

© 2012 г. И.В. БУСЬКО  
А.Б. ДЕГТЯРЕВ, д-р техн. наук  
(Санкт Петербургский большой Государственный Университет, факультет  
Прикладной Математики – Процессов Управления)

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОРСКОГО ВОЛНЕНИЯ В БОРТОВОЙ ИС ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

Восстановление параметров морского волнения на основании характера поведения на нем судна требует анализа и обработки большого количества информации. Кроме сложной обработки различных сигналов процессов колебания судна, для повышения точности идентификации требуется также проведение большого количества проверочных расчетов. На решение таких задач налагается требование реального времени, которое заставляет использовать нас мультипроцессорную среду. В статье описан подход организации бортовой ИС на основе многопроцессорного вычислителя с использованием сервис ориентированного подхода.

**PARAMETER IDENTIFICATION OF SEA WAVES IN THE ONBOARD IS OF PARALLEL ARCHITECTURE** / I.V. Busko (E-mail: trassae95st@mail.ru), A.B. Degtyarev (E-mail: deg@csa.ru) (Saint Petersburg State University, Faculty of Applied Mathematics and Control Processes, Universitetskii prospekt 35, Petergof, Saint-Petersburg, Russia 198504, tel. +7 (812) 428-71-59). Restoring the sea waves on the basis of the behavior of the vessel requires the analysis and processing of large amounts of information. To improve the accuracy of identification requires a large number of test calculations. The decision should be made in real time and this makes us to use multi-processor environment. The article describes the approach of onboard IS organization with service oriented architecture.

### 1. Введение

При управлении судном требуется знание характера внешнего воздействия. Это знание дает возможность правильно и эффективно управлять этим динамическим объектом. Определение внешнего воздействия является обратной задачей. Решение таких задач не является корректным, и поэтому привлечение, как можно, большего количества дополнительной информации дает возможность получить более надежное решение. При этом все вычисления надо производить в режиме реального времени и за определенный промежуток времени. Решение задачи можно построить на принципе конкуренции: использовать параллельно несколько алгоритмов решений [5]. Это позволит в текущих условиях выбрать наиболее эффективную технологию. Чтобы достичь решения за заданное время возникает необходимость применения параллельной

архитектуры. При этом использование дополнительной информации для повышения эффективности прогнозирования хорошо согласуется с принципами естественной парадигмы распараллеливания.

## 2. Постановка задачи

При оценке параметров волнения в условиях эксплуатации морских динамических объектов (ДО) одной из сложных проблем является восстановление спектра возмущений. Эта задача решается на основе косвенных динамических измерений процесса колебательного движения ДО на волнении. Как показано в работе [6], при адаптивном управлении в процессе функционирования ДО возникает задача идентификации типа «черный ящик». При этом структура и параметры возмущения неизвестны и необходимо восстановить необходимые характеристики в режиме реального времени. Ниже рассмотрена проблема параметрической идентификации на основе адаптивной модели, реализация которой может быть осуществлена в бортовой интеллектуальной системе (ИС) [3],[7].

На рис.1 показана общая функциональная схема идентификации [8] параметров волнения при функционировании морского ДО с одним входом и одним выходом. На вход ДО и адаптивной модели подаются сигналы от датчика бортовой качки  $X(t)$ , поступающий от измерительной системы. Выходной сигнал системы представляется в виде

$$(1) \quad y(k, t) = y(k) + s(k).$$

где  $y(k)$  – сигнал на выходе объекта;  $s(k)$  – аддитивная помеха. Ошибки идентификации (ошибка выхода)

$$(2) \quad \epsilon_k = y(k, y) - y^*(k, t).$$

представляет собой разность сигналов на выходе системы  $y(k, t)$  и модели  $y^*(k, t)$ . Подаваемый сигнал предварительно обрабатывается в модуле преобразования исходной информации ИС, где осуществляется его фильтрация и преобразование в цифровые коды [3].

Адаптивная модель настраивается таким образом, чтобы ее выходной сигнал соответствовал выходному сигналу неизвестного объекта (параметрам внешней среды) по критерию наилучшего среднеквадратического приближения. В соответствии этим критерием величина ошибки должна стремиться к минимальному значению. Удовлетворительное приближение сигналов возможно тогда, когда адаптивная модель содержит эффективный алгоритм перестройки коэффициентов.

