

视频查询语言 SVQL 语法分析模型

卢成浪^{1,2}, 尤卫军³, 吴宗大⁴

(1.西北工业大学 航海学院, 陕西 西安 710072; 2.浙江机电职业技术学院 现代信息技术学院, 浙江 杭州 310000; 3.浙江省自然科学基金委办公室, 浙江 杭州 310000; 4.绍兴文理学院 计算机系, 浙江 绍兴 312000)

摘 要:研究了一种基于结构化声明的视频查询语言 SVQL 的语言分析模型。以巴克斯范式、逻辑代数等工具形式化描述了 SVQL 的文法规则和语义规则, 据此构建了多层次 SVQL 语法分析模型。基于该语法分析模型, 结合编译原理相关知识, 设计实现了 SVQL 语法分析工具。实验评估语法分析模型的有效性, 该模型能分析出 SVQL 查询语句所包含的语法错误和语义错误, 并给出准确的信息。

关 键 词:视频查询语言; 语法分析; 文法分析; 语义分析

中图分类号: TP337

文献标志码: A

文章编号: 1000-2758(2022)05-1065-06

数据查询语言可以帮助用户有效描述查询需求, 用户界面友好是实现数据检索的有效工具。尽管传统数据查询语言(如结构化查询语言 SQL、面向 XML 数据查询语言 XQuery 等^[1])已取得巨大成功, 但它们无法直接应用于视频检索, 这是因为视频数据包含的各类语义信息(如视频实体之间的时空关系)对视频查询语言的描述能力提出了许多新需求。虽然学者已提出了多种多媒体数据查询语言^[2-3], 但它们的语法形式通常较为复杂, 难以被普通用户掌握, 并且其视频查询表达能力相对较弱, 难以满足多样化的视频查询需求。为此, 在前期工作中, 提出了一种基于结构化声明的通用视频查询语言 SVQL(structured video query language)^[4-6], 它不仅拥有简洁语法形式, 而且拥有良好可扩展性, 能适应复杂的基于内容的视频查询需求, 是实现有效视频检索的重要工具。

然而, 由于 SVQL 语法的特殊性, 其语法分析难以用其他结构化数据查询语言(如 SQL 等)的语法分析器^[7-10]来完成。为此, 本文研究 SVQL 语言语法分析模型的设计与实现。首先, 以巴克斯范式、逻辑代数等工具形式化描述 SVQL 的文法规则和语义规则, 研究构建了多层次 SVQL 语法分析模型。然

后, 基于语法分析模型, 结合编译原理理论知识, 设计了实现 SVQL 语法分析工具, 从而为 SVQL 视频查询的后续优化奠定了重要前期基础。另外, 本文工作对于其他结构化查询语言的语法分析模型构建同样具有重要的参考借鉴作用。

1 语法分析模型

1.1 视频查询语言 SVQL

SVQL 是一种基于结构化声明的通用视频查询语言, 能有效支持多种形式视频查询, 其一般化的语法形式可表述为:

FIND VIDEO(<视频对象声明列表><视频事件声明列表><视频关系声明列表>);

可看出, 一个 SVQL 查询由视频对象列表、视频事件列表和视频关系列表 3 个部分组成, 其中: ①<视频对象列表>负责描述视频所包含的视频对象及其属性应满足的基本条件; ②<视频事件列表>负责描述视频包含的视频事件及其属性应满足的基本条件; ③<视频关系列表>负责描述视频对象之间、视频事件之间、视频对象与视频事件之间应满足的各种关系。以下通过一个简单的例子来说明 SVQL

收稿日期: 2022-01-04

基金项目: 教育部人文社科基金(21YJCZH096, 21YJA870011)、国家社会科学基金(21FTQB020)、浙江省哲学社科规划之江青年项目(22ZJQN45YB)与浙江省高校人文社科重大攻关计划(2021GH017)资助

作者简介: 卢成浪(1982—), 西北工业大学博士后, 主要从事信息检索与安全研究。

通信作者: 吴宗大(1983—), 绍兴文理学院教授, 主要从事信息检索与安全研究。e-mail: zongda@qq.com

查询的语法形式。

例1. 查询2004年,在北京体育馆,刘国梁和孔令辉发生同台竞技事件的所有视频。

FIND VIDEO(/ * FIND VIDEO 为关键字 */

/* 1、视频对象声明列表 */

OBJECT 刘国梁(/ * OBJECT 为对象声明关键字,后面跟着对象名 */类型=运动员;) OBJECT 孔令辉(类型=运动员; /* “类别”是对象的属性 */)

