基于机会网络的最优化动态合作树选择算法

吴 嘉 易 茜 陈志刚
(中南大学软件学院 长沙 410075)
("移动医疗"教育部-中国移动联合实验室 长沙 410083)

摘 要 结点的移动性、传递信息的随机性和无链路连接传递是机会网络的一些信息传递的重要特征,而这些特征与人类社会中人类传递信息的过程极为相似。传统的机会网络算法用于社会网络时会因为环境的变化、人类社会特有的关系属性等问题不能获得很好的效果。因此,本文将随机性、移动性、无连接性等特征作为连接机会网络与社会网络的桥梁,设计了一种选择最优化动态合作树的算法。该算法通过建立动态拓扑结构树的方式,并建立可靠性、可用性、衰减因子、权重因子等作为拓扑结构中的权值进行计算,从而得到最优合作对象和最优合作路径。仿真实验表明,与经典的机会网络算法相比,该算法取得了很好的效果。

关键词 机会网络,算法,合作树,权值,可靠性,可用性,衰减因子
中图法分类号 TP393 **文献标识码** A

Algorithm of Selecting Optimal Dynamic Cooperation Tree in Opportunistic Networks

WU Jia YI Xi CHEN Zhi-gang
(School of Software, Central South University, Changsha 410075, China)
Mobile Health Ministry of Education-China Mobile Joint Laboratory, Changsha410083, China)

Abstract The randomness, mobility and disconnection are the characteristic of opportunistic networks. Then there are some similarities of human transmitting messages in human social networks. The traditional algorithms, in social networks, have not acquired good result because of changing application environment. Thus, this paper designed an algorithm——optimal dynamic cooperation tree algorithm when it is in randomness, mobility and disconnection environment. According to find dynamic topology structure, and establish dependability, usability, decline factor, we could count weight of this topology structure, and then obtain the optimal objects and paths. In the light of simulation, we compared it with classical algorithms. This algorithm acquires good result.

Keywords Opportunistic network, Algorithm, Cooperation tree, Weight, Dependability, Usability, Decline factor

1 引言

机会网络是一种新型的网络,它源于自组织网络。在机会网络中,结点通过移动形成通信区域,并且在移动过程中传递信息。这样的网络结构使得信息的传递不需要结点直接存在链路连接,大大加强了网络的实用性价值。通过结点的随机移动,结点携带的信息被传递到更广泛的区域。

目前,机会网络的应用已经在军事通信领域[1]、星际网络空间[2]、不确定网络空间[3]、野外追踪[4]、灾难场景应用[5]、救援现场[6]、网络社交平台[7]等方面取得了明显的成果。

本文通过分析研究,建立了择最优化动态合作树算法。该算法解决了社会网络中对象选择的问题,最终得到最优化的合作路径。

2 算法分析与设计

2.1 机会网络结构

在机会网络中,信息传递不需要依靠结点之间存在路径,而是通过结点移动,通过寻找"机会",将信息传递到下一个邻居,从而形成一个网络通信区域。这样的过程如图1所示。

图1(a)是机会网络的初始状态,结点A携带着信息。在T1时刻,结点A和结点B形成了一个通信区域,结点A将信息传递给结点B,结点B携带信息开始移动。

图1(b)是机会网络的传递状态。在T2时刻,结点B移动到结点C的通信范围,形成了一个通信区域,结点B将信息传递给结点C。结点C得到信息后继续移动。

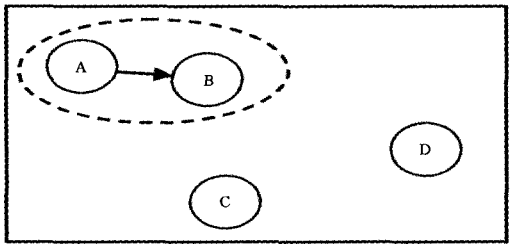
图1(c)是机会网络的完成状态。在T3时刻,结点C移动到目标结点D附近,C、D结点形成通信区域后,结点C将

本文受国家自然科学基金(61073186,61379057,61073186,61309001,61379110),教育部博士点基金优先发展领域课题(20120162130008),国家重点基础研究发展计划(973计划)(2014CB046305),中南大学博士生创新基金(2014zzts043)资助。

