

О трёхмерной игре «Жизнь»

Виктор Владимирович Славутинский ©

Введение

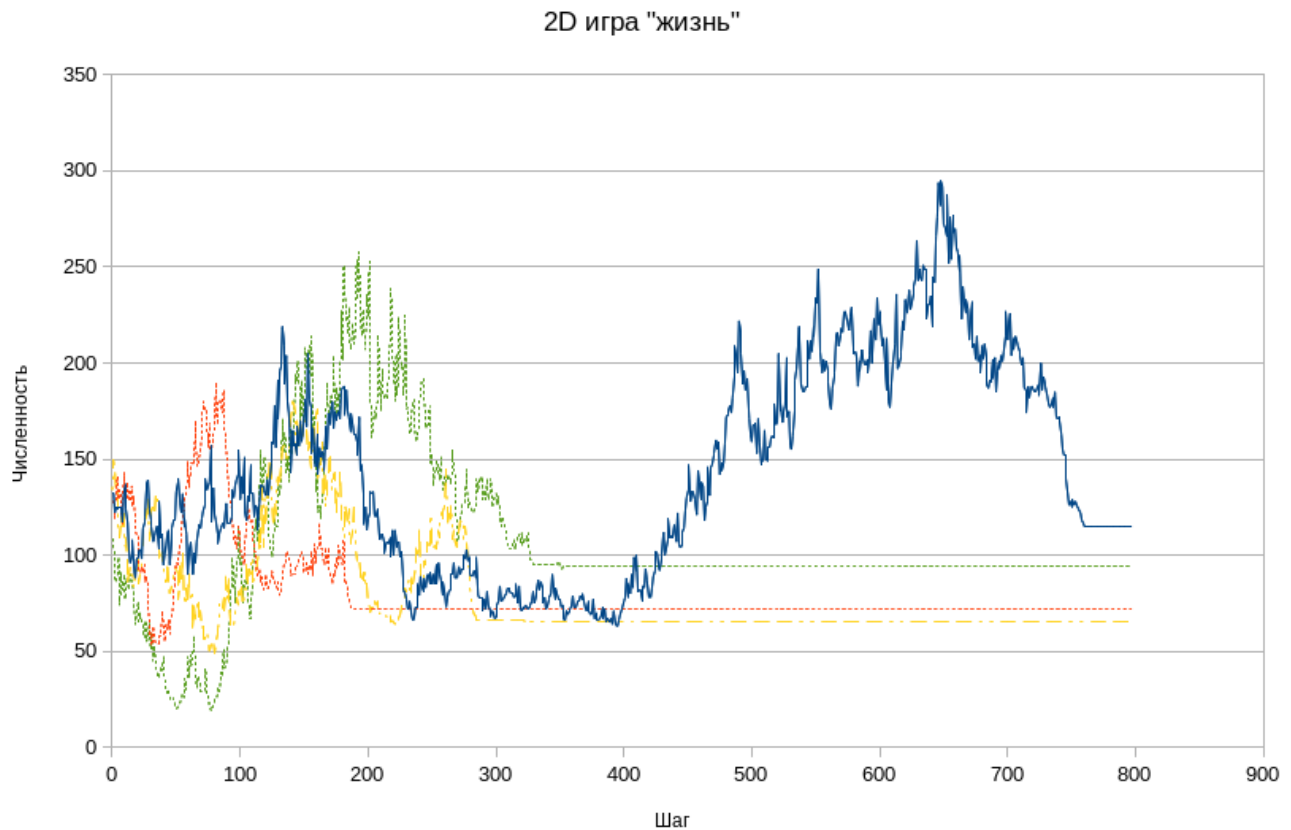
Есть такая, придуманная математиком Конуэем, и уважаемая людьми соответствующего склада ума, игра «жизнь». На клетчатую доску выставляются фишки в ту или иную конфигурацию, а после этого следующий шаг игры считается так, что если у фишки меньше двух «соседей» — фишек в соседних клетках — или их больше трёх, то она убирается; если же у пустой клетки «соседей» ровно три, то в неё ставится ещё одна фишка.

Результаты достаточно разнообразны — начальная «затравка» может развиваться в большую и долго «живущую» конфигурацию, а большая конфигурация вдруг схлопнуться быстро. Более того, возможны «летающие», движущиеся последовательно в разные стороны, «самолёты», «пушки», которые их регулярно «выстреливают», и так далее.

Доказано, что в рамках такой игры реализуется машина Тьюринга; этих простецких правил достаточно чтобы собрать вычислительную машину, считающую что угодно — есть субъекты которые действительно это сделали. Посредством гораздо больших вычислительных машин, конечно.

Типичная история развития конфигурации плоской «жизни» в смысле численности выглядит приблизительно так, как на приведённом ниже графике. В примере в центр поля сто на сто бросалась случайная конфигурация размером двадцать на двадцать, из фишек выставленных с вероятностью один к двум.

График 1. Пример изменений численности конфигурации двухмерной «жизни» от шага.



Легко заметить «синусоиду», достаточно «зашумлённую»; кроме того, иной раз до статичной конфигурации, остающейся той же на следующем шаге, проходит восемьсот шагов, а иной двести — плоскую «жизнь» интересно созерцать потому что её динамика с одной стороны «музыкальна», а с другой мало предсказуема.

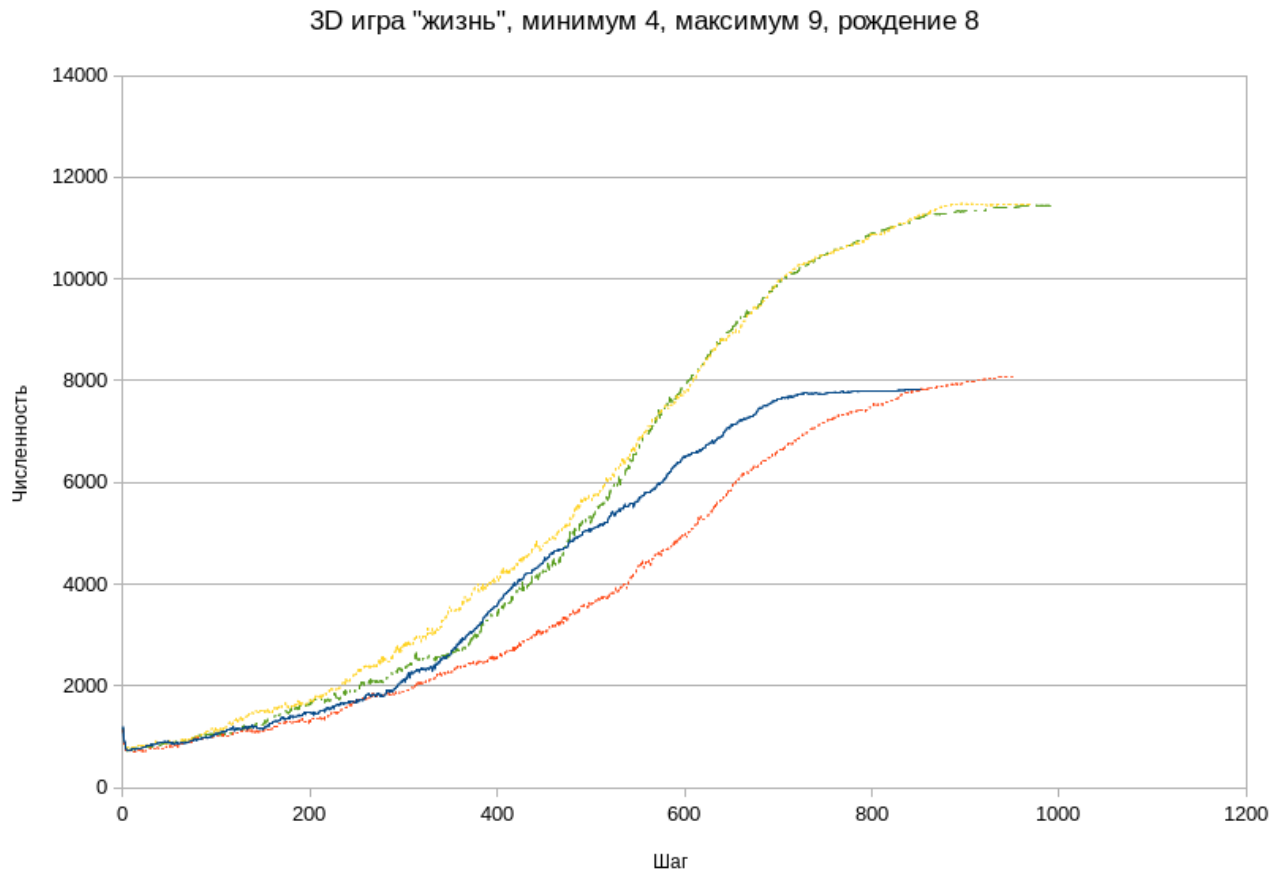
В своё время, ещё в прошлом веке, я попробовал создать такую же игру для пространства.

И с удивлением обнаружил что подобрать числа правил по соседям, чтобы так же причудливо могло из пустячка вдруг разрастаться что-то большое, а большое вдруг сдуваться, выходит мало. Мало выходит то, что одни считают игрой, а другие жизнью — конечное развитие, в котором есть вступление, разработка, кода.

В том числе и когда оба условия вида «от n до m соседей». Либо получалось быстрое угасание, либо, наоборот, быстро занимало весь объём. Максимум, чего тогда достиг — нашёл условия с которыми конструкция, приблизительно сохраняя исходный размер, достаточно долго «перекладывалась».

Помнится, написал программу, которая последовательно перебрала все простые варианты, и подтвердила что нет правил дающих в среднем пик развития, с которым промежуточная численность заметно больше и начальной, и конечной. Вот одно из условий, найденных тогда.

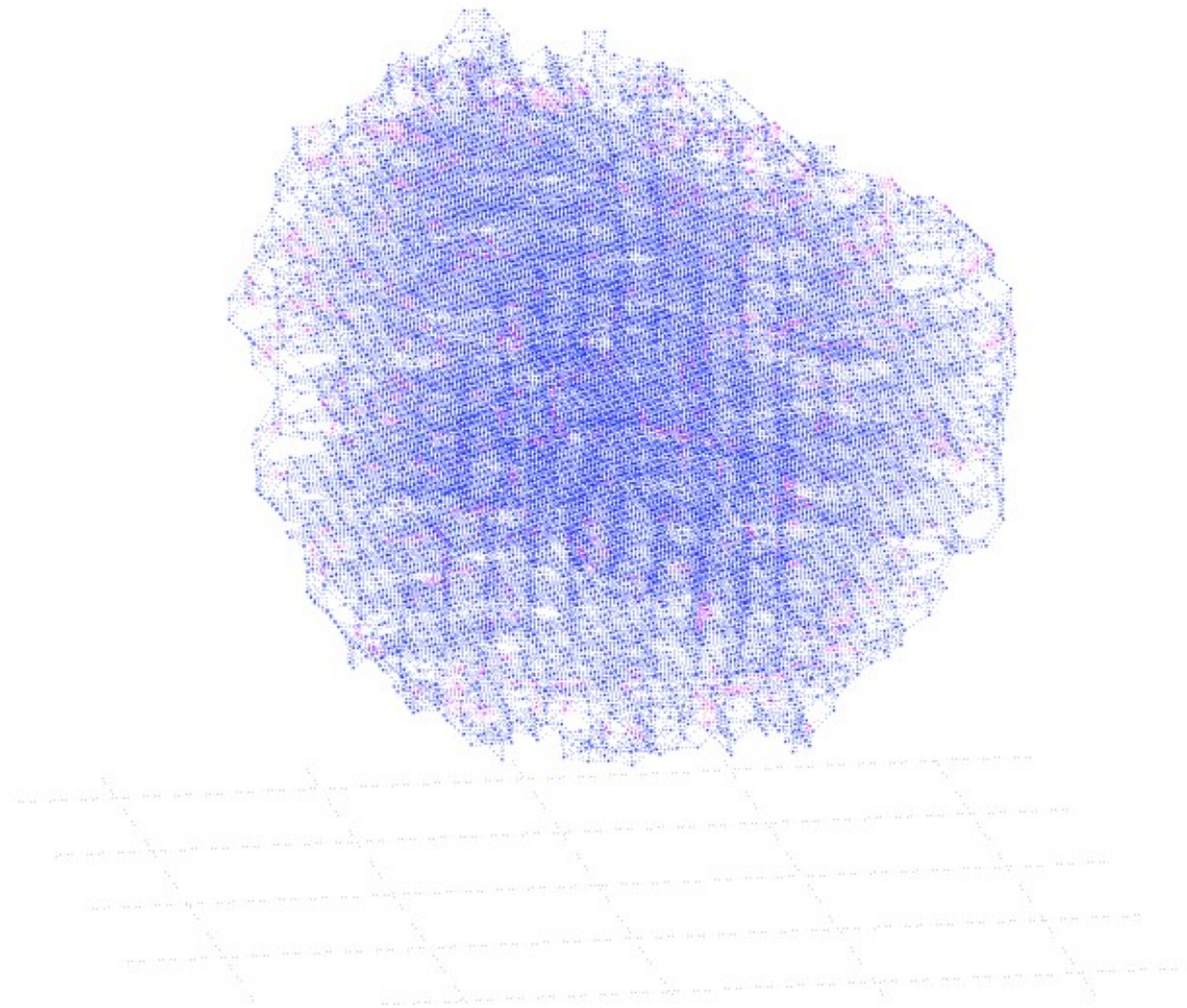
График 2. Пример изменений численности конструкции трёхмерной «жизни» от шага, правило: соседей от 4 до 9, рождение 8.