После адаптации модели могут возникать ситуации, когда структура и параметры неизвестного объекта определены, однако взаимосвязь между входным и выходным сигналами сохраняется. Это объясняется тем, что в практических приложениях идентифицируемый объект (внешнее возмущение) является «шумящим», т.е. обладает внутренним источником случайных возмущений. Шумовая составляющая выходного сигнала рассматривается как случайная аддитивная помеха, которая в общем случае не коррелирована с выходным сигналом ДО. Поэтому при правильной настройке адаптивного алгоритма сигнал на его выходе полностью соответствует сигналу на входе за исключением шумовой составляющей. Это означает, что весовые коэффициенты в процессе адаптации сходятся к оптимальным значениям, не зависящим от шума системы.

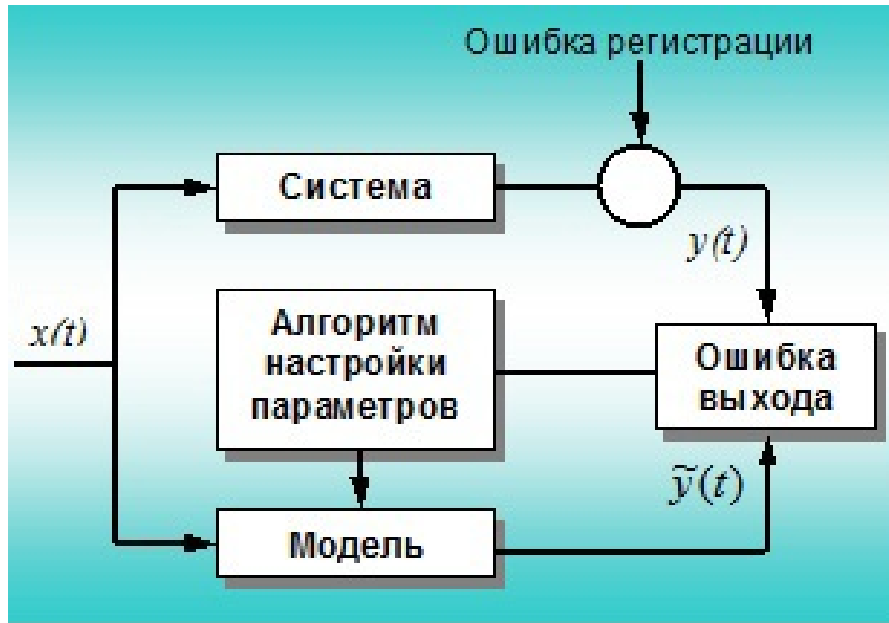


Рис. 1. Структурная схема идентификации

При идентификации объектов управления типа "черный ящик" для выбора параметров настройки адаптивной модели используются априорные сведения о поведении ДО на волнении. Анализ результатов натурных испытаний [3] показал, что на практике для устойчивого ДО достаточно иметь предварительную информацию о времени установления его переходной характеристики  $t_s$ , так как время адаптации модели  $T_a$  связано со временем установления соотношением  $T_a \leq t_s$ . Эта зависимость справедлива для ярко выраженного колебательного процесса.

Таким образом, алгоритм адаптивной идентификации параметров волнения может быть выполнен в виде последовательности шагов:

- 1) Задается интервал квантования сигналов на отрезке времени  $T_0 \in [t_1, t_k]$ ;
- 2) Устанавливается допустимое время процесса адаптации  $a$  исходя из анализа данных натурных наблюдений [3];
- 3) Задается необходимая точность идентификации с помощью допустимой величины относительной погрешности адаптивного алгоритма;
- 4) Определяется условие сходимости процесса адаптации;
- 5) Формулируются требования адаптивной идентификации в режиме реального времени.

Выполнение алгоритма идентификации осуществляется на основе функционирования динамической базы знаний бортовой ИС. Многовариантность большой поток информации в режиме реального времени обуславливает актуальность применения мультипроцессорной вычислительной среды. Проблема идентификации волнения связана с учетом неопределенности и содержит два важных аспекта. Первый аспект связан с априорной неопределенностью спектра возмущения, второй - с построением алгоритма идентификации в условиях сильных помех, когда уровень возмущения соизмерим с уровнем помехи.

### 3. Идентификация параметров

Стандартный подход, использованный многими исследователями, заключается, в первую очередь, в предположении о возможности представления судна линейной системой. Это дает принципиальную возможность воспользоваться для восстановления параметров волнения известным в этом случае соотношением между входной и выходной спектральными плотностями.

$$(3) \quad S_y(\sigma) = |F_{xy}(\sigma)|^2 * S_x(\sigma).$$

где  $S_x(\sigma)$  - спектральная плотность входного процесса, которая может быть связана с процессом возмущения - морским волнением;  $S_y(\sigma)$  - спектральная плотность выходного процесса - зарегистрированный процесс колебаний судна, вызванный действием волн;  $F_{xy}(\sigma)$  - передаточная функция линейной системы.

