ГЕОИНФОРМАТИКА

УДК [528.8:691.396.396]:627.7(282.256.17) doi: 10.33933/2713-3001-2021-63-297-310

Повышение точности геолокации объектов арктической навигационной активности методом прогнозной аналитики результатов многократных радиолокационных наблюдений

С.И. Биденко[1], И.С. Храмов[2], Д.И. Якушев[3], Е.Л. Бородин[4], С.Г. Черный[5], А.Б. Васильев[1]

[1] ПАО «Интелтех», Санкт-Петербург, sibidenko@mail.ru
[2] ГКУ Тверской области «Центр информационных технологий», Тверь, igorhramov@yahoo.com
[3] ФКОУ ВО «Санкт-Петербургский университет МВД России», d.i.ya@yandex.ru
[4] ФГБОУ ВО «Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова», Новороссийск, elb999@mail.ru
[5] ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технический университет», Керчь, sergiiblack@gmail.com

В статье рассматривается применение метода прогнозной (предикативной) аналитики на основе статистических методов к результатам многократных наблюдений как частного случая больших данных. Также приводится практическое приложение предлагаемой методики для повышения точности результатов геолокации на примере задачи координирования навигационного обеспечения с заданными точностью и вероятностью в Обской губе и специальном морском канале в случае применения различных радиолокационных отражателей (активных и пассивных). Дополнительно проводится расширенный анализ, позволяющий вычислить оптимальное количество измерений, необходимых для обеспечения заданной точности в случае получения сигналов с двух радиоотражателей и в случае четырех радиоотражателей.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, прогнозная аналитика, многократные измерения, случайные величины, навигационное обеспечение, систематические ошибки, Обская губа.

Improving the accuracy of geolocation of objects of arctic navigation activity by predictive analytics of the results of multiple radar observations

S.I. Bidenko[1], I.S. Khramov[2], D.I. Yakushev[3], E.L. Borodin[4], S.G. Cherny[5], A.B. Vasilev[1]

[1] PAO “Inteltech”, Saint-Petersburg, Russia
[2] State Institution of the Tver Region “Center of Information Technologies”, Tver, Russia
[3] FKOU VO “Saint-Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs of Russia”, Saint-Petersburg, Russia
[4] FGBOU VO “State Maritime University named after Adm. F.F. Ushakov”, Novorossiysk, Russia
[5] FGBOU VO «Kerch State Marine Technical University», Kerch, Russia

Using the example of the problem of coordinate support of navigation in the area of the Sea Channel of the Gulf of Ob, the article analyzes the features, parameters and characteristics of spatial information processed and taken into account when ensuring safe navigation in the regions of the Arctic zone of the Russian Federation with complex physical, geographical and infrastructural geographical conditions. These include low temperatures, shallow depths and the complexity of the bottom topography, strong winds and currents, the presence of mobile ice fields, great distance from energy and life support systems, difficulties in placing navigation equipment, and interference with radio systems. Alternative satellite methods of active and passive radar are proposed for the AZ of the Russian Federation. Techniques and methods of ground-based (not space-based) navigation are developed and studied to form adequate geoinformation models of the situation in the interests of Arctic navigation. To improve the accuracy of the coordinate component of the geodata of the territorial situation, the application of the method of predictive (predicative) analytics based on statistical methods to the results of multiple observations as a special case of big data is proposed and considered. The features and restrictions of the application of the method in the conditions of radar sensing of significantly remote objects are determined. Practical applications of the proposed methodology for improving the accuracy of geolocation results are developed on the example of the problem of coordinate support of navigation with a given accuracy and probability in the Ob Bay and a special sea channel in the case of using various radar reflectors (active and passive). In addition, an extended analysis is performed to determine the optimal number of measurements required to ensure a given accuracy in the case of receiving signals from two radar reflectors, as well as in the case of four reflectors.

Keywords: remote sensing, multiple measurements of a random variable, navigation support, the Ob Bay.

For citation: *S.I. Bidenko, I.S. Khramov, D.I. Yakushev, E.L. Borodin, S.G. Cherny, A.B. Vasilev.* Improving the accuracy of geolocation of objects of arctic navigation activity by predictive analytics of the results of multiple radar observations. *Gidrometeorologiya i Ekologiya.* Journal of Hydrometeorology and Ecology (Proceedings of the Russian State Hydrometeorological University). 2021. 63: 297—310. [In Russian]. doi: 10.33933/2713-3001-2021-63-297-310

Введение

Важным предназначением современных ГИС является геоинформационная поддержка функционирования территориальных объектов и систем [1]. Она включает широкий круг задач по получению (добыванию), преобразованию, хранению, отображению и анализу пространственной информации [2].

Для подвижных территориальных объектов (транспорт — воздушный, водный, наземный; исследовательские и добывающие суда, метеорологические явления) требуется в больших объемах координатная информация соответствующего качества [3]. Это такой показатель геоданных как точность определения пространственного положения и перемещения соответствующих гео-объектов [4].

Требования к точности геопространственных измерений многократно возрастают при переходе водного транспорта к безэкипажному (малоэкипажному) судовождению [5].

