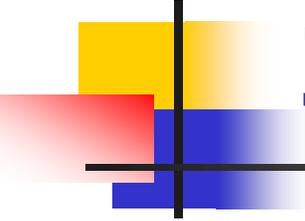


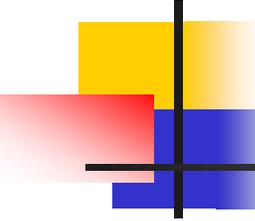
Средства трассировки в ОС РВ семейства Багет

- **Годунов А.Н., Назаров П.Е.,
Хоменков И.И., Чемерев Ф.Н.**
- **ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН**



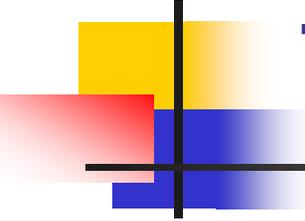
Зачем нужна трассировка событий

- Поиск «обычных» программных ошибок (с которыми не справляются традиционные отладчики)
- Поиск ошибок реального времени (нарушения планирования)
- Установление причин «утечки» памяти
- Анализ характера изменения состояний процессора и потоков управления, оценка затрат процессорного времени (профилирование)
- Анализ состояний средств синхронизации (семафоров, мьютексов и др.) – выявление причин «скопления» потоков управления, ожидающих освобождения необходимых им ресурсов



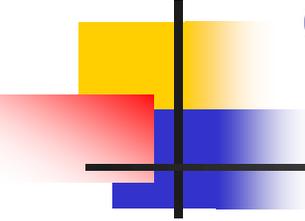
Средства трассировки ОС РВ семейства Багет

- Ориентированы на разработчиков приложений реального времени
- Являются основным инструментом отладки для разработчиков ОС
- За время эксплуатации с 2002 г. удалось своевременно обнаружить и установить причины серьезных ошибок:
 - в критически важных приложениях реального времени и в самой ОС
 - в процессорах (например, в RM7000)



Технология трассировки

- Регистрация событий обычно возлагается на систему протоколирования ОС РВ
- Интерпретация и визуализация данных о событии – задача программы просмотра и анализа трасс
- Трасса формируется во время работы приложения реального времени на целевой ЭВМ
- Трасса анализируется, как правило, на инструментальной ЭВМ



Система протоколирования. Основные функции

- Формирование и сохранение служебных записей, необходимых для последующей интерпретации событий
- Фиксация актуального события
- Выделение памяти под запись о событии в кольцевом буфере
- Заполнение полей записи
- Вытеснение записи в файл на диске
- Управление протоколированием

Трассировщик – программа просмотра и анализа протоколов событий. Основные функции

- Идентификация и индексация записей трассы
- Идентификация объектов трассировки
- Формирование дерева статистики событий – инверсных входов для последующего поиска
- Вторичная обработка (формирование «трасс состояний» и дерева статистики состояний) – для оценки производительности, «трафика» к ресурсам и утечек памяти
- Отображение результатов этой обработки средствами графического пользовательского интерфейса (GUI)
- Отбор, поиск и фильтрация событий и состояний объектов ОС

Трассировщик: общий вид

The screenshot displays the Trace Viewer application interface. On the left, the 'Events Tree' shows a hierarchical view of the system's state, including modules and various trace groups. The main window is divided into two panes: 'Trace' and 'General Selections'. The 'Trace' pane shows a list of events with columns for NN, Time, Event Type, and Address. The 'General Selections' pane shows a detailed view of the selected event, including fields like header_list, type_record, size_record, time_record, context, and proclid.

