

Системы автоматического управления на основе технологий нечёткой логики, искусственных нейронных сетей и квантово-подобных алгоритмов

Катулин М.С.

Дубна, ЛИТ ОИЯИ, 17.03.2025

Автобиография

2010 г. — магистр, Университет «Дубна», направление «системный анализ и управление»

2010-2013 гг. — управление инновационной деятельности и информационных технологий, Администрация г.Дубны

2014-2018 гг. — ведущий инженер-программист, ООО «АтомИнтелМаш»



Автобиография

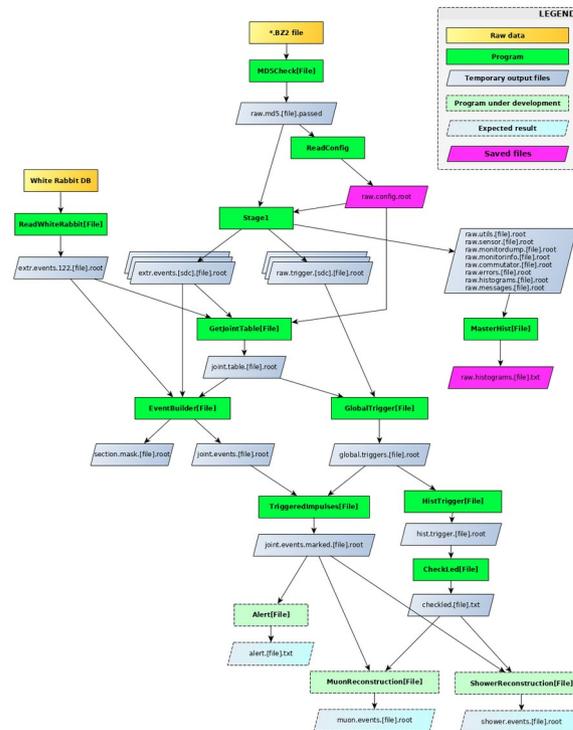
2018-2022 г. — старший инженер, отдел НЭОЯСиРХ, ЛЯП ОИЯИ

Работа в составе коллаборации VAIKAL-GVD

Основной коллектив:

- Балолоптиков И.А.
- Шайбонов Б.А.
- Конищев К.В.
- Перевожиков Л.Л.
- Елзов Т.В.
- Сиренко А.Э.
- Яблокова Ю.В.
- Борина И.В.
- и др.

Граф обработки данных эксперимента

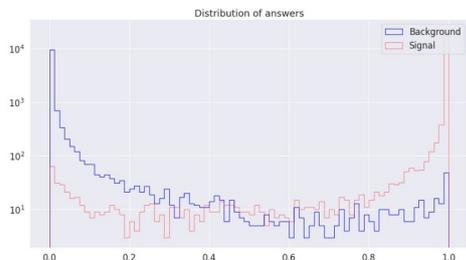


Классификатор типа зарегистрированного события (синтетические данные)

Обучение XGBoost

```
In [16]: 1 param = {  
2         'max_depth': 9,  
3         'learning_rate': 0.3,  
4         'objective': 'multi:softprob',  
5         'num_class': 2  
6     }  
7     num_boost_round = 50
```

```
In [17]: 1 bst = xgb.train(param, dtrain, num_boost_round)  
2         preds = bst.predict(dtest)
```



Автобиография

2022-настоящее время — инженер-программист, отдел НТО ПИО, ЛИТ ОИЯИ

Коллектив, работающий над задачами интеллектуального управления технологическими процессами и физическими установками:

- Зрелов П.В.
- Ульянов С.В.
- Иванцова О.В.
- Кузнецов Е.А.
- Решетников А.Г.
- Рябов А.Р.
- Рябов Н.В.
- Семашко С.В. (до 2023 г.)