Суда-автоматы могут быть разных размеров и обладать разнообразным набором операционных возможностей, которые предъявляют жесткие требования к системам управления судном. Одной из технологий, широко используемых в безэкипажном судовождении, являются искусственные нейронные сети [4]. Однако ключевую роль в работе любых геоинформационных систем играют входные данные. При этом, несмотря на значительные успехи в области разработки и применения навигационных методов, проблемы достижения высокоточных

результатов позиционирования объектов остаются актуальными [6]. Отсутствует единый механизм, позволяющий в различных условиях применения получить требуемый результат.

С развитием космических технологий широкое распространение получили навигационные методы на основе спутниковой информации [7, 8]. Однако, стать единоличным технологическим представителем в области навигации спутниковым системам, на данный момент, не удалось [5]. Это связано, прежде всего, с рядом недостатков, характерных при использовании спутниковой навигации, таких как:

— сложность достижения высокой эксплуатационной готовности обслуживания;

— чувствительность к умышленным, промышленным и атмосферным помехам;

— блокировка сигнала при затенении антенны;

— недостаточная точность измерений.

Альтернативой спутниковой навигации в области морского судоходства может стать наземная радиолокация, применяющая современные математические механизмы, позволяющие снизить погрешность измерения.

Для повышения точности навигационных методов эффективным средством являются многократные измерения. Однако, такие методы порождают большие массивы обрабатываемых данных, что предполагает использование для их обработки специализированных методик, например, прогнозной аналитики. В ее основе лежат статистические методы, методы интеллектуального анализа и теории игр.

Цель работы — исследование возможности применения наземной радиолокации при судоходстве в районе Обской губы с использованием многократных измерений, результаты которых обрабатываются с помощью прогнозной аналитики для достижения заданной точности геолокации.

Также работа направлена на преодоление основного недостатка метода прогнозной аналитики — слабого учета качественных сдвигов математического ожидания результатов наблюдения ввиду их полного отсутствия.

Термины и определения

Погрешности измерений [9] классифицируются как систематические и случайные. В процессе измерений систематические и случайные погрешности проявляются совместно и образуют случайный процесс.

Ошибки измерений разделяются на грубые, систематические и случайные.

Многократное измерение — измерение физической величины одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, т. е. состоящее из ряда однократных измерений.

Грубые ошибки — результат грубого просчета оператора или следствие возникшей в аппаратуре неисправности. Такие погрешности значительно больше остальных ошибок в данном ряду измерений, и поэтому они легко выявляются еще на этапе обнаружения целей.

Систематические ошибки вызываются длительно действующими факторами, например, задержкой сигнала в радиолокационных станциях (РЛС) или несовершенством метода измерений. Такие ошибки в той или иной мере компенсируются калибровкой аппаратуры.

Случайные ошибки зависят от случайных обстоятельств, которые не поддаются предварительному учету, поэтому появление их не поддается прогнозированию. Их наиболее сложно компенсировать, и борьба с ними возможна увеличением количества измерений.

Прогнозная аналитика — класс методов анализа данных, концентрирующийся на прогнозировании поведения объектов и субъектов с целью принятия оптимальных решений. В основе прогнозной аналитики лежат статистические методы, методы интеллектуального анализа данных, теории игр. Анализируются текущие и исторические факты для составления предсказаний о будущих событиях.

Применяемый математический аппарат

Воспользуемся аппаратом предиктивной аналитики, в частности — статистическим анализом [10, 11, 12]. Случайные ошибки измерений, возникают под действием независимых и незначительных по своему действию факторов, вероятность появления каждого из которых подчиняется нормальному закону распределения:

$$p(x) = \frac{1}{\left(\sigma\sqrt{2\pi}\right)} e^{\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}. \qquad (1)$$

где $p(x)$ — плотность вероятности появления случайной величины x; σ^2 — дисперсия случайной величины x; σ — среднеквадратическое отклонение, равное корню квадратному из дисперсии; e — основание натурального логарифма; μ — математическое ожидание случайной величины x.

На основе закона нормального распределения случайных величин, применяя многократные измерения одних и тех же величин, не меняя измерительных средств, возможно уменьшить влияние случайных ошибок, т. к. они усредняются, и в итоге повышается точность результата измерения.

Если условия измерений неизменны, то появление каждого значения случайной ошибки x равновероятно. Поэтому кривая распределения $p(x)$ (плотность распределений вероятностей) симметрична относительно оси ординат и среднее значение математического ожидания равно 0, т. е. центр распределения случайных ошибок равен нулю.

Из формулы (1) следует, что качество измерений повышается при уменьшении σ^2 (дисперсии) ошибок, поскольку понижается вероятность появления больших случайных ошибок.

Кроме того, дисперсия суммы случайных величин равна сумме дисперсий слагаемых, что справедливо не только для нормального закона распределения. Например, пусть в неизменных условиях произведено n независимых измерений какого-либо параметра. Тогда случайные ошибки каждого измерения имеют

одинаковую дисперсию, которую обозначим q^2, а дисперсия суммы ошибок в n раз больше $\sigma^2 = nq^2$. Среднеквадратическое значение этой суммы:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} = \sqrt{n}q.$$

Но результат n измерений определяется как среднеарифметическое результатов отдельных измерений, поэтому среднеквадратическая ошибка:

$$\frac{\sigma}{n} = \frac{\sqrt{n}q}{n} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

т. е. с увеличением числа n опытов некоторой величины, произведенных в неизменных условиях, среднеквадратическая ошибка уменьшается в $\sqrt{n}$ раз, так как рассеяние случайных ошибок сказывается все меньше и меньше.

