

Цифровая акустическая система оценки состояния лёгких

Александр Родионов, МКН

Руководитель Я.А. Туровский, к. мед. н., доцент, с.н.с.
института проблем управления им. Трапезникова РАН

вГУ | июнь 2019

Цель работы

Разработка цифровой акустической системы
оценки состояния легких

Цель работы

Разработка цифровой акустической системы
оценки состояния легких

Задачи

Цель работы

Разработка цифровой акустической системы
оценки состояния легких

Задачи

- создание аппаратной части устройства на базе микроконтроллера Arduino Due, микрофона, динамиков и датчиков давления

Цель работы

Разработка цифровой акустической системы
оценки состояния легких

Задачи

- создание аппаратной части устройства на базе микроконтроллера Arduino Due, микрофона, динамиков и датчиков давления
- ПО для микроконтроллера Arduino

Цель работы

Разработка цифровой акустической системы
оценки состояния легких

Задачи

- создание аппаратной части устройства на базе микроконтроллера Arduino Due, микрофона, динамиков и датчиков давления
- ПО для микроконтроллера Arduino
- ПО для компьютера: синхронизация с устройством

Цель работы

Разработка цифровой акустической системы
оценки состояния легких

Задачи

- создание аппаратной части устройства на базе микроконтроллера Arduino Due, микрофона, динамиков и датчиков давления
- ПО для микроконтроллера Arduino
- ПО для компьютера: синхронизация с устройством
- ПО для компьютера: графический интерфейс

Цель работы

Разработка цифровой акустической системы
оценки состояния легких

Задачи

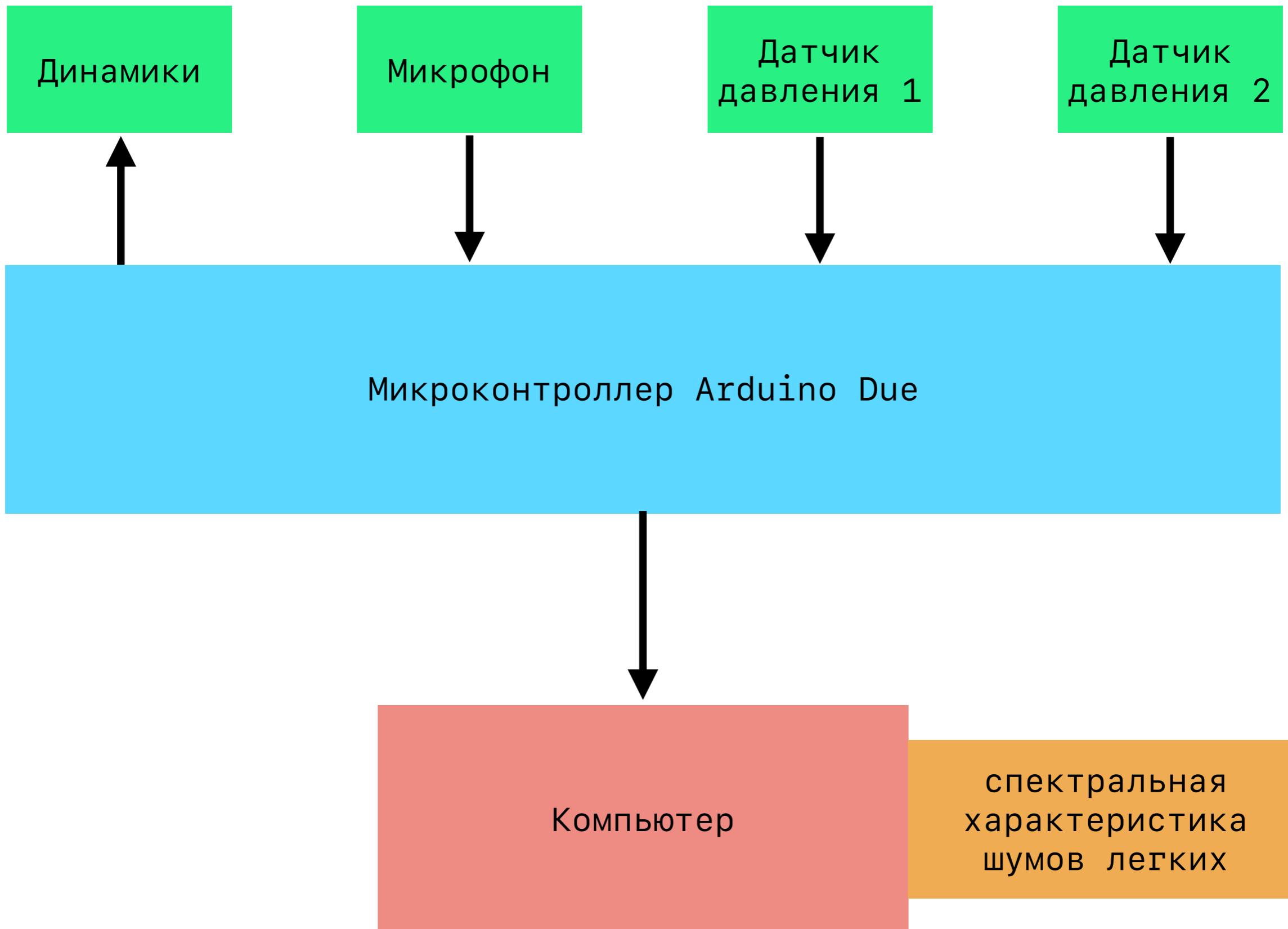
- создание аппаратной части устройства на базе микроконтроллера Arduino Due, микрофона, динамиков и датчиков давления
- ПО для микроконтроллера Arduino
- ПО для компьютера: синхронизация с устройством
- ПО для компьютера: графический интерфейс
- обработка сигнала с использованием спектральных методов оценивания

Цель работы

Разработка цифровой акустической системы
оценки состояния легких

Задачи

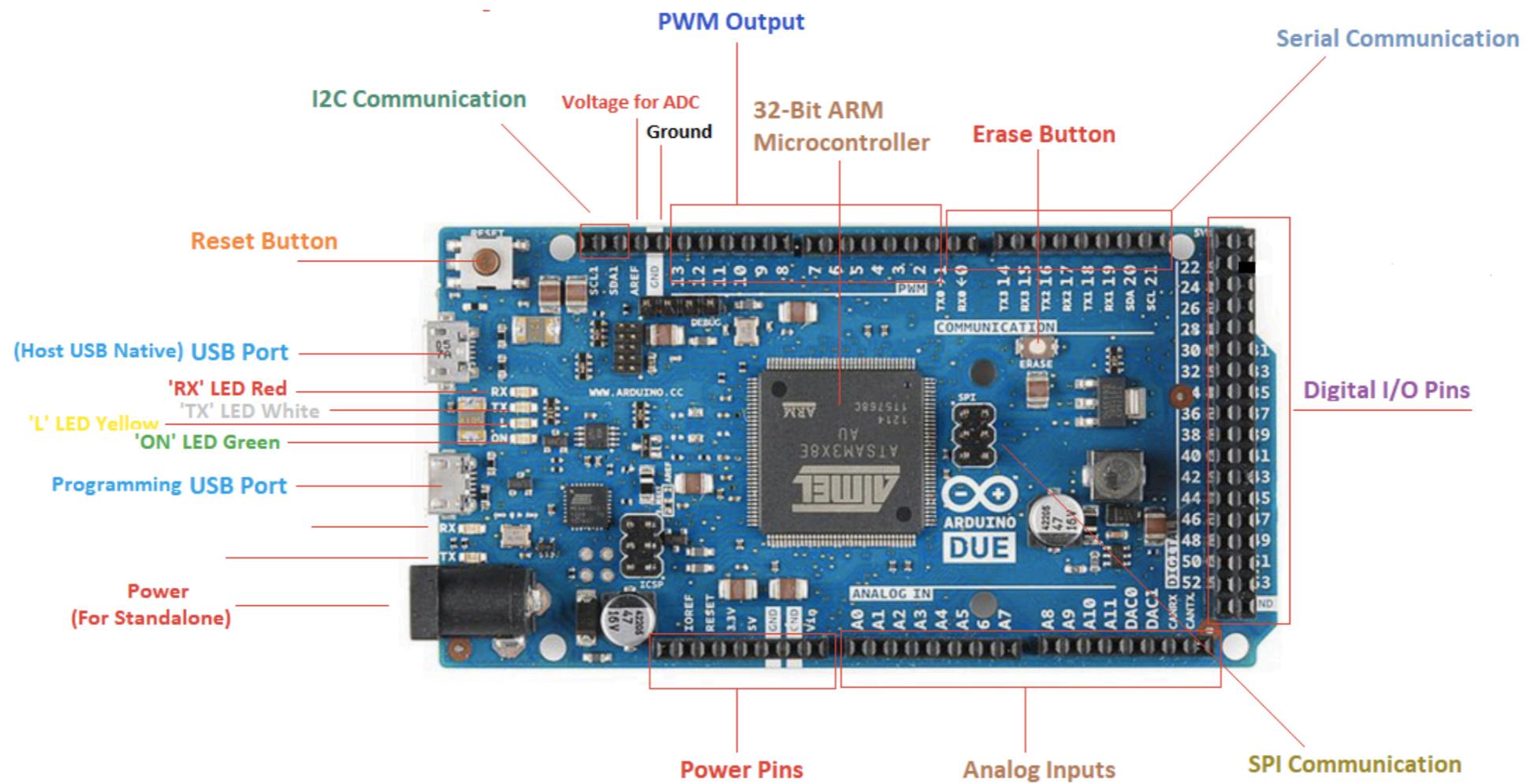
- создание аппаратной части устройства на базе микроконтроллера Arduino Due, микрофона, динамиков и датчиков давления
- ПО для микроконтроллера Arduino
- ПО для компьютера: синхронизация с устройством
- ПО для компьютера: графический интерфейс
- обработка сигнала с использованием спектральных методов оценивания
- разработка компьютерной модели распространения звука в легких (двухмерный и трехмерный варианты)



Аппаратная часть

- микроконтроллер Arduino Due
- микрофон + усилитель
- динамики
- трубка с 2 датчиками давления

