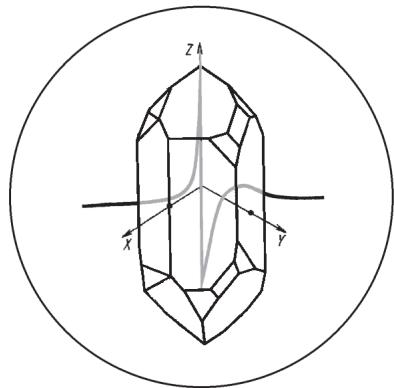


РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК



ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Материалы Международной научно-технической
конференции «INTERMATIC – 2014»

1 – 5 декабря 2014 г., Москва

Под редакцией
академика РАН А.С. Сигова

Часть 4

Москва – 2014

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ
ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОННОГО
ПРИБОРОСТРОЕНИЯ

Материалы Международной научно-технической
конференции «INTERMATIC – 2014»
1–5 декабря 2014 г., Москва

Под редакцией
академика РАН А.С. Сигова

Часть 4

FUNDAMENTAL PROBLEMS
OF RADIOENGINEERING AND DEVICE
CONSTRUCTION

Proceedings of the International Scientific and
Technical Conference «INTERMATIC – 2014»
December 1–5, 2014, Moscow

Edited by A. Sigov

Part 4

Москва - 2014

УДК 539.1: 621.315.5: 621.382:

Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения / Материалы Международной научно-технической конференции «INTERMATIC–2014», 1–5 декабря 2014 г., Москва. / Под ред. академика РАН А.С. Сигова. – М.: МГТУ МИРЭА, 2014, часть 4. – 208 с.

ISBN 978-5-7339-1059-8 (ч. 4)
978-5-7339-1055-0

В настоящий сборник включены материалы Международной НТК «INTERMATIC–2014», отражающие новые результаты научных и инженерных исследований в области радиоэлектронного приборостроения.

Сборник рассчитан на специалистов в области физической электроники и технологии радиоэлектронного приборостроения. Он также может быть использован преподавателями, аспирантами и студентами при изучении соответствующих курсов.

В настоящий сборник также включены соответствующие теме материалы VI Всероссийской научно-технической школы-конференции молодых ученых «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения – 2014», 2–5 декабря 2014 г., Москва.

Выполнено при финансовой поддержке РФФИ

Редакционная коллегия:

Ю.В. Гуляев (председатель), А.С. Аджемов, К.А. Воротилов,
П.А. Лучников, И.В. Соловьев, С.А. Никитов, В.Г. Орлов,
А.С. Сигов (ответственный редактор)

Научное издание

Компьютерная верстка – Д.С. Серегин

Редакционно-издательский отдел МГТУ МИРЭА
119454, Москва, Проспект Вернадского, д. 78, тел. +7 495 950-53-81

Подписано в печать с оригинал-макета 26.11.2014 г.
Формат 84x108/16. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 21,84. Уч.изд. л. 20,66.
Тираж 250 экз.

Отпечатано в типографии ООО «Галлея-Принт»

ISBN 978-5-7339-1059-8 (ч. 4)
978-5-7339-1055-0

© МГТУ МИРЭА,
2014

ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ:

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**РОССИЙСКИЙ ФОНД ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

ИНСТИТУТ РАДИОТЕХНИКИ И ЭЛЕКТРОНИКИ РАН

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ

**УНИВЕРСИТЕТ РАДИОТЕХНИКИ, ЭЛЕКТРОНИКИ
И АВТОМАТИКИ**

**МОСКОВСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ СВЯЗИ
И ИНФОРМАТИКИ**

ПРИ УЧАСТИИ:

**ГОМЕЛЬСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМ. Ф. СКОРИНЫ**

**НАУЧНОГО ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОГО
ТОМСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

ЖУРНАЛА «НАНОМАТЕРИАЛЫ И НАНОСТРУКТУРЫ»

ЖУРНАЛА «НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ»

