



Задача определения локальной плотности людского потока



Руководитель проекта Fenix+, АО «СПТ»

Любимов Е.М.

13 ноября 2019

Плотность потока

Факт: скорость движения потока зависит от плотности потока:

$$V = f(D)$$

$$D = \frac{N}{S}$$

D – плотность потока (чел/кв. м)

N – количество людей в потоке

S – площадь занимаемая потоком

$$D = \frac{1}{A} \quad A = \frac{S}{N}$$

A – средняя площадь, приходящаяся
на одного человека

Локальная плотность потока – плотность в некоторой части потока.

Уровни детализации:

- часть потока
- отдельный человек

Область применения и требования

Область применения:

- Анализ натуральных экспериментов $\rightarrow V = f(D)$
- Моделирование $\leftarrow V = f(D)$

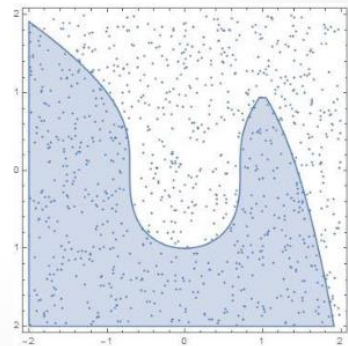
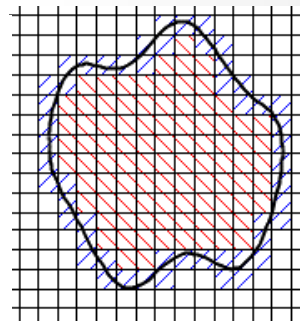
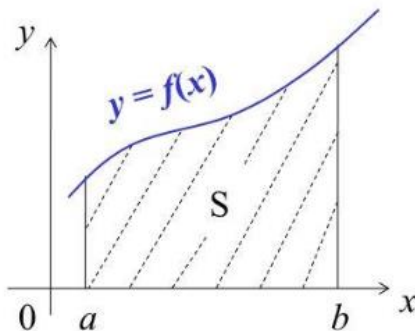
В обоих случаях требуется уметь определять плотность потока тем или иным методом.

Требования к методу определения:

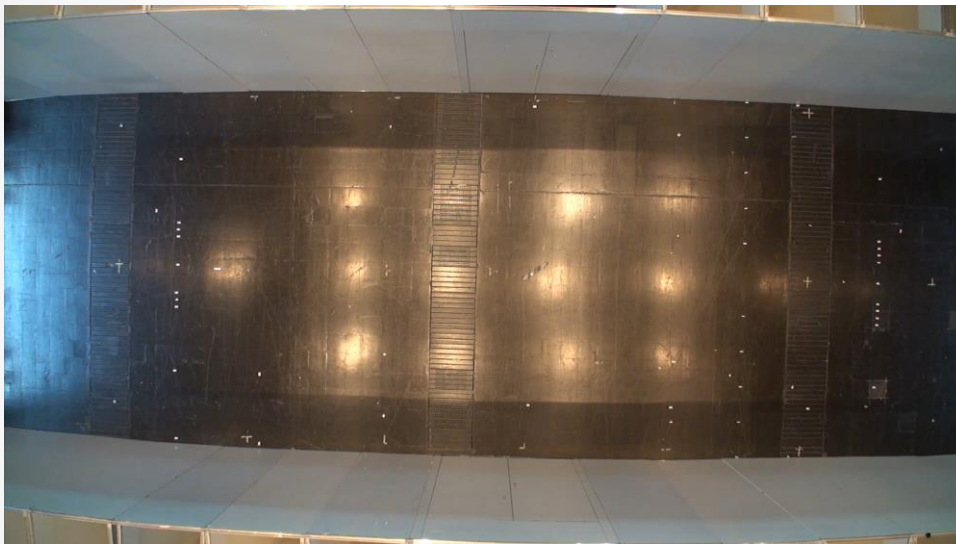
- Достоверность
- Непрерывность во времени (окружение человека меняется не мгновенно, а с некоторой скоростью)
- Трудоемкость вычисления (актуальна в большей степени для моделирования)

Методы определения площади фигуры

1. Палетка
2. Метод Монте-Карло
3. Интегрирование уравнения границы
4. Взвешивание вырезанной фигуры



