



بهینه‌سازی محدب

نویسندگان

انیسویل بون

لیون منبرگ

مترجم

دکتر حنان لهراسبی (عضو هیئت علمی دانشگاه اصفهان)

۱۳۹۹

سرشناسه	: بوید، استیون
عنوان و نام پدیدآور	: بهینه‌سازی محدب/ نویسندگان: استیون بوید، لیون وندنبرگ؛ مترجم: حنان لهراسبی
مشخصات نشر	: تهران: دانشگاه شاهد، ۱۳۹۹.
مشخصات ظاهری	: ۹۷۴ ص.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۶۱۲۱-۸۳-۳
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: عنوان اصلی: Convex optimization, c2004
موضوع	: بهینه‌سازی ریاضی
موضوع	: Mathematical optimization
موضوع	: توابع محدب
موضوع	: Convex functions
شناسه افزوده	: وندنبرگ، لیون، ۱۹۶۴-م.
شناسه افزوده	: Vandenberghe, Lieven, 1964
شناسه افزوده	: لهراسبی، حنان، ۱۳۶۵-، مترجم
رده یی کنگر	: QA۴۰۲/۵
رده یی دیسی	: ۵۱۹/۶
شماره کتابشناسی	: ۶۱۸۱۶۳۳



دانشگاه شریف
اداره انتشارات

عنوان کتاب: بهینه‌سازی محدب

مترجم: دکتر حنان لهراسبی

تعداد: ۵۰۰ نسخه

نوبت و سال چاپ: اول - ۱۳۹۹

قیمت: ۹۶۵۰۰۰ ریال

نشانی ناشر: تهران، ابتدای آزادراه خلیج فارس، روبه‌روی حرم مطهر امام خمینی (ره)،

معاونت پژوهش و فناوری، اداره انتشارات دانشگاه شاهد

دورنگار: ۵۱۲۱۵۱۲۴

تلفن: ۵۱۲۱۴۱۲۲

فهرست مطالب

ف	پیشگفتار.....
	➤ فصل اول: مقدمه
۳	۱-۱ بهینه‌سازی ریاضی.....
۴	۱-۱-۱ کاربردها.....
۶	۱-۱-۲ حل مسائل بهینه‌سازی.....
۷	۲-۱ حداقل مربعات و برنامه‌ریزی خطی.....
۷	۱-۲-۱ اнал حداقل مربعات.....
۹	۱-۲-۲ برنامه‌ریزی خطی.....
۱۲	۳-۱ بهینه‌سازی محدب.....
۱۲	۱-۳-۱ حل مسائل بهینه‌سازی محدب.....
۱۳	۲-۳-۱ استفاده از بهینه‌سازی محدب.....
۱۴	۴-۱ بهینه‌سازی غیرخطی.....
۱۴	۱-۴-۱ بهینه‌سازی محلی (موضعی).....
۱۶	۲-۴-۱ بهینه‌سازی سراسری.....
۱۷	۳-۴-۱ نقش بهینه‌سازی محدب در مسائل غیرمحدب.....
۱۸	۵-۱ رنوس مطالب.....
۱۸	۱-۵-۱ بخش اول: تئوری.....
۱۹	۲-۵-۱ بخش دوم: کاربردها.....
۱۹	۳-۵-۱ بخش سوم: الگوریتم‌ها.....
۲۰	۴-۵-۱ بخش سوم: پیوست‌ها.....
۲۱	۵-۵-۱ نکات مربوط به مثال‌ها.....
۲۱	۶-۵-۱ نکات مربوط به تمرین.....
۲۲	۷-۱ نمادگذاری‌ها.....
۲۳	مراجع.....

