Graph Database Specification

# 1. 开发目的

1). 设计出可以供桌面应用开发使用的轻量级数据库；

2). 在设计过程中完善图数据库理论和实践经验；

3). 拓展图数据库的应用领域。

# 2. 项目划分

## 2.1 内核开发

目标：参照Neo4j数据库的基本架构，利用C#平台实现图数据库。

功能（任务）列表：

1、图为节点和连边的宿主元素，承担主调任务，节点类和连边类提供底层辅助功能；

2、数据库手工建立：

1）、图的建立与成员初始化；

2）、节点的插入、删除，与属性的插入、删除和修改；

3）、连边的插入、删除，与取值修改；

3、数据批量导入：

1）、XML文件的读取；

2）、XML文件的保存；

产出：最后完成一个可以存储数据的图数据库类库，能够实现数据逐条或批量的增、删、改操作。

## 2.2 可应用最小系统

目标：在前一阶段基础上，实现图数据库的查找功能，设计高效的查找引擎。

功能（任务）列表：

1、分析Neo4j查询语言的基本语法，并分解查找工作流程；

2、在GraphDB中实现查找算法；

3、能够通过类似Neo4j的语言（简化后）对图数据库进行查找。

产出：在类库中增加查找功能接口。

## 2.3 数据库管理系统

目标：在之前完成的数据库类库的基础上，实现一个数据库管理系统，提供可视化的操作界面。

功能（任务）列表：

1、单一操作，能够建立数据库，并逐条插入、修改和删除数据；

2、批量操作，对已建立的数据库，实现批量插入、修改和删除操作；

3、提供文字化的查询功能，并通过文字或列表返回查询结果；

4、实现可视化效果，图数据库的结构显示和图形化查询功能。

产出：一个可运行软件，可以图形化或文字化地对图数据库进行逐条或批量数据的增删改查操作。

# 3. 模块设计

## 3.1 内核结构

内核结构说明，如图3.1所示：

1、图包含一个节点列表和一个连边列表；

2、节点包含一个名称，一个类型和若干个（0-n）个属性三个主体部分，另外包含一个出边列表和一个入边列表。

3、连边包含一个类型、一个取值构成的主体部分、一个起始节点指针和一个终止节点指针。

4、节点的属性列表是由若干个key和value的键值对组成，可以由用户自主添加。

5、节点入边和出边列表中内容是对应边的指针数组或引用数组。

6、连边的起始和终止节点指针式对应节点的指针或引用。



图3.1 内核元素结构示意图

## 3.2 数据库创建与维护

### 3.2.1 数据库创建与数据插入

数据库创建流程说明：

1、主调函数调用Database类提供的操作接口CreateDatabase（）创建数据库对象；

2、Database类调用Graph类的构造函数，创建一个图对象；

3、创建成功则返回数据库对象给调用者，否则返回错误原因。

数据节点插入流程：

1、主调函数调用Database类接口AddNodeData()；

2、Database类调用Graph类接口AddNode()；

3、Graph类调用Node构造函数创建一个新数据节点；

4、将Node对象加入Graoh中节点列表，并逐层返回OK；否则逐层返回失败原因。

关系连边插入流程：

1、主调函数调用Database类接口AddEdgeData()；

2、Database类调用Graph类接口AddEdge()；

3、Graph类调用Edge构造函数创建一个新数据节点，创建成功则返回该Edge对象；

4、Graph类调用起始节点Node对象的AddEdge函数和终止节点Node对象的RegisterInbound函数完成连边在节点间的注册；

5、将Edge对象加入Graoh中连边列表，并逐层返回OK；否则逐层返回失败原因。



图3.2 数据库创建、数据插入、关系插入操作序列图

### 3.2.2 节点和连边内部数据修改



图3.2节点和连边内部信息修改操作序列图

如图3.2所示，节点和连边的内部数据相互独立，不存在依赖关系，所以依次调用接口函数进行修改即可，详细流程在此不做赘述。

*注意：数据修改是指修改节点和连边内部的附加信息，但节点内部的核心信息不能改动。如果需要修改节点和连边的和信息，则需要对节点或连边进行删除，随后重新创建后加入。*

