

**УДК 004.946**

**Карасев Сергей Игоревич**, аспирант кафедры компьютерные системы управления, МГТУ «СТАНКИН», г. Москва

**ВИЗУАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ СТАНКА С ЧПУ В VR С  
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДУЛЯ OPC UA**

**Аннотация**

В статье рассматривается актуальная проблема визуализации работы станков с числовым программным управлением (ЧПУ) с использованием современных технологий. Предложен алгоритм реализации средств визуализации на базе модуля OPC UA и технологии виртуальной реальности. Показано, что применение OPC UA обеспечивает универсальность обмена данными с различными системами ЧПУ. Разработан алгоритм получения и обработки координат инструмента в реальном времени. Описана архитектура приложения в среде Unity, включая классы для подключения к серверу, управления движением моделей и обработки пользовательского интерфейса. Приведены результаты тестирования на цифровом двойнике системы «АксиОМА Контрол». Показано, что предложенный алгоритм позволяет повысить наглядность процесса обработки и снизить риски при наладке оборудования.

**Annotation**

The article discusses the current problem of visualizing the operation of CNC machines using modern technologies. A methodology for implementing visualization tools based on the OPC UA module and virtual reality technology is proposed. It is shown that the use of OPC UA ensures universal data exchange with various CNC systems. An algorithm for real-time receiving and processing tool coordinates is developed. The architecture of a Unity-based application is described, including classes for connecting to a server, controlling model movement, and

processing the user interface. Results of testing on a digital twin of the AxiOMA Control system are presented. It is proved that the proposed methodology improves the visualization of the machining process and reduces risks during equipment setup.

**Ключевые слова:** виртуальная реальность, станок с ЧПУ, OPC UA, визуализация, цифровой двойник, Unity.

**Keywords:** virtual reality, CNC machine, OPC UA, visualization, digital twin, Unity.

Современное машиностроение предъявляет высокие требования к эффективности использования оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ). Одним из перспективных направлений повышения эффективности является внедрение технологий виртуальной реальности (VR) для визуализации процесса обработки [1]. Однако существующие решения часто привязаны к конкретным моделям станков, требуют сложной настройки и не обладают универсальностью. Кроме того, традиционные способы визуализации (2D-схемы, текстовые отчеты) не дают оператору полного представления о пространственном положении инструмента и заготовки в реальном времени [2].

Целью данной работы является разработка алгоритмов реализации средств визуализации работы станка с ЧПУ с использованием модуля OPC UA и технологии виртуальной реальности, обеспечивающей совместимость с большинством актуальных систем ЧПУ, низкую задержку передачи данных и интуитивно понятный интерфейс [3]. Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи: анализ существующих протоколов обмена данными с ЧПУ, выбор оптимальной библиотеки для работы с OPC UA в среде Unity, проектирование архитектуры приложения, разработка алгоритмов получения и обработки данных, тестирование на цифровом двойнике и оценка производительности.

На сегодняшний день существует несколько коммерческих и открытых решений для визуализации работы станков с ЧПУ. Среди них можно выделить системы Siemens NX CAM с модулем виртуальной симуляции, Vericut, а также встроенные средства визуализации в системах ЧПУ Fanuc, Heidenhain и Sinumerik. Однако большинство из них имеют следующие недостатки:

- высокая стоимость лицензий;
- привязка к конкретной аппаратной платформе;
- отсутствие поддержки технологии виртуальной реальности;
- закрытость протоколов обмена данными.

Разрабатываемые алгоритмы лишены указанных недостатков благодаря использованию открытого стандарта OPC UA, который поддерживается большинством современных систем ЧПУ, включая отечественную систему «АксиОМА Контрол» [4]. Это обеспечивает масштабируемость и возможность интеграции на разных производственных площадках без замены оборудования.

Для тестирования использовался цифровой двойник системы ЧПУ «АксиОМА Контрол» (далее – Аксиома). Данная программа имеет встроенный OPC UA модуль (AxOPCServerWin), через который ядро системы передает информацию о процессе работы. Сервер работает по протоколу TCP/IP на порту 4840 (стандартный порт OPC UA). Это позволило отработать весь цикл получения данных от сервера до визуализации в VR-среде.

Поскольку разрабатываемая программа предназначена в первую очередь для визуализации движения узлов станка, для разработки потребовались значения текущих координат инструмента. В рамках исследования были выделены два канала передачи данных:

- Канал 1 (основной): координаты по осям X, Y, Z, B, C (полный набор для 5-координатной обработки);
- Канал 2 (резервный): координаты по осям X, Y, Z (используется при обрыве связи или недоступности основного канала).