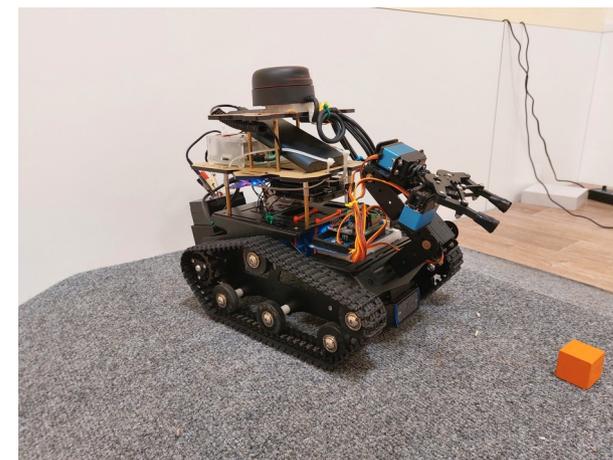
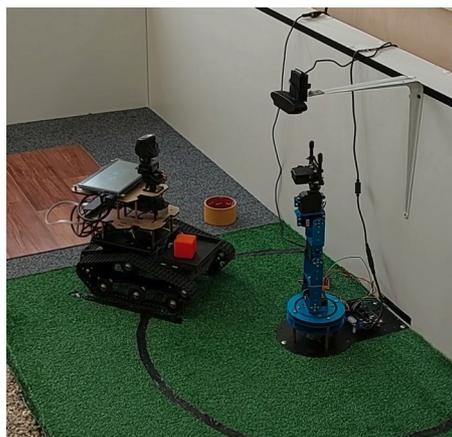
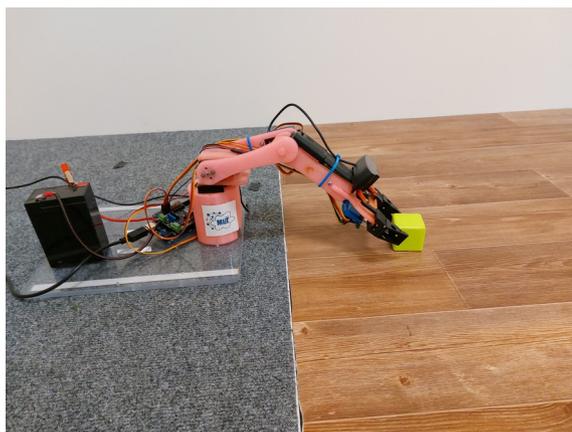
Основные направления работы:

- Автоматическое интеллектуальное управление;
- Робототехника.

Робототехнический полигон

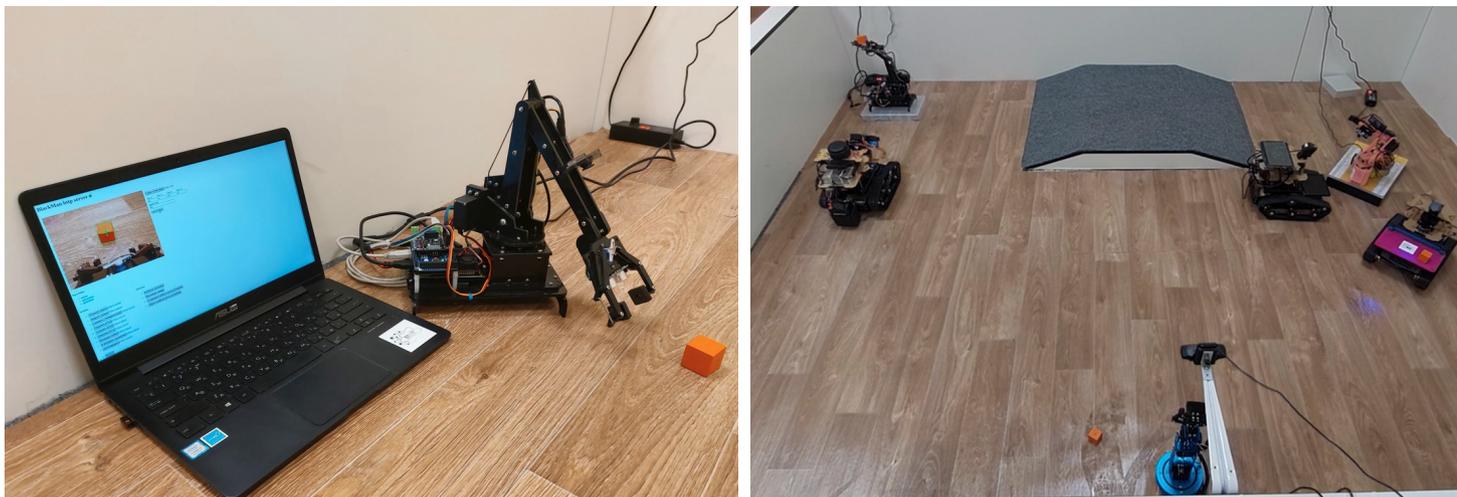
Цели специализированного робототехнического полигона:

- Разработка и проверка алгоритмов на физических устройствах;
- Отработка технических решений, применяемых в задачах автоматического управления:
 - ➔ Различные устройства и датчики (микроконтроллеры, драйверы моторов, лидары, сонары, камеры и др.);
 - ➔ Программные инструментари (ROS, TangoControls, Flask и др.);
 - ➔ Интерфейсы взаимодействия и шины данных (UART, CAN-bus и др.).



