

Метод главных компонент (МГК) Principal component analysis (PCA)

30 сентября 2024

Метод снижения размерности

Что имеем на «входе» задачи?

Ряд характеристик – признаков объектов, достаточно сильно скоррелированных между собой. Если информация дублируется, то почему бы не уменьшить количество признаков?

Метод снижения размерности

Что имеем на «входе» задачи?

Ряд характеристик – признаков объектов, достаточно сильно скоррелированных между собой. Если информация дублируется, то почему бы не уменьшить количество признаков?

Постановка задачи снижения размерности

От исходного признакового пространства размерности k , содержащего много дублирующей информации, перейти к новому признаковому пространству размерности p , где $p < k$. Корреляция между новыми признаками равна 0, то есть, дублирующая информация отсутствует.

Примеры: возможность построения индекса

Пример 1

- ❶ количество раз обработки рук антисептиком за день
- ❷ страх выходить на улицу
- ❸ страх потери работы

Примеры: возможность построения индекса

Пример 1

- 1 количество раз обработки рук антисептиком за день
- 2 страх выходить на улицу
- 3 страх потери работы

Пример 2

- 1 доверие правительству
- 2 доверие парламенту
- 3 доверие политическим партиям

Примеры: возможность построения индекса

Пример 1

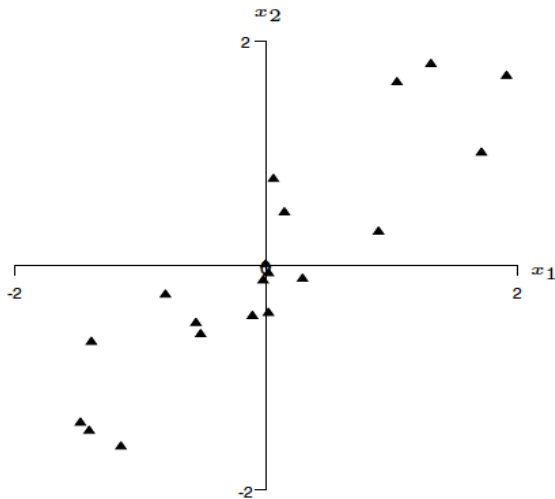
- 1 количество раз обработки рук антисептиком за день
- 2 страх выходить на улицу
- 3 страх потери работы

Пример 2

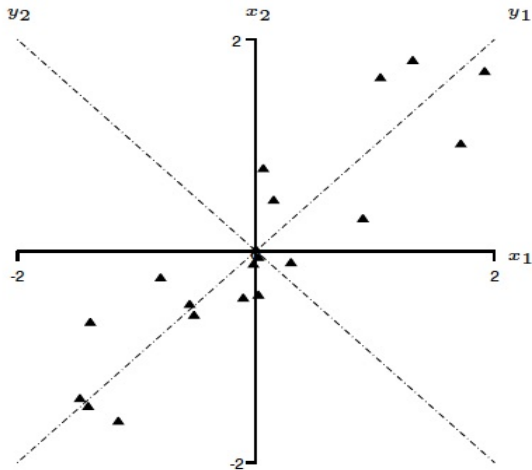
- 1 доверие правительству
- 2 доверие парламенту
- 3 доверие политическим партиям

Ваш пример?

Визуализация: на «входе» задачи



Визуализация: в результате преобразования



Как выполнить преобразование?

Алгоритм действий:

1. Переход к новой системе координат
 - ▶ Поворачиваем оси так, чтобы угол между осями составлял 90° .
 - ▶ Минимизация суммы квадратов расстояний от точки до прямой.
2. Оставляем оси с большей долей дисперсии (информации), остальные оси отбрасываем.

Переход к новой системе координат

$$\vec{y} = A\vec{x}$$

Для перехода от \vec{x} к \vec{y} нам понадобится ортогональная матрица A .

- как столбцы, так и строки имеют длину $= 1$
- как столбцы, так и строки ортогональны
- $|\det(A)| = 1$
- $A^{-1} = A^T$

Про длину и ортогональность

Пример

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{5}} & \frac{-2}{\sqrt{5}} \\ 2 & 1 \\ \frac{1}{\sqrt{5}} & \frac{1}{\sqrt{5}} \end{pmatrix}$$

- Длина (вектор по первой строке) : $\sqrt{\left(\frac{1}{\sqrt{5}}\right)^2 + \left(\frac{-2}{\sqrt{5}}\right)^2} = 1$
- Ортогональность первого и второго столбцов:
 $\frac{1}{\sqrt{5}} \left(\frac{-2}{\sqrt{5}}\right) + \frac{2}{\sqrt{5}\sqrt{5}} = 0$ (скалярное произведение = 0)

Что происходит с информацией?