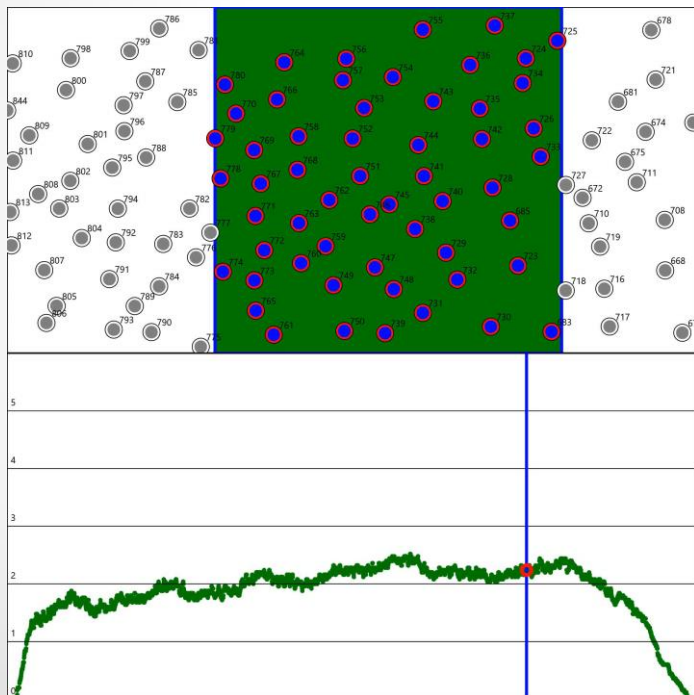
Демонстрационный пример



Федеральное
министерство
образования и
научных
исследований
Германии

<http://ped.fz-juelich.de/db/doku.php?id=corridor5>

«Стандартный метод»



$$D = \frac{N}{A} = \frac{N}{l \cdot b}$$

D – плотность

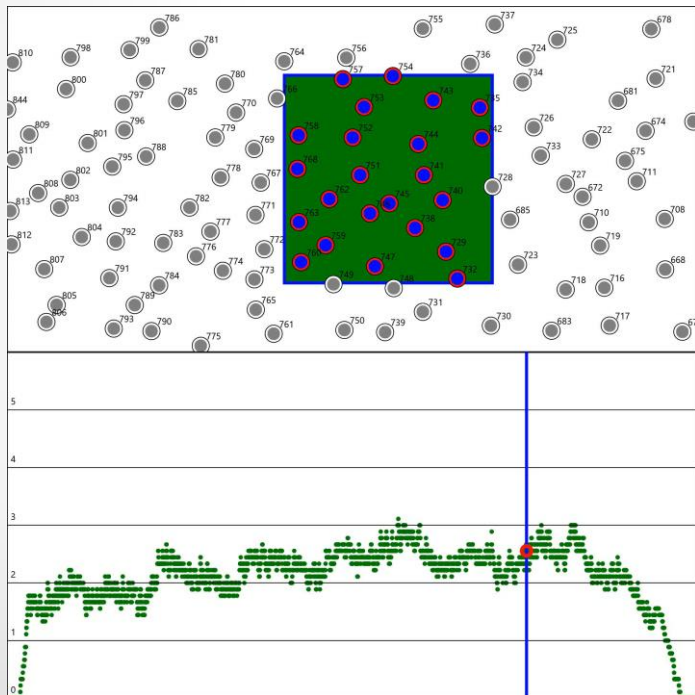
N – количество людей

A – площадь области (25 кв. м)

l – длина области (5 м)

b – ширина области (5 м)

«Стандартный метод»



$$D = \frac{N}{A} = \frac{N}{l \cdot b}$$

D – плотность

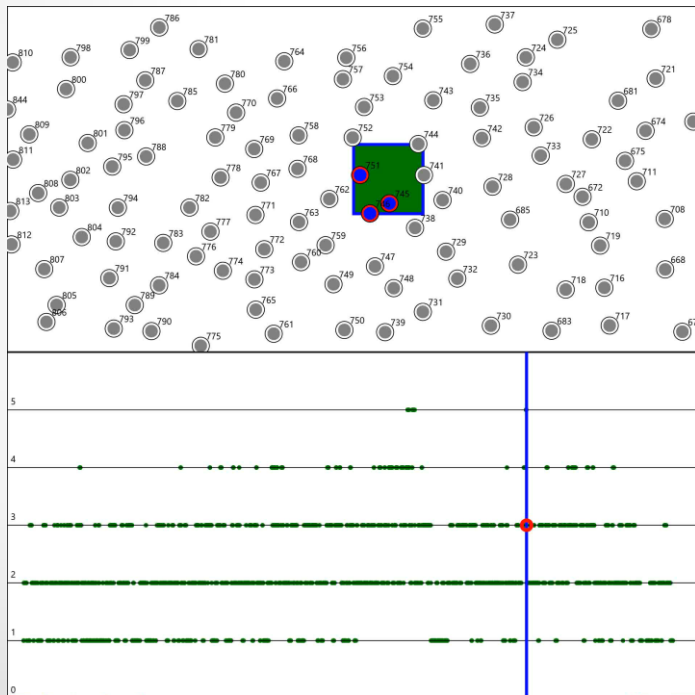
N – количество людей

A – площадь области (9 кв. м)

l – длина области (3 м)

b – ширина области (3 м)

«Стандартный метод»



$$D = \frac{N}{A} = \frac{N}{l \cdot b}$$

D – плотность

N – количество людей

A – площадь области (1 кв. м)

l – длина области (1 м)

b – ширина области (1 м)

«Стандартный метод»: итог

$$D = \frac{N}{A} = \frac{1}{A} \cdot N$$

N – количество людей

A – площадь области

Достоинства:

- простота вычисления

Недостатки:

