

УДК 519.714

EDN: [QYGKHW](#)



## Анализ применимости алгоритма роя частиц к задачам синтеза систем мониторинга траектории полета воздушных судов

И.В. Ковалев<sup>1,2,3,4</sup>, Д.И. Ковалев<sup>1,2</sup>, Т.П. Мансурова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Красноярский краевой Дом науки и техники РосСНИО, Красноярск, Россия

<sup>2</sup>Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

<sup>3</sup>Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия

<sup>4</sup>Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева, Красноярск, Россия

\*E-mail: grimm7jow@gmail.com

**Аннотация.** В статье рассматривается анализ применимости алгоритма роя частиц к решению задач синтеза структурно-сложных систем мониторинга траектории полета воздушных судов в экстремальных условиях Арктики и Крайнего Севера. Отмечается, что мониторинг осуществляется в режиме реального времени, и требуются специальные алгоритмы, позволяющие генерировать структуру исполняемой программы в динамике. Это обеспечивает требуемые временные характеристики функционирования программ в режиме реального времени. Выполнен анализ базового алгоритма роя частиц. Отмечаются особенности частичного алгоритма роя частиц, в котором вместо ориентации на глобальное лучшее решение при выборе направления движения частица учитывает лучшее найденное решение среди частиц в определенном радиусе вокруг себя. Однако базовый алгоритм роя частиц имеет ряд существенных преимуществ, которые обеспечат эффективное функционирование мультиверсионного ПО структурно-сложных систем мониторинга.

**Ключевые слова:** алгоритм роя частиц, система, мониторинг, синтез, критерий

## Analysis of the applicability of the particle swarm algorithm to the problems of synthesis of aircraft flight trajectory monitoring systems

I.V. Kovalev<sup>1,2,3,4</sup>, D.I. Kovalev<sup>1,2\*</sup>, T.P. Mansurova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Krasnoyarsk Regional Science and Technology City Hall, Krasnoyarsk, Russia

<sup>2</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>3</sup>Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>4</sup>Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, Russia

\*E-mail: grimm7jow@gmail.com

**Abstract.** The article discusses the analysis of the applicability of the particle swarm algorithm to solving the problems of synthesis of structurally complex systems for monitoring the flight path of aircraft in the extreme conditions of the Arctic and the Far North. It is noted that monitoring is carried out in real time, and special algorithms are required to generate the structure of the executable program in dynamics. This provides the required temporal characteristics of the functioning of programs in real time. The basic particle swarm algorithm has been analyzed. The features of the partial particle swarm algorithm are noted, in which, instead of focusing on the global best solution, when choosing the direction of motion, the particle takes into account the best-found solution among the particles in a certain radius around itself. However, the basic particle swarm algorithm has a number of significant advantages that will ensure the efficient operation of multiversion software of structurally complex monitoring systems.

**Keywords:** particle swarm algorithm, system, monitoring, synthesis, criterion

## 1. Введение

Для повышения эффективности контроля траектории полета воздушных судов в экстремальных условиях Арктики и Крайнего Севера необходимо использовать отказоустойчивые архитектуры программных средств, обеспечивающих функционирование структурно-сложных систем мониторинга. Актуальным является использование космического сегмента [1], так как в настоящее время аэродромы, расположенные в Арктической зоне и на территории Крайнего Севера, характеризуются слабым оснащением специальными системами [2]. Так как мониторинг осуществляется в режиме реального времени, требуются специальные алгоритмы, позволяющие генерировать структуру исполняемого программного обеспечения (ПО) в динамике и обеспечивая требуемые временные характеристики функционирования программ [3,4]. К таким алгоритмам относятся биоинспирированные алгоритмы, в частности, алгоритмы роя частиц [5-7].

## 2. Анализ базового алгоритма роя частиц

В базовом алгоритме рой частиц включает в себя  $N$  частиц. Все они располагаются в  $D$ -размерном пространстве, где  $D$  – количество переменных, которые влияют на значение целевой функции. На каждой итерации алгоритма частицы двигаются в допустимой области значений переменных, руководствуясь при своем движении следующими принципами.

- *Инерционность.* При своем движении частицы набирают определенную скорость, и для того, чтобы поменять направление своего движения, они должны замедлиться.
- *Учет частного лучшего решения.* При расчете направления и скорости своего движения частицы должны учитывать данные, полученные на предыдущих итерациях о координатах персонального лучшего решения, найденного частицей.
- *Учет глобального лучшего решения.* Также при расчете направления и скорости своего движения, частицы должны учитывать данные, полученные на предыдущих итерациях о координатах глобального лучшего решения, найденного всеми частицами.

Из этого следует, что при своем движении частица берет в расчет как координаты, в которых она сама нашла лучшее для себя решение, так и координаты лучшего решения,

найденного всей группой частиц. Существует две разновидности алгоритма роя частиц: общий и частичный. В общем в роли лучшего глобального решения выступает лучшее решение среди всех частиц. В случае частичного алгоритма, в роли глобального лучшего решения для частицы выступает лучшее решение, найденное частицей в определенном радиусе от текущей.

