

# АЛГОРИТМЫ ПРЕСЛЕДОВАНИЯ МНОЖЕСТВА ЦЕЛЕЙ МОБИЛЬНЫМИ РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ СИСТЕМАМИ

стр. 38 – 45

А.И. Миков, С.А. Воробьев

Кубанский государственный университет:  
350040, Краснодар, ул. Ставропольская, 149

*Контактные данные:* Миков А.И., e-mail: alexander\_mikov@mail.ru

**Резюме:** Предлагаются методы управления мобильными компьютерными ad hoc сетями, узлы которых расположены на плоскости и преследуют перемещающиеся цели. Исследовано время до «захвата» цели, вероятность «захвата» цели за обозримое время, а также изменение вероятности возникновения сильной связности сети по окончанию проведения моделирования поведения системы от заданных параметров. Разработана программа исследования поведения ориентированного графа мобильной ad-hoc, где перемещение узлов происходит в соответствии с описанными моделями мобильности. Проведено имитационное моделирование и анализ полученных данных.

**Ключевые слова:** ad hoc сеть, динамический граф, преследование на основе группового перемещения, колонная модель перемещений, экспоненциальная коррелированная модель случайных перемещений, управление сетями

## ALGORITHMS OF PURSUVERING A SET OF GOALS WITH MOBILE DISTRIBUTED SYSTEMS

pages 38 – 45

A. I. Mikov, S.A. Vorobjov

Kuban State University: 149, ul. Stavropol, Krasnodar, 350040, Russia

**Summary:** Methods are proposed for managing mobile computer ad hoc networks, whose nodes are located on the plane and pursue moving targets. The time to “capture” the target, the probability of “capturing” the target in the foreseeable time, as well as the change in the probability of the emergence of a strong network connectivity at the end of the simulation of the behavior of the system from the specified parameters are investigated. A program has been developed to study the behavior of the oriented graph of mobile ad-hoc, where the movement of nodes occurs in accordance with the described mobility models. Simulation modeling and analysis of the data were carried out.

**Keywords:** ad hoc network, dynamic graph, group-based persecution, column model of displacements, exponential correlated model of random displacements, network management

### Введение

Задача поиска движущихся объектов на местности возникает в самых разных постановках. Это и отслеживание миграций диких животных, и поиски заблудившихся в тайге людей, преследование преступников, специальные военные операции. В поиске, как правило, участвуют рассредоточенные группы людей, поддерживающих между собой связь по радиоканалам и обменивающихся информацией для координации действий. Техническое оснащение поисковиков обращает ad-hoc сеть.

Специфика сетей ad-hoc состоит в том, что их топология постоянно изменяется [1] из-за перемещения узлов сети в

пространстве или изменения условий распространения радиосигнала. Помимо этого, для ad-hoc сетей, как и для любых беспроводных систем, характерны ограниченные полоса пропускания и зона радиовидимости. Усугубляет ситуацию наличие препятствий распространению сигнала.

Объекты, поиск и преследование которых осуществляется, образуют группу, перемещающуюся синхронно или случайным образом. От закономерностей ее поведения (модели мобильности) зависит качество решения задачи поисковой группой. На первый план выходит возможность координации работы поисковиков, а она определяется характеристиками связности ad-hoc сети.

## 1. Математическая модель и инструмент анализа

В некоторой области  $H$  на плоскости располагаются цели ad-hoc сеть поиска и захвата целей. Компьютерная ad-hoc сеть с заданными для каждого узла радиусами  $R$  уверенного приема/передачи сигнала порождает в любой момент времени геометрический граф [2]. Семейство геометрических графов, рассматриваемых для всех моментов времени, порождает динамический граф [3, 4]. Перемещение целей и, соответственно, узлов сети определяется моделями мобильности. Наиболее часто в литературе используются следующие модели.

**Модель случайных перемещений.** Узлы в этой модели перемещаются случайным образом, выбирая направление и скорость перемещения. Каждое новое перемещение происходит, как правило, через некоторые интервалы времени. На каждом интервале выбирается новая скорость и новое направление.

**Модель перемещений мобильных устройств на основе случайных точек.** В ней движение мобильного узла начинается с остановки в одном месте в течение определенной паузы. После паузы узел выбирает случайную точку в области моделирования и скорость. Мобильный узел перемещается в направлении с полученной скоростью. По прибытию снова останавливается на некоторое время и, затем, процесс повторяется.

**Модель перемещения в городских кварталах.** Здесь область моделирования является дорожная сеть. Все мобильные узлы начинают движение на некоторой улице (в определенной точке). Алгоритм движения к новому положению устанавливает такой путь, который соответствует кратчайшему времени пути между этими двумя точками. Достигнув места назначения, мобильный узел делает паузу на некоторое время и выбирает новый пункт, затем все повторяется.

**Модель перемещения мобильных узлов Гаусса-Маркова.** Эта модель была разработана с учетом уровня случайности, который можно настраивать непосредственно перед моделированием. В первый раз движения мобильный узел получает направление и скорость. Далее через некоторый интервал времени происходит обновление направления и скорости. Это изменение происходит по формулам 1 и 2:

$$S_n = \alpha * S_{n-1} + (1 + \alpha) * S + \sqrt{1 - \alpha^2} * SX_{n-1} \quad (1)$$

$$D_n = \alpha * D_{n-1} + (1 + \alpha) * D + \sqrt{1 - \alpha^2} * DX_{n-1} \quad (2)$$

$S_n$  и  $D_n$  – новые скорость и направление мобильного узла на интервале времени  $n$ ,  $0 < \alpha < 1$  параметр для изменения уровня случайности значений  $S$  и  $D$ , которые соответствуют скорости и направлению.  $SX_{n-1}$  и  $DX_{n-1}$  являются случайными величинами с Гауссовским распределением.