Представим вариацию в матричном виде:

Вариация исходных показателей: $\vec{x}^T \vec{x}$

Что происходит с информацией?

Представим вариацию в матричном виде:

Вариация исходных показателей: $\vec{x}^T \vec{x}$

Вариация новых показателей:

$$\vec{y}^T \vec{y} = (A \vec{x})^T (A \vec{x}) = \vec{x}^T A^T A \vec{x} =$$

Что происходит с информацией?

Представим вариацию в матричном виде:

Вариация исходных показателей: $\vec{x}^T \vec{x}$

Вариация новых показателей:

$$\vec{y}^T \vec{y} = (A \vec{x})^T (A \vec{x}) = \vec{x}^T A^T A \vec{x} = \vec{x}^T I \vec{x} = \vec{x}^T \vec{x}$$

Что происходит с информацией?

Представим вариацию в матричном виде:

Вариация исходных показателей: $\vec{x}^T \vec{x}$

Вариация новых показателей:

$$\vec{y}^T \vec{y} = (A \vec{x})^T (A \vec{x}) = \vec{x}^T A^T A \vec{x} = \vec{x}^T I \vec{x} = \vec{x}^T \vec{x}$$

Принцип сохранения информации

Переходим от k -мерного к k -мерному ортогонализированному признаковому пространству (до удаления малоинформативных индексов). В результате МГК информация перераспределяется, при этом сохраняется полностью.

Для реализации МГК вспомним материал:

Собственные векторы и собственные значения

$M\vec{z} = \lambda\vec{z}$, где M – квадратная матрица, \vec{z} – собственный вектор (ненулевой), λ – собственное значение.

В результате воздействия матрицы M получаем вектор, параллельный исходному вектору.

Для реализации МГК вспомним материал:

Собственные векторы и собственные значения

$M\vec{z} = \lambda\vec{z}$, где M – квадратная матрица, \vec{z} – собственный вектор (ненулевой), λ – собственное значение.

В результате воздействия матрицы M получаем вектор, параллельный исходному вектору.

Характеристическое уравнение

$M\vec{z} = \lambda\vec{z} = \lambda I\vec{z}$, где I – единичная матрица.

$$(M - \lambda I)\vec{z} = 0$$

Может быть либо одно решение (нулевой \vec{z}), либо много решений. Для второго исхода матрица $(M - \lambda I)$ должна преобразовывать в 0 (вырожденная матрица):

$$\det(M - \lambda I) = 0$$

Найдем собственные числа и векторы:

Пример:

Дана матрица $M = \begin{pmatrix} 5 & -4 \\ -4 & 5 \end{pmatrix}$

Найдем собственные числа и векторы:

Пример:

Дана матрица $M = \begin{pmatrix} 5 & -4 \\ -4 & 5 \end{pmatrix}$

Решение:

Найдем собственные числа:

$$\det \begin{pmatrix} 5 - \lambda & -4 \\ -4 & 5 - \lambda \end{pmatrix} = 0$$

Найдем собственные числа и векторы:

Пример:

Дана матрица $M = \begin{pmatrix} 5 & -4 \\ -4 & 5 \end{pmatrix}$

Решение:

Найдем собственные числа:

$$\det \begin{pmatrix} 5 - \lambda & -4 \\ -4 & 5 - \lambda \end{pmatrix} = 0 \rightarrow (5 - \lambda)^2 - 16 = 0$$

Найдем собственные числа и векторы:

Пример:

Дана матрица $M = \begin{pmatrix} 5 & -4 \\ -4 & 5 \end{pmatrix}$

Решение:

Найдем собственные числа:

$$\det \begin{pmatrix} 5 - \lambda & -4 \\ -4 & 5 - \lambda \end{pmatrix} = 0 \rightarrow (5 - \lambda)^2 - 16 = 0 \rightarrow \lambda^2 - 10\lambda + 9 = 0$$

Найдем собственные числа и векторы:

Пример:

Дана матрица $M = \begin{pmatrix} 5 & -4 \\ -4 & 5 \end{pmatrix}$

Решение:

Найдем собственные числа:

$$\det \begin{pmatrix} 5 - \lambda & -4 \\ -4 & 5 - \lambda \end{pmatrix} = 0 \rightarrow (5 - \lambda)^2 - 16 = 0 \rightarrow \lambda^2 - 10\lambda + 9 = 0$$
$$\rightarrow \lambda_1 = 9; \lambda_2 = 1$$

