

В.Н.Михайлов

Синтез зондирующих сигналов с помощью муравьиных алгоритмов

*Санкт-Петербургский государственный
электротехнический университет «ЛЭТИ»*

Радиолокационные средства играют важную роль в прогнозировании и предотвращении чрезвычайных ситуаций и снижения их последствий. Одной из проблем, возникающих при использовании этих средств, являются генерируемые ими электромагнитные помехи. Одним из способов снижения таких помех является использование сложных зондирующих сигналов, позволяющих снизить импульсную мощность передатчика.

Исходя из задач, решаемых радиолокационным средством, к автокорреляционной функции (АКФ) зондирующего сигнала могут предъявляться различные требования. Например, минимизация боковых лепестков в рабочей зоне. Поскольку радиолокационная обстановка может изменяться, может потребоваться оперативное изменение параметров зондирующего сигнала.

Для синтеза сигнала с требуемой функцией неопределенности или корреляционной функцией в литературе рассматриваются различные эвристические алгоритмы, направленные на локальную оптимизацию кодовой сигнальной последовательности. Для синтеза сигнальных последовательностей обычно используются методы, основанные на генетических алгоритмах или поиске с исключениями [1,2]. Альтернативой этим методам является другой класс эвристических алгоритмов – так называемый муравьиный поиск.

Муравьиные алгоритмы основаны на имитации природных механизмов самоорганизации муравьев. Поведение муравьев при транспортировании пищи, преодолении препятствий, строительстве муравейника и других действиях зачастую приближается к теоретически оптимальному. Основу поведения муравьев составляет самоорганизация – множество динамических механизмов, обеспечивающих достижение системой глобальной цели в результате низкоуровневого взаимодействия ее элементов. Самоорганизация является результатом взаимодействия следующих четырех компонентов:

- случайность;
- многократность;
- положительная обратная связь;
- отрицательная обратная связь.

Муравьи используют два способа передачи информации: прямой – обмен пищей, мандибулярный, визуальный и химический контакты, и непрямой – стригмержи. Стригмержи – это разнесенный во времени тип взаимодействия, когда один субъект взаимодействия изменяет некую часть окружающей среды, а

остальные используют информацию об ее состоянии позже, когда находятся в ее окрестности. Биологически стригмержи осуществляется через феромон – специальный секрет, откладываемый как след при перемещении муравья. Феромон – достаточно стойкое вещество, он может восприниматься муравьями несколько суток. Чем выше концентрация феромона на тропе, тем больше муравьев будет по ней двигаться. Со временем феромон испаряется, что позволяет муравьям адаптировать свое поведение под изменение внешней среды. Распределение феромона по пространству передвижения муравьев является своего рода динамически изменяемой глобальной памятью муравейника. Любой муравей в фиксированный момент времени может воспринимать и изменять лишь одну ячейку этой глобальной памяти [3].

Использование муравьиных алгоритмов для синтеза радиолокационных сигналов имеет свои особенности, требующие модернизации классического алгоритма, описанного, например, в источниках [3,4]. Основным отличием является то, что отсутствует память муравья, не позволяющая ему возвращаться в точку, в которой он уже был. Это обусловлено тем, что число значений, принимаемых зондирующим сигналом в каждый момент времени, ограничено и, как правило, много меньше, чем длительность сигнала в квантах. Например, для сигналов с двоичной фазовой манипуляцией, таких значений только два, а длительность сигнала может составлять несколько тысяч квантов. В этом случае у муравья на каждой итерации есть только две возможности: остаться на месте или вернуться в предыдущее состояние. Для классической задачи, решаемой с использованием муравьиного поиска – задачи коммивояжера, все муравьи остались бы на своих местах, и решение было бы не найдено. Однако, для синтеза сигналов даже при неподвижности муравья решение будет меняться. Следующий параметр – видимость, показывающая для той же задачи коммивояжера расстояние между городами, тоже изменяет свою сущность. Это теперь не статическая, а динамическая величина, зависящая от предыдущих состояний муравья и показывающая, на сколько улучшится или ухудшится значение критерия оптимизации при изменении или не изменении состояния муравья. Виртуальный след феромона на ребре становится показателем был ли совершен переход из одного состояния в другое на соответствующей итерации.

