

03 - 17 ноября 2025 г.

Задача А1. Задача трёх кругов

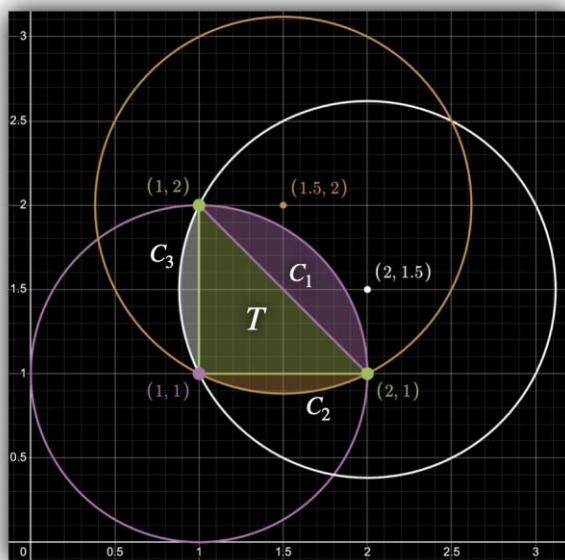
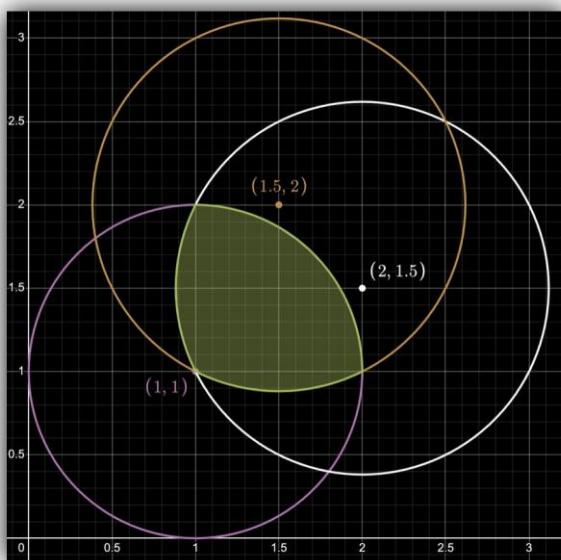
Среди множества возможных применений стохастического метода Монте-Карло особенно выделяется приближенная оценка площадей самых разных геометрических фигур, к которым в том числе относятся фигуры, образуемые пересечением кругов.

Постановка задачи

Нам даны три окружности:

- с центром в точке $(1, 1)$ и радиусом 1,
- с центром в точке $(1.5, 2)$ и радиусом $5/2$ и
- с центром в точке $(2, 1.5)$ и радиусом $5/2$.

В рамках этой задачи требуется вычислить приближенное значение площади фигуры, образованной в результате пересечения соответствующих кругов (см. зеленую область на левом рисунке ниже). Кроме того, необходимо оценить, насколько приближенная оценка площади *отклоняется* от ее точного значения в зависимости от параметров работы алгоритма Монте-Карло.



Точное вычисление площади пересечения кругов

Вывод общей формулы для вычисления площади пересечения кругов — весьма сложная задача, поэтому для удобства вычислений мы разобьем целевую фигуру на прямоугольный треугольник и три круговых сегмента, как показано выше на правом рисунке, а именно на:

- прямоугольный треугольник T с вершинами в точках $(1, 1)$, $(1, 2)$ и $(2, 1)$;
- сегмент C_1 , ограниченный гипotenузой T и кругом с центром в $(1, 1)$;
- сегменты C_2 и C_3 , ограниченные катетами T и кругами с центрами в $(1.5, 2)$ и $(2, 1.5)$.

Площадь кругового сегмента равна $\frac{\theta - \sin(\theta)}{2} \cdot r^2$, где r — радиус, а θ — величина соответствующего центрального угла (в радианах).

03 - 17 ноября 2025 г.