Найдем собственные числа и векторы:

Решение (продолжение):

$$(M - \lambda I) \vec{z} = 0$$

Подставим последовательно собственные числа:

$$(M - 9I) \vec{z} = 0$$

Найдем собственные числа и векторы:

Решение (продолжение):

$$(M - \lambda I) \vec{z} = 0$$

Подставим последовательно собственные числа:

$$(M - 9I) \vec{z} = 0$$

$$\begin{pmatrix} -4 & -4 \\ -4 & -4 \end{pmatrix} \vec{z} = 0$$

Найдем собственные числа и векторы:

Решение (продолжение):

$$(M - \lambda I) \vec{z} = 0$$

Подставим последовательно собственные числа:

$$(M - 9I) \vec{z} = 0$$

$$\begin{pmatrix} -4 & -4 \\ -4 & -4 \end{pmatrix} \vec{z} = 0 \rightarrow -4z_1 - 4z_2 = 0$$

Найдем собственные числа и векторы:

Решение (продолжение):

$$(M - \lambda I) \vec{z} = 0$$

Подставим последовательно собственные числа:

$$(M - 9I) \vec{z} = 0$$

$$\begin{pmatrix} -4 & -4 \\ -4 & -4 \end{pmatrix} \vec{z} = 0 \rightarrow -4z_1 - 4z_2 = 0 \rightarrow z_1 = -z_2$$

Общий вид собственного вектора (1): $\begin{pmatrix} -z_2 \\ z_2 \end{pmatrix}$

Найдем собственные числа и векторы:

Решение (продолжение):

$$(M - \lambda I) \vec{z} = 0$$

Подставим последовательно собственные числа:

$$(M - I) \vec{z} = 0$$

Найдем собственные числа и векторы:

Решение (продолжение):

$$(M - \lambda I) \vec{z} = 0$$

Подставим последовательно собственные числа:

$$(M - I) \vec{z} = 0$$

$$\begin{pmatrix} 4 & -4 \\ -4 & 4 \end{pmatrix} \vec{z} = 0$$

Найдем собственные числа и векторы:

Решение (продолжение):

$$(M - \lambda I) \vec{z} = 0$$

Подставим последовательно собственные числа:

$$(M - I) \vec{z} = 0$$
$$\begin{pmatrix} 4 & -4 \\ -4 & 4 \end{pmatrix} \vec{z} = 0 \rightarrow 4z_1 - 4z_2 = 0$$

Найдем собственные числа и векторы:

Решение (продолжение):

$$(M - \lambda I) \vec{z} = 0$$

Подставим последовательно собственные числа:

$$(M - I) \vec{z} = 0$$

$$\begin{pmatrix} 4 & -4 \\ -4 & 4 \end{pmatrix} \vec{z} = 0 \rightarrow 4z_1 - 4z_2 = 0 \rightarrow z_1 = z_2$$

Общий вид собственного вектора (2): $\begin{pmatrix} z_2 \\ z_2 \end{pmatrix}$

Работа с матрицами в рамках МГК

Имеем: ковариационная/корреляционная матрица C

Матрица C содержит информацию об исходном признаковом пространстве. Вспомним общий вид ковариационной матрицы:

$$\begin{pmatrix} Var(X_1) & Cov(X_1, X_2) \\ Cov(X_2, X_1) & Var(X_2) \end{pmatrix}$$

Работа с матрицами в рамках МГК

Имеем: ковариационная/корреляционная матрица C

Матрица C содержит информацию об исходном признаковом пространстве. Вспомним общий вид ковариационной матрицы:

$$\begin{pmatrix} Var(X_1) & Cov(X_1, X_2) \\ Cov(X_2, X_1) & Var(X_2) \end{pmatrix}$$

Находим в процессе: матрицу преобразования A

Матрица A – матрица, составленная из собственных векторов матрицы C .

Работа с матрицами в рамках МГК

Имеем: ковариационная/корреляционная матрица C

Матрица C содержит информацию об исходном признаковом пространстве. Вспомним общий вид ковариационной матрицы:

$$\begin{pmatrix} Var(X_1) & Cov(X_1, X_2) \\ Cov(X_2, X_1) & Var(X_2) \end{pmatrix}$$

Находим в процессе: матрицу преобразования A

Матрица A – матрица, составленная из собственных векторов матрицы C .

