Системс оказывает полноценная техническая поддержка среды TSDK.

### **Области применения ОСПВ для среды TSDK для АМС-модулей TA6678x**

Критерий широты применения конкретной ОСПВ и числа ее инсталляций (количества подтвержденно успешно работающих промышленных устройств с конкретной ОСПВ) является одним из основных для определения ее популярности и успешности. Этот фактор является косвенной характеристикой качества и надежности ОСПВ.

Из поддерживаемых ОСПВ для среды TSDK для АМС-модулей TA6678x, только ОСПВ ThreadX+NetXDuo фирмы Express Logic может подтвердить более 6 млрд. промышленно эксплуатируемых устройств, использующих эту ОСПВ в своем ПО. Основными областями применения устройств на базе ОСПВ ThreadX являются компьютерная техника (принтеры Hewlett Packard), промышленность, медицина, IoT (интернет вещей), бытовая техника, сетевые маршрутизаторы, "Системы на Кристалле", авионика, военная техника и др. Такой широкий спектр применения ОСПВ объясняется большими числами поддерживаемых аппаратных платформ (типов процессоров).

Полной противоположностью является ОСПВ SysBIOS+NDK (TI-RTOS, TI-RTOS-MCU) фирмы Texas Instruments, которая рассчитана исключительно на процессоры фирмы Texas Instruments (ПЦОС, процессоры ARM, микроконтроллеры MSP430), из которых только процессоры TI ARM имеют относительно широкое распространение. Никаких данных, подтверждающих число промышленно эксплуатируемых устройств с этой ОСПВ, не приводится.

### **Выводы по общему сравнению ОСПВ для среды TSDK для АМС-модулей TA6678x**

На основе проведенного выше общего сравнения ОСПВ SysBIOS+NDK (Texas Instruments) и ThreadX+NetXDuo (Express Logic) для среды TSDK для АМС-модулей TA6678x, можно сделать следующие выводы:

- **ОСПВ SysBIOS+NDK является "свободно" распространяемой с открытым кодом. ОСПВ ThreadX+NetXDuo является коммерческой.**
- **Функционал ОСПВ SysBIOS и ThreadX примерно одинаков.**
- **Функционал сетевой функции ОСПВ ThreadX+NetXDuo несколько шире, чем у сетевой функции ОСПВ SysBIOS+NDK.**
- **ОСПВ ThreadX имеет богатый сервисный функционал** в виде универсального трассировщика и системного отладчика, которые полностью отсутствуют у ОСПВ SysBIOS, что значительно упрощает отладку и "тонкую" настройку разрабатываемого многозадачного прикладного ПО.
- **"Качество" API интерфейса ОСПВ ThreadX+NetXDuo гораздо лучше, чем у ОСПВ SysBIOS+NDK.** Однако, данное преимущество не имеет принципиального значения из-за того, что использование непосредственно вызовов API функций ОСПВ не требуется при разработке приложений на базе среды TSDK для АМС-модулей TA6678x.
- **Обе ОСПВ поставляются с исходными кодами,** что позволяет модифицировать код при наличии такой необходимости. "Качество" исходного кода ОСПВ ThreadX+NetXDuo значительно лучше, чем у ОСПВ SysBIOS+NDK. Однако, данное преимущество не имеет принципиального значения из-за того, что использование вызовов API функций ОСПВ не требуется при разработке приложений на базе среды TSDK для АМС-модулей TA6678x.
- **Только ОСПВ ThreadX+NetXDuo имеет пре-сертификацию по целому ряду промышленных стандартов UL и TUV, а также стандартов IoT (интернет вещей),** что позволяет гарантировать надежность ее работы в "критических" приложениях. ОСПВ SysBIOS+NDK не имеет пре-сертификации.
- **Техническая поддержка ОСПВ ThreadX+NetXDuo является быстрой и высококвалифицированной.** Техническая поддержка ОСПВ SysBIOS+NDK осуществляется через он-лайн форум пользователей (и/или разработчиков) с большой задержкой ответов, а в большинстве случаев без ответа. Однако, данное преимущество не имеет принципиального значения из-за того, что использование вызовов API функций ОСПВ не требуется при разработке приложений на базе среды TSDK для АМС-модулей TA6678x.
- **ОСПВ ThreadX+NetXDuo установлена и функционирует более чем на 6 млрд. промышленно эксплуатируемых устройств** в различных областях применения. Для ОСПВ SysBIOS+NDK не существует данных, подтверждающих число промышленно эксплуатируемых устройств с этой ОСПВ.

## Тесты качества и производительности ОСРВ для среды TMSDK для АМС-модулей TA6678x

Показатели качества и производительности ОСРВ являются основными характеристиками всех встраиваемых ОСРВ. Именно эти параметры главным образом определяют быстродействие ОСРВ и соответствие разрабатываемого ПО техническим требованиям приложения в части обработки данных реального времени и управления устройством.

В настоящем разделе будут рассмотрены сравнительные характеристики качества и производительности ОСРВ SysBIOS (TI) и ThreadX (Express Logic Inc), используемых в среде TMSDK для ядра #0 ПЦОС TI TMS320C6678 АМС-модуля TORNADO-A6678/FMC.

### Характеристики производительности ОСРВ

К характеристикам производительности ОСРВ обычно относят временные спецификации ОСРВ, включающие времена сохранения и восстановления контекста задач (поточков), переключения задач, создания и удаления задач, передачи сообщений, обработки семафоров, отклика на прерывания, выделения памяти, и др.

