

DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-481-491

## SEARCH FOR ERRORS IN THE BASE OF NAVIGATION DATA BY THE METHOD OF SPLINE ISOSURFACE VISUALIZATION

**I. V. Yuyukin**

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,  
St. Petersburg, Russian Federation

*It is proposed to optimize a posterior accuracy estimation of the navigation parameters cluster by spline synthesis of the isosurface of the digital array in order to search for errors in the measurement database. Structured numerical information is visualized by means of computer graphics in an evident geometric form. Reliable error detection from the base of navigation data based on the wavelet fluctuation of an erroneous geometric image is provided. Axonometric visualization of the navigation isosurface on a computer screen is based on the parallel projection method. A gallery of six display copies demonstrates the productivity of the numerical experiment. In parallel, two tables present fragments of a hypothetical base of accurate and erroneous data. The essence of the performed test is to artificially initiate two errors simulated by manual correction of the digital data file. Detected graphical improvisations of errors can be operatively corrected in the numeric data file, since the approximate segment of the tabular errors presence sets their geometric image. The absence of peaks on the computer display guarantees synchronous absence of errors in the database and in this case there is no need to carry out search activities. In order to implement the practical possibility of manipulating the synthesized isosurface, four coefficients for controlling the shape of the geometry of the engineered electronic perspective are introduced into the software module. Variation of one of the four coefficients assists to conduct the further analyzing the measurement data in order to distinguish the heterogeneity of digital values from their error. The proposed approach allows you to obtain a compromise solution if it is impossible to formulate formal criteria for fuzzy logic of searching for errors in the database. Based on empirical analysis, an expert assessment of the accuracy of any base of navigation data is performed.*

*Keywords: base of navigation data, visualized isosurface, geometric image of error, parallel projection, wavelet fluctuation of error, fuzzy search for error.*

### **For citation:**

Yuyukin, Igor V. "Search for errors in the base of navigation data by the method of spline isosurface visualization." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.3 (2020): 481–491. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-481-491.

**УДК 656.61.052 656**

## ПОИСК ОШИБОК В БАЗЕ НАВИГАЦИОННЫХ ДАННЫХ МЕТОДОМ ВИЗУАЛИЗАЦИИ СПЛАЙНОВОЙ ИЗОПОВЕРХНОСТИ

**И. В. Ююкин**

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Предлагается оптимизация апостериорной оценки точности кластера навигационных параметров методом сплайнового синтезирования изоповерхности цифрового массива с целью поиска ошибок в базе измерительных данных. Структурированная числовая информация визуализируется средствами компьютерной графики в наглядной геометрической форме. Обеспечивается достоверное обнаружение промаха из базы навигационных данных по вейвлетовой флуктуации ошибочного геометрического образа. Аксонометрическая визуализация навигационной изоповерхности на компьютерном экране основана на методе параллельного проецирования. Галерея из шести дисплейных копий демонстрирует результативность проведенного вычислительного эксперимента. Параллельно в двух таблицах представлены фрагменты гипотетической базы точных и ошибочных данных. Суть выполненного теста заключается в искусственном инициировании двух ошибок, имитированных ручной корректурой файла цифровых данных. Обнаруженные графические импровизации ошибок оперативно могут быть исправлены в файле числовых данных,*

*так как ориентировочный сегмент присутствия табличных ошибок задает их геометрический образ. Отсутствие всплесков гарантирует синхронное отсутствие ошибок в базе данных и в этом случае нет необходимости осуществлять розыскные мероприятия. С целью реализации практической возможности манипулирования синтезируемой изоповерхностью в программный модуль введены четыре коэффициента управления формой геометрии спроектированной электронной перспективы. Варьирование одним из четырех коэффициентов помогает проведению дополнительного анализа измерительных данных с целью отличия неоднородности цифровых значений от их ошибочности. Предлагаемый подход позволяет получить компромиссное решение при невозможности формулирования формальных критериев нечеткой логики поиска ошибочности по базе данных. На основе эмпирического анализа выполняется экспертная оценка точности любой базы навигационных данных.*

*Ключевые слова: база навигационных данных, визуализированная изоповерхность, геометрический образ ошибки, параллельное проецирование, вейвлетовая флуктуация ошибки, нечеткий поиск ошибочности.*

**Для цитирования:**

Ююкин И. В. Поиск ошибок в базе навигационных данных методом визуализации сплайновой изоповерхности / И. В. Ююкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 3. — С. 481–491. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-481-491.

### **Введение (Introduction)**

Графическая интерпретация цифровых массивов посредством компьютерной визуализации их геометрических образов является актуальной задачей представления результатов вычислительного эксперимента в наглядной форме. Оперативность обработки баз данных математическими средствами находит широкое применение в различных современных прикладных исследованиях [1]–[3]. Оптимизировать научные методы апостериорной оценки точности цифровых многомерных массивов может позволить компьютерная визуализация баз данных [4], [5]. Целесообразность представления аккумулированного в базах данных числового поля в виде визуализированной графики 3D формата актуализируется с развитием инновационных компьютерных технологий и мобильных приложений при игнорировании трудоемкости исследовательского процесса [6]–[8].