/* 2、视频事件声明列表 */

EVENT 比赛事件(/ * EVENT 为事件声明关键字,后面跟着事件名 */

开始时间>‘2004-01-01 00:00:00’;发生地点=北京体育馆,/* “时间”和“地点”均为属性 */)

/* 3、视频关系声明列表 */

刘国梁 AgentOf 比赛事件;孔令辉 AgentOf 比赛事件; /* AgentOf 为关键字 */)

1.2 语法分析模型

SVQL 层次化语法分析模型如图1所示。可看出,SVQL 语法规则分为:词法规则、文法规则和语义规则。其中:词法规则定义查询单词;文法规则定义形式语法;语义规则定义语义逻辑上的语法。

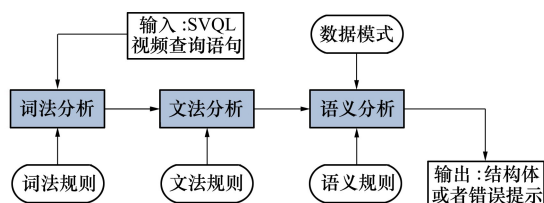


图1 层次化 SVQL 语法分析模型

1) 词法规则:词法规则负责定义 SVQL 查询单词。SVQL 单词可分为关键字、固定符号(标点、运算符等)、符号(变量、属性等)、常量(布尔值、数字、日期、字符串等)等类型。其中,关键字和固定符号可直接枚举。以下仅给出符号(以变量、属性为代表)和常量(以数字、字符串为代表)的正则表达式描述。

<符号>::=[a-zA-Z0-9_\u4e00-\u9fa5]+

<数字>::=[0-9]+([E][+-]?[0-9]+)? | [0-9]+."[0-9]*([E][+-]?[0-9]+)?

<字符串>::='[^\\n]*'

基于词法规则,词法分析部件可以从 SVQL 查询文本中识别出所有实义单词,并过滤无实义词(空白、注释等)。据此形成的单词流是文法分析部件的输入。

2) 文法规则:负责定义 SVQL 形式语法,并不考虑视频对象变量和视频事件变量的具体语义问题。以下分别给出 SVQL 查询各个子句文法约束的巴克斯范式描述。

(1) 视频对象声明列表的文法规则

<视频对象声明列表>::=<视频对象声明>[{ ; <视频对象声明> }] ;

<视频对象声明>::= OBJECT <视频对象变量> (<属性条件项>[{ ; <属性条件项> }]) ;

<属性条件项>::=<视频对象变量>.<属性项> <比较算符><比较值>;

<视频对象变量>::=<符号>; <属性项>::=<符号>;

<比较值>::=<布尔值> | <数字> | <日期> | <字符串>;

<比较算符>::= = | < > | > = | < < = ;

视频对象列表用于描述视频包含的视频对象以及视频对象应满足的属性条件。该规则要求:视频对象声明列表由若干个视频对象声明构成(各个声明用分号隔开)。

(2) 视频事件声明列表的文法规则

<视频事件声明列表>::=<视频事件声明>[{ ; <视频事件声明> }] ;

<视频事件声明>::= EVENT <视频事件变量> (<属性条件项>[{ ; <属性条件项> }]) ;

<属性条件项>::=<视频事件变量>.<属性项> <比较算符><比较值>;

<视频事件变量>::=<符号>; <属性项>::=<符号>;

<比较值>::=<布尔值> | <数字> | <日期> | <字符串>;

<比较算符>::= = | < > | > = | < < = ;

视频事件列表用于描述视频包含的视频事件以及视频事件应满足的属性条件。

(3) 视频关系声明列表的文法规则

<视频关系声明列表>::=<视频关系声明>[{ ; <视频关系声明> }] ;

<视频关系声明>::=<视频对象关系声明> | <视频事件关系声明> | <事件对象关系声明>;

<事件对象关系声明>::=

<视频对象变量> AgentOf <视频事件变量>[{ ; <事件对象关系声明> }] ;

