

Национальный Суперкомпьютерный Форум (2025)



НСКФ
25-28 ноября 2025

Онлайн-визуализация суперкомпьютерных вычислений с помощью метода схем

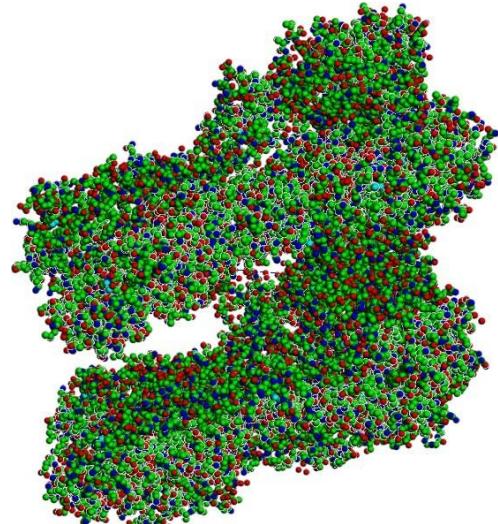
Павел Васёв

Институт математики и механики
им. Н.Н. Красовского УрО РАН

г. Екатеринбург

Основные положения

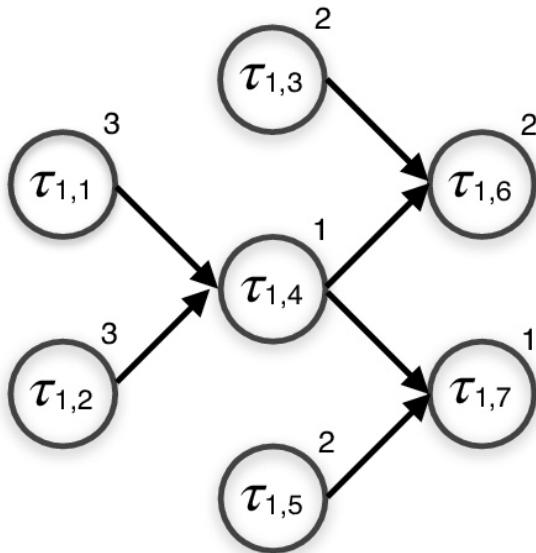
- Разрабатывается метод программирования параллельных вычислительных программ
- Проводится его интеграция с параллельной онлайн-визуализацией



Введение

- Параллельное программирование — сложное.
- Необходимы модели программирования, которые упрощают написание параллельных программ.
- Есть упрощённые модели, есть универсальные.
- Пример упрощённых: map-reduce
- Пример универсальных: LuNA (СО РАН)

Граф задач



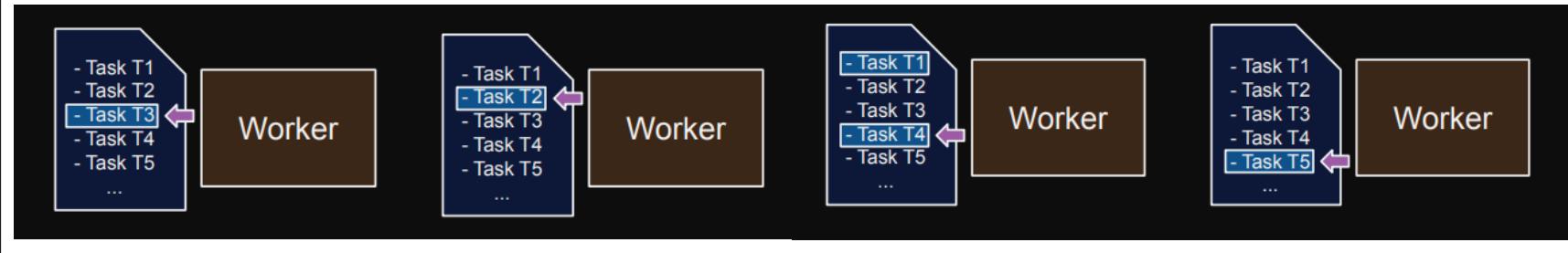
- Вершина = задача = разовое вычисление
- Ребро = **связь между задачами** = выход одной на вход другим.
- Удобно: обещания! Генерируем граф динамически. Связываем задачи через обещания.

```
p = compute0()  
q1 = compute1(p)  
q2 = compute2(p)  
print(q1,q2)
```
- **Плюсы:** параллельную программу можно описать последовательным алгоритмом, например, и это удобно. Автобалансировка. И другие.
- **Минусы:** накладные расходы. Модель не работает на мелкозернистых задачах.

Проблемы графа задач

- Если задачи малы, то накладные расходы на их распределение по кластеру могут превышать вычисления.
- Решение: распределять задачи распределёнными алгоритмами.
- Пример:

Charly Castes, Emmanuel Agullo, Olivier Aumage, Emmanuelle Saillard.
**Decentralized in-order execution of
a sequential task-based code for shared-memory architectures.** [Research
Report] RR-9450, Inria Bordeaux - Sud Ouest. 2022, pp.30. Hal-03547334.