Применимость предлагаемого подхода может быть использована в задаче аппроксимации геоида методами сплайн-функций [9] при предварительном визуальном анализе сверхбольшой базы данных значений узловых реперных точек, формирующих гравитационный облик планеты Земля, так как любая ошибка в массиве альтиметрических измерений вызовет искажения в синтезировании сплайновой модели геоида. Представляется важным до момента реконструкции жидкого состояния планеты проверять матрицу измерений на наличие технических ошибок методом компьютерной визуализации сплайновой изоповерхности числового поля контрольных гравиметрических замеров, что позволяет заблаговременно исключить искаженное конструирование «морского геоида». До решения трудоемкой в математическом смысле задачи логически оправданно проводить предварительное качественное исследование адекватности исходной базы спутниковых данных.

Перспективность задачи синтезирования сплайнового геоида представляет самостоятельный научный интерес. Помимо парадигмы абсолютной точности навигации появляется реальная возможность упразднить выбор для вахтенного помощника из 170 различных вариантов геодезических систем для определения места судна [10], что автоматически повышает приоритет применения прогрессивной математики в практике судовождения.

Предлагаемый подход предварительного поиска ошибок в базе навигационных данных автоматически задает инновационный стимул повышения стандартов безопасности мореплавания.

Для практического применения метода сплайн-функций сформулированы следующие задачи:

1. Сплайновое синтезирование изоповерхности оцифрованного массива навигационных параметров с целью поиска ошибок в базе измерительных данных.
2. Компьютерная визуализация моделированной сплайн-функциями изоповерхности навигационного поля данных.

3. Разработка программного унифицированного комплекса клиповой демонстрации любой базы данных.

4. Достоверное обнаружение и исключение технической ошибки по вейвлетовой флуктуации ее геометрического образа.

### Методы и материалы (Methods and Materials)

Сплайновое синтезирование навигационной изоповерхности реализуется на основе гибридной модели [11], [12]:

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=-k}^{g+k+1} \sum_{j=-m}^{h+m+1} B_{i,k}(\varphi_q) B_{j,m}(\lambda_r) C_{i,j} = F_{q,r} \quad q = 1, \dots, z_1; \quad r = 1, \dots, z_2; \\ \frac{1}{\sqrt{p}} \sum_{i=-k}^{g+k+1} \sum_{j=-m}^{h+m+1} B_{i,k}(\varphi_q) L_{j,r}(\lambda_r) C_{i,j} = 0 \quad q = 1, \dots, z_1; \quad r = 1, \dots, h; \\ \frac{1}{\sqrt{p}} \sum_{i=-k}^{g+k+1} \sum_{j=-m}^{h+m+1} B_{j,m}(\lambda_r) L_{i,q}(\varphi_q) C_{i,j} = 0 \quad q = 1, \dots, g; \quad r = 1, \dots, z_2; \\ \frac{1}{p} \sum_{i=-k}^{g+k+1} \sum_{j=-m}^{h+m+1} L_{i,q}(\varphi_q) L_{j,r}(\lambda_r) C_{i,j} = 0 \quad q = 1, \dots, g; \quad r = 1, \dots, h, \end{array} \right.$$

где  $k, m$  — степени  $B$ -сплайна по координатным осям  $\varphi$  и  $\lambda$  соответственно;

$g, h$  — максимальное количество узлов на сеточных интервалах  $\varphi$  и  $\lambda$  соответственно;

$B_{i,k}(\varphi), B_{j,m}(\lambda)$  — «шапочные» функции базисного сплайна;

$C_{i,j}$  — матрица искомых скалярных коэффициентов;

$p$  — сглаживающий весовой коэффициент;

$z_1, z_2$  — максимальное число дискретных измерений навигационных параметров по координатным осям  $\varphi$  и  $\lambda$  соответственно;

$L_{i,q}, L_{j,r}$  — ассоциированные множители сплайнов лагранжевого типа.

Решение математической оптимизированной системы выполняется модифицированным методом наименьших квадратов для сплайн-аппроксимации навигационной изоповерхности [13]. Аксонометрическая визуализация изоповерхности на компьютерном экране в предлагаемом подходе основана на использовании целенаправленного метода *параллельного проецирования* [14]–[16].

### Результаты (Results)

С целью апробации предлагаемого подхода разработан интерфейс визуализации навигационного поля измерительных данных с позиций теории приближения сплайн-функциями. Работа алгоритмического модуля реализуется за счет обращения из оболочки программной среды турбопаскаль к отдельному файлу с табличным представлением цифровых данных при помощи специального операнда. Таким образом обеспечивается стратегическая унификация решения поставленных задач, поскольку можно менять файлы со структурированными базами данных с синхронной заменой имени команды обращения к файлу цифровых данных, а все расчеты будет реализовывать один программный модуль на основе одного алгоритма. Корректная реляционная база навигационных данных выполняется стандартными средствами операционной системы Windows. Концепция оценки точности измерений навигационных параметров методом визуализации средствами компьютерной графики навигационной изоповерхности позволяет реализовать гибкую систему управления базой навигационных данных.

Для двумерного массива навигационных параметров выполняется математическая нормировка. Осуществляется центровка компьютерного изображения за счет ориентации *параллельного проецирования* электронной перспективы на дисплей из центральной точки изоповерхности.

Оптимальное нахождение центра проецирования обеспечивается процедурой нормировки при определении геометрического центра многомерного облака данных.