С ним случайно созданная конструкция планомерно разворачивается, выходит на какую-то свою, определённую закономерностями среды и начальными условиями, полочку объёма, и останавливается на ней. Без всякой драмы и синусоиды.

Результат выглядит, к примеру, так. Исходный кубик с ребром двадцать ячеек, с вероятностью заполнения каждой ячейки в одну вторую, перекладывается в такое облачко за порядка восьмисот шагов.

График 3. Трёхмерная «жизнь», правила: соседей от 4 до 9, рождение 8. Результирующая конструкция.



Философски, тогдашний вывод был, что в пространстве либо жизнь есть почти везде, либо её почти нигде в нём нет; присутствует жизнь, возможно, но нет игры, нет колебаний между «хорошо» и «плохо».

Придя к такому выводу, тогда, в 1999м, перешёл к изучению «жизни» с фишками двух цветов на плоскости. Там получились довольно интересные результаты.

В «двойной плоской жизни» можно выставить такие правила что разные её «виды» это «враги», или у них «симбиоз», или один другому одновременно и враг, и животворящий источник. Или, скажем, один другому источник, а сам от соседства страдает. С предсказуемыми, конечно, производными — либо слипаются в одно целое, либо возникает пустая буферная зона, либо в ней идёт бурлѐж, либо остаётся только один, а второй исчезает полностью.

Между тем, по сути получилось практически то же самое, что в оригинальной игре. Только цветов два, а суть та же. Вероятно, можно и на таком материале машину Тьюринга собрать; тогда мне это было довольно занятно, сейчас повторять эту часть исследования скучно.

Между тем, поскольку мощность вычислительной техники за прошедшее время возросла, интересно посмотреть, нет ли какого-то упущенного мной «Грааля», условий с которыми объёмная жизнь имеет динамику плоской.

Вариант «3D+», «дом»

Заметные осцилляции в двухмерном варианте, понятно, вызывает то, что вообще соседних клеток относительно мало — система больше «зависит от погрешностей», на более грубом «шаге квантования».

В объёме в три раза больше соседних ячеек, в частности ячеек разделяющих/объединяющих две через одну, которые определены теми же закономерностями. Изменения оказываются самосогласованными в три раза сильнее, значит в три раза менее хаотичными, чем на плоскости — потому «зашумлённости» много меньше.

Решить эту проблему можно, наверное, сократив число считаемых соседей. К примеру, отказом от подсчёта углов, сведением до креста «3D+» — только верх, низ, право, лево, и вперёд-назад. Шесть это почти то же самое, что восемь.

Для поиска требуемых правил, при которых продолжительность существования конструкции достаточно велика, и это существование достаточно разнообразно, но происходит в каких-то конечных пределах, я снова написал программку, которая посчитала развитие случайно созданной конструкции при всех мыслимых их вариантах. На случай, если кто-то захочет повторить мой опыт, кратко расскажу о ней.

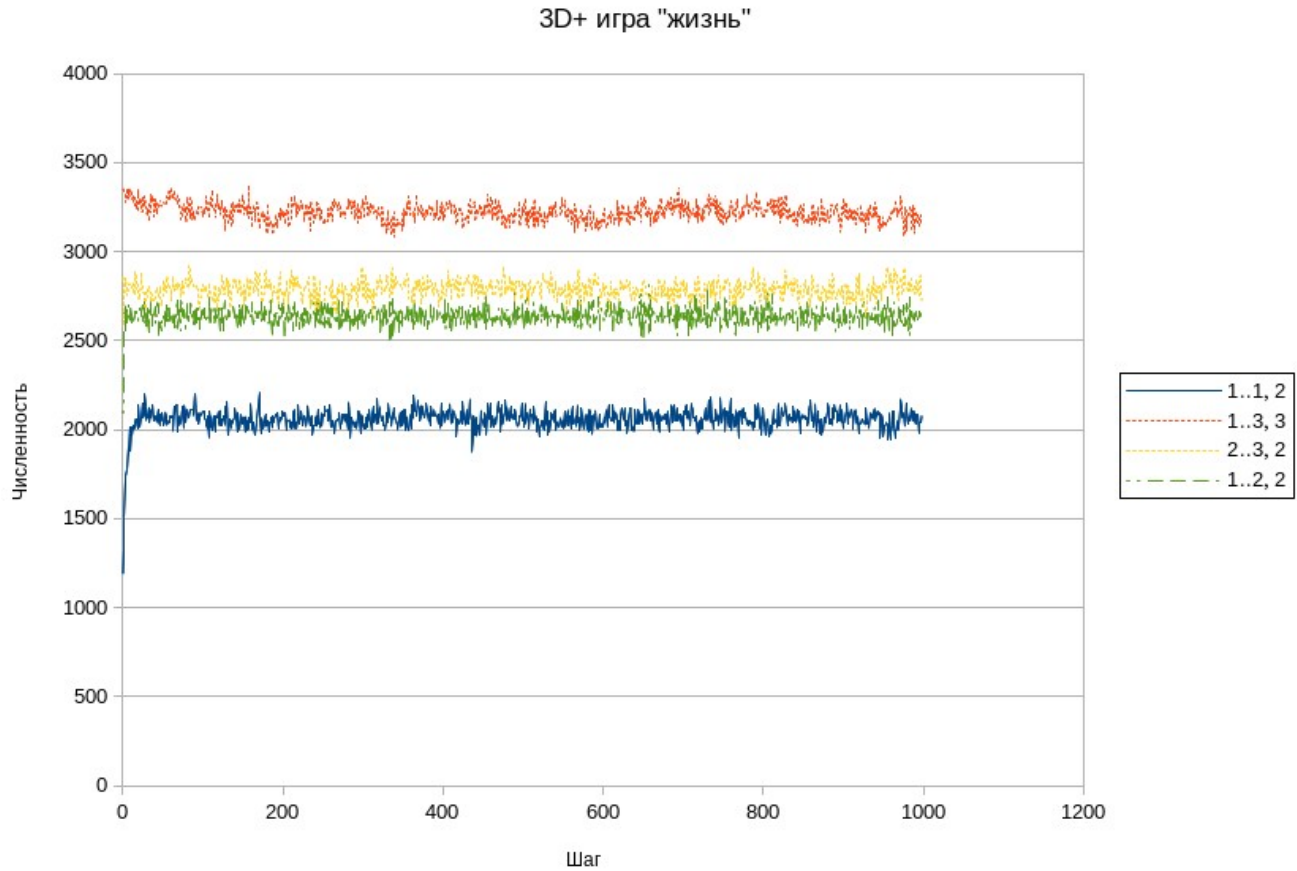
Во-первых, для сокращения времени подсчёта, на каждом цикле сначала находился «кирпич», минимальный объём в котором точно что-то есть. Подсчёт производился только в нём и для примыкающего к нему единичного объёма, что, поскольку конструкция занимает только часть доступного пространства, вычисления обычно ускоряет на порядок, а то и два. Эту идею, помнится, мне подсказали ещё двадцать лет назад.

Во-вторых, поскольку процесс поиска условий всё равно достаточно долог, он останавливался если численность в четыре раза превышала исходную, заведомо довольно «плотной» конструкции — «ряд расходится»; или на протяжении пары десятков шагов наблюдался один и тот же циклично повторяемый паттерн численности, в том числе статичный, или нулевой, «ряд сходится». И, понятно, заранее было задано предельно возможное количество итераций.

Оставив из найденных только правила в которых «продолжительность жизни» конструкции с начальными сторонами в двадцать ячеек оказалась хотя бы больше ста шагов — кстати, такие условия укладываются в линейную закономерность типа «генеральной последовательности» — я нашёл из них те, в которых колебания численности максимальны, минимум и максимум «популяции» на установившемся режиме в наибольшей степени отличаются от её среднего.

Результат поиска приведён на графике.

График 4. Изменения численности конструкций трёхмерной «жизни+» от шага, в зависимости от правил.

