

增强超媒体系统的导游功能*

黄波 何志均

(浙江大学 CAD&CG 国家重点实验室 杭州 310027)

(浙江大学人工智能研究所 杭州 310027)

摘要 对现有超媒体系统中常用的几种导游机制进行了介绍和分析,借鉴 PFNET(pathfinder 网)这种网状模型,根据超媒体系统中的节点、链和用户使用习惯,提出了两类导游图,以期对用户浏览信息起到真正的导游作用,解决超媒体系统中的迷路问题。

关键词 超媒体, PFNET(pathfinder 网), 导游机制, 导游图, 迷路问题。

中图法分类号 TP391

1 超媒体信息浏览

超媒体^[1,2]信息采用节点、链、锚进行表达,是外部世界在计算机世界的真实反映,节点是包含着独立语义的基本信息单元,节点内容丰富生动,不仅仅限于简单的数字、字符这些原始的数据类型,而且包含着正文、图形、图象等各种媒体信息,而正是这些媒体信息构成我们日常交流的基本手段,因此,节点远不像一般数据库中的数据记录那么晦涩难懂、缺乏说明力,因而对节点内容进行浏览显得颇为必要;另一方面,链反映了节点之间各种各样的关系,信息网络向人们展现了自己的组织结构,因此,对各个节点进行浏览也就不会显得漫无目的。

对超媒体信息进行浏览,一方面可以采用传统的线性方式,对各个节点类中的各个节点依次进行阅读;另一方面,根据节点之间的关系链,循链进行相关节点的数据浏览,而不仅仅限于在一类节点中进行信息浏览,这种方式是非线性方式的,便于不熟悉的用户能够尽快查找到自己所需要的信息,符合超媒体技术的初衷。

由于超媒体数据节点结构存在复杂性,并且当节点和链的数目逐渐增多时,由于人们的记忆并非是长久永恒的,用户在如此复杂的信息网络中进行信息浏览,尤其在循链浏览时,会面临着一个潜在的危险——“迷路问题”,即用户在信息网络中进行信息游历,与在原始森林中进行探险的情形相同,可能会迷失方向,不知自己身在何处,不知自己该如何进一步地获取信息以及如何回到起点。

解决“迷路问题”的关键在于对超媒体信息浏览过程提供必要的导游机制,因此,本文将对现有超媒体系统中采用的各种导游方法进行介绍和分析,然后基于 PFNET 网,提出两类导游图以辅导用户进行信息浏览,进一步提高超媒体系统的导游功能。

2 基本的导游机制

一般超媒体系统主要采用下列各种策略^[3,4],提供信息导游,完成信息的浏览,解决“迷路问题”。

(1) 主节点:超媒体系统中不同的信息节点可以形成线性或层次的结构,在上述结构中,将有些节点如线性结构中的头节点、层次结构中的祖先节点定义为一个浏览序列中的主节点或初始节点,如将一个超媒体文档的目录作为主节点,这样,当用户进行信息浏览遇到迷路问题时,即可选择相应的命令按钮直接返回到主节点,从混乱中彻底解脱。

(2) 导游线路:对系统中的各个节点按照它们的内容由浅入深安排阅读顺序,便于用户对信息的理解,在节点之间形成一条导游线路,供用户进行浏览,导游线路方式给信息旅程提供了一条主干线,当用户处于一条导游线路上的任一点时,可以自由地选择前进和后退,此外还可随时随地地根据节点之间的关系链进行跳转,在实际应用过程中,可根据系统需要,利用节点之间不同的关系链定义不同的导游线路,如对于不同类型的读者可以定义不同的导游线路。

(3) 历史记录:跟踪用户在信息网络中的游历过程,逐一记录用户访问的节点,通过对历史记录中的节点进行选

* 本文研究得到浙江省自然科学基金资助,作者黄波,1970年生,博士,主要研究领域为超媒体,软件工程,人工智能,何志均,1923年生,教授,博导,主要研究领域为人工智能,软件工程。

本文通讯联系人:黄波,杭州 310027,浙江大学人工智能研究所

本文 1997-07-18 收到原稿,1997-11-24 收到修改稿

择,用户可以返回访问过的任意位置.