Казалось бы, что все эти параметры можно узнать из документации для конкретных ОСРВ. Однако, временные характеристики доступны далеко не для всех ОСРВ. Так, они никогда не публикуются для "свободных" ОСРВ с открытым кодом (FreeRTOS, TI SysBIOS, Linux и др). Это происходит потому, что основной целью и преимуществом "свободных" ОСРВ является именно открытый код, а не конкуренция и достижение максимально возможной производительности. Как правило, "свободные" ОСРВ с открытым кодом значительно проигрывают коммерческим ОСРВ по характеристикам производительности, которые существуют и развиваются в условиях жесткой конкуренции, и именно характеристики производительности ОСРВ для них являются одними из ключевых для успешного продвижения на рынке.

Временные спецификации для отдельных компонентов (объектов) ОСРВ (времена сохранения и восстановления контекста задач, переключения задач, создания и удаления задач, передачи сообщений, обработки семафоров, отклика на прерывания, выделения памяти, и др.) измеряют либо в единицах тактов процессора, или в единицах времени (нс, мкс) при заданной частоте процессора. Как правило, точно измерить эти параметры могут только сами производители ОСРВ, т.к. это требует доступ к коду ОСРВ и детальное знание кода ядра ОСРВ для определения "временных точек" кода, между которыми необходимо производить измерения на симуляторе процессора. Для "свободных" ОСРВ с открытым кодом, такие измерения в принципе могут быть сделаны и самим разработчиком прикладного ПО, однако, только если он достаточно хорошо разбирается в коде ядра ОСРВ.

Знание временных спецификаций для различных компонентов ОСРВ позволяет разработчику прикладного ПО оценить "временные издержки", вносимые ОСРВ в работу реально разрабатываемого приложения, и в целом сделать выбор ОСРВ для реализации своего проекта.

### Характеристики качества ОСРВ

Кроме характеристик производительности ОСРВ, важными параметрами для выбора ОСРВ являются характеристики "качества" ОСРВ, которые характеризуют "качество" выполнения функционала ОСРВ.

Основными характеристиками "качества" ОСРВ являются:

- Соответствие ОСРВ требованию *детерминизма*.
- Наличие "*утечек*" памяти ОСРВ.

Характеристика *детерминизма* ОСРВ является фундаментальным показателем качества ОСРВ, отвечающая за способность ОСРВ гарантировать, что все готовые к выполнению задачи с одинаковыми приоритетами получат одинаковое число запусков от диспетчера задач в течение определенного интервала времени. Эта характеристика является непосредственной оценкой качества алгоритма работы диспетчера задач ядра ОСРВ, являющимся основным компонентом ОСРВ. Наличие *детерминизма* ОСРВ особенно критично для приложений с требованием гарантированного времени отклика на внешние события и непосредственно определяет гарантированное время отклика приложения на все внешние события.

Характеристика "*утечки*" памяти ОСРВ определяет качество алгоритма динамического управления пулом памяти ОСРВ, который также является одним из основных компонентов ОСРВ. Отсутствие "*утечки*" памяти ОСРВ гарантирует долговременную правильную работу разрабатываемого приложения, которое использует динамическое выделение и возврат областей памяти из различных задач ОСРВ. В противном случае, приложение будет "фатально" остановлено через некоторое время после старта.

### Тесты Thread Metrics оценки качества и производительности ОСРВ

В настоящее время нет общепринятых независимых тестов оценки производительности ОСРВ, которые бы широко использовались для сравнительной оценки временных характеристик ОСРВ для различных типов процессоров.

Вместо этого, пользователи и сами фирмы-разработчики ОСРВ проводят свои множественные уникальные тесты, позволяющие получить абсолютные покомпонентные оценки временных характеристик ОСРВ в единицах времени (нс, мкс) с различной степенью достоверности. При неоспоримом желании иметь такие результаты, они все-таки не дают сравнительной оценки различных ОСРВ, и, что особенно важно, не позволяют оценить реальные типовые временные характеристики разрабатываемого приложения, которое всегда включает вызовы API-функций ОСРВ со встроенной диспетчеризацией задач. В последнем случае реальная временная оценка далеко не всегда получается путем суммирования временных параметров отдельных компонентов ОСРВ. Кроме того, абсолютные временные характеристики не дают оценок "качества" ОСРВ.

Для объективной оценки "качества" и производительности ОСРВ могут быть использованы унифицированные тесты Thread Metrics, разработанные фирмой Express Logic Inc. Исходный код для тестов Thread Metrics можно скачать по ссылке <https://rtos.com/support/extra-tools/> после простой регистрации или запросить в фирме МикроЛАБ Системс как официальном дистрибьюторе фирмы Express Logic на территории РФ.

Тесты Thread Metrics являются простыми и понятными по сути, а также легко и без ограничений портируются на любую встраиваемую ОСРВ. Они также могут быть портированы даже на ОС Linux и Windows с определенными ограничениями.

Тесты Thread Metrics включают:

- Тест *Cooperative Scheduling*.
- Тест *Preemptive Scheduling*.
- Тест *Interrupt Processing*.
- Тест *Interrupt Preemption Processing*.
- Тест *Message Processing*.
- Тест *Synchronization Processing*.
- Тест *Memory Allocation*.

Схемы (алгоритмы) для всех тестов Thread Metrics приведены на рисунках 1-7.

