



Объединенный Институт Ядерных Исследований
Дубна, Россия



Система управления ускорительного комплекса NICA.

Евгений Горбачев, *Георгий Седых

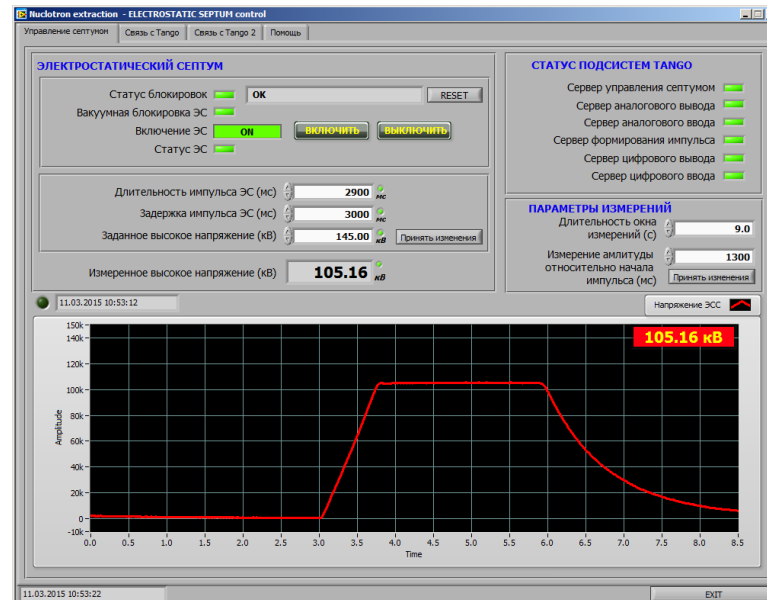
Основные задачи системы управления

1. Взаимодействие с аппаратными средствами.
2. Взаимодействие с пользователем.
3. Реализация логики работы, присущей данной конкретной установке.

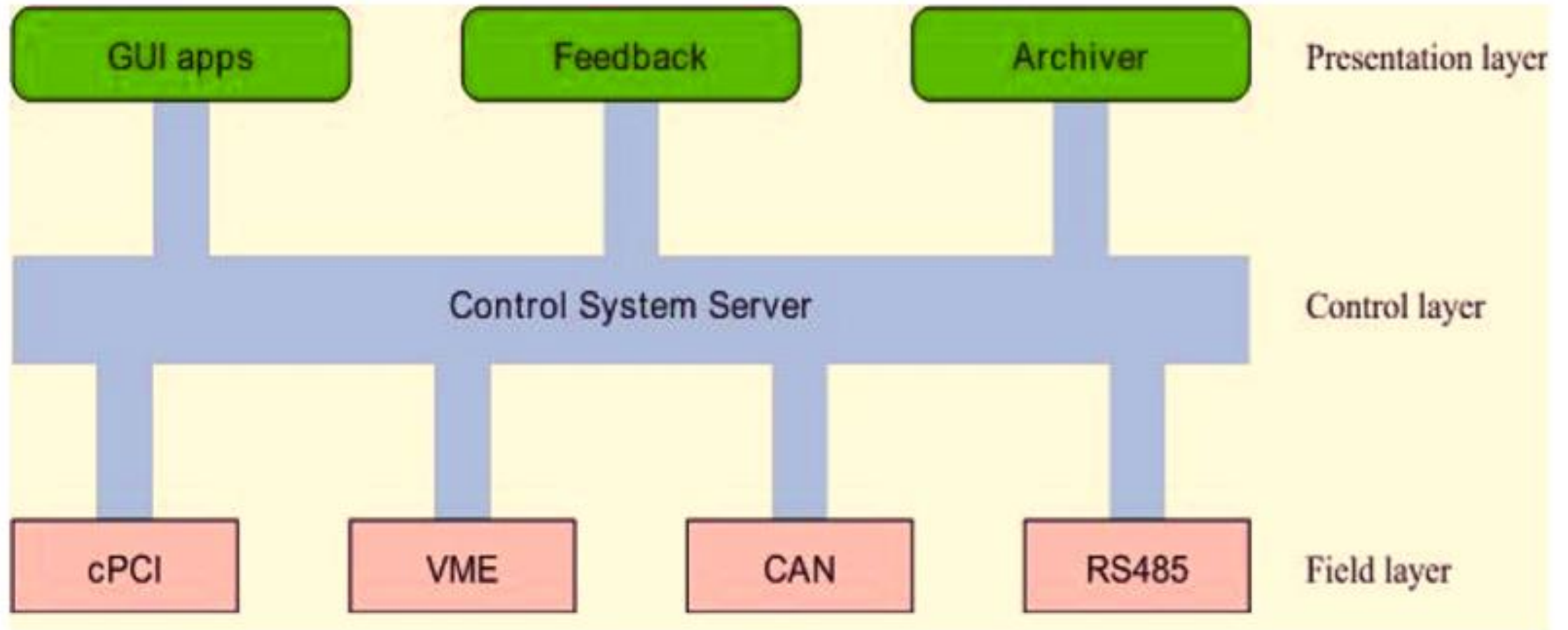
Для небольших, «настольных» установок все три функции обычно выполняются единой программой, которая и реализует графический интерфейс пользователя, взаимодействует с аппаратурой и содержит некую специфичную для конкретной установки логику (управление рабочим циклом установки, обратные связи, слежение за различными параметрами, и т. п.).

Недостатки систем управления с единой программой

- Трудно обслуживать большое количество электроники одним компьютером и одной программой.
- Большой объем кода и повышенная сложность программы.
- Трудно обеспечить доступ разных программ к одному устройству.



Трёхуровневая архитектура ПО системы управления



Достоинства трехуровневой архитектуры

- разграничение функций;
- распределенность;
- разрешение конфликтов доступа.

Следствием этих достоинств является масштабируемость - одно из основных требований, предъявляемых к крупным системам управления.

Дополнительные элементы системы управления

- Средства обеспечения работоспособности;
- Авторизация и разграничение прав доступа;
- Стандартизованная система конфигурации элементов;
- Автоматический запуск и остановка;
- Архивация и извлечение архивных данных;
- Логирование;
- Мониторинг;
- Стандартизованная обработка ошибок;
- Библиотеки и наборы инструментов для создания клиентских приложений



TANGO

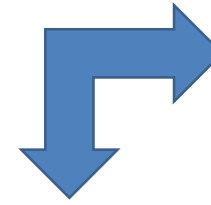
– СВЯЗУЮЩАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

Connecting things together

- Предназначена для построения систем управления крупными физическими и промышленными установками;
- Основана на принципе распределённых tango-устройств;
- Скрывает сетевое взаимодействие;
- Бесплатное и мультиплатформенное ПО с открытым исходным кодом;
- Набор инструментов для централизованной настройки, контроля и управления всеми подключёнными tango-устройствами;
- Серверные и клиентские библиотеки для языков C++, Python, Java;
- Создание клиентских приложений на web, Qt, Taurus, LabView, MatLab,...

