

Технология нестинга региональной модели океана в глобальную с использованием вычислительной платформы SMF3.0 для массивно-параллельных компьютеров

25-26 сентября 2017 г. Суперкомпьютерные дни в России

Кауркин Максим Николаевич
Коромыслов Александр Юрьевич
чл.-корр. РАН Ибраев Рашит Ахметзиевич

Москва, 2017

Модель динамики океана (ИВМИО)

- Система уравнений трёхмерной динамики океана (в приближениях Буссинеска и гидростатики [*Ибраев, Хабеев, Ушаков, 2012*])
 - Численные методы (*Явные, Метод конечных объёмов*)
 - Сетка (*типа B с z-координатами по вертикали*)
 - Параметризации
- **Глобальная модель** — модель, описывающая процессы, происходящие в Мировом океане
- **Локальная модель** — модель, описывающая процессы, происходящие в локальной области Мирового океана (например море)
- **Нестинг** — способ организации информации или подобных объектов, когда один из них вложен в другой. В данном контексте подразумевается реализация обменов данными между **Локальной** и **Глобальной** моделями океана.

Модель динамики океана (ИВМИО)

- Система уравнений трёхмерной динамики океана (в приближениях Буссинеска и гидростатики [*Ибраев, Хабеев, Ушаков, 2012*])
 - Численные методы (*Явные, Метод конечных объёмов*)
 - Сетка (*типа B с z-координатами по вертикали*)
 - Параметризации
- **Глобальная модель** — модель, описывающая процессы, происходящие в Мировом океане
- **Локальная модель** — модель, описывающая процессы, происходящие в локальной области Мирового океана (например море)
- **Нестинг** — способ организации информации или подобных объектов, когда один из них вложен в другой. В данном контексте подразумевается реализация обменов данными между **Локальной** и **Глобальной** моделями океана.

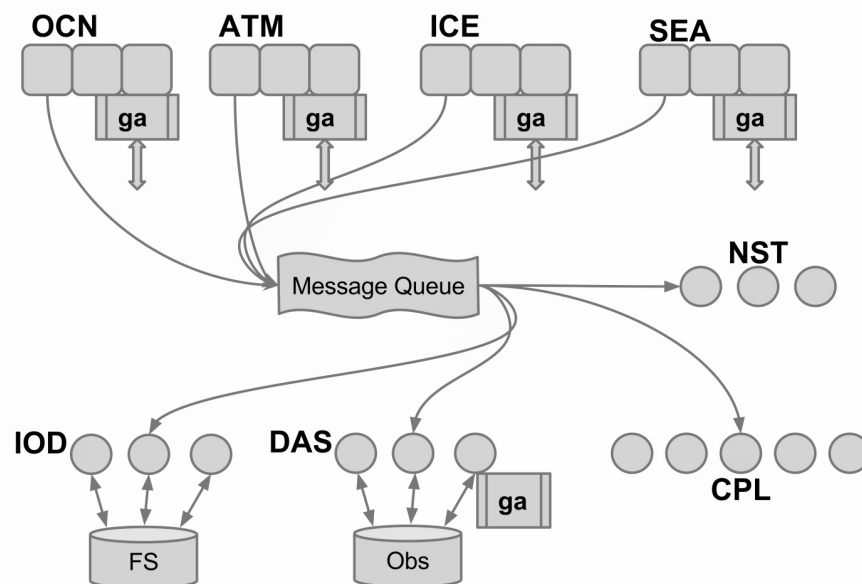
Compact Modeling Framework CMF3.0

[Kalmykov et al, 2015],[Kaurkin et al, 2016]

CMF 3.0 (Compact Modeling Framework 3.0) — программный комплекс совместного моделирования. Используется для решения задач моделирования Земной системы и ее компонентов высокого разрешения на СК с распределенной памятью.

Решает задачи:

- Межпроцессорных обменов (**CPL**)
- Интерполяции данных между различными модельными сетками компонентов (**CPL**)
- Работа с файловой системой (ввод/вывод данных) (**IOD**)
- Усвоения данных наблюдений (**DAS**)
- Нестинга (постановка гр. условий) (NST)



Постановка задачи

При использовании **локальных** моделей океана (модели моря) возникает задача обеспечения модели **граничными условиями**.

Предлагается алгоритм **одностороннего нестинга** (включение с обеспечением гр. условий) **локальной модели** области океана в модель **глобального океана ИВМИО**.

Подзадачи:

- Генерация требуемых данных гр. условий
- Передача информации нужным вычислительным ядрам

Локальная и глобальная модели работают как компоненты Земной системы под управлением **CMF3.0** (как единая MPI-программа), а алгоритм **нестинга** реализован в качестве **программного сервиса**.

