

基于图文法制导的 ER 图自动绘制技术^①

赵凤芝, 侯柏苓, 文必龙

(东北石油大学 计算机与信息技术学院, 大庆 163318)

摘要: 逻辑模型可视化对于软件开发和技术研究具有重要的意义. 提出了一种基于图文法制导 ER 图自动绘制技术, 并对图语法进行扩展命名为 ER 图语法, 它克服了在原有建模工具中绘制 ER 图图幅数量有限和不易更改的缺点, 并从语义上对实体关系及 ER 图绘制规则进行描述, 提出 ER 图自动布局和布线算法, 实现 ER 图的自动绘制.

关键词: ER 图自动绘制; 图文法制导; 自动布局; 自动布线; 规则

ER-Diagram Automatic Drawing Technology Based on GraphGrammars-Directed

ZHAO Feng-Zhi, HOU Bai-Ling, WEN Bi-Long

(School of Computer and Information Technology, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

Abstract: To software development and technology research, logical model visualization has an important significance. This paper puts forward an ER-diagram automatic drawing technology based on graph grammar-directed, and expands graph grammar named ER graph grammar. It overcomes the shortcoming of limited map number for drawing ER-diagram and difficult changing in original modeling tools, and describes relationship of entities and drawing rules of ER-diagram on the semantic. ER-diagram automatic placement and automatic wiring are presented, and ER-diagram automatic drawing is realized.

Key words: ER-diagram automatic drawing; graph grammars-directed; automatic placement; automatic wiring; rules

在数据模型的基础上进行软件开发和相关技术研究必须要了解数据模型中实体的定义及实体之间的关系. 目前可以通过查阅数据模型的元数据、数据字典和 ER 图等手段了解实体的相关信息, 其中 ER 图因为具有直观性而广受欢迎. 绘制 ER 图工具可分为两大类: 自由编辑型和语法制导型^[1]. 自由编辑型的建模工具主要面向数据建模人员, 用于辅助建模人员进行数据模型设计, 提供自由编辑 ER 图的功能, 模型设计完成后发布的 ER 图, 最终用户一般不允许对 ER 图进行修改. 语法制导的可视化建模工具在编辑过程中, 根据已经建立的数据模型中实体之间的关系引导用户建立语法正确的可视化模型, 在图形布局方面的功能较弱, 主要依靠建模人员手工进行布局, 绘制过程会非常繁琐.

在实际 ER 图的应用过程中, 用户需要从不同视角理解数据模型, 根据需求选择与某一主题相关的实

体来构成 ER 图. 本文提出了一种基于图语法^[2-4]制导的 ER 图自动绘制技术, 通过对图语法进行改进, 满足自动绘制 ER 图的需求:

(1) 在图语法中虽然定义了初始图, 但没有对初始图进行具体描述, 本文对初始图进行了扩展, 并根据绘制 ER 图的需要增加了中心实体的定义;

(2) 图语法中产生式注重图转换的推导, 适用于各种图形绘制, 但对于绘制 ER 图, 它缺少对实体之间关系的描述, 本文对产生式进行了扩展, 增加了实体关系规则;

(3) 图语法可以通过产生式制导图形的生成, 但无法实现图形的自动布局, 因此本文增加了 ER 图绘制规则以解决这个问题.

本文将在以下几个小节对扩展后的图语法进行详细叙述.

^① 基金项目: 国家科技重大专项(2008ZX05023-05-05)

收稿时间: 2012-05-20; 收到修改稿时间: 2012-06-23

1 ER图文法的描述

1.1 ER图文法的定义

为了本文的整体完整性, 首先介绍一下图文法的相关知识.

一个图文法 gg 是一个三元组 $\{A, P, E\}^{[2]}$, 其中 A 是图文法的初始图, 是图转换的起点; P 是一组产生式, 通过产生式能够制导图形的生成; E 是图文法嵌入规则, 其中嵌入问题是指当图的一部分被替换时, 替换的部分如何嵌入到余图中, 嵌入规则能够解决嵌入问题. 针对 ER 图自动绘制, 对图文法进行了扩展并命名为 ER 图文法.