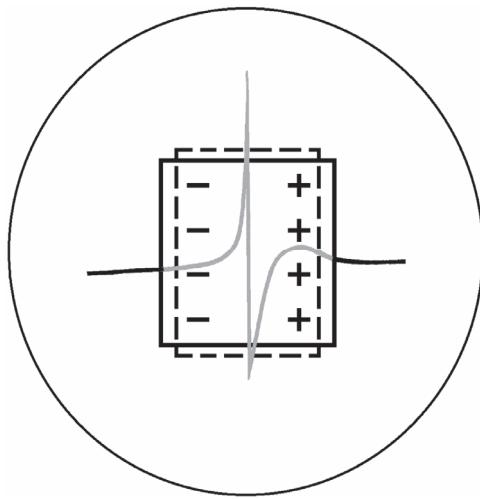
ЖУРНАЛА «РАДИОТЕХНИКА»

ОРГКОМИТЕТ

Гуляев Ю.В.	- (Россия) - председатель
Сигов А.С.	- (Россия) - зам. председателя
Аджемов А.С.	- (Россия) - зам. председателя
Лучников П.А.	- (Россия) - ученый секретарь
Бержанский В.Н.	- (Украина)
Ибраев Н.Х.	- (Казахстан)
Камильджанов Б.И.	- (Узбекистан)
Кудж С.А.	- (Россия)
Мальцев П.П.	- (Россия)
Перно Ф.	- (Франция)
Рогачев А.В.	- (Беларусь)
Скотт Дж.	- (Великобритания)

ПРОГРАММНЫЙ КОМИТЕТ

Никитов С.А.	- председатель,
Орлов В.Г.	- ученый секретарь,
Безруков В.Н.,	Воротилов К.А.,
Захаров А.К.,	Есаулов Н.П.,
Капустин В.И.	Крашенинников А.И.,
Лось В.П.,	Морозов А.И.,
Нефедов В.И.,	Ивашов Е.Н.,
Резниченко Л.А.,	Санников В.Г.,
Сидорин В.В.,	Соколов В.В.,
Соловьев И.В.,	Суржиков А.П.,
Фетисов Ю.К.,	Шаврин С.С.



Приборы и компоненты РЭА

СОДЕРЖАНИЕ

Приборы и компоненты РЭА 5
1. Косарев Р.А., Фрейдович И.А., Прокофьев Б.В. Проектирование многолучевого клистрона с кольцевыми резонаторами, работающими на виде колебаний Е020	7
2. Зима В.Н., Танская Т.Н., Козлов А.Г. Тонкопленочный СВЧ-резонатор с брэгговским отражателем	11
3. Завгородняя М.И., Лавров И.В. Модель оптического фильтра на основе плёнки из текстурированного нанокомпозита с несколькими видами серебряных включений	15
4. Масальский Н.В. Новый подход схемотехнического моделирования характеристик двух затворных КНИ КМОП нанотранзисторов	19
5. Булаев И.Ю. Тестер динамических параметров КМОП-микросхем	23
6. Савченко Е.М., Першин А.Д., Будяков А.С., Пронин А.А. СВЧ МИС усилителя мощности с диапазоном рабочих частот 2,6-3,4 ГГц и выходной мощностью до 5 Вт	26
7. Савченко Е.М., Гладких М.В., Першин А.Д., Пронин А.А. Результаты проектирования и исследования СВЧ МИС аттенюаторов с фиксированным коэффициентом ослабления	30
8. Макеев М.О., Иванов Ю.А., Мешков С.А. Кинетика вольт-амперной характеристики AlAs/GaAs резонансно-туннельного диода в результате диффузионных процессов в его структуре	34
9. Ерёмин Е.О. Алгоритм оценивания проницающей способности оптико-электронной системы звёздного датчика при проведении лётных испытаний	37
10. Белкин М.Е., Гладышев И.В. Методы регистрации механических микровоздействий на оптическое волокно	41
11. Кубасов И.В., Маликович М.Д., Жуков Р.Н., Киселев Д.А., Ксенич С.В., Быков А.С., Тимушкин Н.Г., Темиров А.А., Пархоменко Ю.Н. Прецизионные безгистерезисные актуаторы микро- и нанодиапазона перемещений на основе ниобата лития	45
12. Серов В.Н., Шестаков Е.И. Разработка бустеров тока для переносных устройств с батарейным питанием	49
13. Удалов А.И. Ионная гидродинамическая модель аккумулятора: от модели к технологии восстановления емкости аккумулятора	52
14. Меньшиков В.В. Перспективы использования методов оптимизации выборочного контроля изделий космических аппаратов в интересах развития космической отрасли	57

