

数学名著译丛

控制论

N. 维纳 著

科学出版社

数学名著译丛

控制论

(或关于在动物和机器中控制和通讯的科学)

维纳著

江苏工业学院图书馆
藏书章

科学出版社

1985

内 容 简 介

这是一本阐述控制论的理论和它在各方面应用的综合性、概论性的书。作者维纳是控制论的创始人之一。他就是通过本书奠定了“控制论”这门新兴学科的基础。书中关于怎样把机械元件和电器元件组成稳定的、具有特定性能的自动控制系统,关于怎样用统计方法研究信息的传递和加工等方面的讨论对于自动控制、通讯工程、计算技术等方面有关的科学工作者有重要参考价值。书中关于如何应用控制论研究人的神经和大脑的活动,研究生物的适应和生殖机制,对生理学、心理学、医学工作者有参考价值。书中关于本书诞生过程的历史叙述,对如何发展边缘学科,有一定的方法论上的意义。本书是研究控制论的重要的、基本的参考文献之一,但作者在书中对某些重大的科学问题作原则性的说明时,特别是当他企图根据控制论的某些科学成就作哲学的概括和社会政治的结论时,是有原则性的错误的,本书译者序言中对此作了分析批判。中译本第二版增加了原书1961年第二版新增加的内容。

Norbert Wiener

CYBERNETICS

Or Control and Communication in the Animal and the Machine

Second edition

The M. I. T. Press and John Wiley & Sons, Inc.

1961

数学名著译丛

控 制 论

(或关于在动物和机器中控制和通讯的科学)

N. 维纳 著

郝季仁 译

*

科学出版社出版

北京朝内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1962年1月第一版 开本:830×1168 1/32
1963年2月第二版 印张:7
1985年3月第三次印刷 插页:1
印数:19,701—33,500 字数:167,000

统一书号:13031·2823

本社书号:4510·13-1

定价:2.05元

中譯本第二版前言

本书中譯本初版是根据原书初版翻譯的，1961年原书再版，訂正了初版的一些錯誤，增加了两章新的內容。現在，趁中譯本第二版的机会，譯者根据原书再版，对中譯本也作了訂正，翻譯了它新增加的东西。

关于本书的內容，我們在初版的“譯者序”中曾作了介紹。“譯者序”还对作者的思想观点作了分析批判。从原书再版的情况看，我們认为“譯者序”中所作的介紹和分析仍然是合适的。至于原书再版中新增加的內容，維納在他的再版序言中已作了介紹。因此，关于原书的再版，譯者没有什么新的話要說。

譯 者

1962年10月

譯 者 序

諾伯特·維納是控制論的創始人之一，他就是通過本書奠定控制論這一新興科學部門的基礎的。自1948年本書出版以來，書中所闡明的一些有關控制論的基本科學思想，一直在這門學科的發展中起着重要的作用，書中提出的不少研究方向，也為以後的研究者大大加以發展。本書是研究控制論的重要的、基本的文獻之一。

第二次世界大戰前後，通訊技術和自動控制技術都得到了迅速的發展。在這些技術的各自領域都積累了豐富的經驗，分別提出了一些理論。但是，抓住一切通訊和控制系統所共同具有的特點，站在一個更概括的理論高度，綜合以上各個領域的經驗和理論，並且把這些系統的控制機制和現代生物學所發現的生物機體中某些控制機制加以類比，形成控制論這樣一門獨立的專門的學科，則首先是維納的功績。

通訊和控制系統的共同特點在於都包含一個信息變換的過程，一般說來，即包含一個信息的接收、存取和加工的過程。但是，一個通訊系統一般總不會只重複傳送某種信息，它們總是適應人們通訊的需要傳送着各種不同思想內容的信息。一個自動控制系統，也不象一部只是不斷重複某種單調的動作的普通機器，它需要根據周圍環境的變化，自動調整自己的運動，也可以說它必須具有一定的靈活性和適應性。由此可見，通訊和控制系統所接收的信息帶有某種隨機的性質，也就是本書中經常提到的具有某種統計分布。因此，通訊和控制系統本身的結構也就必須適應它所接收和加工的信息的這種統計性質。維納正是從這裡着手，抓住了一切通訊和控制系統所共同具有的、很本質的一個特性。他說：