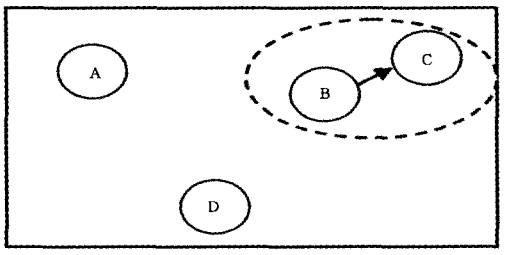
吴 嘉(1983—),男,博士生,主要研究方向为无线网络、机会网络、软件工程、大数据分析;易 茜(1989—),女,硕士生,主要研究方向为机会网络;陈志刚(1964—),男,博士,博士生导师,教授,主要研究方向为无线网络、分布式计算。

信息传递给结点 D，从而结束整个传递状态。

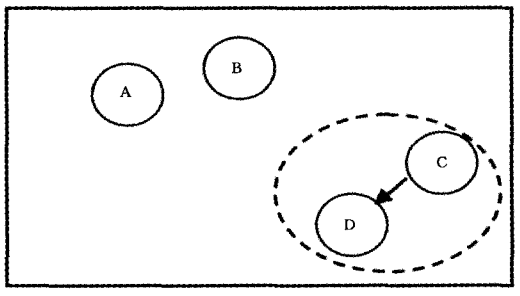
通过这样的传递方式，不仅可以形成一个自组织网络的全过程，也可以得到一条动态的传递路径 ABCD，可以用于我们研究路径的选择。



(a)机会网络的初始状态



(b)机会网络的传递状态



(c)机会网络的完成状态

图 1

2.2 社会网络中的人际关系

人类的社会生活中存在着不同的人际关系，它们大体上可以由血亲、朋友与陌生人 3 种形式组成。图 2 所示的为人际网络的结构图。

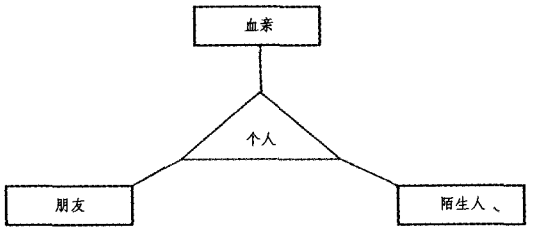


图 2 人际网络的结构图

在这样的一个结构图中，人们可以传递自己想表达的信息，同时也可以接受到别人传递的信息。如果将多个人的结构进行连接，形成一个网络结构用于传递信息，就构成了一个社会网络信息传递网。

图 3 所示为一个信息传递网络。在这样的网络中，每个人传递和接收信息。当发现某一条信息非常有帮助时，你可以通过该网络找到这个信息的源头，并且提出和该信息源的人进行合作。寻找这个信息源的过程，往往需要多个人进行传递消息，这样就形成了一条信息路径。当网络中的每一个人需要寻找合作对象时，既可以发送出自己的信号寻找合作者，也可以通过各种“机会”得到别人的信息。因此，我们可以将机会网络与社会网络进行联系，建立合作结构。

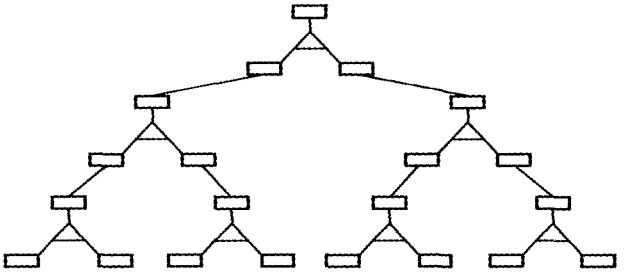


图 3 人际关系信息传递网络

2.3 建立动态合作树

根据上述的分析，我们对社会网络中人际关系的 3 个对象建立合作关系树，如图 4 所示。

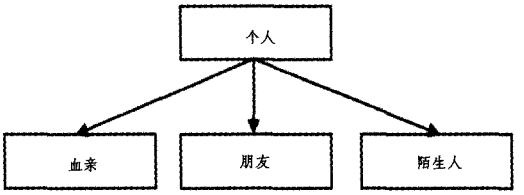


图 4 个人动态合作三叉树

该树的根结点为社会网络中的个人，它的 3 个叶子结点为自己的社会关系。个人与 3 个关系可以进行信息的相互传递，以实现信息交互。不论结点如何移动，这个动态拓扑结构相对于结点的移动是稳定的，因为每个人的社会合作对象是固定的。如果每个关系都将自己的合作对象进行扩展，则可以得到如下的一个拓扑结构树。

