Решение трёхмерных задач биоимпедансного анализа и моделирования иммунных процессов в областях с малыми структурными элементами

А.А. Данилов, Ю. В. Василевский, В. Ю. Саламатова

Институт вычислительной математики РАН

11 января 2011

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 1 / 19





Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

Пакет Ani3D

Пакет библиотек Ani3D (Василевский Ю.В., Липников К.Н., Данилов А.А., и др.) http://sourceforge.net/projects/ani3d



- aniAFT генератор поверхностных и тетраэдральных сеток
- aniRCB иерархическое локальное изменение сеток

・ロト ・ 一下 ・ ・ 三 ト ・ 三 ト

- aniMBA адаптация сеток
 в заданной метрике
- aniFEM, aniLU, aniILU, aniINB

Включает в себя интеграцию с САПР OpenCascade

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 3 / 19

Пакет Ani3D

Технологическая цепочка построения сеток



Danilov A. Unstructured tetrahedral mesh generation technology // Comp. Math. Math. Phys. - 2010. - V. 50. -

N. 1. - P. 146-163.

Данилов-Василевский-Саламатова

ИВМ, 2011 3 / 19

イロト 不得 とくき とくき とうき

Интерфейс с САПР OpenCASCADE и CGM

Open CASCADE Technology (OpenCASCADE) http://www.opencascade.org

Common Geometry Module (CGM) интерфейс между генератором и ядром САПР http://trac.mcs.anl.gov/projects/ITAPS



Стационарное распределение интерферона в лимфоузле



Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 5 / 19



Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

▶ ◀ 볼 ▶ 볼 ∽ ९ (° ИВМ, 2011 6 / 19



Данилов-Василевский-Саламатова





Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 6 / 19



Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач



Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 6 / 19

Влияние количества источников



Количество плазмацитоидных дендритных клеток: 1

A. Danilov, Yu. Vassilevski. A monotone nonlinear finite volume method for diffusion equations on conformal polyhedral meshes // RJNAMM. – 2009. – V.24. – N.3. – P.207-227.

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 7 / 19

Влияние количества источников



Количество плазмацитоидных дендритных клеток: 10

A. Danilov, Yu. Vassilevski. A monotone nonlinear finite volume method for diffusion equations on conformal polyhedral meshes // RJNAMM. – 2009. – V.24. – N.3. – P.207-227.

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 7 / 19

(日) (同) (三) (三)

Влияние количества источников



Количество плазмацитоидных дендритных клеток: 100

A. Danilov, Yu. Vassilevski. A monotone nonlinear finite volume method for diffusion equations on conformal polyhedral meshes // RJNAMM. – 2009. – V.24. – N.3. – P.207-227.

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 7 / 19

(日) (同) (三) (三)

Влияние скорости деградации



G. Bocharov, A. Danilov, Yu. Vassilevski, G.I. Marchuk, V.A. Chereshnev and B. Ludewig. Reaction Diffusion Modelling of Interferon Distribution in Secondary Lymphoid Organs. // Math. Model. Nat. Phenom. (в печати)

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 8 / 19

- Более сложная структура лимфоузла
- Добавление конвективных сил
- Нестационарная задача

• • = • • =

Мотивация



Анализатор АВС-01

ЗАО НТЦ "Медасс" Николаев Дмитрий Викторович

ФЦП "Кадры"

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 10 / 19

э

A = A = A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A
 A

< A

Биоимпедансные измерения состава тела человека



$$\operatorname{div}(\mathbf{C}
abla U) = 0$$
 в Ω
 $\mathbf{J}_n = I_{\pm}/S$ на Γ_{\pm}
 $\mathbf{J}_n = 0$ на $\partial \Omega \setminus \Gamma_{\pm}$

И – потенциал электрического поля

- С тензор удельной проводимости
- $\mathbf{E} = \nabla U$ напряжённость поля
- $\mathbf{J} = \mathbf{C} \, \mathbf{E}$ плотность тока
- I_{\pm} зондирующий ток
- S площадь контакта электрода

Проводимость некоторых тканей на частоте 50 кГц (См/м)

Кровь	0.7	+	0.02·i
Мышцы	0.36	+	0.035 <i>·i</i>
Жир	0.0435	+	0.001 <i>·i</i>
Кость	0.021	+	0.001 <i>·i</i>
Кожа	0.03	+	0.06· <i>i</i>
Сердце	0.19	+	0.045 <i>·i</i>
Лёгкое	0.27	+	0.025 <i>·i</i>

Gabriel S., Lau R.W., Gabriel C. The dielectric properties of biological tissue: III. Parametric models for the dielectric spectrum of tissues. // Phys.Med.Biol. 1996. V.41(11). P.2271-2293.