Метод схем

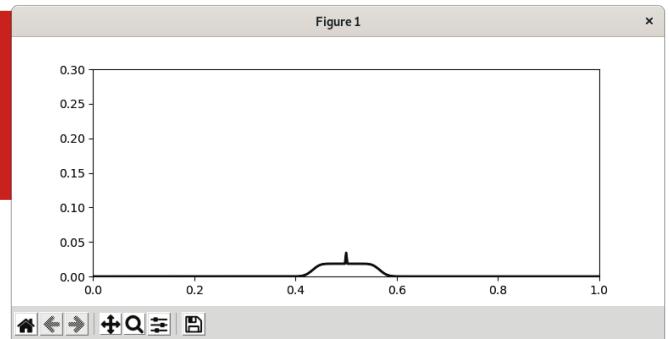
Модуль (блок) – это виртуальный процесс преобразования данных. Задача модуля — определить, на каких исполнителях какие акторы следует запустить.

Порт – это коммуникационный примитив, предназначенный для взаимодействия модулей. Порт это множество каналов, причём множество с определённой структурой.

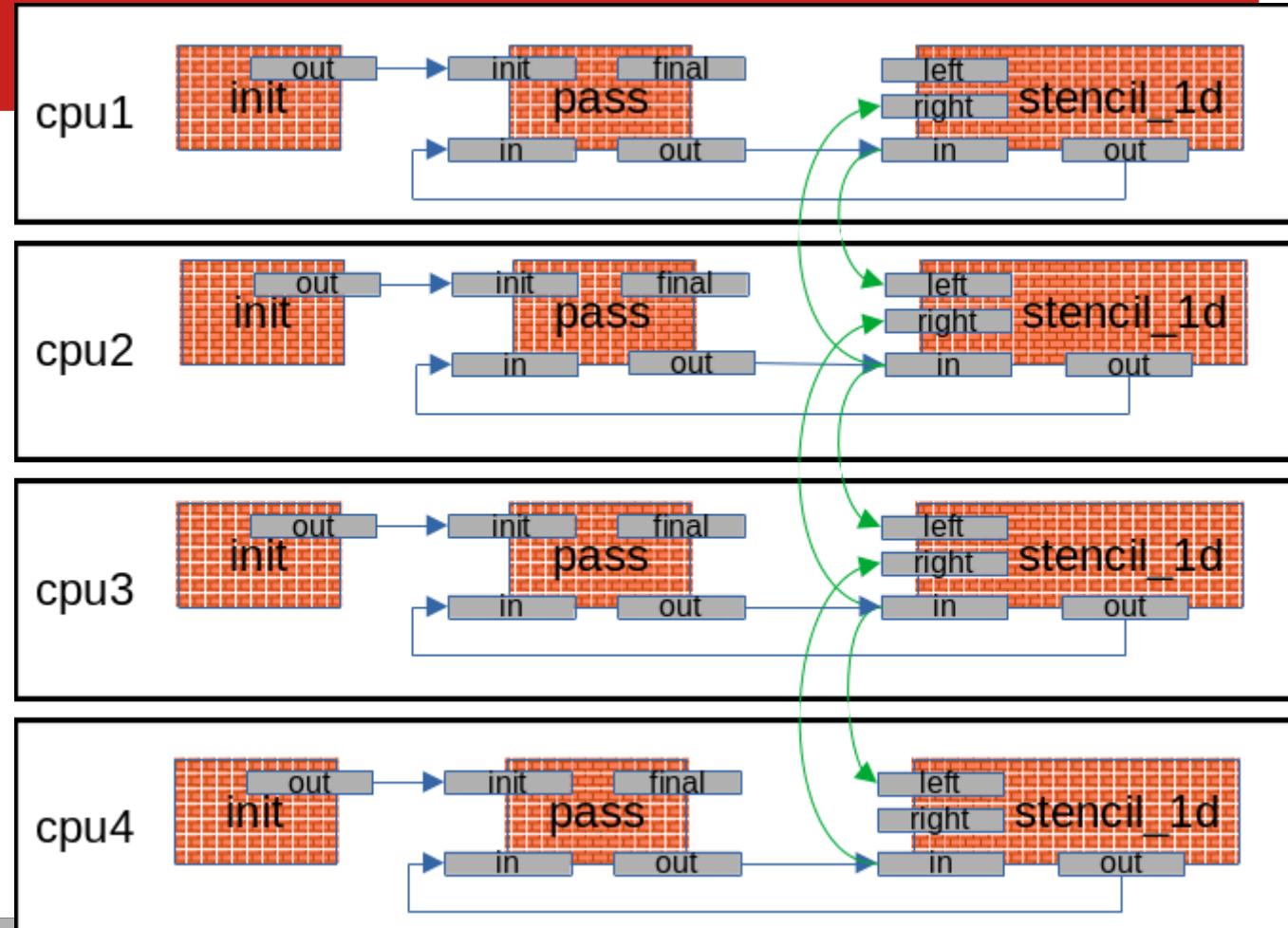
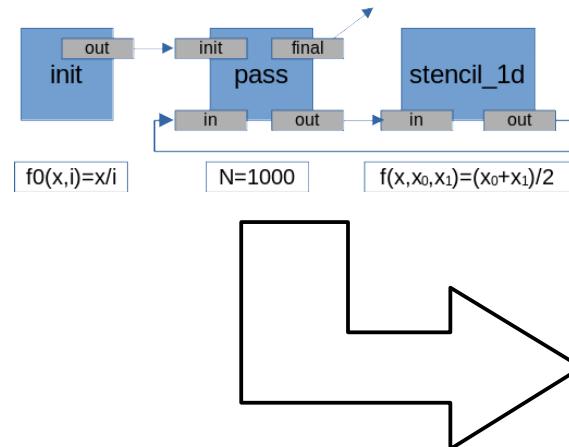
Метка — это виртуальный порт, не принадлежащий никакому модулю.

