Липецкий государственный технический университет

Кафедра прикладной математики

МЕТОДЫ ПРИКЛАДНОЙ СТАТИСТИКИ

Лекция 5

5. Методы работы с пропущенными данными

Составитель - Сысоев А.С., к.т.н., доц.

Липецк – 2021

Outline

5.0. Исходные данные

5.1. Этапы работы с пропущенными данными

5.2. Обнаружение пропущенных значений

5.3. Исследование структуры пропущенных данных

5.4. Выявление источников пропущенных данных и эффекта от них

5.5. Анализ полных строк (построчное удаление)

5.6. Метод множественного восстановления пропущенных данных

5.7. Попарное удаление

5.0. Исходные данные

Пакеты `VIM` и `mice` (`install.packages(c("VIM", "mice"))`)
Набор данных sleep (VIM)

Работа по взаимосвязям между сном, экологией и морфологией 62 видов млекопитающих. Параметры сна служили зависимыми переменными, а экологические и морфологические характеристики были независимыми переменными.

Параметры сна: продолжительность сна со сновидениями (Dream) и без сновидений (NonD), а также их сумма (Sleep). Морфологические характеристики: вес тела в килограммах (BodyWgt), вес мозга в граммах (BrainWgt), продолжительность жизни в годах (Span) и продолжительность беременности в днях (Gest). Экологические характеристики – пресс хищников (Pred), степень уязвимости во время сна (Exp) и общая степень опасности, которой подвергается животное (Danger). Экологические характеристики оценивались по пятибалльной шкале, принимавшей значения от 1 (низкий) до 5 (высокий).

5.1. Этапы работы с пропущенными данными

Классическая литература - Little & Rubin (2002).

1. Обнаружить пропущенные данные.

2. Выявить причины их наличия.

3. Удалить наблюдения с пропущенными значениями или заменить пропущенные данные подходящими расчетными значениями.

