电 子 科 技 大 学

学术学位研究生学位论文开题报告表

攻读学位级别： □博士 🗹硕士

学科专业： 计算机科学与技术

学 院： 计算机科学与工程学院

学 号： 202221080735

姓 名： 汪思敏

论文题目： 面向结构优化的复杂网络链路

推荐算法研究

指导教师： 董强

填表日期： 2023 年 12 月 28 日

电子科技大学研究生院

1. 学位论文研究内容

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 课题类型 | | □基础研究 □应用基础研究 □应用研究 |
| 课题来源 | | □纵向 □横向 自拟 |
| 学  位  论  文  研  究  内  容 | 学位论文的研究目标、研究内容及拟解决的关键性问题（可续页）  **研究内容：** | |

1. 学位论文研究依据

|  |
| --- |
| 学位论文的选题依据和研究意义，国内外研究现状和发展态势，主要参考文献，以及已有的工作积累和研究成果。（2000字）  **1.选题依据和研究意义**  21世纪初，网络科学的诞生为人们认识周边事物带来了新思路[1-4]，其描述语言是以节点和连边（又称链接、链路、边等）构成的网络。真实网络的形成机理、拓扑呈现具有高度的复杂性，因而网络科学所研究的网络又被称为复杂网络。以复杂网络的视角分析问题，越来越多的行为、事件被解释，越来越多的实际应用问题也能得到有效地解决或改善。例如，对于社会网络[5-6]（包括，朋友关系网，科学家合著网，科学引文网等）的研究，可以进行进一步的挖掘社会中人们之间的关联性，用于对信息传播的控制，对恐怖袭击的预测等。对于电力网络[7]，交通网络[8]的研究，可以优化他们的拓扑结构，发现潜在的缺陷。对流行病等网络[9]的研究可以有效防控病毒的传播。而学者们对复杂网络的研究也是多角度的，比如，对复杂网络模型[10]的研究，对复杂网络上的动力学[11]的研究，对复杂网络同步性[12]的研究。  链路预测为网络生成机制及演化规律研究提供了一个可量化且更公平的验证平台。除此理论意义以外，链路预测在实际应用中也发挥着重大价值，这主要体现在两方面：一是将实际应用问题建模为网络中缺失边的预测问题直接产生价值；二是通过补全网络或获取节点之间的连边可能性作为其他相关研究问题的输入间接创造价值。  网络的加边策略通常指的是在一个已有的网络结构上，通过添加新的边来改变网络的拓扑结构。链路预测可以为加边策略提供参考和指导，通过对网络中已有的拓扑结构进行分析和预测，可以揭示出潜在的连接模式和节点之间的关联规律，从而为加边策略的制定提供依据。网络的加边扩容问题是复杂网络研究的热点问题，有着重要的应用意义，现实生活中的很多系统都可以抽象成为网络系统，为网络进行链路推荐可以优化网络的结构，为网络带来更好的性能。如何控制增加的边才能使得新的网络性能更优，如何最大可能的预测即将增加的不同人之的关联关系，网络拓扑中的微小变化（通过添加一些边）如何减轻其社区结构，从而产生更有效的信息传播过程，如何通过添加一些边使得网络拓扑中的微小变化可能增加图的导电性，并显著提高由更快的随机游动驱动的基于图采样的模拟的性能等，这些都吸引了大量学者的关注。综上，以此为选题依据，展开相应的研究工作。  **2. 国内外研究现状和发展态势**  链路预测作为网络科学研究中一个重要且有趣的问题，本质上是从网络链路的微观层面解释网络结构生成的原因，进而帮助我们更好地理解网络所对应的复杂系统的结构生成和演化规律。Sarukkai R R等人[13]应用马尔科夫链进行网络的链路预测和路径分析。之后，Zhu J等人 [14]将基于马尔科夫链的预测方法扩展到自适应性网站的预测中。物以类聚，人以群分。两个节点的属性越相似，就越可能产生联系。Lin D等人[15]基于节点的属性定义了节点间的相似性，可以直接用于进行链路预测。虽然应用节点属性等外部信息的确可以得到很好的预测效果，但是很多情况下，信息的获得是非常困难的，甚至是不可能的。所以，学者们将眼光转向了基于网络结构相似性的链路预测。基于局部信息的最简单的相似性指标是优先连接。应用优先连接的方法可以产生无标度网络结构。在该网络中，一条即将加入的新边连接到节点x 的概率正比于节点x的度[16]，因此，新边连接节点x 和y 的概率正比于两节点度的乘积。另一个基于局部信息的相似性指标是共同邻居，即两个节点如果有更多的共同邻居，则它们更倾向于连边。在共同邻居的基础上考虑两端节点度的影响，从不同的角度又产生6 种相似性指标[17-18]，这一类指标统称为“基于共同邻居的相似性指标”。在共同邻居指标的基础上，一些改进算法可以进一步提高预测精度。例如，局部朴素贝叶斯模型可以区分共同邻居对于两个节点之间产生连边的作用是正的（促进连接）还是负的（抑制连接）[19]。除此之外，Holme和Newman提出了基于全局信息的LHN-II 指标，假设两个节点的邻居节点之间相似（不要求是同一个节点），则这两个节点也相似。基于似然分析的思想也被应用于链路预测之中，层次结构模型[20]假设真实的网络都存在某种层次性，网络的连接则可看作是这种内在层次结构的反映。文献[21]假设观察到的网络是一个随机分块模型的一次实现，在该模型中节点被分为若干集合，两个节点间连接的概率只与相应的集合有关。  现有的链路预测算法的优化目标都集中在预测精准度的提升上，而很少关注网络的其他指标。有不少学者开始研究网络的加边策略，以提升网络的其他性能指标。其中，Cao等[22]设计了一种低极性加边策略LPS，通过加边来提高网络度分布均匀性，进而改善网络鲁棒性。在此基础上，Ji等[23]根据相依节点层间度差异，将子网络内度数差较小的节点进行连接，提出了基于低度度差的加边策略和基于随机度度差的加边策略，探讨了通过增加相连边来增强相互依存网络的鲁棒性的可行性。此外，Cui等人[24]充分考虑了加边过程中的成本，提出了一种同时增加相连边与依赖边的优化方法。作者探讨了在有限成本约束下，如何通过两种加边数量的合理组合以实现最佳的相依网络鲁棒性。另外，平均最短路径是刻画网络小世界属性的一个指标，研究如何向网络中添加一些边使得网络的平均最短路径长度最小的问题，可以进一步理解动态网络的小世界演化进程。向网络中添加适当的边，还可以提高网络的高同步性[25-26]，有助于节点在较短的时间内达成一致性，从而提高网络的持久寿命。同样，加边策略的选择也有助于提高网络的鲁棒性[27-29]和结构可控性[30]，社交网络中的社团发现问题也可以通过加边策略和思路来解决[31-32]。实际生活中许多网络都会面临加边扩容的问题，因此需要人们研究如何加边才能使得网络性能更好，比如交通网络[33]，航班网络[34]，无线传感器网络[35]等网络，需要考虑添加能够最大可能增加传输容量，提高传输效率的边。对于社交网络，可以考虑向网络中添加一些边，进而优化其连通性并提高其进行社会化过程的能力[36]。还可以通过添加边来最大程度减小网络中点对点的信息传递的延迟[37-38]。因此，针对不同的优化目标指标，设计有效的加边策略，提高网络的性能是当今十分热门的话题。  **参考文献**   1. A.-L. Barabási. Network science[J]. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical,   Physical and Engineering Sciences, 2013, 371(1987): 20120375   1. K. Börner, S. Sanyal, A. Vespignani. Network science[J]. Annual Review of Information Science   and Technology, 2007, 41(1): 537-607   1. M. E. J. Newman. Networks[M]. Oxford UK: Oxford University Press, 2018 2. 汪小帆, 李翔, 陈关荣. 网络科学导论[M]. 北京: 高等教育出版社, 2012 3. Callahan D., Shakarian P., Nielsen J., et al., Shaping operations to attack robust terror networks[C]. In International Conference on Social Informatics, 2012, 13–18 4. West B.J., Geneston E.L., Grigolini P., Maximizing information exchange between complex networks[J]. Physics Reports, 2008, 468 (1): 1–99 5. Chen Z., Wu J., Xia Y., et al., Robustness of interdependent power grids and communication networks: A complex network perspective[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems II Express Briefs, 2017, (99): 1–1 6. Wu J., Zeng J., Chen Z., et al., Effects of traffic generation patterns on the robustness of complex networks[J]. Physica A Statistical Mechanics and Its Applications, 2018, 492: 871–877 7. Lin Y., Lui J.C.S., Jung K., et al., Modelling multi-state diffusion process in complex networks: theory and applications[J]. Journal of Complex Networks, 2018, 2 (4): 431–459 8. Barabasi A.L., Albert R., Emergence of scaling in random networks[J]. Science (New York, N.Y.), 1999, 286: 509–12 9. Manzano M., Calle E., Ripoll J., et al., Epidemic and cascading survivability of complex networks[C]. In International Workshop on Reliable Networks Design and Modeling, 2015 10. Jalili M., Yu X., Enhancement of synchronizability in networks with community structure through adding efficient inter-community links[J]. IEEE Transactions on Network Science and Engineering, 2017, 3 (2): 106–116 11. SARUKKAI R R. Link prediction and path analysis using markov chains[J]. Computer Networks, 2000, 33(1-6): 377-386. 