➤ بخش اول: تئوری

➤ فصل دوم: مجموعه محدب

- ۱-۲ مجموعه‌های محدب و بسته ۳۱
- ۱-۱-۲ خطوط و پاره‌خط‌ها ۳۱
- ۲-۱-۲ مجموعه‌های نامستوی ۳۱
- ۳-۱-۲ بعد نامستوی و فضای نسبی داخلی ۳۳
- ۴-۱-۲ مجموعه‌های محدب ۳۴
- ۵-۱-۲ مخروط ها ۳۷
- ۲-۲ نمونه‌هایی از مسائل مهم ۳۸
- ۱-۲-۲ ابرصفحات و نیم‌فضاها ۳۸
- ۲-۲-۲ بیضی گون و کُرهای اقلیدسی ۴۱
- ۳-۲-۲ نرم‌های کروی و مخروط ۴۴
- ۴-۲-۲ چندوجهی ۴۴
- ۵-۲-۲ مخروط نیمه معین مثبت ۴۸
- ۳-۲ عملیات نگهدارنده تحدب ۴۹
- ۱-۳-۲ اشتراک ۴۹
- ۲-۳-۲ توابع نامستوی ۵۰
- ۳-۳-۲ توابع نسبت و کسری خطی ۵۳
- ۴-۲ نامساوی‌های تعمیم‌یافته ۵۸
- ۱-۴-۲ نامساوی‌های تعمیم‌یافته و مخروط‌های ویژه ۵۸
- ۲-۴-۲ مؤلفه‌های بسیار کوچک و کمینه ۶۱
- ۵-۲ ابرصفحات جداساز و پشتیبان ۶۳
- ۱-۵-۲ تئوری ابرصفحه جداساز ۶۳
- ۲-۵-۲ ابرصفحات پشتیبان ۶۹
- ۶-۲ مخروط‌های دوگان و نامعادلات تعمیم‌یافته ۷۰
- ۱-۶-۲ مخروط‌های دوگان ۷۰

۷۳	۲-۶-۲ دوگان نامعادلات تعمیم یافته
۷۴	۳-۶-۲ مؤلفه های کمینه و بسیار کوچک از طریق نامعادلات دوگان
۸۰	مراجع
۸۱	تمارین
۸۱	تعریف تحدب
	➤ فصل سوم: توابع محدب
۹۵	۱-۳ ویژگی های اساسی و مثال ها
۹۵	۱-۱-۳ تعاریف
۹۶	۲-۱-۳ بسط به مقایر تعمیم یافته
۹۷	۳-۱-۳ شرایط مرتبه اول
۱۰۰	۴-۱-۳ شرایط مرتبه دوم
۱۰۱	۵-۱-۳ مثال ها
۱۰۵	۶-۱-۳ مجموعه های زیر سطحی
۱۰۶	۷-۱-۳ برنگاشت (ابی گراف)
۱۰۸	۸-۱-۳ نامساوی جنسن و تعمیم آن
۱۱۰	۹-۱-۳ نامساوی ها
۱۱۱	۲-۳ اعمال جبری نگهدارنده تحدب
۱۱۱	۱-۲-۳ مجموع وزن دار غیر منفی
۱۱۲	۲-۲-۳ ترکیب با یک نگاشت نامستوی
۱۱۲	۳-۲-۳ سوپریمم و ماگریمم نقطه به نقطه
۱۱۸	۴-۲-۳ ترکیب
۱۲۴	۵-۲-۳ کمینه سازی
۱۲۶	۶-۲-۳ چشم انداز یک تابع
۱۲۸	۳-۳ تابع مزدوج
۱۲۸	۱-۳-۳ تعریف و مثال ها
۱۳۳	۲-۳-۳ ویژگی های اساسی

