arXiv:2603.28274v1 [stat.OT] 30 Mar 2026

Statistics 101、201 和 202：用于讲授概率分布、推断统计学和简单线性回归的三个 Shiny 应用

Antoine Soetewey

HEC Liège，ULiège，Rue Louvrex 14，4000 列日，比利时

ORCID：0000-0001-8159-0804

antoine.soetewey@uliege.be

2026年3月30日

摘要

Statistics 101、Statistics 201 和 Statistics 202 是三款使用 R [9] 和 Shiny [4] 构建的开源交互式网络应用，旨在支持入门统计学与概率的教学。这些应用可帮助学生完成常见的统计计算——从标准概率分布中计算概率、构建置信区间、进行假设检验，以及拟合简单线性回归模型——而无需事先掌握 R 或其他编程语言。每款应用都提供数值结果、使用 ggplot2 [12], 绘制的图形，以及由 MathJax [3], 排版的内嵌数学推导，让计算与统计推理在同一界面中并列呈现。这套应用按照循序渐进的教学思路组织：Statistics 101 介绍概率分布及其性质；Statistics 201 涵盖置信区间和假设检验；Statistics 202 则讲解简单线性模型。三款应用均可在线免费使用，其源代码依据 CC-BY-4.0 许可证发布。

1 总结

Statistics 101、201 和 202 是三款使用 R [9] 和 Shiny [4] 构建的开源交互式网络应用，旨在支持入门统计学和概率教学。这些应用旨在帮助学生完成常见的统计计算（根据标准概率分布计算概率、构建置信区间、进行假设检验，以及拟合简单线性回归模型），而无需具备 R 或其他编程语言的基础知识。每款应用都会提供数值结果、使用 ggplot2 [12], 绘制的图形，以及通过 MathJax [3], 排版的行内数学推导，使计算与统计推理能够在同一界面中并列呈现。

这套应用 是在作者的博士研究和助教工作期间开发的 ip

作者目前仍在 UCLouvain 和 UNamur 担任客座讲师，讲授概率、推断统计学和线性回归课程，并继续使用这些应用。这三个应用围绕一条循序渐进的教学主线组织：Statistics 101 介绍概率分布及其性质；Statistics 201 讲解置信区间和假设检验；Statistics 202 则涵盖简单线性模型。所有应用均可在线免费访问，其源代码采用 CC-BY-4.0 许可证发布。

2 需求说明

经济学、生物统计学、社会科学及相关学科的入门统计学课程，通常要求学生计算概率、构造置信区间、进行假设检验并拟合线性回归模型。手动完成这些计算既耗时又容易出错，而使用 R 则要求学生具备一定的编程基础，初学者可能尚不具备这种基础。纸质或在线统计表格可以帮助进行概率计算，但通常只涵盖有限数量的分布，也无法提供图形反馈。

现有一些工具在一定程度上弥补了这一不足。商业教科书附带的计算器往往是专有的。R、Python 或 SPSS 等通用环境要求学生编写或修改代码。基于网络的概率计算器（例如 Wolfram Alpha 或个别课程网站提供的工具）通常只涵盖有限数量的分布，而且许多工具不包含假设检验或回归模块，也不会在显示结果的同时展示其背后的数学表达式。文献中已有关于使用 Shiny 工具教授统计学的探索[8, 11], ，不过这些工具往往聚焦于特定主题或工作流程，而非通过单一界面覆盖完整的入门课程内容。

统计学101/201/202套件旨在从几个方面补充这些资源。它将典型的两个学期入门统计学课程中的主题（概率分布、推断和回归）整合到一个统一、一致的界面中。每个数值结果都会与动态更新的图表及相应的数学表达式并列显示，旨在帮助读者在进行计算的同时培养统计直觉。这些应用程序完全开源，欢迎其他教师采用、分叉或扩展。它们持续用于 UCLouvain 和 UNamur 的入门及中级统计学课程，这表明它们或许在最初开发时的应用场景之外也能发挥作用。

