

Краткое описание и последовательность расчетов

1. Создаем поле из шестиугольников (37 шт). Каждая клетка – это отдельное племя, которое будет взаимодействовать с соседями
2. Каждое племя наделено следующими характеристиками

Альтруизм (А, изначально распределен согласно закону Гауса, параметры задаются пользователем; во время симуляции значение параметра меняется)

Жесткость (С_г, изначально распределена равномерно, во время симуляции не меняется)

враждебность внешней среды (Е, изначально распределена равномерно от 0 до 1; 0 – среда абсолютно не враждебная, даже если катаклизм произойдет то он ничего не уничтожит; 1 – если катаклизм произойдет, то уничтожатся все запасы, не изменяется со временем),

плодородность (F, изначально распределена равномерно от 0 до 10, не изменяется во время симуляции),

показатель культуры К, не меняется

3. Каждый ход клетка добывает F ресурсов, которые складываются в запас f. Таким образом $f(t) = (1 - \mu * E) * (f(t-1) * (1 - A_m) + F) + \delta$, где μ принимает значение 1 с наперед заданной вероятностью p (вероятность катастрофы), A_m – норм амортизации, задается пользователем, δ речь пойдет ниже.
4. В начале симуляции в каждом племени насчитывается $N=100$ человек. Затем каждый ход население меняется в соответствии с законом $N(t+1) = f(t)/f(t-1) * N(t)$.
5. Каждый ход в клетке производится $Y = \lambda_1 * N^{\lambda_2}$ единиц продукции (ВВП). Это – одна из ключевых переменных модели
6. Клетки могут пребывать в следующих статусах:
 - a. Самостоятельная клетка. Изначально все клетки самостоятельны. Сюда также относятся клетки, которые являются завоевателями других племен и при этом не входят в торговый союз. Альтруизм клетки, которая является господином другой клетки, падает каждый ход по 1% за каждого вассала.
 - b. Подчиненная клетка (или, другими словами, завоеванная). Платит дань той клетке, которая ее завоевала в размере $tetha\%$ от своей плодородности. Т.о. δ подчиненной клетки составляет $-tetha * F/100$, δ клетки-завоевателя $1/D * tetha * F/100$ (предполагается, что чем дальше расстояние, тем меньше дани доходит до господина – по пути разворовывают). Если запасов ресурсов f не хватает, чтобы выплатить дань, то выплачивается что есть – в долги влезть нельзя. Дань платится после реализации катастрофы. Заметим, что величина дани фиксирована и не зависит от того, была ли катастрофа или нет.
 - c. Клетка-равноправный союзник. Входит в торговый союз. Теряет самостоятельность в принятии решений (не может инициировать войну, предложить союз кому-то еще, может только решить выйти из союза). δ союзника определяется следующим образом:

$$\delta_i = -F_i(1 - \mu_i E_i) + \frac{\sum_{u \in U} \frac{A_u + 5}{10} F_u (1 - \mu_u E_u)}{\text{kard}(U)}, \text{ где}$$

U – множество всех союзников, включая столицу, $\text{kard}(X)$ – мощность множества X.

Союзные клетки не могут иметь в подчинении другие клетки. При вхождении в союз клеток, которые имели в подчинении другие клетки, вассалы переподчиняются столице. За каждый ход пребывания в союзе альтруизм клетки увеличивается на 1%

- d. Столица союза. Выбирается по принципу максимальной плодородности внутри союза, со временем может переехать в другую клетку. Обладает самостоятельностью в принятии решений (может воевать, предлагать союзы другим клеткам, быть господином собственных подчиненных клеток, которые ей платят дань. Т.о. delta столицы это delta союзника+дань от вассалов, которой она ни с кем не делится. Альтруизм у столицы также увеличивается также как и у рядовых членов и падает за счет наличия вассалов также как и у любых других клеток.
7. Самостоятельное племя (втч столица союза, клетка-господин) каждый ход может осуществлять 3 разных действия:
- a. Объявить войну соседу (с кем непосредственно граничит государственное образование – графически всем клеткам, которые имеют цвет отличные от нашего и граничат с нашим цветом)
1. Если племя решает воевать, то происходят следующие события:
 2. Увеличивается норма амортизации. Для атакующего вместо $(1-a)m^{f(-1)}$ ресурсов, сохранившихся с предыдущего хода, сохранится лишь $(1-a)m^{f(-1)}/(G*D)$, G – параметр, задаваемый пользователем, D – ближайшее расстояние между соперниками, для защищающегося вместо $(1-a)m^{f(-1)}$ сохранится лишь $(1-a)m^{f(-1)}/G$. Вероятность победы рассчитывается по формуле $P_{win} = Cr(i)*Y(i)/(Cr(j)*Y(j) + Cr(i)*Y(i))$, где i - клетка по отношению к которой рассчитывается вероятность, а j – соперник
 3. В случае победы агрессора, клетка переходит под власть победителя, отдает ему в начале следующего хода все оставшиеся после ведения войны ресурсы (f) и платит ему дань далее каждый ход. Если победить не удалось, то клетка сохраняет самостоятельность и принимает собственное решение в этот же ход. Агрессор в этот ход уже ничего сам делать не сможет (только отбиваться, если на него тоже нападут, и подтвердить свое согласие на вхождение в союз, если ему кто-то это предложит).