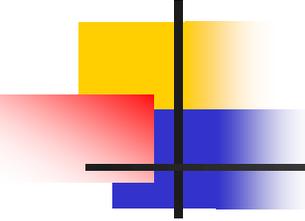
NN	Time	Event Type	Address
2447	6260117	traceMutexUnlockInternal	0001
2448	6260125	traceMqReceive	
2449	6260135	traceThreadStatusBlock	0001
2450	6260143	traceThreadDispatch	0001
2451	6260151	traceThreadSwitchEvent	0001
2452	6270006	traceInterruptEntry	
2453	6270015	traceInterruptExit	
2454	6270023	traceThreadDispatch	0001
2455	6270032	traceMqSend	0001
2456	6270042	traceThreadStatusActivate	0001
2457	6270051	traceMqSend	0001

Field	Value	Address	Hex Value	Type	Name
header_list	[0>>	00035910:		int	trFunc[3] {
type_record	200	00035910:	00c8		
size_record	52	00035912:	0034		
time_record	6270032	00035914:	75b91820		
context	[12>>	0003591c:			
proclid	0	0003591c:	00010000		

- ❑ Events Tree – дерево событий, объединяющее 3 трассы (трех модулей)
- ❑ Блокнот модулей (m0, m1, m2)
- ❑ Trace – основная страница трассы модуля «m2»
- ❑ «Подвал» (слева) – детальное отображение полей записи трассы
- ❑ «Подвал» (справа) – отображение значений переменных, ассоциированных с событием

Развитие ОС и развитие системы протоколирования

- Развитие ОС РВ семейства Багет (включающее, например, поддержку стандарта ARINC 653), сопровождалось появлением новых типов объектов ОС, новых взаимосвязей между ними, новых алгоритмов синхронизации вычислительных процессов
- Отладка этой новой функциональности не могла быть в полной мере осуществлена без введения в систему протоколирования новых типов событий, а зачастую — изменения структуры и формата уже существующих типов записей трассы



Трассировщик должен адаптироваться к изменениям ОС. С этой целью

- Разработана XSD-схема XML-файлов, описывающих записи трассы
- Разработана программа генерации XML-файлов из h-файлов ОС РВ
- Реализована возможность анализа нескольких трасс (общее дерево событий, каждая трасса – страница блокнота модулей)
- Коллекция XML-описаний, соответствующих различным версиям ОС, пополняется по мере появления новых версий ОС:

Последняя версия Трассировщика работает с трассами, сформированными всеми предыдущими версиями ОС, вне зависимости от того, поддерживают ли они стандарт **ARINC 653** или только стандарт **POSIX**.

Дерево событий: модули, события объекты, контексты

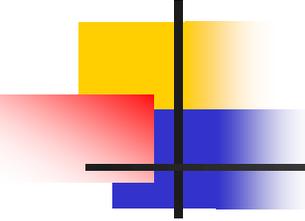
The screenshot displays the Trace Viewer application interface. On the left, the 'Events Tree' shows a hierarchical structure of modules and objects. The selected path is: Mod[1]: Events|Contexts|Objects > module: "Modules[2]" [10]/12620 > traceServiceGroup [12]/90 > traceInterruptGroup [2]/1326 > traceInterruptEntry [2]/663 > alternative R7000 timer [2]/662 > 0.t16 /600.

The main 'Trace' window shows a list of events with columns for Time, Event Type, Address, Context, and Objects. The visible events are:

Time	Event Type	Address	Context	Objects
2031292	mq_receive()		2.manual-watch	mq: 0.W
2031461	mq_receive()	0001	2.manual-watch	mq: 0.W
2031467	mq_send()		2.manual-watch	mq: 0.PF
2031478	mq_send()	0001	2.manual-watch	mq: 0.PF
2031728	mq_receive()		2.manual-watch	mq: 0.W
2032095	mq_receive()	0001	2.manual-watch	mq: 0.W
2032100	mq_send()		2.manual-watch	mq: 0.PF

A 'General Selections' dialog box is open, showing a table of fields and their values:

Field	Value	Address	Hex Value
header_list	[0>>	0003a2b4:	
type_recor	200	0003a2b4: 00c8	
size_recor	52	0003a2b6: 0034	
time_record	2032110	0003a2b8: 791f89ce	000000
context	[12>>	0003a2c0:	



С целью повышения эффективности поиска актуальных записей трассы разработаны:

- Механизм индексации записей трассы, сочетающий быстрое построение индекса с возможностью реализации (в наиболее важных случаях) простых процедур отбора, поиска и фильтрации записей
- Модель динамически реорганизуемого дерева событий, узлы которого, выполняют функцию инверсных входов
- Простой механизм задания условий отбора событий, сводящийся к маркированию узлов дерева событий

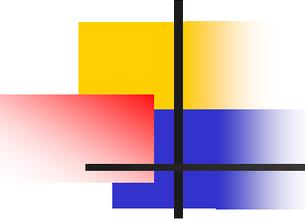
Задание условий отбора записей трассы

The screenshot shows the Trace Viewer application interface. On the left is the Events Tree, and on the right is the Trace Log. The Trace Log is filtered to show only `mq_send()` events. The selected event at time 2032110 is expanded to show its fields and values.

Time	Event Type	Address: D	Context	Objects
2031292	mq_receive()		2.manual-watch	mq: 0.WATCHDOG_QUEUE
2031461	mq_receive()	0001	2.manual-watch	mq: 0.WATCHDOG_QUEUE
2031467	mq_send()		2.manual-watch	mq: 0.PRINTER_QUEUE
2031478	mq_send()	0001	2.manual-watch	mq: 0.PRINTER_QUEUE
2031728	mq_receive()		2.manual-watch	mq: 0.WATCHDOG_QUEUE
2032095	mq_receive()	0001	2.manual-watch	mq: 0.WATCHDOG_QUEUE
2032100	mq_send()		2.manual-watch	mq: 0.PRINTER_QUEUE
2032110	mq_send()	0001	2.manual-watch	mq: 0.PRINTER_QUEUE
2032353	mq_receive()		2.manual-watch	mq: 0.WATCHDOG_QUEUE

Field	Value	Address	Hex Value
header_list	[0>>	0003a2b4:	
type_recor	200	0003a2b4:	00c8
size_recor	52	0003a2b6:	0034
time_record	2032110	0003a2b8:	791f89ce 00000000
context	[12>>	0003a2c0:	
procid	2	0003a2c0:	00010002
threadId	2.manual-watch	0003a2c4:	93010003
coderet	0	0003a2c8:	00000000

- **0.WATCDOG_QUEUE** – очередь сообщений, ищется в событиях `mq_receive()` в контексте потока управления `2.manual-watch`
- **0.PRINTER_QUEUE** – очередь сообщений, ищется в событиях `mq_send()` в контексте потока управления `2.manual-watch`
- **Trace** – в основной таблице трассы отображаются только записи, удовлетворяющие условиям отбора (фильтр включен)



Линейная модель для больших таблиц. Быстрый скроллинг

- Одноуровневая («линейная») модель данных реализует интерфейс `GtkTreeModel`
- Механизм навигации по отображенным записям (под фильтром и без него) встроен в модель
- Используется для представления протокола событий и ряда вспомогательных таблиц

Полезные свойства средств просмотра

Данные трассы представлены:

- в «именах» и «физических» значениях
- в шестнадцатеричном виде — с указанием относительных адресов записей и их полей

Трассы, полученные на разных процессорах (модулях) и ядрах, отображаются:

- каждая трасса – на персональной странице блокнота модулей
- группа трасс – в общей таблице с единым временем (слияние трасс)

«Зона просмотра» сохраняется при переключениях:

- между трассами модулей и общей таблицей
- между трассой событий и трассами состояний (в пределах модуля)

Пример объединения разных трасс событий в одной таблице

Trace

NN	Time	Event Type	Address:D	Context
166376/88224	43426028	traceMutexLockInternal		m0:0.cron
166377/88225	43426034	traceMutexUnlockInternal	0001	m0:0.cron
166378/88226	43426036	traceMutexUnlockInternal	0001	m0:0.cron
166379/88227	43426039	not ready	0001	m0:0.cron
166380/88228	43426041	thread dispatch	0001	m0:0.cron
166381/80883	43428004	interrupt entry	0001	m1:TIMER
166382/80884	43428010	interrupt exit	0001	m1:TIMER
166383/80885	43428017	ready	0001	m1:0.cron
166384/80886	43428023	traceMutexLockInternal	0001	m1:0.cron
166385/80887	43428026	traceMutexLockInternal	0001	m1:0.cron
166386/80888	43428030	traceMutexLockInternal	0001	m1:0.cron