Если установить  $\alpha = 0$ , то получим полностью случайные значения, а если  $\alpha = 1$  – линейное движение. В каждый интервал времени новые координаты вычисляются по формулам 3 и 4:

$$X_n = X_{n-1} + S_{n-1} \cos(D_{n-1}) \quad (3)$$

$$Y_n = Y_{n-1} + S_{n-1} \sin(D_{n-1}) \quad (4)$$

**Модель групповых перемещений с опорной точкой.** Эта модель реализует случайное групповое перемещение узлов,

а также случайное движение внутри самой группы. При движении учитывается путь, который проходит «центр» группы. С помощью этого пути рассчитывается вектор движения всей группы, именуемый  $GM$ , т.е. «центр» группы задает как скорость, так и направление движения всех узлов. Также отдельно каждый узел случайным образом движется около своих предопределенных опорных точек  $RP$ , которые перемещаются в соответствие с движением центра группы. Сами узлы соответственно движутся вокруг своей опорной точки с помощью случайного вектора  $RM$ .

**Модель преследования.** Эта модель мобильности моделирует сценарий, когда несколько узлов пытаются захватить один мобильный узел впереди. Эта модель мобильности может использоваться для отслеживания целей в обеспечении правопорядка. Преследуемый узел (или целевой узел) свободно перемещается в соответствие с какой-либо моделью мобильности. Модель «Преследование» состоит из одного уравнения обновления позиции для каждого из узлов: новая позиция = старая позиция + ускорение (положение цели – старая позиция) + случайный вектор. Уровень случайности должен быть ограничен в целях поддержания эффективности преследования мобильным узлом цели.

Последняя модель является одной из основных в рамках данной работы и служит моделью перемещения узлов «преследователей» в момент, когда какой-либо из узлов увидит одну из целей. Таким образом, рассматриваются разные модели в качестве моделей перемещения узлов-искателей, пока они не видят хотя бы одну из целей.

В качестве области поиска рассматриваются многосвязные области  $H$  расположения компьютерной сети, моделирующие городские кварталы. Внешняя граница области представляет собой квадрат со стороной  $L1$ . Внутри этого квадрата располагается  $m*m$  квадратов меньшего размера (со сторонами  $L2$ ). Между соседними квадратами имеются промежутки равной величины. Такие же промежутки имеются и между крайними квадратами и внешним. В совокупности промежутки образуют область расположения сети (т.е. внутри внешнего квадрата, но вне внутренних квадратов). Внутренние квадраты изображают препятствия, пример на рис. 1.

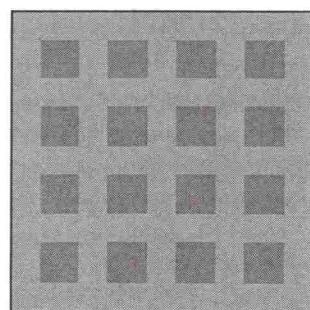


Рис. 1 Пример области моделирования

В работе рассматривается задача преследования нескольких целей одновременно. При этом у целей может быть как независимое друг от друга поведение, так и скоординированное. В последнем случае можно считать, что цели также образуют сеть, как и преследователи.