Формальное описание алгоритма нестинга

Цель

Получить наиболее точное решение в Ω_{loc}

$$\mathbf{L}_{loc} \mathbf{u}_{loc} = \mathbf{f}_{loc} \quad \Omega_{loc} \times [\mathbf{0}, \mathbf{T}]$$

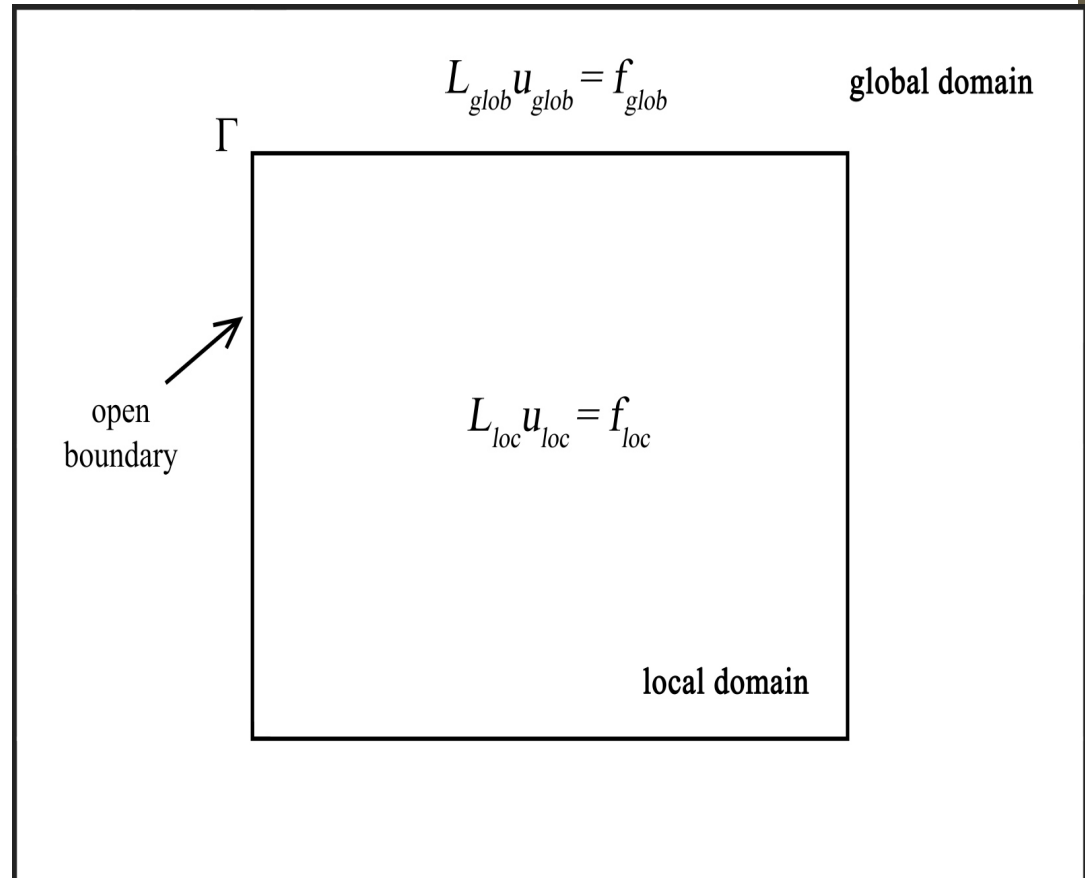
$\mathbf{L}_{loc}$ — дифференциальный оператор в частных производных;

$\mathbf{u}_{loc}$ — переменная состояния; $\mathbf{f}_{loc}$ — модельный форсинг.

Ω_{loc} — не является замкнутой, часть его границы не является сплошной «стенкой» (не имеет физического представления).

Такая граница называется **открытой**, обозначим Γ .

$\mathbf{u}_{loc}$ взаимодействует с внешним океаном через Γ



Формальное описание алгоритма нестинга

Есть представление (*возможно, менее точное!*) о внешнем океане в виде некоторых данных $\mathbf{u}_{\text{ext}}$

либо в виде внешней модели (**глобальной модели**)

$$\mathbf{L}_{\text{ext}} \mathbf{u}_{\text{ext}} = \mathbf{f}_{\text{ext}} \quad \Omega_{\text{ext}} \times [\mathbf{0}, \mathbf{T}]$$

где Ω_{ext} — внешняя океаническая область.

В наших обозначениях Ω_{loc} и Ω_{ext} - не перекрываются

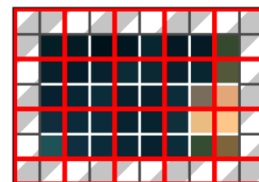
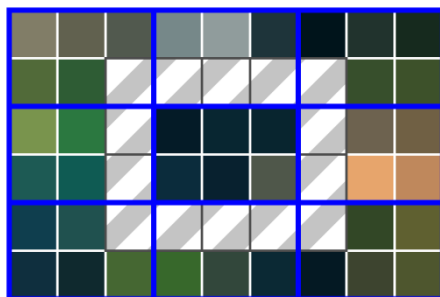
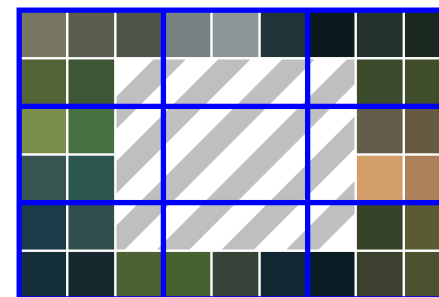
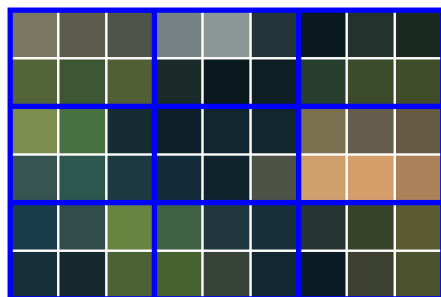
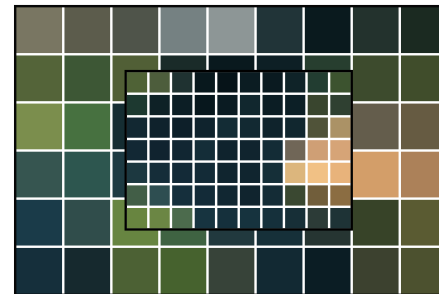
Для одностороннего нестинга:

$$\mathbf{L}_{\text{ext}} \mathbf{u}_{\text{ext}} = \mathbf{f}_{\text{ext}} \quad \Omega_{\text{ext}} \cup \Omega_{\text{loc}} \times [\mathbf{0}, \mathbf{T}]$$

$$\mathbf{L}_{\text{loc}} \mathbf{u}_{\text{loc}} = \mathbf{f}_{\text{loc}} \quad \Omega_{\text{loc}} \times [\mathbf{0}, \mathbf{T}]$$

$$\mathbf{B} \mathbf{u}_{\text{loc}} = \mathbf{B} \mathbf{u}_{\text{ext}} \quad \Gamma \times [\mathbf{0}, \mathbf{T}]$$

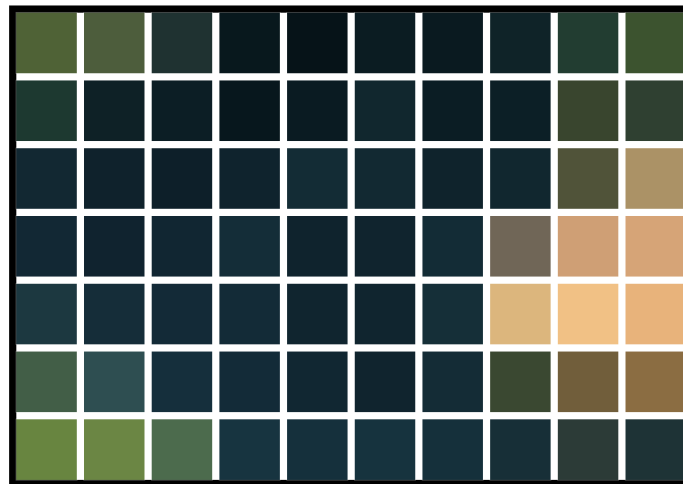
Графическое представление алгоритма нестинга



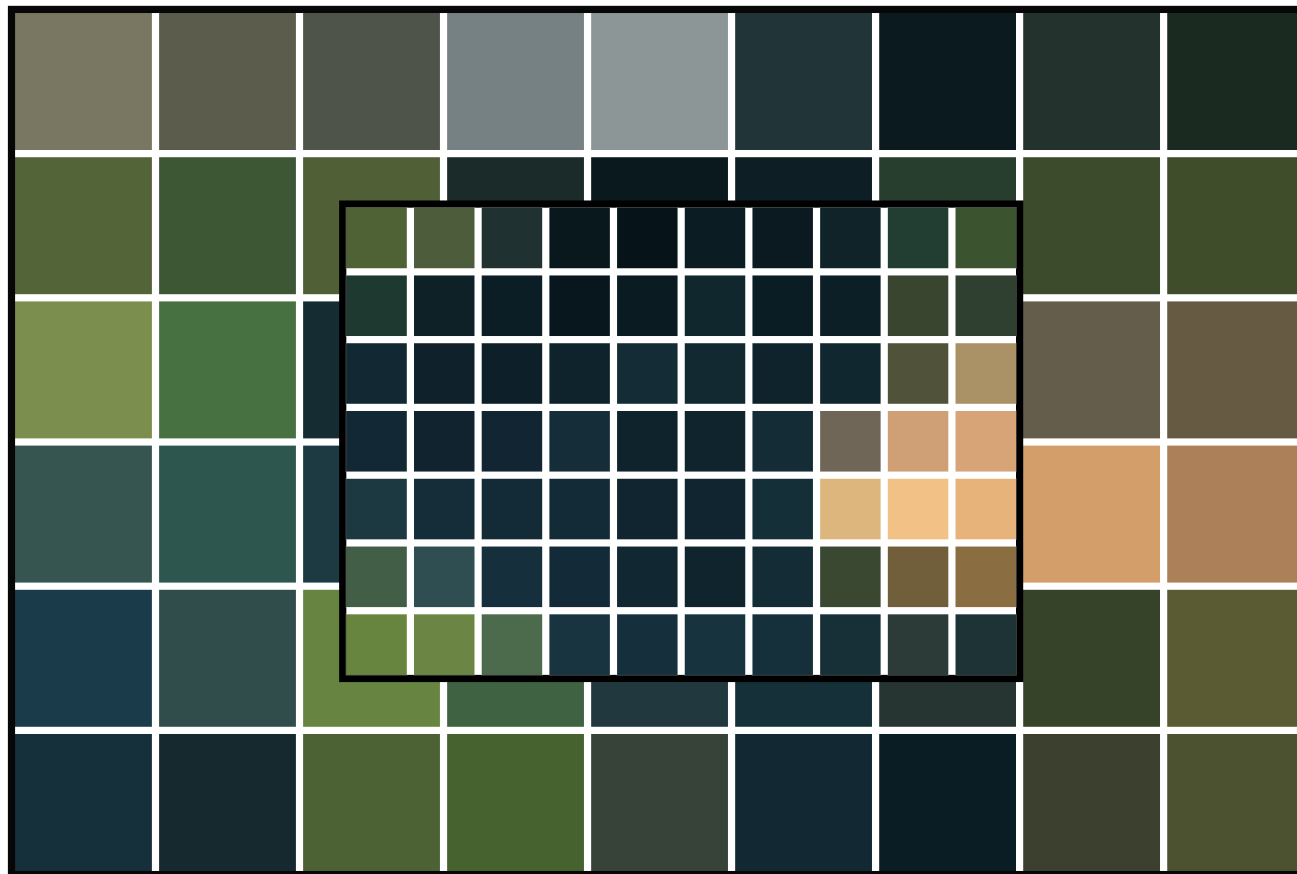
Глобальная модель (разрешение 9 x 6)