Далее рассмотрено применение формул на практической задаче. Необходимо обеспечить точность координирования навигационного обеспечения до 5 м с вероятностью 0,95 в Обской губе и специальном морском канале, в частности. Проводится оценка количества измерений для достижения необходимого уровня точности.

Предлагаемое решение на примере георегиона Обской губы

Для решения задачи используется система активных РЛ-отражателей, состоящей из развернутых по обе стороны Обской губы 12 наземных радиомаяков (НРМ), составляющих автономную радионавигационную систему (АРНАС) (рис. 1) [13, 14]. Каждый НРМ должен быть размещен на вышке (опоре), высотой

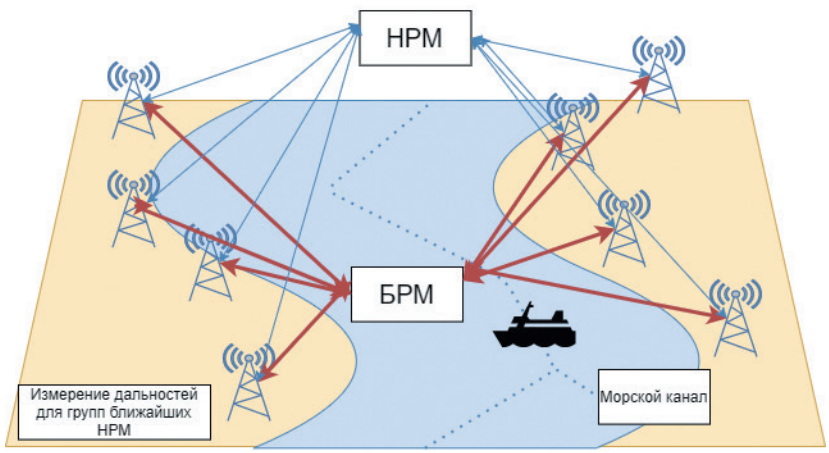

Рис. 1. Навигационная геоситуация — решение задачи геолокации в акватории Обской губы с использованием расположенных на побережье радиолокационных маяков.

Fig. 1. Navigation geosituation — solving the problem of geolocation in the waters of the Gulf of Ob using radar beacons located on the coast.

около 80 м и обеспечить системой энергопитания на базе электрохимического генератора на водородных топливных элементах (далее — Система). В связи с режимом использования «запрос—ответ» и низким энергопотреблением НРМ периодичность технического обслуживания оценивается авторами от 3 до 6 месяцев.

Непосредственно на судне предполагается использование бортового радиомодуля (БРМ), мобильной антенны, вычислителя и устройства сопряжения с бортовой системой судна для выдачи навигационной информации в электронную картографическую навигационно-информационную систему (ЭКНИС) или интегральную мостиковую систему.

Принцип работы Системы основан на одновременном измерении дальности от БРМ до нескольких НРМ, образующих искусственное навигационное поле с известной геометрической конфигурацией. Радионавигационным параметром в данном случае является дистанция, точность измерения которой с помощью современных РЛС в ручном режиме составляет 0,8—1,5 % от дистанции, что для дальности 50 км составит минимум 400 м. На судах рассматриваемого типа применяются комплексы «Transas 4000» и радарные системы «Simrad» с длиной антенны 2,28 м, которые имеют наилучшие характеристики пеленгования точечных ориентиров по направлению до 1 градуса, что на тех же 50 км обеспечат точность параметра в 870 м [6, 15].

Даже если предположить, что БРМ в совокупности с вычислителем на базе мобильной антенны выполняет операцию определения дистанции в два раза точнее, а решение задачи определения местоположения можно дополнить данными пеленгования НРМ, то даже на дистанциях в 10 км радиальная точность определения места по одиночному измерению точечного объекта составит 95 м [12, 16]. Обозначим через M_{OI} погрешность пеленга в метрах:

$$M_{OI} = \sqrt{\partial_{\text{Д}}^2 + \sigma_{\text{П}}^2} = \sqrt{80^2 + 174^2} = 191 \text{ м}. \quad (3)$$

Подставляя выражение (2) в формулу (3) для увеличения числа измерений, получаем:

$$M_{OI} = \sqrt{\frac{\sigma_{\text{Д}}^2}{\sqrt{n}} + \frac{\sigma_{\text{П}}^2}{\sqrt{n}}}.$$

Проведем вычисления для различных наборов данных.