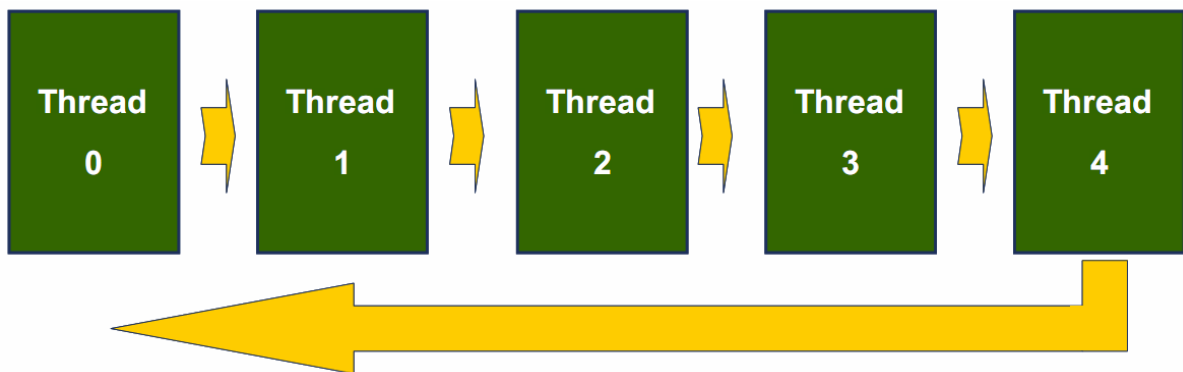


Рис.1. Схема теста Thread Metrics Cooperative Scheduling.

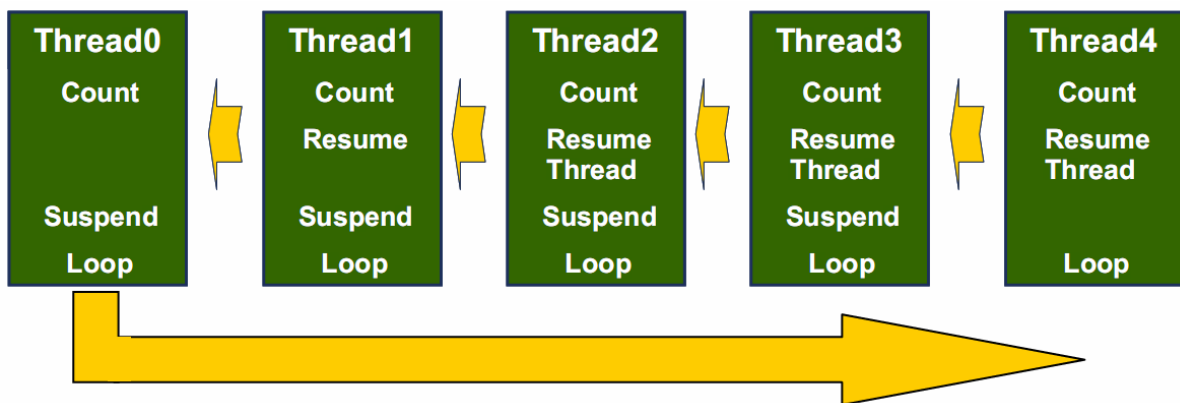


Рис.2. Схема теста Thread Metrics Preemptive Scheduling.

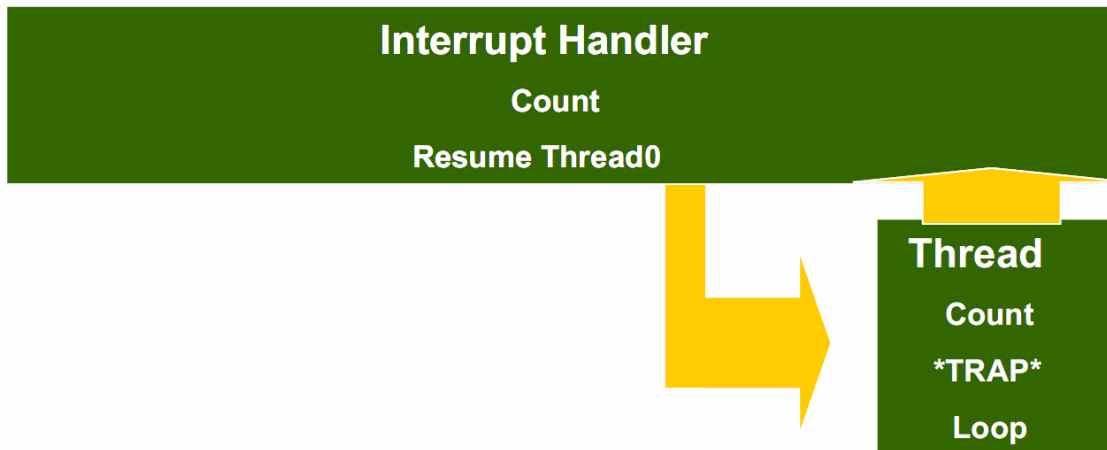


Рис.3. Схема места Thread Metrics Interrupt Processing.