Tango Controls :: Device - устройство

- Программное отображение реального устройства или логической сущности в системе управления;
- Уникальный идентификатор **domain/family/member**;
- Имеет внутреннее состояние (ON, OFF, FAULT, ...)
- Интерфейс состоит из атрибутов, команд и пайпов;
- Настраивается при помощи свойств;
- Принадлежит к определенному tango-классу;
- Выполняется внутри сервера устройств tango;



Источник питания

- **Состояние**
 - **Статус**
 - **Ток**
 - **Напряжение**
 - **Режим**
 - **Включить вывод**
 - **Выключить вывод**
 - **Адрес**
 - **Порт**
- Атрибуты
- Команды
- Свойства

Tango Controls :: Атрибуты (Attributes)

- Атрибуты являются частью интерфейса устройства. Они представляют поля данных. Клиентские приложения могут прочитать их, записать или подписаться на события.
- Типы (логический, строка, целые числа, дробные числа, символы, ..)
- Размерность (скалярные, спектральные (1D), картинки (2D))
- Самоописание (единицы измерения, максимальные и минимальные значения, предупреждения, формат отображения, ..)
- Атрибуты могут быть прочитаны один за другим или сразу несколько.

Tango Controls :: Команды (Commands)

- Команды являются частью интерфейса устройства. Они представляют действия, которые клиентское приложение может выполнить. Команды могут изменять внутреннее состояние устройства.
- Команды могут принимать один входной параметр и возвращать один выходной. Параметры могут быть любого из типов данных системы Tango.

Tango Controls :: Свойства (Properties)

- Свойства – это данные, хранящиеся в базе данных, и используемые для конфигурации Устройства при его запуске. Свойства могут быть любых типов данных Tango. Механизм свойств позволяют создавать обобщенные Классы Устройств.
- Свойства обычно редактируются при помощи утилиты Jive.
- Примеры: ip адрес, количество каналов, начальные значения токов, ..

Tango Controls :: Модели взаимодействия с устройствами

- Синхронное. Основной поток после запроса блокируется и ждет, пока не придет ответ или наступит таймаут.
- Асинхронное. Основной поток после запроса продолжает свою работу. Результат проверяется спустя некоторое время. Также удобно использовать механизм с функцией обратного вызова.
- Событийное

Tango Controls :: База данных Tango

- База данных Tango служит для хранения структуры системы и конфигурационной информации для устройств.
- Интерфейс базы реализован в виде специального Сервера Устройства. Клиенты получают доступ к базе данных через стандартизованный клиентский программный интерфейс Tango. Поддерживается только реализация с базой MySQL.
- Каждая база данных имеет свою точку доступа, которая определяется переменной окружения `TANGO_HOST=host:port`.
- В пределах системы Tango могут одновременно работать несколько баз данных.



Трёхуровневая структура системы управления



Уровень оборудования :: Стандарт системы управления

- Конструктивная совместимость – совместимость блоков, каркасов, разъемов ... ;
- Электрическая совместимость – совместимость электрических параметров;
- Логическая совместимость – совместимость протоколов;

Уровень оборудования :: National Instruments

Разработаны tango-классы для работы с устройствами NI:

- Дигитайзерами и осциллографами;
- Аналоговыми и цифровыми входами/выходами;
- Таймером и счётчиками;
- Цифровыми мультиметрами;
- Модулями измерения температур;
- Интерфейсы для устройств FlexRio и CompactRio



Уровень оборудования :: Промышленные протоколы и другие способы подключения

Разработаны tango-классы для работы по стандартным протоколам связи:

- Modbus (TCP, RTU, RTU over TCP, ASCII);
- OPC DA;
- NI Datasocket



В ближайших планах разработка класса для работы по протоколу OPC UA, изучение и доработка класса для CAN bus

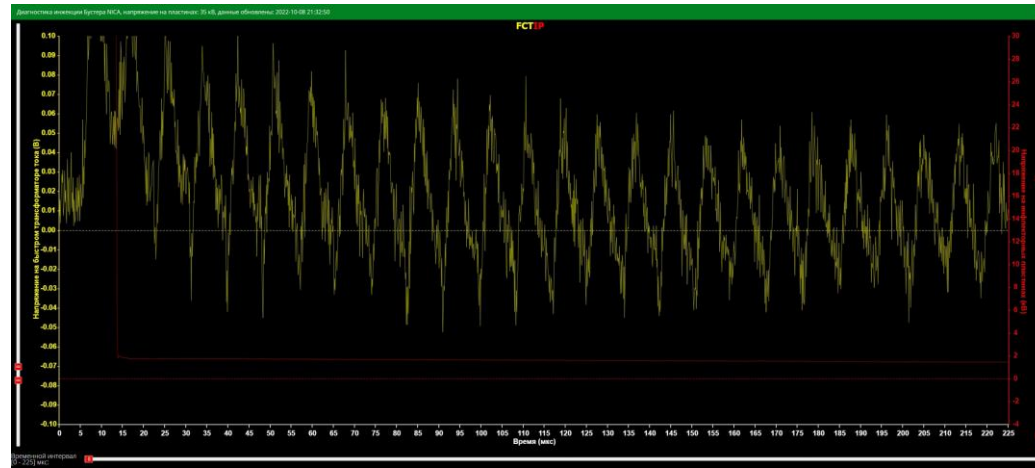
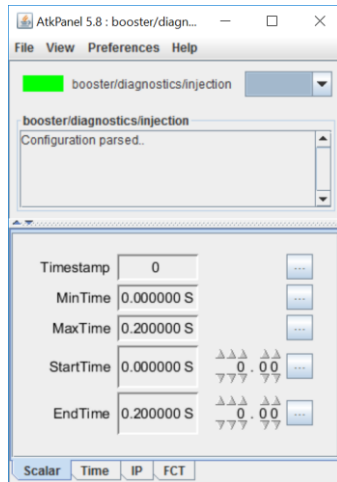
Для остального оборудования можно использовать:

- Готовые классы (при наличии в большой базе компонентов Tango);
- Текстовые или бинарные Ethernet команды (SocketDS);
- Текстовые или бинарные команды по последовательному порту (Serial line);
- Самописные классы с использованием специализированных библиотек и SDK

Связующий уровень :: Высокоуровневые устройства

- Отображают сложное устройство или систему целиком;
- Работают с устройствами нижнего уровня;
- Реализуют логику работы системы;
- Предоставляют стандартный интерфейс для клиентов:
атрибуты и команды

