© А.А. Мухарёв, 2016

УДК 622.684:
656.61: 004:
519.7

А.А. Мухарёв

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОГО ДВИЖЕНИЯ КРУПНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ ЕДИНИЦ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ (КАРЬЕР, ПОРТ, БУРОВАЯ ПЛАТФОРМА)

Описан способ прогнозирования траекторий перемещений транспортных производственных единиц в стесненных условиях (карьер, порт, буровая платформа). Эта задача актуальна в настоящее время, так как современный уровень развития техники позволяет выполнять такое прогнозирование с высокой точностью и учетом маневрирования объектов. Современные системы позиционирования позволяют получать точные координаты объектов, универсальная автоматическая информационная система дает возможность передавать данные всем участникам движения в режиме реального времени, а с помощью полиномиальной адаптивной модели прогнозирования возможен расчет прогнозов траекторий и определение наличия опасности чрезмерного сближения.

Ключевые слова: транспортировка грузов, безопасность транспортировки, автоматическая информационная система, глобальная навигационная спутниковая система, высокоточное позиционирование, траектория движения, прогнозирование, адаптивная полиномиальная модель.

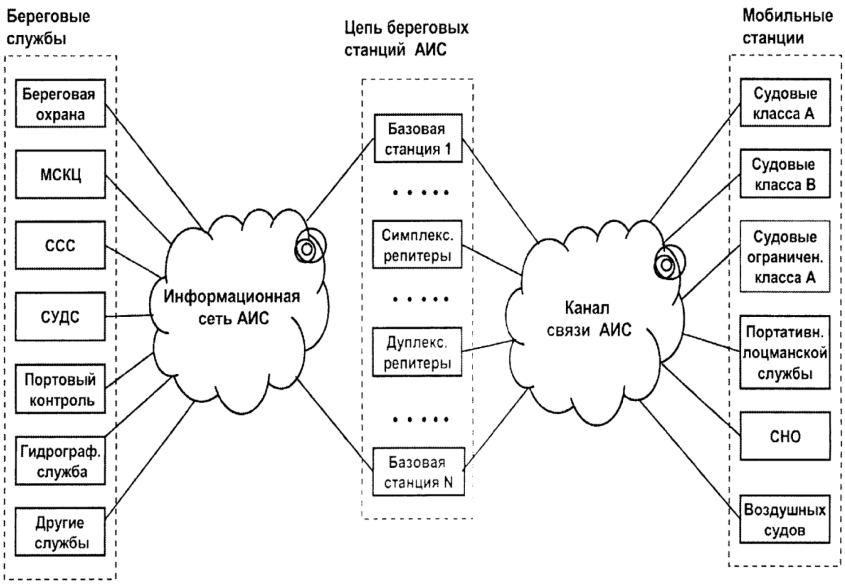
Одной из важнейших проблем современной транспортировки грузов с использованием крупных транспортных единиц, таких как крупнотоннажные суда и самосвалы, является обеспечение безопасности движения в стесненных условиях и районах с интенсивным транспортным потоком.

Развитие спутниковой навигации и повышение точности позиционирования создало предпосылки к разработке высокоточных способов определения траектории транспортной единицы вплоть до положения оконечностей корпуса. Однако, несмотря на потенциальную возможность, на сегодняшний день не в полной мере разработаны модели расчета траекторий движения, как самого объекта, так и перемещение всего корпуса и его оконечностей. Поэтому задача разработки таких моделей весьма актуальна.

Наиболее важно на сегодняшний день сократить время на анализ и оценку ситуации сближения. Это возможно предоставлением оператору фактических данных об элементах и маршруте движения встречного транспортного средства. Такие решения заложены в автоматической информационной системе (АИС), внедряемой в настоящее время на судах. АИС (рисунок) является информационно-технической системой, обеспечивающей автоматический обмен навигационной и иной информацией, связанной с безопасностью мореплавания, между судовыми и другими станциями АИС по специальному каналу радиосвязи. Использование аналогичной технологии технически возможно и целесообразно для обеспечения безопасности движения тяжелого карьерного крупногабаритного.

В состав АИС входят следующие основные компоненты:

- мобильные станции (транспондеры), устанавливаемые на судах, а также на других объектах;
- канал связи АИС, обеспечивающий обмен информацией между мобильными и береговыми станциями АИС;
- цепь береговых станций АИС, включающая базовые станции, симплексные и дуплексные репитеры;
- информационная сеть АИС, связывающая базовые станции АИС с береговыми службами;



Структура и основные компоненты АИС

• оборудование АИС, устанавливаемое в береговых службах (СУДС, системы судовых сообщений, береговая охрана, портовый контроль, МСКЦ, гидрографическая служба и другие).