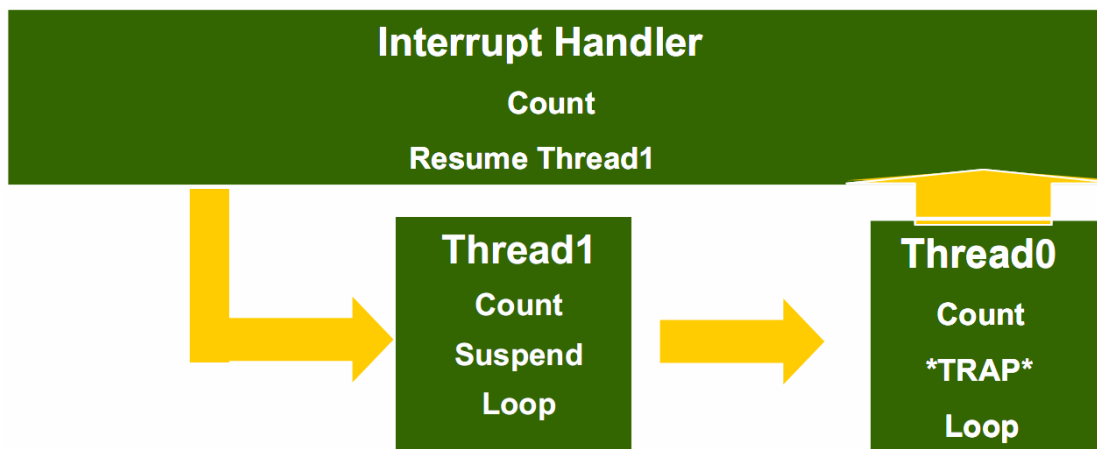


Рис.4. Схема места Thread Metrics Interrupt Preemption Processing.

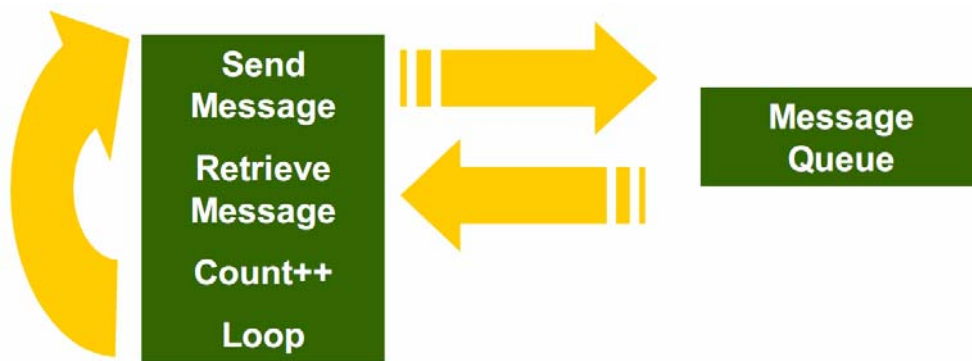


Рис.5. Схема места Thread Metrics Message Processing.

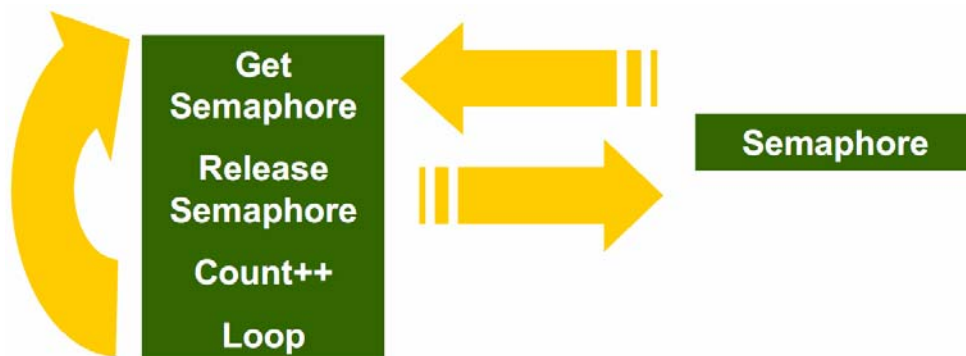


Рис.6. Схема места Thread Metrics Synchronization Processing.





Рис.7. Схема теста *Thread Metrics Memory Allocation*.

Все тесты являются простыми и циклическими, построенные таким образом, чтобы основное время в этих тестах занимали соответствующие вызовы API функций ОСРВ и диспетчеризация задач в ядре ОСРВ, а не смысловая обработка данных, которая будет "размывать" характеристики производительности ОСРВ. В результате, время выполнения каждого цикла с достаточной точностью будет соответствовать времени выполнения вызовов к ядру ОСРВ и будет включать как время выполнения API-функций ОСРВ, так и время диспетчеризации задач.

В качестве объективной оценки производительности для каждого теста используется число полных циклов за определенный промежуток времени.

#### ВНИМАНИЕ

Тесты *Thread Metrics* не являются "абсолютными" измерительными тестами, позволяющими измерить отдельные временные характеристики ОСРВ (время сохранения и восстановления контекста, время переключения задач, время обработки сообщений, и др.) в единицах тактов процессора. Как правило, такие тесты не дают полноценных интегральных временных характеристик поведения ОСРВ в реальных приложениях.

Вместо этого, тесты *Thread Metrics* являются сравнительными тестами, позволяющим сравнивать практически важные интегральные временные характеристики ОСРВ для различных комбинаций операций ядра ОСРВ, которые часто используются в реальных приложениях.

Именно поэтому тесты *Thread Metrics* были выбраны для сравнительной оценки качества и производительности ОСРВ, используемых в среде *TASDK* для АМС-модулей *TORNADO-Axxx*.

#### Оценка качества ОСРВ в тестах *Thread Metrics*

Особое значение среди тестов *Thread Metrics* имеют тесты *Cooperative Scheduling* и *Preemptive Scheduling*, которые позволяют определить "качество" ОСРВ в виде ее соответствия фундаментальному требованию *детерминизма ОСРВ*. Эта характеристика особенно критична для приложений с требованием гарантированного времени отклика на внешние события.