Field	Value	Address	Hex Value
context	[12>>	003ee15c:	
proclid	TIMER	003ee15c:	00015800
threadid	0.cron	003ee160:	93010001
coderet	0	003ee164:	00000000
interrupt	79517	003ee168:	0001369d
epc	f4808ce3	003ee16c:	f4808ce3
cp0_sr	3355508736	003ee170:	c8010000
function		003ee174:	c4009080
threadid	o <!>	003ee178:	00000058

A0 m0 m1 m2

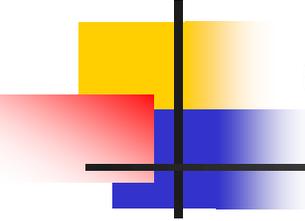
e/2019-01-29/trace.2.77.5-var.log

Trace General Selections

NN	Time	Event Type	Address:D	Context	Objects
80877	43422032	traceMutexLockInternal	0001	0.cron	mtx: 0.ipl_mutex, address: c0fec4a0, adrcall: c4009080
80878	43422035	traceMutexLockInternal		0.cron	mtx: 0.ipl_mutex, address: c0fec4a0, adrcall: c4009080
80879	43422042	traceMutexUnlockInternal	0001	0.cron	mtx: 0.ipl_mutex, address: c0fec4a0, adrcall: c4009080
80880	43422046	traceMutexUnlockInternal	0001	0.cron	mtx: 0.ipl_mutex, address: c0fec4a0, adrcall: c4009080
80881	43422049	not ready	0001	0.cron	thread: 0.cron {cause_details: 00000000, where: 0}
80882	43422053	thread dispatch	0001	0.cron	0.cron
80883	43428004	interrupt entry	0001	TIMER	interrupted thread: 0.cron
80884	43428010	interrupt exit	0001	TIMER	interrupted thread: 0.cron
80885	43428017	ready	0001	0.cron	thread: 0.cron {cause: 1, where: timeout_}
80886	43428023	traceMutexLockInternal	0001	0.cron	mtx: 0.ipl_mutex, address: c0fec4a0, adrcall: c4009080
80887	43428026	traceMutexLockInternal	0001	0.cron	mtx: 0.ipl_mutex, address: c0fec4a0, adrcall: c4009080

Field	Value	Address	Hex Value
context	[12>>	003ee15c:	
proclid	TIMER	003ee15c:	00015800
threadid	0.cron	003ee160:	93010001
coderet	0	003ee164:	00000000
interrupt	79517	003ee168:	0001369d
epc	f4808ce3	003ee16c:	f4808ce3
cp0_sr	3355508736	003ee170:	c8010000
function		003ee174:	c4009080
threadid	o <!>	003ee178:	00000058