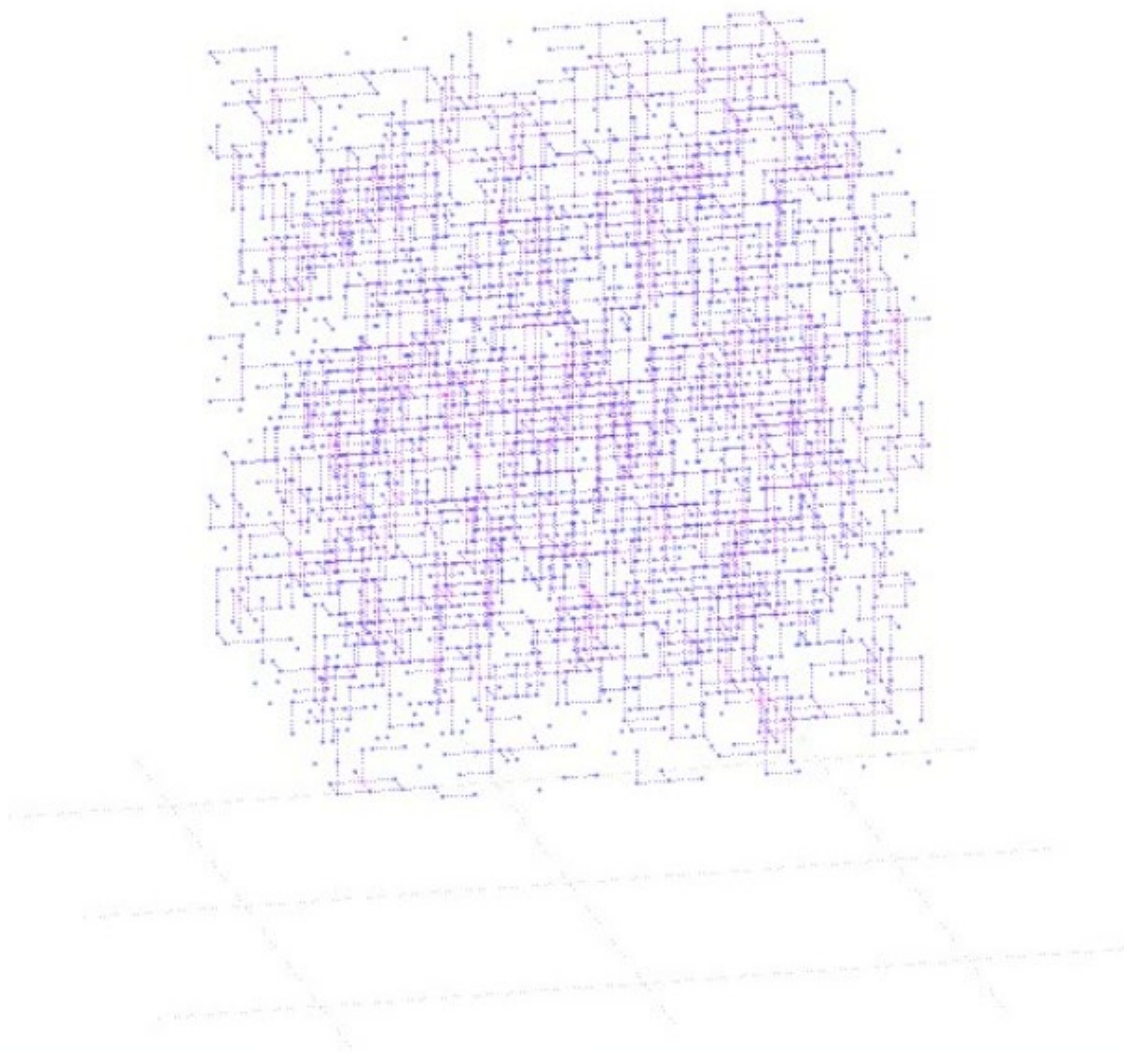


Во всех достаточно устойчивых для изучения правилах изменения происходили в рамках изначально заданного «кубиком» объёма — легко понять почему.

Чтобы за «стенкой» заполненных ячеек что-то возникло, число соседей рождения в такой разновидности игры должно быть равным единице. Но с таким условием всё доступное пространство заполняется. А если для рождения нужен «уголок», то заполняется, в самом лучшем случае, всё в пределах начального кубика.

На графике — пример результата найденных правил.

График 5. Трёхмерная «жизнь+», правило: соседей от 2 до 3, рождение 3. Результирующая конструкция.



Во всех четырёх найденных стабильных условиях «жизни 3D+» получаются такие «перемигивающиеся кубики»; все остальные варианты либо гарантированно сходятся, либо расходятся, и большинство из них быстро.

Она, выходит что-то типа модели жизни в многоэтажном доме, в котором то в одной комнате свет горит, то в другой. Кому-то, возможно, такое может показаться привлекательным, но в целом приходится признать что уму и сердцу мало что даёт. Шесть — ни в коем разе не восемь.

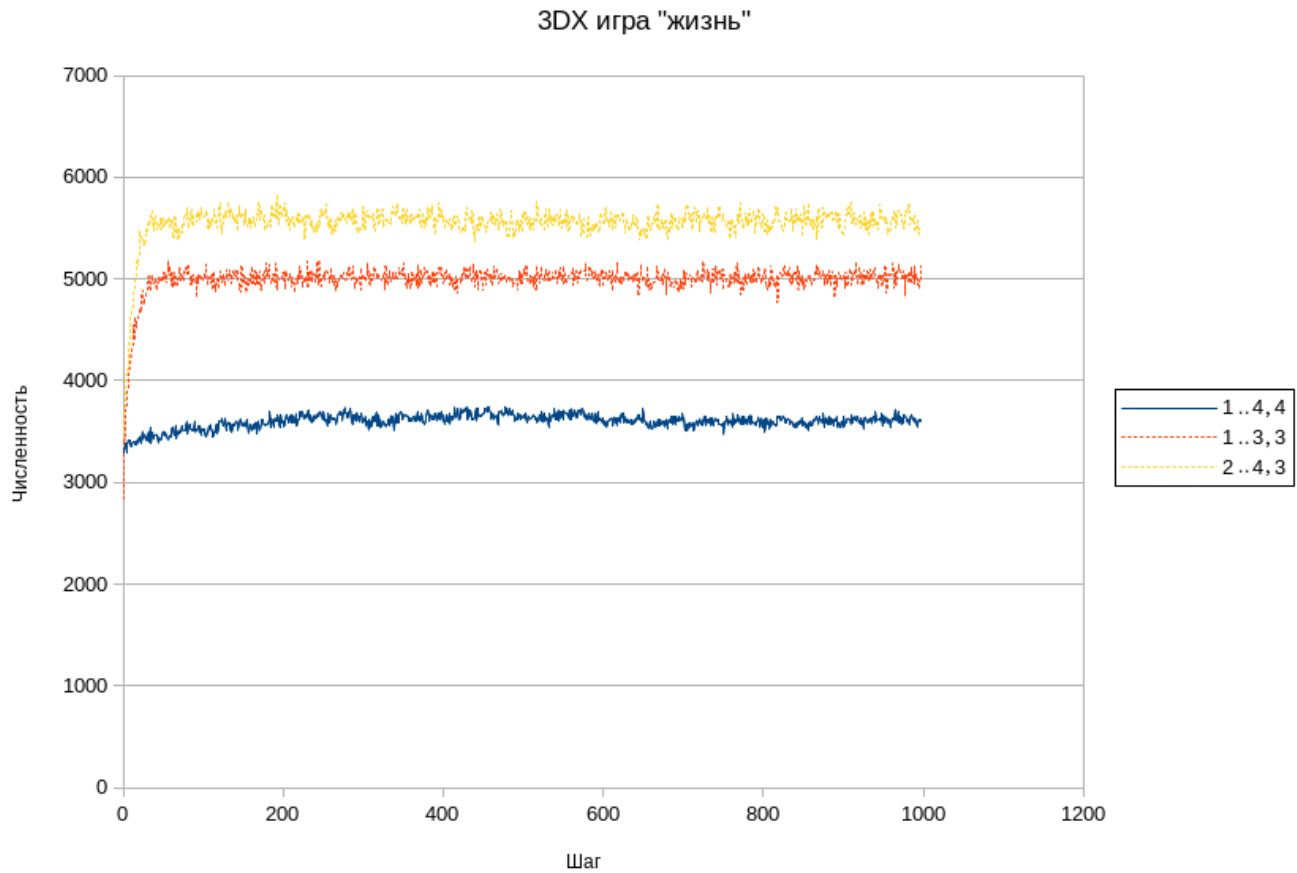
Вариант «3DX», «кристалл»

Хорошо, а если считать только соседей по углам? Их как раз восемь, ровно сколько на плоскости.

В начале аналогичного предыдущему поиска показалось что в этом варианте «генеральной последовательности» нет, а есть какие-то отдельные её кусочки, в том числе и в больших числах; при их изучении стало ясно что на больших числах высокая продолжительность «жизни» обеспечивается колебаниями аperiodическими, по крайней мере достаточно больших периодов чтобы они обходили проверку, но слишком малой силы чтобы заинтересовать зрителя.

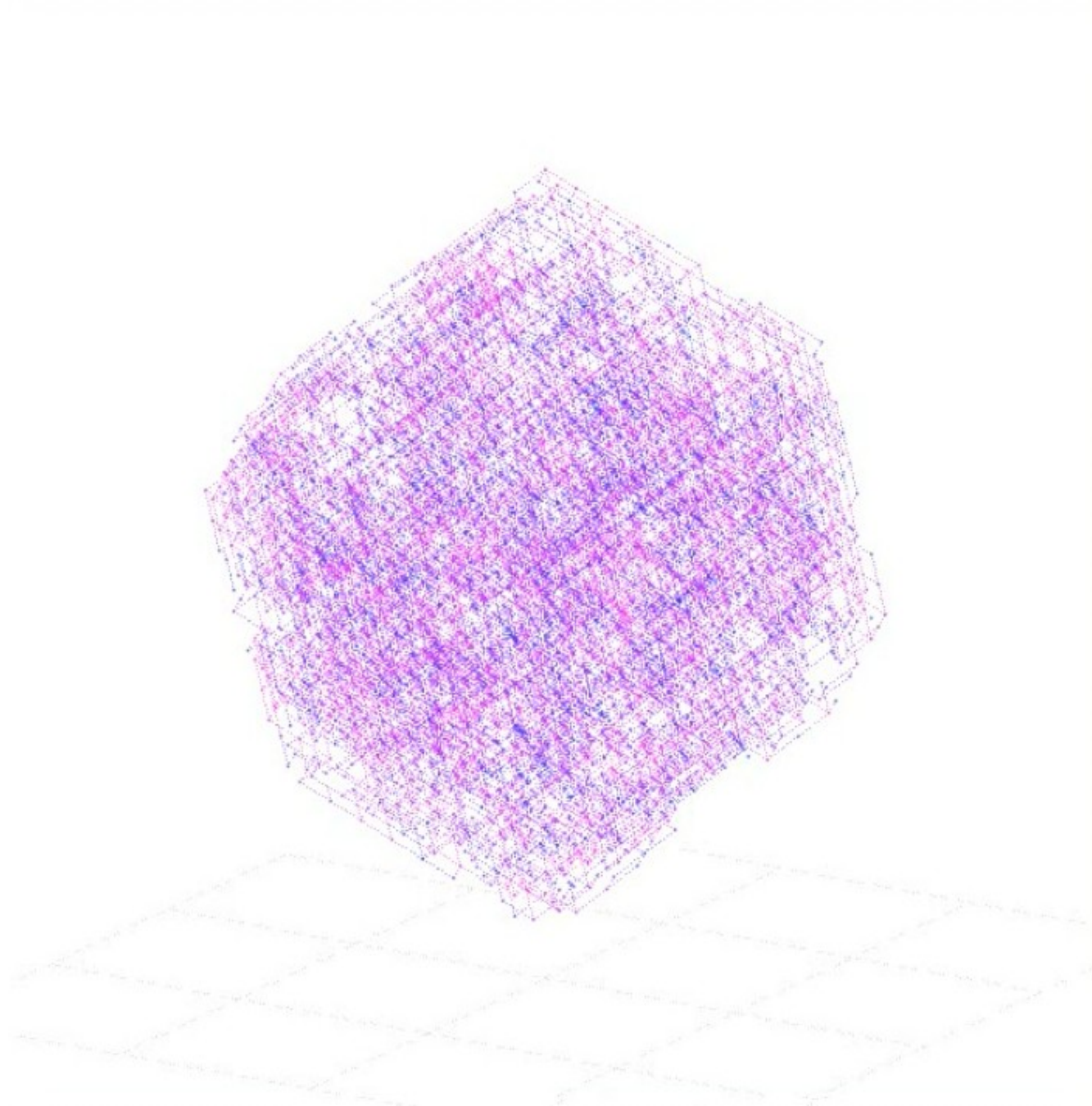
После отсева таких, осталось всего три рабочих правила, результаты их по численности приведены на графике.

График 6. Изменения численности конструкций трёхмерной «жизни X» от шага, в зависимости от правил.



Начальная случайная конструкция быстро переключается в что-то практически статичное, которое потом в себе "мерцает" без заметных пространственных изменений. Получается типа ромбических кристаллов, усечённых октаэдров, или объёмных фигур Хладни, достаточно хорошо симметричных; это похоже на модель электрического поля в веществе, кристаллографию, и т.д.

График 7. Трёхмерная «жизнь X», правило: соседей от 2 до 4, рождение 3. Результирующая конструкция.



Происходит такое по причинам тем же, что и в варианте «3D+» — чтобы выходило за «стенки», число соседей рождения должно быть низким, но с таким всё пространство заполняется. Для долгого рассмотрения слишком мало случайности и в «3DX».

