计算 • 系统 • 时间

结构连续性工程

时间结构计算的数学基础

$$\Delta CE = CE(t_2) - CE(t_1)$$

$$C(t) = C(0) + \int_0^t c(s)\,ds$$



$$\Delta G_T(t) = G(t+T) - G(t) = \int_t^{t+T} G'(s)\,ds$$

$$C_{\mathrm{H}}^{0}(h) \Rightarrow C_{\mathrm{H}}^{m}(h)$$

RAFAEL FELIPPE VOIGT

RAFAEL FELIPPE VOIGT

结构连续性工程

时间结构计算的数学基础

轨迹、记忆、身份与变换

系统连续性的数学导论

作者独立出版版 | 2026

巴西，2026

AI辅助翻译稿，待语言和技术审校。解释以葡萄牙语原版为准。

本版采用经认可的简体中文封面。书名和正文已翻译，数学符号及参考文献的原文标题保持不变。

作者、版本与著作性质

Rafael Felippe Voigt

研究、构思与科学著作作者

结构连续性工程
时间结构计算的数学基础

Rafael Felippe Voigt 是独立研究者、VoigtCore 创始人及 VCore 技术的创造者。他提出了时间结构计算与结构连续性工程方案，研究计算系统的记忆、身份、完整性及其演化。VoigtCore 是与其研究相关的技术生态系统品牌。Rafael Felippe Voigt 负责本书的著作与独立出版。

© 2026 Rafael Felippe Voigt。演示版 - 2026。本选编用于介绍及编辑评估，并非最终商业版。

本书汇集数学与计算领域的既有基础、作者提出的形式化构造、教学模型，以及尚待验证的问题。提出模型、在模型内部进行证明、通过实验确认模型，是不同的阶段。知识产权登记或 DOI 均不能替代这些阶段。

编辑准备、辅助写作、排版、图示及一致性检查使用了人工智能辅助。封面使用了人工智能图像生成辅助。数值示例为合成示例，不描述 VCore 产品的测量结果。本书不声称框架获得了普适的经验验证，也不声称商业产品接受过独立评估。

本书提出一项以时间结构计算为基础的工程方案与形式化研究计划。定义、命题与假设具有不同成熟程度，正文中作了说明。应用的经验有效性需要具体实验程序。本样本不包含可执行补充材料。

科学表述约定

定义：确定所选论域内的含义。假设：声明有待检验的条件。命题：附有在明确条件下的证明。示例：展开计算或解释。教学模型：提供用于教学的公开关系，不表示产品中的估计器。

免费演示样本 | 2026

葡萄牙语完整版 ISBN：978-65-970107-0-7。

此 ISBN 标识葡萄牙语完整版，不标识本翻译样本。

致谢

首先，我感谢上帝。一切尊荣、一切荣耀和一切感恩都属于祂。在怀疑与坚持的岁月里，我从信仰中获得继续前行的方向与力量。这本书也源于我对一生经历及学习机会的感恩。

谨以此怀念我的父亲 Sigold Voigt，他在49岁时离开了我们。写下这些话让我满怀感触与思念。爸爸，您将永远在我心中。

感谢我的母亲 Ivete M. Schneider Voigt，在这些思想形成的过程中给予我情感、精神和经济上的支持，以及始终不变的信任。她陪伴我经历思索与不确定，也陪伴我完成将问题转化为研究所需的工作。

致我的女儿 Isabella Voigt：你是我生命中最重要的灵感源泉之一。我将爱献给你，并希望知识、自律与坚持能助益你的未来。

感谢我的姐妹 Fernanda Voigt 给予的支持与鼓励。致我的侄甥 Bernardo：愿好奇心与勇于探索的精神伴随你的人生道路。

感谢我的朋友 Marcos Aurélio 的信任与鼓励，包括那些成果还仅仅存在于想法之中的时刻。

向我的阿姨 Rute Salete Schneider，也就是亲爱的 Tia Rute，献上充满爱意的感谢：她送给了我第一台电脑。这份礼物是我与计算机结缘之初的重要部分；对于她在这段历程中的参与，我深怀感激。

感谢我的阿姨 Janice，我心中的“光明阿姨”，一直为我祈祷。感谢您给予的关爱，以及在我精神生活中的陪伴；请接受我的爱与感恩。

向 Schneider 和 Voigt 两个家族献上我的爱与感恩，感谢你们成为我人生的一部分。

感谢所有通过交谈、提问、批评及支持作出贡献的人。愿这部著作邀请大家认真学习、积极探索，并为社会福祉共同构建知识。

Rafael Felippe Voigt

作者序

当系统发生变化时，什么仍然成立？这个问题贯穿本书。一台机器装入新部件，一个程序更换版本，一个组织更换团队，一个智能体使用另一种模型。当前状态仍然重要，但考察先前的义务，需要依赖单次读数未必能保留的关系。

我的研究历程汇聚了维持、连贯性与时间治理方面的问题，并将它们与计算系统相联系。对计算的物理观察引出了有关消耗、扰动和维护投入的问题。仅凭这些信号不会自动产生身份或记忆；我们必须建立相应关系，并检验其成立条件。

我将把这个问题组织为工程工作的方案称为结构连续性工程：声明边界、表示轨迹、定义必须保留的内容、提出假设、计算其后果，并将其与证据对照。MovieShot 在这一研究中指一种纵向表示，其中各帧保留关系与上下文。对于我们承诺回答的问题，所观察的历史必须保持可解释。

日志、时态系统、形式验证、控制理论和恢复技术已经提供了重要工具。本书与这些传统展开对话。所寻求的贡献，是将轨迹、记忆、身份、完整性、积累资产及未来能力等问题，汇入一种可以检验的连续性表述。