- чувствительность к размеру области
- дискретность

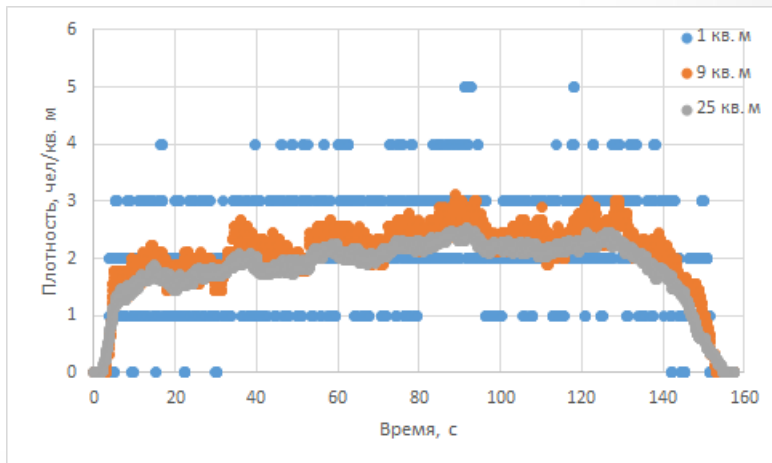
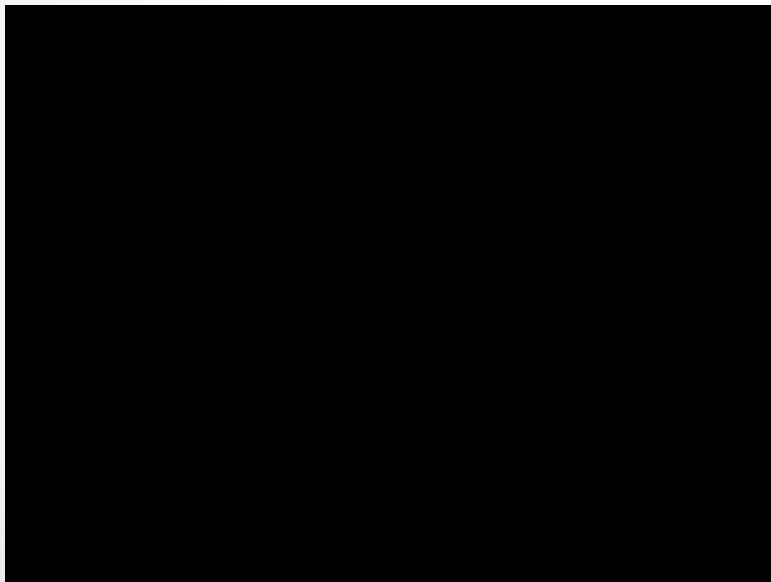


Диаграмма Вороного

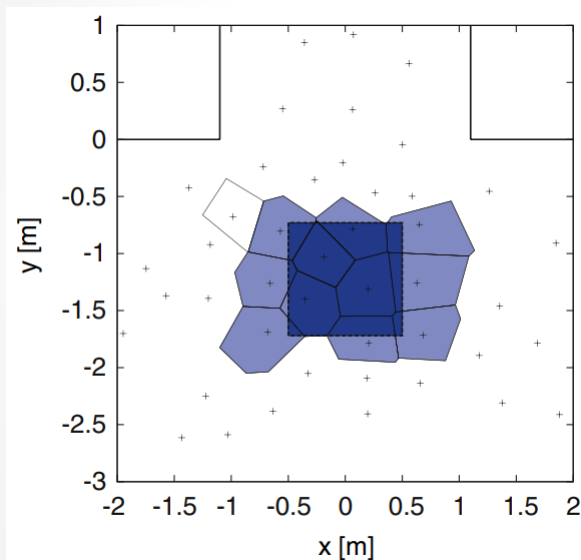


Разбиение плоскости, при котором каждая область разбиения образует множество точек, более близких к одной из точек множества, чем к любой другой.

«Личное пространство существует только по отношению к другим и меняется без нашего контроля»

<https://www.snibbe.com/projects/interactive/boundaryfunctions>

«Метод Вороного»



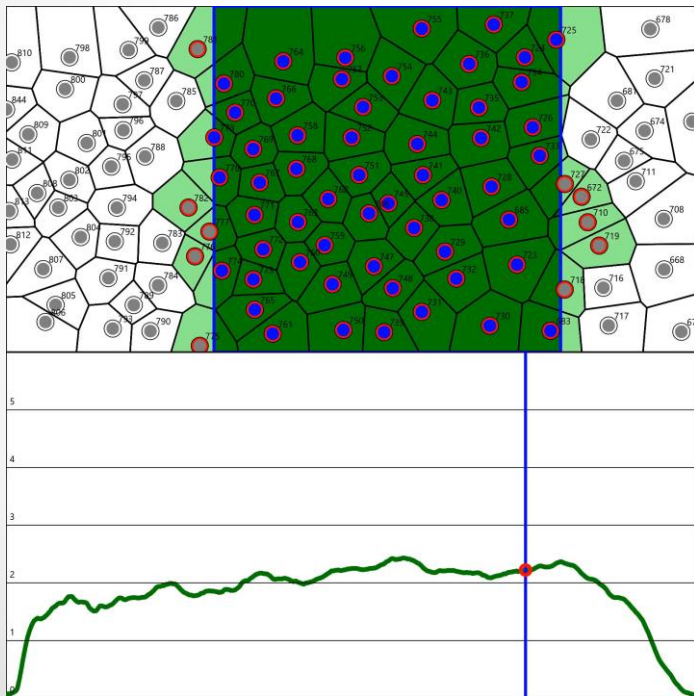
$$D_V = \frac{\int_A p(\vec{x}) d\vec{x}}{|A|}$$

$$p(\vec{x}) = \sum_i p_i(\vec{x})$$

$$p_i(\vec{x}) = \begin{cases} \frac{1}{|A_i|} & : \vec{x} \in A_i \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases}$$

