

Данная библиотека позволяет нам обнаруживать Radio и Device. После первого обнаружения устройств происходит обучение программы, заключающееся в установлении соответствия между логическим именем телефона и фамилией его владельца. При повторном запуске программа автоматически установит соответствие телефон – владелец и создаст динамический документ о присутствующих на лекции студентах. Дополнительной обработки полученной информации не требуется так как такая задача успешно решается стандартными Windows программами, например, Excel.

Таким образом, разработана программа по контролю посещаемости лекции на основе Bluetooth технологий. В данной программе реализованы функции по обнаружению и подключению Bluetooth устройств. Данные разработки будут положены в основу для создания системы интерактивного тестирования при помощи компьютера и мобильных устройств.

Литература

1. Шилдт Герберт, Холмс Джеймс. Искусство программирования на Java. М.: «Диалектика», 2005. С. 336.
2. Интернет-адрес: <http://delphiplus.org>

УПРОЩЕНИЕ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

Мэн Цин-сун (КНР)

1. ВВЕДЕНИЕ

Упрощение моделей сложных и многомерных систем представляет собой важную научно-исследовательскую задачу для разработчиков систем управления. В 1981 году Моогс создал метод сбалансированного упрощения для полностью управляемых и наблюдаемых систем с асимптотической устойчивостью [1]. В данной статье на основании теории сбалансированного упрощения, проведена аппроксимация моделей для линейных и поливариантных систем. Улучшена так же и степень приближения решений к реакциям исходных систем.

2. АЛГОРИТМ УПРОЩЕНИЯ МОДЕЛЕЙ

Учитываем линейную и поливариантную систему S_1 :

$$S_1 : \begin{cases} \dot{X} = AX + BU \\ Y = CX \end{cases}, \quad (1)$$

где $X \in R^{n \times 1}, U \in R^{m \times 1}, Y \in R^{p \times 1}$ – матрицы-столбцы фазовых координат, управляющих величин и регулируемых величин. A, B, C – матрицы постоянных коэффициентов. И получим матрицу передаточной функции данной системы:

$$G(s) = C(sI - A)^{-1}B. \quad (2)$$

Если предположим, что система S_1 является полностью управляемой и полностью наблюдаемой с асимптотической устойчивостью, то управляемая Grammian матрица W_c и наблюдаемая Grammian матрица W_o удовлетворяют следующим уравнениям Ляпунова:

$$W_c A^T + A W_c + B B^T = 0,$$

$$W_o A + A^T W_o + C^T C = 0.$$

Кстати, тут дано определение сингулярных чисел (Single Value) σ_i для системы S_1 :

$$\sigma_i(G(s)) = (\lambda_i(W_c W_o))^{1/2}. \quad (3)$$

Если $W_c = W_o$, и они – диагональные матрицы, то систему S_1 называют сбалансированной. А для полностью управляемых и полностью наблюдаемых систем с асимптотической устойчивостью, всегда существует одно линейное преобразование T так, чтобы эквивалентно преобразовать систему S_1 в сбалансированную. Предположим $X = T\hat{X}$, то система S_1 будет сформирована в следующей форме:

$$S_2 : \begin{cases} \dot{\hat{X}} = \hat{A}\hat{X} + \hat{B}U \\ Y = \hat{C}\hat{X} \end{cases}, \quad (4)$$

где $\hat{A} = T^{-1}AT, \hat{B} = T^{-1}B, \hat{C} = CT, T \in R_n^{n \times n}$ – линейное преобразование.

После сбалансированного преобразования предположим разделение уравнения системы по фазовым координатам на две части в форме:

$$\begin{bmatrix} \dot{\hat{X}}_1 \\ \dot{\hat{X}}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{A}_{11} & \hat{A}_{12} \\ \hat{A}_{21} & \hat{A}_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{X}_1 \\ \hat{X}_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \hat{B}_1 \\ \hat{B}_2 \end{bmatrix} \cdot U,$$

$$Y = \begin{bmatrix} \hat{C}_1 & \hat{C}_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \hat{X}_1 \\ \hat{X}_2 \end{bmatrix}, \quad (5)$$

где $\hat{X}_1 \in R^{k \times 1}$, $\hat{X}_2 \in R^{(n-k) \times 1}$, $\hat{A}_{11} \in R^{k \times k}$, $\hat{A}_{22} \in R^{(n-k) \times (n-k)}$, $\hat{B}_1 \in R^{k \times m}$, $\hat{C}_1 \in R^{p \times k}$

Можно так считать: если $\sigma_{k+1} \ll \sigma_k$, то компоненты фазовых координат $\hat{X}_2$ почти не влияют на выходные действия системы. А устойчивость, анализ погрешности и критерий такого метода упрощения рассматриваются в [2,3].

