arXiv:2603.08770v1 [astro-ph.IM] 9 Mar 2026

# unxt：用于基于 JAX 进行单位感知计算的 Python 软件包

Nathaniel Starkman [1¶]、AdrianM. Price-Whelan [2]和 Jake Nibauer [3]1美国麻省理工学院卡弗里天体物理与空间研究研究所*Brinson*奖研究员2美国*Flatiron*研究所计算天体物理中心3美国普林斯顿大学物理系

¶通讯作者：2024年11月15日

## 摘要

unxt 是一个用于基于 JAX 进行单位感知计算的 Python 软件包（Bradbury等, 2018），这是一个高性能数值计算库，支持自动微分和即时编译，以加速代码在多种计算架构上的执行。 unxt 构建于 quax （Kidger，2023）之上，后者提供了用于构建可与 JAX 一起使用的类数组对象的框架。 unxt 扩展 quax ，以便使用 astropy.units 软件包（Astropy Collaboration等人，2013年，2022年）作为单位后端来支持单位感知计算。 unxt 将物理单位无缝集成到高性能数值计算中，显著增强了 JAX 在科学应用中的能力。

的主要用途是 unxt 促进在 JAX 中进行单位感知计算，确保涉及物理量的运算得到正确且一致的处理。这对于避免科学计算中的错误至关重要，否则可能导致严重后果，例如臭名昭著的火星气候轨道器事故（美国国家航空航天局）。 unxt 旨在做到直观、易用且高效，使得能够轻松地将单位引入现有的 JAX代码库。

unxt 研究人员和开发者都可以轻松使用它，其用户友好的界面便于定义和使用单位及单位制。它既支持静态定义，也支持动态定义单位制，因此能够灵活适应各种

计算环境。此外， `unxt` 利用多重分派实现与其他库（目前包括 `astropy`）的深度互操作，并支持 JAX 中的自定义类数组对象。这种可扩展性使 `unxt` 成为适用于广泛科学与工程应用的强大工具，而在这些应用中，单位感知计算至关重要。

## 需求说明

JAX 是高性能数值计算的强大工具，提供自动微分、即时编译以及支持在多个设备间进行计算分片等功能。它擅长为多种计算架构（包括 CPU、GPU 和 TPU）提供统一接口，从而加速代码执行（Bradbury等， 2018）。然而，JAX 主要处理“纯”数组，这意味着它不支持定义自定义的类数组对象（包括能够处理单位的对象），也无法在 JAX 生态系统中使用这类对象。虽然 JAX 能够处理 PyTrees，并在一定程度上提供预设支持，且允许注册额外支持，但它执行的操作从根本上说仍基于数组。这一限制给需要处理物理单位的科学应用带来了挑战。

Astropy 一直是科学界不可或缺的资源，其首篇论文的引用次数超过 10,000 次，2022年论文的引用次数也超过 2,000 次（AstropyCollaboration et al., 2013, 2022年）。Astropy 的基础子包之一是 `astropy.units`，它为单位和量提供了可靠的支持，使单位能够沿着 NumPy 函数传递。这一功能确保涉及物理量的科学计算能够得到正确且一致的处理。然而，尽管 JAX 提供类似 NumPy 的 API，它却不支持同等程度的可扩展性，而且 `astropy.units` 无法直接扩展以适用于 JAX。这一差距凸显了我们需要一种解决方案，将 Astropy 强大的单位处理能力与 JAX 的高性能计算功能结合起来。

`unxt` 通过提供一个与 JAX 风格一致的函数式框架来处理单位和维度，填补了这一空白；其面向对象的前端对 `astropy.units` 用户来说也很熟悉。通过利用 `quax`， `unxt` 定义了一个 `Quantity` 类，可与 JAX 函数无缝集成。为实现这种集成，该项目全面重载了 JAX 原语，使用户无需担心底层的 JAX 接口，即可使用 `Quantity` 类。这种设计让用户能够轻松进行单位感知计算，同时保留 JAX 所提供的高性能和灵活性，并确保涉及物理量的运算正确且一致。