### 3.2.3 节点和连边的删除

关系连边删除流程，如图3.3：

1、主调函数传入待删除连边起始节点和终止节点的名称、类型以及连边类型数据；

2、Graph类首先查找连边的起始节点和终止节点，以及节点之间的同类型边；

3、随后从起始节点的outbound列表和终止节点的inbound列表中分别注销目标连边；

4、最后从Graph类的EdgeList中将目标连边移除，完成后返回OK；否则返回失败原因。



图3.3连边删除操作序列图

数据节点删除流程，如图3.4：

1、主调函数传入待删除节点的名称、类型；

2、Graph类在节点列表中查找匹配的节点；

3、Graph类调用目标节点的成员函数ClearEdge，清除该节点有关的所有连边；

4、节点内部将inbound中所有连边从其起始节点的outbound中注销，将outbound中所有连边从其目标节点的inbound中注销，并将这些连边都加入待清除列表，返回给Graph类。

5、Graph类从EdgeList中删除列表所有记录下来的连边，从NodeList中删除目标节点；

6、Graph类删除完成后返回OK；否则返回出错原因。



图3.4节点删除操作序列图

## 3.3 文件读取与存储

### 3.3.1读取XML文件

XML数据导入流程，如图3.5所示：

1、主调函数调用InitData接口启动导入流程；

2、DataBase对象清除内部数据，并创建新的Graph对象；

3、Graph对象从文件中取出xml数据并调用Node构造函数，生成节点加入NodeList；

4、Graph对象从文件中取出xml数据并调用Edge构造函数；

5、对于每条连边，Graph根据文件中编号找到其起始和终止节点；

6、将起始节点和终止节点地址写入连边内部的两个指针，最后在两个节点中注册该条边；

7、将当前边加入EdgeList，并继续，直到完成所有节点和连边的生成。



图3.5 读取XML文件导入数据序列图

### 3.3.2 输出XML文件

数据导出到XML文件流程，如图3.6所示：

1、由上层主调函数提供待导出文件路径；

2、Database调用Graph的ToXML函数构造XML文档；

3、Graph类调用AdjustNodeIndex重新给节点依次赋予编号（之前如果有删除操作，会导致原有编号之间存在空值）；

4、Graph类分别遍历节点列表和连边列表，并调用各个节点和连边的成员函数ToXML生成各自的XML节点；

5、Graph类根据顺序将返回的XML节点组织成XML文档，并返回DataBase；

6、Database类将XML文档保存到指定路径，并返回OK；否则返回出错原因。



图3.6 保存数据到XML文件序列图

## 3.3 数据查询

### 3.3.1 查询语言解析器

The query language is comprised of several distinct clauses.

* START: Starting points in the graph, obtained via index lookups or by element IDs.
* MATCH: The graph pattern to match, bound to the starting points in START.
* WHERE: Filtering criteria.
* RETURN: What to return.
* CREATE: Creates nodes and relationships.
* DELETE: Removes nodes, relationships and properties.
* SET: Set values to properties.
* FOREACH: Performs updating actions once per element in a list.
* WITH: Divides a query into multiple, distinct parts.

其中查询相关的是START,MATCH, WHERE,RETURN

新建相关的是CREATE, SET

删除相关的是 START, MATCH, WHERE, DELETE

修改相关的是START, MATCH, WHERE, SET, FOREACH

目前增删改操作都通过代码直接完成，只将查询相关谓词加入支持的关键词列表。即 START, MATCH, WHERE, RETURN。

整个查询流程借鉴Neo4j的Cypher查询语言，使用START, MATCH, WHERE, RETURN四个谓词组织语句，执行查询操作。

START负责设置搜索起点，通过Index和Name+Type两种方法定位到目标节点。取值可以为\*，即全图搜索。

MATCH为设置搜索规则链。包括目标节点和目标连边两部分组成，数量不限。但要求是一条完整的关联路径。

WHERE为结果过滤条件，格式为“变量名.属性+操作符(=<>!=)+取值”

