

中文标题 (Title in Chinese): 连接分形的城市

英文标题(Title in English): **Connecting the Fractal City**

Nikos A. Salingaros 著, 刘洋 译

摘要(Abstract in Chinese):

和所有生命系统一样,生活城市本质上都具有分形特征。汽车和人口增长带来的压力迫使二十世纪的城市规划者推行反分形的几何类型。传统城市的分形特征被去除,给城市肌理造成灾难性的影响。要消除这种破坏,必须深入细节地理解一些问题:(1)分形特征都有哪些;(2)生活城市肌理中错综复杂的相互连接;(3)连接和修补城市空间的方法;(4)整合行人、汽车和公共交通的有效方式;(5)如何将实体联系与电子联系起来。首先,我们应该消除对分形结构的一些基本误解,然后我会强调层级一致性的本质和重要性。我们可以用分形标度来检验城市形体——作为城市成功的一个前提;另一个独立标度是连通性,应当从拓扑学角度进行研究。用生物系统进化和因特网的知识来讨论尺度分布,逆幂律度尺度法则和“小世界”网络。这些概念表明当代都市一方面向郊区化蔓延发展,另一方面是摩天楼式发展——这种对极端密度的偏好都是病态的。当代都市面临的挑战是如何用最佳方式实现竞争性连接网络的融合。

关键词 (key Words in Chinese): 规划,城市设计,分形,网络,尺度,层级,“小世界”网络,逆幂律度尺度法则,催化作用,毛细管现象。

Key Words: planning, urban design, fractals, networks, scaling, hierarchies, "small-world" networks, inverse power-law scaling, catalysis, capillarity.

1 导言

本文从几何形体连接方式的角度介绍不同类型的城市。不同的城市类型孕育着不同程度的城市生活。城市生活直接依赖于其所在的联系结构及其支撑体系,因为几何形体或促进或抑制着人的行为和交流。理解这一点对于融入信息与通讯技术驱动下的电子城市至关重要。与人们的普遍认识相反的是,电子城市并不是“高科技”现代汽车城市的必然结果,实际上它反而与具有人性化尺度的 19 世纪城市连接得更好。

为了更好地讨论这些纯几何学问题,需要先澄清一些术语的定义。我在技术附录中定义了“分形”、“尺度层级”和“连通性”等概念。城市规划者也许误以为这篇文章题目的意思是:“连接一个不连通的城市”。是的,当代都市是不连通的,但就另一个意义来说,它们也不具有分形特征。城市组成部分的规模的分布方式和连接方式从根本上决定了不同的城市类型。一幅完整的城市美景由不同的相互作用的网络组成,。这些网络各具特性,他们在不同的尺度上发挥作用,既相互竞争,又在同一个生活城市中必须彼此连通,默契配合。

把城市看作一种复合分形结构的想法有巨大的概念性意义收获 (Batty & Longley, 1994; Frankhauser, 1994)。因为分形结构在所有的尺度上都存在,作为城市规划者我们大可不必费神去和“限定尺度”这样有误导性的术语打交道。不同的城市程序和机制在不同的尺度上运行。发生在所有尺度上的事件以固有方式进行跨尺度层级协作,从而有助于我们理解城市的存在和生长方式,并减少城市规划中的偶然成份。这篇论文会介绍为什么历史上的城市是具有分形特征的,而 20 世纪城市却不是。未来的城市应当是具有分形特征的,这可以通过改进传统城市几何形体解决方案,并注入适应新情势、新技术的新分形结构来实现。

我在这篇论文中首先将描述什么类型的城市具有分形特征，什么类型的不具有。其中的重要观念是，从庞大到微小的结构，所有尺度上都存在一种相互关联的层级结构。（详细说明参见附录一）然后我会对使城市具有活力的连通性进行概括介绍。生活城市有着比人们对现代城市的预想中多得多的节点间连接。这类连接的自然形成需要大量、多样并紧密混合的节点。因此，现代建筑国际大会中单一功能的分区的重要理念被证明抑制了城市活力。（图1）

本文其它部分将讨论维持城市活力的必要连接层级。相互竞争的网络连接存在于一些尺度上，每种尺度必须存在以实现各自的功能。如果我们想把电子城市整合入实体城市，就必须理解这种互联关系。我对注重大尺度连接而排斥小尺度连接的做法持批判态度——因为这两者城市都需要，并且需要它们保持均衡。今天的城市在汽车与行人领域间非常缺乏一个有效的交互界面，我记得亚历山大（Christopher Alexander）曾提出过解决这个问题的方案。下面，我就来讨论网络结构效率并介绍一下“小世界”网络的概念。

关于城市的思考还存在一个较大的空白——这就是缺乏一个认识论层面的框架——用来证实城市干预能否真正达到预期效果，还是反而使城市肌理更加恶化。明确城市行为的因果关系是我们行动的前提（即什么原因导致了什么结果），因此，我认为城市干预需要采取一种更为科学合理的方法。本文结论部分提出关于如何使城市肌理再生的若干建议，其中包括：以最新互联网站结构知识为指导，借鉴亚历山大和克里尔（Léon Krier）的想法重建步行网络等内容。

三个专门附录更为详尽地介绍了城市形态的数学特性。首先讨论的是分形和尺度层级，分形实际上是一种跨尺度层级的复杂的连通结构。其次介绍尺度分布。我们可以通过尺度分布知道分形尺度层级中特定尺度的数目，它可以适用于社区、建筑、城市空间、绿地、公路和小道这些不同的尺度中。再次介绍什么样的实体尺度分布与电子连接最兼容。从数学角度来看，电子城市与有步行联系的传统城市结合得最完美，这一点已被空间/电子界面的进化模式证实。

2 那种类型的城市具有分形特征？

有历史的，前现代主义城市才具有分形特征，因为它们表现在各个尺度上。中世纪城市在小于一公里的尺度上最具有分形特征，而19世纪城市的分形特征则较好地体现在在较大尺度上。到20世纪为止历史上出现的城市类型自发演化为分形结构。（Salingeros, 2001）（图2, 3）。传统城市形态的形成取决于步行交通网。经过长时间建造和不断加建形成的步行城市是符合分形模型，这一点即便是它们的建造者也没有注意到。正如我在其他地方提到过的，人脑中有分形模型的烙印，因此，凭直觉产生的想法便会具有分形结构的特征。（Mikiten, Salingeros and Yu, 2000）。