15. Савченко Е.М., Мартынов А.А., Будяков А.С., Вагин А.В. Программно-аппаратный стенд для измерения параметров СВЧ МИС квадратурных модуляторов	62
16. Мушинский А.А. Алгоритм расчета тонкопленочных резисторов	66
17. Асташов С.Г., Калашников Д.А. Компьютерное моделирование процесса холодной настройки мощного предельно-волноводного магнетрона	72
18. Демин И.Е., Козлов А.Г. Динамические характеристики отклика газовых сенсоров на основе $\text{In}_2\text{O}_3\text{--Ga}_2\text{O}_3$	76
19. Герасин А.А. Электромеханические преобразователи энергии в летательных аппаратах	80
20. Таганов А.О., Гущо Ю.П., Дергунов Н.И. Рельефографический модулятор света для устранения спекл-шума	84
21. Мустафаева Д.Г., Мустафаев М.Г. Технологические подходы при создании, эксплуатации и применении пленочных преобразователей	88
22. Бардин В.А., Васильев В.А., Чернов П.С. Состояние и задачи в области создания пьезоактуаторов и пьезодвигателей	90
23. Белкин М.Е., Гладышев И.В., Хмельницкий И.В. Многоучастковая волоконно-оптическая охранная система	94
24. Ряднов А.Ю. Численное моделирование процесса автоэмиссии для планарных торцевых автоэмиссионных структур	98
25. Ивашов Е.Н., Федотов К.Д., Яговцев В.О. Методы сепарабельного программирования и отсекающих плоскостей в задаче проектирования nanoобъектов	102
26. Дударев К.П. Анализ тепловых режимов и термодеформации узлов многолучевого клистрона	106
27. Евдолов О.В., Евдолов Д.В. Выпрямитель переменного напряжения	110
28. Зверев М.М., Гамов Н.А., Жданова Е.В., Студенов В.Б., Мазалов А.В., Курешов В.А., Сабитов Д.Р., Падалица А.А., Мармалюк А.А. Импульсный лазер с электронно-лучевой накачкой на основе квантоворазмерной структуры InGaN/GaN	113
29. Ивашов Е.Н., Федотов К.Д., Яговцев В.О. Оптимизация технического решения пьезопривода для нанотехнологии	116
30. Ивашов Е.Н., Федотов К.Д., Яговцев В.О. Применение методов штрафной функции и Флетчера-Ривса в задаче оптимизации пьезоприводов	120
31. Иовдальский В.А., Герасименко С.В., Аюпов И.Н. Совершенствование конструкции ГИС СВЧ – диапазона	124
32. Иовдальский В.А., Герасименко С.В., Аюпов И.Н. Многоクリстальный составной ПТШ для ГИС усилителей мощности СВЧ-диапазона	128