۱۳۵	۴-۳ توابع شبه محدب
۱۳۵	۴-۳-۱ تعریف و مثال‌ها
۱۳۹	۴-۳-۲ ویژگی‌های اساسی
۱۴۱	۴-۳-۳ توابع شبه محدب مشتق‌پذیر
۱۴۳	۴-۳-۴ اعمال جبری نگهدارندگی شبه محدب
۱۴۵	۴-۳-۵ نمایش از طریق دسته‌ای از توابع محدب
۱۴۶	۵-۳ توابع محدب لگاریتمی و مقعر لگاریتمی
۱۴۶	۵-۳-۱ تعریف
۱۴۹	۵-۳-۲ ویژگی‌ها
۱۵۱	۶-۳ تحدب نسبت به λ مادلان-تعمیم‌یافته
۱۵۲	۶-۳-۱ یکنواختی نسبت به λ مساور-تعمیم‌یافته
۱۵۴	۶-۳-۲ تحدب نسبت به λ مساور-تعمیم‌یافته
۱۵۷	کتابنامه
۱۵۹	تمارین
۱۵۹	تعریف تحدب
	➤ فصل چهارم: مسائل بهینه‌سازی محدب
۱۸۱	۱-۴ مسائل بهینه‌سازی
۱۸۱	۱-۴-۱ تعاریف اولیه
۱۸۴	۱-۴-۲ بیان مسئله به صورت استاندارد
۱۸۵	۱-۴-۳ مسائل معادل
۱۹۳	۱-۴-۴ توصیفات اوراکل و پارامترهای مسئله
۱۹۴	۲-۴ بهینه‌سازی محدب
۱۹۴	۲-۴-۱ مسائل بهینه‌سازی محدب به شکل استاندارد
۱۹۶	۲-۴-۲ نقطه بهینه نسبی و مطلق
۱۹۸	۲-۴-۳ شرط بهینگی برای تابع مشتق‌پذیر f_0
۲۰۳	۲-۴-۴ مسائل محدب معادل

۲۰۵	۵-۲-۴ بهینه‌سازی شبه محدب
۲۰۸	۳-۴ مسئله بهینه‌سازی خطی
۲۱۰	۴-۳-۱ مثال‌ها
۲۱۵	۴-۳-۲ برنامه‌ریزی کسری - خطی
۲۱۷	۴-۴ مسائل بهینه‌سازی درجه دو
۲۱۸	۴-۴-۱ مثال‌ها
۲۲۳	۴-۴-۲ برنامه‌ریزی مخروط مرتبه دو
۲۲۸	۵-۴ برنامه‌ریزی هندسی
۲۲۸	۴-۵-۱ د - لایه‌ای و چندجمله‌ای ضریب مثبت
۲۲۹	۴-۵-۲ برنامه‌ریزی هندسی
۲۳۰	۴-۵-۳ برنامه‌ریزی هندسی به شکل محدب
۲۳۲	۴-۵-۴ مثال‌ها
۲۳۸	۴-۶ قیدهای نامساوی تعمیم‌یافته
۲۳۹	۴-۶-۱ مسائل با نمایش مخروطی
۲۴۰	۴-۶-۲ برنامه‌ریزی نیمه معین
۲۴۱	۴-۶-۳ مثال‌ها
۲۴۹	۴-۷ بهینه‌سازی برداری
۲۴۹	۴-۷-۱ مسائل بهینه‌سازی برداری عمومی و محدب
۲۵۰	۴-۷-۲ مقادیر و نقاط بهینه
۲۵۲	۴-۷-۳ مقادیر و نقاط بهینه پرتو
۲۵۳	۴-۷-۴ مقیاس‌دهی
۲۵۸	۴-۷-۵ بهینه‌سازی چندشرطی
۲۶۳	۴-۷-۶ مثال‌ها
۲۶۷	کتابنامه
۲۶۹	تمارین
۲۶۹	اصطلاحات پایه و شرایط بهینگی

مسائل متفرقه	۲۹۷
> فصل پنجم: دوگانگی	
۱-۵ تابع دوگان لاگرانژ	۳۱۱
۱-۱-۵ مفهوم لاگرانژی	۳۱۱
۲-۱-۵ تابع دوگان لاگرانژ	۳۱۱
۳-۱-۵ کران‌های پایین روی مقدار بهینه	۳۱۲
۴-۱-۵ تفسیر تخمین خطی	۳۱۳
۵-۱-۵ مثال‌ها	۳۱۵
۶-۱-۵ تابع مزدوج و تابع دوگان لاگرانژ	۳۱۸
۲-۵ مسئله دوگان لاگرانژ	۳۲۱
۱-۲-۵ شفاف‌سازی فیدبک دوگان	۳۲۲
۲-۲-۵ دوگان ضعیف	۳۲۴
۳-۲-۵ دوگان قوی و ارزیابی قید اضافی	۳۲۵
۴-۲-۵ مثال‌ها	۳۲۶
۵-۲-۵ استراتژی‌های ترکیبی برای ماتریس بازی‌ها	۳۳۰
۳-۵ توصیف هندسی	۳۳۳
۱-۳-۵ دوگان ضعیف و قوی از طریق مجموعه‌ای از مقادیر	۳۳۳
۲-۳-۵ اثبات دوگان قوی تحت شرایط ارزیابی قید	۳۳۶
۳-۳-۵ تفسیر چندشرطی	۳۳۹
۴-۵ تفسیر نقطه زینی شکل	۳۴۰
۱-۴-۵ مشخصات کمینه-بیشینه از دوگان قوی و ضعیف	۳۴۰
۲-۴-۵ توصیف نقطه زینی شکل	۳۴۲
۳-۴-۵ تفسیر بازی	۳۴۲
۴-۴-۵ توصیف مالیات یا هزینه	۳۴۴
۵-۵ شرایط بهینگی	۳۴۵
۱-۵-۵ گواهی زیربهینگی و شرط توقف	۳۴۶