Простая трёхмерная «жизнь», «облако»

Различные разновидности «3DX+», с одновременно считающимися по отдельности правилами для двух «крестов» — как выяснилось, слишком хаотичны. Стабильных среди них нет. Рассказывать о полностью безрезультатных поисках излишне.

Для «обычной» трёхмерной «жизни», с 26 соседними ячейками, использовал те же методы и принципы поиска что относительно предыдущих двух её типов.

Предварительно, на числах от 1 до 10, автоматическим перебором всех возможных вариантов вообще, выяснил что «генеральная последовательность», линия более-менее подходящих чисел условий в трёхмерном их пространстве с осями «минимум/максимум/рождение», есть и в нём.

Минимум допустимого числа соседей вышел в районе 1..5, допустимый максимум и число рождения, приблизительно равные друг другу — где-то в районе 8..10.

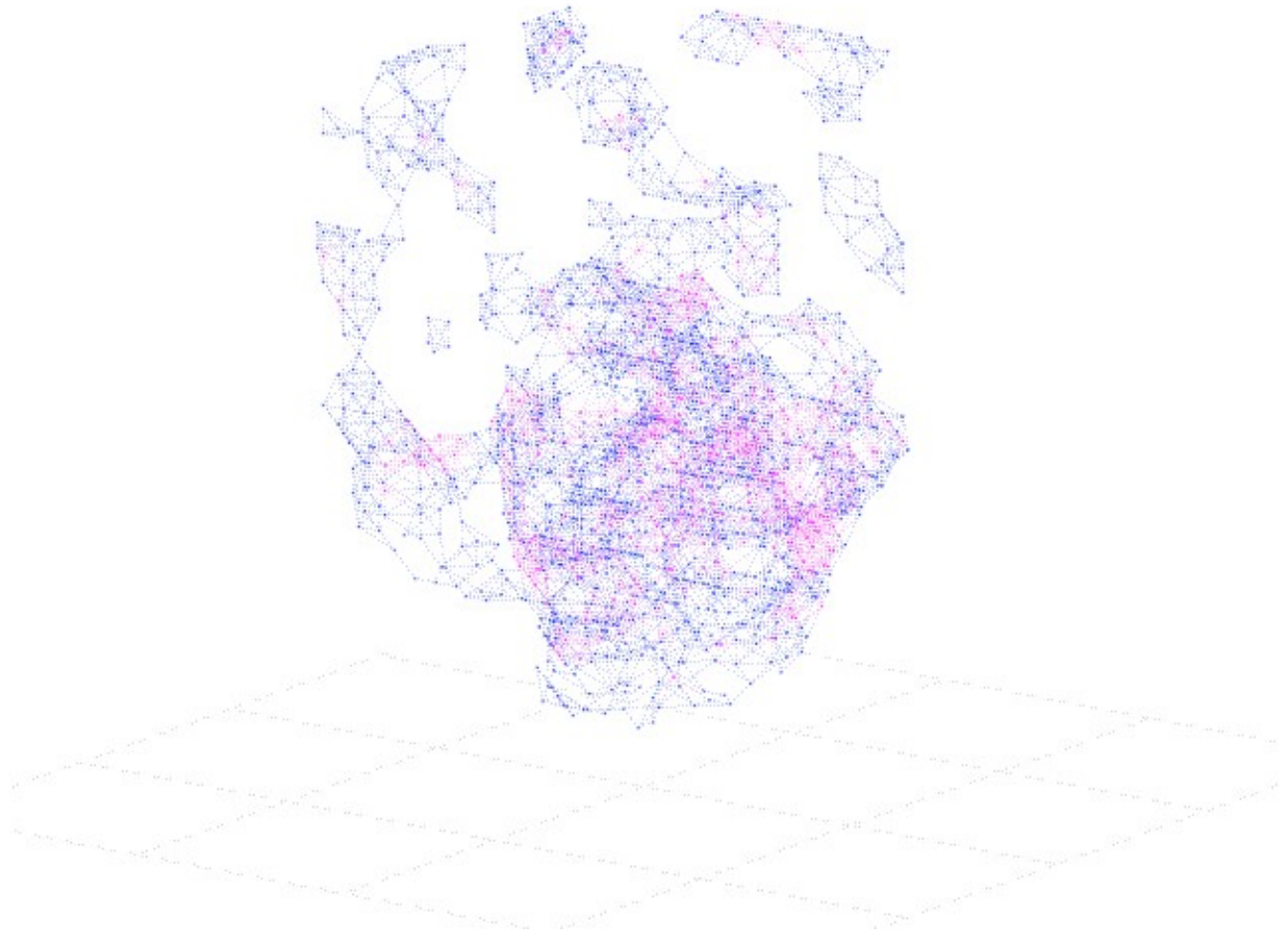
Кроме того, того удостоверился, что число соседей рождения всегда оказывается больше числа допустимого их минимума, что дало возможность ограничить нижнюю планку первого вторым, равно как, естественно, и нижнюю планку максимума. В результате умеренно быстро — в районе часов четырёх..пяти — посчитало всё в пределах от 1 до 16. Раньше такой подсчёт требовал в разы больше времени, и на в разы меньшем пространстве.

Программа автоматически выбрала из полученных правил те, с которыми конструкция существует дольше ста шагов, отсутствует её последовательное разрастание выше предела в четыре численности начальной, и есть выход хотя бы на пять ячеек в стороны за рамки исходного кубика стороной в двадцать ячеек.

Таких условий оказалось всего пара десятков, а из них почти все отсеялись — как создающие последовательно возрастающую «популяцию», просто возрастающую достаточно медленно чтобы обойти четырёхкратное условие; либо «живущую» больше ста шагов — но, к примеру, сто семьдесят.

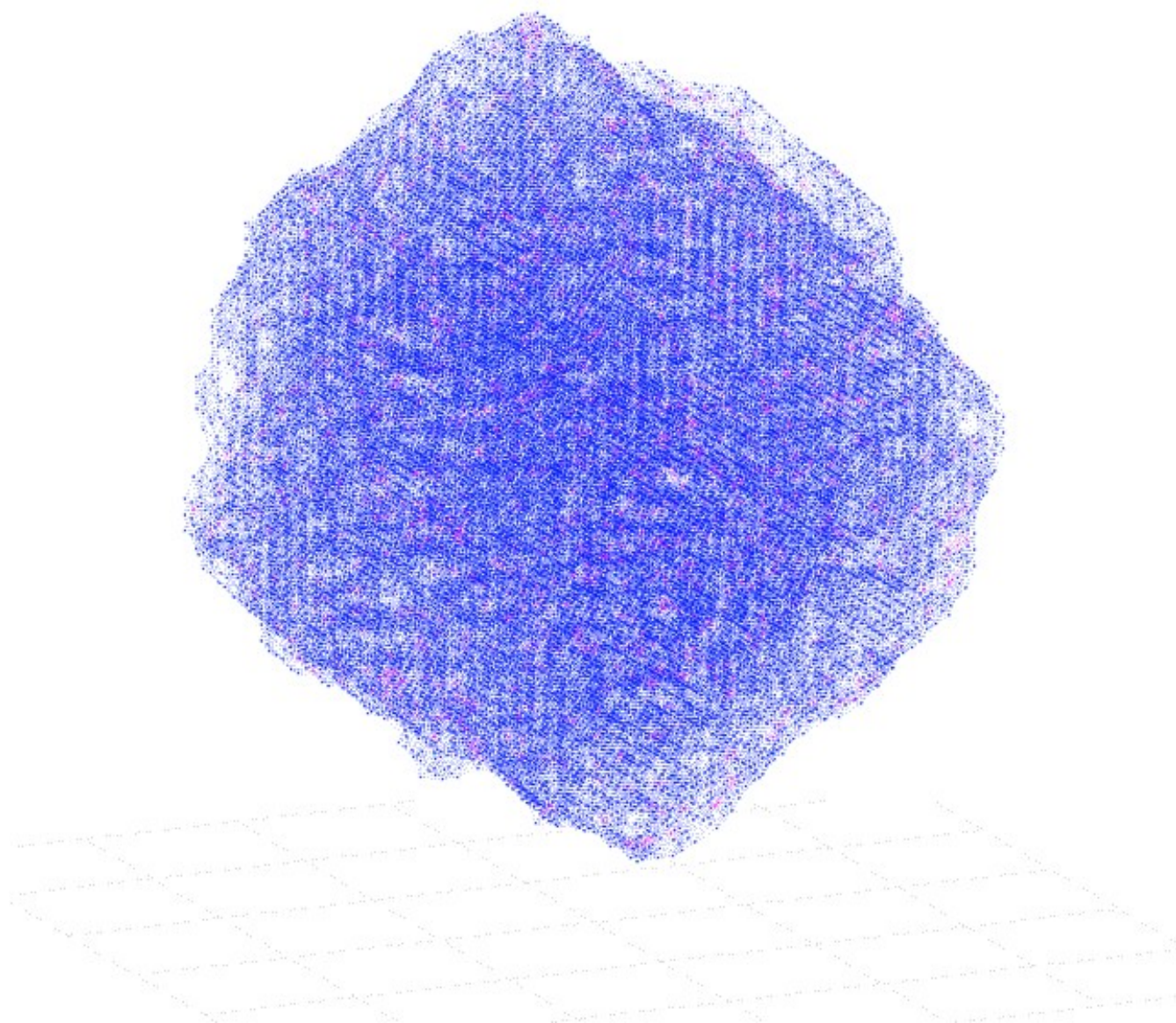
В той или иной степени соответствует требованиям зрелищности ранее продемонстрированное, полученное ещё в предыдущем исследовании, правило «минимум 4, максимум 9, рождение 8» — без особого шума, зато перекладывается за рамки начальной конструкции, выгодно отличаясь от ограниченных ими результатов «3D+» и «3DX».

График 8. Трёхмерная «жизнь», правила: соседи от 4 до 9, рождение 8. Процесс.



И ещё одно найденное простое правило — «6..12, 9». Оно менее эффектно, похоже на 3D принтер — бегающие по поверхности полоски довольно быстро достраивают всё до похожей на результат предыдущего конструкции.

График 9. Трёхмерная «жизнь», правила: соседей от 6 до 12, рождение 9. Результат.



В целом, новое исследование на этом этапе выводы старого только подтвердило.

Диапазон чисел рождения, «община»

Первое предположение о том, как повысить хаотичность развития конструкции — если для выживания «существа» в ячейке есть диапазон допустимого числа соседей, от минимума до максимума, попробовать задать диапазон и для рождения.

При желании, можно найти ему и бытовое объяснение — люди зачастую, что называется, женятся семьями, и семьи эти могут быть разной степени полноты.

Скажем, семья из пяти человек, включающая родителей и бабушку с дедушкой, может сойтись как с такой же, так и с имеющей меньшую или даже большую численность — включающей ещё брата или сестру, детей от первого брака, и т.д. Как десять «родителей» может выйти, так и девять, и одиннадцать.

Говоря же математически, диапазон чисел рождения увеличивает «рождаемость» на той же базе в разы по сравнению с одним числом; компенсировать это может увеличение требуемого минимума соседей, означающее больший «коллективизм», и большую обусловленную отсутствием требуемого коллектива «смертность».