Разработанный программный модуль осуществляет визуализацию поверхности оцифрованного массива на основе гибридного сплайнового алгоритма. С целью демонстрации работоспособности разработанного интерфейса смоделирована визуализация гипотетической матрицы  $21 \times 23$  условных значений. Приводится графическая копия с компьютерного дисплея условной синтезированной сплайновой изоповерхности (рис. 1).

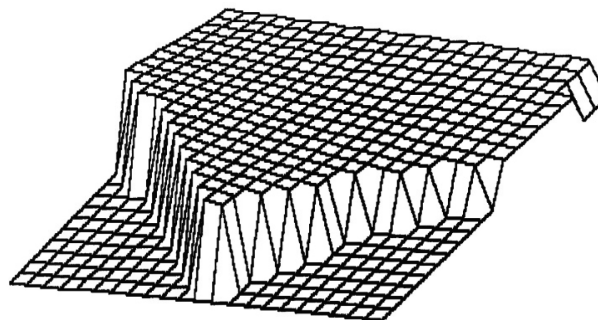


Рис. 1. Скриншот абстрактной сплайновой изоповерхности точных измерительных данных

Скриншот является демонстрацией результата компьютерной визуализации методом синтеза сплайновой гипотетической изоповерхности поля навигационных данных, кластерный фрагмент которых представлен в табл. 1. Ступенчатый излом изоповерхности обусловлен неоднородностью навигационных параметров.

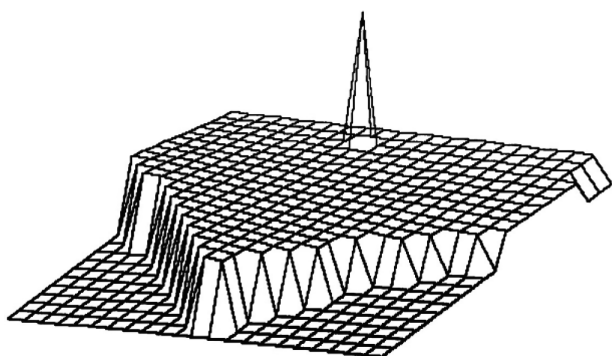
Таблица 1

**Кластер гипотетической базы  
точных навигационных параметров**

|        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2,350  | 2,548  | 2,745  | 2,940  | 3,136  | 3,333  | 3,530  | 3728   | 3,928  | 4,127  | 4,328  |
| 3,034  | 3,287  | 3,539  | 3,792  | 4,045  | 4,300  | 4,556  | 4,813  | 5,072  | 5,333  | 5,596  |
| 3,717  | 4,026  | 4,337  | 4,648  | 4,962  | 5,277  | 5,594  | 5,913  | 6,236  | 6,561  | 6,891  |
| 4,402  | 4,771  | 5,142  | 5,516  | 5,891  | 6,270  | 6,651  | 7,037  | 7,426  | 7,823  | 8,223  |
| 5,097  | 5,526  | 5,958  | 6,396  | 6,837  | 7,284  | 7,735  | 8,191  | 8,652  | 9,120  | 9,593  |
| 5,809  | 6,297  | 6,791  | 7,296  | 7,807  | 8,323  | 8,846  | 9,374  | 9,909  | 10,450 | 10,997 |
| 6,547  | 7,092  | 7,650  | 8,220  | 8,799  | 9,389  | 9,985  | 10,587 | 11,194 | 11,807 | 12,427 |
| 7,314  | 7,914  | 8,533  | 9,168  | 9,816  | 10,476 | 11,145 | 11,820 | 12,498 | 13,178 | 13,863 |
| 8,113  | 8,768  | 9,446  | 10,141 | 10,857 | 11,583 | 12,321 | 13,064 | 13,806 | 14,544 | 15,278 |
| 8,946  | 9,654  | 10,386 | 11,141 | 11,916 | 12,705 | 13,502 | 14,302 | 15,095 | 15,878 | 16,649 |
| 9,810  | 10,568 | 11,352 | 12,158 | 12,986 | 13,829 | 14,676 | 15,518 | 16,350 | 17,165 | -9,970 |
| 10,696 | 11,504 | 12,334 | 13,187 | 14,057 | 14,941 | 15,824 | 16,698 | 17,556 | -9,970 | -9,970 |
| 11,603 | 12,457 | 13,331 | 14,220 | 15,122 | 16,031 | 16,936 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 |
| 12,523 | 13,420 | 14,327 | 15,243 | 16,165 | 17,090 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 |
| 13,448 | 14,378 | 15,312 | 16,248 | 17,183 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 |
| 14,371 | 15,325 | 16,279 | 17,230 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 |
| 15,280 | 16,256 | 17,224 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 |
| 16,170 | 17,166 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 |
| 17,044 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 |
| -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 |
| -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 | -9,970 |

Для сравнительной оценки на рис. 2, а приведено повторное изображение изоповерхности с инициированной ошибкой в базе данных. Топографическая ошибка аппроксимированной изоповерхности имитировалась с помощью ручной корректуры файла цифровых данных.

