

# ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЙ АЛГОРИТМ ПОСТРОЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ КОЛОННЫ

## DECENTRALIZED ALGORITHM FOR BUILDING A TRANSPORT COLUMN

**D. Lyakhmanov**  
**S. Kapranov**  
**R. Vasiliev**

*Summary.* This article discusses the algorithms for the formation of a column from an unorganized group of autonomous vehicles that are not connected to each other in the conditions of the Arctic and subarctic latitudes. The principle of forming a column is to find its leader for each vehicle included in the group. The article compares two developed algorithms: centralized and decentralized. With a centralized method, the search for the optimal way to form a column is carried out by one of the vehicles selected using the pseudo-random voting algorithm. With a decentralized method, the construction of a transport column is carried out by searching for its leader by each vehicle and is based on the principles of group interaction without an arbitrator. To conduct a comparative analysis, software has been developed that implements both algorithms and simulates a spatially dispersed transport group. The results of testing in a computer model showed the consistency of both algorithms, and emphasized the choice in favor of a decentralized algorithm, as more preferable in terms of reliability and fault tolerance.

*Keywords:* Arctic, automation, transport convoy formation, centralized control, decentralized control, Jarvis algorithm.

**Ляхманов Дмитрий Александрович**  
К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Нижегородский  
государственный технический университет им.  
Р.Е. Алексеева»  
dm.virger@gmail.com

**Капранов Сергей Николаевич**  
К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Нижегородский  
государственный технический университет им.  
Р.Е. Алексеева»  
serg.kapranov@gmail.com

**Васильев Роман Александрович**  
К.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Нижегородский  
государственный технический университет им.  
Р.Е. Алексеева»  
serg.kapranov@gmail.com

*Аннотация.* В данной статье рассматриваются алгоритмы формирования колонны из неорганизованной группы автономных не связанных друг с другом транспортных средств в условиях заполярья и приарктических широт. Принцип формирования колонны заключается в нахождении для каждого входящего в группу транспортного средства своего ведущего. В статье производится сравнение двух разработанных алгоритмов: централизованного и децентрализованного. При централизованном способе поиск оптимального способа формирования колонны производится одним из транспортных средств, выбираемого с помощью алгоритма псевдослучайного голосования. При децентрализованном способе построение транспортной колонны производится путем поиска каждым транспортным средством своего ведущего и основывается на принципах группового взаимодействия без арбитра. Для проведения сравнительного анализа разработано программное обеспечение, реализующее оба алгоритма и имитирующее пространственно рассредоточенную транспортную группу. Результаты тестирования в компьютерной модели показали состоятельность обоих алгоритмов, и подчеркнули выбор в пользу децентрализованного алгоритма, как более предпочтительного с точки зрения надёжности и отказоустойчивости.

*Ключевые слова:* Арктика, автоматизация, формирование транспортной колонны, централизованное управление, децентрализованное управление, алгоритм Джарвиса.

## Введение

Освоение Арктической зоны в настоящий момент является одним из приоритетных направлений развития отечественной науки и техники. На российском Крайнем Севере сосредоточено до 80% залежей полезных ископаемых арктической зоны, наиболее ценным из которых являются запасы углеводо-

родного сырья. Однако слабо развитая транспортная инфраструктура является одним из главных препятствий для освоения природных богатств Арктики. Частично решить проблему возможно с помощью разработки и использования новых высокотехнологичных вездеходных транспортных средств, приспособленных к суровым климатическим условиям Арктики. Немаловажную роль в решении данного вопроса играют

системы автоматического и автономного управления транспортными средствами, целью которых является минимизация доли человеческого труда и повышение безопасности движения в тяжёлых навигационных условиях Арктического шельфа. Данная статья посвящена решению одной из задач, стоящих на пути разработки эффективной системы управления автоматизированным транспортным средством, а именно задаче самоорганизации группы автономных транспортных средств и формированию транспортной колонны. Такой способ совместного движения обеспечивает большую безопасность передвижения, снижает долю человеческого труда и уменьшает вычислительную нагрузку на ведомые транспортные средства.

На сегодняшний день данная проблема решается в рамках управления транспортными средствами на дорогах общего пользования. Исследования, в области автономного следования за транспортным средством в последние десятилетия привлекли внимание многих исследовательских центров, особенно в США и Европе, где безопасность, потребление энергии и необходимость оптимизации использования дорог общего пользования являются основными мотивирующими условиями [1,2]. В настоящее время активно развивается технология Track platooning позволяющая из группы грузовых автомобилей с прицепом сформировать колонну в которой первое транспортное средство находится под управлением водителя, а остальные с помощью систем автопилотирования стараются повторить траекторию ведущего транспортного средства в автоматическом режиме. Однако технологий, позволяющих полностью исключить человека из процесса управления в условиях дорог общего пользования на текущий момент, не существует.

В отличие от дорог общего пользования, где транспортная обстановка меняется каждую секунду, а процесс управления сопряжен с высокой степенью ответственности, применение систем колонного следования на безлюдных территориях допускает полную автоматизацию управления. Данное допущение возможно благодаря снижению уровня ответственности и упрощению самого процесса управления. Однако возникает сложность в координации множества автономных транспортных средств, особенно когда состав группы неизвестен заранее или может меняться по ходу движения колонны. Для таких случаев актуальным является разработка системы формирования колонны способная скоординировать движение множества разнотипных транспортных средств для построения в колонну.

