

控制论浅述

Н. 格林尼斯基

科学出版社

73.82
466

控制論淺述

H. 格林尼斯基著

甘子玉譯

zk597/12

科学出版社

1963

H. Greniewski
ELEMENTY CYBERNETYKI SPOSOBEM
NIEMATEMATYCZNYM WYŁOIONE

Państwowe Wydawnictwo Naukowe

1960

內 容 簡 介

这是一本概述性的入門书，其論述程度介于專門論著与通俗介紹的小冊子之間。书中首先讲述控制論的基本概念、研究对象、研究的内容和方法，随后即順次叙述如何运用控制論的概念来建立生物模型、行为模型。对于信息和語言的形式运算，建立邏輯模型（模拟計算和翻譯工作）和經濟活动模型等問題，也作了簡明的解說。本书的讲述体系和其中的若干概念，虽然不是成熟的定論，其中有一些是需要討論、商榷的，但是可以帮助讀者了解控制論的一些基本概念和概貌。本书原名为“不用数学解釋的控制論”，叙述的方法比較淺近，即使是在数学、电子技术和生物科学等方面的准备知識不够充分的讀者，也还可以看得懂。

控 制 論 淺 述

H. 格林尼斯基著

甘 子 玉 譯

*

科學出版社出版（北京朝陽門大街 117 号）

北京市書刊出版業營業許可証出字第 061 号

北京市印刷一厂印刷 新华书店总經售

*

1963 年 8 月第 一 版

書号：2734 字数：100,000

1963 年 8 月第一次印刷

开本：850×1168 1/32

（京）0001—5,400

印張：4 1/8

定价：0.70 元

譯 序

“控制論”這個名詞是 N. 維納在 1947 年才提出來的。十幾年來，由於自動控制和計算技術等新技术發展的刺激，這門學科的發展極為迅速。但是，這門學科畢竟是很年青而尚未完全定型，因此，現有的控制論書籍大都是比較專門的論著，或者是通俗介紹控制論的意義和用途的小冊子，入門的概述性的書籍還不多。

波蘭控制論學者 H. 格林尼斯基博士所寫的這本書，正好介於專門論著與介紹性的小冊子之間。本書比較系統地解釋控制論的若干基本概念和基本系統，敘述的方法比較淺近，即使是在數學、電子技術和生物科學等方面的準備知識不夠充分的讀者，也還可以看得懂。

正如作者在前言里所說的，到目前為止，控制論這門學科尚缺乏定型的和成熟的敘述方法，許多概念還有待討論，還沒有出現標準的教科書。因此，這本書的講述體系和其中的若干概念，是作者的一個嘗試，它不是已經成熟了的定論，其中有一些是需要進一步討論、商榷的，但是它可以幫助讀者理解這門學科的概貌與一些基本概念，適合於對控制論有興趣的讀者閱讀。

本書從講述控制論的基本概念、研究對象、內容和方法開始，順次敘述如何運用控制論的概念來建立生物模型、行為模型。對於信息和語言的形式運算、建立邏輯模型（模擬計算和翻譯的工作）和經濟活動的模型等問題，也有簡明的解說。作者在本書中曾着重說明，有生命的對象和無生命的對象是有着本質的區別的。這個說明非常重要。讀者應該注意，在提到模型或自動機器具有條件反射、思維能力、學習能力等“擬人化”的詞句時，那只是指這些由人類勞動所創造出來的模型或自動機器，在某些方面、在一定

程度上能够模拟某些生命或智慧活动的一部分而已。至于资产阶级“思想家”們，妄图利用和曲解控制論的最新成就，鼓吹“机器比人聪明”、“控制論与自动化能够解决一切社会經济問題”、“社会規律可以归結为‘控制科学’的規律”等等，这些当然是利用控制論而进行的荒謬歪曲，这和控制論的实驗研究与科学的理論探討，完全是两回事。我們應該在馬克思主义观点的指导下，一方面吸收和发展控制論研究中正确的、科学的内容，一方面批判和揚弃其中錯誤的、唯心主义的东西。对于目前流传的一些錯誤观点，科学出版社出版的 N. 維納“控制論”的譯者序中，已經作了初步的分析批判，讀者可以參閱那篇譯序。

本书原名为“不用数学解释的控制論”，1960 年在波兰华沙出版。同年譯为英文。本书是根据英譯本*翻譯的。在个别的地方，中譯者加了一些簡單的註解，均以“譯者註”标明。

