計算 • 系統 • 時間

結構連續性工程

時間結構計算的數學基礎

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

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



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

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

RAFAEL FELIPPE VOIGT

RAFAEL FELIPPE VOIGT

結構連續性工程

時間結構計算的數學基礎

軌跡、記憶、身份與變換

系統連續性的數學導論

作者獨立出版版 | 2026

巴西，2026

AI輔助翻譯稿，待語言和技術審校。解釋以葡萄牙語原版爲準。

本版採用經認可的繁體中文封面。書名和正文已翻譯，數學符號及參考文獻的原文標題保持不變。

作者、版本與著作性質

Rafael Felippe Voigt

研究、構思與科學著作作者

結構連續性工程
時間結構計算的數學基礎

Rafael Felippe Voigt 是獨立研究者、VoigtCore 創始人及 VCore 技術的創造者。他提出了時間結構計算與結構連續性工程方案，研究計算系統的記憶、身份、完整性及其演化。VoigtCore 是與其研究相關的技術生態系統品牌。Rafael Felippe Voigt 負責本書的著作與獨立出版。

© 2026 Rafael Felippe Voigt。演示版 - 2026。本選編用於介紹及編輯評估，並非最終商業版。

本書彙集數學與計算領域的既有基礎、作者提出的形式化構造、教學模型，以及尚待驗證的問題。提出模型、在模型內部進行證明、通過實驗確認模型，是不同的階段。知識產權登記或 DOI 均不能替代這些階段。

編輯準備、輔助寫作、排版、圖示及一致性檢查使用了人工智能輔助。封面使用了人工智能圖像生成輔助。數值示例爲合成示例，不描述 VCore 產品的測量結果。本書不聲稱框架獲得了普適的經驗驗證，也不聲稱商業產品接受過獨立評估。

本書提出一項以時間結構計算爲基礎的工程方案與形式化研究計劃。定義、命題與假設具有不同成熟程度，正文中作了說明。應用的經驗有效性需要具體實驗程序。本樣本不包含可執行補充材料。

科學表述約定

定義：確定所選論域內的含義。假設：聲明有待檢驗的條件。命題：附有在明確條件下的證明。示例：展開計算或解釋。教學模型：提供用於教學的公開關係，不表示產品中的估計器。

免費演示樣本 | 2026

葡萄牙語完整版 ISBN：978-65-970107-0-7。

此 ISBN 標識葡萄牙語完整版，不標識本翻譯樣本。

致謝

首先，我感謝上帝。一切尊榮、一切榮耀和一切感恩都屬於祂。在懷疑與堅持的歲月裏，我從信仰中獲得繼續前行的方向與力量。這本書也源於我對一生經歷及學習機會的感恩。

謹以此懷念我的父親 Sigold Voigt，他在49歲時離開了我們。寫下這些話讓我滿懷感觸與思念。爸爸，您將永遠在我心中。

感謝我的母親 Ivete M. Schneider Voigt，在這些思想形成的過程中給予我情感、精神和經濟上的支持，以及始終不變的信任。她陪伴我經歷思索與不確定，也陪伴我完成將問題轉化爲研究所需的工作。

致我的女兒 Isabella Voigt：你是我生命中最重要的靈感源泉之一。我將愛獻給你，並希望知識、自律與堅持能助益你的未來。

感謝我的姐妹 Fernanda Voigt 給予的支持與鼓勵。致我的侄甥 Bernardo：願好奇心與勇於探索的精神伴隨你的人生道路。

感謝我的朋友 Marcos Aurélio 的信任與鼓勵，包括那些成果還僅僅存在於想法之中的時刻。

向我的阿姨 Rute Salete Schneider，也就是親愛的 Tia Rute，獻上充滿愛意的感謝：她送給了我第一臺電腦。這份禮物是我與計算機結緣之初的重要部分；對於她在這段歷程中的參與，我深懷感激。

感謝我的阿姨 Janice，我心中的“光明阿姨”，一直爲我祈禱。感謝您給予的關愛，以及在我精神生活中的陪伴；請接受我的愛與感恩。

向 Schneider 和 Voigt 兩個家族獻上我的愛與感恩，感謝你們成爲我人生的一部分。

感謝所有通過交談、提問、批評及支持作出貢獻的人。願這部著作邀請大家認真學習、積極探索，併爲社會福祉共同構建知識。

Rafael Felippe Voigt

作者序

當系統發生變化時，什麼仍然成立？這個問題貫穿本書。一臺機器裝入新部件，一個程序更換版本，一個組織更換團隊，一個智能體使用另一種模型。當前狀態仍然重要，但考察先前的義務，需要依賴單次讀數未必能保留的關係。

我的研究歷程匯聚了維持、連貫性與時間治理方面的問題，並將它們與計算系統相聯繫。對計算的物理觀察引出了有關消耗、擾動和維護投入的問題。僅憑這些信號不會自動產生身份或記憶；我們必須建立相應關係，並檢驗其成立條件。

我將把這個問題組織爲工程工作的方案稱爲結構連續性工程：聲明邊界、表示軌跡、定義必須保留的內容、提出假設、計算其後果，並將其與證據對照。MovieShot 在這一研究中指一種縱向表示，其中各幀保留關係與上下文。對於我們承諾回答的問題，所觀察的歷史必須保持可解釋。

