

Эволюционный синтез небаркеровских последовательностей

А.В. Крамаренко

В предыдущей статье мной допущена непростительная оплошность. Предлагая метод передачи с помощью псевдошумового сигнала, следовало предложить и последовательность, которая обеспечит приемлемые характеристики канала связи. Требования к последовательности стандартны: коэффициент корреляции (в нашем случае нормированный) должен быть равен $+1$ или -1 в случае синхронизации входной и принимаемой последовательностей. Он также должен быть равен нулю (или приемлемому малому значению) в любые другие моменты времени скольжения входного сигнала относительно прототипа. Этому требованию, как известно, полностью соответствуют последовательности Баркера.

Однако предлагаемый метод передачи сигнала требует решения задачи, неразрешимой как аналитически, так и численно: для последовательности длиной 32 символа и 8-битного квантования отсчетов количество вариантов будет равно $N = 8160!$ Разумеется, с таким значением факториала не справится никакой компьютер за любое приемлемое время.

Кроме того, не существует никаких доказательств того, что последовательности, пригодные для предлагаемого канала связи, существуют вообще. Остаётся только интуитивно-экспериментальный путь анализа проблемы.

Попробуем разработать программный стенд для поиска последовательностей. Будем использовать переходы: $-1,+1,-1,-1,+1,+1,-1,+1$. В такой последовательности смены символов будут учтены все возможные случаи образования паразитных лепестков корреляционного преобразования. Уровень полезного сигнала будем нормировать до ± 1 в момент синхронизации, а остальные отсчеты представлять в долях от найденной единицы (эту функцию обеспечивает коррелятор Пирсона).

Зададим симметричную последовательность с инверсией по времени и уровню для правой и левой половины. Будем выбирать наилучший вариант из случайно генерированных последовательностей.

Первые результаты оказались самыми неудачными, чего и следовало ожидать: область «хороших» последовательностей в потенциально гигантском массиве данных ничтожно мала, и вероятность попадания в неё стремится к нулю.

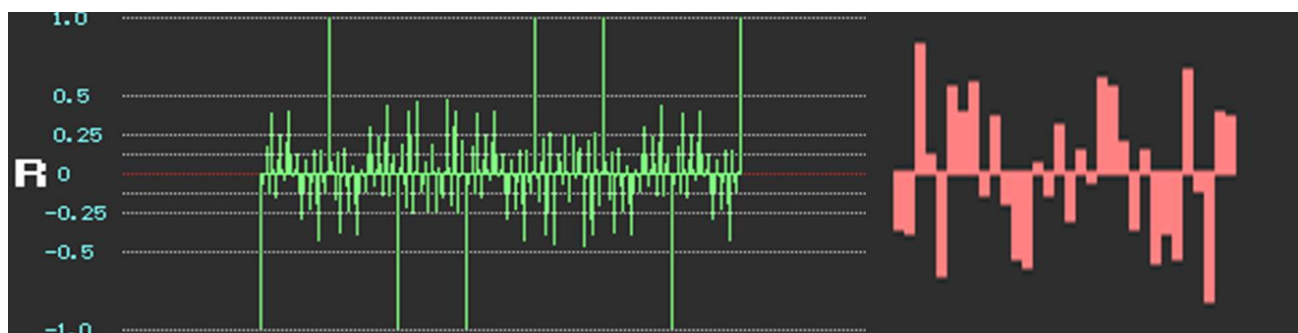


Рис.1. Эксперимент со случайными данными: слева сигнал на выходе коррелятора, справа изображение применённой псевдослучайной последовательности. Результат лишь чуть лучше 3 дБ, и он не может быть признан приемлемым.

Попробуем использовать метод, который применялся в эксперименте Миллера-Юри: включим стенд на длительное время, и будем ожидать последовательностей, дающих наилучшие результаты. Качество последовательностей будем оценивать в виде: $K = U/R$, где R – максимальное значение нежелательного лепестка корреляционного преобразования, а U – значение сигнала коррелятора в момент синхронизации. Результат эксперимента, в

котором «K» превышал предыдущее значение, будем отображать, а в противном случае - игнорировать.