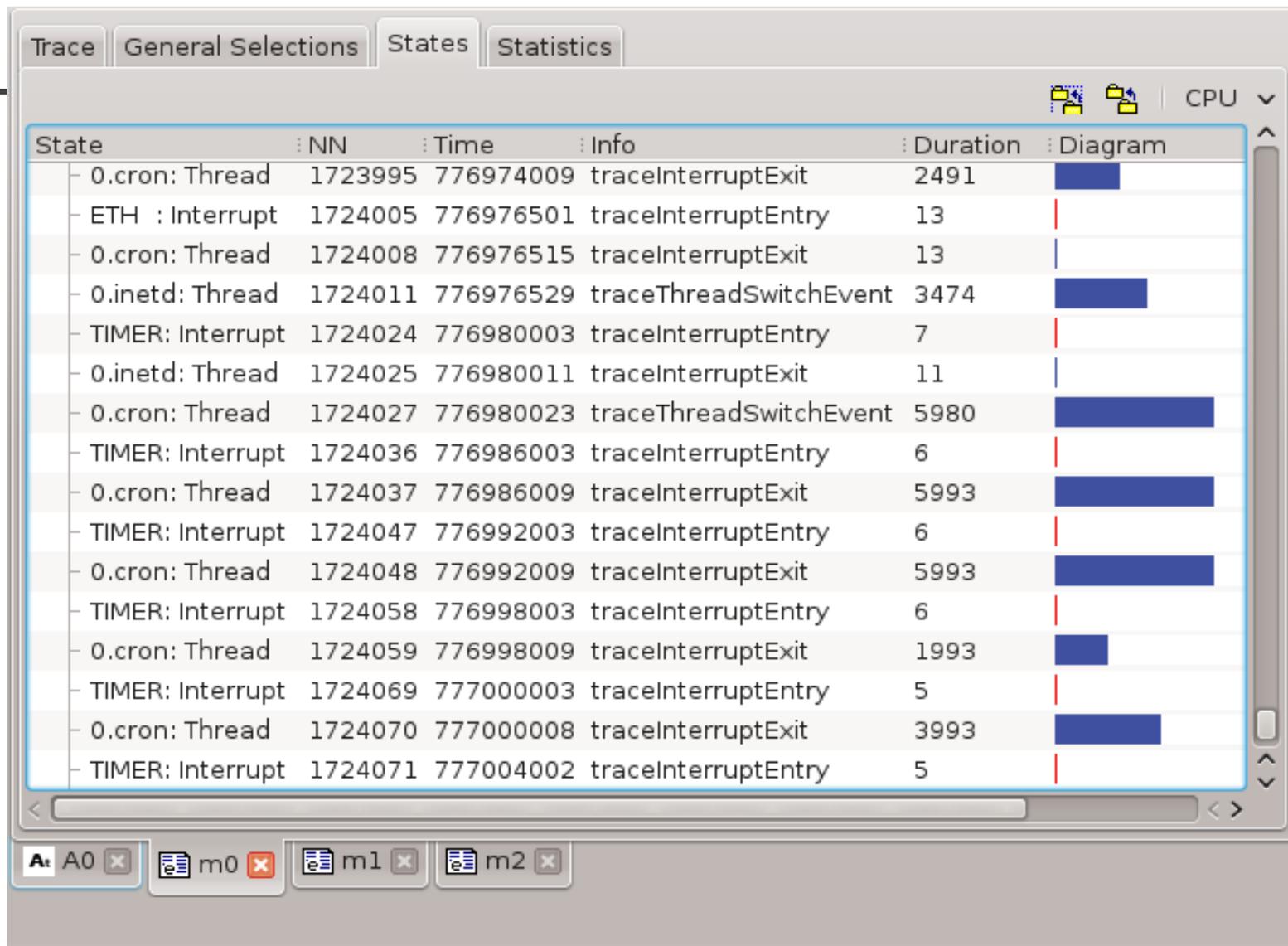
A0 m0 m1 m2



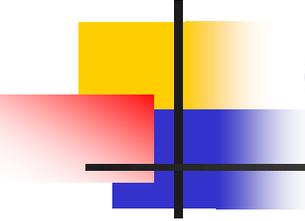
Иерархическая модель трассы состояний и ее отображение

- Реализует интерфейс GtkTreeModel
- Механизм навигации по отображенным записям (под фильтром и без него) встроен в модель
- Иерархию образуют «слои» — целочисленные массивы, в каждом из которых значение элемента есть позиция первого подчиненного ему элемента в нижележащем слое
- Характер утечек памяти, длительности реализаций состояний объектов ОС представлены виде прямоугольников в ячейках таблицы, отображающей числовые данные модели