数学在这里具有教学和批判的作用。依赖关系还不是经过校准的定律。一个量需要论域、单位、解释规则和比较条件。证明在其假设下成立。需要修订某种表述时，明确呈现修订过程能使科学工作更加精确。

我希望读者能够重新完成计算、检验假设、构造反例，并提出更好的问题。本书是学习基础，也是邀请读者独立审视这一提案。我所寻求理解的连续性，同样始于保留知识产生条件的承诺。

如何学习这项工程

循序积累的路径

第1至4章介绍状态、事件、时间、测量与表示。第5至8章展开记忆、身份、结构量及治理。第9章为试验作准备；最后三章把基础应用于机器、智能体和物理基础设施。示例为合成示例。第10.8节提出一个有限迁移模型，并说明其可选补充材料；这些材料独立于产品。

计算之前

从问题、边界和义务出发。声明对象、单位、时刻、假设与缺口。重算示例，并构造反例。等式可以是定义、恒等式、模型假设或估计关系：应辨明正文声明的是哪一种用途。证明与实验确认回答不同的问题。

记号与实践

当时间尺度已声明时，t 表示物理时间；k 和 τ 则可能仅用于给变换编号。C、H、T 等符号具有局部作用域，各模型中会说明。练习从计算逐步深入解释、证明与研究。先尝试解答，再查阅精选解答。定义和证明明确指出所教结果所需的论域与假设。

给学生与教师

用自己的话解释每个结果。检查每项假设在证明中用于何处，并改变一个条件来检验结果的适用范围。课堂上可以从具体问题开始，重做计算，再要求给出能区分已计算结果与仍需证据部分的结论。将示例用于实践需要该领域的仪器、数据与标准；观察到差异并不证明其原因。

符号阅读指南

本页供查阅使用。每个符号都会在需要它的上下文中再次出现。用语言读出表达式，有助于将其转化为可以检验的陈述。

表达式	读法与含义
$x \in D$	“x 属于 D”：x 是论域 D 允许的一个案例。
$A \subseteq B$	“A 包含于 B”：A 的每个元素也属于 B。
$A \times B$	有序对 (a,b) 的集合，其中 a 属于 A，b 属于 B；分量的顺序有意义。
$f: D \to Y$	函数 f 为 D 中的每个输入指定 Y 中的一个输出。
$g \circ O$	复合：先应用 O，再应用 g。因此 $(g \circ O)(h)=g(O(h))$。
$\Rightarrow$	“蕴含”：在已声明的假设下，第一个陈述推出第二个。
Σ	一族项的和。下标与界限说明包含哪些项。
$\int$	在声明的尺度上累积。将单位为 J/s 的率对以 s 为单位的时间积分，得到 J。
ΔG_T	在教学模型 MD7.2（第7.5节）中：差值 $G(t+T)-G(t)$，其中 G 为数值且各次评估可比较。差值与率具有不同单位；此约定不重新定义作者对 ΔGT 的所有用法。

完整读法

若 O(h) 是历史 h 所保留的报告，g 解释该报告，则 $q=g \circ O$ 表示：对 O 保留的信息应用 g，即可得到答案 q。若两段历史生成相同报告，却需要不同答案，那么在该论域内这种恢复是不可能的。第4至6章证明这一陈述，并探讨其后果。

本演示版阅读路线

本选编保留 V9 的开篇及初始顺序。致谢全文保留。

作品开篇

封面、扉页、作者与版权信息、致谢、作者序、学习指导、符号指南和本路线。

第1章

连续性工程：从瞬间到 MovieShot。按照原文顺序呈现问题、定义、示例、三个命题和本章练习。

第2章开头

第2.1及2.2节：状态、转移、执行、前缀及归纳保持。选编在第2.2节结束处截止。

精选解答

练习1.2和1.3的原文解答。

通往第7章的编辑衔接

保留例7.4与表7.1，并提供上下文。补充解释已明确标识。

本选编参考文献

仅列所选内容实际引用的来源；并非作者全部成果目录。

如何使用本样本

章节、公式、图和练习的编号沿用全书；页码按本版调整。交叉引用指向完整著作的展开内容。ΔGT 指南已依据第7.5节澄清。证明仍以正文假设为条件；数值示例为合成示例。

第01章

连续性工程：从瞬间到 MovieShot

当仅仅保持运行已不够，而必须保留承诺与变换的意义时，连续性工程便由此开始。

学习目标：区分当前运行与承诺的连续性；联系计算机的物理执行与可观察历史；定义结构帧和 MovieShot 的科学研究范围；考察实时观察的适用界限。

先修要求：能阅读简单图表、进行算术运算，并愿意明确说明假设。形式模型将逐步构建。

1.1 工程问题：承诺跨越变化

一个服务收到请求，显示确认消息，然后重启。界面很快恢复，然而存储中找不到该请求。设备已开机，应用会响应，但对用户承担的义务仍未解决。这个情景区分了两个问题：系统现在运行吗？中断之前作出的承诺保留下来了吗？

结构连续性工程将第二个问题视为核心研究对象之一。这个案例将贯穿全书，因为它无需依赖特定产品，就能联系数学模型、观察、记忆、身份与决策。

在 Rafael Felippe Voigt 提出的视角中，连续性涉及在计算系统演化过程中，对相关关系进行可检验的保持[MAN]。必须声明何种关系是相关的。在请求服务中，可能要求每个确认都对应持久记录；在迁移中，可能要求每项义务继续关联同一实体；在调查中，可能要求旧事件的意义仍可恢复。当这些要求能够被区分、检验，并在必要时被反驳，“连续性”才获得技术内容。

