



Разработка параллельных методов оптимизации нанофотонных многослойных тонкопленочных структур изготавливаемых методом наноимпринтинга.

(Направления исследований, реализуемых в СГАУ по программе
“Университетский кластер”)

П.Г. Серафимович[^], С.Б. Попов, С.Н. Хонина^{*^},
Н.Л. Казанский^{*}, В.А. Фурсов,

Самарский государственный аэрокосмический университет,
^{*}Институт систем обработки изображений РАН,

[^] serp@smr.ru, khonina@smr.ru



Характеристики вычислительного кластера СГАУ



Количество ядер	116
Объем RAM	112 Gb
Объем дисковой памяти	~2 Tb
Вычислительная сеть	InfiniBand
Управляющая сеть	Gigabit Ethernet
Эффективность кластера (Linpack)	775 GFlops

Оборудование кластера включает:

Конструктив: HP BLc3000 Twr CTO Enclosure.
Вычислительные узлы: 7 сдвоенных серверов HP ProLiant 2xBL220c.

Управляющий узел: HP ProLiant BL260c.
Источник бесперебойного питания мощностью 8 кВт.



Оптическое моделирование и дизайн наноструктур: структура программного обеспечения на вычислительном кластере СГАУ





Классификация методов решения уравнений Максвелла

$$\frac{d\mathbf{B}}{dt} = -\nabla \times \mathbf{E} - \mathbf{J}_B - \sigma_B \mathbf{B}$$

$$\mathbf{B} = \mu \mathbf{H}$$

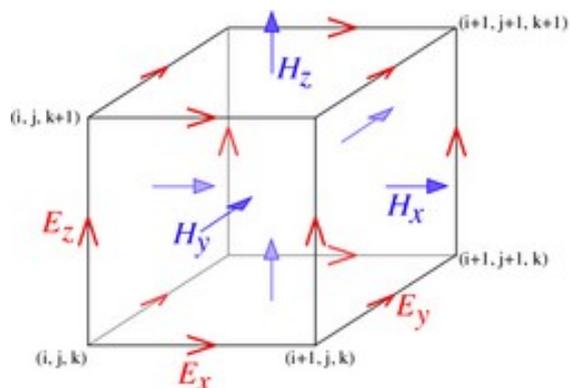
$$\frac{d\mathbf{D}}{dt} = \nabla \times \mathbf{H} - \mathbf{J} - \sigma_D \mathbf{D}$$

$$\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}$$





Метод конечных разностей во временной области - FDTD



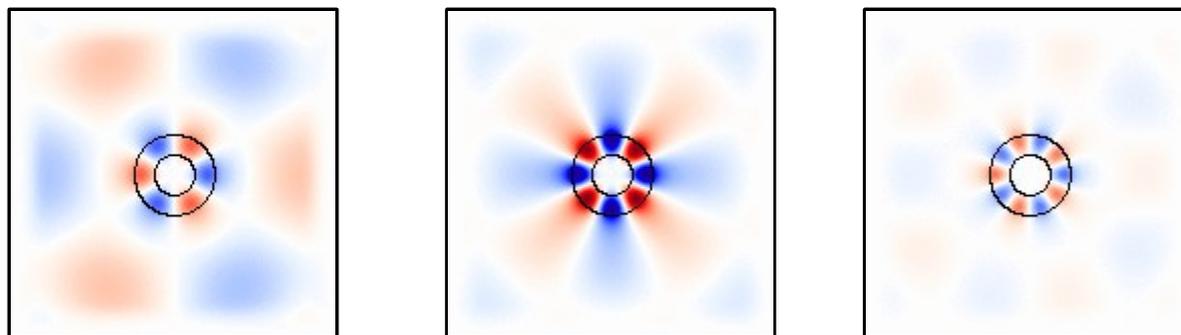
Ячейка сетки FDTD:

отсчеты
электрического и
магнитного поля
сдвинуты друг
относительно друга

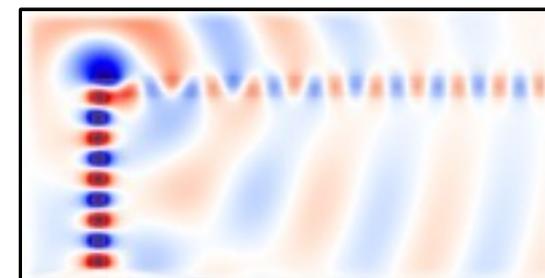
Возможные применения FDTD:

1. Расчет распределения электромагнитного поля и функций Грина
2. Расчет спектральных пропускания и отражения
3. Расчет резонансных мод оптических наноструктур

Пример расчета резонансных мод кольцевого резонатора



Пример расчета электромагнитного поля в изогнутом волноводе



<http://ab-initio.mit.edu/wiki/index.php/Meep> – параллельная программная реализация метода FDTD от MIT

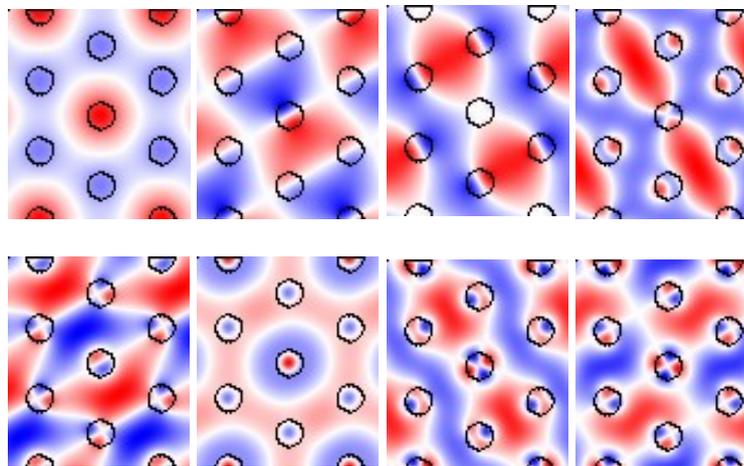
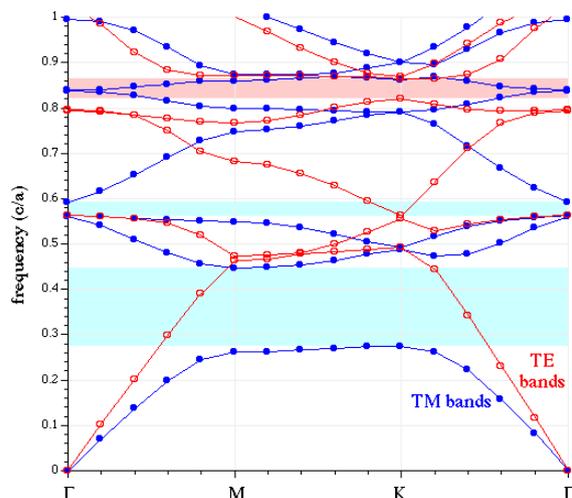


Спектральный метод – Planewave expansion (PWE)

$$\vec{E}(r, t) = \vec{E}(r) e^{-j\omega t} \quad \rightarrow \quad \nabla \times \left[\frac{1}{\varepsilon(r)} \nabla \times \vec{H}(r) \right] = \left(\frac{\omega}{c} \right)^2 \vec{H}(r)$$
$$\vec{H}(r, t) = \vec{H}(r) e^{-j\omega t}$$