۳۴۷	۲-۵-۵ مکمل خفیف
۳۴۸	۳-۵-۵ شرایط بهینگی KKT
۳۵۲	۴-۵-۵ توصیف مکانیکی شرایط KKT
۳۵۵	۵-۵-۵ حل مسئله اصلی از طریق دوگان
۳۵۷	۶-۵ تحلیل حساسیت و انحراف
۳۵۷	۱-۶-۵ مسئله اختلال یافته
۳۵۸	۲-۶-۵ نامعادله سراسری
۳۵۹	۳-۶-۵ تحلیل حساسیت محلی
۳۶۲	۷-۵ مثال‌ها
۳۶۲	۱-۷-۵ معرفی قیدهای تاه‌ی و متغیرهای جدید
۳۶۶	۲-۷-۵ تبدیل تابع هدف
۳۶۷	۳-۷-۵ قیدهای غیرآشکار
۳۶۸	۸-۵ تئوری انتخاب‌ها
۳۶۸	۱-۸-۵ انتخاب‌های ضعیف از طریق تابع دوگان
۳۷۰	۲-۸-۵ انتخاب‌های قوی
۳۷۳	۳-۸-۵ مثال‌ها
۳۷۷	۹-۵ نامعادلات تعمیم‌یافته
۳۷۷	۱-۹-۵ دوگان لاگرانژ
۳۸۰	۲-۹-۵ شرایط بهینگی
۳۸۲	۳-۹-۵ تحلیل حساسیت و انحراف
۳۸۳	۴-۹-۵ تئوری‌های انتخاب
۳۸۷	کتابنامه
۳۸۸	تمارین
۳۸۸	تعاریف پایه

➤ بخش دوم: کاربردها

➤ فصل ششم: تقریب و برازش

۴۱۵	۱-۶ تقریب نرم
۴۱۵	۱-۱-۶ مسئله تقریب نرم پایه
۴۱۹	۲-۱-۶ تقریب تابع جریمه
۴۲۷	۳-۱-۶ تقریب با قیدها
۴۲۹	۲-۶ مسائل کم-نرم
۴۳۳	۳-۶ تقریب نظم شده
۴۳۳	۱-۳-۶ فرمول بندی شرطی
۴۳۴	۲-۳-۶ تنظیم‌سازی
۴۳۹	۳-۳-۶ بازسازی، هموارسازی و نویزهای
۴۴۷	۴-۶ تقریب مقاوم
۴۴۷	۱-۴-۶ تقریب مقاوم تصادفی
۴۵۰	۲-۴-۶ تقریب مقاوم در بدترین -وضعیت
۴۵۸	۵-۶ درون‌یابی و برازش تابع
۴۵۸	۱-۵-۶ خانواده‌های تابع
۴۶۱	۲-۵-۶ قیدها
۴۶۵	۳-۵-۶ مسائل بازسازی و برازش
۴۶۸	۴-۵-۶ توصیف‌های تنک و تعقیب پایه
۴۷۲	۵-۵-۶ بازسازی با توابع محدب
۴۸۰	کتابنامه
۴۸۰	تمارین
۴۸۰	مسائل حداقل -نرم و تقریب نرم