Данная статья рассматривает алгоритмы формирования колонны из множества автономных не связанных

друг с другом автотранспортных транспортных средств (АТС). В статье не рассматриваются проблемы, приводящие к столкновению, проблемы возникающие из-за «петель» управления (замкнутых циклов, циклических участков очереди АТС, не должен «зацикливаться») и проблемы локального маневрирования.

## Формализация задачи

Пусть задано однородное множество автономных транспортных средств  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ , распределенных на координатной плоскости случайным образом, каждое из которых описывается выражением:

$$v_i,$$

где  $(x_i, y_i)$  — координаты АТС на плоскости,  $w_i$  — условный радиус действия приемо-передающих устройств, способных наладить канал передачи данных между двумя АТС.

Под однородностью множества будем понимать однотипность элементов, входящих в его состав. Будем считать, что значение параметра  $w_i$  является характеристикой АТС  $v_i$  и не зависит от каких-либо свойств другого АТС  $v_j$  с которой устанавливается канал передачи данных. При этом процесс договорного взаимодействия при построении колонны является возможным между АТС  $v_i$  и  $v_j$  только в том случае, если выполняется условие возможности формирования канала передачи данных  $\{v_i, v_j\}$ :

$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} < \min\{w_i, w_j\}. \quad (1)$$

Дополняя множество  $V$  ребрами, удовлетворяющими условию (1) можем получить связный граф  $G$ , такой что:

$$G = (V, E \mid \exists e^{ij}: r_{ij} < \min\{w_i, w_j\}, \\ i = \overline{1 \dots n}, j = \overline{1 \dots n}), \quad (2)$$

т.е. ребро  $e_{ij}$  существует, если выполняется условие (1).

В рамках данной статьи задача формирования колонны рассматривается как формирование подмножества упорядоченных  $P \in V \times V$  пар  $\{v_i, v_j\}, i \neq j$ , составляющих путь.

Построение транспортной колонны по условиям задачи должно происходить в направлении целевой точки  $g$ , задаваемой координатами  $(x^g, y^g)$  и являющейся глобальной целью движения колонны. При формировании колонны целевая точка  $g$  определяет направление,

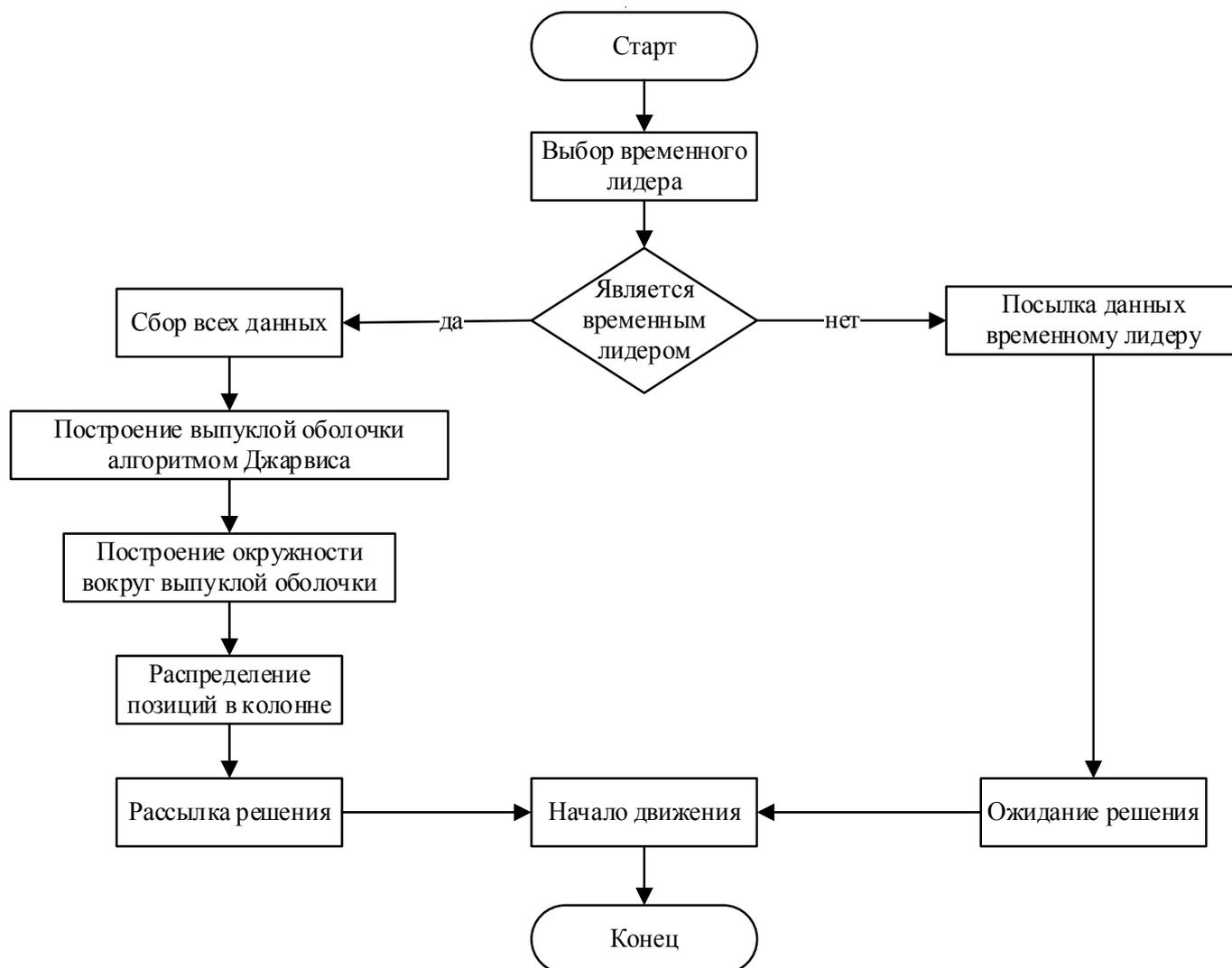


Рис. 1. Общая блок-схема централизованного алгоритма

в котором необходимо ориентировать транспортную колонну.