譯者热誠期待对譯文提出批評与指正。

譯 者

一九六二年九月

* “Cybernetics Without Mathematics”，1960 年版。

前 言

凡是曾經从事科学普及工作的人，都会認識到，这项工作是不容易做好的。

基本的矛盾在于解释的明晰程度与篇幅的大小。对一門学科所作的簡要解說，常常不够清楚，讀者需要集中注意来研讀，因而感到苦恼。反之，如果一篇文章、一本小册子或一本书写得过长，也会使讀者感到厌倦。在这上面，需要取得一个恰当的平衡，这是首先要克服的一种困难。

科学知識的普及，往往需要对概念、証明和解释作出适当的簡化。这里孕育着一个危險。讀者可能只从作者文字的表面来看問題，容易得到一种错觉，以为这門学科的概念和原理，正是象他現在所閱讀的讀物那样簡單容易。

当我們要讲述象控制論这样年青的学科时，还会增加其它的困难。从控制論的現狀和成就来看，它是一門重要的科学，普及的需要业已成熟。但在另一方面，控制論是在第二次世界大战中才誕生的，在科学史的时间尺度上，它还处于嬰兒时期。当一門学科非常年青而发展极为迅速时（控制論正是处于这种状况），如果要断定在这門学科中哪些概念是最重要的，这是一桩相当困难的事情。

因此，到目前为止，还没有对控制論的經典式的說明。特别是控制論这門学科的基础，还没有人用或多或少地被公认的任何方法加以系統地整理。这种情况并不奇怪，因为科学史給我們表明，沒有哪一門学科的历史发展是从它的邏輯基础上建立起来的。相反地，一門学科的邏輯的基础，却往往在它的发展后期才能完成。

看来，在本书中，与其給讀者一大堆具体細节和彼此关系不明

的片断事实,还不如对控制論的現有系統作出比較詳細的解释,或至少是提綱挈領的解說。这样写,是比較合理的。

因此,作者决定在这本书里,对控制論提供一个普及的但却是系統的解說,甚至按我的見解,对它的基础作出綱要式的叙述。作为基本概念,我在此引入了一个“相对孤立系統”的概念。

这样,我就大胆地违反了一个业已形成的传统:一門学科,只有取得一定程度的經典形式之后,才能普及化。

在这里,我只能說明,我自己关于控制論基础的观点,最初是在一九五六年第一屆国际控制論會議上[在比利时的納繆尔(Namur)召开的]提出的*。其后,在同年,匈牙利科学院在巴拉頓維拉哥斯(Balaton-Vilagós)召开的由拉茲罗·柯尔馬尔(László Kolmar)教授主持的一次討論数理邏輯和控制論的学术會議上,我又发表了这些看法。在这两次,我都没有遇到反对性的意見。因此,可以說,这本书并不是叙述任何已經普遍公认的概念,而是系統地解說一个目前还没有反对意見的观点。

控制論誕生于許多門学科的边緣,尤其是在工程技术、生物科学、数学、数理邏輯等学科之間出人意外的边緣地带。渊博地熟悉这些边緣領域,是超出任何一个个人的能力之外的。因此,在本书的解說中,必然存在着若干缺点。

尽管作者有着极良好的願望,如果讀者还苦于本书有点“难于消化”时,請想象一下作者在写作本书时所要克服的許多困难,就将得到安慰。

一本科学书籍,特别是科学普及书籍,从最初的印象看来,属于作者个人自己独特的东西,总是比較少的。作者总是他的前輩的继承者,甚至在他反对前人的意見时也是这样的。他的声音,在

* 作者在这里提到的控制論基础的观点,見 1958 年在納繆尔和巴黎出版的“第一屆国际控制論會議會報. 1956 年 6 月”(Proceedings. The 1st International Congress on Cybernetics. Namur, June, 1956)。作者提出的論文题为“邏輯学与控制論”(Logique et Cybernetique),該論文的摘要(法文)載于會報的第 117 頁至 119 頁。——譯者註

一定程度上，往往是老师、朋友、同事告訴他的話的回聲。在這方面，本書也並不例外。作者對於下面所提及的友人，謹致很大的謝意。

如果沒有 T. 科塔爾賓斯基 (Tadeusz Kotarbinski) 教授的講學和著作的影響，本書中行為模型這一章就可能寫不出來。這一章中所包含的許多觀點，也是同 S. 曼沙斯基教授 (Stefan Manczarski)、J. 沙比羅博士 (Jerzy Szapiro)、S. 布格斯拉夫斯基博士 (Stanislaw Boguslawski) 交談的結果。