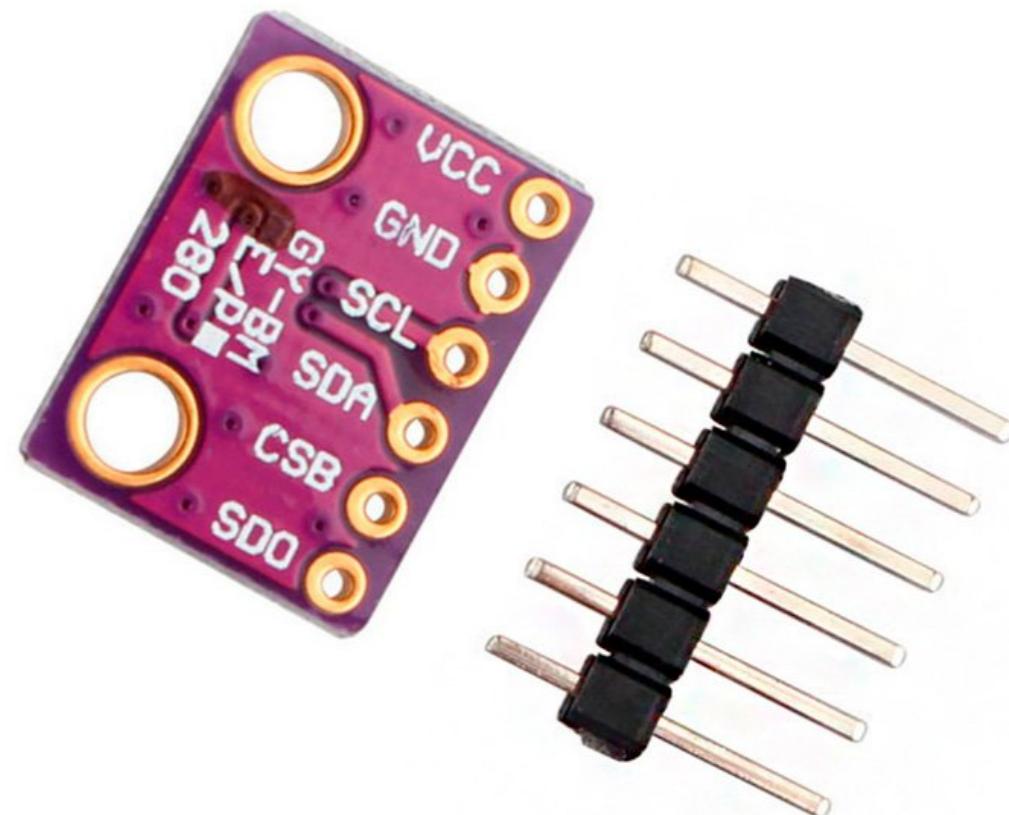
Микроконтроллер Arduino Due



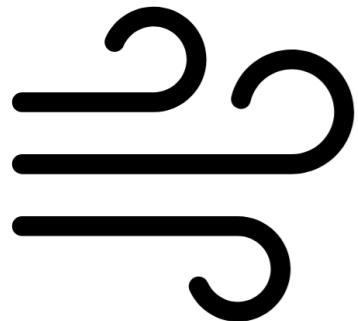
частота дискретизации АЦП: 700кГц

Датчики давления Bosch BMP280

- измерение давления
- измерение температуры
- измерение высоты над уровнем моря
- обмен данными через протокол SPI



Автоматическая запись во время вдохов и выдохов

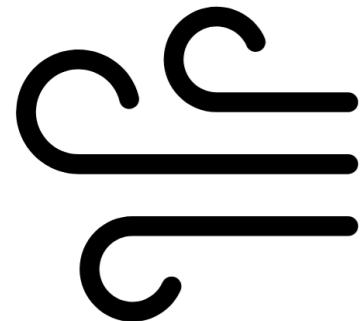


P1 > P2

P2

Вдох

Автоматическая запись во время вдохов и выдохов



P1 < P2

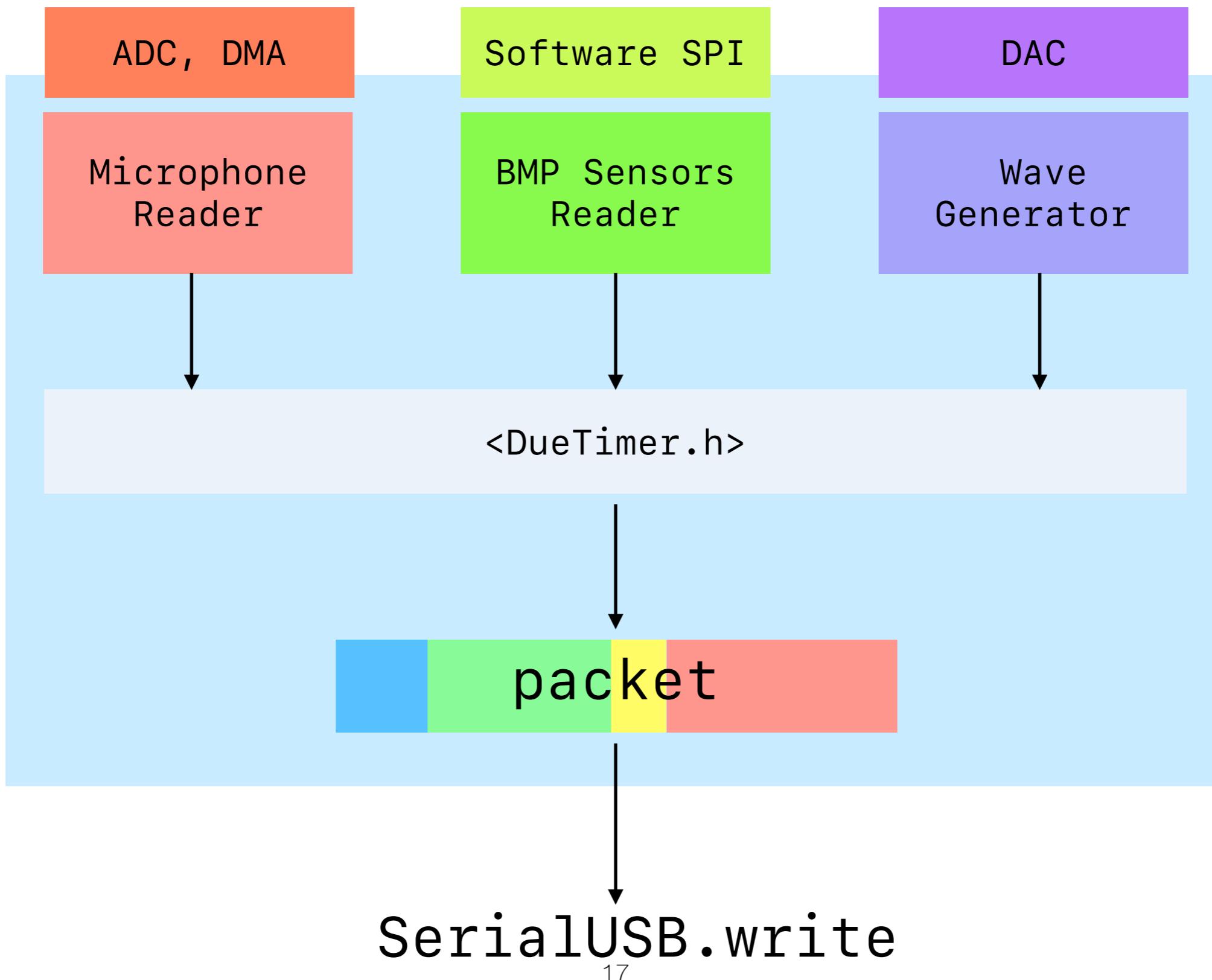
P2

Выдох

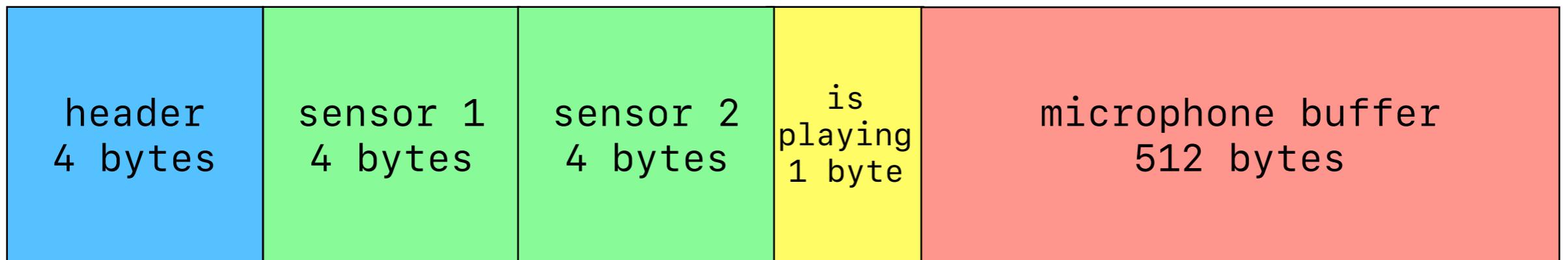
Програмное обеспечение

- по для Arduino
- по для компьютера

по для Arduino



структура пакета данных



Программа для Arduino

Программа для Arduino

- прием сигнала с датчиков давления

Программа для Arduino

- прием сигнала с датчиков давления
- прием сигнала с микрофона

Программа для Arduino

- прием сигнала с датчиков давления
- прием сигнала с микрофона
- генерация звука