• v •

“……灵敏自动机的理論是一个統計的理論。通訊工程的机器,根据单独一次輸入而产生的动作是不会使人感到兴趣的。这种机器如果要能充分发挥作用,它就必須对全部輸入都作出令人满意的动作。这也就是说,对一类从統計上預期要收到的輸入做出統計上令人满意的动作。”(本书 43, 44 頁)。

維納在建立控制論的統計理論时,回顧和总结了自牛頓以来科学思想和科学方法論发展的趋势。在本书的第一章里,維納通过对牛頓力学的相对性、局限性的分析,指出“即便在引力天文学中也有逐漸衰滅的摩擦过程。沒有一門科学完全符合于严格的牛頓式样。”(本书 36 頁)維納提出查理·达尔文研究进化論,他的儿子乔治·达尔文研究潮汐进化論,他的孙子查理爵士研究量子力学这一虽属偶然的事实,說明統計的、进化的观点正在渗透到科学的各个部門。

牛頓力学的輝煌成就,促进了統治着十七世紀到十九世紀自然科学思想的机械唯物論世界观的形成。机械唯物論者否認客观世界的偶然性,把偶然性和必然性絕對地对立起来,企图用拉普拉斯式的決定論来解释一切。因此,他們在深入到微觀世界的原子物理学新发现的面前感到束手无策。他們中的一些人就不能不走向原来立場的反面,高談什么“物质消失了”,“电子的自由意志”,否認客观必然性,否認客观規律。列宁在“唯物主义与經驗批判主义”一书中对这种唯心主义思潮作了深刻的批判,他同时指出“新物理学陷入唯心主义,主要就是因为物理学家不懂辯証法。”(列宁全集第 14 卷第 276 頁)。

正象牛頓力学不能正确地反映微觀世界一样,控制論所面对的問題也是无法用基于牛頓力学的传统力学方法来解决的。自动控制系統的特点在于它能根据周围环境的某些变化来决定和調整自己的运动;显而易見,要建立关于自动控制的理論,不突破传统的力学方法,不摆脱拉普拉斯決定論,不摆脱机械唯物論,是絕對不可能的。維納把控制論建立在統計理論的基础上,这就把关于自动控制的研究提到一个新的阶段。

为了給控制論建立一种統計理論，維納在本书第二章分析批判了吉卜斯的古典統計力学。这个統計力学是总结了热机的技术經驗，“按照牛頓力学的本来面目”(本书 45 頁)建立起来的。吉卜斯統計力学的重要概念之一，同时也能用在古典热力学中的，就是熵的概念。一个孤立的系統中自发的过程是一个熵不断增加的过程，这个过程一直进行到熵达到极大值，也就是系統达到热平衡为止。吉卜斯統計力学所处理的就是这样的自发地趋于热平衡的系統和过程。維納认为这样的統計力学是不能直接用来研究控制系統的。他认为熵是系統无組織程度的一种測度，自发地趋于热平衡的孤立系統，无組織程度的确是不断增加，但是，一个控制系統不是一个孤立的系統，而是一个与周围环境密切联系的系統，特别是控制系統通过自己的反饋机构可以减少系統的“无組織程度”，因此，在控制系統中經常发生熵减少的过程。为了給这种系統建立一种統計理論，維納在第三章提出了時間系列的統計力学問題。

維納把控制系統所接收和加工的信息流看作一个時間系列(例如電話綫中随时間迅速变化着的电压系列就是一个時間系列)。如我們在前面所指出的，控制系統接收和加工的信息具有一定的随机的性質，即有某种統計分布。如果从時間系列的观点看，这就是：一个控制系統可能接收和加工大量不同的時間系列，各个不同的時間系列的出現都有一定的几率。用統計力学的術語來說，也就是控制系統所有可能接收和加工的各个時間系列构成一个統計系統，其中每一个時間系列都是这个統計系統中的一个元。这样，維納就解决了控制系統所接收和加工的信息流的統計性質的数学表示問題。

