

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники

Ерома  
Александр Петрович

Обработка телеметрических сигналов на основе эвристических алгоритмов возможностной кластеризации

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание академической степени  
магистра технических наук

по специальности 1-40 80 05 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

Научный руководитель  
Вятчин Д.А.  
к.ф.н., доцент

Минск 2014

## КРАТКОЕ ВВЕДЕНИЕ

Современные изделия космической техники являются сложными и дорогостоящими техническими устройствами. Поэтому естественным является стремление заказчиков космической техники к снижению стоимости разработки и изготовления космических аппаратов, а также услуг по их запуску при сохранении необходимого уровня надежности и требуемого гарантированного срока функционирования космических аппаратов на орбите. Решению данной задачи, в определенной степени, способствует разработка маломассогабаритных (малых) космических аппаратов с широким применением унифицированных базовых конструкций (космических платформ) и доступной элементной базой. Именно на малых космических аппаратах экономически целесообразно проводить натурную проверку ряда инновационных технических решений и объектов интеллектуальной собственности.

Развитие космической техники, в частности, создание маломассогабаритных космических аппаратов, обуславливает необходимость разработки новых методов обработки телеметрических данных о состоянии систем космических аппаратов.

Телеметрия представляет собой совокупность технологий, позволяющих производить удалённые измерения и сбор информации для предоставления оператору или пользователю. Все космические аппараты имеют в составе своей бортовой аппаратуры блок телеметрии, который собирает информацию о параметрах работы систем спутника и по радиоканалу отправляет полученные данные на Землю. Данные телеметрии являются одним из главных элементов в системе управления КА, обеспечивая контроль состояния его отдельных узлов и всех параметров движения (в том числе ориентацию и стабилизацию КА).

КА является сложным устройством, создание и вывод на орбиту которого, является ресурсоёмким процессом, а на сам КА, как правило, возлагается множество задач. В связи с этим, эксплуатируя КА, важно иметь возможность предугадать момент отказа КА. Для этого необходимо прибегнуть к анализу телеметрической информации бортовой аппаратуры. В данной исследовательской работе будут рассмотрены существующие подходы к анализу телеметрической информации, и разработан новый эвристический алгоритм возможностной кластеризации, с помощью которого, будет производиться анализ телеметрической информации бортового оборудования КА.

# **ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ**

## **Цель и задачи исследования**

Основой магистерской диссертации является разработка новых эвристических алгоритмов возможностной кластеризации, учитывающих имеющуюся априорную информацию, а также методов обработки телеметрической информации с помощью разработанных алгоритмов. В рамках данной работы будут решены следующие задачи:

- обоснование параметров классификации,
- разработка новых эвристических алгоритмов возможностной кластеризации,
- разработка методики применения новых алгоритмов для обработки телеметрических данных, поступающих с бортовой аппаратуры.

Объектом исследования являются телеметрические сигналы.

Предметом исследования являются эвристические алгоритмы возможностной кластеризации.

## **Связь работы с приоритетными направлениями научных исследований и запросами реального сектора экономики**

Работы выполнялись в соответствии с научно техническим заданием и планом работ кафедры «Программное обеспечение информационных технологий»: «Разработать модели, методы, алгоритмы для оценки параметров, повышения надёжности и качества функционирования аппаратно-программных средств систем и сетей сложной конфигурации и внедрить в современное обучающие комплексы» (ГБ № 11-2004, № ГР 20111065, научный руководитель НИР – В.В. Бахтизин).

## **Личный вклад соискателя**

Результаты, приведенные в диссертации, получены соискателем лично. Вклад научного руководителя Д. А. Вятчина, заключается в формулировке целей и задач исследования.

## **Апробация результатов диссертации**

Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на 12-й международной конференции по распознаванию образов и обработке информации ОИПИ НАН Беларуси (Минск, Беларусь 2014).

### **Опубликованность результатов диссертации**

По теме диссертации опубликовано 2 печатные работы, из них 1 статья в рецензируемом издании, 1 работа в сборниках трудов и материалов международной конференции.

### **Структура и объем диссертации**

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, списка использованных источников, списка публикаций автора и приложений. В первой главе были рассмотрены методы анализа состояния объекта по телеметрической информации, были проанализированы элементы бортовой аппаратуры и их типы, также были рассмотрены виды телеметрической информации бортовой аппаратуры. Во второй главе был произведен анализ методов обработки телеметрической информации, были рассмотрены существующие методы обработки телеметрической информации, было дано обоснование эффективности применения методов нечеткой и possibilistic кластеризации в задачах обработки телеметрической информации. В третьей главе был разработан новый D-AFC(u)-алгоритм possibilistic кластеризации. В четвертой главе дано обоснование выбора языка программирования разрабатываемого программного средства, а также описание основных компонентов программного средства.