Связь – это коммуникационный процесс, который обеспечивает передачу информации между портом и меткой. Связь реализуется как набор связей между соответствующими каналами порта и метки, один к одному.

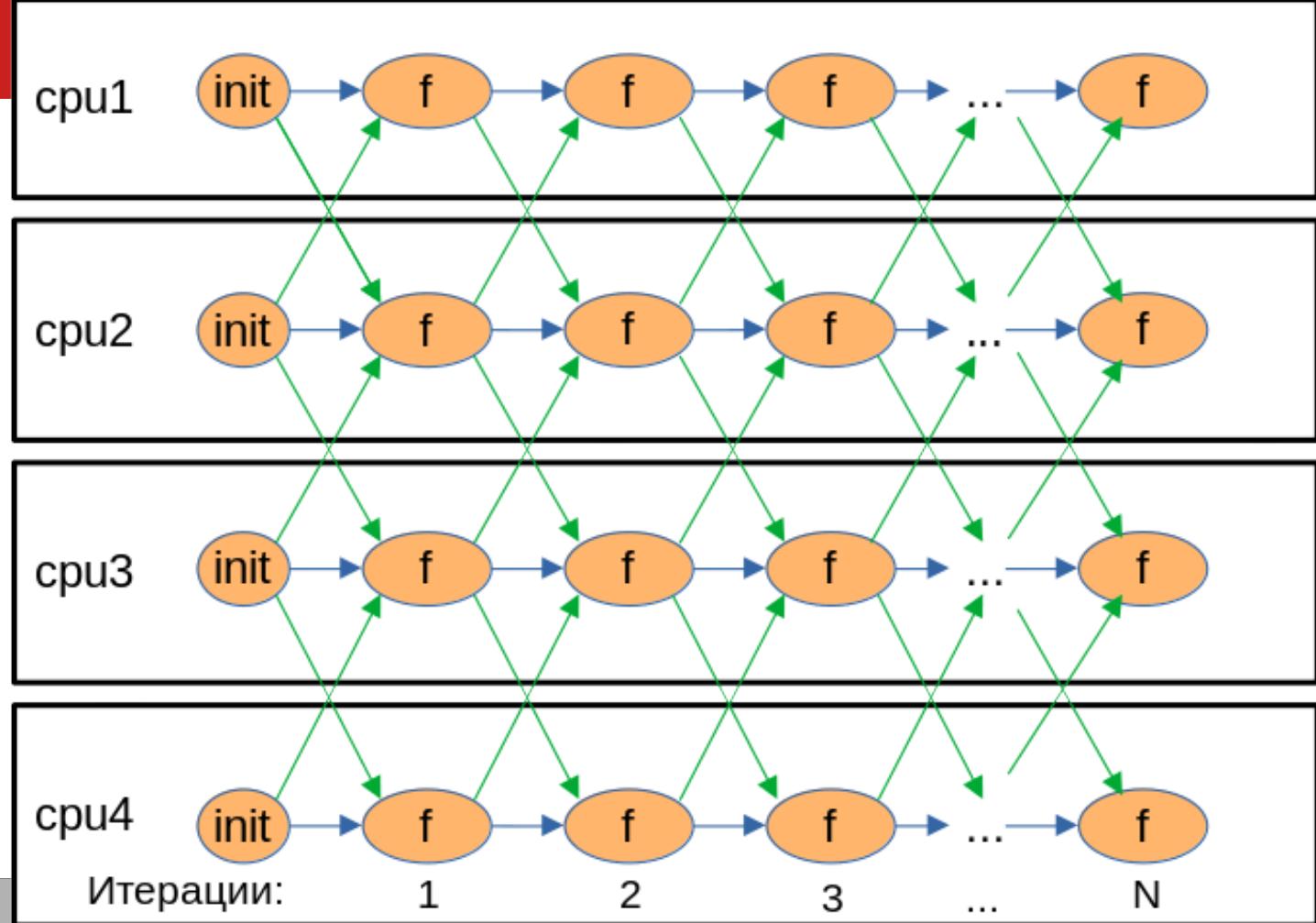
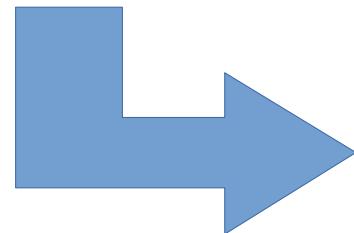
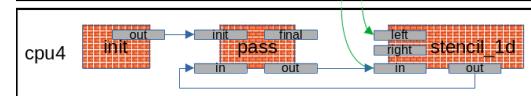
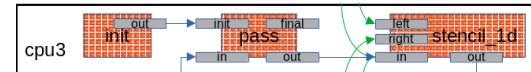
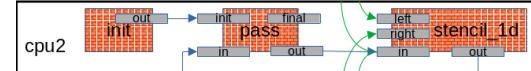
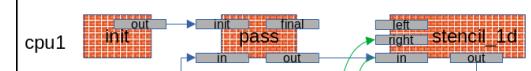
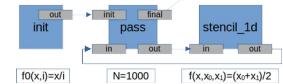
Метод схем. Схема программы



Порождённые процессы -



Граф задач -



Осмысление

1. Реакция на любые входящие сообщения процессов (в смысле Хоара) — есть выполнение задачи в смысле графа задач.
2. MPI-программы по сути являются распределёнными генераторами задач. В таких программах перемешано (interleaved) получение сообщений, реакция на них в форме выполнения задачи, отправка сообщений. Задачи "порождаются" в момент получения сообщений.
3. Аналогичным образом действует и метод схем. Вопрос в том, что удобнее применять для программиста.

