электронное научно-техническое издание
НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ
Эл № ФС 77 - 30569. Государственная регистрация №0421100025. ISSN 1994-0408

Применение метода деформируемого многогранника и пакета MatLab для оптимизации переходных процессов в технических системах

77-30569/308104

02, февраль 2012

Аливер В. Ю.

УДК 519.6:681.51.011

МГТУ им. Н.Э. Баумана
aliverw@mail.ru

Введение

При расчете систем автоматического управления для достижения наибольшей эффективности систем – минимума перерегулирования, минимальной длительности переходного процесса, минимума ошибки – возникает задача оптимизации, в частности, численной. Для таких задач имеется развитый математический аппарат [1-4] и различные программные среды, одна из которых – MatLab – популярна для математиков и инженеров. Если целевую функцию можно записать в явном формульном виде, как правило, никаких особых проблем при ее оптимизации не возникает – пользуются встроенными средствами MatLab, т.е. встроенной функцией fminsearch или встроенным пакетом с итерактивной оптимизацией Optimization Toolbox. Задача усложняется, если записать целевую функцию аналитически нельзя. Это имеет место, например, когда значение целевой функции определяется только численными методами и никак не подсчитывается аналитически. Такое происходит, в частности, когда моделируется переходный процесс в автоматической системе: параметры переходного процесса станут известны только после выполнения очередного акта имитационного моделирования. В таких случаях необходимо вручную писать на языке MatLab программу, реализующую какой-либо алгоритм численной оптимизации.

Структура программного комплекса

Разработан комплекс таких программ, автоматизирована оптимизация переходного процесса. Для имитационного моделирования процесса используется встроенное средство моделирования систем – Simulink. После каждой реализации моделирования выходные данные передаются в рабочее пространство MatLab, где обрабатываются написанными программами (рис. 1).

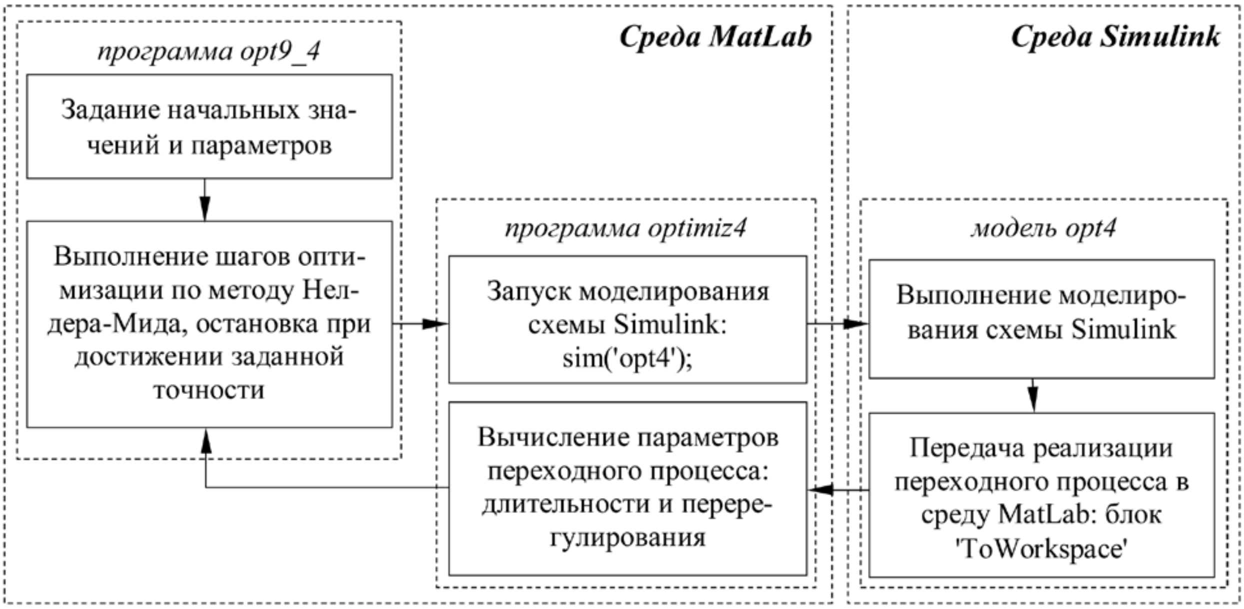
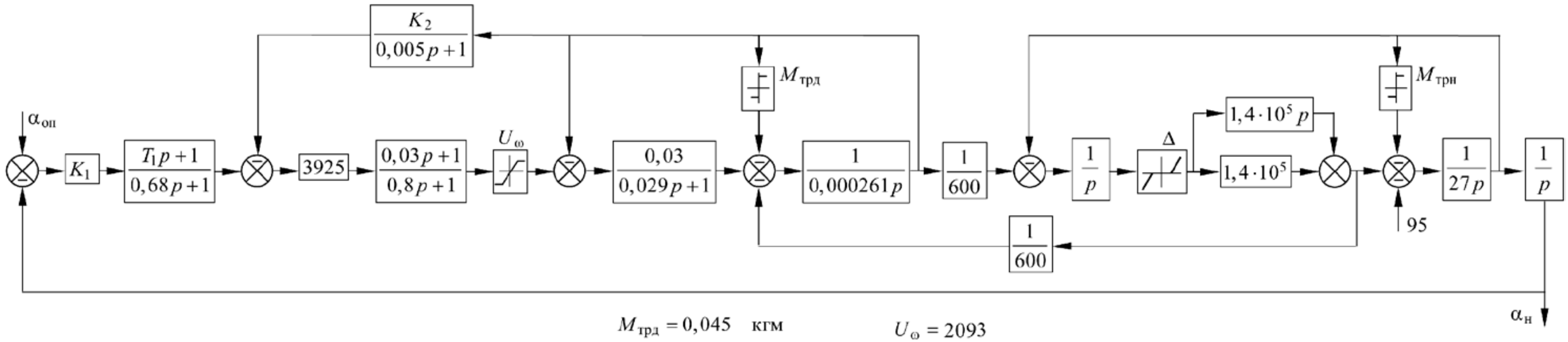


