УДК 51-7:53

ДЖУЛГАКОВ Д.В., ЛЮБЧИК Л.М., профессор, д.т.н.

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ДИФФЕРЕНЦИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ НА ОСНОВАНИИ СКОЛЬЗЯЩИХ РЕЖИМОВ

Проблема дифференцирования сигналов естественно возникает во многих прикладных задачах теории управления. В частности, указанная проблема возникает при решении задач синтеза ПИД-регуляторов, регуляторов на основе обратных моделей, наблюдателей состояния для систем с неизвестными входными сигналами. Главной проблемой при дифференцировании измеряемых сигналов является высокая чувствительность к помехам измерений. Классические подходы подразумевают использование больших коэффициентов усиления наблюдателя, что приводит к возникновению пиков в оценке производной.

Теория скользящих режимов является одним из успешных подходов к этой задаче в современной теории управления. Системы со скользящими режимами демонстрируют многие положительные свойства, такие как сходимость за конечное время, нечувствительность к входным возмущениям и неопределенностям модели [1]. Применение скользящих режимов позволяет построить дифференциатор сигналов со слабой чувствительностью к шуму, который демонстрирует точность, пропорциональную $\varepsilon^{1/2}$, где ε – отношение сигнал/шум для входа [2]:

$$\dot{z}_0 = -\lambda_0 |z_0 - f(t)|^{1/2} sign(z_0 - f(t)) + z_1, \quad \dot{z}_1 = -\lambda_1 sign(z_0 - f(t)), \tag{1}$$

где z_i– оценки производных $f^{(i)}(t)$, $f(t)$ – входной сигнал, λ_i – параметры.

Ограничением классических скользящих режимов является их применимость только к системам относительного порядка 1. Применение рекурсивных методов синтеза скользящих режимов высокого порядка [3] позволяет строить системы для получения оценки производных высоких порядков, устойчивые к входным возмущениям. Пусть дифференциатор $(n-1)$ порядка дает оценки $D_{n-1}^i, i=\overline{0,n-1}$ для $(n-1)$ производной сигнала $f(t)$. Тогда дифференциатор порядка n дает оценки $z_i = D_n^i, i=\overline{0,n}$ определяемые как

$$\dot{z}_0 = \upsilon, \quad \upsilon = -\lambda_0 |z_0 - f(t)|^{n/(n+1)} sign(z_0 - f(t)) + z_1, \quad z_i = D_{n-1}^{i-1}(\upsilon(\cdot)), i=\overline{1,n}, \tag{2}$$

и обеспечивает ошибку, пропорциональную $\varepsilon^{(n-i)/(n+1)}$, для оценки производной z_i при произвольном входном шуме и ограниченной производной $f^{(n+1)}(t)$ входного сигнала.

Список литературы: 1. *Уткин, В.И.* Скользящие режимы и их применение в задачах оптимизации и управления. – М.: Наука, 1981. – 286 с. **2.** *Levant, A.* Higher-order sliding modes, differentiation and output-feedback control, Int. J. of Contr., Vol. 76, No. 9 (2003), p. 924–941. **3.** *Bejarano, J.F*, *Fridman*, *L.* High order sliding mode observer for linear systems with unbounded unknown inputs, Int. J. of Contr., Vol. 83, No. 9 (2010), p. 1920-1929