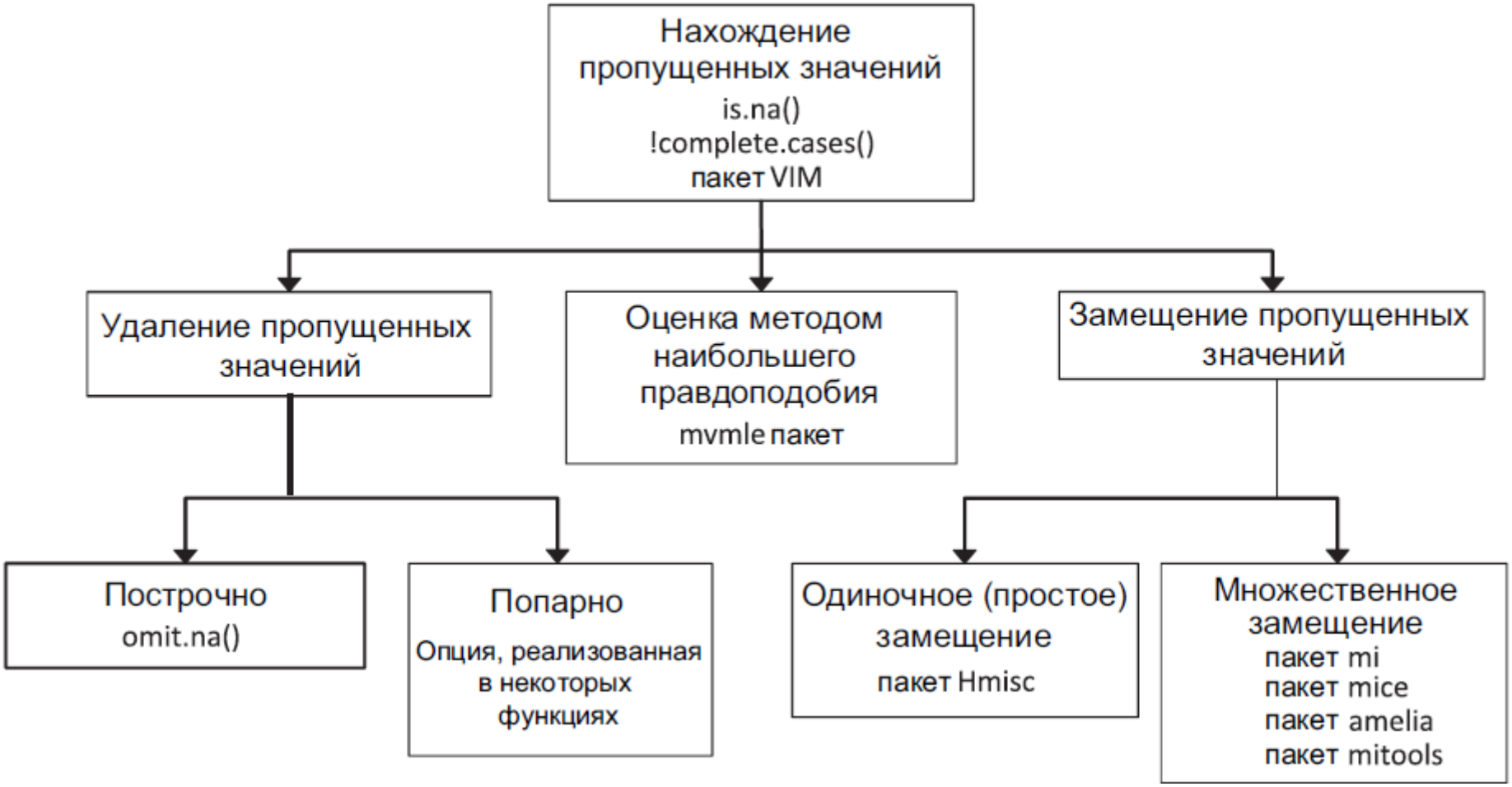
КЛАССИФИКАЦИЯ ТИПОВ ПРОПУЩЕННЫХ ДАННЫХ

Полностью случайный пропуск. Если наличие пропущенных значений в переменной не зависит от значений любой другой наблюдаемой или ненаблюдаемой переменной, тогда данные являются отсутствующими полностью случайно.

Случайный пропуск. Если наличие пропущенных значений в переменной зависит от других переменных, но не от самих неотмеченных значений, то данные являются отсутствующими случайно.

Неслучайный пропуск. Под эту категорию попадают пропущенные значения, которые не относятся к первым двум категориям.

5.2. Обнаружение пропущенных значений



5.2. Обнаружение пропущенных значений

x	is.na()	is.nan()	is.infinite()
x <- NA	TRUE	FALSE	FALSE
x <- 0 / 0	TRUE	TRUE	FALSE
x <- 1 / 0	FALSE	FALSE	TRUE

Функцию `complete.cases()` можно использовать для обнаружения строк в матрице или таблице данных, которые не содержат пропущенных значений. Эта функция возвращает логический вектор со значениями TRUE для всех полных строк и FALSE – для строк с одним и более пропущенными значениями.

```
sleep[complete.cases(sleep),]; sleep[!complete.cases(sleep),]
 > sum(is.na(sleep$Dream))
 [1] 12
 > mean(is.na(sleep$Dream))
 [1] 0.19
 > mean(!complete.cases(sleep))
 [1] 0.32
```

5.3. Исследование структуры пропущенных данных

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ПРОПУЩЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ В ВИДЕ ТАБЛИЦЫ

Функция `md.pattern()` из пакета `mice` представляет информацию о пропущенных значениях в табличной форме.