Предположим $n = 100$. Тогда формула примет вид:

$$M_{OI} = \sqrt{\frac{80^2}{\sqrt{100}} + \frac{174^2}{\sqrt{100}}} = 61 \text{ м}.$$

Предположим $n = 6400$. Тогда формула примет вид:

$$M_{OI} = \sqrt{\frac{80^2}{\sqrt{6400}} + \frac{174^2}{\sqrt{6400}}} = 21 \text{ м}.$$

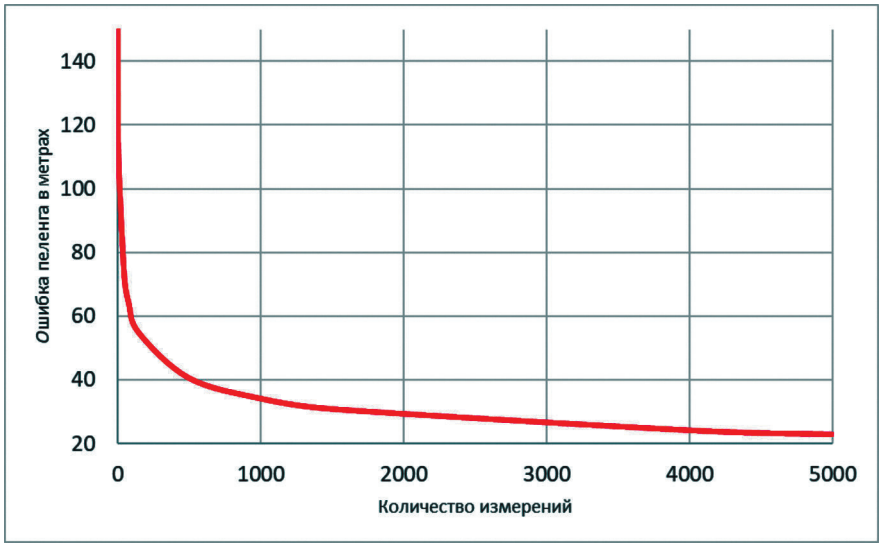

Рис. 2. Зависимость погрешности пеленга в метрах
от количества проведенных измерений для функции (3) в случае двух объектов.

Fig. 2. The dependence of the error of the bearing in metres by the number
of measurements for the function (3) in the case of two objects.

Предположим $n = 10000$. Тогда формула примет вид:

$$M_{OI} = \sqrt{\frac{80^2}{\sqrt{10000}} + \frac{174^2}{\sqrt{10000}}} = 21 \text{ м.}$$

Рассмотрим график M_{OI} как функцию, зависящую от n:

$$M_{OI} = \sqrt{\frac{\sigma_Д^2}{\sqrt{n}} + \frac{\sigma_П^2}{\sqrt{n}}}.$$

На рис. 2 приведена зависимость погрешности пеленга в метрах (ось OY) от количества проведенных измерений (ось OX). Из графика видно, что при сохранении описанных выше условий увеличения числа экспериментов недостаточно для выполнения заданных условий [6, 13].

Рассмотрим решение задачи по четырем объектам с идеальной конфигурацией (углы между пеленгами на объекты равны 90 градусов). Получим следующую формулу:

$$M_{ср} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i}^{n} \frac{1}{\sigma_i^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{4}{80^2} + \frac{4}{174^2}}}. \quad (4)$$

Подстановка выражения (2) даст нам следующую функцию:

$$M_{ср} = \frac{1}{\sqrt{\sum_{i}^{n} \frac{\sqrt{n}}{\sigma_i^2}}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{4\sqrt{n}}{70^2} + \frac{4\sqrt{n}}{174^2}}}. \quad (5)$$

На рис. 3 приведен график зависимости, аналогичный рис. 2, но для четырех объектов.

Как видно из полученного графика, требуемая погрешность в данной ситуации достигается при 2475 экспериментах.

Альтернативным вариантом является использование пассивных радиолокационных отражателей. Данное решение подобно предыдущему, но не требует сетевого или автономного энергоснабжения маяков-ответчиков, телекоммуникационной системы, связывающей маяки. Число вышек может быть увеличено в том числе за счет установки конструкций в мелководной части акватории Обской губы, а уровень затрат на обслуживание значительно снижен [9, 12, 13].

Все предыдущие рассуждения о точности справедливы и в данном случае, но использование вышек на акватории Обской губы позволяет не только сгустить сеть ответчиков, но и уменьшить высоту конструкций, а, следовательно,

