

## МЕТОДИКА ВЫБОРА НАВИГАЦИОННЫХ ПРИЕМНИКОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ ОБЛАСТЕЙ ПРЕДПОЧТЕНИЙ

Т.В. Сивакова, научный сотрудник

В.А. Судаков, д-р техн. наук, ведущий научный сотрудник

Федеральный исследовательский центр Институт прикладной математики им. М.В. Келдыша Российской академии наук  
(Россия, г. Москва)

DOI: 10.24411/2500-1000-2020-10713

**Аннотация.** В данной работе для отбора инновационной продукции в космической отрасли, на примере навигационных приемников, предложен многокритериальный подход. Эта задача является неотъемлемой частью научной проблемы - совершенствования использования космических данных для решения наиболее значимых проблем социально-экономического развития России. При выборе навигационных приемников сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), позволяющих работать с GPS, ГЛОНАСС, а также в перспективе GALILEO и BeiDou приходится учитывать вопросы обеспечения безопасности государства, санкционные риски, потребительские качества и экономические критерии. Поскольку выбор конкретного поставщика и модели представляет собой нетривиальную задачу, будем использовать для решения поставленной задачи метод нечетких областей предпочтений.

**Ключевые слова:** навигационные приемники, инновационная продукция, критерий, многокритериальный анализ, нечеткая область предпочтений.

Задача выбора навигационных приемников рассматривается для образцов сложной инновационной техники: беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), роботизированных механизмов, геолого-разведывательных комплексов и в первую очередь зависят от предпочтения лица, принимающего решения (ЛПР) [1] и носят зачастую нечеткий характер [2, 3, 4]. Поскольку экспертные суждения о технических характеристиках сложных изделий, также могут быть нечеткими, поэтому для решения данной задачи воспользуемся аппаратом «мягких вычислений» и методом нечетких областей предпочтений [5]. Значимость данной задачи обусловлена в первую очередь развитием инновационно-активных отраслей промышленности [6, 7, 8], к которым относится и космическая отрасль.

Для решения поставленной задачи будем использовать критерии двух видов.

Технические критерии:

- точность позиционирования в автономном режиме;
- точность позиционирования в RTK-режиме;

- количество каналов для слежения;
- количество каналов для захвата;
- поддерживаемые навигационные системы;
- время холодного старта;
- время теплого старта;
- время горячего старта;
- точность определения углов ориентации;
- точность определения скорости;
- чувствительность при слежении;
- чувствительность при обнаружении;
- чувствительность при холодном старте;
- минимальная рабочая температура;
- максимальная рабочая температура;
- максимальная влажность;
- частота выдачи решения;
- потребление электроэнергии;
- длина;
- ширина;
- высота;
- вес.

Рассматриваются также следующие и экономические критерии:

– цена устройств и оборудования – это инвестиции заказчика или их подрядчиков в аппаратное обеспечение;

– уровень клиентского сервиса – определяется качеством предоставления конечным пользователям помощи и поддержки по оборудованию и услугам на базе ГНСС;

– стоимость дополнительных услуг – связана с периодическими расходами, необходимыми для использования дифференциальной коррекции и поправок спутникового сигнала;

– гибкость платы за услуги – это возможность выбора коммерческих услуг на конкретные временные периоды.

#### Методы и принципы исследования

Остановимся более подробно на методике выбора навигационного оборудования.

Введем следующие обозначения:

$i$  – номер критерия ( $i=1..n$ ),

$U_i$  – шкала  $i$ -го критерия состоящая из  $q_i$  нечетких градаций.

$$U_i = \{g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{iq_i}\} \quad (1)$$

где  $g_{ij}$  – нечеткая градация шкалы критерия,

$\mu_{ij}(x)$  – функция, определяющая для  $i$ -го критерия нечеткую принадлежность значения  $x$   $j$ -й градации.

Комбинации значений градаций всех критериев разбивают критериальное пространство на области. Множество всех таких областей – это декартовое произведение множеств  $U_i$ :

$$Y = \{g_{11}, g_{12}, \dots, g_{1q_1}\} \times \{g_{21}, g_{22}, \dots, g_{2q_2}\} \times \dots \times \{g_{n1}, g_{n2}, \dots, g_{nq_n}\} \quad (2)$$

$$Q = |Y| = \prod_{i=1}^n q_i \quad (3)$$

Для случая градаций, представленных «четкими» числами, определение уровня предпочтений в шкалах с высокой степенью детализации – это достаточно трудоемкая для ЛПР процедура. Однако нечеткие градации требуются существенно меньше, так как они могут покрывать достаточно большие области критериального пространства с различным уровнем принадлежности [9].