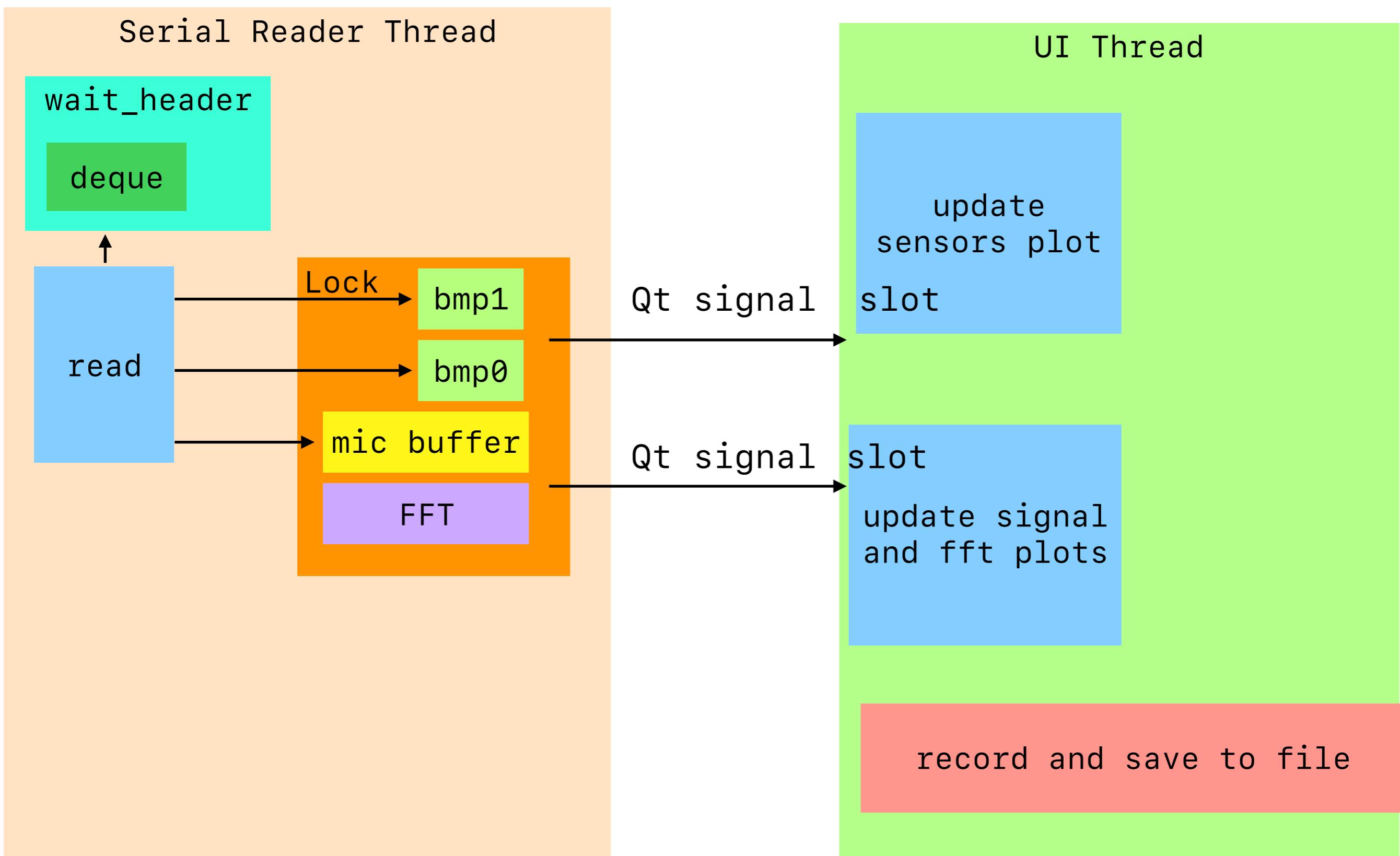
Программа для Arduino

- прием сигнала с датчиков давления
- прием сигнала с микрофона
- генерация звука
- передача данных на компьютер

Программа для Arduino

- прием сигнала с датчиков давления
- прием сигнала с микрофона
- генерация звука
- передача данных на компьютер
- паралельное выполнение с использованием библиотеки DueTimer

по для компьютера



Программа для компьютера

- прием сигнала с компьютера
- графики: сигнал, спектр, спектrogramма
- автоматическая запись по вдоху/выдоху