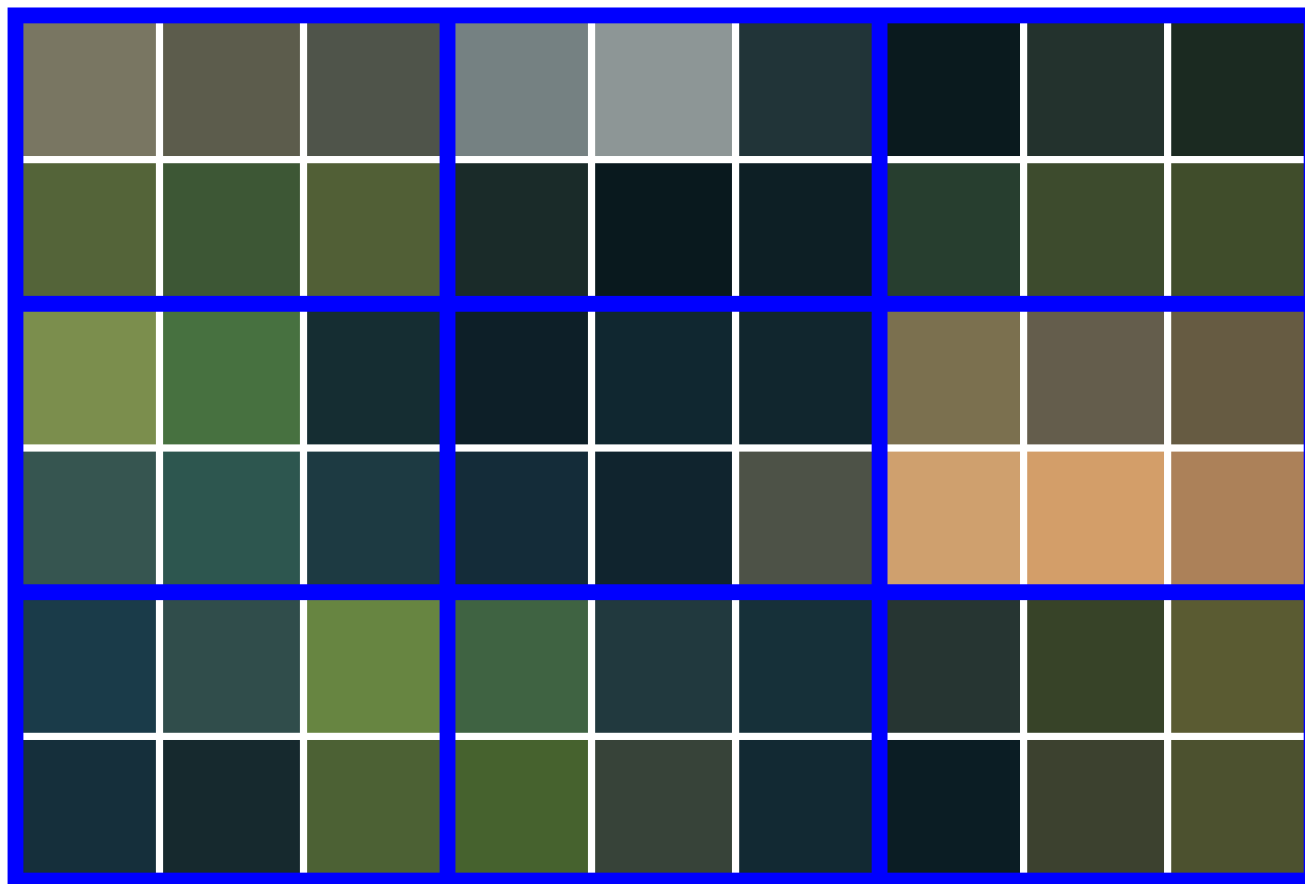
Локальная модель (разрешение 10 x 7)