33. <i>Кожухова А.А., Терентьев Д.А.</i> Разработка методики настройки и юстировки магнитных систем на основе плоских магнитов для многолучевых клистронов миллиметрового диапазона	131
34. <i>Котрелева Н.С.</i> Проектирование мощного предельно-вольноводного магнетрона с частотой рабочего вида 0.915 ГГц	135
35. <i>Сергеев С.М., Степихова М.В., Новиков А.В.</i> Исследование фотолюминесценции дисковых микрорезонаторов, сформированных на базе светоизлучающих структур SOI/Ge(Si)	138
36. <i>Мазур В.Г., Пудалов А.Д.</i> Генератор первичного измерительного преобразователя сорбционно-частотного измерителя влажности органических жидкостей	142
37. <i>Ирзаев Г.Х.</i> Оптимизация конструкции изделия по технологичности с использованием количественных критериев	146
38. <i>Клюев А.В.</i> Взрывной и 1/F шум в полупроводниковых планарных диодах с Ti-Au/GaAs барьером Шоттки	150
39. <i>Пантиухин М.А., Самойлин Е.А.</i> Метод размножения нейросетевых оценок при построении кусочно-линейных контуров в распознающих оптоэлектронных приборах	154
40. <i>Савочкина М.М., Голев Д.М.</i> Измерительная установка для проверки механической преобразующей системы волоконно-оптического датчика давления	158
41. <i>Рогожников А.А.</i> Создание математической модели многослойных актиоаторов	162
42. <i>Сальников Я.В.</i> Времяимпульсный способ преобразования сигналов с индуктивных датчиков	165
43. <i>Сергеев В.А., Фролов И.В., Широков А.А.</i> Связь распределения примеси в гетероструктурах светодиодов с изменением мощности излучения в начале ускоренных испытаний	167
44. <i>Тренкаль Е.И., Бомбизов А.А., Лощилов А.Г., Осипов К.Ю.</i> Модулятор лазерного излучения	170
45. <i>Сергеев В.А., Фролов И.В., Широков А.А.</i> Анализ токовых зависимостей низкочастотного шума светодиодов на основе двухсекционной шумовой эквивалентной схемы	174
46. <i>Смирнов Д.А.</i> Моделирование автономных генераторов энергии на основе пьезоэффекта	178
47. <i>Урлапов О.В., Шорин А.М.</i> Установка лазерной терапии крови ULT-5	181
48. <i>Холопов В.А., Руднева Л.Ю.</i> Особенности автоматизированной технологии сборки специальных изделий	183

49. <i>Приступчик Н.К.</i> Метод передаточных матриц для моделирования наноэлектромеханических преобразователей перемещения	187
50. <i>Васильев В.А., Москалев С.А., Ползунов И.А., Шокоров В.А.</i> Совершенствование структур и улучшение технических характеристик датчиков давления на основе микроэлектромеханических систем	191
51. <i>Владыкина И.С.</i> Система дефектоскопии железнодорожных путей на основе постоянных магнитов	195
52. <i>Мамай А.В., Гамаюнов А.Р.</i> Тиристорная система плавного пуска асинхронного двигателя	199
53. <i>Бычкова К.А., Пыльнов Ю.В.</i> Алгоритм ультразвуковой реконструктивной томографии вихревых потоков жидкостей	201

МЕТОДЫ СЕПАРАБЕЛЬНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ И ОТСЕКАЮЩИХ ПЛОСКОСТЕЙ В ЗАДАЧЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАНООБЪЕКТОВ

© 2014 г. Е.Н. ИВАШОВ, К.Д. ФЕДОТОВ, В.О. ЯГОВЦЕВ

Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики»
e-mail: eivashov@hse.ru

Метод сепарабельного программирования, разработанный в работе [1], позволяет преобразовать нелинейные задачи оптимизации пьезоприводов к задаче, включающей только линейные функции. Полученные таким образом задачи решаются при помощи специальной модификации симплекс-алгоритма. Обоснованием такого метода служит то обстоятельство, что в качестве хорошего приближения нелинейной функции на большом отрезке можно использовать ее кусочно-линейную аппроксимацию. Последняя получается, если разбить отрезок на подинтервалы и построить линейное приближение рассматриваемой функции на каждом из подинтервалов.

В статье рассмотрено использование этого метода последовательно для функций одной переменной и для функций многих переменных. Также анализируются, как необходимо изменить стандартные методы линейного приближения для эффективного решения получаемых линейных подзадач. Приведен пример применения сепарабельного программирования на практике.