Такой подход позволяет дублировать критические данные и повышает отказоустойчивость системы визуализации. Частота обновления координат составляет 50 Гц (20 мс), что обеспечивает плавность движения моделей в VR-шлеме без эффекта «разрыва» изображения.

Кроме того, в перспективе планируется передавать дополнительные параметры: скорость подачи, частоту вращения шпинделя, уровень нагрузки на инструмент, температуру узлов станка. Это позволит реализовать не только визуализацию геометрического движения, но и диагностику состояния оборудования.

Учитывая специфику разработки приложений на Unity, а именно программирования на C# с использованием .NET Framework, целесообразно использовать программные модули, использующие аналогичную технологию. В качестве оптимального решения предлагается использовать библиотеку OPC.UaFx. Данная библиотека является платной, но при этом имеет пробный период для тестирования. За счет широкого функционала имеет смысл рассмотреть ее в качестве основного решения для прототипа.

OPC UA сервер (AxOPCServerWin) системы числового программного обеспечения AxiOMA Control подписан на ядро системы, то есть регулярно получает от него данные. Сервер вещает данные по адресу.

Разрабатываемое приложение имеет класс MoveControl (Рис.1), который при помощи библиотеки OPC.UaFx.Client создает экземпляр класса OPCClient (далее просто Client) который служит для подключения и дальнейшего взаимодействия с сервером. Подключившись к серверу, клиент начинает запрашивать у него данные. Класс MoveControl использует эти данные для

осуществления дальнейшего движения моделей. Метод Update() – стандартный метод среды Unity, используемый для выполнения каких либо действий каждый кадр. По сути, он является бесконечным циклом. В предложенном решении он используется для регулярного обновления координат модели станка [5].

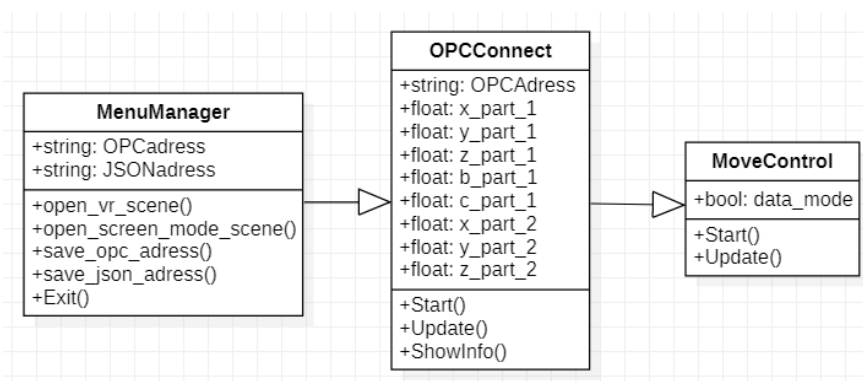


Рисунок 1 Диаграмма классов приложения

При запуске приложения открывается меню настроек (Рис. 2). Пользователь должен ввести адрес OPC UA сервера по умолчанию localhost). Далее необходимо выбрать режим работы приложения: в режиме виртуальной реальности или в экранном. После этого в зависимости от выбранного режима открывается соответствующая сцена. Экранный режим и режим с поддержкой используют один и тот же класс для связи с сервером, поэтому отличаются, по сути, только способом вывода информации пользователю. Поэтому блок-схема алгоритма работы приложения будет одинакова для обоих режимов. После нажатия кнопки пуск и запуска сцены приложение посредством OPC библиотеки начинает отправлять запросы OPC UA серверу. Сервер в ответ отправляет данные, которые приложение конвертирует в переменные типа float. Далее эти данные используются для управления движением модели. Продолжается это до тех пор, пока пользователь не нажмет кнопку ESC. После нажатия ESC визуализация сворачивается, и открывается начальное меню.