日誌、時態系統、形式驗證、控制理論和恢復技術已經提供了重要工具。本書與這些傳統展開對話。所尋求的貢獻，是將軌跡、記憶、身份、完整性、積累資產及未來能力等問題，匯入一種可以檢驗的連續性表述。

數學在這裏具有教學和批判的作用。依賴關係還不是經過校準的定律。一個量需要論域、單位、解釋規則和比較條件。證明在其假設下成立。需要修訂某種表述時，明確呈現修訂過程能使科學工作更加精確。

我希望讀者能夠重新完成計算、檢驗假設、構造反例，並提出更好的問題。本書是學習基礎，也是邀請讀者獨立審視這一提案。我所尋求理解的連續性，同樣始於保留知識產生條件的承諾。

如何學習這項工程

循序積累的路徑

第1至4章介紹狀態、事件、時間、測量與表示。第5至8章展開記憶、身份、結構量及治理。第9章爲試驗作準備；最後三章把基礎應用於機器、智能體和物理基礎設施。示例爲合成示例。第10.8節提出一個有限遷移模型，並說明其可選補充材料；這些材料獨立於產品。

計算之前

從問題、邊界和義務出發。聲明對象、單位、時刻、假設與缺口。重算示例，並構造反例。等式可以是定義、恆等式、模型假設或估計關係：應辨明正文聲明的是哪一種用途。證明與實驗確認回答不同的問題。

記號與實踐

當時間尺度已聲明時，t 表示物理時間；k 和 τ 則可能僅用於給變換編號。C、H、T 等符號具有局部作用域，各模型中會說明。練習從計算逐步深入解釋、證明與研究。先嚐試解答，再查閱精選解答。定義和證明明確指出所教結果所需的論域與假設。

給學生與教師

用自己的話解釋每個結果。檢查每項假設在證明中用於何處，並改變一個條件來檢驗結果的適用範圍。課堂上可以從具體問題開始，重做計算，再要求給出能區分已計算結果與仍需證據部分的結論。將示例用於實踐需要該領域的儀器、數據與標準；觀察到差異並不證明其原因。

符號閱讀指南

本頁供查閱使用。每個符號都會在需要它的上下文中再次出現。用語言讀出表達式，有助於將其轉化爲可以檢驗的陳述。

表達式	讀法與含義
$x \in D$	“x 屬於 D”：x 是論域 D 允許的一個案例。
$A \subseteq B$	“A 包含於 B”：A 的每個元素也屬於 B。
$A \times B$	有序對 (a,b) 的集合，其中 a 屬於 A，b 屬於 B；分量的順序有意義。
$f: D \to Y$	函數 f 爲 D 中的每個輸入指定 Y 中的一個輸出。
$g \circ O$	複合：先應用 O，再應用 g。因此 $(g \circ O)(h) = g(O(h))$。
$\Rightarrow$	“蘊含”：在已聲明的假設下，第一個陳述推出第二個。
Σ	一族項的和。下標與界限說明包含哪些項。
$\int$	在聲明的尺度上累積。將單位爲 J/s 的率對以 s 爲單位的時間積分，得到 J。
ΔG_T	在教學模型 MD7.2（第7.5節）中：差值 $G(t+T) - G(t)$，其中 G 爲數值且各次評估可比較。差值與率具有不同單位；此約定不重新定義作者對 ΔGT 的所有用法。

完整讀法

若 O(h) 是歷史 h 所保留的報告，g 解釋該報告，則 $q = g \circ O$ 表示：對 O 保留的信息應用 g，即可得到答案 q。若兩段歷史生成相同報告，卻需要不同答案，那麼在該論域內這種恢復是不可能的。第4至6章證明這一陳述，並探討其後果。

本演示版閱讀路線

本選編保留 V9 的開篇及初始順序。致謝全文保留。

作品開篇

封面、扉頁、作者與版權信息、致謝、作者序、學習指導、符號指南和本路線。

第1章

連續性工程：從瞬間到 MovieShot。按照原文順序呈現問題、定義、示例、三個命題和本章練習。

第2章開頭

第2.1及2.2節：狀態、轉移、執行、前綴及歸納保持。選編在第2.2節結束處截止。

精選解答

練習1.2和1.3的原文解答。

通往第7章的編輯銜接

保留例7.4與表7.1，並提供上下文。補充解釋已明確標識。

本選編參考文獻

僅列所選內容實際引用的來源；並非作者全部成果目錄。

如何使用本樣本

章節、公式、圖和練習的編號沿用全書；頁碼按本版調整。交叉引用指向完整著作的展開內容。ΔGT 指南已依據第7.5節澄清。證明仍以正文假設爲條件；數值示例爲合成示例。

第01章

連續性工程：從瞬間到 MovieShot

當僅僅保持運行已不夠，而必須保留承諾與變換的意義時，連續性工程便由此開始。

學習目標：區分當前運行與承諾的連續性；聯繫計算機的物理執行與可觀察歷史；定義結構幀和 MovieShot 的科學研究範圍；考察實時觀察的適用界限。

先修要求：能閱讀簡單圖表、進行算術運算，並願意明確說明假設。形式模型將逐步構建。

1.1 工程問題：承諾跨越變化

一個服務收到請求，顯示確認消息，然後重啓。界面很快恢復，然而存儲中找不到該請求。設備已開機，應用會響應，但對用戶承擔的義務仍未解決。這個情景區分了兩個問題：系統現在運行嗎？中斷之前作出的承諾保留下來了嗎？