➤ فصل هفتم: تخمین آماری

۴۹۱	۱-۷ تخمین توزیع پارامتریک
۴۹۱	۱-۱-۷ تخمین بیشینه شبیه‌نمایی

۴۹۹	۲-۱-۷ تخمین احتمال بیشینه گر پسین
۵۰۲	۲-۷ تخمین توزیع غیرپارامتریک
۵۰۹	۳-۷ طراحی آشکارساز بهینه و آزمایش فرضیات
۵۱۰	۱-۳-۷ آشکارسازهای تصادفی و معین
۵۱۱	۲-۳-۷ مانتریس احتمال آشکارسازی
۵۱۱	۳-۳-۷ طراحی آشکارساز بهینه
۵۱۵	۴-۳-۷ مقیاس دهی و فرمول‌بندی چندشرطی
۵۱۷	۵-۳-۷ آزمایش فرضیات دودویی
۵۱۹	۶-۳-۷ آشکارسازی مقاوم
۵۲۳	۴-۷ کران‌های چرنوف و جاشف
۵۲۳	۱-۴-۷ کران‌های چاشف
۵۲۹	۲-۴-۷ کران‌های چرنوف
۵۳۲	۳-۴-۷ مثال
۵۳۶	۵-۷ طراحی آزمایش
۵۳۸	۱-۵-۷ مسئله طراحی آزمایش رهاشده
۵۳۹	۲-۵-۷ مقیاس‌دهی
۵۴۴	کتابنامه
۵۴۴	تمارین
۵۴۴	تخمین

➤ فصل هشتم: مسائل هندسی

۵۵۳	۱-۸ تصویر روی یک مجموعه
۵۵۴	۱-۱-۸ تصویر یک نقطه روی یک مجموعه محدب
۵۵۶	۲-۱-۸ جداسازی یک نقطه و یک مجموعه محدب
۵۵۸	۳-۱-۸ تصویرکردن و جداسازی از طریق توابع پشتیبان و نشانگر
۵۵۹	۲-۸ فاصله بین مجموعه‌ها
۵۶۰	۱-۲-۸ محاسبه فاصله بین مجموعه‌های محدب

- ۵۶۰ ۲-۲-۸ جداسازی مجموعه‌های محدب
- ۵۶۲ ۳-۲-۸ فاصله و جداسازی از طریق توابع پشتیبان و نشانگر
- ۵۶۳ ۳-۸ فاصله اقلیدسی و مسائل زاویه
- ۵۶۳ ۱-۳-۸ ماتریس گرام و قابلیت اجرا
- ۵۶۷ ۲-۳-۸ مسائل فقط شامل زاویه
- ۵۶۸ ۳-۳-۸ مسائل فاصله اقلیدسی
- ۵۷۰ ۴-۸ بیضی گون‌ای با حجم بیشینه
- ۵۷۰ ۴-۸-۱ بیض گون لونی - جان
- ۵۷۵ ۲-۴-۸ بیض گون ناط شد با حجم بیشینه
- ۵۷۷ ۳-۴-۸ انحراف ناشی از گون‌های با حجم بیشینه
- ۵۷۹ ۵-۸ مرکزیت
- ۵۷۹ ۱-۵-۸ مرکز چیشف
- ۵۸۱ ۲-۵-۸ مرکز بیضی گون با حجم بیشینه
- ۵۸۲ ۳-۵-۸ مرکز تحلیلی یک مجموعه از نامعادلات
- ۵۸۶ ۶-۸ دسته‌بندی
- ۵۸۶ ۱-۶-۸ تمایز خطی
- ۵۹۵ ۲-۶-۸ تمایز غیرخطی
- ۵۹۸ ۷-۸ سطح و مکان
- ۵۹۹ ۱-۷-۸ مسائل مکان تسهیل خطی
- ۶۰۰ ۲-۷-۸ قیدهای سطح
- ۶۰۱ ۳-۷-۸ مسائل مکان تسهیل غیرخطی
- ۶۰۴ ۴-۷-۸ مسائل مکان با قیدهای مسیر
- ۶۰۸ ۸-۸ طرح‌ریزی طبقه‌ای
- ۶۱۰ ۱-۸-۸ قیدهای موقعیت یابی نسبی
- ۶۱۲ ۲-۸-۸ طرح‌ریزی طبقه‌ای به کمک بهینه‌سازی محدب
- ۶۱۶ ۳-۸-۸ طرح‌ریزی طبقه‌ای از طریق برنامه‌ریزی هندسی