維納在第三章中进一步提出了研究处在統計平衡的時間系列的問題。运用第二章討論过的各态歷經定理，維納証明：在一定条件下，处在統計平衡的時間系列的時間平均等于相平均。有了这个前提，就可以从統計系統中任一时间系列过去的數據，求出整個系統的任一統計參数的平均。實質上也就是由过去可以从統計上推知未来，預測未来。維納正是根据这一点，提出了他的著名的預

測和滤波的理論。滤波的問題就是尽可能恢复一个被噪声干扰了的信息流的問題，實質上也就是預測一个被噪声搞混了的时间系列的問題，因之滤波問題仍是一个預測問題。所謂預測，从数学上講，就是从一个时间系列过去的數據去估算整个系綜的統計参数。这种估算得出的是統計参数的平均值，它与客观实在的参数值有一定距离，是会产生誤差的。維納在本章中提出了最优預測的公式[本书 88 頁 (3.913)式]，指出了如何使对統計参数的估算所产生的誤差为最小。維納的这项工作为設計自动防空控制炮火等方面的預測問題提供了理論根据，也为評价一个通訊和控制系統加工信息的效率和质量从理論上开辟了一条途径。但是，維納这方面的理論並沒有完成，如他自己所說的“这里发展的統計理論，要求我們对所观测的时间系列的过去具有充分的知識。但無論在什么場合，我們都不能滿足这个要求，因为我們的观测不能追溯到无限的过去。为了超出这个范围，使我們的理論发展成为一个实用的統計理論，必須推广現有的抽样方法。”(本书 94 頁)同时，維納的最优預測公式是針對綫性的运算器(在数学上就是运算符)來說的，对于广泛的非綫性运算符的最优預測問題尚待研究解决。

在本书的第四章和第五章，作者結合着对反饋系統的穩定性和計算机的記憶、运算和控制装置的特点的分析，討論了神經系統活动的某些机制和病理学的問題。第六章作者利用从电视扫描引伸过来的羣扫描的概念和多級反饋系統的概念，討論了視觉生理的某些問題和用一种感官来弥补另一种感官的缺陷的問題。第七章作者結合着对电子計算机工作可靠性的討論，从控制論的观点設想了某些精神病理学現象的可能机制。在这些章节和本书的導言中，作者一再強調，在現代技术的基础上对生物机体的一些生理机制进行模拟的重要性，从控制論的观点研究这些机制的可能性。另一方面，作者也指出，生理学、心理学等方面的成就对形成控制論科学思想的重要影响。維納在这些章节中闡述的見解大都是属于启发性的，缺乏足够的科学实验根据。但是，其中的一些見解已經为近十几年的研究工作所証实和发展，有一些則一直在引起广

泛的爭論，不管怎樣，維納的這些見解為自動控制技術的研究，為生物學、物理學和化學的研究開辟了一條重要的途徑，則是肯定的。

在本書的最後一章，作者試圖運用控制論的觀點去分析社會發展的一些根本問題。應該說作者在進行這種研究時所採用的方法和得出的結論都是不能成立的。例如，作者離開了對社會基本矛盾的分析，把社會生活中通訊工具這樣一個純技術性問題提到完全不適當的高度，從而得出通訊工具越發達，社會就越不穩定的結論，並從此進一步得出“小小鄉村社會”要比“大的社會”優越得多的反歷史的結論。維納的這種研究不但沒有揭露事物的本質，反而以此掩蓋了資本主義社會腐朽沒落的真正原因。大家知道，資本主義“大社會”之所以危機重重，之所以不穩定，決不是因為通訊工具太發達，根本的原因在於生產的社會性和生產資料的私人占有這一不可調和的矛盾；解決矛盾的出路，決不是倒退到“小小鄉村社會”，而是通過社會主義革命建立生產資料社會所有的幸福繁榮的社會主義“大社會”。

