

社会网络的模糊聚类理论及其实践

沈洁¹ 郭莉森²

(中国普天信息产业股份有限公司通信事业部 北京 100080)¹ (北京邮电大学图书馆 北京 100876)²

摘要 根据分析现有社会网络的历史、特征和应用,提出相应的理论模型。基于模糊聚类的置信传播理论,将社会网站按照其覆盖范围进行层次分类,分析影响用户数量和用户行为的因素,通过算法将其分成不同的聚类。由于算法中采用模糊集对置信概率进行近似计算,使得计算复杂度降低。然后,通过一个新能源汽车充电的社会网络,在无线传感器网络和 Web2.0 应用模式的例子,统计该网络的数据,并与算法聚类预测结果进行比较,实验证明算法的精确性和实用性。最后,给出一般社会网络的商业模式,并展望其对未来因特网的影响。

关键词 社会网络,用户行为,关系度量,模糊聚类,商业模式,传感器网络

中图分类号 TP393.4 文献标识码 J

Social Network's Fuzzy Cluster Theory and its Applications

SHEN Jie¹ GUO Li-sen²

(Department of Telecommunication, China Potevio Co., Ltd, Beijing 100080, China)¹

(Beijing University of Posts & Telecom Munications Library, Beijing 100876, China)²

Abstract This paper analyzes the existing social network's history, characteristics and applications, next we derives the corresponding theoretical model. In our fuzzy cluster belief propagation theory, according to social network's coverage, we classify it into hierarchical sets, analysis the affected number of users and user behaviors, then dividing the sets into different clusters through the proposed algorithm. Since we adopt the fuzzy set to calculate the approximation of propagation probability, the computation complexity is reduced. Then, we give an example of social network for electrical automobile charge, in which the wireless sensor networks and social Web2.0 application mode are both used. Through comparing the statistic data and those estimated from our cluster algorithm, it proves that the effective and accurate of algorithm. Finally, we give the general social network business model and look forward to its impact on the future of the Internet.

Keywords Social network, User behavior, Relationship measurement, Fuzzy cluster, Business mode, Sensor network

1 社会网介绍

社会网站(SNS)越来越吸引学术和行业研究人员的兴趣^[1,2]。在本文中,我们给出 SNS 全面的定义,然后分析了多媒体网络体系下,网站主题与用户选择匹配的问题。我们将此问题建模为图论的概率匹配问题,可以用模糊聚类的模型进行理论分析。接着我们给出相关优化算法,并比较了两种算法的效率和在加电站实例中的仿真结果。最后我们探讨应用该算法的商业模式和未来的研究方向。

1.1 社会网的定义及研究

1.1.1 社会网定义

我们将社会网站定义为基于 Web 的服务,允许个人(1)有界系统内构建一个公共或半公共的配置文件;(2)阐明列表中的其他用户,与他们共享一个连接;以及(3)查看和遍历他们的名单和那些由其他系统内的连接。从站点到站点这些连接的性质和命名可能会有所不同^[2]。

1.1.2 社会网的研究

来自不同领域的学者研究 SNS 网站,了解网站的做法、

影响、文化和意义,以及用户的参与情况。这种特殊计算机传媒方式,汇聚了不同的网络技术、理论分析和实施方式。通过对不同社会网站及其技术和应用的分析,我们能获得一些跨学科的研究结论。

学界关于 SNS 网站的研究正在从不同的学科和方法论的传统方式,转换到解决了不同问题的方案,和基于计算机网参与的通信研究上。通过对不同站点及其网络平台的分析,获取相应的统计数据。如今,大部分的 SNS 研究都集中:用户体验及朋友圈性能管理,网络和网络结构,在线/离线的连接和用户隐私、系统安全等问题。

1.1.3 大数据网络聚类的理论问题

通过社会的平台,如果我们知道的内容,用户和概念,对多媒体的大数据信息的分析和挖掘,可以很容易地观察到从社交媒体网络之间的相互作用。但是,许多异构实体和这种网络关系难以充分代表信息的多样化。本文中,我们以电动车混合的社交媒体网络为例,通过该异构的实体和关系被无缝集成,具有跨异构实体和关系的概率联合推理过程。该网络可以通过聚类分析,得到特征信息和推荐的收益。在

