

人工生命:计算机与生物学相遇的前沿

Artificial Life: Forward Position of Combination of Computer and Biology

李建会

(北京师范大学哲学系, 博士、副教授 北京 100875)

创造生命可以说是人类自古以来的梦想。古代的神话几乎无例外地都把生命看作是由神从无生命的物质中创造出来的。如果说神话最早反映了生命可以从无生命物质创造出来的人类理想的话,那么,从近代开始,人们则试图实际地用机械的方式创造生命。1735年,一位名叫雅克·沃肯森的人曾经制造了一个人造鸭子,这鸭子不仅看上去像鸭子,而且还能像鸭子一样在水面上拍打翅膀、叫、吃食、饮水、消化,甚至能排泄出一粒粒人造食物。它是一件做工极其复杂的杰作,仅一只翅膀就由400个机械零件组装而成。虽然如此,但是在生命的本质还没有得到充分了解以及人们的制造技术还很落后的情况下,人们能创造的,充其量只是类似迪斯尼公园里的一些古怪的生命模拟物而已。然而,从20世纪中叶开始,生命科学和计算机科学的发展,为我们提供了全新的理论和工具。人工生命不再是几个有强烈好奇心的人的业余爱好,而是一些严肃的科学家基于计算机和生命的原理正试图实

现的目标了。

一、人工生命思想的萌芽和主要思想

现代人工生命思想的萌芽可以追溯到20世纪中叶计算机专家阿兰·图灵和约翰·冯诺伊曼的工作。图灵证明生物的胚胎发育可以用计算的方法加以研究。冯诺伊曼则试图用计算的方法描述生物自我繁殖的逻辑形式。

到了70年代和80年代,随着电脑速度的大幅度提高以及个人电脑的普及,在康韦、沃弗拉姆等人有关“生命游戏”研究的基础上,克里斯·兰顿发现,处于“混沌的边缘”的细胞自动机既有足够的稳定性存储信息,又有足够的流动性来传递信息。当他把这种规律与生命和智能联系起来时,他认识到,生命或者智能很可能就起源于“混沌的边缘”。于是兰顿的脑海中浮现出一个崭新的思想:如果我们在计算机中建立起产生“混沌边缘”的一定规则,

参考文献

- [1] John R. Wilson, Virtual environments and ergonomics: needs and opportunities, Ergonomics[J], 1997, 40(10): 1057~1077
- [2] Valerie N. & Cathleens S., Spaceflight[M], smithsonian Guide, macmillian U. S. A, 1996: 25~35
- [3] Vega Programmer's Guide for Windows NT and Windows 2000[M], Version 3.5, Multi Gen - Paradigm Inc., 2000. 6: 93~98
- [4] Anthony R., Human - centered computing for NASA Aeronautics and space program, [C] Proceedings of the IEA 2000/ HFES 2000 congress: 1-244~1-247
- [5] Lialley K., Virtual reality and telepresence applications in space robotics[J], virtual reality systems, 1993, 11(2): 50~56
- [6] Mark D., Ergonomic considerations in launch design and processing for operational efficiency[C], Proceeding of 31st international space congress, Florida, U. S. A, 1994. 4: 7-35~7-41
- [7] Gill S. and Ruddle R., Using virtual humans to solve real ergonomic design problems[C], proceeding of the 1998 international conference on simulation, VENUE, UK, 1998: 223~239
- [8] Dallenbach K M., The human role in manned space[J], Acta Astronautica, 1995, 36(4), 217~229
- [9] Adam R. Brody, Space operations and human factors[J], Aerospace America, 1993(10), 19~21
- [10] Maury. Evaluation of artificial network modelling to predict torso muscle activity[J], Ergonomics, 1996, 36(12), 1430~1444
- [11] R. peecy J. Seastrom, New trends in system safety and risk management in international manned space programs[C], 47th International astronautical congress, October 7-11, 1996, Beijing, China, 1~6
- [12] Jayaram S. and Connacjer I, Virtual Assembly Using Virtual Reality Techniques[J], Computer Aided Design, 1997, 29(8): 558~565
- [13] Stephen M, Jarrett C. virtual Reality at NASA/ Goddard Space Flight Center[J], Computer Graphics, November 1996: 438~446

(责任编辑 王宏章)