Количественной характеристикой эффективности алгоритма будем считать коэффициент итогового пути, характеризующий суммарное расстояние, которое прошли транспортные средства от своего первоначального состояния до конечного места в колонне:

$$K_p = \sum_{i=0}^n p_i \rightarrow \min \quad (3)$$

где  $p_i$  — путь, пройденный  $i$ -м транспортным средством,  $i = 1 \dots n$ .

В рамках данной статьи рассматриваются два алгоритма формирования колонны, отличающихся стратегией управления группой, и производится оценка их эффективности. Первый алгоритм использует стратегию

централизованного единоначального управления [3], заключающуюся в наличии в группе управляющего центра (лидера), который осуществляет сбор данных со всех членов группы и осуществляет координацию их действий. Второй алгоритм использует стратегию коллективного управления [3], при которой транспортные средства, обмениваясь данными через канал связи, самостоятельно принимают решение о дальнейших действиях.

#### Стратегия централизованного управления

Алгоритм построения транспортной колонны с централизованным управлением состоит из двух этапов. На первом этапе из членов группы выбирается временный лидер, принимающий решение о способе построения колонны. На втором этапе лидер собирает данные о расположении членов группы на плоскости, принима-

ет решение о структуре колонны и их целевом расположении. Остальные члены группы пересылают лидеру данные о собственном местоположении и ожидают получения решения, не предпринимая никаких действий. После того как каждое транспортное средство получит решение оно начинает процесс в полученные координаты для формирования колонны. Общая блок-схема централизованного алгоритма изображена на рис. 1.

Первый этап заключается в определении временно-го лидера.

Каждое АТС генерирует свой собственный идентификатор  $id$ .

Далее, в течении некоторого времени, между членами группы, находящимися в пределах действия беспроводной сети, происходит обмен множествами идентификаторов  $ID_i = \{id_{i_1}, \dots, id_{i_{K_i}}\}$   $i = \overline{1 \dots n}$ ,  $K_i$  — количество с которыми это АТС имеет связь напрямую или через другие АТС. Кроме обмена идентификаторами в рамках процедуры связи происходит пересчет достижимостей между АТС-ами. Если связь происходит напрямую, то достижимость  $d_k, k \in \overline{1 \dots K_i}$  будет равен 0, если через одно АТС, то 1, если через два АТС то 2 и т.д.

В процессе обмена между АТС  $i$  и  $j$ , каждое из АТС дополняет собственное множество идентификаторов полученными данными и рассылает его остальным транспортным средствам. Например, для АТС с номером  $i$  этот обмен с АТС номером  $j$  будет иметь следующий вид:

$$ID_i = ID_i \cup ID_j \tag{4}$$

В процессе обмена идет уточнение достижимостей для каждого из идентификаторов в множестве  $ID_i$ . Если связь между двумя разными АТС может быть получена с помощью цепочки АТС меньшего размера, то достижимость пересчитывается в соответствии с уточненными данными.

Примем, что для  $i$ -го участника процесс завершается в тот момент, когда время формирования списка превышает значение:

$$T_i = 2 * m_i * \Delta t, \tag{5}$$

где  $m_i$  — количество идентификаторов в списке  $i$ -го участника в текущий момент времени,  $\Delta t$  — время одного цикла приёма, обработки и передачи сообщения.

Завершение процесса формирования списка означает что у  $i$ -го участника сформирован полное множествами транспортных средств.

Дальше, у каждого АТС происходит сравнение своего собственного идентификатора  $id$  с элементами собственного множества идентификаторов  $ID$ .

Временным лидером становится АТС с наименьшим значением идентификатора. Это АТС переходит в режим ожидания данных от остальных АТС. Остальные АТС, определив наименьший идентификатор из списка, отправляют ему собственные начальные координаты  $(x_i, y_i)$  и ранг  $r_i$ , после чего переходят в режим ожидания решения.

На втором этапе, после того как временный лидер обработал все входные данные и сформировал полное множество  $V$ , выполняется распределение позиций между всеми транспортными средствами. Для этого, сначала, из списка  $V$  с помощью алгоритма Джарвиса, формируется множество  $GJ$ , который содержит координаты транспортных средств образующих выпуклую оболочку.

$GJ = \{gj_1, gj_2, \dots, gj_m\}$ , где  $m$  — количество транспортных средств, образующих выпуклую оболочку.

Каждый элемент множества  $GJ$  содержит идентификатор  $i$  транспортного средства и его начальные координаты:

$$gj_i = \{i, (x_i^g, y_i^g)\}$$

Далее формируется окружность вокруг выпуклой оболочки, которая включает в себя все транспортные средства группы. Координаты центра окружности  $(x^o, y^o)$  находятся по формулам (6) и (7) как среднearифметические значения координат транспортных средств, входящих в выпуклую оболочку.

$$x^o = \frac{\sum_{i=1}^m x_i^g}{m} \tag{6}$$

$$y^o = \frac{\sum_{i=1}^m y_i^g}{m}, \tag{7}$$

где,  $(x_i^g, y_i^g)$  — начальные координаты транспортных средств из списка  $GJ$ .