沈洁(1974—),男,博士,高级工程师,主要研究方向为无线通信、云计算、算法设计、量子信息等,E-mail:shenjie75@sohu.com;郭莉森(1962—),男,工程师,主要研究方向为通信标准、计算机网络及通信。

建议的网络中,每个节点表示一个实体,节点之间的多个边表征实体之间的各种关系。用户查询信息,选择节点,通过网络学习,使用户偏好经推理进行置信传播。在这种模式下,用户选择一个网络偏好的聚集,网络特征功能,也通过这种图的概率吸引相应用户。这种模式可以用以概率为边的权重,信息集、用户集为不同节点的拓扑图表示。下面我们给出具体的数学模型和加电站混合信息网络的实例加以说明。

1.2 加电站网络的实例

在企业信息系统中,企业提供的服务通过网络对外发布,构成一个拓扑图。各类服务的费用及用户的偏好是随机的,决定了选择该节点的权重。相关联的业务用边连接,用户随机选择业务,在关联业务间,有传播概率,用户总会选择最短路径来获取其需要的服务。这样,我们关注社会网络的拓扑特性。

有一个实际的应用问题是,设企业为一个城市提供电动汽车加电的业务。不同种类的汽车选择不同的站点加电,加电站形成不同的聚类。每个聚类的特性有:加电量、加电时间、汽车类型、选择最近点加电等特性。

如何通过聚类算法使得这个社会网络最优,例如用户能及时选择最近加电站,加电站的运行比较平稳等。我们提出随机图的聚类算法,在此基础上,按照模糊集分类,能提升算法的收敛速度,降低复杂度。通过算法仿真,显示该模糊聚类算法能解决加电站社会网络最优化的问题。

2 社会网络理论分析

2.1 社会网的建模分析

社会网站可以用图来建模,用户和主题用点表示,点之间的关联用边连接。从模型分析看,用户试图随机寻找一条最短路径,类似一个随机网络。用户对主题的选择,有其价值取向,可以设为收益值。在有限步骤后,有收益则加入该社交圈,没有收益后,会选择退出策略。该社交圈的图景与图的拓扑结构紧密相连。一个给定的系统的网络拓扑结构,其特征函数的广义谱特性是需要仔细关注的。这表明模拟目标系统,含有相互作用的个体关联程度分析,并有可能推知特定组织、社区的影响度。

文献[5]给出了社会网络完整的理论分析,其中作者给出了几个命题,即社会网用图表示,两点间相识度不会超过六度。图1是一个社会网的图表示,圆圈表示主题,正方形表示用户,主题的关联度用边的权值表示。

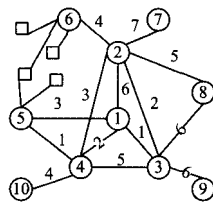


图1 社会网的拓扑图

社会网拓扑图还可能是有向图。对图中的节点进行分类,形成聚类,即不同的社交圈。聚类分析,实际是一个图的最大流、最小割集的分类问题。但是,这种图是自组织网络,其链接及权重是不断变化的,可以看做是随机变量。但这种随机图使得模拟更现实社会和经济的状况成为可能。在这一

点上,自组织网络可以导致一个不平凡整个系统的行为。

网络可以分段是网络理论的一个关键假设,对于社会网中在艺术和经济相关领域的应用,需采用这种方法分析。然而,传统的网络分析倾向于强调明确界定和可分离的组织,但在文化或经济领域难以实现。模糊集和单元实际上可能产生更清晰、更准确的结果。通过上面的分析,可以用图论、模糊数学的知识建立社会网的数学模型,对一些关键参数可以采用最优化的方式得到一个最优解。文献[6]给出了混合多媒体社会网的数学模型和优化过程,但是文献中精确计算概率,导致复杂性增大。这里采用模糊聚类置信传播的算法为社会网的聚类分解建立数学模型。