1. Функции одной переменной

Кусочно-линейные аппроксимации функций одной переменной легко построить. Рассмотрим произвольно определенную на интервале $0 \leq x \leq a$ непрерывную функцию $f(x)$. Предположим, что на этом интервале построена сетка, имеющая K узлов $x^{(k)}$, $k=1, \dots, K$.

Следовательно, $K-1$ уравнений совокупности рассматриваемых линейных функций можно переписать в следующем удобном виде:

$$x = \sum_{k=1}^K \lambda^{(k)} x^{(k)}, \quad \tilde{f}(x) = \sum_{k=1}^K \lambda^{(k)} f^{(k)},$$

где

$$\sum_{k=1}^K \lambda^{(k)} = 1,$$
$$\lambda^{(k)} \geq 0, \quad k=1, \dots, K,$$
$$(1.1) \quad \lambda^{(j)} \lambda^{(i)} = 0, \quad j > i+1; \quad i=1, \dots, K-1.$$

Условие (1.1) выражает тот факт, что не более двух переменных $\lambda^{(i)}$ должны быть положительными; если положительны, например $\lambda^{(j)}$ и $\lambda^{(i)}$, $j > i$, то должно выполняться условие $j=i+1$, т.е. $\lambda^{(j)}$ и $\lambda^{(i)}$ должны быть соседними.

При выполнении условий непрерывности любую функцию можно аппроксимировать в окрестности точки x_0 функцией

$$\varphi(x) = f(x_0) + (x - x_0)^T \nabla f(x_0) + \frac{1}{2} (x - x_0)^T G(x_0) (x - x_0),$$

где $G(x_0)$ — матрица Гессе, вычисленная в точке x_0 .

Разумной аппроксимацией минимума функции $f(x)$ может быть минимумом функции $\varphi(x)$. Если последний находится в точке x_m , то

$$\nabla f(x_0) + G(x_0)(x_m - x_0) = 0, \text{ откуда } x_m = x_0 - G^{-1}(x_0) \nabla f(x_0), \text{ или } x_m = x_0 - G^{-1}(x_0) g(x_0)$$

Таким образом, следует модифицировать итерационное уравнение, и точкой x_i следующей аппроксимации минимума будет

$$x_{i+1} = x_i - G^{-1}(x_i) g(x_i) \quad (1)$$

или, в более удобном виде,

$$x_{i+1} = x_i - \lambda_i G^{-1}(x_i) g(x_i) \quad (2)$$

где длина шага λ_i определяется одномерным поиском в направлении $G^{-1}(x_i)g(x_i)$.

Метод Ньютона-Рафсона основан на последнем уравнении. Не будем рассматривать его во всех подробностях, упомянем лишь некоторые его особенности. Уравнения (1) и (2) в том виде, как они записаны, требуют вычисления и обращения матрицы Гессе на каждом шаге, что часто является основной частью вычислений. Если точка x_i близко расположена к точке x^* , то сходимость будет быстрой, поскольку в общем случае функция $f(x)$ будет хорошо аппроксимировать функцию $f(x)$ в этой окрестности. Как норму градиента $|g(x_{i+1})|$, так и расстояние между точками $|x_{i+1} - x_i|$ следует проверить на выполнение критерия завершения. Методом Давидона-Флетчера-Пауэлла можно получить наилучший результат, произведя поиск на i -ом этапе в направлении $-H_i g(x_i)$, где H_i — положительно определенная симметрическая матрица, которая, в конечном счете, становится равной $-G^{-1}(x^*)^T$. Таким образом, этот метод обходит как вычисление, таки обращение матрицы $G(x_i)$ при каждой итерации.

