

И. В. ФОМИНОВ

ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРА АДАПТИВНОГО ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА ПОДВИЖНОГО ОБЪЕКТА

Рассматривается теоретический подход к построению адаптивного информационно-измерительного комплекса подвижного объекта, основанный на применении теории адаптивного управления измерительной системой на разных уровнях ее иерархии. Предложенная методология направлена на повышение точности информации о параметрах ориентации и навигации подвижного объекта, функционирующего в условиях случайных возмущающих воздействий.

Ключевые слова: *адаптивный информационно-измерительный комплекс, подвижный объект, навигация и ориентация, априорная неопределенность.*

Развитие современных систем управления подвижными объектами различного класса непосредственно связано с ужесточением требований к качеству управления, уровню автономности, надежности и продолжительности функционирования объектов наряду с ограничениями на массогабаритные параметры и характеристики ресурсоемкости и энергопотребления.

Одним из основных компонентов системы управления подвижным объектом является информационно-измерительная система (ИИС), обеспечивающая необходимую информацию о текущих параметрах движения объекта и условиях его эксплуатации. Точность, достоверность, своевременность и полнота этой информации во многом определяют качество управления подвижным объектом и эффективность выполнения целевой задачи. Обеспечение точной и своевременной информации осложняется неполнотой знаний о характеристиках объекта управления вследствие изменяющихся условий эксплуатации, влияния возмущающих воздействий, отказов элементов ИИС и возникновения других нештатных ситуаций. Указанные внешние и внутренние дестабилизирующие факторы имеют, как правило, априорно-неопределенный характер.

Системы управления, характеризующиеся способностью варьировать собственные параметры в условиях воздействия дестабилизирующих факторов в целях обеспечения требуемого качества функционирования, называются *адаптивными*. В свою очередь, ИИС, характеризующиеся такими же признаками, относятся к *адаптивным информационно-измерительным системам*.

Началом развития адаптивных систем управления считается конец 50-х — начало 60-х гг. XX века. Основоположниками теории адаптивного управления в нашей стране являются А. А. Красовский, В. В. Солодовников, В. И. Костюк. Дальнейшее развитие эта теория получила в работах Я. З. Цыпкина, в частности, его монография [1] положила начало широкому распространению алгоритмической теории адаптивных систем во всем мире. В последующие годы как в СССР, так и за рубежом развитие методов адаптивного управления основывалось

на идеях, принятых ранее. Выдающийся вклад в теорию систем адаптивного управления внесли В. А. Якубович, И. Д. Ландау, Р. В. Монополи, Б. Уидроу. Развитием научной школы самонастраивающихся систем в разные годы занимались В. А. Бесекерский, Р. М. Юсупов, Ю. М. Козлов, П. И. Чинаев. Самонастраивающиеся системы достаточно широко изучены и представлены в монографиях [2—4].

В настоящее время последователями теории адаптивных систем управления являются А. А. Жданов, А. В. Тимофеев, Д. В. Ефимов, А. Л. Фрадков и др.: см., например, работы [5—8]. Эти работы посвящены адаптивным системам автоматического управления, основные принципы построения которых — иерархичность, модульность и многофункциональность — могут быть положены в концепцию развития адаптивных ИИС подвижных объектов. Некоторые из этих принципов отражены в работе [9], в которой рассмотрен подход к построению ИИС на основе методов самоорганизации процесса измерения, позволяющий получить наилучшую оценку параметров движения летательного аппарата в изменяющихся условиях эксплуатации. Однако в указанной работе не рассматривается концепция развития адаптивных измерительных устройств (ИУ) и адаптивных методов комплексного использования разнородной информации, поступающей от различных источников, при изменении условий функционирования летательного аппарата и его измерительного комплекса. В этой связи предлагается расширить методологию построения адаптивных ИИС посредством применения методов адаптации на разных уровнях иерархии системы.