2.2 社会网的聚类模型

问题建模:对于 N 个用户, M 个主题,可分别表示为用户集 $x = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ 与主题集 $y = \{y_1, y_2, \dots, y_M\}$, 对于每个用户 x_i , 有对应兴趣向量 $\vec{l}_i = (\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m)$, 所有用户的兴趣向量可构成 $N \times M$ 的兴趣阵 m 对于存在订阅关系的用户 x_i 和主题 y_i , 对应元素 $w_{ij} > 0$, 表示用户 x_i 主题 y_i 兴趣度, 如不存在订阅关系, 则对应 $w_{ij} = 0$ 。

基于兴趣矩阵 m 的兴趣图 N 可表示为有向图 $G(V, E)$, 其中 V 为用户和主题节点构成的集合:

$$V = x \cup y$$

E 为订阅关系构成的边集合:

$$E = \{e(x_i, y_j) | x_i \in x, y_j \in y, w_{ij} > 0\}$$

定义1 下面给出关联边赋值的方法。例如有3个排序指标:跟随者数 R_F , 网页排名 R_{PR} , 转发数 R_{RT} , 考虑罚因子为 p , 两项排序的相关度为 $K_j^{(p)}$, 当 $p=0$ 时, 有:

$$K_j^{(p)}(R_1, R_2) = \sum_{r_1, r_2 \in R_1 \cup R_2} \tilde{K}_{r_1, r_2}(R_1, R_2) \quad (1)$$

有3种情况 $\tilde{K}_{r_1, r_2}(R_1, R_2) = 1$, (a) r_1 和 r_2 分别位于两列; (b) r_1 在一个列中排名高于 r_2 , 另一列中只有 r_2 ; (c) 两列中有 r_1 和 r_2 , 但两者排序相反。其他情况, $\tilde{K}_{r_1, r_2}(R_1, R_2) = 0$ 。对上式归一化, 有:

$$K = 1 - \frac{K_j^{(p)}(R_1, R_2)}{k^2} \quad (2)$$

式中, k 是排序的元素个数。 K 的范围从0(不相关)到1(全相关)。若 $K > \sigma$ (超过阈值), 表述强相关, 否则表示弱相关。聚类 i 的关联数为 C_i , 可定义其在主题 j 的模糊度:

$$Amb_{ij} = \begin{cases} |C_i - K_j|, & K_j \geq \sigma \\ |K_j|, & K_j < \sigma \end{cases} \quad (3)$$

此外还可以定义转发的指标, 对于用户 i , 定义 $|w_{ij}|$ 为来自 j 的转发数, 即边的权重; 定义转发树的非一致度为:

$$Dif(k, i) = \sum_{j=1}^k \left\{ \frac{|w_{ij}|}{\sum_{l=1}^k |w_{il}|} \right\}^2 \quad (4)$$

式中, $Dif(k)$ 表示对有 k 个出边的所有节点的 $Dif(k, i)$ 的平均值。 $kDif(k)$ 主要分布的范围在 $1 \sim k$ 之间。

利用上面定义的 K 作为每个顶点的相关度计分, 记为 f_i , 所有顶点的分值成为向量 $f = [f_1, \dots, f_n]^T$ 。

社会网络用户的策略类似囚徒困境博弈模型, 用户作为一个系统, 能够同时显示合作和退出竞争行为范式^[3]。设用户间有联系用边表示。用户有两种策略, 合作(C), 或退出(D)。为简化处理, 一个用户在看到其他用户选择合作, 采取

退出获得的收益为 t , 得到收益矩阵:

$$Q = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ t & 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

在时间 \mathcal{T} , 该用户与其相邻用户的第一轮联系中, 计算付出的代价为:

$$P_i(\mathcal{T}) = \sum_{j \in \Omega_i} x_i Q x_j^T \quad (6)$$

式中, Q 是元素 x 的相邻元素集, t 是每一步参与者获得的收益。在每一步, 用户根据其收益决定下一步的策略, 则有:

$$x_i(\mathcal{T}+1) = \begin{cases} x_i(\mathcal{T}), & \text{if } P_i(\mathcal{T}) \geq \max(P \in \Omega_i) \\ x_j(\mathcal{T}), & \text{if } j \in \Omega_i \text{ and } P_j(\mathcal{T}) = \max(P \in \Omega_i) \end{cases} \quad (7)$$