Взаимодействие между устройствами

Разные типы устройств с высокой степенью автономности: принятие решений на основе статуса соседнего устройства, обмен информацией об объектах.



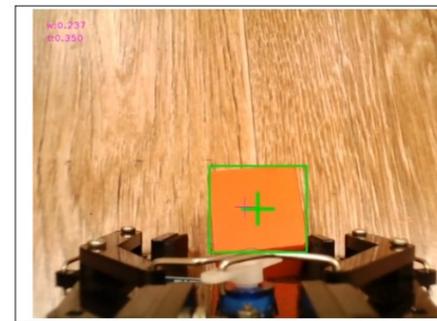
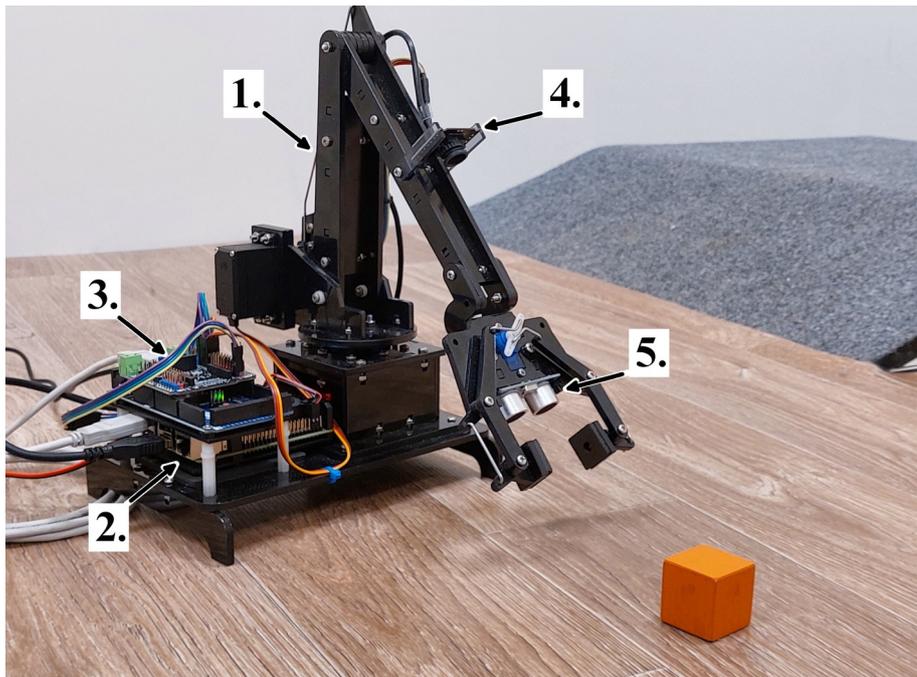
Разработаны программные библиотеки на Python (исходный код расположен на <https://git.jinr.ru/iqr-lit>):

- **IQR Agent** - определяет REST протокол для взаимодействия устройств *, а также базовый функционал для разных устройств.
- **IQR GA Python** - генетические алгоритмы
- **MCInfer PY** - алгоритмы нечётких регуляторов
- **Supervisor Web** - веб-приложение для управления устройствами полигона.

