

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «КубГУ»)

Факультет компьютерных технологий и прикладной математики
Кафедра информационных технологий

ДОКЛАД
по дисциплине «Агентная парадигма программирования»
на тему «ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ АГЕНТОВ»

Работу выполнил студент группы 209

Брезицкий С.О.

Работу принял доц. каф. ИТ

Полетайкин А.Н.

Краснодар-2025

1 Обзор исследования

Исследование «Exploring the effectiveness of a COVID-19 contact tracing app using an agent-based model», проведенное Jonatan Almagor и Stefano Picascia, анализирует, как агентное моделирование может помочь в оценке эффективности цифровых стратегий борьбы с пандемией. Модель имитирует распространение COVID-19 в городской популяции, учитывая различные уровни использования приложения для отслеживания контактов, возможности тестирования и поведенческие факторы.

2 Архитектура модели

Модель реализована на платформе NetLogo и представляет собой агентно-ориентированную симуляцию распространения COVID-19 в городской популяции. Каждый агент моделирует индивидуального жителя с уникальными характеристиками и поведением.

Ключевые компоненты модели:

- Агенты: Индивидуальные жители с атрибутами, такими как возраст, профессия, уровень соблюдения мер предосторожности и статус заражения.
- Социальная сеть: Многоуровневая структура, включающая домохозяйства, рабочие места, школы и дружеские связи, определяющая взаимодействия между агентами.
- Механизмы распространения: Имитация передачи вируса через взаимодействия агентов в различных социальных средах.
- Приложение для отслеживания контактов: Моделируется внедрение и использование приложения с различными уровнями проникновения в популяции.

2.1 Агенты

Население Глазго импортируется в модель при настройке в масштабе 1/5 (примерно 103000 агентов). Атрибуты агентов: возраст, пол, тип домохозяйства и местоположение.

2.2 Социальные сети и контакты

Агенты в модели принадлежат к четырем переплетенным структурам: «домашнее хозяйство» (household), «отношения» (relation), «социальное» (social) и «работа» (work). Дети в возрасте от 6 до 17 лет также принадлежат к ряду сетей «класс» (classroom).

Структура домохозяйства создается следующим образом: мужчины и женщины, принадлежащие к одному типу домохозяйства и проживающие в одном секторе почтового индекса, связаны друг с другом на основе возрастного расстояния; предполагается, что одинокие люди в возрасте до 20 лет живут дома с одним или двумя родителями и братьями и сестрами. Предполагается, что одинокие люди старше 20 лет живут самостоятельно, определенная доля проживает совместно. Связи типа «домашнее хозяйство» выстраиваются между этими агентами.

Ряд сетей рабочих мест создается на основе распределения размеров рабочих мест в городе Глазго. Активные агенты трудоспособного возраста распределяются по рабочим местам и связаны со всеми коллегами, подмножество которых, как предполагается, находится в более тесном и частом контакте. 13% агентов трудоспособного возраста назначаются на государственную работу, что подразумевает частые контакты с другими агентами.

Социальная сеть создается среди всех агентов старше 14 лет на основе принципа предпочтительной привязанности, так что создается сеть без масштаба. Социальные связи смещены в сторону людей одной возрастной группы.

Сеть отношений объединяет людей, которые являются родственниками, но не живут в одном домохозяйстве (например, бабушки и дедушки)

Сеть классов объединяет детей в возрасте от 6 до 17 лет в группы максимум из 30 детей одного возраста.

Таблица 1 – Тип контакта и вероятность передачи инфекции для социальных сетей и случайных контактов.

Тип контакта	Частота контактов	Кол-во контактов за один случай	Вероятность передачи (β) за контакт
Домохозяйство	Ежедневно	Все члены домохозяйства	β_s
Школа	5 дней в неделю	50% от класса	$\beta_k = \beta_s \times 0.5$
Друзья / Знакомые	Ежедневно (возраст < 65 лет); 3.5 дня в неделю (возраст > 65 лет)	1–10% друзей	β_s
Родственники	2 дня в неделю	Один родственник на домохозяйство	β_s
Рабочее место	5 дней в неделю	Все близкие коллеги и один из других	β_s
Работа с клиентами	5 дней в неделю	Случайные контакты из Пуассона $\lambda^w = 3p \times \text{zone_population}$	$\beta_r = \beta_s \times 0.1$
Случайные контакты	Ежедневно (возраст < 65 лет); 3.5 дня в неделю (возраст > 65 лет)	Случайные контакты из Пуассона $\lambda_R = p \times \text{zone_population}$	$\beta_r = \beta_s \times 0.1$

2.3 Распространение и прогрессирувание заболевания

Каждый моделируемый день агенты занимаются своими делами и встречаются с другими агентами: дома, на работе, в школе, по городу. Каждая встреча представляет собой возможность для инфицированного агента заразить кого-то еще.