B. Steffen, A. Seyfried, Methods for measuring pedestrian density, flow, speed and direction with minimal scatter. doi:10.1016/j.physa.2009.12.015

«Метод Вороного»



$$D_V = \frac{\int_A p(\vec{x}) d\vec{x}}{|A|}$$

$$p(\vec{x}) = \sum_i p_i(\vec{x})$$

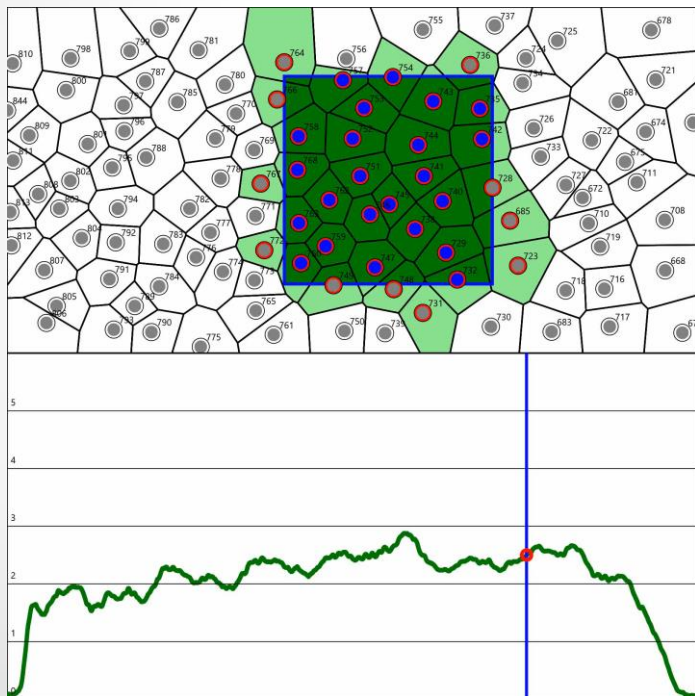
$$p_i(\vec{x}) = \begin{cases} \frac{1}{|A_i|} & : \vec{x} \in A_i \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases}$$

A – площадь области (25 кв. м)

l – длина области (5 м)

b – ширина области (5 м)

«Метод Вороного»



$$D_V = \frac{\int_A p(\vec{x}) d\vec{x}}{|A|}$$

$$p(\vec{x}) = \sum_i p_i(\vec{x})$$

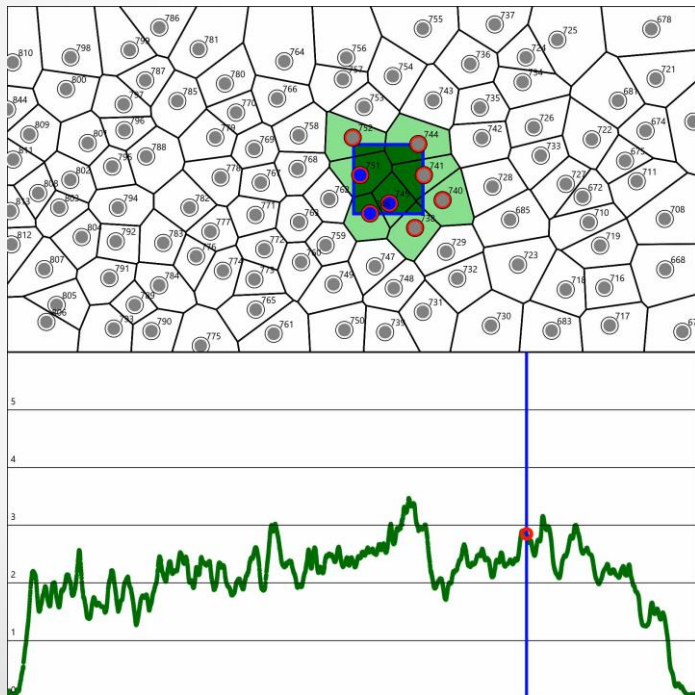
$$p_i(\vec{x}) = \begin{cases} \frac{1}{|A_i|} & : \vec{x} \in A_i \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases}$$

A – площадь области (9 кв. м)

l – длина области (3 м)

b – ширина области (3 м)

«Метод Вороного»



$$D_V = \frac{\int_A p(\vec{x}) d\vec{x}}{|A|}$$

$$p(\vec{x}) = \sum_i p_i(\vec{x})$$

$$p_i(\vec{x}) = \begin{cases} \frac{1}{|A_i|} & : \vec{x} \in A_i \\ 0 & : \text{otherwise} \end{cases}$$

