

有效距离的复杂网络传播源点定位方法分析

牛彦成

(兰州工业学院 甘肃兰州 730050)

【摘要】 在现实世界中,很多传播现象都可以在复杂网络中找到相应的传播模式,研究网络传播中的控制,是网络安全战略研究的重要课题。传播源点的识别和传播源的定位需要有效的方法,针对相关传播源点的精准、快速定位,是处理一些网络问题的必然要求。本文以有效距离为基本理论,研究复杂网络传播源点定位的方法,这对于目前网络安全和监督管理而言,具有重要价值。

【关键词】 有效距离;复杂网络;传播源点;定位方法

在一些特殊和突发情况下,需要快速准确的找到传播源点,但是源算法只有在网络中观察点数量达到一定要求时才能进行,这就导致在复杂网络传播源点的快速定位上存在一定的局限性,所以需要改进算法,先在部署观察点后得到所有被感染观察点以及其在此刻的感染率,再执行定位,在对相应时刻进行定位后,要是存在一个定位结果的频率异常情况,即相应频率超出事先设定的数值范围时,就会停止定位,确定这个点就是源点。

1 复杂网络特点

1.1 节点复杂性

可以将复杂网络看作是一个比较抽象的复杂系统,相应网络节点可能是具备一定分岔和混沌复杂非线性行为的动力系统。在相应基因网络中,各个阶段的时间进化行为都是具有一定复杂性的。所以,即使是针对某个特定的问题,复杂网络的节点都能抽象的表示相关事物。此外,在同一个网络中,有时候存在很多不同类型的节点,这些节点也对应不同的性能,对于整体的复杂网络系统起到一定的平衡作用。

1.2 网络结构复杂性

在复杂网络中,相应网络连接结构是十分复杂的,在时间推移中,网络连接机构也在不断变化。此外,节点之间的连接也十分复杂,可能存在不同的权重和方向。网络规模随着时间的变化会发生相应变化,这些因素都让复杂网络的结构更加复杂。

1.3 多重重复性因素相互影响

在复杂网络中,存在很多的影响因素,这些影响因素都会对复杂网络产生作用。复杂网络的结构相对复杂,相应网络之间又存在某些联系,所以对复杂网络开展分析是一项比较困难的工作。例如,在电网运行中,一旦出现故障,可能会引发一系列的附加反应情况,严重可能造成网络迟缓或者是终端,相关实体机构在断电后需要暂时关闭网络,所以会出现一系列的附加反应。可见,复杂网络的运行中,受到的内在和外在影响因素是比较多的,具有很多的不确定性。

2 有效距离

2.1 有效距离定义

有效距离是 Dirk Helbing 提出的,从他对有效距离的解释来看,有效距离是指在复杂网络中,存在较多的冗余连接边,相关信息或者是疾病可能有多种路径传播,但是事实上,相应传播过程中只有一组起关键作用的传播路径,这一路径能够从网络连接矩阵中衍生出来,就是有效距离。

2.2 以有效距离为基础的最短路径树

按照网络特性定义中的有效距离理解,在传染病传播中会出现两个节点中最短的路径,所以本文通过网络中的传播源点为中心来构建一棵到其他节点最短的路径树,其中边的传播延迟即为有效距离,可以对于传播过程进行直观演示。使用最短路径树是因为这种方法比一般方法有明显优势,传统网络传播分析中使用的时空图比较复杂,很难理解,而最短路径树能够将复杂的问题编程简单的波面形式。尽管不同的信息或传染病传播参数是不一样的,但是相关特点却是相同的。即使选择不同的传播源点也有这样的特点,借助有效距离,能够对于传播速度进行计算,并对于到达相应节点的时间进行预估。最短路径树表示方式中,简单的扩散波面表明了信息或疾病传播路径是受到最有可能的路径影响的。以疾病传播为例,下图 1 为最短路径树时间快照和传统地理方式感染快照对比:

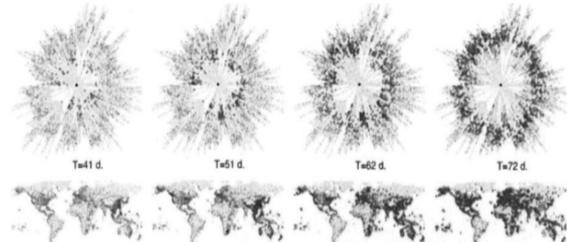


图 1 最短路径树时间快照(上)和传统地理方式感染快照(下)对比

3 基于部分观察的分程定位算法改进

3.1 以部署观察点取代监控全部节点

在复杂网络中部署少量观察点,在传染病传播中,针

对部分观察点记录的感染信息,例如,感染时间和感染率等参数,取代原算法中监控全部节点的费时费力的做法,这样可以有效减轻系统工作量,降低在定位计算中的时间消耗。

针对不同观察点部署,源点定位准确率可能是不一样的,基于直观来看,在信息传播中,相关网络中都有重要节点,它们在信息源定位中也至关重要。针对复杂网络的节点重要性评估,多以网络节点指标信息作为参考,所以需要网络节点相关度量指标标记性确定,以此作为参考,来提出有效的观察点部署方案,确保相应网络节点作用的发挥。