ER 图文法的定义为:

$$ERDG = \{ S, C, A_E, R_P, D_P, E \},$$

其中 S 是初始图, 针对 ER 图文法, 初始图可能是单个实体, 也可能是多个实体的集合, 它是自动绘制 ER 图的起点, 所有的图都是通过初始图进行转化得到的;

C 是中心实体, ER 图的布局以中心实体为核心, 其它图形围绕中心实体进行绘制, 因此绘图以中心实体作为基准, 它在 ER 图绘制规则 D_P 中起到主导作用;

A_E 是所要绘制的 ER 模型中全部实体的集合, 简称 ER 实体集;

R_P 是实体关系规则. 在逻辑模型中, 实体之间存在关联关系与继承关系, 实体间关系通过实体属性确定;

D_P 是 ER 图绘制规则, 它规定了 ER 图的绘制方式;

E 是嵌入规则, 在 ER 图绘制过程中会加入新的实体或者更新原有实体, 由于本文只考虑了在实体关系规则的基础上绘制 ER 图, 没有涉及到复杂的图柄替换问题, 所以用无限制型的嵌入规则即可.

1.2 ER图文法的初始图与中心实体

在图文法中, 初始图是图转换的起点, 但并没有对初始图进行详细的描述, 因此在 ER 图文法中增加了初始图的说明.

绘制 ER 图时, 根据用户需求, 初始图 S 有两种情况, 分别描述为:

(1) $S = \{a, a \in A_E\}$, a 表示实体集 A_E 的一个实体;

(2) $S = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, 其中 $a_i \in A_E, i=1, \dots, n$.

(1) 表示初始图只有一个实体, 它可以是 ER 实体集中任意一个实体; (2) 表示初始图是一组实体的集合, 这组实体可以由用户自行选择, 也可以根据某一主题获得, 例如若数据元与逻辑模型建立了映射关系, 就可以得到与数据元相关的实体并画出 ER 图.

在 ER 图文法中, 定义中心实体的目的在于辅助 ER 图的绘制, 首先确定中心实体, 再围绕中心实体绘制其它的实体. 当初始图是单个实体时, 规定该实体为中心实体, 此时的中心实体是由用户选择而得到了; 初始图是多个实体的集合时, 需要判定一个实体作为中心实体.

在说明判定方法之前, 先介绍实体间的关联关系及继承关系. 在 ER 模型中, 实体间的关联关系也叫做引用关系是通过属性相互关联的, 我们定义:

关联关系: $\forall A, B \in A_E, \exists X$ 使得 $A \xrightarrow{X} B$, 则称实体 A 通过 X 引用实体 B , 其中 X 是实体 A 的属性;

继承关系: $\forall A, B \in A_E, \text{有 } A \xrightarrow{p} B$, 则称实体 A 继承实体 B , 即 B 是 A 的父类实体, 其中 p 仅仅是表示继承关系的符号, 没有实际意义.

通过上述定义, 描述判定方法如下:

(1) 用符号的形式列出初始图中每个实体的关联关系与继承关系;

(2) 计算每个实体的度 $D(E)$, E 表示实体名, 实体的度是指在 ER 图中与当前实体相连的实体的个数, 例如一个实体与 n 个实体相连, 那么这个实体的度就是 n , 在绘制 ER 图之前, 实体的度可以通过列出的关联关系与继承关系得到;

(3) 比较初始图中每个实体的度数大小, 将实体的最大度数记为 $D_{\max}(E)$, 若存在一个实体的度数最大, 则将它作为中心实体, 判定结束, 若度数最大的实体有多个, 转到(4);