В процессе работы имеем замедляющийся во времени подъём графика, а время ожидания новой «хорошей» последовательности становится неприемлемым. При этом достигнутый коэффициент не обеспечивает желаемого качества работы коррелятора.

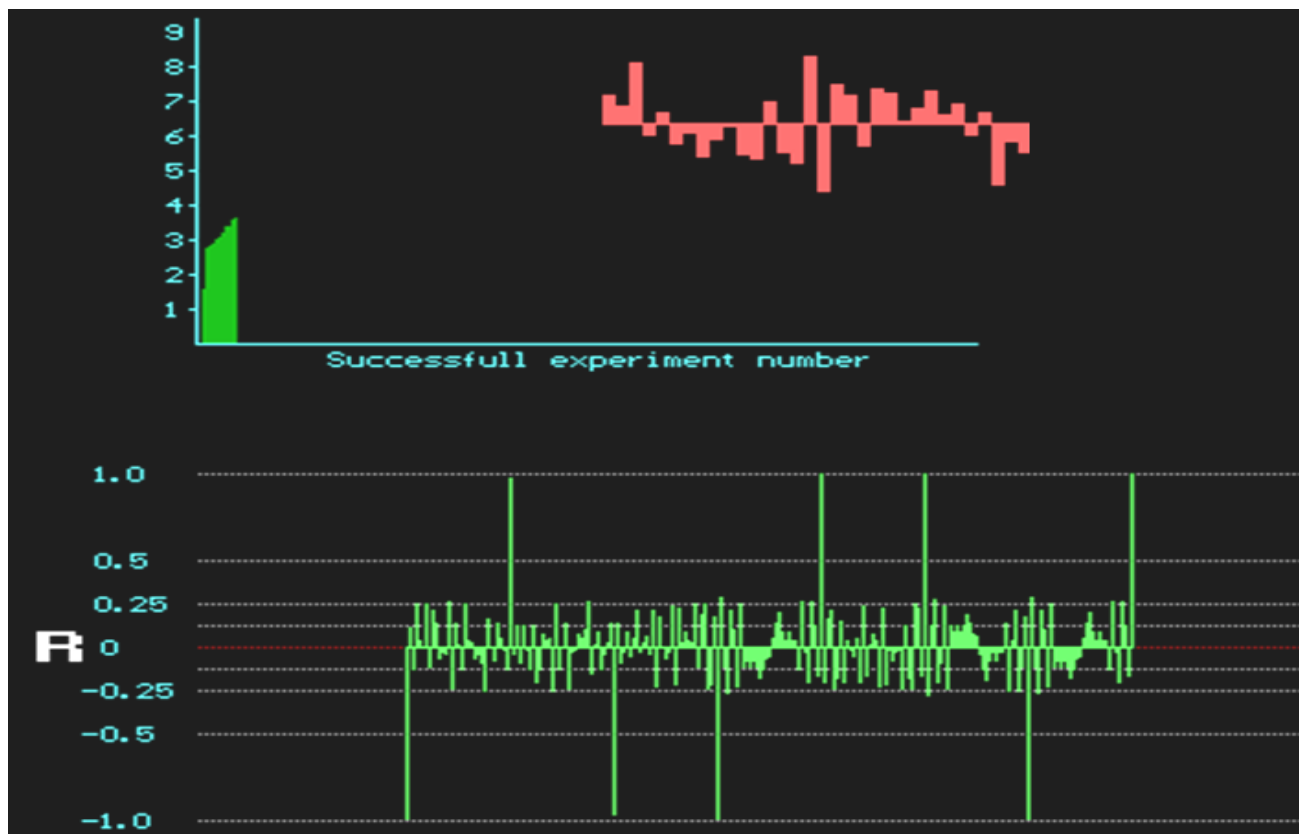


Рис.2. Результат перебора случайных последовательностей. После 24 часов непрерывной работы получен «K» менее 6 дБ, его график (показан слева вверху) остановился, а нарастающее время ожидания новых удачных последовательностей сделало продолжение эксперимента бессмысленным.

Итак, можно считать, что наблюдается тупик, или, лучше сказать, барьер, причём функция нарастания потребного времени поиска описывается графиком роста значений факториала. Назовём его первым барьером и примем к сведению, что в экспериментах по самопроизвольному синтезу аминокислот процесс остановился так же. Единственным путём выхода из сложившейся ситуации можно предполагать включение в работу эволюционных механизмов.