а)



б)

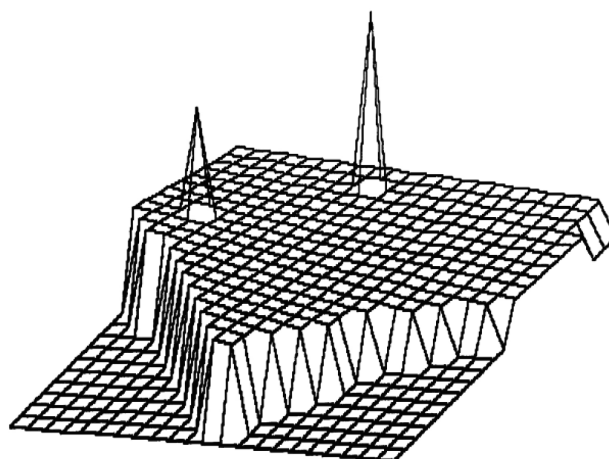


Рис. 2. Скриншот абстрактной сплайновой изоповерхности данных:  
а — с одной имитационной ошибкой; б — с двумя имитационными ошибками

На втором скриншоте наглядно прослеживается вейвлетовая флуктуация (рис. 2, а), возникающая вследствие нарушения гладкости восстановленной сплайновой изоповерхности. На рис. 2, б обнаруживаются сразу два шумовых всплеска при искусственной имитации двух промахов измерений. Третий скриншот (см. рис. 2, б) является демонстрацией результата компьютерной визуализации методом синтеза сплайновой гипотетической изоповерхности поля навигационных данных, кластерный фрагмент которых представлен в табл. 2, где две импровизированные ошибки выделены маркером серого цвета с целью однозначной идентификации.

Таблица 2

**Кластер гипотетической базы навигационных параметров  
с двумя имитационными ошибками**

|        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2,350  | 2,548  | 2,745  | 2,940  | 3,136  | 3,333  | 3,530  | 3,728  | 3,928  | 4,127  | 4,328  |
| 3,034  | 3,287  | 3,539  | 3,792  | 4,045  | 4,300  | 4,556  | 4,813  | 5,072  | 5,333  | 5,596  |
| 3,717  | 54,026 | 4,337  | 4,648  | 4,962  | 5,277  | 5,594  | 5,913  | 6,236  | 6,561  | 6,891  |
| 4,402  | 4,771  | 5,142  | 5,516  | 5,891  | 6,270  | 6,651  | 7,037  | 7,426  | 7,823  | 8,223  |
| 5,097  | 5,526  | 5,958  | 6,396  | 6,837  | 7,284  | 7,735  | 8,191  | 8,652  | 9,120  | 9,593  |
| 5,809  | 6,297  | 6,791  | 7,296  | 7,807  | 8,323  | 8,846  | 9,374  | 9,909  | 10,450 | 10,997 |
| 6,547  | 7,092  | 7,650  | 8,220  | 8,799  | 9,389  | 9,985  | 10,587 | 11,194 | 11,807 | 12,427 |
| 7,314  | 7,914  | 8,533  | 9,168  | 9,816  | 10,476 | 11,145 | 11,820 | 12,498 | 13,178 | 13,863 |
| 8,113  | 8,768  | 9,446  | 10,141 | 10,857 | 11,583 | 12,321 | 43,064 | 13,806 | 14,544 | 15,278 |
| 8,946  | 9,654  | 10,386 | 11,141 | 11,916 | 12,705 | 13,502 | 14,302 | 15,095 | 15,878 | 16,649 |
| 9,810  | 10,568 | 11,352 | 12,158 | 12,986 | 13,829 | 14,676 | 15,518 | 16,350 | 17,165 | −9,970 |
| 10,696 | 11,504 | 12,334 | 13,187 | 14,057 | 14,941 | 15,824 | 16,698 | 17,556 | −9,970 | −9,970 |
| 11,603 | 12,457 | 13,331 | 14,220 | 15,122 | 16,031 | 16,936 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 |
| 12,523 | 13,420 | 14,327 | 15,243 | 16,165 | 17,090 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 |
| 13,448 | 14,378 | 15,312 | 16,248 | 17,183 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 |
| 14,371 | 15,325 | 16,279 | 17,230 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 |
| 15,280 | 16,256 | 17,224 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 |
| 16,170 | 17,166 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 |
| 17,044 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 |
| −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 |
| −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 | −9,970 |

Визуально обнаруженные графические импровизации ошибок оперативно могут быть обнаружены и исправлены в файле числовых данных, так как примерный сегмент обнаружения ошибок в таблице навигационных параметров определяет геометрический образ. Прерогативу поиска



ошибок задает феномен изогеометрической флуктуации ошибочности на ракурсном скриншоте [17]. Решение о наличии ошибки в массиве данных принимается по факту возникновения виртуального всплеска на синтезированной сплайновой изоповерхности как геометрической визуализации цифрового множества.

Фактическое отсутствие всплесков на компьютерном дисплее гарантирует отсутствие ошибок в базе данных, и в этом случае нет необходимости проводить розыскные мероприятия. Обеспечивается сохранение в отдельных файлах каждого электронного клипа навигационной изоповерхности. Предусматривается интерактивный режим работы пользователя с паскаль-программой путем задания коэффициентов управления формой аппроксимированной изоповерхности и представления лучшего ракурса электронного изображения.

