

типа EGA/VGA.

Программный пакет организован в виде совокупности автономных модулей, связанных интерактивными оболочками.

Такая структура обладает рядом преимуществ, поскольку:

- позволяет разделить решение задачи на ряд независимых этапов;
- позволяет документировать и сохранять результаты выполнения каждого этапа;
- дает возможность пользователю в зависимости от требуемого объема численного эксперимента работать только с частью программных средств пакета.

С использованием III оптимизации требований к БСК и конструкции проведено комплексное моделирование процессов совместного функционирования СИУП и СУУД КА специального назначения, подтвердившее работоспособность и эффективность разработанных программных средств.

УДК 681.513.6

Ю.С.Мануйлов, С.В.Шальмов

КОМПЕНСАЦИОННО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ МНОГОСВЯЗНЫХ УПРУГИХ ДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Рассматривается задача повышения качества управления движением упругих динамических объектов (УДО), отличающихся многосвязностью и наличием крупногабаритных упругих элементов конструкции (УЭК) с инфранизким частотным спектром собственных колебаний. Решение проводится с позиций принципа квазизатвердевания /1/. Предлагается подход к управлению объектами рассматриваемого класса, предполагающий организацию согласованного управления динамикой сравнительно жесткой части (корпуса объекта) и относительным движением присоединенных УЭК с использованием возможностей как исполнительных органов (ИО), установленных на корпусе (централизованное управление), так и локальных ИО, размещенных непосредственно на УЭК (локальное управление). Реализация этого подхода на основе вертикальной декомпозиции математической модели управляемых процессов приводит к построению иерархической двухуровневой

многоконтурной системы управления.

Математическая модель управляемого движения УДО, с учетом возможностей организации как централизованного, так и локального управлений, может быть представлена конечномерной системой обыкновенных дифференциальных уравнений в форме Эйлера-Лагранжа [2].

При решении целевых задач желаемую динамику корпуса объекта с жестко закрепленным на нем специальным бортовым оборудованием, к параметрам движения которого, собственно, и предъявляются высокие требования, зададим опорной траекторией, определенной на множестве решений систем дифференциальных уравнений:

$$\dot{\varphi}_0 = \phi(\varphi_0)W_0; \quad \dot{W}_0 = V_r(W_0) + V_0, \quad (1)$$

где $\varphi_{0(s)}$, $W_{0(s)}$ - расширенные векторы перемещений и скоростей корпуса по опорной траектории; $V_r(W_0) = -\partial S(W_0) / \partial W_0$; $V_0 = \partial M$ - опорное управляющее ускорение; $M_{0(s)}$ - вектор управляющих воздействий, формируемых ПДУ и реализующих невозмущенное опорное движение объекта в "затвердевшем" состоянии.

Заметим, что опорное движение объекта может быть задано, вообще говоря, не единственным способом, и в этой связи следует отметить, что выбор конкретного варианта в определенной степени зависит от сложности решения соответствующей задачи синтеза опорного управления. В частности, опорное управление может быть найдено в классе оптимальных законов (как в форме программы, так и в форме синтеза), законов терминального и адаптивного упуправлений, законов, полученных с позиций теории устойчивости, либо иным образом. В дальнейшем полагаем опорное управление известным.

В соответствии с принципом квазизатвердевания, в предположении тождественности начальных состояний корпуса УДО в реальном и опорном движении, задача управления объектом может быть формализована следующим образом.

Найти централизованное $V \in W \subset R^6$ и локальное $U \in U \subset R^6$ управления объектом такие, что в течение управляемого процесса удовлетворяются условия:

$$\|\Delta \dot{W}\|_1 = \|\dot{W} - \dot{W}_0\|_1 = \|V_r(W) - V_r(W_0) + V - V_0\|_1 \leq \varepsilon_1^*, \quad 1=1,6, \quad (2)$$

где $\|\cdot\|_1$ - некоторая выбранная норма; $V_r = V_r(\ddot{q}) + V_r$; ε_1^* , $1=1,6$ - параметр, характеризующий допустимый уровень отклонений реальной динамики объекта от его опорного движения (1) по i -му каналу управления.

В идеальном случае при $\varepsilon_1^* = \text{col}(\varepsilon_1^*, 1=1,6) = 0$ реальное движение

объекта тождественно совпадает с опорным и задача управления может быть сведена к задаче инвариантного синтеза. Для этой цели централизованное управление разделим "на две части": $V=V_0 + \Delta V$. При этом, очевидно, зависимость управления V от динамики УЭК и прочих возмущений, а также, возможно, от локального управления U , в полной мере определяется составляющей ΔV .