Радиус окружности  $r^o$  рассчитывается по формуле (8) как расстояние до транспортного средства из списка  $G$  максимально удалённого от центра окружности.

$$r^o = \max_{i=1, m} \sqrt{(x^o - x_i^g)^2 + (y^o - y_i^g)^2} \tag{8}$$

где,  $x^o, y^o$  — координаты центра окружности,  $x_i^g, y_i^g$  — координаты транспортного средства из списка  $GJ$ ,  $m$  — количество транспортных средств, образующих выпуклую оболочку.

После того как окружность сформирована, определяются координаты точки пересечения  $(x^c, y^c)$  окружности и прямой  $L$ , проходящей через координаты центра окружности  $(x^o, y^o)$  и координаты целевой точки  $(x^g, y^g)$ .

Найденная точка пересечения  $(x^c, y^c)$  и прямая  $L$  используются как опорные данные для расчёта координат  $(x^u, y^u)$  соответствующих каждой позиции в формируемой колонне. Каждая координата рассчитывается путём откладывания от точки пересечения  $(x^c, y^c)$  вдоль прямой  $L$  расстояния  $D$  в направлении целевой точки рассчитываемого для каждой позиции по формуле (9).

$$D = (n - p) * d \quad (9)$$

где  $n$  — количество транспортных средств в группе,  $p$  — номер позиции,  $d$  — необходимое расстояние между транспортными средствами в колонне.

Конец колонны лежит на окружности, а начало ближе к целевой точке.

После подсчёта всех координат начинается распределение позиций среди всех транспортных средств. Для этого итерационно проходят по каждой позиции определяя для неё оптимальное транспортное средство. На итерации  $p$  среди множества  $V_{p-1}$  определяется АТС, которая будет стоять на месте  $p$  в колонне. На первом шаге множество  $v_0$  соответствует множеству  $V$ .

Из множества  $V_{p-1}$  формируется множество  $F \subset V$  содержащий транспортные средства  $f_i \in F, i = 1, \dots, k_f$ , где  $k_f$  — мощность множества  $F$ . Элементы  $f_i \in F, i = 1, \dots, k_f$  соответствуют оптимальному рангу  $r_i^{op}$  для текущей позиции  $p$ .

После формирования множества  $F$  для каждого транспортного средства  $f_i \in F$ , рассчитывается расстояние от начальных координат транспортного средства  $(x_i^f, y_i^f)$  до координат  $(x_p^u, y_p^u)$  рассчитанных для текущей позиции  $p$ . Затем, из всего списка  $F$  выбирается транспортное средство с наименьшим подсчитанным расстоянием:

$$f_{opt} = \min_{j=1, \dots, k_f} \sqrt{(x_i^f - x_p^u)^2 + (y_i^f - y_p^u)^2} \quad (10)$$

Идентификатор  $id_{opt}$ , определённый по соотношению (10) маркирует транспортное средство, которое будет располагаться в позиции  $p$ .

Координаты  $(x_p^u, y_p^u)$  добавляются в множество  $U$ :

$$U = U \cup (x_p^u, y_p^u). \quad (11)$$

Транспортное средство с идентификатором  $id_{opt}$  удаляется из множества  $V$ :

$$V_p = V_{p-1} \setminus f_{opt} \quad (12)$$

Процесс заканчивается, когда множество  $V_p$  на шаге  $p$  становится пустым, т.е.,  $V_p = \emptyset$ .

После завершения всех итераций сформированное множество  $U$  рассылаётся всем транспортным средствам группы, и каждое транспортное средство начинает движение в координаты, соответствующие назначенной позиции.

Таким образом будет сформирована колонна АТС при стратегии централизованного управления.

### Стратегия децентрализованного управления

Стратегия децентрализованного управления отличается от централизованного тем, что отсутствует единый узел, принимающий решения за всех членов группы. Поэтому разработанный принцип формирования колонны при децентрализованном управлении заключается в том, что все члены группы договариваются друг с другом о занимаемых позициях в колонне. Причём решение происходит итерационно. Общая блок-схема итерации децентрализованного алгоритма изображена на рис. 2.

На каждой итерации  $p$  определяется одно транспортное средство, которое занимает текущую вакантную позицию  $p$  в колонне. Для его определения на каждой итерации сначала строится ориентированное дерево  $M = (A, B)$ , где  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{np}\}$  — множество узлов дерева,  $n_p$  — количество транспортных средств, являются транспортные средства не определившиеся с позицией на итерации  $p$ ,  $B = \{b_1, \dots, b_{mp}\}$  — это множество ребер  $b_k = \{a_i, a_j\}, k = 1, \dots, m_p, m_p$  — это множество ребер на итерации  $p$ . Ребро  $b_k = \{a_i, a_j\}$  обозначает потенциальную связку ведущих — ведомый между транспортными средствами, причём рёбра ориентированы в направлении от  $a_i$  обозначающего ведущее транспортное средство к  $a_j$  обозначающего ведомое транспортное средство.

Каждый элемент множеств  $A$  может иметь множество исходящих рёбер и только одно входящее. Это обозначает, что каждое транспортное средство может быть привязано только к одному транспортному средству в качестве ведомого и быть потенциальным ведущим для множества других транспортных средств.