С целью реализации практической возможности манипулирования формой синтезируемой изоповерхности в программный модуль были введены следующие четыре коэффициента модификации визуализированной изоповерхности:

1. *Коэффициент вертикального масштабирования электронного изображения.* Для увеличения изображения коэффициент необходимо в обратной пропорции уменьшать. В противном случае минимизации коэффициент предлагается увеличивать. Допустимый диапазон значений коэффициента выявлен в тестовом исследовании от 0 до 1. Оптимальное значение данного коэффициента для большинства практических применений по данным экспериментов составляет 0,5. Коэффициент вертикального масштабирования в конкретном вычислительном эксперименте задан равным 0,9 (см. рис. 1 и 2).

2. *Коэффициент горизонтального масштабирования электронного изображения.* Для увеличения изображения коэффициент необходимо в обратной пропорции уменьшать. В противном случае минимизации коэффициент также предлагается увеличивать. Допустимый диапазон значений коэффициента выявлен в тестовом исследовании от 0 до 1. Оптимальное значение данного коэффициента для большинства практических применений, по данным экспериментов, составляет 0,5. Коэффициент горизонтального масштабирования в конкретном вычислительном эксперименте задан равным 0,9 (см. рис. 1 и 2).

3. *Геометрический фактор синтезированной изоповерхности.* Данный параметр позволяет осуществить дополнительную центровку компьютерного изображения в случае смещения окраинных участков изоповерхности за фактические размеры экрана. В такой ситуации возможно наблюдение фиктивного излома края изоповерхности. Интерактивное управление геометрическим фактором позволяет устранять графические дефекты путем уменьшения геометрических размеров изоповерхности, что фактически достигается увеличением данного параметра по числовому значению. Для увеличения масштаба компьютерного изображения коэффициент необходимо уменьшать. Оптимальное значение данного коэффициента для большинства практических применений, по данным экспериментов, составляет число в промежутке 50–90. Допустимый диапазон значений

коэффициента выявлен в тестовом исследовании от 0 до 130. Геометрический фактор в данном вычислительном эксперименте задан равным 80 (см. рис. 1 и 2).

На рис. 3 представлен ракурс электронной перспективы при значении геометрического фактора, равном предельному значению 150. Из анализа скриншота следует, что задавать коэффициент больше 130 нерационально, так как возникает неразличимость отдельных деталей сплайновой изоповерхности.

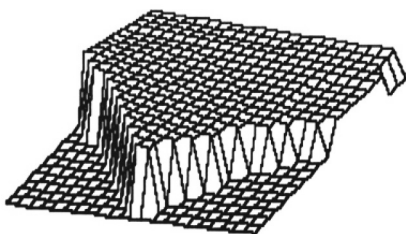


Рис. 3. Уменьшенная масштабированием копия абстрактной сплайновой изоповерхности точных измерительных данных

По физической сути, данный коэффициент выполняет функцию виртуального увеличительного стекла [18]. При задании масштабирования по геометрическому фактору у пользователя появляется дополнительная возможность приближения изоповерхности или рассмотрения компью-

терной перспективы на удалении. Варьирование масштабированием обеспечивает оптимальную детализацию визуализации данных навигационных измерений в 3D-формате.

4. *Нормированный коэффициент варьирования неоднородностью измерительных данных.* В случае наличия резкой неоднородности цифрового массива и, соответственно, проявления демонстрационного ступенчатого излома изоповерхности предусмотрен параметр манипулирования размером виртуальной ступени визуализированной числовой матрицы в виде нормированного коэффициента.

На базовом скриншоте (см. рис. 1) нормированный коэффициент задавался равным единице. Для сравнительной оценки выполнена визуализация изоповерхности при варьировании данного коэффициента в большую и меньшую стороны. На рис. 4, а представлена модификация базового скриншота при задании нормированного коэффициента, равным значению 400, с искусственно увеличенной степенью излома неоднородности данных.

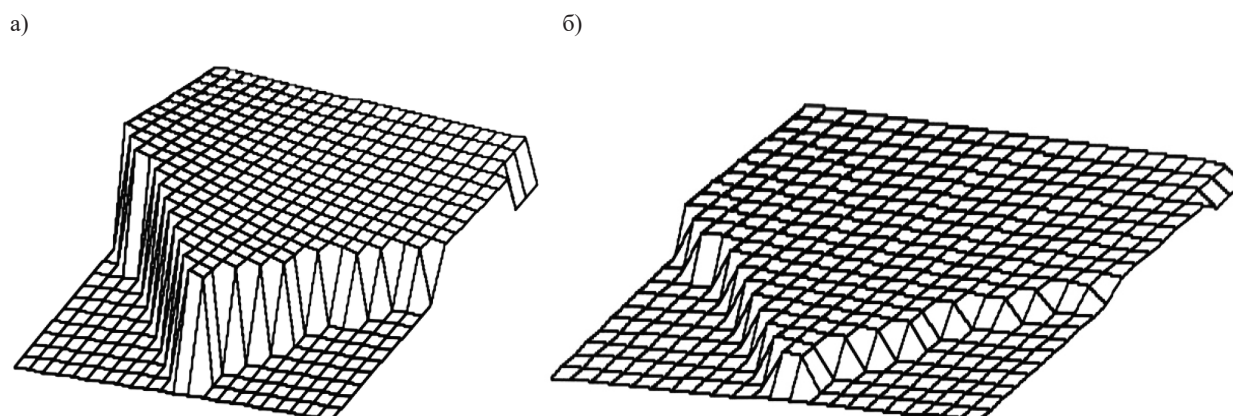


Рис. 4. Модификация базового скриншота абстрактной сплайновой изоповерхности точных измерительных данных:  
а — при увеличении нормированного коэффициента;  
б — при уменьшении нормированного коэффициента

На рис. 4, б представлена модификация базового скриншота при задании нормированного коэффициента, равным 0,4, с искусственно уменьшенной степенью излома неоднородности данных. Варьирование нормированным коэффициентом помогает дополнительному анализу измерительных данных с целью отличия неоднородности цифровых значений от их ошибочности. При изменении нормированного коэффициента с синхронным изменением ступенчатой геометрии изоповерхности масштабируется целая группа соответствующих значений чисел в базе данных в отличие от единичной фатальности допущенной ошибки.