实际上，在人能够创造出具有非分形特征的物体前，要先从心理上适应它。不幸的是，这几十年来我们的教育和媒体正在帮助我们适应。“现代性图示”是一种光滑生硬的几何形态，而且也许是塑造城市形态最强大的力量。虽然它与具有活力的城市的运作毫无关联，但是这种简单化的图示却在指导着我们建造。更令人担忧的是，它也在决定着哪些现存城市肌理“不够与时俱进”，该被拆除。我们实行的一系列选择评价标准忽视了城市活力，对城市肌理极具破坏性。

勒·柯布西耶（Le Corbusier）的理想城市是一个纯粹的大尺度想法，不具有分形特征。这座理想城市由摩天楼、高速公路和广阔的硬质开放空间组成。勒·柯布西耶所描绘的摩天楼坐落在一个巨型公园里，仅界定出两个或三个最高层级的尺度。在无限的尺度层级中，小于摩天楼宽度尺度的建筑物已十分罕见，更不用说1厘米到2米的人性尺度了。他忽视了一个生命城市所必需的所有小尺度层级建筑物。勒·柯布西耶完全错误地判断了他的“未来城

市”前景。他的摩天楼确实取代了传统生命城市的结构，只不过不是盖在巨型公园里——而是受城市各种力量影响而不得不建在了大型停车场里。

另一方面，奥斯曼（Haussmann）的巴黎改造也可以从分形尺度层级的角度来理解。当中世纪巴黎的发展超过一定规模后，狭窄的街道不足以容纳交通，就必须增加一种新的大尺度结构，因此必须破坏某些城市肌理以开辟更宽更长的城市街道。教皇希克斯图氏五世（Sixtus V）在罗马也进行过类似的改造。不过大尺度城市公园的兴起也带来一些相同的变化——一旦城市扩张超过一定的地理范围，就需要更大面积的绿地。19 世纪大公园取代城市原有肌理的例子在所有大城市中随处可见。然而到了 20 世纪，这些大尺度的城市规划干预（道路和公园）被曲解了，唯有它们破坏性的一面被广泛效仿。

城市形态是城市建设初期政府规划的特定交通系统的产物，之后交通系统的改变导致城市结构的变化。今天，政府行为不是规划汽车“当道”的城市（在建设之前就通过立法确定道路网和基础设施），就是破坏一个现存的步行城市并把它改造为汽车城市。在后一种情况下，破碎的传统步行城市也许还能承载残余的城市生活（如果国家机器真正高效的话，就没有任何城市生活可言了）。因此，把战后的汽车城市或郊区再转化为步行城市是极其困难的——你需要在汽车城市之上再建立一个新的步行网络。

当代建筑——包括那些略受现代主义影响的风格建筑——仍然保留着反分形特征。原因是它在 1 厘米到 2 米的人性尺度上拒绝接受有组织的复杂性。后现代主义和解构主义建筑，除少量例外情况，承袭了禁用图案、饰物和装饰性材料、表皮的传统。它们的设计语汇包括高科技材料、“纯净”表皮，它们的建构语言是非连贯性的。只要城市结构和连接层级里缺失了小尺度，城市就不具有分形特征。尽管拥护者们喊着误导性的口号，解构主义建筑风格表现出的有意识的无组织特性是与真正分形结构的内在组织性却是相对立的。

3 连通性与城市网络

城市活力源自它的连通性（Dupuy,1991），所有几何形体的存在意义都是为了实现这个人与人赖以交流的连通网络，这正是人们选择居住在城市里的首要原因。我们需要通过几幅随机图的连通特性来理解城市生活是如何发生的（Salingaros, 1998）（第一章，城市网络的理论）。首先考虑一下连接如何产生。每个连接产生是为了实现两节点间的信息传递（Castells, 1989; Meier, 1962）。这种信息可能蕴涵在行为中。比如，一个人需要从家到办公室。两个节点分别是家和办公室。一条实体路径是实现这个交流的前提，否则这个人的行为就无法实现。

路径可以把节点用完全抽象的方式连接起来。假定我们一开始没有任何连接，然后将节点成对随机连接起来，每次只连接一对。我们不必刻意将它们全部都分别连接——每次新的连接都是随机的，有可能重复连接已相连的两点。根据 Erdős 和 Rényi 的一个重要的数学结论，经过一定数量的连接步骤，大多数（超过 80%）的节点就被意外地连接起来（Barabási,2002）。这是因为出现了一些相连的节点网，它们会继续生长。在 Erdős 和 Rényi 设定的阈值处，那些分离的网络就会连接成为一个巨网，因而把大部分节点都连接起来（Salingaros, 1998）。

连接的相对数量决定了现实城市的运作方式（Alexander,1965）。有计划地将N个节点两个一组连接起来最少需要N/2条路径（图5）。就是说，如果一半节点是住家，另一半是办公室，每个住家都和与之相应的一个办公室相连。这种连接方式的连通性甚至比“树”状结构还要差（Alexander,1965）。随机连接方式所需的连接数更大，为N/2lnN。路径到达这个数目，大多数节点都通过中间节点连接起来（图4）。再进一步讲，完全连接——每个节点都与所有其它节点直接相连而不通过中间节点——所需连接数为N²/2（对于大值N）（图6）。

应用这些研究结论可以确定城市所需路径数量的上限和下限。在城市里节点或直接或间接地连接起来时，交流成为可能，这就是城市生活。所以我们预计一个有 N 个节点的城市需要的路径数量应介于 $N/2\ln N$ 与 $N^2/2$ 之间。为了提供所有这些连接，必须构建多层结构的交通系统。另外，基础设施应该足够细化。细化后的大量备用选择可以通过替换、组合形成多种可选路径。而二战后的做法恰恰相反，许多小街区被合并成为超级大街区，大量街道被改造成高速公路，从而造成可利用路径大量减少。

对于城市而言， N 大致上相当于人口数量。假定 N 等于 20 万，那么我们估计一下相对的连接路径数量。一个上述规模的现代城市有 10 万条路径，而随机连接的城市有 120 万条路径，是现代城市的 **12 倍**。此外，完全连接的城市有 200 亿条路径，相当于现代城市的 **20 万倍**。中世纪城市完全用步行道连接。我们这样精确地建造城市可以实现所有节点间的直接联系。在我们的集体记忆中，从来没有忘记过，这种联系所带给每个人的行动便利和交流自由。