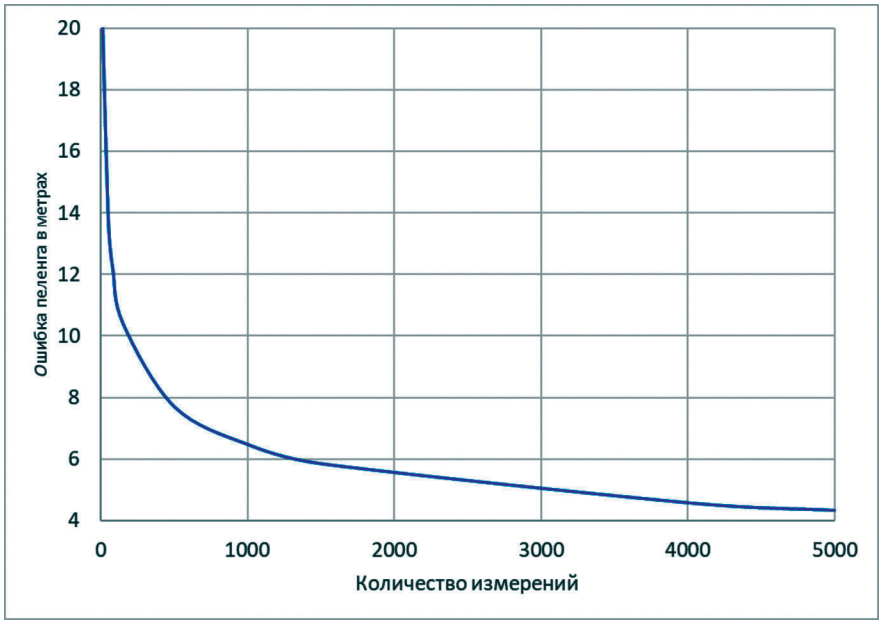

Рис. 3. Зависимость погрешности пеленга в метрах
от количества проведенных измерений для функции (3) в случае 4 объектов.

Fig. 3. The dependence of the error of the bearing in metres by the number
of measurements for the function (3) in the case of 4 objects.

и удельную финансовую емкость проекта и увеличить точность вычислений при использовании многократных измерений.

Математический аппарат в случае с пассивными отражателями будет аналогичен предыдущему случаю [13, 14].

Применим формулу (3) для предложенных условий, понизив высоту вышки до 70 м, получим следующие результаты:

$$M_{OI} = \sqrt{\partial_{\text{Д}}^2 + \sigma_{\text{П}}^2} = \sqrt{70^2 + 174^2} = 187 \text{ м}.$$

Теперь применим формулу (2) к полученному результату и положим $n = 100$:

$$M_{OI} = \sqrt{\frac{70^2}{\sqrt{100}} + \frac{174^2}{\sqrt{100}}} = 59 \text{ м}.$$

Рассмотрим график соответствующей M_{OI} как зависящей от n функции:

$$M_{OI} = \sqrt{\frac{\sigma_{\text{Д}}^2}{\sqrt{n}} + \frac{\sigma_{\text{П}}^2}{\sqrt{n}}}.$$

Продолжая полученный график (рис. 4), можно увидеть, что необходимая нам точность достигается приблизительно при 1500000 измерениях, что не является хорошим результатом.

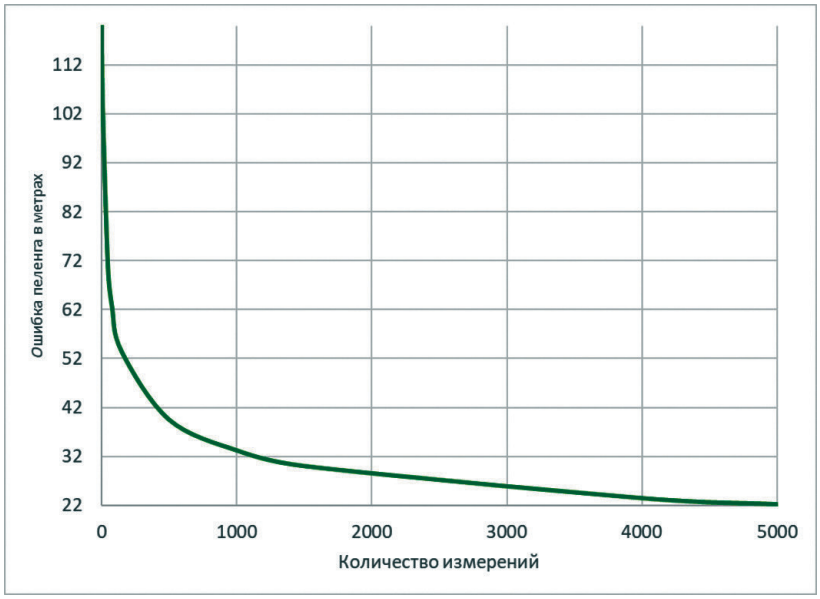

Рис. 4. Зависимость погрешности пеленга в метрах
от количества проведенных измерений для функции (3)
в случае понижения высоты вышек для двух объектов.

Fig. 4. The dependence of the error of the bearing in metres by the number of measurements for the function (3) in the case of lowering the height of the towers of two objects.

Зафиксируем число измерений n = 10000, а $\sigma_д^2$ выберем в качестве переменной. Полученный график (рис. 5) отклоняется по оси OY со скоростью не более 0,1 м на каждые 10 м увеличения высоты вышки, что позволяет сделать вывод о том, что существенных изменений в точности изменение размеров вышек само по себе в идеальных условиях не несет.

Аналогично предыдущим условиям, рассмотрим решение задачи по четырем объектам с идеальной конфигурацией (углы между пеленгами на объекты равны 90 градусов). Воспользуемся формулами (4) и (5), аналогично предыдущему случаю.

По графику (рис. 6) видно, что требуемой точности измерения достигают при 1792 измерениях, что позволяет сделать вывод об оптимальности предлагаемого решения.

Таким образом, применяя метод многократных измерений с их последующей обработкой, получаем требуемые значения точности координирования навигационного обеспечения, не усложняя при этом навигационного оборудования, что позволяет существенно снизить бюджет проекта.