Задача на нахождение
собственных значений

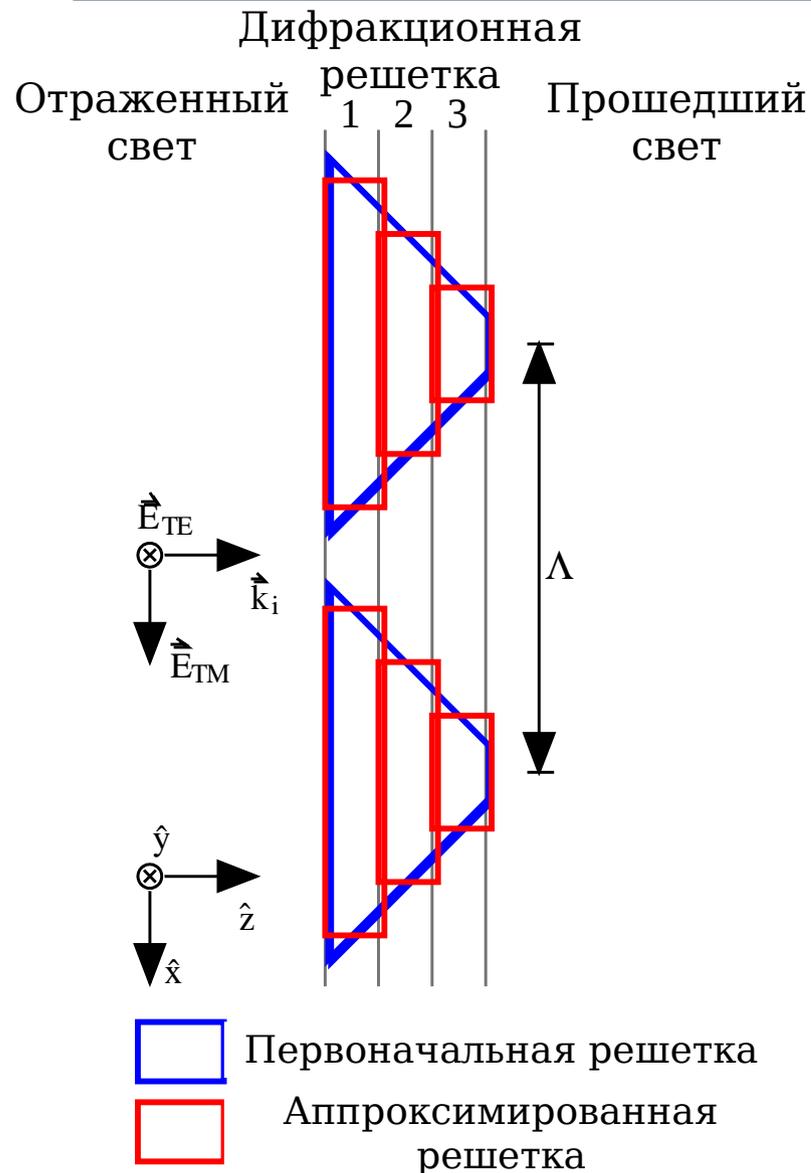
Пример: гексагональная решетка диэлектрических стержней в воздухе,
(а) диаграмма запрещенных зон, (б) ТМ-моды данной структуры.



<http://ab-initio.mit.edu/wiki/index.php/Meep> – параллельная программная реализация метода PWE от MIT



Метод граничных элементов (связанных волн) – Rigorous coupled wave analysis (RCWA)