RETURN为显示内容，格式为“变量名.属性” 最终结果以列表形式返回。

如图3.7所示的一个Cypher查询语句。

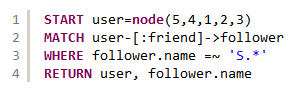


图3.7 Cypher查询语句示例

查询语句解析算法如下：

Step1. 查询语句输入后，解析器将语句拆分为功能段，START字句为起始节点选择，MATCH语句为查询规则表， WHERE为结果过滤， RETURN为返回结果列表。

Step2. 首先根据START语句查找节点，填充起始节点列表List<Node> Start；

Step3. 将MATCH子句拆分为n个变量和n-1条规则，规则由连边类型，连边取值和连边方向三部分组成。规则存入List<Rule> match中， 同时初始化结果列表List<Result>；

Step4. WHERE同样也拆分为规则列表，放入List<Rule> filter中；

Step5. 根据RETURN子句，在结果列表的对应行处加入标记，标示需要输出的内容；

Step6. 从起始列表Start中遍历节点，执行深度优先搜索，搜索成功的结果记录到结果列表中。

Step7. 搜索完毕后根据List<Rule> filter中规则执行结果过滤；

Step8. 根据之前RETURN语句做的标记输出最终结果。

### 3.3.2 有关类和数据结构

#### 1.起始节点规则类StartRule

START子句分析完成后提供一个StartRule对象，存储用户输入的起始节点筛选规则。

public class StartRule

{

string strMode;//"Index", "NameType"

bool isAll;

List<string> subRule;//子规则

public StartRule(string strSub);

public bool Match(Node tarNode);

bool MatchNumber(string strRule, int index);

bool MatchNameType(string strRule, string strNameType);

}

#### 2.中间变量类MidResult

MATCH子句分析完成后提供一组MatchRule规则对象和一个中间变量列表List<MidResult>。表示查找路径深度从0到n的各个层次。每个层次都由MATCH语句赋予一个临时变量名，给后续的WHERE和RETURN语句使用。后续的WHERE语句通过该变量名，找到对应的层次深度。而RETURN语句则在MidResult对象中标示出最终输出的元素和标签名。

public class MidResult

{

string strName;//名称，由MATCH语句指定

int level;//层次，处于树状图的深度，由MATCH语句指定

bool IsFinalResult;//由RETURN语句指定，如果为true，则strProperty被初始化

List<string> strProperty;//由RETURN语句指定，待输出的内容标签

}

#### 3.连边关系匹配规则类MatchRule

MATCH子句分析完成后提供一组MatchRule规则对象和一个中间变量列表。其中MatchRule对象是每条边的筛选规则，包括方向，类型和数量限制三部分。

public class MatchRule

{

string direction; //"IN","OUT"

bool isAll;

List<string> labels;//:label1|:label2

bool NumLimit;//

int uplimit;

int downlimit;

public MatchRule(string );

bool MatchType(string sType);

bool MatchCount(int iNodes);

}

#### 4.节点过滤规则类FilterRule

节点过滤规则用于对筛选完成后的结果进行过滤，对于搜索结果树中不满足要求的节点，不予输出。

public class FilterRule

{

string strName；//临时变量名

int level；//深度

string strProperty;//目标标签

string op;//比较操作符

string strValue;//比较操作数

}

#### 5.搜索树类SearchTree

使用C#内置的TreeNode类型，用于在MATCH匹配阶段存放深度优先搜索返回的结果。WHERE阶段会根据指定的深度对节点进行筛选，并返回RETURN子句指定的节点信息。

### 3.3.3 深度优先搜索算法

TreeNode Search(MatchRule ruleArray[],int level,int len)

{

List<Node> SearchList;

TreeNode CurrentTN, ChildTN;

CurrentTN = new TreeNode(this.intNodeNum.toString());

if(level == len)