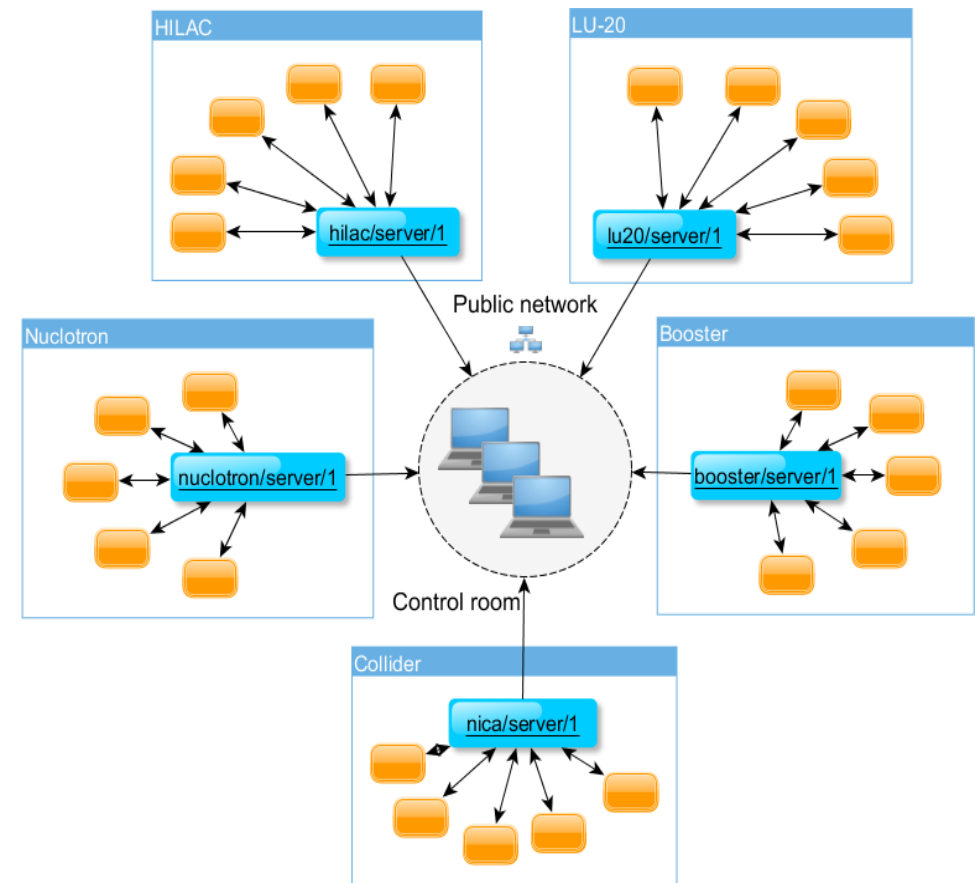
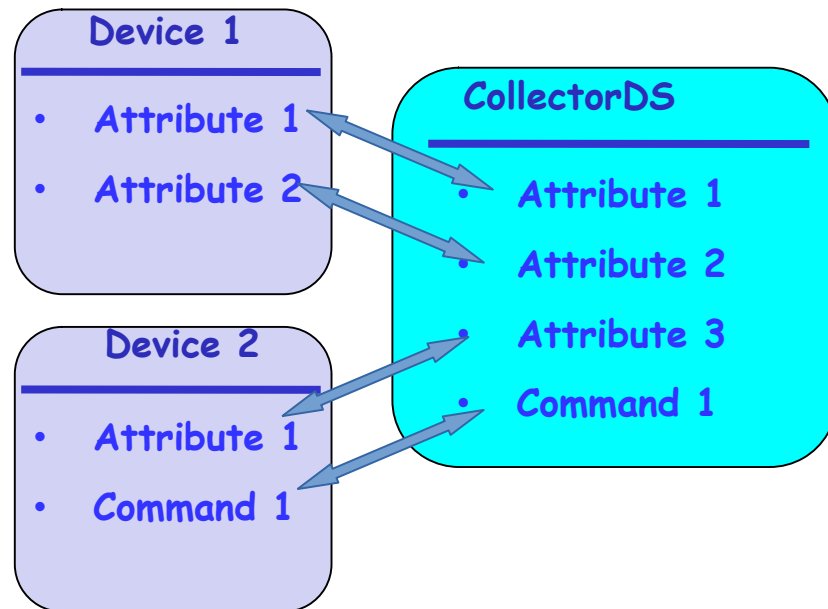
Связующий уровень :: NICollector



- Сводит в готовом виде данные с дигитайзеров и осциллографов NI;
- Позволяет получать данные за определённый интервал времени

Связующий уровень :: CollectorDS

- Группирует атрибуты и команды других устройств как свои. Данные могут передаваться напрямую, периодически, по событиям или по триггеру;
- Служит для оптимизации трафика и для разгрузки медленных устройств;
- Может применяться для безопасного взаимодействия между различными установками Tango



Связующий уровень :: ConnectorDS, TriggerDS

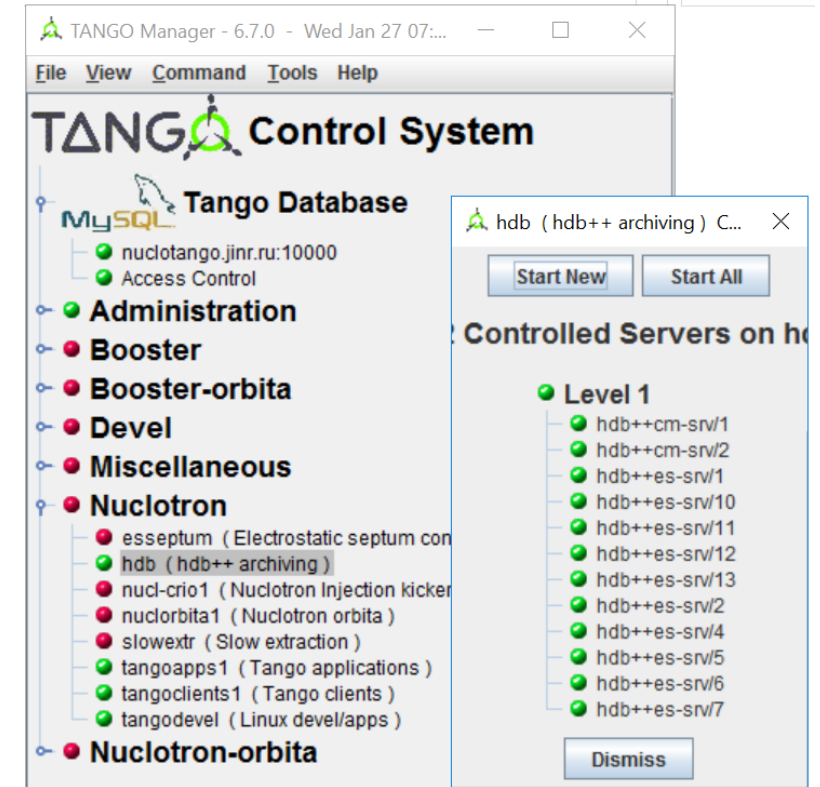
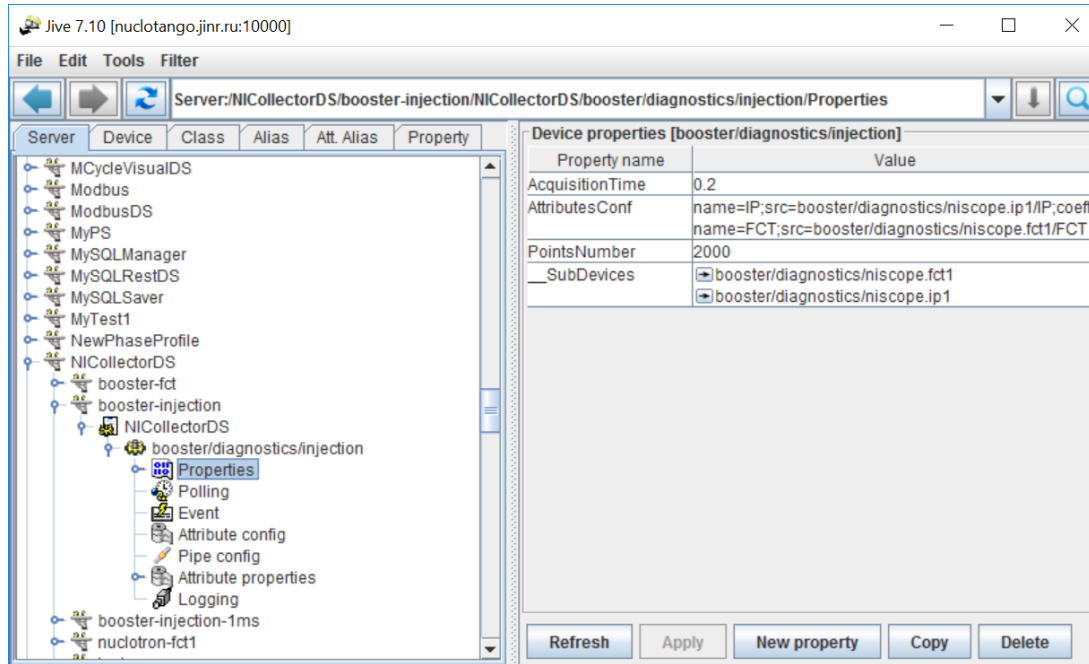
ConnectorDS попарно связывает атрибуты различных устройств по типу «издатель-подписчик»