在每一轮中随机选择一个用户, 继续其策略, 从而保持系统平衡, 并可保证对不同状态的遍历。

同理, 对于主题集合, 令表示是否选择连接边的第 k 类主题的参数, 则存在马尔科夫转移矩阵:

$$Q_{ij} = \begin{cases} \frac{\exp(\sum_k \alpha_{ij}^k w_{ij}^k)}{\sum_j \exp(\sum_k \alpha_{ij}^k w_{ij}^k)}, & \text{if } Y_{ij} \in E \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

对于所有顶点的计分, Q 构成转移矩阵, 在静态条件下有:

$$f = Q^T f \quad (9)$$

优化的目标是使 $\|f - Q^T f\|_2^2$ 最小; 其次加上第一个约束条件, 使计分与选择的主题偏离度不能太大; 最后对于用户分散选择主题而言, 有收益的罚函数值要最小。从而有下面的最优化目标函数:

$$F(f, \alpha) = \frac{1}{2} \|f - Q^T f\|_2^2 + \frac{\lambda}{2} \|f - y\|_2^2 + \gamma \left(\sum_{g=1}^r \|a_g\|_2 + \|\alpha\|_1 \right) \quad (10)$$

在上面的式子中采用范数定义, 最后一个式子中 g 表示选择的主题有一群, 范数 ℓ_2 和 ℓ_1 使得群和单主题的选择分散度在一定范围。最优化目标是使式(10)最小, 即

$$\begin{aligned} \min_{f, \alpha} F(f, \alpha) \\ \text{s. t. } f \geq 0, \alpha \geq 0 \end{aligned} \quad (11)$$

2.3 社会网的模糊聚类置信传播算法

可以将社会网络定义为马尔科夫随机场(MRF)模型, 为其感兴趣的向量定义赋权集合 \mathcal{L} , 即将上节所述的 w_{ij} 用概率的形式表示。另 Ψ 表示可能聚集的集合, Ψ 表示 3 类不同的方程。

- 对于每个 $Y_i \in y, \varphi_i \in \Psi$ 表示映射: $\varphi_i: \mathcal{L} \rightarrow \mathbb{R}_{\geq 0}$, 其中 $\mathbb{R}_{\geq 0}$ 是非负的实数;

- 对于每个 $(Y_i, X_j) \in E, \psi_{ij} \in \Psi$ 表示映射: $\psi_{ij}: \mathcal{L} \rightarrow \mathbb{R}_{\geq 0}$;

- 对于每个 $(Y_i, Y_j) \in E, \psi_{ij} \in \Psi$ 表示映射: $\psi_{ij}: \mathcal{L} \times \mathcal{L} \rightarrow \mathbb{R}_{\geq 0}$ 。

对于 Y_i 的一点 y_i , 对两个主题相连的边, 其传播重要度的概率表示为 $\phi_i(y_i) = \varphi_i(y_i) \prod_{(Y_i, X_j) \in E} \psi_{ij}(y_i)$, 下面就定义随机场:

定义 2 成对马尔科夫随机场用二元组 Ψ 表示, 其中 G 是图, Ψ 是聚集概率集合, ϕ, φ 定义如上。对于未观察到的变量 Ψ , 存在概率分布 $P(y|x) = \frac{1}{Z(x)} \prod_{Y_i \in \Psi} \varphi_i(y_i) \prod_{(Y_i, Y_j) \in E} \psi_{ij}(y_i, y_j)$, 其中 x 表示集合 \mathcal{X} 的观察值, $Z(x) = \sum_y \prod_{Y_i \in \Psi} \varphi_i(y_i) \prod_{(Y_i, Y_j) \in E} \psi_{ij}(y_i, y_j)$ 。下面我们列出两个算法, (1) 严格按照概率计算的共轭梯度优化算法-Gradient Descent Optimize (GDO); (2) 采用模糊聚集的标签置信度算法(LBP)。