Согласно критерию упрощения, после отсечения подсистем, соответствующих малым сингулярным числам $\sigma_i (i = k+1, k+2, \dots, n)$, получим k -мерную модель упрощения. Затем по формуле (5) получим:

$$\begin{cases} 0 = \hat{A}_{21}\hat{X}_1 + \hat{A}_{22}\hat{X}_2 + \hat{B}_2U \\ \dot{\hat{X}}_1 = \hat{A}_{11}\hat{X}_1 + \hat{A}_{12}\hat{X}_2 + \hat{B}_1U \\ Y = \hat{C}_1\hat{X}_1 + \hat{C}_2\hat{X}_2 \end{cases} \quad (6)$$

Далее рассмотрим два случая:

1) Если $\hat{A}_{22}$ обратима, и $\sigma_k \gg \sigma_{k+1} (k < n)$, то после исключения состояний $\hat{X}_2$ в формуле (6), получим:

$$S_4: \begin{cases} \dot{\hat{X}}_1 = A_R\hat{X}_1 + B_RU \\ Y = C_R\hat{X}_1 + D_RU \end{cases},$$

где $\hat{X}_1 \in R^{k \times 1}$, а A_R, B_R, C_R, D_R – постоянные матрицы,
 $A_R = \hat{A}_{11} - \hat{A}_{12}\hat{A}_{22}^{-1}\hat{A}_{21}$, $B_R = \hat{B}_1 - \hat{A}_{12}\hat{A}_{22}^{-1}\hat{B}_2$, $C_R = \hat{C}_1 - \hat{C}_2\hat{A}_{22}^{-1}\hat{A}_{21}$,
 $D_R = -\hat{C}_2\hat{A}_{22}^{-1}\hat{B}_2$.

2) Если $\hat{A}_{22}$ не обратима, то заменим матрицу $\hat{A}_{22}^{-1}$ матрицей $\hat{A}_{22}^+$ (обобщённой обратной матрицей).

3. АППРОКСИМАЦИЯ ДАННЫХ ПО ХАРАКТЕРИСТИКАМ

Чтобы получить равные первоначальные значения и приближённые устанавливающиеся значения для упрощённой модели S_4 по сравнению с моделью исходной системы S_1 , необходимо вести поправку на форму упрощённой модели S_4 следующим образом:

Сначала записываем упрощённую модель S_4 в следующей форме (7), затем ещё ведём аппроксимацию данных по матрицам передаточной функции.

$$S_5 : \begin{cases} \dot{\hat{X}}_1 = A_R \hat{X}_1 + B_R U \\ Y = C'_R \hat{X}_1 \end{cases}, \quad (7)$$

где $C'_R \in R^{p \times k}$. Необходимо удовлетворить следующее условие, чтобы обеспечить равные или более приближённые устанавливающиеся значения для этих двух моделей (S_1 и S_5).

$$\begin{bmatrix} CA^{-1}B & CA^{-2}B & \dots & CA^{-j}B \end{bmatrix} = C'_R \begin{bmatrix} A_R^{-1}B_R & A_R^{-2}B_R & \dots & A_R^{-j}B_R \end{bmatrix}, \quad (8)$$

$$j = 1, 2, \dots$$

где $G(s) = C(sI_n - A)^{-1}B = -\sum_{i=0}^{\infty} CA^{-i-1}Bs^i$,

$G_R(s) = C'_R(sI_k - A_R)^{-1}B_R = -\sum_{i=0}^{\infty} C'_R A_R^{-i-1}B_R s^i$ – матрицы передаточной функции для моделей S_1 и S_5 .

