

物数学及其形态数

——BMKI 的原理、概念和方法学（III）

包含飞

上海中医药大学

中医信息化标准化研究室,201203

E-mail: bhflhl@yahoo.com.cn,

Web site: http://www.miforum.net/bhf/english/index_english.htm

摘要 本文从分析量子力学形成及小波分析原理诱导出物数学的一种广义数“形态数”，为生物医学知识整合论的可操作性探索。

关键词 医学信息学 人工智能 生物医学知识整合论 物数学 形态数

生物医学知识整合论（The Theory of BioMedical Knowledge Integration, BMKI）^[1-18]为我国学者开创的一门生物医学信息学新研究，她涉及一系列有关未来生物医学的重大问题。物数学（Physico-Mathematics）为其中之一。

1. 机器人能逮住山坡上的野兔吗

如果要设计一个能捉住山坡上奔跑的野兔的机器人，也许比登月还难，甚至可能会难倒高斯和罗巴切夫斯基等数学天才。因为那里几乎只有物理，没有数学。但是如果把野兔规定在一个轨道中，也许一个普通的数学老师也能得到一些数学结果。但也许最伟大的数学家也比不上我们的“虱子数学家”或一些“寄生虫数学家”，对于它们来说，奔跑的野兔简直就是自由的天堂。这就是开放系统与封闭系统中物理与数学的关系。

开放系统对人类理性或智能提出了极大的挑战。BMKI 对物理系统开放性本质作过很多论述。而生物机体则是极开放系统（假设开放性是可以度量的话），在那里“自然的意志”可以随心所欲。因此有人说生物学是数学的沙漠。随着科学的发展，这种情况已有所改变。但在生物医学中物理（或经验或“自然的意志”）仍然是“主宰”，数学（或“理性意志”）不过是“小小的女佣”。

经验的主宰是对人类理性能力的嘲笑，它标志人类对该科学领域认识的还极端粗浅。对科学的更深刻的理解历来是人们的追求，其中每一个伟大的成果（例如牛顿的万有引力定律，爱因斯坦的质量-速度公式等）都被视为一种人类最高的理性之美。

如何为拥有万千机制（功能和结构）的生物医学知识镶嵌上一颗颗灿烂夺目的数学明珠，也就成了 BMKI 的物数学不懈的学术追求。

2. 量子力学：实验数据导出的广义数

量子力学领域无疑聚集着人类最伟大的智慧，是各种伟大智慧的闪现以及相互矛盾和冲突，催生了这门伟大的科学。

众所周知，原子结构之父玻尔对原子结构提出了如下理论：“原子中的电子绕着某些特定的轨道以一定的频率运行，并时不时从一个轨道跃迁到另一个轨道上去。每个电子轨道都代表一个特定的能级，因此当这种跃迁发生的时候，电子就按照量子化的方式吸收或者发射能量，其大小等于两个轨道之间的能量差。”^[19]“玻尔模型的建立有着氢原子光谱的支持。每一条光谱线都有一种特定的频率。从量子公式 $E_1 - E_2 = h \nu$ （其中 E 是能量， h 是普朗克常数， ν 是频率），我们知道这是电子在两个能级之间跃迁的结果。光谱中的每一条光谱线，代表了两个“能级”之间的“能量差”，并不代表能级本身。

为了把问题讲得更为明了，笔者设计如下问题。假设某原子的某电子有能级 $E_1, E_2, \dots, E_n$ ，那么各能级的能量是多少？假如一个电子跃迁途径为： $E_1 \rightarrow E_5 \rightarrow E_8$ ，另一个跃迁途径为： $E_1 \leftarrow E_5 \leftarrow E_8$ ，那么二个途径的所吸收或释放的能量是否相等？

我们知道，第一个问题的答案必须借助物理实验，但第二个问题似乎是很简单的逻辑问题，答案应该是肯定的。

但物理学家海森堡坚持必须由实验观察和数据来回答这些问题。他后来“独立发明”了矩阵的数学概念处理这一问题。其形状如下：

$$\begin{bmatrix} & A & B & C \\ A & aa & ab & ac \\ B & ba & bb & bc \\ C & ca & cb & cc \end{bmatrix}$$