(4) 书签,与日常生活所使用的书签意义相同,以帮助用户记忆,通过对节点定义书签,以备以后用户可以直接访问该节点.不同于历史记录的是,历史记录只是对当前浏览过程的记录,而书签若不是由用户主动删除,则作为永久的记录存在.

(5) 导游图,是一般多媒体系统中对信息浏览进行导游的主要手段.导游图具有相当于地形图的功能,是对超媒体信息网络的可视表现.图中各个节点缩影成一个个小点,节点间的链根据链型采用不同的颜色或不同的线型来表示,通过显微镜可以对信息结构显示的细节程度进行调整.导游图使用户清醒地知道现在自己身在何处,从而较大幅度地减少了迷路问题发生的可能性,并便于用户理解超媒体系统的信息结构.

以上这些策略基本上属于 90 年代初的研究成果,近年来主要着重于对这些技术的实际应用,缺乏对导游机制进一步的深入研究.^[5]此外,由于这些策略只是有限地解决了“迷路问题”,随着 WWW 和 Internet/Intranet 技术的推广应用,如何在大型超媒体信息网络中提供更好的导游支持又成为目前的一项重要需求.

3 增强超媒体的导游功能

在上述各种导游机制中,除了导游图和导游线路是较为有效的方案以外,其他方法对“迷路问题”的解决和导游作用的发挥仅起到了辅助作用.但在超媒体系统中,一个节点可能对应多个链,同时两个节点间也可能存在着多个链,链既是超媒体的一个优点所在,也是造成“迷路问题”的潜在隐患所在,试图通过导游图枚举出所有的链是不现实的,也是无益的.而导游线路比较强调线性的阅览方式,一般均具有较强的针对性,因此需要对不同用户定义不同的导游线路.此外,导游图和导游线路仅仅是对节点、链简单的可视重现,没有能够作进一步的信息加工,缺乏真正的导读作用.

另一方面,在超媒体信息表达中,各个链的表达虽然包含语义信息,但并未反映出两个节点联系的紧密程度,如果能够根据节点间的联系程度对循链浏览提供建议,则可以帮助用户尽快地熟悉理解超媒体信息节点中的内容,起到真正的导游作用.此外,如果同时在导游图中反映出节点间存在的联系及联系程度,而不简简单单的是一条条的关系链,以及在图中反映出读者当前身在何处,则可以更好地解决迷路问题.

因此在下文中,我们将根据节点间的关系、链和用户的访问情况,采用 PFNET(Pathfinder 网)来生成两种类型的导游图,以求进一步地提高超媒体系统的导游机制.

3.1 PFNET 介绍

Pathfinder 网(PFNET)是根据经验性的数据,对不同概念或实体间联系的相似或差异程度作出评估,然后应用图论中的一些基本概念和原理生成的一类特殊的网状模型.它对不同概念或实体间形成的语义网络进行表达,从一定程度上模拟了人脑的记忆模型和联想式思维方式,主要应用于认识心理学和人工智能等研究方面.在一般变换情况下,PFNET 具有一定的稳定性,并且通过对 PFNET 的分析,可以对不同的概念、实体进行分层和聚类.由于 PFNET 与超媒体技术具有一定的相似性,我们希望借鉴对它的研究工作以提高超媒体的导游机制.由于篇幅有限,下文仅对 PFNET 的有关定义和定理进行介绍,详细情况可参见文献[6].

下面是一些基本定义.

定义 1. q -三角:一个网络是 q -三角型的,当且仅当对所有由 $m \leq q$ 条边(链)组成的路径均满足以下三角不等式,即

$$W_{aa} \leq (W_{ab}^q + W_{bc}^q + \dots + W_{ca}^q)^{\frac{1}{q}}$$

上述不等式中, $W_{aa}, W_{ab}, \dots, W_{ca}$ 分别表示边 $n_a n_a, n_a n_b, \dots, n_m n_m$ 的权,不等式的左边是边 $n_a n_a$ 的权,右边是 $n_a n_b, n_b n_c, \dots, n_m n_m$ 组成的路径的长度,并且该条路径中所包含的总边数小于 q , γ 为长度计算因子.

定义 2. 距离:PFNET 中任意两点之间的距离是连接这两点的所有路径中最短路径的长度,即

$$D_{ij} = \text{MIN}(W(P_{ij_1}), W(P_{ij_2}), \dots, W(P_{ij_m})).$$

上面的等式中 D_{ij} 为 n_i, n_j 两点之间的距离, P_{ij_m} 表示连接 n_i, n_j 两点的第 m 条路径, $W(P_{ij_m})$ 为该路径的长度.