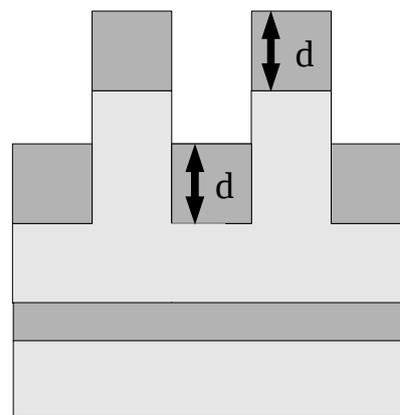
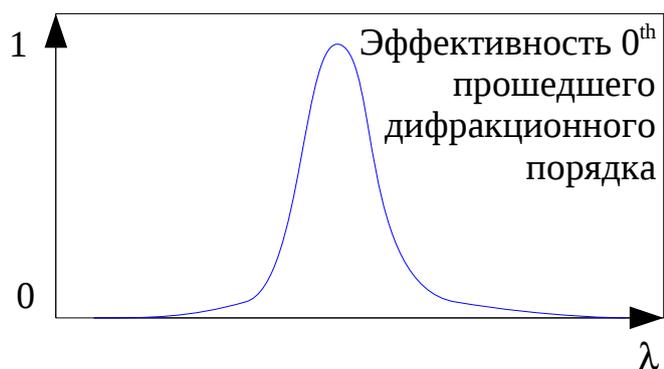
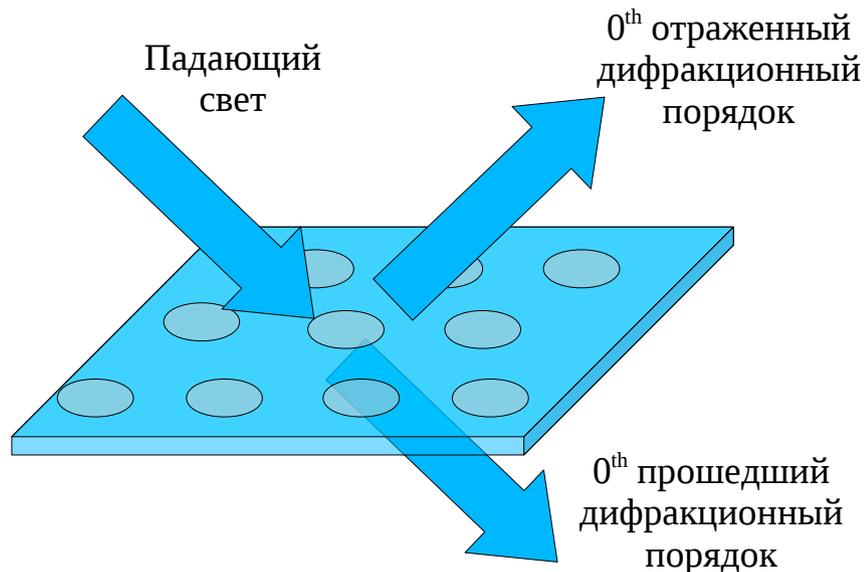
RCWA состоит из нескольких шагов:

- Анализируемая наноструктура разбивается на слои однородные в направлении распространения света.
- Для каждого слоя проницаемость материала и компоненты ЕМ поля представляются в виде ряда Фурье.
- Граничные условия соседних слоев используются, чтобы сформировать матрицу для нахождения каждой компоненты ряда Фурье.



Оптимизация резонансного спектрального пропускающего фильтра изготовливаемого методом нанопринтинга

Оптическая схема



- Материал с высоким индексом рефракции
- Материал с низким индексом рефракции

Экспериментальный образец или оттиск для нанопринтинга изготовливается напылением материала с высоким индексом рефракции на дифракционную решетку изготовленную из материала с низким индексом рефракции.