3.2 按照时间分层定位

在原算法中,真实源点传播中的同心圆特性可以作为定位依据,将各个候选源点作为中心,和前沿波面的相应节点构建同心圆,选择同心度最高的候选源点充当估计源点。候选源点的同心度以其到前沿波面中的节点有效距离和方差进行计算,也就是在距离和方差都最小的情况下,同心度最高,这样的候选源点成为真实源点的几率就比较大。

进行算法改进也是按照同心圆的特征来定位,但是研究表明,将真实源点作为中心还原真实传播过程以及模拟传播,能够看出在同一时刻被感染的节点,基本上呈现一个同心圆度很高的圆。这表明真实源点相对其他候选源点到同一时间被感染的所有节点的有效距离大小大致相同,表示方差比较小,所以,可以通过对比方差,和其他候选源点拉开差距,确保单个分组命中率的有效提升。再对相应分组的定位结果进行综合,最后获得一个估计源点,这对于提升命中率也有一定帮助。所以,在改进算法中,可以将被感染的观察点进行相应时刻的分组,计算候选源点到相应时刻分组中节点的有效距离均值及方差。这样得到的真实源点的方差就会很小,确保计算定位比较值时将其和其他候选源点差距开来,提升源点定位的准确性。

但是,考虑到在某个特定时刻分组一般包含几个被感染的观察点,导致构成的波面并不完整,要是完全根据现有时刻分组来定位,也会因为较少的参考节点导致包含节点数量少的分组命中率降低,影响整体命中率提升。对此,在改进算法中,应该使用将被感染节点较少时刻分组和相

邻分组合并的方法,新合成分组中被感染节点数达到一定阈值的情况,可以将相应分组作为独立的分层。再根据这一方法对剩下的分组进行分层转化,再以各个分层内包含的观察点来作为节点定位的参考依据,结合位置表决系统来获得最终的源点。

4 结语

在日常生活中,传染病以及网络中的谣言现象是比较多见的,针对这些问题解决,最关键的是能快速找出传播源点,这样才能从根本上阻断传播链,避免传播范围和影响力进一步扩大,所以,针对复杂网络的传播源点定位在现实生活中的应用还是比较广泛的。在进行复杂网络传播源点定位中,定位方法的选择至关重要,定位方法的可靠和效率是进行算法相应指标判断的重要标准,结合不同的网络结构,定义与之相适应的有效距离,能够对较复杂的网络,以有效距离的网络拓扑结构进行转化。通过在网络中部署观察点获得传播信息,对相应信息源进行估计是有效的方法之一,对于传统的定位方法,这种方法的优势突出,借助对网络中少量节点的定位和观察,就能够进行信息源估计,十分高效,可以有效减轻定位工作量。本文的研究以复杂网络下的有效距离研究传染病源点定位方法,提出以部分观察的传播源点分层定位方法以及以有效距离为基础的实时定位方法应用,对相应算法在原算法基础上适当进行改良。研究分析了有效距离和以有效距离为基础的最短路径树,强调了有效距离在复杂网络中应用相对于传统方法应用的优点,研究以原算法的不足进行分析,提出部分观察的传播源点分层定位法和基于有效距离的实时定位法应用,对于相应算法进行改良,发现改良后的算法在达到一定观察点比例的情况下,定位准确性显著提升,且相应定位效率也有明显提高。

作者简介: 牛彦成(1984.12—),男,硕士研究生,讲师,研究方向:网络数据挖掘。

基金项目: 复杂网络上传播源点定位分类方法研究,课题编号:2020A-150,课题类型:2020年度高等学校科研项目,审批单位:甘肃省教育厅。

【参考文献】

- [1] YONG WOO SHIN,MIN SOO KIM,SANG KWON LEE.Identification of acoustic wave propagation in a duct line and its application to detection of impact source location based on signal processing[J].Journal of Mechanical Science and Technology,2010,24 (12): 2401-2411.
- [2] 袁得崙,高见,叶萌熙,等.基于拓扑扩展的在线社交网络恶意信息源定位算法[J].计算机科学,2019,46 (5): 129-134.
- [3] 张锡哲,孟庆虎,张斌.一种动态社交网络上的传播源点定位方法[J].东北大学学报(自然科学版),2017,38 (2): 219-223.
- [4] 黄春林,刘兴武,邓明华,等.复杂网络上疾病传播溯源算法综述[J].计算机学报,2018,41 (6): 1156-1179.
- [5] 张聿博,张锡哲,徐超.基于部分路径的社交网络信息源定位方法[J].电子科技大学学报,2017,46 (1): 75-80.
- [6] 张锡哲,张聿博,吕天阳,等.基于子图抽取的在线社交网络多传播源点定位方法[J].中国科学:信息科学,2016,46 (4): 496-510.
- [7] 张聿博,张锡哲,徐超,等.社交网络信息源快速定位方法[J].东北大学学报(自然科学版),2016,37 (4): 467-471.