那么,从这些规则中就有可能浮现出生命来。由于这种生命不同于地球上以碳为基础的生命,因此兰顿把它称为“人工生命”。

兰顿关于“混沌的边缘”和人工生命的想法得到了美国洛斯阿拉莫斯非线性研究中心的专家多伊恩·法默的赞赏,在他的支持下,兰顿筹备了1987年9月的第一次国际人工生命会议。这次会议的成功召开标志着人工生命这个崭新的研究领域正式诞生。

根据兰顿的说法,“人工生命是研究展示自然生命系统特征的人工系统”,它主要通过综合的方法,即自下而上的方法研究生命。人工生命并不特别关心我们已知道的地球上的特殊的以水和碳为基础的生命,这种生命是“如吾所识的生命”(life - as - we - know - it),是传统的生物学的研究主题。人工生命研究的则是“如其所能的生命”(life - as - it - could - be)。

生命最本质的东西是它存在的形式,因此如果我们能够从具体的生命当中抽象出控制生命的逻辑,并且能够在另外一种物质中获得相同的逻辑,我们就可以创造出基于不同材料的另外一种生命。今天的生物学仅仅是关于“如吾所识的生命”的生物学,我们只有在“如其所能的生命”的广泛内容中去考察“如吾所识的生命”,才会真正理解生物的本质。因此,生物学必须成为任何可能出现的生命形式的生物学。人工生命的最终目标就是创造出真正具有活性的生命——人工生命。

二、Tierra:人扮演上帝

1990年是人工生命发展的又一个不平凡的一年,美国热带雨林专家托马斯·雷(Thomas Ray)编写的Tierra(西班牙语意为地球)模型轰动了整个人工生命界。Tierra的不平凡之处不仅在于它第一次是由一个生物学家设计的,而且还在于雷第一个宣称,他的“地球”(Tierra)上的“生物”事实上就是“活的”。他不无自信地说,“创造生命其实很容易”。他把他的模型命名为“地球”,其意就是表明,人们已经在扮演上帝,开始了第二次创世纪!

雷在编写他的模型时,与大多数人工生命的模拟研究不同,他的目标不是直接模拟自然的生命,而是制造出完全不同于在我们周围看得见的生命形式。他打算让这些生命形式在它们的计算机硅环境中演化,产生自己独有的种系。

一般地说,生命都具有新陈代谢、复制和进化的能力。在自然界中,生物是由有限的食物供给和有限的生存空间约束的;有机体在获取食物和复制上的效率越低,它的适应就越差,它传递到下一代的机会就越少。在Tierra中,“生物”由一系列能够自

我复制的机器代码或程序组成,它在计算机中的复制分别受到计算机的存储空间和CPU时间约束。能有效地占有内存空间和利用CPU时间的生物体,将具有更高的适应度,传递到下一代的机会就越大。

Tierra的祖先有机体包含80个汇编程序指令,包括一个扩展的代码,其中有产生子代有机体的方法。因为每一个由汇编程序指令编码的行动具有一定的执行错误的概率,因此进化是可能的。为了避免快速复制的有机体迅速填满所有可用的内存空间,Tierra包含一个“收割器”功能,以模拟自然“死亡”。一旦群体达到某一临界水平,“收割器”就开始消灭有机体。事实上,有机体一出生,它就进入收割器队列。当收割器功能判定到了要求有牺牲者的时候,它总是清除队列前面的有机体。产生错误的有机体被提到队列的前面,而能有效完成行动的有机体则被拉回来,因此延长了它们的生命。

雷在运行它的Tierra时吃惊地发现,他的电子世界的的确确生出许多“生物”,显示出一个令人目眩的结构与活动序列。开始时只有一个祖先生物,但经过526万条指令的计算之后,与寒武纪相仿的生命大爆发在区区数小时内发生了。这时,在Tierra虚拟世界中游动的是366种不同大小的生物(雷把它们解释为不同的“物种”)。在运行25.6亿条指令后,1180种不同大小的生物产生了。在新产生的生物中,不但出现了一些寄生生物,而且也出现了超寄生生物(靠其它寄生者生活的寄生者),甚至超一超一寄生生物。与真实世界中的生命演化类似,Tierra生物中最终还产生了对寄生生物具有免疫能力的生物。Tierra中也演化出了一些长期进化的特征。间断平衡这种现象(即在很长时间内进化发生得非常缓慢,但是却又常常发生急剧的进化,结果在相对短暂的时候内产生许多新的物种)在Tierra模型中也被观察到。另外,在Tierra世界中甚至还可能演化出社会组织。

