



[PACKT]  
PUBLISHING

华章科技

数据  
技术丛书

# PostgreSQL 服务器编程

Hannu Krozing Jim Mlodgenski Kirk Roybal 著  
戚长松 译

---

PostgreSQL Server Programming

---

- 资深PostgreSQL专家撰写，系统讲解PostgreSQL服务器编程的各种技术细节，深入解析PostgreSQL的扩展框架，Amazon全五星评价
- 通过丰富的实例，循序渐进阐释PostgreSQL开发和扩展的相关概念及各种实用技术，包含大量实用技巧和窍门，为快速掌握PostgreSQL服务器编程提供系统实践指南



机械工业出版社  
China Machine Press

PostgreSQL可以为你提供所有在你擅长的开发语言中可以实现的功能，并且可以在数据库服务器上扩展这些功能。在蓬勃发展的商业市场中，如果你掌握了足够的PostgreSQL相关知识，你将有能力应对当前人才市场对高级PostgreSQL技能的强烈需求。

本书将向你展示出PostgreSQL远远不止是一个数据库服务器。实际上，它是一个应用程序开发框架，这种框架的优势在于其具备事务支持、大量数据存储、日志系统、恢复等功能，以及许多PostgreSQL引擎提供的优秀特性。

本书将带你学习PostgreSQL函数的基础部分。在学习过程中，你将会使用各种程序语言（不限于自带的PL/pgSQL语言）进行函数的编写。

### 通过阅读本书，你将学到

- 编写函数并创建你自己的数据类型，所有这些都可以用你擅长的编程语言实现。
- 使用内置的PL/pgSQL编程语言，编写和调试函数与触发器。
- 从外部数据源抽取数据。
- 安装与管理扩展应用，创建与发布你自己的扩展应用。
- 决定你的程序将使用什么样的硬件资源。
- 如何使用你自己的开发语言来扩展数据库内核，使其拥有你自己的特性。



上架指导：计算机/数据库

ISBN 978-7-111-48057-0



9 787111 480570 >

定价：49.00元

[PACKT]  
PUBLISHING

投稿热线：(010) 88379604

客服热线：(010) 88378991 88361066

购书热线：(010) 68326294 88379649 68995259

华章网站：[www.hzbook.com](http://www.hzbook.com)

网上购书：[www.china-pub.com](http://www.china-pub.com)

数字阅读：[www.hzmedia.com.cn](http://www.hzmedia.com.cn)

# PostgreSQL 服务器编程

---

PostgreSQL Server Programming

---

Hannu Krosing Jim Mlodgenski Kirk Roybal 著  
戚长松 译



机械工业出版社  
China Machine Press

## 图书在版编目 (CIP) 数据

PostgreSQL 服务器编程 / (美) 克洛斯 (Krosing, H.) 等著; 戚长松译. —北京: 机械工业出版社, 2014.9

(数据库技术丛书)

书名原文: PostgreSQL Server Programming

ISBN 978-7-111-48057-0

I. P… II. ①克… ②戚… III. 关系数据库系统—程序设计 IV. TP311.138

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 220131 号

本书版权登记号: 图字: 01-2013-6905

Hannu krosing, Jim Mlodgenski, Kirk Roybal: *PostgreSQL Server Programming* ( ISBN: 978-1-84951-698-3 ).

Copyright © 2013 Packt Publishing. First published in the English language under the title “PostgreSQL Server Programming”.

All rights reserved.

Chinese simplified language edition published by China Machine Press.

Copyright © 2014 by China Machine Press.

本书中文简体字版由 Packt Publishing 授权机械工业出版社独家出版。未经出版者书面许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书内容。

## PostgreSQL 服务器编程

出版发行: 机械工业出版社 (北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码: 100037 )

责任编辑: 陈佳媛

印 刷: 北京市荣盛彩色印刷有限公司

版 次: 2014 年 10 月第 1 版第 1 次印刷

开 本: 186mm × 240mm 1/16

印 张: 12.25

书 号: ISBN 978-7-111-48057-0

定 价: 49.00 元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

客服热线: (010) 88378991 88361066

投稿热线: (010) 88379604

购书热线: (010) 68326294 88379649 68995259

读者信箱: hzjsj@hzbook.com

版权所有 • 侵权必究

封底无防伪标均为盗版

本书法律顾问: 北京大成律师事务所 韩光 / 邹晓东

## *Preface* 前 言

PostgreSQL 服务器远远不只是一台数据库服务器。实际上，PostgreSQL 甚至可以承担起一个应用程序开发框架的角色，这个框架的优势在于其具备事务支持、大量数据存储、日志记录、系统恢复等功能，以及 PostgreSQL 引擎提供的许多优秀特性。在蓬勃发展的商业化时代，如果你掌握了足够的 PostgreSQL 相关知识，你将有能力满足当前人才市场对高级 PostgreSQL 技能的强烈需求。

本书将带你学习 PostgreSQL 函数基础知识。在学习过程中，你将会使用各种程序语言（不限于自带的 PL/pgSQL 语言）进行函数的编写。这里你会看到我们如何创建可用的库文件，如何将这些库文件组装成更有用的组件，并把这些组件分发到社区中；你也会看到我们如何从大量外部数据源中抽取数据，并通过扩展 PostgreSQL 完成数据的本地化处理；同时，你也可以在以上过程中使用一个超级棒的调试界面，这个调试界面可以让你更加高效与放心地完成工作。

## 本书主要内容

第 1 章介绍了 PostgreSQL 程序设计的功能。该章阐述了服务器程序设计的基本概念，并通过一些真实案例来衡量评估这项技术。

第 2 章讨论了 PostgreSQL 的开发环境。该章从 PostgreSQL 的商业优势与技术优势等角度出发，举例说明了人们为什么会选择在 PostgreSQL 中编程。

第 3 章介绍了 PL/pgSQL 这种存储过程语言。该章主要介绍了函数的基础结构和函数的几个关键组成部分。

第 4 章在对 PL/pgSQL 介绍的基础之上，介绍了返回结构化数据的功能，并展示了怎么将复杂的数据返回给一个应用程序。其中采用了几种不同的方法，并对每种方法的优缺点进行了对比分析。

第 5 章主要探究了如何基于数据库中发生的事件而触发执行服务端处理逻辑。该章介绍了触发器的概念，并对一些相关案例进行深入讨论。

第 6 章展示了如何对服务端程序进行调试。该章首先介绍了基于日志的简单通知机制，继而阐述了如何使用交互式的图形调试器进行调试工作。

第 7 章重点关注了 PL/pgSQL 语言之外的其他服务端开发语言。该章选择了 Python 作为开发语言，通过函数在数据库外完成其他处理工作。

第 8 章深入探讨了我们该如何使用原生的 C 代码进行 PostgreSQL 扩展。通过几个详细的实例，阐述了几种基础理念，这几种理念可以大大增强 PostgreSQL 的原生开发功能。

第 9 章主要阐述了另外一种存储过程语言，这种语言可以让 PostgreSQL 超越单一的物理服务器。同时该章也讨论了一些实用的技术，通过这些技术可以高效地拆分数据，从而进行服务器扩展。

第 10 章讨论了 PostgreSQL 扩展程序网络架构，包括如何将代码模块发布到开源社区。

## 阅读前的准备工作

为了能够顺利学习本书示例，你需要安装以下软件：

- Ubuntu 12.04 LTS
- PostgreSQL 9.2 或更新版本的服务器

## 本书的读者对象

本书是面向中高级 PostgreSQL 数据库专业人员的书籍。为了更好地理解本书，你应该有一些编写普通 SQL 语句的经验、查询优化的基本思路和一些使用自己选择的语言进行代码编写的经验。

# *Contents* 目 录

## 前 言

## 第1章 PostgreSQL服务器简介 ..... 1

1.1 为什么在服务器中进行程序设计 ..... 2
1.2 关于本书的代码示例 ..... 5
1.3 超越简单函数 ..... 7
1.4 使用触发器管理相关数据 ..... 8
1.5 审核更改 ..... 11
1.6 数据清洗 ..... 16
1.7 定制排序方法 ..... 17
1.8 程序设计最佳实践 ..... 18
1.8.1 KISS——尽量简单 (keep it simple stupid) ..... 18
1.8.2 DRY——不要写重复的代码 (don't repeat yourself) ..... 19
1.8.3 YAGNI——你并不需要它 (you ain't gonna need it) ..... 19
1.8.4 SOA——服务导向架构 (service-oriented architecture) ..... 19
1.8.5 类型的扩展 ..... 20
1.9 关于缓存 ..... 21

1.10 总结——为什么在服务器中进行程序设计 ..... 21
1.10.1 性能 ..... 21
1.10.2 易于维护 ..... 22
1.10.3 保证安全的简单方法 ..... 22
1.11 小结 ..... 22

## 第2章 服务器程序设计环境 ..... 24

2.1 购置成本 ..... 25
2.2 开发者的可用性 ..... 26
2.3 许可证书 ..... 26
2.4 可预测性 ..... 27
2.5 社区 ..... 28
2.6 过程化语言 ..... 28
2.6.1 平台兼容性 ..... 29
2.6.2 应用程序设计 ..... 30
2.6.3 更多基础 ..... 32
2.7 小结 ..... 35

## 第3章 第一个PL/pgSQL函数 ..... 36

3.1 为什么是 PL / pgSQL ..... 36
3.2 PL/pgSQL 函数的结构 ..... 37

3.3 条件表达式 .....	39	第5章 PL/pgSQL触发器函数 .....	75
3.3.1 通过计数器循环 .....	43	5.1 创建触发器函数 .....	75
3.3.2 对查询结果进行循环 .....	45	5.2 简单的“嘿，我被调用了” 触发器 .....	76
3.3.3 PERFORM 与 SELECT .....	47	5.3 审核触发器 .....	79
3.4 返回记录 .....	47	5.4 无效的 DELETE .....	81
3.5 处理函数结果 .....	50	5.5 无效的 TRUNCATE .....	83
3.6 结论 .....	51	5.6 修改 NEW 记录 .....	83
<b>第4章 返回结构化数据 .....</b>	<b>52</b>	5.7 不可改变的字段触发器 .....	84
4.1 集合与数组 .....	52	5.8 当触发器被调用时的控制策略 .....	85
4.2 返回集合 .....	53	5.8.1 有条件的触发器 .....	86
4.3 使用返回集合的函数 .....	54	5.8.2 在特定字段变化的触发器 .....	87
4.4 基于视图的函数 .....	56	5.9 可视化 .....	87
4.5 OUT 参数与记录集 .....	59	5.10 传递给 PL/pgSQL TRIGGER 函数的变量 .....	88
4.5.1 OUT 参数 .....	59	5.11 小结 .....	88
4.5.2 返回记录集 .....	60		
4.5.3 使用 RETURNS TABLE .....	61		
4.5.4 不返回预定义结构 .....	62		
4.5.5 返回 SETOF ANY .....	63		
4.5.6 可变参数列表 .....	65		
4.6 RETURN SETOF 变量总结 .....	66		
4.7 返回游标 .....	66		
4.7.1 对从另一个函数中返回 的游标进行迭代处理 .....	68		
4.7.2 函数返回游标（多个游标） 的小结 .....	69		
4.8 处理结构化数据的其他方法 .....	69		
4.8.1 现代复杂数据类型—— XML 和 JSON .....	69		
4.8.2 XML 数据类型和从函数中 返回 XML 数据 .....	70		
4.8.3 以 JSON 格式返回数据 .....	72		
4.9 小结 .....	74		
<b>第6章 PL/pgSQL调试 .....</b>	<b>90</b>		
6.1 使用 RAISE NOTICE 进行 “手动”调试 .....	91		
6.1.1 抛出异常 .....	92		
6.1.2 文件日志 .....	94		
6.2 可视化调试 .....	95		
6.2.1 安装调试器 .....	96		
6.2.2 安装 pgAdmin3 .....	96		
6.2.3 使用调试器 .....	96		
6.3 小结 .....	98		
<b>第7章 使用无限制的开发语言 .....</b>	<b>99</b>		
7.1 不受信任的语言是否比 受信任的语言差 .....	99		
7.2 不受信任的语言是否会 拖垮数据库 .....	100		

7.3	为什么不受信任	100	8.4.1	并非错误的“错误”状态	136
7.4	PL/Python 快速介绍	101	8.4.2	消息何时被发送到客户端	137
7.4.1	最小的 PL/Python 函数	101	8.5	运行查询与调用 PostgreSQL 函数	137
7.4.2	数据类型转换	102	8.5.1	使用 SPI 的示例 C 函数	138
7.4.3	使用 PL/Python 编写简单函数	103	8.5.2	数据更改的可见性	139
7.4.4	在数据库中运行查询	106	8.5.3	SPI_* 函数的更多相关信息	140
7.4.5	使用 PL/Python 编写触发器函数	108	8.6	将记录集作为参数或返回值处理	140
7.4.6	构建查询	113	8.6.1	返回复杂类型的单个元组	141
7.4.7	处理异常	113	8.6.2	从参数元组中提取字段	143
7.4.8	Python 中的原子性	115	8.6.3	构建一个返回元组	143
7.4.9	PL/Python 调试	116	8.6.4	插曲——什么是 Datum	144
7.5	跳出“SQL 数据库服务器”的限制进行思考	119	8.6.5	返回一个记录集	144
7.5.1	在保存图像时生成缩略图	119	8.7	快速获取数据库变更	147
7.5.2	发送一封电子邮件	120	8.8	在提交 / 回滚时处理情况	148
7.6	小结	121	8.9	在后端间进行同步	148
<b>第8章</b>	<b>使用C编写高级函数</b>	<b>122</b>	8.10	C 语言的额外资源	149
8.1	最简单的 C 函数——返回 (a+b)	123	8.11	小结	149
8.1.1	add_func.c	123	<b>第9章</b>	<b>使用PL/Proxy扩展数据库</b>	<b>151</b>
8.1.2	Makefile	125	9.1	简单的单服务器通话	151
8.1.3	创建 add(int,int) 函数	126	9.2	处理跨多数据库的成功分表	157
8.1.4	add_func.sql.in	126	9.2.1	什么扩展计划有用和什么时候有用	158
8.1.5	关于写 C 函数的总结	127	9.2.2	跨多服务器的数据分区	158
8.2	为 add(int, int) 添加功能	127	9.2.3	PL/Proxy——分区语言	162
8.2.1	NULL 参数的智能处理	128	9.2.4	从单数据库移动数据到分区的数据库	168
8.2.2	与任何数量的参数一起运作	129	9.3	小结	169
8.3	C 函数编写的基础指南	134			
8.4	来自 C 函数的错误报告	136			

<b>第10章 发布自己的PostgreSQL 扩展程序</b>	170
10.1 什么时候创建扩展程序	170
10.2 未封装的扩展程序	171
10.3 扩展程序版本	172
10.4 .control 文件	173
10.5 构建扩展程序	173
10.6 安装扩展程序	174
10.7 发布扩展程序	175
10.7.1 关于 PostgreSQL Extension Network 的简介	175
10.7.2 注册以发布扩展程序	176
10.7.3 创建扩展项目的 简单方法	178
10.7.4 提供扩展程序的 相关元数据	179
10.7.5 编写扩展代码	182
10.7.6 创建程序包	183
10.7.7 向 PGXN 提交程序包	183
10.8 安装 PGXN 上的 扩展程序	185
10.9 小结	185

## PostgreSQL 服务器简介

如果你认为 PostgreSQL 服务器仅仅是一个存储系统，和它交流的唯一办法就是通过 SQL 语句，那么你就严重低估了它的特性。这仅仅是这个数据库的特性之一。

PostgreSQL 服务器是个强大的架构，它可以用来完成各种各样的数据处理，甚至包括一些非数据服务器的工作。它是一个服务器平台，你可以在这个平台上对各种流行的编程语言开发的函数或库进行简单的组合与匹配。我们来看一下这种复杂的多语言工作顺序：

1) 调用以 Perl 编写的字符串解析函数。

2) 把字符串转换成 XSLT，并使用 JavaScript 处理转换结果。

3) 从外部时间标记服务，比如 [www.guardtime.com](http://www.guardtime.com)，请求一个安全时间标记，并使用它们提供的 C 语言版本的 SDK。

4) 编写 Python 函数，用数字的形式表示结果。

以上流程可以借助几种现成的服务器程序设计语言，通过一系列简单的函数调用来实现。为了完成这样的工作，开发者仅仅需要调用一个 PostgreSQL 函数，而不必在乎数据在语言和库文件之间是如何传送的，比如：

```
SELECT convert_to_xslt_and_sign(raw_data_string);
```

本书会讨论 PostgreSQL 服务器程序设计的几个方面。PostgreSQL，如其他更强大的数据库系统一样，拥有所有原生的服务端程序设计特性，如触发器，每当数据变更时，便进行自动化动作调用。同时，PostgreSQL 拥有独有的特性，包括重写内嵌行为的强大能力，也包括非常基础的运算符。我们列举这些定制功能。

使用 C 语言，编写用户定义函数 (UDF)，来完成复杂的计算：

□ 添加复杂的约束条件，确保服务器中的数据满足指导原则。

- 使用多种语言创建触发器，针对其他表做出相应的变更，记录各种动作，或者如果动作不符合一定的准则，禁止动作发生。
- 在数据库中定义新的数据类型或运算符。
- 使用 PostGIS 包中定义的地形类型。
- 针对现存的或者新的数据类型，添加你自己的索引访问方法，来保证更高效的查询操作。

对于这些特性，你又能做什么呢？这里有无限的可能，正如下面列出的这些：

- 编写数据抽取函数，从结构化数据（如 XML 或 JSON）中获取最令人感兴趣的部分，而不需要将全部（可能非常大）的文档传送到客户端应用程序。
- 异步处理事件，比如在不拖慢主程序的情况下发送邮件。你可以为用户信息的改变创建一个邮件序列，这个序列被触发器所控制。每当应用程序进程被通知的时候，独立的邮件发送进程可以使用这些数据。

本章剩下的部分继而对一系列通用数据管理任务进行了详细阐述，展现了这些任务如何通过一个健壮而又优雅的服务器程序设计方法得以解决。

尽管本章对所引用的示例仅作了较为简单的备注，但所有例子均通过测试，可以正常运行。这些例子在这里的主要作用仅是展示服务器程序设计可以完成的各类事情。技术细节会在后续章节中进行进一步解释。

## 1.1 为什么在服务器中进行程序设计

开发者使用各种不同的语言进行程序开发，并且希望所编写的代码能够在任何环境下运行。当编写应用程序的时候，一些程序员会坚守这样的信条：他们认为服务端应用程序里面的处理逻辑应尽可能多地被推送到客户端。因此，我们经常能见到这样一种情况，即越来越多的应用程序会在浏览器中使用 JavaScript。还有的情况则是把处理逻辑放置在中间层，然后通过应用程序服务器来处理业务规则。这些实际上都是设计应用程序的各种有效方式，那么为什么还要在数据库服务器中进行程序设计呢？

让我们从一个简单的例子开始。许多应用程序会涉及一张客户列表，这些客户的账户中有账户余额。我们将使用这个示例模式和数据：

```
CREATE TABLE accounts(owner text, balance numeric);
INSERT INTO accounts VALUES ('Bob',100);
INSERT INTO accounts VALUES ('Mary',200);
```

当我们使用数据库时，最常用的方式就是使用 SQL 查询和数据库进行交互。如果你想从 Bob 的账户转移 14 美元到 Mary 的账户，你可以通过简单的 SQL 语句实现：

```
UPDATE accounts SET balance = balance - 14.00 WHERE owner = 'Bob';
UPDATE accounts SET balance = balance + 14.00 WHERE owner = 'Mary';
```

但是，你要确保 Bob 的账户有足够的余额（或存款）。这样的确认非常重要，因为一旦出现任何事件节点的失败，就会导致事务不被触发。因此，考虑到这一点，在应用程序开发中，以上的代码片段就会变成这样：

```
BEGIN;
SELECT amount FROM accounts WHERE owner = 'Bob' FOR UPDATE;
-- 在应用程序中核对账户余额实际上大于 14 美元
UPDATE accounts SET amount = amount - 14.00 WHERE owner = 'Bob';
UPDATE accounts SET amount = amount + 14.00 WHERE owner = 'Mary';
COMMIT;
```

但是玛丽一定有账户吗？即便她没有账户，最后的 UPDATE 语句仍然会成功，但是却更新了 0 行记录。如果核对出现失败状况，那么你应该做 ROLLBACK，而不是 COMMIT。一旦你按照这样的流程，对所有客户端完成了转账的任务，新的需求又会出现。也许这次需求是要求把最小的可转移金额限制为 5 美元，这时候你就需要再次检查所有客户端中的所有代码。

所以你是否可以做些什么，使得所有这些工作更加容易管理、更加安全和更加强健？这就是服务器程序设计可以做到的事情，它可以在自动在数据库服务器上执行代码。你可以把计算、核对和数据操作全部转移到一个位于服务器上的用户定义函数里面（UDF）。这样做不仅仅保证了你只需要管理一份操作逻辑，同时也使得工作更加快捷，因为此时你不再需要在服务器与客户端之间来回穿梭。如果需要的话，你甚至只需要确保仅仅是那些必需的信息被传送到数据库之外。比如，对于大多数客户端应用程序而言，它们并不需要知道 Bob 账户上究竟有多少余额。大多数情况下，这些客户端应用程序仅仅需要知道账户上是否有足够的余额可用于转账，或者更简明扼要一点，它们只需要了解这次交易是否可以成功，仅此信息足矣。

## 使用 PL/pgSQL 进行完整性检查

PostgreSQL 有它自己的开发语言，叫做 PL/pgSQL。PL/pgSQL 的主要目的就是轻松地与 SQL 语句集成在一起。PL 是 programming language 的简称，意思是程序设计语言。PL 仅仅是诸多可用于服务器开发语言中的一种。而 pgSQL 则是 PostgreSQL 的缩写。

与基础 SQL 不同，PL/pgSQL 包括了程序化的元素，比如在 PL/pgSQL 中可以使用 if / then/else 语句和循环功能。你可以轻松地执行 SQL 语句，甚至对 SQL 语句的结果进行循环操作。

应用程序中所需要进行的完整性检查可以通过 PL/pgSQL 函数来完成。这种函数包括了 3 个参数：付费人的名字、收款人的名字和付费金额。这个例子同时返回这次付费的状态：

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION transfer(
    i_payer text,
    i_recipient text,
    i_amount numeric(15,2))
RETURNS text
AS
$$
DECLARE
    payer_bal numeric;
BEGIN
    SELECT balance INTO payer_bal
        FROM accounts
    WHERE owner = i_payer FOR UPDATE;
    IF NOT FOUND THEN
        RETURN 'Payer account not found';
    END IF;
    IF payer_bal < i_amount THEN
        RETURN 'Not enough funds';
    END IF;

    UPDATE accounts
        SET balance = balance + i_amount
        WHERE owner = i_recipient;
    IF NOT FOUND THEN
        RETURN 'Recipient does not exist';
    END IF;

    UPDATE accounts
        SET balance = balance - i_amount
        WHERE owner = i_payer;
    RETURN 'OK';
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;

```

假设你在之前并未使用过先前建议的 UPDATE 语句，这里提供使用这个函数的一些例子：

```

postgres=# SELECT * FROM accounts;
   owner |  balance
-----+-----
    Bob  |      100
   Mary |      200
(2 rows)

postgres=# SELECT * FROM transfer('Bob','Mary',14.00);
   transfer
-----
    OK
(1 row)

```

```
postgres=# SELECT * FROM accounts;
 owner | balance
-----+-----
 Mary  | 214.00
 Bob   | 86.00
(2 rows)
```

该应用程序应该检查返回码，并且决定如何处理这些错误。只要程序设定了拒绝任何意外值，你就可以通过扩展这个函数，去做更多的检查工作，比如最小可转账金额，并确保这个可以避免执行。这里有3个可能会返回的错误：

```
postgres=# SELECT * FROM transfer('Fred','Mary',14.00);
          transfer
-----
 Payer account not found
(1 row)

postgres=# SELECT * FROM transfer('Bob','Fred',14.00);
          transfer
-----
 Recipient does not exist
(1 row)

postgres=# SELECT * FROM transfer('Bob','Mary',500.00);
          transfer
-----
 Not enough funds
(1 row)
```

为了使这些检查始终有效，你需要让所有的转账操作通过函数来执行，而不是手动使用SQL语句来改变这些值。

## 1.2 关于本书的代码示例

这里输出显示的示例都是使用PostgreSQL的psql工具创建的，psql工具通常是在Linux系统上运行的。如果你使用一个GUI工具（比如pgAdmin3）去访问服务器，绝大多数的代码同样是生效的。当你看见以下的代码行时：

```
postgres=# SELECT 1;
```

postgres=# 部分是psql命令显示的提示。

本书中的例子已经在PostgreSQL 9.2中测试通过，它们应该可以在PostgreSQL 8.3或更高版本中运行。相比PostgreSQL最近几个版本上的服务器程序设计，其实并没有发生多少根本性的改变。但PostgreSQL语法变得越来越严谨了，从而降低了服务器开发代码中错误的概率。鉴于这些改变本身，新版本上的大多数代码依然可以在老版本上运行，除非代

码中使用了非常新的特性。然而，由于最近强化的一些限制，老版本的代码很容易出现运行失败的状况。

## 切换到扩展显示

当使用 psql 工具执行查询的时候，PostgreSQL 通常使用竖直对齐的列的形式，输出结果：

```
$ psql -c "SELECT 1 AS test"
test
-----
1
(1 row)
```

```
$ psql
psql (9.2.1)
Type "help" for help.
```

```
postgres=# SELECT 1 AS test;
test
-----
1
(1 row)
```

当你看到一个输出时，你可以辨别出它是否属于一个规则的输出，因为这个输出会以行数显示结束。

这类输出较难融入到像本书这样的文本中。而通过调用扩展显示，输出结果便可以轻松显示出来。这种方式将每一列拆分到隔离的行中。你可以通过 -x 命令行或者发送 \x 到 psql 程序来切换到扩展显示模式。下面是两种方法的例子：

```
$ psql -x -c "SELECT 1 AS test"
-[ RECORD 1 ]
test | 1
```

```
$ psql
psql (9.2.1)
Type "help" for help.
```

```
postgres=# \x
Expanded display is on.
postgres=# SELECT 1 AS test;
-[ RECORD 1 ]
test | 1
```

请注意，扩展输出并没有显示行数，而是统计了每个输出的行数。为了节省空间，本书中并不是所有例子都会显示扩展输出。如果你看到 rows 或 RECORD，便可识别你看到的是哪种类型。在一般情况下，这种扩展模式是比较受欢迎的，只是查询的输出太长，超出的本书的版面宽度。

## 1.3 超越简单函数

服务器程序设计可以被看做几个不同的事情。服务器程序设计不仅仅是编写服务端函数。在服务器上你可以处理许多其他的事情，而这些事情都能被当作是程序设计。

### 使用运算符完成数据比较

对于更多复杂的任务，你可以定义自己的类型、操作符，并且可以从一种类型转换到另外一种类型，这种转换可以让你完成苹果与橘子的价值对比。

如下例所示，你可以定义类型 fruit\_qty 来表示水果的数量，并且告诉 PostgreSQL 可以用来比较苹果与橘子的价值，比如假设一个橘子等于 1.5 个苹果的价值，然后把苹果转换为橘子：

```
postgres=# CREATE TYPE FRUIT_QTY AS (name TEXT, qty INT);

postgres=# SELECT ('APPLE', 3)::FRUIT_QTY;
fruit_quantity
-----
(APPLE,3)
(1 row)

CREATE FUNCTION fruit_qty_larger_than(left_fruit FRUIT_QTY,
                                         right_fruit FRUIT_QTY)
RETURNS BOOL
AS $$

BEGIN
    IF (left_fruit.name = 'APPLE' AND right_fruit.name = 'ORANGE')
    THEN
        RETURN left_fruit.qty > (1.5 * right_fruit.qty);
    END IF;
    IF (left_fruit.name = 'ORANGE' AND right_fruit.name = 'APPLE')
    THEN
        RETURN (1.5 * left_fruit.qty) > right_fruit.qty;
    END IF;
    RETURN left_fruit.qty > right_fruit.qty;
END;
$$
LANGUAGE plpgsql;

postgres=# SELECT fruit_qty_larger_than('("APPLE", 3)::FRUIT_
QTY, ("ORANGE", 2)::FRUIT_QTY);
fruit_qty_larger_than
-----
f
(1 row)
```

```

postgres=# SELECT fruit_qty_larger_than('("APPLE", 4)::FRUIT_QTY,
                                         ("ORANGE", 2)::FRUIT_QTY);
               fruit_qty_larger_than
-----
               t
(1 row)

CREATE OPERATOR > (
    leftarg = FRUIT_QTY,
    rightarg = FRUIT_QTY,
    procedure = fruit_qty_larger_than,
    commutator = >
);

postgres=# SELECT ('("ORANGE", 2)::FRUIT_QTY > ('("APPLE", 2)::FRUIT_QTY;
?column?
-----
               t
(1 row)

postgres=# SELECT ('("ORANGE", 2)::FRUIT_QTY > ('("APPLE", 3)::FRUIT_QTY;
?column?
-----
               f
(1 row)

```

## 1.4 使用触发器管理相关数据

服务器程序设计也包括了对自动化的动作（触发器）的设定。设定了自动化动作后，数据库中的一些操作便可触发其他一些事情也跟随发生。例如，你可以设定一个处理过程，一边对一些商品进行供给，一边在库存表里进行自动预订处理。

所以，让我们创建一个水果库存表：

```

CREATE TABLE fruits_in_stock (
    name text PRIMARY KEY,
    in_stock integer NOT NULL,
    reserved integer NOT NULL DEFAULT 0,
    CHECK (in_stock between 0 and 1000),
    CHECK (reserved <= in_stock)
);

```

这里，CHECK 约束对一些基本规则的执行进行了限制：你不能有多于 1000 的水果库存（太多了可能会坏掉），你也不能有负的库存，同时你不能为别人供给多余当前库存的水果。