TriggerDS попарно связывает команду и событие, и при наступлении заданного события выполняет соответствующие команды

Сервисы :: Обеспечение надежности

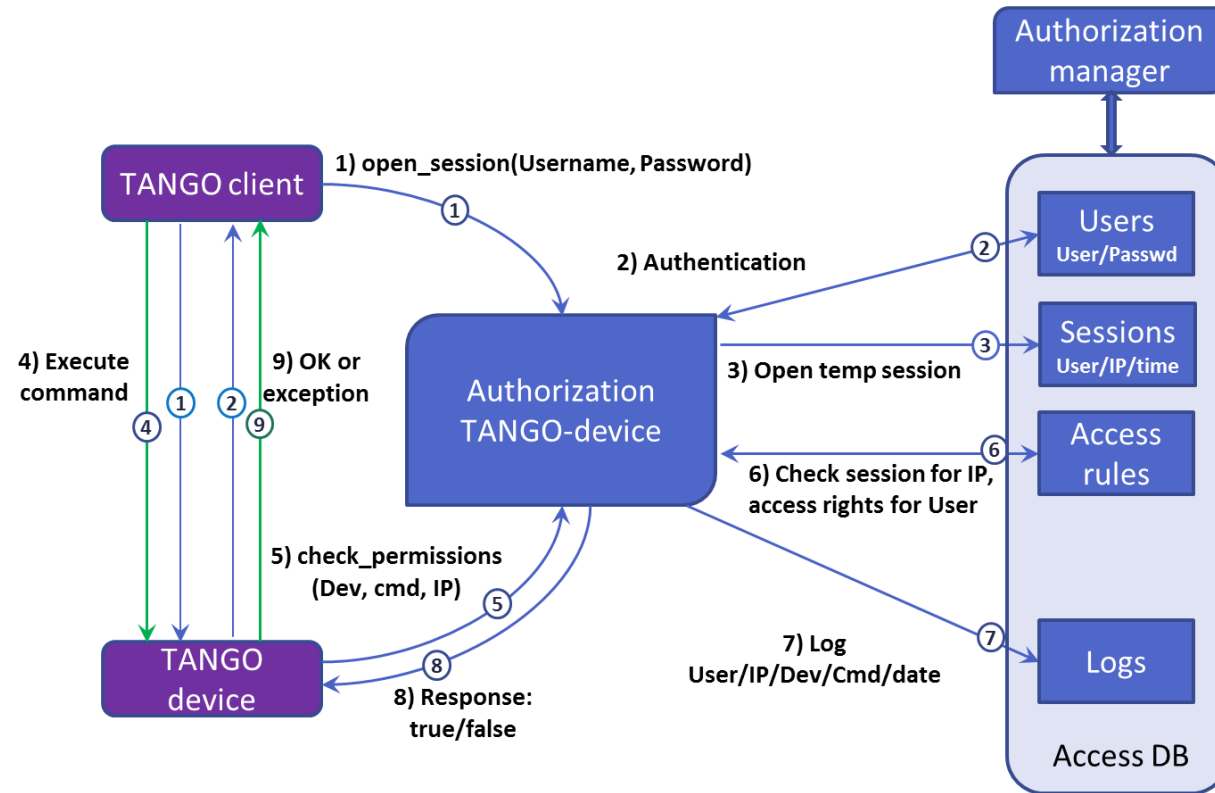
- Все модули среднего уровня работают на виртуальных машинах в кластере на базе серверов Supermicro;
- Для надёжности электропитания используются блоки бесперебойного питания;
- Виртуализация осуществляется при помощи надёжной и гибкой системы Proxmox;
- Для хранения данных используется система Ceph;
- Центральная база данных Tango работает с двойной репликацией по формату «мастер-мастер» с балансировщиком нагрузки Nginx

Сервисы :: Настройка и управление



- Конфигурация устройств осуществляется свойствами через утилиту Jive;
- Управление производится через утилиту Astor

Сервисы :: Контроль доступа



- Система разграничения прав доступа основана на ролях;
- Каждой роли соответствует определенный набор прав;
- Несколько ролей могут быть назначены для каждой пары **ПОЛЬЗОВАТЕЛЬ / IP_АДРЕС**;
- Производит проверку на стороне сервера;
- Используется для защиты главного сервера базы данных системы **Tango Controls**;
- Осуществляет логгирование;