定义1.1 - 连续性义务

连续性义务是一项已声明的性质，它应在某个指定类别的变换中保持有效。其表述应确定系统、边界、所考虑的事件及满足条件。在本书中，这个术语用于组织工程问题，并不自动保证任何真实系统的行为。

组织可以选择不同义务。保留所有数据、在规定期限内恢复某项功能，以及保留决策与其理由之间的关联，并不是等价要求。其中一些可以同时满足，另一些则可能与成本、容量或隐私冲突。工程师的首要工作是在把这些承诺压缩为指标之前，先将其明确化。一个数字不能决定应当存在哪些义务。

命题1.1 - 当前运行不蕴含承诺得到保持

应用当前可用这一陈述，本身并不蕴含先前发出的确认具有所要求的持久记录。

反例证明。考虑三个二元变量：q 表示应用运行，a 表示已发出确认，d 表示持久记录可用。状态 (q, a, d)=(1,1,0) 满足当前运行，却违反确认蕴含记录这一要求。若应用在写入之前确认，并在中断时丢失易失性工作，就可能到达这一状态。因此 q=1 不蕴含 a≤d。该证明否定一个一般蕴含，并非声称所有应用都以这种方式确认。

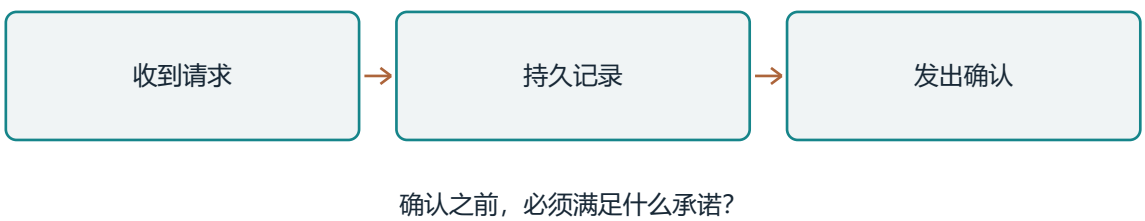


图1.1 - 外部承诺依赖内部事件。确认的顺序与意义是工程假设，不是界面外观所带来的结论。

要求还必须说明有效多久，以及涵盖哪些变换。一次重启中保留了请求，并不能证明迁移、语义变化或失去某个参与者时也能保留。边界决定纳入考察的内容，时间范围决定在哪里评估义务。我们可以从小情景开始，再扩大其假设。严谨性在于跟踪这种扩大，而不将局部保证悄然转用于证明未曾考虑的条件。

1.2 物理计算机与我们对它的描述

计算机通过物理变换执行工作。电子部件改变状态、交换信号并耗散能量。处理、通信和存储依赖供电、温度和运行等物质条件。这一物理基础与连续性有关：供电中断可能消除易失性信息；温升可能改变运行条件。同时，观察一个物理效应并不会自动揭示请求的身份、决策的含义或义务是否有效。

功率与能量说明了量及其解释之间的区别。功率是能量传递率；瓦特相当于焦耳每秒。在持续时间 T 内功率 P 保持不变时，传递的能量为 E=PT。若功率变化，则累积需要分段考虑，或对适当定义的函数积分。单位随运算而变化。以瓦特为单位的读数不是以焦耳为单位的量，正如完成率不是已完成请求总数。在表达式1.1中，方括号表示表达这些量所用的单位，而不是其量纲公式。

$$E = PT,\ [P] = J/s,\ [E] = J \tag{1.1}$$

例1.1 - 相同能量，不同条件

第一个教学情景中，设备以40 W传递能量，持续20 s：E=40×20=800 J。第二个情景以80 W持续10 s：E=800 J。能量相等不会使功率或时长相等，也不能决定执行了哪些指令、完成了多少请求，或是否保留了某项信息。计算假设每个情景中的功率恒定；一次读数不能证明这种恒定性。

选择描述层次至关重要。我们可以表示部件电压、内存状态、应用事件或组织义务。模型可以联系这些层次，但不应悄然相互替代。消耗波动可以促使调查，却不识别原因。一系列记录可以保留逻辑关系，却不直接测量其电学表现。每次跨越都需要相应假设及相容的观察方式。

本书将物质性与表示之间的联系用作推理纪律。它不从利用率图表中推导新的物理定律，也不把系统历史简化为能量曲线。问题在于理解：观察到的变换、记录与关系，如何支持关于连续性的结论。定量研究将明确说明哪些数字是测量值，哪些是假定参数，哪些由模型计算得出。

同一过程可以改变物理条件而不改变外部义务。更换存储设备需要工作，也会改变部件，但仍可能完整保留已定义为必需的记录。反向情况也可能发生：机器保持外观和性能，却改变字段含义或丢失历史关联。因此，连续性工程必须联系物理状态、逻辑表示与承诺，同时保持这些描述之间的区别。

物理量的采集同样具有边界。整台计算机的功率包含可能并不直接参与被调查请求的部件。某个时间窗口的能量包含并行活动与背景条件。用该总量除以完成次数，可以得到一个比值；但要把它解释为每个请求造成的能量，必须控制其他组成部分。量纲计算的精确性并不能

消除归因问题。测量一个量与解释它的来源，是相互关联却不同的任务。

1.3 快照、结构帧与 MovieShot

状态快照回答局部问题。当前利用量是多少？显示安装的是哪个版本？此刻是否有记录？这些观察有用。然而，演化问题需要将它们联系起来：版本是在故障前还是之后改变的？当前记录是否对应先前的确认？同名指标是否保持其定义？作者提出的 MovieShot 将观察组织在这些历史关系周围[MAN]。