3 应用程序简介

3.1 统计学101：概率分布

Statistics 101(https://github.com/AntoineSoetewey/statistics-101) 旨在帮助学生计算 18 种概率分布的概率：贝塔分布、二项分布、柯西分布、卡方分布、指数分布、费希尔分布、伽马分布、几何分布（两种参数化形式）、超几何分布、逻辑斯蒂分布、对数正态分布、负二项分布（两种参数化形式）、正态分布、泊松分布、学生 t 分布 t和威布尔分布。该应用采用单页侧边栏布局。学生从下拉菜单中选择一种分布，侧边栏会通过条件面板动态呈现相应的参数输入项。

对于每种分布，学生都要指定要计算的概率类型 e:

- 下尾： $P(X \leq x)$
- 上尾： $P(X > x)$
- 区间： $P(a \leq X \leq b)$

主面板显示三个输出：

1. 解答：使用 MathJax 渲染的完整数学符号表示的概率陈述，例如 $X \sim \mathcal{N}(\mu = 0, \sigma^2 = 1)$ 和 $P(X \leq 1) = 0.8413$，使用 R 内置的分布函数（pbeta、pbinom、pnorm 等）计算，结果保留四位小数。2. 图表：使用 ggplot2 图形绘制的概率密度函数或概率质量函数图表，并对相关区域进行阴影填充；通过 shinycssloaders[2] 显示加载动画。3. 详细信息：以展示样式的数学符号表示显示概率密度函数（PDF）或概率质量函数（PMF），后接期望 $E(X)$、标准差 $SD(X)$ 和方差 $\text{Var}(X)$；所有数值均根据当前参数值计算。

3.2 Statistics 201：置信区间与假设检验

Statistics201（https://github.com/AntoineSoetewey/statistics-201）旨在支持在七种推断情境下讲授置信区间和假设检验，可通过下拉菜单选择：

- 单总体均值： z 检验（已知总体方差 σ^2 ）或单样本 t 检验（σ^2 未知）
- 两个均值，独立样本： z 检验或双样本 t 检验，方差可相等（$\sigma_1^2 = \sigma_2^2$）或不相等（$\sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$）（Welch校正）
- 两个均值，配对样本：对差值 $D_i = X_{1i} - X_{2i}$进行配对 t 检验或 z 检验
- 单总体比例：单样本 z 检验
- 两个比例：双样本 z 检验，并可选择使用合并标准误
- 单个方差： χ^2 检验；对原始数据使用 EnvStats::varTest() [7] ，对汇总统计量使用自定义辅助函数（n 和 s^2）
- 两个方差： F 检验，使用基础 R 中的 var.test()

对于所有均值和方差设置，学生可以直接提供原始数据（将以逗号分隔的值粘贴到文本框中）或汇总统计量（n、 $\bar{x}$、 s^2 等）。显著性水平 α 通过滑块设置（范围为 0.01 至 0.20，默认值为 0.05）。原假设值 H_0 以及备择假设的方向（双侧、大于或小于）在侧边栏中设置。

对于每种检验，主面板都会显示结构化的四步结果：

1. **数据：** 输入的观测值（如果提供了原始数据），以及相关的汇总统计量（n、 $\bar{x}$、 s 等），并使用 MathJax 排版。2. **置信区间：** 将区间公式中的所有量代入数值后的结果，例如 $\bar{x} \pm \left(t_{\alpha/2,\ n-1} \times s/\sqrt{n}\right) = [\ell;\ u]$，并采用适当的单侧或双侧形式。3. **假设检验：** 由四个编号步骤组成的程序：(1) 陈述 H_0 和 H_1；(2) 将检验统计量公式代入数值求值；(3) 给出临界值；(4) 得出拒绝或不拒绝的结论。

4. **解释：** 用通俗语言表述在所选显著性水平下的结论，包括 p 值。

在文字输出下方，ggplot2 图表会显示相关的抽样分布（t, $\mathcal{N}(0,\ 1)$, χ^2 或 F），并以阴影标出拒绝域，同时用一条垂直线标记观测到的检验统计量。

