

论道法自然与 全状态反馈控制系统之关系

山野蛮人 香港中文大学机械与自动化工程系
新加坡国立大学电子与计算机工程系

【摘要】本文尝试用全状态反馈系统来诠释圣人老聃（见图 1）在他不朽的传世之作《道德经》^[1]第二十五章中所阐述的“人法地，地法天，天法道，道法自然”的宇宙定律。

山野蛮人在他最近所谓的游记“阿拉斯加”^[2]之结尾中写到：“大至天地万物，细如芸芸众生，究其宗者，在圣人老聃看来本质上也不过是一条短短的四阶积分链：“人法地，地法天，天法道”，始于道、终于人。而主宰这条积分链的控制系统也颇为简单，即老子所说的“道法自然”，一个全信息反馈的控制器。所谓的“大道至简”！”本文尝试揭示老子这宇宙定律与全状态反馈控制系统的关系。



图 1 老子

为了数学表达方便起见，我们令

$$x_{\text{ren}} = \text{人}, x_{\text{di}} = \text{地}, x_{\text{tian}} = \text{天}, x_{\text{dao}} = \text{道} \quad (1)$$

那么,“人法地,地法天,天法道”意指

$$\dot{x}_{\text{ren}} = x_{\text{di}}, \quad \dot{x}_{\text{di}} = x_{\text{tian}}, \quad \dot{x}_{\text{tian}} = x_{\text{dao}} \quad (2)$$

或可用以下矩阵状态方程式来表示:

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_{\text{ren}} \\ \dot{x}_{\text{di}} \\ \dot{x}_{\text{tian}} \\ \dot{x}_{\text{dao}} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_{\text{ren}} \\ x_{\text{di}} \\ x_{\text{tian}} \\ x_{\text{dao}} \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u \quad (3)$$

方程式(3)式是一个典型的四阶积分链系统。为了方便起见,我们令

$$x = \begin{pmatrix} x_{\text{ren}} \\ x_{\text{di}} \\ x_{\text{tian}} \\ x_{\text{dao}} \end{pmatrix} \quad (4)$$

为动态系统(3)的状态变量,其中 x 包含人、地、天和道,即自然界中的天地万物或所谓的自然。由此可见,老子所说的“道法自然”即是一个全状态反馈的控制器:

$$\dot{x}_{\text{dao}} = u = f(x) \quad (5)$$

由于老子推崇“大道至简”,故方程式(5)中的控制器应为一个常数静态反馈,一个最为简单的控制系统,即

$$\dot{x}_{\text{dao}} = u = Fx \quad (6)$$

另动态系统(3)的极点都在原点,要让系统(3)稳定,我们必须设计一个合适的控制器(6)来镇定系统(3)。根据老子的无为无不为之哲学思想,可以推断要使自然系统(3)稳定,我们只需一个小增益反馈控制器让闭环系统的极点由原点稍微往左半平面移动 ε 就足够了,即所谓的“无为而治”。

以下,我们根据巴特沃斯的极点模式^[3](符合所谓的自然)设计一款这样的控制器。四阶的巴特沃斯极点模式的特征多项式为:

$$B_4(s) = (s^2 + 0.7654s + 1)(s^2 + 1.8478s + 1) = s^4 + 2.6132s^3 + 3.4143s^2 + 2.6132s + 1 \quad (7)$$

其特征根的模式如图2所示:

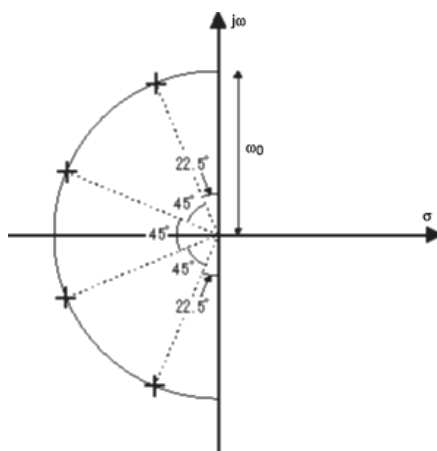


图2 四阶的巴特沃斯极点模式

由此，我们可以得出如下静态反馈控制器增益：

$$F_B = -[\varepsilon^4 \quad 2.6132\varepsilon^3 \quad 3.4143\varepsilon^2 \quad 2.6132\varepsilon] \quad (8)$$