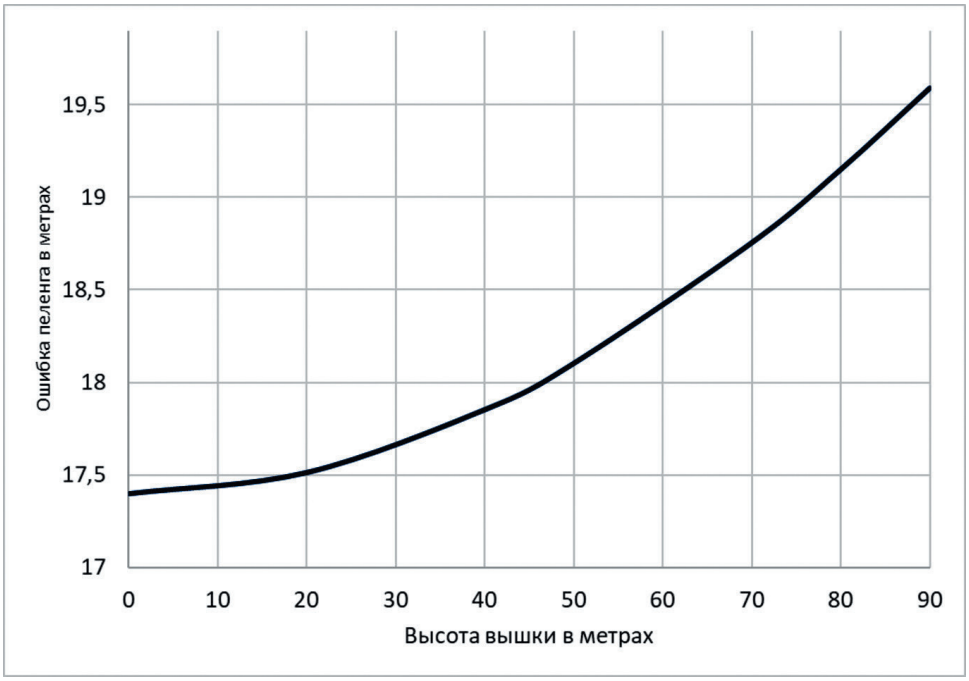

Рис. 5. Зависимость погрешности пеленга в метрах от высоты вышек.

Fig. 5. The dependence of the error of the bearing in meters of the height of the towers.

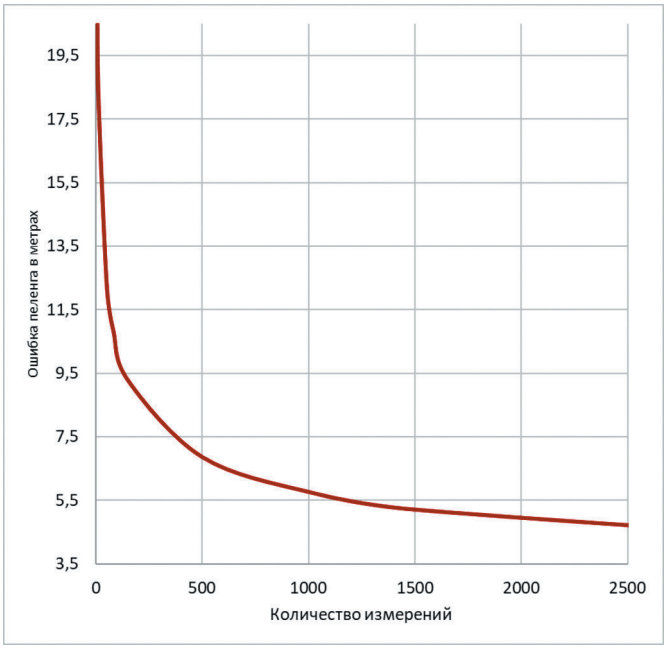

Рис. 6. Зависимость погрешности пеленга в метрах от количества проведенных измерений для функции (3) в случае понижения высоты вышек для четырех объектов.

Fig. 6. Dependence of the bearing error in meters on the number of measurements performed for function (3) in the case of lowering the height of the towers for four objects.

Выводы

1. Многократные наблюдения позволяют в определенной мере увеличить точность определения параметра при дистанционном зондировании Земли и таким образом повысить геолокационную адекватность пространственных данных.

2. В связи с наличием случайных ошибок многократное наблюдение параметра при дистанционном зондировании Земли не рассматривается как самодостаточная процедура и требует определенных методов обработки данных многократных замеров.

3. Результаты многократных измерений являются, по сути, большими данными, поэтому представляется целесообразным применение специального аналитического аппарата, в частности средств прогнозной аналитики.

4. Установлена работоспособность прогнозно-аналитического подхода для нормального распределения случайных величин.

5. Предложенная прогнозно-аналитическая методика опирается на тот факт, что качество измерений повышается при понижении дисперсии ошибок. Это обеспечивает понижение вероятности появления больших случайных ошибок.

6. Развитие предложенного метода представляется на путях его применения к данным, полученным с радио-отражателей различной природы, в том числе к расположенным на подвижных объектах, например, дронах.