Нетрудно заметить, что площади круговых сегментов C_2 и C_3 совпадают. Поэтому общая площадь фигуры, образованной пересечением заданных кругов, составит

$S = S_T + S_{C1} + 2S_{C2} = S_T + S_{C1} + 2S_{C3}$. Рассмотрим вычисление площади каждого компонента S в отдельности:

1. Площадь прямоугольного треугольника T с единичными катетами равна 0.5.

2. Центральный угол, который образует сегмент C_1 , составляет $90^\circ - \pi/2$ радиан. Тогда:

$$S_{C1} = \frac{\pi/2 - \sin(\pi/2)}{2} \cdot 1^2 = 0.25 \cdot \pi - 0.5$$

3. Синус центрального угла, который образует сегмент C_2 (C_3), составляет 0.8. Его можно найти по теореме косинусов для треугольника с вершинами $(1, 1)$, $(1.5, 2)$ и $(2, 1.5)$. Тогда:

$$2 \cdot S_{C2} = 2 \cdot S_{C3} = 2 \cdot \frac{\arcsin(0.8) - 0.8}{2} \cdot \left(\frac{\sqrt{5}}{2}\right)^2 = 1.25 \cdot \arcsin(0.8) - 1$$

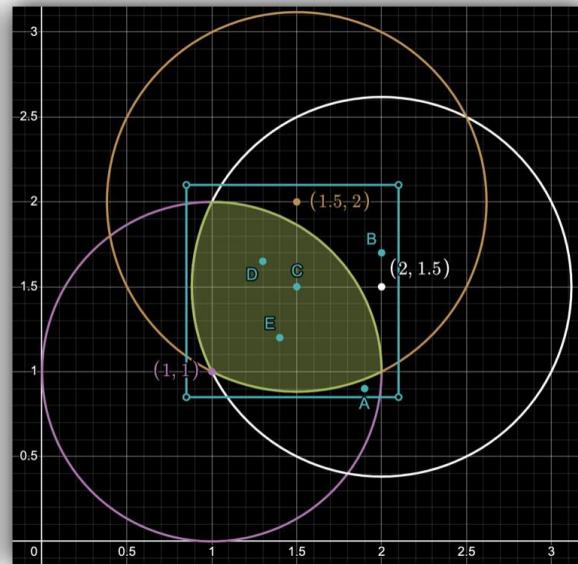
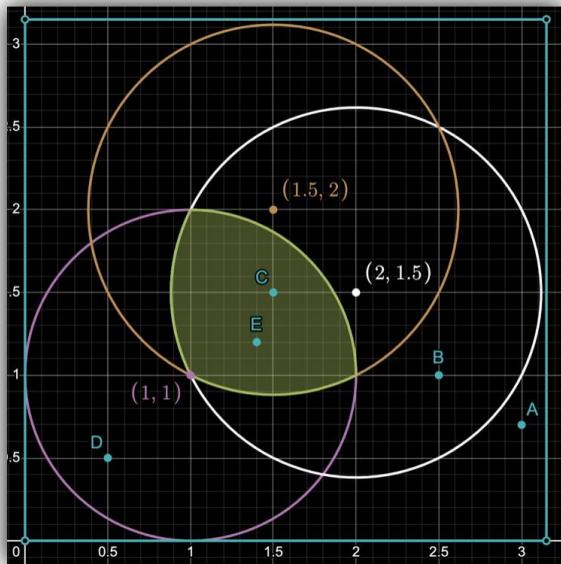
Итак, точная площадь фигуры пересечения трех заданных окружностей составляет:

$$S = S_T + S_{C1} + 2S_{C2} = 0.5 + 0.25 \cdot \pi - 0.5 + 1.25 \cdot \arcsin(0.8) - 1 = 0.25 \cdot \pi + 1.25 \cdot \arcsin(0.8) - 1$$

Приближенное вычисление площади пересечения кругов

Вычислить оценку площади фигуры, образованной пересечением трех заданных кругов, с помощью метода Монте-Карло можно как минимум двумя способами:

- путем случайной генерации точек в широкой прямоугольной области, которая охватывает все три круга полностью (см. на левом рисунке ниже)
- путем случайной генерации точек в узкой прямоугольной области, которая более «плотно» ограничивает пересечение трех кругов (см. на правом рисунке ниже).