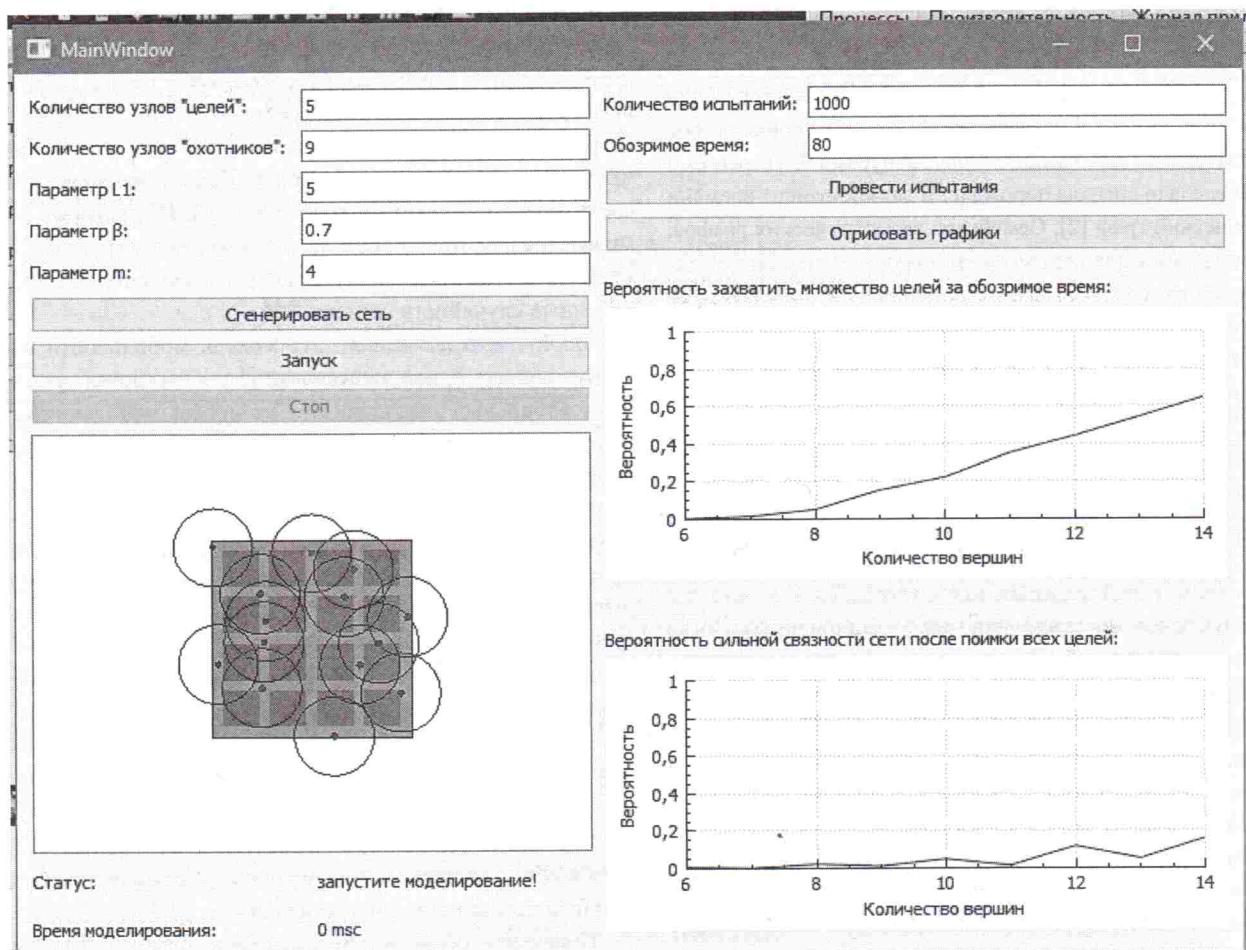


Рис. 2 Окно программы после проведения испытаний

Изменяемыми характеристиками в исследовании характеристик сетей являются:

Количество  $n$  узлов сети,  $2 \leq n \leq 50$ . Отношение  $\beta = \frac{mL_2}{L_1}$ . При этом  $m$ ,  $L_1$  и  $L_2$  выбираются таким образом, чтобы площадь решетчатой области не изменялась.

Величина радиуса  $R$  уверенного приема сигнала узлами постоянна,  $R = 1$ .

Основные искомые параметры исследования: время до «захвата» цели, вероятность сильной связности динамического графа после поимки всех узлов, вероятность «захвата» цели за обозримое время (до timeout).

Для исследования использовались программные средства, разработанные с соответствием с принципами, изложенными в [5], пример окна программы анализа приведен на рис. 2.

## 2. Результаты исследования

Получены данные, позволяющие судить о времени до «захвата» всего множества целей, зависимостей вероятности «захвата» целей за обозримое время, вероятность сильной связности сети после поимки всех узлов. Все данные рассматривались для разных входных параметров, таких как количество узлов, отношения  $\beta = m * \frac{L_2}{L_1}$ . Для получения каждого графика проводилось не менее  $10^5$  экспериментов

на одних и тех же входных данных. Графики приведены для параметров  $L_1 = 5$ ,  $m = 4$ , позволяющих выявить характер закономерности.

### 2.1 Модель «Преследование»

Рассмотрим случай, когда узлы «преследователи» движутся в соответствии с моделью мобильности «Преследование» в классическом смысле, т.е. всё преследование представляется собой обновление координат преследователей в схеме новая позиция = старая позиция + ускорение (путь от цели – старая позиция) + случайный вектор.

Количество целей положим равным 5, параметр  $\beta = m = 4$ , обозримое время 80 условных единиц, данный метр выбирался таким образом, чтобы графики получились достаточно информативными.

Рассмотрим вероятность поймать все цели за обозримое время, в случае, когда количество узлов – «преследователей» от 2 до 25.

*Модель мобильности целей – случайные перемещения*

Вероятность захватить множество целей за обозримое время (рис. 3) имеет достаточно сильный рост в промежутке до 11 узлов – искателей (количество вершин узлов все

количество целей). Далее также наблюдается рост, но не такой значительный, что говорит о меньшей эффективности введения новых узлов «преследователей» в процесс поиска. При таких параметрах, уже при количестве 18 «преследователей» на 5 целей вероятность поймать их практически равна единице.

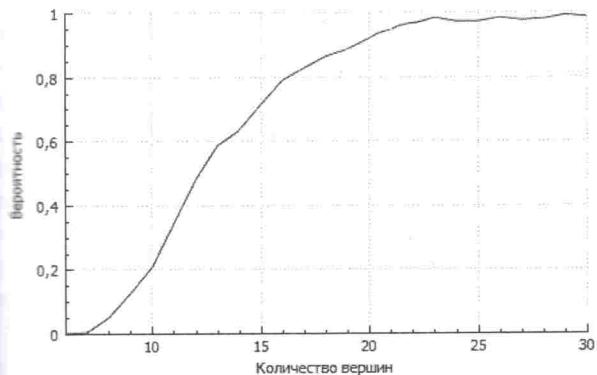


Рис. 3. Зависимость вероятности захвата от количества узлов

Исследовалась зависимость вероятностей от параметра  $\beta$ , который характеризует ширину «улиц» в городских кварталах, т.е. при меньшем значении параметра получаем больше свободы для перемещения и, наоборот, при большем значении – «улицы» становятся узкими.

На рис. 4 и 5 продемонстрированы графики зависимостей вероятности захватить все цели за обозримое время, при параметрах: количество целей 4, а количество узлов преследователей, соответственно, 6 и 10, параметр  $\beta = 0$  областью моделирования является квадрат (область без препятствий).