Программа для компьютера



кроссплатформенное
desktop-приложение



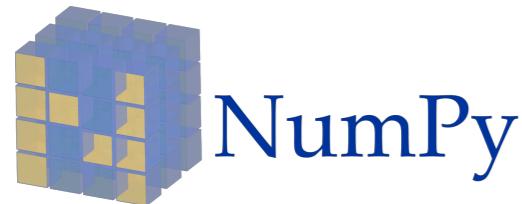
кроссплатформенное
desktop-приложение



Работа с числовыми массивами



кроссплатформенное
desktop-приложение



Работа с числовыми массивами



FFT, работа с .wav файлами



кроссплатформенное
desktop-приложение



Работа с числовыми массивами



FFT, работа с .wav файлами



Чтение данных с USB



кроссплатформенное
desktop-приложение



Работа с числовыми массивами



FFT, работа с .wav файлами



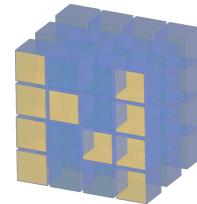
Чтение данных с USB

PyQtGraph

Быстрая отрисовка графиков



кроссплатформенное
desktop-приложение



NumPy

Работа с числовыми массивами



FFT, работа с .wav файлами



Чтение данных с USB

PyQtGraph

Быстрая отрисовка графиков

Numba : A Python Compiler

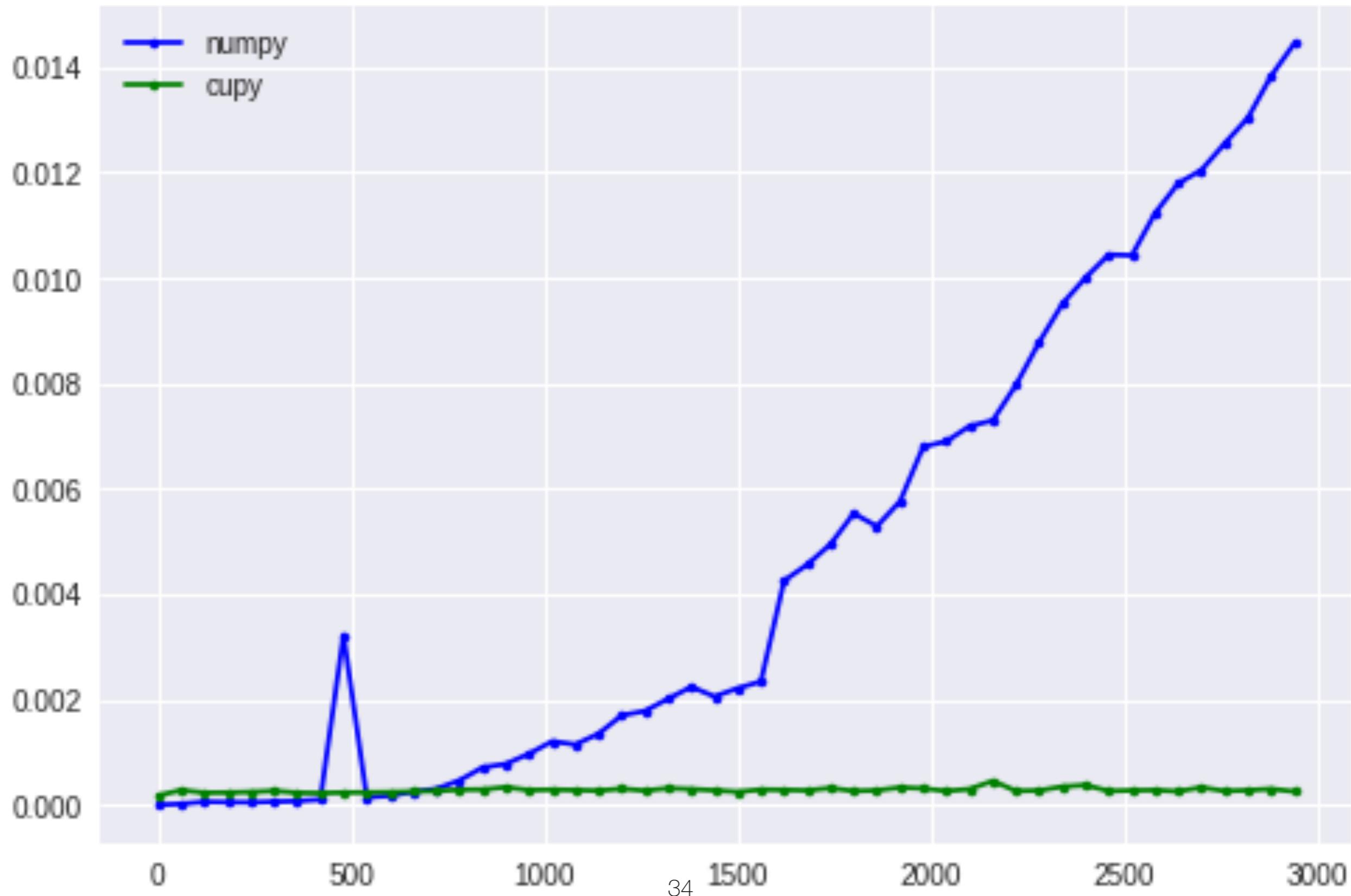


JIT-компилятор для python



CuPy

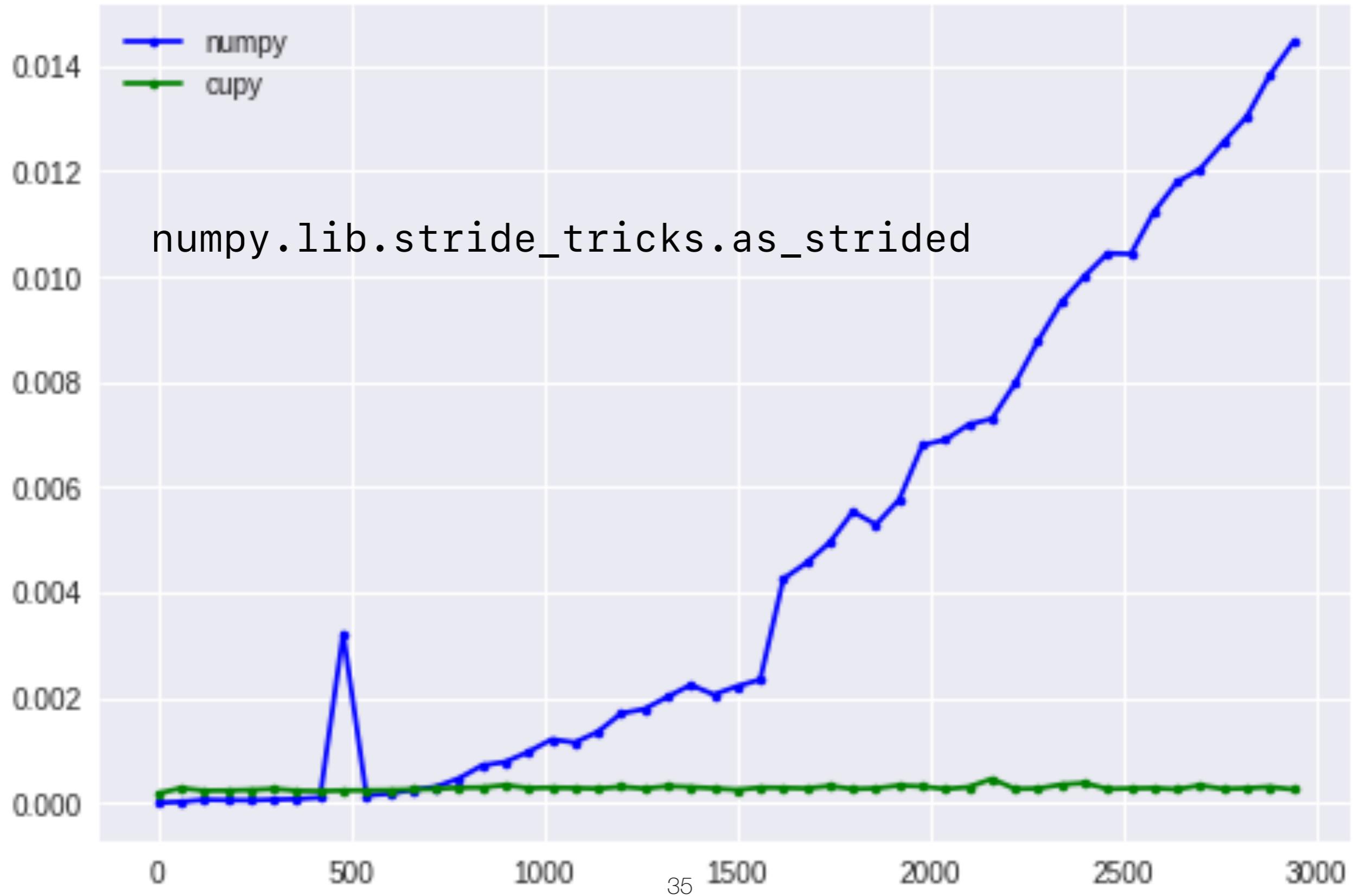
CUDA, NVIDIA GPU





CuPy

CUDA, NVIDIA GPU



Компьютерная модель распространения звука в легких

Предположения

- среда ведет себя как жидкость
- среда неподвижна
- полное отражение на границах тела

Математическая модель

Волновое уравнение для неоднородной среды

$$\frac{1}{c^2(\mathbf{x})} \frac{\partial^2 p(\mathbf{x}, t)}{\partial t^2} = \rho(\mathbf{x}) \nabla \cdot \left(\frac{1}{\rho(\mathbf{x})} \nabla p(\mathbf{x}, t) \right),$$

$p(x, t)$ – pressure, давление воздуха
 $\rho(x)$ – плотность ткани / мышц
 $c(x)$ – скорость звука

$x = [x, y, z]$ | точка пространства

Математическая модель

Начальные условия

$$p(x, t=0) = 0 \text{ для всех } x$$

$$\frac{\partial p(x, t)}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0$$

Математическая модель

Начальные условия

$$p(x, t=0) = 0 \text{ для всех } x$$

$$\frac{\partial p(x, t)}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0$$

Условия затухания давления

$$p(x, t) = 0, \text{ если } \rho(x) < 0.1 \text{ г/см}^3$$

Математическая модель

Начальные условия

$$p(x, t=0) = 0 \text{ for all } x$$

$$\frac{\partial p(x, t)}{\partial t} \Big|_{t=0} = 0$$

Условия затухания давления

$$p(x, t) = 0, \text{ если } \rho(x) < 0.1 \text{ г/см}^3$$

Источник звука

$$p(a, b, c, t) = \sin(2\pi ft)$$

(a, b, c) – положение источника

FDTD: Finite Difference Time Domain method

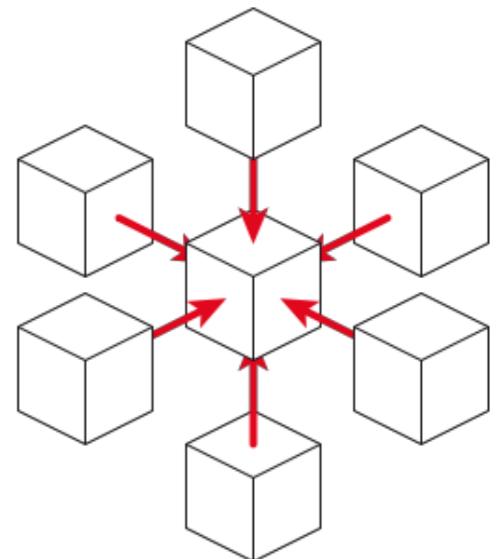
Численное приближ. решение

$$\begin{aligned} P_{i,j,k}^{m+1} = & (2 - 7.5\kappa_{i,j,k}^2)P_{i,j,k}^m - P_{i,j,k}^{m-1} \\ & + \frac{4\kappa_{i,j,k}^2}{3}[P_{i+1,j,k}^m + P_{i-1,j,k}^m + P_{i,j+1,k}^m + P_{i,j-1,k}^m + P_{i,j,k+1}^m + P_{i,j,k-1}^m] \\ & - \frac{\kappa_{i,j,k}^2}{12}[P_{i+2,j,k}^m + P_{i-2,j,k}^m + P_{i,j+2,k}^m + P_{i,j-2,k}^m + P_{i,j,k+2}^m + P_{i,j,k-2}^m] \\ & - \frac{\kappa_{i,j,k}^2}{3\rho_{i,j,k}}[(P_{i+1,j,k}^m - P_{i-1,j,k}^m) - (P_{i+2,j,k}^m + P_{i-2,j,k}^m)/8](\rho_{i+1,j,k} - \rho_{i-1,j,k}) \\ & - \frac{\kappa_{i,j,k}^2}{3\rho_{i,j,k}}[(P_{i,j+1,k}^m - P_{i,j-1,k}^m) - (P_{i,j+2,k}^m + P_{i,j-2,k}^m)/8](\rho_{i,j+1,k} - \rho_{i,j-1,k}) \\ & - \frac{\kappa_{i,j,k}^2}{3\rho_{i,j,k}}[(P_{i,j,k+1}^m - P_{i,j,k-1}^m) - (P_{i,j,k+2}^m + P_{i,j,k-2}^m)/8](\rho_{i,j,k+1} - \rho_{i,j,k-1}) \end{aligned}$$