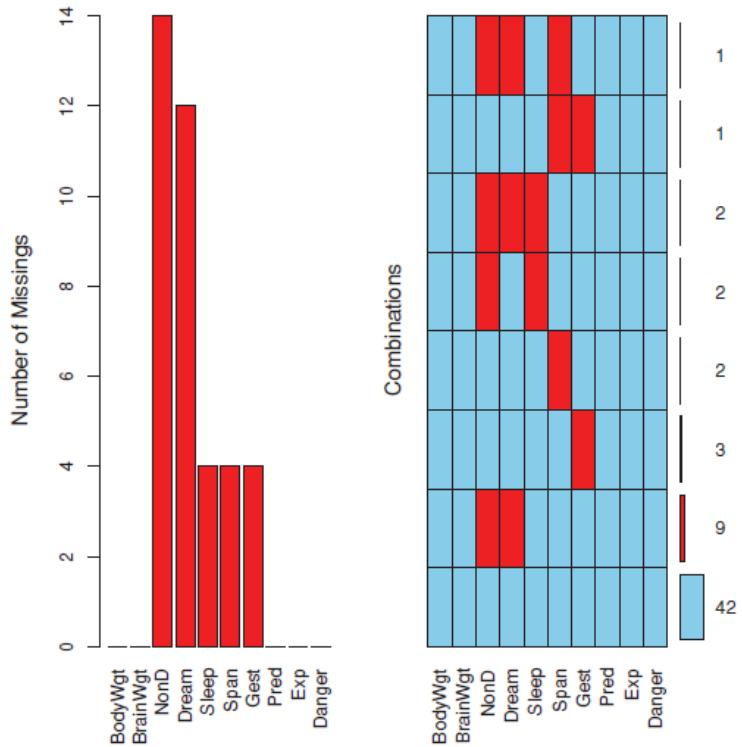
```
> library(mice)
> data(sleep, package="VIM")
> md.pattern(sleep)
   BodyWgt BrainWgt Pred Exp Danger Sleep Span Gest Dream NonD
42       1        1    1   1      1     1    1    1     1    0
 2       1        1    1   1      1     1    0    1     1    1
 3       1        1    1   1      1     1    1    0     1    1
 9       1        1    1   1      1     1    1    1     0    2
 2       1        1    1   1      1     0    1    1     1    2
 1       1        1    1   1      1     1    0    0     1    2
 2       1        1    1   1      1     0    1    1     0    3
 1       1        1    1   1      1     1    0    1     0    3
         0        0    0   0      0     4    4    4    12   14 38
```

5.3. Исследование структуры пропущенных данных

ВИЗУАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОПУЩЕННЫХ ДАННЫХ

Функция `aggr()` графически отображает число наблюдений для каждой отдельной переменной и для каждой комбинации переменных.

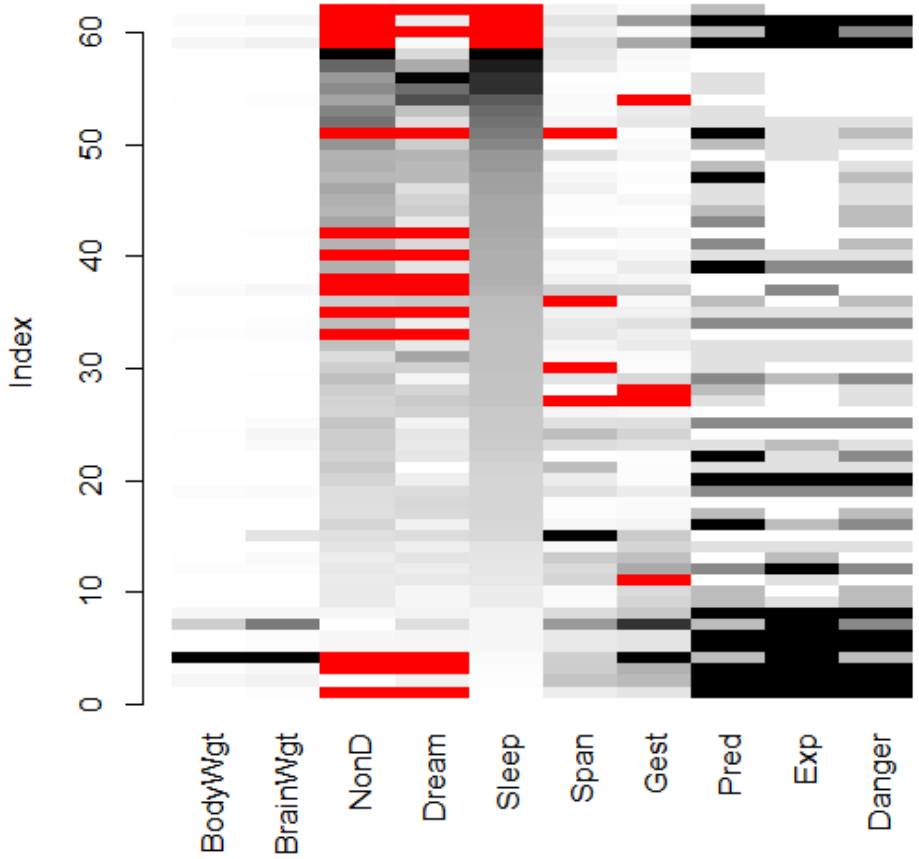
```
library("VIM")
aggr(sleep, prop=FALSE, numbers=TRUE)
```