Рис. 1. Структура взаимодействия программ для оптимизации переходного процесса

Проводился сравнительный анализ методов численной оптимизации, в результате которого был выбран метод деформируемого многогранника. Также его называют симплекс-методом, методом Нелдера-Мида [1-6]. Специалисты характеризуют данный метод как один из самых эффективных и удобных для выполнения на ЭВМ. Его преимущество перед случайным поиском – существенно меньшее количество вычислений целевой функции. Как показал сравнительный анализ, меньшее в 3-4 раза и более того, в зависимости от конкретной задачи. Преимущество перед градиентными методами – отсутствие ограничений на вид целевой функции. Можно заметить, что встроенная функция MatLab fminsearch по умолчанию использует именно метод Нелдера-Мида. Также особенностью является расширяемость программного комплекса, разработанного в пакете MatLab: если понадобится оптимизировать другую систему или изменить критерий оптимизации, требуемые модификации программ будут незначительными. Написанные программы достаточно объемны, приводятся в работе [6]. Взаимосвязь между программами показана на рис. 1.

Пример оптимизации

Для примера рассмотрим САУ, структурная схема которой приведена на рис. 2. Требуется подобрать такие параметры корректирующих звеньев K_1, K_2 и T_1, чтобы при начальном рассогласовании $\alpha_{оп} - \alpha_{н} = 1$ рад перерегулирование не превышало 0,3 рад, а время переходного (время входа в трубку $\pm 0,01$ рад) не превышало 2 с.



$M_{трд} = 0{,}045$ кгм $\qquad U_{\omega} = 2093$

$M_{трн} = 12$ кгм $\qquad \Delta = 0{,}00013$ рад

Рис. 2. Структурная схема САУ

Для проведения оптимизации необходимо задать начальные значения изменяемых параметров. Можно выбрать их наугад, но лучше воспользоваться для выбора какой-либо определенной закономерностью. Рассматривалось и использовалось два способа.