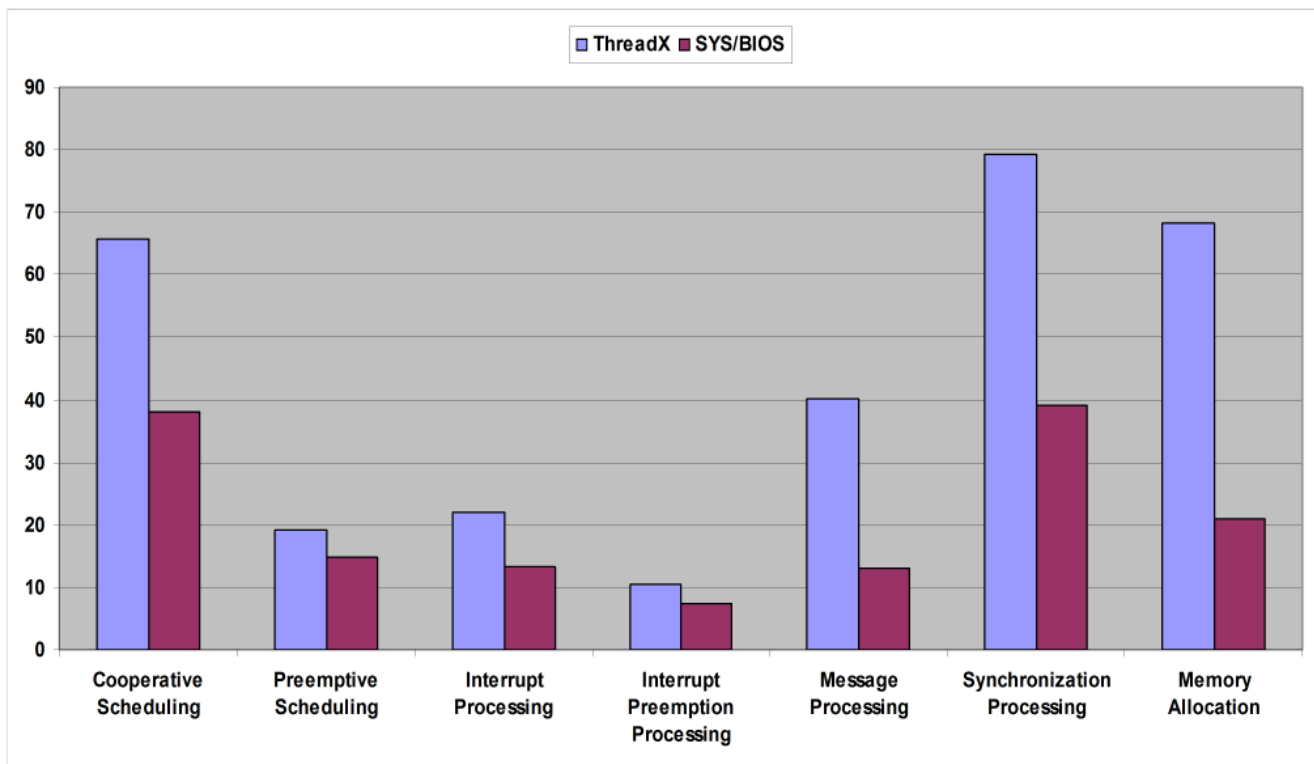
В тестах *Thread Metrics Cooperative Scheduling* и *Preemptive Scheduling* используются задачи с одинаковыми приоритетами. В случае ОСРВ, соответствующей требованию детерминизма, все эти задачи должны получить одинаковое число проходов за заданное время от диспетчера задач (допустимая ошибка составляет  $\pm 1$  от числа проходов). В противном случае, тестируемая ОСРВ считается не соответствующей фундаментальному требованию детерминизма.

#### Результаты тестов *Thread Metrics* для ОСРВ среды *TASDK* для АМС-модулей *TA6678x*

Перед проведением тестирования, все тесты *Thread Metrics* были портированы фирмой МикроЛАБ Системс на ОСРВ *SysBIOS* (TI) и *ThreadX* (Express Logic Inc) для ядра #0 ПЦОС АМС-модуля *TORNADO-A6678/FMC*. Данные тесты входят в комплект поставки *TASDK* для АМС-модулей *TA6678x*.

На рис.8 представлены результаты тестов *Thread Metrics* качества и производительность ОСРВ *SysBIOS* (TI) и *ThreadX* (Express Logic Inc) для ядра #0 ПЦОС АМС-модуля *TORNADO-A6678/FMC*.

### Thread Metric test for Core #0 of TI TMS320C6678 DSP of TORNADO-A6678/FMC AMC-module (C) MicroLAB Systems, ExpressLogic Inc, 2018



(\*) Larger value corresponds to higher performance.

Рис.8. Результаты теста *Thread Metrics* для ОСПВ *SysBIOS* (TI) и *ThreadX* (*Express Logic Inc*) для ядра #0 ПЦОС AMC-модуля *TORNADO-A6678/FMC*.

Тесты *Thread Metrics* для ядра #0 ПЦОС AMC-модуля *TORNADO-A6678/FMC* показали следующее:

1. Обе ОСПВ *SysBIOS* фирмы *Texas Instruments* и *ThreadX* фирмы *Express Logic* соответствуют требованию детерминизма ОСПВ, т.е. гарантируют выполнение всех задач за заданный промежуток времени.
1. ОСПВ *ThreadX* фирмы *Express Logic* имеет до ~3х раз большую производительность чем ОСПВ *SysBIOS* фирмы *Texas Instruments*.