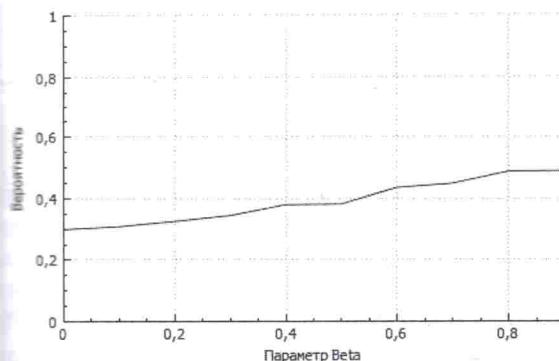


Рис. 4. Вероятность захвата, 6 преследователей

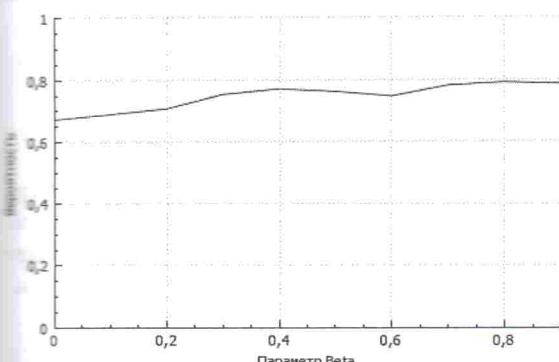


Рис. 5. Вероятность захвата, 10 преследователей

Графики показывают, что при увеличении параметра (уменьшении свободы передвижения) вероятность поймать все цели за обозримое время увеличивается на примерно на 0.2. Можно сделать вывод о том, что на открытой местности уклониться от преследования легче, чем на местности с препятствиями (многосвязной). Также на рис. 5 видно, что увеличение числа преследователей дало существенный прирост на 0.4 вероятности поймать все цели за обозримое время.

Вероятность того, что сеть будет представлять собой связный граф по окончанию моделирования, уменьшается при увеличении параметра  $\beta$ , и зависит также от количества преследователей: 6 (рис. 6) или 10 (рис. 7).

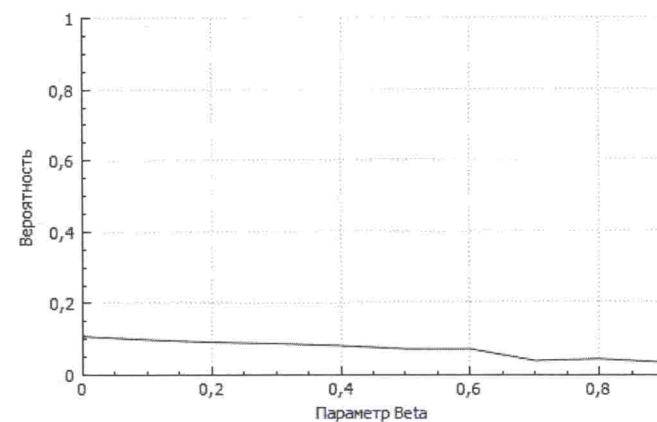


Рис. 6. Вероятность связности, 6 преследователей

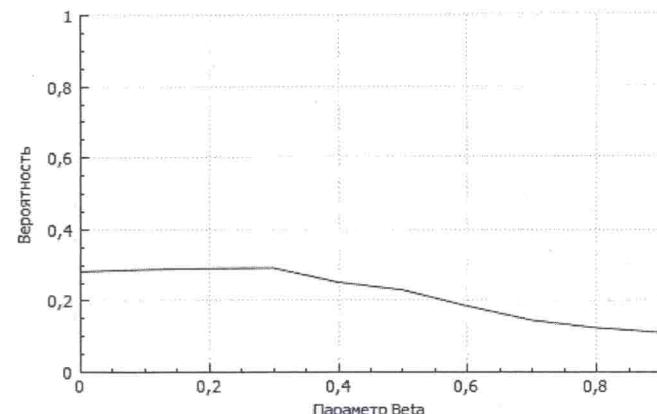


Рис. 7. Вероятность связности, 10 преследователей

Вероятность появления связности в конце всех экспериментов довольно низкая. При увеличении количества узлов она вырастает примерно на 0.3. Стоит сказать, что увеличение размеров препятствий эту вероятность уменьшает, т.е. узлы будут оторваны друг от друга.

*Цели выполняют групповое перемещение с опорной точкой.*

Рис. 8 показывает вероятности поймать все цели за обозримое время в зависимости от количества вершин. Поведение графика похоже на поведение, когда цели движутся на основе случайных перемещений, однако, в общем вероятности выше, что говорит о нецелесообразности целям двигаться вместе – обнаружение одного узла ведет к обнаружению всей группы.

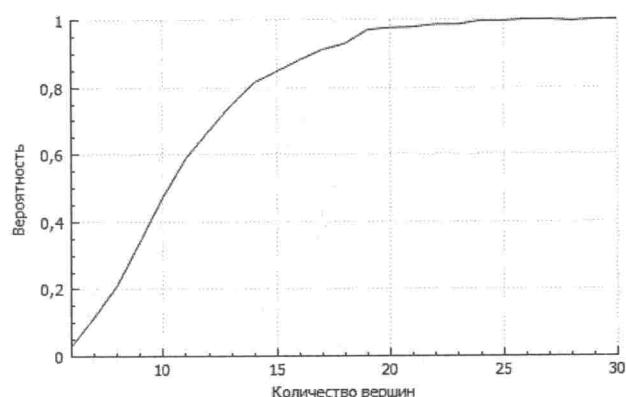


Рис. 8. Зависимость вероятности захвата от количества вершин

Зависимости вероятностей захвата целей от параметра  $\beta$  при изменении его значений от 0 до 0.9 в случаях, когда количество узлов преследователей 6 и 10, количество целей 4 показаны на рис. 9 и 10.