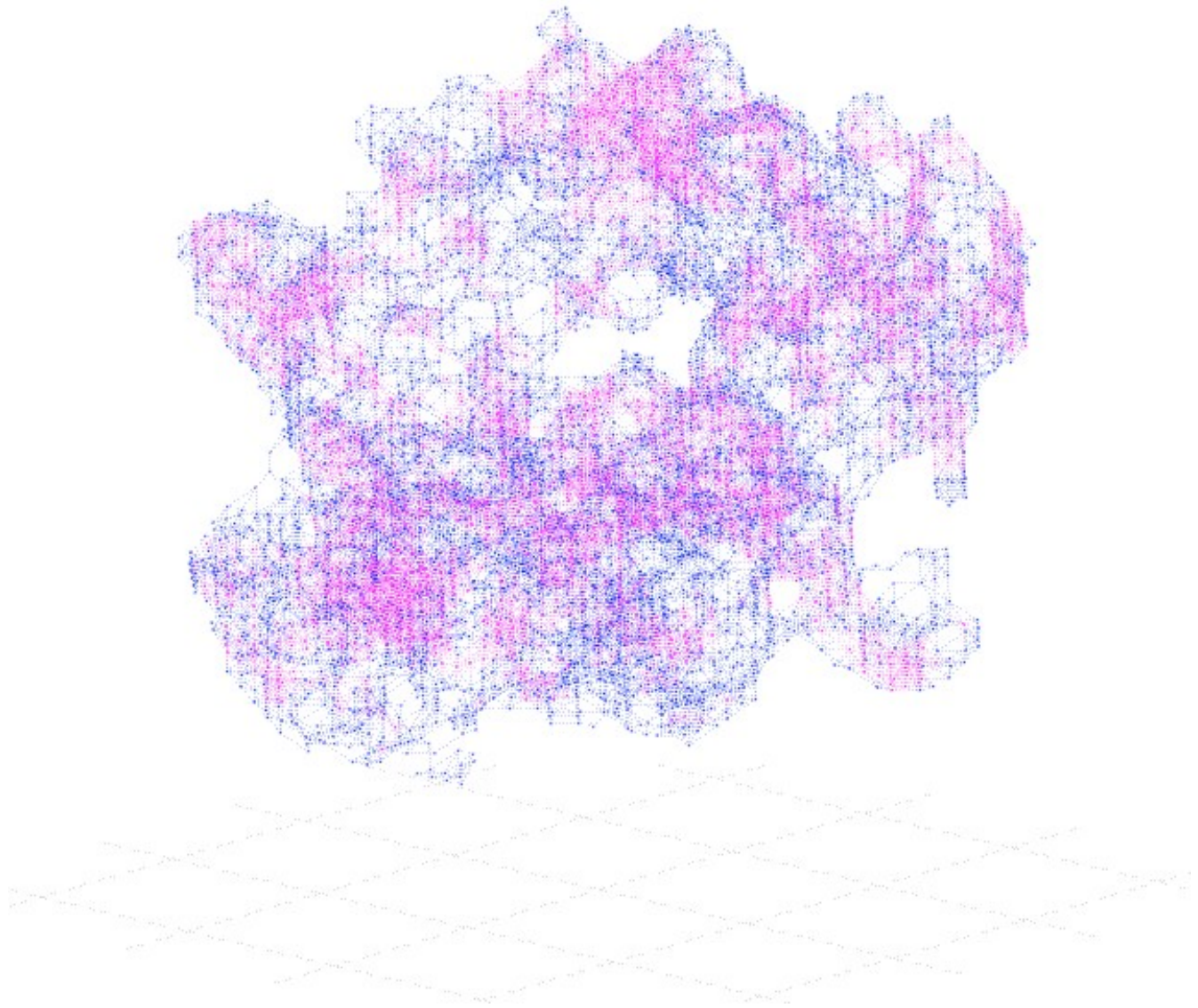
Процессы, происходящие вокруг ячейки с минимумом соседей, и ячейки с максимумом, тем более различны чем дальше первый от второго отстоит. Требуемое для «рождения» число соседей, в варианте когда оно только одно, близко к максимуму допустимых чисел соседей — высока вероятность что и диапазон «рождения» где-то там же, и потому определяется иначе, чем минимум, и чем обусловленная им «смертность», а при увеличении будет иначе определяться в ещё большей степени.

Возможно, есть такое сочетание которое, двумя разными процессами с разными частотами, даст требуемую степень хаоса — при сохранении численности на той или иной "полке", или, хотя бы, при достаточной длительности её плавного уменьшения.

Начатый с таким предположением автоматический поиск занял многие часы, и, кроме того, оказался осложнён тем, что «затравка» размерами в двадцать ячеек, как выяснилось, слишком мала для выводов о таких, более хаотичных, условиях. С ними порой есть что-то типа «критической массы»: выходящие «сходящимися» на малой «затравке» правила зачастую «расходятся» на больших; требуемый минимум ребра, результаты которого остаются теми же и при дальнейшем увеличении — по опыту, порядка сорока, а то и пятидесяти.

Из найденных «истинно стабильным» и примечательным оказалось только одно правило — «4..10, 9..10». Оно даёт состоящую из «осцилляторов» конструкцию, действительно довольно бурно «пузыряющуюся» и очень медленно «выкипающую» до какой-то мелочёвки.

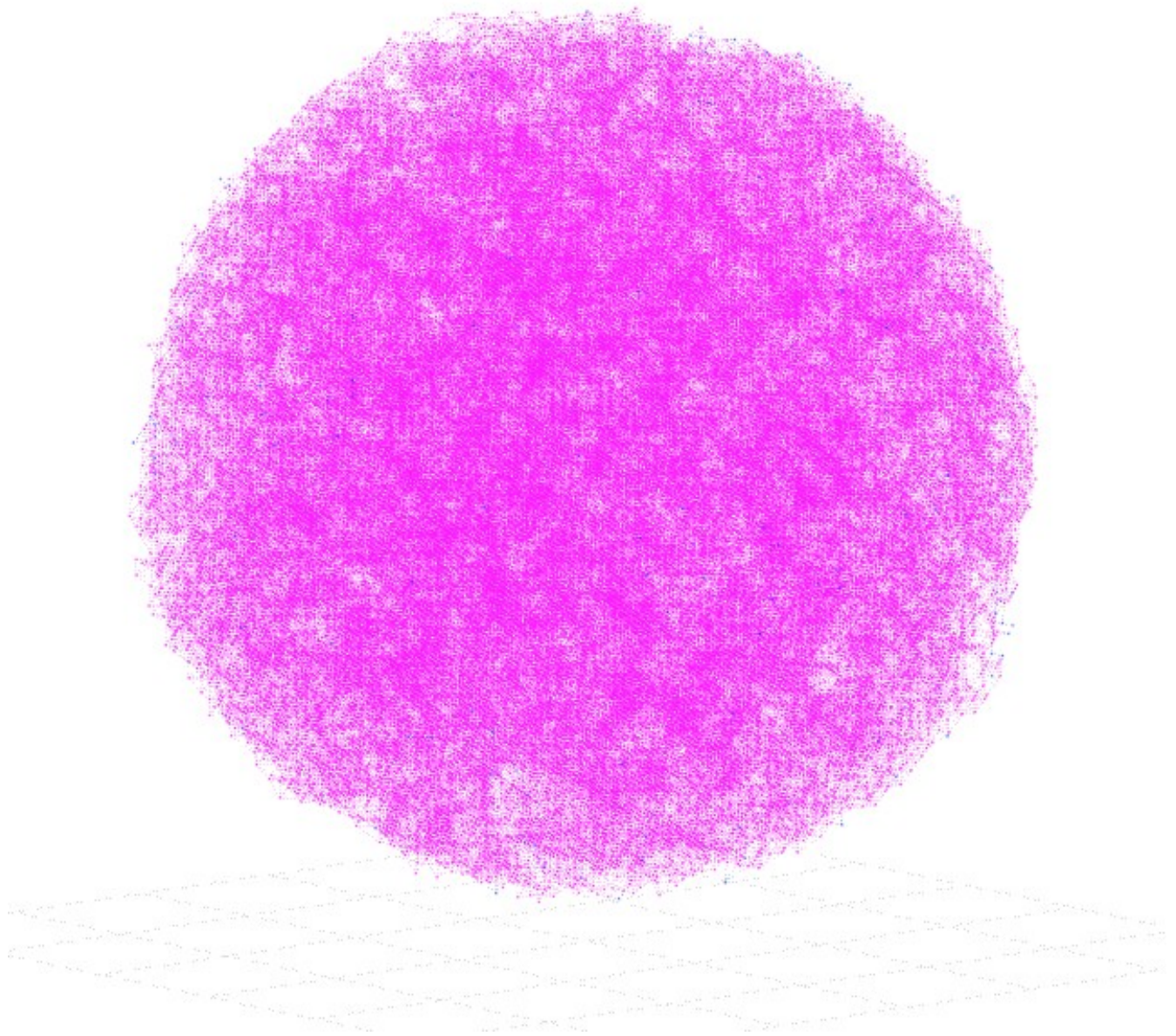
График 10. Трёхмерная «жизнь», правило: соседей от 4 до 10, рождение от 9 до 10. Процесс.



В остальных же случаях «настройка диапазоном» оказалась слишком грубой — её мало чтобы уравнивать «рождаемость» и «смертность». Самое лучшее — иногда, как в приведённом примере, можно сделать скорость уменьшения численности конструкций умеренно низкой.

Кроме того, «община» даёт довольно большие числа, и допустимого количества соседей, и соседей рождения— а для улетающих «самолётов», по всей видимости, нужно частое сегментирование, и, соответственно, числа как можно меньше. В качестве примера отличия наличного от требуемого — один из других полученных вариантов условий.

График 11. Трёхмерная «жизнь», правило: соседей от 2 до 4, рождение от 8 до 15. Процесс.



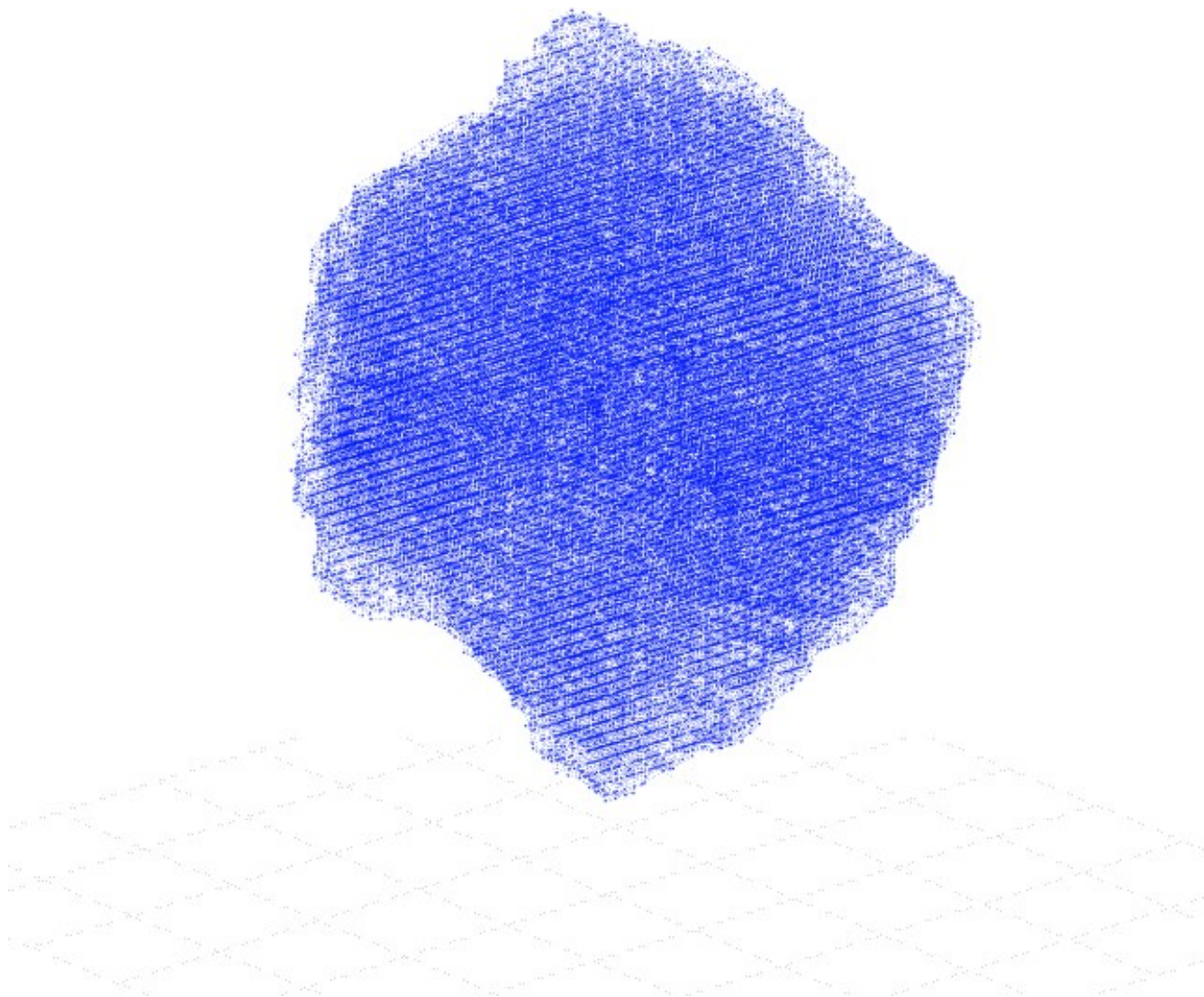
Диапазоны «выживания» и «рождения» в нём сильно разнесены — по сути, именно так, как написано в начале этой главки, и вроде бы должны давать синусоиду численности; однако такая конструкция «живёт» как плотный шар, из которого «самолёты» никуда не летят.