12. ZHU J, HONG J, HUGHES J G. Using markov chains for link prediction in adaptive web sites[J]. Lect Notes Comput Sci, 2002, 2311:60-73. 13. LIN D. An information-theoretic definition of similarity[C]//Proceedings of the 15th Intl Conf Mach. Learn.. San Francisco, Morgan Kaufman Publishers, 1998: 296-304. 14. Barabási A L and Albert R. Emergence of scaling in random networks. Science, 286(5439):509~512, 1999. 15. Lü L and Zhou T. Link prediction in complex networks: A survey. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 390(6):1150~1170, 2011. 16. 吕琳媛, 周涛. 链路预测. 北京: 高等教育出版社, 2013. 17. Liu Z, Zhang Q-M, Lü L, and Zhou T. Link prediction in complex networks: a local naïve Bayes model. EPL (Europhysics Letters), 96(4):48007, 2011. 18. Clauset A, Moore C, and Newman M J. Hierarchical structure and the prediction of missing links in networks. Nature, 453(7191):98~101, 2008. 19. GUIMERA R, SALES-PARDO M. Missing and spurious interactions and the reconstruction of complex networks[J]. Proc Natl Sci Acad USA, 2009, 106(52): 22073-22078. 20. Cao X B, Hong C, Du W B et al, Improving the network robustness against cascading failures by adding links J . Chaos Solitons Fractals, 2013, 57 (4):35- 40. 21. Ji X, Wang B, Liu D, et al, Improving interdependent networks robustness by adding connectivity links[J]. Physica A, 2016.444(1): 9-19 22. Cui P S，Zhu P D，Wang K, et al. Enhancing links J7. Physica A，2018，497(1): 185197. robustness of interdependent network by adding connectivity and dependence 23. Jalili M., Yu X., Enhancement of synchronizability in networks with community structure through adding efficient inter-community links[J]. IEEE Transactions on Network Science and Engineering, 2017, 3 (2): 106–116 24. Yang L.X., Jiang J., Impacts of link addition and removal on synchronization of an elementary power network[J]. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2017, 479: 99–107 25. Cui P., Zhu P., Wang K., et al., Enhancing robustness of interdependent network by adding connectivity and dependence links[J]. Physica A Statistical Mechanics and Its Applications, 2018, 497: 185–197 26. Kazawa Y., Tsugawa S., On the effectiveness of link addition for improving robustness of multiplex networks against layer node-based attack[C]. In Computer Software and Applications Conference, 2017 27. Wang X., Cao J., Rui L., et al., A preferential attachment strategy for connectivity link addition strategy in improving the robustness of interdependent networks[J]. Physica A Statistical Mechanics and Its Applications, 2017, 483: 412–422 28. Chen X., Pequito S., Pappas G.J., et al., Minimal edge addition for network controllability[J]. IEEE Transactions on Control of Network Systems, 2018, (99): 1–1 29. Ghiasifard S., Khadivi S., Asadpour M., et al., Improving the quality of overlapping community detection through link addition based on topic similarity[C]. In International Symposium on Artificial Intelligence and Signal Processing, 2015 30. Hua J., Deng G., Ma Z., et al., A new community detection algorithm based on adding and deleting links[C]. In IEEE 2nd International Conference on Big Data Analysis, 2017, 412–422 31. Huang W., Chow T.W., Effective strategy of adding nodes and links for maximizing the traffic capacity of scale-free network[J]. Chaos, 2010, 20 (3): 033123 32. Wei P., Chen L., Sun D., Algebraic connectivity maximization of an air transportation network: The flight routes’addition/deletion problem[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2014, 61 (2): 13–27 33. Qiu T., Zhao A., Xia F., et al., Rose: Robustness strategy for scale-free wireless sensor networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 2017, 25: 2944–2959 34. Papagelis M., Refining social graph connectivity via shortcut edge addition[J]. Acm Transactions on Knowledge Discovery from Data, 2015, 10 (2): 1–35 35. Gozzard A., Ward M., Datta A., Converting a network into a small-world network: Fast algorithms for minimizing average path length through link addition[J]. Information Sciences, 2018, 422 36. Gaur N., Chakraborty A., Manoj B.S., Delay optimized small-world networks[J]. IEEE Communications Letters, 2014, 18 (11): 1939–1942 |