Следовательно, направление поиска при каждой итерации является решающим фактором, если говорить об эффективности итерационных методов поиска. Для квадратичной функции n переменных наилучшим направлением является направление, сопряженное с предыдущим направлением поиска. [2]

Перед дальнейшими вычислениями удобно переписать квадратичную функцию в виде $F(x) = a + x^T b + \frac{1}{2} x^T G x$, причем ее минимум находится в точке $x^* = -G^{-1}b$ и

$$\begin{aligned} F(x) &= F(x^*) + (x - x^*)^T \nabla F(x^*) + \frac{1}{2} (x - x^*)^T G (x - x^*) = F(x^*) + \frac{1}{2} (x - x^*)^T G (x - x^*) \text{ (так как } \nabla F(x^*) = 0) = \\ &= a + x^{*T} b + \frac{1}{2} (x - x^*)^T G (x - x^*) = a - \frac{1}{2} b^T G^{-1} b + \frac{1}{2} (x - x^*)^T G (x - x^*) \end{aligned}$$

или

$$F(x) = c + \frac{1}{2} (x - x^*)^T G (x - x^*), \quad (3)$$

где $c = a - \frac{1}{2} b^T G^{-1} b$ — константа.

Предположим, что для поиска минимума функции (3) используется итерационная процедура.

Ясно, что не следует сразу принимать решение о направлениях поиска (как, например, при поиске методом покоординатного спуска), а лучше накапливать информацию, полученную на предыдущих этапах поиска, для того чтобы определять дальнейшие направления поиска.

Начнем из точки x_0 и проведем поиск в направлении p_0 с целью нахождения минимума в точках $x_1 = x_0 + \lambda_0 p_0$, где λ_0 — некоторая скалярная величина.

Отметим, что в точке x_1 направление $g(x_1) = \nabla F(x_1)$ ортогонально направлению p_0 и $g(x_1)^T p_0 = 0$ (см.[1]).

В общем случае на шаге i производится поиск точки x_i в направлении p_i с целью нахождения минимума в точке

$$X_{i+1} = x_i + \lambda_i p_i, \quad (4)$$

Где для $F(x)$ справедливы соотношения

$$\begin{aligned} g(x_{i+1})^T p_i &= 0; \\ g(x_i) &= G(x_i - x^*). \end{aligned} \quad (5)$$

Повторным применением уравнения (4) после n шагов получим

$$x_n = x_{n-1} + \lambda_{n-1} p_{n-1} = x_{n-2} + \lambda_{n-2} p_{n-2} + \lambda_{n-1} p_{n-1} = x + \sum_{i=j+1}^{n-1} \lambda_i p_i$$

для всех j в интервале $0 \leq j < n-1$.

Таким образом, согласно уравнению (5)

$$G(x_n - x^*) = G(x_{j+1} - x^*) + \sum_{i=j+1}^{n-1} \lambda_i G p_i.$$

Следовательно,

$$g(x_n)^T p_j = \sum_{i=j+1}^{n-1} \lambda_i p_i^T G p_j, \quad (6)$$

И из уравнения (6) получаем:

$$g(x_n)^T p_j = \sum_{i=j+1}^{n-1} \lambda_i p_i^T G p_j$$

Теперь, если все векторы $p_0, p_1, p_2, \dots, p_{n-1}$ взаимно сопряжены так, что $p_i^T G p_j = 0$ при $i \neq j$, то из соотношения (4) следует

$$g(x_n)^T p_j = 0 \text{ при } j = 0, 1, \dots, n - 1.$$

Но поскольку в этом случае векторы p_0, p_1, \dots, p_{n-1} линейно независимы и, таким образом, образуют базис, то $g(x_n) = 0$, откуда $G(x_n - x^*) = 0$ и $x_n = x^*$.

Следовательно, если поиск производится по взаимно сопряженным направлениям, то минимум квадратичной функции n переменных будет найден не более чем за n шагов.