Проблемы, возникающие при такой схеме восстановления обсуждались в [3], решению которых в рамках классической теории управления и нейронечетких систем посвящены [5]-[7]. Анализ этих исследований позволяет сформулировать следующие основные проблемы:

- 1) Зашумленность регистрируемого сигнала или сложность выделить полезный сигнал на фоне процессов, обусловленных другими физическими причинами. Как следствие, получение малоинформативных сигналов;
- 2) Использование для облегчения восстановления параметров ветрового волнения известных аппроксимаций спектральной плотности (см., например, [10]);
- 3) Нарушение предположения о линейности системы при регистрации нелинейных колебаний. Такая ситуация особенно актуальна при интенсивных внешних воздействиях.

В качестве принципиального пути решения этих проблем возможно привлечение дополнительной информации с целью взаимной перепроверки результатов, получаемых разными путями. Так с целью использования наиболее информативного сигнала возможно использование сразу двух процессов колебаний ДО - килевой и бортовой качки. Результаты, получаемые для восстановления параметров волнения по каждому из этих процессов, будут отличаться. В то же время, на основании совместного рассмотрения различных источников данных при известных условиях проведения эксперимента возможно более надежное выделение информативных составляющих и повышение точности идентификации параметров волнения.

Другая проблема, связанная с применением известных аппроксимаций спектральной плотности, может быть решена на базе концепции "климатического спектра" [4],[9]. Эта концепция позволяет конкретизировать тип спектральной плотности волнения, чередование характерных состояний волновой погоды для заданного района плавания и сезона. Знание района эксплуатации, сезона и погодной предыстории позволяет, используя эту концепцию, заложить в процедуру восстановления параметров волнения характерную для текущих условий форму аппроксимации спектральной плотности.

Проблема нелинейности может быть решена на основе комплексного подхода. Простейший способ - выбор оптимальных условий регистрации процесса колебаний ДО. Для этого следует перед процедурой восстановления параметров волнения определить степень нелинейности регистрируемого процесса. Для этого возможно применение алгоритма [3], позволяющего определять равновесное положение динамической системы

в зависимости от степени асимметричности колебаний, вызванных нелинейным характером качки. Этот подход может быть использован для выбора условий регистрации колебаний ДО или корректировки полученных результатов с использованием методов статистической линеаризации.

Проблема реализации концепции "климатического спектра" предусматривает для заданного набора внешних возмущений проведение предварительного систематического моделирования качки ДО в различных условиях эксплуатации. Эти данные отражают качественную картину изменения характера отклика ДО на заданные внешние воздействия, хранятся в базе знаний бортовой ИС и используются в процессе идентификации параметров волнения на основании поведения ДО. В этом случае задача идентификации выглядит следующим образом. Прогноз развития шторма основывается на исследовании изменения параметров волнения в течение некоторого интервала в режиме реального времени. На основе данных динамических измерений качки ДО можно использовать итеративный алгоритм адаптивной идентификации параметров волнения (рис. 2). Алгоритм является развитием подхода, изложенного в работе [2]. Реализация алгоритма осуществляется в интервале времени, заданном в зависимости от контролируемой ситуации. Причем в каждый временной интервал считываются показания датчиков колебательного движения ДО и происходит итерация алгоритма в такой последовательности:

- 1) На первом шаге выбираются характерные спектры для района плавания;
- 2) На втором шаге строятся функции возмущения для каждого из спектров;
- 3) Согласно выбранной математической модели численно вычисляется решение уравнения движения;
- 4) В результате получаются данные измерений и набор решений уравнения движения. Выбор решения происходит согласно заданному критерию;
- 5) На выходе итерации выделяется один из характерных спектров для прошедшего момента времени.