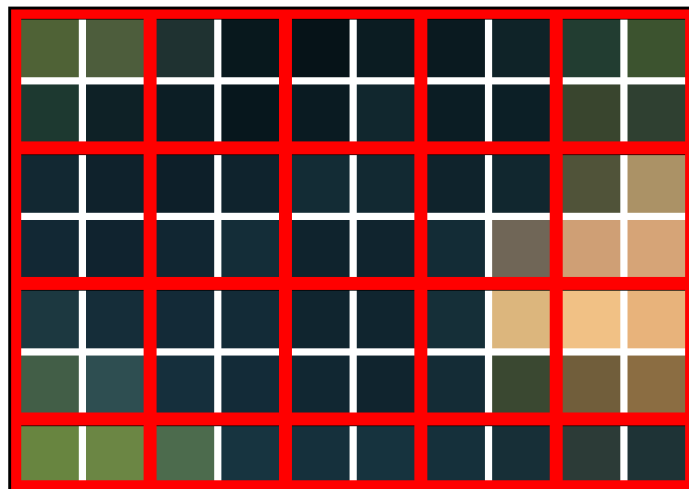
Взаимное расположение глобальной и локальной модели



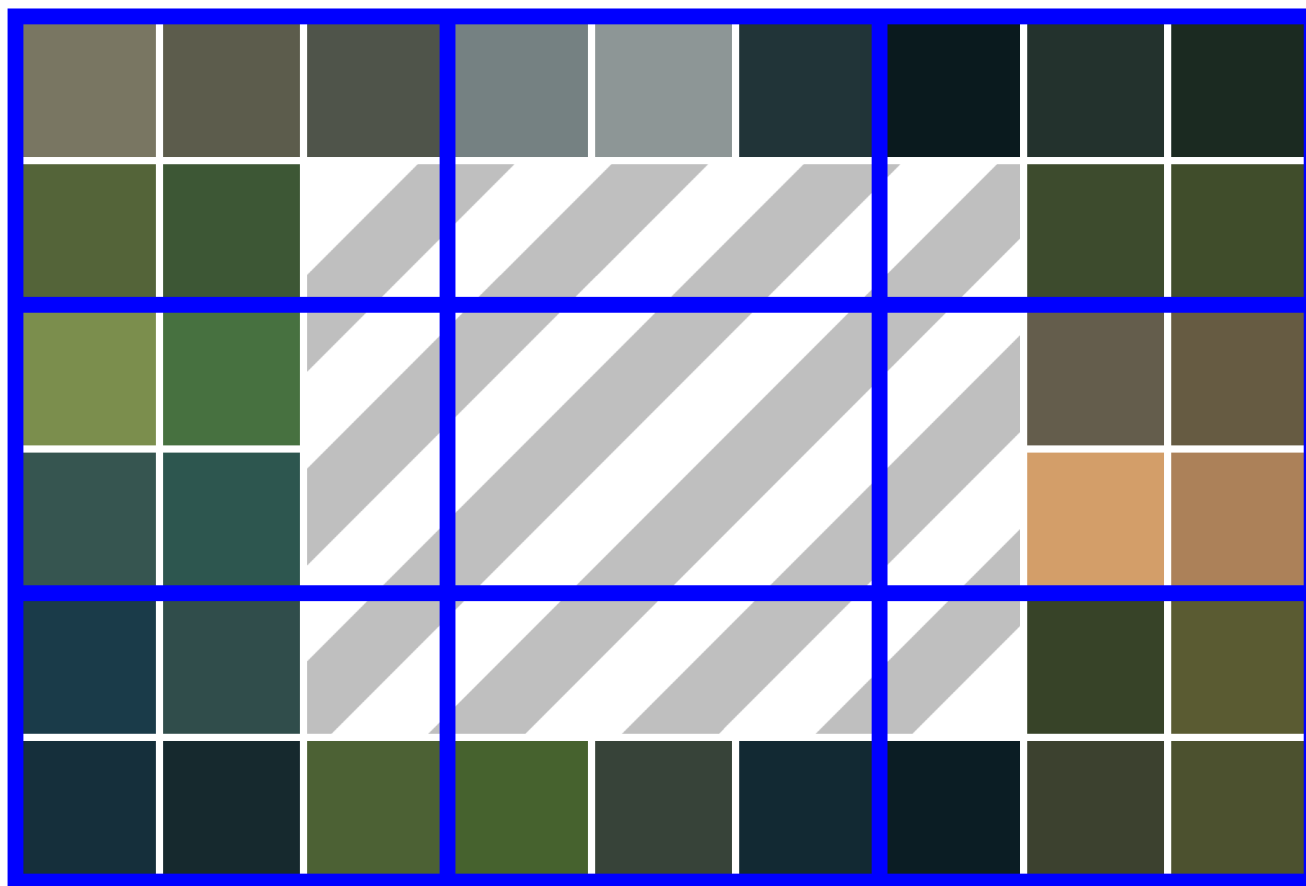
Декомпозиция глобальной модели (9 процессоров)