Таким образом, производительность ОСПВ *ThreadX* фирмы *Express Logic* значительно превосходит производительность ОСПВ *SysBIOS* фирмы *Texas Instruments* для ядра #0 ПЦОС TMS320C6678. Выбор ОСПВ *ThreadX* фирмы *Express Logic* является более предпочтительным по сравнению с ОСПВ *SysBIOS* фирмы *Texas Instruments* для *TASDK* для высокоскоростных приложений для ядра #0 ПЦОС TMS320C6678.

## Тесты пропускной способности сетевой функции ОСПВ для среды *TASDK* по интерфейсу 1GbE SGMII ПЦОС AMC-модулей *TA6678x*

Показатели пропускной способности сетевой функции ОСПВ характеризуют максимальное быстродействие Ethernet интерфейсов в разрабатываемом приложении. Эти параметры определяют соответствие разрабатываемого ПО требованиям приложения в части максимальной скорости внешней коммуникации для ввода/вывода и управления устройств по LAN/WAN портам.

В настоящем разделе будут рассмотрены характеристики пропускной способности сетевых функций ОСПВ *SysBIOS* (TI) и *ThreadX* (*Express Logic Inc*), используемых в среде *TASDK* для 1GbE портов SGMII-0/1 и ядра #0 ПЦОС TI TMS320C6678 AMC-модуля *TORNADO-A6678/FMC*.

### Характеристики пропускной способности сетевой функции ОСПВ

Пропускная способность сетевой функции ОСПВ измеряется в количестве принятых/переданных бит в секунду (bps) и сильно зависит от реализации сетевой функции (IP стека) ОСПВ, настройки параметров задач ОСПВ, загрузки процессора, а также от типов используемых коммуникационных IP пакетов (UDP, TCP/IP).

Для исключения зависимости от реализации конкретного пользовательского приложения, используются характеристики максимальной пропускной способности сетевой функции ОСПВ, которые определяются алгоритмом работы IP стека и характеристиками производительности ОСПВ (времена сохранения и восстановления контекста задач, время переключения задач, время реакции на прерывания, и др.). Измерения производят для различных типов используемых IP пакетов и отдельно в режимах приема и передачи данных.

### Тесты IPERF оценки производительности сетевой функции ОСПВ

Тесты IPERF является общепринятыми свободно распространяемыми тестами с открытым кодом (<https://iperf.fr/>) для объективной оценки пропускной способности сетевого функционала ОСПВ с применением разных типов IP пакетов.

Тесты IPERF включают:

- Тест *IPERF UDP Send* пропускной способности сетевой функции ОСПВ при передаче UDP пакетов.
- Тест *IPERF UDP Receive* пропускной способности сетевой функции ОСПВ при приеме UDP пакетов.
- Тест *IPERF TCP Send* пропускной способности сетевой функции ОСПВ при передаче TCP пакетов.
- Тест *IPERF TCP Receive* пропускной способности сетевой функции ОСПВ при приеме TCP пакетов.

Все тесты IPERF производятся между двумя нодами - испытуемым устройством и измерительным устройством, используя прямое соединение Ethernet портов без внешних коммутаторов IP пакетов. В качестве измерительного устройства обычно используется ПК, для которого имеется специальная программа на JavaScript.

Для тестов IPERF AMC-модуля **TA6678x** использовался 1GbE порт #0 ПЦОС, который доступен через порт #0 AMC-интерфейса при установке AMC-модуля в адаптер AMC-слота (симулятор кросс-панели MicroTCA). В качестве измерительного устройства использовался 1GbE порт ПК с Windows 7/64.

Суть тестов IPERF в следующем:

- Для теста *IPERF UDP Send*, испытуемое устройство непрерывно генерирует UDP пакеты заданной длины, а измерительное устройство их принимает и считает количество принятых пакетов за заданный промежуток времени. Смысловая обработка принятых байтов данных UDP пакетов не производится. Измерительное устройство должно гарантированно успевать принимать генерируемые испытуемым устройством UDP пакеты. Количество принятых байт данных измерительным устройством в течение заданного времени далее пересчитывается в максимальную пропускную способность (bps) испытуемого устройства при передаче UDP пакетов.
- Для теста *IPERF UDP Receive*, измерительное устройство непрерывно генерирует UDP пакеты заданной длины с максимально возможной скоростью, а испытуемое устройство их принимает и считает количество принятых пакетов за заданный промежуток времени. Смысловая обработка принятых байтов данных UDP пакетов не производится. Измерительное устройство должно гарантированно иметь возможность генерировать большее число UDP пакетов в единицу времени чем их способно принять испытуемое устройство. Количество принятых байт данных испытуемым устройством в течение заданного времени далее пересчитывается в максимальную пропускную способность (bps) испытуемого устройства при приеме UDP пакетов. Также вычисляется процент потерь принимаемых UDP пакетов.
- Для теста *IPERF TCP Send*, испытуемое устройство непрерывно генерирует TCP пакеты заданной длины, а измерительное устройство их принимает, подтверждает и считает количество принятых пакетов за заданный промежуток времени. Смысловая обработка принятых байтов данных TCP пакетов не производится. Измерительное устройство должно гарантированно успевать принимать и подтверждать генерируемые испытуемым устройством TCP пакеты. Количество принятых байт данных измерительным устройством в течение заданного времени далее пересчитывается в максимальную пропускную способность (bps) испытуемого устройства при передаче TCP пакетов.
- Для теста *IPERF TCP Receive*, измерительное устройство непрерывно генерирует TCP пакеты заданной длины с максимально возможной скоростью, а испытуемое устройство их принимает, подтверждает и считает количество принятых пакетов за заданный промежуток времени. Смысловая обработка принятых байтов данных TCP пакетов не производится. Измерительное устройство должно гарантированно иметь возможность принимать большее число TCP пакетов в единицу времени чем их способно принять испытуемое устройство. Количество принятых байт данных испытуемым устройством в течение заданного времени далее пересчитывается в максимальную пропускную способность (bps) испытуемого устройства при приеме TCP пакетов. Также вычисляется процент потерь принимаемых TCP пакетов.