同布加勒斯特的 G. 莫依薩教授 (G. Moisil) 以及同 O. 烏茲塔司維契博士 (Olgierd Wojtasiewicz)、K. 斯沙尼亞夫斯基博士 (Klemens Szaniawski) 的討論，無疑地也反映到“邏輯模型”一章的講述中。

沒有 O. 朗格教授 (Oskar Lange) 的建議，我也許不會有寫出“經濟模型”一章的念頭。這一章所提出的概念，也受到和鹿特丹 (Rotterdam) 的 J. 梯恩伯金教授 (J. Tinbergen) 交談的影響。我應該感謝波蘭科學院度量經濟委員會的同人們——已故的 H. 哥爾維契女士 (Halina Górwicz)、W. 哈格瑪佐博士 (Włodzimierz Hagemajer)、A. 查列布夫契烏克博士 (Alojzy Ghlebowczyk) 和 W. 薩道夫斯基先生 (Władysław Sadowski)，他們向作者提出了許多有價值的建議。

圖解在本書中起着重要的作用，這一點讀者將會欣賞的。這應該歸功於 M. 哥特格夫人 (Maria Goettig) 的技巧。

本書的英譯本，是由 O. 烏茲塔司維契博士翻譯的，K. 斯沙尼亞夫斯基博士看了譯稿，並經 G. 畢德威爾先生 (G. Bidwell) 校正過。

作者感謝所有為本書出力的人們。

H. 格林尼斯基

目 次

譯序	iii
前言	v
第一章 基本概念	1
1.0 相对孤立系統	1
1.1 時間序列、状态序列、时-态函数	2
1.2 刺激与反应	3
1.3 四种系統类型	3
1.4 进向可靠系統	3
1.5 进向不可靠系統	4
1.6 反应時間	5
1.7 回向可靠系統	5
1.8 回向不可靠系統	6
1.9 决定函数和反决定函数	6
1.10 对偶性	6
1.11 相对孤立的假說	7
第二章 基本概念(續)	9
2.0 輸入信息系統、輸出信息系統、信息系統	9
2.1 图解方法	10
2.2 “0-1”系統	10
2.3 重复系統	12
2.4 系統的代数学	13
2.5 輸入和輸出的二元化	13
2.6 串联耦合	15
2.7 反饋耦合	16
2.8 負反饋	18
2.9 正反饋	19
2.10 并联耦合	21
2.11 自耦合	21
2.12 輸入、輸出和輸通	21

2.13 耦合的矩陣	21
第三章 控制論的学科內容与方法	23
3.0 科学与元科学	23
3.1 构成系統的事物	24
3.2 控制論的学科內容	27
3.3 基本概念的比較註釋	28
3.4 相对孤立系統的理论	29
3.5 分析	30
3.6 綜合	30
3.7 建立模型	31
3.8 数学和邏輯的作用	31
第四章 生物模型	33
4.0 引言	33
4.1 最簡單的条件反射模型	35
4.2 討論	40
4.3 教学过程的模型	42
4.4 結語	46
第五章 行为模型	48
5.0 引言	48
5.1 行为者和行动对象	48
5.2 不能調节的执行工具	50
5.3 可調节的执行工具	51
5.4 执行工具和一个代用效应器的耦合	53
5.5 不能調节的观察工具	56
5.6 可調节的观察工具	57
5.7 观察工具和一个代用感受器的耦合	59
5.8 一个执行工具加上一个观察工具	63
5.9 智慧工具	65
5.10 人类的合作	67
5.11 自动机器	69
5.12 結語	71
第六章 信号与表述、符号与語言	73
6.0 引言	73