根据上述定义,在一个网络中存在着下面的结论:

- (1) 任意点到其自身的距离为 0.
- (2) 对于边不具有方向性的网络的距离矩阵,该矩阵是对称的;对于边具有方向性的网络,距离矩阵是非对称的.

定义 1 保证了网络中连接任意两点的边为最短的边.其中 $1 \leq q \leq (n-1)$, n 为网络中总的节点数.

定义 3. PFNET:一个 PFNET(r, q)是一个七元组($N, E, W, LLR, LMR, \gamma, q$),其中

- (1) N 为所有节点的集合, n_i 表示第 i 个节点;
- (2) E 为所有边(链)的集合,其中 e_j 表示连接 n_i, n_j 两点的边;

- (3) W 为权矩阵,其中主对角线上的元素是 0,其余各项为 E 中所对应的边的权;
- (4) LLR 是标注规则,按照某种分类原则,用于对网络中的各条边加标注,该规则与具体的应用领域相关;
- (5) LMR 是链的成员隶属规则,用于确定 E 中的边是否属于 PFNET. 详见定义 4;
- (6) γ 为计算长度因子, $1 \leq \gamma \leq \infty$;
- (7) q 如前所述.

定义 4. LMR : 成员隶属规则可由下述过程给出.

- (1) 首先定义一个由所有节点构成的网络,此时,网络中不存在任何边;
- (2) 对 E 中每条边 e_{ij} 的权值 W_{ij} , 按照非降序的方法进行排序;
- (3) 对每一条边 e_{ij} , 仅当 e_{ij} 符合 q -三角规则时,即使用 γ 因子计算路径长度, e_{ij} 的权值小于或等于连接节点 n_i, n_j 所有边的数目, 小于或等于 q 的路径的长度, 则 e_{ij} 属于 $PFNET(\gamma, q)$, 否则, 不属于 $PFNET(\gamma, q)$.

根据上面的定义, 如果将网络中的节点作为一个个独立的概念或实体对象, 将节点间的边看作是概念间的联系, 边的权值表示联系的差异程度, 则根据该网络生成的 PFNET 剔除了不必要的节点联系, 保证了节点间最为密切的联系保留在 PFNET 中.

对于 PFNET, 主要存在着以下的各条定理. 定理证明省略.

定理 1. 对于给定的权矩阵 W , $PFNET(\gamma_2, q)$ 是 $PFNET(\gamma_1, q)$ 的生成子图, 当且仅当 $\gamma_1 \leq \gamma_2$.

定理 2. 对于给定的权矩阵 W , $PFNET(\gamma, q_2)$ 是 $PFNET(\gamma, q_1)$ 的生成子图, 当且仅当 $q_1 \leq q_2$.

定理 3. 对于给定节点集 N 和权矩阵 W , 若存在正比变换 T :

$$T_{jk} = b * W_{jk}, b > 0,$$

则边 e_{jk} 属于 $PFNET(\gamma, q)$ 当且仅当 e_{jk} 在 $PFNET_{T}(\gamma, q)$, 并且两者具有相同的标注(此时图为无向图).

定理 4. 对于给定节点集 N , 权矩阵 W 和单调变换 T :

$$T_{jk} = f(W_{jk}),$$

如果 $W_{ab} = W_{xy}$, 那么, $T_{ab} = T_{xy}$; 如果 $W_{ab} > W_{xy}$, 那么, $T_{ab} > T_{xy}$, 则边 e_{jk} 属于 $PFNET(\gamma, q)$ 当且仅当它也在 $PFNET_T(\gamma, q)$ 中, 并且两者具有相同的标注(此时图为无向图).

由此可见, PFNET 所表达的概念结构具有一定的稳定性.

3.2 基于节点关系链的导游图

超媒体系统中的节点、链形成了一个基本的信息网络. 根据上面对 PFNET 的介绍, 我们把这个信息网络中生成的 PFNET 作为导游图的基本表达模型. 为了生成导游图, 首先定义:

定义 5. $\omega, L_c \rightarrow R^+$, 其中 L_c 是链类的集合, R^+ 表示正的实数集, ω 表示对链类集 L_c 中的每一类链 l_c 赋予一个权值 $\omega(l_c)$.