历史与时间早已是计算领域既有分支的一部分。日志、分布式追踪、时态数据库、状态机和形式规约研究序列、因果关系与变换[L02, L78]。本书提出的贡献应在这一对话中接受检验，其研究范围是记忆、身份、义务和演化能力的连续性。提出自身视角，不要求声称此前的全部计算研究都忽略了历史。

定义1.2 - 结构帧与 MovieShot

结构帧是在声明范围内对系统进行的带上下文观察。除数值以外，其意义还可能依赖时间参照、被观察身份、来源、采集条件及相关关系。MovieShot 是各帧及其间声明关系的有组织表示。该术语指作者的观察性提案；表示是否充分取决于问题及实际取得的覆盖范围。

$$\mathcal{M} = (F_0, F_1, \ldots, F_n) \quad (1.2)$$

表达式1.2中的圆括号表示序列：位置与重复有意义。仅用花括号写出的集合未必保留这些特征。对于单个观察者，序列可以遵循采集顺序。在分布式参与者之间，可能只有偏序。此时我们需要声明已知关系，而不能

仅凭记录位置虚构完整的物理顺序。第2章将形式化这一区别。

很长的列表不会仅因积累了项目而成为有用的 MovieShot。若单位改变却没有说明、标识符被重复使用，或展示中抹去了缺口，那么表面连续的内容可能把不相容的观察拼在一起。表示的质量将通过性质来考察：它能回答哪些问题？在何种条件下？仍有哪些可能的替代解释？这种观察承诺比承诺完整复现机器所做的一切更精确。

本提案中的结构时间描述相关变换的组织方式。步骤计数可以为其编号，但不等于物理持续时间，也不自动衡量变化的重要性。两个系统可以经过同一钟表时间区间，却经历不同数量和类型的变换。要将这种差异转化为可比较的量，必须选择相关性标准、论域与尺度。讨论结构量的章节将把这一构造视为科学研究的一部分。

观察单位一词不应与自然界的最小物理单位混淆。一个帧可能足以回答某个问题，却不足以回答另一个问题。其科学构成必须随研究范围而定：迁移中保留身份参照可能重要；中断中保留确认与写入之间的关系可能重要。只有先规定必须保留哪些区别，最小帧的概念才有意义。记录大小或生成频率不能决定这种充分性。

1.4 相同当前状态可能隐藏不相容的历史

回到已确认请求。历史A收到请求、写入记录、确认，然后发生中断。历史B收到请求，在写入前确认，之后写入，再经历同样中断。恢复后，两者都可能显示已发出确认且记录存在。然而，只有B经历了确认缺少所需支撑的一段时间。相同的当前状态不能判定这一历史性质。

命题1.2 - 终态不能决定所有历史性质

若两段允许的历史结束于相同的观察状态，而某个性质在两段历史中需要不同答案，那么任何仅依赖该观察状态的函数，都无法对两者正确判定该性质。

证明。函数在两种情况下接收相同输入，按函数定义给出相同答案。正确答案不同，因此它不可能与两者均一致。对于请求，所考察的性质是每次确认都发生在要求的写入之后。前述历史A、B就是支撑论证的历史对。结论相对于所选观察而言：增加相关历史信息，可以将这对历史区分开。

例1.2 - 终态无法证明的承诺

假设最终报告只包含 a=1 和 d=1。它既与“写入→确认”相容，也与“确认→写入”相容。在写入先于确认的义务下，第一个事件链有效，第二个无效。要考察这项义务，就必须保留事件关系中的某种区别。终态在模型中证明记录当前存在，却不能决定先前顺序。

这种不可能性指导观察设计的决策：保留必要的区别，而不只是更多数字。某些问题只需一个定义良好的历史指标；其他问题需要事件、版本和实体之间的关系。第4章将建立性质可恢复性的一般标准。这里，我们无需预设存储架构，已能认出问题。

这个论证也排除了夸大的结论。它并不证明状态无用。充分丰富的状态可以包含有关差异的记忆，也不要求保留所有物理细节。选择取决于系统承诺回答的问题族。在工程中，表示应相对于目的及声明条件来评估，而非凭抽象的完整性承诺。

义务可以始终为真，而服务没有进展。若从未发出确认，则“确认蕴含记录”的条件可以无限期满足，同时没有任何用户得到结果。因此，保持与进展必须分别表述。本书后续考察的连续性将

同时包含不应违反的关系，以及系统应继续提供有用功能的条件。

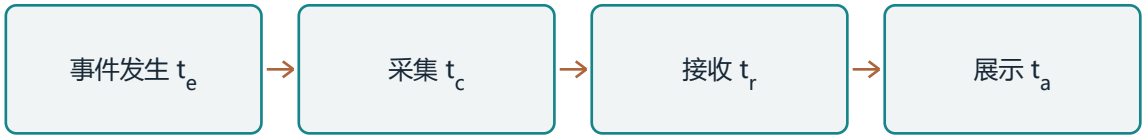
未知答案也需要在描述中占有位置。两次观察之间缺少记录时，不应以令人安心的故事替代缺口。我们可以说明两个端点显示了什么，同时保留相容的其他可能性。这种态度不妨碍运行决策；它使负责决策的人知道哪些结论依赖假设。新证据到来后，可以修订论证，而不改写此前实际可用数据的性质。