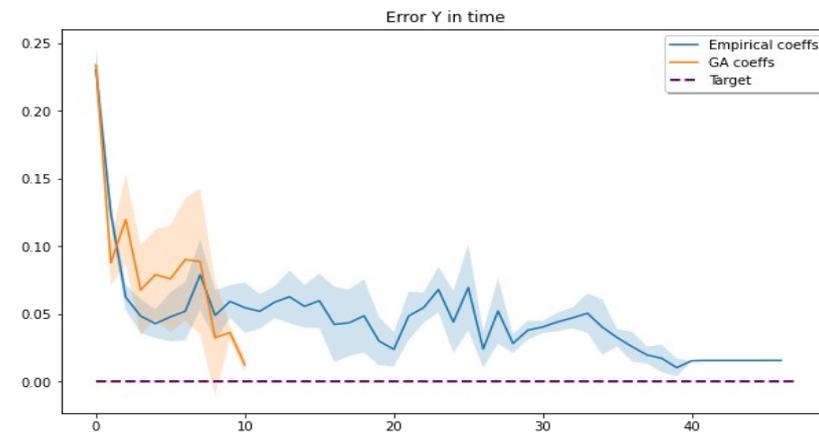
* Катулин М.С., Кузнецов Е.А., Решетников А.Г., Рябов А.Р., Семашко С.В. и Ульянов С.В. Механизмы обмена информацией и передачи знаний для задач взаимодействия в среде автономных интеллектуальных робототехнических систем в нестандартных ситуациях // Системный анализ в науке и образовании. № 4 (июл. 2022), 44–62. URL: <https://sanse.ru/index.php/sanse/article/view/510>

Формирование обучающего сигнала

Была наглядно продемонстрирована возможность применения генетических алгоритмов в режиме реального времени для подбора параметров без использования математической модели.



```
1  {
2    "rc": 0,
3    "info": "success",
4    "name": "getposition",
5    "data": {
6      "detected": true,
7      "x": 0.4390625,
8      "y": 0.815625,
9      "width": 0.48125,
10     "height": 0.36875,
11     "area": 0.17746093750000003,
12     "aspect_ratio": 1.3050847457627117
13   }
14 }
```



Катулин М.С., Решетников А.Г., Рябов А.Р., Ульянов С.В. Оптимизация процессов интеллектуального управления в реальном времени на физической модели робота-манипулятора с помощью генетического алгоритма // Программные продукты и системы. 2024г. №3, Т. 37, С.301–309. URL: <https://swsys.ru/files/2024-3/301-309.pdf>

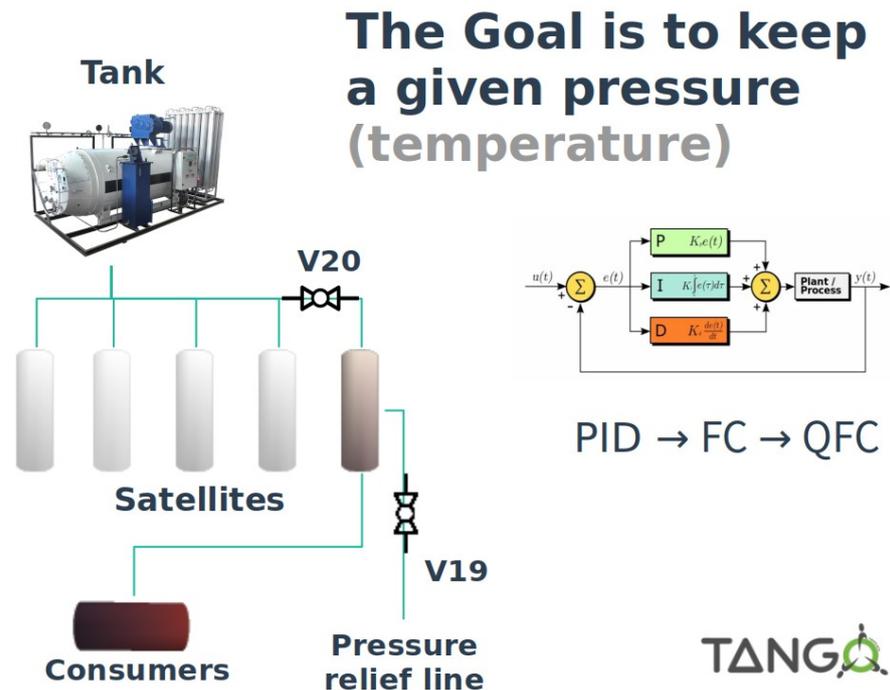
Фабрика СП-магнитов

Подключился к задаче в 2023 году

JINR magnet assembly and testing hall



Image from:
<https://topblognews.ru/obshchestvo/mks-i-kollajder-nobelevskij-laureat-ting-rasskazal-o-svoih-j-eksperimentah/>