Мобильные судовые станции АИС сопрягаются с навигационным приемником ГНСС/ДГНСС и другими источниками информации о движении объекта, а также с одним или с несколькими навигационными дисплеями.

АИС решает следующие частные задачи:

• безопасное расхождение судов;

• определение местоположения и параметров движения судна;

• опознание (идентификацию) судна или объекта.

АИС должна выполнять следующие функции:

• автоматически предоставлять идентификацию о судне (тип, местоположение, курс, скорость, эксплуатационное состояние и т.д.);

• автоматически принимать указанную информацию от других судов;

• вести сопровождение наблюдаемых судов;

• обмениваться данными с береговыми постами управления.

Необходимость удовлетворения повышенных требований к точности позиционирования потребовала в раде случаев разработки принципиально новых систем радионавигации. Это касается в первую очередь:

• обеспечения безопасности движения в стесненных условиях;

• управления движением судов;

• обеспечения проведения специальных работ в исключительной экономической зоне.

Сначала за рубежом, а потом и у нас в стране была создана дифференциальная подсистема среднеорбитных спутниковых навигационных систем (ДГНСС).

В табл. 1 приведены обобщенные эксплуатационные требования к дифференциальной подсистеме ГНСС.

Погрешность определения координат места судна (с вероятностью 95%) при совместном использовании СНС ГЛОНАСС и GPS с дифференциальными поправками составляет от 1 до 2 м. Относительное позиционирование с использованием фазовых измерений дает погрешность измерений до нескольких сантиметров.

Располагая точной информацией о координатах и параметрах движения объектов, АИС может рассчитать дистанцию и время кратчайшего сближения $D_{кр}$ и $T_{кр}$. Но ограничением расчетов является предположение о неизменности направления и скорости движения объектов. Таким образом, возникает задача

Таблица 1

Эксплуатационные требования к морской дифференциальной подсистеме

Характеристики подсистемы	Порты и подходы	УДС	Координирование СНО	Экономическая зона
Погрешность (с $P = 0{,}95$), м	8–20	10	5–10	1
Рабочая зона, км	20	не определена	20	200 миль
Доступность	0,997	0,999	0,95	0,95
Время подачи сигнала предупреждения, с	6–10	6–10	–	

прогнозирования параметров кратчайшего сближения объектов с учетом возможности их маневрирования. При этом предполагается решить задачу прогнозирования траектории движения объектов для оперативной оценки эффективности управления их движением.

Воспользуемся адаптивными методами прогнозирования. Простейший вариант метода метод экспоненциального сглаживания. Постановка задачи прогнозирования с использованием простейшего варианта метода экспоненциального сглаживания формулируется следующим образом.

Пусть анализируемый временной ряд y_τ, $\tau = 1, 2,..., t$ представлен в виде:

$$y_\tau + a_0 + \varepsilon_\tau \qquad (1)$$

где a_0 – неизвестный параметр, не зависящий от времени; ε_τ – случайный остаток со средним значением, равным нулю, и конечной дисперсией.

Понятие экспоненциальной средней можно обобщить в случае экспоненциальных средних более высоких порядков.

Выравнивание p-го порядка:

$$S_t^{(P)} = \alpha \cdot S_t^{(p-1)} + \beta \cdot S_{t-1}^{(p)} \qquad (2)$$

является простым экспоненциальным сглаживанием, примененным к результатам сглаживания (p-l)-го порядка. Если предполагается, что тренд некоторого процесса может быть описан полиномом степени n, то коэффициенты предсказывающего полинома могут быть вычислены через экспоненциальные средние соответствующих порядков. В случае, когда исследуемый процесс, состоящий из детерминированной и случайной

компоненты, описывается полиномом n-го порядка, прогноз на τ шагов вперед осуществляется по формуле:

$$\hat{y}_\tau(t) = \hat{a}_1 + \hat{a}_2\tau + \frac{1}{2}\hat{a}_3\tau^2 + \ldots \frac{1}{n!}\hat{a}_{n+1}\tau^n \qquad (3)$$

где: $\hat{a}_1, \hat{a}_2, \ldots \hat{a}_{n+1}$ – оценки параметров.

Фундаментальная теорема метода экспоненциального сглаживания и прогнозирования, впервые доказанная Р. Брауном и Р. Майером, говорит о том, что (n+1) неизвестных коэффициентов полинома n-го порядка $\hat{a}_1, \hat{a}_2, \ldots \hat{a}_{n+1}$ могут быть оценены с помощью линейных комбинаций экспоненциальных средних $S^{(i)}$, где $i = 1/n + 1$.