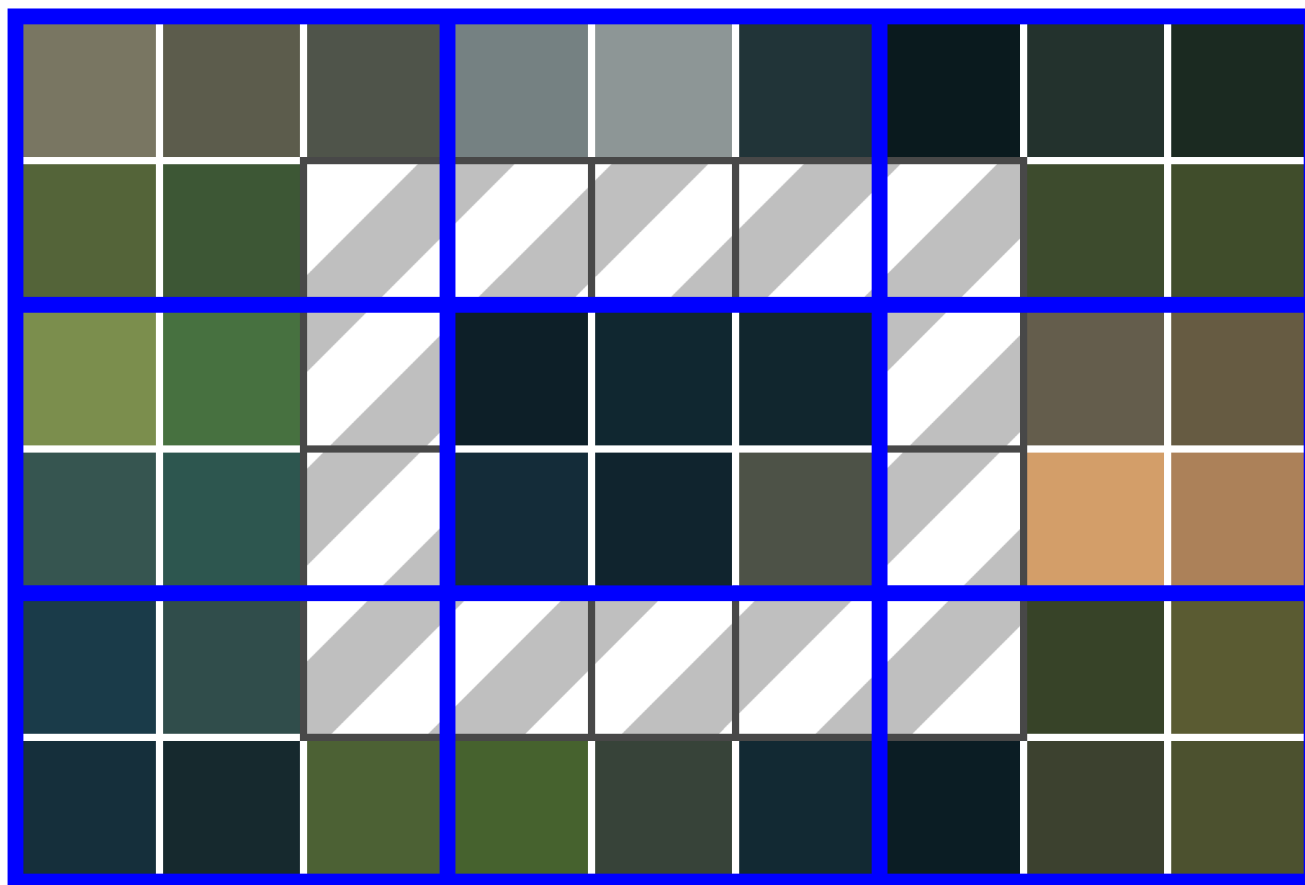
Декомпозиция локальной модели (20 процессоров)



Подобласть глобальной модели, включающая локальную модель



Отправка граничных ячеек, входящих в подобласть, в сервис нестинга



Отправка интерполированных ячеек в локальную модель

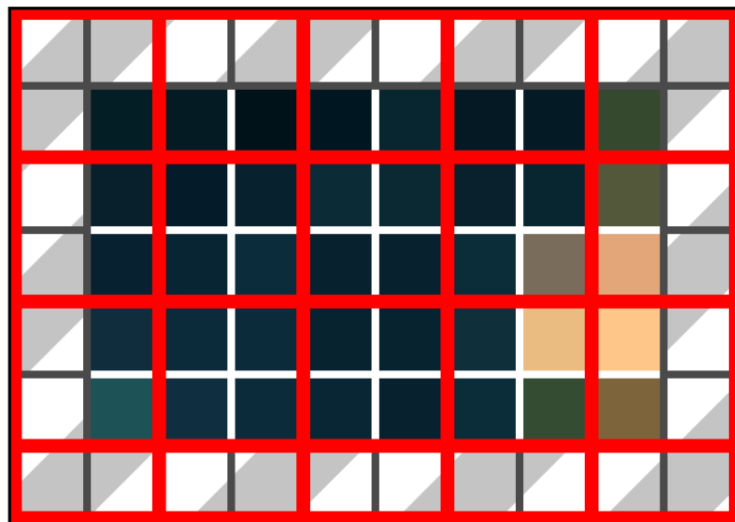


Схема работы сервиса NST

- Генерация начальных условий:

для локальной модели на основании данных форсинга (по аналогии как это сделано для глобальной модели).
- **Передача** сервису NST информации о моделях:
 - названия моделей;
 - шаг по времени и декомпозиция локальной модели;
 - Шаг по времени и декомпозиция глобальной модели;
 - массивы, которые необходимо передавать от глобальной модели к локальной.