{//到底

return CurrentTN;

}

if(Rule[level].direction == "IN")

{

SearchList = this.Inbound;

}

else

{

SearchList = this.OutBound;

}

foreach(Edge edge in SearchList)

{

if(rullArray[level].MatchType(Edge.Type) == true)

{

ChildTN = edge.End.Search(ruleArray[], level+1, len);

if(ChildTN != null)

{

CurrentTN.Nodes.Add(newTN);

}

}

}

if(Rule[level].MatchCount(CurrentTN.Nodes.Count) == true)

{

return CurrentTN;

}

return null;

}

## 3.4 查询语言解析器

### 3.4.1 START子句规范

START子句用于指定搜索的起始节点。可以通过两种方式指定，节点索引，节点“名称+类型”。

详细的方式举例如下：

START node(0) 通过索引指定一个节点

START node(0,11,34) 通过索引指定多个节点

START node(0, 2..5, 14..20) 通过索引指定连续多个节点

START node(“A+B-”)通过名称+类型指定一个节点

START node(“A1+B1; A2+B2”) 通过名称+类型指定多个节点

START node(“A1-\*; A2-B2, \*-B3”) 通过名称+类型和通配符指定多个节点

### 3.4.2 MATCH 子句规范

MATCH子句用于指定搜索规则，即搜索路径上的各种约束条件。可以看作是连续的节点和连边的关联路径。类似于“节点-连边-节点-连边-节点”。

MATCH子句可以分为三部分，节点、连边和箭头。节点是用于存储数据的中间变量，连边用于描述查找关系的具体要求。箭头则是选取出边或入边的依据。

节点用()包裹，可以是用户指定的任何字母+数字组合，该名称存放于结果列表中，用于标示用户期望的输出。

连边具有两种方向，<-[\*]- 和-[\*]-> 表示节点的出边或入边，方括号[]表示边的筛选条件，如果不设置条件则为\*。

以下为MATCH子句的几种可以接受的书写样例：

MATCH (n)-[\*]->(m) 表示n指向m的任意类型的边

MATCH (n)-[:r]->(m) 表示n指向m的类型为r的边

MATCH (n)-[:r1 | :r2]->(m) 表示n指向m的类型为r1或r2的边

MATCH (n)-[\*1..5]->(m) 表示n指向m的任意类型的边,数量要求在1-5之间。

MATCH (n)-[ :r1 | :r2 | 1..5]->(m) 表示n指向m的任意类型的边,数量要求在1-5之间。

### 3.4.3 WHERE子句规范

WHERE子句用于对MATCH搜索完成后返回的结果树进行过滤，对于不符合条件节点，将删除与该节点的整条树枝（branch）。即如果当前节点不符合要求，则删除当前节点及其所有子树，如果删除之后其父节点的子树为空，则删除父节点，递归向上直到root节点。

WHERE子句是由关键字加若干条规则组合而成的。包括临时变量名，标签名，比较运算符，比较运算数四部分。

以下为WHERE子句的几种可以接受的书写样例：

WHERE \* 表示不加以过滤，直接返回RETURN需要的结果

WHERE A.bb == “ccc” 单条过滤规则，临时变量A类的节点的属性bb的取值一定要是ccc。

WHERE A.bb == “ccc” AND C.dd > 5 单条过滤规则，临时变量A类的节点的属性bb的取值一定要是ccc。

### 3.4.4 RETURN子句规范

RETURN子句用于指定最终返回给用户的数据，由关键字RETURN和若干条逗号分隔的标签组成。标签的格式是“临时变量名.节点标签”。

RETURN子句解析之后，会在MidResult列表中需要输出的变量中记录标记位，并将需要输出的标签加入输出标签列表。

以下为RETURN子句的几种可以接受的书写样例：

RETURN \* 表示输出所有临时变量的标签信息。

RETURN A.b 表示输出临时变量A节点的b标签的信息

RETURN A.b, C.d 表示输出临时变量A节点的b标签的信息和C节点的d标签信息。