6.1 有序偶	73
6.2 信号和符号	75
6.3 表述和語言	75
6.4 作为有序偶的外現語义表述	77
6.5 作为有序偶的非外現語义表述	78
6.6 語义思維和語义通信	78
6.7 形式表述	80
6.8 对表述的形式运算	81
6.9 語义語言、形式語言和混合的語义-形式語言	82
6.10 眞实表述、选出表述、必要的眞实表述	83
6.11 形式化、模型化、自动化	84
第七章 邏輯模型	86
7.0 引言	86
7.1 相互矛盾的信息之核对	86
7.2 并联核对系統	87
7.3 二进位系統	91
7.4 算术运算	94
7.5 串联加法系統	97
7.6 从一种語言到另一种語言的形式翻譯	103
7.7 翻譯例一	104
7.8 翻譯例二	107
7.9 翻譯例三	107
7.10 翻譯例四	109
7.11 結語	109
第八章 經濟模型	110
8.0 引言	110
8.1 生产和消費	110
8.2 貿易	111
8.3 計划和报告	112
8.4 中央計划經濟	113
参考文献	116

第一章

基本概念

1.0 相对孤立系統

“相对孤立系統”不是一个新概念,在自然科学中,它已經被运用了許多世紀(虽然还不是明确的),至少从希波克里特斯(Hippocrates)的“Corpus”(身体)*一书那时就开始了(参閱文献 L. 5)。但是,把这个概念明显、精确地运用,却是由于控制論的需要(参閱文献 G. 7)。而且,这个概念的精确运用,对于归納法邏輯和比拟邏輯也是很重要的(参閱文献 G. 5, G. 6, G. 9, S. 5, S. 6)。

这个概念的含义是什么?我們可以先讲一下“绝对孤立系統”。绝对孤立系統是:

(1) 它不被宇宙間其它事物所影响;

(2) 它对宇宙間其它事物也不能施加影响(这样的一种系統实际上能否存在,这里先不討論**).

至于“相对孤立系統”,是指任何一个具有以下两个特性的系統(而且也只是符合这两个特性的系統)。即:

(1) 它受宇宙間其它事物的影响,但这种影响只应是通过特定的途径,叫做“輸入”;

(2) 它对宇宙間其它事物施加影响,但这种影响只应是通过特定的途径,叫做“輸出”。

上述的概念,其本源虽然是很简单的,但是也有若干复杂情况。比如,应该考虑自我影响的系統(象自我校正系統)的情况。

* 希波克里特斯,古希腊医学家、生理学家,約生于公元前460年,死于公元前377年。流传至今的著作,見公元前三世紀 时由多祿某王下令輯集整理的希氏全集(共60冊)，“身体”一书即收在此集中。——譯者註

** 自然界中各个对象(或現象)是互相联系、互相依賴、互相制約的。绝对孤立系統在实际上并不存在。这里提出绝对孤立系統的抽象概念,自然是为了說明相对孤立系統,拿来作比較用的。——譯者註

对于系统中的某些(不是全部)输出同时也是输入的情况,即反馈耦合的系统,也是应该承认的。

我们首先要研究的基本概念,是关于相对孤立系统的概念。对于“输入”和“输出”的含义,我们很难给予足够精确的规定,它们都是抽象的概念。只有我们把它当作是“原始名词”,并把一定的公设引入这两个概念中,才能给予精确的含义。这就是说,它们只能用在初等几何学中对于“点”、“面”等名词的解释方法,才能得到准确的描述。对于本书的普及目标来说,这些公设可能是太复杂了,我们不如在这些根本的困难面前闭上眼睛,而采取一种比较简单化的解释方法。

1.1 时间序列、状态序列、时-态函数*

在每一个给定的相对孤立系统中,每一个输入和输出都具备有:

(1) 它的时间序列,即:至少是包括两个元素的一组瞬息时间,或时间间隔;

(2) 它的状态序列,即:一组可分辨出来的各个状态(以下简称可辨状态)。

在一个给定系统中,任一个输入和任一个输出,在它的时间序列中的任何瞬间,都只能有一个可辨状态。

在一个给定的输入(或输出)的时间序列中的各个元素,与一个输出(或输入)的状态序列中的各个可辨状态之间,可以形成一个关系。这一关系所构成的函数,叫做这一个输出的时-态(时间-状态)函数。时-态函数这个概念,可以比拟于导弹的“弹道”。“弹道”是指在各个瞬间与导弹的相应的空间位置之间的函数关系。我们给弹道以一个更加概括的含义,即时间序列中不同要素(或时间间隔)与已知输出(或输入)在某一抽象空间中各个可辨状态之间的函数关系。这就是时-态函数的概念了。这里所说的抽象空