Рассмотрим обобщенную структуру адаптивного бортового информационно-измерительного комплекса (АБИИК, далее — комплекс) некоторого подвижного объекта. Одной из основных функций комплекса является решение задач навигации и определения параметров ориентации объекта по информации от различных источников (например, гравитационного поля Земли, магнитного поля Земли, Солнца, звезд и т.д.). Отметим, что АБИИК может быть построен на системах как платформенного, так и бесплатформенного типа.

В ряде навигационных систем подвижных объектов состав используемых измерительных устройств определяется жесткой логикой функционирования. Как правило, условия функционирования подвижных объектов априори неизвестны либо изменяются вследствие влияния случайных дестабилизирующих факторов, поэтому жестко определить программу функционирования ИИС достаточно сложно. Основная цель АБИИК заключается в обеспечении требуемой полноты и точности определения параметров ориентации и навигации подвижного объекта при воздействии априорно-неопределенных дестабилизирующих факторов.

Для обеспечения требований по точности и своевременности передаваемой информации, а также надежности системы в целом в состав АБИИК подвижного объекта целесообразно включать избыточное количество ИУ. При этом достоверность информации о требуемых физических параметрах объекта в текущий момент времени определяется как характеристиками самих устройств, так и условиями функционирования системы. Выбор состава ИУ должен производиться на основе некоторого принятого критерия (например, минимума среднеквадратического отклонения оценки параметров ориентации и навигации). Автоматический синтез состава ИУ относится к классу задач структурной адаптации.

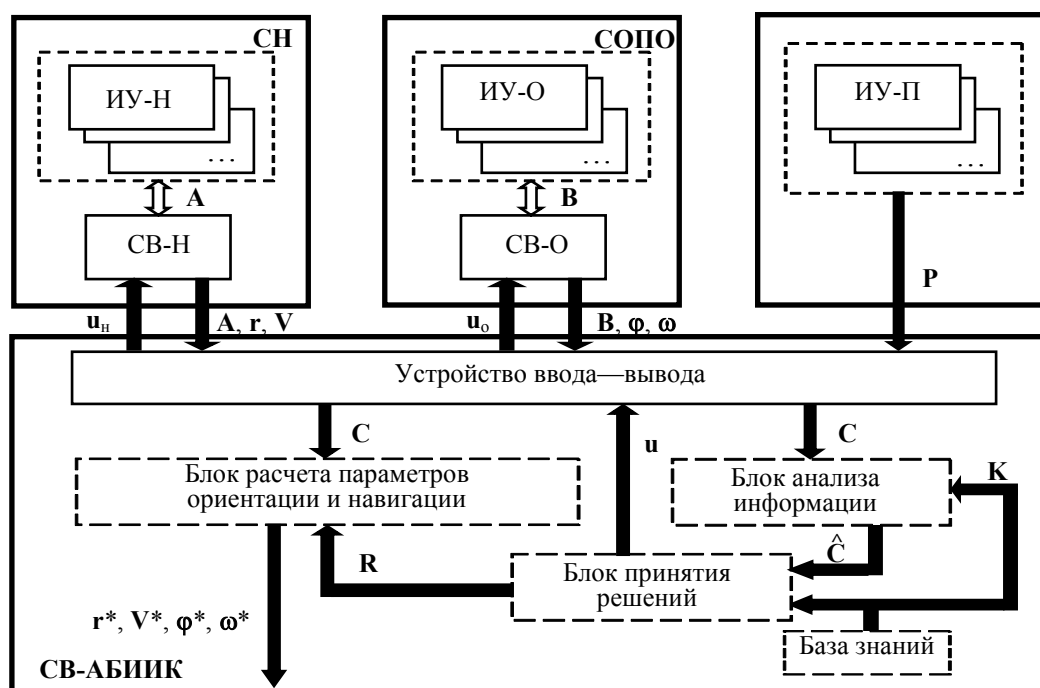
Структурная адаптация комплекса влечет за собой необходимость модификации как алгоритмов расчета параметров движения, так и алгоритмов комплексного использования информации, поступающей с выходов ИУ. Например, для системы ориентации и навигации алгоритм расчета параметров поступательного и вращательного движения объекта определяется в соответствии с наличием тех или иных ИУ: гироскопов направления, измерителей угловой скорости, акселерометров, навигационной аппаратуры потребителя СРНС ГЛОНАСС и т.д. Особенности технических характеристик ИУ, таких как частота передачи первичной информации, диапазон измерения, погрешности измерения в текущий момент времени, обуславливают необходимость адаптации алгоритма обработки и оценивания параметров ориентации и навигации объекта к изменению состава ИУ.