!!! Ведётся внедрение стандартной системы аутентификации JINR SSO

Сервисы :: Логгирование

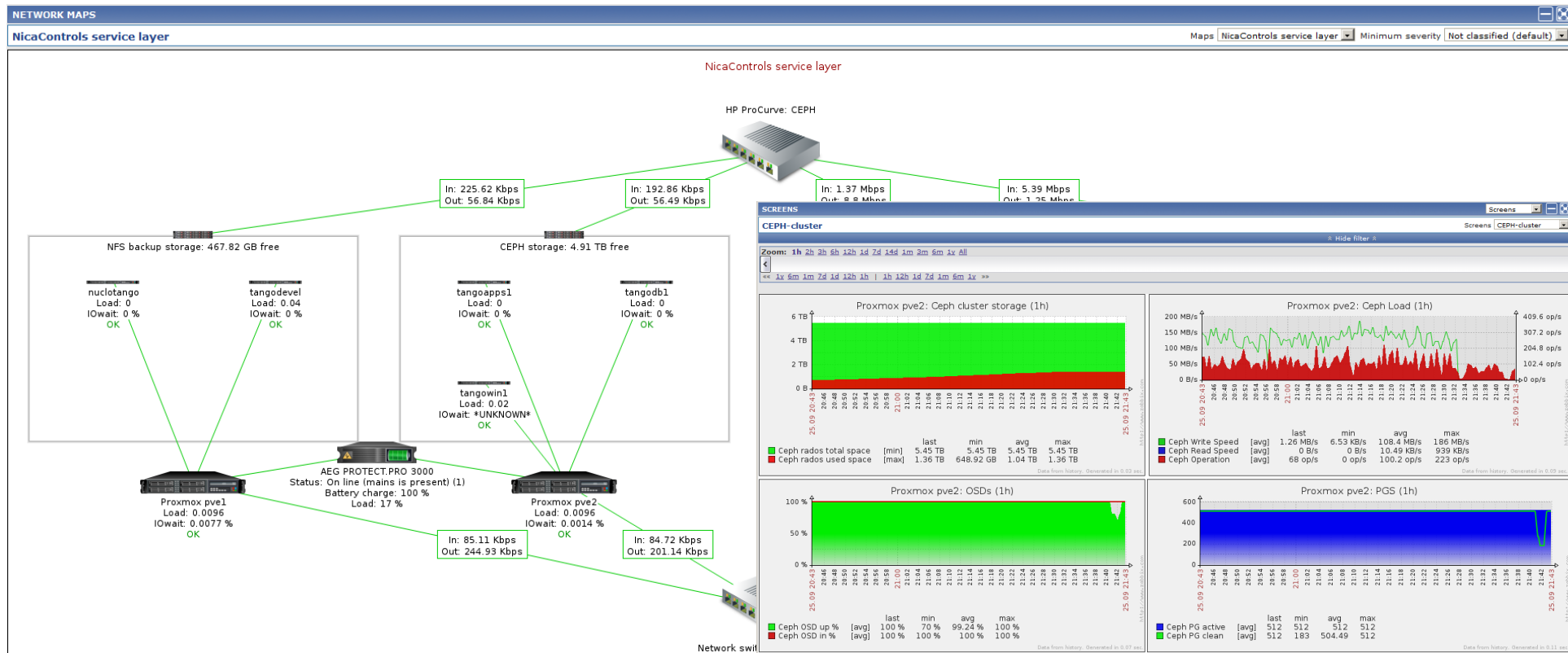
The screenshot shows the 'Manage Tango Role-Based access control' application. The interface includes a menu bar (File, View, Taurus, Tools, Help) and a toolbar with 'Load Perspectives', 'jive', and 'astor' buttons. Below the toolbar are tabs for RBAC Status, Sessions, Roles, Permissions, Users, User roles, and Logs. The 'Logs' tab is active, displaying a search interface with 'From' and 'To' date/time pickers (both set to 10.04.17 10:06:11), filters for Object, IP, and Entry, and a 'Retrieve logs' button. On the right, there are date range buttons (2017-02-14, 2017-04-21), a 'Filter by Facility' dropdown (set to ALL), and a 'Log history size' dropdown (set to 500). The main area contains a table of log entries.

id	facility	created	source	IP	object	Entry	
485	1939197	INFO	2017-04-21 13:24:44	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbPutDeviceProperty/diagnostics/daqmxai/1/0	Access granted (and cached).
486	1939199	INFO	2017-04-21 13:24:46	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbExportDevice/diagnostics/daqmxai/1/IOR:010000001700000049444c3a54616e676f2f4465766963655f343a312e30000001000000000000064...	Access granted (and cached).
487	1939201	INFO	2017-04-21 13:24:46	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbExportDevice/dserver/DAQmxAI/bergoz1/IOR:010000001700000049444c3a54616e676f2f4465766963655f343a312e30000001000000000000...	Access granted (and cached).
488	1939203	INFO	2017-04-21 13:24:56	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbUnExportEvent/DServer/Bergoz/bergoz1	Access granted (and cached).
489	1939205	INFO	2017-04-21 13:24:56	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbPutClassProperty/Bergoz/4/ProjectTitle/1/Description/1/Bergoz subsystem/doc_url/1/http://www.esrf.eu/computing/cs/tango/tang...	Access granted (and cached).
490	1939207	INFO	2017-04-21 13:24:57	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbPutDeviceProperty/diagnostics/daqmxai/1/1/AI_SamplingFrequency/1/50000	Access granted (and cached).
491	1939209	INFO	2017-04-21 13:24:57	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbPutDeviceProperty/diagnostics/daqmxai/1/0	Access granted, cached access entry
492	1939211	INFO	2017-04-21 13:24:57	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbPutDeviceAttributeProperty2/diagnostics/daqmxai/1/1/AI_NumberOfSamples/1/_value/1/204800	Access granted (and cached).
493	1939213	INFO	2017-04-21 13:24:57	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbExportDevice/diagnostics/bergoz/1/IOR:010000001700000049444c3a54616e676f2f4465766963655f343a312e30000001000000000000640...	Access granted (and cached).
494	1939215	INFO	2017-04-21 13:24:58	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbPutDeviceProperty/diagnostics/daqmxai/1/1/AI_SamplingFrequency/1/50000	Access granted, cached access entry
495	1939217	INFO	2017-04-21 13:24:58	check_permissions	159.93.126.70	sys/database/1/DbPutDeviceProperty/diagnostics/daqmxai/1/0	Access granted, cached access entry

Отладочная информация различается по уровню (*debug, info, warning, error*) и может выводиться в консоль, записываться в файл или в базу данных. Система логгирования позволяет:

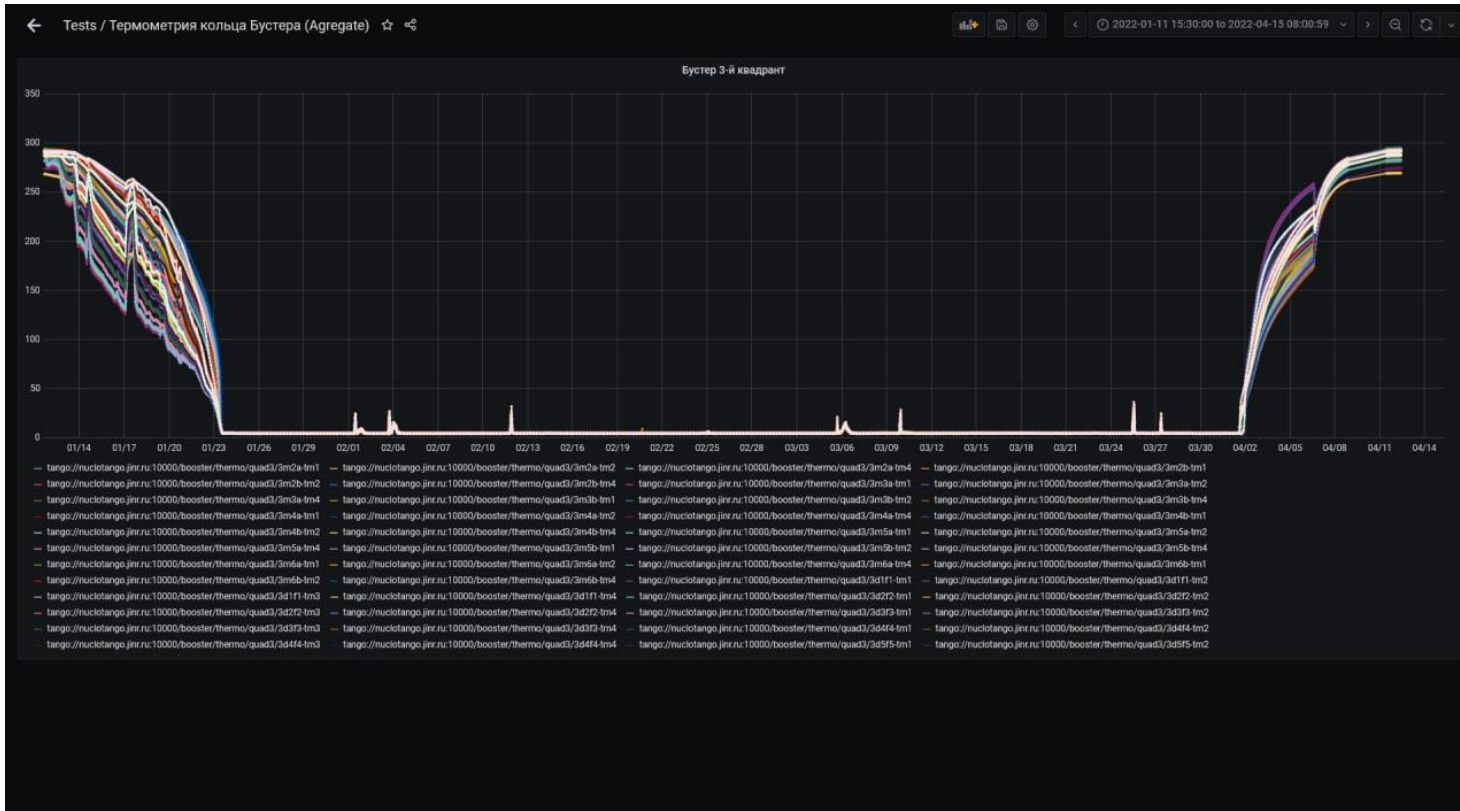
- Вести полный лог изменений базы данных TANGO – запуск устройств, изменения свойств и т.д.;
- Вести централизованное логгирование устройств TANGO (выполнение команд, чтение/запись атрибутов, ...)
- Использовать удобный интерфейс для поиска информации в логах.