1.5 实时观察包含延迟、覆盖范围与未知

“实时”一词常让人以为能立即接触正在发生的事情。但真实观察要经过路径：事件发生、仪器检测、信息传输、界面展示。每个阶段都具有时长及运行条件。频繁更新面板不会消除这条路径。考察信息是否新鲜，需要区分各个时刻。

定义1.3 - 一次观察的各时刻

t_e 是事件发生时刻；t_c 是采集时刻；t_r 是接收时刻；t_a 是展示时刻。要将这些值相减解释为持续时间，它们必须处于可比较的尺度。展示时的信息年龄为 $t_a - t_e$。这个年龄并不证明状态在该区间内保持不变。



读取时刻不能替代事件发生时刻。

图1.2 - 事件发生、采集、接收与展示是不同阶段。图中距离只是示意，不是延迟测量值。

命题1.3 - 展示信息年龄的分解

若四个时刻可比较，则年龄 $t_a - t_e$ 等于事件发生→采集、采集→接收及接收→展示三个区间之和。若要将每一项解释为路径中非负的持续时间，还必须要求这些时刻按此顺序排列。

$$t_a - t_e = (t_c - t_e) + (t_r - t_c) + (t_a - t_r) \quad (1.3)$$

证明。展开右侧，t_c 和 t_r 抵消，剩下 $t_a - t_e$。这是代数恒等式。将其解释为三个持续时间，需要已声明的顺序与可比性。若各值来自不同且关系未知的时钟，这个数值恒等式本身无法给出有效的物理信息年龄。

例1.3 - 展示状态具有年龄

在同一尺度上，某事件发生于10.00 s，采集于10.20 s，接收于10.65 s，展示于10.80 s。年龄是0.80 s，即0.20+0.45+0.15。面板可以正在更新，却展示先前事件的信息。计算不能确定该事件之后0.80 s内发生了什么；这需要其他观察。

覆盖范围与新鲜程度也不同。一个仪器可能快速展示部分事件；另一个可能以更长延迟展示更完整的历史。对于某项义务，低延迟可能优先；对于另一项义务，保留关系与声明缺口可能优先。工程应将这种选择明确化。仪器没有报告，必须始终能够与“什么也没有发生”的陈述区分开。

带许多小数位的时间可能造成不当信任。即使屏幕显示微秒，时钟不确定性、采集延迟及所表示时刻的约定仍然存在。下一章将介绍：当误差界限已声明时，如何求持续时间的区间。最初的问题是保留使计算成为可能的信息。没有来源、尺度与意义的时间值，可能不如一个带有条件说明的较简单标记有用。

1.6 从研究计划到工程实践

宣言给出一个方向：通过轨迹研究系统，并考察系统变化时什么仍有用。将这一方向写成工程书，需要区分四个层次。定义建立对象。假设限定模型。证明从假设推导后果。实验考察模型及所选条件是否描述了所观察的领域。一个层次有效并不自动替代其他层次的有效性。这项计划的源流见于时间结构计算奠基宣言、原理专著及 Voigt 学派基础文献[TSC; PRINC; ESC]。这些来源记录提案及其演进，不能替代本书的具体证明和评估。

研究程序首先选择一项义务和一个边界，随后识别实体、事件、时间参照及观察。提出结论，再寻找与相同数据相容、却与结论矛盾的另一段历史。若这种替代历史存在，则有信息缺失，或需要额外假设。即使某个性质在模型中得到证明，研究仍必须考察其前提是否对应真实系统。

本书的科学承诺，是以可讨论、可检验的方式呈现提案的数学。作者提出的量将附有含义、论域、已定义的单位及发展状态。概念关系不会被当作已经校准的工具。物理类比不会仅因与另一学科共用一个词就被提升为普适定律。这一区分为科学发展留下空间，也不隐藏尚未解决的问题。

示例使用合成数据，使计算可在纸上复现。当结论需要测量时，必须规定数据来源和方案。目的不是用课堂示例证明产品质量，而是培养能够识别承诺、构建模型、核查推导，并评估将其用于实际运行所需证据的读者。

接下来的章节将用状态与事件语言表述不变式和轨迹。测量将变化与时长、累积及

不确定性相联系。函数与观察之间的关系将说明哪些性质仍可恢复。这些基础服务于全书核心问题：记忆、身份、结构量、恢复、治理及综合研究。我们将通过工程能够在变化过程中论证的关系来考察连续性。

阅读路径交替呈现具体问题、定义、推导与限制分析。第一遍阅读可以跟随问题并重算示例。第二遍应核查每项假设在证明中用于何处。第三遍可以构造违反某个条件的替代情景，观察哪个结论不再成立。这种方法使学习接近工程实践：理解工具，包括识别其论域、所需数据，以及它独自无法论证的决策。

结构连续性通过变换过程中对已声明的记忆、身份和完整性义务的履行来评估，并须明确论域、条件及时间分辨率。这是第7章考察的工作定义。持存指按某种标准继续存在；身份指与某个参照相容；完整性要求关系有效；恢复指回到可接受条件。任何一项陈述，单独都不能建立完整的连续性承诺。

本提案与既有知识对话。形式方法已处理状态、不变式与精化[L02]；动力系统联系演化、输入和输出[DYN11]。时态数据库区分事实的有效时间与记录时间[TDB00]。溯源组织来源与责任[PROV13]，遥测则汇聚信号与上下文[OTEL]。要求核查与使用验证已属于系统工程[NASA16]。可靠性研究也专门处理不完整数据[NREL]。异常检测依赖领域与上下文[ANOM09]；预测需要时间顺序评估[HA21]。具有记忆和反思的智能体已经得到研究[GA23]。统计信息与计量具有各自定义[IT16; VIM]。这里提出的贡献，是将历史问题、参照及连续性义务组织为可审计的论证。这种综合不能证明每个组成部分的优先权，也不能证明优于其他方法。证明额外收益，需要与针对相同问题、具备同等观测条件的方法进行比较。