Вследствие изменения условий эксплуатации объекта управления (изменения динамики его движения, появления вибраций основания, вариаций температуры окружающей среды) изменяются и точностные характеристики ИУ. Причем для некоторых измерительных устройств и систем такие изменения условий эксплуатации могут привести не только к снижению точности измерения параметров движения, но и к невозможности их определения.

Обеспечить требуемые характеристики ИУ можно разными путями. Так, существуют способы парирования возмущающих факторов с использованием специальных стабилизирующих или компенсирующих устройств. Например, для обеспечения стабильности измерения параметров движения объекта посредством инерциального измерительного модуля, состоящего из гироскопов и акселерометров, используются системы термостабилизации или термокомпенсации. Такой подход, как правило, сопровождается увеличением массогабаритных характеристик измерительного модуля, что во многих случаях может стать препятствием к его применению.

Одним из перспективных способов обеспечения стабильности точностных характеристик ИУ является создание самонастраивающихся измерительных устройств. Такие ИУ должны представлять собой некоторые специальные системы автоматического управления с адаптивным контуром, т.е. системы, которые построены на базе известных поисковых или беспоисковых самонастраивающихся систем. Преимуществом самонастраивающихся измерителей является снижение дополнительных погрешностей ИУ, вызванных изменением условий их эксплуатации, что позволяет обеспечить требуемые метрологические характеристики, не применяя дополнительные стабилизирующие системы и не усложняя конструкцию устройства [10].

Обобщенная структура АБИИК подвижного объекта (см. рисунок) состоит из системы навигации (СН), системы определения параметров ориентации (СОПО), периферийных измерительных устройств (ИУ-П) и бортового компьютера. В состав СН входят навигационные измерительные устройства (ИУ-Н) и специализированный вычислитель системы навигации (СВ-Н). СОПО состоит из измерительных устройств (ИУ-О) и специализированного вычислителя системы ориентации (СВ-О).



К числу основных задач комплекса относятся следующие:

— измерение первичных параметров движения объекта управления и физических параметров среды его функционирования;

- управление режимами работы ИУ-Н и ИУ-О в соответствии с задачами объекта и условиями его функционирования;
- проведение автономной калибровки ИУ-Н и ИУ-О;
- самонастройка ИУ-Н и ИУ-О в соответствии с изменениями условий функционирования объекта;
- расчет параметров навигации и ориентации в соответствии с адаптивными алгоритмами, модифицируемыми в зависимости от целей и задач управления подвижным объектом при различных составах ИУ;
- комплексное использование информации о параметрах движения, полученной системами ориентации и навигации от измерителей различных типов;
- структурная адаптация комплекса при возникновении нештатных ситуаций.

Особенности функционирования комплекса определяются назначением его систем и элементов.

Система навигации предназначена для измерения первичных навигационных параметров \mathbf{A} и расчета параметров движения центра масс: например, координат \mathbf{r} и составляющих вектора скорости \mathbf{V} подвижного объекта в требуемой системе координат.

Система определения параметров ориентации предназначена для измерения первичных параметров \mathbf{B} углового движения объекта — вектора $\boldsymbol{\varphi}$ углового положения и вектора $\boldsymbol{\omega}$ угловой скорости — и расчета параметров его текущей ориентации, например углов Эйлера, относительно требуемой системы координат.

Периферийные измерительные устройства представляют собой датчики температуры, параметров ионизирующего излучения, влажности и давления, а также средства измерений других характеристик среды функционирования объекта.

В специализированном вычислителе комплекса (СВ-АБИИК) осуществляется расчет текущих параметров поступательного (\mathbf{r}^* , \mathbf{V}^*) и вращательного ($\boldsymbol{\varphi}^*$, $\boldsymbol{\omega}^*$) движения объекта управления по алгоритмам, реализуемым в блоке расчета параметров ориентации и навигации.