(4) 对于度数为 $D_{\max}(E)$ 的实体, 在列出关联关系与继承关系的基础上继续对相关实进行延伸, 即列出相关实体的关联关系与继承关系, 直到不能延伸为止, 例如存在如下的关系(这里省略了属性):

$$A \rightarrow B, A \rightarrow D, C \rightarrow A, E \rightarrow C, F \rightarrow C, G \rightarrow E$$

实体 A 与 C 的度数最大都为 3, 对 A, C 相关实体关系进行延伸, 得出:

$$G \rightarrow E \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow B$$

$$F \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow B$$

$$G \rightarrow E \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow D$$

$$F \rightarrow C \rightarrow A \rightarrow D$$

在以上关系中以第一个为例, 称为实体 G 到实体 B 的一条路径, 路径长度定义为一条路径中包含的箭头个数, 由此可知实体 G 到 B 的路径长度为 4. 实体 G 称为当前路径的左侧终端实体, 实体 B 称为当前路径的右侧终端实体.

通过上述定义, 首先选择路径长度最长的路径, 分别计算出度数为 $D_{\max}(E)$ 的实体在每条路径中到左侧终端实体与右侧终端实体的路径长度, 记为 $LD(E)$ 和 $RD(E)$, 计算 $|LD(E)-RD(E)|$, $|LD(E)-RD(E)|$ 越小表示实体越靠近当前路径的中心位置, 选择该值最小的实体作为中心实体, 如果存在 $|LD(E)-RD(E)|$ 最小的实体有多个, 则任选其中一个实体作为中心实体即可。

对于(4)中给出的关系, 路径最长的路径有两条, 分别计算实体 A 与 C 在这两条路径中的 $|LD(E)-RD(E)|$, 通过计算选择实体 C 作为中心实体。

1.3 实体关系规则

实体之间存在关联关系与继承关系, 定义已经在上一小节进行了介绍, 在这两个定义的基础上描述实体关系规则如下:

(1) $\forall A, B, C, \dots \in A_E$, 若 $\exists A \xrightarrow{X} B$, $A \xrightarrow{Y} C, \dots$, 则 $R_p = \{X(A, B), Y(A, C), \dots, AT(X), AT(Y), \dots, EN(A), EN(B), EN(C), \dots\}$ [5];

(2) $\forall A \in A_E$, 若 $\exists A \xrightarrow{X} A$, 则 $R_p = \{X(A, A), AT(X)\}$;

(3) $\forall A \in A_E$, 若 $\exists B \in A_E$ 且 $A \xrightarrow{p} B$, 则 $R_p = \{p(A, B)\}$ 。

实体关系规则 R_p 用集合形式表示, 在 R_p 中, $X(A, B)$ 表示实体 A, B 通过属性 X 进行关联, 指向关系是由 A 到 B , $p(A, B)$ 表示实体 A, B 存在继承关系, B 是 A 的父类实体, AT 为属性的标识, $AT(X)$ 表示 X 为属性, EN 为实体的标识, $EN(A)$ 表示 A 为实体。(1)中描述了实体对其它非自身实体的引用, (2)中描述了一个实体对自己的引用, (3)中描述了实体的继承关系。在 ER 图绘制过程中, 以上三种情况有时会同时出现。下面举例说明。

若 $R_p = \{X(A, B), Y(A, C), Z(D, A), W(B, E), p(A, F), AT(X), AT(Y), AT(Z), AT(W), EN(A), EN(B), EN(C), EN(D), EN(E), EN(F)\}$, 由 R_p 可知各个实体的相互关系, 画出相应 ER 图如图 1 所示:

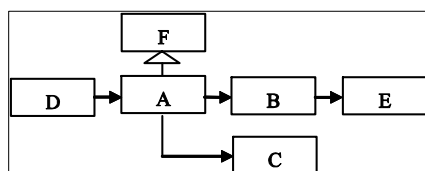


图 1 RP 规则下的 ER 图

上图仅是为了理解实体关系规则而绘制的简易

ER 图。根据 R_p 中所定义的形式就可以判断出实体之间的关系, 然后根据 ER 图绘制规则进行 ER 图的自动绘制。

1.4 ER 图绘制规则

在 ER 图中用矩形表示实体, 实心箭头表示实体之间的关联关系, 空心三角箭头表示实体间的继承关系。根据实体关系规则:

当 $R_p = \{X(A, B), Y(A, C), \dots, AT(X), AT(Y), \dots, EN(A), EN(B), EN(C), \dots\}$ 时, 可知 A, B, C 为实体, X, Y 为属性, 先将实体绘制在图版中, 箭头方向由实体 A 指向 B 和 C ;

当 $R_p = \{X(A, A), AT(X)\}$ 时, 箭头方向由实体 A 指向自己;

当 $R_p = \{p(A, B)\}$ 时, 用空心箭头由实体 A 指向 B 。

根据 ER 图文法中的初始图和中心实体判定规则确定中心实体 C 后, 以 C 为基准, 将实体关系规则中属于(1)情况的实体绘制在 C 的两侧, 并规定箭头指向要一致, (2)情况直接连接自身实体, (3)情况的实体绘制在 C 的上侧。

ER 图绘制规则给出了实体间的连接方式, 而本文的重点在于 ER 图的自动绘制, 需要对 ER 图进行自动布局和布线, 因此下文将给出 ER 图自动布局和布线算法。

2 ER 图自动布局和布线算法

ER 图文法可以通过初始图和一系列规则生成用户所需要的 ER 图。即使用户对相关知识不太了解也可以完成 ER 图的绘制, 而且绘制出的 ER 图都是合法的。在基于图文法生成的可视化编辑环境中, 编辑动作不再是各种基本元素的增删改, 而是具有语法约束的图文法规则, 这样的模式被称为语法制导的编辑 (syntax-directed editing)^[4]。语法制导机制可通过 ER 图文法规则来描述更丰富的语义, 并能够直接反映到可视化环境中, 可以实现 ER 图的自动绘制。这样就需要设计出一种方法来实现 ER 图的自动布局。因此本文提出了 ER 图自动布局和布线算法。

2.1 ER 图自动布局算法

根据 ER 图绘制规则, 已经能够确定与其有关联关系和继承关系实体的分布位置, 由于除了父类实体, 其它实体与中心实体并没有明显的层次关系, 因此不必为每个实体规定固定的位置, 这为自动布局算法提

供了有利条件.

ER 图自动布局思想如下: 将绘图区域按照矩阵形式划分, 根据正向引用实体集合 P_E 和逆向引用实体集合 I_E 确定当前要绘制的实体与中心实体 C 的关系; 以 C 为基准, 寻找一块空地, 从 C 的位置开始, 往右下或左下方向矩阵块中寻找, 矩阵大小由当前指向或引自 C 的实体个数决定, 矩阵排列按“列: 行=scale”进行计算, scale 的值可以事先指定; 若矩阵中没有空位, 则沿 C 右边或左边往下一直寻找到空块为止; 若在绘制完成的 ER 图基础上继续添加实体, 不以 C 为基准, 直接从左上角开始往下寻找即可.

算法 1: ER 图自动布局算法

```

layout_ER(object C,object E){
    scale=a //指定 scale 值, 该值可根据具体情况指定
    count=judgeRelationship(C,E) //判断新增实体 E 与
    中心实体 C 的关系, 对 count 赋值为当前中心实体的正
    向引用实体个数或逆向引用实体个数
    matrix_lineCount=calculate(scale,count)
    //根据 scale 和 count 设置矩阵的行数
    matrix_columnCount=scale*matrix_lineCount // 按
    照“列: 行=scale”的原则设置矩阵的列数
    for(int i=0;i< matrix.count;i++){
        if(search_matrix()){ //在矩阵范围内寻找空块
            set_location(E) //设置新增实体 E 的位置
            break }
        if(matrix.count>=maxCount)
            search_downwardSpace()
        //若矩阵中没有空块, 则向下寻找
    }
}
    
```

2.2 ER 图自动布线算法

通过 ER 图自动布局算法完成实体的布局, 然后根据实体的关联关系布线. 实体与实体间要留有空隙, 分别称为水平通道和垂直通道, 这些通道用来布线.