* 这三个名词,原书是借用:calendar(日历)、repertory(节目表)、trajectory(弹道)三词,以利于读者理解。但是译者认为,对我国读者来说,还不如用它们的本来意义更易理解和记忆,而且对于以后各章节中运用这几个概念更有利。所以,在这里直接运用时间序列、状态序列和时-态函数三个术语。因为这个缘故,在本段中解释时-态函数并弹道比拟的几句话,在译文上略有改动。——译者註

間，就是各个可辨状态的状态序列。

1.2 刺激与反应

对于“一个輸入的一个可辨状态”这个詞，我們可以简单地用“刺激”来代替；对于“一个輸出的一个可辨状态”这个詞，我們可以“反应”来代替。

时-态函数这个名詞，是从力学中“弹道”这个概念轉借来的，而且正如上面所說，把它的含义概括化了。同样地，“刺激”和“反应”兩詞，是由生理学和心理学借用的，但是其意义也相当地概括化了。这种从其它专门学科术语中借用詞語，并使其含义概括化的办法，看来是建立控制論专用术语的有效方法。

1.3 四种系統类型

相对孤立系統可以分为四种类型：一种分类法是按可靠系統和不可靠系統区分，另一种分类是按进向系統和回向系統区分。

人們有理由問：(1)輸入和輸出的区别是什么？(2)刺激和反应之間存在着什么关系？要解答这两个問題，可以分別就每一种类型的系統来解說。

1.4 进向可靠系統

这种系統具有如下两个特性：

- (1) 每一个輸入的状态序列，至少包括有两个可辨状态；
- (2) 任何輸出的現時可辨状态，由这个給定系統的各个輸入的过去和現时的可辨状态所完全决定。

上述第(2)項，叫做局部决定原理。

我們举两个进向可靠系統的例子：

(1) 钥匙与鎖的系統，可能就是最简单的一种进向可靠系統了。显然，钥匙就是唯一的輸入，而鎖的鎖上，則是系統的唯一輸出。“鎖門”这种状态，恒为钥匙的过去状态(钥匙的轉动)所完全决定。

(2) 假設有一个結構完善的电气装置，与电源相接，具有一个开关及两根导綫，在綫端装有一良好灯泡。这里开关是唯一的輸入，而灯泡是唯一的輸出。灯泡的状态，由开关的現時状态所完全

決定。

1.5 進向不可靠系統

這種系統具有如下兩個特性：

- (1) 每一個輸入的狀態序列，至少包括有兩個可辨狀態；
- (2) 任何輸出的現時可辨狀態，由給定系統各個輸入的現時和過去的可辨狀態所決定，其決定的概率常數大於 50%。

上述第(2)項，叫做局部或然決定原理。

下面的一個例子，雖然非常簡單，但也能說明問題。在桌子上有兩個瓶子（我們把它簡稱為右瓶和左瓶）。瓶子里放有黑白兩種顏色的球。左瓶里大多數放黑球，右瓶里大多數放白球。每一次把手伸入瓶子中取出一個球，有時從左瓶取，有時從右瓶取，這是完全隨意的。每一次只許取出一個。每次取出的球放在桌子上。在下次再去取球時，把已放在桌子上的球歸回原來取出的瓶子里。這是一個進向不可靠系統。輸入是取球的手的動作，輸出是放在桌子上的球的狀態。輸入的狀態序列中包括兩個可辨狀態，即：用手伸進左瓶的運動，用手伸進右瓶的運動。輸出也有兩個可辨狀態，即：在桌子上出現黑球，在桌子上出現白球。如果用手伸進左瓶，黑球出現在桌子上的概率大於 50%；如果用手伸進右瓶，白球出現在桌子上的概率也是大於 50%。

按照哲學上的決定論看來，每一個進向系統都是可靠的，但是，我們的生活經驗往往告訴我們，似乎每一個進向系統都是不可靠的。這個表面上的矛盾，也很容易用哲學上的決定論去解釋。在實際生活中，我們難得知道一個進向可靠系統的所有的各個輸入，因此，它們被我們的無知弄混淆了，所以這個系統看來就是不可靠的系統了*。

* 唯心主義者反對決定論，他們硬說世界上各種事物的自然過程並不服從規律性、因果性，這當然是荒謬的。十七世紀到十九世紀，自然科學中形成了機械唯物論的世界觀，企圖用牛頓力學來解釋一切自然現象。機械唯物論者把因果性和必然性混為一談，把偶然性和必然性絕對地對立起來，否認客觀世界的偶然性，企圖用拉普拉斯的機械決定論來解釋一切。這種認識也是不對的。在微觀世界中，拉普拉斯的決定論和牛頓力學就走不通了。

