

## АЛГОРИТМ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ЗАМЫКАНИЯ МОД ДВИЖЕНИЯ ДЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ MULTI-INPUT MULTI-OUTPUT СИСТЕМ

К.А. Богданов

Научный руководитель: д.т.н. С.Н. Тимаков

ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С. П. Королева,  
Россия, г. Королев, ул. Ленина, 4а, 141070

E-mail: [kab956@mail.ru](mailto:kab956@mail.ru)

Разработан численный алгоритм модального синтеза систем управления с несколькими входными и выходными каналами (систем multi-input multi-output). Данный метод представляет собой численный алгоритм позволяющий осуществлять поиск как матрицы обратной связи, обеспечивающей асимптотическую устойчивость системы, так и матрицы весовых коэффициентов, обеспечивающей сходимость оценочных значений вектора состояния к их реальным значениям при неполном составе измерений.

Данный алгоритм основан на принципе последовательного замыкания, который подразумевает последовательный перенос пар собственных чисел незамкнутой системы в желаемое положение. Такой подход позволяет свести синтез системы управления к простейшим матричным операциям, что позволяет увеличить точность размещения корней замкнутой системы (согласно наперед заданному эталонному полиному), что особенно актуально для систем с большой размерностью вектора состояния (больших систем). Точность размещение корней при синтезе системы управления, а так же отсутствие ограничений на кратность размещаемых корней – основные достоинства предлагаемого алгоритма.

Для демонстрации работоспособности алгоритма последовательного замыкания решены две тестовые задачи синтеза законов управления. В качестве эталонного полинома, как для первой, так и для второй тестовой задачи выступает полином Баттерворта [1].

Первая задача - выведение и удержание МКС в положении динамического равновесия (режим Momentum Management). В данной задаче рассматривается угловое движение Международной Космической Станции. Вектор состояния, описывающий динамику МКС как объекта управления включает в себя компоненты углового положения МКС, компоненты ее угловой скорости, а также компоненты вектора кинетического момента МКС. Помимо этого в вектор состояния включены первые три гармоники, отвечающие за аэродинамику. Отдельно осуществляется синтез закона управления по каналам крен + рысканье, отдельно по каналу тангажа.

Ниже приведено сравнение результатов (задача построение закона управления по каналам крен + рысканье) полученных при помощи описываемого метода последовательного замыкания и при помощи процедуры place, основанной на широко известном методе [2] и реализованной в среде MATLAB в виде функции place (рис. 1). Стоит отметить, что процедура place не справляется с данной задачей из-за ошибок, накопленных в процессе преобразований матриц большой размерности.

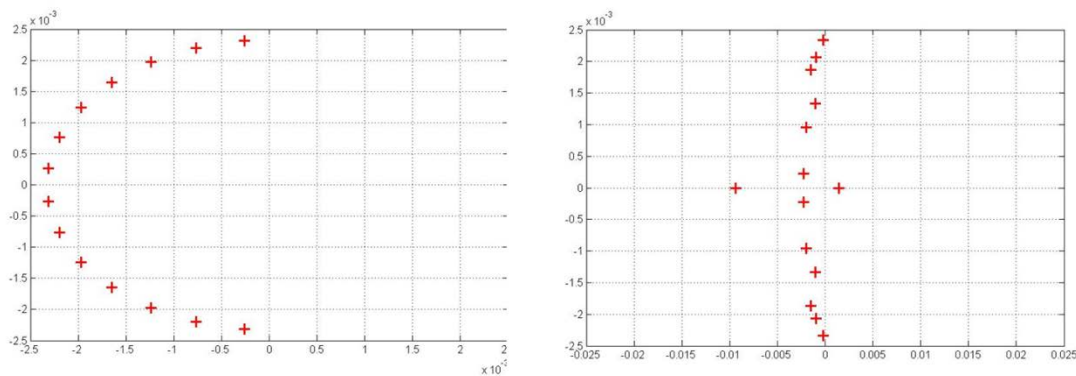


Рис. 1. Сравнение расположения корней замкнутой системы, полученного с помощью метода последовательного замыкания (слева) и процедуры place (справа)

Вторая тестовая задача – синтез адаптивного закона управления космического аппарата с вращающимся солнечным парусом. Рассматривается концепт КА, в состав которого входят собственно вращающийся солнечный парус в виде пленочного диска, приборный отсек и компенсирующий силовой гироскоп с управляемыми углами отклонения ротора. Ранее было доказано, что 99,9% массы пленочного диска солнечного паруса совершают колебания на первых двух гироскопически связанных модах движения, что позволяет с высокой степени точности описывать поведение мембранного диска динамикой одного гироскопа в упругом подвесе. Таким образом, угловое движение представляемого КА описывается движением двух гироскопов в упругих подвесах. В силу невозможности напрямую измерять компоненты, отвечающие за колебания пленочного диска солнечного паруса, в контур управления вводится бортовая модель, содержащая оценки как неизмеряемых напрямую компонент вектора состояния. Таким образом, в данной задаче при помощи метода последовательного замыкания решаются сразу две подзадачи: синтез закона управления угловым положением КА с солнечным парусом, и синтез наблюдателя (бортовой модели) обеспечивающей сходимость оценок вектора состояния к их реальным значениям.

В перспективе планируется использование разработанного алгоритма для более сложных задач, касающихся разработки систем автономного управления большими группировками и формациями спутников, разработки законов управления ориентацией КА с учетом упругости конструкции и других задач управления движением КА.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. -М.: Машиностроение, 1976. – 184 с.
2. J. Kautsky, N. K. Nichols, and P. Van Dooren, *Robust pole assignment in linear state feedback*, *Internat. J. Control*, 41 (1985), pp. 1129-1155.