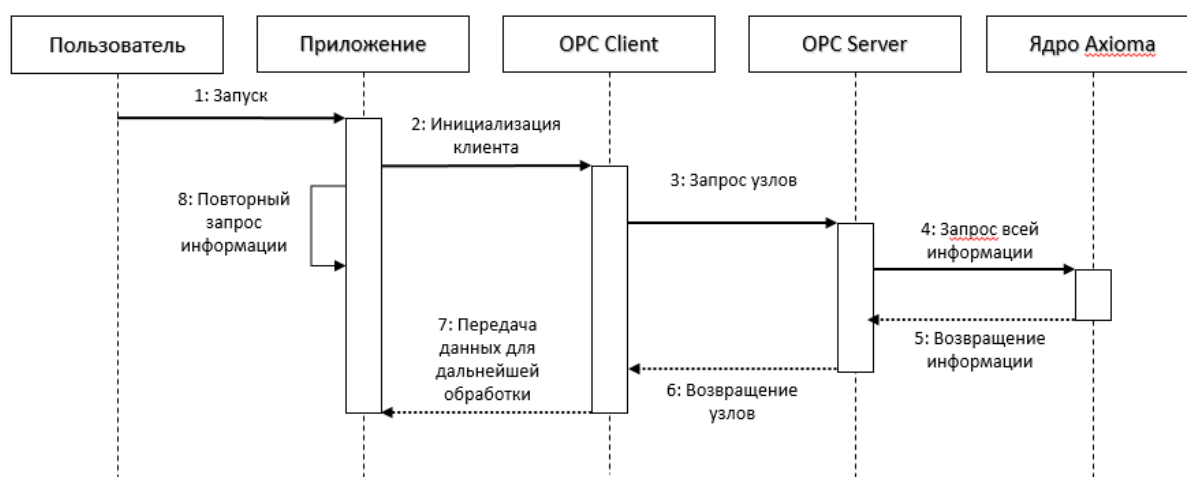


Рисунок 2 Диаграмма последовательности работы приложения

Разработанные алгоритмы могут быть применены в следующих областях:

- Обучение операторов ЧПУ – безопасное освоение работы на станке без риска поломки.
- Удалённый мониторинг – наблюдение за работой станка через интернет с использованием WebRTC и OPC UA.
- Верификация управляющих программ – визуальная проверка траектории до запуска обработки.
- Цифровые двойники – интеграция в систему «промышленный интернет вещей» (IIoT).

В дальнейшем планируется добавить поддержку других протоколов (Modbus TCP, Ethernet/IP) для работы со старыми станками, а также реализовать запись и воспроизведение сеансов работы.

В статье предложен подход к реализации средств визуализации работы станка с ЧПУ, объединяющая модуль OPC UA и технологии виртуальной реальности. Разработано тестовое приложение на базе Unity, определены классы и алгоритмы получения и обработки данных. Выполнено тестирование на цифровом двойнике системы «АксиОМА Контроль», подтвердившее работоспособность и соответствие требованиям по производительности. Полученные результаты могут быть использованы при создании тренажеров для операторов, систем удаленного мониторинга и цифровых двойников производственного оборудования.

## Список литературы

1. Р. Нежметдинов, И. Ковалев и Р. Чумак, «Моделирование взаимодействия технологических объектов на производственных площадках в среде виртуальной реальности», Международная конференция по автоматизации России (RusAutoCon), Сочи, Российская Федерация, 2023, стр. 900-905. Р.А. 2
2. Нежметдинов, П.А. Никишечкин, И.А. Ковалев, Н.Ю. Червоннова Подход к построению систем логического управления технологическим оборудованием для реализации концепции «Индустрия 4.0» // Автоматизация в промышленности, №5. 2017. с.5-9
3. Никишечкин П.А., Ковалев И.А., Григорьев А.С., Никич А.Н. Кроссплатформенная система сбора и обработки диагностической информации о работе технологического оборудования // Вестник МГТУ Станкин. – 2017. – № 1 (40). – С. 94-98.
4. Н. Кротова и Р. Пушков, «Применение технического зрения для автоматизации циклов измерения на станках с ЧПУ», Международная Уральская конференция по электроэнергетике (УралКон), Магнитогорск, Российская Федерация, 2023, стр. 639-645
5. Квашнин Д.Ю., Ковалёв И.А., Ненарокомов М, Червоннова Н.Ю. Идентификация оператора станка ЧПУ с применением комбинированного способа // Автоматизация в промышленности 2022. № 05

## References

1. R. Nezhmetdinov, I. Kovalev and R. Chumak, "Modeling the Interaction of Technological Objects at Production Sites in a Virtual Reality Environment," 2023 *International Russian Automation Conference (RusAutoCon)*, Sochi, Russian Federation, 2023, pp. 900-905

2. Nikishechkin P. A., Kovalev I. A., Grigoriev A. S., Nikich A. N. Cross-platform system for collecting and processing diagnostic information on the operation of process equipment // Bulletin of MSTU Stankin. - 2017. - No. 1 (40). - P. 94-98.
3. R. A. Nezhmetdinov, P. A. Nikishechkin, I. A. Kovalev, N. Yu. Chervonnova An approach to building logical control systems for process equipment to implement the Industry 4.0 concept // Automation in Industry, No. 5. 2017. pp. 5-9
4. N. Krotova and R. Pushkov, "The Application of Technical Vision for Automation of Measuring Cycles in CNC Machines," *2023 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon)*, Magnitogorsk, Russian Federation, 2023, pp. 639-645
5. Kvashnin D.Yu., Kovalev I.A., Nenarokomov M., Chervonnova N.Yu. Identification of a CNC machine operator using a combined method // Automation in Industry 2022. No. 05