5.3. Исследование структуры пропущенных данных

ВИЗУАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОПУЩЕННЫХ ДАННЫХ

Функция `matrixplot()` графически отображает данные по каждой строке.

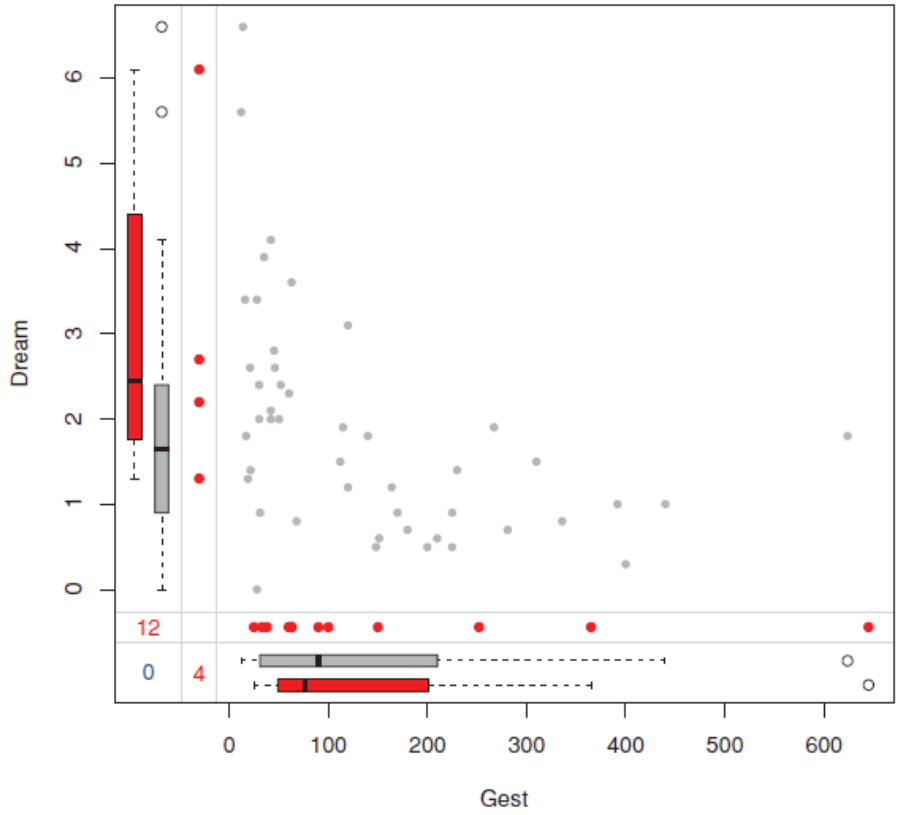


5.3. Исследование структуры пропущенных данных

ВИЗУАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОПУЩЕННЫХ ДАННЫХ

Функция `marginplot()` позволяет получить диаграмму рассеяния для двух переменных, где информация о пропущенных значениях представлена на полях.

```
marginplot(sleep[c("Gest","Dream")], pch=c(20),
           col=c("darkgray", "red", "blue"))
```