Проведем оценку возможности использования муравьиного поиска для синтеза сигналов. Для этого осуществим поиск некоторых известных сигналов, например кодов Баркера. Опыт автора в работе с эвристическими алгоритмами позволяет утверждать, что полученные зависимости будут актуальными при синтезе сигнала с широким набором требований к АКФ. Главной проблемой, возникающей при использовании эвристических алгоритмов, является большой объем вычислений. Оценим объем вычислений, требуемый для синтеза кодов Баркера различной длины. Основным изменяемым параметром в муравьином алгоритме является количество муравьев (N_{ants}), участвующих в поиске (коли

чество параллельных путей поиска на каждой итерации). Ниже представлены результаты оценки времени синтеза сигналов. На рисунке 1 показано среднее требуемое количество итераций (N_{iter}) и среднее время синтеза (t_{ave}) кода Баркера длительностью 11 в зависимости от количества муравьев. Видно, что наилучшие результаты получаются при наличии всего одного муравья, что легко объяснимо, т.к. не выполняется условие многократности поиска. Также видно, что с увеличением количества муравьев, уменьшается требуемое количество итераций. Тем не менее, среднее время поиска остается практически неизменным. Это обуславливается увеличением количества вычислений на каждой итерации.

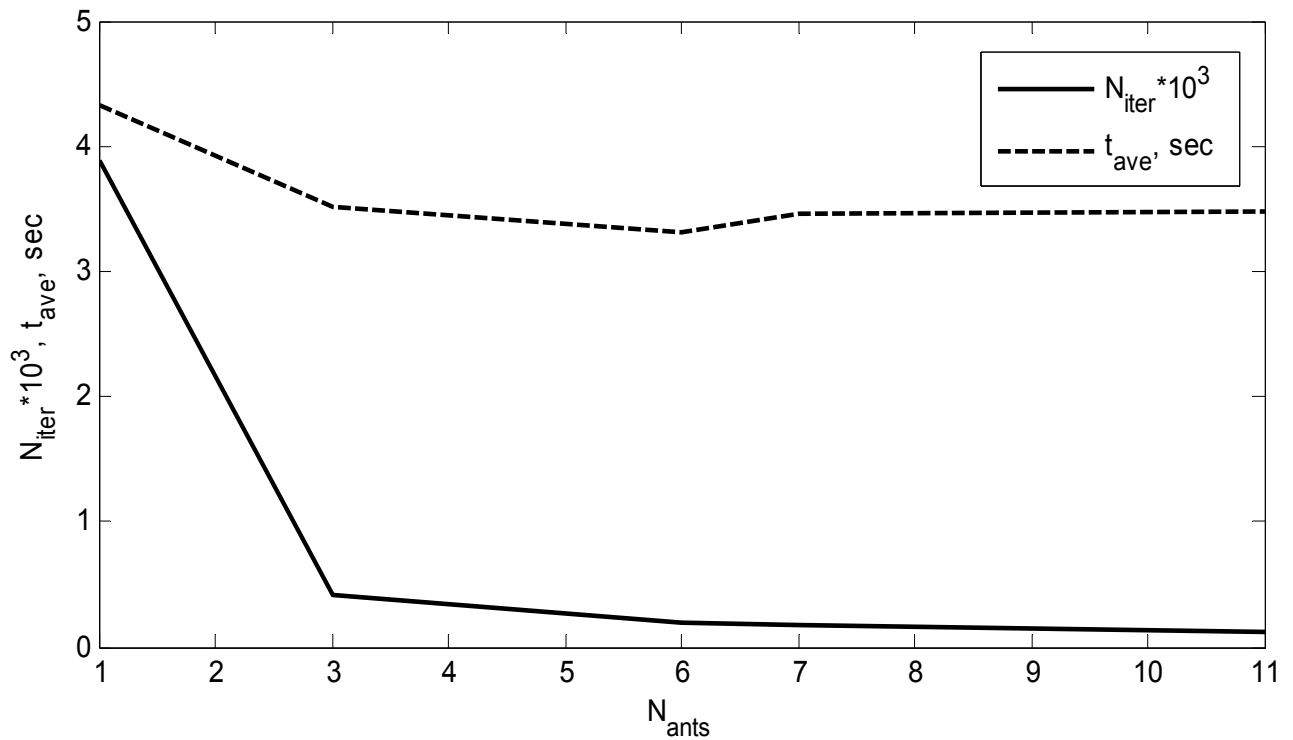


Рисунок 1

Аналогичные зависимости получаются и при синтезе сигнала Баркера-13 (Рисунок 2). Результаты моделирования, представленные на графиках, показывают, что количество муравьев не оказывает существенного влияния время, затрачиваемое на синтез сигнала. Однако, это справедливо при вычислении на одном компьютере. При использовании распределенных вычислений, увеличение количества муравьев может существенно снизить время синтеза.