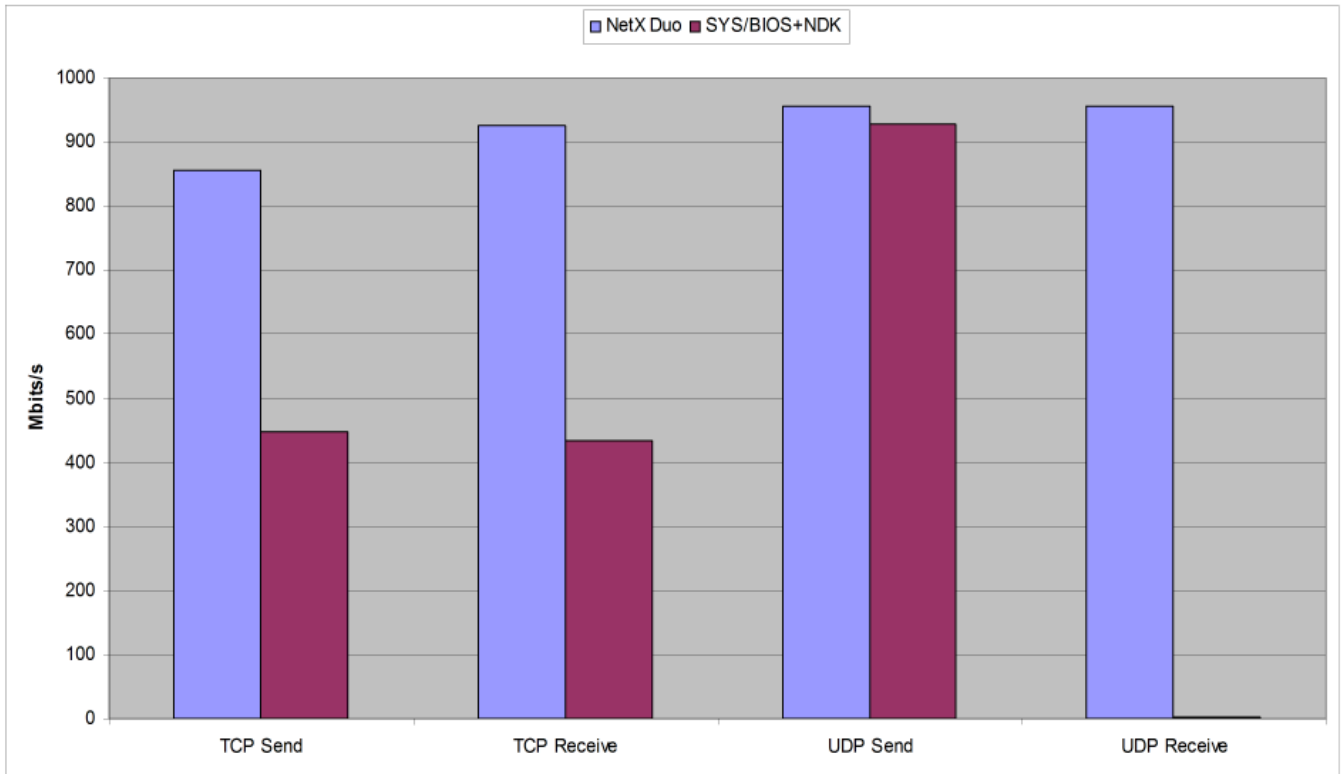
### Результаты тестов IPERF для сетевой функции ОСПВ СРЕДЫ TADSK для AMC-модулей TA6678x

Перед проведением тестирования, все тесты IPERF были портированы фирмой МикроЛАБ Системс на ОСПВ SysBIOS с сетевой опцией *NDK* (Texas Instruments) и ОСПВ *ThreadX* с сетевой опцией *NetXDuo* (Express Logic Inc) для 1GbE порта SGMII-0 и ядра #0 ПЦОС AMC-модуля **TORNADO-A6678/FMC**. Данные тесты входят в комплект поставки **TADSK** для AMC-модулей **TA6678x**.

На рис.9 представлены результаты тестов IPERF пропускной способности сетевых функций ОСПВ SysBIOS+NDK (TI) и ThreadX+NetXDuo (Express Logic Inc) для 1GbE SGMII порта и ядра #0 ПЦОС AMC-модуля TORNADO-A6678/FMC.

### IPERF 1GbE test for Core #0 of TI TMS320C6678 DSP of TORNADO-A6678/FMC AMC-module

(C) MicroLAB Systems, ExpressLogic Inc, 2018



(\*) Larger value corresponds to higher performance.

Рис.9. Результаты тестов IPERF для сетевых функций ОСПВ SysBIOS+NDK (TI) и ThreadX+NetXDuo (Express Logic Inc) для 1GbE SGMII порта и ядра #0 ПЦОС TMS320C6678 AMC-модуля TORNADO-A6678/FMC.