Сервисы :: Мониторинг



Zabbix – утилита для мониторинга аппаратуры и программного обеспечения системы управления. Собирает данные о состояниях и статусах Tango устройств, состоянии, загрузке процессора, использовании памяти и дискового пространства и многих других параметрах. Отправляет оповещения администраторам через Telegram и электронную почту.

Сервисы :: Архивация, просмотр и выгрузка архивных данных.



HDB++:

- стандартная система архивации данных в Tango;
- работает по событиям;
- использует базу данных Timescale;

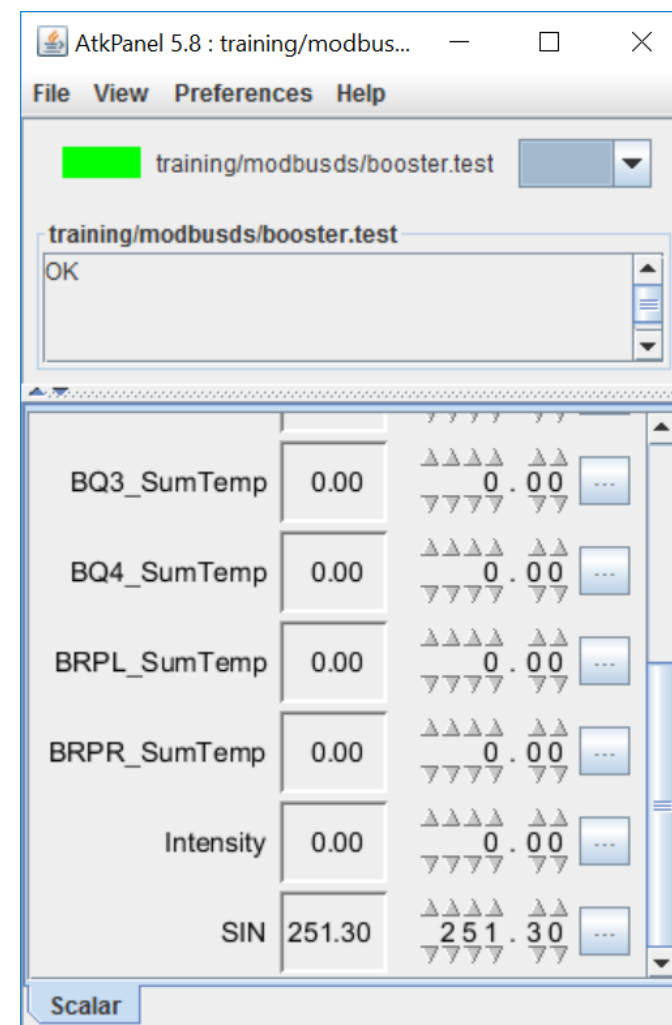
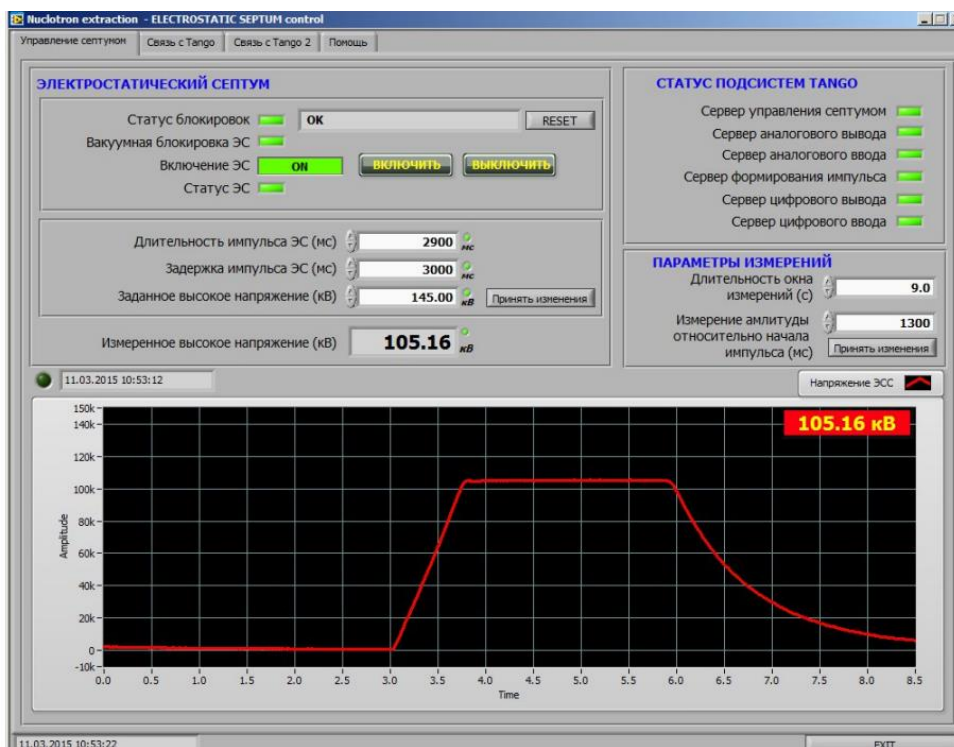
Graphana

- веб-приложение, используемое для отображения архивных данных

Extractor:

- веб-клиентское приложение для выгрузки архивных данных.