$$h = \Delta x = \Delta y = \Delta z$$

$$l = \Delta t$$

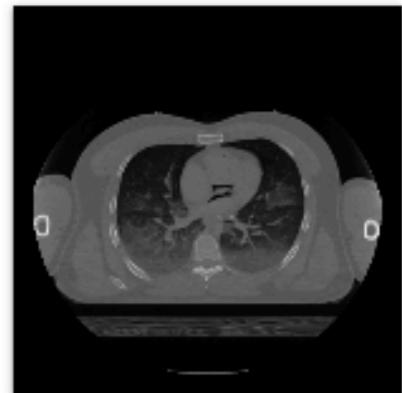
$$\kappa_{i,j,k} = (l/h)c_{i,j,k}$$



7-point
stencil

Метод конечных разностей
производные заменяются разностями

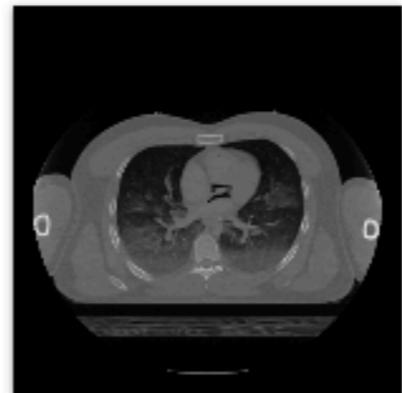
Human Visible Project Dataset



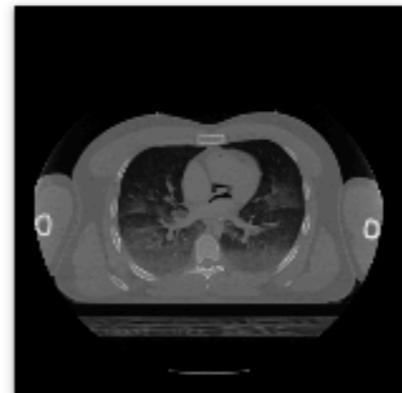
vhm.830.dcm.png



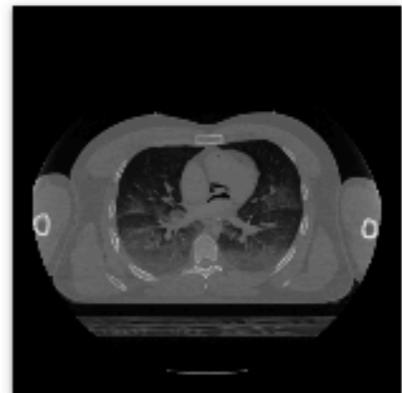
vhm.831.dcm.png



vhm.832.dcm.png



vhm.833.dcm.png



vhm.834.dcm.png