```

CREATE TABLE fruit_offer (
    offer_id serial PRIMARY KEY,
    recipient_name text,
    offer_date timestamp default current_timestamp,
    fruit_name text REFERENCES fruits_in_stock,
    offered_amount integer
);

```

这个offer表为每次供给设定一个ID(保证你可以区分以后的每一次供给)、接收者、日期、供给水果的名称和供应数量。

为了完成自动化的库存管理，你首先需要一个触发器函数。这个函数可以实现管理逻辑：

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION reserve_stock_on_offer () RETURNS trigger
AS $$$
BEGIN
    IF TG_OP = 'INSERT' THEN
        UPDATE fruits_in_stock
        SET reserved = reserved + NEW.offered_amount
        WHERE name = NEW.fruit_name;
    ELSIF TG_OP = 'UPDATE' THEN
        UPDATE fruits_in_stock
        SET reserved = reserved - OLD.offered_amount
            + NEW.offered_amount
        WHERE name = NEW.fruit_name;
    ELSIF TG_OP = 'DELETE' THEN
        UPDATE fruits_in_stock
        SET reserved = reserved - OLD.offered_amount
        WHERE name = OLD.fruit_name;
    END IF;
    RETURN NEW;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;

```

你必须告诉PostgreSQL，在每次供应行被改变的时候，调用这个函数：

```

CREATE TRIGGER manage_reserve_stock_on_offer_change
AFTER INSERT OR UPDATE OR DELETE ON fruit_offer
    FOR EACH ROW EXECUTE PROCEDURE reserve_stock_on_offer();

```

这步完成之后，我们准备测试一下它的功能。首先，我们将添加一些水果到库存中：

```
INSERT INTO fruits_in_stock(name,in_stock)
```

然后，我们核对这个库存(这里使用扩展显示)：

```

postgres=# \x
Expanded display is on.
postgres=# SELECT * FROM fruits_in_stock;
-[ RECORD 1 ]-----
name      | APPLE

```

```

in_stock | 500
reserved | 0
-[ RECORD 2 ]----
name     | ORANGE
in_stock | 500
reserved | 0

```

接下来，我们进行一次供应动作，将 100 个苹果供应给 Bob：

```

postgres=# INSERT INTO fruit_offer(recipient_name,fruit_name,offered_
amount) VALUES('Bob','APPLE',100);
INSERT 0 1
postgres=# SELECT * FROM fruit_offer;
-[ RECORD 1 ]-----
offer_id      | 1
recipient_name | Bob
offer_date    | 2013-01-25 15:21:15.281579
fruit_name    | APPLE
offered_amount | 100

postgres=# SELECT * FROM fruits_in_stock;
-[ RECORD 1 ]-----
name     | ORANGE
in_stock | 500
reserved | 0
-[ RECORD 2 ]-----
name     | APPLE
in_stock | 500
reserved | 100

```

在核对库存这一步，我们看到 100 个苹果确实已经预订了：

```

postgres=# SELECT * FROM fruits_in_stock;
-[ RECORD 1 ]-----
name     | ORANGE
in_stock | 500
reserved | 0
-[ RECORD 2 ]-----
name     | APPLE
in_stock | 500
reserved | 100

```

如果我们改变了供应数量，预订情况就会跟着变化：

```

postgres=# UPDATE fruit_offer SET offered_amount = 115 WHERE offer_id
= 1;
UPDATE 1
postgres=# SELECT * FROM fruits_in_stock;
-[ RECORD 1 ]-----
name     | ORANGE
in_stock | 500
reserved | 0
-[ RECORD 2 ]-----

```

name	APPLE
in_stock	500
reserved	100

我们也获得了一些额外的好处。首先，因为库存表上的约束，你不能卖出已经预订的苹果：

```
postgres=# UPDATE fruits_in_stock SET in_stock = 100 WHERE name =
'APPLE';
ERROR: new row for relation "fruits_in_stock" violates check
constraint "fruits_in_stock_check"
DETAIL: Failing row contains (APPLE, 100, 115).
```

更有趣的是，虽然这个约束是在另外一张表上，但是你也不能预订超出你现有数量的苹果：

```
postgres=# UPDATE fruit_offer SET offered_amount = 1100 WHERE offer_id
= 1;
ERROR: new row for relation "fruits_in_stock" violates check
constraint "fruits_in_stock_check"
DETAIL: Failing row contains (APPLE, 500, 1100).
CONTEXT: SQL statement "UPDATE fruits_in_stock
SET reserved = reserved - OLD.offered_amount
+ NEW.offered_amount
WHERE name = NEW.fruit_name"
PL/pgSQL function reserve_stock_on_offer() line 8 at SQL statement
```

当你最终决定删除供应的时候，之前的预订则会被解除：

```
postgres=# DELETE FROM fruit_offer WHERE offer_id = 1;
DELETE 1
postgres=# SELECT * FROM fruits_in_stock;
-[ RECORD 1 ]-----
name      | ORANGE
in_stock  | 500
reserved  | 0
-[ RECORD 2 ]-----
name      | APPLE
in_stock  | 500
reserved  | 0
```

在现实的系统中，你可能在删除之前，要先获取之前的供应情况。

## 1.5 审核更改

如果你需要知道谁对数据做了什么操作、是在什么时候进行的操作，一个简单的方法就是用日志来记录每个在重要的数据表上执行的动作。

这里至少有两种等效的方法可进行这种审核：

□ 使用审核触发器

- 仅允许通过函数的方式来访问表，并且仅在函数内完成审核  
接下来，我们将分别看一下每种方法的简单示例。

首先，我们创建这些表：

```
CREATE TABLE salaries(
    emp_name text PRIMARY KEY,
    salary integer NOT NULL
);

CREATE TABLE salary_change_log(
    changed_by text DEFAULT CURRENT_USER,
    changed_at timestamp DEFAULT CURRENT_TIMESTAMP,
    salary_op text,
    emp_name text,
    old_salary integer,
    new_salary integer
);
REVOKE ALL ON salary_change_log FROM PUBLIC;
GRANT ALL ON salary_change_log TO managers;
```

在一般情况下，并不希望用户可以更改审核日志，所以你只会把权限给到管理员，让他们可以访问这些表。而如果你计划让用户直接访问薪资表，为了达到审核的目的，你应该在这个表上放置一个触发器：

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION log_salary_change () RETURNS trigger AS $$ 
BEGIN
    IF TG_OP = 'INSERT' THEN
        INSERT INTO salary_change_log(salary_op,emp_name,new_salary)
        VALUES (TG_OP,NEW.emp_name,NEW.salary);
    ELSIF TG_OP = 'UPDATE' THEN
        INSERT INTO salary_change_log(salary_op,emp_name,old_salary,new_salary)
        VALUES (TG_OP,NEW.emp_name,OLD.salary,NEW.salary);
    ELSIF TG_OP = 'DELETE' THEN
        INSERT INTO salary_change_log(salary_op,emp_name,old_salary)
        VALUES (TG_OP,NEW.emp_name,OLD.salary);
    END IF;
    RETURN NEW;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql SECURITY DEFINER;

CREATE TRIGGER audit_salary_change
AFTER INSERT OR UPDATE OR DELETE ON salaries
    FOR EACH ROW EXECUTE PROCEDURE log_salary_change ();
```

现在，让我们测试一下一些薪资管理：

```
postgres=# INSERT INTO salaries values('Bob',1000);
INSERT 0 1
postgres=# UPDATE salaries set salary = 1100 where emp_name = 'Bob';
UPDATE 1
postgres=# INSERT INTO salaries values('Mary',1000);
```

```

INSERT 0 1
postgres=# UPDATE salaries set salary = salary + 200;
UPDATE 2
postgres=# SELECT * FROM salaries;
-[ RECORD 1 ]-
emp_name | Bob
salary    | 1300
-[ RECORD 2 ]-
emp_name | Mary
salary    | 1200

```

为了达到审核的目的，每个更改都被保存到薪资变更日志表：

```

postgres=# SELECT * FROM salary_change_log;
-[ RECORD 1 ]-----
changed_by | frank
changed_at | 2012-01-25 15:44:43.311299
salary_op  | INSERT
emp_name   | Bob
old_salary |
new_salary | 1000
-[ RECORD 2 ]-----
changed_by | frank
changed_at | 2012-01-25 15:44:43.313405
salary_op  | UPDATE
emp_name   | Bob
old_salary | 1000
new_salary | 1100
-[ RECORD 3 ]-----
changed_by | frank
changed_at | 2012-01-25 15:44:43.314208
salary_op  | INSERT
emp_name   | Mary
old_salary |
new_salary | 1000
-[ RECORD 4 ]-----
changed_by | frank
changed_at | 2012-01-25 15:44:43.314903
salary_op  | UPDATE
emp_name   | Bob
old_salary | 1100
new_salary | 1300
-[ RECORD 5 ]-----
changed_by | frank
changed_at | 2012-01-25 15:44:43.314903
salary_op  | UPDATE
emp_name   | Mary
old_salary | 1000new_salary | 1200

```

另一方面，你可能并不希望每个人都有直接访问薪资表的权限，在这种情况下，你可

以执行以下语句：

```
REVOKE ALL ON salaries FROM PUBLIC;
```

同时，你给用户仅仅开放了两个函数的访问权限：一个是为了让任何用户可以查询薪资，另外一个是为了更改薪资，这个是只有管理员才可以操作的。

这些函数本身都有所有基础表的访问权限，因为它们被声明为安全定义者（SECURITY DEFINER），也就意味着它们执行的时候有创建者的权限。

薪资查看函数如下所示：

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION get_salary(text)
RETURNS integer
AS $$

-- 如果你查看了其他人的薪资，这个操作就会被日志记录下来
INSERT INTO salary_change_log(salary_op,emp_name,new_salary)
SELECT 'SELECT',emp_name,salary
FROM salaries
WHERE upper(emp_name) = upper($1)
AND upper(emp_name) != upper(CURRENT_USER); -- 不记录查看自己薪资的操作
-- 返回被请求的薪资
SELECT salary FROM salaries WHERE upper(emp_name) = upper($1);
$$ LANGUAGE SQL SECURITY DEFINER;
```

请注意，这里我们实现了一个“软件安全”（soft security）的方法，即你可以查看别人的薪资，但是你必须为这件事情负责，就是说，仅仅当你需要这样做时才有必要进行这样的操作，因为管理员将会知道你已经查看过别人的薪资。

`set_salary()` 函数抽象出一个需求——检查用户是否存在，如果用户不存在，则创建用户。如果将用户的薪资设置为 0，则会将用户从薪资表中删除。因此这个接口是被彻底简化的，这些函数的客户端应用程序需要知道的和完成的则会更少：

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION set_salary(i_emp_name text, i_salary int)
RETURNS TEXT AS $$

DECLARE
    old_salary integer;
BEGIN
    SELECT salary INTO old_salary
    FROM salaries
    WHERE upper(emp_name) = upper(i_emp_name);
    IF NOT FOUND THEN
        INSERT INTO salaries VALUES(i_emp_name, i_salary);
        INSERT INTO salary_change_log(salary_op,emp_name,new_salary)
        VALUES ('INSERT',i_emp_name,i_salary);
        RETURN 'INSERTED USER ' || i_emp_name;
    ELSIF i_salary > 0 THEN
        UPDATE salaries
        SET salary = i_salary
        WHERE upper(emp_name) = upper(i_emp_name);
        INSERT INTO salary_change_log
```

```

        (salary_op,emp_name,old_salary,new_salary)
    VALUES ('UPDATE',i_emp_name,old_salary,i_salary);
    RETURN 'UPDATED USER ' || i_emp_name;
ELSE -- salary set to 0
    DELETE FROM salaries WHERE upper(emp_name) = upper(i_emp_
name);
    INSERT INTO salary_change_log(salary_op,emp_name,old_salary)
    VALUES ('DELETE',i_emp_name,old_salary);
    RETURN 'DELETED USER ' || i_emp_name;
END IF;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql SECURITY DEFINER;

```

现在删除 audit 触发器（否则，更改会被日志记录两次），并测试新的功能：

```
postgres=# DROP TRIGGER audit_salary_change ON salaries;
```

```
DROP TRIGGER
```

```
postgres=#

```

```
postgres=# SELECT set_salary('Fred',750);
-[ RECORD 1 ]-----
```

```
set_salary | INSERTED USER Fred
```

```
postgres=# SELECT set_salary('frank',100);
```

```
-[ RECORD 1 ]-----
```

```
set_salary | INSERTED USER frank
```

```
postgres=# SELECT * FROM salaries ;
```

```
-[ RECORD 1 ]---
```

```
emp_name | Bob
```

```
salary | 1300
```

```
-[ RECORD 2 ]---
```

```
emp_name | Mary
```

```
salary | 1200
```

```
-[ RECORD 3 ]---
```

```
emp_name | Fred
```

```
salary | 750
```

```
-[ RECORD 4 ]---
```

```
emp_name | frank
```

```
salary | 100
```

```
postgres=# SELECT set_salary('mary',0);
```

```
-[ RECORD 1 ]-----
```

```
set_salary | DELETED USER mary
```

```
postgres=# SELECT * FROM salaries ;
```

```
-[ RECORD 1 ]---
```

```
emp_name | Bob
```

```
salary | 1300
```

```
-[ RECORD 2 ]---
```

```
emp_name | Fred
```

```

salary | 750
-[ RECORD 3 ]---
emp_name | frank
salary | 100
postgres=# SELECT * FROM salary_change_log ;
...
-[ RECORD 6 ]-----
changed_by | gsmith
changed_at | 2013-01-25 15:57:49.057592
salary_op | INSERT
emp_name | Fred
old_salary |
new_salary | 750
-[ RECORD 7 ]-----
changed_by | gsmith
changed_at | 2013-01-25 15:57:49.062456
salary_op | INSERT
emp_name | frank
old_salary |
new_salary | 100
-[ RECORD 8 ]-----
changed_by | gsmith
changed_at | 2013-01-25 15:57:49.064337
salary_op | DELETE
emp_name | mary
old_salary | 1200
new_salary |

```

## 1.6 数据清洗

我们注意到雇员的姓名经常会出现不一致的大小写。如果通过添加约束，大小写的一致性就很容易得以加强：

```
CHECK (emp_name = upper(emp_name))
```

然而，更好的办法是只要确保名字被另存为大写字母就可以了。而完成这样的操作，最简单的办法就是通过触发器：

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION uppercase_name ()
RETURNS trigger AS $$ 
BEGIN
    NEW.emp_name = upper(NEW.emp_name);
    RETURN NEW;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;

CREATE TRIGGER uppercase_emp_name
BEFORE INSERT OR UPDATE OR DELETE ON salaries
FOR EACH ROW EXECUTE PROCEDURE uppercase_name ();

```

现在，针对新雇员的下一个 `set_salary()` 函数调用，将会使用大写字母的形式插入 `emp_name`:

```
postgres=# SELECT set_salary('arnold',80);
-[ RECORD 1 ]-----
set_salary | INSERTED USER arnold
```

由于大写的转换发生在触发器内部，因此函数返回仍然显示为小写的名字，但是在数据库中它却是大写的：

```
postgres=# SELECT * FROM salaries ;
-[ RECORD 1 ]---
emp_name | Bob
salary   | 1300
-[ RECORD 2 ]---
emp_name | Fred
salary   | 750
-[ RECORD 3 ]---
emp_name | frank
salary   | 100
-[ RECORD 4 ]---
emp_name | ARNOLD
salary   | 80
```

在修复了现存的混合大小写的 `emp_names` 之后，我们可以通过添加约束的形式，确保以后所有的 `emp_names` 都会显示为大写。

```
postgres=# update salaries set emp_name = upper(emp_name) where not
emp_name = upper(emp_name);
UPDATE 3
postgres=# alter table salaries add constraint emp_name_must_be_
uppercase
postgres-# CHECK (emp_name = upper(emp_name));
ALTER TABLE
```

如果这个行为需要用于更多的地方，一个合理的做法就是定义一个新类型 `u_text`，而这个类型一直作另存为大写形式。针对这个方法，我们将在 8.6.1 节中做更深入的阐述。

## 1.7 定制排序方法

本章最后一个例子是关于使用函数来进行不同方式的排序。

假设我们接到一个任务是仅仅通过元音来对单词进行排序，并且还需要做的是，在排序的时候让最后一个元音更加具有决定性。虽然这个任务初看起来真的很复杂，但是使用以下函数便可以很容易地解决问题：

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION reversed_vowels(word text)
RETURNS text AS $$%
vowels = [c for c in word.lower() if c in 'aeiou']
vowels.reverse()
return ''.join(vowels)
```

```
$$ LANGUAGE plpythonu IMMUTABLE;

postgres=# select word,reversed_vowels(word) from words order by
reversed_vowels(word);
   word    | reversed_vowels
-----+-----
Abracadabra | aaaaaa
Great        | ae
Barter       | ea
Revolver     | eoe
(4 rows)
```

这里最大的好处是你可以在索引的定义里面，使用这个新的函数：

```
postgres=# CREATE INDEX reversed_vowels_index ON words (reversed_
vowels(word));
CREATE INDEX
```

这样每次在 WHERE 子句或者 ORDER BY 中使用 reversed\_vowels(word) 函数，系统就会自动使用这个索引。

## 1.8 程序设计最佳实践

开发应用程序软件是复杂的。一些有助于管理复杂性的方法非常流行，以至于它们被赋予容易记忆的首字母缩略词。接下来，我们就会介绍一些这样的规则，并介绍如何在服务器程序设计时更好地遵守这些规则。

### 1.8.1 KISS——尽量简单 (keep it simple stupid)

成功的程序设计的一个重要技术就是编写简单的代码。也就是，你编写的代码 3 年以后仍然可以很容易理解，并且其他人也可以理解。这种方式并不一定总是行得通，但是尽可能用最简单的方法编写代码总是有意义的。由于各种原因，比如速度、代码压缩或者炫耀你有多聪明等，你都有可能再次编写这些代码的某些部分。同时，总是以简单的方式编写代码，能让你绝对相信这些代码就是你想要的。这样做不仅让你的编程工作更加快捷，同时当你想尝试更多高级的方法去完成同样的事情时，你也可以有对比的东西。

并且记住，调试比编写代码更加困难。所以如果你把代码写得非常复杂，在调试代码时你会非常头疼。

编写一个返回函数的集合通常比一个复杂的查询更容易。是的，这样的函数可能比通过单个复杂查询语句实现的方式运行更慢，原因是对于作为函数编写的代码，优化器的作用很有限，但是这样的速度应该足以满足你的需求。如果你需要更快的速度，你可以一点点重构这段代码，将部分函数加入到更大的查询中，这样优化器就可以获取更好的查询计划，直到运行效率再次变得可以接受。

记住，在大多数情况下，你并不需要最快的代码。对于你的客户或者老板，最好的代码是及时有效地完成工作。

### 1.8.2 DRY——不要写重复的代码 (*don't repeat yourself*)

这点可以理解为努力保证每个业务逻辑的代码段都编写一次，并且把完成任务的代码放到正确的位置。

这样做可能会有些难度，例如，你想对浏览器的 Web 表单做一些检查，但是在数据库里还会做一次最后的检查。但是作为一个通用准则，它仍然是非常有效的。

服务器程序设计这时候就派上用场了。如果你的数据操作代码位于贴近数据的数据库内，所有用户便可容易地访问数据，这样你就不需要管理一份相似的代码，这些代码可能是用一个 C++Windows 程序、两个 PHP 网站和一个 Python 脚本的分支开发的，并用来完成每天的管理任务。如果它们中的任何一种方式需要对一个客户表做些什么事情，它们仅仅需要调用：