Предполагается, что заражение происходит преимущественно по социальным связям. Люди в семье инфицированного агента, в его социальной сети и на рабочем месте подвергаются большему риску из-за более тесного и длительного контакта. Во время случайных встреч контакты длятся меньше и, следовательно, имеют меньшую вероятность передачи. Когда кто-то заражается, после периода инкубации он начинает заражать других людей.

Прогрессирувание заболевания основано на имеющихся данных и исследованиях. У агентов есть вероятность развития симптомов после

инкубации в зависимости от их возраста; другая вероятность ухудшения; третья вероятность смерти. Вероятность ниже для женщин во всех трех фазах. Вероятности можно изменить, отредактировав файл DiseaseConfig.nls.

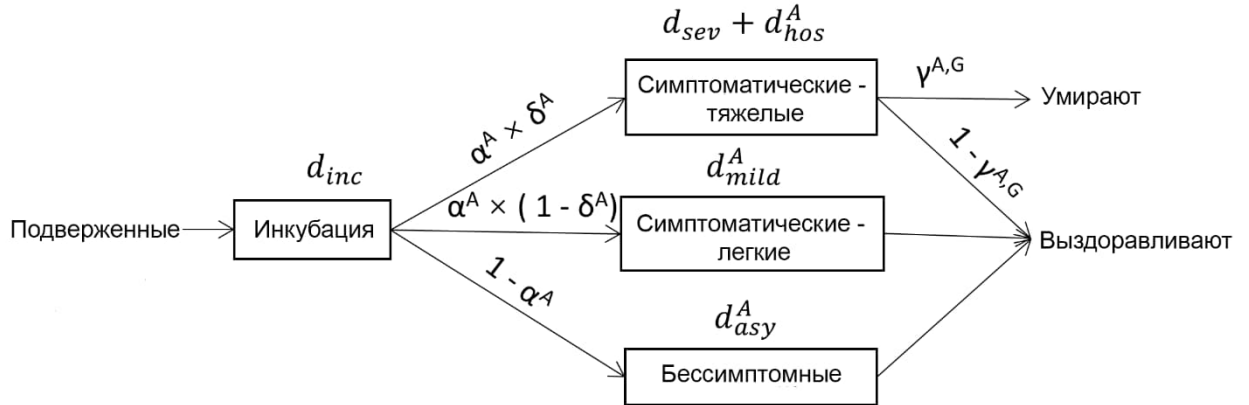


Рисунок 1 – Прогрессирование заболевания

На рисунке 1 показана схема прогрессирования заболевания. Прямоугольники представляют состояния заболевания, а стрелки — переход между состояниями. d_{state}^A обозначает продолжительность состояния заболевания с учетом возраста A агента. Агенты с тяжелым симптоматическим заболеванием проводят d_{sev} дней дома, прежде чем попадают в больницу на срок d_{hos}^A дней. Переход между состояниями заболевания происходит с вероятностями, зависящими от возраста; где α^A и $1 - \alpha^A$ обозначают вероятность того, что агент в возрасте A будет симптоматичным и бессимптомным соответственно. δ^A обозначает вероятность того, что симптоматический агент перейдет в тяжелое заболевание; $\gamma^{A,G}$ обозначает вероятность смерти тяжелобольного агента в возрасте A и поле G .

2.4 Локдаун

Модель реализует политику локдауна, основанную на ответе почти всех европейских стран. При локдауне все дружеские связи обрываются (= никто не может заразиться через друзей), а школы и рабочие места закрываются. Важно, что предполагается, что агенты изолируются дома, поэтому члены домохозяйств все еще в некоторой степени подвержены заражению.