阵中 $A, B, C, aa, ab, ac, \dots$ 可分别表示电子的能级轨道和跃迁所吸收或释放的能量。当然，其实矩阵在数学界早已存在，但作为物理学家的海森堡根据研究对象的物理本性引出新的数学概念不仅非常自然（当然不应该提倡），而且表明其对物理和数学的关系的深刻的洞察。经海森堡等的努力，矩阵概念成为量子力学的基础。

在生物医学领域，海森堡的必须由实验观察和数据来回答问题的主张受到广泛的支持（例如 $A \cdot B \neq B \cdot A$ 随处可见），“一棵树氧化燃烧成灰并放出能量”和“一堆灰加能量变成一棵树”不仅是不对称，而且是不可逆的。

所以生物医学的运算也必须是矩阵的,但这是生物学意义下实际观测的矩阵(生物矩阵或生物超矩阵),它仅仅继承了数学矩阵的两两对应关系,它的任何其他属性将必须重新研究。研究的根本任务是避免“物数差谬”,即一种逻辑推理或运算结果与具体物理发现的结果之间的差异导致的谬误。

3. 从小波分析:形态判断导出的广义数

“小波分析的过程是这样的,选择一个适当的小波原型函数(即母版小波或分析小波),必须满足某种限制。所有的构成函数来自母版小波的时间和幅度的延伸、缩放。通过小波变换,信号分解成许多母版小波的缩放版。实际上,傅立叶分析中使用的构成余弦可以认为是母版余弦的延伸、缩放。”^[20]

笔者总结小波分析的原理及工作程序如下^[21, 22, 23]:

- (1) 傅立叶变换的基本原理是认为任何信号都是由一系列正弦波和余弦波组成。即信号是由基本函数组成(没有分析到粒子及其运动),正弦波和余弦波可被看成是母版,而分析的结果可看成母版的缩放和偏移版的组成。但傅立叶变换适合于参考维度为无限的信号,因而对分析一些在时域上有局限性的信号如心电图存有不足。
- (2) 小波与傅立叶变换一样,也选定一系列各种形态的作为其母版小波,也把信号分解为各种单元波,即母版小波的缩放版。但小波的母版小波正弦波和余弦波不同,它们在时域和频域上是有限的,“有限范围外频率所作的贡献被忽略”。^[20]因而克服了上述傅立叶变换不足。
- (3) 各种母版小波的形态特征(如正交性和对称性等)不同,形态的固有的或本质部分为少变部分(低频部分),构成尺度函数或所谓“近似”基函数,它的形态决定了该小波的所谓“低通道滤波器”;形态的多变化部分(高频部分),构成小波函数或所谓“细节”基函数,它的形态决定了该小波的所谓“高通道滤波器”。尺度函数与小波函数构成该母函数的小波基函数。
- (4) 原始信号(s)通过“低通道滤波器”和“高通道滤波器”生成低频滤波系数(W_a)和各级高频滤波系数(W_d),这一过程称为小波变换(W),故 $W = [W_a, W_d]$ 。 W_a 与“近似”基函数及 W_d 与“细节”基函数把原始信号(s)分别分解为小波近似(a)和小波细节(d), $s = a + d$ 。
- (5) 小波近似(a)和小波细节(d)经反变换恢复原始信号。

笔者没有见到有关傅立叶变换原理(即任何信号波可以分解成余弦波或正弦波)的科学论证经过,故认为它们实际上是以公理的形式也即以先验的或经验的形式提出来的;同样在小波变换的发生发展的简短历史中笔者也没有见到小波变换的原理和各种小波母版形成的科学过程。有人说工程师 J.Morlet(在 1974 年,法国,从事石油信号处理)通过“物理的直观”和根据信号处理的实际需要经验建立了小波变换概念,数学家 Y.Meyer(在 1974 年)“偶然构造出”一个真正的小波基^[21]。