結構連續性工程將第二個問題視爲核心研究對象之一。這個案例將貫穿全書，因爲它無需依賴特定產品，就能聯繫數學模型、觀察、記憶、身份與決策。

在 Rafael Felippe Voigt 提出的視角中，連續性涉及在計算系統演化過程中，對相關關係進行可檢驗的保持[MAN]。必須聲明何種關係是相關的。在請求服務中，可能要求每個確認都對應持久記錄；在遷移中，可能要求每項義務繼續關聯同一實體；在調查中，可能要求舊事件的意義仍可恢復。當這些要求能夠被區分、檢驗，並在必要時被反駁，“連續性”才獲得技術內容。

定義1.1 - 連續性義務

連續性義務是一項已聲明的性質，它應在某個指定類別的變換中保持有效。其表述應確定系統、邊界、所考慮的事件及滿足條件。在本書中，這個術語用於組織工程問題，並不自動保證任何真實系統的行爲。

組織可以選擇不同義務。保留所有數據、在規定期限內恢復某項功能，以及保留決策與其理由之間的關聯，並不是等價要求。其中一些可以同時滿足，另一些則可能與成本、容量或隱私衝突。工程師的首要工作是在把這些承諾壓縮爲指標之前，先將其明確化。一個數字不能決定應當存在哪些義務。

命題1.1 - 當前運行不蘊含承諾得到保持

應用當前可用這一陳述，本身並不蘊含先前發出的確認具有所要求的持久記錄。

反例證明。考慮三個二元變量：q 表示應用運行，a 表示已發出確認，d 表示持久記錄可用。狀態 (q, a, d)=(1,1,0) 滿足當前運行，卻違反確認蘊含記錄這一要求。若應用在寫入之前確認，並在中斷時丟失易失性工作，就可能到達這一狀態。因此 q=1 不蘊含 a≤d。該證明否定一個一般蘊含，並非聲稱所有應用都以這種方式確認。



圖1.1 - 外部承諾依賴內部事件。確認的順序與意義是工程假設，不是界面外觀所帶來的結論。

要求還必須說明有效多久，以及涵蓋哪些變換。一次重啓中保留了請求，並不能證明遷移、語義變化或失去某個參與者時也能保留。邊界決定納入考察的內容，時間範圍決定在哪裏評估義務。我們可以從小情景開始，再擴大其假設。嚴謹性在於跟蹤這種擴大，而不將局部保證悄然轉用於證明未曾考慮的條件。

1.2 物理計算機與我們對它的描述

計算機通過物理變換執行工作。電子部件改變狀態、交換信號並耗散能量。處理、通信和存儲依賴供電、溫度和運行等物質條件。這一物理基礎與連續性有關：供電中斷可能消除易失性信息；溫升可能改變運行條件。同時，觀察一個物理效應並不會自動揭示請求的身份、決策的含義或義務是否有效。

功率與能量說明了量及其解釋之間的區別。功率是能量傳遞率；瓦特相當於焦耳每秒。在持續時間 T 內功率 P 保持不變時，傳遞的能量爲 E=PT。若功率變化，則累積需要分段考慮，或對適當定義的函數積分。單位隨運算而變化。以瓦特爲單位的讀數不是以焦耳爲單位的量，正如完成率不是已完成請求總數。在表達式1.1中，方括號表示表達這些量所用的單位，而不是其量綱公式。

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

例1.1 - 相同能量，不同條件

第一個教學情景中，設備以40 W傳遞能量，持續20 s：E=40×20=800 J。第二個情景以80 W持續10 s：E=800 J。能量相等不會使功率或時長相等，也不能決定執行了哪些指令、完成了多少請求，或是否保留了某項信息。計算假設每個情景中的功率恆定；一次讀數不能證明這種恆定性。

選擇描述層次至關重要。我們可以表示部件電壓、內存狀態、應用事件或組織義務。模型可以聯繫這些層次，但不應悄然相互替代。消耗波動可以促使調查，卻不識別原因。一系列記錄可以保留邏輯關係，卻不直接測量其電學表現。每次跨越都需要相應假設及相容的觀察方式。

本書將物質性與表示之間的聯繫用作推理紀律。它不從利用率圖表中推導新的物理定律，也不把系統歷史簡化爲能量曲線。問題在於理解：觀察到的變換、記錄與關係，如何支持關於連續性的結論。定量研究將明確說明哪些數字是測量值，哪些是假定參數，哪些由模型計算得出。

同一過程可以改變物理條件而不改變外部義務。更換存儲設備需要工作，也會改變部件，但仍可能完整保留已定義爲必需的記錄。反向情況也可能發生：機器保持外觀和性能，卻改變字段含義或丟失歷史關聯。因此，連續性工程必須聯繫物理狀態、邏輯表示與承諾，同時保持這些描述之間的區別。