Методы отсекающих плоскостей

Есть два хорошо проработанных подхода к использованию линейных аппроксимаций для решения нелинейных задач [1]. Описанные в [1] случаи представляют собой крайние случаи при линеаризации нелинейных задач. При применении метода непосредственной линеаризации используется одна линеаризация для каждого нелинейного ограничения. Оказывается, что такой способ аппроксимации эффективен в окрестности базовой точки, однако он становится ненадежным при удалении от нее.

Из вышеизложенного ясно, что желательно построение алгоритма, использующего довольно грубые аппроксимации левых частей ограничений для достижения окрестности оптимальной точки и строящего более точные аппроксимации в этой окрестности, которые позволяют приблизиться к оптимуму. При таком способе нет необходимости тратить усилия на построение хороших аппроксимаций на далеких от оптимума итерациях. Это служит в значительной мере обоснованием рассматриваемых в данном разделе алгоритмов.

Основной алгоритм отсекающих плоскостей

Ограничимся пока рассмотрением задачи следующего вида:
минимизировать $f(x)$ при ограничениях

$$g_j(x) \geq 0, j=1, \dots, J, x_i^{(L)} \leq x_i \leq x_i^{(U)}, i=1, \dots, N.$$

Область F в R^N , в пределах которой лежат все допустимые решения данной задачи, определяется ограничениями в виде неравенств. Предполагается, что F ограничена и не пуста. Рассматриваемый ниже алгоритм позволяет получить решение задачи путем решения последовательности подзадач. Указанные подзадачи строятся при помощи последовательных уточнений грубого первоначального приближения допустимой области, получаемых при наложении новых ограничений. Вид этих ограничений зависит от решения, полученного из предыдущей итерации.

Если область F не пуста и ограничена, простейшим приближением к F служит содержащий F гиперкуб, т.е. множество Z^0 , задаваемое следующими неравенствами

$$Z^0 = \{x: x_i^{(L)} \leq x_i \leq x_i^{(U)}, i = 1, \dots, N\},$$

Где величины $x_i^{(L)}$ и $x_i^{(U)}$, если они не фигурируют в формулировке задачи, выбираются так, чтобы гарантировать $F \subset Z^0$. Полученное приближение к F представляет собой допустимую область для следующей первой подзадачи: минимизировать $f(x)$ при ограничении $x \in Z^0$.

Для оптимального решения задачи $x^{(1)}$ существуют две возможности: точка $x^{(1)}$ может быть допустимой, т.е. $x^{(1)} \in Z^0$, она может быть также недопустимой, т.е. $x^{(1)} \notin Z^0$, но $x^{(1)} \in F$. Для первого случая получено решение задачи, поскольку из включений $x^{(1)} \in F \subset Z^0$ следует, что $x^{(1)}$ представляет собой точку минимума для исходной задачи. Во втором случае для получения допустимой точки необходимо улучшить рассматриваемое приближение F . Заметим, что при помощи точки $x^{(1)}$ можно получить информацию об истинном оптимуме. Представляется вероятным, что оптимум лежит в наиболее близкой к $x^{(1)}$ части F . Таким образом, именно эту часть F нужно исследовать при получении улучшенной аппроксимации F .

Для построения улучшенной аппроксимации в окрестности точки $x^{(1)}$ необходимо изменить границу области Z^0 вблизи $x^{(1)}$ таким образом, чтобы она приблизилась к границе F . Этого можно добиться, налагая дополнительные ограничения, при выполнении которых из Z^0 будет удалена окрестность точки $x^{(1)}$. В результате добавления этих «отсекающих» ограничений точка минимума в новом приближении допустимой области должна оказаться ближе к F , чем точка $x^{(1)}$. На Рис. 1, а дается иллюстрация этого положения. Область F здесь заштрихована, а Z^0 представляет собой прямоугольник, задаваемый неравенствами $a_1 \leq x_1 \leq b_1, a_2 \leq x_2 \leq b_2$.