Первый заключается в построении ЛЧХ разомкнутой системы и ее последующей модификации за счет изменения параметров системы. Параметры подбирают, исходя из заданной динамической ошибки и необходимых запасов устойчивости, согласно теории частотного синтеза САУ [5-7].

Линеаризуем систему, убрав нелинейные блоки, и размыкаем главную обратную связь в точке измерения ошибки. Положим $K_1 = 1$, $K_2 = 1$ и $T_1 = 1$. Рассчитанные характеристики приведены на рис. 3. Видно, что АЧХ весьма опущена. Это плохо тем, что при динамическом изменении $\alpha_{\text{оп}}$ ошибка $\alpha_{\text{оп}} - \alpha_{\text{н}}$ будет велика, особенно на высоких частотах. АЧХ можно поднять, увеличив K_1 и уменьшив K_2 на несколько порядков. Например, если изменяем только K_1 и требуем, чтобы частота среза равнялась 1 Гц, K_1 следует увеличить на 68,3 дБ, или $K_1 = 10^{68,3/20} = 2600$ (рис. 3). При таком большом коэффициенте усиления система становится неустойчивой – присутствует ярко выраженная резонансная частота, генерируются гармонические колебания. Исходя из соображений устойчивости и уменьшения динамической ошибки, примем начальные значения для оптимизации: $K_1 = 50$, $K_2 = 0{,}01$, $T_1 = 1$. При этом частота среза составляет 0,6 Гц, запас по фазе 45°, запас по амплитуде 4,3 дБ (рис. 3).