2.5 Социальное дистанцирование

Социальное дистанцирование реализовано в модели, предполагающей, что часть работников работает из дома, более редкие контакты со знакомыми, классы (для школьников) меньшего размера и соблюдение безопасной дистанции в общественных местах, что приводит к снижению вероятности передачи вируса.

2.6 Отслеживание контактов

Модель имитирует предлагаемую стратегию отслеживания контактов для «второй фазы» контроля эпидемии: приложение для смартфона с подпиской. После инициализации модели определенному количеству агентов предоставляется «приложение». Если агент с приложением дает положительный результат на COVID19, все другие агенты, которые контактировали с ней в течение предыдущих 10 дней и также имеют приложение, уведомляются об этом и имеют возможность самоизолироваться в качестве меры предосторожности.

На рисунке 2 показана схема процедуры тестирования, самоизоляции и уведомления СТА. Как только симптоматический агент i узнает о заболевании, агент ищет тестирование. Если тесты доступны, агент проходит тестирование. После положительного результата агент самоизолируется. Члены домохозяйства h агента i будут самоизолироваться с вероятностью ω_h , и родственники будут уведомлены. Если агент является учеником, все одноклассники будут самоизолироваться и искать тестирование. Если агент i использует СТА, все зарегистрированные контакты будут уведомлены. Когда тесты недоступны, агент i будет самоизолироваться с вероятностью ω_i . В случае, если агент самоизолируется, вышеупомянутая процедура самоизоляции будет иметь место без уведомления контактов СТА. В противном случае агент продолжит работу в обычном режиме. Как только пользователь СТА j будет уведомлен, агент j будет искать тестирование. Если

тестирование недоступно, агент j может самоизолироваться с вероятностью $\omega_j * \Omega$.