3.3 Statistics 202：简单线性回归

Statistics 202(https://github.com/AntoineSoetewey/statistics-202) 旨在帮助学生对直接在浏览器中输入的数据拟合简单线性回归模型 $y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon$。该应用接受以逗号分隔的数值，分别作为预测变量 x 和响应变量 y，并检查两个向量长度是否相同，以及 x 是否包含多个不同的值。拟合模型通过`lm()`在 R 中计算。

主面板按以下顺序呈现输出：

1. **数据表：** 以交互式 DT [15] 表格显示输入的观测值，并提供导出按钮（复制、CSV、Excel、PDF、打印）。2. **汇总统计量：** 样本均值 $\bar{x}$, $\bar{y}$，以及样本量 n。^
3. **逐步推导：** 通过公式计算的普通最小二乘估计量 β_1

$$\hat{\beta}_1 = \frac{\left(\sum_{i=1}^{n} x_i y_i\right) - n\bar{x}\bar{y}}{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}$$

^ ^ 后接 $\beta_0 = \bar{y} - \beta_1 \bar{x}$，二者均由 MathJax 渲染，并根据学生自己的数据进行数值计算 [5]。
4. **R 输出：** 完整的 summary(lm(...)) 输出，包括系数估计值、标准误、 t 统计量、 p 值和调整后的 R^2。
5. **交互式回归图：** 包含拟合线和可选置信带的散点图，使用 ggplot2 绘制，并通过 plotly 实现交互功能 [10]。
6. **解读：** 根据用户提供的坐标轴标签进行调整，并依据每个系数在 5% 显著性水平下是否显著异于零来撰写。7. **假设诊断：** 可折叠面板，包含 performance::check_model() [6], 生成的六幅模型检查图，涵盖线性、同方差性、影响点和残差正态性。
8.**可下载报告：** 根据 R Markdown [1, 13, 14] 模板生成的分析 HTML 报告，并可选择显示或隐藏底层 R 代码。

4 教学设计

这三个应用采用了共同的设计理念。界面保持相对简洁，让用户能够专注于统计内容，而不是软件操作。无需注册、安装或进行命令行交互；学生打开网址即可开始使用。结果以接近课堂所用的数学抽象层次呈现，符号表示、公式和数值输出并列显示，使这些应用能够补充课堂讲授的概念材料，而非取而代之。

Statistics 202 中的逐步推导，旨在解决入门回归课程中常见的一个难题：学生或许能照着幻灯片写出公式，却难以将公式与 R 输出的数值联系起来。将符号公式及其数值计算结果并列展示，并使用学生自己的数据，是让这种联系更加具体的一种方式。Statistics 101 的“详细信息”面板也基于类似的理念：它将概率密度函数或概率质量函数与计算得出的概率一同显示，让学生看到图表中的阴影面积如何对应于解析表达式。

Statistics 201 也有类似的设计动机。入门统计学课程通常会讲授大量推断程序，每种程序都有各自的检验统计量公式、自由度和临界值。学生在解题时往往很难迅速找到相关公式，尤其是在课程内容分散于冗长的教学大纲或大量幻灯片中的情况下。Statistics 201 将每种程序对应的公式与其数值计算结果一并展示，旨在成为一个集中的参考来源，让学生无需翻查课程材料，就能找到、阅读并应用正确的表达式。

这些应用最初是为了解决在 UCLouvain 助教课上观察到的一个实际问题：学生花费了相当多的课堂时间查找或计算概率和检验统计量，而留给解释和讨论的时间相对较少。我们希望，将部分计算工作转交给一个透明、易用的工具，或许能为概念探讨腾出更多时间。

5 可用性与可复现性

这三款应用均托管于 shinyapps.io ，其源代码也已在 GitHub 上以 CC-BY-4.0 许可证公开：

- Statistics 101：https://github.com/AntoineSoetewey/statistics-101
- Statistics 201： https://github.com/AntoineSoetewey/statistics-201
- Statistics 202：https://github.com/AntoineSoetewey/statistics-202