Трасса состояний процессора

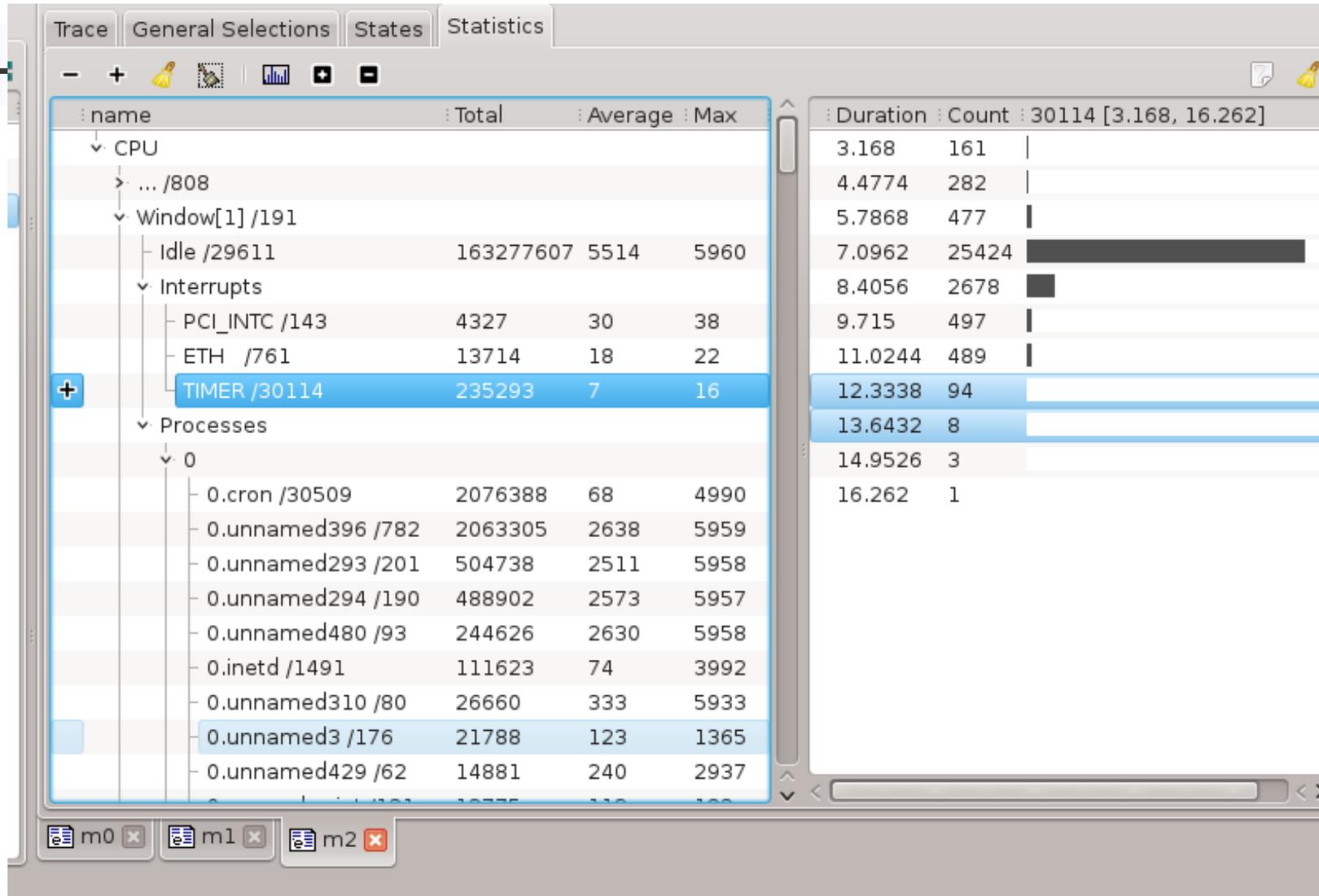


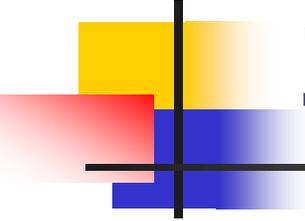
Статистика состояний процессора и объектов ОС