```
SELECT * FROM do_this_thing_to_customers(arg1, arg2, arg3);
```

这样就搞定了！

### 1.8.3 YAGNI——你并不需要它 (*you ain't gonna need it*)

换句话说，不要做得比你确实需要的多。

你是否有种可怕的感觉你的客户并没有很好地注意到最终的数据库是什么样或数据库可以做什么，那么你必须坚持在数据库中所设计的一切是有益的。一个更好的办法是完成最小的开发，来满足当前的要求，但是在思路上要具有扩展性。当使用巨大的设想去实现一个大的产品要求时，很容易让自己陷入困境。

如果你通过函数来组织对数据库的访问，就很可能对业务逻辑做更大的修改，而不需要涉及前端应用程序代码。即使你已经 5 次改写这个函数并且两次改变过整个表结构，你的应用程序仍然只须执行 `SELECT * FROM do_this_thing_to_customers (arg1, arg2, arg3)`。

### 1.8.4 SOA——服务导向架构 (*service-oriented architecture*)

最初听说 SOA 通常来自于企业软件人员向你销售一组复杂的 SOAP 服务。但是 SOA 的本质是把你的软件平台组织为一套服务，这样客户端和其他服务就可以调用并执行某些定义好的原子任务，例如：

- 检查用户的密码与证书
- 给用户呈现他喜欢的网站列表
- 向用户售卖新的红色小狗项圈（附赠红色项圈小狗俱乐部的候补会员资格）

以上这些服务可以通过 SOAP 调用来实现，SOAP 调用同时带有相应的 WSDL 定义、包含 servlet 容器的 Java 服务器和复杂的管理框架。它们也可以是一系列 PostgreSQL 函数，这些函数带有一组参数并返回一组值。如果参数和返回值比较复杂，它们可以作为 XML 或 JSON 来进行传递。但是通常情况下，一组简单的标准 PostgreSQL 数据类型已经足够使用。在第 9 章中，我们将学习如何让这种基于 PostgreSQL 的 SOA 服务变得可以无限扩展。

### 1.8.5 类型的扩展

前面阐述的一些技术同样可用在其他的数据库系统上，但是 PostgreSQL 的扩展性绝不只限于这些内容。在 PostgreSQL 中，可以使用任何一种较为流行的脚本语言来编写用户定义函数（UDF）。也可以定义自己的类型，不仅仅局限于附有额外约束的标准类型，还包括其他成熟的新类型。

例如，荷兰的一家公司 MGRID 已经开发出衡量单位大小的数据类型，这样你就可以将 10km 除以 0.2 小时，得到 50km/h 的结果。当然，也可以将同样的结果转换为米每秒或者任何其他表示速率的单位。当然，也可以把它当做  $c$ （光速）的一小部分。

此类功能同时需要类型本身和重载后的操作数，这样如果你用距离除以时间，就可以知道结果是速率。你也需要用户定义的转换操作，它们是类型间自动或者手动调用的转换函数。

MGRID 开发这个数据类型是为了在医疗应用中推广使用，因为医疗应用中的误差成本实在过于昂贵——10ml 和 10cc 就会是致命的区别。但是通过使用一个相似的系统就可以避免许多灾难，比如使用了错误的单位就会输出糟糕的计算结果。如果这个单位总是和量同时出现，那么这种错误出现的可能性就几乎为零。当现有的指标已经无法解决你的问题时，如果你自己具备程序设计的能力，那么你也可以采用添加自定义索引的方法。PostgreSQL 内核已经包括了一套数量非常可观的索引类型，同时在内核之外，也已开发出了很多其他索引。

PostgreSQL 官方收录的最新索引方法是 KNN（K 邻近域）——一个智能的索引，它可以返回 K 行值，而这些值可以按照离搜索目标距离大小进行排序。KNN 的一个应用是模糊文本搜索，这里 KNN 用来对全文检索的结果进行排序，排序的依据是它们对检索项的匹配程度。在 KNN 之前，这种事是通过查询所有行记录来完成的，这个过程首先判断哪行数据匹配得更好，然后通过距离函数来排序并返回 K 个最佳值作为最终的结果。

如果使用 KNN 索引，这个索引的访问可以从按照期望的顺序返回行记录开始；所以这时候一个简单的 LIMIT K 函数将为你返回 K 个最佳匹配项。

也可以用 KNN 来计算真实的距离，比如，可以回答这样的问题“告诉我离中央火车站

最近的 10 家比萨店”。

正如你所见，索引类型与它们指示的数据类型本身是相互分离的。又如，与整型数组的指标元素一样的 GIN（通用倒排索引）可以用在全文检索中（同词干算法、词库和其他文本处理方法一起使用）。

## 1.9 关于缓存

对于服务端程序设计而言，另外一个可以派上用场的地方是用来缓存数值，这些数值的计算成本较高。这里采用的基本模式是：

- 1) 检查数值是否已经缓存。
- 2) 如果没有数值或者数值过于陈旧，那么计算并且进行数值缓存。
- 3) 返回缓存后的数值。

举个例子，计算一个公司的销售额便是一个非常适合缓存的项目。一家大型零售公司可能拥有 100 个仓库，其每天可能有百万级的个人销售交易记录。如果公司总部准备查看销售趋势，那相比于对每日百万级的交易数据进行汇总，有一种更高效的处理方法，那就是在仓库层级，将每天的销售数据进行预算算。

如果数值比较简单，比如从一个基于用户 ID 的单表查看一个用户的信息，你是不需要做任何事情的。当数值在 PostgreSQL 的内部页面缓存区进行缓存之后，所有对缓存值的查询都变得非常快速，以至于即使在一个非常高速的网络里，查询的大多数时间都花费在网络上，而不是当前的查询本身。在这种情况下，从 PostgreSQL 数据库获取数据的速度就跟从任何其他内存缓存（比如 memcached）一样快速，而且在进行缓存管理时也没有其他的开销。

另外一个使用缓存的例子是实现物化视图。这些视图只有在需要的时候才进行预算算，而不是每次都要从视图中进行查询。一些 SQL 数据库把物化视图作为一个分割开的数据库对象，但是在 PostgreSQL 中，你需要靠自己，使用其他数据库支持的特性将全部工序自动化。

## 1.10 总结——为什么在服务器中进行程序设计

我们在服务器端完成大部分数据操作编程工作，主要优势有以下几点。

### 1.10.1 性能

我们进行基于数据的计算几乎总是性能为王，也就是，我们会努力使获得数据的时间周期变得更短。通常在一个典型的数据密集型计算中，我们的大多数时间都集中花费在获

得数据上。因此，在计算中，如何使数据访问变得更快就是使整个计算过程变得更高效的最好方法。在我的笔记本电脑上，从 100000 行记录的数据库中，随机查询一行并返回客户端需要花费 2.2ms，但是在数据库内部获取数据，这个操作仅仅花费 0.12ms。这是快了 20 倍的性能表现，并且这是客户端与服务器在同一台使用 UNIX 套接字的机器上运行的结果。如果客户端与服务器之间使用了网络连接，那么这个差距将会变得更大。

一个真实的小故事：

我的一个朋友被叫到一家大公司帮忙（我确定你们肯定都知道这家公司，但是我不能告诉你你是哪家），公司希望能让他们的电子邮件发送程序运行得更快速。这家公司已经使用了最新的 Java EE 技术，实现了自己的电子邮件生成系统，首先从数据库获得数据，然后在服务间传送数据，并且进行几次的序列化与反序列化工作，最后在数据上进行 XSLT 转换从而产生电子邮件正文。最终的结果是他们每秒钟仅生成了几百封邮件，并且造成反应速度的严重下滑。

当我朋友重写这个进程的时候，他使用数据库内的 PL/Perl 函数格式化数据，并且使这个查询返回的是完全格式化的电子邮件，就这样，这个程序每秒钟突然开始涌出上万封的电子邮件，然后他们必须增加发送邮件程序的另一个副本，才能将这些邮件发送出去。

### 1.10.2 易于维护

如果所有的数据操作代码都位于数据库内，那么要么是数据库函数要么是视图，实际的升级过程就会变得非常简单。我们要完成所有这些操作，所需要的仅仅是运行一个 DLL 脚本（这些脚本重新定义了函数），这样所有的客户端就自动地使用最新的代码，而完成这样的过程不需要停机时间，也不需要几个前端系统和团队之间复杂的协调处理。

### 1.10.3 保证安全的简单方法

对于存在潜在风险的服务器，如果所有访问都采用函数方式，并且仅仅为数据库的用户授权他们所需的函数，其他函数均不授权，这样他们无法看到表数据，甚至不知道这些表的存在。所以即使当服务器被恶意破坏，用户可以做的事情也只是不停地调用同一个函数。而且，即便用户使用了自己编写的查询，比如 `SELECT * FROM users;` 来获取数据库中的所有数据，也不可能发生盗取密码、邮件或其他敏感信息的情况。

最重要的是，在服务器上开发程序是最有趣的。

## 1.11 小结

对于许多开发者而言，在数据库服务器上进行程序设计往往并不是他们首选的实现方式。但是因为这样的程序设计在应用程序队列里面有着独特的地位，使其有着非常强大的

竞争优势。通过把逻辑放到数据库内处理，你的程序会变得更快、更安全、更易于维护。通过使用服务器端的 PostgreSQL 程序设计，你可以：

- 使用函数让你的数据变得更为安全
- 使用触发器审核你的数据访问
- 使用定制化的数据类型来丰富你的数据
- 使用定制化的操作符来分析你的数据

而对于你在 PostgreSQL 中可实现的所有功能而言，以上这些仅仅只是一个开端。读完本书的剩余部分之后，你会学到许多其他方法。借助这些办法，你可以进行 PostgreSQL 内的程序设计，进而编写强大的应用程序。

## 服务器程序设计环境

在此之前，你可能已经了解过使用 PostgreSQL 的基本概念，但是现在我们将要回答这样一个问题：为什么人们选择 PostgreSQL 作为他们的开发平台？我非常愿意相信对于每个人来说，选择开发平台都是一个简单的决定，但是实际上并非如此。

作为初学者，我们应该摆脱这样一种乐观的想法，那就是任何人都出于技术原因，来选择某一种数据库平台。当然，我们都希望自己是客观的，我们是依据数据库平台在技术方面的绝对优势，对数据库平台做出我们最佳的选择。这种绝对优势会表明数据库平台的哪些特性是可以被利用的，并且和我们的应用程序是相关联的。然后，我们通过综合考量，确定一个最有利的平台。而对于我们所选择的平台其本身的不足之处，我们会通过权衡技术优势，建立应对措施和方案。事实上，我们在一开始往往并不会真正了解所有应用程序的要求，直到开发周期过半之后才会知晓。下面是造成这种情况的原因：

- 我们不知道应用程序将如何随着时间的推移而产生变化。许多创业型公司会跟随市场需求改变他们最初的想法，因为市场会告诉他们如何做出改变。
- 我们不知道应用程序到底会拥有多少用户，直到我们看到一些注册量，并且可以开始测量用户曲线。
- 我们不知道某个特定功能会有多么重要，直到我们得到用户反馈。事实是，我们真的不知道该应用程序的大部分长期用户需求，直到我们编写了第 2 版甚至第 3 版。

也就是说，除非你是个幸运儿，拥有一个能够编写出 alpha 版本的研发部门，并进行试推广，然后基于 alpha 版本的经验教训，编写下一个版本。可即使是这样，一旦应用程序被部署，你也不会知道真正的使用模式将会是什么样的。

在 PostgreSQL 社区里，我们通常会看到一些在提问的新用户，会发现他们其实并不是

找人帮忙做解答，其实他们自己早已经有了答案。在大多数情况下，他们是在对现有的行动计划寻求技术支撑。对他们而言，决策时间点早已经过去了。本章中，我将阐述的不是一个 TPC 基准测试，也不是关于 PostgreSQL 函数与存储过程的相对优点。坦率地说，在人们做出选择并试图证明自己的选择之前，没有人会真正关心这些事情。

本章包含了指导部分。对于这些指导内容，早在 1998 年当我选择 PostgreSQL 时，我就希望有人已经为我写好。

## 2.1 购置成本

当我们决定在应用队列中采用何种技术时，一个最大的考虑因素是购置成本。我见过许多画在白板上的应用架构。他们的技术团队会害羞地向我展示白板上的应用架构，但他们会通过试图降低软件许可成本，而证明设计的合理性。当谈到数据库环境的时候，我们通常的考虑对象有 Oracle、SQL Server、MySQL 和 PostgreSQL。Oracle 作为数据库领域的主导者，也是最昂贵的数据库产品。在低端市场，Oracle 确实有价格合理的产品，甚至免费的 Express 版本，但都是受限制的。大多数人都会需要低价产品之外的功能服务，如此他们就会考虑购买 Oracle 的企业版。这样通常就会大大提高购置成本，CFO 看到这个报价就会暴跳如雷，而你也就只能乖乖地回去重新设计你的解决方案，削减你的许可成本。

紧接着我们谈谈微软的 SQL Server。这是第一个合理可行的选择。Microsoft 网站已经列出了它的报价。此处不再赘述，因为报价单内容实在过多，完整列举会让本书的印刷时间至少延长 5 分钟，不过，SQL Server 采购成本的经验标准大概在 5000 美元，这个采购标准就足以让你运行一个网络能力模型。这个价格并不包括服务合约。在整个开发成本的预算中，这个报价应该还算是合理的，并没有太高的进入门槛。

然后，我们再谈到开源产品，它们是 MySQL 和 PostgreSQL。两者没有任何的成本，服务合约成本也为零。这是一个非常具有挑战的采购成本。

还记得我在本章开头聊到的，那些项目启动之后你还不清楚的事情吗？这里就是真正的过人之处。

你能承受失败。

这也是我想说的事情！

低采购成本是一个低失败成本的代名词。当我们为项目增加了所有各种未知项的时候，我们发现，在我们面前出现了一个相当好的机会，这个机会就是如果第一次迭代将不能满足市场的需求，我们需要有一种方法来快速抛弃它，没有长期合约，也不需要启动一个新项目而产生额外的费用。

如此，继第一个版本之后，项目经理从消费者那里汲取教训，继续下一个版本的开发迭代。在理想状态下，我们希望这个用户满意度的经验积累仅由非常低的成本换取回来，如此这个项目才可以开始茁壮成长。项目的后续版本才能大胆设计，并开始一个新的篇

章——实际情况本该如此，你不能将项目的成功寄希望于第一个版本的完美诞生。你绝对不能。

## 2.2 开发者的可用性

这一直是我开发生涯中的一个最快乐有趣的部分。我最近建议当地的一家公司，使用 PostgreSQL 进行报表系统的开发。这家公司想知道，如果他们选择了 PostgreSQL，公司里面是否有工作人员能够进行后续维护。于是我开始采访开发者，求证他们在 PostgreSQL 上的经验。

我：你使用过 PostgreSQL 吗？

开发人员 1：是的，我在最近一项工作中就使用过它。我用它来完成了一个产品实施的项目，但我不相信很多人都有这种经验。我们或许应该坚持使用 MySQL。

我：你使用过 PostgreSQL 吗？

开发人员 2：是的，我在最近一项工作中就使用过它。我用它来完成一个汇报的项目，但我不觉得很多人都有这种经验。我们或许应该坚持使用 MySQL。

当我采访完项目中七个关键的开发者之后，我发现唯一一个没有 PostgreSQL 实践经验的人是项目经理。由于项目经理在项目中并不需要有任何技术上的参与，所以他批准了 PostgreSQL 的选用方案。

PostgreSQL 是 Web 开发者们的一个肮脏的小秘密。如同他们处理加密解密一样，他们对 PostgreSQL 有着相同的熟悉程度。因为“只有那些高级用户”会使用它，而这些用户都会如同发烧友般地对 PostgreSQL 进行深入研究，并且他们会假定其他人都由于太“缺乏经验”，而不会去做同样的研究。每个人都试图对其他人“掩饰事实”。他们认为自己手头上使用的工具（MySQL）是一个牺牲品，他们借此去帮助缺乏经验的同事。滑稽的是，这些被帮助的家伙们也会认为，他们正在为其他人做出同样的牺牲。

经验总结：不再替“其他人”做选择。他和你一样的经验丰富、聪慧过人，或者他可能只是希望借此机会来提高自己的技能。

## 2.3 许可证书

甲骨文（Oracle）在收购了 MySQL 大约两个月之后，宣布了一项计划。该计划将开发分成两个阵营，一个是 MySQL 社区版，另一个是 MySQL 专业版。社区版将不再获得任何新的特征，而专业版将会成为一个商业产品。

这个消息对于开源社区而言就如同晴天霹雳。社区用户开始疯狂地寻找拥有自由和开放源码的（Free and Open Source,FOSS）程序开发新平台。这也迫使甲骨文立即（大约 2 周之后）撤销了这个计划，并宣称 MySQL 以后会一如既往，提供之前一样的服务。那

些记忆力偏弱、心胸宽阔的或者对之前消息并未特别关注人们便继续着他们原先的工作。但许多其他开源项目要么切换到 PostgreSQL，要么突然增加了对 PostgreSQL 数据库的支持。

如今，我们有 MySQL 和 MySQL 企业版。如果你想追求“可备份、高可用性、企业级的可扩展性，以及 MySQL 企业监控器”，那你现在就不得不掏腰包为此买单。资本运作没问题，企业为了生存有权利从他们所提供的服务和产品中收取相应的费用。但是，你作为一个项目经理或开发人员，为什么要为本可以免费获得的东西买单呢？

授权是为了产品的可持续供应和分配。PostgreSQL 的授权模式特别指出，你可以拥有源代码，做任何你想用它做的事情，重新发布它（不管你喜到何种程度），并且这些权利可以无限延伸。要完成以上这些，尝试和商业供应商合作。

针对企业开发，PostgreSQL 可以轻松赢得风险管理的诉讼战。我曾经听到过这样一种说法：“我想要和商业供应商一起合作，万一我要去起诉某人。”我会鼓励那些人（这些支持上述说法的人）去做一个小小的研究，那就是这些供应商多久被起诉一次，这些案件多久可以成功一次，以及这样的诉讼成功需要付出多少的法律成本。我想你会发现，唯一可行的选择就是不参与这种诉讼战。

## 2.4 可预测性

这部分也可以同样被称为“标准符合性”，但我还是决定放弃这个标题，因为在企业项目中“标准符合性”的优点并不明显。常见数据库的局限性是有据可查的。我可以立刻告诉你几个网站，你可以在这些网站上对比哪个数据库拥有最“离奇的意外情况”。我鼓励你阅读一些材料，并同时思考这样一个问题，“哪些功能开发的方法最有可能使我的应用在将来有所突破？”

<http://www.sql-info.de/postgresql/postgres-gotchas.html>

<http://www.sql-info.de/mysql/gotchas.html>

剧透：严格遵守标准意味着不允许出现含糊的行为。不允许出现含糊的行为则会使开发者的生活变得更加困难。而开发者的生活变得困难则意味着开发者对于命令的解读在日后将不会改变，也不会使当前的应用程序有所突破。

究竟你能承担何种程度的懒惰呢？我不知道如何来衡量它。PostgreSQL 对于无成本的未来是可预见性的，所以我不必回答这个问题。

当然，PostgreSQL 也会有一些错误。然而，对数据库核心的更改使 PostgreSQL 变得越来越像其文档中所描述的那样，不做过多的标准约束。很多时候，PostgreSQL 的开发者不必说，“哎呀，我没想到这一点”。如果他们真这样说了，PostgreSQL 只会变得更加符合标准。

## 2.5 社区

Oracle 和 SQL Server 均没有创建社区。当我这样说的时候我真正的意思是，你与核心数据库的开发者进行讨论的机会非常少，这个几率就如同你买彩票中大奖一般。但倘若你真与开发者联系上，那就很可能是因为你发现了一个非常严重的 bug，这个 bug 不能被忽略。在这种情况下，只有编写代码的开发者才能够理解你所报告的真正问题。他们拥有付费的技术支持，并且以我的经验，这种技术支持的问题解决能力较为一般。因为我不得不为我之前寻求帮助的问题，四处努力，花费约 40% 的时间。

在这一点上，MySQL 和 PostgreSQL 正好相反。我们可以发现，几乎任何人都可以在任何时间点向任何人发起讨论。我们可以在 IRC 上找到这两个平台的许多核心开发人员，也可以在讨论会上遇见他们，甚至可以为了合约开发工作进行沟通联系，而在大多数情况下，我们可以与这些开发者一起喝着啤酒进行轻松的交流。

为了整个社区的健康发展，他们会积极地回答几乎你提交的任何类型的问题。即使这个问题和数据库开发之间的关系并不太相关。我个人的经验是，PostgreSQL 的团队比 MySQL 的团队拥有更多的核心开发者，他们对各种疑难杂症严正以待。而且，我们也更容易在各类讨论会上遇到这些核心开发者本人。

我是否提到过他们喜欢啤酒？

## 2.6 过程化语言

SQL Server 允许你使用任何产生 CLR 的语言来创建 DLL。这些 DLL 必须在启动的时候被加载到服务器里面。为了在运行时间创建一个程序，并且使它立即可用，唯一的选择就是内建的 SQL 方言——Transact SQL (TSQL)。

MySQL 有一个叫做插件的功能。其中一种合法的插件类型是过程化语言。几种语言完成加工后，借由插件系统可以和 MySQL 一起工作。这些语言包括了最流行的几种语言，比如 PHP、Python 等。这些函数不能被用在存储过程与触发器中，但是它们可以被普通 SQL 语言唤醒。接下来，你就会被内建的 SQL 没完没了地纠缠。

PostgreSQL 完全支持额外的过程化语言，这种语言可以被用来在数据库中创建任何合法的实体，而这些实体可以使用 PL/pgSQL 来创建。这些语言可以从一个正在运行的 PostgreSQL 版本中进行添加（或删除），而且任何的使用这种语言的函数定义也可以在 PostgreSQL 运行的时候被创建或者抛弃。这些语言对 PostgreSQL 内部函数和所有数据实体具备所有的访问权限，这样调用者是被允许的。

对于 PostgreSQL，事实上有许多类似的插件语言扩展程序可供使用。我自己已经使用过的包括：PHP、Python、bash 和 PL/pgSQL。这意味着 PostgreSQL 的标准语言也需要使用其他语言所使用的相同扩展系统，来进行安装和管理。

这个让我们意识到，相比于最初所料想的，实际上有更多的开发者可以使用 PostgreSQL。软件开发者不必去学习一个新的开发语言来实现存储过程。他们可以选择合适的语言来扩展 PostgreSQL，并且继续按照之前的工作风格和流程进行代码编写。

经验总结：在 PostgreSQL 开发社区里没有二等公民。任何人几乎可以使用任何语言进行编码。

第三方工具：对于不同的数据库平台，我们经常会比较平台上可以使用的第三方应用的数量。我不确定第三方工具的总数和你实际所需要的第三方应用数量是否同样重要。

最后，以下是一张产品列表，我经常会将这些产品和 PostgreSQL 一起使用：

- Pentaho Data Integration (kettle)：一个优秀的抽取、转换、加载（Extract Transform and Load, ETL）工具
- Pentaho Report Server：一个强大的报告引擎
- PgAdmin3：一个极好的数据库管理工具
- php5-postgresql：一个供 PHP 进行本地访问 PostgreSQL 的包
- Qcubed：一个支持 PostgreSQL 的 PHP 开发框架
- Yii：一个很好的 PHP 开发框架
- Talend：一个有用的 ETL 工具，但是并不是我所喜欢的
- BIRT：一个很好的 Java 报告工具，这个工具带有简单的报告创建环境
- psycopg2：Python 针对 PostgreSQL 的套件

以上几乎是一张完美的产品列表，这些工具已经让 PostgreSQL 开发变成了一件轻而易举的事情。我们可以用这样一张支持 PostgreSQL 的应用程序列表来充实本书内容。也非常感谢他们的合法授权，PostgreSQL 可以被内嵌到很多商业应用中，但是你可能从来没有真正认识它。

经验总结：你不用过多考虑到底现有多少工具可以支持 PostgreSQL 这个产品。所有重要的工具都是可用的。

## 2.6.1 平台兼容性

SQL Server 是微软的产品。这样说来，它曾经是，而且将来也会是一款微软平台的工具。通过 ODBC，我们可以进行一定的限定级别的访问，但是对于跨平台的开发来说，它不是一个严谨的选择。目前来看，MySQL 和 PostgreSQL 支持当前可用的每一个操作系统。这种能力（或者说限制的缺失）对于长期的稳定性来说是一个非常有力的因素。如果某种特定的操作系统不再可用，或者不再支持开源软件，那么把数据库服务器迁移到另外一个平台将是一件非常麻烦的事情。

## 2.6.2 应用程序设计

“已有的事，后必再有。已行的事，后必再行。日光之下并无新事。”

——传道书 1:8-10 KJV

“旧的事情都已经过去，看呀，所有新的事情都已经发生。”

——2 哥林多后书 5:16-18 KJV

在软件开发过程中，我们经常会遇到这样的情况，当过时的技术再次兴起时，这些开发者就如同信奉宗教一样拥抱这种观点。我们曾经在瘦服务端与瘦客户端之间摆动，在扁平存储与分级存储之间选择，也经历了从桌面应用到网络应用的转变，但在本章中，我们最适宜讨论的话题是客户端与服务端程序设计。

程序设计实现之间之所以会出现这种摇摆，与客户端或服务端所能提供的功能无任何关系，反而很大程度上是开发者的经验会产生更大的影响，且这种影响可以导向任何一种选择，这种选择取决于开发者首先碰见的是何种程序设计实现方式。

我鼓励服务端开发者与客户端开发者都先撇下他们所使用的工具，之后再阅读本章剩余部分。

在接下来有限的时间内，我们将讨论“服务器程序设计”的绝大多数新功能。如果那时候你仍然没有被说服，那我们会看一下，在你没有抛弃应用为中心的观点的情况下，你如何利用这些功能所带来的诸多好处。

### 1. 数据库被认为是不利的

看待服务器程序设计的最简单、最省事的方法是把数据库看做一个数据桶。你只需要使用最基础的 SQL 语句，比如 INSERT、SELECT、UPDATE 和 DELETE，就可以每次操作一个单一的数据行，而且你还可以轻松地为多数据库创建应用程序库。

这个方法有一些明显的缺陷。以每次一行的方式在数据库服务器之间移动数据，这种方式的效率极低，并且你也会发现这种方法在网络架构的应用程序中完全不可行。

这个观点经常和“数据抽象层”联系在一起，这是一种客户端库文件，它允许开发者花费较少的力气将数据库从应用程序下面分离出来。这个抽象层在开源开发社区中是非常有用的，它可以被使用在多种数据库上，并且不需要财务上的扶持就可以获得最佳的性能。

在 27 年的职业生涯中，在没有抛弃应用程序的情况下，我从来没有改变过任何一个应用所使用的数据库。敏捷软件开发的原则之一是 YAGNI（你并不需要它）。这就是其中的一个例子。

经验总结：数据抽象对项目来说是有价值的，尤其是对于那些在安装的时候需要选择数据库平台的项目。对于任何其他人，只需要说 no。

### 2. 封装

另一个偏向于客户端开发体系的技巧是尝试将数据库中具体的调用分离到一个程序库

中。这个设计的目标通常是让应用程序对所有业务逻辑进行控制。在这种情况下，应用程序仍然扮演着国王的角色，而数据库仅仅是受国王控制的一个必要的祸害。

这个数据库架构的观点揭露了应用程序开发者的短处，就比如他们忽略了一个装满了工具的工具箱而仅仅选择了那把锤子。应用程序中的所有东西到时候都被绘制得像一枚枚钉子，然后开发者可以使用锤子敲打它们。

经验总结：千万不要仅仅因为对数据库不熟悉，就放弃数据库所能带来的强大力量。使用过程化语言，检查一下扩展应用的工具包。那里有一些很棒的产品。

### 3. PostgreSQL 可以提供什么

到目前为止，我们已经提到了过程化语言、函数、触发器、定制的数据类型和运算符。这些东西可以在数据库里面通过 CREATE 命令直接创建，或者使用扩展应用被添加为库文件。

现在我将向你展示一些事情，这些事情是你在 PostgreSQL 的服务器上进行程序设计的时候所需要记住的。

### 4. 数据位置

如果可以的话，尽量将数据保存在服务器上。请相信我，数据在服务器上会更加顺畅，当修改数据的时候性能会更好。如果所有的事情都在应用层完成的话，首先数据需要从数据库端返回给程序，然后进行修改操作，最后把数据发送回数据库去执行这个事务。如果你正在开发一个网络架构的应用程序，你最不该考虑的就是上述方法。

让我们来看一小段程序，来看看如何使用两种方法实现对一个记录的更新：

```
<?php
$db = pg_connect("host port user password dbname schema");
$sql = "SELECT * FROM customer WHERE id = 23";
$row = pg_fetch_array($db,$sql);
if ($row['account_balance'] > 6000) {
    $sql = "UPDATE customer SET valued_customer = true;";
    pg_query($db,$sql);
}
pg_close($db);
?>
```

这一小段代码将一行记录从数据库服务器拉出来并推送到客户端、进行数据评估，然后基于评估结果修改客户的账户信息。修改的结果最后会被发送回数据库进行处理。

在这个应用场景中，有几个错误的地方。首先，这个架构是可怕的。想象一下如果这个操作需要被上千甚至百万级的客户执行后果会是怎样的呢？

第二个问题是事务的完整性。如果在查询与更新语句执行之间，一些其他的事务更新了这个用户的账户，出现这种情况该怎么办？这个客户是否仍然是价值客户？这取决于评估的业务逻辑。

尝试以下的示例：

```
<?php
$db = pg_connect('...');

pg_query('UPDATE customer SET valued_customer = true WHERE balance >
6000;', $db);
pg_close($db);

?>
```

这个示例变得更加简单了，它考虑了事务的完整性，并且可以应对相当大数量的客户操作。为什么我们在这里展示这么一个简单且明显的例子呢？因为许多开发框架都默认地按照错误的方式。可以预见的是，为了实现跨平台以及快捷地将形式集成到简单的设计模型里面，代码生成器会产生和这个例子相等的形式。

这个方法催生了一些可怕的事实。对于一个拥有少数并发事务的系统，你可能可以看到你期待的内容，但是随着并发量的增长，意外情况的也会频发。

第二个例子展示了一个更好的想法：对列进行操作，而不是行，将数据留在服务器上，并且让数据库为你完成事务操作。这就是数据库存在的理由。

### 2.6.3 更多基础

在开始服务器程序设计之前，这里旨在提供一些基础的背景信息。在接下来的几部分中，我们会研究你即将用到的通用的技术环境。我们会提到许多信息，不要着急，你不需要马上记住所有内容，抓住它们的大概意思即可。

#### 1. 事务

PostgreSQL 里面默认的事务隔离级别叫做 Read Committed。这意味着如果多个事务尝试修改相同的数据，它们必须等待其他事务完成，之后才可以对结果数据进行操作。它们在一个先进先出的队列中等待。数据的最终结果是大多数人所能预料到的，反映的是最后的一个时序性的更改。

PostgreSQL 并没有提供任何会导致错误读取的方法。错读是在其他人的事务期间查看数据的能力，并且假设它已经被执行完毕，从而使用了它。由于多版本并发控制产生了作用，所以 PostgreSQL 并不支持这种能力。

这里有一些其他可用于事务隔离的方法，你可以在页面 <http://www.postgresql.org/docs/9.2/static/transaction-iso.html> 中进行深入阅读。

我们需要特别注意的是，当非事务性的代码块 (BEGIN..END) 被定义的时候，PostgreSQL 会像一个私人事务一样对待每一个独立的语句，并且在语句完成的时候立即执行它们。这样的操作就可以让其他事务有机会插入到你的语句中。一些程序设计语言在你的语句块周围会提供一个事务代码块，当然也并不是所有的语言都会提供。请查看你的语言文档，求证一下你是否在一个事务会话中运行程序。



当我们使用这两种主要的客户端与 PostgreSQL 进行交互时，事务行为是不同的。psql 命令行客户端并没有为你提供事务块。你需要自己决定什么时候启动 /

停止一个事务。而 pgAdmin3 查询窗口将你提交的所有语句封装到了一个事务块中。这就是它提供的一个“取消”选项。如果事务被中止了，一个“回滚”操作将被执行，然后数据将回到它的前一个状态。

一些操作是不被认定为事务的。比如即使事务失败了且已经被回滚，但是一个“序列”对象将会继续执行。“CREATE INDEX CONCURRENTLY”需要它自己的事务管理，并且不应该在事务块内部被调用。VACUUM 和 CLUSTER 也是同样的原理。

## 2. 通用的错误报告和错误处理

如果你想在你的执行期间把状态提供给用户，你应该对这些命令比较熟悉：RAISE、NOTICE 和 NOTIFY。从事务性的角度看，它们之间的区别是即使它们被打包在一个事务中，RAISE 和 NOTICE 会立即发送信息，然而 NOTIFY 需要等事务被处置之后才会发送一条消息。因此如果事务失败或回滚了，NOTIFY 则不会立即向你通知任何消息。

## 3. 用户定义函数 (UDF)

编写用户定义函数是 PostgreSQL 的强大功能之一。函数可以使用许多不同的程序设计语言来编写，也可以使用这个语言所提供的任何控制结构，并且即使是采用“不受信”的语言，函数也可以执行 PostgreSQL 中可用的任何操作。

函数可以提供一些甚至非 SQL 直接相关的功能。接下来我们引用的一些示例将会展示如何获取网络地址信息、查询当前系统、移动文件，以及任何你心中所期望的事情。

那么，我们该如何利用 PostgreSQL 的这个优点呢？我们从声明一个函数开始：

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION addition (integer, integer) RETURNS integer
AS $$$
DECLARE retval integer;
BEGIN
    SELECT $1 + $2 INTO retval;
    RETURN retval;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;
```

但是，如果我们想把三个整数加在一起，该如何操作呢？

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION addition (integer, integer, integer)
RETURNS integer
AS $$$
DECLARE retval integer;
BEGIN
    SELECT $1 + $2 +$3 INTO retval;
    RETURN retval;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;
```

我们在前面提到过一个概念叫做函数重载。这个功能允许我们声明一个同名函数，但是使用的是不同的参数，如此可能会产生不同的行为。这个区别的巧妙之处在于它仅仅改变了函数中一个参数的数据类型。PostgreSQL 开发的函数取决于函数参数与期望的返回类

型的匹配程度。

但是，假设我们的打算是把任意数量的数字加起来，那该如何完成呢？PostgreSQL 也有方法来完成。

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION addition (VARIADIC arr integer[]) RETURNS
integer
AS $$

DECLARE retval integer;
BEGIN
    SELECT sum($1[i]) INTO retval FROM generate_subscripts($1, 1) g(i)
;
    RETURN retval;
END;
$$
LANGUAGE plpgsql;
```

这个函数允许我们传入任意数量的整数，并且返回一个正确的结果。这些函数当然不会处理 real 或者 numeric 类型的数据。为了处理其他的数据类型，借助这些类型，我们仅仅需要再次声明这个函数，并且使用相应的参数来调用它。

为了获取更多关于变量参数的信息，你可以查看 <http://www.postgresql.org/docs/9.2/static/xfunc-sql.html#XFUNC-SQL-VARIADIC-FUNCTIONS>。

#### 4. 其他参数

目前，将数据传入函数与从函数输出有多种方法。我们也可以声明 IN/OUT 参数、返回表，返回记录集合，也可以使用游标进行输入与输出。

这里有一个特殊的数据类型叫做 ANY。这种类型允许不限定参数类型，同时也允许任何基础数据类型被传递到函数，然后由函数决定如何处理这个数据。

#### 5. 更多控制

一旦你按照需求编写了你的函数，PostgreSQL 便会在函数执行上给你提供额外的控制。你可以控制这个函数能访问什么数据，也可以控制 PostgreSQL 如何解释执行函数的开销。

这里有两个声明可以为你的函数提供安全环境。第一个是 Security Invoker，这是默认的安全环境。在默认环境里，调用者的权限通过函数来限制。

另一个环境是 Security Definer。在这个环境下，函数创建者的用户权限是在函数执行期间生效的。一般情况下，为了特殊目标，这种方法可临时被用于提高用户的权限。

同时，PostgreSQL 也可以定义函数的开销。这个可以帮助查询规划器评估调用这个函数会产生多大的消耗。更高次序的开销会迫使查询规划器修改这个访问路径，以降低函数被调用的频率。PostgreSQL 文档将这些数字显示为一个 `cpu_operator_cost` 因子。这里有一些误导。这些数字和 CPU 运行周期并没有直接关系。它们仅仅和同其他函数进行结果比较时是相关的，这更像是一些国家的货币与欧盟其他国家的货币相比。一些国家的欧元比其他的更为有优势。

为了估计自己所定义的函数的复杂性，让我们从你所使用的语言开始。对于 C，默认值是  $1 * \text{number of records returned}$ 。对于 Python，默认值是 1.5。对于脚本语言，如 PHP，更合适的默认值可能是 100。对于 plsh，你可能要使用 150 或更多，这取决于所涉及的外部工具的数量。而对于 PL / pgSQL，默认值是 100，这样运作起来似乎效率挺不错的。

## 2.7 小结

现在你对 PostgreSQL 的环境已经有了一些了解，同时你也了解了一些对未来有所帮助的内容。架构 PostgreSQL 就是为了处理你的需求。但更重要的是，它不会在将来某一天将你全盘推翻。

我们已经接触了一些环境的相关知识，当在 PostgreSQL 的服务器上编程时，我们脑海里也能涌现出一些重要的知识点。如果你没有记住所有的内容，也不要着急。在下一章中，我们会引入一些真正有用的函数。届时，你可以再回到本章，温故而知新，更深入地理解函数的特征。

## 第一个 PL/pgSQL 函数

函数是扩展 PostgreSQL 最基本的构建模块。函数可以以参数的形式输入，也可以以输出参数或返回值的形式输出。PostgreSQL 自身提供了许多函数，如常见的数学函数平方根或者绝对值等。你可以通过访问以下链接，获取完整的现有函数列表：<http://www.postgresql.org/docs/current/static/functions.html>。

与内置函数相比，你所创建的函数将具有与其相同的优先级和权限。作为一个开发者，在进行业务逻辑编写时，你所使用的库与 PostgreSQL 开发者进行数据库扩展时所使用的库是完全相同的。

这意味着，你可以与 PostgreSQL 开发社区中的开发者使用相同的工具。

函数可以支持 PostgreSQL 中任何数据类型的参数，然后以相同的类型向调用者返回结果。在函数中你能做到所有你想实现的，这一切都取决于你自己。你已经可以实现 PostgreSQL 所能实现的一切。我们也再次警告你，你可以实现 PostgreSQL 所能实现的一切。好了，新手引导到此结束。

在本章中，你将学到：

- PostgreSQL 函数的基本构建模块
- 将参数传递给函数
- 函数内的基本控制结构
- 在函数外返回结果

### 3.1 为什么是 PL / pgSQL

PL/pgSQL 是一个功能强大的 SQL 脚本语言，其深受 PL/SQL 的影响。PL/SQL 是由

Oracle分发的存储过程语言。作为PostgreSQL产品中的一个标准部分，PL/pgSQL存在于绝大多数的PostgreSQL安装文件中，所以基本不需要对它进行重复设置。

PL/pgSQL也有一个肮脏的小秘密。PostgreSQL的开发者们并不希望你知道，PL/pgSQL是一个成熟的SQL开发语言，其能够在PostgreSQL数据库内漂亮地实现所有的功能。

为什么说这是一个秘密？多年以来，PostgreSQL并没有声称要拥有存储过程。PL/pgSQL函数最初被设计用来返回标量值，且打算用来处理简单的数学任务和普通的字符串操作。

通过多年的发展，PL/pgSQL逐渐拥有了一套丰富的控制结构，并借助触发器、运算符和索引获得了各种能力。最后，它迫使开发者们相当不情愿地承认了这么一个事实：他们手上确实拥有了一套完整的存储过程开发系统。

在整个发展过程中，PL/pgSQL的目标从最初作为简单的标量函数，变成了带有完整控制结构的、可以对所有PostgreSQL系统提供访问的内部构件。你可以通过访问链接<http://www.postgresql.org/docs/current/static/plpgsql-overview.html>，了解当前版本所能提供的所有信息。

如今，使用PL/pgSQL的好处有如下几点：

- 易于上手
- 在大多数PostgreSQL部署中为默认项
- 为数据密集型任务进行性能优化

除了PL/pgSQL，PostgreSQL也支持许多可以插入到数据库中的其他语言。本书也会介绍其中的一些语言。你也可以选择Perl、Python、PHP、bash以及其他语言，进行函数编写，但你可能需要将它们加入到你的PostgreSQL实例中。

## 3.2 PL/pgSQL函数的结构

如果我们想运行一个PL/pgSQL函数，实际上并不需要太多元素。以下就是一个非常简单的例子：

```
CREATE FUNCTION mid(varchar, integer, integer) RETURNS varchar
AS $$$
BEGIN
    RETURN substring($1,$2,$3);
END;
$$
LANGUAGE plpgsql;
```

前面这个函数显示了最少元素的PL/pgSQL函数。该函数为substring内置函数创建了一个别名mid。对于Microsoft SQL Server或者MySQL的开发者而言，这是一个非常合适

的别名，并且他们可以弄明白 mid 函数的实现过程。同时，这个函数也阐述了最基础的参数传递策略。这些参数在函数中并未被命名而是通过从左至右的相对位置被访问的。

PL / pgSQL 函数的基本元素由名称、参数、返回类型、主体和语言组成。这里可能会有争议，有人会认为参数与返回值都并不是函数的必要元素。对于不需要响应的数据处理程序而言，这可能是对的，但如果需要返回一个 TRUE 值来告知程序已成功，此时就需要谨慎处理了。