算法 1(GDO)

1. 输入: $\psi_{ij} \in \Psi, Y_i, Y_j \in y, Z^0, \alpha, \lambda, \gamma$;
2. 初始化 $t=0, Z^t=1, \alpha^t=1$;
3. repeat $m_{i \rightarrow j}(y_j) \leftarrow -1$;
4. 先固定 α^t , 采用共轭梯度算法, 再根据 $\partial_{\alpha} F_{\mu}(Z^t, \alpha^t)$, 估计 Z^{t+1} ;
5. 使得 Z^{t+1} 的负数分支趋近于 0;
6. 再固定 Z^{t+1} , 采用共轭梯度算法, 根据 $\partial_{\alpha} F_{\mu}(Z^t, \alpha^t)$, 估计 α^{t+1} ;
7. 使得 α^{t+1} 的负数分支趋近于 0;
8. $t=t+1$;
9. until 算法收敛;
10. 输出最优的 Z^* 和 α^* 。

可以看到, 上述算法一次迭代需要进行两次共轭梯度算法的概率技术, 复杂度较高。作为比较, 采用模糊算法, 计算图的边的置信度传播, 能降低复杂度。

算法 2

1. for ($\forall Y_i, Y_j \in E(G)$ s. t. $Y_i, Y_j \in y$) do
2. for each $y_j \in \mathcal{L}$ do
3. $m_{i \rightarrow j}(y_j) \leftarrow -1$
4. end for
5. end for
6. repeat // 执行信息传输
7. for (each $Y_i, Y_j \in E(G)$ s. t. $Y_i, Y_j \in y$) do
8. for each $y_j \in \mathcal{L}$ do
9. $m_{i \rightarrow j}(y_j) \leftarrow \alpha \sum_{y_i} \psi_{ij}(y_i, Y_j) \phi_i(y_i) \prod_{Y_k \in \mathcal{N}_i \cap \mathcal{N}_j} m_{k \rightarrow i}(y_i)$
10. end for
11. end for
12. until $\forall m_{i \rightarrow j}(y_i) \leftarrow -1$ 不再变化
13. for each $Y_i \in y$ do // 计算置信度
14. for each $y_i \in \mathcal{L}$ do
15. $b_i(y_i) \leftarrow \alpha \phi_i(y_i) \prod_{Y_j \in \mathcal{N}_i \cap \Psi} m_{k \rightarrow i}(y_i)$
16. end for
17. end for

在上面的算法中, 我们以 Y_i 为聚类中心, 先计算其对应的 ϕ_i , 再搜索其边集合及标签集 \mathcal{L} , 该集合中含潜在的概率 ψ_{ij} 。将以上概率相乘得到以 Y_i 为中心的团块的传播概率 $\phi_i = \varphi_i \times \prod_j \psi_{ij}$ 。得到传播概率后, 计算两个中心节点间稳态的传播概率 $m_{i \rightarrow j}(y_j)$ 。

给定一个成对 MRF 的概念上是简单的、提取的最佳分配到网络中的每个未观测到的变量。例如, 我们可能采用的标准, 最好的标签值, 是与成对 MRF 相关的所有其他变量的概率分布总和, 选择一个对应的最高边际概率。然而计算上这难以实现, 因为边缘概率计算量随连接数呈指数增长, 我们需要建立模糊集, 算法上进行近似推理。

我们采用近似推理算法, 避免计算边缘概率分布的计算复杂度。为了避免直接按定义计算成对 MRF 相关的概率分

布,可以定义一个模糊集,先设定一个设计试用分布,因此,一旦其适合 MRF 分布,就很容易从试用分布提取边缘概率。这类近似推理算法被称为变分算法。

3 社会网站的应用实验

3.1 无线传感器网的实验

自从引入无线传感器网络的研究和发展,相应社会网的需求,为这项新技术提供了无尽的可能性。这些微型传感器节点,其功能已在过去几年猛增,已经允许的范围广泛的应用程序要创建应用程序^[7]。只要有合乎的预期,研究人员有采用传感器网络的兴趣,从而扩大已经广泛采用的各种算法,以及存在的理论和应用。将社会网应用于该领域,通过查看传感器节点,能获得更多应用。