总之傅立叶变换和小波变换二者都是受物理实际结构启迪而诞生并在实际

应用中获得良好结果而被广泛接受的，都不是数学逻辑推导的产物。这再次证明了一个重要的科学学原理即一个全新的数学体系的诞生依赖于物理或实际世界土壤。

由此笔者在科学-哲学层次给出物数学的运转规律：形形色色的生物结构形态或结构（静态的、运动的或功能的）→引出其典型形态或形态函数（如母版小波）→按实际应用对象的情况对典型形态函数作调整（如位移，缩放等）→生成广义的结构数或形态数（如与母版小波相应的高频滤波器或低频滤波器）→形态数与原始信号发生作用（小波变换）并借助事物的分形原理（如多尺度分析）等对原始信号结构进行分解、处理操作（如去除噪声等）和复合。

这里我们应注意到形态数概念与传统数概念的一个重要差异：如果说人类数概念起源于对事物的计数或计量的话，那么这里的所谓形态数或结构数概念却来自于对实际形态或结构的描述、理解和领悟。所以结构数为事物形态与数概念的统一。

由小波分析的原理，我们引出物数学的重要原理**形态数生成原理**：根据（物理）对象的形态由经验生成具有某种典型性分析单元“形态子”，根据“形态子”生成可数学操作的“形态数”（某种矩阵）对对象实施分析操作。

4. 形态数

矩阵是一个非常特殊的运算对象，它是数值、数位、数序、关系（自返，正反、局整）的一个复合体。本文把它看成一个广义的数，称为结构数或形态数。

我们在这里看一看 Internet 提供的利用小波技术对一个信号[90,70,100,70]进行低频部分（信号的本质部分）和高频部分（信号的波动部分）的分离处理的过程。这一过程涉及下文所示的矩阵的乘法^[22]。这一处理过程包括如下运算，第一次只对 90, 70 求和的平均，保留其他不动；第二次只对 100, 70 求和的平均，保留其他不动；第三次只对 90, 70 求差的平均，保留其他不动；第四次只对 100, 70 求差的平均，保留其他不动。得结果[80 85 10 15]。再按上原则重复操作最后的得[82.5 -2.5 10 15]。

上述运算可以通过两个矩阵乘法完成。鉴于医学人员往往对数学运算不熟悉，本文给出全部运算过程细节。

$$\begin{aligned}
 & [90 \quad 70 \quad 100 \quad 70] \times \begin{bmatrix} 1/2 & 0 & 1/2 & 0 \\ 1/2 & 0 & -1/2 & 0 \\ 0 & 1/2 & 0 & 1/2 \\ 0 & 1/2 & 0 & -1/2 \end{bmatrix} = [90 \times (1/2) + 70 \times (1/2) + 100 \times 0 + \\
 & 70 \times 0 \quad 90 \times 0 + 70 \times 0 + 100 \times (1/2) + 70 \times (1/2) \quad 90 \times (1/2) - 70 \times (1/2) + 100 \times 0 + 70 \times 0 \\
 & 0 \times 0 \quad 90 \times 0 + 70 \times 0 + 100 \times (1/2) - 70 \times (1/2)] = [80 \quad 85 \quad 10 \quad 15]
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& [80 \quad 85 \quad 10 \quad 15] \times \begin{bmatrix} 1/2 & 1/2 & 0 & 0 \\ 1/2 & -1/2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \\
& = [80 \times (1/2) + 85 \times (1/2) + 10 \times 0 + 15 \times 0 \quad 80 \times (1/2) + 85 \times (-1/2) + 10 \times 0 + 15 \times 0 \quad 80 \times 0 + 85 \times 0 + 10 \times 1 + 15 \times 0 \quad 80 \times 0 + 85 \times 0 + 10 \times 0 + 15 \times 1] = [82.5 \quad -2.5 \quad 10 \quad 15]
\end{aligned}$$