06.07.2023

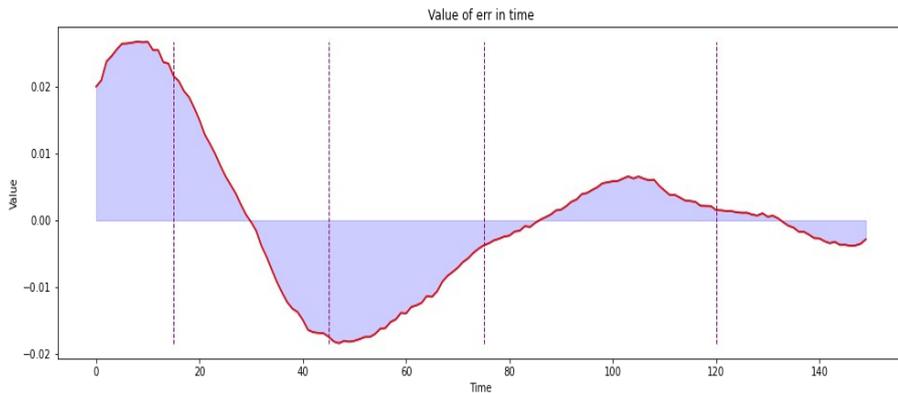
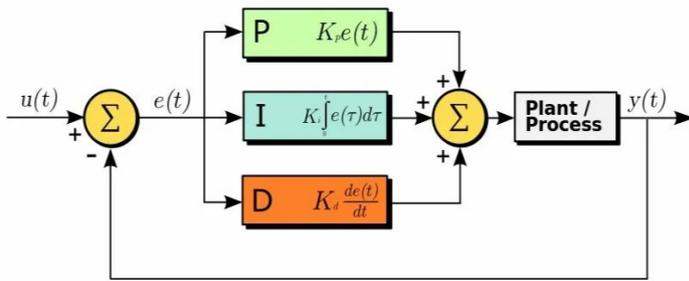
Dubna, GRID'2023

3

Бутенко А.В. и др. Интеллектуальная система дистанционного управления давлением и расходом жидкого азота в криогенной системе сверхпроводящих магнитов: программно-аппаратная платформа // Письма в ЭЧАЯ. — 2023. — Т. 20, № 2(247). — С. 183-199.

Формирование обучающего сигнала

Благодаря применению ГА обучающий сигнал может быть создан без использования математической модели установки. Это особенно важно для систем управления, содержащих объект управления с недоопределёнными, слабо формализованными параметрами.



	A	B	C	D	E	F
1	err	err_i	err_d	P_coeff	I_coeff	D_coeff
2	0.020254	0.020254	0.020254	49.3988	37.68156	148.257
3	0.0204835	0.0407375	0.000229478	49.3988	37.68156	148.257
4	0.0211214	0.0618589	0.000637889	49.3988	37.68156	148.257
5	0.0222429	0.0841018	0.00112152	49.3988	37.68156	148.257
6	0.0229059	0.107008	0.000663042	49.3988	37.68156	148.257
7	0.0230844	0.130092	0.000178456	49.3988	37.68156	148.257
8	0.0229796	0.153072	-0.000104785	49.3988	37.68156	148.257
9	0.0229883	0.17606	0.00000870228	49.3988	37.68156	148.257
10	0.0228355	0.198896	-0.000152826	49.3988	37.68156	148.257
11	0.0223869	0.221282	-0.000448585	49.3988	37.68156	148.257
12	0.0218146	0.243097	-0.000572324	49.3988	37.68156	148.257
13	0.0212793	0.264376	-0.00053525	49.3988	37.68156	148.257
14	0.0194484	0.283825	-0.00183094	49.3988	37.68156	148.257
15	0.0185505	0.302375	-0.000897884	49.3988	37.68156	148.257
16	0.0173177	0.319693	-0.00123286	49.3988	37.68156	148.257
17	0.0219506	0.0219506	0.0219506	40.9325	35.73909	122
18	0.023212	0.0451626	0.00126135	40.9325	35.73909	122
19	0.0239828	0.0691453	0.000770807	40.9325	35.73909	122
20	0.0249614	0.0941067	0.000978589	40.9325	35.73909	122
21	0.025906	0.120013	0.000944614	40.9325	35.73909	122
22	0.026039	0.146052	0.000133038	40.9325	35.73909	122
23	0.0265942	0.172646	0.000555158	40.9325	35.73909	122
24	0.0262448	0.198891	-0.000349402	40.9325	35.73909	122
25	0.0264202	0.225311	0.000175476	40.9325	35.73909	122
26	0.0257682	0.251079	-0.000652075	40.9325	35.73909	122
27	0.0252886	0.276368	-0.000479579	40.9325	35.73909	122
28	0.0235265	0.299894	-0.00176203	40.9325	35.73909	122
29	0.0224068	0.322301	-0.00102073	40.9325	35.73909	122