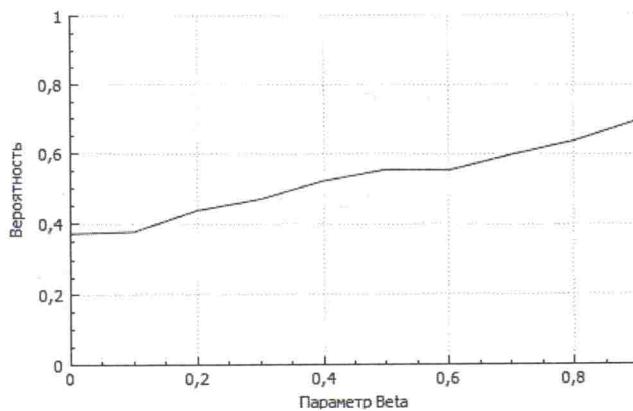


Рис. 9. Вероятность захвата, 6 преследователей

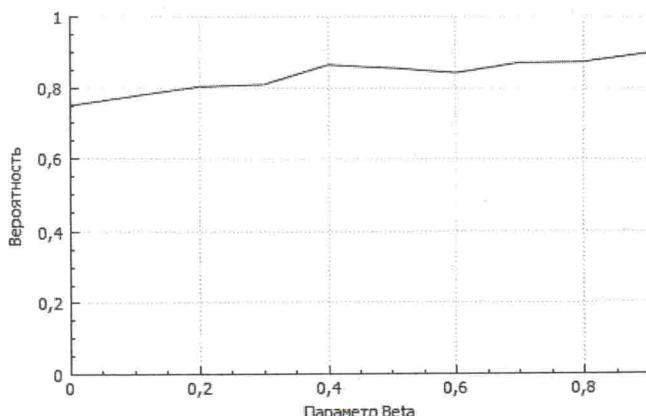


Рис. 10. Вероятность захвата, 10 преследователей

Ситуации аналогична той, которая исследовалась для целей на основе случайных перемещений. С ростом количества вершин – «преследователей» вероятность поймать все цели за обозримое время значительно вырастает, в нашем случае примерно на 0.4. А с уменьшением свободы для перемещения – медленно вырастает примерно на 0.1. Это все также говорит, что в условиях большого количества подобных препятствий – поймать все цели легче.

Отметим, что в сравнении с моделью передвижения узлов целей на основе случайных перемещений, для группового перемещения вероятность на 0.1 больше. Группу узлов поймать легче, чем если бы узлы действовали порознь.

Рис. 11 и 12 демонстрируют вероятность наличия связности при вышеописанных условиях.

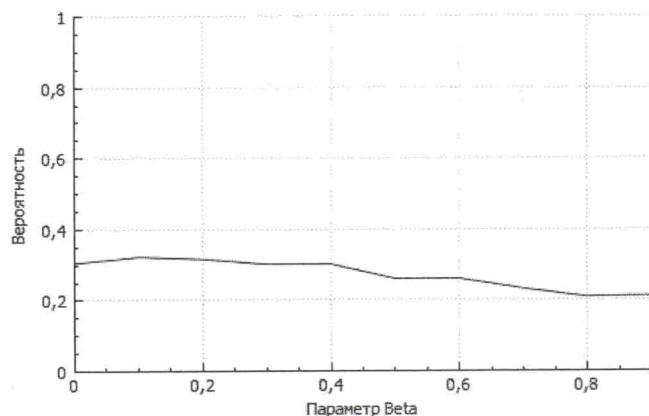


Рис. 11. Вероятность связности, 6 преследователей

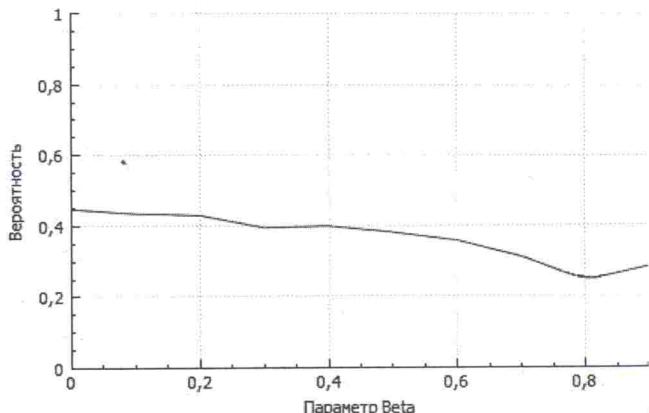


Рис. 12. Вероятность связности, 10 преследователей

Здесь также отмечается закономерность: при увеличении количества преследователей вероятность получить в итоге связную сеть выше. А при увеличении параметра  $\beta$ , напротив, вероятность снижается, в отличие от случая, когда узлы двигались в соответствии с моделью случайных перемещений. При групповом движении эта вероятность хоть и выше, но поведение её иное – при увеличении препятствий, вероятность снижается. Однако в совсем «узких» проходах, при значениях  $\beta \in$  интервале от 0.9 до 0.99 вероятность резко возрастает.

## 2.2 Модель «Преследование на основе случайных перемещений»

Данная модель преследования основывается на том, что сами по себе узлы – «преследователи» движутся в соответствии с моделью случайных перемещений, а в случае, когда видят цель, начинает работать модель преследования. Таким образом, преследователи более активно передвигаются по местности.

### Цели – случайное перемещение

Рассмотрим вероятность захватить все цели за обозримое время в зависимости от количества узлов. Параметры  $m =$

$\beta=0.7$ , целей 5, количество преследователей от 1 до 25. На рис. 13 показаны вероятности захвата целей. Данная модель показывает чуть лучше результаты, чем модель классического преследования, так как узлы ведут себя более свободно. В остальном поведение аналогичное.