7. Инноватика предложенного прогнозно-аналитического подхода обеспечивает повышение пользовательской привлекательности (высокая защищенность и точность измерений) при конкурентно способной стоимости реализации по сравнению с альтернативными технико-технологическими решениями.

Список литературы

1. *Cayo M.R., Talbot T.O.* Positional error in automated geocoding of residential addresses // International journal of health geographies. 2003. V. 2. No. 1. P. 10.
2. *Goldberg D.W., Wilson J.P., Knoblock C.A.* From text to geographic coordinates: the current state of geocoding // URISA journal. 2007. V. 19. No. 1. P. 33—47.
3. *Биденко С.И., Бородин Е.Л., Травин С.В., Хекерт Е.В., Храмов И.С.* Геоинформационная поддержка управления морской транспортной активностью: методический аспект // Эксплуатация морского транспорта. Новороссийск: ГМУ им. адм. Ф.Ф. Ушакова. 2018. № 2. С. 80—95.
4. *Биденко С.И., Храмов И.С.* Применение аппарата нейронных сетей в задачах поддержки безопасного маневрирования в районах интенсивной морской активности флота // Сборник научных трудов «Проблемы обороноспособности и безопасности». М.: ФГБНУ «Экспертно-аналитический центр», 2018. Вып. 19. С. 127—134.
5. *Куприянов А.О.* Применение псевдоспутников в позиционировании и навигации // Изв. вузов. Серия «Геодезия и аэрофотосъемка». 2019. Т. 63. № 4. С. 385—391.
6. Методы спутникового и наземного позиционирования. Перспективы развития технологий обработки сигналов. М.: Техносфера, 2012. 528 с
7. *Груздев Н.М.* Оценка точности морского судовождения. М.: Транспорт, 1989. 191 с.
8. *Куприянов А.О.* Глобальные навигационные спутниковые системы: учебное пособие. М.: МИИГАиК, 2017. 76 с
9. *Миляков Д.Ф., Николашин Ю.Л., Щесняк С.С., Биденко С.И., Присяжнюк С.П., Черный С.Г.* Направления организации альтернативного радионавигационно-телекоммуникационного обеспечения судоходства в арктической морской зоне // Информация и Космос. 2020. № 3. С. 102—111.
10. *Малинин В.Н.* Статистические методы анализа гидрометеорологической информации. СПб.: Изд-во РГГМУ, 2008. 408 с.
11. *Зинченко А.П.* Статистика: учебник. М.: КолосС, 2016. 566 с.
12. *Назаров М.Г., Варагин В.С., Великанова Т.Б., Винокуров В.И.* Статистика: учебно-практическое пособие. М.: КноРус, 2018. 479 с.
13. *Шаповалов А.Б., Щербинин В.В., Свиязов А.В., Кветкин Г.А., Измайлов-Перкин А.В., Зиновьев П.Д., Тонковидов И.В., Ольшевский А.Н., Старожук Е.А., Степанов Р.О.* Создание автономной системы для безопасного и надежного судовождения в критически сложных зонах Обской губы // Оборонно-промышленный потенциал. 2019. № 4. С. 30—31.
14. *Naus K., Wąż M., Szymak P., Gucma L., Gucma M.* Assessment of ship position estimation accuracy based on radar navigation mark echoes identified in an Electronic Navigational Chart. Measurement. 2021. Vol. 169, 108630. doi: 10.1016/j.measurement.2020.108630.
15. *hang C., Cao C., Li T., Guo C.* An improved RISS-GPS ship navigation approach via azimuth updates and magnetometer-calibration technology. Measurement. 2021. Vol. 175, 109101. doi: 10.1016/j.measurement.2021.109101.
16. *Öztürk Ü., Boz H., Balcisoy S.* Visual analytic based ship collision probability modeling for ship navigation safety. Expert Systems With Applications. 2021. Vol. 175, 114755. doi: 10.1016/j.eswa.2021.114755.

References

1. *Cayo M.R., Talbot T.O.* Positional error in automated geocoding of residential addresses. International journal of health geographies. 2003, 2(10): 1—12.
2. *Goldberg D.W., Wilson J. P., Knoblock C.A.* From text to geographic coordinates: the current state of geocoding. URISA journal. 2007, 19, 1: 33—47.