Специальные случаи: Если нападают на столицу союза и ее побеждают, то союз распадается на независимые образования. Если нападают на члена союза и побеждают, то клетка становится вассалом победителя и выходит из союза. Если нападают на клетку, которая уже является вассалом, то воевать за нее будет ее господин (j -я клетка для расчета вероятности победы – господин). Если он проиграет, то клетка отойдет новому господину. Если напали на клетку у которой в подчинении кто-то был и победили, то все становятся свободными, кроме бывшей клетки-господина, которая переходит вассалом к победителю

- b. Предложить соседу объединиться
Помимо решения напасть, любая самостоятельная клетка, в т.ч. столица союза и клетка-господин, могут предложить своему соседу по границе вступить с ним в торговый союз. Если сосед примет предложение, то произойдет соединение клеток (столица может при этом быть перенесена, также будут переподчинены вассалы новой столице).
- c. Ничего не делать

8. Клетка не обладающая самостоятельностью может принять решение о выходе из союза или поднятия восстания. Для расчета вероятности восстания используется формула $Prev=(\Delta K/10)^A$. Каждый ход реализуется данное случайное событие. Если клетка находится в торговом союзе, то восстание происходит бескровно и со 100% успехом. Если клетка находилась в положении вассала и платила дань, то господин пошлет войска чтобы победить восстание (вероятность P_{win}) – на это действие не тратится ход, то есть оно осуществляется автоматически и не мешает вести войну с кем-то другим или предлагать союз, ресурсы также дополнительно не тратятся.
9. Полезность клетки от различных решений задается формулами:
 Полезность союза клетки i с клеткой-соседом j
 Схема расчета (для клетки, сейчас не входящей ни с кем в союз и не имеющей вассалов с клеткой, не являющейся столицей союза)
- Рассматриваем 4 случая (μ_i, μ_j) : нет катастрофы у нас и у другой клетки (0,0), есть и там и там (1,1), нет у нас, есть у другого (0,1), нет у другого есть у нас (1,0).
 - Рассматриваем, сколько сможет сбросить в котел каждая из клеток в каждом из случаев.

Случай	Вероятность	Сбросит i	Сбросит j	котел
(0,0)	$(1-p)^2$	F_i	F_j	$\frac{A_i + 5}{10} F_i + \frac{A_j + 5}{10} F_j$
(1,1)	p^2	$F_i(1 - E_i)$	$F_j(1 - E_j)$	$\frac{A_i + 5}{10} F_i(1 - E_i) + \frac{A_j + 5}{10} F_j(1 - E_j)$
(0,1)	$p(1-p)$	F_i	$F_j(1 - E_j)$	$\frac{A_i + 5}{10} F_i + \frac{A_j + 5}{10} F_j(1 - E_j)$
(1,0)	$p(1-p)$	$F_i(1 - E_i)$	F_j	$\frac{A_i + 5}{10} F_i(1 - E_i) + \frac{A_j + 5}{10} F_j$

- Считаем сколько составит наше благосостояние в следующем ходу в каждом из случаев, считаем полезность для каждого из случаев. Φ -я полезности от благосостояния $u(f)$, задана пользователем. По умолчанию можно взять натуральный логарифм, но надо сделать так чтобы эту функцию можно было легко изменить

Случай	Вероятность	f
(0,0)	$(1-p)^2$	$u\left(f_t(1 - Am) + \frac{\left[\frac{A_i + 5}{10} F_i + \frac{A_j + 5}{10} F_j\right]}{2}\right)$
(1,1)	p^2	$u\left(f_t(1 - Am) + \frac{\left[\frac{A_i + 5}{10} F_i(1 - E_i) + \frac{A_j + 5}{10} F_j(1 - E_j)\right]}{2}\right)$

(0,1)	$p(1-p)$	$u \left(f_t(1 - Am) + \frac{\left[\frac{A_i + 5}{10} F_i + \frac{A_j + 5}{10} F_j (1 - E_j) \right]}{2} \right)$
(1,0)	$p(1-p)$	$u \left(f_t(1 - Am) + \frac{\left[\frac{A_i + 5}{10} F_i (1 - E_i) + \frac{A_j + 5}{10} F_j \right]}{2} \right)$

iv. Взвешиваем полезность по вероятностям и суммируем

$$u \left(f_t(1 - Am) + \frac{\left[\frac{A_i + 5}{10} F_i + \frac{A_j + 5}{10} F_j \right]}{2} \right) (1 - p)^2 + u \left(f_t(1 - Am) + \frac{\left[\frac{A_i + 5}{10} F_i (1 - E_i) + \frac{A_j + 5}{10} F_j (1 - E_j) \right]}{2} \right) p^2 + \dots$$

v. Корректируем сумму на экспоненту (умножаем результат из пред пункта на $e^{A_i - \Delta K}$, $\Delta K_{ij} = |K_i - K_j|$ - разность показателей культуры по абсолютному значению). Получили значение полезности от заключения союза I клетки с j.