我们渴望用汽车直接连接城市节点。汽车城市也因此变得与现代城市不同。20 世纪城市是郊区汽车城市和现代主义城市的叠加。从理论角度看，只要有停车场，而且其它车辆不在同一时间占用同一个网络，我们就可以通过汽车直接连接任意两点。汽车将人的活动范围延伸到了几十公里外。更重要的是通过货车进行的货物运输。但是，实现这一汽车可达性的代价是牺牲城市 50% 的地面要用于修建道路和停车场，我们的经济也会受制于石油供应。勒·柯布西耶在现代主义城市设想中将路径（在这个例子里是 1 万条）合并为一条超级路径 (Salingaros, 1998)（第一章，城市网络的理论）。他的实现办法是让所有居民都住进一座巨型超高层楼，并把所有办公室都集中在市中心的摩天楼里。

4 互补原理和催化作用

一个基本原理是：**连接只形成于互补的节点间**。完全没有理由在相似功能的节点间建立连接。(Salingaros, 1998)（第一章，城市网络的理论）。因为同类节点间没有信息交换的可能。多样性和不同类节点间信息交换的需求是城市运作的动力。因此，将同类节点组合在同一个地理区域里的做法没有连接意义。将同质节点组成单一功能区使相互无作用的节点在实体上接近，这样做的部分原因是出于开发商的利益，或是对过分简单化的视觉秩序的肤浅追求。这种做法违反相互作用的基本原理。

违反上述互补原理的同质区域不应与可识别的邻里社区一致性相混淆。邻里社区是城市一部分，有足够的多样性和功能来保证部分自给自足——至少达到占据特定的地理区域的程度。它可以具有某种社会或种族特性。每个节点都互相连接所产生的一致性健康的城市肌理的特征，它与社会的融合互相促进，相辅相成。而由于错误规划或经济原因将人和功能强行纳入一个区域的行为，比如那些没有商业节点的郊外住宅区，附近没有商店的高层贫民窟公寓楼，或周边没有任何住宅区的摩天办公楼，就会造成截然相反的影响。

接下来说说催化作用。许多化学反应都需要某种形式的催化剂，否则反应就会慢得无法实现。Stuart Kauffman (1995) 曾经研究过一个模型，一组能够互为催化剂的节点可以成为一个自发反应组。每个分子是其它分子反应的催化剂。相互反应的分子中就可以找到这种催化剂——只要分子的类型足够多就不需要添加额外的催化剂。Kauffman 发现了形成一个自发反应组所需的不同分子类型多样性的下限（和 Erdos-Renyi 数学定理相同）。把这个理论应用到城市生活中去，可以得出这样的结论，城市要保持生命力就需要大量多样的临近的节点。(Salingaros, 2001b)（第五章，城市构成的评论）。每一部分城市肌理催化着其它部分之间的相互作用（图 7）。

这些结论建构出一个以多种方式连接的能够自身催化的城市肌理的景象。我简单说说它对于城市网络的两点意义。首先，每个节点与另外节点的相连都应有多种可选择的路径。比

如一个人与其他节点相连可以选择走路、骑车、开汽车、坐公交或小公共（私人中巴）、乘地铁、电车或通过电子通讯设备。上述方式除最后一项外都需要实体上的线性联系，因而这些连接方式为了寻求空间彼此竞争，也与节点占据的实体空间竞争。这种性质将流动的几何形体加于城市，这一点与形成目前建筑和城市样式的彼此分离的方盒子式的几何形体截然不同。

其次，我们要有足够密度和多样性的节点以便它们自身催化相互间的作用。19世纪城市将居住、商业、轻工业、行政和宗教功能的建筑混合在一起，彼此临近，城市生机勃勃（A Alexander, Ishikawa, Silverstein, Jacobson, Fiksdahl-King, and Angel, 1977; Krier, 1998）。当时城市的物质结构包括现已失去的城市空间的锚点，比如宽敞的人行道，林荫道和街道家具等。餐馆能给住宅区街道聚拢人气，同时住宅区为餐馆提供了的流动人群。所有这些都会因不同节点间路径的切断（比如设置围栏和路障）和同类节点在同质区域的集中而遭到破坏。我们现在优先考虑汽车城市的停车需求，并建造了一组组类似的却不相连的节点来解决这个问题。

5 连接的层级

因特网为城市生活提供了令人兴奋的新可能（Castells, 1989; Drewe, 1999; 2000; Graham and Marvin, 1996; 2001）。它代替了许多过去依赖于燃料和基础设施的昂贵的“污染性”连接。虽然城市技术主义者？用电子通讯取代实体交通的梦想并未实现，电子网络的确已开始与交通网络相融合。我们面临着当代城市的悖论——我们想尽一切办法通过虚拟世界和汽车实现相互连接，却在行人尺度上相互分离（Dupuy, 1991; 1995）。然而，当我们用电子通讯代替漫长的汽车之旅时，步行城市变得更加珍贵，尽管我们在世界上很多地方已经失去它了。

城市生活的许多问题都与尺度有关。一个城市需要在所有尺度上实现连接。作用于不同尺度上的不同连接方式是截然不同的（图 8）。此外，在平面上（地面层）的顺次连接是最经济的，这就是说不同的连接方式会彼此竞争（Dupuy, 1991; 1995）。一个城市需要在所有这些连接方式中寻求平衡。就像其它竞争带来的问题一样，强大的连接方式占据优势，会自然取代弱小的连接方式。行人需要地面层上的小尺度进行连接，这是有深刻的生理学和心理学原因的。如果不加保护，这类路径会受到其它较强连接方式的威胁。

我们应当注意，要严格依照层级位置来建立大尺度连接方式。无视这一点，会导致我们对交通肆意发展的纵容——高速公路会越建越多，而低层次的交通层级（Dupuy, 1995）逐渐消失。对于小型货车而言，交通网络取决于的连通性而非速度。在许多情况下，需要用更窄小的道路连接城市肌理，把它们作为 *woonerven*（德语“共有的空间”）（窄的半步行道路，道路表面限制车速）被重新引入到城市中。完整的步行城市可以作为一个与滚滚汽车交通洪流交织但又同时受到保护的网被重建（Krier, 1998）。

在大多数当代城市中，交通网络在追求高“效率”的误导下消除了其较低层级。人们需要直接进入高速路，于是住宅和商业区与高速路毗邻而建。他们渴望越过最高尺度层级以下的联系层级。于是今天，越来越多的高速路修建起来，越来越多的中小容量的道路被拓宽。当然，城市在扩张，汽车数量在增长，很快就会超出现有的交通容量。不断升级交通网络是没有意义的，因为这样做是在破坏较小的层级。