کتابنامه	۶۱۸
تمارین	۶۱۹
تصویرسازی روی یک مجموعه	۶۱۹
➤ بخش سوم: الگوریتم‌ها	
➤ فصل نهم: کمینه‌سازی بدون قید	
۱-۹ مسائل کمینه‌سازی بدون قید	۶۳۵
۱-۱-۹ مثال‌ها	۶۳۶
۲-۱-۹ تحدید قوی و پیامدهای آن	۶۳۸
۲-۹ روش‌های کاهش	۶۴۳
۳-۹ روش جستجوی گرادینت	۶۴۷
۱-۳-۹ تحلیل همگرایی	۶۴۸
۲-۳-۹ مثال‌ها	۶۵۱
۴-۹ روش سریع‌ترین کاهش	۶۵۹
۱-۴-۹ سریع‌ترین کاهش برای نرم‌های اقلیدس و ℓ_1 و ℓ_2 دو	۶۶۰
۲-۴-۹ سریع‌ترین کاهش برای نرم ℓ_1	۶۶۲
۳-۴-۹ تحلیل همگرایی	۶۶۴
۴-۴-۹ بحث و گفتگو و مثال‌ها	۶۶۵
۵-۹ روش نیوتن	۶۶۹
۱-۵-۹ گام نیوتن	۶۶۹
۲-۵-۹ روش نیوتن	۶۷۴
۳-۵-۹ تحلیل همگرایی	۶۷۴
۴-۵-۹ مثال‌ها	۶۸۰
۶-۹ خود-همسازی	۶۸۶
۱-۶-۹ تعریف و مثال‌ها	۶۸۷
۲-۶-۹ ریاضیات خود-همساز	۶۸۹
۳-۶-۹ ویژگی‌های توابع خود-همساز	۶۹۲

- ۶۹۵ ۹-۶-۴ تحلیل روش نیوتن برای توابع خودهمساز
- ۶۹۹ ۹-۶-۵ بحث و گفتگو و مثال‌های عددی
- ۷۰۱ ۹-۷-۷ پیاده‌سازی
- ۷۰۱ ۹-۷-۱ پیش محاسبه برای جستجوهای خطی
- ۷۰۴ ۹-۷-۲ محاسبه گام‌های نیوتن
- ۷۰۸ کتابخانه
- ۷۰۹ تمارین
- ۷۰۹ کمینه‌سازی بدون تید
- فصل ده: کمینه‌سازی با قید تساوی
- ۷۲۳ ۱۰-۱-۱ مسائل کمینه‌سازی با تساوی
- ۷۲۴ ۱۰-۱-۱ کمینه‌سازی با قید مرتبه دو با قید تساوی
- ۷۲۵ ۱۰-۱-۲ حذف قیدهای تساوی
- ۷۲۷ ۱۰-۱-۳ حل مسائل با قیدهای تساوی در دوگان
- ۷۲۹ ۱۰-۲-۱ روش نیوتن با قیدهای تساوی
- ۷۲۹ ۱۰-۲-۱ گام نیوتن
- ۷۳۲ ۱۰-۲-۲ روش نیوتن با شرایط تساوی
- ۷۳۳ ۱۰-۲-۳ حذف در روش نیوتن
- ۷۳۴ ۱۰-۲-۴ تحلیل همگرایی
- ۷۳۶ ۱۰-۳-۱ روش نیوتن با شروع نشدنی
- ۷۳۷ ۱۰-۳-۱ گام نیوتن در نقاط نشدنی
- ۷۴۰ ۱۰-۳-۲ روش نیوتن با شروع از نقطه نشدنی
- ۷۴۳ ۱۰-۳-۳ تحلیل همگرایی
- ۷۴۸ ۱۰-۳-۴ بازی‌های محدب - مقعر
- ۷۵۰ ۱۰-۳-۵ مثال‌ها
- ۷۵۴ ۱۰-۴-۱ پیاده‌سازی
- ۷۵۴ ۱۰-۴-۱ حذف کردن