Пусть найденная ещё не очень «хорошая» последовательность приобрела способность реплицировать себя, причём репликация происходит с ошибками, т.е. включениями шумовых компонентов, вклад которых существенно меньше абсолютных значений символов исходного набора.

Как аналогия: подобный скачок неизбежно должен был произойти на ранних стадиях формирования биологической жизни. Без этого этапа любое дальнейшее развитие систем с самокопированием вряд ли возможно – барьер должен быть преодолен.

Проведём эксперимент примитивного размножения и отбора по критерию качества самовоспроизводящихся последовательностей – неважно, химических ли как в начале биологической истории, или всего лишь компьютерных моделей. Какие-то общие законы ранней эволюции должны быть одинаковы как для первых случайно собранных молекулярных структур, так и для псевдошумовых последовательностей. А критерием пригодности к «жизни» в одном случае будет пригодность к выживанию в окружающей среде, а в другом – пригодность для работы в радиотехнических системах.

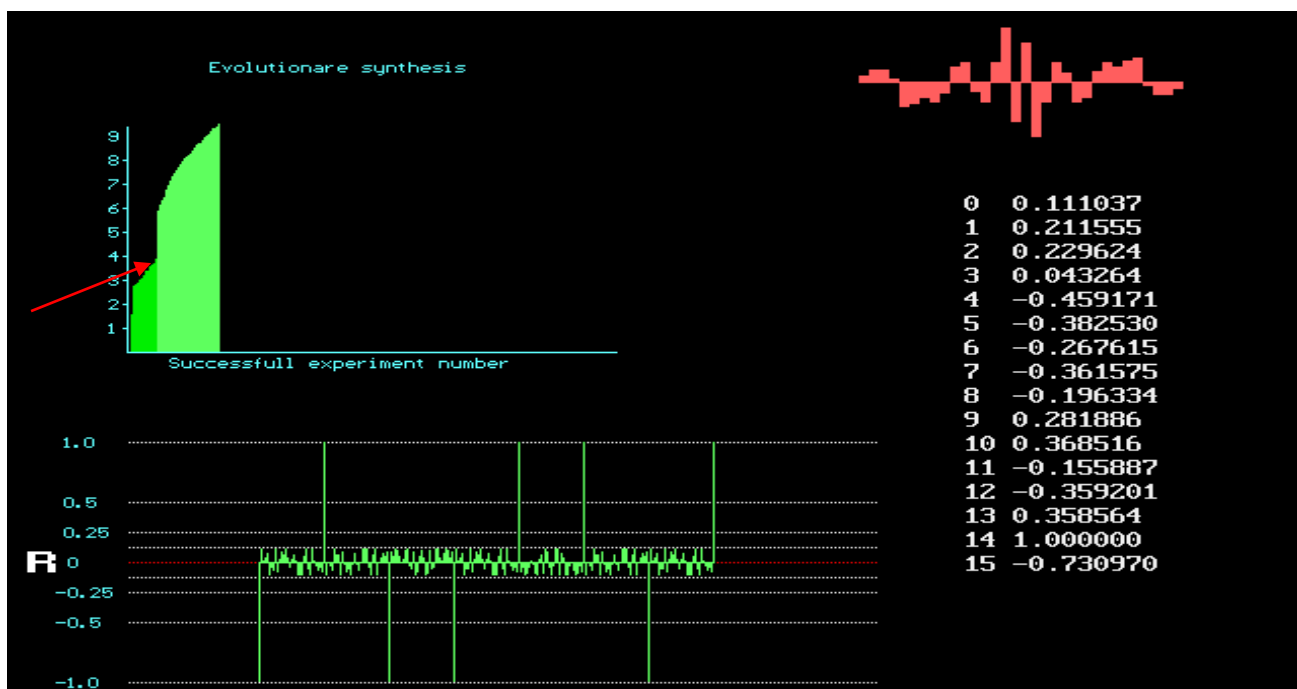


Рис.3. В момент, показанный красной стрелкой, включился механизм, когда значения последовательности не заменяются полностью, а исходная последовательность дополняется случайными данными, причём вклад шумового компонента на два порядка меньше исходного уровня сигнала. Отбор «качественных» последовательностей идёт по величине «K». Новый режим работы выделен ярко-зелёным цветом. Значения в долях единицы показаны справа, их можно использовать (правая часть инверсна по U и t).