物理量的採集同樣具有邊界。整臺計算機的功率包含可能並不直接參與被調查請求的部件。某個時間窗口的能量包含並行活動與背景條件。用該總量除以完成次數，可以得到一個比值；但要把它解釋爲每個請求造成的能量，必須控制其他組成部分。量綱計算的精確性並不能

消除歸因問題。測量一個量與解釋它的來源，是相互關聯卻不同的任務。

1.3 快照、結構幀與 MovieShot

狀態快照回答局部問題。當前利用量是多少？顯示安裝的是哪個版本？此刻是否有記錄？這些觀察有用。然而，演化問題需要將它們聯繫起來：版本是在故障前還是之後改變的？當前記錄是否對應先前的確認？同名指標是否保持其定義？作者提出的 MovieShot 將觀察組織在這些歷史關係周圍[MAN]。

歷史與時間早已是計算領域既有分支的一部分。日誌、分佈式追蹤、時態數據庫、狀態機和形式規約研究序列、因果關係與變換[L02, L78]。本書提出的貢獻應在這一對話中接受檢驗，其研究範圍是記憶、身份、義務和演化能力的連續性。提出自身視角，不要求聲稱此前的全部計算研究都忽略了歷史。

定義1.2 - 結構幀與 MovieShot

結構幀是在聲明範圍內對系統進行的帶上下文觀察。除數值以外，其意義還可能依賴時間參照、被觀察身份、來源、採集條件及相關關係。MovieShot 是各幀及其間聲明關係的有組織表示。該術語指作者的觀察性提案；表示是否充分取決於問題及實際取得的覆蓋範圍。

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

表達式1.2中的圓括號表示序列：位置與重複有意義。僅用花括號寫出的集合未必保留這些特徵。對於單個觀察者，序列可以遵循採集順序。在分佈式參與者之間，可能只有偏序。此時我們需要聲明已知關係，而不能

僅憑記錄位置虛構完整的物理順序。第2章將形式化這一區別。

很長的列表不會僅因積累了項目而成爲有用的 MovieShot。若單位改變卻沒有說明、標識符被重複使用，或展示中抹去了缺口，那麼表面連續的內容可能把不相容的觀察拼在一起。表示的質量將通過性質來考察：它能回答哪些問題？在何種條件下？仍有哪些可能的替代解釋？這種觀察承諾比承諾完整復現機器所做的一切更精確。

本提案中的結構時間描述相關變換的組織方式。步驟計數可以爲其編號，但不等於物理持續時間，也不自動衡量變化的重要性。兩個系統可以經過同一鐘錶時間區間，卻經歷不同數量和類型的變換。要將這種差異轉化爲可比較的量，必須選擇相關性標準、論域與尺度。討論結構量的章節將把這一構造視爲科學研究的一部分。

觀察單位一詞不應與自然界的最小物理單位混淆。一個幀可能足以回答某個問題，卻不足以回答另一個問題。其科學構成必須隨研究範圍而定：遷移中保留身份參照可能重要；中斷中保留確認與寫入之間的關係可能重要。只有先規定必須保留哪些區別，最小幀的概念纔有意義。記錄大小或生成頻率不能決定這種充分性。

1.4 相同當前狀態可能隱藏不相容的歷史

回到已確認請求。歷史A收到請求、寫入記錄、確認，然後發生中斷。歷史B收到請求，在寫入前確認，之後寫入，再經歷同樣中斷。恢復後，兩者都可能顯示已發出確認且記錄存在。然而，只有B經歷了確認缺少所需支撐的一段時間。相同的當前狀態不能判定這一歷史性質。

命題1.2 - 終態不能決定所有歷史性質

若兩段允許的歷史結束於相同的觀察狀態，而某個性質在兩段歷史中需要不同答案，那麼任何僅依賴該觀察狀態的函數，都無法對兩者正確判定該性質。

證明。函數在兩種情況下接收相同輸入，按函數定義給出相同答案。正確答案不同，因此它不可能與兩者均一致。對於請求，所考察的性質是每次確認都發生在要求的寫入之後。前述歷史A、B就是支撐論證的歷史對。結論相對於所選觀察而言：增加相關歷史信息，可以將這對歷史區分開。

例1.2 - 終態無法證明的承諾

假設最終報告只包含 a=1 和 d=1。它既與“寫入→確認”相容，也與“確認→寫入”相容。在寫入先於確認的義務下，第一個事件鏈有效，第二個無效。要考察這項義務，就必須保留事件關係中的某種區別。終態在模型中證明記錄當前存在，卻不能決定先前順序。

這種不可能性指導觀察設計的決策：保留必要的區別，而不只是更多數字。某些問題只需一個定義良好的歷史指標；其他問題需要事件、版本和實體之間的關係。第4章將建立性質可恢復性的一般標準。這裏，我們無需預設存儲架構，已能認出問題。

這個論證也排除了誇大的結論。它並不證明狀態無用。充分豐富的狀態可以包含有關差異的記憶，也不要求保留所有物理細節。選擇取決於系統承諾回答的問題族。在工程中，表示應相對於目的及聲明條件來評估，而非憑抽象的完整性承諾。

義務可以始終爲真，而服務沒有進展。若從未發出確認，則“確認蘊含記錄”的條件可以無限期滿足，同時沒有任何用戶得到結果。因此，保持與進展必須分別表述。本書後續考察的連續性將

