Лекция 6

Ilya Yaroshevskiy

21 ноября 2024 г.

Содержание

1 Постановка задачи 1
1.1 Свойства квадратичных форм . . . 2
1.2 Свойства выпуклых множеств и выпуклых функций . . . 2
1.3 Необходимое и достаточное условие безусловного экстремума . . . 3
1.3.1 Проверка выполнения условий . . . 3

1 Постановка задачи

1. $x^* = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, $x_i \in U \subset E_n$, где U — множество допустимых значений, E_n — эвклидово пространство размера n. $f(x^*) = \min_{x \in U} f(x)$. Если ствится задача найти максимум, то млжно перейти к поиску минимума: $f(x^*) = \max_{x \in U} f(x) = -\min_{x \in U}(-f(x))$
2. $f(x^*) = \text{extr}_{x \in U} f(x)$
3. Если U задается ограничением на вектор x, то задача поиска условного экстремума. Если $U = E_n$ — не имеет ограничений, то задача поиска безусловного экстремума
4. Решение задачи поиска экстремума — пара $(x^*, f(x^*))$

Если $\forall x \in U$ $f(x^*) \leq f(x)$ — то x^* — глобальный минимум. Локальный минимум $x^* \in U$: если $\exists \varepsilon > 0$, что $\forall x \in U$ и $\|x - x^*\| < \varepsilon$, то $f(x^*) \leq f(x)$

Определение. Поверхностью уровня функции $f(x)$ называется множество точек, в которых функция принимает постоянные значения, т.е. $f(x) = const$

Определение. Градиентом ∇ f(x) непрерывно жифференцируемой функции $f(x)$ в x:

$$\nabla f(x) = \begin{pmatrix} \frac{\partial f(x)}{\partial x_1} \\ \frac{\partial f(x)}{\partial x_2} \\ \vdots \\ \frac{\partial f(x)}{\partial x_n} \end{pmatrix}$$

Градиент направлен по нормали к поверхности уровня, т.е. перпендикулярно к касательной плоскости в точке x, проведенной в сторону наибольшего возрастания функции

Определение. Матрицей Гессе $H(x)$ дважды непрерывно дифференцируемой в точке x функции $f(x)$ называется матрица частных производных второго порядка, вычисленных в данной точке.

$$H(x) = \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x_1 x_2} & \dots & \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x_1 x_n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x_n x_1} & \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x_n x_2} & \dots & \frac{\partial^2 f(x)}{\partial x_n^2} \end{pmatrix}$$

1. $H(x)$ — симметричная, размер nn
2. Антиградиент: вектор, равный по модулю вектору градиента, но противоположный по направлению. Указывает в сторну наибольшего убывания функции $f(x)$
3. $$\nabla f(x) = f(x + \Delta x) - f(x) = \nabla f(x)^T \Delta x + \frac{1}{2} \Delta x^T H(x) \Delta x + o(\|\Delta x\|^2)$$
   $o(\|\Delta x\|^2)$ — сумма всех членов разложения, имеющих порядок выше второго, $\Delta x^T H(x) \Delta x$ — квадратичная форма

1.1 Свойства квадратичных форм

Квадратичная форма $\Delta x^T H(x)\Delta x$ (и соответсвующая матрица $H(x)$) называется:

- положительно опрделенной $H(x) > 0$, если $\forall \Delta x \neq 0 \ \Delta x^T H(x)\Delta x > 0$
- отрицательно определенной $H(x) < 0$, если $\forall \Delta x \neq 0 \ \Delta x^T H(x)\Delta x < 0$
- положительно полуопределенной $H(x) \geq 0$, если $\forall \Delta x \neq 0 \ \Delta x^T H(x)\Delta x \geq 0$ и имеется $\Delta x \neq 0 :$ $\Delta x^T H(x)\Delta x = 0$
- отрицательно полуопределенной $H(x) \leq 0$, если $\forall \Delta x \neq 0 \ \Delta x^T H(x)\Delta x \leq 0$ и имеется $\Delta x \neq 0 :$ $\Delta x^T H(x)\Delta x = 0$
- неопределнной, если $\exists \Delta x, \Delta\tilde{x} : \Delta x^T H(x)\Delta x > 0, \ \Delta\tilde{x}^T H(\tilde{x})\Delta\tilde{x} < 0$
- тождественно равной нулю $H(x) \equiv 0$, если $\forall \Delta x \ \Delta x^T H(x)\Delta x = 0$

1.2 Свойства выпуклых множеств и выпуклых функций

Определение. Пусть $x, y \in E_n$. Множество точек вида $\{z\} \subset E_n : z = \alpha x + (1-\alpha)y$, $\alpha \in [0,1]$, z — отрезок, соединяющий x и y.