## 访问函数参数

除了通过序数顺序，函数参数也可以通过名字进行传递和访问。如果通过名字访问参数，这样会增加函数代码的可读性。以下是一个使用命名参数的函数范例：

```
CREATE FUNCTION mid(keyfield varchar, starting_point integer)
RETURNS varchar
AS
$$
BEGIN
    RETURN substring(keyfield,starting_point);
END
$$
LANGUAGE plpgsql;
```

前面这个函数同时展示了 mid 函数的重载 (over loading)。重载是 PostgreSQL 函数的另一个特性，它可以允许多个程序使用相同的名称，但使用不同的参数。在这种情况下，我们首先声明了这个 mid 函数具有 3 个参数。在这个例子中，重载是被用来执行 mid 函数的替代形式，这里只有 2 个参数。当省略第 3 个参数时，结果就是字符串，该字符串从 starting\_point 开始，持续到输入字符串的结尾。

```
SELECT mid('Kirk L. Roybal',9);
```

以上代码会产生如下结果：

```
Royal
```

为了能够通过名字访问函数参数，PostgreSQL 会基于语句做一些理性猜测。让我们对着以下函数思考片刻：

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION ambiguous(parameter varchar) RETURNS
integer AS $$%
DECLARE retval integer;
BEGIN

    INSERT INTO parameter (parameter) VALUES (parameter) RETURNING id
    INTO retval;
    RETURN retval;

END
```

```
$$
language plpgsql;

SELECT ambiguous ('parameter');
```

这是一个非常暴力的编程案例，基本会被收录在如何不编写函数例子中。然而，PostgreSQL 是非常智能的，它能正确地推断出：function 参数的内容仅在 VALUES 列表中才有效。“参数”的其他所有事件实际上均是 PostgreSQL 的物理实体。

同时，我们也介绍了函数的一个可选部分。在 BEGIN 语句之前，我们声明一个变量。在这部分出现的变量在函数执行过程是有效的。

在这个函数中，同样值得注意的是语句 RETURNING id INTO retval。这个特性能够让开发者指定记录的标识字段，并在插入记录后，返回那个字段值。之后，我们的函数将这个值返回给调用者，告知函数已执行成功并提供查找方法，以查询之前被插入的记录。

### 3.3 条件表达式

条件表达式允许开发者通过明确的标准来控制函数的动作。下面这个例子使用了 CASE 语句，通过值来控制字符串的处理。如果该值为空，或者包含一个零长度字符串，则视为空。

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION format_us_full_name(
    prefix text, firstname text,
    mi text, lastname text,
    suffix text)

RETURNS text AS
$$
DECLARE
    fname_mi text;
    fmi_lname text;
    prefix_fmil text;
    pfmil_suffix text;

BEGIN
    fname_mi := CONCAT_WS(' ',
```

```
CASE trim(firstname)
      WHEN ''
        THEN NULL
      ELSE firstname
END,
CASE trim(mi)
      WHEN ''
        THEN NULL
      ELSE mi
END || '.');

fmi_lname := CONCAT_WS(' ',  
CASE fname_mi
      WHEN ''
        THEN NULL
      ELSE fname_mi
END,  
CASE trim(lastname)
      WHEN ''
        THEN NULL
      ELSE lastname
END);

prefix_fmil := CONCAT_WS('. ',  
CASE trim(prefix)
      WHEN ''
        THEN NULL
      ELSE prefix
END);
```

```

        END,

        CASE fmi_lname
            WHEN ''
                THEN NULL
            ELSE fmi_lname
        END) ;

pfmil_suffix := CONCAT_WS(' ', 
    CASE prefix_fmil
        WHEN ''
            THEN NULL
        ELSE prefix_fmil
    END,
    CASE trim(suffix)
        WHEN ''
            THEN NULL
        ELSE suffix || '.'
    END) ;

RETURN pfmil_suffix;
END;
$$

LANGUAGE plpgsql;

```

这里的设想是，当全名中的任何一个元素缺失时，周边的标点符号和空格也应同时缺失。这个函数会返回一个美国人的全名，且希望名称的各个部分尽可能的完整。当运行这个函数时，我们会看到以下内容：

```

postgres=# select format_us_full_name('Mr', 'Martin', 'L', 'King',
'Jr');

format_us_full_name

```

```
-----  
Mr. Martin L. King, Jr.
```

```
(1 row)
```

```
postgres=# select format_us_full_name('', 'Martin', 'L', 'King',  
'Jr');
```

```
format_us_full_name
```

```
-----  
Martin L. King, Jr.
```

```
(1 row)
```

条件表达式的另外一种使用方法是使用 IF/THEN/ELSE 块。以下是相同的函数，但使用了 IF 语句而不是 CASE 语句。

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION format_us_full_name(  
    prefix text, firstname text,  
    mi text, lastname text,  
    suffix text)  
  
RETURNS text AS  
  
$$  
DECLARE  
  
    fname_mi text;  
  
    fmi_lname text;  
  
    prefix_fmil text;  
  
    pfmil_suffix text;  
  
BEGIN  
  
    fname_mi := CONCAT_WS(' ',  
                           IF(trim(firstname)  
                               = '', NULL, firstname),  
  
                           IF(trim(mi) = '', NULL, mi ||  
                               '.'))
```

```

    );
fmi_lname := CONCAT_WS(' ',  

    IF(fname_mi = '',NULL,  

        fname_mi),  

    IF(trim(lastname) = '', NULL,  

        lastname)
);

prefix_fmil := CONCAT_WS('. ',  

    IF(trim(prefix) = '', NULL,  

        prefix),  

    IF(fmi_lname = '', NULL,  

        fmi_lname)
);

pfmil_suffix := CONCAT_WS(', ',  

    IF (prefix_fmil = '', NULL,  

        prefix_fmil),  

    IF (trim(suffix) = '',  

        NULL, suffix || '.')
);

RETURN pfmil_suffix;  

END;  

$$  

LANGUAGE plpgsql;

```

PostgreSQL 的 PL/pgSQL 里提供了这些条件表达式更多的语法变种。这里介绍了一些最常用的表达方式。你可以访问链接 <http://www.postgresql.org/docs/current/static/functions-conditional.html>，查看更完整的讨论。

### 3.3.1 通过计数器循环

PL/ pgSQL 语言为各元素之间的循环提供了一种简单的方法。以下函数将返回第 n 个斐波那契 (Fibonacci) 序列号：

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION fib(n integer)  

RETURNS decimal(1000,0)  

AS $$
```

```

DECLARE counter integer := 0;

DECLARE a decimal(1000,0) := 0;

DECLARE b decimal(1000,0) := 1;

BEGIN

IF (n < 1) THEN

RETURN 0;

END IF;

LOOP

EXIT WHEN counter = n;

counter := counter + 1;

SELECT b,a+b INTO a,b;

END LOOP;

RETURN a;

END;
$$

LANGUAGE plpgsql;

```

SELECT fib(4);

以上代码的输出结果为 3。

在这个函数中，我们可以计算出最高的斐波那契 (Fibonacci) 数是 4785。如果参数的一个值比这个值大，结果就不符合我们所声明的长度为 1000 的小数。

仅作备忘，在斐波那契 (Fibonacci) 序列中每个元素都是序列中前 2 个元素的累加。因此，序列中前面几个元素应该是 0,1,1,2,3,5,8,13,21,34,... 互联网上也提供了一些 PostgreSQL 斐波那契 (Fibonacci) 序列函数，但它们均使用了可怕的递归方法。对于我们这种情况，递归是一件非常糟糕的事情。

在这个函数中，我们在声明部分也介绍了变量的默认值。一旦调用函数，这些变量就会被设成默认值。

同时让我们快速看一下语句 SELECT b,a+b INTO a,b，该语句同时进行 2 个 变量赋值。

在执行 a 与 b 的过程中，它避免了第三个变量的引入。

你可以通过访问链接 <http://www.postgresql.org/docs/current/static/plpgsql-control-structures.html>，查看 PostgreSQL 文档页，来获取其他循环语法。

### 3.3.2 对查询结果进行循环

在我们开始对查询结果进行循环之前，我觉得有必要提醒你，如果你正在使用这个方法，你可能做错了。它是属于 PostgreSQL 中处理器与内存密集型的其中一种操作。我们基本无理由在数据库服务器上进行结果集的循环。我建议你进行一次深入思考，如何使用一个函数、查询中的值列表、临时表和永久表来实现同样的想法，或者采用任何可能的方法预先计算这个值，从而避免这种操作。因此，你仍然认为你有非常充分的理由来使用这项技术？好吧，请继续往下读。

以下是一个简单的版本：

```
FOR row IN EXECUTE
    'SELECT * FROM job_queue q WHERE NOT processed LIMIT 100'
LOOP
    CASE q.process_type
        WHEN 'archive_point_of_sale'
            THEN INSERT INTO hist_orders (...)

            SELECT ... FROM orders
                INNER JOIN order_detail ...
                INNER JOIN item ...;

        WHEN 'prune_archived_orders'
            THEN DELETE FROM order_detail
                WHERE order_id in (SELECT order_id FROM
                    hist_orders);

            DELETE FROM orders
                WHERE order_id IN (SELECT order_id FROM
                    hist_orders);

        ELSE
            RAISE NOTICE 'Unknown process_type: %', q.process_type;
```

```

END;

UPDATE job_queue SET processed = TRUE WHERE id = q.id;

END LOOP;

```

上面的这个例子展示了任务队列中消息处理的基本策略格局。通过这个技术，表中的行包含了需要处理的任务。

我们在这里也介绍一下 EXECUTE 语句。SELECT 语句是一个字符串值。通过 EXECUTE，我们可以以字符串的形式动态构建 PL / pgSQL 命令，然后作为数据库的语句来调用它们。这个技术非常方便，特别是当我们准备改变表名称或者其他 SQL 关键字，来补充语句的时候。这些 SQL 语句部分不能存储在变量中，而且通常情况下不可变。借助 EXECUTE，我们可以改变语句中的任何部分。

以下是来自 PostgreSQL 文档的一个例子，该例子展示了在循环内部运行的动态命令：

```

CREATE FUNCTION cs_refresh_mviews() RETURNS integer AS $$

DECLARE

    mvviews RECORD;

BEGIN

    PERFORM cs_log('Refreshing materialized views...');

    FOR mvviews IN SELECT * FROM cs_materialized_views ORDER BY
        sort_key LOOP

        -- Now "mvviews" has one record from cs_materialized_views

        PERFORM cs_log('Refreshing materialized view ' ||
            quote_ident(mvviews.mv_name) || ' ...');

        EXECUTE 'TRUNCATE TABLE ' || quote_ident(mvviews.mv_name);

        EXECUTE 'INSERT INTO ' || quote_ident(mvviews.mv_name) || ' '
            || mvviews.mv_query;

```

```

END LOOP;

PERFORM cs_log('Done refreshing materialized views.');

RETURN 1;

END;

$$ LANGUAGE plpgsql;

```

以上这个循环的例子显示了一个更复杂的函数，该函数刷新一些临时表中的数据。由于数据实际上是物理传输到临时表中，因此这些临时表被认为是“物化视图”。为了降低相同数据的查询执行开销，我们可以采取这种常见的方法。在这种情况下，相对于重复查询相同数据导致的持续开销，循环的低效率似乎又不值得一提。

### 3.3.3 PERFORM 与 SELECT

你可能在之前的例子中已经注意到一个我们并未介绍过的语句。PERFORM 是一个命令。当想要放弃一个语句结果的时候，可以使用该命令。如果上面的例子改成：

```
SELECT cs_log("Done refreshing materialized views");
```

查询引擎将返回 No destination for result data。

我们可以将结果转换成变量，进而忽略变量，但这样有点不合我味。通过 PERFORM 语句，我们已经表明，忽略结果不是偶然的。我们很高兴看到这样一个事实，日志被盲目地叠加，但如果不是这样，我们可能由于日志条目问题而无法继续执行。

## 3.4 返回记录

到目前为止，我们所有的函数例子都描述了 RETURN 子句中的一个简单的标量值。对于更为复杂的返回类型，我们有几种选择。其中一种选择就是按照表定义返回一组记录。就本例而言，我们假设，你正在开发一个大型的软件开发升级过程，该程序使用了一个名称 / 值对的表结构来进行设置存储。要求你改变表结构，从键和分值栏改变到一系列的列，此时列的名称就是键的名称。顺便提一句，在你所部署的每个软件版本中，你都需要保存设置。

通过查看现有表中的 CREATE TABLE 语句，我们发现：

```
CREATE TABLE application_settings_old (
version varchar(200),
key varchar(200),
value varchar(2000));
```

当你对表运行了一个 select 语句，你会发现并没有太多的设置，但这些设置已有不少版本，为此你需要创建一个更加明确的新表。

```
CREATE TABLE application_settings_new (
version varchar(200),
full_name varchar(2000),
description varchar(2000),
print_certificate varchar(2000),
show_advertisements varchar(2000),
show_splash_screen varchar(2000));
```

通过将设置数据转化成新的格式，我们可以实现一个 insert 语句和一个函数。该函数能够迅速地以新的表格式返回我们的数据。

我们继续定义函数：

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION
flatten_application_settings(app_version varchar(200))
RETURNS setof application_settings_new
AS $$

BEGIN

-- Create a temporary table to hold a single row of data

IF EXISTS (SELECT relname FROM pg_class WHERE
relname='tmp_settings')

THEN

TRUNCATE TABLE tmp_settings;

ELSE

CREATE TEMP TABLE tmp_settings (LIKE
application_settings_new);

END IF;

-- the row will contain all of the data for this application
version

INSERT INTO tmp_settings (version) VALUES (app_version);

-- add the details to the record for this application version
```

```
UPDATE tmp_settings

SET full_name = (SELECT value

                  FROM application_settings_old

                  WHERE version = app_version

                  AND key='full_name'),

description = (SELECT value

                  FROM application_settings_old

                  WHERE version = app_version

                  AND key='description'),

print_certificate = (SELECT value

                      FROM application_settings_old

                      WHERE version = app_version

                      AND key='print_certificate'),

show_advertisements = (SELECT value

                        FROM application_settings_old

                        WHERE version = app_version

                        AND key='show_advertisements'),

show_splash_screen = (SELECT value

                       FROM application_settings_old

                       WHERE version = app_version

                       AND key='show_splash_screen');

-- hand back the results to the caller

RETURN QUERY SELECT * FROM tmp_settings;

END;
```

---

```
$$ LANGUAGE plpgsql;
```

上面的函数向调用查询返回了一个简单数据行。该行包括了所有设置，这些设置之前被定义为键 / 值对，但是现在是明确的字段。通过改善函数和最终表，我们可以将设置的数据类型改得更加明确。但是，我只是一个作者，并不是“真正”的开发者，所以我把这个留给你吧！

接下来，使用函数进行转变：

```
INSERT INTO application_settings_new
SELECT ( flatten_application_settings(version) ).*
FROM (
  SELECT version
  FROM application_settings_old
  GROUP BY version)
```

大功告成！你可以在新的表结构中找到这些以表格形式展现的数据。

## 3.5 处理函数结果

以上例子展示了函数结果检索进而处理的方法之一。以下是调用函数的其他几种有用的方法：

```
SELECT fib(55);
SELECT (flatten_application_settings('9.08.97')).*
SELECT * FROM flatten_application_settings('9.08.97');
```

以上任何一种方法都可以在 PostgreSQL 中创建一个有效字段列表，如同针对某个表的简单 SELECT 语句一样，你可以使用任何一种方法来获取需要使用的字段。

上一节中的例子使用了函数 flatten\_application\_settings() 的结果，作为 INSERT 语句的数据源。以下的例子展示了如何使用相同的函数，作为 UPDATE 的数据源：

```
UPDATE application_settings_new
SET full_name = flat.full_name,
description = flat.description,
print_certificate = flat.print_certificate,
show_advertisements = flat.show_advertisements,
show_splash_screen = flat.show_splash_screen
FROM flatten_application_settings('9.08.97') flat;
```

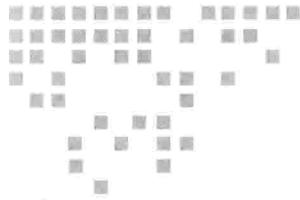
通过将应用程序的版本作为键，我们可以在新表中更新记录。通过这个办法，即便

在新老版本的应用共存的情况下，我们还能够不断同步应用设置，这个办法是不是很便捷呢？赏我现金奖励（或者一杯啤酒），我都很欣然接受的，来吧！

## 3.6 结论

在PostgreSQL中编写函数是一个非常强大的工具。PostgreSQL的函数为数据库核心添加功能，从而达到提高性能、安全性与可维护性的目的。

函数可以采用开源社区中的任何语言进行编写，其中一些语言是社区专有的。如果你在开源社区中找不到你想使用的语言，借助一个强大的和完整的兼容层，我们就能迅速地添加该语种。



Chapter 4

## 第 4 章

# 返回结构化数据

在之前的章节中，我们已经见识了那些能够返回单个值的函数。它们会返回“标量”，简单的类型如整数、文本、数据，或者返回稍加复杂的类型，如数据表中的某一行。在本章中，我们会扩展这些概念，然后向你展示如何将数据以更为强大的方式返回给客户端。

在本章中，我们将研究标量类型的多行，并学习多种定义方法，以确定函数返回值的复杂类型。

同时，我们也会研究 SETOF 各种标量之间的差异性或者同一标量的行数和数组之间的差异性。之后，我们会研究返回 CURSOR，这是一种有点“慵散”的表，它可以用来获取一组行，但实际上可能并未评估过或者读取过这些行。由于现实社会中并不是严格的表结构化的数据，针对较为复杂的数据结构，我们还会研究各种处理方法，不管是事先定义的还是动态创建的。

让我们从一个简单的例子开始，然后逐渐添加更多的功能和变种。

## 4.1 集合与数组

行集与数组在许多情况下是非常类似的。它们之间的主要区别就在于你的使用方式。在大多数的数据操作中，你想要行集，因为 SQL 语言就是被设计为处理行集的。然而，数组对于静态存储而言是最有用的方式。对于客户端应用程序，由于缺失可用性特征，数组会比行集显得更复杂，譬如暂无一种较为简单且直接的内置方式可支持程序迭代。

## 4.2 返回集合

当你要编写一个返回集合的函数时，需要注意到其与正常的标量函数之间的一些差异。让我们先看一下整数集合的返回。

### 返回整数集合

这里，我们将重新审视 Fibonacci 数生成函数，但这次我们不会仅仅返回第 n 个数字，而是返回全序列直到第 n 个数字。

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION fibonacci_seq(num integer)
RETURNS SETOF integer AS $$

DECLARE
    a int := 0;
    b int := 1;
BEGIN
    IF (num <= 0)
        THEN RETURN;
    END IF;

    RETURN NEXT a;
    LOOP
    EXIT WHEN num <= 1;
    RETURN NEXT b;

    num = num - 1;
    SELECT b, a + b INTO a, b;
END LOOP;
END;
$$ language plpgsql;
```

我们看到的第一个区别是，这个函数被指定返回 SETOF 整数，而不是返回单个整数值。

紧接着，你如果仔细检查代码，会发现 RETURN 语句中的两个不同类型。第一个是显示在下方的普通 RETURN 函数，以下是其代码段：

```
IF (num <= 0)
THEN RETURN;
```

在这种情况下，它用来提前终止函数，仅当需要的 Fibonacci 数的序列长度是零或更短。

第二个 RETURN 语句是用来返回值并继续执行：

```
RETURN NEXT a;
```

你可能已经注意到，在这个 Fibonacci 例子中，我们进行了不少与之前不同的操作。首先，我们在 DECLARE 段中声明并同时初始化变量 a 和 b，而不是先做声明再初始化。其次，我们将参数当作了递减计数器，而不是使用一个独立的变量，从零开始计数，再与参数进行对比。

这两种方法均节省了几行代码，并且让代码变得更加可读。当然更长的代码版本可能更容易跟踪与理解，所以我们不会强制推荐这两种方法。

### 4.3 使用返回集合的函数

一个返回集合的函数（也称为表函数）可以应用在大多数地方，如一个表、视图或子查询等。它们是返回数据的一个强大且便捷的方式。

你可以在 SELECT 子句中调用函数，操作如同你在调用标量函数：

```
postgres=# SELECT fibonacci_seq(3);
fibonacci_seq
-----
0
1
1
(3 rows)
```

你也可以将其作为 FROM 子句中的部分内容来调用函数：

```
postgres=# SELECT * FROM fibonacci_seq(3);
fibonacci_seq
-----
0
1
1
(3 rows)
```

你甚至可以在 WHERE 子句中调用：

```
postgres=# SELECT * FROM fibonacci_seq(3) WHERE 1 = ANY
          (SELECT fibonacci_seq(3));
fibonacci_seq
-----
0
1
1
(3 rows)
```

我们通过使用数据库端函数，对所有数据进行访问。这是保护应用程序、提高性能、改善维护效率的一个伟大的方式。表函数支持你在任何情况下使用函数，特别当只有标量函数能够使用，而你被迫使用更复杂的客户端查询的时候。

### 从函数中返回行

若向客户端返回更多的信息，不仅仅是整数集，这样往往帮助更大。你可能需要从现有的表中得到所有的列，而为一个函数声明返回类型的最简单方法是将表作为返回定义中的组成部分。

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION installed_languages()
RETURNS SETOF pg_language AS $$

BEGIN
    RETURN QUERY SELECT * FROM pg_language;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;

```

请注意，你还是需要 SETOF 部分，但不需要将它定义成一个整数集，我们使用 pg\_language 表。

你可能也已经使用了 TYPE，它是通过 CREATE TYPE 命令，甚至是 VIEW 定义的：

```
hannu=# select * from installed_languages();
```

-[ RECORD 1 ]-----	
lanname	internal
lanowner	10
lanispl	f
lanpltrusted	f
lanplcallfoid	0
laninline	0
lanvalidator	2246
lanacl	
-[ RECORD 2 ]-----	
lanname	c
lanowner	10
lanispl	f
lanpltrusted	f
lanplcallfoid	0
laninline	0
lanvalidator	2247
lanacl	
-[ RECORD 3 ]-----	
lanname	sql
lanowner	10
lanispl	f
lanpltrusted	t
lanplcallfoid	0
laninline	0
lanvalidator	2248
lanacl	
-[ RECORD 4 ]-----	
lanname	plpgsql
lanowner	10
lanispl	t
lanpltrusted	t
lanplcallfoid	12596
laninline	12597
lanvalidator	12598
lanacl	
-[ RECORD 5 ]-----	

```

lanname      | plpythonu
lanowner     | 10
lanispl      | t
lanpltrusted | f
lanplcallfoid| 17563
laninline    | 17564
lanvalidator | 17565
lanacl       |

```

## 4.4 基于视图的函数

基于视图定义进行函数的创建是一个非常强大且灵活的信息提供方式。这里有一个例子，先讲一个故事，讲讲我如何使用简单的工具视图来回答“正在运行的查询是什么？哪个查询花费的时间最长？”这样的问题。这就会衍生出一个基于视图的函数，然后衍生出基于这个函数的更多视图。

通过下面的查询，就能使用 PostgreSQL 获取所有的数据以回答这个问题：

```

hannu=# select * from pg_stat_activity;

-[ RECORD 1 ]-----+
datid      | 17557
datname    | hannu
pid        | 8933
usesysid   | 10
username   | postgres
application_name | psql
client_addr |
client_hostname |
client_port  | -1
backend_start | 2013-03-19 13:47:45.920902-04
xact_start   | 2013-03-19 14:05:47.91225-04
query_start  | 2013-03-19 14:05:47.91225-04
state_change | 2013-03-19 14:05:47.912253-04
waiting     | f
state       | active
query       | select * from pg_stat_activity;

```

通常的处理方法是使用下面查询的一个变型，此处已经封装到一个视图内：

```

CREATE VIEW running_queries AS
SELECT
  CURRENT_TIMESTAMP - query_start as runtime,
  pid,
  username,
  waiting,
  query
FROM pg_stat_activity
ORDER BY 1 DESC
LIMIT 10;

```

但是很快你会发现，把这个查询转换成一个视图已经不够用了。有时候你可能想改变最低查询的数量，有时你又有可能不想要完整的查询文本，等等。

如果你想要改变一些参数，一种符合逻辑的做法是使用一个函数而不是一个视图，如下代码所示：

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION running_queries(rows int, qlen int)
RETURNS SETOF running_queries AS
$$
BEGIN
    RETURN QUERY SELECT
        runtime,
        pid,
        username,
        waiting,
        substring(query,1,qlen) as query
    FROM running_queries
    ORDER BY 1 DESC
    LIMIT rows;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;
```

为安全起见，视图 pg\_stat\_activity 的默认行为是保证只有超级用户可以看到其他用户正在运行的内容。有时候我们也有必要让非超级用户至少看到其他用户在运行的查询类型 (SELECT、INSERT、DELETE 或 UPDATE)，但需要隐藏确切的内容。为此，你需要对之前的函数做两处变动。

首先，通过下面的代码片段对获取的 current\_query 做一次列内容的替换：

```
(CASE WHEN ( username= session_user )
      OR (select usesuper
           from pg_user
           where username = session_user)
THEN
    substring(query,1,qlen)
ELSE
    substring(ltrim(query), 1, 6) || ' ***'
END )as query
```

这段代码会检查每一行内容，看运行函数的用户是否有权限查看完整的查询。如果用户是一个超级用户，那么他有权限看到完整的查询。如果用户只是一个普通的用户，那他就只能看到他自己的完整查询。其他所有的行都只会显示最初的 6 个字符，其他内容以 \*\*\* 代替，如此保证查询字符串的简短。

允许普通用户运行该函数的另一个关键点是向他们开放适当的权限。当创建一个函数后，默认的行为就是运行 Security Invoker 权限，即调用者将带着权限来调用该函数。为了能够轻松授予函数调用的正确权限，在函数创建的时候需要设置 Security Definer 权限。这会让函数按照函数创建者的权限来执行，所以如果创建函数的是超级用户，那么这个函数

就会执行超级用户的权限。

现在有一个函数，你可以用它来获得运行中最长的 5 个查询的开端部分，使用的查询如下：

```
SELECT * FROM running_queries(5,25);
```

或者获得整个查询内容，使用：

```
SELECT * FROM running_queries(1000,1024);
```

你可能想为自己使用频率较高的变量定义一些常规视图：

```
CREATE OR REPLACE VIEW running_queries_tiny AS
SELECT * FROM running_queries(5,25);
CREATE VIEW running_queries_full AS
SELECT * FROM running_queries(1000,1024);
```

你甚至可能会重新定义最初的视图，来使用函数的第一个版本：

```
CREATE OR REPLACE VIEW running_queries AS
SELECT * FROM running_queries(5,25);
```

通常情况下，我们并不建议这么做，但它展示了 3 点关键内容：

- 视图与函数可以使用完全相同的名字。
- 你可以借助基于视图的函数，来得到一个循环引用，然后基于函数创建视图。
- 如果你是通过这种方式获得的循环引用，你不能轻易改变定义。

为了解决这个问题，简单的方法就是避免循环引用。

即便没有循环引用，函数中仍会存在对视图的依赖。例如，如果你需要添加一列，在 running\_queries 视图中显示应用程序的名称。这时函数本身需要再次修改。

```
CREATE OR REPLACE VIEW running_queries AS
SELECT
    CURRENT_TIMESTAMP - query_start as runtime,
    pid,
    username,
    waiting,
    query,
    application_name as appname
FROM pg_stat_activity
ORDER BY 1 DESC
LIMIT 10;
```

该视图的定义可以做这样的修改，并不会出现任何的错误，但当你下一次尝试运行 running\_queries(int, int) 函数时，就会出现一个错误。

```
hannu=# select * from running_queries(5,25);
ERROR:  structure of query does not match function result type
DETAIL:  Number of returned columns (5) does not match expected
        column count (6).
CONTEXT: PL/pgSQL function "running_queries" line 3 at RETURN
        QUERY
```

为了修复这个问题，你需要为函数添加额外的列。

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION running_queries(rows int, qlen int)
RETURNS SETOF running_queries AS
$$
BEGIN
    RETURN QUERY SELECT
        runtime,
        pid,
        username,
        waiting,
        (CASE WHEN (username= session_user )
        OR (select usesuper
            from pg_user
            where username = session_user)
        THEN
            substring(query,1,qlen)
        ELSE
            substring(ltrim(query), 1, 6) || ' ***'
        END) as query,
        appname
    FROM running_queries
    ORDER BY 1 DESC
    LIMIT rows;
END;
$$
LANGUAGE plpgsql
SECURITY DEFINER;

```

## 4.5 OUT 参数与记录集

为了达到返回更复杂结构结果的目的，使用预先存在的类型、表或视图来获得复合的返回类型是一个简单的机制。然而，我们常常需要使用函数本身来定义函数的返回类型，而不是借助其他事物。特别当我们需要对正在运行的应用程序做变更管理的时候，情况更是如此。所以长此以往，PostgreSQL 里增加了两种更有效的方法。

### 4.5.1 OUT 参数

到目前为止，我们创建的所有函数都使用了 IN 参数。IN 参数只是为了将信息传递给函数内部并使用这个参数，但不会被返回。如果你想要函数返回一些信息，参数也可以定义成 OUT 或者 INOUT 参数。

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION positives(
    INOUT a int,
    INOUT b int,
    INOUT c int)

```

```

AS $$

BEGIN
    IF a < 0 THEN a = null; END IF;
    IF b < 0 THEN b = null; END IF;
    IF c < 0 THEN c = null; END IF;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;

```

当我们运行前面的函数时，请注意，它只会返回一行简单数据。

```

hannu=# SELECT * FROM positives(-1, 1, 2);
-[ RECORD 1 ]
a |
b | 1
c | 2

```

## 4.5.2 返回记录集

如果需要返回多行数据，通过添加 RETURNS SETOF RECORD，一个类似的函数便能返回一组数据。这个技术只能针对那些使用了 INOUT 或 OUT 参数的函数。

```

CREATE FUNCTION permutations(INOUT a int,
                            INOUT b int,
                            INOUT c int)

RETURNS SETOF RECORD
AS $$

BEGIN
    RETURN NEXT;
    SELECT b,c INTO c,b; RETURN NEXT;
    SELECT a,b INTO b,a; RETURN NEXT;
    SELECT b,c INTO c,b; RETURN NEXT;
    SELECT a,b INTO b,a; RETURN NEXT;
    SELECT b,c INTO c,b; RETURN NEXT;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;