Беспалов Ю.Г., Зрелов П.В., Катулин М.С., Неаполитанский Д.В., Решетников А.Г., Ульянов С.В. Формирование баз знаний нечётких регуляторов на основе физического обучающего сигнала азотной криогенной установки с применением генетического алгоритма. // Физика элементарных частиц и атомного ядра, 2024. Т. 55, вып. 3. С. 669–674. URL: <https://pepan.jinr.ru/index.php/Pepan/article/view/1017/625>

Разработанное ПО

Существующая инфраструктура работает под управлением инструментария (toolkit) TangoControls.



Разработанное в рамках решаемой задачи программное обеспечение:

- **IQR GA for C++** - Библиотека, реализующая функционал генетических алгоритмов на C++;
- **V19GA** - Программа для формирования обучающего сигнала;
- **V20** - Программа (Tango Device Server) для управления вентилем заправки;
- **IQR Mag Server** - Программа (Tango Device Server) для интеллектуального управления давлением в азотном контуре первого сателлита. Полностью встроена в инфраструктуру и не потребовала серьёзных изменений ПО стенда. Предшественником данной программы была программа Magserver, разработанная Семашко С.В.

Исходный код расположен на <https://git.jinr.ru/iqr-lit>

IQR MagServer

Разработанная программа обеспечивает автоматическое управление давлением в криогенной установке, не требуя постоянного контроля со стороны оператора.

17 марта 2025

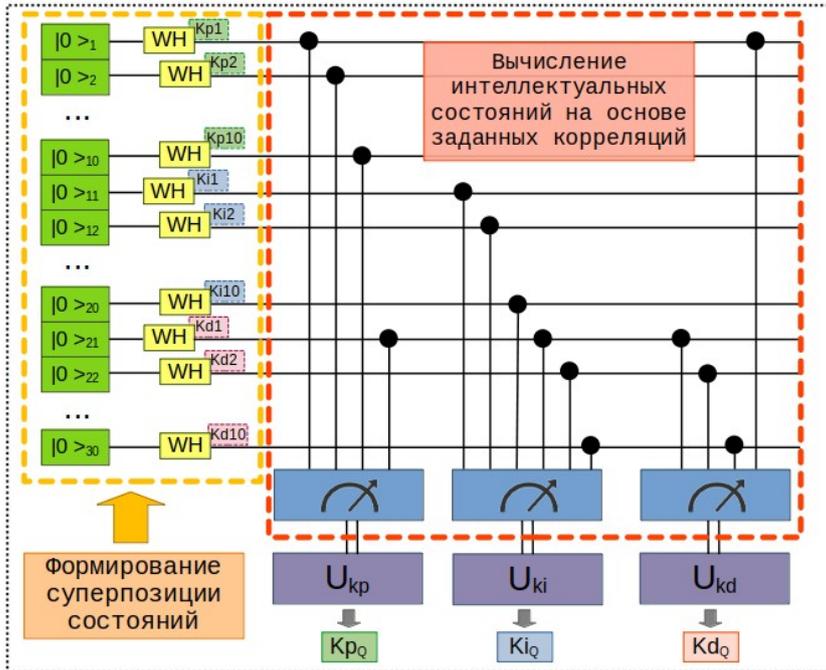
Катулин М.С.