۷۵۴	۱۰-۴-۲ حل سیستم‌های KKT
۷۵۸	۱۰-۴-۳ مثال‌ها
۷۶۹	کتابنامه
۷۶۹	تمارین
۷۶۹	کمینه‌سازی با قید تساوی
➤ فصل یازدهم: روش‌های نقطه - درونی	
۷۷۷	۱۱-۱ مسائل کمینه‌سازی با قیدهای نامساوی
۷۷۹	۱۱-۲ تابع سد گارتمی و مسیر مرکزی
۷۷۹	۱۱-۲-۱ سد گارتمی
۷۸۱	۱۱-۲-۲ مسیر مرکزی
۷۸۷	۱۱-۳ روش سدکردن
۷۸۸	۱۱-۳-۱ روش سد
۷۹۱	۱۱-۳-۲ مثال‌ها
۷۹۶	۱۱-۳-۳ تحلیل همگرایی
۷۹۸	۱۱-۳-۴ گام نیوتن برای معادلات KKT ویرایش ۱
۷۹۹	۱۱-۴-۱ شدنی بودن و روش‌های فاز I
۸۰۰	۱۱-۴-۱-۱ روش فاز I پایه
۸۰۴	۱۱-۴-۲ فاز I از طریق روش نیوتن با شروع نشدنی
۸۰۵	۱۱-۴-۳ مثال‌ها
۸۰۸	۱۱-۵-۱ تحلیل پیچیدگی از طریق خود-همسازی
۸۰۹	۱۱-۵-۱-۱ فرض خود - همسازی
۸۱۱	۱۱-۵-۲ تکرارهای نیوتن در هر گام مرکزی
۸۱۴	۱۱-۵-۳ مجموع تعداد تکرارهای نیوتن
۸۱۷	۱۱-۵-۴ مسائل شدنی بودن
۸۲۰	۱۱-۵-۵ پیچیدگی ترکیب فاز I / فاز II
۸۲۱	۱۱-۵-۶ خلاصه

- ۸۲۲ ۱۱-۶ مسائل دارای قیدهای نامساوی تعمیم‌یافته
- ۸۲۳ ۱۱-۶-۱ سد لگاریتمی و مسیر مرکزی
- ۸۲۸ ۱۱-۶-۲ روش سد
- ۸۳۰ ۱۱-۶-۳ مثال‌ها
- ۸۳۵ ۱۱-۶-۴ تحلیل پیچیدگی به کمک خود - همسازی
- ۸۳۹ ۱۱-۶-۷ روش‌های نقطه - درونی اصلی - دوگان
- ۸۳۹ ۱۱-۶-۱۰ بهت جستجوی اصلی - دوگان
- ۸۴۲ ۱۱-۶-۲ حذف دوگان جایگزین
- ۸۴۳ ۱۱-۶-۳ روش نقطه - درونی اصلی - دوگان
- ۸۴۶ ۱۱-۶-۴ مثال‌ها
- ۸۴۷ ۱۱-۸ پیاده‌سازی
- ۸۴۹ ۱۱-۸-۱ برنامه‌ریزی خطی به شکل استاندارد
- ۸۴۹ ۱۱-۸-۲ تقریب نرم - ℓ_1
- ۸۵۱ ۱۱-۸-۳ برنامه‌ریزی نیمه معین به شکل نامساوی
- ۸۵۲ ۱۱-۸-۴ بهینه‌سازی نرخ شبکه
- ۸۵۵ کتابخانه
- ۸۵۷ تمرین
- ۸۵۷ روش سد کردن
- پیوست‌ها
- ۸۷۳ پیوست A
- ۸۷۳ پیش‌زمینه ریاضیاتی
- ۸۷۳ A.۱ نرم‌ها
- ۸۷۳ A.۱.۱ ضرب داخلی، نرم اقلیدسی و زاویه
- ۸۷۴ A.۱.۲ نرم‌ها، فاصله و کره واحد
- ۸۷۵ A.۱.۳ مثال‌ها
- ۸۷۶ A.۱.۴ معادل نرم‌ها