1.E 精选练习

1.1 | 解释。一个应用在重启后恢复响应，却找不到故障前已经确认的请求。提出两项不同义务，说明哪些信息能用于考察每一项。

1.2 | 计算。比较50 W持续12 s与75 W持续8 s。在功率恒定假设下计算能量，并解释这些总量不能决定的两项运行性质。

1.3 | 证明。构造两段确认与写入终态相同、但这些事件顺序不同的历史。说明为何终态无法判定“写入先于确认”的性质。

1.4 | 研究。某项信息的展示既没有采集时间，也没有缺口说明。提出一个仍可回答的问题，以及另一个需要额外上下文才能回答的问题。说明为何频繁更新不能独自解决第二个问题。

第02章

状态、事件与时间

工程历史需要声明：什么可以改变，哪些关系限制改变，以及时间如何进入结论。

学习目标：构建状态、事件与执行模型；证明一个不变式，并找出支撑它的假设；联系依赖、并发与时长界限；区分时长、顺序与存在情况的记账。

先修要求：第1章的连续性问题与带上下文观察；有限集合、函数、不等式及正文解释的归纳法。

2.1 边界将情景转化为模型

已确认请求的问题涉及太多部件，无法一开始就处理整台机器。我们选择四个变量的描述：p 表示易失性工作，d 表示持久记录，a 表示已发出确认，q 表示运行状态。前三个值为二元值；q 可以是 on 或 off。它们不是内存的全部内容，而是模型为考察某项特定义务保留的区别。

将符号理解为简单思想的缩写。元组是有序列表，改变元素位置可能改变其意义。符号 × 形成组合，⊆ 读作“包含于”。因此 $R \subseteq X \times E \times X$ 选出允许的三元组：出发状态、事件、到达状态。X_0 汇集可作为起点的状态。以下公式组织这些选择；表格将说明如何使用它们。

定义2.1 - 转移系统

转移系统是元组 $M=(X, E, R, X_0)$：X 是状态集合，E 是事件集合，$R \subseteq X \times E \times X$ 是转移关系，$X_0 \subseteq X$ 是初始状态集合。R 允许的转移 (x, e, y) 描述以事件 e 从 x 到 y 的可能变化。它本身不赋予概率或时长。

$$X=\{0,1\}^3 \times \{on, off\},\ x=(p, d, a, q),\ X_0=\{(0,0,0, on)\} \quad (2.1)$$

状态空间共有2×2×2×2=16种可能描述。其中一些可能永远无法按所选规则到达。必须区分取值空间与允许的执行。数学上可表示的状态可能违反约定；这并不自动使它在真实系统中不可能发生。有关初态和转移的假设，才让我们能够证明模型能到达哪些描述。

事件	条件	变化
接收	q=on	p 变为1
写入	q=on 且 p=1	d 变为1
确认	q=on 且 d=1	a 变为1
故障	q=on	p 变为0；q 变为 off
恢复运行	q=off	q 变为 on

表2.1 - 单个请求的教学模型。未提及的分量保持不变；在允许的转移之间，持久记录不会丢失。

表格规定用于研究的可能性，不是一种实现。同一个事件在使能条件满足时可以再次发生。在这个范围中，重复事件涉及同一请求；区分多个请求需要增加身份与对象群体。故障保持 d 的假设具有决定性；模型用于实际情景时，必须与所研究的存储和故障类型对照。

粒度同样重要。把完整写入视为一次转移，就把其中间状态排除在描述之外。若故障可在内部发生并造成部分结果，就需要扩展模型。称一次转移为原子性转移，意味着明确的表示选择，或已在其他层次证明的承诺；这个形容词本身不会创造物质保证。

边界还定义了什么被称为持久状态。应用承认的记录可能依赖另一个部件，而该部件的条件不在 X 中。若问题需要考虑此依赖，就必须将其纳入，或声明所假定的外部约定。小模型的精确性来自这种

限定范围的纪律。没有问题导向地增加变量，不能保证描述更加有用。

集合 E 为事件命名，但关系 R 决定事件何时允许发生。“确认”一词存在，并不意味着它可以在任何状态中应用。执行必须在使用事件之处满足每项条件。分开词汇与规则可以避免常见混淆：名称历史看起来合理，却可能遗漏使其有效的必要条件。核查历史时，读者应跟踪连续状态，而不只是认出熟悉的操作序列。

2.2 执行、前缀与不变式

定义2.2 - 执行与可达性

有限执行是序列 $\rho=(x_0, e_1, x_1,\ldots, e_n, x_n)$，其中 x_0 为初始状态，且每个转移属于 R。前缀在同一执行中较早的某一步结束。若一个状态是这样定义的某次执行的最后状态，则称其可达。零步执行已到达初始状态。

执行保留顺序与重复。接收、写入与确认事件不只是集合：交换位置可能改变有效性，重复其中一个也可能影响问题。序列顺序代表模型允许的一次执行。只有为事件关联时间参照后，时长才会出现。

“确认要求记录”的义务可写成 $I(x)$: $a \le d$。因取值为二元值，$a=1$ 要求 $d=1$。不变式是在所有可达状态中都成立的性质。变量无需保持常数；保持的是关系为真。这一区分让我们能够推理变换，而不把保持与静止混淆。