Зависимости вероятности захватить все цели при изменении параметра  $\beta$  при количестве преследователей 6 и 10, целей 4 показаны на рис. 14 и 15. На рисунках видно, что при таком увеличении количества узлов, вероятность значительно повышается. Однако интересно другое, при значении параметра примерно 0.5 эта вероятность самая большая. При уменьшении и при увеличении она уменьшается. Также видно, что вероятность в общем выше примерно на 0.1, чем в модели классического преследования. Т.е. эта модель показывает лучшие результаты, по сравнению с классической моделью.

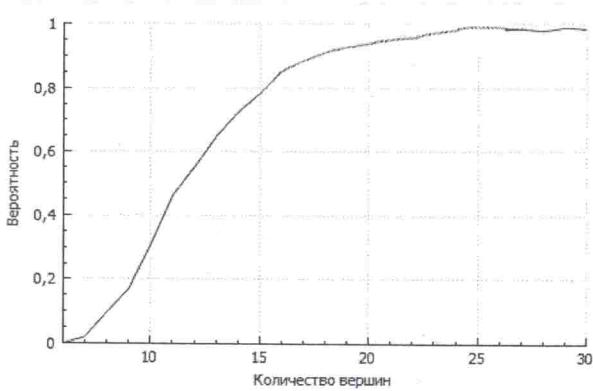


Рис. 13. Зависимость вероятности захвата от количества узлов

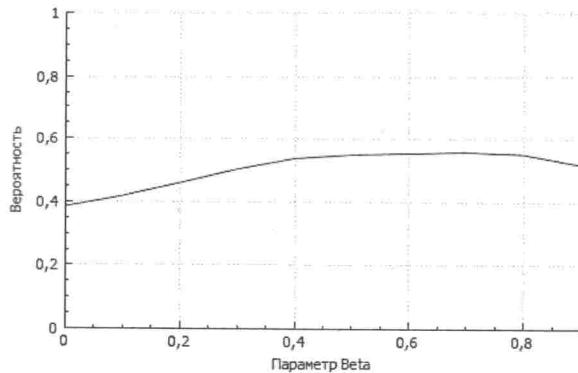


Рис. 14. Вероятность захвата, 6 преследователей

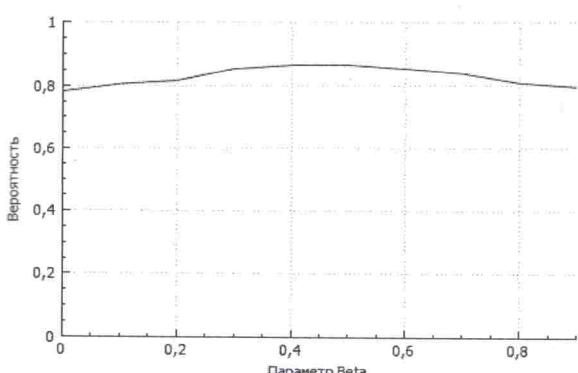


Рис. 15. Вероятность захвата, 10 преследователей

Цели – групповое перемещение с опорной точкой

На рис. 16 представлен график вероятности захватить все цели за обозримое время при условии, что целевые узлы движутся группой (групповая модель с опорной точкой).

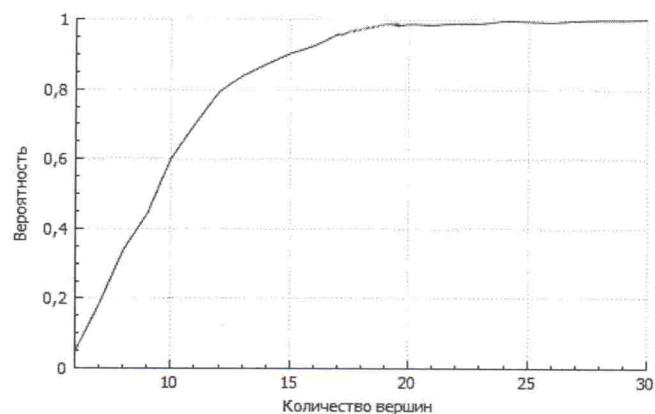


Рис. 16 Зависимость вероятности захвата от количества узлов

Можно отметить, что по сравнению с классической моделью преследования, в этой модели имеется небольшой прирост вероятности, что опять говорит о ее большей надежности. Например, на 10 узлах (5 целей и 5 преследователей) вероятность выше примерно на 0.15.

Вероятность возникновения связности в зависимости от количества узлов немного больше, но в общем имеет тот же вид, что и для классической модели преследования.

Зависимость вероятности захвата целей от параметра  $\beta$  при 6 преследователях приведена на рис. 17. При 10 преследователях эта вероятность равна 0,9 в пределах точности расчетов.

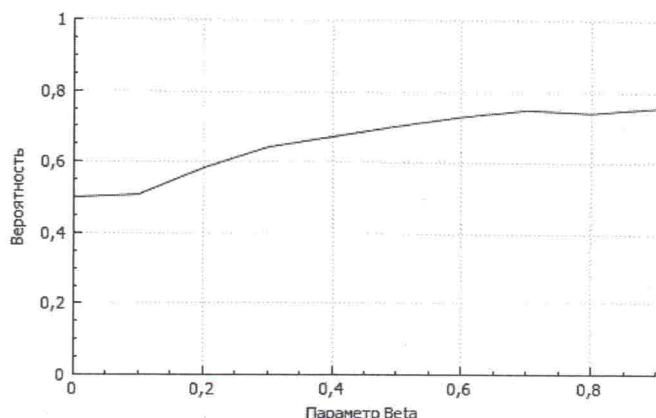


Рис. 17. Вероятность захвата, 6 преследователей

Результаты для параметра  $\beta$  подтверждают большую пригодность модели преследования на основе случайных перемещений, так как в общем вероятность выросла примерно на 0.1. Однако поведение функции изменилось, наибольшая результативность имеется, когда параметр  $\beta$  равен 0.5, как и в случае, когда цели двигались случайными перемещениями. Этого не наблюдалось в экспериментах, когда преследователи двигались по правилам модели классического преследования.