Каждая частица определяется с помощью текущей скорости и позиции, персонального лучшего решения частицы и глобального лучшего решения. В общем алгоритме роя частиц скорость и позиция частицы определяются следующими уравнениями:

$$v_{id}^{k+1} = v_{id}^k + c_1 r_1^k (pBest_{id}^k - x_{id}^k) + c_2 r_2^k (gBest_{id}^k - x_{id}^k);$$
$$x_{id}^{k+1} = x_{id}^k + v_{id}^{k+1}.$$

В этих уравнениях  $v_{id}^k$  и  $x_{id}^k$  - скорость частицы  $i$  в момент времени  $k$  и координаты ее позиции соответственно;  $pBest_{id}^k$  представляет собой координаты в области допустимых решений, относящиеся к лучшему решению, найденному частицей  $i$  к моменту времени  $k$ ;  $gBest_{id}^k$  представляет собой координаты лучшего решения найденного всеми частицами в  $d$ -мерном пространстве к моменту времени  $k$ . Для того чтобы избежать того, что частица будет находиться на большом расстоянии от области поиска, скорость частицы в каждом из пространств ограничивают между  $-v_{dMax}$  и  $v_{dMax}$ . Если значение  $v_{dMax}$  является слишком большим, то частица находится далеко от области оптимального решения, если же значение представляет из себя маленькое число, то частица находится в области решения. Переменные  $c_1$  и  $c_2$  являются регуляторами скорости, отвечающими за приоритет при выборе направления движения, если  $c_1$  больше чем  $c_2$ , то частица при принятии решения о направлении движения будет в большей степени руководствоваться лучшим решением, найденным ей, если же  $c_1$  меньше чем  $c_2$ , то при принятии решения о направлении движения, предпочтение будет отдаваться лучшему решению, найденному всеми частицами. Если значения переменных слишком малы, то скорость приближения к области нахождения оптимального решения будет мала, в противном случае возникает возможность пропустить область оптимального решения. Обычно значения  $c_1$  и  $c_2$  делают одинаковыми и приравнивают к 2,  $r_1^k$  и  $r_2^k$  представляют из себя случайные отклонения, обычно расположенные в интервале  $[0, 1]$ .

В частичном алгоритме роя частиц, вместо того чтобы ориентироваться на глобальное лучшее решение, при выборе направления движения, частица учитывает лучшее найденное решение среди частиц в определенном радиусе вокруг себя. Внешний вид формулы остается неизменным, хотя переменная  $gBest_{id}^k$  несет в себе уже другую информацию.

### 3. Заключение

Таким образом, выполненный анализ применимости алгоритма роя частиц к задачам синтеза систем мониторинга траектории полета воздушных судов показал, что базовый алгоритм роя частиц имеет ряд существенных преимуществ, которые обеспечат эффективное функционирование мультиверсионного ПО структурно-сложных систем мониторинга. Алгоритм может применяться для решения поставленных задач с учетом динамически изменяемой архитектуры ПО. Алгоритмический поиск может осуществляться со скоростью движения частицы. В процессе поиска можно выделить несколько поколений частиц, только самая "успешная" частица может передавать информацию другим частицам, следовательно, скорость нахождения решения будет высока. Вычисления, необходимые для работы алгоритма довольно просты. Это обеспечит низкие требования по требуемой памяти, необходимой для работы алгоритма, и обеспечит возможность применения алгоритмов в режиме реального времени.

### Благодарности

Проведение исследований осуществляется при поддержке КГАУ «Красноярский краевой фонд поддержки научной и научно-технической деятельности» в рамках проекта «Контроль траектории полета воздушных судов в экстремальных условиях Арктики и Крайнего Севера» в соответствии с заявкой 2021110907918.

### Список литературы

1. Карцан, И. Н. Построение наземных пунктов управления космическими аппаратами с использованием оптимизационно-имитационной модели / И. Н. Карцан // Современные инновации, системы и технологии. Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – № 1(2). – С. 64-71. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-2-64-71>.

2. Серова, Н. А. Транспортная инфраструктура Российской Арктики: специфика функционирования и перспективы развития / Н. А. Серова, В. А. Серова // Проблемы прогнозирования. – 2021. – № 2(185). – С. 142-151.
3. Акзигитов, Р. А. Повышение эффективности мониторинга воздушных судов посредством комплексной системы обнаружения объектов / Р. А. Акзигитов, А. В. Кацура, А. Р. Акзигитов, Д. Е. Строков // Вестник СибГА. – 2016. – № 17(2). – С. 388-392.
4. Ковалев, И. В. К вопросу формирования блочно-модульной структуры системы управления беспилотных летательных объектов / И. В. Ковалев, В. В. Лосев, М. В. Сарамуд, А. О. Калинин, А. С. Лифарь // Современные инновации, системы и технологии. Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – №1(3). – С. 48-64. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-3-48-64>.
5. Зенюткин, Н. В. О способах формирования информационных структур для моделирования объектов, сред и процессов / Н. В. Зенюткин, Д. И. Ковалев, Е. В. Туев, Е. В. Туева // Современные инновации, системы и технологии. Modern Innovations, Systems and Technologies. – 2021. – №1(1). – С. 10-22. <https://doi.org/10.47813/2782-2818-2021-1-1-10-22>.
6. Соловьев, Е. В. Использование метода роя частиц для формирования состава мультиверсионного программного обеспечения / И. В. Ковалев, Д. И. Ковалев, К. К. Бахмарева, А. В. Демиш // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2013. – № 3. – С. 1-6.
7. Соловьев, Е. В. Использование метода роя частиц для формирования состава мультиверсионного программного обеспечения / Е. В. Соловьев // Молодёжь и наука: Сборник материалов VIII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвященной 155-летию со дня рождения К. Э. Циолковского [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2012. <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2012/section12.html>.