3. *Bidenko S.I., Borodin E.L., Travin S.V., Heckert E.V., Khramov I.S.* Geoinformational support for the management of maritime transport activity: a methodological aspect. *Ekspluatatsia morskogo transporta.* Operation of sea transport. 2018, 2: 80—95. [In Russian].
4. *Bidenko S.I., Khramov I.S.* Application of the neural network apparatus in the tasks of supporting safe maneuvering in areas of intensive naval activity of the fleet. *Sbornik nauchnyh trudov Problemy oboronosposobnosti i bezopasnosti. FGBNU "Ekspertno-analiticheskiy tsentr"*. Collection of scientific papers Problems of defense and security. FGBNU "Expert-analytical Center". 2018, 19: 127—134. [In Russian].
5. *Kupriyanov A.O.* Application of pseudosatellites in positioning and navigation. *Izv. vuzov. Seriya "Geodezia i aerofotosyomka"*. Izv. vuzov. Series "Geodesy and aerial photography". 2019, 63, 4: 385—391. [In Russian].
6. *Metody sputnikogo I nazemnogo pozitsionirovaniya. Perspektivy razvitiya tehnologiy obrabotki signalov.* Methods of satellite and ground positioning. Prospects for the development of signal processing technologies. Moscow: Technosphere, 2012: 528 p. [In Russian].
7. *Gruzdev N.M. Otsenka tochnosti morskogo sudovozhdeniya.* Evaluation of the accuracy of marine navigation. Moscow: Transport, 1989: 191 p. [In Russian].
8. *Kupriyanov A.O. Globalnye navigitsionnye sputnikovye sistemy.* Global navigation satellite systems: A textbook. Moscow: MIIGAiK, 2017: 76 p. [In Russian].
9. *Milyakov D., Nikolashin Yu., Schesnyak S., Bidenko S., Prisyazhnyuk S., Cherny S.* Alternative radio navigation and telecommunications support directions for arctic maritime zone navigation. *Informatsia I Kosmos.* Information and Space. 2020, 3: 102—111. [In Russian].
10. *Malinin V.N. Statisticheskie metody analiza gidrometeorologicheskoi informatsii.* Statistical methods of analysis of hydrometeorological information. St. Petersburg: Publishing House of RGGMU, 2008: 407 p. [In Russian].
11. *Zinchenko A.P. Statistika.* Statistics: textbook. Moscow: KolosS, 2016: 566 p. [In Russian].
12. *Nazarov M.G., Varagin V.S., Velikanova T.B., Vinokurov V.I. Statistika: uchebno-prakticheskoe posobie.* Statistics: an educational and practical manual. Moscow: KnoRus, 2018: 479 p. [In Russian].
13. *Shapovalov A.B., Scherbinin V.V., Sviyazov A.V., Kvetkin G.A., Izmailov-Perkin A.V., Zinoviev P.D., Tonkovidov I.V., Olshevskiy A.N., Starozhook E.A., Stepanov R.O.* Creation of an autonomous system for safe and reliable navigation in critical areas of the Gulf of Ob. *Oboronno-promyshlennyy potentsial*. Military-industrial potential. 2019, 4: 30—31. [In Russian].
14. *Naus K., Wąż M., Szymak P., Gucma L., Gucma M.* Assessment of ship position estimation accuracy based on radar navigation mark echoes identified in an Electronic Navigational Chart. Measurement, 169, 108630. doi: 10.1016/j.measurement.2020.108630.
15. *Zhang C., Cao C., Li T., Guo C.* An improved RISS-GPS ship navigation approach via azimuth updates and magnetometer-calibration technology. Measurement, 175, 109101. doi: 10.1016/j.measurement.2021.109101
16. *Öztürk Ü., Boz H., Balcisoy S.* Visual analytic based ship collision probability modeling for ship navigation safety. Expert Systems With Applications, 175, 114755. doi: 10.1016/j.eswa.2021.114755.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 01.03.2021
Принята к публикации после доработки 27.04.2021

Сведения об авторах

Биденко Сергей Иванович, д-р техн. наук, профессор, советник генерального конструктора, ПАО «Интелтех», BidenkoSI@inteltech.ru.

Храмов Игорь Сергеевич, канд. техн. наук, главный специалист, ГКУ Тверской области «Центр информационных технологий» отдел аудита и мониторинга защищенности, igorhramov@yahoo.com.

Якушев Денис Игоревич, д-р техн. наук, профессор кафедры Специальных информационных технологий, ФКОУ ВО «Санкт-Петербургский университет МВД России», d.i.ya@yandex.ru.

Бородин Евгений Львович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры судовождения, ФГБОУ ВО «Государственный морской университет им. адм. Ф.Ф. Ушакова», elb999@mail.ru.

Черный Сергей Григорьевич, канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой «Информационные технологии», ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технический университет», sergiiblack@gmail.com.

Васильев Александр Борисович, начальник проектного офиса, ПАО «Интелтех», VasilievAB@inteltech.ru.

Information about authors

Bidenko Sergey Ivanovich, Grand PhD (Tech. Sci.), Professor, Adviser on General Designer, PAO "Inteltech".

Khramov Igor Sergeevich, PhD (Tech. Sci.), Chief Specialist, State Institution of the Tver Region "Center of Information Technologies" Department of Audit and Security Monitoring.

Yakushev Denis Igorevich, Grand PhD (Tech. Sci.), Professor of special information technologies, FKEI HE "St. Petersburg University of the Russian Interior Ministry.

Borodin Yevgeny Lvovich, PhD (Tech. Sci.), Assistant Professor, Assistant Professor of Shipbuilding, FGBOU VO "State Maritime University. F.F. Ushakova.

Cherny Sergey Grigoryevich, PhD (Tech. Sci.), Assistant Professor, Head of the Department of Information Technology, FGBEI HE «Kerch State Maritime Technical University».

Vasilyev Alexander Borisovich, Project Office Chief, PAO "Inteltech".