В блоке анализа информации осуществляется сравнение данных, поступающих от систем навигации и ориентации: $\mathbf{C} = \{\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{r}, \mathbf{V}, \boldsymbol{\varphi}, \boldsymbol{\omega}\}$, а также от периферийных датчиков \mathbf{P} , с априорными данными \mathbf{K} , хранящимися в базе знаний. Априорные данные \mathbf{K} включают в себя предельные значения параметров движения объекта, а также параметры, характеризующие условия его эксплуатации (например, диапазоны измерения, предельные значения вибраций, перегрузки, засветка солнечным излучением и др.), при которых определенные типы измерительных устройств функционируют недостаточно эффективно либо не способны функционировать. В результате сравнения формируются предварительные оценки $\hat{\mathbf{C}}$, на основе которых в блоке принятия решения определяется критерий \mathbf{R} . В соответствии с этим критерием осуществляется синтез алгоритмов определения параметров ориентации и навигации, обеспечивающий требуемую точность измерения параметров движения объекта, а также алгоритмов управления $\mathbf{u} = \{\mathbf{u}_n, \mathbf{u}_o\}$ режимами работы СН и СОПО (автономная калибровка, самонастройка и т.д.).

Изложенный в данной статье подход к построению АБИИК подвижного объекта, по мнению автора, может быть реализован с учетом современных технологий и методов адаптивного управления.

В заключение можно выделить три основных направления развития методов построения АБИИК подвижных объектов:

- разработка методов и технических средств параметрической самонастройки измерительных устройств, входящих в ИИС, и их автономной калибровки;
- разработка методов и технических средств структурной адаптации ИИС;

— разработка адаптивных методов обработки навигационной информации и методов ее комплексного использования.

Развитие этих направлений позволит расширить области применения существующих и перспективных ИИС, повысить точность передаваемой информации в требуемые моменты времени, повысить надежность ИИС в целом и уровень их интеллектуализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах. М.: Наука, 1968. 400 с.
2. Козлов Ю. М., Юсупов Р. М. Беспойсковые самонастраивающиеся системы. М.: Наука, 1969. 456 с.
3. Аналитические и самонастраивающиеся системы автоматического управления / Под ред. В. В. Солодовникова. М.: Машиностроение, 1965. 326 с.
4. Самонастраивающиеся системы: Справочник / Под ред. П. И. Чинаева. Киев, Наукова Думка, 1969. 528 с.
5. Жданов А. А., Земских Л. В., Беляев Б. Б. Система стабилизации углового движения космического аппарата на основе нейроподобной системы автономного адаптивного управления // Космические исследования. 2004. Т. 42, № 3. С. 280—294.
6. Тимофеев А. В. и др. Методы оптимального, робастного и адаптивного управления роботами, машинами и аэрокосмическими аппаратами // Информационный бюллетень РФФИ. 1994. Т. 2, № 1. С. 193.
7. Ефимов Д. В. Анализ устойчивости адаптивных нейросетевых систем управления на основе метода разделения движений // Изв. вузов. Приборостроение. 2001. Т. 44, № 1. С. 20—25.
8. Фрадков А. Л. Адаптивное управление в сложных системах. М.: Наука, 1990.
9. Пупков К. А., Неусыпин К. А., Кэ Фан. Интеллектуализация измерительного комплекса летательного аппарата // Изв. вузов. Приборостроение. 2004. Т. 47, № 8. С. 18—23.
10. Фоминов И. В., Малетин А. Н. Алгоритм самонастройки маятникового автоколебательного акселерометра при воздействии периодических возмущений // Там же. 2011. Т. 54, № 9. С. 28—33.

Сведения об авторе

Иван Вячеславович Фоминов — канд. техн. наук; Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, кафедра автономных систем управления, Санкт-Петербург;
E-mail: i.v.fominov@gmail.com

Рекомендована кафедрой
автономных систем управления

Поступила в редакцию
20.12.12 г.