6 毛细管现象和分形结构

本文目的是阐述城市社会在邻里街坊和街道层级上的连接机制。我相信在这个尺度

上的连接结构已经基本上被破坏了。只有经过修补我们才能在网络扩张和可达性等方面适应新的模式。我希望通过毛细管道的扩散现象来说明这一点（图 9）。无组织的交通通过扩散发生。扩散不是引导下的流动——而是粒子在最小层级下的随机移动。当最小层级下的运动被引导为同向时，才成为流动。

为了连接到另一个网络，第一个网络的元素要穿过交互界面移动到第二个网络。在流经具有分形特征（逐渐变窄）的通道前往交互界面的过程里，流速要**降低**（图 9）。相反，一个网络可以通过流线化、消解分形结构的过程而**加快流速**。在第一种情况下，形体的约束创造出最低的层级，就像人体循环系统中的毛细血管，它们由循环网络供给，但却以最慢、最具扩散性的方式进行流动。而快速流动与毛细管现象是相对立的。在网络的最高层级，最发达的通道宽阔而平滑，从而有利于快速流动。一个健全的网络需要覆盖从最快到最慢的所有层级。

对城市网络的分形结构的错误认识，导致城市中到处都在试图加大流量，并同时消灭毛细管结构。而对于大尺度汽车网络结构的痴迷也造成了今天处处可见的分离的城市形态。这种失误的原因在于没有认识到相互联系的多重网络结构需要具有分形特质才能够彼此相连。依据复杂系统的结构法则，多重网络本身要运作也需要具备分形特征（Salingaros, 2001b）（第五章，城市构成的评论）。20 世纪早期的规划者们认识到几种相互竞争的城市网络间的共存现象，但是他们的做法不是试图找出调和网络间共存的办法，而是决定消灭其中那些他们认为“过时”的网络。

当代城市的一个最大疏忽就是汽车和行人交互作用界面不足。这两个性质完全不同的网络需要在不损害对方的情况下无缝交接。亚历山大(1977; 模式 11, 22, 32, 52, 54, 55, 97, 100, 103, 113)曾指出创造并维持分形界面的重要意义，并提出了可行性方案。但不幸的是，城市专家选择了现代建筑国际会议上提出的相反建议，想尽了办法来消除步行网络。而要破坏一个系统，第一步需要切断进入点，也就是一个系统与其它系统的交界面，同理，消除了汽车和行人领域的转换点之后，步行城市就理所当然地变成“多余”了。

人、绿地、城市空间和建筑表皮间的连接界面与汽车和人之间的交界面同等重要。我们在最亲近的尺度上连接得最紧密(Mikiten, Salingaros and Yu, 2000; Salingaros, 1999 第二章, 城市空间和它的信息场)。触摸着汽车的内部机体，同时又被它的身体包围——这正是我们爱车的原因。城市空间（无论有无绿化）曾用友好而舒适的边界来围绕我们，但我们近来却把它们变得陌生甚至充满敌意。**如果没有可亲近的空间将我们与最小的尺度层级连接，城市空间就是无效的。**在严格的现代主义建筑风格的指挥棒下，我们并不重视今天城市中可亲近的空间，认为它“不够现代”而将其否决。

最后，我们需要根据亚历山大等人（1977）的想法，为新兴的电子网络和城市网络间的交互界面导出“模式”。电子城市的出现与汽车城市的生长同样具有革命性(1989; Drewe, 1999; 2000; Graham and Marvin, 1996; 2001)。风靡全球的“网吧”就是这种相互作用的一个产物。请注意这种连接是通过典型的步行节点发生的。可移动电话要拿在手上，笔记本电脑要置于膝上——事实上，实体上的靠近对所有电子城市的进入点都有效。这些人体工程学的设计融合了人性尺度上的实体联系。与汽车网络（更像地铁）不同，电子网络并不存在与任何竞争的实体空间中，它是不可见的。

7 小世界网络和世界互联网

关于连接性，到目前为止，我指的都是连接的拓扑属性。对于这些大量的探讨，不

同路径的长短曲直等差异无关紧要。然而，由尺度层级分布我们知道，路径因其长度、宽度和容量差异而适用于不同的分布（见附录二，下文）。现在有必要探讨一下连接的长度问题，并根据其几何特性建立一个连接的层级系统。

“小世界”网络的节点通过长、短两种联系连接起来（Barabási, 2002; Salinganos, 2001 b 第五章，*城市构成的评论*）。让我们从只有最邻近连接的一组节点开始，随机加入更长的联系，结果是显著提高了整体的连通性（图 10）。这是通过任意 AB 两点间的连接数目衡量出来的。如果节点只通过最邻近点连接，那么 AB 点相连需要经过 AB 间所有的中间节点。其实只要有几条更长的连接就可以带来捷径，提高连通性。可见，一个只有最邻近（最短）连接的系统变成了一个具有近乎逆幂律度分布路径的系统。

下文中附录二中得出了同样的结论，不同之处在于我们探讨的进程是先从最小尺度层级开始，再构建出最大尺度层级。在城市结构中，这种进程与乡村发展为城镇、失去最初小尺度联系的动态生长过程相吻合。如果想再现小尺度联系，城镇需要新修“捷径”来连接空间上相隔的各区域。城市的生长会需要越来越宽的道路。一个网络总是需要不断调整交通基础设施以接近逆幂律度层级。这就是为什么具有短程步行联系的中世纪城市在不调整的情况下无法生存发展的原因。

基于同样原因，人为偏好大尺度联系的现代主义城市是一个不切实际的规划模型。出现于现代主义城市的汽车城市里有大量短程汽车出行的需求，所以停车场随处可见。与勒·柯布西耶的判断相反，人们从来不会仅仅驾车往返于郊区花园住宅和市区的办公场所。现在汽车已经用于日常生活中的任何细小的家务琐事。这一点并不奇怪，一旦我们拥有了这种汽车带来的坐着联系的自由，我们就需要用汽车直接到城市的任何节点实现联系。这种强大的动力促成了郊区商业发展，也在此过程中摧毁了紧凑的城市结构。

由地铁、有轨电车/路面电车和轻轨组成的公共交通网络是 19 世纪城市快速发展的产物。当步行城市中各区域间相距太远时，就有必要引入连通捷径。理想的解决方案是加入一个与步行和车辆交通现状（早期是汽车和马车）不相竞争的交通网络，因此要么是把它埋在地下要么是架在空中。所以我们应当把地铁看作是步行网络的延伸，因为它是它连接着步行网络城市的各个部分。总而言之，这是一种通过一些较长联系来改善连通性的小世界网络。