- Данные статистики: количество реализаций состояния, общее, среднее и максимальное значение длительности состояния
- Сбор статистики состояний процессора и объектов ОС производится при формировании их трасс состояний
- Все статистические данные собираются в дереве статистики состояний — общей коллекции, содержащей оценки длительности состояний и утечек памяти
- Построение гистограмм длительности состояний, представленных в дереве статистики, инициирует пользователь

Дерево статистики состояний модуля «m2»





Задание условий отбора состояний

- «Помечается» узел дерева статистики состояний
- Для помеченного узла строится гистограмма длительностей
- В гистограмме выбираются строки с интересующей длительностью (таблица допускает множественное выделение)
- Выполняется переход на страницу, содержащую трассу состояний

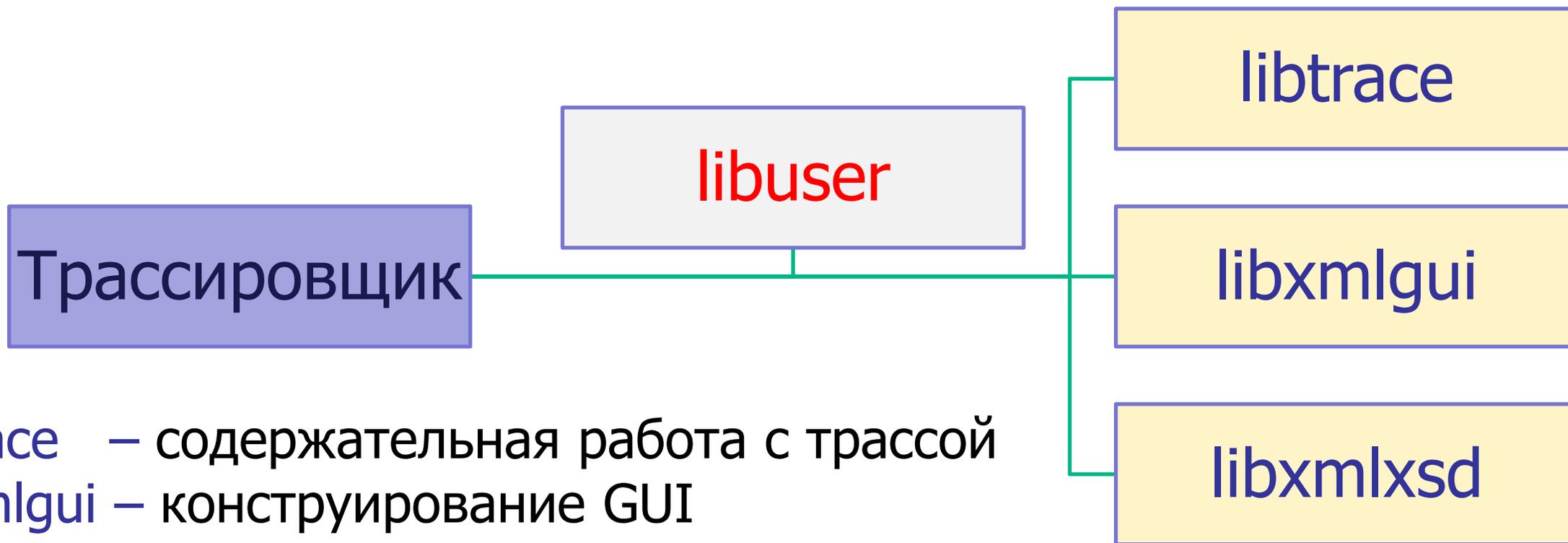
Пример отбора состояний с использованием гистограмм

The image displays two windows of a system monitoring tool. The left window shows a hierarchical tree of system states with columns for name, total count, average, and maximum. The 'TIMER /30114' state is highlighted in blue. The right window shows a detailed view of the selected state, listing individual events with columns for State, NN, Time, Info, Duration, and Diagram. The 'TIMER: Interrupt' events are highlighted in blue.