我们以普天深圳电动汽车加电站为例,来说明上述模糊聚类算法的有效性。在电动汽车上安装无线传感器,电动汽车形成用户集合,在图 1 中用方块表示。加电站在图中用圆圈表示。边上的权重是用户根据距离、剩余电量、交通拥塞情况等得出的概率估计权重。该无线传感器网络构成了前面所述的社会网,用户根据网络的信息,选择其所属聚类。

例如用户由点 1 到点 2,根据其计算,由 1 直接到 3 的权重为 6,而经过 3 再到 2,有两跳,合计权重为 3。按照最短路径原则,用户选择 1-3-2 的路径。按照概率置信度,图 1 中节点 1 选择节点 3 和 4,形成一个更大的聚集。节点 2,6,7 也形成一个聚集。用户再加入到加电站形成的聚集中。

图 1 只是一个示例,在实际系统中我们有网站讨论区,根据讨论的话题,统计用户类型(公交车、出租车、个人用户)、加电量、加电时间等指标,得到不同加电站聚类。同时我们根据实际记录,获得数据,与 3 种统计算法进行比对。第一种是根据网站话题和以前数据进行预估(Pre Estimate);第二种方法是按照聚类理论的梯度算法,精确算出传播概率(GDO);第三种是上面提出的标签置信传播(Label Belief Propagation)的近似算法。计算的结果见图 2,其中横坐标为用户密度,纵坐标为计算结果与实际值比对的精度。随着用户密度的增加,统计的样本点越多,与实际结果更接近。根据以往的经验,预测数和精确聚类算法都随用户密度增加而增加。但是近似聚类算法在用户密度增高超过 0.7 后,有一个精度下降的趋势。这是因为近似算法随着图边的增加,容易在图中形成闭圈,从而影响算法的收敛性。但是也可以看到,采用近似算法的精度还是接近精确算法,但其复杂度大大降低了。

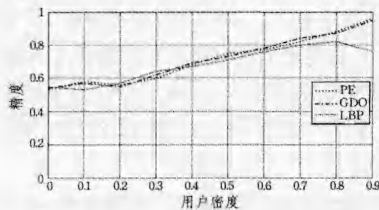


图 2 不同算法与统计值精度比较

传感器网络的应用非常广泛。因此,必要时算法能够有效地存储数据,保存尽可能多的能量尽可能传送消息,同时保证交付。社会网络分析可以提供这样的算法。

3.2 具有位置信息的 Web2.0 实验

基于 Web2.0 的技术,我们可以获得社会网用户的位置信息,在计算机上或手机上为用户提供导航服务。这里在普

天的新能源汽车网络上提供了具有位置信息的 Web2.0 应用。通过该网络,用户能够分享他们加电的位置信息、加电站服务内容、加电的支付情况、对加电站服务的评论。该网站需要有后台服务程序,后台的系统架构如图 3 所示。

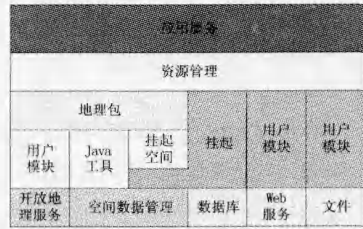


图 3 含地理信息服务的网站框架

通过对上述架构开发一个原始模型,能够验证基于位置的社会网站的体系架构具有可行性。通过网站交流内容,产生置信度传播,得到的统计数据与数学模型计算结果进行比对。此外,位置模型可以通过无线网络推送到用户,增强用户体验,使用户能分享信息库的内容。

在下面的实验中,对于一个加电站不同时段的加电量,采用前面的聚类分析算法进行预测,与实际加电量进行比较。另外还有增加了位置信息后,得到的实际加电情况和聚类算法计算结果的比较。