命题2.1 - 通过归纳保持

若 I 在初始状态中成立，并且从任何 I 为真的可达状态出发的每个转移，都到达 I 为真的状态，则 I 是 M 的不变式。

证明。没有转移的执行结束于某个初始状态，在那里 I 成立。假设任意 n 步执行结束时 I 为真。一个

n+1步执行具有一个 n 步前缀；由归纳假设，其最后状态满足 I。关于转移的假设使 I 在最后一步得到保持。归纳覆盖全部有限步数，因此覆盖所有可达状态。

例2.1 - 确认条件的作用

初始状态中 a=d=0。接收与恢复运行不改变 a 或 d。写入增加 d 而不增加 a。确认要求 d=1；故障保持 d 和 a。因此所有转移都保持 a≤d，命题2.1证明了不变式。若确认改为仅要求 p=1，则“接收→确认”的执行将到达 a=1、d=0。这个反例说明哪个条件支撑了保证。

这类证明提出两项义务：基础条件与保持条件。正确的转移不能修复错误的初始条件；正确的初始条件也不能防止规则破坏性质。证明保持时，常常需要更强的辅助关系。遇到这种困难，可能揭示模型尚未区分的信息。

安全性与进展需要不同论证。a≤d 条件阻止无记录的确认，但不强制请求结束。“接收→故障→恢复运行”的序列可以在没有写入的情况下重复。要求每个接纳的请求都得到响应，需要关于故障、调度和环境的假设。仅保持不变式，不足以证明服务会继续履行其功能。

对于无限执行，若状态性质在每个有限前缀中保持，则它在该执行的每个位置都成立。这不会增加进展保证。“只要存在确认就总有记录”考察每个位置；“每个请求都会得到响应”则要求推理执行的未来。故障最终停止，或使能活动获得处理，可能是第二个结论的关键条件。称某次恢复为充分时，这一区别很重要：必须说明它实际恢复了哪项义务。

精选解答

第1章

下列内容保留全书中与本样本练习对应的解答。

练习1.2

乘积为50×12=600 J和75×8=600 J。单位是焦耳，因为 W=J/s。相等关系依赖所假定的恒定功率。它不能决定各事件时刻或确认的正确性，也不蕴含最大功率或时长相等。

练习1.3

“接收→写入→确认”和“接收→确认→写入”两段历史，都可能结束于已发出确认且记录存在。前者遵守先写入的义务，后者违反。只依赖终态的函数接收相同输入，因此不能对两者都正确判定。结论要求该函数没有其他可用的历史信息。

从最初问题到形式化

编辑衔接 - 第7章选段

开篇跟踪了一个其承诺必须跨越变化的请求。第7章再次提出：什么必须仍可恢复，哪些关系必须继续有效？这段编辑衔接呈现全书中的两个选段，并明确标识补充解释。示例是合成的；表格组织模型内的结论。二者都不是产品测试。

变化中的承诺

编辑上下文。记忆充分意味着保留对所选论域内已声明问题的答案。身份和完整性需要各自标准。评估节点是一个评估点；验证两个端点并不能证明它们之间发生了什么。

详解例7.4 - 端点不能结束评估

一次维护包含三个评估节点。在第一个节点，请求与策略有关联。迁移期间，请求仍可访问，但其策略不可用。在第三个节点，副本使关系得以恢复。若承诺要求在三个节点都能识别策略，则最终结果不能证明第二个节点也满足要求。若承诺预先允许该时段不可用，结论则不同。问题族、访问义务及时间安排必须先于评估。报告局部缺口已经足够，无需给整个身份赋予一个数值损失，也无需声称事件抹去了历史。

编辑解释

该例说明一个区别：最后恢复了关系，不证明要求的中间节点也曾具备可用性。当所需数据仅仅未到达观察者时，也不能据此证明记忆丢失。约定必须分开信息保持、访问可能性与可用证据。第7.8节形式化这些承诺；其中命题7.5依赖记录恢复与语义传递方面的特定假设。

选段来源：全书第7.7节，详解例7.4。框旁解释为本演示样本新增内容。

证据支持什么结论?

表7.1的编辑上下文

第7.8节固定一个非空的允许历史论域 H、评估节点及约定。$C^{+}_{H}(h)$ 是目标处的承诺：它汇集记忆对问题的全局充分性，以及历史 h 的身份与完整性义务。这是逻辑谓词，不是数值评分。

观察 V 产生证据 e。H_e 汇集 H 中与之相容的历史。表中 $C^{+}H$ 是 $C^{+}_{H}(h)$ 的简写。缩小 H_e 不能证明在论域 H 上原本不成立的全局记忆充分性。

与证据相容的情形	模型内结论
H_e 非空；所有历史均满足 $C^{+}H$	在所选范围内，有证据支持满足。
H_e 非空；所有历史均违反 $C^{+}H$	在所选范围内，有证据支持违反。
H_e 同时包含满足与违反的历史	无法确定：观察不能判定。
H_e 为空	没有相容案例：检查论域、观察模型或证据。

表7.1 - 在论域与承诺固定时的评估状态。“无法确定”不是真实性质的第三个真值；空集不允许凭空真意义下的全称满足得出合规结论。

分类的适用范围

完整历史中的性质非真即假；无法确定描述的是评估状态。将此表应用到现实世界，需要论证论域及观察的忠实性。没有相容历史时，应检查模型或证据。判断局限于已声明的评估节点，不保证未观察区间，也不保证按时响应。