A – площадь области (1 кв. м)

l – длина области (1 м)

b – ширина области (1 м)

«Метод Вороного» : итог

$$D_V = \frac{\int_A p(\vec{x}) d\vec{x}}{|A|}$$

$$p(\vec{x}) = \sum_i p_i(\vec{x})$$

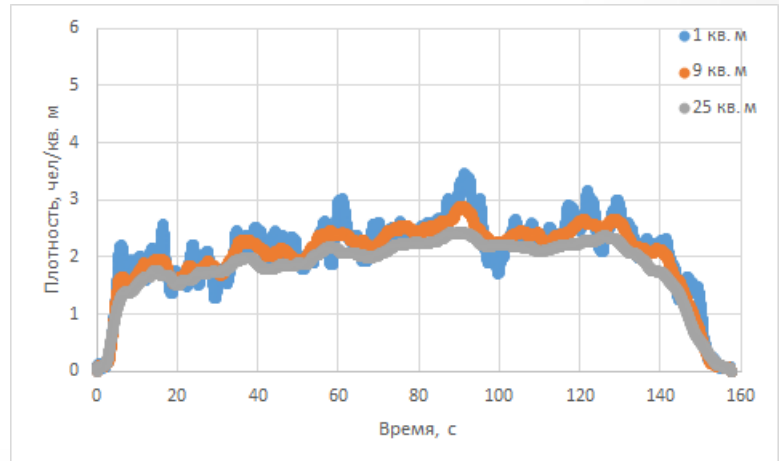
$$p_i(\vec{x}) = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{1}{|A_i|} & : \vec{x} \in A_i \\ 0 & : \text{otherwise} \end{array} \right\}$$

Достоинства:

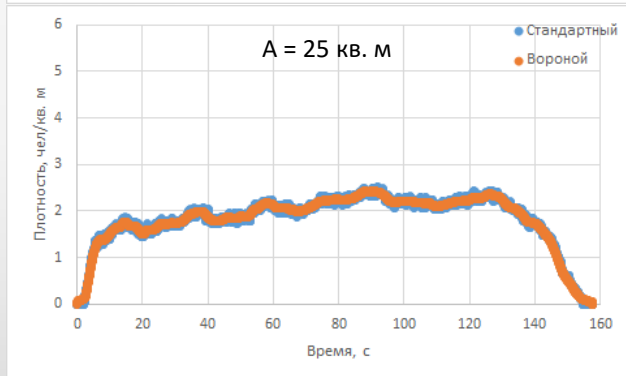
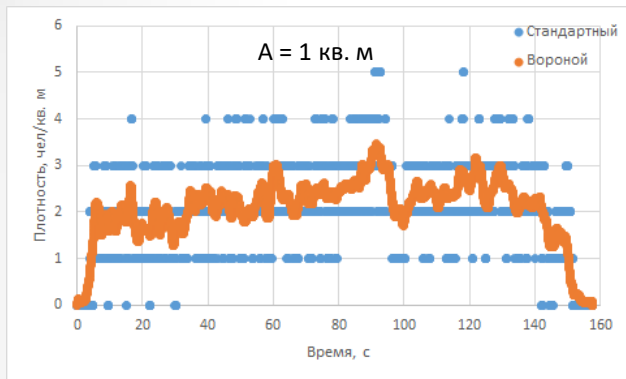
- нечувствителен к размеру области
- непрерывность

Недостатки:

- трудоемкость вычисления

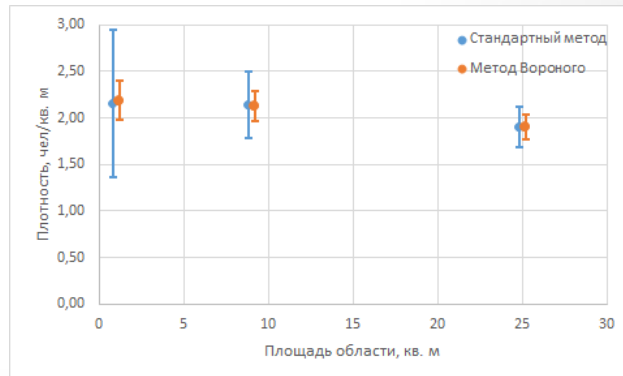


«Стандартный метод» vs «Метод Вороного»



Интервал 40-60 с

| Площадь области, м ² | 1 | 9 | 25 |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Стандартный метод | 2,15 ± 0,79 | 2,14 ± 0,21 | 1,90 ± 0,11 |
| Метод Вороного | 2,19 ± 0,21 | 2,12 ± 0,13 | 1,90 ± 0,10 |