布线要遵循以下原则:

- (1) 连线只能走水平和垂直通道, 不能跨越实体;
- (2) 折线要走直角, 拐点要尽量少;
- (3) 布线要尽量美观, 而不一定要求布线最短;
- (4) 在同一通道的连线可以共用一条.

ER 图自动布线算法描述如下:

(1) 设 $FT=\{E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6, E_P\}$ 为 ER 图中表示实体的矩形的引脚, 每个矩形的引脚有 7 个, 其中

E_P 为与超类实体连接的引脚, 只有中心实体有超类引脚, 以中心实体为例, 引脚分布如图 2;

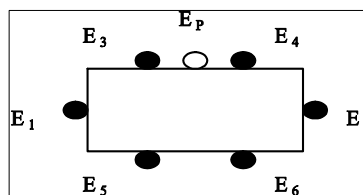


图 2 矩形引脚分布

(2) 以实体 A 和 B 为例, 以实体 A 为中心实体说明判断方法. 设 X, Y 分别为实体在绘制区域中的横坐标与纵坐标, $path_width$ 为实体之间相隔列的最小距离, $path_height$ 为实体之间相隔行的最小距离, U, D, L, R 分别表示实体的上、下、左、右通道, 考察实体 A 与 B 的位置:

当 $Y_A=Y_B$ 时, 表示实体 A 与实体 B 位于同一行:

若 $|X_A-X_B|=path_width$, 连线绘制在实体 A 的 L_A 与 R_A 通道, 比较实体 A 和 B 的 X 坐标, 根据判定情况连接实体 A 和 B 的 E_1, E_2 引脚;

若 $|X_A-X_B|>path_width$, 连接线绘制在实体 A 的 U_A 通道, 比较实体 A 和 B 的 X 坐标, 根据判定情况连接实体 A 和 B 的 E_3, E_4 引脚;

当 $Y_A \neq Y_B$ 时, 表示实体 A 与实体 B 不在同行:

若 $|X_A-X_B|=path_width$, 即实体 A 与 B 位于相邻列, 此时连线绘制在实体 A 的 L_A 与 R_A 通道, 连接 A 和 B 的 E_1, E_2 引脚;

若 $|X_A-X_B|>path_width$, 转到(3);

(3) 若 $X_A > X_B$, 则连线绘制在 U_B 和 L_A 通道上, 计算 A 与 B 的水平距离与垂直距离, 求出连线的拐点坐标, U_B 通道上的拐点坐标位于 $|Y_B-1/2*path_height|$ 的水平线上, L_A 通道上的拐点坐标位于 $|X_A-1/2*path_width|$ 的垂直线上, 用线连接 A 的 E_5 引脚、 B 的 E_3 或 E_4 引脚以及拐点, 需满足布线规则; 若 $X_A < X_B$, 则连线绘制在 U_B 和 R_A 通道上, 此时 R_A 通道上的拐点坐标位于 $|X_A+1/2*path_width|$ 的垂直线上, 用线连接 A 的 E_6 引脚、 B 的 E_3 或 E_4 引脚以及拐点, 需满足布线规则;

(4) 若在绘制好的 ER 图基础上继续添加实体, 则布线方式重复(1)-(3)步.

各通道情况如图 3 所示.