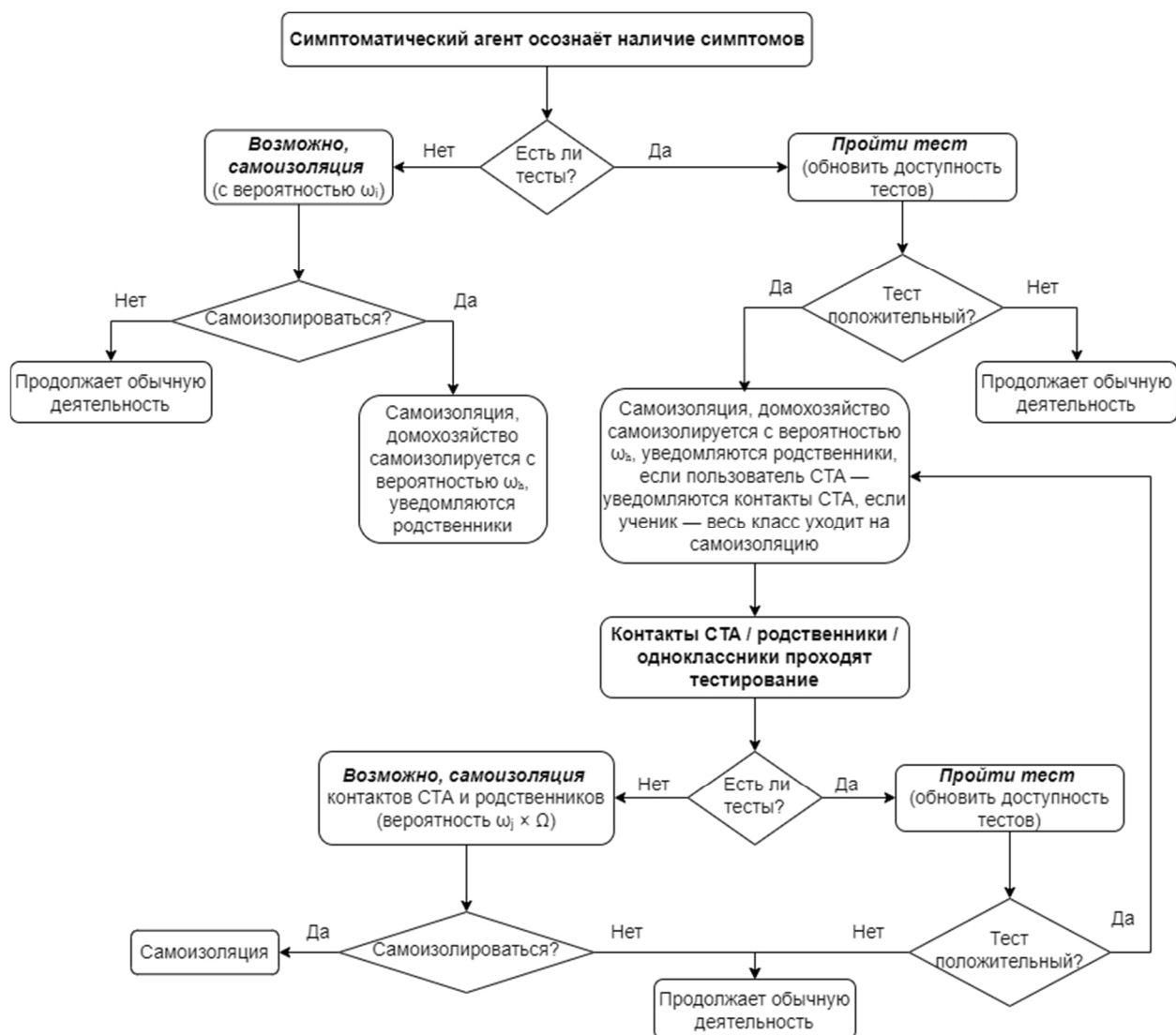


Рисунок 2 – Процедура тестирования, самоизоляции и уведомления СТА

2.7 Настройка параметров модели

Модель основана на имеющихся знаниях о прогрессировании инфекции COVID19. Ее можно настроить, изменяя вероятности перехода между различными состояниями инфекции и относительные временные интервалы в DiseaseConfig.nls и следующие параметры в интерфейсе Netlogo (таблица 2).

Таблица 2 – Настраиваемые параметры модели

Параметр	Описание
infection-chance	Вероятность того, что инфицированный агент заразит восприимчивого агента при контакте
initially-infected	Доля населения, инфицированная на нулевой день симуляции
initially-cured	Доля населения, выздоровевшая к нулевому дню симуляции
average-isolation-tendency	Вероятность самоизоляции после появления симптомов
lockdown-at-first-death	Введение полного локдауна после первой зарегистрированной смерти
pct-with-tracing-app	Процент населения, использующего приложение для отслеживания контактов
tests-per-100-people	Количество доступных тестов в неделю в пересчете на 100 человек
schools-open?	Посещают ли дети школу каждое утро
social-distancing?	Применяются ли меры социального дистанцирования
prioritize-symptomatics?	Симптоматические агенты тестируются раньше, чем их контакты
app-compliance	Вероятность того, что бессимптомный агент, получивший уведомление от приложения, самоизолируется
use-seed	Симуляция использует фиксированное значение случайного зерна

3 Проведение экспериментов

В основе исследования лежит изучение внедрения СТА и доступности тестирования в базовый сценарий социального дистанцирования. Было моделировано влияние на распространение вируса различных комбинаций: (1) доли пользователей СТА в популяции; (2) уровней тестовых возможностей; (3) уровней соблюдения самоизоляции со стороны пользователей СТА; (4) политики тестирования. Таблица 3 обобщает комбинации параметров, исследованные в модели. В целом было моделировано 140 сценариев, каждый из которых повторялся 20 раз, чтобы учесть неопределенность результатов из-за стохастичности, встроенной в модель.

Таблица 3 – Параметры, используемые в симуляционных экспериментах

Параметр	Значение в экспериментах	Описание
СТА users	0, 20, 40, 60, 80	% населения старше 14 лет, использующих СТА
Testing capacity	0, 0.5, 1, 1.5, 3, 6, <i>без ограничений</i>	Максимальный % населения, который можно протестировать в неделю (в соответствии с