总之,自然演化过程中的几乎所有特征,以及 与地球生命相近的各类功能、行为、组织,全都出现在Tierra中。并且,生物系统所具有的高度的复杂性也出现在演化生物高度发达的行为中。在Tierra中,开始时互相不交流的生物后来也发现了互相利用以及避免被利用的方法。

需要说明的是,雷的实验是限制在单个的计算机中的,由于这台计算机的CPU和内存已规定了Tierra的边界,因此可能产生的演化生物的种类势必受到了一定程度的限制。雷已经提出在国际互联网上建立Tierra,这样就可以将网上计算机中闲置的空间,作为Tierra资源的一部分加以利用。雷期望在这种新的条件下,他创建的祖先生物会演化出更多的物种并产生出更多的存活和繁殖策略。

三、Animat: 机器人版本的人工生命

雷研究的主要是在计算机的硅环境中创造出新的生命形式的可能性,这种人工生命观念被称为“虚拟(virtual)版本的人工生命”。另一种版本的人工生命认为,可以利用计算机和非有机物质在现实的物理世界中创造出具体、具有真正生命的人工生命。这种版本的人工生命又被叫做“现实的(real)人工生命”,或“机器人版本的人工生命”。机器人版本的人工生命并不仅仅研究机器人,而且还研究机器动物,所以,有的人工生命研究者又把这种版本的人工生命称作英语“动物”词干打头的 Animat。当然,由于现代研究离不开计算机模拟,所以对 Animat 的研究很多情况下是在虚拟环境中进行的。虽然机器人的研究很早已开始,但在人工生命新的视野下的 Animat 研究,却仅仅是刚刚开始,它存在许多尚待解决的问题,这些问题也是人工智能研究者所关注的问题。比如,哪一种表示方法可以使 Terra 具有学习和自适应能力?怎样才能使 Animat 产生进化?哪一种表示方法可以接近实际的感知和认识等等。

2000 年是人工生命发展的又一个重要年份。这一年,美国布兰代斯大学的赫德·利普林和乔丹·波拉克等人在英国《自然》杂志上发表文章,声称他们研究出了一种可进化的人工生命——可进化机器人(见本期封二示意图,以及“可进化机器人的 3 个演化结果图”)。他们先在计算机上设计出简单的、不会活动的机器人模型,其身体由硬杆、传动装置、球状关节和电路组成;然后他们为机器人设定“进化”程序,使得计算机每隔一段时间自动对设计模型进行一些修改,这相当于生物进化的基因变异。“变异”产生的新模型中最灵活的被保留下来继续“进化”,不灵活的则被去除掉,这相当于生物进化的自然选择过程。经过几十代的“进化”,最灵活的机器人模型已经能够做一些简单动作。几百代“进化”之后,计算机选择了最成功的几种模型,并控制自动生产机械按模型制造出机器人。这些机器人由热塑材料制成,身長仅 20 厘米,结构简单。它们只会以爬或跳的方式移动,达不到科幻小说里智能机器人的水平,连清扫屋子等简单的劳动也干不了,但这已是一项重要的突破。利普森和波拉克等科学家认为,他们的新成果为机器人设计提供了新思路,有望大大降低机器人设计成本,提高机器人对工作环境变化的适应能力。

制造机器人的一个重要目标是提高它们的适应能力,或曰智能。目前,在一些机器动物和机器人专家看来,限制机器生物和机器人智能提高的主要问题出自硬件。比如,机器人专家汉斯·莫里维克