Дерево  $M$  строится в два этапа.



Рис. 2. Общая блок-схема одной итерации децентрализованного алгоритма

На первом этапе строится простой ненаправленный граф  $T = (A, C)$  отображающий все возможные связи в пределах действия сети каждого транспортного средства.  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_{np}\}$  — это множество узлов графа  $T$ , где  $n_p$  — количество транспортных средств, также, как и для дерева  $M$  являются транспортные средства не определившиеся с позицией на итерации  $p$ .  $C = \{c_1, \dots, c_{qp}\}$  — это множество ребер  $c_k = \{a_i, a_j\}$  определяющих возможность прямой связи, т.е. связи без промежуточных узлов, между транспортным средством  $a_i$  и  $a_j$ ,  $q_p$  — мощность множества  $C$  на итерации  $p$ .

На втором этапе путём отсечения лишних рёбер и ориентирования оставшихся из массива рёбер  $C$  формируется множество ориентированных рёбер  $B$ . Формирование  $B$  происходит по следующему принципу. Для каждого транспортного средства  $a_i$  из множества  $A$  определяется расстояние  $r_{ai}^g$  до целевой точки  $(x^g, y^g)$ . Затем, для каждого узла  $a_j$ , среди всех связанных с ним рёбер ищется ребро, связывающее его с узлом  $a_i$  име-

ющим наименьшее расстояние  $r_{ai}^g$  до целевой точки. Найденное ребро ориентируется в направлении от  $a_i$  к  $a_j$  и добавляется в массив  $B$ . Если такое ребро не найдено, т.е. среди всех связанных с  $a_j$  узлов, собственное расстояние  $r_{aj}^g$  до целевой точки является наименьшим, то узел  $a_j$  является корнем дерева  $M$ , что обозначает что транспортное средство соответствующее этому узлу на текущей итерации займёт текущую вакантную позицию в колонне.

Дальше из дерева  $M$  формируется цепь  $C = (A, W)$ . Узлами цепи  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ , где  $n$  — количество транспортных средств входящих в цепь, так же как и прежде являются транспортные средства не определившиеся с позицией на текущей итерации. Рёбрами множества  $W = \{w_1, w_2, \dots, w_n\}$ ,  $w_l = \{a_i, a_j\}$ ,  $l$  — количество ребер в множестве  $W$ , обозначается связь между ведущим и ведомым транспортным средством, где так же как и прежде  $a_i$  обозначает ведущее транспортное средство, а  $a_j$  обозначает ведомое транспортное средство.