Пусть ЛПР задал предпочтения в некотором подмножестве множестве  $Y$ :

$k = 1..K$  – номер области предпочтений, для которой ЛПР задал свои предпочтения (число таких областей  $K \leq Q$ );

$r_k$  – нечеткий уровень предпочтительности  $k$ -й области;

$\rho_k(y)$  – функция принадлежности ранга навигационного приемника  $y$  для уровня предпочтительности  $r_k$ ;

$M_k = (j_1, j_2, \dots, j_n)$  – это вектор номеров градаций, для  $k$ -й нечеткой области предпочтений  $|M_k| = n$ .

Многокритериальный анализ выполнялся для ряда навигационных приемников, представленных на коммерческом рынке:

– NV08C-RTK-A – это высокоточный мультисистемный навигационный приемник. Он обеспечивает навигация с точностью до нескольких сантиметров. Для определения углов ориентации используется фазовые измерения сигналов систем GPS, ГЛОНАСС, а в будущем BeiDou и GALILEO. NV08C-RTK-A может применяться в составе инновационной навигационной аппаратуры, обеспечивая низкое энергопотребление, высокую точность и производительность.

– NV08C-RTK-M – это двухчастотный высокоточный мультисистемный навига-

ционный приемник. Он использует фазовые измерения сигналов L1/L2 систем ГЛОНАСС, GPS и обеспечивает навигацию с сантиметровой точностью. NV08C-RTK-M разработан для применения в составе мобильной навигационной аппаратуры, обеспечивающей низкое энергопотребление, компактные габариты, высокую точность навигации и необходимую производительность.

– ComNav K700 – это высокоэффективный ГНСС-приемник. Его можно успешно применять для решения задачи позиционирования в таких приложениях, как картографические работы, ГИС, мониторинг деформаций зданий и сооружений, мониторинг подвижных объектов в реальном времени и других приложениях, где требуется дециметровая точность. Он обладает широким функционалом и низкой стоимостью.

– ComNav K708 – это флагман продукции ComNav. Приемник поддерживает работу со всеми спутниковыми системами на всех частотах, что позволяет пользователям быть уверенными в эффективности K708 и в далеком будущем.

– SinoGNSS K728 – это двухантенная двухчастотная ГНСС-плата позволяет определять высокоточные координаты и курс. Принимает RTK поправки формата RTCM 2.x, 3.x, CMR.

– SinoGNSS K501G – это двухсистемная двухчастотная ГНСС-плата начального уровня. Встроенная память 100 Мб, "сырые" данные легко конвертируются в формат RINEX с помощью бесплатной утилиты. При открытой опции RTK может осуществлять прием/передачу поправок.

– SinoGNSS K726 – это компактная двухантенная ГНСС плата, которая позволяет определять высокоточные координаты с точностью до 1 см, а также вектор движения с точностью до 0,02°. Обладая компактными размерами K726, хорошо подойдет для установки на системы БПЛА и другие подвижные платформы.

Задача определения уровня предпочтительности данных навигационных приемников решалась с использованием заданных значений критериев ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ). Значения критериев были приведены к нечеткому виду путем задания функции принадлежности конкретного значения критерия  $\lambda_{ix_i}(x)$ .

Нечеткие области предпочтений записываются в форме нечеткой импликации вида:

**ЕСЛИ нечеткие значения критериев = нечетким градациям области  $M_k$  ТО предпочтительность навигационного приемника = заданному для области нечеткому уровню предпочтений  $p_k$ .** Данная импликация записывается в виде:

$$p_k(y, x_1, x_2 \dots x_n) = \min \left( \min_i \left[ \sup \left( \min_x \langle \lambda_{ix_i}(x), \mu_{i_{pr_i M_k}}(x) \rangle \right) \right], p_k(y) \right) \quad (4)$$

Объединение нечетких правил по всем областям нечетких предпочтений определяет интегральную нечеткую оценку навигационного приемника:

$$p_k(y, x_1, x_2 \dots x_n) = \max_k p_k(y, x_1, x_2 \dots x_n) \quad (5)$$

Далее проводится дефазификация предпочтений методом центра тяжести:

$$p(y, x_1, x_2, \dots, x_n) = \frac{\int_{y_1}^{y_2} yp(y, x_1, x_2, \dots, x_n) dy}{\int_{y_1}^{y_2} p(y, x_1, x_2, \dots, x_n) dy} \quad (6)$$

**Основные результаты.** На портале ws-dss в открытом доступе размещена программная реализация вышеописанного метода ранжирования [10]. Ws-dss позволяет размещать в сетях глобальных и корпоративных web-средах программные реализации методов поддержки принятия решений и оптимизации на языках C++, R, Ruby, Python. Сайт обеспечивает возможность подключения сторонних веб-сервисов и организовывать последовательность вызовов математических моделей с передачей входных/выходных параметров между ними.