(Hans Moravec)在《科学美国人》1999 年第 12 期的一篇名为“机器人的兴起”的文章中认为,要使计算机具有与人类相当的大脑,计算机必须有足够高的处理速度。通过比较和计算,他认为,要模拟 1 500 克重的人脑的活动,普通计算机的功能至少必须提高 100 万倍以上。按当前计算机的发展速度,填平计算机与人脑之间的鸿沟只需 30 年到 40 年的时间。他说:在 2010 年,我们将创造出第一代“通用机器人”(运行速度为 5 000MIPS),它的智力将与蜥蜴相当,能被用来做任何简单的杂务;第二代通用机器人将具有老鼠的智力(运行速度为 10 万 MIPS),能完成第一代通用机器人无法处理的工作,并可以接受训练;第三代机器人的智力与猴子相当(运行速度为 500 万 MIPS),能够通过学习迅速领会周围环境;第四代通用机器人(速度为 1 亿 MIPS)将与人的智力相当,具有进行抽象归纳的能力。因此他预言说,“在不远的将来,这个延续了数十年的梦想——制造出功能强大的通用自主机器人——将变成现实”;“到 2040 年,我们最终将达到最初机器人的目标,也就是科幻小说中描述的机器人:智力水平和人相当的能自由移动的机器人”;“到 2050 年,基于计算机的每秒执行 100 万亿条指令的机器人‘大脑’将开始能与人类智能竞争。”

四、走向未来

自从 1987 年兰顿提出人工生命的概念以来,人工生命学术界已举办了 7 次里程碑式的国际学术会议,这 7 次 ALIFE 会议构成了该领域发展轨迹在时间维上的重要坐标点。

人工生命被认为是走向 21 世纪的科学。人工生命学科的积极倡导者法默曾这样说到:“随着人工生命的出现,我们也许会成为第一个能够创造我们自己后代的生物”;“这种生物的知识与智慧将远远超过我们。当未来具有意识的生命回顾这个时代时,我们最瞩目的成就很可能不在于我们本身,而在于我们创造的生命。”虽然许多人可能不像法默这么乐观,但人工生命在 21 世纪肯定会有重大的突破则是毫无疑问的。

人工生命不仅仅是对科学和技术的一个挑战,而且要涉及到社会、道德、哲学和宗教信仰等很多问题。假若 21 世纪中叶具有智慧的人工生命果然被创造出来,那么,人工生命就会像哥白尼当年的太阳系理论那样,“将迫使我们重新审视我们在宇宙中所处的地位和我们在大自然中扮演的角色。”

参考文献

- [1] 刘健勤. 人工生命的理论及其应用. 冶金工业出版社, 1997

(下转第 44 页)

20) ; t 代表年份; 系数 b 表示单位风险投资额相对于公司 R & D 投入资金量对专利申请数量的影响, 若 $b > 1$, 表示风险投资比公司 R & D 投入对技术创新的影响更大, 更有效率; 系数 ρ 表示风险投资与公司 R & D 投入资金量之间的替代程度 (ρ 在 $[0, 1]$ 区间内取值); 系数 α 表示随着风险投资额和公司 R & D 投入资金规模的规模变化, 专利申请数量变化的比例。采用上述专利生产函数对 20 个行业进行了在 1965 年到 1992 年时间区段的回归分析, 分别确定了各系数的值, 建立了旨在说明风险投资对技术创新影响的经验模型, 得出了以下非常有价值的研究结论。

1. 表示风险投资与公司 R & D 投入对技术创新相对影响的 b 值在所有行业的估值都是有意义的, 而且总是正值。所有行业专利生产函数方程中 b 值平均为 6.2, 表明同样金额的风险投资对技术创新的影响远远超过公司 R & D 投入。

2. 在样本中最新 10 年的数据表明, 平均而言, 风险投资额仅相当于公司 R & D 投入资金量的 2.92%。用 b 值的平均值和风险投资相当于 R & D 投入的平均比例值代入方程计算, 得出了在最新的 10 年内风险投资占据了约 15% 的行业技术创新, 反映了风险投资促进技术创新的效率大约相当于公司 R & D 投入的 5 倍。

3. 从上述两个结论得出的总的结论是: 在美国经济中风险投资对技术创新有相当大的实质性影响, 而且对于技术创新来说风险投资的投入远比公司 R & D 投入的投资效率要高得多。从表面上也可以看出, 发生在 20 世纪 90 年代的创新潮与风险投资额的急剧上升是相对应的。

四、若干启示和结论

通过对美国风险投资和技术创新内在联系的考察与比较, 可以得到以下启示和结论。

1. 风险投资以其独特的投资运作机制成为资助技术创新的有效方式, 比较而言, 比银行部门和公司 R & D 投入更具优势。

2. 风险投资促进技术创新的较高效率, 从一个侧面反映了公司 R & D 的低效率, 因此必须研究提

- (上接第 8 页)
- [2] 沃尔德罗普·陈玲译. 复杂: 诞生于秩序和混沌边缘的科学. 三联书店, 1997
- [3] Adami, Chris (1998), Introduction to Artificial Life. Springer Verlag
- [4] Boden, Margaret A. (1996), The Philosophy of Artificial Life. Oxford University Press
- [5] Emmeche, Claus (1994), The Garden in the Machine: The Emerging Science of Artificial Life, Princeton University Press
- [6] Langton, Christopher G. (1989), "Artificial Life", from Ar-