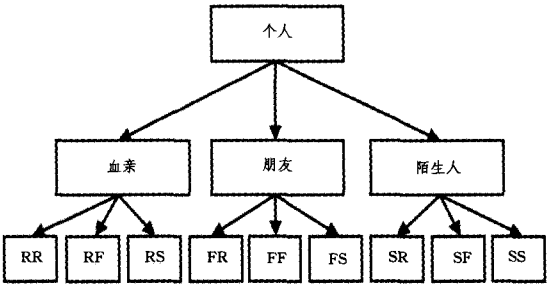


图 5 三叉合作扩展树

图 5 为扩展的结构树。该树拥有了更多的叶子结点。在这个结构树中，信息可以通过分层进行传递，传递的过程中参与的结点形成路径。根结点可以根据多条路径进行选择，以选择出最合适的路径将信息进行传递。同时，也可以选择所有结点中最合适的一组作为合作对象，实现消息的互传互通。

2.4 可靠性和可用性分析

在人类的成长环境中，社会关系中的每个人扮演的角色不同，亲疏程度有别，重要性也不一样。比如，在我们成长过程中，父母等这些血亲的信任程度相比于朋友来说就更可靠。但是，由于亲戚们的生活圈子有很多共同的交集，你知道的事情也许我也知道，这样产生的信息价值就不高。反而，一个陌生人，你和他不认识，但是在偶然的场合，经过朋友的介绍你们认识了，发现有很多的信息是彼此需要的，因此信息的价值量就往往超过我们熟悉的人。所以，如何选择合作的对象，使

得可靠程度与价值程度相对于比较平衡就成为了研究的重点。

由此我们可以定义以下几个概念：

(1)可靠性 D：在合作对象中，每个合作对象的信任度不同，比如血亲的可靠程度就高于其他人，所以可以设定 D 为可靠性，用于判定结点的可靠程度。

(2)可用性 U：在合作对象中，每个对象的有用信息是不同的，能带来的有用价值也不同。比如一个陌生人，虽然你不认识他，但是他可以提供给你的信息价值也许很大，相反，你熟悉的人却不一定能提供给你有用的信息。所以定义 U 作为可用性。

(3)权值因子 α、β：由于在不同的社会关系网络中，可靠性和可用性所占的重要性程度不同，起到的效果和实际要求也不同。比如在机密系统设计中，绝对的忠诚可靠要大于技术方面的要求，只要能在技术上满足，可靠性的价值将大大加强。所以可以设计 α、β 作为它们在不同社会网络中权值的比重，便于我们分析网络结构。

通过上述设定，我们就可以得到一个选择合作对象的计算公式，假定合作对象的权值为 W，则：

$$W=D\times\alpha+U\times\beta \tag{1}$$

通过计算公式，我们可以对身边每一个对象进行计算，得到合适的合作对象。

比如，A 结点存在两个邻居结点 B、C，可靠性分别是 $D_1=0.8$，$D_2=0.2$，可用性为 $U_1=0.3$，$U_2=0.9$，价值因子为 $\alpha=0.5$，$\beta=0.3$，则：

$$\begin{aligned}W_{AB}&=D_1\times\alpha+U_1\times\beta\\&=0.8\times0.5+0.3\times0.3\\&=0.49\end{aligned}\tag{2}$$

$$\begin{aligned}W_{AC}&=D_2\times\alpha+U_2\times\beta\\&=0.2\times0.5+0.9\times0.3\\&=0.37\end{aligned}\tag{3}$$

通过计算可以知道，选择结点 B 作为合作对象的效果优于结点 C 的效果。

2.5 传输衰减因子

在实际网络中，信息由于传递的过程，往往会存在效果失真的现象，使得无论是信息的真实程度还是有用的价值都会因为传递次数受到影响。因此，我们可以假设，信息每传递一次，价值传递的效果下降 5%，那么，得到的传输衰减因子 $L=0.05$。