或确切地说，“道法自然”的数学表达式：

$$\dot{x} = u = F_B x = -[\varepsilon^4 \quad 2.6132\varepsilon^3 \quad 3.4143\varepsilon^2 \quad 2.6132\varepsilon] \begin{bmatrix} x_{\text{ren}} \\ x_{\text{di}} \\ x_{\text{tian}} \\ x_{\text{dao}} \end{bmatrix} \quad (9)$$

或根据林氏低增益反馈理论^[4]，将闭环系统的极点设定在原点往左平移 ε （见图3），

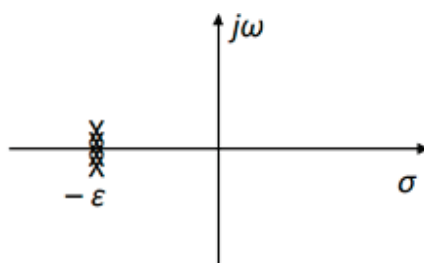


图3 林氏低增益反馈极点模式

我们得到

$$F_L = -[\varepsilon^4 \quad 4\varepsilon^3 \quad 6\varepsilon^2 \quad 4\varepsilon] \quad (10)$$

以及“道法自然”的数学表达式：

$$\dot{x}_{\text{dao}} = u = F_L x = - \begin{bmatrix} \varepsilon^4 & 4\varepsilon^3 & 6\varepsilon^2 & 4\varepsilon \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_{\text{ren}} \\ x_{\text{di}} \\ x_{\text{tian}} \\ x_{\text{dao}} \end{pmatrix} \quad (11)$$

从以上几个数学表达式可以推出，无论用的是什么方法，在天地万物的宇宙系统框架之下，作为积分链最末端的人，其作用是如此渺小的（ ε^4 ）！话说回来，人的贡献虽然渺小，但若缺少了这部分的小小贡献或其贡献改变了方向，整个世界就乱了套（你懂的），不过最先倒霉的还是人！

总而言之，言而总之，本文纯属自娱自乐无聊之作，所阐述的论点跟现如今发表在诸多刊物上的文献一样，都是无中生有，一派胡言！

林子大了，什么鸟都有！

参考文献

- [1] 李耳，道德经，世界各地出版社，公元前.
- [2] 山野蛮人，阿拉斯加游记，<http://www.mae.cuhk.edu.hk/~bmchen/west/alaska/alaska.html>, 2018.
- [3] S. Butterworth, On the theory of filter amplifiers, Wireless Engineer, vol. 7, pp. 536–541, 1930.
- [4] Z. Lin, Low Gain Feedback, Springer, London, 1999.



【作者简介】山野蛮人，俗名陈本美，曾就读于厦门大学数学系，美国贡萨格大学和华盛顿州立大学电子工程系。曾任纽约州立大学石溪分校电子工程系助理教授，新加坡国立大学之教务长首席教授，现为香港中文大学机械与自动化工程系教授。有时候也看看圣经、佛经和道德经。



论道法自然与全状态反馈控制系统之关系

山野蛮人

香港中文大学 ∞ 新加坡国立大学



提纲



问题的背景

问题的问题

问题公式化

结论与例证

荒诞的延伸

几句结束语

* 本文刊载在『系统与控制纵横』(<http://tcct.amss.ac.cn/sc-journal.html>) 2019 年第 6 卷第 1 期第 81–84 页。





问题的背景：何谓“道”？

道可道，非常（恒）道

汉文帝刘恒之后“恒”改成“常”。

汉景帝时尊『老子』为经。

⇒ 可以用言词表达的道，不是永恒不变的道。或指当年诸子百家的学说不是恒道。

道可，道非，常道

⇒ 常道似是而非，无关对错。



问题的背景：老子的“道”（道德经第14章）

视之不见，名曰“夷”；听之不闻，名曰“希”；搏之不得，名曰“微”。此三者不可致诘，故混而为一。其上不皦，其下不昧，绳绳兮不可名，复归于无物。是谓无状之状，无物之象，是谓惚恍。迎之不见其首，随之不见其后。