控制論研究的是物質相互聯繫中一類特定的聯繫形式。這類聯繫形式在物質發展的最高級形態——社會生活的某些方面也是可能存在的。因此，在馬克思主義歷史唯物主義的科學思想指導下，把控制論作為一種輔助的工具去研究社會生活中某些方面的問題是可能有意義的。在本書的一些地方作者也提到控制論應用到社會科學領域的困難，但是，他是從社會現象的“統計游程太短”，無法應用統計理論，這樣一個純技術的觀點提出問題的。事實却是，在社會科學的領域，離開了歷史唯物主義這一唯一科學理論的指導，要想對社會生活的根本問題得出真正科學的結論，是不可能的。維納的錯誤就在於企圖把控制論作為一種獨立的完整的科學方法去分析社會生活中的根本問題。

在本書的最後一章和書中其他一些地方，作者談到了自動化的社會後果，表示了他對自動控制技術用於帝國主義戰爭和生產自動化帶來的失業威脅的擔憂。作為一個在資本主義社會工作的科學家，維納對自己的科學發現可能引起的社會後果，抱著嚴肅的

态度,表示不愿意参与直接为帝国主义战争服务的研究工作(本书 29 頁),这种态度是令人尊敬的。維納的悲剧在于他看不清产生战争和失业的根本原因,看不到摆脱这种悲惨命运的根本途径和主要的阶级力量。因此,他在本书的一些地方虽然也表示对垄断、資本統治的厌恶,要求“建立一个以人的价值为基础而不是以买卖为基础的社会”(本书 28 頁),但是,他对于能否实现这种社会变革則感到茫然,对于控制論能否造福于人类則认为只是“一个非常微小的希望”(本书 29 頁)。維納在本书許多地方一再流露的,对于科学技术和人类发展前途的严重的悲观主义思想,反映着在帝国主义国家中,既对垄断資本的法西斯統治不滿,又害怕无产阶级革命力量和社会主义国家的一类資产阶级知識分子徬徨苦悶的情緒。

在我們馬克思主义者看来,事情是非常清楚的。在阶级社会,在帝国主义时代,“只能用阶级分析的观点,去看待科学技术的发展和使用的問題。”(“列宁主义万岁”,红旗杂志,1960 年第 8 期,第 10 頁)由于帝国主义制度是反动的、反人民的制度,所以,帝国主义国家总是要把各种科学技术用于侵略外国和威胁本国人民的軍事目的,用于制造杀人的武器,总是要利用各种科学技术加重对劳动人民的剝削。在帝国主义国家,生产的自动化把社会生产力的发展和資本主义生产关系的矛盾推进到一个新的阶段,自动化的机器把大批劳动者排挤出来,造成严重的失业灾难。在社会主义国家,情形却完全相反。由于社会主义制度是进步的,是代表人民利益的,因此,社会主义国家总是要利用各种科学技术服务于国内和平建設,来征服自然;同时,也为了全世界人民的利益,用它来制止帝国主义战争,保卫世界和平。至于生产的自动化,在社会主义国家根本不会产生失业的問題。自动化的机器因为能够減輕劳动者的繁重劳动、能够大大提高劳动生产率,受到广大劳动者的热烈欢迎。在社会主义国家,生产自动化的研究,不但有专业的科学家、工程师在进行,而且已經形成了一个有广大劳动者参加的羣众性的技术革新运动。由此可見,科学技术的发展和使用的根到底

决定于社会制度，决定于那个阶级在社会中占居统治地位。也就是，象控制論这样一些科学技术的新发现，在帝国主义国家，用維納的語言來說，必然被用来“作恶”，在社会主义国家必然被用来“为善”。在帝国主义国家，任何科学家，如果真正希望用自己的科学发明为人民服务，而不为战争和剥削的事业服务，就必须反对帝国主义制度，就应该站到无产阶级方面来，在无产阶级领导下进行争取和平和社会主义的斗争。