Общий объем работы составляет 66 страниц, из которых основного текста – 53 страницы, 15 рисунков на 14 страницах, 5 таблиц на 3 страницах, список использованных источников из 31 наименования на 2 страницах и 1 приложения на 1 странице.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ

Во **введении** определена область и указаны основные направления исследования, показана актуальность темы диссертационной работы, дана краткая характеристика исследуемых вопросов, обозначена практическая ценность работы. КА является сложным устройством, создание и вывод на орбиту которого, является ресурсоёмким процессом, а на сам КА, как правило, возлагается множество задач. В связи с этим, эксплуатируя КА, важно иметь возможность предугадать момент отказа КА. Для этого необходимо прибегнуть к анализу телеметрической информации бортовой аппаратуры. В данной исследовательской работе будут рассмотрены существующие подходы к анализу телеметрической информации, и разработан новый эвристический алгоритм возможностной кластеризации, с помощью которого, будет производиться анализ телеметрической информации бортового оборудования КА.

В **первой главе** были рассмотрены методы анализа состояния объекта по телеметрической информации, были проанализированы элементы бортовой аппаратуры и их типы, также были рассмотрены виды телеметрической информации бортовой аппаратуры. *Космический аппарат* (КА) – техническое устройство, используемое для выполнения разнообразных научно-исследовательских, промышленно-хозяйственных, военно-прикладных задач в космическом пространстве. Задачи, решаемые КА, определяют выбор орбиты, состав бортовой аппаратуры, способ ориентации, принципы организации связи с наземными пунктами и т. д. Как показано на рисунке 1, космические аппараты могут различаться по множеству признаков.



**Рисунок 1 – Классификация КА**

Для обеспечения работы систем автономного радиоуправления часто используют отдельные антенны автономных систем, а также отдельные передатчики и приемники. Телевизионную информацию передают обычно свои каналы связи. В целях повышения надежности бортового оборудования системы радиоуправления наиболее ответственные его устройства и узлы резервируются.

Решаемые задачи обработки ТМИ принято разделять на первичные и вторичные.

Первичная обработка заканчивается формированием результатов, содержащих информацию о физических значениях параметров ТМИ, привязанных к шкале времени.

Вторичная обработка ставит своей целью выделение смыслового содержания в результатах первичной обработки, связанного с оцениванием и идентификацией технического и функционального состояния бортовых подсистем и КА в целом.

Во **второй главе** был произведён анализ методов обработки телеметрической информации, были рассмотрены существующие методы обработки телеметрической информации, было дано обоснование эффективности применения

методов нечеткой и возможностной кластеризации в задачах обработки телеметрической информации.

Современная телеметрия охватывает широкий круг проблем, связанных с получением, преобразованием, передачей и обработкой измерительной информации, используемой при управлении удалёнными объектами, определении их состояния или при изучении физических процессов в местах, где непосредственное присутствие наблюдателя затруднено или невозможно.

В состав ТМИ, поступающей с удалённых СДО, входят весьма разнообразные физические величины или телеметрируемые параметры (ТМП).

Основные задачи обработки ТМИ:

- выбор необходимых параметров и интервалов времени для обработки, а также оценка качества измерений, согласование потоков данных и оценка параметров по косвенным измерениям;
- повышение достоверности и уменьшение избыточности телеметрических данных;
- дешифровка выбранных данных, определение оценок измеряемых параметров в физических единицах и их представление;
- определение параметров состояния и оценка работоспособности систем и определение обобщённых характеристик систем и объекта в целом.
- представление и анализ результатов обработки ТМИ.

Среди всего разнообразия подходов к решению задач классификации особое место занимает автоматическая классификация, именуемая также распознаванием образов с самообучением, численной таксономией или кластерным анализом. На содержательном уровне задача классификации объектов в условиях отсутствия классифицированных обучающих выборок заключается в распределении анализируемой совокупности объектов на некоторое, заранее известное или неизвестное число однородных в определенном смысле, групп, именуемых классами, кластерами, образами или таксонами, таким образом, чтобы объекты одной группы были как можно больше сходны между собой, а сами группы как можно больше отличались друг от друга.

В данном разделе показано, что обработка телеметрической информации бортового оборудования является многоцелевым процессом. Одной из целей обработки телеметрической информации является оценка стабильности работы бортового оборудования. Предсказание отказа бортового оборудования является сложной задачей, одним из эффективных решений которой является применение алгоритмов кластерного анализа. В случае работы с телеметрическими сигналами, можно рассматривать дискретные значения сигналов как набор признаков,

по которым можно попытаться определить ненормальное поведение оборудования. Основываясь на факте, что, выходя из строя телеметрические сигналы, передаваемые оборудованием, будут менять свой вид и применяя алгоритмы кластерного анализа, можно попытаться разделить сигналы на кластеры. Основываясь на этом разбиении можно сделать вывод о возможном отказе оборудования.

В третьей главе был разработан новый D-AFC(u)-алгоритм возможностной кластеризации. D-AFC(u)-алгоритм для обнаружения распределения среди нечетких кластеров с заданным максимальным числом элементов  $u$  в каждом классе является 11-ти шаговой процедурой классификации.