Рассмотрим вычислительные и временные затраты в зависимости от длительности сигнала (L_{sig}). На рисунках 3 и 4 представлены количество итераций и время синтеза соответственно. Видно, что требуемое количество итераций и время вычислений экспоненциально возрастают с увеличением длительности сигнала.

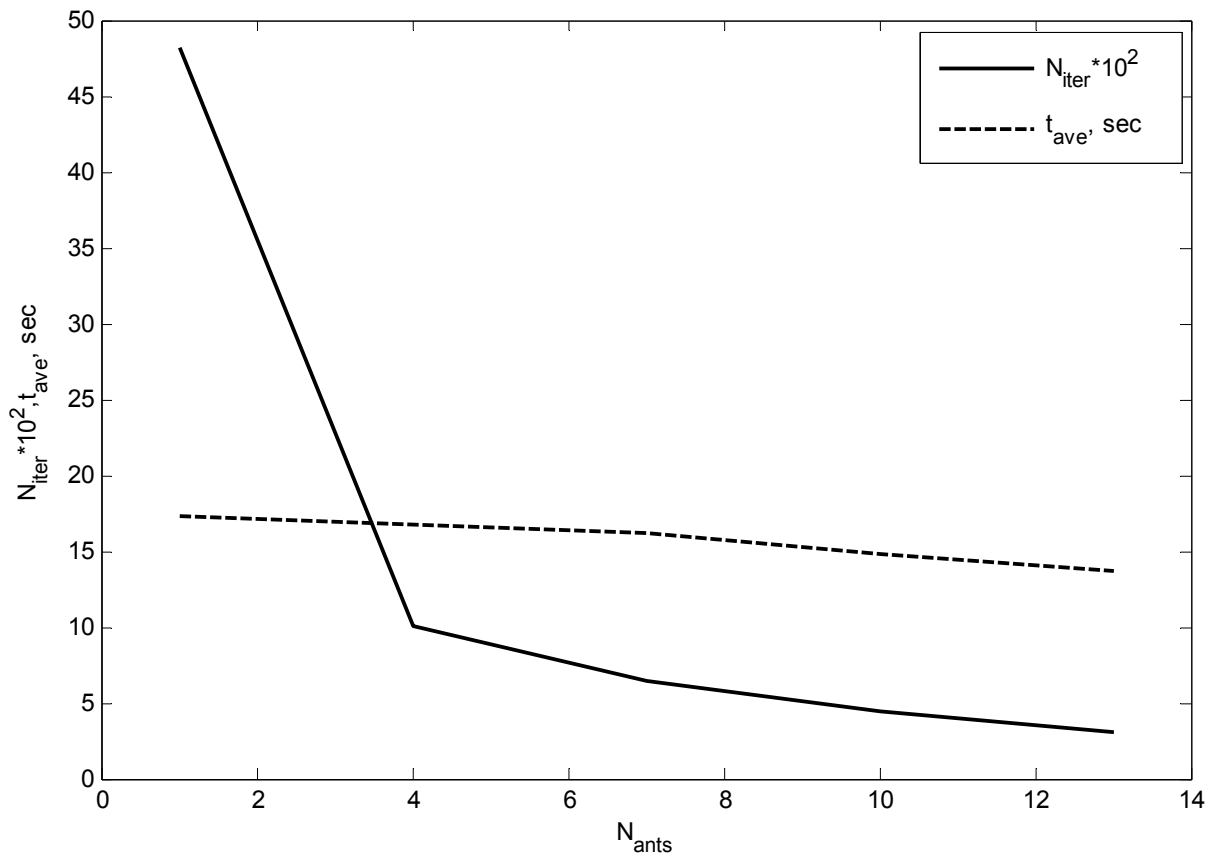


Рисунок 2

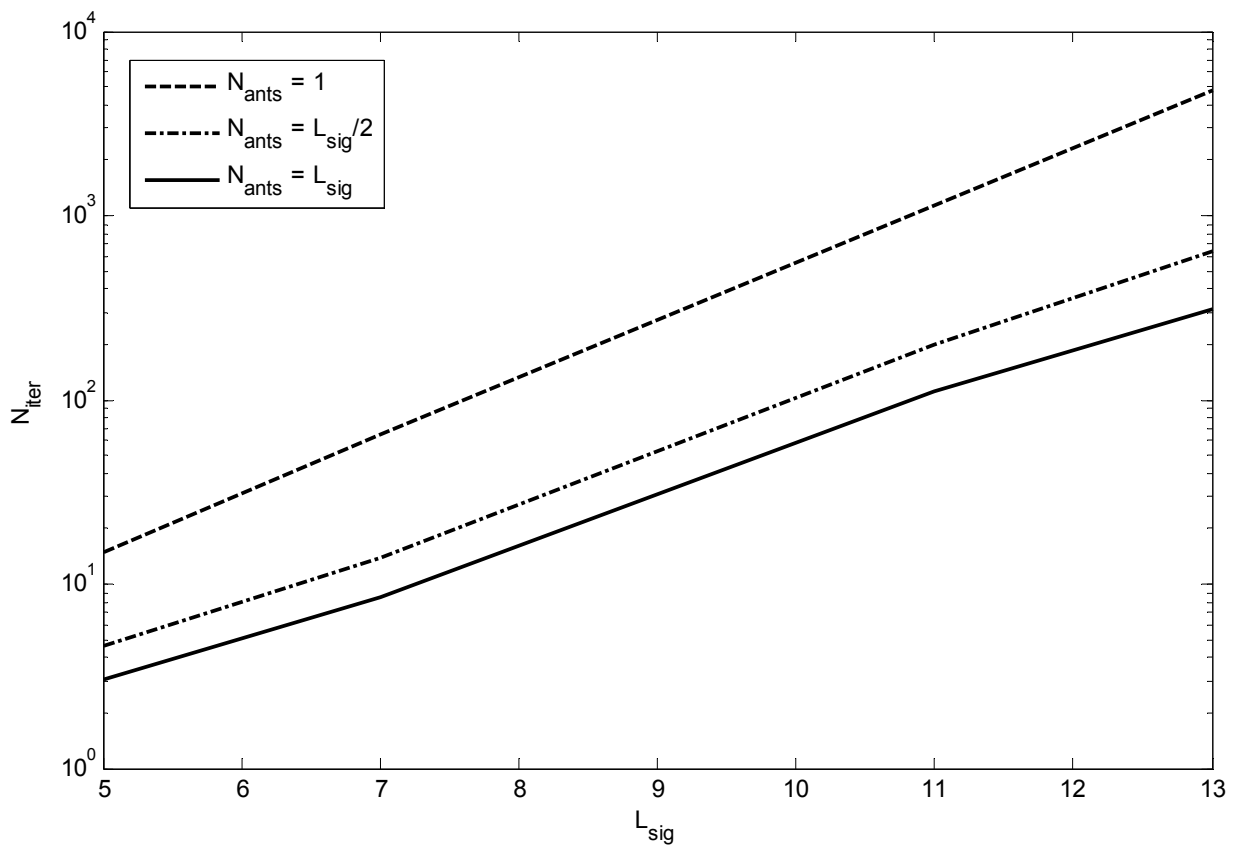


Рисунок 3

Если сравнить результаты, полученные с использованием муравьиного поиска с аналогичными, полученными с использованием других эвристических алгоритмов, то сравнение будет не в пользу муравьиных алгоритмов. Например, при использовании для синтеза кода Баркера-13 с помощью генетических алгоритмов, в среднем требовалось в 10 раз меньше времени. Тем не менее, муравьиный поиск имеет и свои преимущества. Главное из которых – приспособленность для параллельных вычислений. Также алгоритм характеризуется высокой вероятностью нахождения требуемого решения: за несколько десятков тысяч запусков не было ни одного случая ненахождения заданного сигнала (в качестве искомых сигналов выступали не только коды Баркера, но и M-последовательности различной длины, а также случайные сигналы с требуемым уровнем бокового лепестка).

Таким образом, использование муравьиного алгоритма для поиска сигналов может быть оправдано в случае возможности использования параллельных вычислений или при наличии достаточно большого отрезка времени, отведенного на получение требуемого результата.