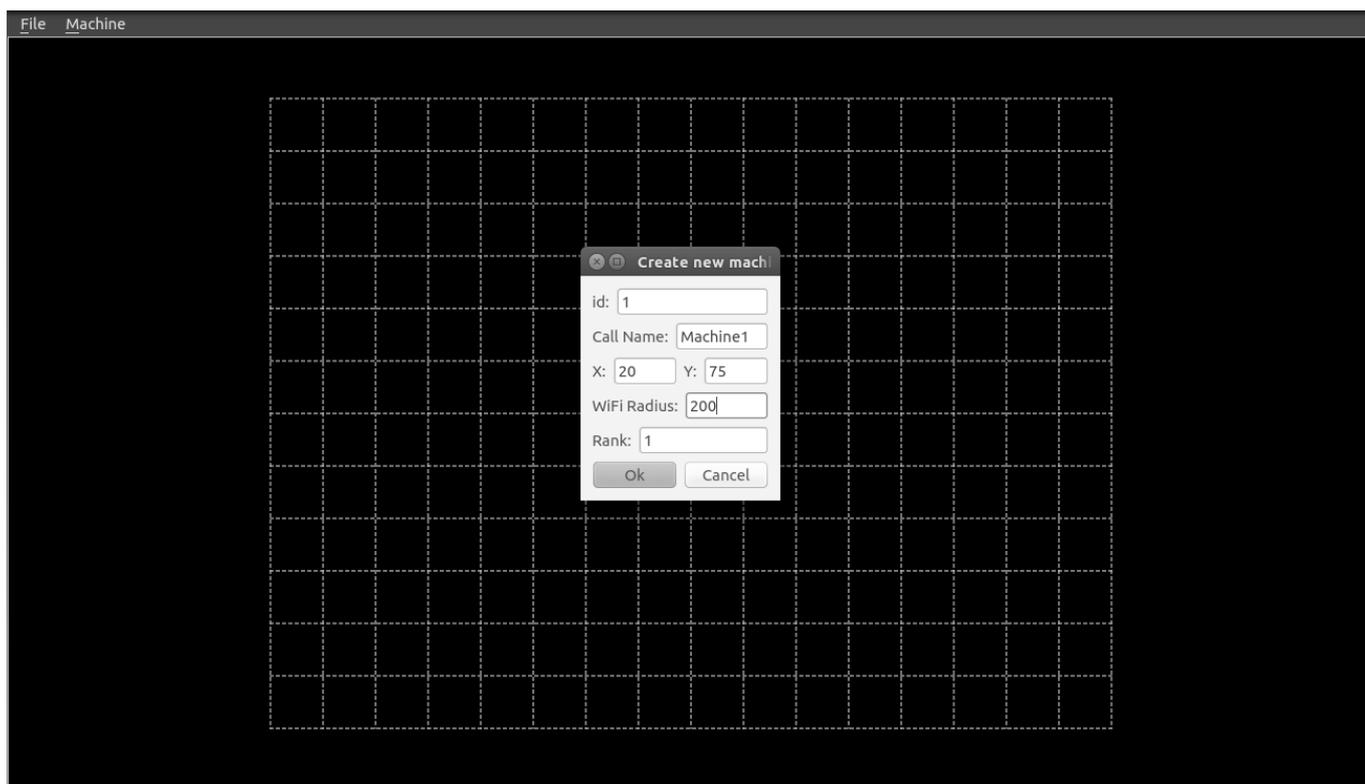


Рис. 3. Ввод исходных данных транспортного средства

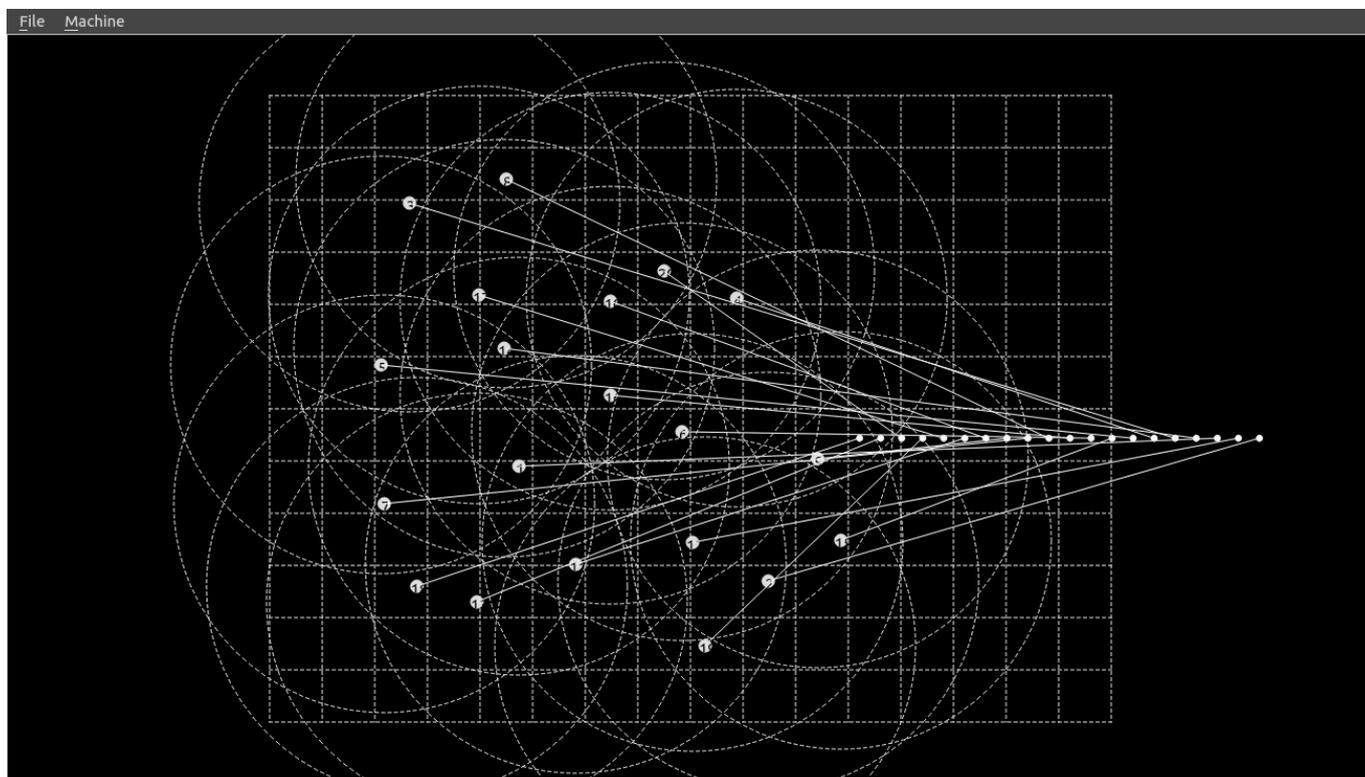


Рис. 4. Результаты работы программы в централизованном режиме

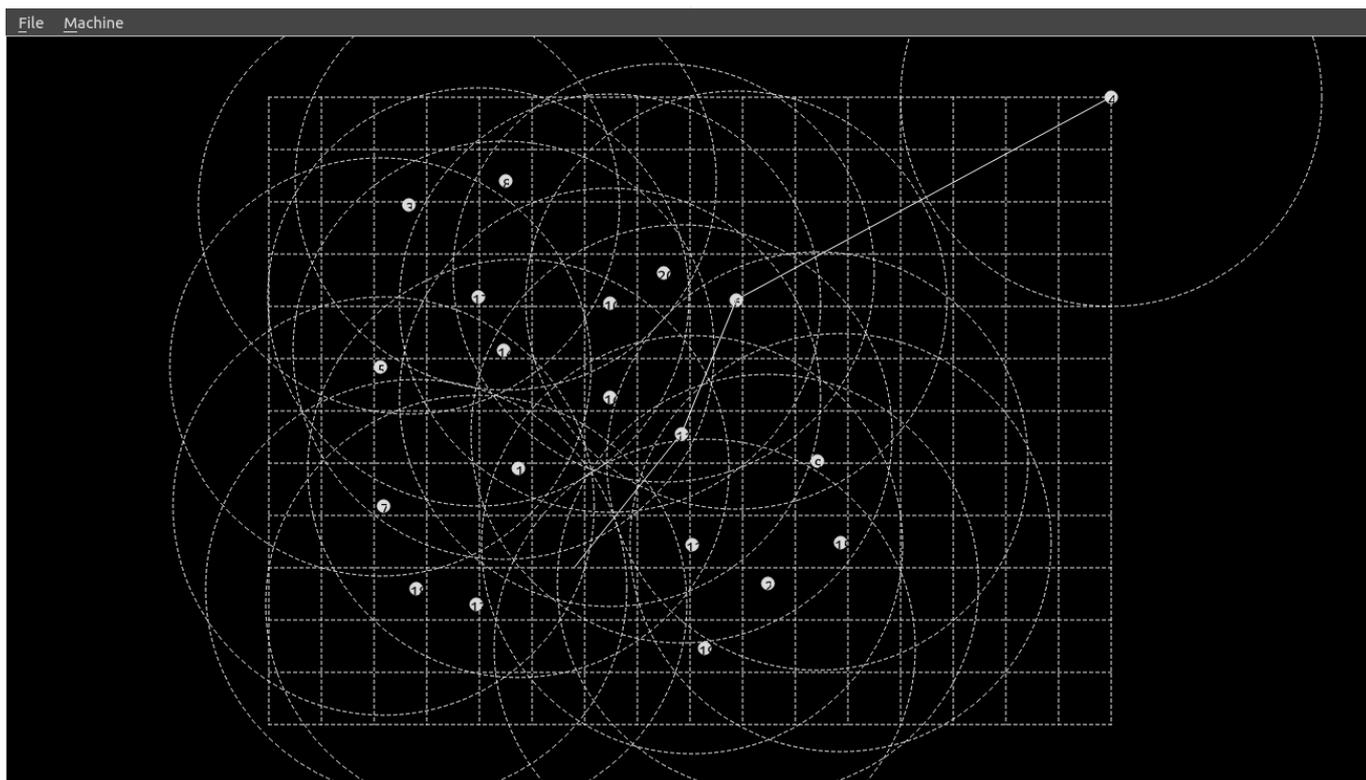


Рис. 5. Визуальное отображение перемещений по результатам промежуточной итерации

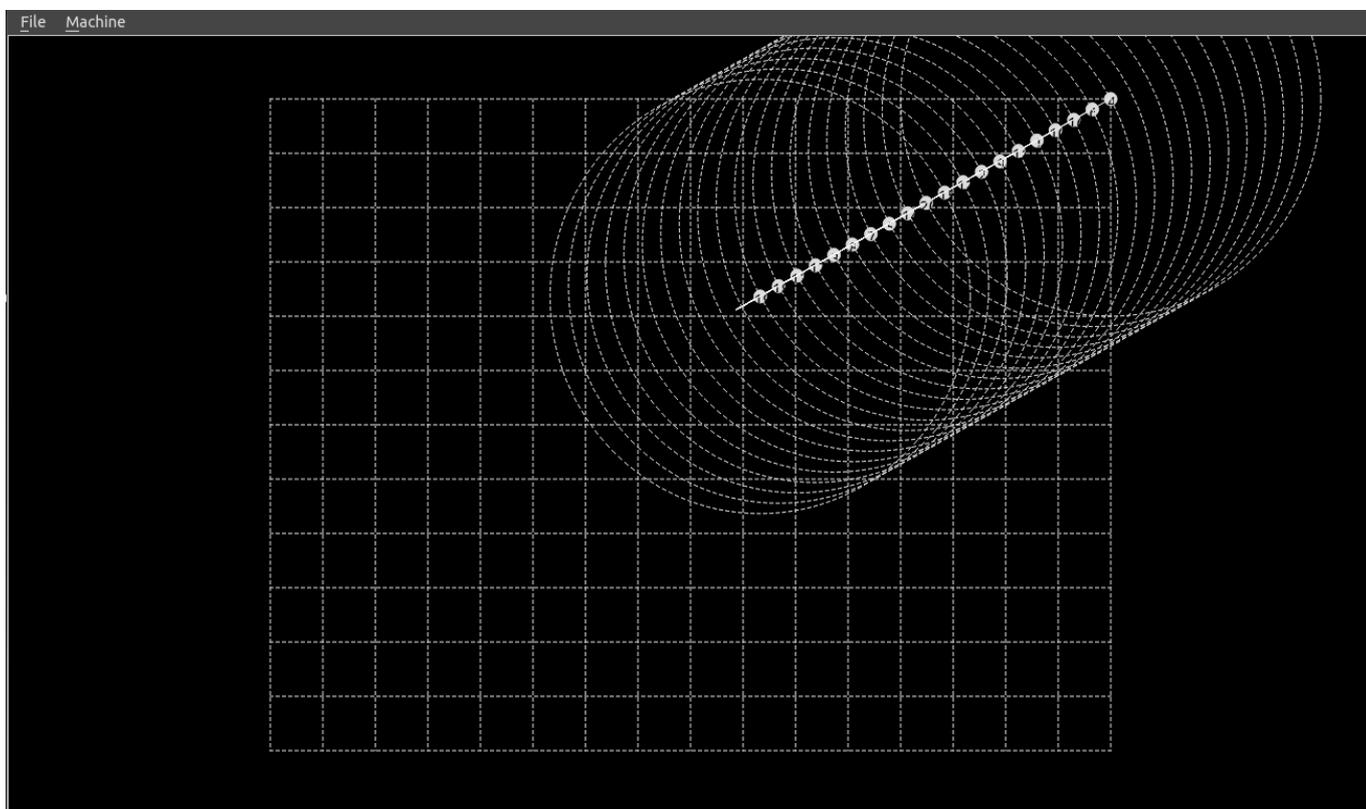


Рис. 6. Результат работы программы в децентрализованном режиме

Формирование цепи происходит по следующему принципу. Корень дерева  $M$  среди всех связанных с ним узлов ищет узел  $a_j$ , обладающий наивысшим рангом  $r_j$  и при этом наименьшим расстоянием  $r_{a_j}^g$  до целевой точки. После нахождения такого узла создаётся