每款应用的 GitHub 仓库都包含一个 README 文件，其中说明了如何使用该应用、依赖项、本地部署方法，以及在线版本的链接。

致谢

作者感谢 Dominique Deprins 教授和 Eugen Pircalabelu 教授对这些应用早期版本提出的意见。作者感谢他的博士导师 Catherine Legrand 教授和 Michel Denuit 教授给予他的支持，并允许他在 UCLouvain 攻读博士期间开发这些应用。最后，作者感谢 UCLouvain 的学生；没有他们，这些应用便不会问世。

参考文献

[1] JJAllaire、Yihui Xie、Christophe Dervieux、Jonathan McPherson、Javier Luraschi、Kevin Ushey、Aron Atkins、Hadley Wickham、Joe Cheng、Winston Chang 和

Richard Iannone。rmarkdown：R 的动态文档，2025。网址：https: // github.com/rstudio/rmarkdown。R 包版本 2.30。[2]Dean Attali 和 Andras Sali。shinycssloaders：在 'shiny' 输出重新计算时添加加载动画，2024。网址：https://CRAN.R-project.org/ package=shinycssloaders。R 包版本 1.1.0。[3] Davide Cervone。Mathjax：网络数学平台。《美国数学学会通报》，59(2):312–316，2012。[4]Winston Chang、Joe Cheng、JJ Allaire、Carson Sievert、Barret Schloerke、Garrick Aden-Buie、Yihui Xie、Jeff Allen、Jonathan McPherson、Alan Dipert 和 Barbara Borges。shiny：R 的 Web 应用框架，2025。网址：https: //CRAN.R-project.org/package=shiny。R 包版本 1.12.1。[5] John Fox。《应用回归分析和广义线性模型》。Sage publications，2015。[6] Daniel Lüdecke、Mattan S. Ben-Shachar、Indrajeet Patil、Philip Waggoner 和 Dominique Makowski。performance：用于评估、比较和检验统计模型的 R 包。《开放源代码软件期刊》，6(60):3139，2021。doi：10.21105/joss.03139。[7] Steven P. Millard。EnvStats：环境统计学 R 包。Springer，纽约，2013。ISBN 978-1-4614-8455-4。网址：https://www.springer.com。[8] Gail Potter、Jimmy Wong、Irvin Alcaraz、Peter Chi 等。使用 R 和 shiny 的统计学 Web 应用教学工具。《统计教育技术创新》，9(1)，2016。[9]R 核心团队。R：统计计算语言与环境。R 统计计算基金会，奥地利维也纳，2025。网址：https://www. R-project.org/。[10] Carson Sievert。《使用 R、plotly 和 shiny 进行交互式网络数据可视化》。Chapman and Hall/CRC，2020。ISBN 9781138331457。网址：https://plotly-r.com。[11] Antoine Soetewey、Cédric Heuchenne、Arnaud Claes 和 Antonin Descampe。Associationexplorer：用于探索关联和视觉模式的易用 shiny 应用程序。SoftwareX，33:102483，2026。doi：10.1016/j.softx.2025.102483。[12] Hadley Wickham。《ggplot2：优雅的数据分析图形》。Springer-Verlag New York，2016。ISBN 978-3-319-24277-4。网址：https://ggplot2.tidyverse.org。[13] Yihui Xie、J.J. Allaire 和 Garrett Grolemund。《R Markdown：权威指南》。Chapman and Hall/CRC，佛罗里达州博卡拉顿，2018。ISBN 9781138359338。网址：https://bookdown.org/yihui/rmarkdown。[14] Yihui Xie、Christophe Dervieux 和 Emily Riederer。《R Markdown 烹饪手册》。Chapman and Hall/CRC，佛罗里达州博卡拉顿，2020。ISBN 9780367563837。网址：https://bookdown.org/yihui/rmarkdown-cookbook。[15] Yihui Xie、Joe Cheng、Xianying Tan 和 Garrick Aden-Buie。DT：JavaScript 库 'DataTables' 的封装器，2025。网址：https://CRAN.R-project.org/ package=DT。R 包版本 0.34.0。