Числовые значения всех четырех коэффициентов в проведенном эксперименте выбраны на основе эмпирического анализа. Выполнена программная реализация ускоренного перехода к каждому последующему ракурсу изображения, мгновенная фиксация фрагмента воспроизведения электронной перспективы и продолжение компьютерной прорисовки восстанавливаемой изоповерхности. Быстрый переход к следующему ракурсу компьютерного изображения выполняется при нажатии запрограммированной горячей клавиши. Фиксация фрагмента изображения осуществляется при использовании клавиши пробела. Продолжение визуализации изоповерхности выполняется одним кликом. Для выхода из программной оболочки среды турбо паскаля традиционно используется ESC. Каждый ракурс реализованного изображения сохраняется на дисплее до момента активизации клавиатуры.

Галерея скриншотов (см. рис. 1–4) является подтверждением актуальности и практической применимости предлагаемого метода синтезирования сплайновой изоповерхности для поиска ошибок в базе навигационных данных с возможностью дополнительного манипулирования каждым электронным ракурсом. Сопоставимый результат в современных научных публикациях отсутствует.

### Обсуждение (Discussion)

В настоящем исследовании рассмотрена проблема поиска ошибок методом визуализации синтезированной изоповерхности как геометрического образа поля навигационных параметров. С целью оперативного выявления проблематики базы данных на основе средств прогрессивной математики необходимо конкретное понимание сущности атрибута ошибки. Только в этом случае возможно формирование правильного представления о том, какие розыскные мероприятия стратегически предлагается производить в оцифрованной базе данных.

В рамках разработанной сплайновой методики предполагается организовать поиск так называемой *полной ошибки*, согласно исследованиям д-ра техн. наук В. Т. Кондрашихина, в смысле совместного учета действия систематической и случайной ошибок [19]. Концептуализация *полной ошибки* логически оправдана как взаимообусловленность явлений реального мира в соотношении между случайным и необходимым, в отличие от классической классификации погрешностей навигационных измерений с фиксированным разделением на *случайность* и *систематичность*, для выявления которых традиционно применяются различные математические методы при обработке навигационной информации.

Полная ошибка гарантированно будет обнаружена в виде вейвлетовой флуктуации как объединенного сочетания систематики и случайности при компьютерной визуализации навигационной изоповерхности за счет нарушения сплайновой «гладкости»  $C^2$  каждой синтезированной изолинии как частного случая изоповерхности ввиду нарушения условий «склейки» при конструировании кубических многозвенников [20].

Авторская идея заключается в представлении базы цифровых данных в виде визуализированной компьютерной модели с реализацией возможности выявления *неформализованного признака* между навигационными параметрами и синтезированного на их матричной основе объемного геометрического образа [21]. Данный подход позволяет получить компромиссное решение при невозможности формулирования формальных критериев *нечеткого поиска* ошибочности [22], [23].

### Выводы (Summary)

На основе выполненного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Разработанный изометрический поиск ошибок в базе многопараметрических данных позволяет существенно упростить анализ результатов эксперимента и обеспечить достоверность использования цифровой информации для любых практических приложений.
2. Достигнуто свойство унифицированности сплайнового алгоритма за счет его многократного использования при реализованной программной возможности синтезировать любые изоповерхности при подключении в расчетный цикл различных исходных цифровых файлов данных.
3. Гарантируется обнаружение *полной ошибки* в виде графического всплеска при компьютерной визуализации навигационной изоповерхности.
4. Форма синтезируемой изоповерхности эффективно модифицируется с помощью четырех управляющих коэффициентов для наглядного представления результатов эксперимента.
5. Предусмотрена обратная связь путем задания пользователем в интерактивном режиме управляющих коэффициентов манипулирования сплайновой изоповерхностью для получения максимальной наглядности 3D-графики.
6. Дана экспертная апостериорная оценка точности любой базы данных навигационных параметров.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Palominos F. E. Improve efficiency in multidimensional database queries through the use of additives aggregation functions / F. E. Palominos, C. Duran, F. M. Cordova // Procedia Computer Science. — 2019. — Vol. 162. — Pp. 754–761. DOI: 10.1016/j.procs.2019.12.047.
2. Davis A. L. Modern Programming Made Easy: Using Java, Scala, Groovy, and JavaScript / A. L. Davis. — Second edition. — Berkeley: Apress, 2020. — 193 p. DOI: 10.1007/978-1-4842-5569-8.