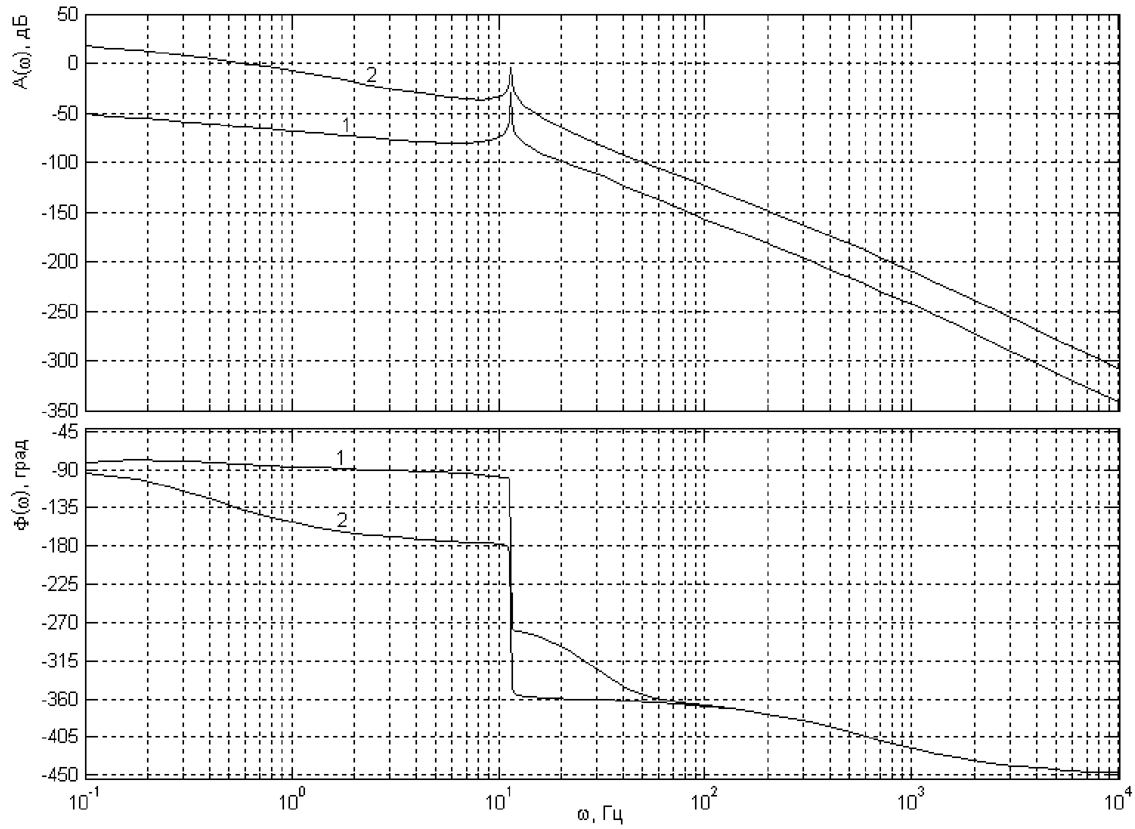


Рис. 3. Логарифмические частотные характеристики следящей системы,
1 – исходной и 2 – скорректированной, $A(\omega)$ – амплитудные, $\Phi(\omega)$ – фазовые

Второй подход состоит в наблюдении изменения переходного процесса системы при заданном изменении определенного параметра. Написана соответствующая программа, процесс наблюдения интерактивный. Это своего рода одномерная оптимизация «вручную» с равномерным поиском. Какой переходный процесс из всех наблюдаемых оказался качественнее, то значение параметра и принимают за лучшее (рис. 4). Затем можно исследовать другой параметр. Таким способом выясняется чувствительность системы к изменению параметра. Не исключено, что какой-либо из них на характеристики системы практически не влияет, и оптимизировать по нему бессмысленно. В нашем примере все три параметра оказались влияющими.

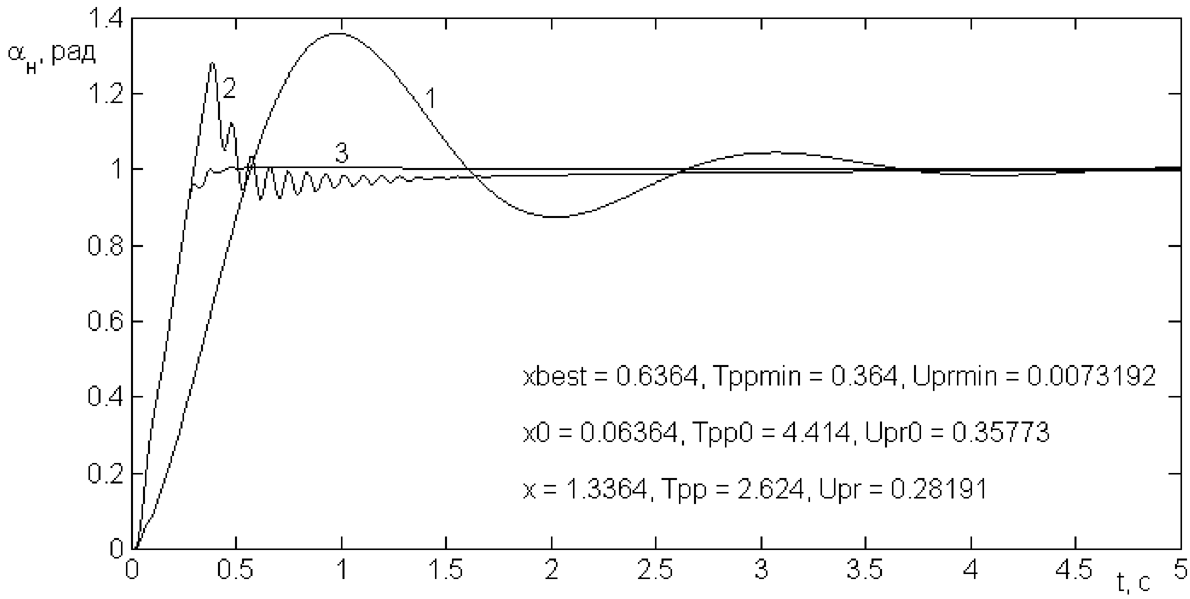


Рис. 4. Влияние параметра T_1 на переходный процесс:
1 – $T_1 = 0{,}06364$ с, 2 – $T_1 = 1{,}3364$ с, 3 – $T_1 = 0{,}6364$ с –наименьшие длительность и перерегулирование

Выбрав начальные значения, можно запускать непосредственную оптимизацию. Стоит заметить, скорее всего целевая функция окажется многомодальной. Чтобы надежнее найти глобальный минимум, надо задавать разные начальные значения и повторно проводить процесс. Как вариант, полученные в предыдущем акте оптимизации наилучшие значения использовать в качестве начальных для следующего акта.

