

# 基于地理信息的社会网络搜索\*

邓凯英

(西北民族大学 数学与计算机科学学院,甘肃 兰州 730124)

**摘要:** 根据社会网络所具有的有效信息搜索和传播能力,研究了搜索空间目标对象的有效策略。当目标位置稀疏并且能够随机多次访问时,移动距离服从平方反比幂律分布。结果表明,带长距离移动方式的 lévy flight 搜索策略是有效的。

**关键词:** lévy flight; 随机搜索; 幂律分布

中图分类号: TP301

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)13-0076-02

## Social network searching based on the geographic information

Deng Kaiying

(School of Mathematics and Computer Science, Northwest University for Nationalities, Lanzhou 730124, China)

**Abstract:** Based on the effective information searching and transmission ability of the social network, we study the most efficient strategy for searching randomly located objects. When the target sites are sparse square pow-law distribution of flight lengths, corresponding to lévy flight motion, is an optimal strategy. A lévy flight is a random walk in which the step-lengths have a probability distribution.

**Key words:** lévy flight; random search; pow-law distribution

随着社会的迅猛发展和信息时代的到来,大量的地理数据和信息在网络中高速散播。社会网络在人和动物中是普遍存在的,例如朋友关系网、亲戚关系网、科学家合作网等都是社会网络。通常情况下,社会网络的信息搜索受限于地理位置,而地理信息的变化不断加快,使得人们对信息获取和信息更新的要求越来越高。不仅人类面临这样的问题,面对资源日益消耗的大自然,动物的觅食也出现了新的问题和挑战。Lévy Flight 这种运动方式的特征是以小步的移动为主,偶尔伴随有大步的移动,使得动物不重复在一个地方搜索。G.M. Viswanathan 认为<sup>[1]</sup>因为布朗运动在指定的时间内搜索的面积有限,布朗运动会大量、重复地搜索同一个地域。相比较而言,动物觅食的轨迹应该是 lévy flight 运动的方向也是随机的,但是其运动的步长是按照幂次率分布的。

### 1 模型的建立

#### 1.1 Lévy Flight 模型

Lévy Flight 与 Lévy Stable Distribution 有关,它表示的是一类非高斯随机过程。Lévy 稳定分布最初是由法国

数学家 Paul Pierre Lévy 提出<sup>[2]</sup>。Reynolds 等人对果蝇<sup>[3]</sup>和蜜蜂<sup>[4-5]</sup>的觅食行为轨迹进行了研究,他们发现动物的飞行轨迹中直线部分出现的频率与无标度负二次方的 Lévy 分布一致,它们都呈现出了 Lévy Flight 特征,并且当目标位置随机时,针对多个相互独立的探索者,带长距离移动方式的 Lévy Flight 是最理想的搜索策略<sup>[6]</sup>。Lévy Flight 模式表示如下:

$$p(l) = l^{-u}/C \quad (1)$$

其中,  $l$  为移动步长,  $C$  为归一化系数,每次移动的距离  $l$  与出现的概率  $p(l)$  之间的关系如式(1)所示,其指数为  $-u$ , 满足  $1 < u \leq 3$ <sup>[7]</sup>。

#### 1.2 移动规则

通过对 Lévy Flight 模型分析,设  $\lambda$  为两个连续目标点的平均自由路径,则平均移动距离为<sup>[8]</sup>:

$$\langle l \rangle = \frac{\int_r^\lambda l^{1-u} dl + \lambda \int_\lambda^\infty l^{-u} dl}{2} = \left( \frac{u-1}{2-u} \right) \left( \frac{\lambda^{2-u} - r^{2-u}}{r^{1-u}} \right) + \frac{\lambda^{2-u}}{r^{1-u}} \quad (2)$$

在 Lévy Flight 搜索过程中,假设目标位置随机分布,搜寻者的行为应遵循规则:(1)若目标位置在以视

\* 基金项目: 教育部人文社科青年基金项目(12YJZJH027);教育部人文社科规划基金项目(11YJAZH053)

# 技术与方法 Technique and Method

线  $r_v$  为半径的圆形区域内, 搜寻者可以直接到达目标点, 如图 1(a) 所示。(2) 若目标位置不在可视区域内, 则搜寻者选择随机方向进行移动, 移动距离为  $l_j$ ,  $l_j$  服从以  $-\mu$  为指数的幂律概率分布, 如图 1(b) 所示。



图 1 Lévy Flight 搜索示意图

## 2 数值模拟

根据式(1)和移动规则, 当  $r_v=0$  时, 得到黎曼 zeta 函数:

$$\zeta(u) = \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k^u} \quad (3)$$

因为随机移动距离  $l$  应大于视线距离  $r_v$ , 同时应该小于每次移动的最大距离  $H$ , 则有以下式:

$$\zeta(u, r_v, H) = \sum_{k=1}^H \frac{1}{(k+r_v)^u} = \sum_{k=r_v+1}^H \frac{1}{k^u} \quad (4)$$