3. *Sciore E.* Database Design and Implementation / E. Sciore. — Second Edition. — Cham: Springer International Publishing, 2020. — 458 p. DOI: 10.1007/978-3-030-33836-7.
4. *Романова И. К.* Сравнительный анализ и модификации методов визуализации в параметрических исследованиях систем управления / И.К. Романова // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н. Э. Баумана. — 2017. — № 1. — С. 50–76. DOI: 10.7463/0117.0000926.
5. *Dawson C.* A-Z of Digital Research Methods / C. Dawson. — London: Routledge, 2019. — 414 p. DOI: 10.4324/9781351044677.
6. *Dahiya N.* Efficient Materialized View Selection for Multi-Dimensional Data Cube Models / N. Dahiya, V. Bhatnagar, M. Singh // International Journal of Information Retrieval Research. — 2016. — Vol. 6. — Is. 3. — Pp. 52–74. DOI: 10.4018/IJIRR.2016070104.
7. *Bylysheva L.* A new approach for image database design / L. Bylysheva, J. Jones, Z. Bi // Information Technology and Management. — 2017. — Vol. 18. — Pp. 97–105. DOI: 10.1007/s10799-015-0224-6.
8. *Unwin A.* Why is Data Visualization important? What is Important in Data Visualization? / A. Unwin // Harvard Data Science Review. — 2020. — Vol. 2. — № 1. — Pp. 1–7. DOI: 10.1162/99608f92.8ae4d525.
9. *Ююкин И. В.* Аппроксимация геоида методами сплайн-функций / И. В. Ююкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 2. — С. 262–271. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-262-271.
10. *Песков Ю. А.* Морская навигация с ГЛОНАСС/GPS / Ю. А. Песков. — М.: Моркнига, 2010. — 148 с.
11. *Ююкин И. В.* Оптимизация моделирования навигационной изоповерхности методами базисных финитных сплайнов / И. В. Ююкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 2. — С. 266–274. DOI: 10.21821/2309-5180- 2019-11-2-266-274.
12. *Ююкин И. В.* Интерполяция навигационной функции сплайном лагранжева типа / И. В. Ююкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 1. — С. 57–70. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-1-57-70.
13. *Ююкин И. В.* Модификация метода наименьших квадратов для сплайн-аппроксимации навигационной изоповерхности / И. В. Ююкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 4. — С. 631–639. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-631-639.
14. *Johansson J.* Evaluation of Parallel Coordinates: Overview, Categorization and Guidelines for Future Research / J. Johansson, C. Forsell // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. — 2015. — Vol. 22. — Is. 1. — Pp. 579–588. DOI: 10.1109/TVSG.2015.2466992.
15. *Raidou R. G.* Orientation-Enhanced Parallel Coordinate Plots / R.G. Raidou, M. Eisemann, M. Breeuwer, E. Eisemann, A. Vilanova // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. — 2015. — Vol. 22. — Is. 1. — Pp. 589–598. DOI: 10.1109/TVSG.2015.2467872.
16. *Tuor R.* Parallel Bubbles - Evaluation of Three Techniques for Representing Mixed Categorical and Continuous Data in Parallel Coordinates / R. Tuor, F. Evequoz, D. Lalanne // Proceedings of the 13th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications. — Portugal, 2018. — Vol. 2. — Pp. 252–263. DOI: 10.5220/0006615602520263.
17. *Isayeva E. A.* The role of fluctuations in artificial intelligence from Zadeh's fuzzy sets point of view / E.A. Isayeva // IFAC-PapersOnLine. — 2018. — Vol. 51. — Is. 30. — Pp. 812–815. DOI: 10.1016/j.ifacal.2018.11.189.
18. *Chang R.* Usability Guidelines for an Online Image Database / R. Chang, D.F. Bliss II, A.R. Altemus // Journal of Biocommunication. — 2019. — Vol. 43. — № 1. — Pp. 14–23. DOI: 10.5210/jbc.v43i1.7874.
19. *Кондрашихин В. Т.* Теория ошибок и ее применение к задачам судовождения. — М.: Транспорт, 1969. — 256 с.
20. *Ююкин И. В.* Сплайн-интерполяция навигационных изолиний / И. В. Ююкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2019. — Т. 11. — № 6. — С. 1026–1036. DOI: 10.21821/2309-5180- 2019-11-6-1026-1036.
21. *Yager R. R.* Decision-making with measure modeled uncertain payoffs and multiple goals / R.R. Yager // Granular Computing. — 2020. — Vol. 5. — Pp. 149–154. DOI: 10.1007/s41066-019-00203-4.
22. *Gorban A. N.* Piece-wise quadratic approximations of arbitrary error functions for fast and robust machine learning / A. N. Gorban, E. M. Mirkes, A. Zinovyev // Neural Networks. — 2016. — Vol. 84. — Pp. 28–38. DOI: 10.1016/j.neunet.2016.08.007.
23. *Hand D.* What is the Purpose of Statistical Modeling? / D. Hand // Harvard Data Science Review. — 2019. — Vol. 1. — Is. 1. — Pp. 1–6. DOI: 10.1162/99608f92.4a85af74.