Пример. $E_n : n \leq 3$: z — отрезок(обычный)

Определение. $U \subset E_n$ выпуклое, если вместе с точками x и (y ∈ U) оно содержит и весь отрезок $z = \alpha x + (1-\alpha)y, \alpha \in [0,1]$

Определение. Функция $f(x)$, заданая на выпуклом $U \subset E_n$ называется:

- выпуклой, если $\forall x, y \in U$ и $\forall \alpha[0,1]$ выполняется $f(\alpha x + (1-\alpha)y) \leq \alpha f(x) + (1-\alpha)f(y)$
- строго выпуклой, если $\forall \alpha \in (0,1)$ выполняется $f(\alpha x + (1-\alpha)y) < \alpha f(x) + (1-\alpha)f(y)$
- сильно выпуклой с константой $l > 0$, если $\forall x, y \in U$ и $\forall \alpha \in [0,1]$ выполняется $f(\alpha x + (1-\alpha)y) \leq \alpha f(x) + (1-\alpha)f(y) - \frac{l}{2}\alpha(1-\alpha)\|x-y\|^2$

Свойства:

1. Функция $f(x)$ выпуклая, если ее грфик целиком лежит не выше отрезка, соединяющего две ее произвольные точки
   Функция $f(x)$ строго выпуклая, если ее график лежит целиком ниже отрезка, соединяющего две ее произвольные, но не совпадающие точки
2. Если функция $f(x)$ сильно выпуклая, то она одноверменно строго выпуклая и выпуклая
   Если функция $f(x)$ строго выпуклая, то она одновременно выпуклая
3. Выпуклость функции можно определить по матрице Гессе $H(x)$
   - Если $H(x) \geq 0 \ \forall x \in E_n$, то $f(x)$ выпуклая
   - Если $H(x) > 0 \ \forall x \in E_n$, то $f(x)$ строго выпуклая
   - Если $H(x) \ \geq lE \ \forall x \in E_n$, где E — единичная матрица, то $f(x)$ сильно выпуклая

Свойства выпуклых функций:

1. Если f(x) выпуклая функция на выпуклом множестве U, то всякая точка локального минимума есть точка глобального минимума на U
2. Если выпуклая функция достигает своего минимума в двух различных точках, то она достигает миниума во всех точках отрезка, соединяющих это точки.
3. Если $f(x)$ строго выпуклая функция множества U, то она может достигать своего глобального минимума на U не более чем в одной точке

1.3 Необходимое и достаточное условие безусловного экстремума

Теорема 1.1 (Необходимое условие экстремума первого порядка)**.** Пусть $x^* \in E_n$ — локальный минимум или максимум $f(x)$ на E_n и $f(x)$ — дифференцируема в точке x^*
Тогда $\nabla f(x)$ в точке x^* равен нулю $\nabla f(x^*) = 0$, т.е.

$$\frac{\partial f(x^*)}{\partial x_i} = 0,\ i = \overline{1, n}$$

Определение. Точки $x^* : \nabla f(x^*) = 0$ — **стационарные**

Теорема 1.2 (Необходимое условие экстремума второго порядка)**.** Пусть $x^* \in E_n$ — точка локального минимума или максимума $f(x)$ на E_n и $f(x)$ — дважды дииференцируемая в точке.
Тогда $H(x^*)$ — является положительно или отрицательно(если максимум) полуопределенной, т.е. $H(x^*) \geq 0$ или $H(x^*) \leq 0$(если максимум)

Теорема 1.3 (Достаточное условие экстремума)**.** Пусть $f(x)$ в $x^* \in E_n$ дважды дифференцируема, ее $\nabla f(x) = 0$, а $H(x^*) > 0$ или $H(x^*) < 0$(для максимума).
Тогда x^* — точка локального минимума(максимума) $f(x)$ на E_n

1.3.1 Проверка выполнения условий

- вычисление угловых миноров $H(x)$
- вычисление главных миноров $H(x)$

1. Ислледование положительной или отрицательной определнности угловых и главных миноров
2. Анализ собственных значений матрицы $H(x)$