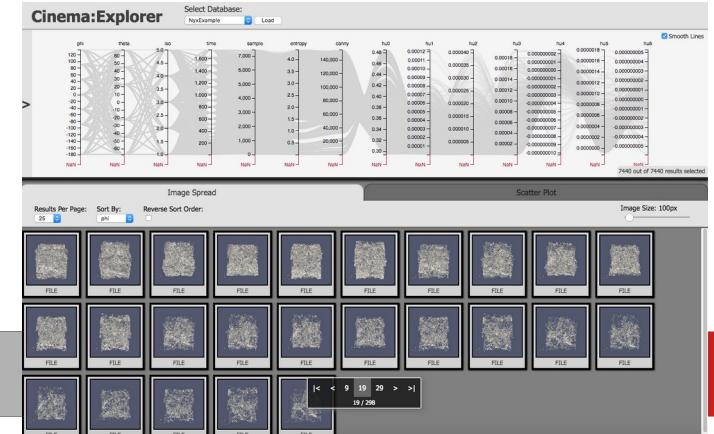
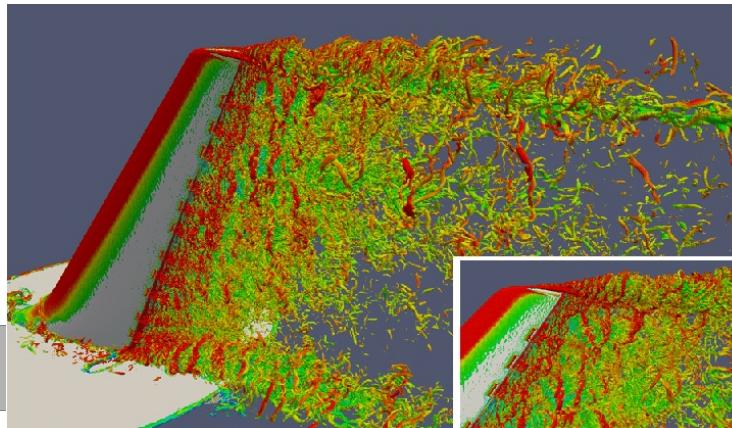
Перспективы:

- автоматическая балансировка
- улучшенная управляемость структуры вычисления: модули можно убирать, соединять, заменять, брать модули из разных аппаратных и языковых сред
- динамическое подключение и отключение частей вычислений

Онлайн-визуализация

Возможность визуализации вычислений по ходу.

- 1. Сохранение визуальной истории по ходу вычислений. Для последующего ретроспективного анализа. Чтобы не сохранять данные. CinemaScience. In situ.**
- 2. Неинтерактивная онлайн-визуализация. Возможность увидеть, что происходит сейчас, каковы текущие результаты.**
- 3. Интерактивная онлайн-визуализация. Возможность управлять точкой зрения, параметрами визуализации.**
- 4. Интерактивное управление вычислениями. Виртуальный испытательный стенд.**



Сохранение визуальной истории.

step100.dat

step200.dat

step300.dat

....

step10000.dat

----- или -----

step100.png

step200.png

step300.png

....