Простые вариации правил

В процессе поисков экспериментировал с двумя отдельными числами рождения, и с двумя диапазонами рождения. Автоматический перебор занимал очень много времени, дни, а стабильные результаты оказывались близки к двум стандартным найденным «облакам», добавляя числа сверху или снизу их диапазонов, изменяя этим динамику весьма умеренно.

К примеру, возможно следующее правило.

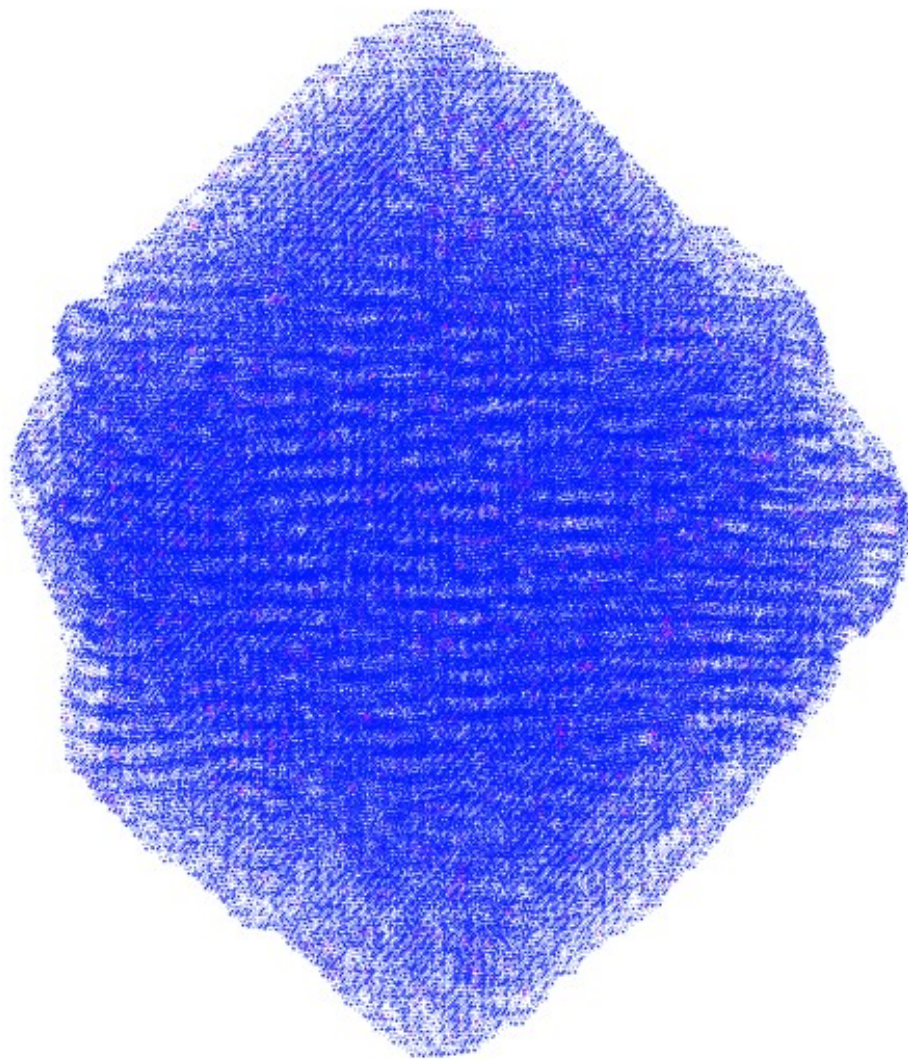
График 12. Трёхмерная «жизнь», правило: соседей отлично от 10, рождение 8. Результат.



Здесь исключено единственное число соседей, с которым, при таком числе соседей рождения, возможен бурный рост. С остальными же оно приводит просто к более выраженному усечённому додекаэдру чем условие «4..9, 8», модификацией которого является.

Ещё один пример того, что вариации правил, дающие стабильные процессы, дают результаты мало отличные от уже найденных.

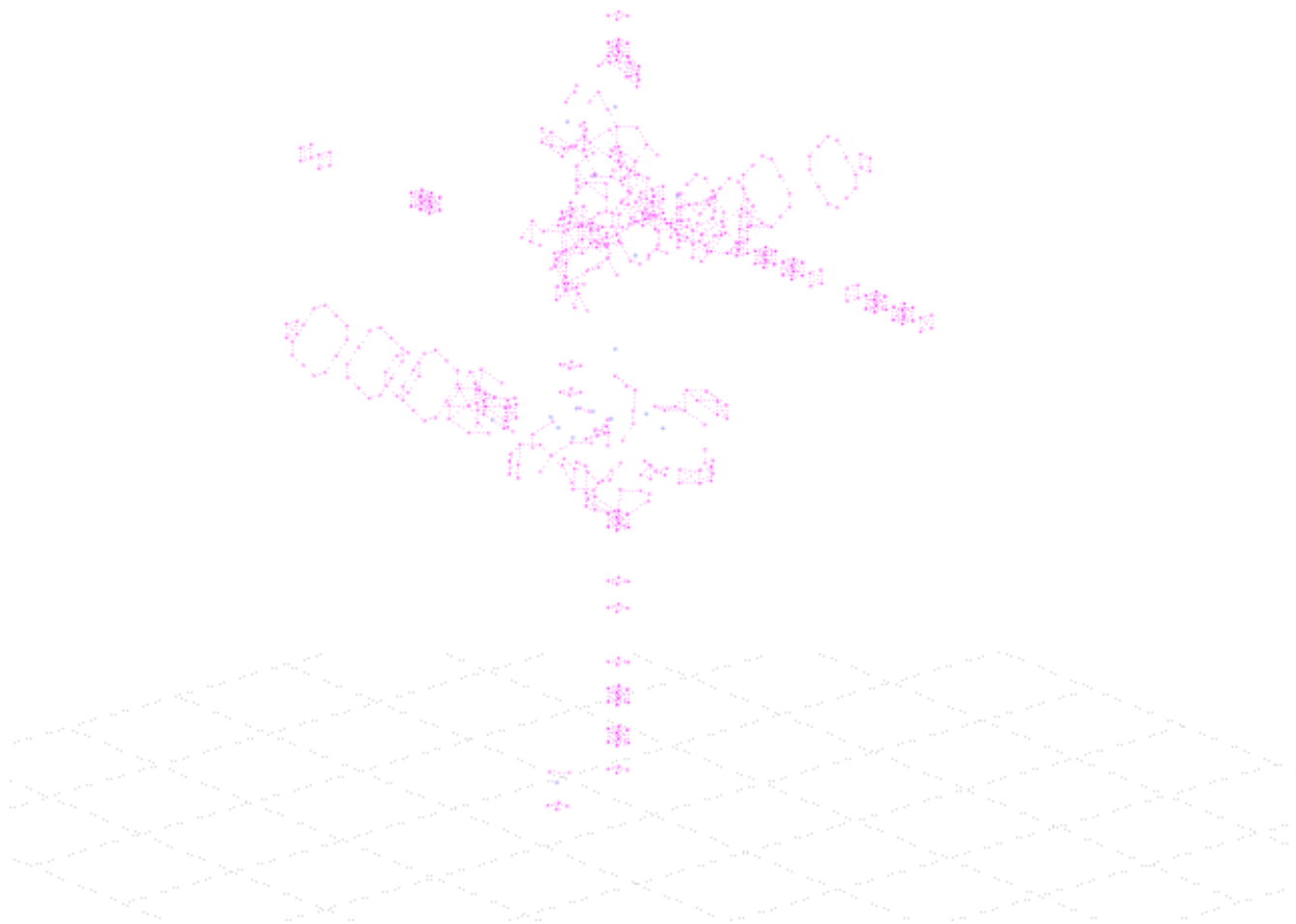
График 13. Трёхмерная «жизнь», правило: соседей от 5 до 12, рождение 9 и 18. Результат.



«Спектры»

Крайний минимум числа соседей рождения, что выяснил ещё в прошлый раз, равен 5; при меньшем, на 4, конструкция постоянно увеличивается, даже если все «родившееся существа» на следующем шаге «гибнут»; их потомков оказывается достаточно для разлёта во все стороны расширяющихся «лучей», и заполнения ими всего пространства.

График 14. Трёхмерная «жизнь», правило: «нет, 4». Процесс.



Между тем, все найденные ранее условия начинались с числа соседей рождения равного 8. Очевидно, числа 5, 6, и 7 тоже могут стать основой «жизни», но дают стабильные процессы только при диапазоне допустимого количества соседей разделённом на много большее количество частей, чем две — состоящем из отдельных линий «спектре».

При этом, большие числа, и теоретически, и по опыту, встречаются реже, и потому вносят в «смертность» меньший вклад. Если так, то можно написать программу, последовательно собирающую такие «спектры» от меньших чисел к большим, их последовательным перебором.

При заданном числе соседей рождения, равном 5, эта программа сначала проверила на допустимом числе соседей, равном 1, нет ли «расхождения» — о котором свидетельствовало превышение численности в четыре раза на каком-то шаге над исходной численностью довольно плотной «затравки».

Поскольку расхождение отсутствовало, притом восемь раз подряд в пределах 2^{13} шагов, программа проверила нет ли его при допустимых числах 1 и 2. Оно отсутствовало и там, а нашлось на 3 — тройка была пропущена, подсчёт продолжился, показав что правило «5: 1 2 4» даёт «сходящийся» результат; и так далее.

Следует отметить что дополнительным условием «схождения» было отсутствие превышения финальной численности на максимально возможном шаге, порядка десяти тысяч, в два раза над численностью на шаге 2^{10} , который порядка тысячи. С высокой вероятностью последовательно растущие со временем конструкции мало удовлетворяют такому условию, даже если они растут очень медленно.