Полученный результат можно считать удовлетворительным: 20 дБ вполне достаточно для работы пороговой системы на выходе коррелятора, ведь в реальных радиотехнических условиях всегда присутствуют и эфирные помехи, и собственные аппаратурные шумы.

Будем считать, что техническая проблема в первом приближении решена: таких последовательностей можно генерировать много и разных. Т.е. дополнительные возможности по увеличению пропускной способности канала связи очевидны. Заметим также, что при применении разных последовательностей для передачи одинаковых символов будет затруднена нелегальная синхронизация (и дешифровка данных Евой при условии достаточной вычислительной мощности трансиверов у Боба и Алисы).

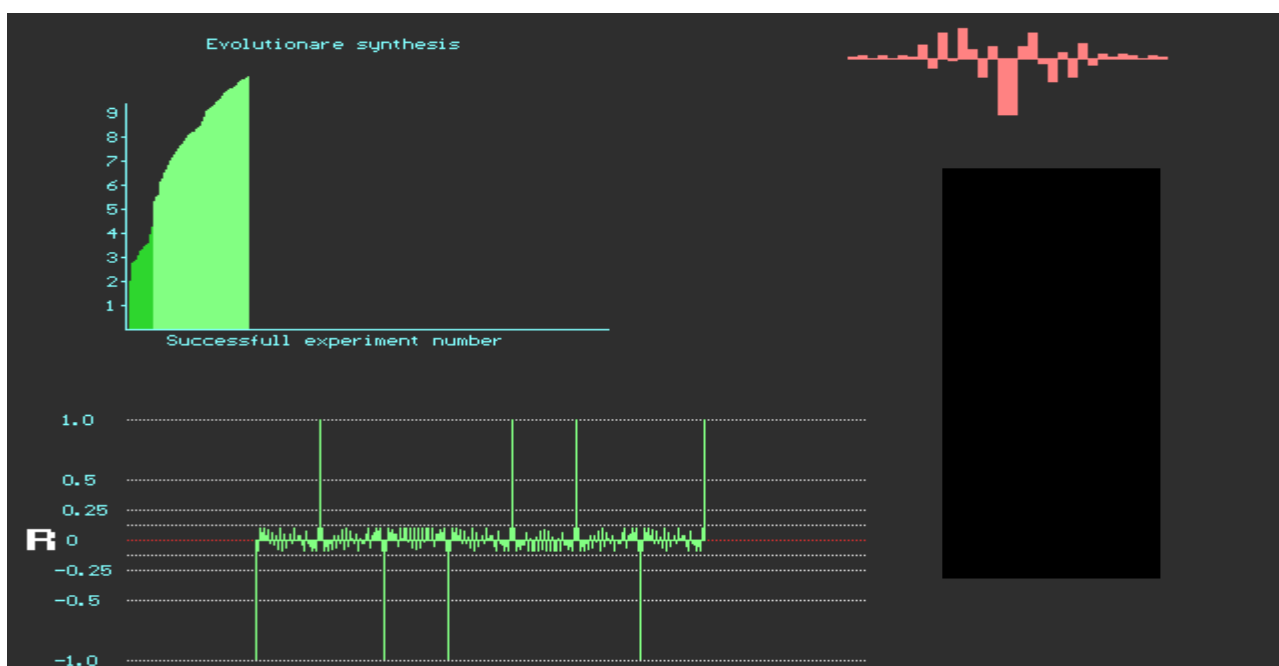


Рис.4. Ещё одна не полностью симметричная последовательность: в данном случае коэффициент более 22 дБ.

Дальнейшие «эволюционные» эксперименты, следует полагать, не имеют практического смысла. Но в природе есть столько интересных механизмов, что трудно устоять перед соблазном попробовать их. В первую очередь, логично будет проверить: работает ли плазмидный перенос информации, и что даст самый простой кроссинговер.