В обоих случаях, приближенная оценка отношения площади S целевой фигуры пересечения трех кругов к площади S_{rec} прямоугольной области составит $S / S_{rec} \approx M / N$, где N — общее число сгенерированных точек в рассматриваемой прямоугольной области, а M — число точек, которые попадают внутрь и на границу фигуры пересечения трех кругов. Таким образом, приближенная оценка площади пересечения трех кругов составит $S_e = (M / N) \cdot S_{rec}$.

03 - 17 ноября 2025 г.

1. Реализуйте алгоритм Монте-Карло на основе случайной генерации точек в заданной прямоугольной области для приближенного вычисления площади пересечения трех кругов, заданных координатами центров и радиусами.
2. Проведите экспериментальные замеры точности вычисления площади фигуры, *рассмотренной в постановке задачи*, в зависимости от масштаба прямоугольной области (*широкой и узкой*) для случайной генерации точек, а также от количества случайно сгенерированных точек N , которое изменяется от 100 до 100000 с шагом 500. Представьте результаты проведенных экспериментов в следующем виде:
 - график(-и) первого типа, которые отображают, как меняется приближенное значение площади в зависимости от указанных параметров алгоритма;
 - график(-и) второго типа, которые отображают, как меняется величина относительного отклонения приближенного значения площади от ее точной оценки в зависимости от указанных параметров алгоритма.
3. Опишите полученные вами результаты и сформулируйте содержательные выводы.

Язык программирования, который должен использоваться при реализации алгоритмов, — C++. Ограничений на используемые средства обработки и визуализации эмпирических данных нет. Помимо графиков и пояснений, приложите:

1. ID своей посылки по задаче A1i в системе CodeForces с реализацией алгоритма Монте-Карло.
2. Ссылку на публичный репозиторий с исходными данными, полученными в результате экспериментальных замеров.

Система оценки

1. 5 баллов Реализация алгоритма Монте-Карло для приближенного вычисления площади фигуры, образованной пересечением трех кругов.
2. 6 баллов Представление экспериментальных результатов работы алгоритма в зависимости от параметров его работы.
3. 4 балла Сравнительный анализ полученных эмпирических данных.

Обратите внимание, что загрузка реализации алгоритма в задачу A1i является *необходимым условием* для получения оценки по другим критериям. Решения без загрузки реализации алгоритма в задачу A1i не проверяются и не оцениваются. Отдельная оценка только за реализацию алгоритма и прохождение тестов в системе Codeforces не выставляется.

Задача A1i. Задача трех кругов — реализация

Имя входного файла:	стандартный ввод
Имя выходного файла:	стандартный вывод
Ограничение по времени:	1 секунда
Ограничение по памяти:	256 мегабайт

Эта подзадача *сопутствует* основной задаче A1.

Загрузите реализацию алгоритма Монте-Карло оценки площади фигуры, образованной пересечением трех кругов, которые заданы координатами центров и радиусами соответствующих окружностей.

Формат входных данных

Три строки, каждая содержит по три вещественных числа x_i, y_i, r_i , где $0 \leq x_i \leq 1$ и $0 \leq y_i \leq 1$ — координаты центра окружности, а r_i — ее радиус.

03 - 17 ноября 2025 г.

Формат выходных данных

Выведите одно число — приближенную оценку площади пересечения трех заданных кругов с абсолютной погрешностью, не превышающей 0.01.

Примеры

стандартный ввод	стандартный вывод
0.0 0.0 1.0 1.0 1.0 1.0 0.0 1.0 1.0	0.4438079999999998029
0.3 0.3 1 0.3 0.3 0.8 0.3 0.3 0.9	2.01463200000000020040

Замечание

В этой задаче вам нужно внимательно подойти к выбору общего числа генерируемых точек, ориентируясь на значения, приведенные в примере, и требуемую погрешность. Отдельная оценка только за решение задачи A1i без проведения экспериментального анализа (отчета по задаче A1) не выставляется.