

# 预测分析和机器学习：精算建模的实际应用（嵌套随机）



本研究旨在通过具体案例研究以提供一个实用指南，帮助精算师实现人工智能和机器学习（AIML）以加速寿险和年金精算建模的分析速度。为此，本文研究了现有关于 AIML 的文献及其适用性于随机建模的情况，并以案例研究来实现这一点。

此研究不是将 AIML 模型定位为传统精算模型的替代品，而是作为一种战略能力，以显著减少与复杂随机或嵌套随机应用相关的运行时间和计算成本。特别是，本文旨在提供理论知识与实际具体案例研究间的平衡，解决一些最突出的嵌套随机运行时间难题。

## 研究背景

寿险和年金领域的精算师采用了一种自下而上的方法来模拟现金流，并用于计算财务报告中的精算准备金和相关余额。

对于大量业务来说，这种方法可能非常繁琐并且运行时间较长。精算师面临的最常见运行时间难题是，在“外循环”预测情景中，在选定的时间步骤执行“内循环”随机计算，以计算准备金或其他指标（如公允价值）。外循环情景可能是 (i) 单一确定性情景 (ii) 多个确定性情景 (iii) 随机模拟

精算师将这种情况称为“嵌套随机”。尽管嵌套随机计算是保险公司最常见的计算难题，但在其他情况，例如特定时间点的随机模型，自下而上的精算建模可能很繁重。精算师面临的运行时间挑战因日益复杂的保险产品和报告框架的变化等加剧，这些都增加了对复杂随机计算的依赖。

精算师可以增加计算资源（例如，云计算）来满足这些要求。然而，成本往往可能是较高的，并且充分利用可用的计算资源是非常复杂的（需要采用复杂的分配策略）。这可能使精算师使用近似方法来

### Caveat and Disclaimer

The opinions expressed and conclusions reached by the authors are their own and do not represent any official position or opinion of the Society of Actuaries Research Institute, the Society of Actuaries or its members. The Society of Actuaries Research Institute makes no representation or warranty to the accuracy of the information.

帮助缓解运行时间限制，包括诸如简化计算或情景、使用代理模型和聚类分析等。虽然这些技术可能改善运行时间，但通常会以减少精度为代价。此外，在许多情况下，如果不使用近似方法，精算师可能无法运行给定的用例，这使得量化精度降低的影响变得复杂或无法量化。最后，这些简化有时可能不易理解，并且如果它们依赖于可能随时间变化的核心简化假设，则可能难以在期望的容差范围内维护。鉴于这些挑战，精算师自然会继续寻求创新的建模方法，以克服长期寿险和年金产品的自下而上建模所面临的运行时间难题。

## 内容概述

- AIML 的概述和基本知识，以及为希望在此领域提高的精算师提供的资源。（见第 1 节：预测分析、人工智能和机器学习概述）
- 对此主题现有文献的回顾。（见第 2 节：文献回顾）
- AIML 在精算建模领域应用的概述。（见第 3 节：AIML 在精算建模中的实际应用）
- 在应用本文描述的 AIML 方法时，对监管和其他考虑因素的回顾。（见第 4 节：专业、公平和监管考虑）
- 各种案例研究，为广泛的精算应用提供实际示例，代表常见的嵌套随机运行时间问题：

文章第 5 节探讨了一个相对简单的案例研究，为读者提供了便于实际应用的介绍。第一个案例探索了使用 AIML 代理蒙特卡洛或风险中性估值的奇异指数利息策略，例如那些可以在固定指数年金（FIA）、注册指数挂钩年金（RILA）和指数型万能险（IUL）上找到的策略。这能够为用户提供数据生成和模型校准代码。（见第 5 节：案例研究 1 - 指数计息）

然后，本文第 6 节转向一个更复杂的案例，代理了各种典型的变额年金保证的公允价值。这是一个非常常见的例子，精算师由于嵌套随机而面临运行时间挑战。（见第 6 节：案例研究 2 - 变额年金公允价值）

**请注意**，本研究使用 AIML 这个术语来集体指代预测分析、机器学习（ML）和人工智能（AI）。本研究将避免在这些领域之间的技术性细节上纠结。AI 通常定义为开发模仿人类智能的计算机和程序。ML 被认为是 AI 的一个子集，探索可以从数据或经验中学习洞察的算法。在本文中，我们采用通常接受的术语，如人工智能、机器学习和神经网络。

## 关键要点和注意事项

本文通过案例研究表明，AIML 可以是精算师寻求解决与寿险和年金产品的复杂随机和嵌套随机模型相关的运行时间难题的有力工具。本文讨论的 AIML 技术可用于帮助满足业务需求而日益增长的分析要求，以及应对全球近期会计准则变化带来的精算计算复杂性的增加。

然而，建议本文的读者在应用 AIML 技术时应用批判性思维。在使用 AIML 进行代理建模或其他解决运行时间问题的技术时，需要大量的精算和分析判断来采取适当的控制和保障措施。

使用这些 AIML 技术的精算师可能会向管理层报告结果或根据 AIML 模型的输出而非传统精算模型所需的精算决策，因此需要对 AIML 模型的可靠性有信心。精算师需要了解这些 AIML 模型的局限性（例如，了解模型适用和不适用的输入范围），并需要定期验证 AIML 模型，以确保它们仍然是原始精算计算的可靠近似。（第 4.1 节 - ASOP 回顾更详细地讨论了一些关于局限性的思考）

## About The Society of Actuaries Research Institute

Serving as the research arm of the Society of Actuaries (SOA), the SOA Research Institute provides objective, data-driven research bringing together tried and true practices and future-focused approaches to address societal challenges and your business needs. The Institute provides trusted knowledge, extensive experience and new technologies to help effectively identify, predict and manage risks.

Representing the thousands of actuaries who help conduct critical research, the SOA Research Institute provides clarity and solutions on risks and societal challenges. The Institute connects actuaries, academics, employers, the insurance industry, regulators, research partners, foundations and research institutions, sponsors and non-governmental organizations, building an effective network which provides support, knowledge and expertise regarding the management of risk to benefit the industry and the public.

Managed by experienced actuaries and research experts from a broad range of industries, the SOA Research Institute creates, funds, develops and distributes research to elevate actuaries as leaders in measuring and managing risk. These efforts include studies, essay collections, webcasts, research papers, survey reports, and original research on topics impacting society.

Harnessing its peer-reviewed research, leading-edge technologies, new data tools and innovative practices, the Institute seeks to understand the underlying causes of risk and the possible outcomes. The Institute develops objective research spanning a variety of topics with its [strategic research programs](#): aging and retirement; actuarial innovation and technology; mortality and longevity; diversity, equity and inclusion; health care cost trends; and catastrophe and climate risk. The Institute has a large volume of [topical research available](#), including an expanding collection of international and market-specific research, experience studies, models and timely research.

Society of Actuaries Research Institute  
475 N. Martingale Road, Suite 600  
Schaumburg, Illinois 60173  
[www.SOA.org](http://www.SOA.org)