<视频对象关系声明>::=

<视频对象变量><关系算符>[X|Y|Z|T]<视频对象变量>[{};<视频对象关系声明>];

<视频事件关系声明>::=

<视频事件变量><关系算符>[X|Y|Z|T]<视频事件变量>[{};<视频事件关系声明>];

<关系算符>::= BEFORE|MEETS|OVERLAPS|DURING|STARTS|FINISHES|EQUALS;

视频关系声明列表用于描述视频对象之间、视频事件之间、视频对象与事件之间以及其他实体之间的语义关系。

3) 语义规则:负责定义 SVQL 语义逻辑上的语法,它考虑各个视频变量具体含义。语义分析需要用到视频实体及其属性等模式信息,因而,定义视频实体数据模式如下:SVQL 查询基于视频对象表 VOS 和视频事件表 VES。其中,视频对象表模式可抽象表示为:VOS = {<attrName, attrType>| attrName 为视频对象属性名, attrType 为视频对象属性类型}。类似地,可定义视频事件表模式 VES。据此,以下给出 SVQL 语义约束的逻辑代数描述。

(1) 视频对象声明语义:视频对象变量跟随的各个属性条件项须合法,即视频对象应确实包含相应属性项,并且属性项与比较值相匹配。记 VOD 为<视频对象声明列表>各个属性条件项所关联单词的集合,即 $VOD = \{ \langle attrName, attrValue \rangle \mid attrName \text{ 和 } attrValue \text{ 分别对应} \langle \text{属性条件项} \rangle \text{ 中的} \langle \text{属性项} \rangle \text{ 和} \langle \text{比较值} \rangle \}$,则视频对象声明的语义规则可表述如下:

$\forall e(e \in VOD \rightarrow \exists u(u \in VOS \wedge u.attrName = e.attrName \wedge isType(e.attrValue, u.attrType)))$

(2) 视频事件声明语义:视频事件变量跟随的各个属性条件项须合法。记 VED 为<视频对象声明列表>各个属性条件项所关联文法单词的集合,即 $VED = \{ \langle attrName, attrValue \rangle \mid attrName \text{ 和 } attrValue \text{ 分别对应} \langle \text{属性条件项} \rangle \text{ 中的} \langle \text{属性项} \rangle \text{ 和} \langle \text{比较值} \rangle \}$,则视频事件声明的语义规则可表述如下:

$\forall e(e \in VED \rightarrow \exists u(u \in VES \wedge u.attrName = e.attrName \wedge isType(e.attrValue, u.attrType)))$

(3) 视频关系声明语义:视频关系声明中出现变量须被视频对象声明过或被视频事件声明过。记 VOV 为视频对象声明出现的所有视频对象变量集合,记 VOP 为<视频对象关系声明>关联的视频对象变量集合,即 $VOP = \{ \langle videoObj1, videoObj2 \rangle \mid videoObj1 \text{ 和 } videoObj2 \text{ 为同 1 个} \langle \text{关系算符} \rangle \text{ 所关联}$

的 2 个<视频对象变量>\},则视频对象关系声明的语义规则可表述如下:

$\forall e(e \in VOP \rightarrow \exists u \exists v(u \in VOV \wedge v \in VOV \wedge u = e.videoObj1 \wedge v = e.videoObj2))$

记 VEV 为视频事件声明出现过的所有视频事件变量集合,记 VEP 为<视频事件关系声明>关联的视频事件变量集合,即 $VEP = \{ \langle videoEve1, videoEve2 \rangle \mid videoEve1 \text{ 和 } videoEve2 \text{ 为同一个} \langle \text{关系算符} \rangle \text{ 所关联的 2 个} \langle \text{视频事件变量} \rangle \}$,则视频事件关系声明的语义规则可表述如下:

$\forall e(e \in VEP \rightarrow \exists u \exists v(u \in VEV \wedge v \in VEV \wedge u = e.videoEve1 \wedge v = e.videoEve2))$

记 VOE 为<事件对象关系声明>关联的视频变量集合,即 $VOE = \{ \langle videoObj, videoEve \rangle \mid videoObj \text{ 和 } videoEve \text{ 分别为同一个 } AgentOf \text{ 关系算符所关联的} \langle \text{视频对象变量} \rangle \text{ 和} \langle \text{视频事件变量} \rangle \}$,则视频事件对象关系声明的语义规则可表述如下:

$\forall e(e \in VOE \rightarrow \exists u \exists v(u \in VOV \wedge v \in VOV \wedge u = e.videoObj \wedge v = e.videoEve))$

为了支持多种形式的视频内容查询,SVQL 语法规则比较繁杂,本节仅给出部分主要语法规则描述,其余细节语法规则不再赘述。

2 语法分析工具

基于前文构建的语法分析模型,以下设计实现 SVQL 语法分析工具,其实现框架如图 2 所示。

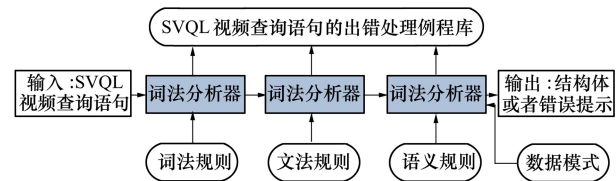


图 2 SVQL 语法分析工具框架

其中:①词法分析器负责将 SVQL 查询转换为记号集;②语法分析器负责根据文法规则,将记号集转化为语法树和符号表;③语义分析器由一系列数据结构及其处理函数组成,负责对语法树进行语义检查,生成中间结构(即初步查询计划)。

1) 词法分析器:利用正则表达式所描述的词法规则,识别出 SVQL 查询中的单词。此外,还要剔除无意义词(如空白字符等),并检查词法(给出错误

信息)。SVQL 词法分析器借助 LEX^[11] 实现,其输入是以正则表达式所描述的词法规则。词法分析器核心是 getToken 函数,不断调用它即可获取 SVQL 查询包含的所有单词。

2) 文法分析器:从词法分析器持续获取记号,并依据语法规则进行分析处理,以生成语法树和相应语义信息表。SVQL 文法分析器借助 YACC^[12] 实现,其输入是前文语法分析模型利用巴克斯范式所描述的文法规则。若 SVQL 查询存在文法错误,文法分析器会给出有指导性的文法错误描述,否则将输出语义信息表。据此,文法分析器可进一步生成语法树结构,它将是后续语义分析器的输入。

3) 语义分析器:语法分析模型利用逻辑代数形式化描述了语义约束规则集,据此,语义分析器负责构建算法,并对基于语法树结构和语义信息表所生成的各个语义项进行语义检查。其中语义项主要包括:VOD 语义项、VED 语义项、VOP 语义项、VEP 语义项、VOE 语义项等,分别对应:视频对象声明、视频事件声明、视频对象关系声明、视频事件关系声明、事件对象关系声明等。限于篇幅,以下仅讨论 VOP 语义项和 VOE 语义项的语义分析检查算法(其他语义项的检查算法与之类似)。

(1) VOP 语义检查:VOP 数据结构存储了<视频对象关系声明>所关联的所有视频对象变量。VOP 语义项的一个基本元素关联了 2 个视频对象变量,因而,VOP 语义检查主要是检查各元素所关联的 2 个视频对象变量之间的语义合法性,伪码描述如算法 1 所示。

(2) VOE 语义检查:VOE 数据结构存储了<时间对象关系声明>所关联的所有视频对象变量和事件变量,其各元素关联了一个视频对象变量和一个视频事件变量。因而,本文主要检查各 VOE 元素所关联的 2 个视频变量之间的语义合法性,伪码描述如算法 2 所示。

算法 1 VOP 语义检查

算法描述:

VOV 为视频对象声明出现的视频对象变量集合

```
for (each E in VOP) {
```

```
    for (index1 = 0 to VOV.length) {
```

```
        if ( VOV [ index1 ]. name == E. videoObj1 )
```

```
break; }
```

```
    for (index2 = 0 to VOV.length) {
```

```
        if ( VOV [ index2 ]. name == E. videoObj2 )
```

```
break; }
```

```
    if ( index1 == VOV.length) 报告错误并返回;
```

```
    if ( index2 == VOV.length) 报告错误并返回;
```

```
    if ( index1 == index2) 报告错误并返回;
```

```
}
```

算法 2 VOE 语义检查

算法描述:

VOV 为视频对象声明出现的视频对象变量集合

VEV 为视频事件声明出现的视频事件变量集合

```
for (each E in VOE) {
```

```
    for (index1 = 0 to VOV.length) {
```

```
        if ( VOV [ index1 ]. name == E. videoObj )
```

```
break; }
```

```
    for (index2 = 0 to VEV.length) {
```

```
        if ( VEV [ index2 ]. name == E. videoEve )
```

```
break; }
```

```
    if ( index1 == VOV.length) 报告错误并返回;
```

```
    if ( index2 == VEV.length) 报告错误并返回;
```

```
}
```

3 有效性测试

图 3a) 给出了 SVQL 语法分析工具的用户界面:①左上部分为查询输入框;②右上部分为内部结构信息,给出由词法分析、文法分析、语义分析所产生的词法分析表、语法树、符号集等内部结构信息;③下半部分为结果输出框,给出 SVQL 查询处理结果(或错误提示文本)。限于篇幅,以下简要给出语法分析工具的功能测试结果和性能测试结果。

1) 功能测试:图 3a) 给出了来自例 1 的视频查询(即查询刘国梁和孔令辉在北京体育馆同台竞技的所有视频)的语法分析测试结果。可看出,分析工具右上部分的输出框,给出了基于该查询所产生的词法分析表、语法树、符号集等内部数据结构,这些是后续查询处理优化的重要输入;下半部分的结果输出框,给出了查询的处理结果信息(即该查询无词法错误、无文法错误、无语义错误等)。图 3b)~3d) 给出了 3 个视频查询的语法分析测试结果(这 3 个视频查询分别存在词法错误、文法错误和语义错误)。可看出,对于存在文法、词法错误的视频查询语句,分析工具不仅能给出具有指导作用的错误文本,还能给出相应的修改建议。综上,基于 SVQL 层次化语法分析模型所构建的语法分析工具能较好

地完成对 SVQL 查询的词法、文法和语义检查,生成内部数据结构和相关提示信息。



图 3 SVQL 语法分析器用户界面和功能测试结果

2) 性能测试:选取多组不同长度的视频查询语句对语法分析工具进行性能测试,评估结果如表 1 所示(10 次运行的平均值)。

表 1 性能测试结果

查询序号	语句长度/行	平均耗时/ms	每行耗时/ms
1	50	8.5	0.17
2	100	16	0.16
3	200	43.5	0.22
4	400	105	0.26
5	800	280	0.35
6	1 600	608	0.38

可看出,对于短查询语句(语句少于 50 行),语法分析器的执行效率非常高(约为 10 ms),但对于长查询语句,语法分析器的执行效率有所下降。可看出,每行语句的平均解析速度为 0.26 ms,因而分

析工具的解析速度处在可接受水平(相比于其他一般性的数据查询语言解析器);并且随着查询语句规模的增长,每行语句的平均解析速度会有所增加。

4 结 论

研究了 SVQL(一种基于结构化声明的视频查询语言)的语言分析模型,并据此讨论实现了其语法分析工具。结果表明,研究构建的语法分析工具能有效地检测出 SVQL 查询中的词法错误、文法错误或语义错误,并给出有指导性的修正建议,为 SVQL 的后续优化奠定了前期基础。根据查询分析模型的输出,可以有效构建视频查询的内部被查询计划,因此后续的查询优化和查询处理问题将是下一步的重点研究内容。

参考文献:

[1] NETHRAVATHI B, AMITHA G, SARUKA A, et al. Structuring natural language to query language: a review[J]. Engineering, Technology & Applied Science Research, 2020, 10(6): 6521-6525

[2] WU Z, XU G, ZHANG Y, et al. GMQL: a graphical multimedia query language[J]. Knowledge-Based Systems, 2012, 26: 135-143

[3] SÁNCHEZ-NIELSEN E, CHÁVEZ-GUTIÉRREZ F, LORENZO-NAVARRO J. A semantic parliamentary multimedia approach for retrieval of video clips with content understanding[J]. Multimedia Systems, 2019, 25(4): 337-354

[4] LU C, LIU M, WU Z. SVQL: a SQL extended query language for video databases[J]. International Journal of Database Theory and Application, 2015, 8(3): 235-248