Параметр	Значение в экспериментах	Описание
		политикой Великобритании — 200 000 тестов в день, что соответствует 2% населения в неделю)
Compliance of CTA users	Низкое соблюдение: $\Omega = 0.5$ Высокое соблюдение: $\Omega = 0.9$	Вероятность самоизоляции пользователя СТА без тестирования снижается на Ω : вероятность самоизоляции = $\omega_i \times \Omega$
Testing policy	a) Приоритет симптоматическим b) Без приоритета	a) Каждый день тестируют сначала симптоматических, затем пользователей СТА b) Агенты тестируются в порядке очереди (первый пришёл — первый протестирован)
Initial conditions	7% выздоровело от вируса; 300 агентов (0.3%) инфицированы	Соответствует оценкам Великобритании перед отменой локдауна

На рисунке 3 показаны диаграммы процента населения, инфицированного в ходе эпидемии. Сценарии различаются по мощности тестирования (ось x) и проценту пользователей СТА (цвет коробчатой диаграммы). Диаграммы организованы по политике тестирования и соблюдению самоизоляции пользователей СТА: (a) Высокая степень соответствия и приоритет для тестирования симптоматических случаев; (b) Низкая степень соответствия и приоритет для тестирования симптоматических случаев; (c) Высокая степень соответствия и отсутствие приоритета для тестирования симптоматических случаев; (d) Низкая степень соответствия и отсутствие приоритета для тестирования симптоматических случаев. Коробчатые диаграммы показывают медиану и межквартильный диапазон множественных запусков моделирования.

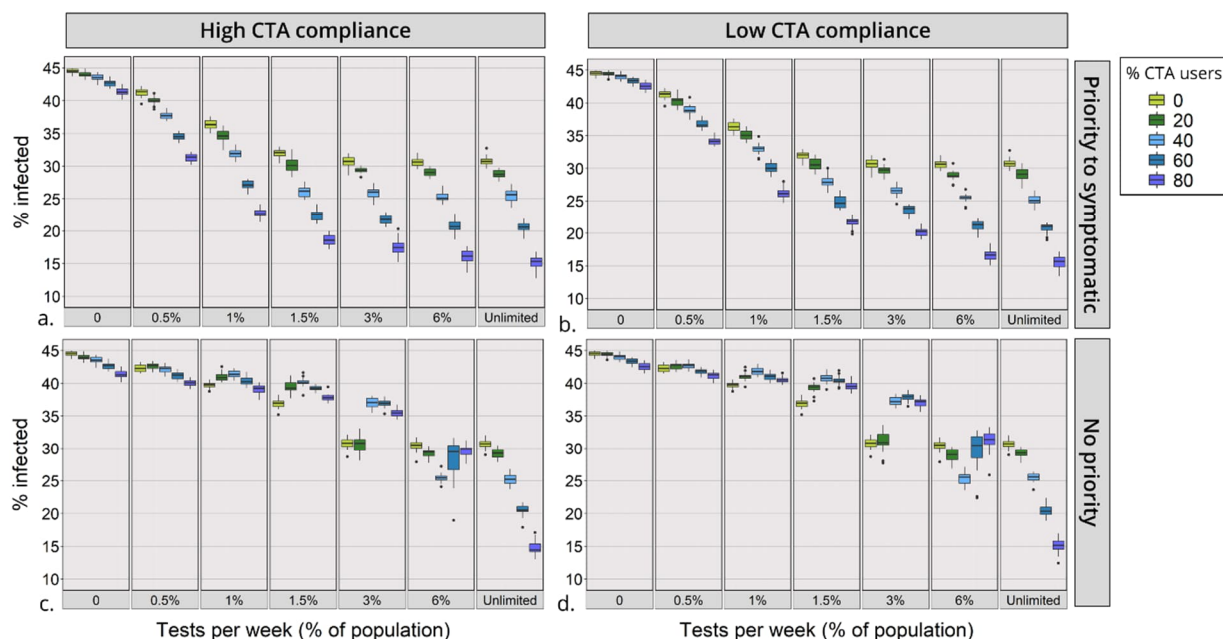


Рисунок 3 – Процент населения, инфицированного в ходе эпидемии

Выводы из экспериментов:

- Высокий уровень использования приложения для отслеживания контактов в сочетании с достаточной возможностью тестирования существенно снижает уровень инфицирования.
- Приоритетное тестирование симптоматических случаев повышает эффективность стратегии.
- Недостаточная возможность тестирования может привести к перегрузке системы и снижению эффективности приложения.

4 Код системы

<https://github.com/harrykipper/covid?tab=readme-ov-file>