Схема работы сервиса NST

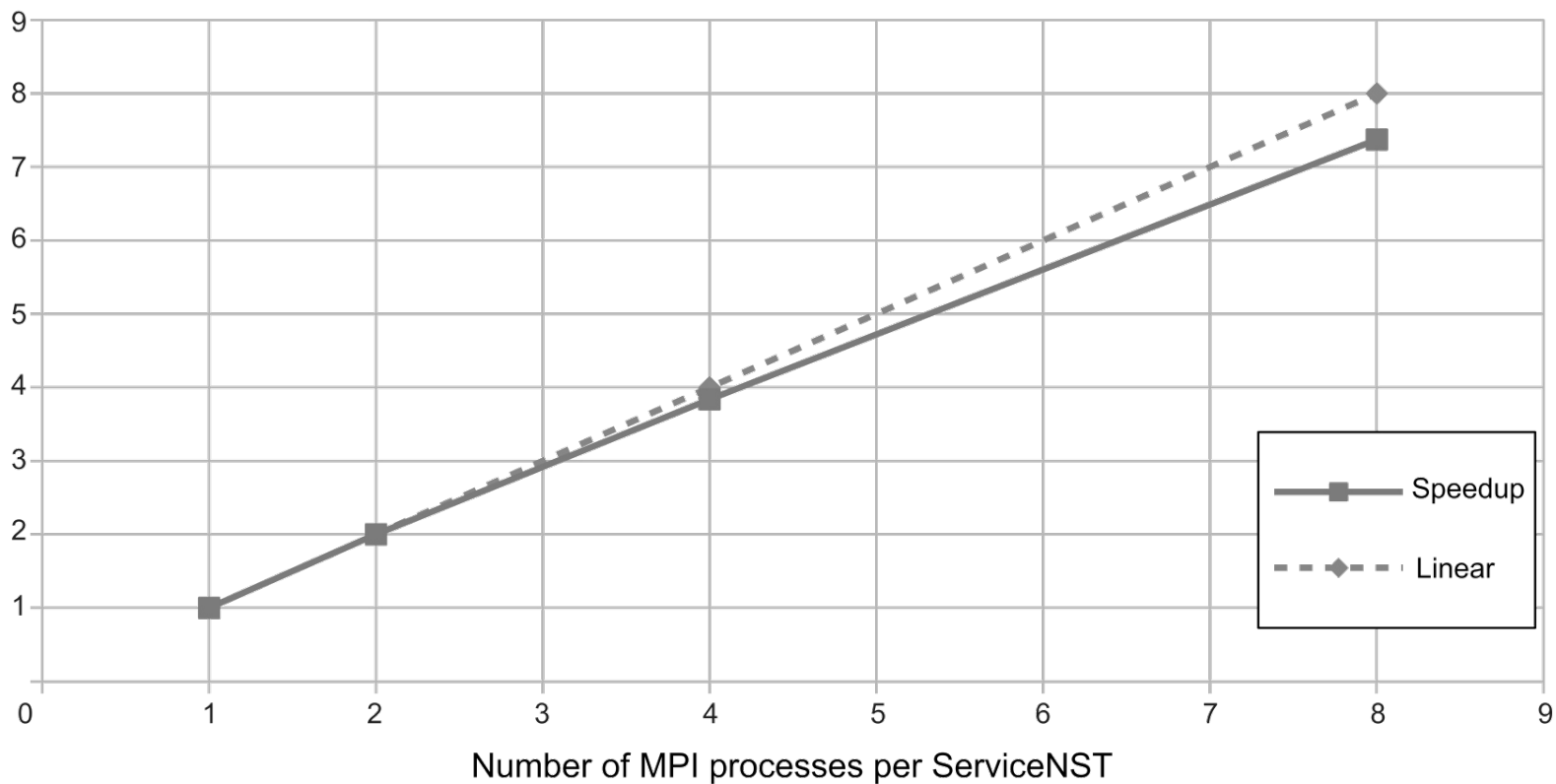
- **Сервис NST** определяет следующие данные:
 - границы **локальной** модели в координатах **глобальной** модели
 - элементы массивов в **глобальной** модели, которые необходимо отправить **локальной** модели
 - элементы массивов в **локальной** модели, которые необходимо принять от **глобальной** модели
- **Глобальная модель** отправляет **сервису NST** данные **локальной** области:
 - Части трехмерных массивов необходимых физических величин