执古之^道，以御今之有。能知古始，是谓道纪。

看不见它就叫它“夷”，听不到它就叫它“希”，摸不着它就叫它“微”，它是无相、无声、无形的，无法用言语来形容。三者不可究诘，所以将它们合而为一。它不亮丽，却也不昏暗；它绵绵不绝，难以名状，最后复归到空无一物（闭环系统？）。它是没有形状之形状，没有具体形象和不可捉摸之物体。迎着它不见其首，随着它也不见其后。「啥东东？Yahweh？」

把握着早已存在的道，来驾驭现有的事物，就能够了解宇宙的起源，这是道的规律。



问题的背景：老子的“道”（道德经第25章）

有物混成，先天地生。寂兮寥兮，独立不改，周行而不殆，可以为天下母。吾不知其名，字之曰“道”，强为之名曰“大”。大曰逝，逝曰远，远曰反。

故道大、天大、地大、人亦大。域中有四大，而人居其一焉。

人法地，地法天，天法道，道法自然。

有一个混然一体的物体，在天地形成之前就存在。我们听不见它的声音，也看不见它的形体，它独立长存而永不衰竭，循环运行而生生不息，可以认为它是天地万物的根源。我不知道它的名字，勉强叫它做“道”，再勉强给它起个名字叫做“大”，它广大无边而周流不息，周流不息而延伸遥远，延伸遥远而返回本原（闭环系统？）。「神乎？其神！」

—— 摘自『老子今注今译』，陈鼓应注译



问题的问题：何谓“道法自然”？

对“道法自然”的解释历来分歧较大，迄无定论。这问题之所以到现在还一直争论不休，是因为“人法地、地法天、天法道、道法自然”也是『道德经』中其他部分理论的公理。

版本 1

道法自然，是出自『道德经』的哲学思想，意思是“道”所反映出来的规律是“自然而然”的。“人法地、地法天、天法道、道法自然”，老子用了一气贯通的手法，将天、地、人乃至整个宇宙的生命规律精辟涵括、阐述出来。“道法自然”揭示了整个宇宙的特性，囊括了天地间所有事物的属性，宇宙天地间万事万物均效法或遵循“道”的“自然而然”规律，道以自己为法则。

—— 百度百科



问题的问题：何谓“道法自然”？

版本 N

- 河上公注：「“道”性自然，无所法也。」（东晋『神仙传』中所载之隐士）
- 王弼注：「道不违自然，乃得其性，法自然者，在方而法方，在圆而法圆，于自然无所违，自然者，无称之言，穷极之辞也。」（北魏）
- 吴澄说：「“道”之所以大，以其自然，故曰“法自然”。」（元）
- 董思靖说：「“道”贯三才，其体自然而已。」（南宋）
- 车载说：「“道法自然”一语，是说“道”应以“无为”为法则的意思。」（1959）
- 童书业说：「老子书里的所谓“自然”，就是自然而然的意思，所谓“道法自然”就是说道的本质是自然的。」（1908–1968）
- 陈鼓应说：「道法自然：道纯任自然，自己如此。」（台大、北大）



问题的问题：何谓“道法自然”？

版本 N+1

- 冯友兰说：「“人法地，地法天，天法道，道法自然”。这并不是说，于道之外，还有一个“自然”，为“道”所取法。上文说：“域中有四大”，即“人”、“地”、“天”、“道”，“自然”只是形容“道”生万物的无目的、无意识的程序。“自然”是一个形容词，并不是另外一种东西，所以上文只说“四大”，没有说“五大”。老子的“道法自然”的思想跟目的论的说法鲜明地对立起来。」