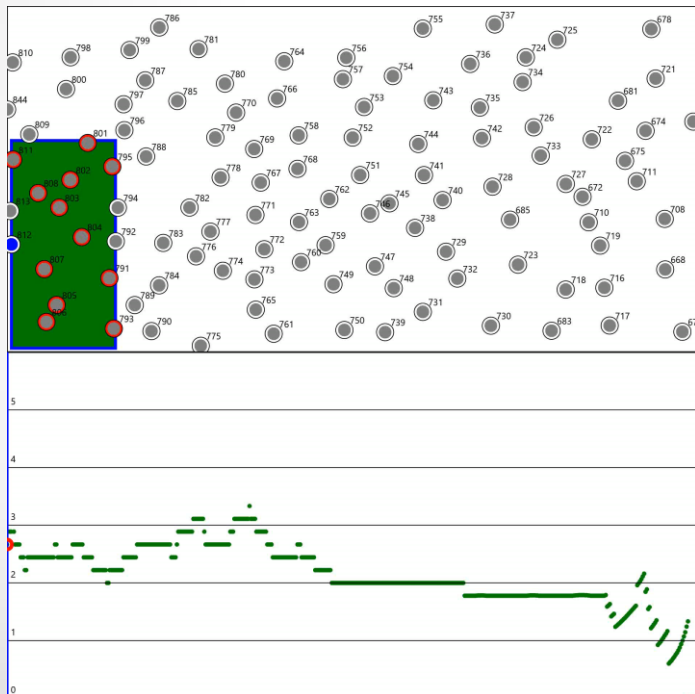


Локальная плотность для человека

Методы:

1. «Стандартные» методы в небольшой области, связанной с человеком.
2. Методы по небольшой группе людей, близких к человеку.
3. Метод, использующий область Вороного, соответствующей человеку.
4. Методы, основанные на расстояниях до ближайших к человеку людей.
5. Методы, основанные на вкладе каждого человека в результирующую плотность в месте расположения человека.

«Метод LR (Local Rectangle)»



$$D_i = \frac{n_i}{A} = \frac{n_i}{l \cdot b}$$

n_i – количество людей

A – площадь области (4,5 кв. м)

l – длина области (1,5 м)

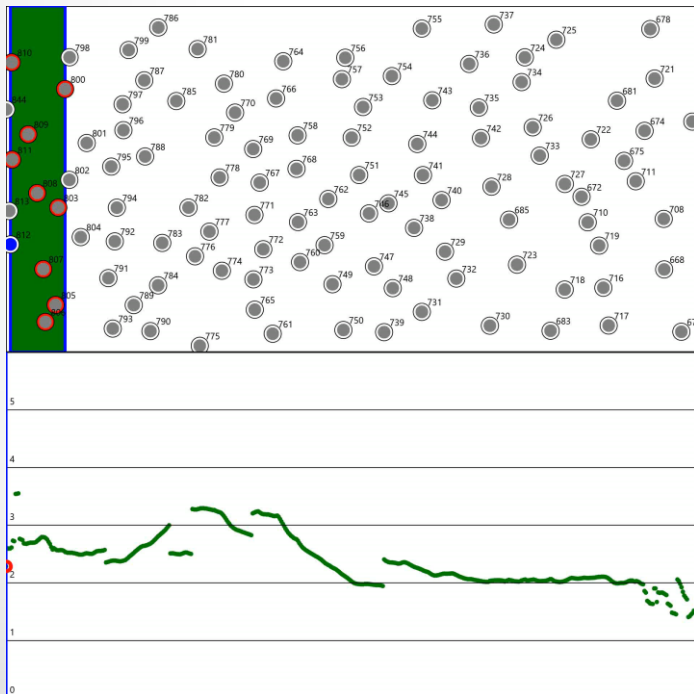
b – ширина области (3 м)

1,54 м – расстояние, на котором человек начинает обгон

(Самошин Д.А. «Состав людских потоков и параметры их движения при эвакуации.

Монография»)

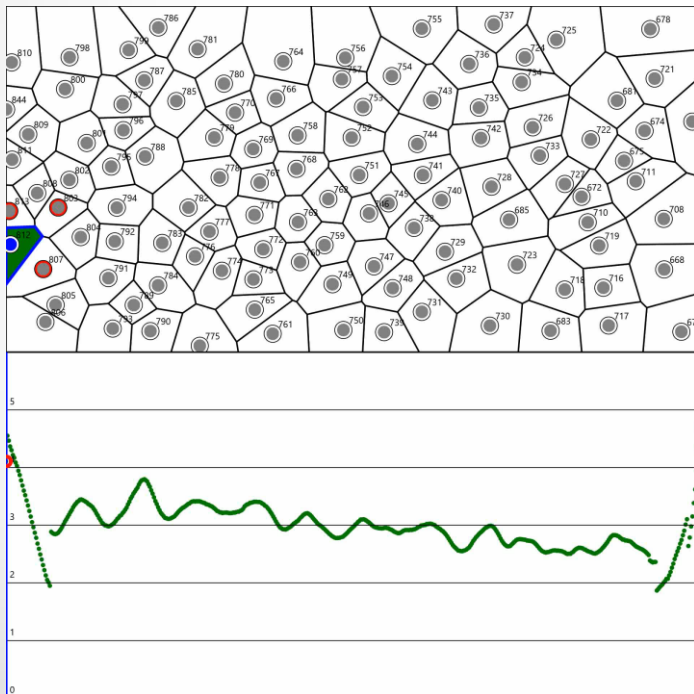
«Метод LNC (Local N Constant)»



$$D_i = \frac{N}{A_i} = \frac{N}{\Delta x_i \cdot b}$$

N – количество людей (10)
 A_i – площадь области
 Δx_i – расстояние между первым и последним человеком в группе (~1 м)
 b – ширина области (5 м)