Схема работы сервиса NST

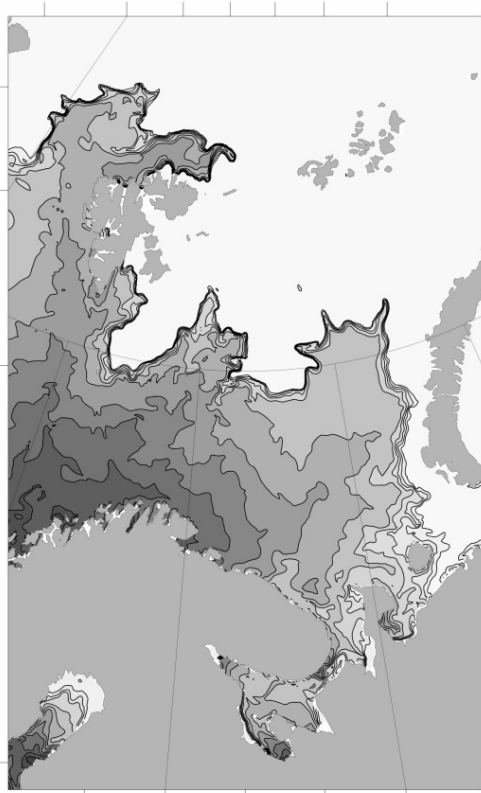
- **Сервис NST** интерполирует данные:
 - происходит интерполяция данных, полученных от глобальной модели, в граничные узлы локальной модели.
- **Сервис NST** отправляет полученные граничные значения в **локальную модель**
- Локальная модель принимает данные от **сервиса NST**, которые затем использует в вычислениях

График масштабируемости

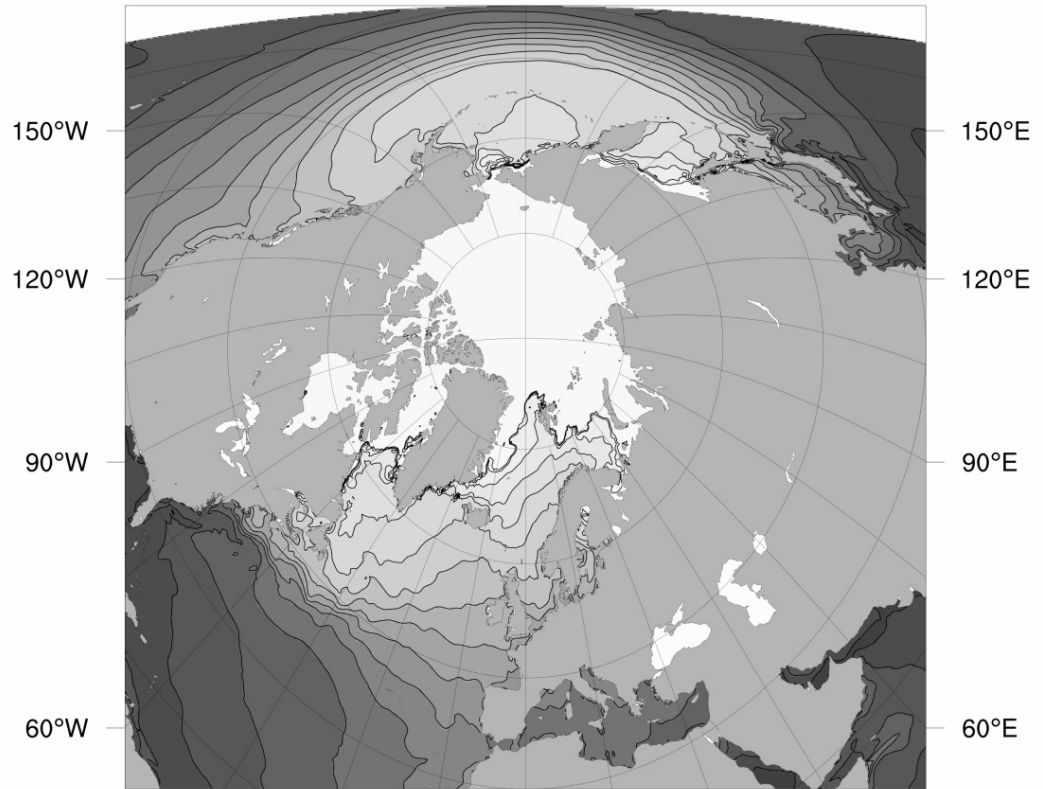
ServiceNST parallel efficiency



Пример использования сервиса NST



a)



b)



- Поле поверхностной температуры

- в модели Мирового океана с разрешением 1° для задания граничных условий в модели моря
- в модели Баренцева моря с пространственным разрешением 0.1°

Заключение

- На основе проведенного анализа разработан алгоритм параллельного нестинга
- Разработанный алгоритм положен в основу программного сервиса **NST**, работающего на базе компактной вычислительной платформы **CMF3.0**
- Приведен пример практического использования разработанной технологии
- Проведенное тестирование производительности сервиса **NST** в среде **CMF3.0** подтвердило численную эффективность предлагаемого подхода