Клиентский уровень :: Приложения для ПК



- Встроенные утилиты: ATKPanel, Test Device;
- Клиентские библиотеки для языков C++, Python, Java;
- Связующие компоненты для LabView, Matlab;
- Средства для быстрой разработки клиентских приложений: Taurus, QTango;

Клиентский уровень :: C++ клиент

```
#include <iostream>
#include <tango.h>

int main()
{
    try
    {
        // Подключение к устройству
        auto device = Tango::DeviceProxy("sys/tangotest/2");

        // Чтение атрибута
        double doubleValue;
        Tango::DeviceAttribute da = device.read_attribute("double_scalar");
        da >> doubleValue;
        std::cout << doubleValue << std::endl;

        // Выполнение команды
        double argin = 321, argout;
        Tango::DeviceData din, dout;
        din << argin;
        dout = device.command_inout("DevDouble", din);
        dout >> argout;
        std::cout << argout << std::endl;
    }
    catch (Tango::DevFailed& e)
    {
        std::cerr << e.errors[0].desc << std::endl;
    }

    return 0;
}
```

Клиентский уровень :: Python клиент

```
import tango
import time

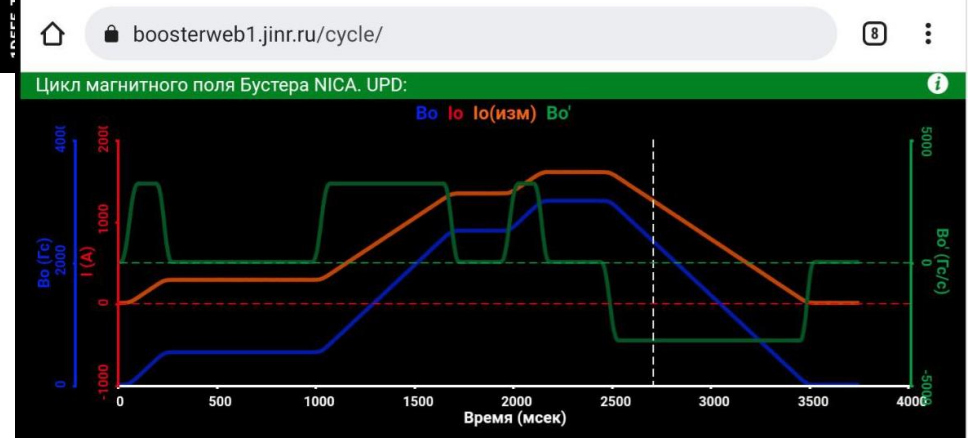
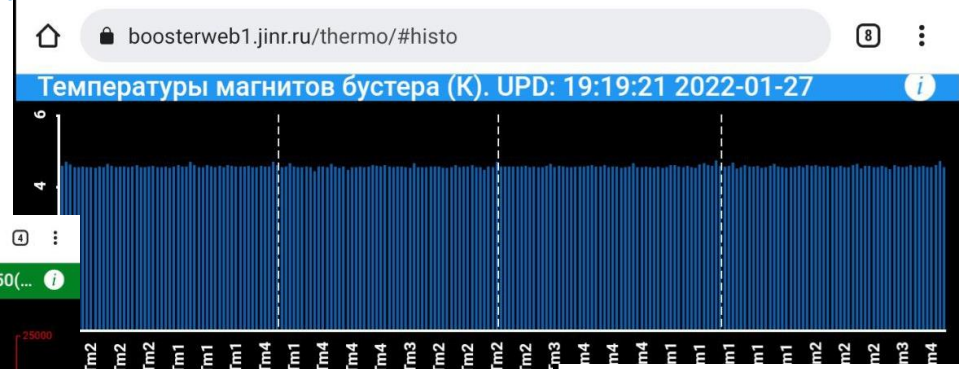
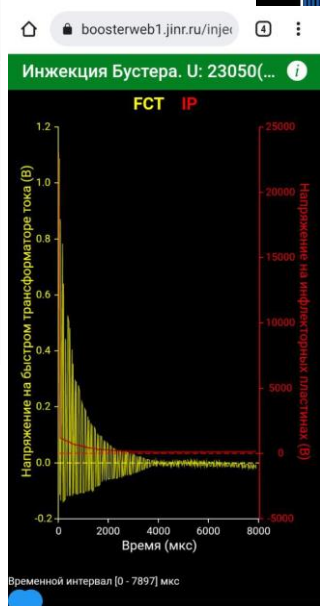
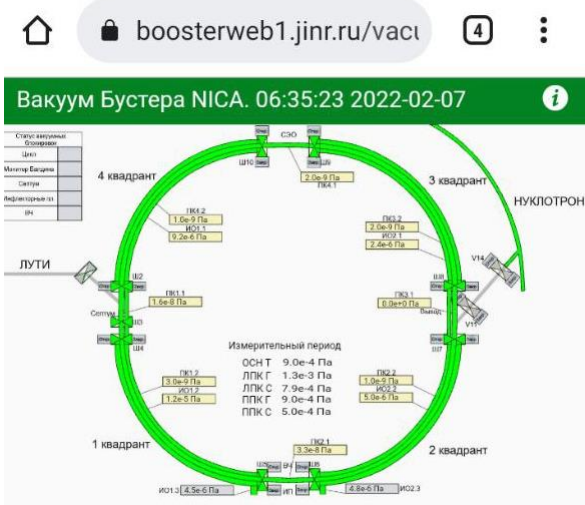
#Подключение к устройству
device = tango.DeviceProxy("sys/tangotest/3")

#Чтение атрибута
doubleValue = device.read_attribute("double_scalar").value
print(doubleValue)

#Чтение атрибута (короткий способ)
print(device["double_scalar"].value)

#Выполнение команды
argin = 321
argout = device.command_inout("DevDouble", argin)
print(argout)
```

Клиентский уровень :: Веб-приложения



Преимущества:

- Работают на любом устройстве (ПК, планшет, смартфон) и в любой операционной системе;
- Не требуют установки на компьютер;
- Централизованно обновляются;

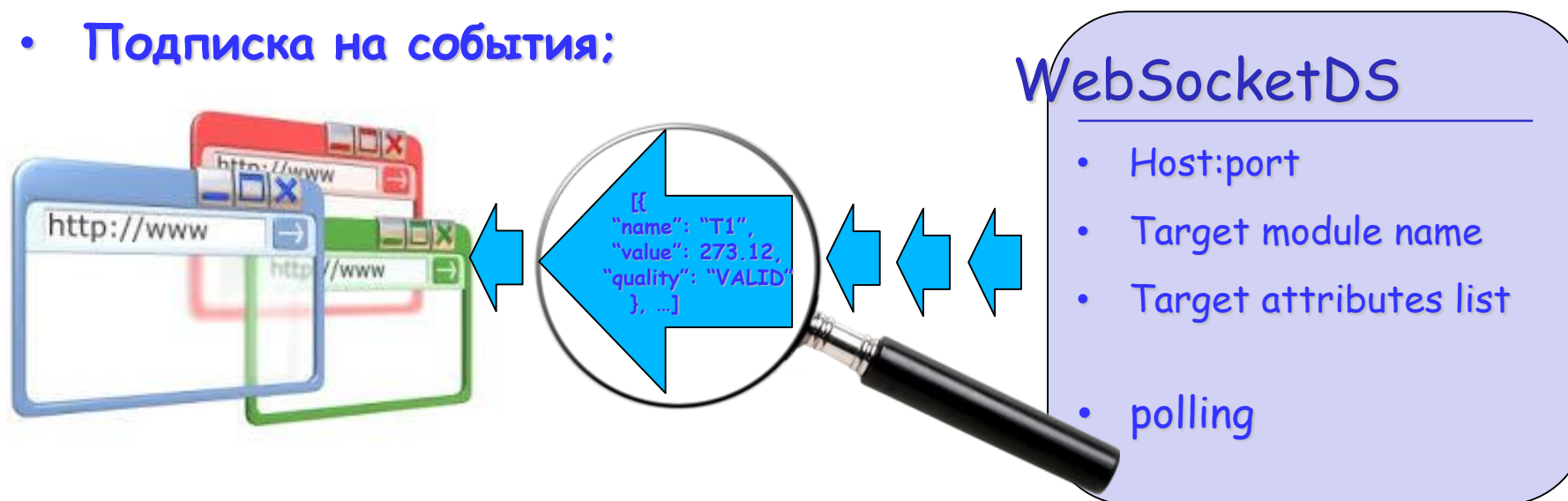
Веб-приложения для системы Tango работают при помощи технологий REST и WebSocket