ребро  $w_i = \{a_i, a_j\}$ , где  $a_i$  — корень дерева, а  $a_j$  — найденный узел. Созданное ребро добавляется в цепь  $C$ . После этого найденный узел  $a_j$  повторяет ту же операцию среди всех связанных с ним узлов, за исключением связанного с ним в цепи  $C$  узла  $a_i$ . Данная операция происходит до тех пор пока не будет достигнута одна из вершин дерева  $M$ .

Сформированная цепь  $C$  обозначает цепь перемещений транспортных средств в пределах одной итерации. Каждое ведомое транспортное средство занимает позицию ведущего. А первый узел цепи, занимает текущую вакантную позицию в группе и продвигается на расстояние  $d$ , являющимся необходимым расстоянием между транспортными средствами в колонне, в направлении целевой точки  $(x^g, y^g)$ .

Описанные итерации выполняются до тех пор, пока не будет полностью сформирована колонна из всех транспортных средств. В отличие от централизованного метода, список  $U$  формируется из уже построенной колонны, что в принципе является не обязательным действием.

Важно отметить, что децентрализованный алгоритм формирования колонны описан с точки зрения всей группы. Реализация данного алгоритма подразумевает что каждое транспортное средство не знает всего дерева и цепи целиком, а имеет представление только о связанных с ним транспортных средствах в пределах действия беспроводной сети.

### Апробация разработанных алгоритмов

Для оценки эффективности алгоритмов была разработана программа, позволяющая запускать процедуру расчёта входных данных в двух режимах: централизованный и децентрализованный. В качестве входных данных вводятся координаты целевой точки и до двадцати транспортных средств для каждого из которых задаются начальные координаты, радиус действия беспроводной сети, и ранг транспортного средства (рис. 3.)

При запуске процедуры расчёта создаётся некоторое количество параллельно работающих потоков в соответствии с заданным количеством транспортных средств. Каждый поток моделирует поведение одного

транспортного средства в соответствии с выбранным режимом работы алгоритма. Причём потоки способны обмениваться сообщениями только в том случае если соответствующие им транспортные средства находятся друг у друга в радиусе действия беспроводной сети.

По итогам расчёта при централизованном режиме визуально показывается связь между начальными координатами транспортных средств и координатами в сформированной колонне (рис. 4.)

При децентрализованном режиме в процессе расчёта после каждой итерации визуально отображается перемещение транспортных средств (рис. 5.)

После выполнения всех итераций отображается полностью сформированная колонна транспортных средств (рис. 6.)

Программная реализация выявила как преимущества, так и некоторые недостатки алгоритмов. Преимуществом централизованного подхода является подсчёт кратчайших путей для формирования колонны и получение абсолютно точного соответствия выбранной позиции и заданного ранга для каждого транспортного средства. Однако недостаток такого подхода — это необходимость наличия надёжной системы автопилотирования способной маневрировать в плотном потоке движущихся транспортных средств. Преимуществом децентрализованного подхода является простота перемещений необходимых для формирования группы, что повышает надёжность системы и безопасность движения и исключает необходимость в сложной системе автопилотирования. В тоже время это приводит к более долгому и менее оптимальному по величине суммарного пройденного расстояния, формированию колонны по сравнению с централизованным методом, и не всегда может обеспечить абсолютное соответствие ранга транспортного средства и выбранной позиции в колонне.

### Заключение

Апробация алгоритмов в программной модели показала состоятельность обоих алгоритмов формирования колонны. Однако для дальнейшей проработки был выбран децентрализованный алгоритм формирования колонны. Данный выбор основан на том, что существующая тенденция в развитии систем управления множеством самостоятельных объектов ориентирована на децентрализацию принятия решений. Это повышает приспособляемость и живучесть систем, что в свою очередь позволяет применять такие технологии в более сложных и агрессивных условиях окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Committee on Army Unmanned Ground Vehicle Technology, "Technology Development for Army Unmanned Ground Vehicles", The National Academies Press, Washington, D.C. (2002)
2. Sheikholeslam, and CA. Desoer, CA "Longitudinal control of a platoon of vehicles with no communication of the lead vehicle information", Proceeding of American control conference 3 (1991) 3102–3106
3. Каляев И.А., Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов / И.А. Каляев, А.Р. Гайдук, С.Г. Капустян / М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009. — С. 280
4. Препарата Ф., Вычислительная геометрия: Введение: Пер. с англ. / Ф. Препарата, М. Шеймос / М.: Мир, 1989. — С. 478.

---

© Ляхманов Дмитрий Александрович ( dm.virger@gmail.com ),

Капранов Сергей Николаевич ( serg.kapranov@gmail.com ), Васильев Роман Александрович ( serg.kapranov@gmail.com ).

Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



г. Нижний Новгород