绘制出的 ER 图允许用户直接对图形直接操作, 例如拖拽删除等. 对实体进行拖拽后, 记录实体新位

置坐标,相应实体的连线需重新绘制,布线方法与上述相同。

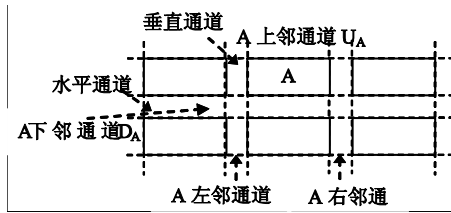


图 3 通道示意图

算法 2: ER 图自动布线算法

```
layout_line(object fromEntity,object toEntity){
```

```
judge(fromEntity,toEntity)//判断两个实体的位置
```

关系

```
getPath_vertical()&&getPath_level()//获取垂直和  
水平通道
```

```
calculateLocation(pointX,pointY)//计算拐点坐标
```

```
connect(fromEntity,toEntity)//连接两个实体,要保  
证拐点处为直角,可以加以美化
```

```
}
```

3 结语

本文提出了一种基于图文法制导的 ER 图自动绘制技术,与传统的可视化编辑环境相比,它具有以下特点:

(1) 按照人们阅读实体的过程绘制 ER 图,边阅读边绘制,用可视化的方式记录了实体阅读过程,避免了来回导航带来的困扰;

(2) 允许阅读 ER 图时,同时关联到超文本数据字典中;

(3) 可同时选择多个关联的实体加入到 ER 图,并自动连接实体之间的连接线;

(4) 用户得到需要的 ER 图后,可以直接对图形操作,导航到其它实体作为 ER 图的中心实体;

(5) ER 图的绘制过程是自动的,用户只需选择实体,不用考虑布局的问题就可以直接显示相应的 ER 图。

基于图文法制导的 ER 图自动绘制技术已经进行了实际应用.今后的工作主要考虑以下几个方面:一方面,要对现有的技术做更加深入的研究,包括对图形的描述方式,实体关系可视化的表达,以及对图形显示的美化;另一方面,如果初始图中实体数量繁多,当前判断中心实体的方式相对简单,需要做进一步的研究;本文 ER 图是在实体关系规则的基础上绘制的,实体的增加与更新都会对相应的实体关系规则进行修改,若要直接在 ER 图的基础上对实体进行操作,还要对 ER 图文法中的嵌入规则做更加详尽的描述;最后,要进一步考虑扩大该技术的应用范围,不仅仅局限于绘制模型图,还要达到通用的目标。

参考文献

- 姜可,张莉.一个可配置的可视化建模工具.计算机数字工程,2006,34(12):108-111.
- 韩秀清,曾晓勤,邹阳,等.图文法综述.计算机科学,2008,35(8):10-16.
- 许红霞,张莉.可视化语言文法形式化描述综述.计算机科学,2005,32(4):201-204.
- 邢阳,谢德平,马晓星,等.一种图文法制导的软件体系结构开发环境 Artemis-GADE.计算机研究与发展,2010,47(7):1165-1174.
- Le Metayer D. Describing Software Architecture Styles Using Graph Grammars. IEEE Transaction on Software Engineering, 1998,24(7):521-533.

(上接第 136 页)

logy. Computer Science-Technology and Applications, 2009. IFCSTA'09. International Forum. 2009,2: 29-33.

11 Xiang G, Li Z. Research and Design of Smart Home System Based on Zigbee Technology. Artificial Intelligence and Computational Intelligence (AICI), 2010 International Conference on. Volume: 2.290-293.

12 Kang MS, Ke YL, Li JS. Implementation of smart loading

monitoring and control system with ZigBee wireless network. Industrial Electronics and Applications (ICIEA), 2011 6th IEEE Conference. 2011. 907-912.

13 Gezer C, Buratti C. A ZigBee Smart Energy Implementation for Energy Efficient Buildings. Vehicular Technology Conference (VTC Spring), 2011 IEEE 73rd. 2011.1-5.

14 ZigBee Alliance. ZigBee Specification. version 1.1, 2006, 11.