同時包含不應違反的關係，以及系統應繼續提供有用功能的條件。

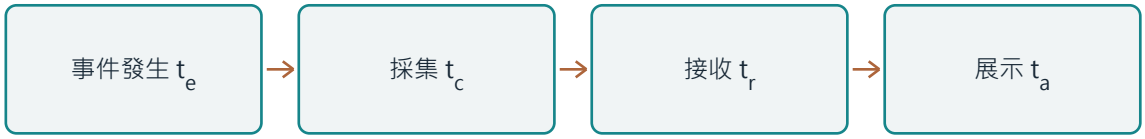
未知答案也需要在描述中佔有位置。兩次觀察之間缺少記錄時，不應以令人安心的故事替代缺口。我們可以說明兩個端點顯示了什麼，同時保留相容的其他可能性。這種態度不妨礙運行決策；它使負責決策的人知道哪些結論依賴假設。新證據到來後，可以修訂論證，而不改寫此前實際可用數據的性質。

1.5 實時觀察包含延遲、覆蓋範圍與未知

“實時”一詞常讓人以爲能立即接觸正在發生的事情。但真實觀察要經過路徑：事件發生、儀器檢測、信息傳輸、界面展示。每個階段都具有時長及運行條件。頻繁更新面板不會消除這條路徑。考察信息是否新鮮，需要區分各個時刻。

定義1.3 - 一次觀察的各時刻

t_e 是事件發生時刻；t_c 是採集時刻；t_r 是接收時刻；t_a 是展示時刻。要將這些值相減解釋爲持續時間，它們必須處於可比較的尺度。展示時的信息年齡爲 $t_a - t_e$。這個年齡並不證明狀態在該區間內保持不變。



讀取時刻不能替代事件發生時刻。

圖1.2 - 事件發生、採集、接收與展示是不同階段。圖中距離只是示意，不是延遲測量值。

命題1.3 - 展示信息年齡的分解

若四個時刻可比較，則年齡 $t_a - t_e$ 等於事件發生→採集、採集→接收及接收→展示三個區間之和。若要將每一項解釋爲路徑中非負的持續時間，還必須要求這些時刻按此順序排列。

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

證明。展開右側，t_c 和 t_r 抵消，剩下 $t_a - t_e$。這是代數恆等式。將其解釋爲三個持續時間，需要已聲明的順序與可比性。若各值來自不同且關係未知的時鐘，這個數值恆等式本身無法給出有效的物理信息年齡。

例1.3 - 展示狀態具有年齡

在同一尺度上，某事件發生於10.00 s，採集於10.20 s，接收於10.65 s，展示於10.80 s。年齡是0.80 s，即0.20+0.45+0.15。面板可以正在更新，卻展示先前事件的信息。計算不能確定該事件之後0.80 s內發生了什麼；這需要其他觀察。

覆蓋範圍與新鮮程度也不同。一個儀器可能快速展示部分事件；另一個可能以更長延遲展示更完整的歷史。對於某項義務，低延遲可能優先；對於另一項義務，保留關係與聲明缺口可能優先。工程應將這種選擇明確化。儀器沒有報告，必須始終能夠與“什麼也沒有發生”的陳述區分開。

帶許多小數位的時間可能造成不當信任。即使屏幕顯示微秒，時鐘不確定性、採集延遲及所表示時刻的約定仍然存在。下一章將介紹：當誤差界限已聲明時，如何求持續時間的區間。最初的問題是保留使計算成爲可能的信息。沒有來源、尺度與意義的時間值，可能不如一個帶有條件說明的較簡單標記有用。

1.6 從研究計劃到工程實踐

宣言給出一個方向：通過軌跡研究系統，並考察系統變化時什麼仍有用。將這一方向寫成工程書，需要區分四個層次。定義建立對象。假設限定模型。證明從假設推導後果。實驗考察模型及所選條件是否描述了所觀察的領域。一個層次有效並不自動替代其他層次的有效性。這項計劃的源流見於時間結構計算奠基宣言、原理專著及 Voigt 學派基礎文獻[TSC; PRINC; ESC]。這些來源記錄提案及其演進，不能替代本書的具體證明和評估。

研究程序首先選擇一項義務和一個邊界，隨後識別實體、事件、時間參照及觀察。提出結論，再尋找與相同數據相容、卻與結論矛盾的另一段歷史。若這種替代歷史存在，則有信息缺失，或需要額外假設。即使某個性質在模型中得到證明，研究仍必須考察其前提是否對應真實系統。

本書的科學承諾，是以可討論、可檢驗的方式呈現提案的數學。作者提出的量將附有含義、論域、已定義的單位及發展狀態。概念關係不會被當作已經校準的工具。物理類比不會僅因與另一學科共用一個詞就被提升爲普適定律。這一區分爲科學發展留下空間，也不隱藏尚未解決的問題。

示例使用合成數據，使計算可在紙上覆現。當結論需要測量時，必須規定數據來源和方案。目的不是用課堂示例證明產品質量，而是培養能夠識別承諾、構建模型、覈查推導，並評估將其用於實際運行所需證據的讀者。