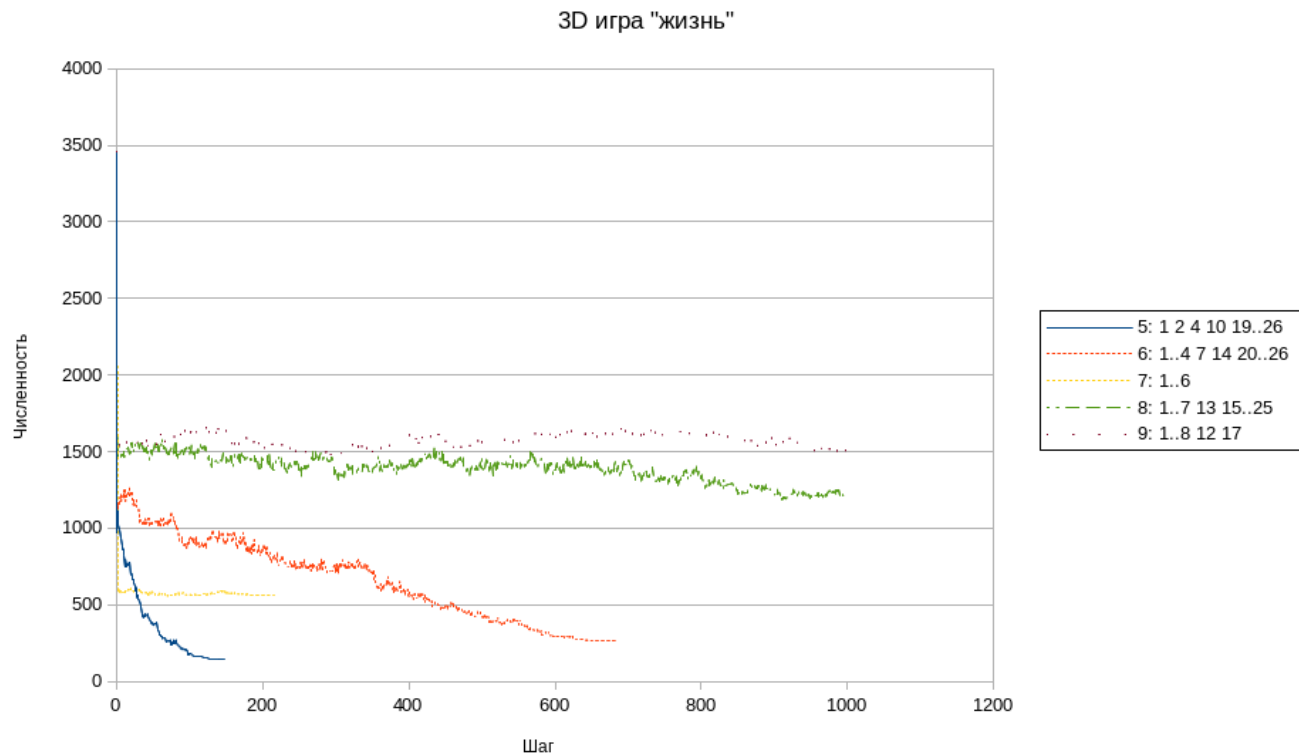
За считанные часы — с учётом того, что пришлось ещё, до пятидесяти, поднять размер ребра «затравки», это довольно быстро — программой были найдены «спектры», последующей ручной проверкой доведённые до следующих:

5: 1 2 4 10 19..26
6: 1..4 7 14 20..26
7: 1..6
8: 1..7 13 15..25
9: 1..8 12 17.

Большие числа рождения дают конструкции заведомо остающиеся в пределах исходного кубика, и потому мало интересные; однако мало выходят за эти пределы и результаты полученных условий.

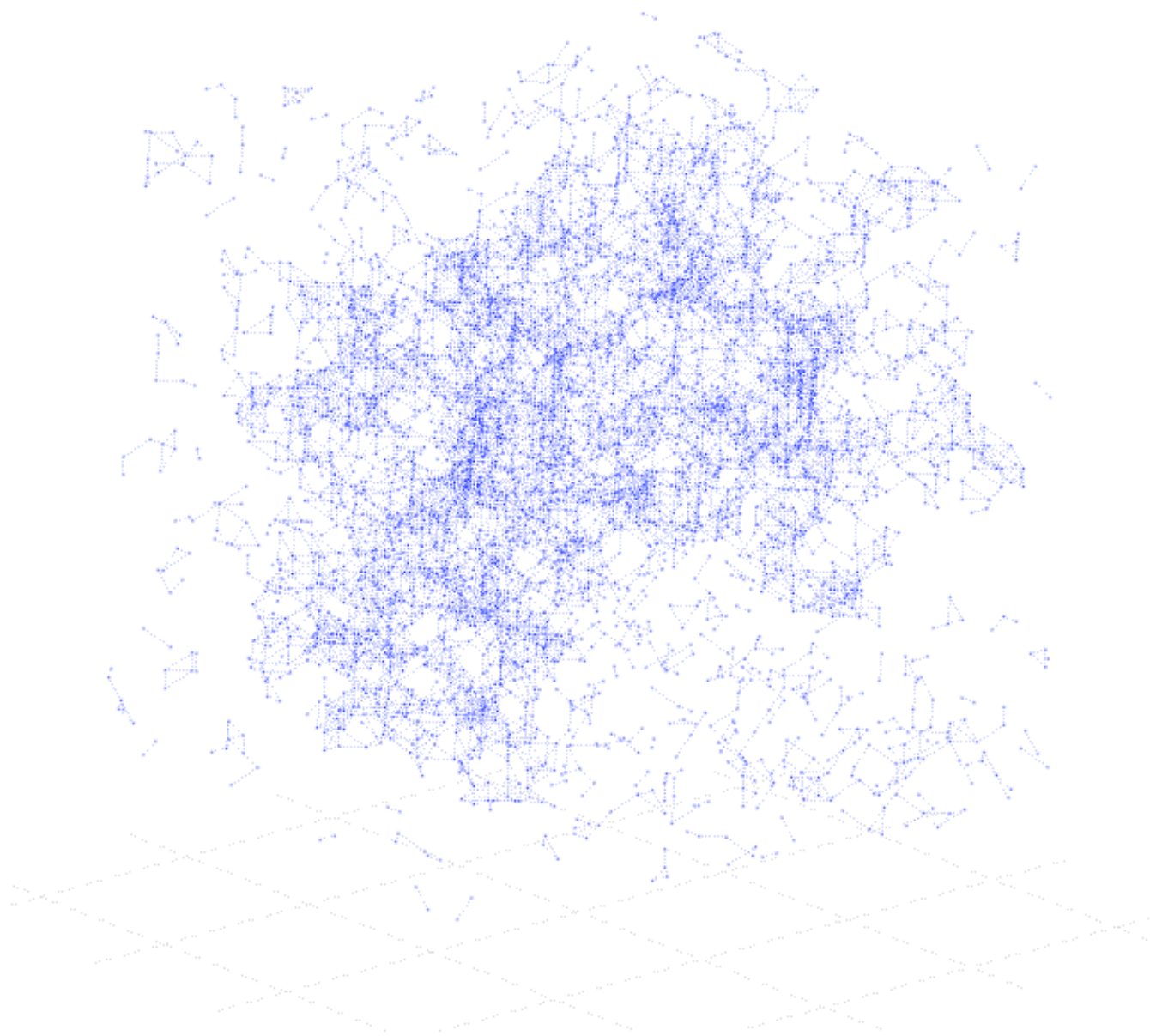
Внешне похожие на «перемигивание областей» или «бег паучков» процессы идут в них умеренно долго, с заметным повышением продолжительности к большим числам. Однако этот «бег» происходит практически локально, в заранее известном объёме — самое большее, в отсеянных вручную вариантах с ошибками, постепенно вокруг исходного кубика возникал додекаэдр, и крайне медленно рос дальше.

График 15. Численность конструкций «спектров» трёхмерной «жизни» в зависимости от правил.



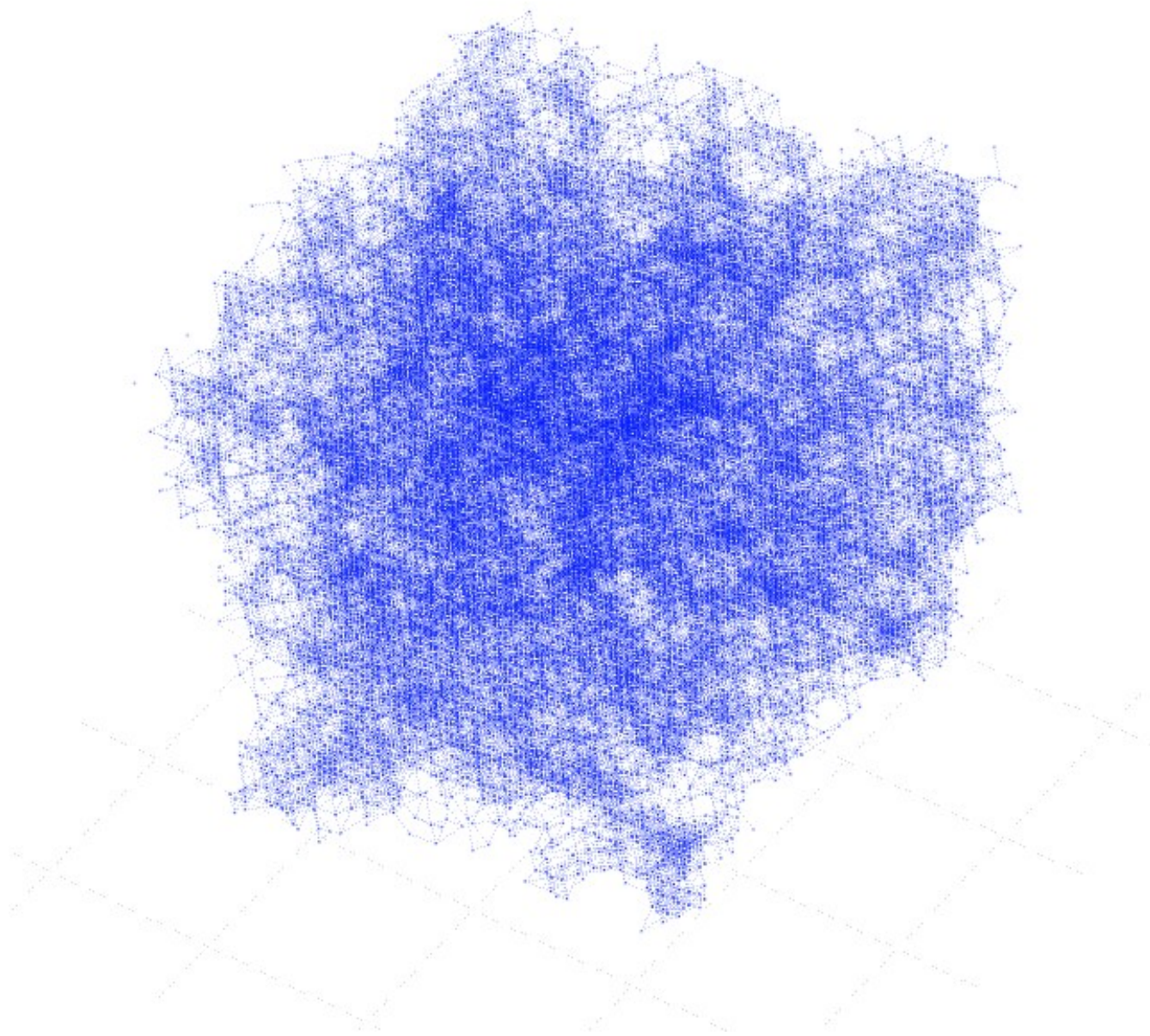
Конструкции «живущие» по правилу «5: 1 2 4 10 19..26» быстро схлопываются; приведён результат следующего правила. Хорошо видно заранее заданные рамки.

График 16. Трёхмерная «жизнь», правило «6: 1..4 7 14 20..26». Процесс.