高公司 R & D 创新效率的组织和管理问题。

3. 我国应鼓励、促进风险投资业的发展, 改善风险投资业的发展环境。美国风险投资促进技术创新的成功也会在我国出现。

4. 小型创新企业的技术创新要与高等院校和科研院所等基础研究机构的研究以及大企业的 R & D 相结合, 促进不同类型技术创新的发展, 理顺不同类型的投资与不同类型技术创新的关系, 激发技术创新潮流的形成。

参考文献

- [1] 俞自由, 李松涛, 赵荣信. 风险投资理论与实践, 上海财经大学出版社, 2001
- [2] Acs, Z. J. and D. B. Audretsch, 1991, R & D, Firm Size and Innovative Activity, in: Acs, Z. J. and D. B. Audretsch (eds.), Innovation and Technological change, N. Y., pp. 39-59
- [3] Lampel, J., R. Miller, and S. Floricel, 1996, Information Asymmetries and Technological Innovation in Large Engineering Construction Projects, R & D Management 26:4, pp. 357-369
- [4] Aghion, P. and J. Tirole, 1994, The management of innovation, The Quarterly Journal of Economics, pp. 1185-1209
- [5] Armour, H. O. and D. J. Teece, 1979, Vertical Integration and Technological Innovation, Review of Economics and Statistics, pp. 470-474
- [6] Anand, B. N. and A. Galetovic, 1998, Weak Property Rights and Hold-up in R & D, CEPR, London
- [7] Scherer, F. M., 1992, Schumpeter and Plausible Capitalism, Journal of Economic Literature 30, pp. 1416-1433
- [8] Schumpeter, J. A., 1942, Capitalism, Socialism, and Democracy, New York
- [9] Cohen, W. M. and S. Klepper, 1992, The Anatomy of Industry R & D Intensity Distributions, American Economics Review 82, pp. 773-799
- [10] Qian, Y. and C. Xu, 1998, Innovation and Bureaucracy under Soft and Hard Budget Constraints, Review of Economic Studies 65:1, pp. 151-164
- [11] Kortum, S. and L. Lerner, 1998, Does Venture Capital Spur Innovation? NBER Working Paper
- [12] OECD, 1999, Research and Development in Industry 1976-97

(责任编辑 王宏章)

tificial Life, Chris Langton, ed. SFI Studies in the Sciences of Complexity, Proc. Vol. VI. Redwood City, CA: Addison-Wesley. Reprinted in Boden (1996)

- [7] Levy, Steven (1992) Artificial Life: A Report from the Frontier Where Computers Meet Biology. New York, Vintage Books
- [8] Lipson, H. and J. B. Pollack (2000), "Automatic design and Manufacture of Robotic Lifeforms", Nature, 406, pp. 974-978
- [9] Moravec, Hans (1999), "Rise of Robots", Scientific American, Dec., 124-135

(责任编辑 蔡德诚)

人工生命——可进化机器人

(见李建会文)