接下來的章節將用狀態與事件語言表述不變式和軌跡。測量將變化與時長、累積及

不確定性相聯繫。函數與觀察之間的關係將說明哪些性質仍可恢復。這些基礎服務於全書核心問題：記憶、身份、結構量、恢復、治理及綜合研究。我們將通過工程能夠在變化過程中論證的關係來考察連續性。

閱讀路徑交替呈現具體問題、定義、推導與限制分析。第一遍閱讀可以跟隨問題並重算示例。第二遍應覈查每項假設在證明中用於何處。第三遍可以構造違反某個條件的替代情景，觀察哪個結論不再成立。這種方法使學習接近工程實踐：理解工具，包括識別其論域、所需數據，以及它獨自無法論證的決策。

結構連續性通過變換過程中對已聲明的記憶、身份和完整性義務的履行來評估，並須明確論域、條件及時間分辨率。這是第7章考察的工作定義。持存指按某種標準繼續存在；身份指與某個參照相容；完整性要求關係有效；恢復指回到可接受條件。任何一項陳述，單獨都不能建立完整的連續性承諾。

本提案與既有知識對話。形式方法已處理狀態、不變式與精化[L02]；動力系統聯繫演化、輸入和輸出[DYN11]。時態數據庫區分事實的有效時間與記錄時間[TDB00]。溯源組織來源與責任[PROV13]，遙測則匯聚信號與上下文[OTEL]。要求覈查與使用驗證已屬於系統工程[NASA16]。可靠性研究也專門處理不完整數據[NREL]。異常檢測依賴領域與上下文[ANOM09]；預測需要時間順序評估[HA21]。具有記憶和反思的智能體已經得到研究[GA23]。統計信息與計量具有各自定義[IT16; VIM]。這裏提出的貢獻，是將歷史問題、參照及連續性義務組織爲可審計的論證。這種綜合不能證明每個組成部分的優先權，也不能證明優於其他方法。證明額外收益，需要與針對相同問題、具備同等觀測條件的方法進行比較。

1.E 精選練習

1.1 | 解釋。一個應用在重啓後恢復響應，卻找不到故障前已經確認的請求。提出兩項不同義務，說明哪些信息能用於考察每一項。

1.2 | 計算。比較50 W持續12 s與75 W持續8 s。在功率恆定假設下計算能量，並解釋這些總量不能決定的兩項運行性質。

1.3 | 證明。構造兩段確認與寫入終態相同、但這些事件順序不同的歷史。說明爲何終態無法判定“寫入先於確認”的性質。

1.4 | 研究。某項信息的展示既沒有采集時間，也沒有缺口說明。提出一個仍可回答的問題，以及另一個需要額外上下文才能回答的問題。說明爲何頻繁更新不能獨自解決第二個問題。

第02章

狀態、事件與時間

工程歷史需要聲明：什麼可以改變，哪些關係限制改變，以及時間如何進入結論。

學習目標：構建狀態、事件與執行模型；證明一個不變式，並找出支撐它的假設；聯繫依賴、併發與時長界限；區分時長、順序與存在情況的記賬。

先修要求：第1章的連續性問題與帶上下文觀察；有限集合、函數、不等式及正文解釋的歸納法。

2.1 邊界將情景轉化爲模型

已確認請求的問題涉及太多部件，無法一開始就處理整臺機器。我們選擇四個變量的描述：p 表示易失性工作，d 表示持久記錄，a 表示已發出確認，q 表示運行狀態。前三個值爲二元值；q 可以是 on 或 off。它們不是內存的全部內容，而是模型爲考察某項特定義務保留的區別。

將符號理解爲簡單思想的縮寫。元組是有序列表，改變元素位置可能改變其意義。符號 × 形成組合，⊆ 讀作“包含於”。因此 $R \subseteq X \times E \times X$ 選出允許的三元組：出發狀態、事件、到達狀態。X_0 彙集可作爲起點的狀態。以下公式組織這些選擇；表格將說明如何使用它們。

定義2.1 - 轉移系統

轉移系統是元組 $M=(X, E, R, X_0)$：X 是狀態集合，E 是事件集合，$R \subseteq X \times E \times X$ 是轉移關係，$X_0 \subseteq X$ 是初始狀態集合。R 允許的轉移 (x, e, y) 描述以事件 e 從 x 到 y 的可能變化。它本身不賦予概率或時長。

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

狀態空間共有2×2×2×2=16種可能描述。其中一些可能永遠無法按所選規則到達。必須區分取值空間與允許的執行。數學上可表示的狀態可能違反約定；這並不自動使它在真實系統中不可能發生。有關初態和轉移的假設，才讓我們能夠證明模型能到達哪些描述。

事件	條件	變化
接收	q=on	p 變爲1
寫入	q=on 且 p=1	d 變爲1
確認	q=on 且 d=1	a 變爲1
故障	q=on	p 變爲0；q 變爲 off
恢復運行	q=off	q 變爲 on

表2.1 - 單個請求的教學模型。未提及的分量保持不變；在允許的轉移之間，持久記錄不會丟失。

表格規定用於研究的可能性，不是一種實現。同一個事件在使能條件滿足時可以再次發生。在這個範圍中，重複事件涉及同一請求；區分多個請求需要增加身份與對象羣體。故障保持 d 的假設具有決定性；模型用於實際情景時，必須與所研究的存儲和故障類型對照。