图 4 是实际值和预测值的比较。从图中可以看到所有点的相对百分误差都小于 3%,相对百分误差小于 2% 的点有 23 个,误差在许可范围内。

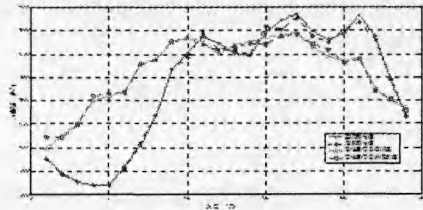


图 4 充电量实际值与预测值的比较

采用了位置信息之后,实际值与预测值的误差也在 3% 以内。同时,因为有位置信息作为引导,用户在需要的时候充电,而不是集中在某个时段充电,起到削峰填谷的作用,提高了资源利用率。

结束语 通过上面的两个例子,我们发现将社会网络应用于互联网及移动网络,对用户产生了吸引力。在此基础上,根据用户的偏好开发出相应的应用程序,将产生很好的商业模式和商业效益^[12]。

例如上面的电动汽车充电站的社会网络的例子,由于改造一个经典的社会网络应用程序,附加地理服务,为车主提供最新位置指南,可以帮助人们了解自己移动区域附近加电站的情况,包括:排队队列,正接受服务的车类型,路程远近,附加服务,这些能产生一些非常有用的应用程序,使得用户能参与其中。在参与的基础上,采用打折、促销,可以吸引其他用户成为一个新的网络的一部分。基于这样的想法,扩展应用,维持网络的运营。

在前面分析中,网络的大小、复杂度、连接速度和带宽等参数,是社会网站成本产生的主要原因^[11]。通过建立业务的分类评价体系,采用不同的网络拓扑结构(比如星形连接),能提升网络的可扩展性和稳定性。而在此基础上,通过模糊聚

类算法,能够根据用户特性,引导用户加入到某项服务中。根据本文提出的模糊置信度传播算法,我们优化了网络结构,充电站实现了平稳的电量供给,用户通过网络的地理信息,能寻找到最近、最快的充电站为其服务。这些信息,作为网络后台大数据挖掘的统计信息,根据以往积累的数据,可以进一步优化网络的拓扑特性。