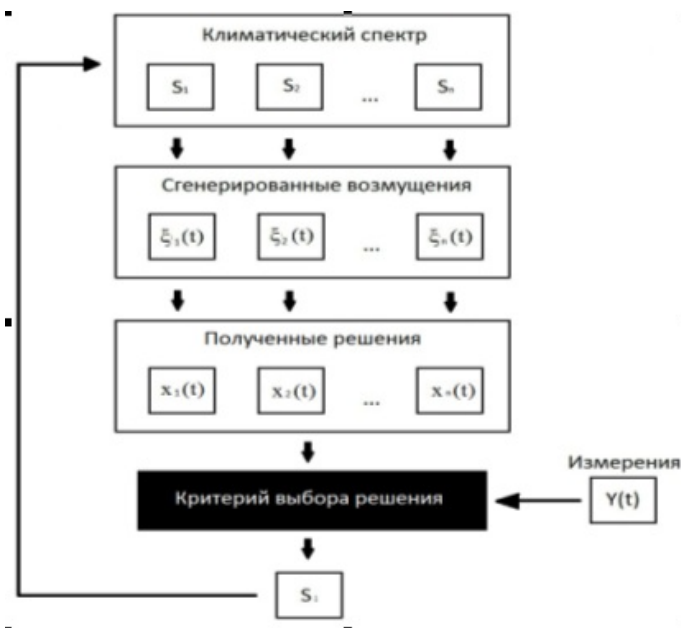


Рис. 2. Алгоритм адаптивной идентификации параметров волнения

Далее, через заданный интервал времени, начинается следующая итерация алгоритма, которая дает возможный вид спектра волнения в следующий момент времени. От описанной выше итерации она отличается тем, что при выборе характерных спектров будет учитываться вид спектра, найденный на предыдущей итерации. Таким образом, по истечению некоторого времени мы составим представление об изменении спектра волнения.

На данном этапе идет распараллеливание по климатическим спектрам, т.е. одновременно решается несколько задач нахождения решения по климатическому спектру. При построении численного решения дифференциальных уравнений также может быть применено распараллеливание. Любая дополнительная информация увеличивает общий объем данных, который нужно анализировать. Т.к. у нас существует требование реального времени, то мы должны гарантировать своевременность принятия решения.

Отсюда вытекает необходимость использования мультипроцессорной вычислительной среды, в которой часть компонент будет заниматься параллельным вычислением однотипных задач, часть компонент в режиме реального времени предоставлять сервисы на специальные запросы: обработка/анализ информации, записать данных в хранилище одними вычислительными блоками и считывание данных из хранилища другими и т.п. Это надо для того чтобы гарантировать капитану своевременное принятие решения по управлению судном. Построение решения можно сделать на основе СОА [1].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Дегтярев А.Б., Гуськов В.П., Ерошкин А.В.* "О повышении эффективности систем поддержки принятия решения реального времени". // 5-ая Международная конференция "Распределенные вычисления и гридтехнологии в науке и образовании Дубна, 2012, с 45-46.
2. *Благодарный Н.С., Кобозев В.Ю.* Метод идентификации и проверки адекватности имитационной модели технологического процесса // Сборник докладов международной конференции по мягким вычислениям и измерениям SCM-2011, т. 1. Санкт-Петербург. 2011, с.137 - 140.
3. Бортовые интеллектуальные системы. Часть 1. Авиационные системы. Часть 2. Корабельные системы. - М.: Радиотехника, 2006. Часть 3. Системы корабельной посадки летательных аппаратов. - М.: Радиотехника, 2008.
4. *Бухановский А.В., Дегтярев А.Б., Лопатухин Л.И., Рожков В.А.* Климатические спектры ветрового волнения. // Судостроение, 1997, N4, с.14-18.
5. *Нечаев Ю.И.* Математическое моделирование в бортовых интеллектуальных системах реального времени // Труды 5-й всероссийской научно-технической конференции "Нейроинформатика - 2003". М.: МИФИ. 2003. Лекции по нейроинформатике. Ч. 2, с.119-179.
6. *Нечаев Ю.И., Тихонов Д.Г.* Нейропрогноз на основе логического вывода по прецедентам // Сборник научных трудов 7-й всероссийской научно-технической конференции "Нейроинформатика - 2005". Ч.2, МИФИ 2005, с.197-204.

7. *Нечаев Ю.И.* Теория катастроф: современный подход при принятии решений. // СПб, АРТ-Экспресс, 2011.
8. *Эйкхофф П.* Основы идентификации систем управления. // М.: Мир, 1975.
9. *Degtyarev A.* New Approach to Wave Weather Scenarios Modeling. // Contemporary Ideas on Ship Stability and Capsizing in Waves, Fluid Mechanics and Its Applications, M.A.S.Neves et al. (eds.), Springer, v.97, 2011, pp.599-617.
10. *Nielsen U.D., Stredulinsky D.C.* Onboard Sea State Estimation Based on Measured Ship Motions. // Proceedings of the 12th International Ship Stability Workshop, USA, June 2011, pp.61-67.