Изменения вероятности появления связности не проявляется, в сравнение с моделью классического преследования, при условии, что цели имеют групповой тип перемещения. Различие имеет место только в том случае, когда цели движутся по модели случайных перемещений.

### 2.3 Модель «Преследование на основе группового перемещения»

Данная модель характеризуется групповым передвижением узлов преследователей.

#### Цели – случайные перемещения

На рис. 18 показана вероятность захватить цель за обозримое время в зависимости от количества вершин.

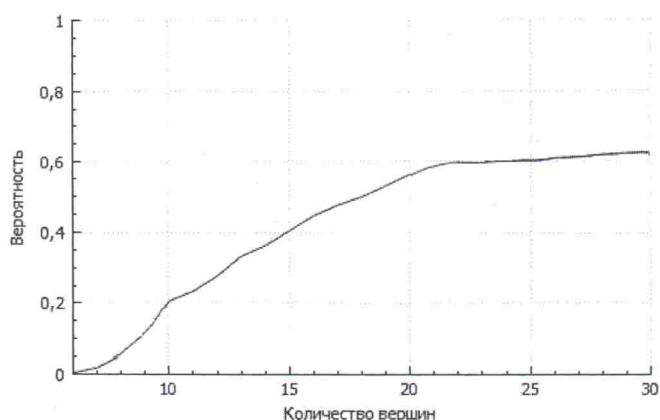


Рис. 18. Зависимость вероятности захвата от количества узлов

Как можно видеть, общая вероятность по сравнению с другими моделями преследования намного ниже, на большом количестве вершин – примерно на 0.4. При этом на малом количестве узлов преследователей ситуация лучше. Однако значительное увеличение количества узлов преследователей не приводит к нужному увеличению эффективности.

Вероятности захвата всех целей в зависимости от параметра  $\beta$  при 6 преследователях показаны на рис. 19. Для случая 10 преследователей значения на графике примерно в два раза больше.

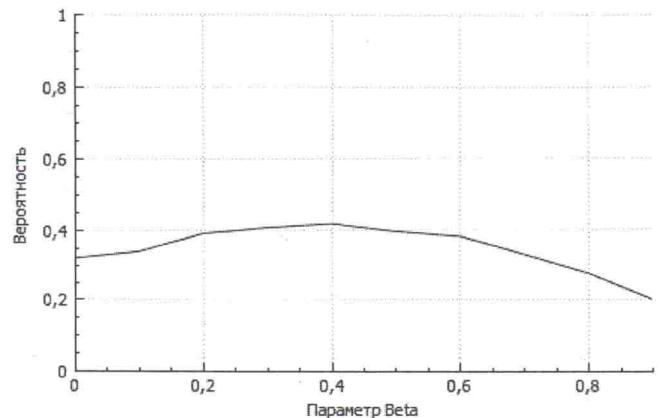


Рис. 19. Вероятность захвата, 6 преследователей

В такой ситуации видно, что уменьшение области для передвижений мешает в модели преследования на основе

группового перемещения с опорной точкой, т.е. вероятность падает при сужении «дорог». Этого не наблюдалось в модели классического преследования вообще, и несущественным было в модели на основе случайного передвижения. В сравнении с моделью на основе случайных перемещений результат значительно отличается в сторону неэффективности.

С увеличением параметра  $\beta$  вероятность связности при количестве преследователей 6, а узлов целей 4 уменьшается от 0,8 до 0,7, как и в модели на основе случайных перемещений, однако, в целом вся вероятность существенно выше на 0,6. Что можно объяснить тем, что все преследователи передвигаются вместе.

#### Цели – групповое перемещение с опорной точкой

Был также рассмотрен случай, когда узлы – цели, как узлы – преследователи основой своего передвижения выбирают модель мобильности группового передвижения.

Как показывают расчеты вероятности захватить все цели за обозримое время при количестве вершин или узлов сети 10 (5 целей и 5 преследователей) практически нет различий с моделью на основе случайных перемещений при условии, что цели имели групповое движение. Т.е. эффективность одинаковая, однако поиск на основе группового перемещения показывает результаты хуже, в среднем на 0,1.

На рис. 20 и 21 представлены графики вероятности в зависимости от параметра  $\beta$ .