1. Вычислить значения  $\alpha$  - уровней возможностной толерантности  $T$  и сформировать упорядоченную последовательность  $0 < \alpha_0 < \alpha_1 < \dots < \alpha_\ell < \dots < \alpha_z \leq 1$   $\alpha$  -уровней;  $\ell := 0$ ;

2. Сформировать начальное распределение  $R_l^\alpha(X) = \{A_{(\alpha)}^l \mid l = \overline{1, n}\}$ ,  $\alpha = \alpha_\ell$ ;

3. Проверить следующее условие:

**если** для некоторого нечеткого кластера  $A_{(\alpha)}^l \in R_l^\alpha(X)$ ,  $l \in \{1, \dots, n\}$ ,  $\alpha = \alpha_\ell$  условие  $n_l = n$  удовлетворено

**то**  $\ell := \ell + 1$ , вернуться к шагу 2;

4. Сформировать множество  $U$  возможных элементов кластеризации следующим образом:

**если** для некоторого нечеткого кластера  $A_{(\alpha)}^l \in R_l^\alpha(X)$ ,  $l \in \{1, \dots, n\}$ ,  $\alpha = \alpha_\ell$  условие  $n_l \leq u$  удовлетворено

**то**  $A_{(\alpha)}^l \in U$

**иначе**  $A_{(\alpha)}^l \notin U$ ;

5. Проверить следующее условие:

**если** условие  $\text{card}(U) \geq 2$  и условие  $\sum_{l=1}^c \text{card}(A_{(\alpha)}^l) \geq \text{card}(X)$ ,  $\forall A_{(\alpha)}^l \in U$ ,  $\alpha = \alpha_\ell$  не удовлетворены

**то**  $\ell := \ell + 1$ , перейти к шагу 2

**иначе** перейти к шагу 6;

6.  $w := 0$ ;

7. Проверить, возможно ли сформировать распределения  $R_{c(z)}^\alpha(X) = \{A_{(\alpha)}^l \mid A_{(\alpha)}^l \in U\}$ ,  $c \leq n$ , которые удовлетворяют необходимым условиям для значения  $\alpha = \alpha_\ell$ ;

8. Проверить следующее условие:

**если** распределения  $R_{c(z)}^\alpha(X)$  удовлетворяющие необходимым условиям не сформированы

**то**  $w := w + 1$ , перейти к шагу 7

**иначе** перейти к шагу 9;



9. Сформировать класс возможных решений задачи классификации  $B(u) = \{R_{c(z)}^\alpha(X)\}$ ,  $\alpha = \alpha_\ell$  для всех распределений  $R_{c(z)}^\alpha(X)$  которые были получены на шаге 7;

10. Вычислить значение критерия (3.6) для каждого распределения  $R_{c(z)}^\alpha(X) \in B(u)$ ;

11. Результат классификации  $R_c^*(X)$  формируется следующим образом:  
**если** для некоторого уникального распределения  $R_{c(z)}^\alpha(X) \in B(u)$  условие (3.7) удовлетворено

**то** распределение является результатом классификации  $R_c^*(X)$

**иначе если** условие  $u > 1$  удовлетворено

**то**  $u := u - 1$  и перейти к шагу 7.

В результате работы над данным разделом разработан D-AFC(u) алгоритм. Рассмотрены некоторые существующие алгоритмы возможностной кластеризации. На примере изображена работа разработанного алгоритма, показаны преимущества предложенного D-AFC(u) алгоритма.

В **четвёртой главе** дано обоснование выбора языка программирования разрабатываемого программного средства, а также описание основных компонентов программного средства.

В данном разделе было показано, что наиболее эффективным языком программирования для разрабатываемого ПС является C#. Были описаны входные и выходные данные, а также приведена общая структура программного средства.

Результатом работы над данным разделом является программное средство для обработки телеметрической информации на основе D-AFC-(u) алгоритма.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В исследовательской работе были проанализированы основные элементы бортовой аппаратуры и их типы. Были рассмотрены виды телеметрической информации. Были изложены некоторые методы приёма и передачи телеметрической информации. В ходе работы, рассматривались существующие методы обработки телеметрической информации, а также была обоснована эффективность применения методов нечёткой и possibilistic кластеризации в задачах обработки телеметрической информации.

### Основные научные результаты диссертации

1. Разработано новый D-AFC(u) эвристический алгоритм possibilistic кластеризации.
2. Разработано программное средство анализа телеметрической информации на основе D-AFC(u) алгоритма.
3. Разработанную методику можно использовать для анализа телеметрической информации с целью оценки момента отказа бортового оборудования космических аппаратов.

## СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. Viattchenin D.A. New parameters for relational heuristic algorithms of possibilistic clustering / Viattchenin D.A, Damaratski A, Yaroma A.P. // Proceedings of the 12th international Pattern Recognition and Information Processing conference 28–30 May 2014, Minsk, Belarus. – p. 295-299.
2. Viattchenin D. A. Novel Direct Relational Heuristic Algorithm of Possibilistic Clustering / Viattchenin D.A., Yaroma A., Damaratski A.// International Journal of Computer Applications (0975 – 8887) Volume 107 – No 18, December 2014. – 7 p.

Библиотека БГУИР