Рассмотрим задачу по решению уравнения матрицы (8) в двух следующих случаях:

Случай 1: если $k/m = j$, а j равно целому числу, то матрица C'_R определена единственно после отсечения первых j столбцов в уравнении матрицы (8);

Случай 2: если $k/m = j$, а j не равно целому числу, то после отсечения первых k столбцов получим близкие решения уравнения матрицы (8).

4. ПРИМЕР ИМИТАЦИИ

Например: динамическая модель системы известна в следующей матричной форме:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -0.42x_1 - 0.2x_2 - 0.008x_3 + 0.95x_5 + 0.00001x_6 - 9.15u_1 \\ \dot{x}_2 = x_1 - 0.053x_2 - 0.0003x_3 + 0.0001x_4 + 0.00035x_5 - 0.052u_1 \\ \dot{x}_3 = x_4 + 0.01u_1 \\ \dot{x}_4 = -688x_3 - 5.9x_4 + 899u_1 \\ \dot{x}_5 = x_6 + 0.001u_1 \\ \dot{x}_6 = -4880x_5 - 18.5x_6 - 488.5u_1 \end{cases},$$

$$\begin{cases} y_1 = x_1 + 0.000885x_4 - 0.00982x_6 \\ y_2 = x_2 \end{cases},$$

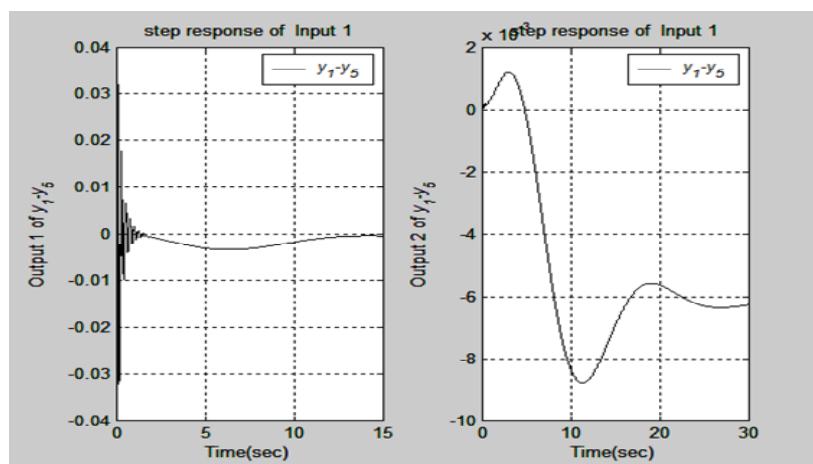


Рис. 1: Графики разностей переходных функций между моделями систем S_1 и S_5 ($k=2$)

где, $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6$ – фазовые координаты системы, u_1 – управляющая величина, y_1, y_2 – регулируемые величины.

Определив устойчивость, управляемость и наблюдаемость данной системы, получим сингулярные числа при помощи команд Matlab $\text{svd}=\text{sqrt}(\text{eig}(W_c*W_o))$ (см. формулу (3)):

$$\text{svd}=34.9029, 15.9508, 0.1318, 0.1267, 0.0666, 0.0630.$$

По распределению этих сингулярных чисел выбираем количество порядка упрощённой системы – 2 ($k=2$), в это время первые два сингулярного числа составляют

$$\sum_{i=1}^2 \sigma_i / \sum_{j=1}^6 \sigma_j \approx 99.24\%.$$

С помощью программы MATLAB получим графики разностей переходных функций между моделями систем S_1 и S_5 ($k=2$, см. рис. 1).

Из графиков видно, что полученная модель S_5 после применения вышеуказанного метода, хорошо приблизилась к исходной системе S_1 .

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используя данный метод упрощения математических моделей систем, повышена точность приближения упрощённой модели к исходной модели по переходным и устанавливающимся значениям. Вышеуказанный теоретический анализ и имитация примера доказывают применимость и эффективность этого метода упрощения.

Литература

1. Moore B. C. Principal Component analysis in linear system: Controllability, observability and model reduction // IEEE Trans. Automatic Contr. AC-26, 1981(1). P. 17–31.