从此例可看到，矩阵不仅可以表示一个结构，并且可以对结构的细节分别处理，因而具有形态数的基本功能。

5. 生物医学物数学的基本哲学观

1. 所谓形式空间是事物的一种理性背景：它必须是某种均匀性(低阶的，高阶的，单纯的，复合的)；
2. 生物机体是形形色色的**异质物理空间**在背景空间欧氏空间中“高度密集，高度不均匀，高度相互干涉（阻断，传导，改变，辅助）和依赖”。这一切均通过“**硬的**”即非理性物理机制形成。
3. 由此决定了生物机体形形色色的**异质形式空间**也是“高度密集，高度不均匀，高度相互干涉（阻断，传导，改变，辅助）和依赖”的。
4. 生物医学知识整合的复杂性与一般系统理论对象的复杂性不可同日而语，依靠单纯形式化的系统研究试图得到对生物系统整合机制的理解犹如杯水车薪。独立的理性或形式化研究和独立的物理性实验或经验均无法完成对生物医学知识整合大业，开创一种新的二者结合的探索性研究物数学也许是一种方向。
5. 物数学中任何形式空间都依赖于某种具体的物质基础或运动形态，各种物性决定理性空间（后者必须服从前者），形式空间必须依赖或接受物理现象学数据的指导。
6. 生物医学物数学在高密度，高异质，高交互的物理实体中寻求形形色色的(低阶的，高阶的，单纯的，复合的)美丽无比的均匀性，在超级复杂的生物机制上镶嵌一颗颗光彩夺目的理性明珠；

参考文献

1. 包含飞：生物医学知识整合论(I)，《医学信息》杂志，16 (6)：174-279，2003
2. 包含飞：生物医学知识整合论(II)，《医学信息》杂志，16 (8)：410-415，2003
3. 包含飞：生物医学知识整合论(III)，《医学信息》杂志，16 (11)：602-605，2003

4. 包含飞: 生物医学知识整合论(IV),《医学信息》杂志, 16(12): 666-670, 2003
5. 包含飞: 生物医学知识整合论(V),《医学信息》杂志, 17(5): 244-250, 2004
6. 包含飞: 生物医学知识整合论(VI),《医学信息》杂志, 17(8): 452-457, 2004
7. 包含飞: 生物医学知识整合论(VII),《医学信息》杂志, 17(11): 685-692, 2004
8. 包含飞: 生物医学知识整合论(VIII),《医学信息》杂志, 18(1): 11-15, 2005
9. 包含飞: 生物医学知识整合论(IX)——献给电子病历,《医学信息》杂志, 18(3): 172-176, 2005
10. 包含飞: 生物医学知识整合论(X),《医学信息》杂志, 18(5): 420-424, 2005
11. Bao HF: The Theory of Biomedical Knowledge Integration(I), Chinese Journal of Medical Treatment, 2(13): 1-6, 2003
12. Bao HF: The Theory of Biomedical Knowledge Integration(II) ——What is underlying the domain concepts, Chinese Journal of Medical Treatment, 2(21): 1-6, 2003
13. Bao HF: The Theory of Biomedical Knowledge Integration(III), Chinese Journal of Medical Treatment, Vol(3), No(7), 2004
14. Bao HF: The Theory of Biomedical Knowledge Integration(IV), Medical Information, 18(6), 545-550, 2005
15. HF Bao: The Theory of Biomedical Knowledge Integration(V)——The meta-dimensions and their combination of the General Linkage/Modifiers of SNOMED, Medical Information, 18(10): 1227-1232, 2005
16. HF Bao: The Theory of Biomedical Knowledge Integration(VI), Medical Information, 19(2): 183-190, 2006
17. 包含飞: 概念本体、实验本体和罗盘-灯塔本体——BMKI 的概念、原理和方法学(I), 计算机应用与软件, 9(增刊), 98-102, 2005
18. 包含飞: SNOMED 的一般连接词/修饰词的元维度及其复合研究——BMKI 的概念、原理和方法学(II), 中国医院, 22(增刊), 113-115, 2005
19. 量子力学史话, <http://book.sina.com.cn/liangzishihua/2004-02-11/3/41429.shtml>
20. van Bemmelen JH, Musen MA 主编, 包含飞, 郑学侃主译:《医学信息学》, 上海: 上海科技出版社, 2002, p384-385
21. <http://www.mscenter.edu.cn/blog/spring/archive/2006/03/25/9029.aspx>
22. 小波分析系列讲座, http://www.chinaai.org/Article_Class.asp?ClassID=25
23. 宣国荣: 小波分析及其应用(Wavelet analysis and its application), http://www.chinaai.org/Soft_Show.asp?SoftID=16