Результаты оптимизации приведены на рис. 5. Как показало моделирование, перерегулирование $\alpha_{\text{пер}}$ и длительность переходного процесса $T_{\text{пп}}$ зависимы: при уменьшении $\alpha_{\text{пер}}$ как правило уменьшается и $T_{\text{ïï}}$. При уменьшении $T_{\text{ïï}}$ не всегда уменьшается $\alpha_{\text{пер}}$. В связи с этим минимизируемому $\alpha_{\text{пер}}$ был дан больший вес. Оптимизируемая величина y вычислялась по формуле:

$$y = K_\alpha \alpha_{пер} + K_T T_{пп},$$

где K_α и K_T – соответствующие весовые коэффициенты. В нашем случае принято: $K_\alpha = 9$, $K_T = 1$.

В ходе оптимизации получили значения: $K_1 = 53,42$, $K_2 = 0,01271$ и $T_1 = 0,6364$ с. При этом минимизируемые величины имеют значения: время переходного процесса $T_{пп} = 0,364$ с и перерегулирование $\alpha_{пер} = 0.007296$ рад. Как видно на рис. 4, длительность переходного процесса уменьшилась почти в пять раз при том, что перерегулирование практически свелось к нулю.

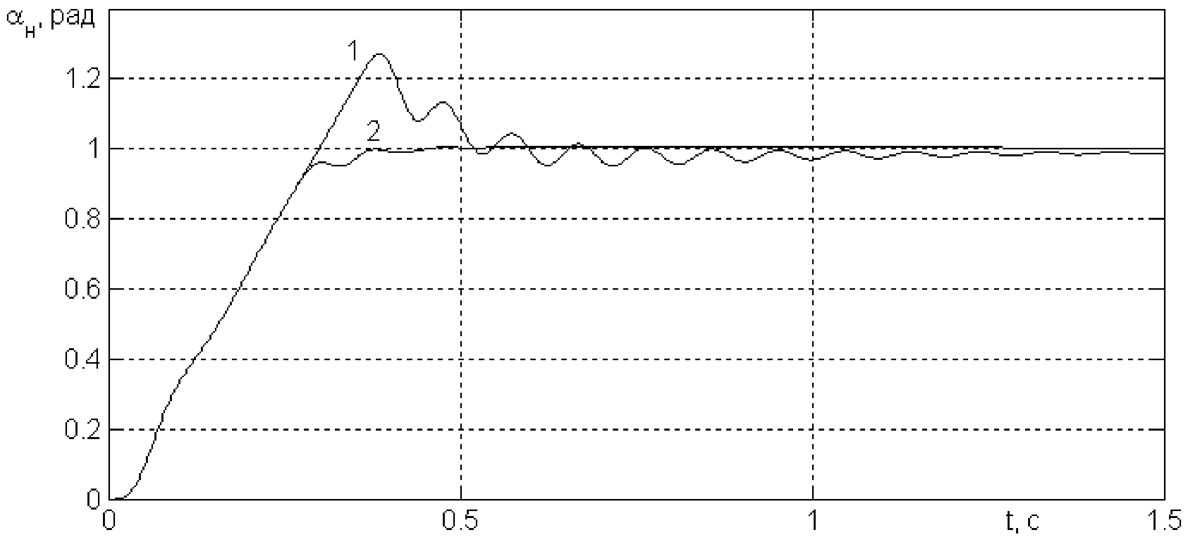


Рис. 5. Результаты оптимизации: 1 – переходный процесс до оптимизации, 2 – после

Заключение

На данном примере демонстрируется оптимизация САУ на основе разработанного программного комплекса. Видно, что оптимизация достаточно эффективна: переходный процесс значительно улучшается согласно заданному критерию. Однако важно заметить, что в случае сложных САУ и многопараметрической оптимизации требуется тщательный подход. В частности, следует многократно искать решение для разных начальных значений параметров. В перспективе можно будет выработать определенные рекомендации для таких случаев. А также перенести комлекс со среды MatLab в другую программную среду. Поскольку хоть среда MatLab универсальна, но производительность вычислений у нее низка, и в случае сложных САУ оптимизация может выполняться долго.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Химмельблау Д.* Прикладное нелинейное программирование: Пер. с англ. М. : Мир, 1975.
2. *Методы* оптимизации / Моисеев Н.Н., Иванилов Ю.П., Столярова Е.М. – М. : Глав. ред. физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1978.
3. *Методы* оптимизации в примерах и задачах: Учеб. пособие / А.В. Пантелеев, Т.А. Летова. – 2-ое изд., исправл. – М.: Высш. шк., 2005.
4. *Мэтьюз Джон Г., Финк Куртис Д.* Численные методы. Использование MatLab. 3-е изд.: Пер. с англ. М. : Издательский дом «Вильямс», 2001.