—— 摘自『老子今注今译』，陈鼓应注译

∞ 绕来绕去绕不出来，冯自己也是醉了 ∞



问题的问题：何谓“自然”？

版本 1（道德经第 17 章）

太上，不知有之；其次，亲而誉之；其次，畏之；其次，侮之；信不足焉，有不信焉。

悠兮其贵言。功成、事遂，百姓皆谓：我自然。

最上乘的统治者，老百姓根本不知道有他的存在；次点的，屁民们亲近他且赞美他；再次的，畏惧他；更次的，轻侮他。统治者的诚信不足时，百姓当然不会相信他的。

最好的统治者悠然而不轻易发号施令。事情办成了，老百姓都说：“我们本来就是这样的。”（自然而然，自然如此）



问题的问题：何谓“自然”？

版本 2（道德经第 64 章）

其安易持，其未兆易谋。其脆易泮，其微易散。为之于未有，治之于未乱。

合抱之木，生于毫末。九层之台，起于累土。千里之行，始于足下。

为者败之，执者失之。是以圣人无为故无败，无执故无失。

民之从事，常于几成而败之。慎终如始，则无败事。

是以圣人欲不欲，不贵难得之货；学不学，复众人之所过，以辅万物之自然而不敢为。

因此，有道者求人所不欲的，不求难得的东西；学人所不学的，挽救众人之过错，以辅助万物的自然发展而不加以干预。（自然状态）



问题公式化

我们尝试揭示老子这宇宙定律与全状态反馈控制系统的关系。为了数学表达方便起见，我们令

$$x_{\text{ren}} = \text{人}, \quad x_{\text{di}} = \text{地}, \quad x_{\text{tian}} = \text{天}, \quad x_{\text{dao}} = \text{道} \quad (1)$$

那么，“人法地，地法天，天法道”意指

$$\dot{x}_{\text{ren}} = x_{\text{di}}, \quad \dot{x}_{\text{di}} = x_{\text{tian}}, \quad \dot{x}_{\text{tian}} = x_{\text{dao}} \quad (2)$$

或可用以下矩阵状态方程式来表示：

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_{\text{ren}} \\ \dot{x}_{\text{di}} \\ \dot{x}_{\text{tian}} \\ \dot{x}_{\text{dao}} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_{\text{ren}} \\ x_{\text{di}} \\ x_{\text{tian}} \\ x_{\text{dao}} \end{pmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u \quad (3)$$

注： $\dot{x} = y$ 并非数学上的微分关系，做 x 法 y 解，符号而已。



方程式（3）式是一个典型的四阶积分链系统。为了方便起见，我们令

$$x = \begin{pmatrix} x_{\text{ren}} \\ x_{\text{di}} \\ x_{\text{tian}} \\ x_{\text{dao}} \end{pmatrix} \quad (4)$$

为动态系统（3）的状态变量，其中变量 x 包含人（人之法则）、地（地之规律）、天（天之演化）和道，即老子的万物之自然。由此可见，圣人所说的「道法自然」即是一个全自然状态反馈的控制律：

$$\dot{x}_{\text{dao}} = u = f(x) \quad (5)$$

由于老子推崇「大道至简」，故方程式（5）中的控制器应为一个常数静态反馈，一个最为简单的控制系统，即

$$\dot{x}_{\text{dao}} = u = Fx \quad (6)$$

也就是人、地、天、道的所有自然规律之线性组合（或是冯友兰所质疑的所谓的“五大”）。



结论

- 根据“人法地，地法天，天法道，道法自然”之前后逻辑，“自然”不应该是个形容词来形容“道”的（如前面提到N个批注中所说的），逻辑上，“自然”应该是另外一种“东西”（正如冯友兰所质疑的“四大”之外的“五大”）。
- 若将“道法自然”中之“自然”理解成“万物之自然”（其中囊括人、地、天、道所有的规律的组合，或称其为“五大”的东西），那么，宇宙间万物便是一个全自然状态反馈的闭环系统，所谓的“五大”也顺理成章了。
- 以此，蛮人以为老子的宇宙观是个可控的闭环系统（见老子所定义的“道”）， “道法自然”中之“自然”乃圣人自己所说的“万物之自然”，与“师法自然”中的“自然”基本上同义。这本也是自然而然的，理当自然如此！
- 因果循环也因此解释得通。



例证

老子的理论只能用老子的例子来佐证的，可以用来验证“道法自然”的“万物之自然”之自然性例子在『道德经』中比比皆是，以下只是其中之一（『道德经』第 23 章）：

希言自然，故飘风不终朝，骤雨不终日。孰为此者？天地。天地尚不能久，而况于人乎？

故从事于道者，同于道；德者，同于德；失者，同于失。同于道者，道亦乐得之；同于德者，德亦乐得之；同于失者，失亦乐得之。信不足焉，有不信焉！

默然少语，自然天成，暴风刮不了一整个早上，骤雨也下不了一整天。是谁使得它们这样的呢？是「天地」，天地尚且不能让暴风雨持久，更何况人乎？（道法自然的一个例证）

故顺从于道行事者，就合于道；顺从于德行事者，就合于德；失道失德者，就会丧失所有。同道同德者，道也会罩着他，失道失德者，道也会抛弃他。诚信不足者，自然不会有人信的。