参 考 文 献

- [1] Kwak H, Lee C, Park H. What is Twitter, a Social Network or a News Media? WWW 2010
- [2] boyd D M, Ellison N B. Social Network Sites: Definition, History, and Scholarship[J]. Journal of Computer-Mediated Communication, 2008, 13
- [3] Abramson G, Kuperman M. Social games in a social network, 2000
- [4] Ortega J L, Aguillo I F. Visualization of the Nordic academic web: Link analysis using social network tools[J]. Information Processing and Management, 2007
- [5] Kadushin C. Introduction to Social Network Theory: Chapter 2. Some Basic Network Concepts and Propositions, 2004
- [6] Liu Dong, Ye Guang-nan, Chen Ching-ting. Hybrid Social Media Network, MM 2012
- [7] Papadimitriou A, Katsaros D, Manolopoulos Y. Social Network Analysis and its Applications in Wireless Sensor and Vehicular Networks, 2012
- [8] Cestra G, Liguori G, Clementini E. MyTravel: A Geo-referenced Social-Oriented Web 2.0 Application. LNCS 6782, ICCSA 2011, Part I
- [9] Lewis K, Kaufman J, Gonzalez M. Tastes, ties, and time: A new social network dataset using Facebook. Com. 2008
- [10] Borgatti S P, Mehra A, Brass D J. Network Analysis in the Social Sciences. Science 323, 892, 2009
- [11] SgROI D. Social network theory, broadband and the future of the World Wide Web. Telecommunications Policy, 2008, 32
- [12] Fourli I. Business Model for Mobile Social Network. Master thesis, 2010
- (上接第 49 页)
- [19] Seoanea I, Calle E. Failure propagation in GMPLS optical rings CTMC model and performance analysis[J]. Optical Switching and Networking, 2012, 9(1): 39-51
- [20] Haider A. Recovery Technique in Next Generation Network [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2007, 9(3)
- [21] Rostami M J, Zarandi A A E. MSDP with ACO: A maximal SRLG disjoint routing algorithm based on ant colony optimization [J]. Journal of Network and Computer Applications, 2012, 35
- [22] Kim S, Lee H, Lee W Y. Improving Resiliency of Network Topology with Enhanced Evolving Strategies [C] // The Sixth IEEE International Conference on Computer and Information Technology. 2006
- [23] Salles R M, Marino D A, J R. Strategies and Metric for Resilience in Computer Networks [J]. The Computer Journal Advance Access published, October 2011
- [24] Liu Jia-jia, Jiang Xiao-hong, Nishiyama H. Reliability Assessment for Wireless Mesh Networks Under Probabilistic Region Failure Model [J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2011
- [25] Wang C-h, Wei S-Y. Highly resilient key distribution strategy for multi-level heterogeneous sensor networks by using deployment knowledge [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University: Science, 2011
- [26] Joseph D, Franks J K, Freeman C N. Reliable and Resilient End-to-End Connectivity for Heterogeneous [Z]. International Business Machines Corporation, 2011/0038256 A1, 2011
- [27] Kousalya C G, Mala G S A. An Energy-Efficient and Resilient Traffic-Aware Key Management Scheme for Wireless Sensor Networks [J]. European Journal of Scientific Research, 2011, 50(2): 246-262
- [28] Cholda P, Mykkiltveit A. A survey of resilience differentiation frameworks in communication network [J]. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 2007, 9(4)
- [29] ENISA. Ontology and taxonomies for resilience [OL]. <http://www.enisa.europa.eu/act/it/technology-for-resilience/ontology-ws/resontax-draft>, 2011
- [30] Cholda P, Tapolcai J, Cinkler T. Quality of Resilience as a Network Reliability Characterization Tool [J]. IEEE Network, 2009
- [31] Sousa B, Pentikousis K, Curado M. REF: Resilience Evaluation Framework [C] // 2010 International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT). 2010
- [32] Zavidniak P, D'Amico A, McCallant D H. Achieving Information Resilience [J]. Information Security Technique Report, 1999, 4(3): 54-62
- [33] Chandra A. Synergy Between. Biology and Systems Resilience [D]. Missouri University of Science and Technology Thesis, 2010
- [34] Hesse M, Pohlmann N. Internet Situation Awareness [Z]. eCrime Researchers Summit, 2008
- [35] Liu Mi-xia, Tao Feng, Smith P, et al. Situational Awareness for Improving Network Resilience Management [C] // 9th International Conference, ISPEC 2013. Lecture Notes in Computer Science, 7863
- [36] 龚正虎, 卓莹. 网络态势感知研究 [J]. 软件学报, 2010, 21(7)
- [37] 韦勇, 连一峰, 冯国登. 基于信息融合的网络安全态势评估模型 [J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(3): 353-362
- [38] 韦勇, 连一峰. 基于日志审计与性能修正算法的网络安全态势评估模型 [J]. 计算机学报, 2009, 32(4): 763-772
- [39] 郭文忠, 林宗明, 陈国龙. 基于粒子群优化的网络安全态势要素获取 [J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2009, 48(2)
- [40] 张勇, 谭小彬, 崔孝林, 等. 基于 Markov 博弈模型的网络安全态势感知方法 [J]. 软件学报, 2011
- [41] 孙建华, 李丁丁, 陈浩. 对等网络的网络弹性分析 [J]. 计算机应用, 2007, 27(4)
- [42] Xu Ming, Zhou Shui-geng, Guan Ji-hong. Building Resilient Unstructured Peer-to-Peer Networks Using Mobile Agents [C] // 2010 Sixth International Conference on Semantics, Knowledge and Grids. 2010: 149-156
- [43] Huang He, Wang Jin, Yang Bo. Multi-Class MPLS Resilience Mechanism Supporting Traffic Engineering [C] // Proceedings of the Seventh International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies. 2006