維納的这本书出版已经十几年。十几年来，以电子计算机为核心的各种控制机、信息机得到迅速的发展。科学技术的这些辉煌成就引起了許多国家科学界、哲学界关于机器能否学习，能否思维的广泛讨论。关于机器的“学习”，机器的“思维”这类的说法，有些人只是把它当作一种語言的借用，有些人则在认真地谈论着机器的思维，因为他们在讨论机器是否比人更聪明之类的問題。因此，如何在馬克思主义思想指导下，正确地闡明和概括当代科学技术的这些最新成就，是摆在我国科学界和哲学界面前的一项重要任务。譯者认为，在研究这些問題时，有一点是明确的。这就是把人和机器对立起来，去评价和比較两者的工作能力，这种思想只不过是資本主义生产关系的一种反映。資本主义生产关系造成生产資料和劳动者的分离。在資本家看来，生产資料和劳动者同为資本获得利潤的手段，机器和雇佣劳动力是可以互相替换、互相竞争的。但是，当我们揭穿了資本主义生产关系的剥削实质，我們就看到任何机器都是人手和人脑的劳动的产物，机器永远是人进行劳动的工具。人的劳动和智慧的創造力是无穷无尽的，因此，这种創造力的产物——科学技术的发展，也是无穷无尽的。对于未来的机器的工作能力我們現在很难为它划定一个固定的范围，只能在科学技术已经达到的基础上对最近将来的发展作出各种估計。但是，不論科学技术如何进步，不論各种机器的工作能力如何发展，它們总是人的劳动的工具，如馬克思所說的，总是人手和人脑的延長和加强。机器和人之間永远不存在誰比誰更聪明的关系。当然，把現在的机器和生物机体，电子计算机和人的大脑加以对比，

研究其相似之处和相似的共同物質基础，研究其区别和产生本质区别的根本原因，研究在这些問題上高級运动形态和低級运动形态的区别和联系等等都是很有兴趣的。在馬克思主义思想指导下，来研究这些問題，必将对哲学和現代科学的丰富和发展作出重要貢獻。

× × ×

譯者在翻譯本书时曾經参照俄文和日文譯本作了些校正，并选用了两种譯本的一些註解。为了說明譯者对本书的理解和意見写了这篇譯者序，限于水平，錯誤之处可能很多。希望讀者对譯文和譯者序中不妥之处提出批評和指正。

譯者 1962年5月

原著第二版序言

大約十三年前,当我写“控制論”初版的时候,我是在某些严重困难的条件下进行这一工作的,它使初版不幸产生許多排印上的錯誤和少数內容上的錯誤。現在,我相信这样的时刻已經来到,控制論已經不只是被当作要在未来某一时期方能实现的計劃,它已經是一門現存的科学。因此,我借这个机会,根据讀者的要求,对初版作了必要的改正,与此同时,根据这門学科的現状和初版問世以来出現的有关的新思想方法,把初版加以扩充。

如果一門新的科学学科是真正有生命力的,它的引人兴趣的中心就必須而且應該随岁月而轉移。当我开始写“控制論”的时候,我发现說明我的观点的主要困难在于:統計信息和控制理論的概念,对当时传统的思想來說,不但是新奇的,也許甚至是对传统思想本身的一种冲击。現在,这些概念已經成为通信工程师和自动控制設計师手中如此熟习的工具,以至我現在主要要担心的是,本书是否会被人认为已經陈旧和平庸。反饋的重要性在工程設計和生物学中都已經牢固地奠定了。信息的应用、量測和傳輸信息的技术成为訓練工程师、生理学家、心理学家和社会学家不可少的一部分。当本书初版发行时,自动机还仅仅是一种預測,現在已經取得了自己的地位,至于我在本书中和在“人應該象人那样来使用”¹⁾的通俗小册子中一再警告过的、与自动化相联系的社会危机則已經从地平綫上兴起很高了。

因此,控制論学家應該繼續走向新的領域,應該把他的大部分注意力轉到近十年的发展中新兴的思想上去。各种簡單的綫性反饋的研究,在喚起科学家对控制論的研究方面曾經是十分重要的,

1) Wiener, N., *The Human Use of Human Beings, Cybernetics and Society*, Houghton Mifflin Company, Boston, 1950.