[5] 卢成浪, 刘明雍, 吴宗大. 有效多媒体查询代数的设计与实现[J]. 西北工业大学学报, 2014, 32(6): 899-905

LU Chenglang, LIU Mingyong, WU Zongda. Design and implementation of an effective multimedia algebra[J]. Journal of North-

- western Polytechnical University, 2014, 32(6): 899-905 (in Chinese)
- [6] 卢成浪, 吴宗大. 基于 MPEG7 视频检索系统的设计与实现[J]. 西北大学学报, 2018, 48(3): 369-376
LU Chenglang, WU Zongda. Design and implementation of MPEG-7-Based video content retrieval system[J]. Journal of Northwestern University, 2018, 48(3): 369-376 (in Chinese)
- [7] 吴宗大, 曹忠升, 王元珍, 等. 多媒体查询语言 UMQL 语法分析器的设计与实现[J]. 小型微型计算机系统, 2010, 31(2): 271-276
WU Zongda, CAO Zhongsheng, WANG Yuanzhen, et al. Design and implementation for the grammar analyzer of a multimedia query language[J]. Journal of Chinese Computer Systems, 2010, 31(2): 271-276 (in Chinese)
- [8] 吴宗大, 曹忠升, 王元珍. 可视化多媒体查询语言的设计与实现[J]. 华中科技大学学报, 2008, 36(7): 45-50
WU Zongda, CAO Zhongsheng, WANG Yuanzhen. Design and implementation for a visual multimedia query language[J]. Journal of Huazhong University of Science and Technology, 2008, 36(7): 45-50 (in Chinese)
- [9] 田野, 寿黎但, 陈珂, 等. 基于字段嵌入的数据库自然语言查询接口[J]. 计算机科学, 2020, 47(9): 60-66
TIAN Ye, SHOU Lidan, CHEN Ke, et al. Natural language interface for databases with content-based table column embeddings [J]. Computer Science, 2020, 47(9): 60-66 (in Chinese)
- [10] 曹金超, 黄滔, 陈刚, 等. 自然语言生成多表 SQL 查询语句技术研究[J]. 计算机科学与探索, 2020, 14(7): 1133-1141
CAO Jinchao, HUANG Tao, CHEN Gang, et al. Research on technology of generating multi-table SQL query statement by natural language[J]. Journal of Frontiers of Computer Science and Technology, 2020, 14(7): 1133-1141 (in Chinese)
- [11] 薛联凤, 秦振松. 编译原理及编译程序构造[M]. 南京: 东南大学出版社, 2013
XUE Lianfeng, QIN Zhensong. Compilation principle and compiler construction[M]. Nanjing: Southeast University Press, 2013
- [12] CHEN J, PATRA J, PRADEL M, et al. A survey of compiler testing[J]. ACM Computing Surveys, 2020, 53(1): 1-36

A grammar analysis model for a video query language SVQL

LU Chenglang^{1,2}, YOU Weijun³, WU Zongda⁴

- (1.School of Marine Science and Technology, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China;
2.College of Modern Information Technology, Zhejiang Institute of Mechanical & Electrical Engineering, Hangzhou 310000, China;
3.Office of Zhejiang Provincial Natural Science Foundation, Hangzhou 310000, China;
4.Department of Computer Science and Engineering, Shaoxing University, Shaoxing 312000, China)

Abstract: This paper presents a grammar analysis model for a structured video query language-SVQL. First, we use extended Backus-Naur form and logical algebra to formally describe the grammar rules and semantic rules of SVQL, so as to construct a multi-level grammar analysis model. Then, based on the grammar analysis model, in combination with the compilation theory, a grammar analysis tool is designed and implemented. Finally, the experimental evaluation demonstrates the effectiveness of the proposed grammar analysis model, i.e., it can capture the syntax and semantic errors of a SVQL query and output accurate prompt information.

Keywords: video query language; grammar analysis; syntax analysis; semantic analysis

引用格式: 卢成浪, 尤卫军, 吴宗大. 视频查询语言 SVQL 语法分析模型[J]. 西北工业大学学报, 2022, 40(5): 1065-1070

LU Chenglang, YOU Weijun, WU Zongda. A grammar analysis model for a video query language SVQL[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2022, 40(5): 1065-1070 (in Chinese)