В результате: главные компоненты

Главная компонента (ГК): $y_{ji} = z_{1j}x_{1i} + \dots z_{kj}x_{ki}$

Построим главные компоненты:

Пример:

Дана ковариационная матрица $C = \begin{pmatrix} 34 & 5 \\ 5 & 10 \end{pmatrix}$

Построим главные компоненты:

Пример:

Дана ковариационная матрица $C = \begin{pmatrix} 34 & 5 \\ 5 & 10 \end{pmatrix}$

Решение:

$$C\vec{z} = \lambda\vec{z}$$

Решим характеристическое уравнение:

$$\det \begin{pmatrix} 34 - \lambda & 5 \\ 5 & 10 - \lambda \end{pmatrix} = 0$$

Построим главные компоненты:

Пример:

Дана ковариационная матрица $C = \begin{pmatrix} 34 & 5 \\ 5 & 10 \end{pmatrix}$

Решение:

$$C\vec{z} = \lambda\vec{z}$$

Решим характеристическое уравнение:

$$\det \begin{pmatrix} 34 - \lambda & 5 \\ 5 & 10 - \lambda \end{pmatrix} = 0 \rightarrow (34 - \lambda)(10 - \lambda) - 25 = 0$$

Построим главные компоненты:

Пример:

Дана ковариационная матрица $C = \begin{pmatrix} 34 & 5 \\ 5 & 10 \end{pmatrix}$

Решение:

$$C\vec{z} = \lambda\vec{z}$$

Решим характеристическое уравнение:

$$\det \begin{pmatrix} 34 - \lambda & 5 \\ 5 & 10 - \lambda \end{pmatrix} = 0 \rightarrow (34 - \lambda)(10 - \lambda) - 25 = 0$$
$$\rightarrow \lambda^2 - 44\lambda + 315 = 0$$

Построим главные компоненты:

Пример:

Дана ковариационная матрица $C = \begin{pmatrix} 34 & 5 \\ 5 & 10 \end{pmatrix}$

Решение:

$$C\vec{z} = \lambda\vec{z}$$

Решим характеристическое уравнение:

$$\det \begin{pmatrix} 34 - \lambda & 5 \\ 5 & 10 - \lambda \end{pmatrix} = 0 \rightarrow (34 - \lambda)(10 - \lambda) - 25 = 0$$

$$\rightarrow \lambda^2 - 44\lambda + 315 = 0 \rightarrow \lambda_1 = 35; \lambda_2 = 9$$

$\lambda_1 = 35$ – вариация первой ГК

$\lambda_2 = 9$ – вариация второй (менее информативной) ГК

Построим главные компоненты:

Решение (продолжение):

Подставим последовательно собственные числа:

$$(C - 35I) \vec{z} = 0$$

Построим главные компоненты:

Решение (продолжение):

Подставим последовательно собственные числа:

$$(C - 35I) \vec{z} = 0$$

$$\begin{pmatrix} -1 & 5 \\ 5 & -25 \end{pmatrix} \vec{z} = 0$$

Построим главные компоненты:

Решение (продолжение):

Подставим последовательно собственные числа:

$$(C - 35I) \vec{z} = 0$$

$$\begin{pmatrix} -1 & 5 \\ 5 & -25 \end{pmatrix} \vec{z} = 0 \rightarrow -z_1 + 5z_2 = 0$$

Построим главные компоненты:

Решение (продолжение):

Подставим последовательно собственные числа:

$$(C - 35I) \vec{z} = 0$$

$$\begin{pmatrix} -1 & 5 \\ 5 & -25 \end{pmatrix} \vec{z} = 0 \rightarrow -z_1 + 5z_2 = 0 \rightarrow z_1 = 5z_2$$

Для нахождения конкретных значений собственного вектора введем ограничение (исходя из свойств ортогональной матрицы): $z_1^2 + z_2^2 = 1$.