选段来源：全书第7.8节，表7.1。其作用是区分真值、证据与推断限制。本衔接不替代定义、命题7.5或其证明。

本演示版参考文献

以下来源实际引用于所选内容。作者存储库出版物、机构文件、技术文献及产品文档具有不同性质。DOI 标识记录，不构成证明或独立验证。

[MAN] VOIGT, Rafael Felippe. Manifesto da Engenharia da Continuidade Estrutural: A Fundação da Engenharia da Continuidade Computacional. 版本1.0。巴西，2026。作者宣言。 https://www.voigtcore.com.br/downloads/documentos/manifesto-engenharia-continuidade-estrutural.pdf

[L02] LAMPORT, Leslie. Specifying Systems: The TLA+ Language and Tools for Hardware and Software Engineers. Addison-Wesley Professional, 2002. 技术著作；用于状态、动作、不变式与组合的参考。 访问日期：2026年10月29日。 https://lamport.azurewebsites.net/tla/book.html

[L78] LAMPORT, Leslie. Time, Clocks, and the Ordering of Events in a Distributed System. Communications of the ACM, v.21, n.7, p.558-565, 1978. 访问日期：2026年10月29日。 https://www.microsoft.com/en-us/research/publication/time-clocks-ordering-events-distributed-system/

[DYN11] MIT OPENCOURSEWARE. Dynamic Systems and Control. 6.241J, 2011. Emilio Frazzoli 与 Munther Dahleh。 访问日期：2026年10月29日。 https://ocw.mit.edu/courses/6-241j-dynamic-systems-and-control-spring-2011/

[TDB00] SNODGRASS, Richard T. Developing Time-Oriented Database Applications in SQL. Morgan Kaufmann, 2000. 访问日期：2026年10月29日。 https://www2.cs.arizona.edu/~rts/tdbbook.pdf

[PROV13] W3C. PROV-DM: The PROV Data Model. Recommendation, 2013. 访问日期：2026年10月29日。 https://www.w3.org/TR/prov-dm/

[OTEL] OPENTELEMETRY. Observability primer. 官方文档。 访问日期：2026年10月29日。 https://opentelemetry.io/docs/concepts/observability-primer/

[NASA16] NASA. Systems Engineering Handbook. NASA/SP-2016-6105 Rev. 2. 第5节，Product Realization。 访问日期：2026年10月29日。 https://www.nasa.gov/reference/5-0-product-realization/

[NREL] NIST/SEMATECH. e-Handbook of Statistical Methods. 第8.1.3.1节，Censoring。 访问日期：2026年10月29日。 https://www.itl.nist.gov/div898/handbook/apr/section1/apr131.htm

[ANOM09] CHANDOLA, Varun; BANERJEE, Arindam; KUMAR, Vipin. Anomaly Detection: A Survey. ACM Computing Surveys, 41(3), art. 15, 2009. DOI 10.1145/1541880.1541882. 访问日期：2026年10月29日。 https://arindam.cs.illinois.edu/papers/09/anomaly.pdf

[GA23] PARK, Joon Sung et al. Generative Agents: Interactive Simulacra of Human Behavior. UIST 2023. DOI 10.1145/3586183.3606763. 访问日期：2026年10月29日。 https://research.google/pubs/generative-agents-interactive-simulacra-of-human-behavior/

[TSC] VOIGT, Rafael Felippe. TEMPORAL STRUCTURAL COMPUTING - Foundational Manifesto of a New Computational Category. Zenodo, 2026. 作者发表于存储库的文献。 https://doi.org/10.5281/zenodo.20114016

[PRINC] VOIGT, Rafael Felippe. Fundamental Principles of Temporal Structural Computing - Establishing the Scientific Foundations of a New Computational Discipline. Zenodo, 2026. 作者发表于存储库的文献。 https://doi.org/10.5281/zenodo.21268037

参考文献（续）

[ESC] VOIGT, Rafael Felippe. Foundations of the Voigt School of Temporal Structural Computing. Zenodo, 2026. 作者发表于存储库的文献。 https://doi.org/10.5281/zenodo.20208382

[IT16] POLYANSKIY, Yury; WU, Yihong. Lecture Notes on Information Theory. MIT OpenCourseWare, 6.441, 2016. 熵与条件分布。 访问日期：2026年10月29日。 https://ocw.mit.edu/courses/6-441-information-theory-spring-2016/pages/lecture-notes/

[VIM] JCGM. International vocabulary of metrology - Basic and general concepts and associated terms (VIM). 第3版。JCGM 200:2012。条目1.1及1.26。 访问日期：2026年10月29日。 https://doi.org/10.59161/JCGM200-2012

[HA21] HYNDMAN, Rob J.; ATHANASOPOULOS, George. Forecasting: Principles and Practice. 第3版。OTexts，2021。第5.10节，Time series cross-validation。用于按时间顺序评估的参考；本书数据及告警关联属于教学用途。 访问日期：2026年10月29日。 https://otexts.com/fpp3/toolbox.html#time-series-cross-validation

免费演示样本 | 2026

当系统发生变化，什么必须延续？

系统可能仍在运行，却失去理解其历史所必需的关系。如何识别这种损失？当组件、规则和模型发生变化时，什么必须保持？

本书介绍结构连续性工程这一方案及其时间结构计算基础，将状态、事件与轨迹同记忆、身份、完整性及义务的保持联系起来。

定义、命题、证明、例题与练习为研究人员、工程师、教师和学生构建学习路径。研究案例涉及计算系统、基础设施和人工智能，并涵盖累积数字资本。读者将学习检验哪些内容得到保持、哪些义务遭到违反，以及现有证据尚不能支持哪些结论。



了解葡萄牙语完整版

Rafael Felippe Voigt

voigtcore.com.br/ciencia

葡萄牙语完整版

ISBN 978-65-970107-0-7

ISBN: 978-65-970107-0-7

CBL

9 786597 010707