```

通过运行函数 permutations，我们可以预料到返回的结果有 6 行：

```

hannu=# SELECT * FROM permutations(1, 2, 3);
-[ RECORD 1 ]
a | 1
b | 2
c | 3
-[ RECORD 2 ]
a | 1
b | 3
c | 2
-[ RECORD 3 ]
a | 3
b | 1
c | 2

```

```

-[ RECORD 4 ]
a | 3
b | 2
c | 1
-[ RECORD 5 ]
a | 2
b | 3
c | 1
-[ RECORD 6 ]
a | 2
b | 1
c | 3

```

这个效果很好，但对于非常简单的操作而言，这似乎有点冗长。

其中主要原因是我们不能直接调用 RETURN NEXT a,b,c，而需要先将值分配给 INOUT 标识符所声明的变量。同时，我们也要避免出现笨拙的语法：tmp = a; a = b; b = tmp。

由于 PL/pgSQL 语言的设计决策，目前并无较好的方法，能够使程序在运行过程中构造返回结构，即无法 RETURN a,b,c。

然而，让我们试一试，看看会发生什么。

### 4.5.3 使用 RETURNS TABLE

你可能会想，如果函数里 OUT 参数并未显式地声明为 RETURNS TABLE (...), 下面的代码也可能运行：

```

CREATE FUNCTION permutations2(a int, b int, c int)
RETURNS TABLE(a int, b int, c int)
AS $$ 
BEGIN
    RETURN NEXT a,b,c;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;

```

但是，如果我们按照这种方式尝试，程序会报错：

```

ERROR: parameter name "a" used more than once
CONTEXT: compilation of PL/pgSQL function "permutations2" near
line 1

```

这个错误提示，在返回表定义中的那些字段实际上也只是 OUT 参数，RETURNS TABLE 语法只是 CREATE FUNCTION f(OUT ..., OUT...) RETURNS RECORD ... 的另一种拼写方法。

通过改变输入参数，这一块可以得到进一步验证，从而将定义插入 PostgreSQL 中：

```

CREATE FUNCTION permutations2(ia int, ib int, ic int)
RETURNS TABLE(a int, b int, c int)
AS $$ 
BEGIN

```

```

    RETURN NEXT a,b,c;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;

```

当试着去创建这个的时候，会得到以下输出：

```

ERROR: RETURN NEXT cannot have a parameter in function with OUT
parameters
LINE 5:     RETURN NEXT a,b,c;
               ^

```

由此可见，RETURNS 定义中的表字段实际上只是 OUT 参数。我们可以做最后的尝试，使用 RETURN NEXT 子句在函数中构造返回结构。

```

CREATE TYPE abc AS (a int, b int, c int);

CREATE FUNCTION permutations2(ia int, ib int, ic int)
RETURNS SETOF abc
AS $$

BEGIN
    RETURN NEXT a,b,c;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;

```

运行上述代码，获得以下输出：

```

ERROR: RETURN NEXT must specify a record or row variable in
function returning row
LINE 5:     RETURN NEXT a,b,c;
               ^

```

好吧，这样做也行不通。

幸运的是，这个只是 PL/pgSQL 语言在创建 RETURN 值时出现的一个缺陷，而不是 PostgreSQL 本身的缺陷。在下一章中，我们将看到其中一个例子，PL/Python 通过几种方式，可以顺利返回复杂的数据类型。

#### 4.5.4 不返回预定义结构

有时候，在返回结构未知的情况下，你需要编写一个函数。PostgreSQL 的函数声明有一个优点：你可以使用 RECORD 返回类型，如此一来，在调用函数时，可不定义返回类型。

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION run_a_query(query TEXT)
RETURNS SETOF RECORD
AS $$

DECLARE
    retval RECORD;
BEGIN
    FOR retval IN EXECUTE query LOOP
        RETURN NEXT retval;
    END LOOP ;
END;
$$ LANGUAGE PLPGSQL;

```

这个函数可以让用户执行查询；尽管它并不算太有用，但当要获得更有用的函数时，它可被当作基础内容，例如，让用户仅在某一特定的时间内运行查询，或者在运行之前对查询进行一些检查。

如果你尝试简单地执行查询：

```
select * from run_a_query('select username, usesysid from
    pg_user');
```

你会得到包含如下内容的报错：

```
ERROR: a column definition list is required for functions
      returning "record"
LINE 1: select * from run_a_query('select username, usesysid from
      pg_...
      ^
```

为了使用这类函数，你需要采用以下方式告诉 PostgreSQL 返回值是什么，需要做的是在调用的时候添加一个列定义列表：

```
select * from run_a_query('select username,usesysid from pg_user'
    as ("user" text, uid int);
```

这样能奏效吗？不好意思，你会得到包含以下内容的报错：

```
ERROR: wrong record type supplied in RETURN NEXT
DETAIL: Returned type name does not match expected type text in
        column 1.
CONTEXT: PL/pgSQL function run_a_query(text) line 6 at RETURN
        NEXT
```

我们稍改动一些内容，最终会得到一些输出：

```
hannu=# select * from run_a_query('select username::text,usesysid::int
from pg_user') as
    ("user" text, uid int);
-[ RECORD 1 ]--
user | postgres
uid  | 10
-[ RECORD 2 ]--
user | hannu
uid  | 17573
```

我们从这里学到了什么呢？PostgreSQL 会让你从一个函数中返回任意一个记录，但这样的实现方式非常特别。当你调用该函数时，需要非常谨慎，尤其是针对数据类型时。当 PostgreSQL 具备足够的信息之后，它会默认地将数据转换为不同的数据类型。但这种函数中大部分的信息是未知的。

#### 4.5.5 返回 SETOF ANY

还有另一种方法可以定义函数，该方法可以操作并返回不完整类型定义，即 ANY\* 伪类型。

让我们定义一个函数，将任意一个简单的一维 PostgreSQL 阵列变成具有相同类型元素的行集合。

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION array_to_rows( array_in ANYARRAY )
RETURNS TABLE(row_out ANYELEMENT)
AS $$

BEGIN
    FOR i IN 1..array_upper(array_in,1) LOOP
        row_out = array_in[i];
        RETURN NEXT ;
    END LOOP;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;
```

这个对整数阵列非常有效。

```
hannu=# select array_to_rows('{1,2,3}'::int[]);
-[ RECORD 1 ]---+
array_to_rows | 1
-[ RECORD 2 ]---+
array_to_rows | 2
-[ RECORD 3 ]---+
array_to_rows | 3
```

这个对日期阵列也非常有效。

```
hannu=# select array_to_rows('{"1970-1-1","2012-12-12"}'::date[]);
-[ RECORD 1 ]-----+
array_to_rows | 1970-01-01
-[ RECORD 2 ]-----+
array_to_rows | 2012-12-12
```

这个甚至对于用户定义表的返回阵列也有效。

```
hannu=# create table mydata(id serial primary key, data text);
NOTICE: CREATE TABLE will create implicit sequence
"mydata_id_seq" for serial column "mydata.id"
NOTICE: CREATE TABLE / PRIMARY KEY will create implicit index
"mydata_pkey" for table "mydata"
CREATE TABLE
```

```
hannu=# insert into mydata values(1, 'one'), (2,'two');
INSERT 0 2
hannu=# select array_to_rows(array(select m from mydata m));
-[ RECORD 1 ]-----+
array_to_rows | (1,one)
-[ RECORD 2 ]-----+
array_to_rows | (2,two)
```

```
hannu=# select * from array_to_rows
(array(select m from mydata m));
-[ RECORD 1 ]
id      | 1
```

```
data | one
-[ RECORD 2 ]
id   | 2
data | two
```

最后两条 select 语句会返回一张 mydata 类型的单列表和一张同样是 mydata 类型的两列表，这个两列表再扩展成组合列。这个函数比较灵活，能够不做任何变动，就可以处理各种数据类型。

 unnest() 是内置到 PostgreSQL 里面的更有效的 array\_to\_rows 版本。该内置函数比我们的例子运行得更快，而且能够处理更多维度的阵列。

```
hannu=# select unnest('{{1,2,3}, {4,5,6}}'::int[]);
-[ RECORD 1 ]
unnest | 1
-[ RECORD 2 ]
unnest | 2
-[ RECORD 3 ]
unnest | 3
-[ RECORD 4 ]
unnest | 4
-[ RECORD 5 ]
unnest | 5
-[ RECORD 6 ]
unnest | 6
```

PostgreSQL 具有一个奇怪的阵列类型，其可容纳任意数量维度的阵列。更诡异的是，任意维度的阵列片可以在任何正向指数点启用（它们默认为 1-based）。例如，索引范围从 -2 到 2 的一个阵列是由以下代码产生的：

```
hannu=# select '[-2:2]={1,2,3,4,5}'::int[];
-[ RECORD 1 ]-----
int4 | [-2:2]={1,2,3,4,5}
```

为验证上述内容，可使用以下代码段：

```
hannu=# select array_dims('[-2:2]={1,2,3,4,5}'::int[]);
-[ RECORD 1 ]-----
array_dims | [-2:2]
```

那个阵列的第三个元素是 3，它是中间的一个元素。

#### 4.5.6 可变参数列表

PostgreSQL 也能够编写可变参数的函数。使用下方 VARIADIC 来完成：

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION unnest_v(VARIADIC arr anyarray)
RETURNS SETOF anyelement AS $$
BEGIN
```

```

        RETURN QUERY SELECT unnest(arr);
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;

```

前面的代码片段是另一个简单的例子，实际并无太大价值，但它显示了如何构建具有可变参数的函数。

```

hannu=# select unnest_v(1,2,3,4);
-[ RECORD 1 ]
unnest_v | 1
-[ RECORD 2 ]
unnest_v | 2
-[ RECORD 3 ]
unnest_v | 3
-[ RECORD 4 ]
unnest_v | 4

```

## 4.6 RETURN SETOF 变量总结

我们了解到，可以使用以下其中一项，从函数中返回表状数据集：

RETURNS...	RECORD 结构	INSIDE 函数
SETOF <type>	来自于类型定义	声明 ROW 或者 RECORD 类型的行变量分配到行变量、RETURN NEXT 变量
SETOF <table/view>	同表或者视图结构一样	
SETOF RECORD	动态的，在调用场景使用 AS (名称类型, ...)	
SETOF RECORD	使用 OUT 与 INOUT 函数参数。分配到 OUT 变量 RETURN NEXT ;	
TABLE (...)	在 TABLE 关键字后面，在括号内声明，转换为在函数中使用的 OUT 变量。从声明的 TABLE (...) 部分分配 OUT 变量 RETURN NEXT ;	

## 4.7 返回游标

如果要在函数外得到一个表格数据，这里有另一种方法，即使用 CURSOR。

按照 PostgreSQL 文档中有时候的引用习惯，CURSOR 亦称为门户。它是一种内部结构，具备查询计划，能够随时从查询中返回行。有时候游标需要一次性地为查询而检索所有数据，但对于许多查询，它采用惰性获取的方式。例如 SELECT\* FROM xtable 这样的查询，需要从表中扫描所有的数据，查询只从游标中读取每个 FETCH 所需要的数据。

在 SQL 中，CURSOR 定义如下：

```
DECLARE mycursor CURSOR FOR <query>;
```

之后，使用下面的语句，抓取行：

```
FETCH NEXT FROM mycursor;
```

同时，通常情况下你可以使用游标来处理来自于返回集合的函数的数据，通过简单地声明游标 `DECLARE mycursor CURSOR FOR SELECT * FROM mysetfunc();`，这种方法能够事半功倍。

你可能会想到这样做，特别是当你需要基于参数值的不同游标，或者当你需要在函数外动态返回结构数据，且在调用函数时并不需要定义结构。

PL/pgSQL 的游标是由变量类型 `refcursor` 所标识的，且必须通过以下三种方式之一进行声明：

```
DECLARE
    curs1 refcursor;
    curs2 CURSOR FOR SELECT * FROM tenk1;
    curs3 CURSOR (key integer) IS SELECT * FROM tenk1 WHERE
        unique1 = key;
```

第一个变量声明了一个未做限定的游标，该游标需要在 `OPEN` 的时候被绑定到一个查询中。剩下的两个变量对游标进行声明，并绑定到特定的查询。

 你可以在下方 PostgreSQL 官方文件中，查看技术概述中关于在 PL/pgSQL 函数中使用游标的部分：<http://www.postgresql.org/docs/current/static/plpgsql-cursors.html>。

文档中有一点，需要特别注意，并不真正需要“返回”光标，至少现在不需要。

文档中指出：

“下面的示例显示了从单一函数中返回多个游标的方法：

```
CREATE FUNCTION myfunc(refcursor, refcursor) RETURNS SETOF
    refcursor AS $$

BEGIN
    OPEN $1 FOR SELECT * FROM table_1;
    RETURN NEXT $1;
    OPEN $2 FOR SELECT * FROM table_2;
    RETURN NEXT $2;
END;

$$ LANGUAGE plpgsql;
```

-- need to be in a transaction to use cursors.

```
BEGIN;
SELECT * FROM myfunc('a', 'b');
FETCH ALL FROM a;
FETCH ALL FROM b;
COMMIT;"
```

你也可以使用 OUT 参数，编写 myfunc 函数：

```
CREATE FUNCTION myfunc2(curl refcursor, cur2 refcursor)
RETURNS VOID AS $$%
BEGIN
    OPEN curl FOR SELECT * FROM table_1;
    OPEN cur2 FOR SELECT * FROM table_2;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;
```

你可以按照函数返回游标变量的运行方式运行该函数。

#### 4.7.1 对从另一个函数中返回的游标进行迭代处理

我们通过一个例子来结束关于游标的讨论。返回一个游标，然后在另一个 PL / pgSQL 函数中迭代返回的游标：

1 ) 创建一个五行表格，然后在表格中填写数据：

```
create table fiverows(id serial primary key, data text);
insert into fiverows(data) values ('one'), ('two'),
        ('three'), ('four'), ('five');
```

2 ) 定义游标返回函数。该函数会给基于参数的查询创建一个游标，然后返回那个游标：

```
CREATE FUNCTION curtest1(cur refcursor, tag text)
RETURNS refcursor
AS $$%
BEGIN
    OPEN cur FOR SELECT id, data || '+' || tag FROM fiverows;
    RETURN cur;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;
```

3 ) 定义一个函数，该函数将使用我们刚创建的函数来创建其他两个游标，之后处理查询结果。为了显示我们并没有撒谎，该函数确实创建了游标，我们两次使用函数，并采用并行的方式进行结果迭代：

```
CREATE FUNCTION curtest2(tag1 text, tag2 text)
RETURNS SETOF fiverows
AS $$%
```

```

DECLARE
    cur1 refcursor;
    cur2 refcursor;
    row record;
BEGIN
    cur1 = curtest1(NULL, tag1);
    cur2 = curtest1(NULL, tag2);
LOOP
    FETCH cur1 INTO row;
    EXIT WHEN NOT FOUND ;
    RETURN NEXT row;
    FETCH cur2 INTO row;
    EXIT WHEN NOT FOUND ;
    RETURN NEXT row;
END LOOP;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;

```

通过将 NULL 传递给 curtest1 中的第一批参数，PostgreSQL 自动生成游标的名称，以便该函数的多次调用不会与其他函数产生命名冲突。

### 4.7.2 函数返回游标（多个游标）的小结

使用游标的优点如下：

- 当你不想在函数返回结果前，总是要执行查询然后等待整个结果集时，游标是一个有用的工具；
- 它们也是目前从用户定义的函数中返回多个结果的唯一方法。

使用游标的缺点如下：

- 由于它们主要在服务器上进行数据之间的传递，这样每次调用，你只能将 1 个记录集返回给数据库客户端；
- 它们有时容易让人混淆，绑定游标和未绑定的游标并不总是可互换的。

## 4.8 处理结构化数据的其他方法

到目前为止，我们已经介绍了从函数中返回结构化数据集的传统方式。现在，我们将开始更有趣的部分。当前，已经引入了其他的复杂数据结构的传递方法。

### 4.8.1 现代复杂数据类型——XML 和 JSON

在现实世界中，大部分的数据并不是存在单个表中，而且数据库并不是大多数程序员重点关注的对象。通常情况下，他们甚至根本不会考虑它，或者说不愿意想到它。

如果你是一位数据库开发者，正在做数据库端相关事宜，你往往被期待使用客户所用

的语言进行交流（你的客户可能是 Web 开发者或应用程序开发者，或者是程序作为数据库客户端）。目前，Web 应用程序及其开发者最广泛使用的两种数据语言是 XML 和 JSON。

XML 和 JSON 均是基于文本的数据格式，因此，它们可以轻松地保存到文本类型的字段中。而 PostgreSQL，作为用户可自行扩展的 DBMS，同样广泛支持这些格式。

#### 4.8.2 XML 数据类型和从函数中返回 XML 数据

为了支持 XML 数据，添加到 PostgreSQL 中的一个扩展是原生 XML 数据类型。XML 数据类型大部分还是文本字段，但它与文本的差异如下：

- 存储在 XML 字段中的 XML 是经过检查的，格式良好的。
- 已有函数支持创建已知的格式良好的 XML，并支持与其同时运行。

这里有几种方法，来创建 XML 值，其中包括使用 SQL 标准方法。

`XMLPARSE ( { DOCUMENT | CONTENT } value)`

PostgreSQL 的也有特定语法，来产生一个 XML 值。

```
xml '<foo>bar</foo>'<br/>'<foo>bar</foo>'::xml
```

通过使用 `XMLSERIALIZE` 函数，一个 XML 值可以迅速被转换成文本形式。

`XMLSERIALIZE ( { DOCUMENT | CONTENT } value AS type )`

另外，PostgreSQL 可以允许你轻松地将 XML 转换为文本。



你可以访问链接 <http://www.postgresql.org/docs/current/static/datatype-xml.html>，查看 XML 数据类型以及相关函数的所有说明。随着 PostgreSQL 版本不断升级，对于 XML 的支持也得到显著改善。

PostgreSQL 有几个 `*_to_xml` 函数，该函数可将 SQL 查询或一个表，或者一个视图当作输入，然后返回相应的 XML 表现形式。

让我们使用之前在游标章节所定义的 `fiverows` 表，看一看这个实现过程。

首先，让我们将表数据转换为 XML：

```
hannu=# select table_to_xml('fiverows',true, false, '') as s;
-[ RECORD 1 ]-----
s | <fiverows xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-
instance">
|   <row>
|     <id>1</id>
|     <data>one</data>
|   </row>
|
|   <row>
|     <id>2</id>
```

```

|   <data>two</data>
| </row>
|
| <row>
|   <id>3</id>
|   <data>three</data>
| </row>
|
| <row>
|   <id>4</id>
|   <data>four</data>
| </row>
|
| <row>
|   <id>5</id>
|   <data>five</data>
| </row>
|
| </fiverows>
|

```

如果你有一个可以处理 XML 的客户端，那么 `*_to_xml` 函数就可以成功返回你想要的复杂数据。

`*_to_xml` 函数的另一个优点是，你可以创建一个函数，该函数能够一次性返回几个不同的 XML 文档，然后返回不同结构的数据行。举一个很好的例子是支付订单和行，其中函数为订单表头返回的第一个记录是 XML，之后是为订单行返回一个或者多个 XML 记录，这些都是通过同一个函数的一次调用完成的。

目前，`*_to_xml` 函数有 5 个变量：

```

cursor_to_xml(cursor refcursor, count integer,
              nulls bool, tableforest bool, targetns text)
query_to_xml(query text,
              nulls bool, tableforest bool, targetns text)
table_to_xml(tbl regclass,
              nulls boolean, tableforest boolean, targetns text)
schema_to_xml(schema name,
              nulls boolean, tableforest boolean, targetns text)
database_to_xml(nulls boolean, tableforest bool, targetns text)

```

`cursor_to_xml(...)` 函数对于大型数据集是非常值得推荐的，该函数在打开的游标上循环，将行块的数据进行转变，且并不需要一开始就在内存中存储数据。

接下来的 3 个函数返回一个字符串，该字符串可代表任何一个 SQL 查询，或者表名称或者模块名称，并从指定对象中返回所有数据。`table_to_xml()` 函数也同样对视图起效。再者是一个叫 `database_to_xml(...)` 的函数，它能够将现有数据库转换成 XML 文档。但是，在生产数据库上运行它，会产生一个常见的内存不足的错误：

```

hannu=# select database_to_xml(true, true, 'n');
ERROR:  out of memory
DETAIL:  Failed on request of size 1024.

```

### 4.8.3 以 JSON 格式返回数据

在 PostgreSQL 9.2 中，有一个支持 JSON 值的原生数据类型。该类型与 XML 的演变模式相同。它首先从两个函数演变过来，这两个函数能够将阵列与记录转换成 JSON 格式，但是在 PostgreSQL 9.3 中，该类型具有了更多的函数。

目前函数 `row_to_json(record, bool)` 将任何记录转换成 JSON 格式，以及 `array_to_json(anyarray, bool)` 将任何阵列转换为 JSON 格式。

下面是使用这些函数的一些简单例子：

```

hannu=# select array_to_json(array[1,2,3]);
-[ RECORD 1 ]-----
array_to_json | [1,2,3]

hannu=# select * from test;
-[ RECORD 1 ]-----
id      | 1
data    | 0.26281
tstamp  | 2012-04-05 13:21:03.235
-[ RECORD 2 ]-----
id      | 2
data    | 0.1574
tstamp  | 2012-04-05 13:21:05.201

hannu=# select row_to_json(t) from test t;
-[ RECORD 1 ]-----
-----+
row_to_json | {"id":1,"data":0.26281,"tstamp":"2012-04-05
13:21:03.235"}
-[ RECORD 2 ]-----
-----+
row_to_json | {"id":2,"data":0.1574,"tstamp":"2012-04-05
13:21:05.201"}

```

这些函数是非常有用的，它们能够帮助我们编写函数，返回比标准 RETURNS TABLE 语法所能返回的更为复杂的数据，但是这些函数的真正功能是它们能够转换任意复杂的行。

我们使用一些数据来创建一个简单的表：

```

create table test(
    id serial primary key,
    data text,
    tstamp timestamp default current_timestamp
);
insert into test(data) values(random(), (random()));

```

现在，我们创建另一个表，其中有一列是之前表的数据类型，然后将那个表中的行插入新表中：

```

hannu=# create table test2(
hannu(#     id serial primary key,
hannu(#     data2 test,
hannu(#     tstamp timestamp default current_timestamp
hannu(# );
hannu=# insert into test2(data2) select test from test;
INSERT 0 2

hannu=# select * from test2;
-[ RECORD 1 ]-----
id | 5
data2 | (1,0.26281,"2012-04-05 13:21:03.235204")
tstamp | 2012-04-30 15:42:11.757535
-[ RECORD 2 ]-----
id | 6
data2 | (2,0.15740,"2012-04-05 13:21:05.2033")
tstamp | 2012-04-30 15:42:11.757535

```

现在，让我们看一下 `row_to_json()` 如何处理：

```

hannu=# select row_to_json(t2, true) from test2 t2;
               row_to_json
-----
{"id":5,
 "data2": {"id":1, "data":"0.26281",
            "tstamp":"2012-04-05 13:21:03.235204"},
 "tstamp":"2012-04-30 15:42:11.757535"}
 {"id":6,
 "data2": {"id":2, "data":"0.15740",
            "tstamp":"2012-04-05 13:21:05.2033"},
 "tstamp":"2012-04-30 15:42:11.757535"}
(2 rows)

```

上述结果已被成功转换成 JSON 格式。

让我们增加复杂性来进一步验证。创建一个表 `test3`，将 `table2` 中的行数组作为数据值：

```

create table test3(
    id serial primary key,
    data3 test2[],
    tstamp timestamp default current_timestamp
);
insert into test3(data3)
select array(select test2 from test2);

```

我们看一下 `row_to_json` 是否起效：

```

select row_to_json(t3, true) from test3 t3;
-----
{"id":1,
 "data3": [ {"id":1,

```

```
"data2":{"id":1,
          "data":"0.262814193032682",
          "tstamp":"2012-04-05 13:21:03.235204"},
        "tstamp":"2012-04-05 13:25:03.644497"
    },
    {"id":2,
     "data2":{"id":2,
               "data":"0.157406373415142",
               "tstamp":"2012-04-05 13:21:05.2033"},
     "tstamp":"2012-04-05 13:25:03.644497"
    }
],
"tstamp":"2012-04-16 14:40:15.795947"}
(1 row)
```

成功，搞定！

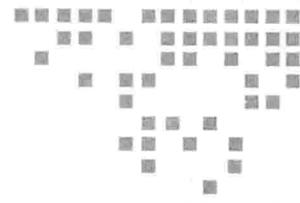
其实我不得不手动格式化一下，由于 prettyprint 标识符仅仅对 `row_to_json()` 的顶层起作用，但是返回结果的第二行（紧跟着“`data3`”之后的）全部在同一行。即使这样 JSON 本身也是完全可用的！

## 4.9 小结

在本章中，我们学到的要点包括：

- ❑ 你可以返回多行。
- ❑ 你可以返回多行的复杂数据，类似于一个 `SELECT` 查询。
- ❑ 你可以返回几个表集合，并使用 `refcursor` 以惰性处理的方式对它们进行评估。
- ❑ 你可以使用 XML 或 JSON，以返回尽可能复杂的数据。

所以几乎没有理由，能够让我们放弃数据库函数作为与数据库交互的主要机制。在下一章中，我们会学习在数据库发生不同类型的事件时，如何调用函数。



## 第 5 章

Chapter 5

# PL/pgSQL 触发器函数

通常情况下，我们最好把相关代码存放在一起，可以避免作为主要程序代码流的一部分而出现“隐藏”的动作。同样有这样一种比较好的实践方式，通过使用自动化的操作，在数据库上添加普遍的或者跨应用程序的功能，每次当表被修改的时候，就触发这些功能。也就是说，这些动作是数据模型的一部分，而不是应用程序代码，你要确保它们不会被忘记或者被省略掉，就如同限制条件会使得无效数据无法插入。

触发器是一种向表修改事件添加自动化函数调用的工具。当存在多种不同客户端应用程序的时候，触发器是特别有用的。这些客户端程序可能来自不同的来源，使用了不同的编程风格，通过多种不同函数或者 SQL 直接访问相同的数据。

在 PostgreSQL 中，触发器分两步定义：

- 1) 使用 CREATE FUNCTION 定义触发器函数。
- 2) 使用 CREATE TRIGGER，将触发器函数与表关联。

## 5.1 创建触发器函数

触发器函数定义看上去跟普通函数的定义非常相似，除了它有一个返回值类型 trigger，且不带有任何参数，如下代码所示：

```
CREATE FUNCTION mytriggerfunc() RETURNS trigger AS $$ ...
```

触发器函数是通过一个特殊的 TriggerData 结构，来进行调用环境的信息传递，而在 PL / pgSQL 里则可以通过一组局部变量来访问。OLD 与 NEW 这两个局部变量代表了触发器在触发事件中的前后行。此外，也有几种其他局部变量，如名称以 TG\_ 开始的 TG\_

WHEN 或者 TG\_TABLE\_NAME。一旦你的触发器函数定义完成，你便可以将其与表中的特定动作进行关联。

## 创建触发器

以下是创建用户定义的 TRIGGER 语句的简化语法：

```
CREATE TRIGGER name
  { BEFORE | AFTER | INSTEAD OF } { event [ OR ... ] }
  ON table_name
  [ FOR [ EACH ] { ROW | STATEMENT } ]
  EXECUTE PROCEDURE function_name ( arguments )
```

在上面的代码中，事件是 INSERT、UPDATE、DELETE 或者 TRUNCATE 的其中之一。同时还有一些其他的事件选项，我们也会在后面的章节中进行介绍。

在触发器定义中，“参数”看上去像是传递给了触发器，但实际上并不作为参数。相反，对于触发器函数而言，它们是变量 TG\_ARGV 的一个文本阵列 (text[])，该阵列的长度在 TG\_NARGS 里面。让我们开始慢慢研究触发器和触发器函数是如何工作的。

首先，我们会使用一个简单的触发器示例，然后逐步过渡到复杂的例子。

## 5.2 简单的“嘿，我被调用了”触发器

每次触发器在触发条件下被触发并提供一些反馈的时候，我们使用的一个触发器都会向数据库客户端发回一个通知。

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION notify_trigger()
RETURNS TRIGGER AS $$

BEGIN
  RAISE NOTICE 'Hi, I got % invoked FOR % % % on %',
                TG_NAME,
                TG_LEVEL,
                TG_WHEN,
                TG_OP,
                TG_TABLE_NAME;

END;
$$ LANGUAGE plpgsql;
```

其次，我们需要一张表，将函数关联到下方内容：

```
CREATE TABLE notify_test(i int);
```

接着我们准备定义触发器。这里我们尽可能简单，因此我们定义一个 INSERT 中被调用的触发器，该触发器对每一行进行一次函数调用：

```
CREATE TRIGGER notify_insert_trigger
AFTER INSERT ON notify_test
FOR EACH ROW
```

```

EXECUTE PROCEDURE notify_trigger(); 让我们测试一下结果。
INTO notify_test VALUES(1),(2);
NOTICE: Hi, I got notify_insert_trigger invoked FOR ROW AFTER INSERT
on notify_test
ERROR: control reached end of trigger procedure without RETURN
CONTEXT: PL/pgSQL function notify_trigger()

```

嗯……好像我们需要从函数中返回一些东西，即便不是我们所需要的。函数定义中提到 CREATE FUNCTION … RETURNS trigger，但是我们确实不能从一个函数中返回触发器。

回到文档中！

好了，就在这儿。触发器需要返回一个 ROW 或者 RECORD 类型的值，但在 AFTER 触发器中忽略了这个值。从现在开始，让我们返回一个正确的类型 NEW，并始终显示它，即便在 DELETE 触发器中它被显示为 NULL。

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION notify_trigger()
RETURNS TRIGGER AS $$ 
BEGIN
    RAISE NOTICE 'Hi, I got % invoked FOR % % % on %',
                  TG_NAME,
                  TG_LEVEL, TG_WHEN, TG_OP, TG_TABLE_
NAME;
    RETURN NEW;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;

```

我们也可以使用 RETURN NULL;，这里 AFTER 触发器的返回值被忽略：

```

A new test:postgres=# INSERT INTO notify_test VALUES(1),(2);
NOTICE: Hi, I got notify_insert_trigger invoked FOR ROW AFTER INSERT
on notify_test
NOTICE: Hi, I got notify_insert_trigger invoked FOR ROW AFTER INSERT
on notify_test
INSERT 0 2

```

正如我们所看到的，触发器函数确实是一次插入一行，所以让我们使用相同的函数反映 UPDATE 和 DELETE 函数：