粒度同樣重要。把完整寫入視爲一次轉移，就把其中間狀態排除在描述之外。若故障可在內部發生並造成部分結果，就需要擴展模型。稱一次轉移爲原子性轉移，意味着明確的表示選擇，或已在其他層次證明的承諾；這個形容詞本身不會創造物質保證。

邊界還定義了什麼被稱爲持久狀態。應用承認的記錄可能依賴另一個部件，而該部件的條件不在 X 中。若問題需要考慮此依賴，就必須將其納入，或聲明所假定的外部約定。小模型的精確性來自這種

限定範圍的紀律。沒有問題導向地增加變量，不能保證描述更加有用。

集合 E 爲事件命名，但關係 R 決定事件何時允許發生。“確認”一詞存在，並不意味着它可以在任何狀態中應用。執行必須在使用事件之處滿足每項條件。分開詞彙與規則可以避免常見混淆：名稱歷史看起來合理，卻可能遺漏使其有效的必要條件。覈查歷史時，讀者應跟蹤連續狀態，而不只是認出熟悉的操作序列。

2.2 執行、前綴與不變式

定義2.2 - 執行與可達性

有限執行是序列 $\rho=(x_0, e_1, x_1, \ldots, e_n, x_n)$，其中 x_0 爲初始狀態，且每個轉移屬於 R。前綴在同一執行中較早的某一步結束。若一個狀態是這樣定義的某次執行的最後狀態，則稱其可達。零步執行已到達初始狀態。

執行保留順序與重複。接收、寫入與確認事件不只是集合：交換位置可能改變有效性，重複其中一個也可能影響問題。序列順序代表模型允許的一次執行。只有爲事件關聯時間參照後，時長才會出現。

“確認要求記錄”的義務可寫成 $I(x): a \le d$。因取值爲二元值，$a=1$ 要求 $d=1$。不變式是在所有可達狀態中都成立的性質。變量無需保持常數；保持的是關係爲真。這一區分讓我們能夠推理變換，而不把保持與靜止混淆。

命題2.1 - 通過歸納保持

若 I 在初始狀態中成立，並且從任何 I 爲真的可達狀態出發的每個轉移，都到達 I 爲真的狀態，則 I 是 M 的不變式。

證明。沒有轉移的執行結束於某個初始狀態，在那裏 I 成立。假設任意 n 步執行結束時 I 爲真。一個

n+1步執行具有一個 n 步前綴；由歸納假設，其最後狀態滿足 I。關於轉移的假設使 I 在最後一步得到保持。歸納覆蓋全部有限步數，因此覆蓋所有可達狀態。

例2.1 - 確認條件的作用

初始狀態中 a=d=0。接收與恢復運行不改變 a 或 d。寫入增加 d 而不增加 a。確認要求 d=1；故障保持 d 和 a。因此所有轉移都保持 a≤d，命題2.1證明了不變式。若確認改爲僅要求 p=1，則“接收→確認”的執行將到達 a=1、d=0。這個反例說明哪個條件支撐了保證。

這類證明提出兩項義務：基礎條件與保持條件。正確的轉移不能修復錯誤的初始條件；正確的初始條件也不能防止規則破壞性質。證明保持時，常常需要更強的輔助關係。遇到這種困難，可能揭示模型尚未區分的信息。

安全性與進展需要不同論證。a≤d 條件阻止無記錄的確認，但不強制請求結束。“接收→故障→恢復運行”的序列可以在沒有寫入的情況下重複。要求每個接納的請求都得到響應，需要關於故障、調度和環境的假設。僅保持不變式，不足以證明服務會繼續履行其功能。

對於無限執行，若狀態性質在每個有限前綴中保持，則它在該執行的每個位置都成立。這不會增加進展保證。“只要存在確認就總有記錄”考察每個位置；“每個請求都會得到響應”則要求推理執行的未來。故障最終停止，或使能活動獲得處理，可能是第二個結論的關鍵條件。稱某次恢復爲充分時，這一區別很重要：必須說明它實際恢復了哪項義務。

精選解答

第1章

下列內容保留全書中與本樣本練習對應的解答。

練習1.2

乘積爲50×12=600 J和75×8=600 J。單位是焦耳，因爲 W=J/s。相等關係依賴所假定的恆定功率。它不能決定各事件時刻或確認的正確性，也不蘊含最大功率或時長相等。

練習1.3

“接收→寫入→確認”和“接收→確認→寫入”兩段歷史，都可能結束於已發出確認且記錄存在。前者遵守先寫入的義務，後者違反。只依賴終態的函數接收相同輸入，因此不能對兩者都正確判定。結論要求該函數沒有其他可用的歷史信息。

從最初問題到形式化

編輯銜接 - 第7章選段

開篇跟蹤了一個其承諾必須跨越變化的請求。第7章再次提出：什麼必須仍可恢復，哪些關係必須繼續有效？這段編輯銜接呈現全書中的兩個選段，並明確標識補充解釋。示例是合成的；表格組織模型內的結論。二者都不是產品測試。