step10000.png

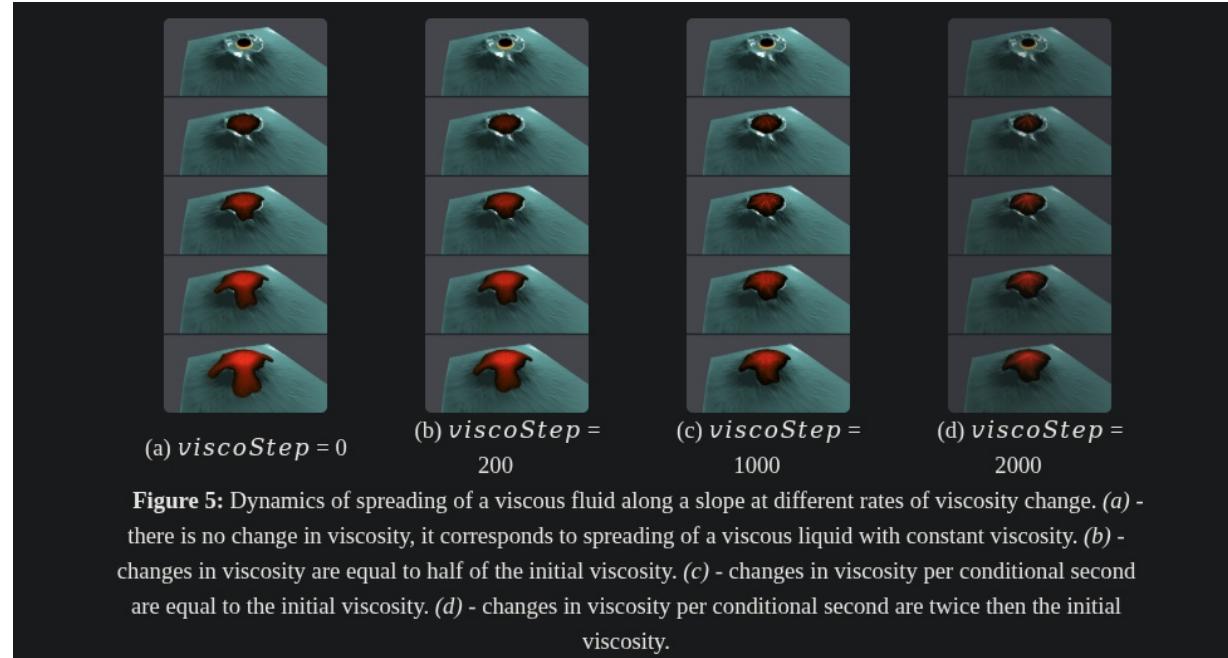
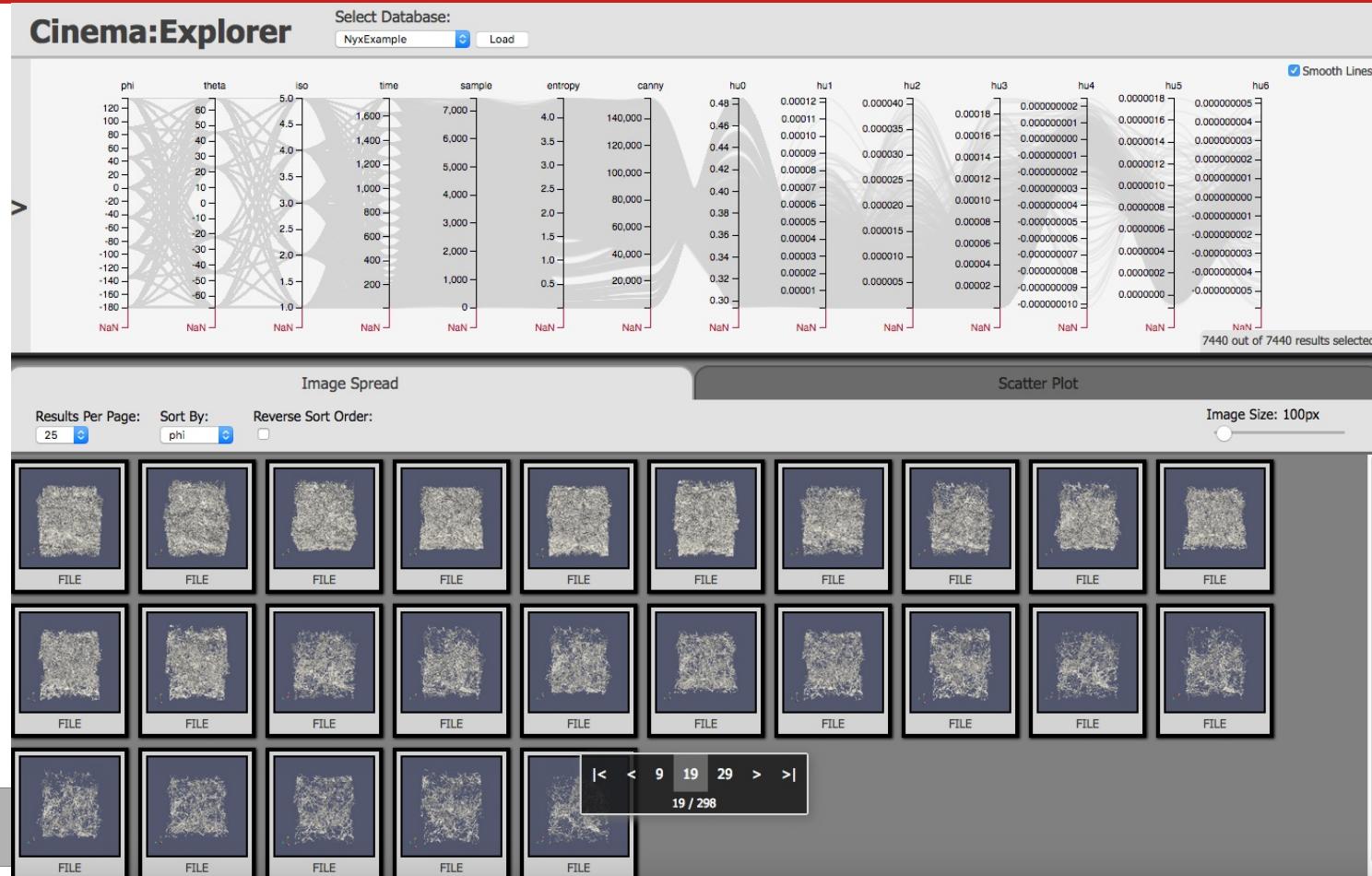