## 相关工作

unxt 旨在扩展兼容其他带单位计算库。unxt 包并非要取代这些库，而是提供一个针对 JAX 优化的前端。一些知名的库包括：

- astropy.units （Astropy Collaboration等人，2013年，2022年）。 unxt 软件包目前在其后端使用来自 astropy.units软件包的单位转换框架，提供更灵活的前端接口，尤其是与JAX兼容的Quantity类，用于进行带单位的数组计算。
- unyt （Goldbaum等人，2018年）。 unyt 库是一个广受欢迎的Python软件包，用于单位感知计算。它提供 Quantity 类，可与（截至撰写时） numpy （Harris等人，2020年）和 dask （Dask Development Team，2016年）数组配合使用。
- pint （Grecco，2012年）。 pint 库是一个广受欢迎的Python软件包，用于单位感知计算。它提供 Quantity 类，可与多种数组类型配合使用，但不支持 jax （截至撰写时）。

## 致谢

本工作得到The Brinson Foundation通过一项Brinson Prize Fellowship奖助金的支持。

作者感谢 Astropy Collaboration 及众多贡献者为 astropy 所做的工作，这些工作对科学界具有不可估量的价值。 unxt 开发团队的成员同时也是 astropy.units 软件包的核心开发者和维护者；在开发 unxt的过程中，我们以 astropy.units 为指引。作者还感谢 Dan Foreman-Mackey 富有价值的讨论，以及参加 2024年 JAXtronomy研讨会的与会者；该研讨会在 Flatiron 研究所的计算天体物理中心举行。我们也衷心感谢 Patrick Kidger 就使用 quax 提供的宝贵交流与指导，以确保 unxt 与 jax顺利集成。

## 参考文献

Astropy Collaboration, Price-Whelan, A. M., Lim, P. L., Earl, N., Starkman, N., Bradley, L., Shupe, D. L., Patil, A. A., Corrales, L., Brasseur, C. E., Nöthe, M., Donath, A., Tollerud, E., Morris, B. M., Ginsburg, A., Vaher, E., Weaver, B. A., Tocknell, J., Jamieson, W., ... Astropy项目贡献者.（2022年）。Astropy项目：维持并发展一个以社区为导向的开源项目，以及核心软件包的最新主要版本（v5.0）。 *935*(2),167. https://doi.org/10.3847/1538-4357/ac7c74AstropyCollaboration, Robitaille, T. P., Tollerud, E. J., Greenfield, P., Droet-tboom, M., Bray,E., Aldcroft, T., Davis, M., Ginsburg, A., Price-Whelan,A.M., Kerzendorf, W. E., Conley, A., Crighton, N., Barbary, K., Muna,

D., Ferguson, H., Grollier, F., Parikh, M. M., Nair, P. H., ... Streicher, O.（2013年）。Astropy：面向天文学的社区 Python 软件包。*558*, A33.https://doi.org/10.1051/0004-6361/201322068Bradbury, J., Frostig, R., Hawkins, P., Johnson, M. J., Leary, C., Maclaurin, D., Necula, G., Paszke, A., VanderPlas, J., Wanderman-Milne, S., & Zhang, Q.（2018年）。*JAX*：*Python* 的可组合变换+*NumPy* 程序（版本 0.4.35）。http://github.com/jax-ml/jaxDask Development Team。（2016年）。*Dask*：动态任务调度库。http://dask.pydata.orgGoldbaum, N. J., ZuHone, J. A., Turk, M. J., Kowalik, K., & Rosen, A. L.（2018年）。unyt：在 Python 中处理、操纵并转换带单位的数据。《开放源代码软件期刊》，*3*(28),809. https://doi.org/10.21105/joss.00809Grecco, H.（2012年）。*Pint*：让单位使用变得简单。https://github.com/hgrecco/pintHarris, C. R., Millman, K. J., Walt, S. J. van der, Gommers, R., Virtanen, P., Cournapeau, D., Wieser, E., Taylor, J., Berg, S., Smith, N. J., Kern, R., Picus, M., Hoyer, S., Kerkwijk, M. H. van, Brett, M., Haldane, A., Río, J. F. del, Wiebe, M., Peterson, P., ... Oliphant, T. E.（2020年）。使用 NumPy 进行数组编程。《自然》，*585*(7825), 357–362. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2Kidger, P.（2023）。*Quax*：*JAX* + 多重分派 + 自定义类数组对象。美国国家航空航天局。火星气候轨道器 - *NASA* 科学 — *science.nasa.gov*。https://science.nasa.gov/mission/mars-climate-orbiter/