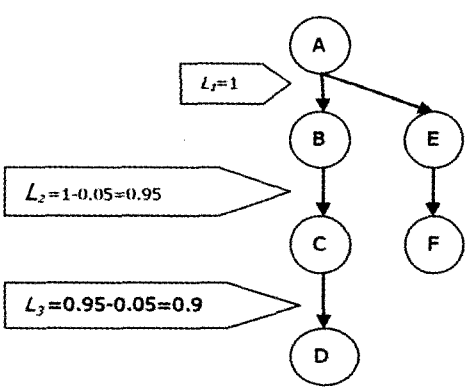


图 6 信息传递衰减过程

图 6 所示为信息传递衰减的过程。假设传递过程中，存在两条路径 ABCD 和 AEF，则信息传递的权值为：

$$W_{ABCD}=W_{AB}\times1+W_{BC}\times0.95+W_{CD}\times0.9 \tag{4}$$

$$W_{AEF}=W_{AE}\times1+W_{EF}\times0.95 \tag{5}$$

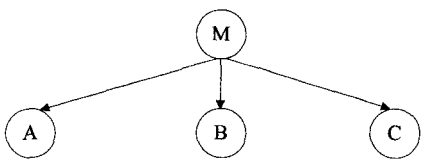
通过计算就可以得到相应的权值。

2.6 选择最优化动态合作树算法的设计

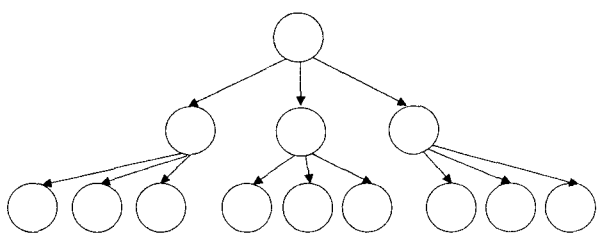
根据上述方法的论述，我们可以对选择最优化动态合作树算法进行设计。其设计的步骤如下：

第一步 建立一个三叉合作树，该树的根结点为 M，携带有用信息，其他结点为它的叶子结点，如图 7(a)所示。

第二步 根据 2.3 节的描述，对每一个结点按照 3 个邻居叶子的方式遍历，对每个叶子结点进行扩展，扩展的顺序为按层扩展，形成一个多层的满三叉树，如图 7(b)所示。



(a)三叉合作树(1)



(b) 三叉合作树(2)

图 7

第三步 输入结点的可靠性、可用性和价值因子，通过式(1)累加路径上的权值，并且记录下路径上的结点。

第四步 比较权值，选择权值中最大的一条路径。

第五步 统计最大权值路径上的结点信息，将该路径设定为最优合作路径，同时将该路径上的结点设定为最优合作的对象。

通过以上的步骤，我们就可以对最优化的合作对象进行选择。

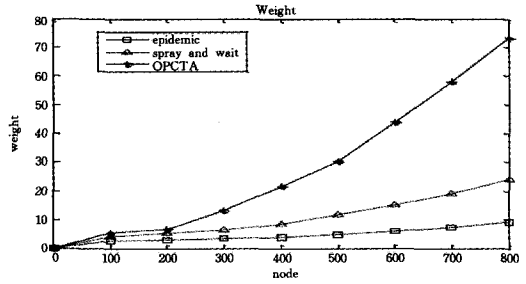
算法伪代码如表 1 所列。

表 1 选择最优化动态合作树算法(OPCTA)

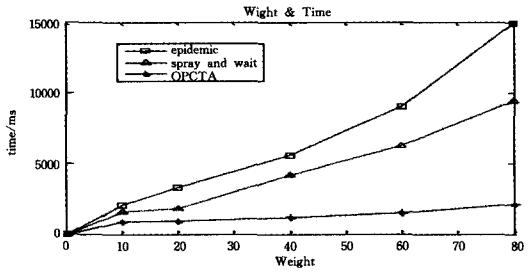
```
Input cooperation tree( * T),Di,UJ,α,β;
Output cooperation nodes(s[k]),cooperation path P;
1. Begin;
2. Message—>root node;
3. if(node has neighbors);
4. for i—>1 to k
5. find neighbors[k];
6.    Wk=Dk×α+Uk×β;
7. End if
8. while(neighbors!=NULL)
9. compare with Wk;
10. select max W ;
11. goto step 5;
12. record node(k);
13. record node(k)—> cooperation nodes s[k]
14. accumulation cooperation nodes s[k] —> cooperation path P;
15. output cooperation nodes s[k];
16. output cooperation path P;
17. end
```

3 实验与仿真

通过对最优化动态合作树算法进行设计，我们将对比机会网络中的经典算法 epidemic 算法和 spray and wait algorithm 算法。epidemic 算法，只要遇到结点就通过类似于“传染病”的形式传递信息，其选择的合作对象采用先相遇先合作的方式。而 spray and wait algorithm 算法则强调只要有邻居，不论数量多少，都同时传递出自己的信息，使得信息通过“喷洒”的方式传递到合作的邻居结点。仿真分析过程如图 8 所示。