5.3. Исследование структуры пропущенных данных

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОПУЩЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ

Можно заменить данные условными значениями: 1 – обозначает пропущенное значение, 0 – имеющееся. Полученную таблицу называют **матрицей теней (shadow matrix)**. Вычисление корреляций между этими преобразованными переменными и между ними и исходными перемеными поможет узнать, значения каких переменных имеют тенденцию отсутствовать согласованно, а также выявить связи между отсутствием значений в одной переменной и значениями других переменных.

```
x <- as.data.frame(abs(is.na(sleep)))
> head(sleep, n=5)
   BodyWgt BrainWgt NonD Dream Sleep Span Gest Pred Exp Danger
1 6654.000   5712.0   NA    NA   3.3 38.6  645    3   5      3
2    1.000      6.6  6.3   2.0   8.3  4.5   42    3   1      3
3    3.385     44.5   NA    NA  12.5 14.0   60    1   1      1
4    0.920      5.7   NA    NA  16.5   NA   25    5   2      3
5 2547.000   4603.0  2.1   1.8   3.9 69.0  624    3   5      4
> head(x, n=5)
  BodyWgt BrainWgt NonD Dream Sleep Span Gest Pred Exp Danger
1       0        0    1     1     0    0    0    0   0      0
2       0        0    0     0     0    0    0    0   0      0
3       0        0    1     1     0    0    0    0   0      0
4       0        0    1     1     0    1    0    0   0      0
5       0        0    0     0     0    0    0    0   0      0
```

```
y <- x[which(sd(x) > 0)]
cor(y)
```

	NonD	Dream	Sleep	Span	Gest
NonD	1.000	0.907	0.486	0.015	-0.142
Dream	0.907	1.000	0.204	0.038	-0.129
Sleep	0.486	0.204	1.000	-0.069	-0.069
Span	0.015	0.038	-0.069	1.000	0.198
Gest	-0.142	-0.129	-0.069	0.198	1.000

5.3. Исследование структуры пропущенных данных

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОРРЕЛЯЦИИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОПУЩЕННЫХ ЗНАЧЕНИЙ

```
> cor(sleep, y, use="pairwise.complete.obs")
            NonD  Dream   Sleep   Span   Gest
BodyWgt    0.227  0.223  0.0017 -0.058 -0.054
BrainWgt   0.179  0.163  0.0079 -0.079 -0.073
NonD          NA     NA      NA -0.043 -0.046
Dream      -0.189     NA -0.1890  0.117  0.228
Sleep      -0.080 -0.080      NA  0.096  0.040
Span        0.083  0.060  0.0052     NA -0.065
Gest        0.202  0.051  0.1597 -0.175     NA
Pred        0.048 -0.068  0.2025  0.023 -0.201
Exp         0.245  0.127  0.2608 -0.193 -0.193
Danger      0.065 -0.067  0.2089 -0.067 -0.204
Warning message:
In cor(sleep, y, use = "pairwise.complete.obs")
  the standard deviation is zero
```

5.4. Выявление источников пропущенных данных и эффекта от них

- Какая доля данных пропущена?
- Сосредоточены ли пропущенные данные в нескольких переменных или они широко распределены по всему набору данных?
- Можно ли их считать случайными?
- Позволяет ли ковариация пропущенных данных друг с другом или с наблюдаемыми данными обнаружить возможный механизм, лежащий в основе пропущенных значений?

Примеры: 1) руководители

2) пример с полом.