Следовательно, задача сводится к вычислению экспоненциальных средних, порядок которых изменяется от 1 до n+1, а затем через их линейные комбинации – к определению коэффициентов полинома.

На практике обычно используются полиномы не выше второго порядка. Например, при использовании полинома первого порядка адаптивная модель временного ряда имеет вид:

$$y_t = a_{1,t} + a_{2,t} + e_t \qquad (4)$$

где: $a_{1,t}$ – значение текущего t-го уровня; $a_{2,t}$ – значение текущего прироста.

В табл. 2 приведены формулы, необходимые для расчета по этим моделям.

Таблица 2

Основные формулы для прогнозирования по адаптивным полиномиальным моделям

Степень модели	Начальные условия	Экспонен циальные средние	Оценка коэффициентов	Модель прогноза
n=0	$S_0^{(1)} = \hat{a}_{1,0}$	$S_t^{(1)} = \alpha y_t + \beta S_{t-1}^{(1)}$	$\hat{a}_{1,t} = S_t^{(1)}$	$\hat{y}_\tau(t) = \hat{a}_{1,t}$
n=1	$S_0^{(1)} = \hat{a}_{1,0} - \frac{\beta}{\alpha}\hat{a}_{2,0}$ $S_0^{(2)} = \hat{a}_{1,0} - \frac{2\beta}{\alpha}\hat{a}_{2,0}$	$S_t^{(1)} = \alpha y_t + \beta S_{t-1}^{(1)}$ $S_t^{(2)} = \alpha S_t^{(1)} + \beta S_{t-1}^{(2)}$	$\hat{a}_{1,t} = 2S_t^{(1)} - S_t^{(2)}$ $\hat{a}_{2,t} = \frac{\alpha}{\beta}\left(S_t^{(1)} - S_t^{(2)}\right)$	$\hat{y}_\tau(t) = \hat{a}_{1,t} + \hat{a}_{2,t} \cdot \tau$
n=2	$S_0^{(1)} = \hat{a}_{1,0} - \frac{\beta}{\alpha}\hat{a}_{2,0} + \frac{\beta(2-\alpha)}{2\alpha^2}\hat{a}_{3,0}$ $S_0^{(2)} = \hat{a}_{1,0} - \frac{2\beta}{\alpha}\hat{a}_{2,0} + \frac{\beta(3-2\alpha)}{\alpha^2}\hat{a}_{3,0}$ $S_0^{(3)} = \hat{a}_{1,0} - \frac{3\beta}{\alpha}\hat{a}_{2,0} + \frac{3\beta(4-3\alpha)}{2\alpha^2}\hat{a}_{3,0}$	$S_t^{(1)} = \alpha y_t + \beta S_{t-1}^{(1)}$ $S_t^{(2)} = \alpha S_t^{(1)} + \beta S_{t-1}^{(2)}$ $S_t^{(3)} = \alpha S_t^{(2)} + \beta S_{t-1}^{(3)}$	$\hat{a}_{1,t} = 3\left(S_t^{(1)} - S_t^{(2)}\right) + S_t^{(3)}$ $\hat{a}_{2,t} = \frac{\alpha}{2\beta^2}[(6-5\alpha)S_t^{(1)} -$ $-2(5-4\alpha)S_t^{(2)} + (4-3\alpha)S_t^{(3)}]$ $\hat{a}_{3,t} = \frac{\alpha}{\beta^2}\left[S_t^{(1)} - 2S_t^{(2)} + S_t^{(3)}\right]$	$\hat{y}_\tau(t) = \hat{a}_{1,t} +$ $+\tau \cdot \hat{a}_{2,t} + \frac{1}{2}\tau^2\hat{a}_{3,t}$

Процедура прогнозирования экспоненциального сглаживания состоит из следующих этапов:

1. Выбирается вид модели экспоненциального сглаживания, задается значение параметра сглаживания a.

2. Определяются начальные условия. Например, для полиномиальной модели первого порядка необходимо определить $\hat{a}_{1,0}$; $\hat{a}_{2,0}$.

3. Производится расчет значений соответствующих экспоненциальных средних.

4. Находятся оценки коэффициентов модели.

5. Осуществляется прогноз на одну точку вперед, находится отклонение фактического значения временного ряда от прогнозируемого. Шаги с 3 по 5 данной процедуры повторяются для всех $t \le n$, где n – длина ряда.

6. Окончательная прогнозная модель формируется на последнем шаге в момент $t = n$. Прогноз получается на базе выражения (3) путем подстановки в него последних значений коэффициентов и времени упреждения τ.