Даже первые опыты с обменом информацией (в присутствии шума) от двух «родителей» дали неожиданные результаты: гипотеза о том, что пригодная для использования последовательность должна быть симметричной и иметь нулевое математическое ожидание, оказалась несостоятельной. Некоторые несимметричные «дети», как выяснилось, вполне имеют «право на жизнь».

В то же время гипотеза о том, что некоторые «потомки» по качеству превысят обоих «родителей» полностью подтвердилась.

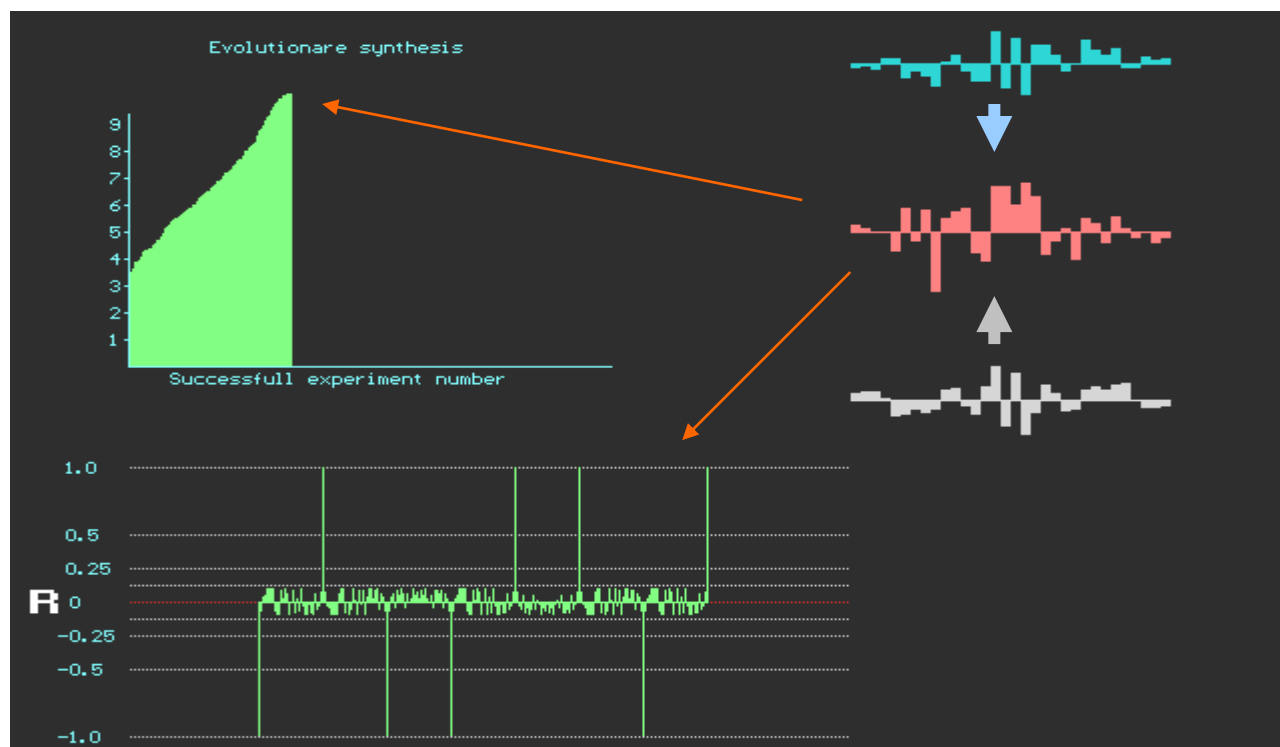


Рис.5. Эволюция результата «кроссинговера» серых и синих последовательностей. Качество красной последовательности значительно выше, несмотря на её неприглядный вид.

Выводы:

1. Математически строго задача не решена, но предложенный метод синтеза последовательностей может удовлетворять техническим требованиям псевдошумовых каналов связи.
2. Получить оптимальную последовательность с «баркеровскими» характеристиками не удастся, но сколь угодно близкое приближение к ней возможно.
3. Может быть, предлагаемый способ решения задач пригодится в анализе биологических эволюционных процессов.