5.5. Анализ полных строк (построчное удаление)

Функцию `complete.cases()` можно использовать для извлечения полных строк матрицы или таблицы данных.

```
newdata <- mydata[complete.cases(mydata),]
```

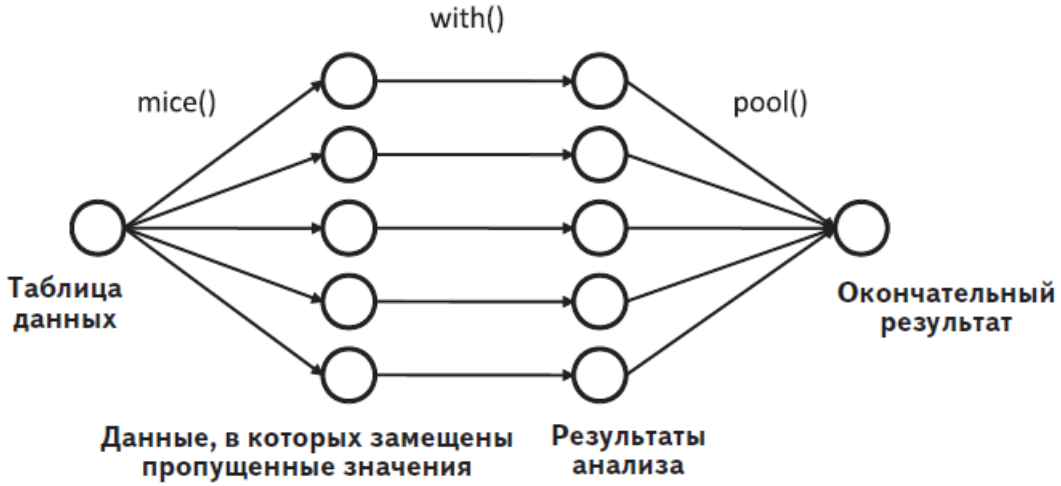
Этого же результата можно добиться при помощи функции `na.omit`

```
newdata <- na.omit(mydata)
```

```
> options(digits=1)
> cor(na.omit(sleep))
         BodyWgt BrainWgt NonD Dream Sleep  Span  Gest  Pred  Exp Danger
BodyWgt     1.00     0.96 -0.4 -0.07  -0.3  0.47  0.71  0.10  0.4   0.26
BrainWgt    0.96     1.00 -0.4 -0.07  -0.3  0.63  0.73 -0.02  0.3   0.15
NonD       -0.39    -0.39  1.0  0.52   1.0 -0.37 -0.61 -0.35 -0.6  -0.53
Dream      -0.07    -0.07  0.5  1.00   0.7 -0.27 -0.41 -0.40 -0.5  -0.57
Sleep      -0.34    -0.34  1.0  0.72   1.0 -0.38 -0.61 -0.40 -0.6  -0.60
Span        0.47     0.63 -0.4 -0.27  -0.4  1.00  0.65 -0.17  0.3   0.01
Gest        0.71     0.73 -0.6 -0.41  -0.6  0.65  1.00  0.09  0.6   0.31
Pred        0.10    -0.02 -0.4 -0.40  -0.4 -0.17  0.09  1.00  0.6   0.93
Exp         0.41     0.32 -0.6 -0.50  -0.6  0.32  0.57  0.63  1.0   0.79
Danger      0.26     0.15 -0.5 -0.57  -0.6  0.01  0.31  0.93  0.8   1.00
```

5.6. Метод множественного восстановления пропущенных данных

Метод множественного восстановления пропущенных данных (multiple imputation, MI) – это способ заполнения пропусков при помощи повторного моделирования.



Функция `mice()` использует исходную таблицу данных с пропущенными значениями, а возвращает объект, содержащий несколько полных наборов данных (пять по умолчанию). Каждый такой полный набор данных получается при восстановлении пропущенных данных исходной таблицы. В алгоритме восстановления данных есть случайная составляющая, поэтому все производные полные наборы данных немного отличаются друг от друга. Затем при помощи функции `with()` применяется статистическая модель (например, линейная или обобщенная линейная). Функция `pool()` объединяет результаты, полученные для отдельных производных наборов данных.