```

CREATE TRIGGER notify_update_trigger
AFTER UPDATE ON notify_test
FOR EACH ROW
EXECUTE PROCEDURE notify_trigger();

CREATE TRIGGER notify_delete_trigger
AFTER DELETE ON notify_test
FOR EACH ROW
EXECUTE PROCEDURE notify_trigger();

```

检查一下前面代码是否能运行成功。

首先，让我们测试 update 触发器：

```
postgres=# update notify_test set i = i * 10;
NOTICE: Hi, I got notify_update_trigger invoked FOR ROW AFTER UPDATE
on notify_test
NOTICE: Hi, I got notify_update_trigger invoked FOR ROW AFTER UPDATE
on notify_test
UPDATE 2
```

正常运行——我们得到了一个触发器的两个调用通知。

现在删除：

```
postgres=# delete from notify_test;
NOTICE: Hi, I got notify_delete_trigger invoked FOR ROW AFTER DELETE
on notify_test
NOTICE: Hi, I got notify_delete_trigger invoked FOR ROW AFTER DELETE
on notify_test
DELETE 2
```

如果我们只希望每次对表进行操作时，都会通知我们，那么前面的代码足以支持这个功能。对于如何定义触发器，我们可以做一个小小的改进。创建一个单独的触发器，以被 INSERT、UPDATE 或者 DELETE 所调用，而不是为它们每一个创建一个触发器。所以让我们用下面的内容来替代前面三个触发器：

```
CREATE TRIGGER notify_trigger
AFTER INSERT OR UPDATE OR DELETE
ON notify_test
FOR EACH ROW
EXECUTE PROCEDURE notify_trigger();
```

在同一个触发器定义中加入一个以上的 INSERT 或 UPDATE 或者 DELETE 是针对 SQL 标准对 PostgreSQL 进行扩展。由于触发器定义中的行为部分是非标准的，特别是使用 PL / pgSQL 触发器函数的时候，这个就不成问题了。

现在，让我们删除单独的触发器，截断表，然后再次测试：

```
postgres=# DROP TRIGGER notify_insert_trigger ON notify_test;
DROP TRIGGER
postgres=# DROP TRIGGER notify_update_trigger ON notify_test;
DROP TRIGGER
postgres=# DROP TRIGGER notify_delete_trigger ON notify_test;
DROP TRIGGER
postgres=# TRUNCATE notify_test;
TRUNCATE TABLE
postgres=# INSERT INTO notify_test VALUES(1);
NOTICE: Hi, I got notify_trigger invoked FOR ROW AFTER INSERT on
notify_test
INSERT 0 1
```

运行正常，但这也暴露出来一个弱点：我们没有在 TRUNCATE 上得到通知！

不幸的是，我们不能简单地在前面的触发器定义中添加 OR TRUNCATE。该 TRUNCATE 命令不能用于单行，所以 FOR EACH ROW 触发器对于截断根本不起作用，也不被支持。

你需要为 TRUNCATE 创建一个单独的触发器定义。幸运的是，我们仍然可以使用相同的函数，至少对于这个简单的“嗨，我被调用了”触发器完全可行：

```
CREATE TRIGGER notify_truncate_trigger
    AFTER TRUNCATE ON notify_test
    FOR EACH STATEMENT
    EXECUTE PROCEDURE notify_trigger();
```

现在我们在 TRUNCATE 上得到了一个通知：

```
postgres=# TRUNCATE notify_test;
NOTICE:  Hi, I got notify_truncate_trigger invoked FOR STATEMENT AFTER
TRUNCATE on notify_test
TRUNCATE TABLE
```

尽管在每个数据管理语言（DML）操作中得到这些消息显得很酷，但它几乎没有多少生产价值。

所以，让我们稍微再往前进一步，在审计日志表中记录事件，而不是向用户返回一些东西。

### 5.3 审核触发器

触发器最常见的用途之一是采用前后一致且透明的方式向表中记录数据的变化。当创建一个审核触发器时，首先我们必须决定我们要记录的内容。

被记录的事件的逻辑为：谁改变了数据，数据什么时候被改变了，什么操作改变了数据。这些信息可以用下面的表进行保存：

```
CREATE TABLE audit_log (
    username text, -- who did the change
    event_time_utc timestamp, -- when the event was recorded
    table_name text, -- contains schema-qualified table name
    operation text, -- INSERT, UPDATE, DELETE or TRUNCATE
    before_value json, -- the OLD tuple value
    after_value json -- the NEW tuple value
);
```

对于我们可以记录的内容，我们做了另外的解释，如下：

- 用户名将会使用 SESSION\_USER 变量，所以我们知道谁登录了，且他可能已经使用 SET ROLE 获取了哪个角色。
- event\_time\_utc 将包含被转换为 Coordinated Universal Time (UTC) 的事件时间，所以所有用来保存变更时间的奇怪日期算法都可以被避免。
- table\_name 将会以 schema.table 的格式存在。
- 操作将直接从 TG\_OP 开始，尽管它可能只是首字母 (I / U / D / T)，但不会丢失任何信息。

- 最后，before 与 after 的行图像将作为被转换到 JSON 的行进行存储。从 PostgreSQL 9.2 开始，出于展现考虑，json 就作为本身的数据类型。

接下来看一下触发器函数：

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION audit_trigger()
RETURNS trigger AS $$

DECLARE
    old_row json := NULL;
    new_row json := NULL;

BEGIN
    IF TG_OP IN ('UPDATE', 'DELETE') THEN
        old_row = row_to_json(OLD);
    END IF;
    IF TG_OP IN ('INSERT', 'UPDATE') THEN
        new_row = row_to_json(NEW);
    END IF;
    INSERT INTO audit_log(
        username,
        event_time_utc,
        table_name,
        operation,
        before_value,
        after_value
    ) VALUES (
        session_user,
        current_timestamp AT TIME ZONE 'UTC',
        TG_TABLE_SCHEMA || '.' || TG_TABLE_NAME,
        TG_OP,
        old_row,
        new_row
    );
    RETURN NEW;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;

```



在函数的开端，检查操作的条件表达式需要克服一个事实即：NEW 与 OLD 对于 DELETE 触发器与 INSERT 触发器并不为 NULL。反而，它们是未赋值的。除了未赋值的变量在 PL/pgSQL 会产生错误，其他情况下均可以使用未赋值的变量。

现在，我们准备定义一个新的日志触发器：

```

CREATE TRIGGER audit_log
AFTER INSERT OR UPDATE OR DELETE
ON notify_test
FOR EACH ROW
EXECUTE PROCEDURE audit_trigger();

```

我们运行一个小测试。我们从 notify\_test 表中删除我们原来的触发器通知，并进行一些简单的操作：

```
postgres=# DROP TRIGGER notify_trigger ON notify_test;
DROP TRIGGER
postgres=# DROP TRIGGER notify_truncate_trigger ON notify_test;
DROP TRIGGER
postgres=# TRUNCATE notify_test;
TRUNCATE TABLE
postgres=# INSERT INTO notify_test VALUES (1);
INSERT 0 1
postgres=# UPDATE notify_test SET i = 2;
UPDATE 1
postgres=# DELETE FROM notify_test;
DELETE 1
postgres=# SELECT * FROM audit_log;
-[ RECORD 1 ]-----
username | postgres
event_time_utc | 2013-04-14 13:14:18.501529
table_name | public.notify_test
operation | INSERT
before_value |
after_value | {"i":1}
-[ RECORD 2 ]-----
username | postgres
event_time_utc | 2013-04-14 13:14:18.51216
table_name | public.notify_test
operation | UPDATE
before_value | {"i":1}
after_value | {"i":2}
-[ RECORD 3 ]-----
username | postgres
event_time_utc | 2013-04-14 13:14:18.52331
table_name | public.notify_test
operation | DELETE
before_value | {"i":2}
after_value |
```

代码运行得很好。这个函数可能会根据你的需求做一些调整。好了，关于 DML 的讨论到此为止，接下来我们可以开始看看其产生的影响。

## 5.4 无效的 DELETE

如果我们的业务需求是这样的，数据只能在一些表中被添加和修改，但不能被删除，那该怎么办？

其中一种处理方法是从所有用户处撤销对这些表的 DELETE 操作（记得同时要从 PUBLIC 处撤销 DELETE），但是这也可以借助触发器来实现。

一个普通的取消触发器可以写成如下代码：

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION cancel_op()
RETURNS TRIGGER AS $$

BEGIN
    IF TG_WHEN = 'AFTER' THEN
        RAISE EXCEPTION 'YOU ARE NOT ALLOWED TO % ROWS IN %.%', 
                        TG_OP, TG_TABLE_SCHEMA, TG_TABLE_NAME;
    END IF;
    RAISE NOTICE '% ON ROWS IN %.% WON''T HAPPEN',
                    TG_OP, TG_TABLE_SCHEMA, TG_TABLE_NAME;
    RETURN NULL;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;
```

对于 BEFORE 与 AFTER 触发器，我们可以使用相同的触发器函数。如果你将其当作 BEFORE 触发器使用，那么操作就会跳过一个消息，但如果你将其当作 AFTER 触发器，那么就会引发错误，而且当前事务（子事务）就会回滚。

在这个相同的触发器函数中，我们同样可以简单地将尝试删除的日志添加到表中，以协助执行公司的政策——类似于前面的例子，我们只要将 INSERT 添加到日志表中。

当然，如果你想要的话，你可以通过添加一些信息如“管理员将被通知！”或“你将被终止！”，让一个或两个以上的消息来势汹汹。

让我们用下面的代码，来看看它是如何工作：

```
postgres=# CREATE TABLE delete_test1(i int);
CREATE TABLE
postgres=# INSERT INTO delete_test1 VALUES(1);
INSERT 0 1
postgres=# CREATE TRIGGER disallow_delete AFTER DELETE ON delete_test1
FOR EACH ROW EXECUTE PROCEDURE cancel_op();
CREATE TRIGGER
postgres=# DELETE FROM delete_test1 WHERE i = 1;
ERROR:  YOU ARE NOT ALLOWED TO DELETE ROWS IN public.delete_
这里注意到 AFTER 触发器抛出了一个错误信息。postgres=# CREATE
TRIGGER skip_delete BEFORE DELETE ON delete_test1 FOR EACH ROW
EXECUTE PROCEDURE cancel_op();
CREATE TRIGGER
postgres=# DELETE FROM delete_test1 WHERE i = 1;
NOTICE:  DELETE ON ROWS IN public.delete_test1 WON'T HAPPEN
DELETE 0
```

这一次，BEFORE 触发器取消了 DELETE 和 AFTER 触发器，虽然仍在那，但并未达到。

相同的触发器也可以被用来执行一个不更新的政策，甚至不允许插入到一些具有不可更改内容的表中。

## 5.5 无效的 TRUNCATE

你可能已经发现，如果你使用 TRUNCATE 来删除所有东西，之前的触发器就很容易被 DELETE 忽略掉。

尽管通过返回 NULL（这个仅仅对行级别的 BEFORE 触发器有效），你可能不会轻易跳过 TRUNCATE，但如果 TRUNCATE 被尝试，你还是无法抛出错误信息。使用之前 DELETE 使用过的相同函数，来创建 AFTER 触发器：

```
CREATE TRIGGER disallow_truncate
    AFTER TRUNCATE ON delete_test1
    FOR EACH STATEMENT
EXECUTE PROCEDURE cancel_op();
```

这时，你将再也无法使用 TRUNCATE：

```
postgres=# TRUNCATE delete_test1;
ERROR: YOU ARE NOT ALLOWED TO TRUNCATE ROWS IN public.delete_test1
```

当然，你可以在一个 BEFORE 触发器抛出错误，但之后，你需要编写你自己的不受限制的错误抛出触发器函数，来替代 cancel\_op()。

## 5.6 修改 NEW 记录

另一种常用的审核方式是在同一行的特定字段中，如同记录数据一样记录操作信息。例如，我们定义一个触发器，这个触发器可以在每个 INSERT 和 UPDATE 事务发生的时候，在字段 last\_changed\_at 与字段 last\_changed\_by 中记录操作时间与当前的用户。在行级别的 BEFORE 触发器里面，你可以通过变更 NEW 记录的方式，修改实际需要被写入数据库的内容。你也可以将值分配给一些字段，甚至可以使用相同结构返回一个不同的记录。例如，如果你想通过 UPDATE 触发器返回 OLD，你需要确保行没有被更新。

### 时间戳触发器

为了在表中创建审核记录的基础内容，我们开始创建一个触发器，记录最后做变动的用户以及变动的发生时间：

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION changestamp()
RETURNS TRIGGER AS $$$
BEGIN
    NEW.last_changed_by = SESSION_USER;
    NEW.last_changed_at = CURRENT_TIMESTAMP;
    RETURN NEW;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;
```

当然，这个只对于有正确字段的表有效：

```

CREATE TABLE modify_test(
    id serial PRIMARY KEY,
    data text,
    created_by text default SESSION_USER,
    created_at timestamp default CURRENT_TIMESTAMP,
    last_changed_by text default SESSION_USER,
    last_changed_at timestamp default CURRENT_TIMESTAMP
);

CREATE TRIGGER changestamp
BEFORE UPDATE ON modify_test
FOR EACH ROW
EXECUTE PROCEDURE changestamp();

```

现在，让我们看一下我们刚创建的触发器：

```

postgres=# INSERT INTO modify_test(data) VALUES('something');
INSERT 0 1
postgres=# UPDATE modify_test SET data = 'something else' WHERE id =
1;
UPDATE 1
postgres=# SELECT * FROM modify_test; -[ RECORD 1 ]-----+
-----+
id          | 1
data        | something else
created_by   | postgres
created_at   | 2013-04-15 09:28:23.966179
last_changed_by | postgres
last_changed_at | 2013-04-15 09:28:31.937196

```

## 5.7 不可改变的字段触发器

如果你将行中的字段作为你审核记录的部分内容，那么你需要确保值反馈的是真实情况。我们曾经确保字段 `last_changed_*` 能够包含正确的值，但是 `created_by` 与 `created_at` 这两个值是否正确呢？这些在后续的升级中能够轻易被修改，但它们不应该发生变动。甚至在刚开始的时候，它们可被错误地赋值，因为在 `INSERT` 语句中赋予任何其他值，默认值就会很容易被忽略。

所以，让我们把 `changepstamp()` 触发器函数修改成一个 `usagestamp()` 函数，这样能确保初始值的准确性与稳定性：

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION usagestamp()
RETURNS TRIGGER AS $$$
BEGIN
    IF TG_OP = 'INSERT' THEN
        NEW.created_by = SESSION_USER;
        NEW.created_at = CURRENT_TIMESTAMP;
    ELSE

```

```

    NEW.created_by = OLD.created_by;
    NEW.created_at = OLD.created_at;
END IF;

NEW.last_changed_by = SESSION_USER;
NEW.last_changed_at = CURRENT_TIMESTAMP;
RETURN NEW;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;

```

在 INSERT 这个例子中，我们将 `created_*` 字段设置成所需要的值，忽视了 INSERT 查询尝试设置的值。而对于 UPDATE，我们只是继续使用旧值，继续忽略其他修改尝试。

这个函数接下来被用于创建一个 BEFORE INSERT OR UPDATE 触发器：

```

CREATE TRIGGER usagestamp
BEFORE INSERT OR UPDATE ON modify_test
FOR EACH ROW
EXECUTE PROCEDURE usagestamp();

```

现在，让我们尝试更新创建的审计日志信息。首先，我们需要删除原来的触发器，这样同一张表就不会有两个触发器。然后，我们将试图改变 `created_by` 和 `created_at` 值：

```

postgres=# DROP TRIGGER changestamp ON modify_test;
DROP TRIGGER
postgres=# UPDATE modify_test SET created_by = 'notpostgres',
created_at = '2000-01-01';
UPDATE 1
postgres=# select * from modify_test;
-[ RECORD 1 ]-----
id          | 1
data        | something else
created_by   | postgres
created_at   | 2013-04-15 09:28:23.966179
last_changed_by | postgres
last_changed_at  | 2013-04-15 09:33:25.386006

```

通过查看上述结果，我们可以发现，创建的信息还是一样的，但最近修改过的信息已得到更新。

## 5.8 当触发器被调用时的控制策略

尽管在 PL / pgSQL 触发器函数中有条件地运行触发器是一件相对容易的事情，但倘若不同时调用触发器可能效率会更高。当只有一小部分事件被触发的时候，我们往往会忽略一个触发器的工作效率。然而，如果你进行的是大批量的数据加载或者对表中的大部分内容进行更新，你就会感受到触发器的累积影响。为了避免开销，最好的解决办法就是仅在真正有需要的时候才去调用触发器函数。

当触发器被 CREATE TRIGGER 命令本身调用的时候，我们可以通过两种方法对其进行限制。

所以，我们再一次使用相同的语法，但这一次加入所有的选项：

```
CREATE TRIGGER name
  { BEFORE | AFTER | INSTEAD OF } { event [ OR event ... ] }
  [ OF column_name [ OR column_name ... ] ] ON table_name
  [ FOR [ EACH ] { ROW | STATEMENT } ]
  [ WHEN ( condition ) ]
  EXECUTE PROCEDURE function_name ( arguments )
```

### 5.8.1 有条件的触发器

通用的 WHEN 子句是控制触发器的一种灵活方法，其与 SQL 查询中的 WHERE 相似。借助 WHEN 子句，你可以编写任何的表达式（除了子查询），同时可以在触发器函数被调用之前测试表达式。表达式必须输出 Boolean 值，如果该值是 FALSE（或者 NULL，会自动转换成 FALSE），触发器函数就不会被调用。

例如，你可以使用以下代码，来实施“周五下午禁止更新”的政策。

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION cancel_with_message()
RETURNS TRIGGER AS $$

BEGIN
    RAISE EXCEPTION '%', TG_ARGV[0];
    RETURN NULL;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;
```

这个函数抛出一个异常情况，这个异常是通过 CREATE TRIGGER 语句中的字符串参数进行传递的。请注意，我们不能直接将 TG\_ARGV[0] 作为消息进行使用，因为 PL / pgSQL 的语法要求字符串常量作为 RAISE 的第三个元素。

借助前面的触发器函数，我们可以通过指定条件（在 WHEN(...) 子句中）和条件符合的情况下需要抛出的消息（作为触发器的参数），来设置触发器进而执行各种约束。

```
CREATE TRIGGER no_updates_on_friday_afternoon
BEFORE INSERT OR UPDATE OR DELETE OR TRUNCATE ON new_tasks
FOR EACH STATEMENT
WHEN (CURRENT_TIME > '12:00' AND extract(DOW from CURRENT_TIMESTAMP)
= 5)
EXECUTE PROCEDURE cancel_with_message('Sorry, we have a "No task
change on Friday afternoon" policy!');
```

现在如果有人在星期五下午尝试去修改 new\_tasks 表，他会得到关于这个政策的消息：

```
postgres=# insert into new_tasks values (...);
ERROR: Sorry, we have a "No task change on Friday afternoon" policy!
```



关于触发器参数，其中需要注意的事情是参数列表总是一个文本数组 (text[])。

CREATE TRIGGER 语句中给出的所有参数都被转换成字符，这个也包括了任何的 NULL 值。

这意味着，如果我们把 NULL 放入参数列表中，PG\_ARGV 中的相应插槽中会得到文本 NULL。

## 5.8.2 在特定字段变化的触发器

当触发器被触发后，另一种控制方法是使用一张包含列的列表。在 UPDATE 触发器中，你可以指定一个或多个以逗号分隔的列，来告诉 PostgreSQL 仅当所列的列表发生变化时，触发器函数才被执行。

借助于 WHEN 子句，我们也有可能构建一个相同的条件表达式，但这张包含列的列表中则会有更清晰的语法：

```
WHEN (
    NEW.column1 IS DISTINCT FROM OLD.column1
    OR
    NEW.column2 IS DISTINCT FROM OLD.column2)
```

关于这个条件表达式的使用方式，一个常见的例子是当每次有人试图去修改一个主键列时，进行一次报错。可以通过使用 cancel\_op() 触发器函数（本章前面已做定义），来声明一个 AFTER 触发器，具体实现代码如下：

```
CREATE TRIGGER disallow_pk_change
    AFTER UPDATE OF id ON table_with_pk_id
    FOR EACH ROW
    EXECUTE PROCEDURE cancel_op();
```

## 5.9 可视化

有时候，你的触发器函数可能会遇到多版本并发控制（Multiversion Concurrency Control, MVCC）这样的可视化规则，即 PostgreSQL 的系统与数据更改之间如何进行交互。

声明过 STABLE 或 IMMUTABLE 的函数将再也看不到之前那些触发器对基础表所做的变化。

VOLATILE 函数需要遵循更复杂的规则，概括如下：

- 语句级 BEFORE 触发器看不到当前语句所做的变化，而 AFTER 触发器将会看到语句所做的所有变化。
- 对于 BEFORE 触发器，由于操作本身并没有发生，所以它看不到操作给行数据带来的变化。借助相同的语句，其他触发器对其他行所做的变动是可见的，而且我们需要注意，行处理的顺序是未经过定义的。

□ 以上对于 INSTEAD OF 触发器同样适用。借助相同的命令，触发器对前面的行所作的变动对于现在触发器函数的调用是可见的。当外部命令对所有行所做的变动完成之后，而且对触发器函数可见时，行级 AFTER 触发器被触发。

这些适用于在数据库进行的数据查询的函数——OLD 与 NEW 行，正如前文所述，肯定是可以见的。

通过链接 <http://www.postgresql.org/docs/current/static/spi-visibility.html> 你可以找到相同的信息的不同措辞说明。

## 至关重要——谨慎使用触发器

对于数据库端的操作，触发器是一种合适的工具，例如审计、日志、执行复杂约束甚至是复制（目前一些逻辑复制系统是基于触发器来研制的，且已投入使用）。然而，对于大多数应用程序逻辑，我们还是尽可能避免使用触发器，由于触发器会导致离奇且难以调试的问题。

## 5.10 传递给 PL/pgSQL TRIGGER 函数的变量

下面是一张完整的使用 PL/pgSQL 编写的触发器函数变量列表：

OLD, NEW	RECORD	触发器调用的是 before 与 after 行图像。OLD 未分配给 INSERT, NEW 未分配给 DELETE 两者在语句级触发器中均未分配
TG_NAME	name	触发器的名称（来自触发器定义）
TG_WHEN	text	BEFORE、AFTER 或者 INSTEAD OF 之一
TG_LEVEL	text	ROW 或者 STATEMENT
TG_OP	text	INSERT、UPDATE、DELETE 或者 TRUNCATE 之一
TG_RELID	oid	触发器创建依赖表中的 OID
TG_TABLE_NAME	name	表的名称（TG_RELNAME 的旧拼法已经放弃，但仍可沿用）
TG_TABLE_SCHEMA	name	表架构的名称
TG_NARGS, TG_ARGV []	Int, text[]	触发器定义中的参数数量与参数数组

## 5.11 小结

触发器将表中或者视图中一组动作与特定操作进行相互关联。这一组动作借助特殊的触发器函数进行定义，该函数将返回值类型指定为特殊的假触发器。所以，每次一个操作（INSERT、UPDATE、DELETE 或者 TRUNCATE）在表中被执行时，这个触发器函数就被系统调用。

它也可以被执行成 FOR EACH ROW 或 FOR EACH STATEMENT。如果是每行执行的话（行级触发器），该函数传递特殊变量 OLD 与 NEW。由于行现在已经存在于数据库（OLD）中且这个时候触发器函数被调用（NEW），所以 OLD 或者 NEW 会包括行内容。当 OLD 或者 NEW 值丢失的时候，它会传递 undefined。如果每次执行一条语句（语句级触发器），OLD 与 NEW 对于所有操作都是未分配的。

触发器函数对于行级触发器 INSERT、UPDATE 和 DELETE 可以设置成对表执行 BEFORE 或者 AFTER 操作，而对于视图执行 INSTEAD OF 操作。

触发器函数针对应用于 INSERT、UPDATE 和 DELETE 等操作的语句级触发器，可以对表或者视图设置执行 BEFORE 或 AFTER 操作。

因为 TRUNCATE 逻辑上是“全部删除”语句的一种特殊形式，所以在 TRUNCATE 操作的时候，ON DELETE 触发器将不会被触发。但是，你可以在同张表上使用一个特殊的触发器 ON TRUNCATE。只有语句级的 TRUNCATE 触发器是可用的。当你无法通过返回 NULL 来跳过语句级触发器时，你可以做例外处理并终止这个事务。

同样，我们也无法对视图定义任何的 ON TRUNCATE 触发器。



*Chapter 6*

## 第 6 章

# PL/pgSQL 调试

本章节内容是完全可选读的。如果你能够使用最好的算法编写出高质量、无缺陷的代码，那么本章的内容可能就会有点浪费你的时间。当然，这需要你的函数在首次尝试的时候就得到完美解析。根据上月你写的业务与技术文档，你的想法正好符合你所需要的。你的程序并不需要版本控制，因为只有第一版。

但如果你还在阅读本章内容，那我敢肯定，你可能跟我差不多。花 10% 的时间编写新代码，却要花 90% 的时间修改因在 10% 时间内犯下的错误与疏漏。事实上可以这么说，因此你不再产生新的代码。而实际上，对整个过程更准确的描述应该是一开始你犯了一个愚蠢的错误，然后不断修改，直到用户受不了质量保证（QA）流程。最后期盼结果能够对终端用户有用。对你来说，我的描述是不是很真实呢？实在抱歉。

本章的目的是让你更快地犯错误。同时，你也将学习如何以惊人的速度诊断和修复错误。我们希望达到的净效应是你的老板在一开始就认为你的代码是正确的。这当然是一个谎言，但是非常有用。

这个概念对于敏捷软件开发是至关重要的。在这一理念中，它被叫做“原型”。具体做法是快速建立一个功能，并作为谈话点进行展示，而不是从概念文档中产生一个完整的系统（假设是完美的）。另一些作者称之为“快速失败”。现有一种共识是前三个或者前四个开发迭代版本对于用户来说是不可接受的，除非进行了一些产品讨论，不然我们是不能将其作为最终版本进行对外推广的。

这个过程实际上要求开发人员在调试器中“活”下来。在达到最终预期结果之前，他需要不断地修改输出与例程。PostgreSQL 拥有一套强大的调试工具，可以帮助你清理乱场。现在让我告诉你它们是如何工作的。

## 6.1 使用 RAISE NOTICE 进行“手动”调试

你可能想抢先阅读一下第10章。在第10章中，我们给出了一些在本章中能派上用场的例子（以及一种安装的快捷方法）。这些例子将在本章中被再次引用，但是如果把它们当作扩展程序进行安装的话，对你来说可能更轻松一些。

下面给出第一个示例：

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION format_us_full_name_debug(
    prefix text,
    firstname text,
    mi text,
    lastname text,
    suffix text)

RETURNS text AS
$BODY$
DECLARE
    fname_mi text;
    fmi_lname text;
    prefix_fmil text;
    pfmil_suffix text;
BEGIN
    fname_mi := CONCAT_WS(' ', CASE trim(firstname) WHEN '' THEN NULL
ELSE firstname END, CASE trim(mi) WHEN '' THEN NULL ELSE mi END ||

'.');

    RAISE NOTICE 'firstname mi.: %', fname_mi;
    fmi_lname := CONCAT_WS(' ', CASE fname_mi WHEN '' THEN NULL ELSE
fname_mi END,CASE trim(lastname) WHEN '' THEN NULL ELSE lastname END);
    RAISE NOTICE 'firstname mi. lastname: %', fmi_lname;
    prefix_fmil := CONCAT_WS('. ', CASE trim(prefix) WHEN '' THEN NULL
ELSE prefix END, CASE fmi_lname WHEN '' THEN NULL ELSE fmi_lname END);
    RAISE NOTICE 'prefix. firstname mi lastname: %', prefix_fmil;
    pfmil_suffix := CONCAT_WS(', ', CASE prefix_fmil WHEN '' THEN NULL
ELSE prefix_fmil END, CASE trim(suffix) WHEN '' THEN NULL ELSE suffix
|| '.' END);

    RAISE NOTICE 'prefix. firstname mi lastname, suffix.: %', pfmil_
suffix;

    RETURN pfmil_suffix;
END;
$BODY$
LANGUAGE plpgsql VOLATILE;
```

在这个例子中，我们使用空传播，格式化一个人的全名。

空传播发生在当一个表达式中的任意或者所有成员为空的时候。在这个表达式中：myvar := null || 'something'，myvar会评估为null。PostgreSQL 9.1引入了一个非常方便的新函数，名为CONCAT\_WS（带分隔符串连），该函数便能利用这一效应优势。

例如：

```
lastfirst := CONCAT_WS(', ', lastname, firstname);
```

如果 lastname 或者 firstname 不存在的话，那么上面的代码将不会打印出 lastname 与 firstname 之间的逗号和空格。这种效果被用在函数 `format_us_address()` 中，通过使用多个嵌套层次来提供地址，而所提供的地址看上去非常吸引人且友好程度和邮政处理得一样。

代码示例中的有几个语句展示了当函数被调用的时候，如何使用 RAISE NOTICE 与文本或者变量一起来提供调试信息。例如，在 pgAdmin3 运行我们的函数，会产生一些通知消息：

```
SELECT format_us_full_name_debug('Mr','Kirk','L','Roybal','Author');
```

你可以看到消息选项卡显示的那些 pgAdmin3 消息，如下截图所示：

Data Output	Explain	Messages	History
NOTICE: firstname mi.: Kirk L. NOTICE: firstname mi. lastname: Kirk L. Roybal NOTICE: prefix. firstname mi lastname: Mr. Kirk L. Roybal NOTICE: prefix. firstname mi lastname, suffix.: Mr. Kirk L. Roybal, Author.  Total query runtime: 17 ms. 1 row retrieved.			

在命令行 psql 客户端中，同一查询的输出显示在下面的代码中：