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 11 / 19

◆□▶ ◆□▶ ◆臣▶ ◆臣▶ 臣 のへで

 $\operatorname{div}(\mathbf{C}\nabla U)=0$

$$\mathbf{C} = \mathbf{C}_R + i \cdot \mathbf{C}_I, \quad U = U_R + i \cdot U_I,$$

Данилов-Василевский-Саламатова

◆□▶ ◆□▶ ◆臣▶ ◆臣▶ 臣 のへで

$$\operatorname{div}(\mathbf{C}\nabla U)=0$$

$$\mathbf{C} = \mathbf{C}_R + i \cdot \mathbf{C}_I, \quad U = U_R + i \cdot U_I,$$

$$\begin{cases} \operatorname{div}(\mathbf{C}_R \nabla U_R) - \operatorname{div}(\mathbf{C}_I \nabla U_I) = 0\\ \operatorname{div}(\mathbf{C}_R \nabla U_I) + \operatorname{div}(\mathbf{C}_I \nabla U_R) = 0 \end{cases}$$

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 11 / 19

◆□▶ ◆□▶ ◆臣▶ ◆臣▶ 三臣 - のへで

$$\operatorname{div}(\mathbf{C}\nabla U)=0$$

$$\mathbf{C} = \mathbf{C}_R + i \cdot \mathbf{C}_I, \quad U = U_R + i \cdot U_I,$$

$$\begin{cases} \operatorname{div}(\mathbf{C}_R \nabla U_R) - \operatorname{div}(\mathbf{C}_I \nabla U_I) = 0\\ \operatorname{div}(\mathbf{C}_R \nabla U_I) + \operatorname{div}(\mathbf{C}_I \nabla U_R) = 0 \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} A_R & -A_I \\ A_I & A_R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_R \\ x_I \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_R \\ b_I \end{pmatrix}$$

Данилов-Василевский-Саламатова

ИВМ, 2011 11 / 19

◆□▶ ◆□▶ ◆三▶ ◆三▶ ・三 のへぐ

$$\operatorname{div}(\mathbf{C}\nabla U)=0$$

$$\mathbf{C} = \mathbf{C}_R + i \cdot \mathbf{C}_I, \quad U = U_R + i \cdot U_I,$$

$$\begin{cases} \operatorname{div}(\mathbf{C}_R \nabla U_R) - \operatorname{div}(\mathbf{C}_I \nabla U_I) = 0\\ \operatorname{div}(\mathbf{C}_R \nabla U_I) + \operatorname{div}(\mathbf{C}_I \nabla U_R) = 0 \end{cases}$$

$$\begin{pmatrix} A_R & -A_I \\ A_I & A_R \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_R \\ x_I \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} b_R \\ b_I \end{pmatrix}$$

Р1 МКЭ (AniFEM) и BiCGStab+ILU0 (AniILU)

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 11 / 19

◆□▶ ◆□▶ ◆三▶ ◆三▶ ・三 のへぐ

Расчётные сетки



AniAFT + AniMBA

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 12 / 19

▲□▶ ▲圖▶ ▲国▶ ▲国▶ 三国

Анизотропные коэффициенты проводимости





кожа – 1 мм

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 13 / 19

Численное решение





оценка гидратации правого лёгкого

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

э ИВМ, 2011 15 / 19

・ 戸 ト ・ ヨ ト ・ ヨ ト



потенциальное поле – U

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 15 / 19

<ロト </2>



линии тока для токовых электродов – \mathbf{J}_{cc}

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 15 / 19

æ

・ロト ・聞 ト ・ ヨト ・ ヨト …



линии тока для потенциальных электродов – $\mathbf{J}_{\mathrm{reci}}$

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 15 / 19

э



функция чувствительности $S = \mathbf{J}_{
m reci} \cdot \mathbf{J}_{
m cc}$

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 15 / 19

э

《曰》 《圖》 《臣》 《臣》



функция чувствительности, сечения плоскостями

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 15 / 19

э

▶ ★ 문 ► ★ 문 ►



функция чувствительности, интегральные проекции

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 15 / 19

э

▲圖▶ ▲ 国▶ ▲ 国▶

- Построение модели для тела человека
- Добавление органов с анизотропными свойствами

<ロ> <問> <問> < 回> < 回> < 回> < 回</p>

Пакет библиотек Ani3D http://sourceforge.net/projects/ani3d/

Данилов Александр Анатольевич a.a.danilov@gmail.com

Bасилевский Юрий Викторович yuri.vassilevski@gmail.com

Данилов-Василевский-Саламатова

Дальнейшая работа

Численная модель тела человека



Laurent Rineau, Mariette Yvinec, INRIA CGAL и Visible Human Project

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 18 / 19



www.nlm.nih.gov/research/visible

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 19 / 19



www.itksnap.org

Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 19 / 19

3

・ロト ・聞 と ・ ヨ と ・ ヨ と …



Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011

19 / 19



Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 19 / 19

글 > 글



Данилов-Василевский-Саламатова

Ani3D для решения задач

ИВМ, 2011 19 / 19

æ