vhm.837.dcm.png



vhm.838.dcm.png



vhm.839.dcm.png



vhm.840.dcm.png



vhm.841.dcm.png



vhm.844.dcm.png



vhm.845.dcm.png



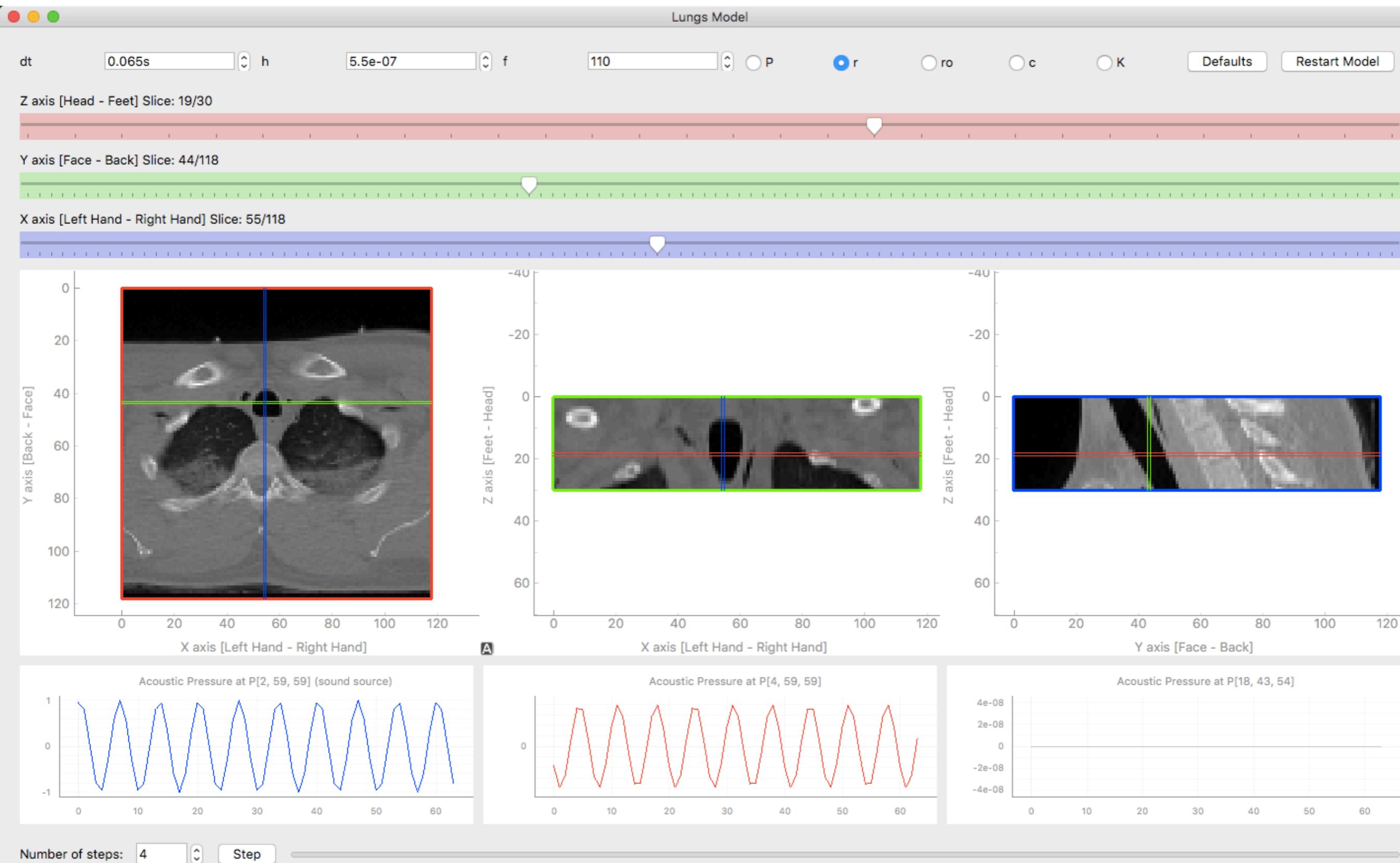
vhm.846.dcm.png

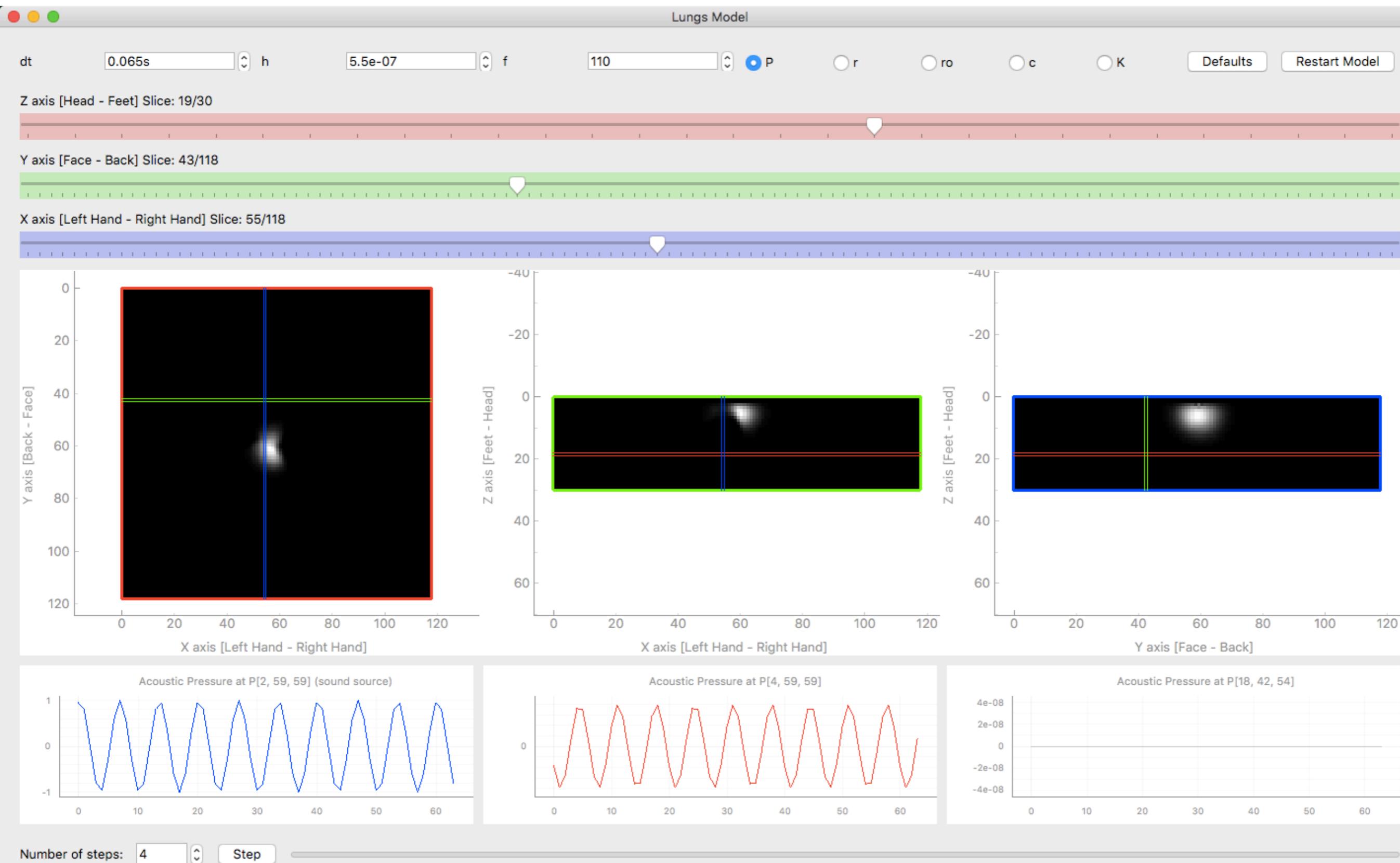


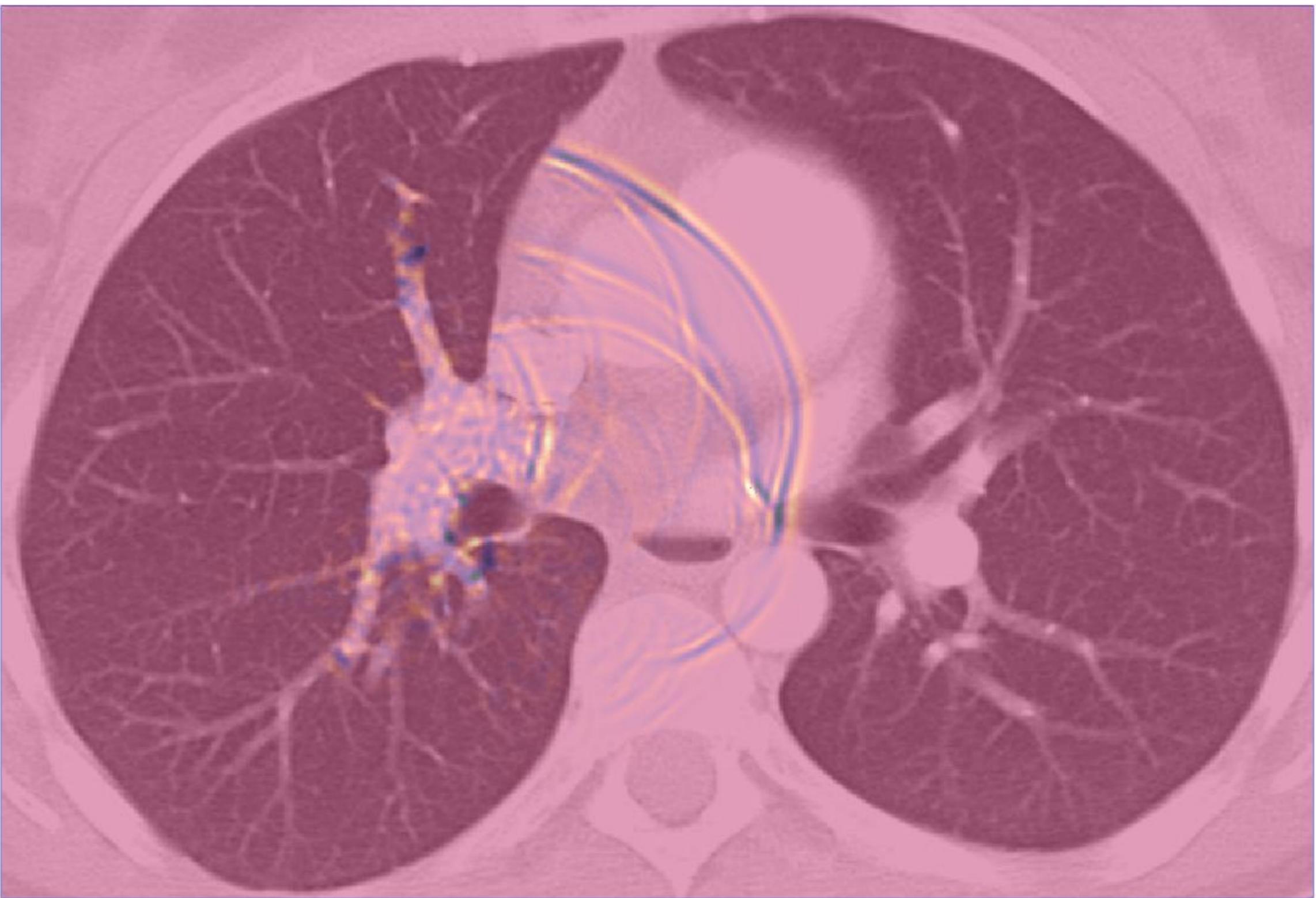
vhm.847.dcm.png



vhm.848.dcm.png









Red

Grey

Green



●

○

●



●

○

●



Red
Grey
Green



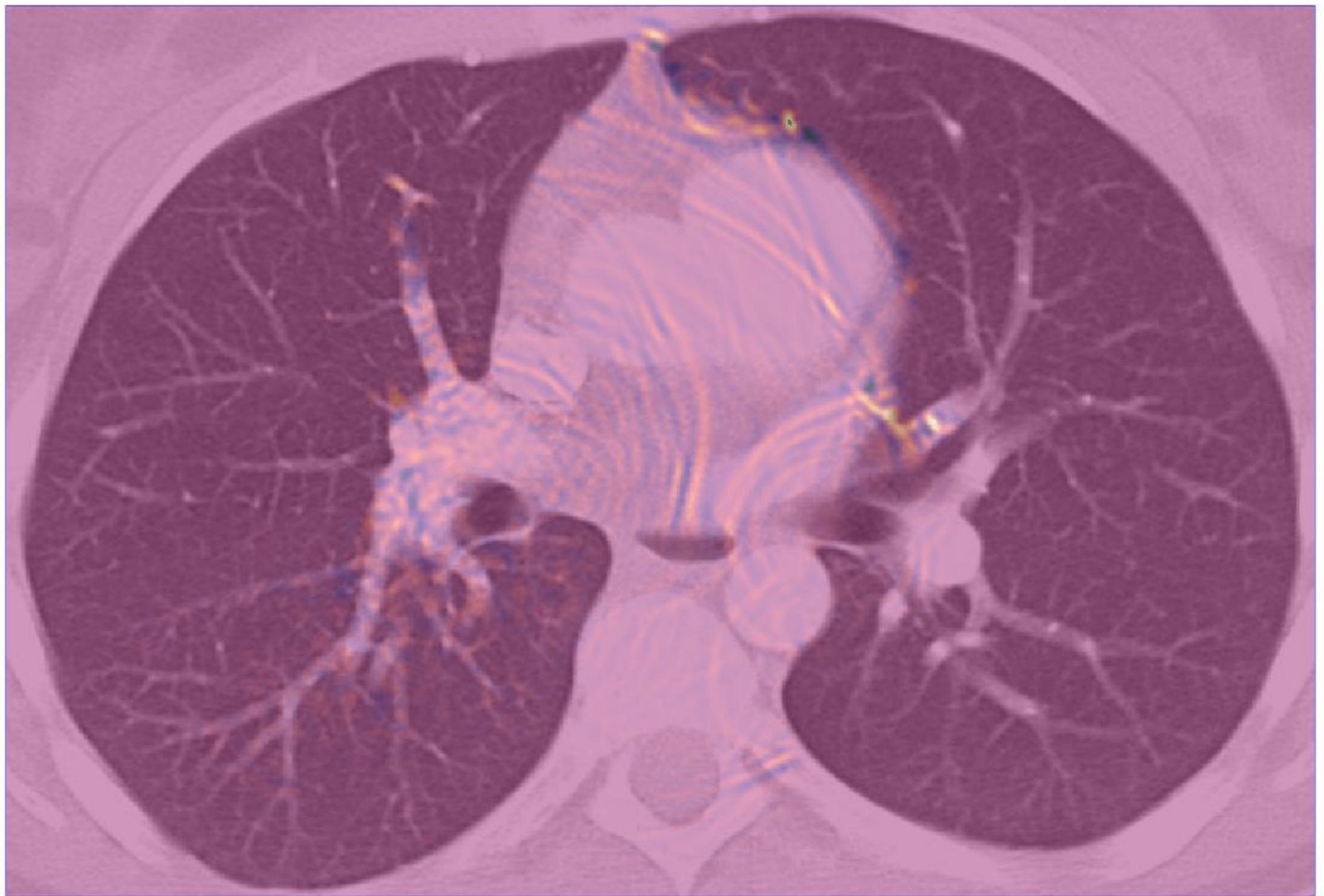
0 100 200 300 400 500 600 700 800