正是由于忽视了这种因果关系（即：某一行为导致另一行为），地铁出现后，汽车城市的交通状况依然令人失望。仅仅因为巴黎有地铁，就认为战后通勤者居住的郊区——一块 19 世纪欧洲城市肌理可以围绕新的地铁站，在为汽车而建的现成道路网络基础上，奇迹般地发展起来，这只不过是切实际的幻想罢了。在汽车城市里，驱动力出乎意料地集中在对地铁周边的停车需求上。没有生成步行网络的动力，实际需求会抑制任何步行网络在当地的生成。

世界互连网络依照自相似的小世界结构以自组织方式生长（Barabási, 2002）。这就是说，它符合我在后面的附录二和附录三中探讨的尺度分布法则，这里说明的是连接关系（图 11）。没有一个结构是强加上去的——而且都是逐渐生长形成的。这里我们有一个很恰当的关于自组织的例子，在这个过程中力量在相互作用中达到平衡，从复杂系统发展为稳定运行结构。这个过程与生物生长的奇妙之处相类似，正如一个胚胎的发育过程。密码（DNA 中）和化学场的结合促成了复杂联合体的生成。

当“小世界”网络首次被提出时，人们发现无脊椎动物的神经系统（简单可记录）实际上遵从这种分布法则。通过神经系统进行有效信号联系的需求在动物中精确地进化

出这种网络类型。城市理应进化出同类型的网络联系，但不幸的是它无法自发形成。城市需要在小尺度上自发生成城市肌理，并在大尺度上得到规划干预。这实际上是城市研究的核心问题——自上而下与自下而上两种规划的竞争，而两者在今天，都被曲解了。

短程联系的自下而上的生长方式可以使自发城市动力得到自由发挥。然而，在完全不受控制的情况下，它们就会像贫民窟和棚户区一样，很快发展成为随机且紊乱的结构。“规划”的含义（和该职业）就是对无控制生长的一种反作用。但是，生活本身在相当程度上源于这样无控制生长的状态。在合适的条件下，小尺度联系可以或多或少地自发形成——我们需要做得只是一些鼓励、引导和控制，来确保局部形态一致。令人可惜的是今天大部分自上而下的干预都在破坏着有活力的结构。城市确实需要自上而下的规划，但它必须坚持以城市肌理如何生长和维持为基础。

8 城市中的因果关系

信息交换产生的城市动力生成了城市结构，和其它种类的城市动力一样，可以使城市结构恶化或被破坏。还有一个主要问题尚未回答——什么动力引发了什么行为，或反过来说，特定的城市行为会产生哪些影响？除非能对城市行为和规划干预的结果进行预测，否则我们难以做出切合实际的规划。我们也同样无法理解城市形态的成因，如果我们没有掌握不同城市动力的特性，强度和因果关系。这些问题都还有待深入研究。这里我只能谈一些初步的想法。

整篇文章里，我试着举出一些似乎是很明显的城市因果关系的案例。然而，其中一些见解是出乎意料的，甚至违反常理。我一直采用一种科学的研究方法——研究城市行为及其结果。恐怕这并不是标准的城市实践做法。会有人或多或少地针对该研究方法的缺席辩解说，由于城市动力系统的复杂性，将行为和结果分离的难度太大。然而，我们最终掌握了足够的科学工具来支持用第一种研究方法对相互作用的城市动力进行解析，并建立城市因果关系机制。

我特别担心的是起初潜伏着的城市“病毒”的出现。我指的是，最初认为对城市无害的一个微不足道的工具、想法或做法最终甚至能毁掉一座城市。历史上有罗马城铅中毒的例子，发生在用铅制水管和用铅作为酒的防腐剂之后。也许我们今天也面临着类似的症状，只是我们丝毫没有察觉。政府通过大量计算机（通常在秘密研讨会中）模拟战争情境，试图预知最严重的灾难和获悉哪怕是极小规模行动的后果。这是未雨绸缪的明智之举。

9 我们如何消灭了步行城市

当我们能够与城市亲密联系时我们会喜欢上这个城市。我们仍对这种感情交流存有温馨的回忆。这种回忆由视觉、嗅觉、听觉和触觉等联系组成。所有这些回忆只能形成于比最短可步行路径还要低得多的步行尺度上。我们潜意识里对城市的记忆很大程度上形成于身体内部，在我们身体的物理尺度上。城市的“灵魂”恰恰存在于建筑的最小尺度上。这包括了现代主义想方设法消灭的“碎屑”——不整齐和扭曲的墙，小块色斑，掉皮的涂漆层，建筑装饰，一步台阶，行道树，一小块铺地，可倚靠的东西，室外可坐的某处等等。

20 世纪的反分形运动从倡导摒弃装饰开始。但建筑装饰是城市内在的组成部分，破坏了它就是破坏了城市尺度中的一环。这种行动消灭了城市层级中从一毫米到一米的

尺度。不久，城市空间中的定调结构——从1米到3米尺度的构筑物，比如亭子，座椅，门廊，露台，可坐的矮墙等——也都被消除了。最后被消除的是人行道和邻近建筑的步行联系。剩下的一切仅仅适于汽车城市，而不是步行活动。的确，在19世纪二十年代的城市里引入汽车是有必要的，但不意味着应在这个过程中毁掉步行城市。

存在着两个截然不同的连接网络——汽车城市和步行城市。我们接纳了前者来消灭后者。这个行为将人从周边环境隔离了出来。人类按这种方式生活了几代后，便接受了一种分离的生活方式，尽管他们永远不可能在生理上和心理上适应它。但很可悲的是，正是我们的肉体让我们接受了它。惰性让我们更愿意坐在汽车里直接联系到几十公里外的节点——而无需在不同交通方式间倒换。心理上，我们倾向于坐在私人的（个性化的）的茧里漫游城市，而不是与陌生人混在一起搭乘公共交通。我们希望使用专用车辆直接去购物，上班和回家。

步行城市带给我们的享受丝毫不逊于与汽车城市，它为我们提供——**充满人情味的物质环境**。在步行城市里人们可以享受到视觉的惊喜，活动的欢愉，令人激动的充满活力的城市生活，以及其他不同类型不同年龄人群活动着的城市空间带来的感官刺激（这绝对不同于在城市驾车时的压力）。勒·柯布西耶忽视了所有这些因素，并通过国际现代建筑大会（CIAM）的规划原则来系统地消灭步行城市。他的城市论著仅仅推崇开跑车的乐趣而已。而城市肌理失去了城市空间、绿化联系和人性尺度，可生成和支撑步行城市的种种动力便不复存在了。