Попытка зайти с другой стороны, начать перебор с больших чисел — обнаруживает, к примеру, правило «5: 2 6 8..26», дающее практически "вечноживущие" плотные конструкции с переливающейся «бахромой».

График 17. Трёхмерная «жизнь», правило «5: 2 6 8..26». Процесс.



Явно с этой стороны интересного нет.

Третий вариант — начать пересчёт, вместо как с единицы, с той или иной константы.

«Спектры с основанием»

При переборе от констант получаются следующие правила:

5: 2 3 7 14 20 22..26

5: 3 4 8 18 25

5: 4 5 10 13..26

6: 2..5 10 16..26

6: 3..6 12 14..26

6: 4..6 9 12 17 18 20 21 23..26

6: 5..7 9 20 24..26

7: 2..6 9 15 21 22 25..26

7: 3..7 12..17 20 22..25

7: 4..7 9 13 17 19 21..24

7: 5..8 11 13 17

7: 6..9 11 14 17 24 25

8: 2..7 9 19..22 25

8: 3..8 12 16..26

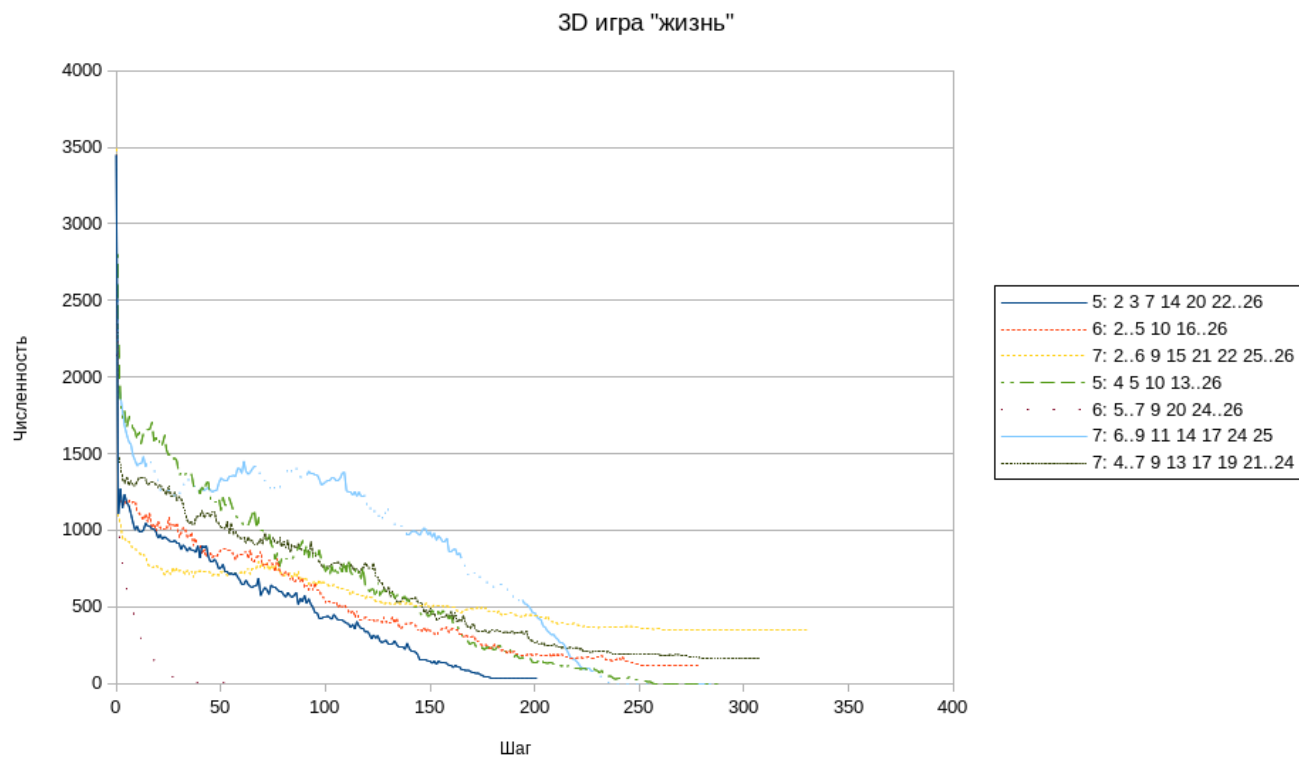
8: 4..8 10 14 ..26

8: 5..9 12 15..20 22 23 25

8: 6..10 13 19 20 23 25 26

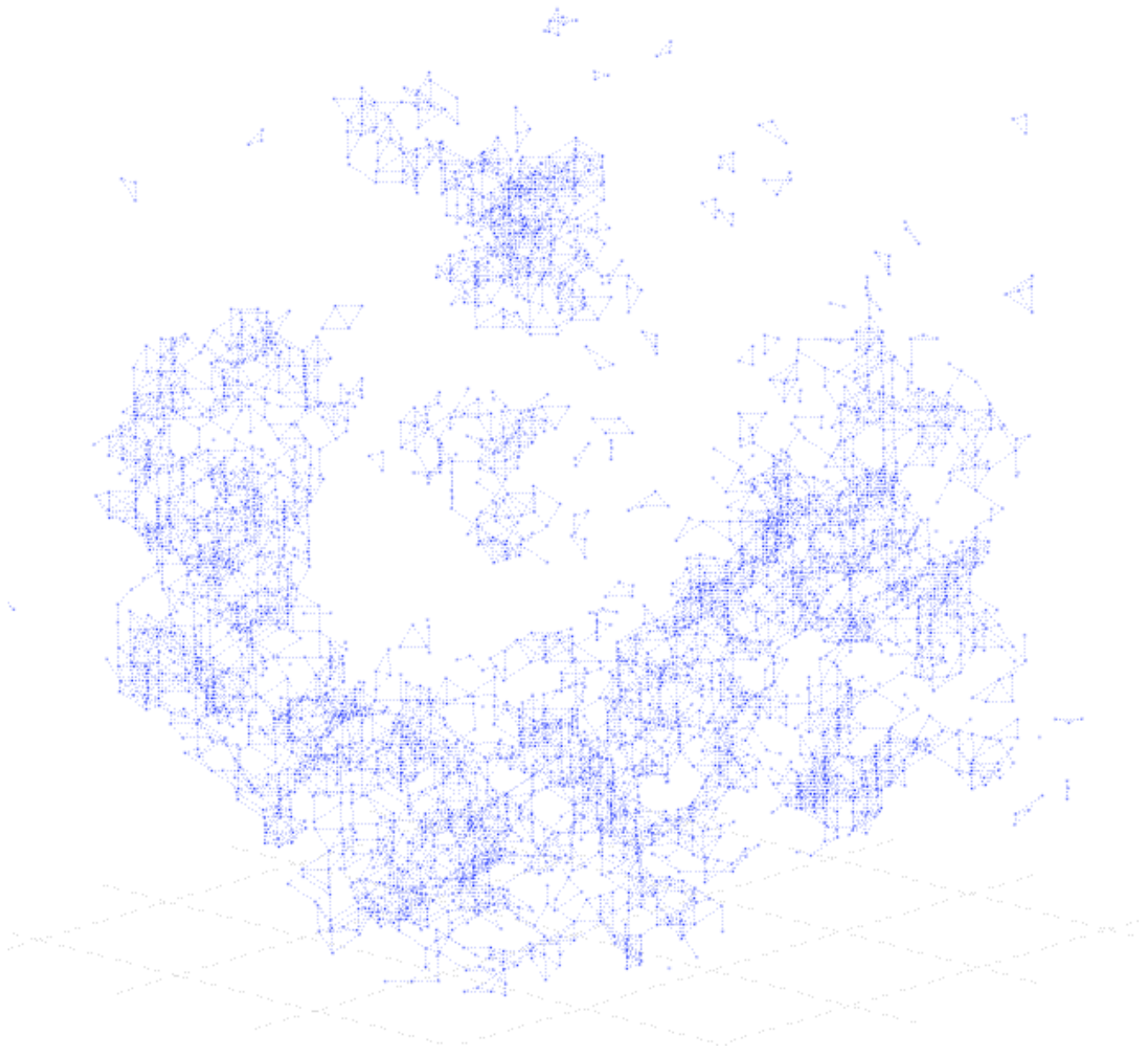
Всё они дают конструкции достаточно «короткоживущие», и сходящие на осадок практически линейно.

График 18. Численность конструкций «спектров с основанием» трёхмерной «жизни» в зависимости от правил.



Выглядит в процессе это приблизительно так.

График 19. Трёхмерная «жизнь», правило «5: 2 3 7 14 20 22..26». Процесс.



Какие-то самые верхние числа соседей в полученных условиях могут быть и ошибочными, давать «расхождение» на ещё больших «затравках», которые на моём компьютере слишком долго считать. Суть дела это меняет мало, потому что большие числа вносят меньший вклад, только компенсирующий издержки «коротких правил», и определяют скорее продолжительность «жизни», чем её динамику. К тому же эта продолжительность всё равно выходит короткой.

Чтобы исключить пропуск каких-то интересных вариантов, дополнительно, ещё одной модификацией программы, были перебраны варианты с числом рождения равным пяти, минимумом соседей 2, а следующим за ним допустимым числом большим, чем 3.

Эти варианты:

5: 2 4 7 15 19 20 22..24 26

5: 2 5 6 20 24..26

быстро сходятся, базовый «5: 2 3 7 14 20 22..26» лучше чем они. Из чего следует вполне логичный, коль скоро вклад меньших чисел больше, вывод, что уже полученные результаты вообще — лучшее из того, что возможно получить; и во всех из них всё остаётся более-менее в пределах начального кубика.

Кроме того, возможен ручной перебор, которым, к примеру, нашёл правило

6: 1 3 5..7 13 18..26

в котором число для рождения находится посередине максимально большого диапазона допустимых чисел; с которым, однако, «жизнь» весьма похожа на уже рассмотренные.

Равно как и удостоверился, что такого варианта для числа рождения равного 5 нет.

Или, скажем, правило

5: 5 6 9 11 18 19 21 24..26

задающее очень бурно «кипящую», но всё-таки однородную «жизнь»; и провёл другие эксперименты, о которых тут излишне писать в силу их безрезультатности.

Выводы

Думаю что перебрал все возможные типы правил трёхмерной «жизни», по крайней мере достаточно для окончательных выводов и прекращения поиска.

Перебор принёс какие-то результаты, в том смысле что нашлись такие, в прошлый раз пропущенные, условия при которых конструкции «живут» довольно долго, разнообразно, и без заполнения собой всего пространства.

Между тем, отсутствовал даже единственный раз чтобы я видел в рамках таких условий конструкцию типа вполне обычного для «плоской жизни» «самолёта», последовательно сдвигающегося в ту или иную сторону.

На таких «самолётах» была в «плоской жизни» построена машина Тьюринга, абстрактная вычислительная машина; по всей видимости, именно возможность создания/возникновения чего-то, в том или ином смысле, «разумного» приводит к тому, что игра выглядит привлекательно, интересно.

В объёме такое отсутствует, по всей видимости по причине большей связности происходящих в нём процессов; вероятно там, где возможно в пространстве спонтанное движение в одну сторону, оказывается возможно движение и во все остальные, что есть безудержный рост.

Полученные процессы больше напоминают рост кристаллов, кипение жидкостей в отсутствии веса, поведение электрических полей в телах, газопылевые туманности, и прочую физику микро и макромира, чем жизнь.

«Грааля» нет.

Философские выводы из полученного отрицательного результата могут быть разные. К примеру, такой что сомнительна чисто биологическая жизнь в космосе иная чем на поверхностях небесных тел.

Модель показывает принципиальное отсутствие возможности спонтанного возникновения разума в объёме. Надо думать, разум условие путешествий в пространстве; вместо как их следствие.