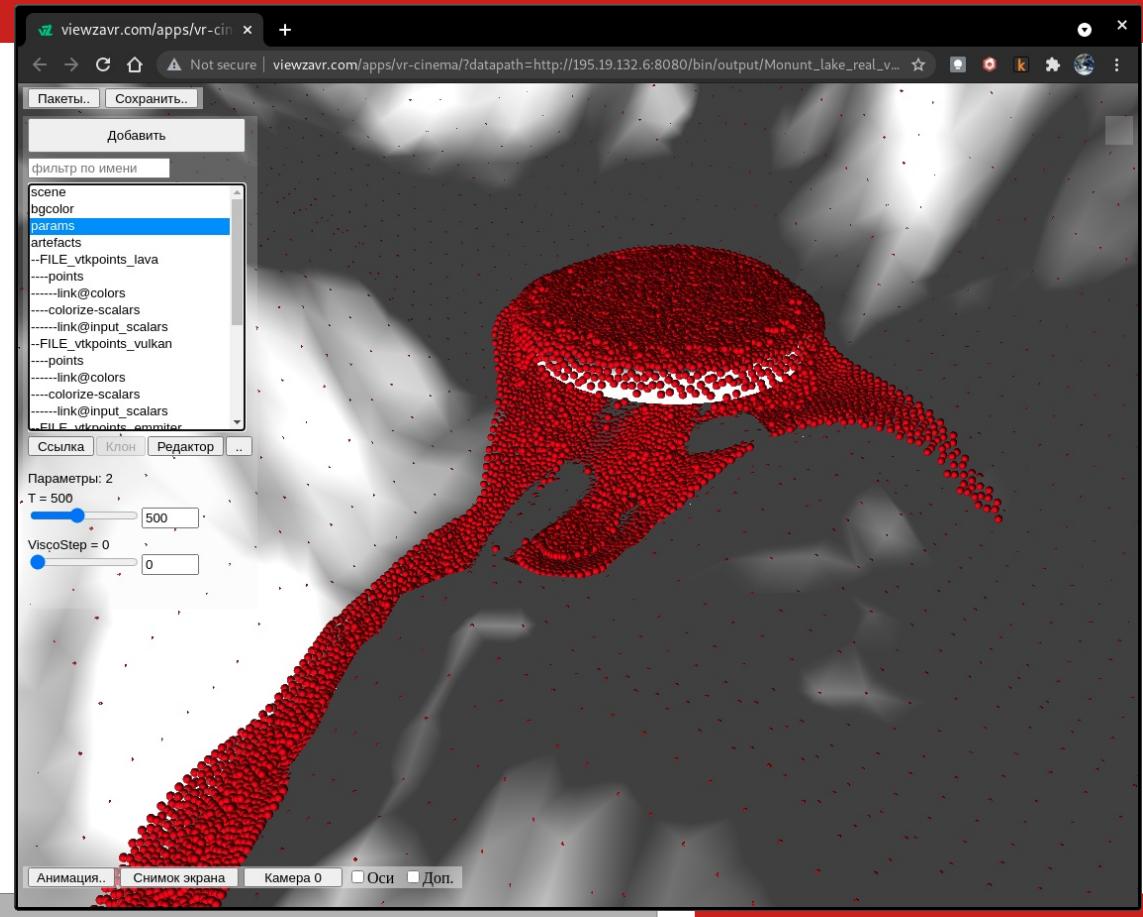
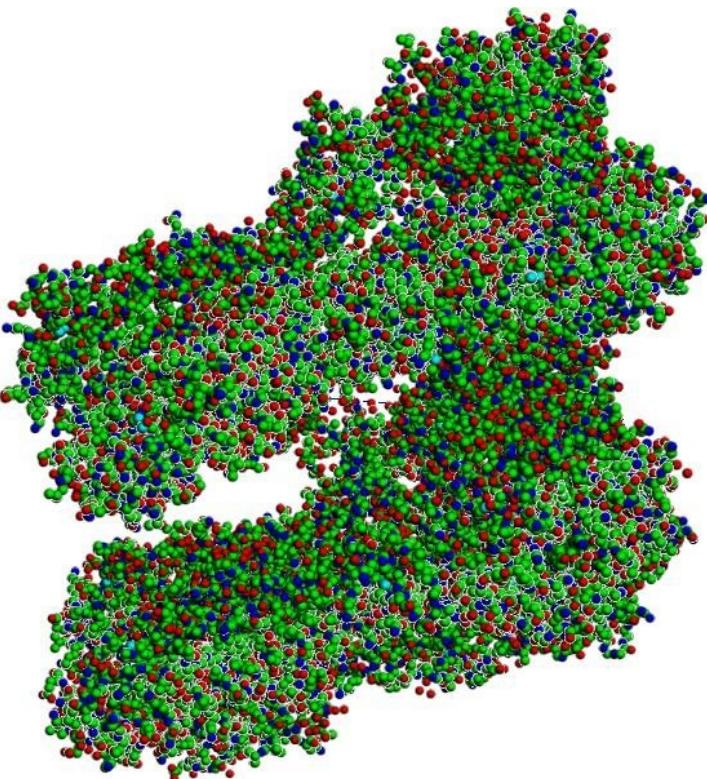