但是，这些反饋現在看来已經并不象它們最初所显出的那样簡單和綫性的了。的确，在早期的电路理論中，系統处理綫路网络的数学方法并没有超出对电阻、电容、电感的綫性并置。这就是說，整个問題只要用对被傳輸消息的調和分析 and 消息所通过的綫路中的阻抗、導納及电压比就足够加以描述。

在“控制論”出版很久以前，人們就已經开始認識到，上述框子不易适于对非綫性电路（如我們在許多放大器、电压限制器、整流器和其他器件所发现的）的研究。虽然如此，由于缺乏一种較好的方法，把老的电机工程的綫性概念加以扩充，扩充到远远超出这些新的裝置能够用这些老概念自然地加以表示的范围的种种嘗試一直在进行着。

大約是 1920 年，当我来麻省理工学院的时候，处理与非綫性裝置有关的問題的一般方式是把阻抗概念設法加以扩充，使它既包括綫性系統，又包括非綫性系統。結果使得非綫性电机工程的研究陷入一种类似托勒密天文学系統的最后阶段所处的那种状态，那时的托勒密天文学是本輪上再套以本輪，修正上面加修正，直到那庞大的杂糅的結構最后在自身重量的作用下被压跨。

正象哥白尼系統从捉襟見肘的托勒密系統的殘骸上兴起，以它簡單而自然的日心說代替复杂而不清楚的托勒密地心說来描述天体的运行一样，非綫性結構和系統（不論它們是电气的或机械的，天生的还是人造的）的研究也需要一个新的、独立的出发点。我在“非綫性問題的随机理論”¹⁾一书中曾试图为此开辟一条新途径。現在弄清楚了，在处理綫性現象时极为重要的三角分析，在我們研究非綫性現象时并不要它。有一个十分明白的数学上的理由來說明这个問題。电路現象，象許多其他的物理現象一样，都存在一种不变性作为它的特征，这种不变性是对時間原点的移动为不变來說的。一个物理实验，如果从中午开始，要到 2 点鐘才达到某一阶段，假設从 12 点 15 分开始，則要到 2 点 15 分才能达到那同一阶

1) Wiener, N., *Nonlinear Problems in Random Theory*, The Technology Press of M. I. T. and John Wiley & Sons, Inc., New York, 1958.

段。也就是說，物理定律對於時間平移是不變式。

對於上述的平移時間羣，三角函數 $\sin nt$ 和 $\cos nt$ 也有某個重要的不變式。在 t 上加 τ 的平移，使一般函數

$$e^{i\omega t}$$

變成

$$e^{i\omega(t+\tau)} = e^{i\omega\tau} e^{i\omega t}$$

的形式，這是與前一函數相同的函數。因為

$$\begin{aligned} a \cos n(t + \tau) + b \sin n(t + \tau) \\ &= (a \cos n\tau + b \sin n\tau) \cos nt + \\ &\quad + (b \cos n\tau - a \sin n\tau) \sin nt \\ &= a_1 \cos nt + b_1 \sin nt, \end{aligned}$$

也就是說，函數族

$$A e^{i\omega t}$$

和

$$A \cos \omega t + B \sin \omega t$$

在平移下是不變式。

還有另外一些函數族它們也是平移的不變式。我們來看看所謂隨機行走，作這種行走的一個粒子的運動在任何時間間隔內都有一個分布，這個分布只與時間間隔的長度有關，而與這時時間間隔的起始點無任何關係，隨機行走系綜經時間平移後也仍然是自己本身。

也就是說，有別的函數集也具有三角曲綫的那種純平移不變性。

三角函數在這種不變性上還附帶有一種性質作為它的特徵，這就是

$$A e^{i\omega t} + B e^{i\omega t} = (A + B) e^{i\omega t}.$$

因此，這些函數形成一極簡單的綫性集。請注意這種性質與直綫性有關；也就是我們可以把頻率一定的所有振動都化為兩個振動的綫性組合。正是這一特性使調和分析在處理電路的綫性性質時具有價值。函數

是平移羣的特征標，從這函數得出這種羣的綫性表示。

當我們要進行的函數組合不只涉及常系數相加時——如當把兩函數互乘時——簡單三角函數不再有這種初等羣的性質。另一方面，隨機行走中顯示出來的隨機函數卻具有某種非常適合於用來討論非綫性組合的性質。