城市生活需要在尺度上遵从逆幂律度分布法则（附录二）的步行城市空间的连接网络。步行路径的多样性寓于开放和半封闭城市空间当中并受到保护，它们彼此相互依存。城市空间的网络与步行网络彼此统一并相辅相承（Krier, 1998; Salingaros, 1999）。（图12）。然而，建筑师不再设计让人们愿意在其中逗留的城市空间，所有已建的城市空间都完全脱离了步行网络，从而也彼此分离。这种城市理念的崩溃并非偶然——而是对与城市空间相矛盾的交通几何形体的简单应用，和现代建筑国际大会（CIAM）对城市空间这一概念的偏见等因素造成。（Salingaros, 1999; 2001b）

现代主义者对汽车的偏爱和对行人的偏见在支持这个不成文的信条：“汽车没有对行人构成威胁”，否定了人的基本心理感知。因此，我们继续谎称城市空间是不必要的，而不是去设计能在心理上和实际距离上确保行人远离车辆的城市空间。正是由于同样的谎言，当汽车与行人发生冲突时，我们优先考虑汽车——这与应该做的正相反。具有活力的城市生活的一条基本原则就是行人必须感到安全，不受车流的影响。

对人的剖析并没有让勒·柯布西耶的梦想落空：富人们从郊区住宅的车库里钻进汽车，把车停在办公楼停车场里（而工薪阶层主要使用公共交通系统）。他对毫无人性尺度的城市展望几乎都应验了。然而，即使在今天形态最分离和功能最紊乱的反城市里，人们仍然要每天走到车前，再走着离开他们的车。完全消灭步行领域是不可能的。由于这些短程的步行联系并不应当存在，它们在空间上没能得到很好地界定。于是昔日繁华的步行城市便蜕变成为沉闷单调的混凝土停车库和沥青停车场。

10 绿化空间和分形几何

这篇论文的想法适用于绿化空间的尺度和分布。一个具有活力的城市需要一个相当大的绿化空间，以及一些中等尺度和大量小尺度的绿化空间。城市应当有公共绿化空间的分布层级，并要细化到住宅附近可供儿童玩耍的小型邻里公园的这个层级水平上。对最早由亚历山大等人在“模式语言”里提出的想法来说，这个提案提供了一种理论上的

验证。(1977; patterns 51, 60, 67, 111, and 172)。与上述相反,合并的做法在“规模经济”神话的误导下破坏了绿化空间的正常分布。郊区提供着市区里所失去的——各家各户本该拥有的私人绿化空间(但是存在连通性和低密度的问题)。

系统的连通性不受尺度分布的影响。目前绿地的尺度分布和连通性就是我们的城市被破坏的证明。现在流行在一些毫无用处的地方规划出孤立的装饰性绿地(草坪或灌木)。理论上拥有这些绿地没什么坏处,但事实上没有人可以在上面走走,因为它们脱离了城市的步行网络,而且彼此分离。它们仅仅是为汽车城市提供了视觉装饰,对步行城市(也许实际并不存在)却没有任何意义。即使是按照逆幂律度法则分布,目前不同尺度的绿化空间仍然没有形成网络——因为它们首先要在人性尺度上连接起来。

19世纪城市努力在植栽、树木和岩石等构成的自然环境和人工建成环境之间建立一个交互作用界面。这是在几何形体上实现的。今天,我们所见的都是边界分离的几何形体。虽然植物具有分形的内在属性,但它并不适合现代主义的机械几何形体。植物与建成环境的分离现象清晰地体现了反分形的思想——将非自然的几何形体强加于自然环境中。比如现代主义钟爱及其平坦的草坪和修葺完美的立方体灌木。而在方形的种植池中种树也只不过就是将两个完全不能协调的几何形体并置在一起罢了。

再回到连通性的想法上,如果我们不把绿化空间在步行尺度上连接起来,它的城市功能就失效了。无论是在私人领地中,还是毗邻高速公路,不能接近的草坪和树木都不能成为城市肌理的组成部分。它们并不属于需要一定程度上限制行人进入的自然保护区。现代建筑国际大会(CIAM)的分区隔离思路让我们很困惑(不仅与绿化空间有关,也包括几乎所有与城市肌理相关的事物)。

11 重生城市肌理的干预

城市再生的最大的障碍是我们的社会哲学中的不联系性。试图引入具有活力的城市肌理的做法与当今大多数人对于秩序的理解相抵触。我们在20世纪采用了没有生命力的城市与建筑类型,而现在这种建成环境让我们将这个世界理解为一个没有生命力的模式。我们对世界运行原理的基本理解被身边的建成案例和站在传统生命过程的立场上错误地反对现代性的哲学所误导。结果,人们觉得现存的反映生活的城市 and 建筑形态“不纯粹”,“过时”甚至是“食古不化”。在盛行这种世界观的大环境中,具有活力的结构很难得到认可,而这种认可正是通过干预来使具有活力结构得以再生的前提。

再回到城市交通网络决定城市形态的基本法则上来。面对功能紊乱的城市,除非改变交通网络和基础设施,否则创新性的规划也是无法奏效的。这种改变非常难以做到,而且成本极高。城市不愿意承受如此剧烈的重组也有其哲学层面的原因,因为这意味着改变了它们与“基因”对应的生长编码。然而,世界上大部分城市确实在由最初的步行城市重生成为汽车城市的过程里成功地改变了基因,所以,理论上该过程反过来也应该能够实现。

今天城市再生面临两个难题——如何使汽车城市具有活力,如何复兴逝去的步行市中心。在第一种情况下,我们得在汽车城市里建立一个步行网络,同时部分地清除汽车城市。令人惊喜的是,在不严重限制汽车/货车网络的情况下这个目标是可以实现的。我们无需牺牲连通性。而第二种情况中的贫民窟问题要难解决的多,因为贫民窟是由于社会问题造成的,它不具备健全的活力城市应有的功能组合。高犯罪率、毒品泛滥、缺乏教育和就业技能等因素造成市中心贫民窟里的人们脱离于城市的其它部分。他们缺少信息交流所需的大尺度的社会联系。

我不想讨论社会问题来使市区再生的这个话题变得更加复杂。不过，了解这个复杂现象的某一方面还是很简单的。贫民窟的带来的城市问题不应归咎于无权无势的人们。经济强势的社会阶层不把市区当作城市环境，并纷纷逃离到郊区去。可总得有人把这个腾出的区域用上，既然有钱人已经不觉得这里有令人满意的生活环境，它便只能留给没有其它选择人们。按照这种解释，棚户区居民在履行着一项重要的城市职能，填充别人不愿用的地区。