變化中的承諾

編輯上下文。記憶充分意味着保留對所選論域內已聲明問題的答案。身份和完整性需要各自標準。評估節點是一個評估點；驗證兩個端點並不能證明它們之間發生了什麼。

詳解例7.4 - 端點不能結束評估

一次維護包含三個評估節點。在第一個節點，請求與策略有關聯。遷移期間，請求仍可訪問，但其策略不可用。在第三個節點，副本使關係得以恢復。若承諾要求在三個節點都能識別策略，則最終結果不能證明第二個節點也滿足要求。若承諾預先允許該時段不可用，結論則不同。問題族、訪問義務及時間安排必須先於評估。報告局部缺口已經足夠，無需給整個身份賦予一個數值損失，也無需聲稱事件抹去了歷史。

編輯解釋

該例說明一個區別：最後恢復了關係，不證明要求的中間節點也曾具備可用性。當所需數據僅僅未到達觀察者時，也不能據此證明記憶丟失。約定必須分開信息保持、訪問可能性與可用證據。第7.8節形式化這些承諾；其中命題7.5依賴記錄恢復與語義傳遞方面的特定假設。

選段來源：全書第7.7節，詳解例7.4。框旁解釋爲本演示樣本新增內容。

證據支持什麼結論？

表7.1的編輯上下文

第7.8節固定一個非空的允許歷史論域 H、評估節點及約定。$C^{+}_{H}(h)$ 是目標處的承諾：它彙集記憶對問題的全局充分性，以及歷史 h 的身份與完整性義務。這是邏輯謂詞，不是數值評分。

觀察 V 產生證據 e。H_e 彙集 H 中與之相容的歷史。表中 $C^{+}H$ 是 $C^{+}_{H}(h)$ 的簡寫。縮小 H_e 不能證明在論域 H 上原本不成立的全局記憶充分性。

與證據相容的情形	模型內結論
H_e 非空；所有歷史均滿足 $C^{+}H$	在所選範圍內，有證據支持滿足。
H_e 非空；所有歷史均違反 $C^{+}H$	在所選範圍內，有證據支持違反。
H_e 同時包含滿足與違反的歷史	無法確定：觀察不能判定。
H_e 爲空	沒有相容案例：檢查論域、觀察模型或證據。

表7.1 - 在論域與承諾固定時的評估狀態。“無法確定”不是真實性質的第三個真值；空集不允許憑空真意義下的全稱滿足得出合規結論。

分類的適用範圍

完整歷史中的性質非真即假；無法確定描述的是評估狀態。將此表應用到現實世界，需要論證論域及觀察的忠實性。沒有相容歷史時，應檢查模型或證據。判斷侷限於已聲明的評估節點，不保證未觀察區間，也不保證按時響應。

選段來源：全書第7.8節，表7.1。其作用是區分真值、證據與推斷限制。本銜接不替代定義、命題7.5或其證明。

本演示版參考文獻

以下來源實際引用於所選內容。作者存儲庫出版物、機構文件、技術文獻及產品文檔具有不同性質。DOI 標識記錄，不構成證明或獨立驗證。

[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. 技術著作；用於狀態、動作、不變式與組合的參考。 訪問日期：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. 訪問日期：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 與 Munther Dahleh。 訪問日期：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. 訪問日期：2026年10月29日。 https://www2.cs.arizona.edu/~rts/tdbbook.pdf

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

[OTEL] OPENTELEMETRY. Observability primer. 官方文檔。 訪問日期：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節，Product Realization。 訪問日期：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節，Censoring。 訪問日期：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. 訪問日期：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. 訪問日期：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. 作者發表於存儲庫的文獻。 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. 作者發表於存儲庫的文獻。 https://doi.org/10.5281/zenodo.21268037

參考文獻（續）

[ESC] VOIGT, Rafael Felippe. Foundations of the Voigt School of Temporal Structural Computing. Zenodo, 2026. 作者發表於存儲庫的文獻。 https://doi.org/10.5281/zenodo.20208382

[IT16] POLYANSKIY, Yury; WU, Yihong. Lecture Notes on Information Theory. MIT OpenCourseWare, 6.441, 2016. 熵與條件分佈。 訪問日期：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。條目1.1及1.26。 訪問日期：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節 · Time series cross-validation。用於按時間順序評估的參考；本書數據及告警關聯屬於教學用途。 訪問日期：2026年10月29日。 https://otexts.com/fpp3/toolbox.html#time-series-cross-validation

免費演示樣本 | 2026

當系統發生變化，什麼必須延續？

系統可能仍在運作，卻失去理解其歷史所必需的關係。如何識別這種損失？當元件、規則和模型發生變化時，什麼必須保持？

本書介紹結構連續性工程這一方案及其時間結構計算基礎，將狀態、事件與軌跡同記憶、身份、完整性及義務的保持聯繫起來。

定義、命題、證明、例題與練習為研究人員、工程師、教師和學生構建學習路徑。研究案例涉及計算系統、基礎設施和人工智慧，並涵蓋累積數位資本。讀者將學習檢驗哪些內容得到保持、哪些義務遭到違反，以及現有證據尚不能支持哪些結論。



瞭解葡萄牙語完整版

Rafael Felippe Voigt

voigtcore.com.br/ciencia

葡萄牙語完整版

ISBN 978-65-970107-0-7

ISBN: 978-65-970107-0-7

9 786597 010707