1. 学位论文研究计划及预期目标

|  |
| --- |
| 1.拟采取的主要理论、研究方法、技术路线和实施方案（可续页） |
| 2.研究计划可行性，研究条件落实情况，可能存在的问题及解决办法（可续页） |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **3.研究计划及预期成果** | | |
| 研  究  计  划 | 起止年月 | 完成内容 |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
| 预  期  创  新  点  及  成  果  形  式 |  | |

1. 开题报告审查意见

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1.导师对学位论文选题和论文计划可行性意见，是否同意开题： | | | |
| 导师（组）签字： 年 月 日 | | | |
| **2.开题报告考评组意见** | | | |
| 开题日期 |  | 开题地点 |  |
| 考评专家 |  | | |
| 考评成绩 | 合格 票 基本合格 票 不合格 票 | | |
| 结 论 | □通过 □原则通过 □不通过  **通过：**表决票均为合格  **原则通过：**表决票中有1票为基本合格或不合格，其余为合格和基本合格  **不通过：**表决票中有2票及以上为不合格 | | |
| 考评组对学位论文的选题、研究计划及方案实施的可行性的意见和建议： | | | |
| 考评组签名：  年 月 日 | | | |
| **3.学院意见：** | | | |
| 负责人签名： 年 月 日 | | | |