Red
Grey
Green



Red
Grey
Green



●

○

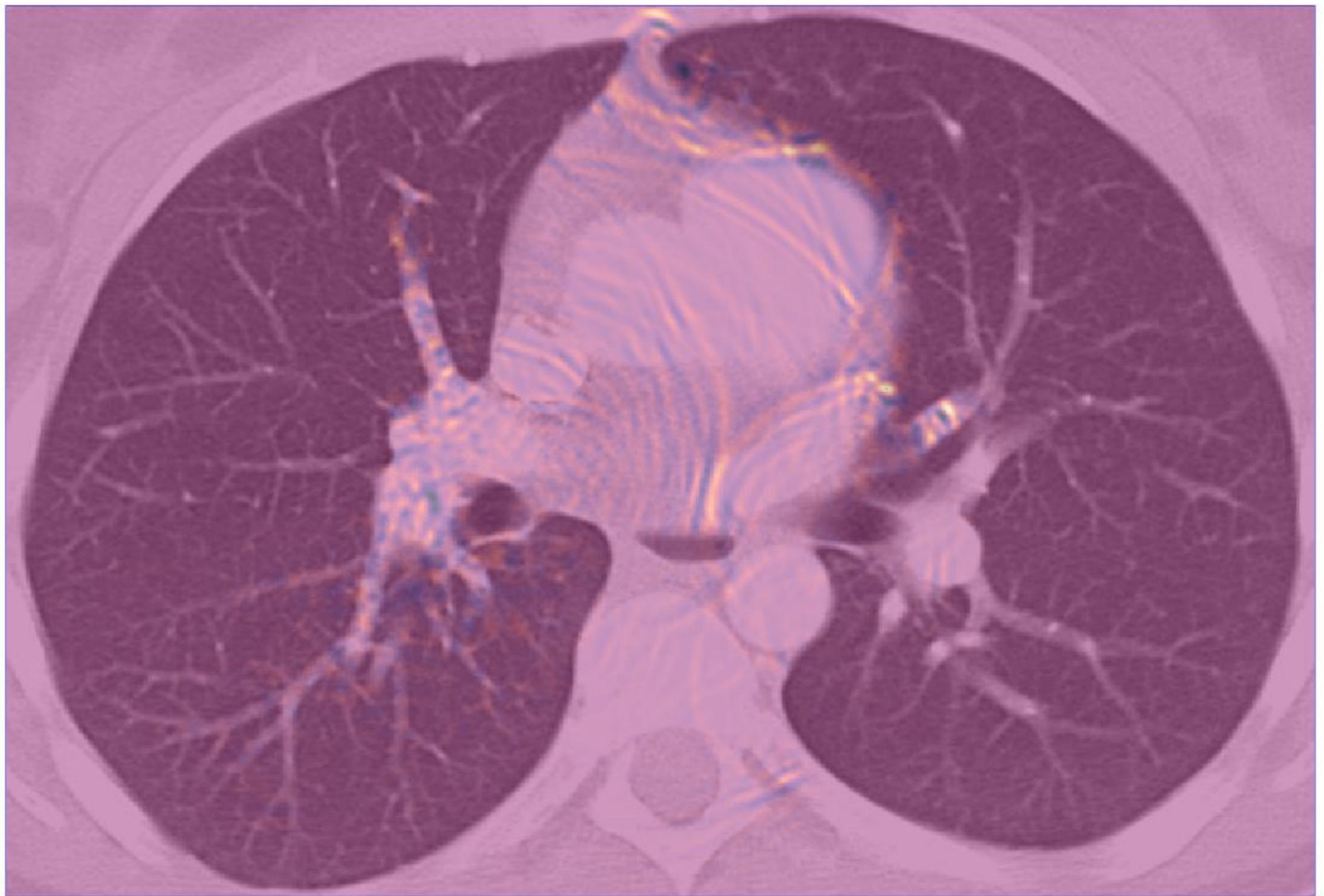
●



●

○

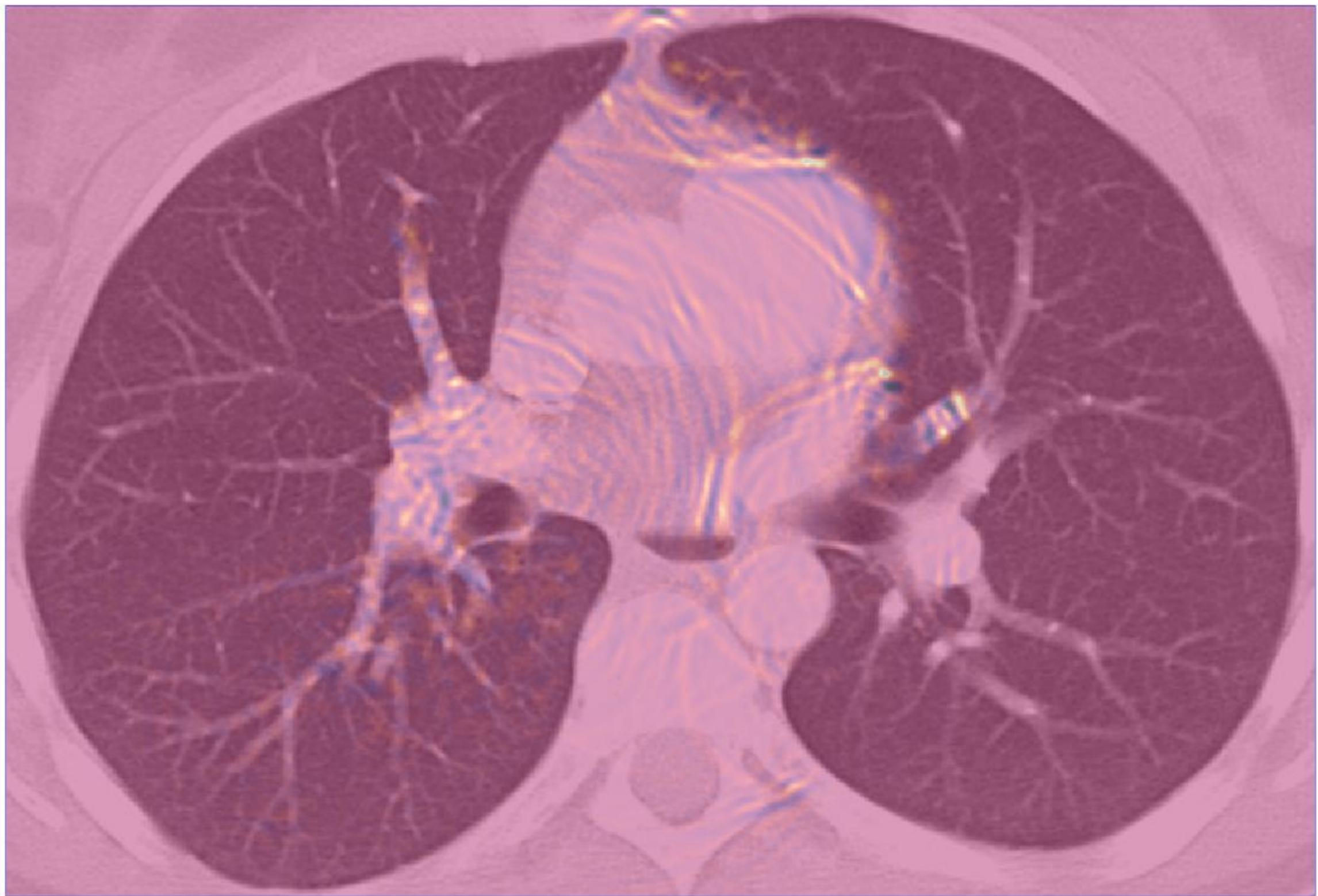
●



●

○

●



●

○

●



●

○

●



●

○

●



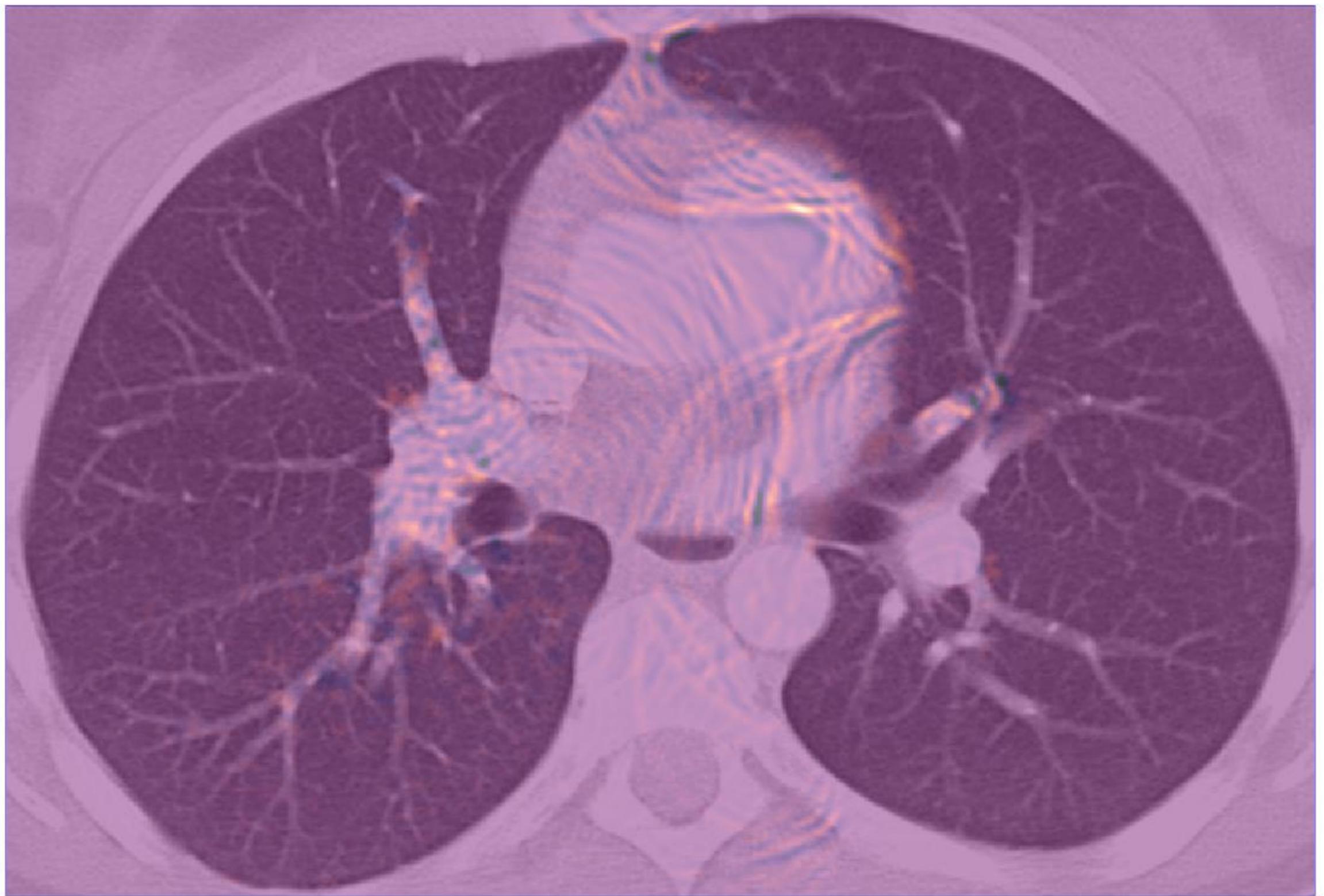
●

○

●



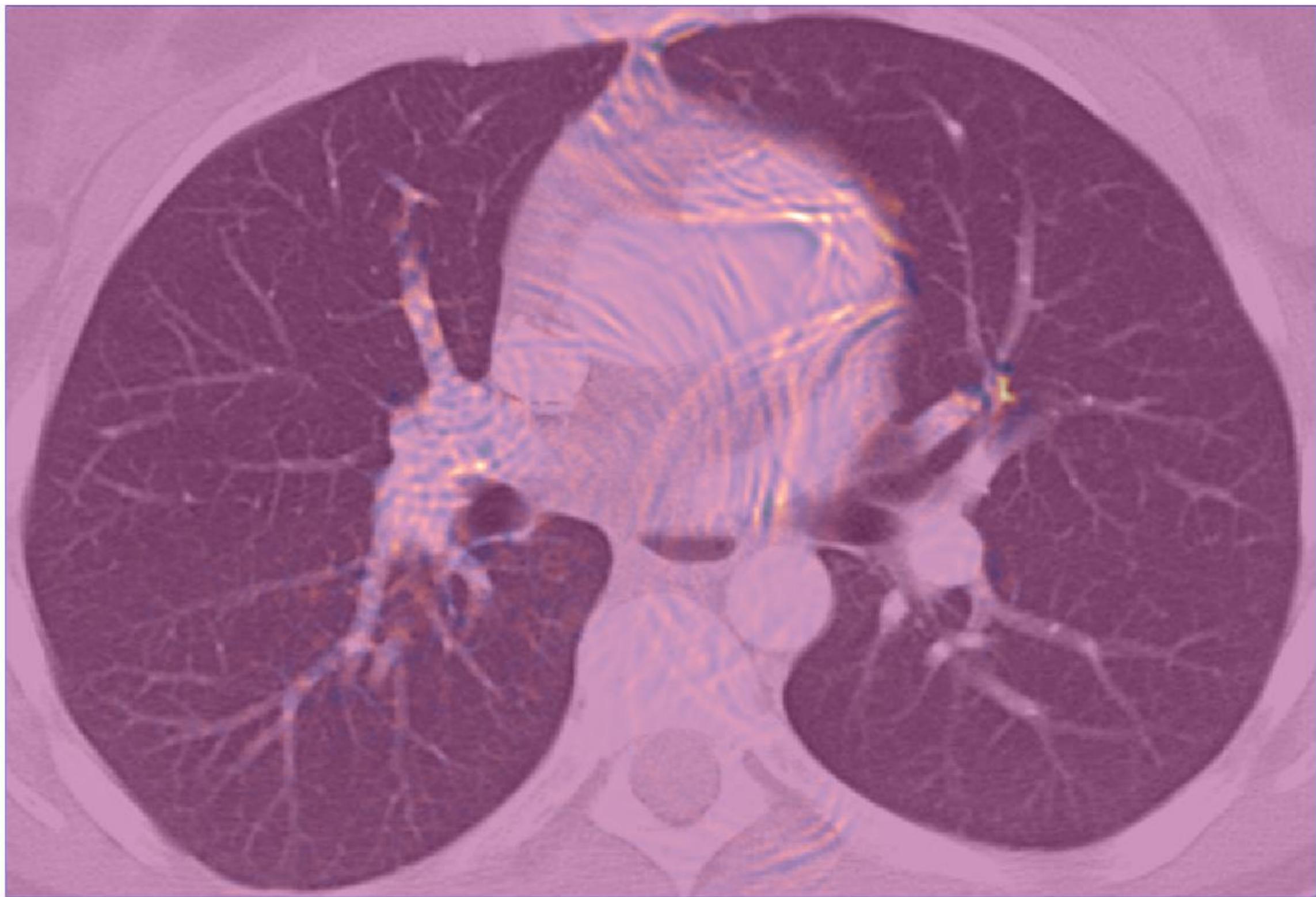
0 100 200 300 400 500 600 700 800



●

○

●



●

○

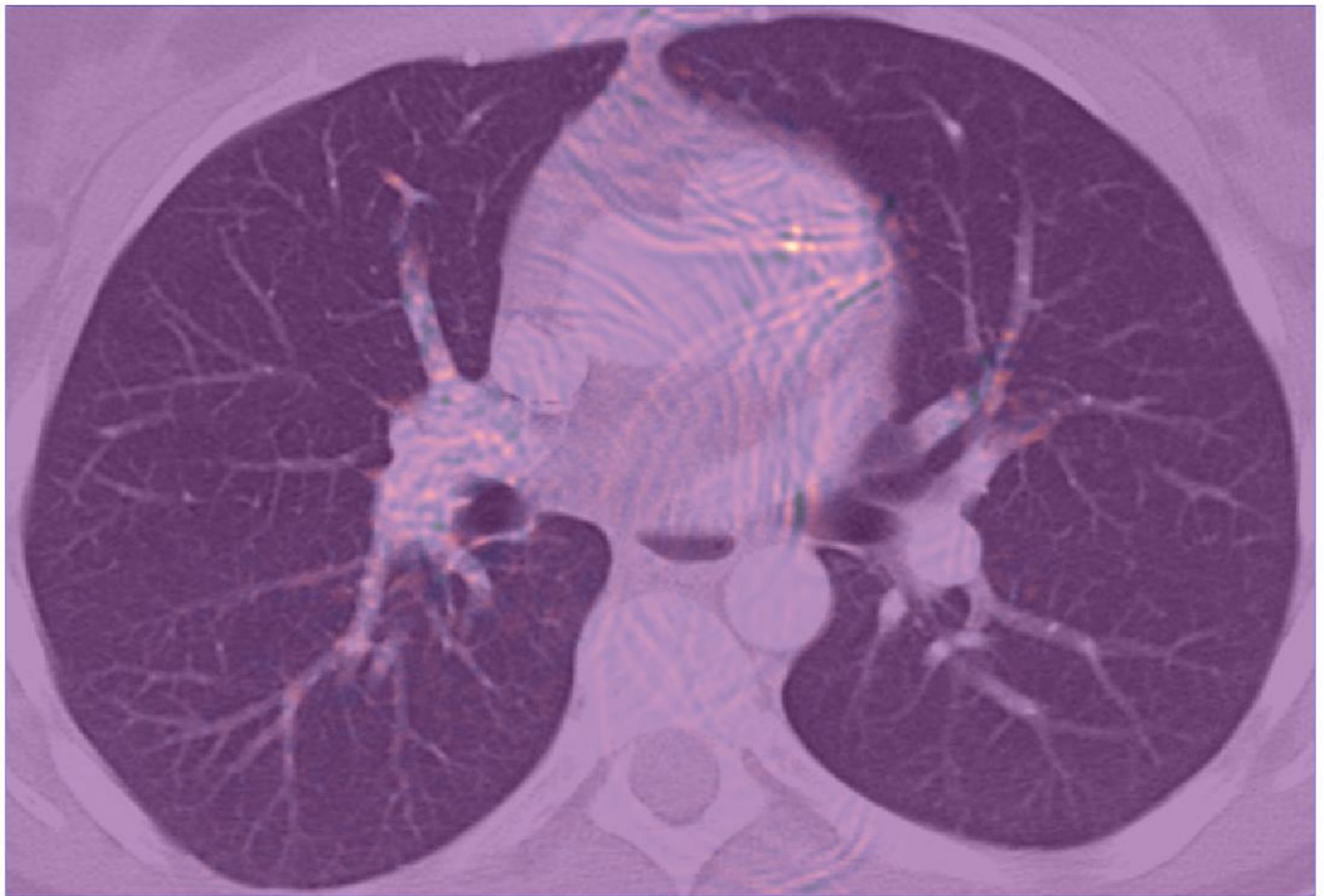
●



0 100 200 300 400 500 600 700 800



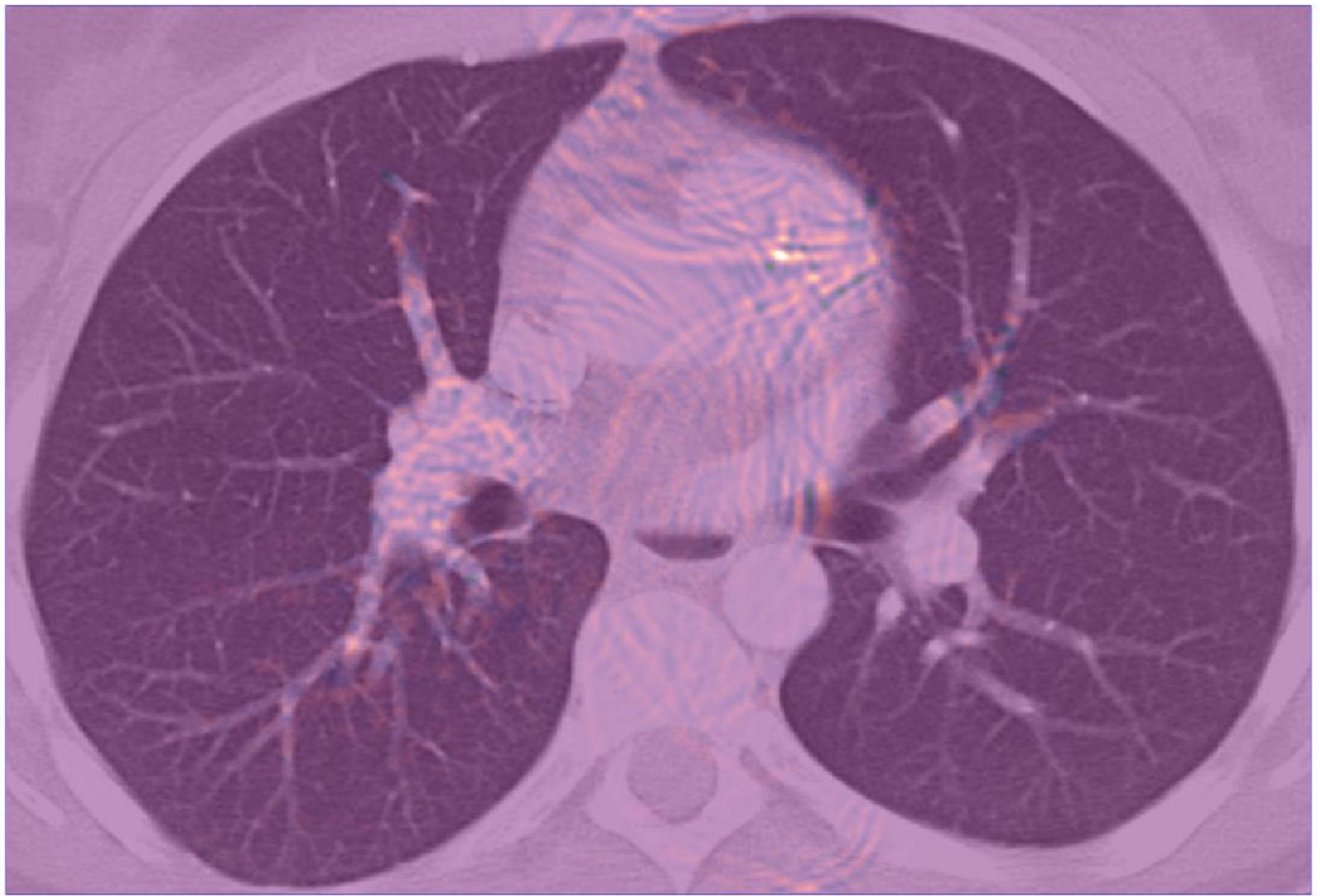