Figure 5: Dynamics of spreading of a viscous fluid along a slope at different rates of viscosity change. (a) - there is no change in viscosity, it corresponds to spreading of a viscous liquid with constant viscosity. (b) - changes in viscosity are equal to half of the initial viscosity. (c) - changes in viscosity per conditional second are equal to the initial viscosity. (d) - changes in viscosity per conditional second are twice then the initial viscosity.

Сохранение визуальной истории. CinemaScience



CinemaScience 3D



Неинтерактивная онлайн-визуализация

- сохранение текущих результатов в форме данных, и их визуализация отдельными инструментами при необходимости
- сохранение текущих результатов в визуальной форме

current.dat

----- или

current.png

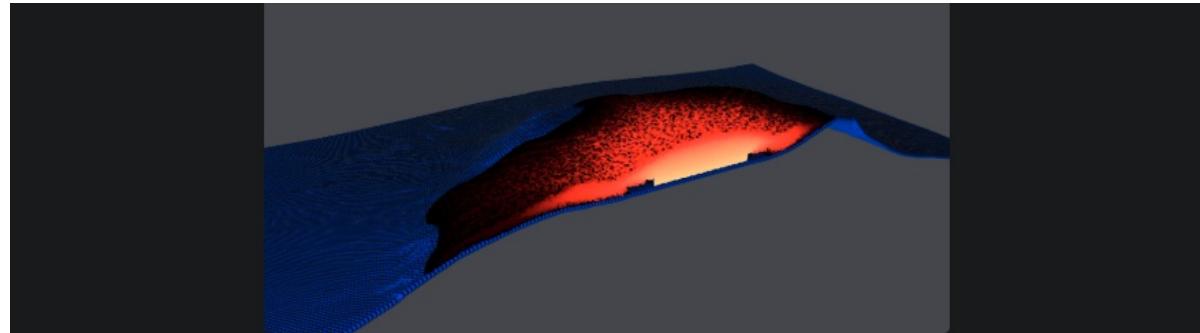
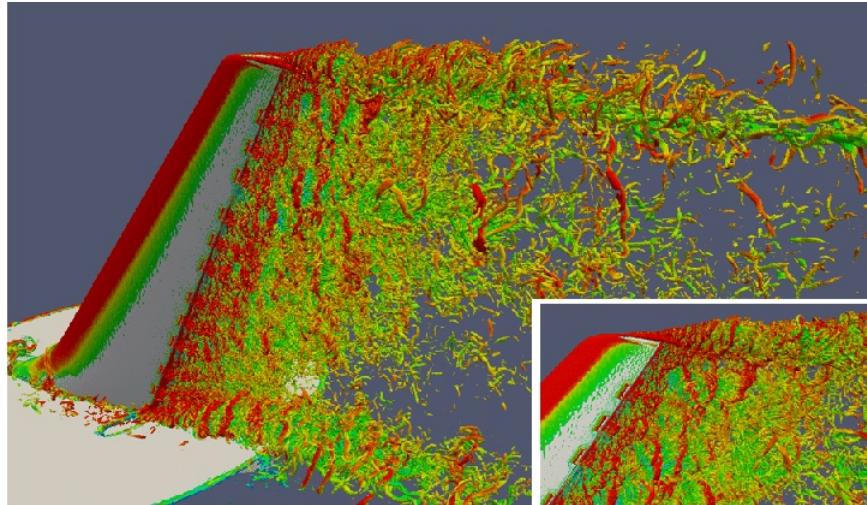


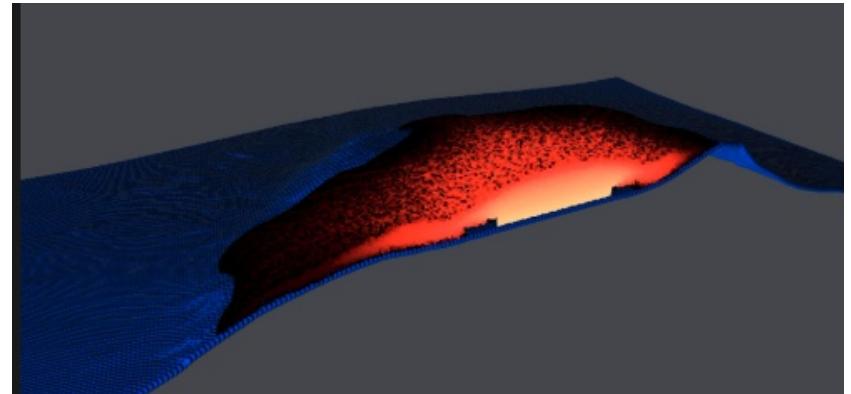
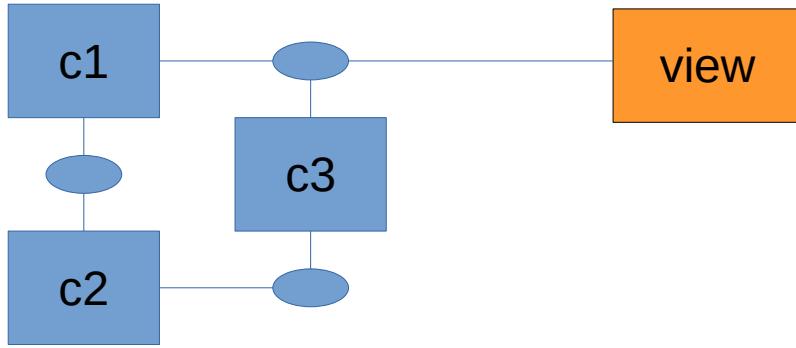
Figure 4: The result of numerical simulation of the spreading of a viscous fluid along a slope. On the cut, the color indicates the viscosity of liquid particles, from yellow (low viscosity, $10^5 \text{ Pa} \cdot \text{s}$) to black (high viscosity, $3 * 10^7 \text{ Pa} \cdot \text{s}$)

Интерактивная онлайн-визуализация

Возможность подключиться к вычислению по мере необходимости и "путешествовать" в его состоянии.