(a)权值与结点之间的相互关系



(b)时间与权值之间的关系

图 8

图 8(a)表示权值与结点之间的相互关系。横坐标是结点的数量，纵坐标是权值的大小。从图 8(a)可以看到，随着结点数量的增加，权值也在增加，证明建立的合作伙伴也在增加。结点数量从 0 到 200 的过程中，3 个算法的权值大小都不大于 8，当结点数量大于 300 时，OPCTA 算法权值开始明显增加，增幅明显。当总结点数投入到达 800 时，OPCTA 算法权值到达 75 左右，是 spray and wait 算法的 3 倍，而 epidemic 算法的权值只有 OPCTA 算法权值的 1/7。仿真证明在选择权值的过程中，OPCTA 算法找寻合作对象合作具有较高的可靠性和可用性，能够较好地优化合作对象的选择。

图 8(b)表示时间与权值之间的关系。横坐标是权值的大小，纵坐标是需要的时间。从仿真结果可得，由于 epidemic 算法的洪泛特性，使得在取得权值相同的情况下，消耗的时间远远大于 spray and wait 算法和 OPCTA 算法，并且随着权值数量的增加，epidemic 算法消耗的时间也越多。OPCTA 算法则相对于 epidemic 算法和 spray and wait 算法的时间消耗随权值变化基本维持了很小的变化率。当权值数到达 80 时，OPCTA 算法消耗时间为 2500ms，只有 epidemic 算法消耗总时间的 1/6，是 spray and wait 算法时间消耗的大约 1/4。说明 OPCTA 算法能够在较短时间内找到合适的最优伙伴匹配。

通过仿真实验说明，OPCTA 算法能够在较短时间内找到最合适的合作伙伴，节省了网络的信息传递时间，优化了网络的性能。

为了能够更好地体现 OPCTA 算法的性能，我们设计了该算法在不同的衰减因子影响下权值的变化，说明信息传递中，可靠性和可用性受到信息衰减的影响。

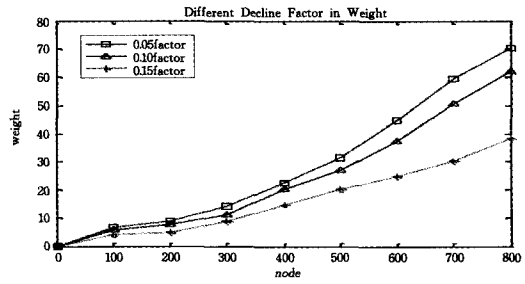


图 9 不同衰减因子的影响

图 9 表示了在不同的衰减因子下，最优化的合作对象选择算法的效果的不同。从仿真结果可以得到，在衰减因子从 0.05 变成了 0.10，再变到 0.15 的过程中，3 条曲线得到的权值不同。其中衰减因子较小的曲线得到的权值优于衰减因子较大的曲线。说明以同样的结点作为合作伙伴，衰减影响因子越低，合作对象的选择越好。

结束语 在机会网络中，通过建立最优化的合作对象来选择算法，使得更容易地选择合适的合作对象。该算法通过与传统算法的比较，取得了明显的效果。这对我们研究社会网络中结点的合作、对象的合作提供了参考的依据。

参 考 文 献

[1] Gerla M, Kleinrock L. Vehicular networks and the future of the mobile internet[J]. Computer Networks, 2011, 55(2): 457-469

[2] Seferoglu H, Markopoulou A. Opportunistic network coding for video streaming over wireless[C]// Packet Video 2007. IEEE, 2007: 191-200

[3] Del Monte A, D'Esposito M R, Giordano G, et al. Analysis of collaborative patterns in innovative networks[M]// New perspectives in statistical modeling and data analysis. Springer Berlin Heidelberg, 2011: 77-84

[4] Tseng Y C, Wu F J, Lai W T. Opportunistic data collection for disconnected wireless sensor networks by mobile mules[J]. Ad Hoc Networks, 2013, 11(3): 1150-1164

[5] Martín-Campillo A, Crowcroft J, Yoneki E, et al. Evaluating opportunistic networks in disaster scenarios[J]. Journal of Network and Computer Applications, 2013, 36(2): 870-880

[6] Pinquart M, Sörensen S. Influences of socioeconomic status, social network, and competence on subjective well-being in later life: a meta-analysis[J]. Psychology and aging, 2000, 15(2): 187

[7] Spyropoulos T, Psounis K, Raghavendra C S. Efficient routing in intermittently connected mobile networks: the multiple-copy case[J]. Networking, IEEE/ACM Transactions on, 2008, 16(1): 77-90