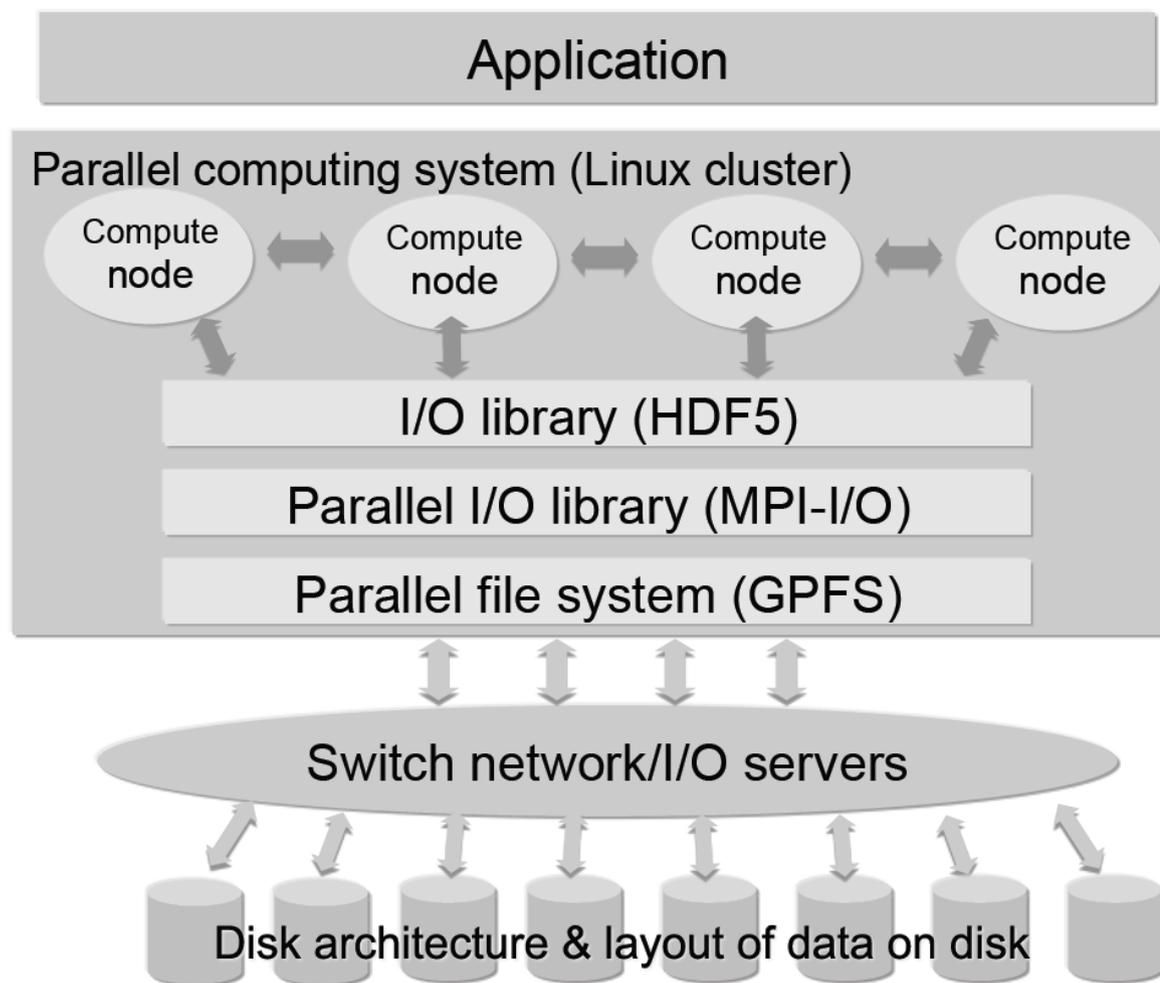
Первоначальная дифракционная решетка может быть изготовлена, например, с помощью относительно недорогого метода интерферометрической литографии.

В результате параллельной стохастической оптимизации получен одномерный спектральный фильтр с максимальной эффективностью более 90%.



Параллельная обработка крупноформатных изображений

Для решения задач высокой вычислительной сложности в области обработки крупноформатных изображений на кластер установлен программный пакет для работы с файлами формата (Hierarchical Data Format) HDF. Этот формат используется для представления сложных составных данных. Имеются многочисленные расширения формата HDF для различных прикладных областей. Например расширение HDF-EOS позволяющее эффективно хранить данные получаемые со спутников.





Использование параллельных стохастических алгоритмов для кластеризации крупноформатных изображений

Кластеризация данных – это важный этап в распознавании образов и машинном обучении.

Возможные применения:



Размеры изображений, полученных в результате дистанционного зондирования Земли могут достигать сотен терабайт.

Параллельная обработка таких изображений часто единственный способ получения результата.