5.6. Метод множественного восстановления пропущенных данных

```
library(mice)
imp <- mice(mydata, m)
fit <- with(imp, analysis)
pooled <- pool(fit)
summary(pooled),
```

- **mydata** – это матрица или таблица данных с пропущенными значениями;
- **imp** – список, содержащий **m** наборов данных с восстановленными пропущенными значениями вместе с информацией о том, как это восстановление было проведено. По умолчанию **m** = 5;
- **analysis** – формула, определяющая тип статистического метода, который должен быть применен к каждому из **m** восстановленных наборов данных. К таким методам относятся **lm**() – линейная регрессия, **glm**() – обобщенная линейная регрессия, gam**()** – обобщенные аддитивные модели и **nbrm**() – отрицательные биномиальные модели. В формулах внутри скобок зависимая переменная указывается слева от знака ~, а независимые (разделенные знаком +) – справа;
- **fit** – список, содержащий результаты m отдельных статистических анализов;
- **pooled** – список, содержащий усредненные результаты этих m отдельных статистических анализов.

5.6. Метод множественного восстановления пропущенных данных

```
> library(mice)
> data(sleep, package="VIM")
> imp <- mice(sleep, seed=1234)
 […выводимая информация удалена для экономии места…]
> fit <- with(imp, lm(Dream ~ Span + Gest))
> pooled <- pool(fit)
> summary(pooled)
                 est      se      t   df Pr(>|t|)    lo 95
(Intercept)  2.58858 0.27552  9.395 52.1 8.34e-13  2.03576
Span        -0.00276 0.01295 -0.213 52.9 8.32e-01 -0.02874
Gest        -0.00421 0.00157 -2.671 55.6 9.91e-03 -0.00736
                hi 95 nmis    fmi
(Intercept)  3.14141   NA 0.0870
Span         0.02322    4 0.0806
Gest        -0.00105    4 0.0537
```

5.7. Попарное удаление

Попарное удаление (pairwise deletion) при работе с неполными наборами данных обычно рассматривается как альтернатива построчному удалению. При попарном удалении наблюдения удаляются только в том случае, если это пропущенные значения в переменных, которые используются в конкретном анализе данных.

```
> cor(sleep, use="pairwise.complete.obs")
          BodyWgt BrainWgt NonD Dream Sleep  Span Gest  Pred  Exp Danger
BodyWgt      1.00     0.93 -0.4  -0.1  -0.3  0.30  0.7  0.06  0.3   0.13
BrainWgt     0.93     1.00 -0.4  -0.1  -0.4  0.51  0.7  0.03  0.4   0.15
NonD        -0.38    -0.37  1.0   0.5   1.0 -0.38 -0.6 -0.32 -0.5  -0.48
Dream       -0.11    -0.11  0.5   1.0   0.7 -0.30 -0.5 -0.45 -0.5  -0.58
Sleep       -0.31    -0.36  1.0   0.7   1.0 -0.41 -0.6 -0.40 -0.6  -0.59
Span         0.30     0.51 -0.4  -0.3  -0.4  1.00  0.6 -0.10  0.4   0.06
Gest         0.65     0.75 -0.6  -0.5  -0.6  0.61  1.0  0.20  0.6   0.38
Pred         0.06     0.03 -0.3  -0.4  -0.4 -0.10  0.2  1.00  0.6   0.92
Exp          0.34     0.37 -0.5  -0.5  -0.6  0.36  0.6  0.62  1.0   0.79
Danger       0.13     0.15 -0.5  -0.6  -0.6  0.06  0.4  0.92  0.8   1.00
```

Список литературы

Кабаков Р. К. (2014) R в действии. Анализ и визуализация данных на языке R Издательство: ДМК Пресс, 580 с.

Мастицкий С. Э., Шитиков В. К. (2014) Статистический анализ и визуализация данных с помощью R. - Электронная книга, 400 с