## REFERENCES

1. Palominos, Fredi E., Claudia Duran, and Felisa M. Cordova. "Improve efficiency in multidimensional database queries through the use of additives aggregation functions." *Procedia Computer Science* 162 (2019): 754–761. DOI: 10.1016/j.procs.2019.12.047.
2. Davis, Adam L. *Modern Programming Made Easy: Using Java, Scala, Groovy, and JavaScript*. Second ed. Berkeley: Apress, 2020. DOI: 10.1007/978-1-4842-5569-8.
3. Sciore, Edward. *Database Design and Implementation*. Cham: Springer International Publishing, 2020. DOI: 10.1007/978-3-030-33836-7.
4. Romanova, Irina K. "Comparative Analysis and Modification of Imaging Techniques in the Parametric Studies of Control Systems." *Science and Education of the Bauman MSTU* 1 (2017): 50–76. DOI: 10.7463/0117.0000926.
5. Dawson, Catherine. *A-Z of Digital Research Methods*. London: Routledge, 2019. DOI: 10.4324/9781351044677.
6. Dahiya, Naveen, Bhatnagar Vishal, and Singh Manjeet. "Efficient Materialized View Selection for Multi-Dimensional Data Cube Models." *International Journal of Information Retrieval Research* 6.3 (2016): 52–74. DOI: 10.4018/IJIRR.2016070104.
7. Bylysheva, Larisa, Jeffery Jones, and Zhuming Bi. "A new approach for image database design." *Information Technology and Management* 18 (2017): 97–105. DOI: 10.1007/s10799-015-0224-6.
8. Unwin, Anthony. "Why is Data Visualization important? What is Important in Data Visualization?." *Harvard Data Science Review* 2.1 (2020): 1–7. DOI: 10.1162/99608f92.8ae4d525.
9. Yuyukin, Igor V. "Geoid approximation by methods of spline functions." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.2 (2020): 262–271. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-2-262-271.
10. Peskov, Yuriy A. *Morskaya navigatsiya s GLONASS/GPS*. M.: Morkniga, 2010.
11. Yuyukin, Igor V. "Optimization of navigational isosurface simulation by the methods of basic finite splines." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 11.2 (2019): 266–274. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-2-266-274.
12. Yuyukin, Igor V. "Interpolation of navigational function by lagrange type spline." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 12.1 (2020): 57–70. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-1-57-70.
13. Yuyukin, Igor V. "Modification of the least squares method for spline approximation of navigational isosurface." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 11.4 (2019): 631–639. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-4-631-639.
14. Johansson, Jimmy, and Camilla Forsell. "Evaluation of Parallel Coordinates: Overview, Categorization and Guidelines for Future Research." *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 22.1 (2015): 579–588. DOI: 10.1109/TVSG.2015.2466992.
15. Raidou, Renata G., Martin Eisemann, Marcel Breeuwer, Elmar Eisemann, and Anna Vilanova. "Orientation-Enhanced Parallel Coordinate Plots." *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics* 22.1 (2015): 589–598. DOI: 10.1109/TVSG.2015.2467872.
16. Tuor, Raphael, Florian Evequoz, and Denis Lalanne. "Parallel Bubbles - Evaluation of Three Techniques for Representing Mixed Categorical and Continuous Data in Parallel Coordinates." *Proceedings of the 13th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications*. Vol. 2. Portugal, 2018. 252–263. DOI: 10.5220/0006615602520263.
17. Isayeva, Elmira A. "The role of fluctuations in artificial intelligence from Zadeh's fuzzy sets point of view." *IFAC-PapersOnLine* 51.30 (2018): 812–815. DOI: 10.1016/j.ifacal.2018.11.189.
18. Chang, Ruth, Donald F. Bliss II, and Anne R. Altemus. "Usability Guidelines for an Online Image Database." *Journal of Biocommunication* 43.1 (2019): 14–23. DOI: 10.5210/jbc.v43i1.7874.
19. Kondrashihin, Vladimir T. *Teoriya oshibok i eye primeneniye k zadacham sudovozhdeniya*. M.: Transport, 1969.
20. Yuyukin, Igor V. "Spline interpolation of navigational isolines." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 11.6 (2019): 1026–1036. DOI: 10.21821/2309-5180-2019-11-6-1026-1036.
21. Yager, Ronald R. "Decision-making with measure modeled uncertain payoffs and multiple goals." *Granular Computing* 5 (2020): 149–154. DOI: 10.1007/s41066-019-00203-4.

22. Gorban, Alexander N., Eugenij Moiseevich Mirkes, and A. Zinovyev. "Piece-wise quadratic approximations of arbitrary error functions for fast and robust machine learning." *Neural Networks* 84 (2016): 28–38. DOI: 10.1016/j.neunet.2016.08.007.

23. Hand, David. "What is the Purpose of Statistical Modeling?" *Harvard Data Science Review* 1.1 (2019): 1–6. DOI: 10.1162/99608f92.4a85af74.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

**Ююкин Игорь Викторович —**

кандидат технических наук, доцент

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала

С. О. Макарова»

198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,

ул. Двинская, 5/7

e-mail: *enigma\_777@mail.ru*, *kaf\_nav@gumrf.ru*

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

**Yuyukin, Igor V. —**

PhD, associate professor

Admiral Makarov State University of Maritime

and Inland Shipping

5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg, 198035,

Russian Federation

e-mail: *enigma\_777@mail.ru*, *kaf\_nav@gumrf.ru*

*Статья поступила в редакцию 7 апреля 2020 г.*

*Received: April 7, 2020.*