Тесты IPERF для сетевой функции NetXDuo ОСПВ ThreadX фирмы Express Logic и сетевой функции NDK ОСПВ SysBIOS фирмы Texas Instruments показали следующее:

1. Сетевая функция NetXDuo ОСПВ ThreadX имеет до ~2.4x раз большую пропускную способность по тестам TCP/Send, TCP/Receive и UDP/Send, чем сетевая функция NDK ОСПВ SysBIOS.
2. Сетевая функция NDK ОСПВ SysBIOS имеет недопустимо большие потери при приеме UDP пакетов для интереса 1GbE. Пропускная способность теста UDP/Receive составила всего ~6Mbps для сетевой функция NDK ОСПВ SysBIOS, что в ~150 раз хуже, чем для сетевой функции NetXDuo ОСПВ ThreadX. В связи с очевидной аномальностью этого результата, он не учитывался в сравнительном анализе. Наиболее вероятно, этот результат связан с недоработками IP стека сетевой функция NDK ОСПВ SysBIOS для UDP пакетов. Пользователю следует принимать во внимание такой результат при приеме UDP пакетов при разработке приложений для ОСПВ SysBIOS с сетевой опцией NDK.
3. Достижимая пропускная способность сетевой функции NetXDuo ОСПВ ThreadX составляет ~860Mbps при передаче и ~930Mbps при приеме TCP/IP пакетов, что соответствует практически полной реализации максимальной пропускной способности 1000Mbps интерфейса 1GbE ПЦОС.
4. Достижимая пропускная способность сетевой функции NetXDuo ОСПВ ThreadX составляет ~960Mbps при передаче и приеме UDP пакетов, что соответствует практически полной реализации максимальной пропускной способности 1000Mbps интерфейса 1GbE ПЦОС.

Таким образом, выбор ОСПВ ThreadX является более предпочтительным для сетевой коммуникации по сравнению с ОСПВ SysBIOS для разработки высокоскоростных приложений на базе среды TASDK для ядра #0 ПЦОС TMS320C6678 с коммуникацией по порту 1GbE ПЦОС.

## Выбор ОСПВ для среды TASDK для AMC-модулей TA6678x

В таблице 2 представлены суммарно обобщенные критерии выбора ОСПВ для TASDK для разработки прикладного ПО для ядра #0 ПЦОС TI TMS320C6678 AMC-модулей TA6678x. Рекомендации основаны на приведенных выше

общем сравнении ОСПВ и сравнительных тестах ОСПВ. Эти же рекомендации справедливы для выбора ОСПВ для других устройств на базе ПЦОС TI TMS320C6678, т.е. не для АМС-модулей TA6678х.

**Таблица 2. Выбор ОСПВ для среды TMSDK для разработки приложений для ядра #0 ПЦОС TI TMS320C6678 для АМС-модулей TA6678х.**

<b>Критерий и/или требования к ПО ПЦОС</b>	<b>Рекомендуемая ОСПВ для среды TMSDK</b>	<b>Примечания</b>
"Только ЦОС" приложение без коммуникации по портам 1GbE ПЦОС.	→ ОСПВ не используется	Используется библиотека "DSP Bare-metal" среды TMSDK/Basic. Среда TMSDK/Basic входит в стандартный комплект поставки АМС-модулей TA6678х.
Приложение с коммуникацией по портам 1GbE ПЦОС без каких-либо временных требований. Тип ОСПВ не имеет значения.	→ <b>SysBIOS+NDK</b> (Texas Instruments)	Среда TMSDK/Basic с ОСПВ SysBIOS+NDK (TI) входит в стандартный комплект поставки АМС-модулей TA6678х.
"Свободно" распространяемая бесплатная ОСПВ с открытым кодом.		
Высокоскоростные многозадачные приложения без коммуникации по портам 1GbE ПЦОС.	→ <b>ThreadX+NetXDuo</b> (Express Logic)	ОСПВ ThreadX+NetXDuo для среды TMSDK/ThreadX заказывается отдельно от АМС-модулей TA6678х.
Высокоскоростная коммуникация по портам 1GbE ПЦОС с применением TCP/IP пакетов.		Существуют различные комплекты поставки ОСПВ ThreadX+NetXDuo и цены для поэтапной разработки ПО и перехода к сертификации ПО:
Высокоскоростная коммуникация по портам 1GbE ПЦОС с применением UDP пакетов.		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Скомпилированные библиотеки ОСПВ ThreadX+NetXDuo без исходного кода.</li> <li>• ОСПВ ThreadX+NetXDuo с исходным кодом.</li> <li>• Пре-сертифицированная ОСПВ ThreadX+NetXDuo с исходным кодом и сертификационной документацией.</li> </ul>
Поддержка дополнительных IP-протоколов (AutoIP, DHCP, DNS, FTP, HTTP, POP3, PPP, SMTP, SNMP, Telnet, TFTP) и/или "защищенных протоколов" (IP-sec) при коммуникации по портам 1GbE ПЦОС.		
Высокая надежность работы многозадачного ПО для ядра #0 ПЦОС.		Все скомпилированные демо/тесты в составе TMSDK для АМС-модулей TA6678х с ОСПВ ThreadX+NetXDuo входят в стандартный комплект поставки АМС-модулей TA6678х.
Наличие универсального трассировщика и системного отладчика для отладки и "тонкой" настройки многозадачного ПО для ядра #0 ПЦОС.		
Наличие пре-сертификации по промышленным стандартам UL и TUV (для большинства стандартов есть прямые аналоги в ГОСТ).		
Последующая сертификация разрабатываемого ПО.		

**Фирма «МикроЛАБ Системс»**

Дубнинская ул, д. 83, оф. 612, г.Москва, 127591, Российская Федерация  
 тел. +7-(499)-900-6208  
 E-mail: [info@mlabsys.ru](mailto:info@mlabsys.ru) WEB: [www.mlabsys.ru](http://www.mlabsys.ru)