Клиентский уровень :: Веб-приложения :: WebSocketDS

WebSocket - протокол полнодуплексной связи (может передавать и принимать одновременно) поверх TCP соединения, предназначенный для обмена сообщениями между браузером и веб-сервером в режиме реального времени.

WebSocketDS:

- Чтение и запись атрибутов;
- Выполнение команд;
- Подписка на события;



Клиентский уровень :: Веб-приложения :: Tango REST API RC4

Спецификация объясняет как:

- Отображать структуру системы управления;
- Читать/Писать атрибуты;
- Выполнять команды;
- Читать/Писать пайпы;
- Получать/Устанавливать свойства;
- Использовать механизмы авторизации;
- Использовать коды ошибок;

`http://tangodevel.jinr.ru:8080/tango/rest/rc3/nuclotango.jinr.ru/20000/devices/sys/tg_test/1/attributes/DevDouble/val`

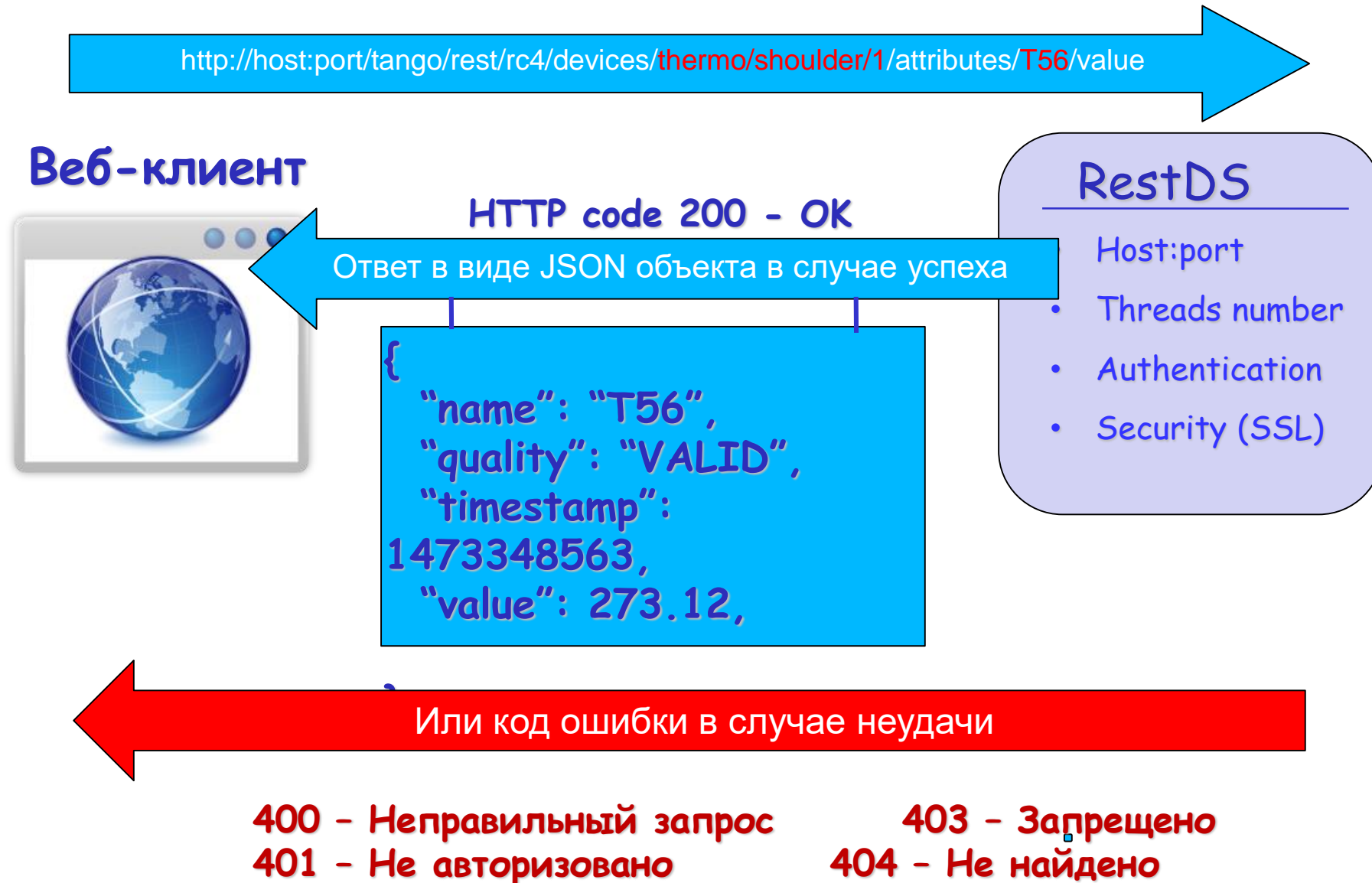
ue

REST Service URL REST API Version Tango host Tango device ID

- Attribute
- Command
- Pipe
- Property

* <http://tango-rest-api.readthedocs.io/en/latest/>

Клиентский уровень :: Веб-приложения :: RestDS



Система управления :: статус

Бустер:

- Циклозадающая аппаратура
- Диагностика инъекции
- Термометрия
- Измерение орбиты
- Коррекция орбиты
- Измерение тока пучка
- Q-метр
- Вывод
- Синхронизация
- Вакуум
- ВЧ
- Электронное охлаждение
- СБИС

Отдельно

- DocDB
- Сохранение состояния системы

Нуклотрон:

- Циклозадающая аппаратура
- Диагностика инъекции
- Термометрия
- Измерение орбиты
- Коррекция орбиты
- Измерение тока пучка
- Вывод
- ВЧ

- Сделано
- Интегрировано
- Возможно интегрируется
- В работе

Коллайдер:

- Циклозадающая аппаратура
- Диагностика инъекции
- Термометрия
- Измерение орбиты
- Коррекция орбиты
- Измерение тока пучка
- Q-метр
- Синхронизация
- SLM мониторы
- ВЧ
- Электронное охлаждение
- Вакуум