К положительным особенностям рассмотренных моделей следует отнести то, что при поступлении новой информации расчеты повторять не придется. Достаточно принять в качестве начальных условий последние значения функций сглаживания $S_t^{(i)}$ и продолжить вычисления.

Таким образом, можно спрогнозировать координаты и траектории объектов с учетом их маневрирования, рассчитать с помощью численных методов параметры кратчайшего сближения и оценить степень безопасности такого сближения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Елисеева И. И., Юзбашев М. М.* Общая теория статистики: Учебник / Под ред. И. И. Елисеевой. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и Статистика, 2002. – 480 с.

2. *Общая* теория статистики: Учебник / Под ред. Р. А. Шмойловой. – 3-е изд., перераб. – М.: Финансы и Статистика, 2002. – 560 с.

3. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс. Neural Networks: A Comprehensive Foundation. 2-е изд. – М.: Вильямс, 2006. – 1104 с.

4. *Еремин Д. М.*, *Гарцеев И. Б.* Искусственные нейронные сети в интеллектуальных системах управления. – М.: МИРЭА, 2004. – 75 с.

5. *Федунец Н. И.*, *Кубрин С. С.* Основные направления развития новых информационных технологий на угольных шахтах // Горный информационно-аналитический бюллетень. ОВ10. Информатизация и управление–1. – 2008. – С. 21–29.

6. *Федунец Н. И.*, *Кубрин С. С.* Развитие информационных технологий на горнодобывающих предприятиях // Горный журнал. – 2009. – № 1. – С. 83–85.

7. *Кубрин С.С.*, *Гуральник С.Б.*, *Гуральник Б.С.* Оценка рисков эксплуатации буровых платформ // Горный информационно-аналитический бюллетень. ОВ5. – 2012. – С. 194–201.

8. *Гуральник Б.С.*, *Кубрин С.С.*, *Гуральник С.Б.* Выявление опасностей для оценки рисков эксплуатации морских буровых платформ // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2012. – № 2. – С. 8. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Мухарёв Александр Александрович – инженер, e-mail: sailorcat-00@mail.ru, Институт проблем комплексного освоения недр РАН.

UDC 622.684: 656.61: 004: 519.7

A.A. Mukharev

ENSURING THE SAFE MOVEMENT OF LARGE TRANSPORT UNITS IN CRAMPED CONDITIONS (QUARRY, PORT, DRILLING RIG)

The article describes a way to forecast tracks of movements of transport industrial units at restricted conditions (open pit, port, drilling rig). This problem is actual at present for present level of engineering allows to perform such a prediction with high accuracy taking into account maneuvering of objects. Modern positioning systems allow to obtain accurate coordinates of objects, universal automatic informational system gives way to transmit data to all objects of traffic in real time mode and it is possible to calculate track forecasts with polynomial adaptive forecast model and to check it for dangerous over-closing.

Key words: cargo transportation, safet of transportation, automatic informational system AIS, global navigation satellite system, high accuracy positioning, trajectory, forecasting, adaptive polynomial model.

AUTHOR

Mukharev A.A., Engineer, e-mail: sailorcat-00@mail.ru,
Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources
of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia.

REFERENCES

1. Eliseeva I. I., Yuzbashev M. M. *Obshchaya teoriya statistiki*: Uchebnik. Pod red. I. I. Eliseevoy. 4-e izd. (General theory of statistics: Textbook. Eliseeva I. I. (Ed.), 4th edition), Moscow, Finansy i Statistika, 2002, 480 p.

2. *Obshchaya teoriya statistiki*: Uchebnik. Pod red. R. A. Shmoylovoy. 3-e izd (General theory of statistics: Textbook. Shmoylova R. A. (Ed.), 3rd edition), Moscow, Finansy i Statistika, 2002, 560 p.

3. Khaykin S. *Neyronnye seti*: polnyy kurs. 2-e izd. (Neural networks: a comprehensive foundation, 2nd edition), Moscow, Vil'yams, 2006, 1104 p.

4. Eremin D. M., Gartseev I. B. *Iskusstvennye neyronnye seti v intellektual'nykh sistemakh upravleniya* (Artificial neural networks in the intelligent control), Moscow, MIREA, 2004, 75 p.

5. Fedunets N. I., Kubrin S. S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. Special issue 10. 2008, pp. 21–29.

6. Fedunets N. I., Kubrin S. S. *Gornyy zhurnal*. 2009, no 1, pp. 83–85.

7. Kubrin S. S., Gural'nik S. B., Gural'nik B. S. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. Special issue 5. 2012, pp. 194–201.

8. Gural'nik B. S., Kubrin S. S., Gural'nik S. B. *Vestnik Assotsiatsii burovykh podryadchikov*. 2012, no 2, pp. 8.