0 100 200 300 400 500 600 700 800



Red

Grey

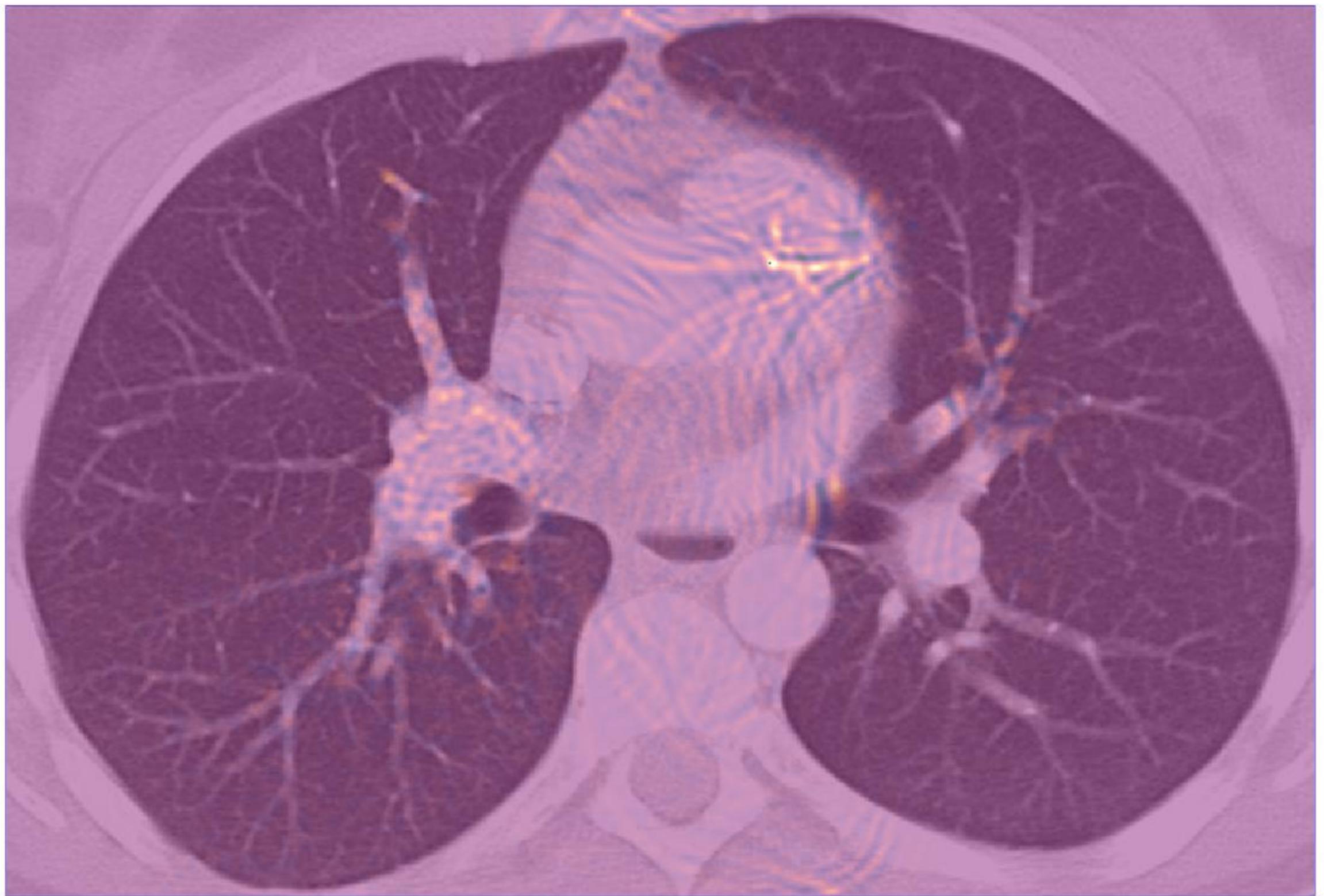
Green



●

○

●



●

○

●



500

400

300

200

100

0

0

100

200

300

400

500

600

700

800



Red
Grey
Green



●

○

●



●

○

●



●

○

●



Red

Grey

Green



Sound Propagation in Lungs (acoustic FDTD simulation)

21 views

0

0

SHARE

SAVE

...

спасибо за внимание

КОНТАКТЫ

mail alx1dr@gmail.com

github @tandav

twitter @tandavaya

telegram @tandav