荒诞的延伸

本节纯属胡说八道。

另宇宙动态系统（3）的极点都在原点，要让宇宙天地万物系统（3）稳定，我们必须设计一个合适的控制器（6）来镇定系统（3）。根据老子的无为无不为之哲学思想，可以推断要使自然系统（3）稳定，我们只需一个小增益反馈控制器让闭环系统的极点由原点稍微往左半平面移动 ε 就足够了，即所谓的「无为而治」。

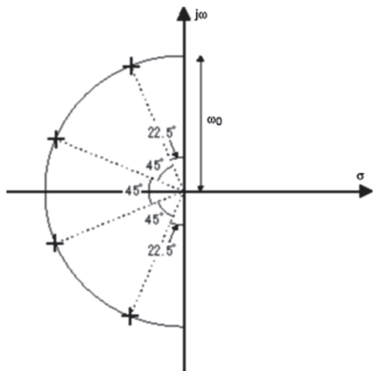
以下，我们根据巴特沃斯的极点模式（符合所谓的自然）设计一款这样的控制器。四阶的巴特沃斯极点模式的特征多项式为：

$$B_4(s) = (s^2 + 0.7654s + 1)(s^2 + 1.8478s + 1) = s^4 + 2.6132s^3 + 3.4143s^2 + 2.6132s + 1$$

* S. Butterworth, On the theory of filter amplifiers, *Wireless Engineer*, vol. 7, pp. 536–541, 1930.



巴特沃斯的极点如图所示：



由此，我们可以得出如下静态反馈控制器增益：

$$F_B = -\begin{bmatrix} \varepsilon^4 & 2.6132\varepsilon^3 & 3.4143\varepsilon^2 & 2.6132\varepsilon \end{bmatrix}$$

或确切地说，「道法自然」的数学表达式：

道法自然 =

$$\dot{x}_{\text{dao}} = u$$

$$= F_B x$$

$$= -\begin{bmatrix} \varepsilon^4 & 2.613\varepsilon^3 & 3.414\varepsilon^2 & 2.613\varepsilon \end{bmatrix} \begin{pmatrix} x_{\text{ren}} \\ x_{\text{di}} \\ x_{\text{tian}} \\ x_{\text{dao}} \end{pmatrix}$$

$$= -(\varepsilon^4)x_{\text{ren}} - (2.613\varepsilon^3)x_{\text{di}} - (3.414\varepsilon^2)x_{\text{tian}} - (2.613\varepsilon)x_{\text{dao}}$$

人 地 天 道



或根据林宗利（1999）之低增益反馈理论，将闭环系统的极点设定在 origin 往左平移 ε 。我们得到

$$F_L = -\begin{bmatrix} \varepsilon^4 & 4\varepsilon^3 & 6\varepsilon^2 & 4\varepsilon \end{bmatrix}$$

以及「道法自然」的数学表达式：

道法自然 =

$$\dot{x}_{\text{dao}} = u = F_L x$$

$$= -(\varepsilon^4)x_{\text{ren}} - (4\varepsilon^3)x_{\text{di}} - (6\varepsilon^2)x_{\text{tian}} - (4\varepsilon)x_{\text{dao}}$$



从以上几个「道法自然」数学表达式可以推出，无论用的什么方法，在天地万物的宇宙系统框架之下，作为积分链最末端的人，其作用是如此渺小的（ ε^4 ）！

话说回来，人的贡献虽然渺小，但若缺少了这部分的小小贡献或其贡献改变了方向，整个世界就乱了套（你懂的），不过最先倒霉的还是人！

正所谓：「道大、天大、地大、人亦大。域中有四大，而人居其一焉。」

* Z. Lin, *Low Gain Feedback*, Springer, London, 1999.



结束语

- 总而言之，言而总之，本文纯属自娱自乐无聊之作，所阐述的论点跟现如今发表在诸多刊物上的文献一样，都是无中生有，一派胡言！林子大了，什么🐦都有！
- 用形而下之器来诠释形而上之道本身就不靠谱。
- 道可，道非，常道。
- 哈哈！「上士闻道，勤而行之；中士闻道，若存若亡；下士闻道，大笑之。不笑不足以为道。」（道德经第 41 章）

謝謝 Thank You!



www.bmchen.net