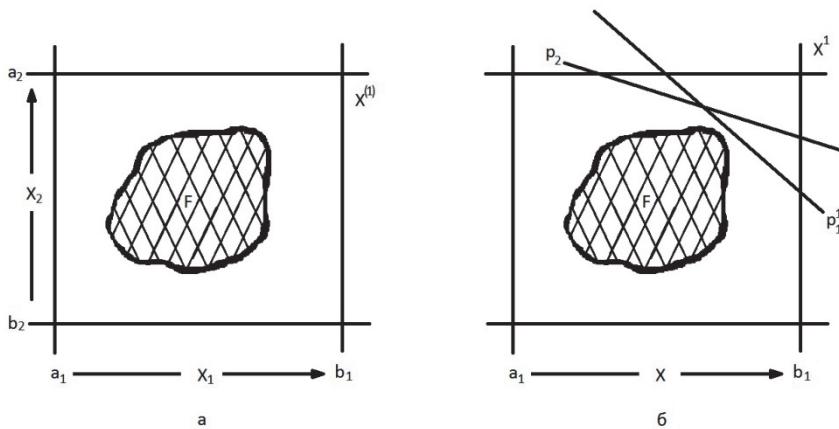


Рис. 1. а) аппроксимация допустимой области гиперкубом; б) отсекающие плоскости.

Пусть $x^{(1)}$ — точка оптимума в Z^0 для некоторой целевой функции $f(x)$, например $f(x) = -x_1 - x_2$. Можно улучшить приближение к F в окрестности $x^{(1)}$, введя нелинейные ограничения вида $p_i^{(1)}(x) \geq 0$, «отсекающие» окрестность точки $x^{(1)}$ (Рис. 1, б). Если обозначить через $H^{(1)}$ множество

$$H^{(1)} = \{x: p_i^{(1)}(x) \geq 0\},$$

то новое приближение $Z^{(1)}$ к допустимой области можно представить в следующем виде:
 $Z^{(1)} \equiv Z^{(0)} \cap H^{(1)}$.

Очевидно, что $Z^{(1)}$ содержится в $Z^{(0)}$.

Меньшая область $Z^{(1)}$ представляет собой допустимую область для следующей подзадачи: минимизировать $f(x)$ при ограничении $x \in Z^{(1)}$.

Оптимальное решение $x^{(2)}$ этой подзадачи может быть оптимальным решением исходной задачи; в противном случае оно дает возможность введения следующего множества линейных неравенств, позволяющих построить еще меньшую область $Z^{(2)}$. Разумно предположить, что при продолжении описанного процесса находится допустимая точка x , представляющая собой точку минимума $f(x)$ на F , если на каждом его шаге отбрасывается ненужная часть $Z^{(0)}$. Описанная процедура является основой метода отсекающих плоскостей.

Конкретная модификация метода отсекающих плоскостей получается в результате выбора численной процедуры для решения промежуточных подзадач с линейными ограничениями и метода построения множества отсекающих плоскостей на каждой итерации.

Применение методов оптимизации в проектировании устройств для формирования нанообъектов (метод сепарального программирования и метод отсекающих плоскостей) позволяет решать технические задачи конструирования соответствующих устройств на уровне полезных моделей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Реклейтис Г., Рейвиндрэн А., Рэгсдел К. Оптимизация в технике: В 2 кн. Кн.1. Пер. с англ. - М.: Мир. - 1986. - С. 328.
2. Банди Ю. «Методы оптимизации. Вводный курс: Пер. с англ. - М.: Радио и связь.- 1988. - С. 128-130.
3. Васин. В.А, Ивашов Е.Н., Степанчиков С.В. Роль изобретательства в техническом прогрессе и профессиональном образовании. - Вестник машиностроения. - 2013. - №11. - С. 81-84.
4. Ивашов Е.Н., Князева М.П. Алгоритмы последовательных и параллельных вычислений на основе квантовых точек с изомерными ядрами.- Автоматизация и современные технологии.- 2014. - № 1. - С. 45-47.
5. Ермилов А.И., Ивашов Е.Н. Формирование квантовых точек в зондовой нанотехнологии. - 2014. - № 1. - С. 98-101.