Построим главные компоненты:

Решение (продолжение):

Подставим последовательно собственные числа:

$$(C - 35I) \vec{z} = 0$$

$$\begin{pmatrix} -1 & 5 \\ 5 & -25 \end{pmatrix} \vec{z} = 0 \rightarrow -z_1 + 5z_2 = 0 \rightarrow z_1 = 5z_2$$

Для нахождения конкретных значений собственного вектора введем ограничение (исходя из свойств ортогональной матрицы): $z_1^2 + z_2^2 = 1$. Запишем как систему уравнений:

$$\begin{cases} z_1 = 5z_2 \\ z_1^2 + z_2^2 = 1 \end{cases} \Rightarrow$$

Построим главные компоненты:

Решение (продолжение):

Подставим последовательно собственные числа:

$$(C - 35I) \vec{z} = 0$$

$$\begin{pmatrix} -1 & 5 \\ 5 & -25 \end{pmatrix} \vec{z} = 0 \rightarrow -z_1 + 5z_2 = 0 \rightarrow z_1 = 5z_2$$

Для нахождения конкретных значений собственного вектора введем ограничение (исходя из свойств ортогональной матрицы): $z_1^2 + z_2^2 = 1$. Запишем как систему уравнений:

$$\begin{cases} z_1 = 5z_2 \\ z_1^2 + z_2^2 = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} z_1 = 5z_2 \\ 26z_2^2 = 1 \end{cases} \Rightarrow$$

Построим главные компоненты:

Решение (продолжение):

Подставим последовательно собственные числа:

$$(C - 35I) \vec{z} = 0$$

$$\begin{pmatrix} -1 & 5 \\ 5 & -25 \end{pmatrix} \vec{z} = 0 \rightarrow -z_1 + 5z_2 = 0 \rightarrow z_1 = 5z_2$$

Для нахождения конкретных значений собственного вектора введем ограничение (исходя из свойств ортогональной матрицы): $z_1^2 + z_2^2 = 1$. Запишем как систему уравнений:

$$\begin{cases} z_1 = 5z_2 \\ z_1^2 + z_2^2 = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} z_1 = 5z_2 \\ 26z_2^2 = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} z_1 = \frac{5}{\sqrt{26}} \\ z_2 = \frac{1}{\sqrt{26}} \end{cases}$$

Построим главные компоненты:

Решение (продолжение):

Подставим последовательно собственные числа:

$$(C - 35I) \vec{z} = 0$$

$$\begin{pmatrix} -1 & 5 \\ 5 & -25 \end{pmatrix} \vec{z} = 0 \rightarrow -z_1 + 5z_2 = 0 \rightarrow z_1 = 5z_2$$

Для нахождения конкретных значений собственного вектора введем ограничение (исходя из свойств ортогональной матрицы): $z_1^2 + z_2^2 = 1$. Запишем как систему уравнений:

$$\begin{cases} z_1 = 5z_2 \\ z_1^2 + z_2^2 = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} z_1 = 5z_2 \\ 26z_2^2 = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} z_1 = \frac{5}{\sqrt{26}} \\ z_2 = \frac{1}{\sqrt{26}} \end{cases}$$

Запишем ГК (1):

$$y_{1i} = \frac{5}{\sqrt{26}}x_{1i} + \frac{1}{\sqrt{26}}x_{2i}$$

Построим главные компоненты:

Решение (продолжение):

Подставим последовательно собственные числа:

$$(C - 9I)\vec{z} = 0$$

Построим главные компоненты:

Решение (продолжение):

Подставим последовательно собственные числа:

$$(C - 9I)\vec{z} = 0 \quad \begin{pmatrix} 25 & 5 \\ 5 & 1 \end{pmatrix} \vec{z} = 0$$

Запишем как систему уравнений:

$$\begin{cases} -5z_1 = z_2 \\ z_1^2 + 25z_1^2 = 1 \end{cases} \Rightarrow$$

Построим главные компоненты:

Решение (продолжение):

Подставим последовательно собственные числа:

$$(C - 9I)\vec{z} = 0 \quad \begin{pmatrix} 25 & 5 \\ 5 & 1 \end{pmatrix} \vec{z} = 0$$

Запишем как систему уравнений:

$$\begin{cases} -5z_1 = z_2 \\ z_1^2 + 25z_1^2 = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} z_1 = \frac{1}{\sqrt{26}} \\ z_2 = \frac{-5}{\sqrt{26}} \end{cases}$$

Построим главные компоненты:

Решение (продолжение):

Подставим последовательно собственные числа:

$$(C - 9I)\vec{z} = 0 \quad \begin{pmatrix} 25 & 5 \\ 5 & 1 \end{pmatrix} \vec{z} = 0$$

Запишем как систему уравнений:

$$\begin{cases} -5z_1 = z_2 \\ z_1^2 + 25z_1^2 = 1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} z_1 = \frac{1}{\sqrt{26}} \\ z_2 = \frac{-5}{\sqrt{26}} \end{cases}$$

Запишем ГК (2):

$$y_{2i} = \frac{1}{\sqrt{26}}x_{1i} + \frac{-5}{\sqrt{26}}x_{2i}$$