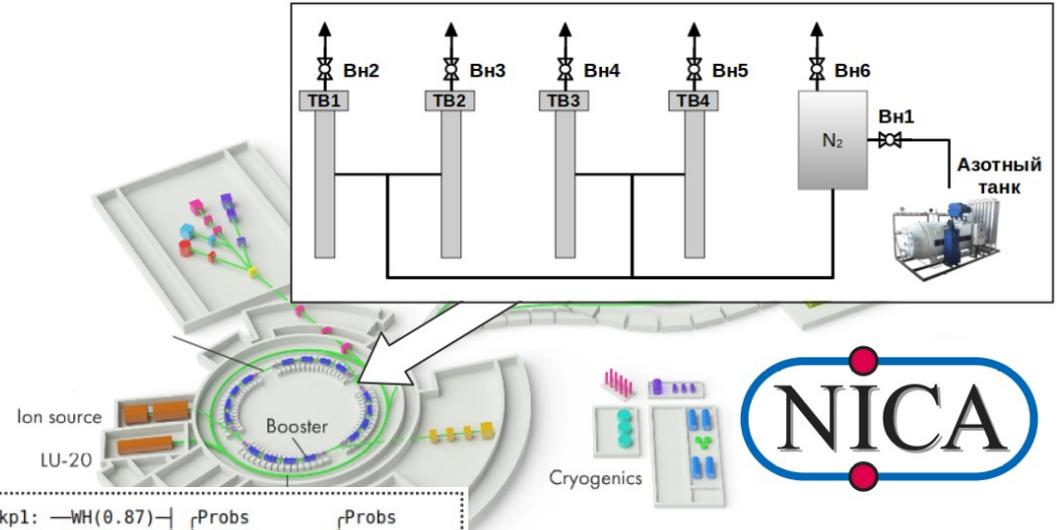
11

Моделирование квантового нечёткого вывода

Показана принципиальная вычислительная возможность применения компьютеров с классической архитектурой для реализации 30-кубитного квантового нечёткого вывода на квантовом симуляторе на примере симулятора PennyLane.



kp1: —WH(0.87)	Probs	Probs
kp2: —WH(0.01)	Probs	Probs
kp3: —WH(0.99)	Probs	Probs
kp4: —WH(0.16)	Probs	Probs
kp5: —WH(0.84)	Probs	Probs
kp6: —WH(0.87)	Probs	Probs
kp7: —WH(0.99)	Probs	Probs
kp8: —WH(0.26)	Probs	Probs
kp9: —WH(0.87)	Probs	Probs
kp10: —WH(0.01)	Probs	Probs
ki1: —WH(0.38)	Probs	Probs
ki2: —WH(1.00)	Probs	Probs
ki3: —WH(0.50)	Probs	Probs
ki4: —WH(1.00)	Probs	Probs
ki5: —WH(0.42)	Probs	Probs
ki6: —WH(1.00)	Probs	Probs
ki7: —WH(0.45)	Probs	Probs
ki8: —WH(1.00)	Probs	Probs
ki9: —WH(0.38)	Probs	Probs
ki10: —WH(1.00)	Probs	Probs
kd1: —WH(0.49)	Probs	Probs
kd2: —WH(0.02)	Probs	Probs
kd3: —WH(0.48)	Probs	Probs
kd4: —WH(0.18)	Probs	Probs
kd5: —WH(0.87)	Probs	Probs
kd6: —WH(0.27)	Probs	Probs
kd7: —WH(0.53)	Probs	Probs
kd8: —WH(0.22)	Probs	Probs
kd9: —WH(0.49)	Probs	Probs
kd10: —WH(0.02)	Probs	Probs



Применение квантово-подобных алгоритмов позволяет выявлять «скрытые» корреляции в данных.

Зрелов П.В., Иванцова О.В., Катулин М.С., Решетников А.Г., Рябов Н.В., Ульянов С.В. Моделирование квантового нечёткого вывода интеллектуальной системы управления охлаждением токовыводов бустера ускорительного комплекса NICA // Физика элементарных частиц и атомного ядра, 2024. Т. 55, вып. 3. С. 684–690. URL: <https://pepan.jinr.ru/index.php/Pepan/article/view/1050/653>

Планы развития робототехнического полигона

- Восстановление робота «обратный перевёрнутый маятник» с добавлением нового функционала, в том числе внедрение новых алгоритмов управления (физическая реализация и математическая модель);
- Ведутся переговоры по задачам автоматического управления с представителями ЛЯП, ЛЯР и ЛРБ (на данном этапе на низовом уровне);
- Открыты для решения задач автоматического управления в ЛИТ.

Планы по защите кандидатской диссертации

В планах защита кандидатской диссертации. Тема и план работы на этапе согласования.

Работа будет выполняться в соответствии с научной специальностью **2.3.1. «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» (технические науки)**

С п а с и б о з а в н и м а н и е