导游图 G_1 的定义如下.

定义 6. 导游图 $G_1 = \langle N, E, W, LMR, \gamma, q \rangle$, 其中

- (1) N 是超媒体系统中节点的集合;
- (2) E 是超媒体信息网络中节点间联系的集合. 如果在系统中两个节点 n_i, n_j 之间存在着关系链, 则两个节点之间存在着联系 e_{ij} , 否则不存在联系;
- (3) W 表示超媒体系统中任何两个节点联系的差异程度的权矩阵;
- (4) LMR 隶属规则用以定义两个节点间存在的联系是否在导游图 G_1 中, 与 PFNET 中的定义相同;
- (5) γ 为计算长度因子, $1 \leq \gamma \leq \infty$;
- (6) $1 \leq q \leq (n-1)$, n 是系统中超媒体节点的数目.

对于节点间联系差异程度的权矩阵 W 中的每一项 w_{ij} , 定义公式如下:

$$W_{ij} = \begin{cases} \infty, & \text{如果 } e_{ij} \text{ 不存在;} \\ 1 / \sum_{l_c} m_i * \omega(l_c), & \text{其中 } n \text{ 表示两个节点 } n_i, n_j \text{ 间存在的链的类型数目,} \\ & m_i \text{ 表示对于节点 } n_i, n_j \text{ 存在的 } l_c \text{ 类链的数目.} \end{cases}$$

上面在对连接节点的边进行计算时, 由于不考虑节点间关系链的方向性, 因此, 最后计算得到的权矩阵 W 是一个对称矩阵, 且其对角线元素的值为 0.

利用隶属规则 LMR , 可以由超媒体信息网络生成相应的导游图 G_1 . 在导游图 G_1 中, 连接两个节点的边概括性地表达了节点间存在的各种关系, 两个节点间的联系程度可根据这两个节点间的不同关系链推导出来. 此外, 还可以在

生成过程中根据节点间联系的紧密程度和节点间的连通性,对节点进行聚类分层.根据 LMR 规则,导游图的具体生成算法过程如下:

Step1. 首先根据节点集 N , 建立一个初始化的网, 在网中仅存在着一个个的节点, 不存在任何连接节点间的边, 令 $N = N_1 \cup N_2 \cup \dots \cup N_n$, 其中 $N_1 = \{n_1\}, N_2 = \{n_2\}, \dots, N_n = \{n_n\}$, 即将各个节点作为节点子集中一个个单独的元素对待;

Step2. 将 E 中具有相同权值的所有边作为一个等价类 E_i , 然后按照各个类中边的权值大小, 以非降序的方式依次排列 E_1, E_2, \dots . 注意, 由于本图为无向图, 因此, 边 e_{ij} 和 e_{ji} 作为同一条边对待;

Step3. 首先对于等价类 E_1 中的每一条边 e_{ij} , 这些边均属于导游图 G_1 ;

Step4. 将当前相互连通的节点子集合合并为一个节点子集;

Beginning of Loop;

Step5. 对于其他边的等价类, 按照非降序依次进行下面的操作;

Step6. 如果当前仅存在着一个节点子集, 且节点子集中已经包括了所有的节点, 或者所有的等价类已经检查完毕, 则对其他所有尚未进入到导游图 G_1 中的每一条边作为导游图中的候选进行 Step8 的检查;

Step7. 对当前的等价类 E_i 中的每一条边 e_{ij} , 如果该边使两个原本互不连通的节点子集 N_i, N_j 相互连接, 则将该边加入到导游图 G_1 中, 并将两个节点子集 N_i, N_j 合并为一个节点子集. 对当前等价类中所有的边检查完毕后, 转入 Step4;

End of Loop;

Step8. 分别计算 W^* 和 D^* , 它们分别通过如下公式运算

$$W_{ij}^{*1} = \text{MIN}((W_{jm})^\gamma + (W_{mi})^\gamma)^{1/\gamma} \quad \text{for } 1 \leq m \leq n;$$

$$D_{jk}^* = \text{MIN}(W_{jk}^*, W_{jk}^*, \dots, W_{jk}^*) \quad \text{for } j \neq k, \text{ 其中 } W_{jk}^* = W_{jk}.$$

Step9. 对于每一条候选的边 e_{ij} , 若 W_{ij} (来自于 W^* 中的相应项) $= D_{jk}^*$ (来自于 D^* 中的相应项), 则该边属于导游图 G_1 .