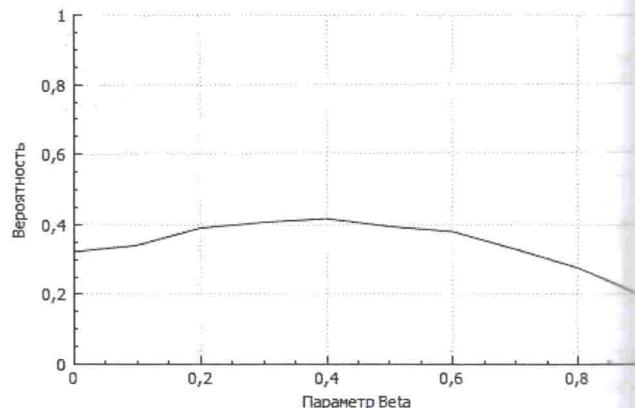


Рис. 20. Вероятность захвата целей, 6 преследователей

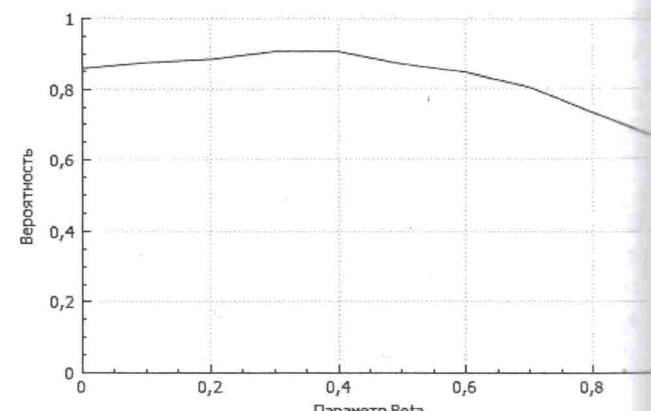


Рис. 21. Вероятность захвата целей, 10 преследователей

Стоит отметить, что увеличение параметра  $b$  ведет к уменьшению эффективности алгоритма, и что основная эффективность приходится на интервал [0.4; 0.5], т.е. когда ширина «улиц» имеет среднее значение. В сравнении с моделью на основе случайных перемещений на малом количестве вершин различия нет, однако на большом количестве вершин алгоритм группового поиска существенно уступает.

### Заключение

В работе были исследованы различные алгоритмы преследования целей в многосвязных областях: классическое преследование, преследование на основе случайных перемещений и преследование на основе группового движения спорным узлом. Поведение целей подчинялось моделям случайных перемещений и групповому движению. В результате проведенного анализа можно заключить, что наиболее эффективным алгоритмом преследования является модель на основе случайных перемещений, так как только в таком случае узлы эффективно и более равномерно исследуют всю область на условие обнаружения целевых узлов. Наименее высокую эффективность продемонстрировал алгоритм на основе группового движения, т.е. эффективнее иметь независимое поведение при исследовании области, но делиться имеющейся информацией о целях друг с другом. При этом независимое и более «несдержанное» поведение эту возможность предоставляет. Также в большинстве случаев, наличие препятствий является фактором, который повышает эффективность некоторых алгоритмов, однако при условии, что ширина «улиц» принимает средние значения.

**Работа поддержана грантом РФФИ и Администрации Краснодарского края №16-47-230336.**

Конфликт интересов отсутствует.

There is no conflict of interest.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Миков А.И. Связность автономных беспроводных компьютерных сетей в местностях с плохой инфраструктурой. // Экологический вестник научных центров ЧАЭС, 2014, № 1, с. 70 – 75.
- Penrose M. Random geometric graphs. Oxford Studies in Probability. Oxford University Press, 2004.
- Ducourthial B., Wade A.M. Dynamic p-graphs for capturing the dynamics of distributed systems // Ad Hoc Networks, Vol. 50, 1 November 2016, Pp 13-22.
- Миков А.И. Динамические геометрические графы мобильных ad hoc сетей // Информатизация и связь. 2017. № 2. С. 66-70.
- Mikov A., Zamyatina E. Program Tools and Language for Networks Simulation and Analysis // Proceedings SDN & NFV – The Next Generation of Computational Infrastructure: 2014 International Science and Technology Conference «Modern Networking Technologies (MoNeTec)» October 27-29, 2014. Lomonosov Moscow State University, pp. 94-102.

NFV – The Next Generation of Computational Infrastructure: 2014 International Science and Technology Conference «Modern Networking Technologies (MoNeTec)» October 27-29, 2014. Lomonosov Moscow State University, pp. 94-102.

Поступила 07.09.2018  
УДК 519.173.1, 519.245

### REFERENCES

- Mikov A.I. Sv'язnost' avtonomnykh besprovodnykh komp'uternykh setey v mestnostiakh s plokhoy infrastrukturoy [ Connectivity of autonomous wireless computer networks in localities of poor infrastructure] Ekologicheskii vestnic nauchnykh tsentrov ChAES, 2014, № 1, pp. 70 – 75.
- Penrose M. Random geometric graphs. Oxford Studies in Probability. Oxford University Press, 2004.
- Ducourthial B., Wade A.M. Dynamic p-graphs for capturing the dynamics of distributed systems // Ad Hoc Networks, Vol. 50, 1 November 2016, Pp 13-22.
- Mikov A.I. Dinamicheskie geometricheskie grafy mobilnykh ad hoc setey [Dynamic geometric graphs of mobile ad hoc networks] Informatizatsiya i sv'yaz. 2017. № 2. pp. 66-70.
- Mikov A., Zamyatina E. Program Tools and Language for Networks Simulation and Analysis // Proceedings SDN & NFV – The Next Generation of Computational Infrastructure: 2014 International Science and Technology Conference «Modern Networking Technologies (MoNeTec)» October 27-29, 2014. Lomonosov Moscow State University, pp. 94-102.

Received 07.09.2018  
UDC 519.173.1, 519.245

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

- Миков Александр Иванович – доктор физико-математических наук, профессор, зав. кафедрой вычислительных технологий Кубанского государственного университета  
e-mail: alexander\_mikov@mail.ru
- Воробьев Семен Анатольевич – студент факультета компьютерных технологий и прикладной математики Кубанского государственного университета.  
e-mail: nerondmc@mail.ru

### AUTHORS' INFORMATION

- Alexander Mikov – doctor of physics and mathematics, professor, head of the computer technologies department, Kuban State University.  
e-mail: alexander\_mikov@mail.ru
- Semen Vorobjov – student of the computing technologies and applied mathematics department, Kuban State University.  
e-mail: nerondmc@mail.ru