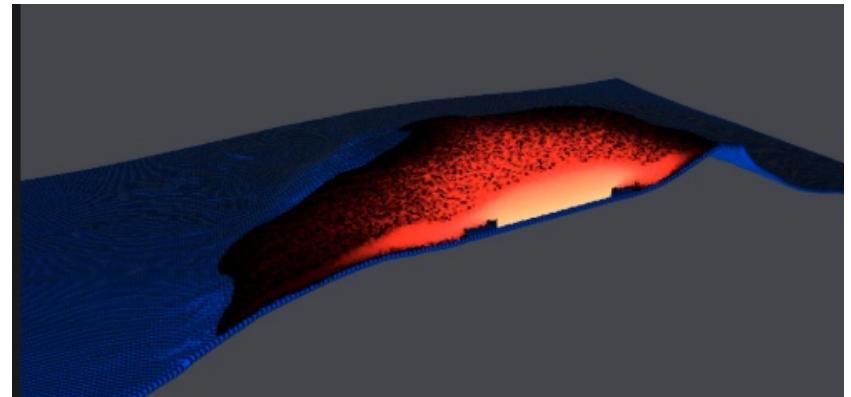
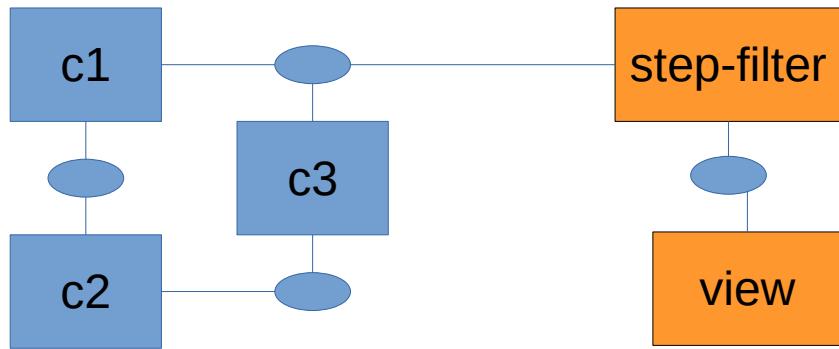


Онлайн-визуализация и метод схем



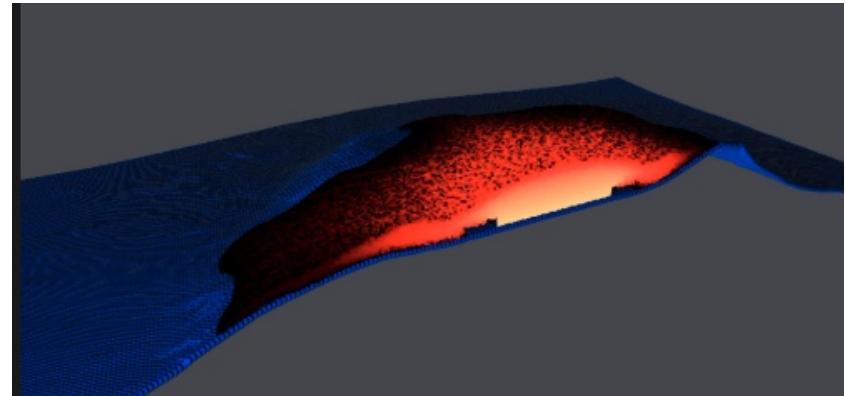
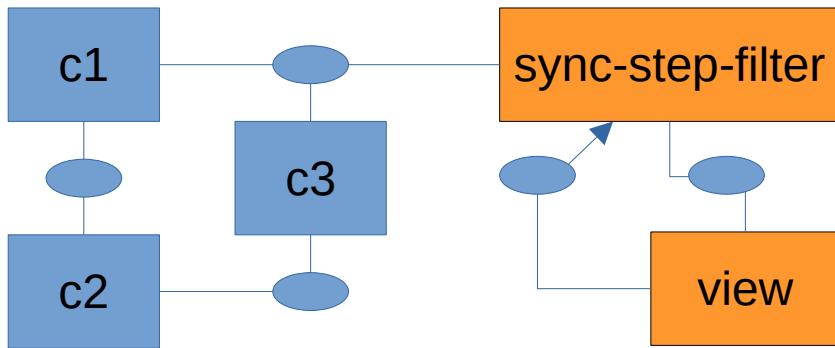
По мере необходимости запускается дополнительная схема для визуализации.
Она соединяется с точками вычислительной схемы.

Онлайн-визуализация и метод схем



При необходимости устанавливается фильтр по шагам,
чтобы строить изображения только каждого K-го шага.

Онлайн-визуализация и метод схем



Если не нужен каждый К-шаг, то делается более сложная схема для отрисовки кадров по запросу визуального представления. После получения такого запроса, выбирается номер шага который будет отрисован совместно, и этот номер распределяется по всем процессам фильтра.

Справочно

Граф задач:

Pavel Vasev, A Computational Model for Interactive Visualization of High-Performance Computations // In: Voevodin, V., Sobolev, S., Yakobovskiy, M., Shagaliev, R. (eds) Supercomputing. RuSCDays 2023. Lecture Notes in Computer Science, vol 14389. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-49435-2_9

Метод итераций:

Васёв П.А., Метод итераций для графов задач // Параллельные вычислительные технологии – XVIII всероссийская конференция с международным участием, ПаВТ'2024, г. Челябинск, 2–4 апреля 2024 г. Короткие статьи и описания плакатов. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2024. С. 182. ISBN 978-5-696-05450-6. DOI: <https://doi.org/10.14529/pct2024>

Метод схем:

П.А. Васёв, С.В. Поршнев, Метод схем для эффективного выполнения графов задач // Параллельные вычислительные технологии – XIX всероссийская конференция с международным участием, ПаВТ'2025, г. Москва, 8–10 апреля 2025 г. Короткие статьи и описания плакатов. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2025. С. 116-131. DOI: <https://doi.org/10.14529/pct2025>



Благодарю за
внимание!

[github.com/
pavelvasev/ppk](https://github.com/pavelvasev/ppk)

vasev@imm.uran.ru

Павел Васёв

Онлайн-визуализация суперкомпьютерных вычислений с помощью метода схем



github.com/pavelvasev/mqvis