算法过程中生成的各个节点子集 N_i, N_j, \dots 分别是 PFNET 中的连通子图, 一个节点子集中所有的元素可以作为一个等价类看待. 随着算法的进行, 不同子集的合并, 到第 8 步为止则可以实现对所有节点的聚类分层.

在上述算法中, γ 和 q 的值可以根据具体情况而定, 如为了便于运算, γ 可以取值为 1, 这时一条路径的长度等于沿途经历的每条边的权值的和, 仅需要简单的加法运算. 但是由 Step8 中可以看出, 在鉴别其他边时, 该算法需要进行大量的矩阵运算, 随着节点数量的增多, 会增加系统的负荷; 当 γ 取值无穷大时, q 取值为 $n-1$, 由定理 1、2 可以看出, 此时生成的导游图最为严格, 并且在上面的算法过程中, 当执行到循环结束时就已经得出此时导游图中所有的边而不再需要矩阵运算, 因而大大减轻了系统的负担. 这类导游图在超媒体信息网络中节点数据较多时比较适用.

由于导游图 G_1 对两个节点间的所有关系链进行了合并加工, 并且仅对关系紧密的节点联系进行表达, 剔除了不必要的节点联系, 使得导游图简明易用, 可以避免不必要的节点访问, 能够真正对用户浏览信息时提供辅导. 通过对一个节点在导游图中相关节点的访问, 便于用户对于一个节点内容的深入理解; 通过对节点的聚类分层, 反映出节点间在概念上可能存在的层次关系, 将一个节点子集在屏幕中用一个节点来代表, 通过放大, 可以用来解决在实现过程中导游图窗口空间有限的问题, 便于用户自上而下地进行信息浏览; 另外, 采用导游图 G_1 从一个初始节点出发, 可以帮助用户沿着一条最短路径尽快查询到自己需要了解的信息, 提高了超媒体信息检索的效率.

用户进行浏览时, 在结合其他导游机制的同时, 可将上面生成的导游图以及节点的具体内容同时呈现给用户, 导游图显示时, 节点间关系的紧密程度应当得以反映, 如采用不同深浅颜色进行表示. 这样, 一方面用户可以根据导游图 G_1 进行信息浏览; 另一方面则可以根据节点的内容, 采用最基本的循链方式选择具体的关系链进行浏览, 弥补了上面导游图 G_1 中节点间的联系在具体的语义表达内容上不足的问题.

3.3 基于节点关系链的导游图

当超媒体信息库建立完成以后, 在信息浏览使用过程中, 对于同一类用户, 由于他们在自身习惯和应用范畴上基本相同, 因此在这些用户熟悉了系统的使用之后, 在访问节点的频率上以及访问节点的顺序上都有规律可循. 若能够将这种规律发掘出来, 针对不同类的用户构建相应的导游图, 无疑可以对后来的相同类的用户提供指导, 尤其对那些对超媒体信息库比较生疏的用户, 可以帮助他们较快地掌握所需要查询的信息.

这类导游图与前述的导游线路功用有所相似, 但导游线路是线性的, 并且往往是由有经验的用户或系统开发者定义产生的. 而基于用户访问的导游图, 则是通过系统对相应类中的用户进行信息浏览的历史进行统计分析, 以 PFNET 作为基本的表达模型自动生成的.

针对某一类用户访问使用的导游图 G_2 的定义如下:

定义 7. 导游图 $G_2 = \langle N, L, W, LMR, \gamma, q \rangle$, 其中

(1) N 是节点集合. N 中的节点是统计该类用户对节点的访问频率后得到的, 用户通常需要访问的那些信息

节点;

(2) E 是 N 中的节点之间形成的联系边的集合. 如果节点 n_i 与 n_j 存在着边 e_{ij} , 则意味着用户在访问完节点 n_i 后, 紧接着对节点 n_j 进行了访问;