由此, 可以得到 Lévy Flight 搜索的移动概率函数为:

$$p(l) = l^{-u} / \zeta(u, r_v, H), r_{v+1} \leq l \leq H \quad (5)$$

Lévy 分布的特征函数  $\varphi(t)$  的连续傅里叶变换定义如下:

$$p_{\alpha, \beta}(k; u, \delta) = F\{p_{\alpha, \beta}(x; u, \delta)\} = \int_{-\infty}^{\infty} dx e^{ikx} p_{\alpha, \beta}(x; u, \delta) \quad (6)$$

式(6)中的  $\alpha, \beta$  取不同值时, 分别产生高斯分布、柯西分布以及 Lévy 分布, Lévy Flight 搜索轨迹模拟结果如图 2~图 4 所示。

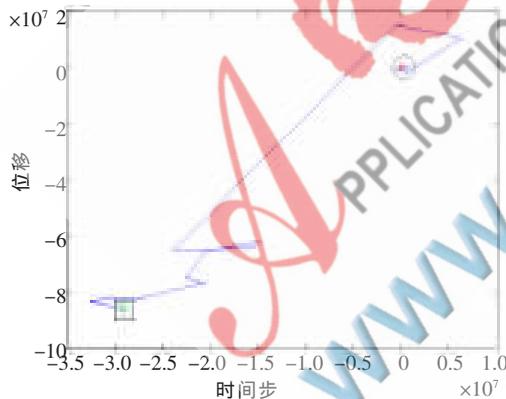


图 2 高斯分布轨迹 ( $\alpha=0.5, \beta=1$ )

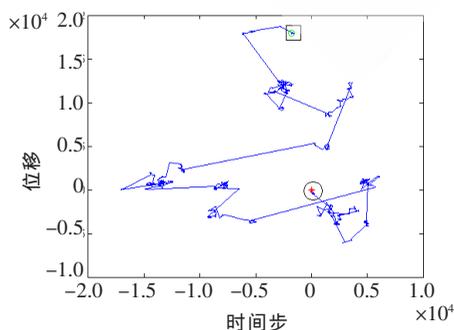


图 3 柯西分布轨迹 ( $\alpha=1, \beta=0$ )

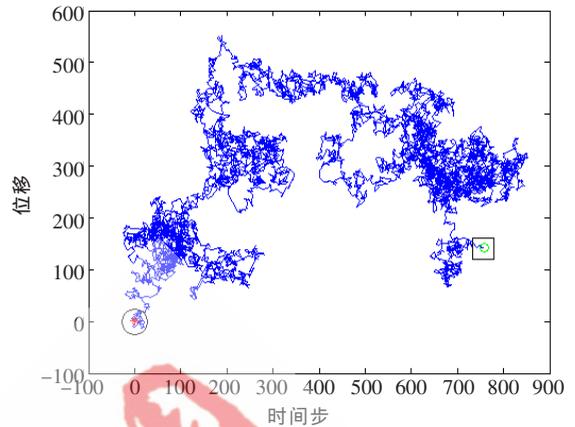


图 4 Lévy 分布轨迹 ( $\alpha=2, \beta$  任意)

上述实验中,  $n=10\ 000$  步, “\*” 星号表示起点, “o” 圆圈表示终点(起点和终点分别由圆和矩形圈出), 以上 3 个图分别是满足高斯分布、柯西分布和 Lévy 分布的模拟搜索轨迹图。

社会网络搜索已经成为一个非常有前景和挑战的研究领域, 本文根据 Lévy Flight 理论对有地理信息约束的社会网络进行了研究和数值模拟, 并对其概率分布进行了深入分析。结果表明, 能够为社会的进一步深入研究提供参考依据。

### 参考文献

- [1] VISWANATHAN G M. Fish in lévy-flight foraging[J]. Nature, 2010, 456: 1018-1019.
- [2] REYNOLDS A M, FRYE M A. Free-flight odor tracking in drosophila is consistent with an optimal intermittent scale-free search[J]. PLoS ONE, 2007, 2(4): 1-9.
- [3] REYNOLDS A M, SMITH A D, MENZEL R, et al. Displaced honey bees perform optimal scale-free search flights[J]. Ecology, 2007, 88(8): 1955-1961.
- [4] REYNOLDS A M, SMITH A D, REYNOLDS D R, et al. Honeybees perform optimal scale-free searching flights when attempting to locate a food source [J]. The Journal of Experimental Biology, 2007, 210(21): 3763-3770.
- [5] REYNOLDS A M. Cooperative random Lévy flight searches and the flight patterns of honeybees [J]. Physics Letters A, 2006, 354: 384-388.
- [6] 高霖. 社会网络动态性及网络环境中的分布式搜索策略研究[D]. 合肥: 中国科技大学, 2009: 57-58.
- [7] VISWANATHAN G M, BULDYREV S, HAVLIN S, et al. Optimizing the success of random searches[J]. Nature, 401, 1999, 911.

(收稿日期: 2012-03-01)

### 作者简介:

邓凯英, 女, 1982 年生, 硕士, 讲师, 主要研究方向: 数据挖掘, 复杂网络技术。