将自下而上与自上而上的规划方法结合起来可以重新创造出与汽车城市相连但受到保护的步行城市。自上而下的方法可以通过立法规定混合功能分区，防止单一功能的集中。密度的上限和下限会限制高层建筑物和分散的功能单一的郊外住宅区。在某一密度最小值以上（低于该值会影响经济可行性），我们可以要求一定比例的零售业节点与住宅区混合。在美国新城市主义者 Andrés Duany 的引导下，我们需要修改城市密码，城市将朝生物方向进化。新密码将规定大部分建筑具有混合功能。在特殊情况下，只有在已经充分理解更高的集中程度需要依赖于所在的周边环境的条件下，高层建筑才能得到允许。

实现城市活力的另一种潜在可能是自发的城市动力。自下而上的再生因素并不与现有城市密码严格对应，并允许业主进行扩建。这是产生流动居住点和第三世界城市边缘带的一个随机生长模型。然而它却代表了不可忽视的真正有活力的城市进程。我们应当限制它，使它不至失控，更明智地选择引导而不是消灭它。规划者已经认识到（但很少承认）这种城市动力**不能**被全部消除—官方机构控制之外总会有不受控制的生长。最佳的选择是引导这种有创造性的动力来建造可用、卫生又持久的城市肌理。

应当通过资助小尺度生长来对城市建成区再生进行鼓励。这是恢复被人们所忽视的城市小尺度层级最好也是最有效的方式。目前，在大尺度干预的规划理念下政府主要资助大尺度项目。大笔支出公共资金简单易行——这是每个政府官僚机构都令人遗憾的财政特点。需要改变这种做法，资金应当按逆幂律度法则分布。这相当于支出大量小项目的小额资金—项目越小越好（Alexander, Silverstein, Angel, Ishikawa, and Abrams, 1975; Salingeros 和 West, 1999）。然而今天，到处都在限制小规模的建设项目，有的甚至通过分区立法来达到这一目的。

12 结论—未来的城市

对“现代性”善意却但错误的理解造成了我们在认识世界过程中的意识形态障碍，如果能克服它，我们就能够了解城市肌理的形成过程和动态变化。那么我们就可以建造新的城市，既融合传统城市的优点，又利用最新技术来促进而不是阻止人际交流。对于物质结构上具有经济不可复制性的旧城来说，狭隘的设计信条让毫无个性和生命力的板楼、方盒子和停车场取代它们，使这些建筑和城市空间饱受摧残，我们可以同时对这些旧城进行复兴。

城市中病态的组成部分可以通过选择得以避免。节点的过分分散或集中会给城市的基础设施和资源造成负担。两种极端分散和集中的情况分别是郊区蔓延和摩天楼。老百姓向往前者，政府和企业则倾向后者，两种情况都不可行。前一种城市类型仅交通方面就消耗了城市大部分的汽车燃油。后一种类型将彼此不相关的人们集中到同一个建筑中，汲取了城市其它部分的资源。摩天楼过分集中所产生的城市动力将消灭周边大片区域的城市结构。因为摩天楼靠城市的其它部分来供给，还需要更多的基础设施和高速公路来维持。

电子城市从两方面为我们提供帮助。第一，它替代旧城中许多“脏污”的连接方式，节省了基础设施和燃油消耗。它让城市中的小型步行场地比从前更加引人入胜和通畅可行。第二，它的结构为我们重建城市结构提供了参照模式。我曾提到因特网同传统城市一样遵从着结构法则。这个原因足以让我们最终摒弃简单化和带有误导性的20世纪城市生活模式——它曾严重地破坏了我们的城市。如果我们**需要连接电子城市和实体城市，实体城市必须遵从同样的结构法则**。通过有选择性地借鉴历史上成功的原型，加上对网络科学知识的掌握，我们可以创造出一种全新的具有活力的当代城市类型。

13 附录一：分形和尺度层级

“分形”的字面意思是“破碎”，但这并不是它的数学含义。分形有严格精确的性质，并不是非数学工作者通常的理解。分形的关键是它的结构有尺度层级。尺度为 x 的结构意味着尺度上接近 rx ， r 是像 $1/3$ 这样的尺度因子。如果结构具有分形特征，下一层结构就会在尺度上依此缩小，如 r^2x, r^3x, r^4x 等。真正数学意义的分形有顺次变小直至无限小的自相似结构。对于实体的分形，最小的尺度已经无法用肉眼观察，这意味着有一个由大到小的尺度范围。

r 被称作尺度因子，理论上可以是任何分数。在最常见的分形中它常常是 $1/2$ 到 $1/10$ 之间的某个特定的数。自然界形成的分形（比如花椰菜，蕨类植物叶片和人肺）展示出的嵌套结构其尺度因子接近 $1/3$ （Salingaros, 1995; Salingaros & West, 1999）。

有两种方式可以从上一级生成次一级的分形结构。第一种是**加法**，第二种是**减法**。第一种情况下，在每一层尺度中加入结构产生折痕状、起皱的和粗糙的物体，使各处都不再平直光滑。每个边缘都出现分形的“粗糙”。我们创造出近似接触反应的界面，化学物质被吸引到这个起皱的表面，彼此接近发生反应。在城市生活中，波浪起伏状的城市边界能促进人们的交流，就比如广场边界排列着的商业店铺和咖啡桌（Salingaros, 2001）。实际上可用的城市空间差不多都由分形的边界围合着。通过边缘的平滑化消除这种分形结构就消灭了行人交流的接触反应空间，也就破坏了城市空间（第二章，城市空间和它的信息场）。

另一种生成分形的方式是制造逐渐减小的缝隙，就像在物体上打洞一样。洞的尺寸愈来愈小，形成一个筛网或穿孔的隔膜。在生物学中，隔膜具有与接触反应界面同样重要的作用，因为隔膜提供了不同生物领域间半通透的作用界面。同样，多孔通透的城市界面允许人流穿过城市边界，同时阻止车流穿过同一个边界。比如柱廊，门廊，拱廊，店铺门脸，人行道的柱墩等（第二章，城市空间和它的信息场）。建筑之间的空间是与城市同一尺度的分形结构。将街区放大并建立平直光滑没有入口的墙面具有战后规划反分形行为的特点的。