我不想在這裡詳細討論這個問題，因為它在數學上過於複雜，在我的“隨機理論的非綫性問題”書中涉及了這個問題。書中的材料已經在討論特殊的非綫性問題時發揮很大的作用，但是要实现書中提出的計劃，還有許多工作要做。它在實踐中的結論就是：在研究非綫性系統時，布朗運動的特征標比三角函數集更適於用來作為測試用的輸入。在研究綫路時，布朗運動的函數可以用物理方法靠散粒效應來產生。散粒效應是電流中的一種不規則現象，它是由於電流並不是由一連續的電的流動所引起的，而是由一系列可分開的、相等的電子的流動所引起的。因此，電流具有統計的無規則性。電流本身有一定的均勻特性，但當它被放大到某一倍數時，就顯出它包含有相當大的隨機噪聲。

我將在第九章中表明，隨機噪聲的這種理論不只是可在電路和其他非綫性過程的分析上加以實際應用，而且在它們的綜合上同樣可以加以應用¹⁾。用來實現這些目的的儀器，把有隨機輸入的非綫性裝置的輸出，化為一由某些規格化正交函數組成的特定系列，這些函數與厄米特多項式很相近。非綫性綫路的分析問題在於用平均的方法，從輸入的某些參數來定這些多項式的系數。

這種方法的說明是非常簡單的。用黑箱表示一個尚未分析出來的非綫性系統，還有，我把某些具有已知結構的物體叫做白箱，用它們表示所求展開式的各項²⁾。我把同一隨機噪聲加進黑箱和

1) 我在這裡用“非綫性系統”一詞並不排除綫性系統，而是包括很大一類系統。用隨機噪聲來對非綫性系統加以分析的方法也適用於綫性系統，而且已經這樣用了。

2) “黑箱”和“白箱”兩詞是一種方便而形象的說法，它們的含義還不十分確定。我把黑箱了解為這樣一種裝置，它是有兩個輸入端和兩個輸出端的四端網絡，它

一給定的白箱。在黑箱的展开式中,給定白箱的系数由黑箱和那白箱的输出的乘积的平均值来給定。这个平均值是对散粒效应輸入的整个系綜的平均值,但是有一条定理允許我們一般都可以用一个对時間的平均值来代替这个对系綜的平均值,只有一組概率为零的情形不允許这样做。要得到这个对時間的平均值,我們只需一个随便什么乘法器,用它得到黑箱和白箱输出的乘积,至于平均器,不用說我們可以利用下述事实,即电容器上的电压与电容器中的电量是成比例的,因之,也是与通过电容器的电流的时间积分成比例的。

构成黑箱的等价表示式的各相加白箱的系数不但可以逐一确定,而且可以同时定出来。甚至还可以利用适当的反饋装置,使每一个白箱自动調节自己到与黑箱展开式中它的系数相应的水平。这样我們就能制造一个多用白箱,当这个白箱与一黑箱恰当地联接起来,并使两箱接上同一随机輸入时,这个白箱将会自动地使自己成为那个黑箱的运算上的等价体,虽然它們的结构可以有很大的不同。

这些分析,綜合的操作和白箱把自己自动調节到和黑箱相等的操作都可以用另外一种由亞瑪·博絲 (Amar Bose) 教授¹⁾和格博 (Gabor) 教授²⁾提出的方法来实现。在所有这些方法中,用了一套发动和学习的程序,这些程序是通过为黑箱和各白箱选择恰当的輸入并把两种箱子加以比較来实现的;在許多这类的程序中,包括格博教授的方法所用的程序中,乘法装置都起着重要作用。用

对輸入电压的現在和过去实行一确定的操作,但是关于它靠什么结构来执行这种操作,我們并不須知道任何信息。另一方面,白箱也具有类似的网络,它是我們为了获得輸入——輸出間一事先确定的关系,根据特定的构造计划,在輸入和輸出电压之間建立起联系的那种网络。

- 1) Bose, A.G., "Nonlinear System Characterization and Optimization", *IRE Transactions on Information Theory*, IT-5, 30-40 (1959) (Special Supplement to *IRE Transactions*).
- 2) Gabor, D., "Electronic Inventions and Their Impact on Civilization", *Inaugural lecture*, March 3, 1959, Imperial College of Science and Technology, University of London, England.