name	Total	Average	Max	Duration
CPU				3.168
... /808				4.4774
Window[1] /191				5.7868
Idle /29611	163277607	5514	5960	7.0962
Interrupts				8.4056
PCI_INTC /143	4327	30	38	9.715
ETH /761	13714	18	22	11.0244
TIMER /30114	235293	7	16	12.3338
Processes				13.6432
0				14.9526
0.cron /30509	2076388	68	4990	16.262
0.unnamed396 /782	2063305	2638	5959	
0.unnamed293 /201	504738	2511	5958	
0.unnamed294 /190	488902	2573	5957	
0.unnamed480 /93	244626	2630	5958	
0.inetd /1491	111623	74	3992	
0.unnamed310 /80	26660	333	5933	
0.unnamed3 /176	21788	123	1365	
0.unnamed429 /62	14881	240	2937	

State	NN	Time	Info	Duration	Diagram
W[1]: ARINC Window	1798	1726257	traceWindowSwitchEvent	308712	
TIMER: Interrupt	2415	1732003	traceInterruptEntry	13	
TIMER: Interrupt	3950	2032004	traceInterruptEntry	12	
W[1]: ARINC Window	24950	11727008	traceWindowSwitchEvent	506918	
TIMER: Interrupt	26511	12232004	traceInterruptEntry	12	
W[1]: ARINC Window	33040	17727007	traceWindowSwitchEvent	386926	
TIMER: Interrupt	34086	18056004	traceInterruptEntry	12	
TIMER: Interrupt	34656	18112004	traceInterruptEntry	13	
W[1]: ARINC Window	75018	31727007	traceWindowSwitchEvent	999999	
TIMER: Interrupt	76964	32442004	traceInterruptEntry	12	
W[1]: ARINC Window	83868	35727009	traceWindowSwitchEvent	599570	
TIMER: Interrupt	84004	35772004	traceInterruptEntry	12	
W[1]: ARINC Window	96975	43727008	traceWindowSwitchEvent	999999	
TIMER: Interrupt	99073	44508004	traceInterruptEntry	12	
W[1]: ARINC Window	104829	47727008	traceWindowSwitchEvent	999999	
TIMER: Interrupt	104979	47778004	traceInterruptEntry	12	
TIMER: Interrupt	105308	47868005	traceInterruptEntry	13	
TIMER: Interrupt	106109	48180004	traceInterruptEntry	12	
W[1]: ARINC Window	108746	49727008	traceWindowSwitchEvent	999999	

Трассировщик и его библиотеки



libtrace – содержательная работа с трассой

libxmlgui – конструирование GUI

libxmlxsd – работа с XML-файлами

libuser – библиотека пользователя

Список литературы

1. IEEE Standard for Information Technology - Portable Operating System Interface (POSIX) - Part 2: System Interface. - IEEE Std 1003.1-2004, vol. 2.
2. Avionics application software standard interface, Part 1 - Required services, Aeronautical radio, Inc, March, 2007.
3. *Годунов А.Н.*, Операционные системы реального времени Багет 3.0. Программные продукты и системы, 2010 г., № 4. С. 15-19.
4. *Безруков В.Л., Годунов А.Н., Назаров П.Е., Солдатов В.А., Хоменков И.И.* Введение в ос2000// Вопросы кибернетики / под ред. В.Б. Бетелина. – М.: НИИСИ РАН, 1999. С.76-106.
5. *Годунов А.Н., Солдатов В.А.*, Операционные системы семейства Багет (сходство, отличия и перспективы). Программирование, 2014 г., № 5. С. 69-76
6. *Годунов А.Н., Жихарский Л.В., Назаров П.Е., Чемерев Ф.Н.*, Средства протоколирования в ос2000 // Инструментальные средства программирования / под ред. В.Б. Бетелина. – М.: НИИСИ РАН, 2006. С.84-106.