(3) W 表示网络中任何两个节点联系的差异程度的权矩阵, 借助于前述导游机制中所述的历史记录的方法, 对同一组各个用户在使用该超媒体系统过程中访问节点的顺序进行记录, 通过统计可以得出 W . W 中的每一项 W_{ij} 的具体计算公式如下:

$$W_{ij} = \begin{cases} 1/\text{incident}(n_i, n_j) & \text{incident}(n_i, n_j) \text{ 表示同一组的用户在对信息库访问过程中, 节点 } n_i \text{ 与 } n_j \text{ 相邻, 且先访问节点 } n_i \\ & \text{然后访问节点 } n_j, \text{ 这种情况发生的统计数目;} \\ \infty & \text{当节点 } n_i \text{ 与 } n_j \text{ 不存在相邻访问时, 即 } e_{ij} \text{ 不存在.} \end{cases}$$

由于用户在访问节点时存在着访问次序的问题, 所以统计得出的 W 为非称矩阵;

(4) LMR 隶属规则用以定义两个节点间存在的联系是否在导游图 G_2 中, 与 PFNET 中的定义相同;

(5) γ 为计算长度因子, $1 \leq \gamma \leq \infty$;

(6) $1 \leq q \leq (n-1)$, n 是上述节点集合 N 中的节点数目.

由于权矩阵 W 为非对称矩阵, 所以, 基于用户访问的导游图生成算法与前面根据节点链的导游图的生成算法稍有不同, 对所有网中的每一条边均需要直接从 Step8 开始执行, 以验证它是否属于生成的导游图, 因此计算量较大.

根据上面的定义, 对于不同类型的用户, 可以生成不同的导游图. 由于这些导游图的生成均是通过追踪同类熟练用户的使用过程, 由计算机辅助自动生成的, 因此产生的导游图具有一定的客观性, 从一定程度上对传统的导游线路方式作出了改进. 结合其他导游机制以及最基本的循链方式的信息浏览, 在对导游图 G_2 的使用过程中, 可以将用户访问频率最大的节点作为整个导游图的主节点, 以便用户在访问过程中随时返回该节点, 解决了“迷路问题”.

4 小 结

本文借鉴了 PFNET 的研究成果, 生成两类导游图, 并将其应用于我们所研制的超媒体应用平台中, 提高了现有超媒体系统中的导游机制. 第 1 类导游图是对节点之间联系的加工反映, 并对节点进行聚类分层; 第 2 类导游图是对同类用户行为的统计和模仿, 通过这两种导游图, 可以对用户浏览信息起到真正的导航作用. 在第 1 类导游图的生成过程中, 我们令 γ 取值无穷大, q 取值为 $n-1$, 从而可以避免大量的矩阵运算, 但对于后一类导游图则往往需要大量的矩阵运算, 因此, 当节点数目较小时, 生成导游图是容易的, 但若节点数目很多, 每次生成导游图都将会带来大量的计算, 降低系统的效率; 另一方面, 由于屏幕空间的局限, 也会限制导游图功能的发挥, 这些问题都需要进一步地探讨.

参 考 文 献

- 1 Conklin J. Hypertext: an introduction and survey. Computer, 1988, 20(9): 17~41
- 2 Hall PAV, Papasogoulos S. Hypertext systems and application. Information and Software Technology, 1990, 32(7): 447~490
- 3 Jakob N. Hypertext and Hypermedia. Boston: Academic Press, 1990
- 4 Jakob N. The art of navigating through hypertext. Communication of the ACM, 1990, 30(3): 298~331
- 5 Cockburn Andy. Which way now——analyzing and easing inadequacies in WWW navigation. International Journal of Human-Computer Studies, 1996, 45(1): 105~129
- 6 Roger W Schvaneveldt. Pathfinder Associative Networks Studies in Knowledge Organization. Norwood: ALEX Publishing Corporation, 1989

Enhancing the Navigation Function in Hypermedia Systems

HUANG Bo HE Zhi-jun

(State Key Laboratory of CAD & CG Zhejiang University Hangzhou 310027)

(Institute of Artificial Intelligence Zhejiang University Hangzhou 310027)

Abstract Some navigation mechanism are introduced and analyzed. Based on PFNET (pathfinder net) which is a network model, according to nodes and links and users' custom, two types of navigation graph are presented to help the users browse information and solve the lost problem in hypermedia systems.

Key words Hypermedia, PFNET (pathfinder net), navigation mechanism, navigation graph, lost problem.