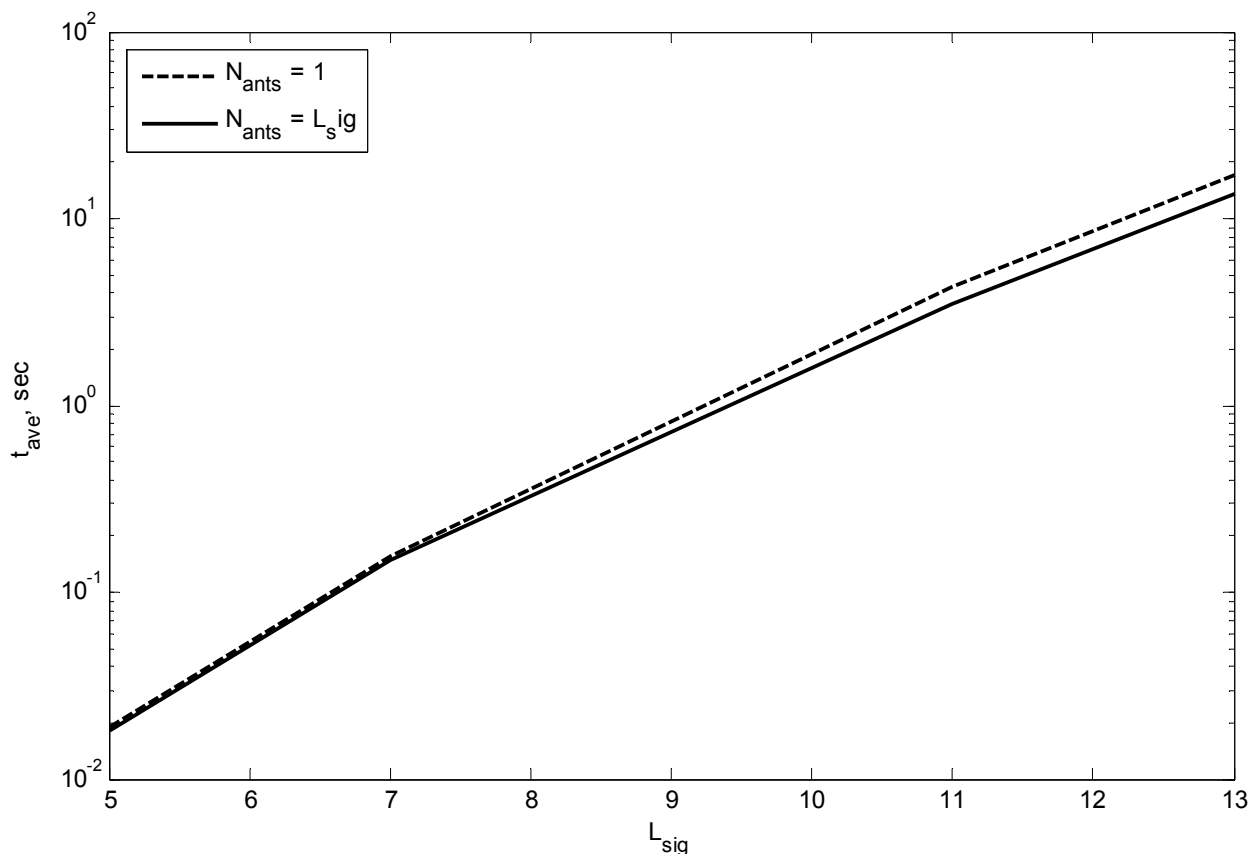


Рисунок 4

Литература

1. Михайлов В.Н. Эвристические алгоритмы синтеза сигналов с малыми боковыми лепестками автокорреляционной функции. // Материалы международного конгресса «Цели развития тысячелетия» и инновационные принципы устойчивого развития Арктических регионов», научно-практическая

- конференция «Наукоёмкие и инновационные технологии в решении проблем прогнозирования и предотвращения чрезвычайных ситуаций и их последствий», Санкт-Петербург, 12-13 ноября 2010 г.
2. В.Н. Михайлов. Синтез фазоманипулированных сигналов с пониженным уровнем бокового лепестка в рабочей области ПАКФ с помощью поиска с исключениями // XVII международная научно-техническая конференция «Радиолокация, навигация, связь», Воронеж, 12-14 апреля 2011 г. – Том 3. – С. 2245-2250.
 3. Штовба С.Д. Муравьиные алгоритмы. Exponenta Pro. Математика в приложениях, 2003, №4.
 4. Леванова Т.В., Уськов О.В. Алгоритм муравьиной колонии для одной задачи размещения с ограничениями на мощности производства. Вестник УГАТУ, 2010, Т.14, № 2(37). – С. 202-208.