```
kroybal=# SELECT format_us_full_name_debug('Mr','Kirk','L','Roybal','Author');
NOTICE: firstname mi.: Kirk L.
NOTICE: firstname mi. lastname: Kirk L. Roybal
NOTICE: prefix. firstname mi lastname: Mr. Kirk L. Roybal
NOTICE: prefix. firstname mi lastname, suffix.: Mr. Kirk L. Roybal,
Author.
format_us_full_name_debug
-----
Mr. Kirk L. Roybal, Author.
(1 row)
```

### 6.1.1 抛出异常

相比 NOTICE，RAISE 命令采用几个 NOTICE 之外的操作符号。它也将抛出用于调用代码的异常。以下是创建异常的一个例子：

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION validate_us_zip(zipcode TEXT)
RETURNS boolean
AS $$
DECLARE
    digits text;
BEGIN
    -- remove anything that is not a digit (POSIX compliantly, please)
    digits := (SELECT regexp_replace(zipcode, '[^[:digit:]]', '', 'g'));
```

```

IF digits = '' THEN
    RAISE EXCEPTION 'Zipcode does not contain any digits --> %',
digits USING HINT = 'Is this a US zip code?', ERRCODE = 'P9999';
ELSIF length(digits) < 5 THEN
    RAISE EXCEPTION 'Zipcode does not contain enough digits --> %',
digits USING HINT = 'Zip code has less than 5 digits.', ERRCODE =
'P9998';
ELSIF length(digits) > 9 THEN
    RAISE EXCEPTION 'Unnecessary digits in zip code --> %', digits
USING HINT = 'Zip code is more than 9 digits.', ERRCODE = 'P9997';
ELSIF length(digits) > 5 AND length(digits) < 9 THEN
    RAISE EXCEPTION 'Zip code cannot be processed --> %', digits USING
HINT = 'Zip code abnormal length.', ERRCODE = 'P9996';
ELSE
    RETURN true;
END IF;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;

```

开发人员对 ERRCODE 值进行定义。在这个例子中，我使用了通用的 PL/pgSQL 的错误代码值（P0001 或 plpgsql\_error）。从误差范围的最大值开始，然后按照我想要暴露的每种错误类型逐步降低。这是一个非常简单的技术设计，主要目的就是避免 PL/pgSQL 错误代码的重叠。你可以创建任何你想要的错误代码，但最好是避免文档中所列的这些：

<http://www.postgresql.org/docs/current/static/errcodes-appendix.html>。

已附代码中已经提供了一个示例函数（error\_trap\_report）。你可以轻松修改这些代码，来确定被任何给定错误号抛出的误差代码常数。对于 PL/pgSQL 函数，默认的误差常数为 plpgsql\_error（P0001）。

下面的代码是用来捕获在前面例子中被抛出的错误：

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION get_us_zip_validation_status(zipcode text)
returns text
AS
$$
BEGIN
    SELECT validate_us_zip(zipcode);
    RETURN 'Passed Validation';
EXCEPTION
    WHEN SQLSTATE 'P9999' THEN RETURN 'Non-US Zip Code';
    WHEN SQLSTATE 'P9998' THEN RETURN 'Not enough digits.';
    WHEN SQLSTATE 'P9997' THEN RETURN 'Too many digits.';
    WHEN SQLSTATE 'P9996' THEN RETURN 'Between 6 and 8 digits.';
    RAISE; -- Some other SQL error.
END;
$$
LANGUAGE 'plpgsql';

```

这个代码可以被调用，如下代码所示：

```

SELECT get_us_zip_validation_status('34955');
get_us_zip_validation_status
-----
Passed Validation
(1 row)

root=# SELECT get_us_zip_validation_status('349587');
get_us_zip_validation_status
-----
Between 6 and 8 digits.
(1 row)

root=# SELECT get_us_zip_validation_status('3495878977');
get_us_zip_validation_status
-----
Too many digits.
(1 row)

root=# SELECT get_us_zip_validation_status('BNHCGR');
get_us_zip_validation_status
-----
Non-US Zip Code
(1 row)

root=# SELECT get_us_zip_validation_status('3467');
get_us_zip_validation_status
-----
Not enough digits.
(1 row)

```

### 6.1.2 文件日志

我们可以使用 `log_min_messages`, 将 RAISE 语句表达式发送给日志。这些参数在 `postgresql.conf` 中进行设置。有效值为: `debug5`、`debug4`、`debug3`、`debug2`、`debug1`、`info`、`notice`、`warning`、`error`、`log`、`fatal` 与 `panic`。

默认的日志记录级别依赖于包装系统。在 Ubuntu 中, 默认的日志记录级别为 `info`。对于 RAISE 语句, 日志记录级别对应于相同的表达式。作为一个开发者, 你可以提出任何可用的信息, 并将其记录在文件日志中, 为后续分析做准备。

目前将消息发布到 PostgreSQL 后台程序日志中的最简单方法是使用 RAISE LOG:

```
RAISE LOG 'Why am I doing this?';
```

这个日志通常与系统其他日志一起位于 `/var/log` 下。在 Ubuntu 中, 地址是 `/var/log/postgresql/postgresql-9.1-main.log`。

#### 1. RAISE NOTICE 的优点

使用 RAISE NOTICE 形式的调试有以下几个优点: 它可以与回归测试脚本一起被反复

使用。借助命令行客户端，它可以轻松实现调试。考虑下面的语句：

```
psql -qtc "SELECT format_us_full_name_debug('Mr','Kirk','L.','Roybal',
,'Author');"
```

以上语句向 stdout 输出以下内容：

```
NOTICE:  firstname mi.: Kirk L..
NOTICE:  firstname mi. lastname: Kirk L.. Roybal
NOTICE:  prefix. firstname mi lastname: Mr. Kirk L.. Roybal
NOTICE:  prefix. firstname mi lastname, suffix.: Mr. Kirk L.. Roybal,
Author.
Mr. Kirk L.. Roybal, Author.
```

由于一组恒定的输入参数总会产生一个已知的输出，因此我们可以轻松地使用命令行工具来测试预期结果。当你准备将最新修改的代码部署到生产系统中，就可以运行命令行测试，来验证所有功能是否能像预期那样正常工作。

RAISE NOTICE 已包含在产品中，所以无需安装。这个优点在本章后面的内容中会愈加凸显出来，特别是当遇到 PL/pgSQL 调试器安装程序的说明时。

RAISE 语句是非常容易理解的。它的语法很简单，而且可以通过以下链接查询到：<http://www.postgresql.org/docs/current/static/plpgsql-errors-and-messages.html>。

RAISE 可以在任何开发环境中使用，而且它几乎存在于每个操作系统中的每个 PostgreSQL 版本。它可以与 pgAdmin3、phpPgAdmin 共同使用，同时也可以与命令行工具 psql 一起使用。

这些特性结合在一起，使得 RAISE 成为了一个非常有吸引力的小规模调试工具。

## 2. RAISE NOTICE 的缺点

不幸的是，使用这个调试方法也有一些缺点。主要的缺点是当我们不需要 RAISE 语句的时候，我们需要记得将它们去除。这些消息往往会影响 psql 的命令行客户端，而且通常会惹恼其他开发者。该日志可能很快就被之前调试产生的无用消息塞满。RAISE 语句需要被编写，注释掉，并在需要的时候恢复。它们可能并不具有被找出来的错误。它们还会拖延程序的执行速度。

## 6.2 可视化调试

PL/pgSQL 的调试器托管在 pgFoundry，对于 PostgreSQL 8.2 或更高版本，其会提供了一个调试接口。下面的描述在 <http://pgfoundry.org/projects/edb-debugger/> 被提及：

“PL/pgSQL 调试器可以让你在 PL/pgSQL 代码中如鱼得水，设置和清除断点，查看和修改变量，然后悠哉通过调用栈。”

正如描述中所提及的，PL/pgSQL 调试器可以成为你“军火库”中一个便捷的小工具。

### 6.2.1 安装调试器

好了，现在让我们走出调试器的魅影，将其真正运行到你的系统中。如果你安装的 PostgreSQL 有一个软件包已经包含了调试器，那么接下来的安装就变得非常简单。不然，你需要从源代码中创建它。

关于通过源代码进行 PL / pgSQL 调试器的创建说明已经超出了本书的介绍范围。构建源的最好办法是将最新版本拖到 CVS (Concurrent Versions System) 源代码控制系统中，然后参照目录中的 README 文件进行操作。如果你想快速启动它，那你需要一个 Windows 机器。Windows 安装程序是使用调试器最简单的方法。

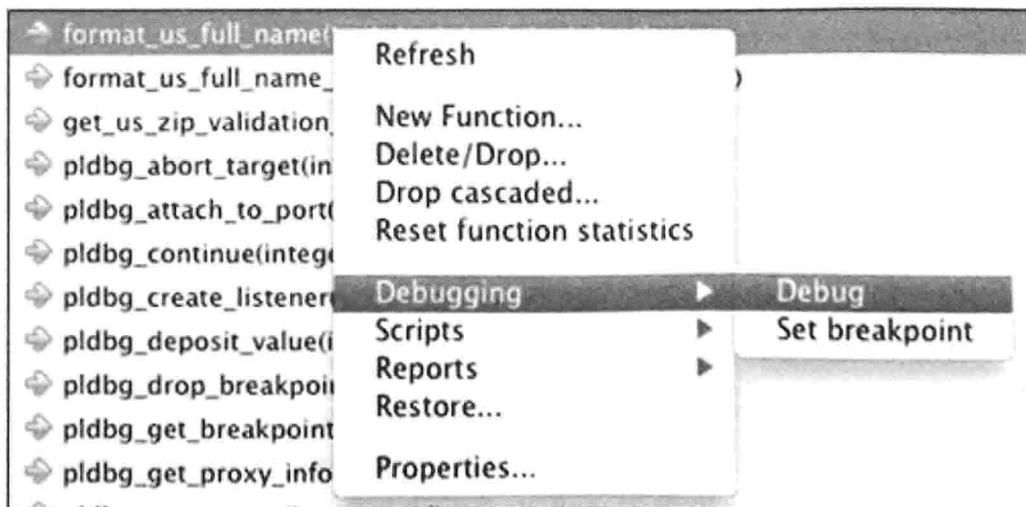
### 6.2.2 安装 pgAdmin3

PL/pgSQL 调试器模块可与 pgAdmin3 同步使用。对于给调试器安装 pgAdmin3，目前没有特殊的步骤。在你使用的平台上，你按照正常流程，从软件包管理器里进行安装。对于 Ubuntu 10.04 LTS，以下是其 aptitude：

```
sudo apt-get install pgadmin3
```

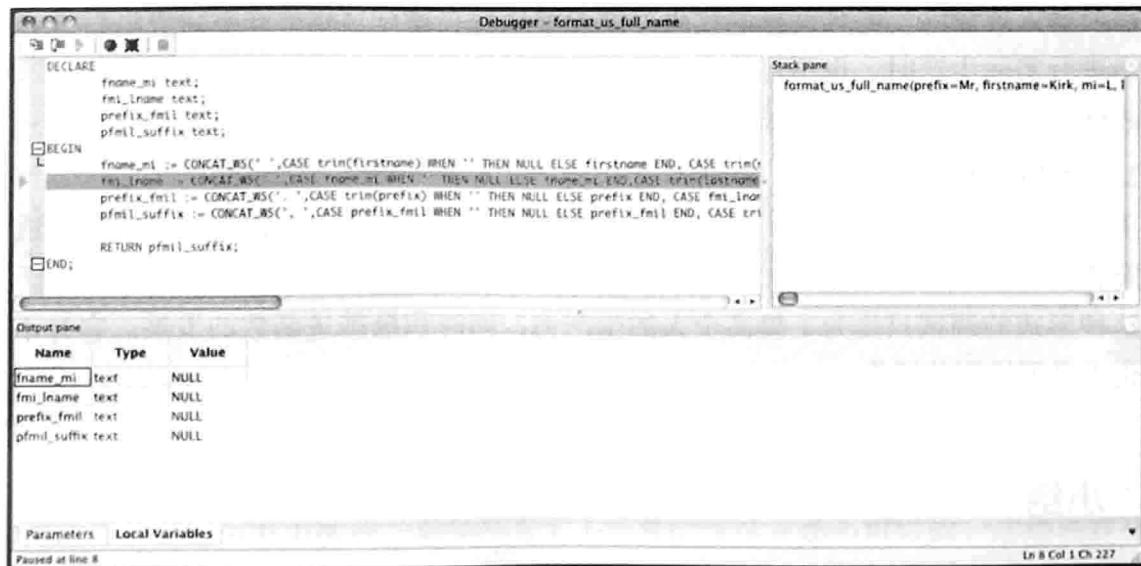
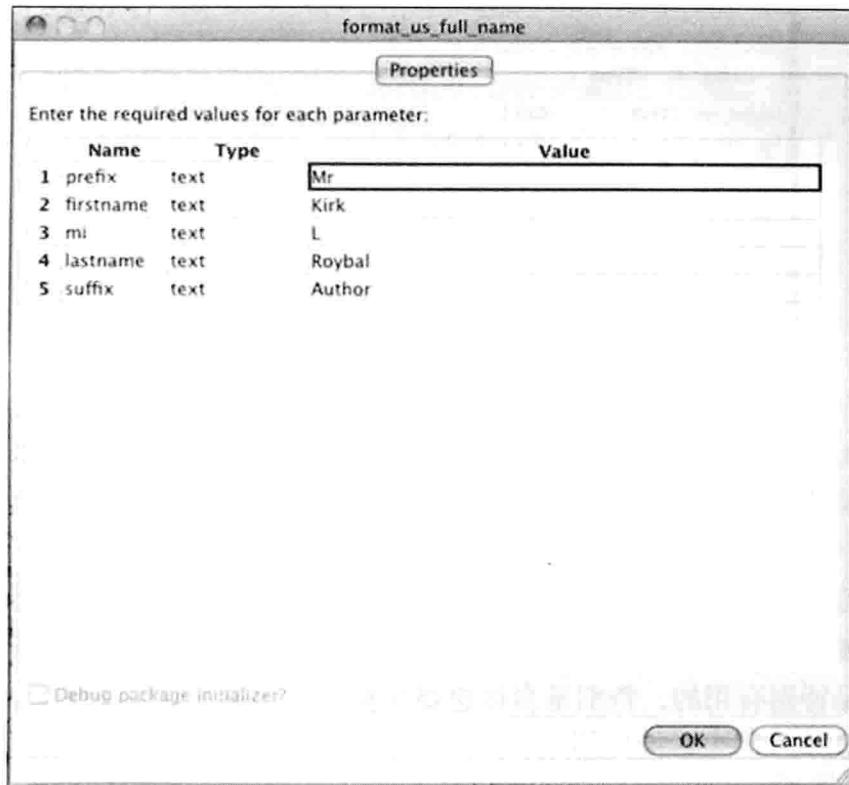
### 6.2.3 使用调试器

当调试器可用于一个特定的数据库时，我们可以右键单击 PL/pgSQL 函数，从上下文菜单中便可看出。在本章的前面部分，我们已经创建了部分内容。以使用 `format_us_full_name` 为例，右击它，依次选择 Debugging | Debug：



你会看到下面的对话框：

如在前面的截图中所看到的，在列中输入一些值，并点击 OK 按钮。这些值将被存入调试器：



这将允许你执行代码，并查看任何变量的值变动情况。当函数被执行的时候，多点几次“step-into”按钮，查看值如何被修改：

## 1. 调试器的优点

当PL/pgSQL的调试器停止使用运行时，它并不需要占用服务器的任何资源。由于在pgAdmin3中，我们是手动调用调试器的，所以调试器不会驻留在内存中，直到它被调用的时候才会占用内存资源。这种架构使得调试并不需要任何的后台进程或者额外的虚拟光驱。

Output pane		
Name	Type	Value
fname_mi	text	Kirk L.
fmi_lname	text	Kirk L. Roybal
prefix_fmil	text	Mr. Kirk L. Roybal
pfmil_suffix	text	Mr. Kirk L. Roybal, Author.

Parameters   
 Local Variables

Paused at line 13

同时，PL/pgSQL 调试器并不需要任何特殊的“调用”函数，将其写入来调用调试进程。没有错误需要捕获，也没有错误代码表需要解释。调试过程中所需要的一切信息都能在一个简单的窗口中找到。

如果你以超级用户的身份连接你的数据库，你还可以设置一个全局的突破点。这个突破点可以被设置在任何的函数或者触发器中，下一次它就可以停止任何代码路径调用该函数。这个对你是特别有用的，特别是当你想要在整个运行中的应用程序上，调试你的那些函数或者触发器。

PL/pgSQL 调试器的最大优点是它不需要在调试中的函数中拥有任何特殊的索具。没有代码需要插入或删除，而且良好的代码习惯能够确保在调试过程中并不需要进行代码的修改。当进行实际生产时，也不可能“忘记”调试代码。现在无需任何特殊操作，所有的 PL/pgSQL 函数可以立即进行调试。

## 2. 调试器的缺陷

正如你已经痛苦地意识到，调试器的安装有待大幅改进。由于需要大量的学习成本来进行安装，该调试器目前在 PostgreSQL 社区并不非常受欢迎。

这种形式的调试只是为了提高个人的生产力，同时积极推进函数的发展。它并不会像自动化工具那样高效运作。

## 6.3 小结

这些调试方法的设计初衷是相辅相成。在开发过程中，它们在不同点进行相互补充。当编写一个既有的函数（希望写得非常好），使用 PL/pgSQL 调试器进行的调试就非常有效，其他形式的调试最好符合质量保证或自动数据处理应用程序。

由于 PL/pgSQL 调试器是一个与 pgAdmin3 一起运作的可视化工具，开发者为了其他特征，可能会放弃可视化调试器。

## 使用无限制的开发语言

你可能已经注意到，PostgreSQL 的有些开发语言被声明为不受信任的。它们的名称都以 `u` 结尾，在你每次使用这些语言来创建函数时，该字母都是为了提醒你它们是不受信任的。

开发语言的不受信任带来了许多问题：

- 不受信任的意思是这些语言在某种程度上不如可信的语言吗？
  - 我还可以继续使用不受信任的语言编写函数吗？
  - 它们会不会悄悄地吃掉我的数据，破坏我的数据库呢？
- 答案分别是“不是”，“是的”，“也许可能吧”。让我们来逐个讨论这些问题。

### 7.1 不受信任的语言是否比受信任的语言差

不是的，答案恰恰相反。这些语言的不受信任，就如同一把小刀不受人信任，我们不能信任地将其交给一个小孩，至少没有大人监督的情况下是不可以的。这些语言有着额外的能力，这些能力是普通的 SQL 所没有的，或者即使是受信任的语言（如 PL/pgSQL）以及相同语言的那些受信任变量（PL/Perl 对比 PL/Perlu）也都不具备的一些能力。

你可以使用不受信任的语言在数据库磁盘上直接进行读写操作，同时你也可以用它打开一个接口，然后针对外面的站点进行互联网查询。你甚至可以向任何数据库主机上的进程发送任意信号。总体来说，你可以做 PL 原生语言能做的任何事情。

但是，你不能随意授权给任意的数据库用户，使其具有使用这些语言进行函数定义的权限。在使用 \*u 语言开发重要函数时，针对不受信任语言，在授权给一个用户或者用户组

所有权限之前，我们一定要三思而后行。

你是否可以使用不受信任的语言来进行重要的函数编写呢？当然可以。有时候它可能是服务器内部完成某些任务的唯一途径。执行简单的查询和计算应该对你的数据库不造成任何损害，同样的对外部进行电子邮件发送、网页抓取或者做 SOAP 请求也不会产生任何损害。它们可能会导致延误，甚至会卡住一些查询，但这些可以通过设置最高超时值得以解决，例如通过使用一个合理的语句超时值来设定一个查询的运行时长。不管怎样，将合理的语句超时值设置成默认值是一个很好的操作习惯。

所以，如果你不刻意去做冒险的事情，数据库被拖垮的概率并不比使用一种“受信任的”语言变得更高，受信任的也被称为“受限制的”。然而，如果你把语言的使用权限给了一个正要在生产数据库改变数据来一探究竟的人，那你可能就会得到答案了。

## 7.2 不受信任的语言是否会拖垮数据库

这些语言肯定会拖垮数据库，因为函数会作为数据库服务器的系统用户来运行，具有完全访问文件系统的权限。所以，如果你一味地写入数据文件和删除重要记录，那你的数据库就真有可能被拖垮。

其他类型的拒绝服务攻击也是有可能的，例如用尽内存或者打开所有 IP 端口；但是即使使用普通的 SQL，也是有可能让数据库超载的，所以这跟受信任的数据库访问并运行随意查询并无太大区别。

所以，是的，你可能会拖垮数据库，但请不要在生产服务器上进行操作。如果你真这么做了，那你肯定会后悔的。

## 7.3 为什么不受信任

PostgreSQL 使用不受信任语言的能力是为了强有力地执行数据库函数的一些非传统的功能。相比于使用 C 语言进行扩展程序的编写，使用一种 PL 来进行函数的创建会是一个相对轻松的任务。例如，用于查找一个主机名的 IP 地址的函数只需要几行 PL/Python 代码：

```
CREATE FUNCTION gethostbyname(hostname text)
RETURNS inet
AS $$$
import socket
return socket.gethostbyname(hostname)
$$ LANGUAGE plpythonu SECURITY DEFINER;
```

在使用 psql 的创建函数之后，你可以立即对其进行测试：

```
hannu=# select gethostbyname('www.postgresql.org');
gethostbyname
```

```
-----  
98.129.198.126  
(1 row)
```

使用最不受信任的语言（C语言）创建相同的函数，会包括很多问题，比如编写几十行的样板代码，担心内存泄漏以及所有其他因使用低层次语言编写代码带来的问题。在下一章中，我们会探讨如何使用C进行PostgreSQL扩展。如果有可能的话，我会建议使用一些PL语言进行原型搭建，然后如果函数需要一些受限制的语言不能提供的内容，再使用一种不受信任的语言。

## 为什么是 PL/Python

所有这些任务都同样可以使用PL/Perlu或PL/Tclu来完成；我选择PL/Pythonu主要是因为Python是我使用得最得心应手的语言。这也意味着我要编写一些PL/Python代码，这些代码都是我打算在本章与大家一起讨论与分享的。

## 7.4 PL/Python 快速介绍

我们在前面的章节中讨论了PL/pgSQL，它是与PostgreSQL共同发布的一种标准化的过程语言。PL/pgSQL是PostgreSQL特有的语言，设计它的目的是在数据库内部添加计算模块与SQL。尽管该语言的功能不断强大，但它始终缺少程序设计语言所具有的完整语法。PL/Python允许你使用Python编写数据库函数，以及在数据库之外编写Python代码。

### 7.4.1 最小的PL/Python函数

让我们再次重新开始：

```
CREATE FUNCTION hello(name text)
RETURNS text
AS $$  
    return 'hello %s !' % name
$$ LANGUAGE plpythonu;
```

在这里我们看到，创建函数首先需要借助text字段中的RETURENS定义，将函数定义成任何其他的PostgreSQL函数：

```
CREATE FUNCTION hello(name text)
RETURNS text
```

与我们之前看到的不同的地方是该语言部分指定的是plpythonu（用于PL/Pythonu语言的语言ID）：

```
$$ LANGUAGE plpythonu;
```

在函数内部，它是一个非常正常的Python函数，返回一个值，该值是借助名称获得

的。该名称作为一个格式化的参数，通过使用标准 Python 格式化操作符 %，传递给字符串 'hello %s !':

```
return 'hello %s !' % name
```

最后，让我们测试一下是否可运行：

```
hannu=# select hello('world');
hello
-----
hello world !
(1 row)
```

对的，它返回的正是我们想要的！

#### 7.4.2 数据类型转换

当一个 PL 函数被 PostgreSQL 调用的时候，第一件又是最后一件发生的事情是 PostgreSQL 类型与 PL 类型之间进行的参数值转换。PostgreSQL 类型需要被转换成 PL 类型，才能输入函数，然后返回值又需要转换回 PostgreSQL 类型。

除 PL / pgSQL 使用 PostgreSQL 自身的原生类型进行计算之外，其他 PL 是基于现有语言来理解类型归属（integer, string, date, ...）的、它们的表现方式以及内部代表的意思。它们与 PostgreSQL 的理解力差不多，但也不是完全相同。PL/ Python 从 PostgreSQL 类型将数据转换为 Python 类型，如下表所示：

PostgreSQL	Python 2	Python 3	评价
<code>int2, int4</code>	<code>int</code>	<code>int</code>	
<code>int8</code>	<code>long</code>	<code>int</code>	
<code>real, double, numeric</code>	<code>float</code>	<code>float</code>	这可能会失去数值的准确性
<code>bytea</code>	<code>str</code>	<code>bytes</code>	无编码转换，也不需要任何编码假设
<code>text, char(), varchar()</code> , 以及其他文本类型	<code>str</code>	<code>str</code>	对于 Python 2，字符串将采用服务器编码 对于 Python 3，这是一个 unicode 字符串
所有其他类型	<code>str</code>	<code>str</code>	PostgreSQL 的类型输出函数是用来转换到这个字符串的

在函数内部，所有的计算是借助 Python 类型来实现的。而通过使用下方规则，返回值被转换回 PostgreSQL。（直接引自 PL/ Python 官方文档 <http://www.postgresql.org/docs/current/static/plpython-data.html>）：

- 当 PostgreSQL 的返回类型为 Boolean，返回值则会按照 Python 的规则进行评估，即 0 和空字符串都是假的，但 f 为真。
- 当 PostgreSQL 的返回类型为 bytea，使用相应的 Python 内置插件，返回值则会被转换为字符串（Python 2）或者字节（Python 3），然后其结果将被转换为 bytea 类型。

- 对于所有其他 PostgreSQL 的返回类型，使用 Python 内置 str，Python 的返回值被转换成字符串，然后将结果传递给 PostgreSQL 数据类型的输入函数。

当字符串被传递给 PostgreSQL 时，Python 2 中的字符串都必须在 PostgreSQL 服务器上进行编码。如果字符串在当前服务器中的编码是无效的，那么将会引发一个错误；但并不是所有的编码不匹配都可被检测出来，所以倘若进行了错误的操作，那还是有可能产生垃圾数据的。Unicode 字符串会被自动转换为正确的编码，所以我们可以更放心、更便捷地使用它们。在 Python 3 中，所有字符串都是 Unicode 字符串。

换句话说，除了 0 与 False 以及一个空序列（包括空字符串 '' 或空字典类型），其他任何东西都会变成 PostgreSQL 中的 false。

一个值得注意的例外情况是，在任何转换完成之前，None 检查必须提前进行。甚至对于 Boolean，None 也总是被转换为 NULL，而不是 Boolean 值 false。

对于 bytea 类型（PostgreSQL 的字节数组），从 Python 字符串表达式过来的转换，是没有编码或没有应用过其他转换的一个完全副本。

### 7.4.3 使用 PL/Python 编写简单函数

我们使用 PL/ Python 来编写函数，与我们使用 PL/ pgSQL 编写函数其实并没有本质的区别。你仍然可以按照相同的语法在函数正文中使用 \$\$。参数名称、类型和返回都是一样的东西，不管使用的是为 PL/ 语言（过程化语言）。

#### 1. 一个简单的函数

因此，一个使用 PL/Python 完成的简单的函数 add\_one()，如下：

```
CREATE FUNCTION add_one(i int)
RETURNS int AS $$ 
return i + 1;
$$ LANGUAGE plpythonu;
```

它难道不能更简单一点吗？

在这里你所看到的是，PL/Python 参数在被转换成相应的类型之后，被传递给 Python 代码。结果被传递回来，然后转换成相应的 PostgreSQL 类型，进而获得返回值。

#### 2. 函数返回一个记录

从一个 Python 函数中返回一个记录，你可以使用：

- 序列或值列表，采用与返回记录中的字段相同的顺序
- 带有键值的字典，与返回记录中的字段相匹配
- 具有属性的一个类或类型实例，与返回记录中的字段相匹配

以下是上述 3 种返回记录方法的例子：

首先，使用一个实例：

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION userinfo(
    INOUT username name,
    OUT user_id oid,
    OUT is_superuser boolean)
AS $$

class PGUser:
    def __init__(self,username,user_id,is_superuser):
        self.username = username
        self.user_id = user_id
        self.is_superuser = is_superuser

u = plpy.execute("""\
    select username,usesysid,usesuper
    from pg_user
    where username = '%s'"" % username)[0]
user = PGUser(u['username'], u['usesysid'], u['usesuper'])
return user

$$ LANGUAGE plpythonu;

```

然后是一个更简单的返回记录的方式，使用了一个字典 (dictionary):

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION userinfo(
    INOUT username name,
    OUT user_id oid,
    OUT is_superuser boolean)
AS $$

u = plpy.execute("""\
    select username,usesysid,usesuper
    from pg_user
    where username = '%s'"" % username)[0]
return {'username':u['username'], 'user_id':u['usesysid'], 'is_superuser':u['usesuper']}
$$ LANGUAGE plpythonu;

```

最后是使用一个三元组：

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION userinfo(
    INOUT username name,
    OUT user_id oid,
    OUT is_superuser boolean)
AS $$

u = plpy.execute("""\
    select username,usesysid,usesuper
    from pg_user
    where username = '%s'"" % username)[0]
return (u['username'], u['usesysid'], u['usesuper'])

$$ LANGUAGE plpythonu;

```

请注意所有例子中 `u = plpy.execute(...)[0]` 的 [0]。它在那里是为了提取结果中的第一行，因为即使对于单行结果，`plpy.execute` 仍然会返回一张结果列表。



### SQL 注入的危险性

由于在用户名被合并到查询之前，我们既没有使用之后的参数来执行 `prepare()` 方法

与 `execute()` 方法，也没有使用 `plpy.quote_literal()` 方法，安全地进行用户名的引用。如此，我们面临着一个安全漏洞，我们称之为 SQL 注入。所以，你必须确保只有受信任的用户才能调用函数或者提供用户参数。

借助 3 种 `CREATE` 命令的任意一种，调用定义过的函数，结果看上去一模一样：

```
hannu=# select * from userinfo('postgres');
username | user_id | is_superuser
-----+-----+-----
postgres |      10 | t
(1 row)
```

通常情况下，在函数内声明一个类只是为了返回一个记录值，这样做没有多少意义。而这种情况可能发生在你已经有了一个合适的类，该类有一组属性，需要与函数返回值进行匹配。

### 3. 表函数

当从 PL/Python 函数返回一个集合时，你可以以下 3 种选择：

- 返回一张列表或者返回类型的任何其他序列
- 返回一个迭代器或生成器
- 从一个循环中产生返回值

通过使用这些不同的类型，我们可以有三种方法来生成所有偶数，这些偶数取决于参数值。

首先，返回一列整数：

```
CREATE FUNCTION even_numbers_from_list(up_to int)
RETURNS SETOF int
AS $$%
    return range(0, up_to, 2)
$$ LANGUAGE plpythonu;
```