分形还有一个重要的性质——一致性和自相似。这意味着不同的尺度通过某种层级对称关系联系在一起。在最简单的几何情形下，同一种图案缩小并不断重复，这样所有尺度连成了一体。在更为复杂的情形下，具有活力的城市里不同尺度的结构和过程本质上协作起来。大尺度上的一致性结构是由小尺度的成分构成的。在几何意义上将不同尺度结合成一个相互作用的整体，动力过程就发生在些尺度上。

14 附录二：分形和尺度分布

规模为 x 的城市由多少部分组成呢？可能是由不断重复的同类物体，或相同大小的不同物体组成。假定具有活力的城市是具有分形特征的，那么答案很简单——有 p 个大小为 x 的单元， p 与 x 成反比关系。这就是说，城市组成成分越小，它的数量就越多。这个法则就称为“逆幂律度”分布，公式为 $p=C/x^m$ ， C 和 m 是两个取决于特定情形的常量。通常， m 是1和2之间的一个指数。（如果想深入了解这个公式， m 是分形维度或称Hausdorff 维度）。另一个常量 C 与最大层级的尺度有关——在这里是整个城市的尺度（Salingaros & West, 1999）。

虽然尺度的分布是连续的（没有尺寸限制），但是当与前面的层级法则联系在一起时，分布就是离散的。我们可以用整数 n 标记尺度， n 越大尺度越小，我们来看层级中的第 n 层。假定尺度因子为 $1/3$ ，分形维度 $m=1.5$ 。分布公式： $P_n=C/(x_n)^{1.5}=3^{1.5n}k$ ， k 是常量。举个例子，假定某城市符合这个指数法则。最大的尺度只有一个结构——城市本身。为了方便举例，总尺度定为15公里，则常量 K 为1。那么，在城市中5公里的尺度上就有5个界定的结构，1.7公里的尺度上就有约27个结构，556米的尺度上有约140个结构。这些结果分别对应分布公式中 n 等于0，1，2和3的情况。分布法则的结论支持了亚历山大等人和克里尔以前的结论。我们假想的城市由5个5公里的主要区域组成（城中之城），有27个1.7公里范围的次级区域（城镇），最终由140个不同的556米长宽的邻里街坊（市区，或7000人社区）限定。城市肌理的计算结果直接指向了亚历山大的模式“亚文化区的镶嵌”（模式8），“亚文化区边界”（模式13）和“可识别的邻里”（模式14）。

理论上，很少有结构具有像这样的中间尺度。当然，城市结构有不同的尺度，但分布指出了最明显尺度间的空隙。这意味着可以通过可识别的但有通透能力的边界改良对大尺度结构的界定——与今天处处围栏和路障林立的无组织郊区蔓延相反。如果上述讨论的尺度不适用于城市结构，也很容易改变参数 r 和 m 得到一种新的分布。实际的尺度也如此，如果实践中需要40米和1米尺度的结构，那么层级中应当包含之间的所有尺度。

另一点是尺度层级一直降低。比如，21米尺度的结构（建筑、城市空间、绿地）就会有两万个，这时 n 为6。继续降低尺度，2.3米尺度的结构（建筑组件，灌木和街道家具）有53.1万个，这时 n 为8。2.8厘米尺度的结构（建筑装饰和自然中的细部）有3.87亿个，这时 n 为12。当然我们可以一直将尺度推算到1毫米或更小。

重要的不是上述讨论中的这些特定的数字，而是它们体现的整个构想。一个分形城市（尺度健全）有所有尺度层次的结构成分，从整个城市规模一直到建筑材料细部。这个构想将城市规划、城市生活、城市空间设计和建筑作为一个大秩序中的不同尺度层次。可能此理论最具革命性的一点就是揭示了建成结构的分布倾向小尺度，因此消解了20世纪规划的大尺度偏好。

15 附录三：网络分布的修正

电子通讯适合城市信息交换和流动的不同渠道的层级体系（Drewe,1999;2000）。无限多的零距离电子路径与逆幂律度分布完全吻合。回顾（附录二）公式中的数目 $p=C/x^m$ ， m 为1到2之的是一个指数。当路径长度 x 为零时，零距离路径的数量为无限多。

信息和通讯技术的出现并没有改变实体路径长度的分布，因为它是一个独立的网络。今

天大部分城市严重缺失应有的最短路径。这个网络分布的空缺只能用10分钟内步行路程来填补。荒谬的是，对网络的科学分析把我们带回了传统城市（Krier,1998）。然而，非常危险的是人们接受了便利的零距离电子联系，再也不想重建失去的步行联系。

尽管这样，电子通讯仍然极大地优化着路径长度分布。我们分析不同的实体网络分布就能看到这一点。平均路径长度是能够很明显体现出这个差异的独立参数。在第一种情况下，现代城市只有最少量的长距离联系。路径长度分布在城市尺度 x 的若干倍处(比如 $x/3$)出现峰值。很明显地偏向于长路径，因此电子通讯一定程度上满足了对实体短距离联系的基本需求。但由于应有短的实体路径的严重缺失，分布仍然是畸形的。

第二种情况下，随机连接城市的Erdos-Renyi模型提供了最佳路径密度的适宜数目，但平均长度不太实际。它的长度分布也在某些大尺度部分（比如 $x/3$ 处）出现峰值。（Barabasi,2002）。考虑到现代汽车城市的尺度，此分布体现了汽车的连通性，而不能全面地代表所有的步行联系。

在第三种情况下，也是我们所期望的，一个尺度健全的城市符合逆幂律度分布规律。它绝大部分的连接发生在最小尺度上，因此最短路径占主导。假定最短的实体路径—建筑间距离—为 x_{min} .那城市的平均实体路径长度近似于 $2x_{min}$.这个平均路径长度在数量级上比其它两个模型中的都小。理论上（和实践中）路径长度还可能更短（就更多）。只有在尺度健全的情况下电子通讯才与实体路径长度分布完美结合。

图表单(Figure List):

- 图1. 不具分形特征的现代城市平面
- 图2. 假想秩序的分形城市平面
- 图3. 城市的流动形体界定出城市空间
- 图4. 随机连接一对对节点，最终连接大部分节点形成一个网络
- 图5. 两个一组成组连接的节点不能界定一个网络
- 图6. 一组完全连接的节点
- 图7. 多样的元素催化它们之间的联系
- 图8. 分层说明三种不同的相互竞争的连接网络
- 图9. 交换需要最低层级的毛细管结构
- 图10.一些长联系的引入把只有相邻联系的最小限度连接的节点组变为“小世界”网络
- 图11.逆幂律度尺度分布
- 图12.城市空间和绿化空间的分布与连通