**Заключение.** Использование предложенной методики для выбора навигационных приемников позволяет повысить конкурентоспособность космических предприятий, использующих их как составляющую инновационных изделий и тем самым помогает решить целый комплекс задач по повышению эффективности управления инновационной деятельностью:

– поиск наиболее существенно влияющих параметров в отношении технических критериев,

– анализ критериев экономической эффективности;

– анализ чувствительности критериев по отношению к изменениям входных параметров моделей инновационного производства;

– оценка эффективности инноваций в соответствии с интегральными нечеткими оценками, полученными на основе векторного критерия.

Данный метод нечетких областей предпочтений хорошо себя зарекомендовал и может быть использован для оценки компонент инновационной продукции с точки зрения создания рациональных проекторочных решений с учетом ресурсных ограничений. С учетом инвариантности рассмотренного подхода, он может быть распространён на задачи выбора в других областях проектной.

#### Библиографический список

1. Литвак Б.Г. Экспертные технологии в управлении: учебное пособие 2-е изд. – М.: Дело, 2004. – 400 с.
2. Dutov A.V., Nesterov V.A., Sudakov V.A. and Sypalo K.I. Fuzzy preference domains and their use for selecting an electronic flight bag for flight crews // Journal of Computer and Systems Sciences International. – 2018. – Vol. 57 (2). – P. 230-238.
3. Посадский А.И., Сивакова Т.В., Судаков В.А. Агрегирование нечетких суждений экспертов // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. – 2019. – № 101. – 12 с. doi:10.20948/prepr-2019-101. – URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2019-101> (дата обращения: 5.06.2020).
4. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. – М.: Наука, 1981. – 208 с.
5. Intan R., Halim S. and Dewi L. Fuzzy Granularity in the Knowledge-based Dynamic Fuzzy Sets // In Proceedings of the 2018 2nd International Conference on Computer Science and Artificial Intelligence (CSAI '18) Association for Computing Machinery. – New York, USA, 2018. – P. 242-246.
6. Batkovskiy A.M., Kurennykh A.E., Semenova E.G. and Sudakov A.V. Sustainable project management for multi-agent development of enterprise information systems / and others // Entrepreneurship and Sustainability. – 2019. – Issues 7 (1). P. 278-290. doi:10.9770/jesi.2019.7.1(21).

7. Сивакова Т.В., Судаков В.А. Метод нечетких областей предпочтения для оценки эффективности инноваций // XXVIII Международная научно-техническая конференция «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации». Алушта, 14–20 сентября 2019 г.: Сборник трудов Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ. – М., 2019. – С. 81-82.

8. Батьковский А.М., Кравчук П.В., Судаков В.А. Системы поддержки принятия решений в многокритериальных задачах управления инновационным развитием предприятий и интегрированных структур// Актуальные вопросы современной экономики. –2019. – №4. – С. 140-146.

9. Noghin V.D. The Edgeworth-Pareto Principle in terms of a fuzzy choice function // Computational Mathematics and Mathematical Physics. – 2006. – Vol. 46 (4). – P. 554-562.

10. Web Services for Decision Support Systems. Available at: <https://ws-dss.com> (дата обращения: 5.06.2020).

## THE METHOD OF SELECTION OF NAVIGATION RECEIVERS BASED ON FUZZY AREAS OF PREFERENCES

**T.V. Sivakova**, *Researcher*

**V.A. Sudakov**, *Doctor of Technical Sciences, Leading Researcher*

**Keldysh Institute of Applied Mathematics, Russian Academy of Sciences**

**(Russia, Moscow)**

**Abstract.** *In this article, for the selection of innovative products in the space industry, using the example of navigation receivers, a multicriteria approach is proposed. This task is an integral part of the scientific problem - improving the use of space data to solve the most significant problems of socio-economic development of Russia. When choosing navigation receivers of global navigation satellite systems (GNSS) signals that allow working with GPS, GOLONASS, as well as in the future, GALILEO and BeiDou, it is necessary to take into account state security issues, sanctions risks, consumer qualities and economic criteria. Since the choice of a specific supplier and model is a non-trivial task, we will use the fuzzy preference method to solve the problem.*

**Keywords:** *navigation receivers, innovative products, criterion, multicriteria analysis, fuzzy area of preferences.*