Замечание. Если рассматривается случай когда j-я клетка уже входит в союз с кем то (или является столицей другого союза), то расчеты производятся аналогично. Единственная разница, что случаев становится не 4, а $2^{(n+1)}$, где n – количество текущих членов союза и возможных значений котла становится больше, делится не на 2, а на n+1, а также в экспоненте берется разность культур со столицей действующего союза. Аналогично для случаев когда i-я клетка уже является столицей союза. Для простоты также запретим заключать новые союзы между уже действующими союзами.

Полезность войны

Логика расчетов такая же, как и для расчета полезности от союза. Пусть i-я клетка принимает решение воевать с j клеткой (как и прежде, j-я должна быть соседом i-й). Здесь все равно какой по типу является клетка j, а клетка i должна быть просто самостоятельной.

1. Рассматриваем 2 случая: атака удалась и клетку захватили, атака не удалась и пришлось уйти ни с чем.

Случай	Вероятность	Благополучие i-й клетки
Win	P_{win}	$\left(\frac{f_i(1 - Am)}{G * D} + F_i \right) (1 - pE_i) + E(delta) + f_j \frac{1 - Am}{GD} + \frac{\omega F_j}{D}$
Lose	$1 - P_{win}$	$\left(\frac{f_i(1 - Am)}{G * D} + F_i \right) (1 - pE_i) + E(delta)$

$E(\delta)$ рассчитывается разными способами для разных типов клеток. Для клеток-столиц союза $E(\delta) = \frac{1}{\text{kard}(U)} \sum_{u \in U} \frac{A_u + 5}{10} F_u (1 - pE_u) - F_i$. U – множество всех союзников клетки i (включая саму клетку i), $\text{kard}(U)$ – количество элементов множества.

Для клетки, у которой в подчинении есть другие клетки и не входящую в союз $E(\delta) = \sum_{v \in V} \frac{\omega}{D_{iv}} (1 - Prev_v) F_v$, V – множество клеток, подчиненных клетке i . Для столицы союза, у которой есть в подчинении клетки вассалы, $E(\delta)$ представляет собой сумму того, что описано в предыдущих предложениях.

Далее, как и в случае заключения союза, берется значение заданной функции $u(f)$, взвешивается по вероятностям и суммируется.

Наконец, полученное значение домножается на экспоненту $e^{-A_i + \Delta K}$, обозначения прежние. Получили полезность от ведения войны для i -й клетки против j -й.

Полезность «ничего не делать».

Считаем аналогично. Взвешиваем по вероятностям наступления катастрофы в клетке и по всем территориям союзников (если они есть) различные значения $u(f)$. Считаем, что дань выплачивается гарантированно (вне зависимости от того, хватит ресурсов у вассала или нет).

Полученные значения f -ий полезности для различных видов взаимодействий считаем для всех соседей, ранжируем и выбираем то действие, которое приносит больше всего полезности.

10. Клетка откликается на предложение вступить в союз, если полезность от этого находится не ниже Z го места в списке всех полезностей клетки (Z выбирает пользователь). Если клетка после вступления в союз не становится столицей, то больше решения она не принимает.
11. Ходы осуществляются последовательно исходя из нумерации клеток с 0 до 37. За каждый ход клетка может произвести только 1 действие из п.7., однако она дополнительно может подавлять восстание, откликаться на предложение о заключении союза в случае если это придется делать.
12. Таким образом, схематично программа должна работать следующим образом:
 - i. Распределили начальные условия
 - ii. Добавили ресурсов, реализовали катастрофы
 - iii. Последовательно от 1 до 37 клетки просчитали все полезности, для каждой из клетки выбрали оптимальную стратегию поведения
 - iv. Реализовали стратегию поведения последовательно от 0 до 37 (естественно, учитывая, что если клетка потеряла самостоятельность к моменту своего «хода», то она ничего сделать не сможет). Учитываем, что если клетка уже сходила, а ей предложили союз, и это предложение не ниже места Z в списке приоритетных стратегий, то союз образуется. То же самое, если хода еще не было, но предложение есть от клетки с меньшим номером, то можно его принять и если не стали столицей, то больше ничего решать в этом ходе не удастся.

- v. Следующий ход
- vi. Пересчитали ресурсы, провели катастрофы
- vii. Дали возможность всем восставшим реализовать свои намерения
- viii. Расчитали от 1 до 37 полезности
- ix. От 1 до 37 стали принимать действия
- x. ...