5. *Крутько П.Д., Максимов А.И., Скворцов Л.М.* Алгоритмы и программы проектирования автоматических систем / под ред. П.Д. Крутько. М. : Радио и связь, 1988.
6. *Максимов А.И., Аливер В.Ю.* Численные методы в задачах проектирования автоматических систем. Ч. 2: учебное пособие – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2011.
7. *Попов Е.П.* Теория линейных систем автоматического регулирования и управления – М. : Глав. ред. физ.-мат. лит. изд-ва «Наука», 1978.
8. *Кулешов В.С., Лакота Н.А.* Динамика систем управления манипуляторами – М. : Энергия, 1971.

electronic scientific and technical periodical
SCIENCE and EDUCATION
EL № FS 77 - 30569. №0421100025. ISSN 1994-0408

Optimization of transient processes in technical systems using simplex method and MatLab system

77-30569/308104

02, February 2012

Aliver V.Yu.

Bauman Moscow State Technical University
aliverw@mail.ru

The complex of the programs that allowed to automate numerical multiple criteria optimization of transient processes was developed. Simplex method and MatLab system were used for optimization. The complex is convenient, easy to expand and applicable for a wide range of technical systems.

Publications with keywords: MatLab, numerical optimization, automatic control systems, transient process, overtravel, optimization methods
Publications with words: MatLab, numerical optimization, automatic control systems, transient process, overtravel, optimization methods

Reference

1. Khimmel'blau D., Applied Nonlinear Programming, Moscow, Mir, 1975.

2. Moiseev N.N., Ivanilov Iu.P., Stoliarova E.M., Optimization Methods, Moscow, Glav. red. fiz.-mat. lit. izd-va «Nauka», 1978.

3. A.V. Panteleev, T.A. Letova, Optimization methods in examples and problems, Moscow, Vyssh. shk., 2005.

4. Met'iuz Dzhon G., Fink Kurtis D., Numerical methods. Using MatLab, Moscow, Izdatel'skii dom «Vil'iams», 2001.

5. Krut'ko P.D., Maksimov A.I., Skvortsov L.M., in: P.D. Krut'ko (Ed.), Algorithms and software design of automatic systems, Moscow, Radio i sviaz', 1988.

6. Maksimov A.I., Aliver V.Iu., Numerical methods in problems of design automation systems, Part 2, Moscow, Izd-vo MGTU im. N. E. Baumana - BMSTU Press, 2011.

7. Popov E.P., The theory of linear systems of automatic regulation and control, Moscow, Glav. red. fiz.-mat. lit. izd-va «Nauka», 1978.

8. Kuleshov V.S., Lakota N.A., Dynamics of the manipulators control system, Moscow, Energiia, 1971.