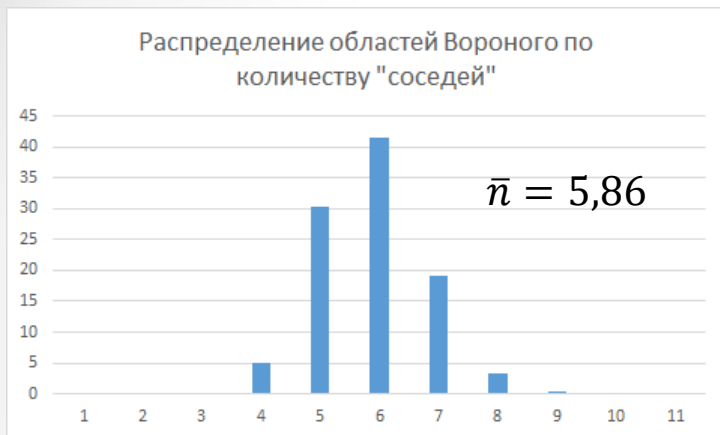
«Метод LV (Local Voronoi)»



$$D_i = \frac{1}{A_i}$$

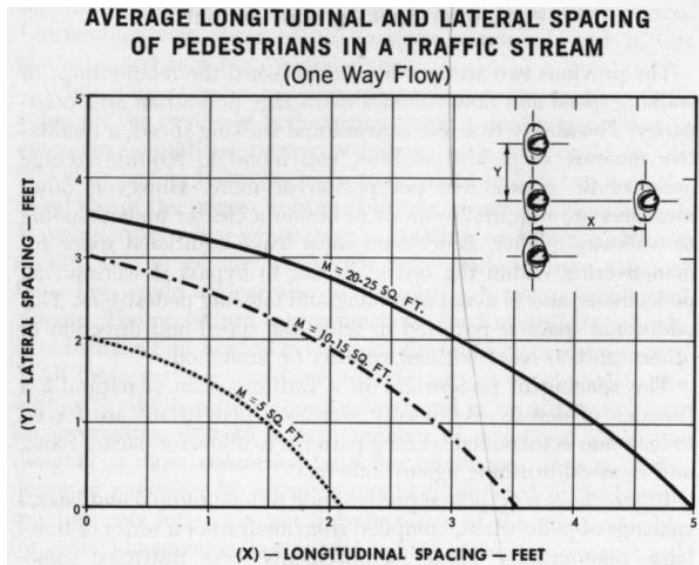
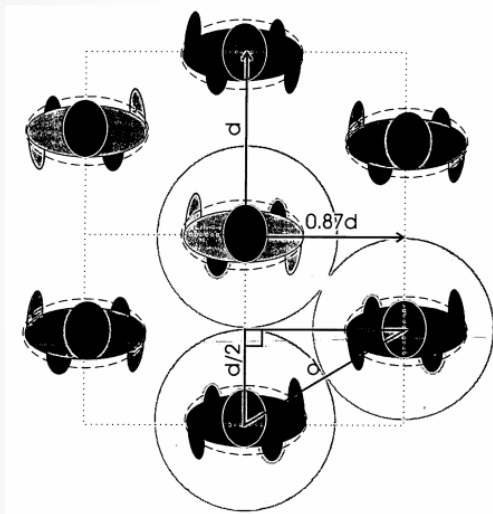
A_i – площадь области Вороного

Наблюдение



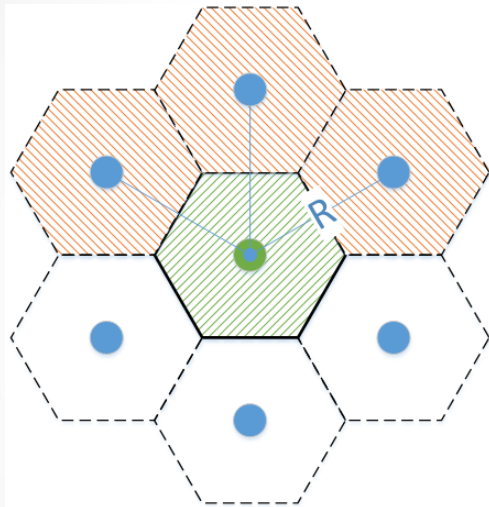
Peter A. Thompson, Developing new techniques for modeling crowd movement, PhD Thesis - University of Edinburgh, 1994

«Метод ближайших соседей»



John J. Fruin, 1987. Pedestrian planning and design.
Revised Edition. Elevator World, Inc.