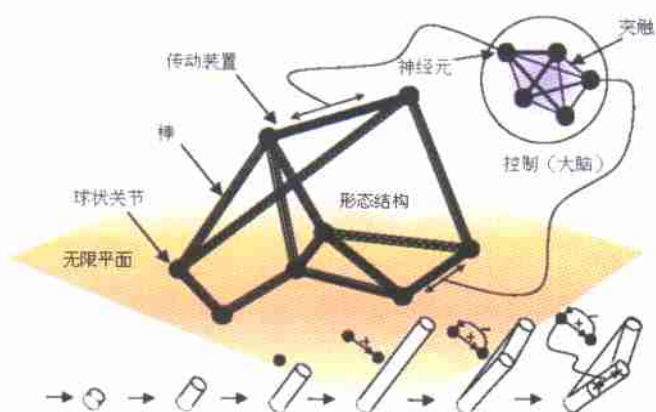
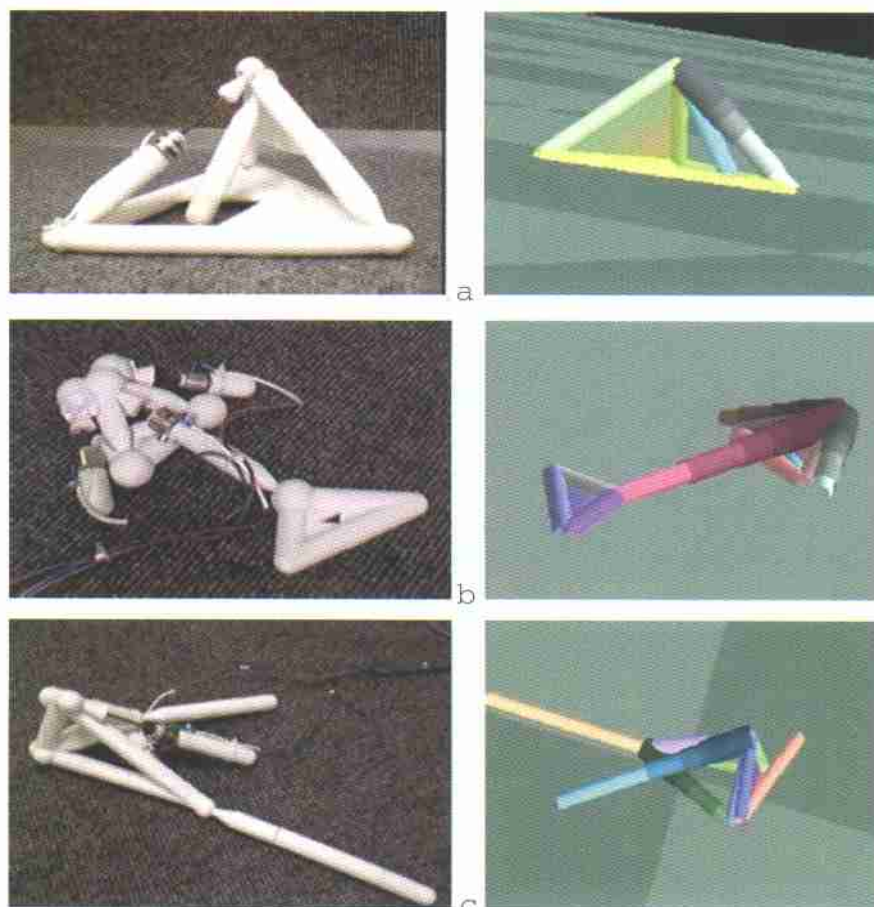
(a)通过中心棒对着地面推动前进的四面体结构。

(b)是一种对称结构，它用7个神经网络驱动中心传动器和两个同步化的侧面肢体传动器。当侧面的两个肢体推动的时候，中心体恰好缩回，反之亦然，从而推动整体向前移动。

(c)有一个被抬高的身体，从这里它把一个传动器向下直接推向地面，使整体向前移动。它有几个多余的棒拖拉在地板上，它们可能有助于它的稳定性。图的右侧皆为虚拟演化的结果，左侧为该结果在现实环境中实现的实物。

(图片来源: Pollack and Lipson 2000)

右图:可进化机器人的3个演化结果
下图:可进化机器人的示意图



图的底部的序列表示的是创造一个小棒，拉长和拆分它的任意算子系列。同时，其它的算子创造神经元，增加另外的神经元，把它们连接为一个环，并且最终把一个神经元与一个棒相连接。

(图片来源: Pollack and Lipson 2000)

棒和传动器是机器人结构的建设模块，人工神经元是控制的建设模块。棒与棒之间通过球形关节彼此形成任意的连接；通过改变棒的数目和它们连接的方式，构架的结构行为被改变，即某些亚结构可能变为刚性的，同时其它的亚结构可能变成活动的。神经元彼此通过突触连接形成任意的递归神经网络。通过改变突触权重和神经元的激活阈值，神经元的行为被改变。通过改变神经元数目和它们的连接方式，网络的行为被改变。此外，神经元与棒相连接，人工神经元信号将通过线性传动装置控制棒的长度。所有这些变化可以通过变异算子引起。算子序列将通过添加、修改和删除建设模块从头开始构造机器人和它的控制器。