罗素(B. Russell) 曾經举过一个著名的例子, 來說明事件决定序列这一概念的不可靠性(参閱 R. 2)。假設把一个硬币放进自动售票机中, 而正好当时发生突然地震, 則售票机不能送出入场票。打个不大严格的比喻, 进向可靠系統就正如一个保証不会遇到地震的售票机一样(虽然这个比喻不是十分精确的)。即使这个担保不是百分之百的可靠, 但已經有了高度的可靠性。在这种情况下, 严格地說, 这个系統是进向不可靠系統, 但它能够很方便地經過近似处理, 当作是一个进向可靠系統。当然, 如果是另外一种情况, 这个售票机并没有得到上述保証, 那它就是一个进向不可靠系統了。

1.6 反应时间

我們經常处理的是进向系統的問題(包括可靠的或不可靠的), 在这种系統里, 过去的或現时的輸入状态, 对現时的輸出状态的作用(参閱第 1.4, 1.5 节), 是受如下条件所制約的:

一个給定系統中的每一对輸入和輸出, 其間都需要有一定的非負数的時間单位。这是发生反应所必需的时间, 叫做反应时间, 或称时滯。如果在成对的輸出、輸入中, 刺激发生在时滯之前, 那么, 它对輸出的現时实际的可辨状态, 不会发生影响。

1.7 回向可靠系統

这种系統具有如下两个特性:

- (1) 任一个輸出的状态序列, 至少包括两个可辨状态;
- (2) 任一个輸入, 其过去的(而且是距离現时足够远的时间)可辨状态, 由現时及过去的(但不得早于上述輸入的时间)輸出之可辨状态所完全决定。

上述第(2)項称为局部反决定原理。

可以說, 福尔摩斯的才能, 就是他能够在他的專門領域內发现

同时, 控制論所研究的自动控制系统的问题, 也是无法用以牛頓力学为基础的傳統力学方法来解决的, 它需要摆脱拉普拉斯决定論, 从机械唯物論的思想中摆脱出来。維納把控制論的研究建立在統計理論的基础上, 是进了一步的。但是, 如何在辯証唯物主义的观点指导下, 把必然性和偶然性更好地正确地統一起来, 这还是控制論研究中的一个有待进一步研究的问题。——譯者註

回向可靠系統。当他知道輸出的“今天”的状态(比如,犯罪的痕迹)之后,他就能夠无疑問地决定輸入的“昨天”的状态(比如,犯罪者和他的行动方法)。

1.8 回向不可靠系統

这个系統具有如下两个特性:

- (1) 每一个輸出,至少包含有两个可辨状态;
- (2) 任何輸入的过去(但距現時有足够的時間)的可辨状态,由輸出的現時和过去(但不得早于上述輸入)的可辨状态所决定,其决定概率大于50%。

上述第(2)項称为局部或然决定原理。

仍然用偵探小說的例子来比喻。一个回向可靠系統当然是任何一位偵探的理想,但是,实际上事情并不象願望那样,所有的偵探在研究案件的时候,差不多总是遇到回向不可靠系統的。

1.9 决定函数和反决定函数

在給定的前向系統中,一个輸出的“决定函数”,是指从刺激求得反应的函数。

在給定的回向系統中,一个輸入的“反决定函数”,是指从反应求得刺激的函数。

無論是决定函数和反决定函数,都可以用解析方法或矩陣方法表示。这些矩陣,以后将和两元系統(0-1系統)一起討論。

1.10 对偶性

任何系統的時間方向如果逆轉了,輸出就替代了輸入,而輸入就变成了輸出,这样,一个进向系統就变成一个回向系統了(反之,一个回向系統也可变为一个进向系統)。在进向系統里,輸出的現時状态是被輸入的过去和現時状态所决定的(邏輯地决定或概率地决定)。在回向系統中,情况則与此相反,輸入的过去状态是由輸出的現時状态和最近的过去状态所决定的。

相对孤立系統的定理具有对偶性。每一个关于进向系統的定理,在回向系統中,都具有一个(也只有一个)相应的(对偶的)定理,反之亦然。对于这两类系統,如果其中有一类系統的某个定理