Предлагаемый подход, допуская функциональную связь между локальным и централизованным управлениями, позволяет провести декомпозицию математической модели управляемого движения объекта, и на этой основе разделить и решать независимо друг от друга задачи синтеза инвариантного (субинвариантного) централизованного управления корпусом с "затвердевшими" УЭК и локально - автономного управления динамикой упругой системы.

(Суб)инвариантное централизованное управление УДО, по своей сути, призвано обеспечить выполнение условий (2) или, иными словами, гарантировать устойчивость нулевого решения системы дифференциальных уравнений, описывающих возмущенную динамику корпуса объекта в окрестности опорной траектории, определяемой системой (1). Практическую реализацию такого управления целесообразно осуществлять в классе комбинированных систем стабилизации, поскольку в них не возникает противоречия между условиями инвариантности и условиями устойчивости, что является их существенным преимуществом по сравнению с системами регулирования по отклонению. Согласно принципу комбинированного управления и в соответствии с принципом двухканальности Б.Н.Петрова, компенсирующая добавка ΔV задается в виде: $\Delta V = \Delta V_{\Sigma} + \Delta V_{\Gamma}$, где $\Delta V_{\Sigma} = \dot{V}_{\Sigma}(W_0) + V - X_{\omega}$ - составляющая, формируемая контуром грубого управления (по возмущению) с использованием оценки вектора ускорения корпуса объекта X_{ω} .

Как показала практика, при организации управления движением УДО возникает необходимость подавления колебаний упругой части конструкции с целью снижения энергетических затрат, повышения технической устойчивости системы в целом и, в конечном счете, эффективного разрешения основного динамического противоречия "быстродействие-экономичность-точность".

Таким образом, для объектов рассматриваемого класса целесообразная структура СУД включает подсистемы централизованного (ПЦУ) и локально-автономного (ПЛАУ) управления. Последняя, в свою очередь, по всей видимости должна представлять совокупность независимых контуров активного демпфирования колебаний, формируемых для каждого УЭК в

отдельности и организационно включающих в себя группы разнотипных локально-автономных контуров управления (ЛАКУ). Последние, в зависимости от типа используемых локальных ИО, могут подразделяться на контуры координатного и параметрического управления. Контуры координатного управления призваны обеспечить решение задачи за счет приложения к УЭК управляющих сил и моментов, а параметрического – за счет управляемого изменения динамических параметров (жесткости, коэффициента диссипации) присоединенных УЭК. Существенно, что при таком подходе СУД УДО становится многоконтурной и приобретает рассредоточенный характер, в наибольшей степени отвечающий особенностям объекта управления как распределенной системы.

Подчиненная согласованность режимов работы ЛАКУ с режимом работы ПЦУ с целью исключения переходов на минимальную жесткость УЭК в режимах высокودинамичного изменения централизованного управления является основным отличительным признаком иерархического двухуровневого построения многоконтурной СУД, в которой верхний уровень (ПЦУ) имеет дело с обработкой опорного движения корпуса объекта в условиях действия ограниченных внешних возмущений, а нижний уровень (ПЛАУ) осуществляет управление "остатком" системы в декомпозиционной структуре. Использование иерархических двухуровневых многоконтурных систем, реализующих предлагаемое компенсационно-параметрическое управление движением УДО, позволяет существенно повысить качество управляемых процессов. В частности, при стабилизации углового положения упругого объекта с крупногабаритными выносными УЭК, длительность переходных процессов сокращается в два и более раз по сравнению со случаем использования традиционного пропорционально-дифференциального регулятора.

Список литературы

1. Мануйлов Ю.С., Горелов Ю.Н., Шалымов С.В. Методы реализации принципа квазизатвердевания при стабилизации движения упругих динамических объектов // Вопросы анализа и синтеза сложных управляемых систем. – Л.: МО СССР, 1989. – С. 20–23.
2. Лурье А.И. Аналитическая механика. – М.: ГИИМЛ, 1961. – 824 с.
3. Мануйлов Ю.С., Шалымов С.В. Оптимальное повышение диссипации в упругой системе за счет управления ее жесткостными свойствами // Методы и алгоритмы исследования автоматических систем управления. – Вып.6, – Л.: МО СССР, 1988. – С. 26–31.