«Метод LH (Local Hexagon)»



$$S_6 = 2\sqrt{3}r^2$$

S_6 - площадь шестиугольника

r – радиус вписанной окружности

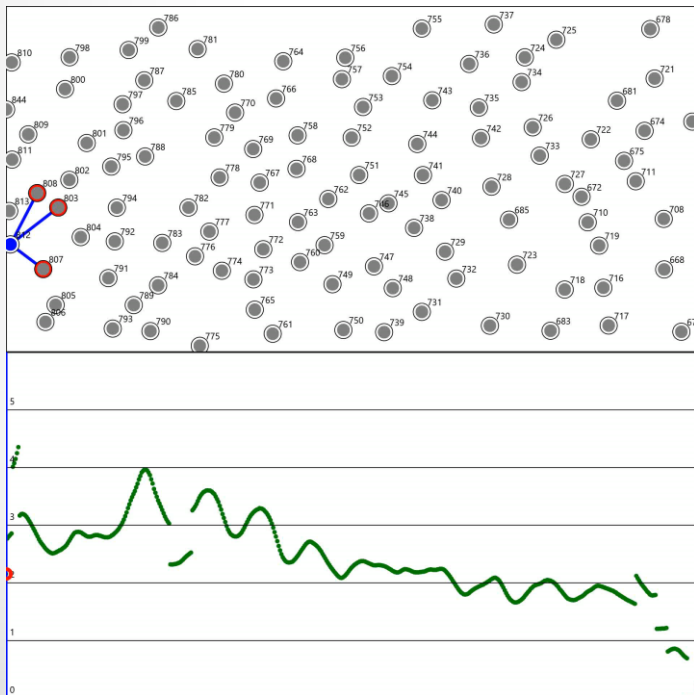
$$r = \frac{R}{2}$$

$$A_i = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot R^2$$

$$D_i = \frac{1}{A_i} = \frac{2\sqrt{3}}{3} \cdot \frac{1}{R^2}$$

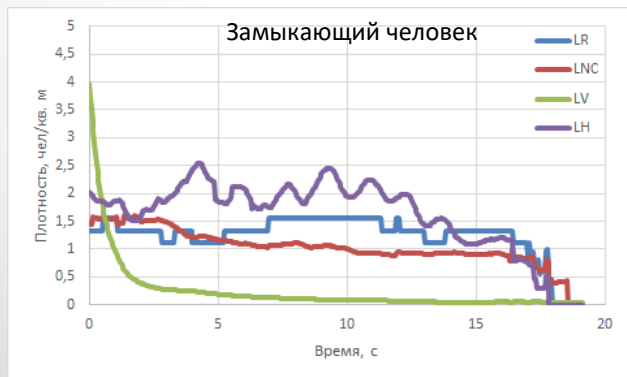
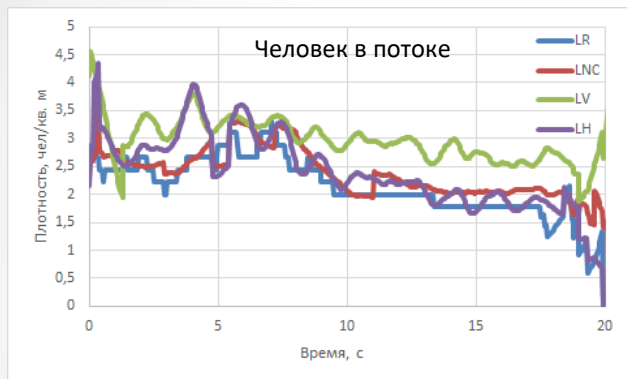
$$D_i = \frac{1}{3} \cdot \frac{2\sqrt{3}}{3} \cdot \sum_{j=1}^3 \frac{1}{R_{ij}^2}$$

«Метод LH (Local Hexagon)»



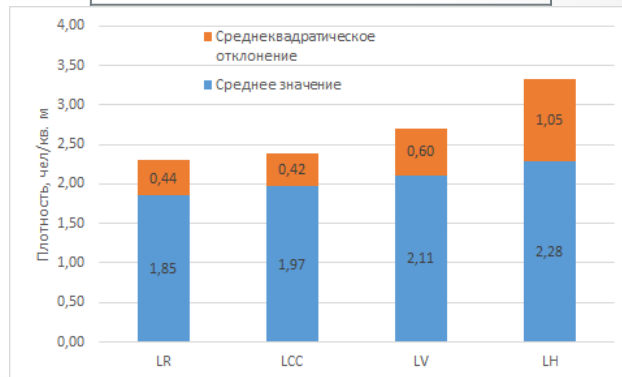
$$D_i = \frac{2\sqrt{3}}{9} \cdot \sum_{j=1}^3 \frac{1}{R_{ij}^2}$$

Сравнение методов LR, LNC, LV и LH



LR – Local Rectangle **LNC** – Local N Constant
LV – Local Voronoi **LH** – Local Hexagon

| Площадь области, м ² | 1 | 9 | 25 |
|---------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Стандартный метод | 2,15 ± 0,79 | 2,14 ± 0,21 | 1,90 ± 0,11 |
| Метод Вороного | 2,19 ± 0,21 | 2,12 ± 0,13 | 1,90 ± 0,10 |





Что в итоге?