该列表是由一个内置 Python 函数返回的，该函数被称为 `range`。它返回了小于参数值的所有偶数，且以一个整数表的形式返回，每行一个整数。如果函数定义的 `RETURNS` 子句显示的是 `INT []`，而不是 `SETOF int`，这个函数会返回这些偶数（可以看做 PostgreSQL 数组）中的一个数字。

下一个函数通过使用一个生成器，返回了一个类似的结果，偶数与紧跟其后的奇数。同时，请注意这一次使用的是不同的 PostgreSQL 语法 `RETURNS TABLE(...)`，来定义返回集合：

```
CREATE FUNCTION even_numbers_from_generator(up_to int)
RETURNS TABLE (even int, odd int)
AS $$%
    return ((i, i+1) for i in xrange(0, up_to, 2))
$$ LANGUAGE plpythonu;
```

通过使用生成器表达式 (`x for x in <seq>`)，我们构建了该生成器。最后，通过使用生成

器与显式的 yield 语法，我们再次定义了函数。这里另一个 PostgreSQL 的语法则被用来返回 SETOF RECORD。本次记录结构通过 OUT 参数进行定义：

```
CREATE FUNCTION even_numbers_with_yield(up_to int,
                                         OUT even int,
                                         OUT odd int)
RETURNS SETOF RECORD
AS $$

    for i in xrange(0,up_to,2):
        yield i, i+1
$$ LANGUAGE plpythonu;
```

这里重要的一点是，你可以使用任何上述方式来定义一个 PL/ Python 的集合返回函数，而且它们的作用是相同的。另外，对于集合中的任何一行，你可以任意返回不同类型：

```
CREATE FUNCTION birthdates(OUT name text, OUT birthdate date)
RETURNS SETOF RECORD
AS $$

    return (
        {'name': 'bob', 'birthdate': '1980-10-10'},
        {'name': 'mary', 'birthdate': '1983-02-17'},
        ['jill', '2010-01-15'],
    )
$$ LANGUAGE plpythonu;
```

产生的结果如下：

```
hannu=# select * from birthdates();
 name | birthdate
-----+-----
 bob  | 1980-10-10
 mary | 1983-02-17
 jill | 2010-01-15
(3 rows)
```

正如你所看到的，用 PL/ Pythonu 所编写的数据返回部分的内容，远比从 PL / pgSQL 函数中返回数据更灵活。

#### 7.4.4 在数据库中运行查询

如果你曾经访问过 Python 数据库，你便可以知道，大多数数据库适配器都在遵守一个较为松散的标准，叫做 Python Database API Specification v2.0，简称 DBAPI 2。

而在 PL/ Python 的数据库访问中，你需要了解的第一个要点就是数据库内的查询不遵循这个 API。

##### 1. 运行简单的查询

目前只有三个函数能够支持所有的数据库访问，替代标准的 API。存在两个变量：一个是 `plpy.execute()` 用以运行查询，另一个是 `plpy.prepare()` 用于将查询文本转换成查询计划或者备用的查询。

最简单的查询方法如下：

```
res = plpy.execute(<query text>, [<row count>])
```

这需要一个文本式的查询和可选的行数，返回一个结果对象，该结果对象模拟一个字典列表，一行一个字典。

举个例子，如果你要访问结果中第三行的字段 'name'，你可以使用：

```
res[2]['name']
```

这个索引值是 2 而不是 3，因为 Python 列表索引是从 0 开始的，所以第一行是 res[0]，第二行是 res[1]，以此类推。

## 2. 使用备用查询

在一个理想的世界里，所有东西都必须是完美的，但 plpy.execute (query, CNT) 存在两个缺点：

- 它不支持参数。
- 查询的计划无法保存，在每次调用时，需要解析查询文本并借助优化程序来实现。

在后面部分，我们将展示正确构建查询字符串的一个方法，但在大多数情况下，简单的参数传递是足够的。因此，execute(query, [maxrows]) 变成了两个语句：

```
plan = plpy.prepare(<query text>, <list of argument types>
res = plpy.execute(plan, <list of values>, [<row count>])
例如，如果要查询一个用户 "postgres" 是否是一个超级用户，使用如下的方式：
plan = plpy.prepare("select usesuper from pg_user where username =
\$1", ["text"])
res = plpy.execute(plan, ["postgres"])
print res[0]["usesuper"]
```

第一个语句准备查询。该查询解析查询字符串，将其转换成一个查询树，通过优化查询树，产生最佳的查询计划，并返回 prepared\_query 对象。第二行使用备用计划，查询一个特定用户的 superuser 身份。

由于我们可以反复使用备用计划，因此你可以继续查看用户 bob 是不是 superuser。

```
res = plpy.execute(plan, ["bob"])
print res[0]["usesuper"]
```

## 3. 缓存备用查询

准备查询可以是一个相当昂贵的步骤，尤其是对于那些更复杂的查询，为此优化器需要从一个相当庞大的备选方案池里进行挑选。所以如果有可能的话，在这一步我们可以重新使用结果。

目前我们运行 PL / Python，并不会自动地对查询计划（备用查询）进行缓存，但你可以自行完成缓存：

```
try:
    plan = SD['is_super_qplan']
except:
```

```

SD['is_super_qplan'] = plpy.prepare("....")
plan = SD['is_super_qplan']
<the rest of the function>

```

SD [] 和 GD[] 里的值只能存在于一个单一数据库会话中，所以当你有一个长期存活的连接时，你才可以进行缓存。

#### 7.4.5 使用 PL/Python 编写触发器函数

与其他 PL 语言一样，PL / Python 也可以被用来编写触发器函数。触发器函数的声明与普通函数在返回类型 RETURNS TRIGGER 上有所不同。以下是一个简单的触发器函数，它仅仅通知调用器被调用的事实：

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION notify_on_call()
RETURNS TRIGGER
AS $$

plpy.notice('I was called!')
$$ LANGUAGE plpythonu;

```

创建该函数之后，我们可以使用触发器函数，在表上对触发器进行测试：

```

hannu=# CREATE TABLE ttable(id int);
CREATE TABLE
hannu=# CREATE TRIGGER ttable_notify BEFORE INSERT ON ttable EXECUTE
PROCEDURE notify_on_call();
CREATE TRIGGER
hannu=# INSERT INTO ttable VALUES(1);
NOTICE: I was called!
CONTEXT: PL/Python function "notify_on_call"
INSERT 0 1

```

当然，当任何触发器对何时被何种数据变化所调用均不知情的时候，之前的触发器函数就是没有用处的。触发器被调用时所需要的所有数据均通过触发器词典进行传递，该词典被称为 TD。在 TD 中，你可以有以下值：

键	值
TD["event"]	触发器函数调用的事件；下面字符串中的任何一个都被当做一个事件：INSERT、UPDATE、DELETE 或 TRUNCATE
TD["when"]	BEFORE、AFTER, 或 INSTEAD OF 之一
TD["level"]	ROW 或 STATEMENT
TD["old"]	这是前一个命令中的行的快照。对于行级别的 UPDATE 或 DELETE 触发器，它包括当前触发行的一个字典，针对命令对数据产生改变前的行。其他情况下它是没用的
TD["new"]	这是一个命令后的行快照。对于行级别的 INSERT 或者 UPDATE 触发器，它包括当前触发行的相关值的字典，针对命令对数据产生改变后的行，其他情况下它是没用的
TD["name"]	从 CREATE TRIGGER 命令那里获取的触发器名字

(续)

键	值
TD["table_name"]	触发器产生作用的那个表的表名
TD["table_schema"]	触发器作用的表的模式名
TD["relid"]	触发器作用的那个表的对象标识符 (object identifier, OID)
TD["args"]	如果 CREATE TRIGGER 命令包括参数, 可以从 TD["args"][0] 到 TD["args"][n-1] 中获取它们

除了那些你可以通过普通的 PL/ Python 函数所能实现的功能, 如修改表中的数据、写入文档和接口、发送电子邮件等, 你也可以影响触发命令的行为方式。

如果 TD["when"] 是 ("BEFORE", "INSTEAD OF") 且 TD["level"]=="ROW", 你可以返回 SKIP 来中止事件。返回 NONE 或者 OK, 表示该行未经修改, 可以继续。如果函数进行的是简单的返回或者在运行过程中没有任何的声明, 可一直运行到结束, 返回 NONE 也是 Python 的默认行为。所以, 在这种情况下, 你不需要做任何事情。

如果你已经在 TD["new"] 中修改过数值, 而且你想要 PostgreSQL 继续使用该值, 你可以返回 MODIFY, 来表明你已经修改过该新行。如果 TD["event"] 是 INSERT 或者 UPDATE, 我们可以通过这样的操作来实现, 不然返回值会被忽略。

## 1. 探索触发器的输入

当我们开发触发器的时候, 以下触发函数是非常有用的, 这样你就可以在函数被调用的时候, 很容易地看出触发函数所能获得的东西:

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION explore_trigger()
RETURNS TRIGGER
AS $$$
import pprint
nice_data = pprint.pformat(
(
    ('TD["table_schema"]' , TD["table_schema"]),
    ('TD["event"]'        , TD["event"]),
    ('TD["when"]'         , TD["when"]),
    ('TD["level"]'        , TD["level"]),
    ('TD["old"]'          , TD["old"]),
    ('TD["new"]'          , TD["new"]),
    ('TD["name"]'         , TD["name"]),
    ('TD["table_name"]'   , TD["table_name"]),
    ('TD["relid"]'        , TD["relid"]),
    ('TD["args"]'         , TD["args"]),
)
)
plpy.notice('explore_trigger:\n' + nice_data)
$$ LANGUAGE plpython;

```

该函数通过使用 pprint.pformat, 将 TD 中传递给触发器的所有数据进行了格式化, 然后使用 plpy.notify, 将这些数据作为标准的 Python info 消息, 发送给客户端。为了测试

这一点，我们创建一个简单的表，然后使用这个函数，并在表中放入一个 AFTER … FOR EACH ROW … 触发器：

```
CREATE TABLE test(
    id serial PRIMARY KEY,
    data text,
    ts timestamp DEFAULT clock_timestamp()
);

CREATE TRIGGER test_explore_trigger
AFTER INSERT OR UPDATE OR DELETE ON test
FOR EACH ROW
EXECUTE PROCEDURE explore_trigger('one', 2, null);
```

现在，我们可以探究一下触发器函数到底获得了什么内容：

```
hannu=# INSERT INTO test(id,data) VALUES(1, 'firstrowdata');
NOTICE:  explore_trigger:
((TD["table_schema"]', 'public'),
 ('TD["event"]', 'INSERT'),
 ('TD["when"]', 'AFTER'),
 ('TD["level"]', 'ROW'),
 ('TD["old"]', None),
 ('TD["new"]',
  {'data': 'firstrowdata', 'id': 1, 'ts': '2013-05-13
12:04:03.676314'}),
 ('TD["name"]', 'test_explore_trigger'),
 ('TD["table_name"]', 'test'),
 ('TD["relid"]', '35163'),
 ('TD["args"]', ['one', '2', 'null']))
CONTEXT:  PL/Python function "explore_trigger"
INSERT 0 1
```

大部分内容都是我们预期的，而且符合上表中给出的 TD 字典值表中的内容。可能有点意外的是，CREATE TRIGGER 语句中给出的参数均被转换为字符串，即便是 NULL。当不管使用 PL/ Python 或任何其他语言进行触发器开发的时候，将触发器放到这个表中可能是比较有用的，而且还可以检验触发器的输入是否符合预期。例如，如果你忽略了 FOR EACH ROW 部分，我们可以很容易发现，TD['old'] 与 TD['new'] 均为空，因为触发器定义对 FOR EACH STATEMENT 是默认的。

## 2. 日志触发器

现在，我们可以应用这些知识，进行触发器的编写。该触发器可记录表或文件或者 UDP 上的特殊日志收集器处理的更改。为了永久性记录回滚事务中的变化，将日志记入到文档是最简单的方法。如果这些被记录到日志表中，ROLLBACK 命令也会删除日志记录。这对于你的业务可能是一项关键的审计要求。

当然，这也有不利的一面。由于事务回滚，你将记录一些不是永久性的变化，但为了不丢失日志记录，你需要为此买单。

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION log_trigger()
RETURNS TRIGGER AS $$$
args = tuple(TD["args"])
if not SD.has_key(args):
    protocol = args[0]
    if protocol == 'udp':
        import socket
        sock = socket.socket( socket.AF_INET,
                              socket.SOCK_DGRAM )
    def logfunc(msg, addr=args[1],
               port=int(args[2]), sock=sock):
        sock.sendto(msg, (addr, port))
    elif protocol == 'file':
        f = open(args[1], 'a+')
        def logfunc(msg,f=f):
            f.write(msg+'\n')
            f.flush()
    else:
        raise ValueError, 'bad logdest in CREATE TRIGGER'
SD[args] = logfunc
SD['env_plan'] = plpy.prepare("""
    select clock_timestamp(),
           txid_current(),
           current_user,
           current_database()""", [])
logfunc = SD[args]
env_info_row = plpy.execute(SD['env_plan'])[0]
import json
log_msg = json.dumps(
    {'txid' : env_info_row['txid_current'],
     'time' : env_info_row['clock_timestamp'],
     'user' : env_info_row['current_user'],
     'db'   : env_info_row['current_database'],
     'table' : '%s.%s' % (TD['table_name'],
                          TD['table_schema']),
     'event' : TD['event'],
     'old'  : TD['old'],
     'new'  : TD['new'],
    })
)
logfunc(log_msg)
$$ LANGUAGE plpythonu;

```

首先，这个触发器检查是否已经有了一个记录器函数，且该函数已在函数的本地词典 SD [] 进行定义和缓存。由于相同的触发器可能会被用于许多不同的日志路径，所以日志函数被保存在键下面，该键被构造为 Python 元组，从 CREATE TRIGGER 语句中的触发器函数参数部分可以看出。由于 Python 字典键必须为不可变的，故我们不能直接将 TD["args"] 列表当作一个键。一张列表不可以进行这样的操作，但是一个元组是可以的。

如果该键不存在的话，这意味着这是对这个特殊触发器的第一次调用。我们需要创建一个相应的日志函数，并进行存储。要做到这一点，我们要检查日志路径类型的第一个参数。

对于 `udp` 日志类型，我们创建一个 `UDP` 接口进行写操作。然后，我们定义一个函数，借助这个接口进行传递，并且将另外两个触发器参数作为函数的默认参数。这是创建一个闭包并用 `Python` 将函数与一些数值绑定的最便捷的方式。

对于 `file` 类型，我们只是在附加模式 (`a +`) 下打开了该文件，并创造了一个日志函数。该日志函数将消息写入到该文件中，并刷新写入。因此数据是立即被写到文件中，并非等写入缓存塞满之后才进行，这些例子中创建的日志函数都保存在 `SD[tuple(TD["args"])]` 中。

在这一点上，我们也准备并保存了用于获取我们想要记录的其他数据的查询计划，我们将其保存在 `SD['env_plan']` 中。既然我们已经一次性地完成了相应的准备工作，现在我们进行实际的记录部分，这块内容实际上真的非常简单。

接下来，我们获取日志函数 (`logfunc = SD[args]`)，并得到其他记录的数据行：

```
env_info_row = plpy.execute(SD['env_plan'])[0]
```

最后，我们将所有记录的数据转换到一个 `JSON` 对象 (`log_msg = json.dumps({...})`)，之后使用日志函数，将其传送到日志，即 `logfunc(log_msg)`。

就是这样。

接下来，让我们来测试一下，看看它是如何添加另外一个触发器到我们之前创建的测试表中：

```
CREATE TRIGGER test_audit_trigger
AFTER INSERT OR UPDATE OR DELETE ON test
FOR EACH ROW
EXECUTE PROCEDURE log_trigger('file', '/tmp/test.json.log');
```

通过 `INSERT`、`UPDATE` 或 `DELETE` 对表所做的任何更改都会被记录到 `/tmp/test.json.log`。在一开始的时候，这个文件是由运行服务器的相同用户所拥有，通常是 `postgres`；所以如果你想查看这个文件，你要么是该用户要么是 `root` 用户，否则你需要更改这个被创建的文件的访问权限，使它可以被读取。

如果你想测试 `UDP` 日志部分，你只需要使用不同的参数来定义另一个触发器：

```
CREATE TRIGGER test_audit_trigger_udp
AFTER INSERT OR UPDATE OR DELETE ON test
FOR EACH ROW
EXECUTE PROCEDURE log_trigger('udp', 'localhost', 9999);
```

当然，你需要在 `UDP` 端口监听一些内容。在 `chapter07/logtrigger/log_udp_listener.py`，我们提供了一个非常简单的被用于测试的 `UDP` 监听器。只要运行它，它便能将 `stdout` 接收到的任何 `UDP` 数据包打印出来。

## 7.4.6 构建查询

PL/ Python 能够很好地管理那些传递给查询计划的数值。但是一个标准的 PostgreSQL 查询计划仅可以在一个非常有限的空间提取一个参数。有时候，你可能想构建整个查询，而不是仅仅将值传递给事先定义好的查询。例如，你不能为一个表名或者一个 field 名称设定一个参数。

所以，如果你想通过函数参数来构造查询，并确保引用正确且无任何的 SQL 注入，你会如何继续呢？PL/ Python 提供了三个函数，来帮助你正确地引用相应的标识符和数据。

函数 `plpy.quote_ident(name)` 用于引用标识符，即用于命名数据库对象或者相关的属性，如一张表、一个视图、一个字段名称，或者一个函数名称。它会对名称使用双引号，并且会特别关注其中任何可能影响正确引用的字符串：

```
hannu=# DO LANGUAGE plpythonu $$ plpy.notice(plpy.quote_ident(r'5'
\')) $$;
NOTICE: "5" \"
CONTEXT: PL/Python anonymous code block
DO
```

是的，`5" \\"` 是 PostgreSQL 中的一个合法的表或字段名称；如果你在任何语句中都会使用它的话，你只需要一直引用它。

 DO 命令在你的数据库中创建了一个匿名块。你可以简单地运行一些程序语言代码，而无需创建一个函数。

另外两个函数是用于引用文字值。函数 `plpy.quote_literal(litvalue)` 是用于引用字符串，而函数 `plpy.quote_nullable(value_or_none)` 是用于引用一个值，它也可能是 `NONE`。这两种函数都会以类似的方式进行字符串的引用，先将它们括在单引号中（`str` 变成 `'str'`），然后加倍任何单引号或反斜杠：

```
hannu=# DO LANGUAGE plpythonu $$ plpy.notice(plpy.quote_literal(r' \\
'))
$$;
NOTICE: E' \\
CONTEXT: PL/Python anonymous code block
DO
```

这两者之间的唯一区别是，`plpy.quote_nullable()` 也可以采用一个 `NONE` 值，它会被当做一个 `NUL` 字符串，不加任何引号。这两个函数所使用的参数必须是一个字符串或者是 Unicode 字符串。如果你想使用任何 Python 类型的值，请将值包含在 `str(value)` 中。

## 7.4.7 处理异常

对于任何代码，你需要确保在出现错误的时候，你能够及时处理，且保证 PL/ Python 函数不出现异常情况。

在 PostgreSQL 9.1 之前，在 SQL 查询中出现的任何错误都会引起周边事务的回滚：

```

hannu=# DO LANGUAGE plpythonu $$  
hannu$#   plpy.execute('insert into ttable values(1)')  
hannu$#   plpy.execute('fail!')  
hannu$# $$;  
ERROR:  spiexceptions.SyntaxError: syntax error at or near "fail"  
LINE 1: fail!  
          ^  
  
QUERY:  fail!  
CONTEXT: Traceback (most recent call last):  
    PL/Python anonymous code block, line 3, in <module>  
        plpy.execute('fail!')  
    PL/Python anonymous code block

```

你可以手动使用 `SAVEPOINT` 属性，来控制回滚块的范围，这块功能至少可以追溯到 PostgreSQL 8.4。这将减少被回滚事务的数量：

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION syntax_error_rollback_test()  
RETURNS void  
AS $$  
plpy.execute('insert into ttable values(1)')  
try:  
    plpy.execute('SAVEPOINT foo;')  
    plpy.execute('insert into ttable values(2)')  
    plpy.execute('fail!')  
except:  
    pass  
plpy.execute('insert into ttable values(3)')  
$$ LANGUAGE plpythonu;  
  
hannu=# select syntax_error_rollback_test()  
syntax_error_rollback_test  
-----  
  
(1 row)

```

当 “`SAVEPOINT foo;`” 命令在 PL/ Python 中执行时，一个 SQL 错误就不会造成完全的 “`ROLLBACK;`” 但会产生同等的 “`ROLLBACK TO SAVEPOINT foo;`”，所以只有 `SAVEPOINT` 和错误之间的命令结果将被回滚：

```

hannu=# select * from ttable ;  
id  
----  
1  
3  
(2 rows)

```

9.1 版本对于 PostgreSQL 的例外情况处理做了两个重要的改动。如果没有使用 `SAVEPOINT` 或者子事务的时候，`plpy.prepare()` 与 `plpy.execute()` 的每次调用都会在其自身的子事务中运行。因此，错误只会回滚这个子事务，而不是所有的当前事务。由于每一个

数据库交互都使用一个单独的子事务，这样会涉及额外的费用，而且你可能想要控制子事务的边界，为此我们提供了一个新的 Python 上下文管理器 `plpy.subtransaction()`。

关于 Python 的上下文管理器的说明，请参考 <http://docs.python.org/library/stdtypes.html#context-manager-types>。由此，你可以使用 Python2.6 或更高版本的语句，以 Pythonic 的方式，将一组数据库的交互打包在子事务中。

```

hannu=# CREATE TABLE test_ex(i int);
CREATE TABLE
hannu=# DO LANGUAGE plpythonu $$%
hannu$# plpy.execute('insert into test_ex values(1)')
hannu$# try:
hannu$#     with plpy.subtransaction():
hannu$#         plpy.execute('insert into test_ex values(2)')
hannu$#         plpy.execute('fail!')
hannu$# except plpy.spiexceptions.SyntaxError:
hannu$#     pass # silently ignore, avoid doing this in prod. code
hannu$# plpy.execute('insert into test_ex values(3)')
hannu$# $$;
DO
hannu=# select * from test_ex;
 i
---
 1
 3
(2 rows)

```

#### 7.4.8 Python 中的原子性

当子事务管理 PostgreSQL 数据库的数据变化时，Python 侧的变量将自行处理。Python 甚至不会提供一个单一语句级的原子性，其主要表现在以下几点：

```

>>> a = 1
>>> a[1] = a = 2
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: 'int' object does not support item assignment
>>> a
1
>>> a = a[1] = 2
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: 'int' object does not support item assignment
>>> a
2

```

正如你所看到的，即使是一个单一的多赋值语句也有可能在执行过程进行插入。

这意味着，你必须要做好充分准备，自行管理你的 Python 数据。函数 `plpy.subtransaction()` 是不会帮助你管理 Python 变量的。

### 7.4.9 PL/Python 调试

首先，让我们先做一个这样的声明，在使用 PL/ Python 运行函数的时候，不存在调试器的支持。所以，我们最好是将 PL/ Python 函数开发并调试成一个尽可能纯净的 Python 函数，仅用 PL/ Python 做最后的整合。为了解决这个问题，你可以使用 plpy 模块，在你的 Python 开发环境中创建一个类似的环境。

只要把模块放在你的路径中，并在一个普通的翻译器中运行 PL / Pythonu 函数之前引入 plpy。如果你想使用函数 plpy.execute(...) 或者 plpy.prepare()，你均需要在使用之前，通过调用 plpy.connect(<connectstring>) 创建一个数据库连接。

#### 1. 使用 plpy.notice() 来跟踪函数的运行进展

在任何语言中，我最常用的调试技术就是将中间值打印出来，跟踪函数的进展。如果打印输出滚屏过快，你可以在每次打印之后停顿一两秒，降低打印速度。

对于标准的 Python，中间值可能如下：

```
def fact(x):
    f = 1
    while (x > 0):
        f = f * x
        x = x - 1
        print 'f:%d, x:%d' % (f, x)
    return f
```

当它运行的时候，它会打印出所有 f 与 x 的中间值：

```
>>> fact(3)
f:3, x:2
f:6, x:1
f:6, x:0
6
```

如果你尝试在 PL/ Python 函数中进行打印，你会发现，你打印不出来任何内容。事实上，如果在 PostgreSQL 服务器内部运行一个插接式的语言时，没有一个单一的逻辑位置可供打印。

在 PL/ Python 中最简单的打印方式是使用函数 plpy.notice()，它会向客户端发送一个 PostgreSQL NOTICE，如果 log\_min\_messages 被设置成 notice 或者更小值，它也会向服务端发送信息。

```
CREATE FUNCTION fact(x int) RETURNS int
AS $$

    global x
    f = 1
    while (x > 0):
        f = f * x
        x = x - 1
        plpy.notice('f:%d, x:%d' % (f, x))
    return f

$$ LANGUAGE plpythonu;
```

比起具有打印功能的版本，运行这个会更加详细，因为每个 NOTICE 都会包括 NOTICE 来源的相关上下文信息：

```
hannu=# select fact(3);
NOTICE: f:3, x:2
CONTEXT: PL/Python function "fact"
NOTICE: f:6, x:1
CONTEXT: PL/Python function "fact"
NOTICE: f:6, x:0
CONTEXT: PL/Python function "fact"
fact
-----
6
(1 row)
```



### PL/ Pythonu 函数参数进行全局传递

如果你比较过 Python 和 PL/ Python 中的函数 fact(x)，你会注意到在 PL/ Python 函数的开头有一个额外的行：

```
global x
```

这是需要克服的一个实现细节，该细节往往会让 PL/ Pythonu 开发者感到诧异；这些函数参数并不是 Python 的那些参数，也不是本地参数。它们被作为全局变量进行传递。

## 2. 使用断言

类似于普通的 Python 编码，你也可以使用 Python 的断言语句，来捕捉那些不应该发生的条件：

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION fact(x int)
RETURNS int
AS $$

    global x
    assert x>=0, "argument must be a positive integer"
    f = 1
    while (x > 0):
        f = f * x
        x = x - 1
    return f
$$ LANGUAGE plpythonu;
```

为了验证这一点，使用一个负数，进行 fact() 的调用：

```
hannu=# select fact(-1);
ERROR: Assertion error: argument must be a positive integer
CONTEXT: Traceback (most recent call last):
          PL/Python function "fact", line 3, in <module>
          assert x>=0, "argument must be a positive integer"
          PL/Python function "fact"
```

你会同时获得 AssertionError 的消息与失败行号的位置。

### 3. 重新定向 sys.stdout 与 sys.stderr

如果需要调试的代码都是你自己的，那么前面所提及的两项技术将会满足你的大部分需求。但是，如果你使用了一些第三方词库，当他们向 sys.stdout 和 / 或 sys.stderr 打印出调试信息的话，你该怎么处理？

在这种情况下，你可以使用你自己的伪文件对象，来更换 Python 的 sys.stdout 和 sys.stdin，这些对象存储了供后续检索使用的相关内容。下面是一对函数。其中第一个函数捕捉 sys.stdout 或者不进行捕捉；如果用参数进行调用，并且将 do\_capture 设置为 false，第二个函数会返回所有捕捉到的内容：

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION capture_stdout(do_capture bool)
RETURNS text
AS $$

import sys
if do_capture:

    try:
        sys.stdout = GD['stdout_to_notice']
    except KeyError:
        class WriteAsNotice:
            def __init__(self, old_stdout):
                self.old_stdout = old_stdout
                self.printed = []
            def write(self, s):
                self.printed.append(s)
            def read(self):
                text = ''.join(self.printed)
                self.printed = []
                return text
        GD['stdout_to_notice'] = WriteAsNotice(sys.stdout)
        sys.stdout = GD['stdout_to_notice']
    return "sys.stdout captured"
else:
    sys.stdout = SD['stdout_to_notice'].old_stdout
    return "restored original sys.stdout"
$$ LANGUAGE plpythonu;

CREATE OR REPLACE FUNCTION read_stdout()
RETURNS text
AS $$

return GD['stdout_to_notice'].read()
$$ LANGUAGE plpythonu;

```

下面是一段示例，其使用了前面的函数：

```

hannu=# select capture_stdout(true);
capture_stdout
-----
sys.stdout captured

```

```
(1 row)

hannu=# DO LANGUAGE plpythonu $$  
hannu$# print 'TESTING sys.stdout CAPTURING'  
hannu$# import pprint  
hannu$# pprint pprint( {'a':[1,2,3], 'b':[4,5,6]} )  
hannu$# $$;  
DO  
hannu=# select read_stdout();  
      read_stdout  
-----  
TESTING sys.stdout CAPTURING +  
{'a': [1, 2, 3], 'b': [4, 5, 6]}+
```

(1 row)

## 7.5 跳出“SQL数据库服务器”的限制进行思考

接下来，在即将结束本章关于 PL/Python 时，我们将再引用几个 PL/Pythonu 函数的示例，来完成一些你在数据库函数或者触发器中通常不会考虑的事情。

### 7.5.1 在保存图像时生成缩略图

我们的第一个例子使用了 Python 强大的 PIL (Python Imaging Library) 模块，来生成上传图像的缩略图。考虑到简化与各种客户端库的交互，这个程序将输入的图像数据处理成一个 base-64 编码的字符串：

```
CREATE FUNCTION save_image_with_thumbnail(image64 text)  
RETURNS int  
AS $$  
import Image, cStringIO  
size = (64,64) # thumbnail size  
  
# convert base64 encoded text to binary image data  
raw_image_data = image64.decode('base64')  
  
# create a pseudo-file to read image from  
infile = cStringIO.StringIO(raw_image_data)  
pil_img = Image.open(infile)  
pil_img.thumbnail(size, Image.ANTIALIAS)  
  
# create a stream to write the thumbnail to  
outfile = cStringIO.StringIO()  
pil_img.save(outfile, 'JPEG')  
raw_thumbnail = outfile.getvalue()
```

```

# store result into database and return row id
q = plpy.prepare('''
    INSERT INTO photos(image, thumbnail)
    VALUES ($1,$2)
    RETURNING id''', ('bytea', 'bytea'))
res = plpy.execute(q, (raw_image_data, raw_thumbnail))

# return column id of first row
return res[0]['id']
$$ LANGUAGE plpythonu;

```

绝大多数 Python 代码都是从 PIL 教程中直接重新编写的，除非是图像读取文件或者缩略图写入文件，这些文件被替换成 Python 的标准类文件 StringIO 对象。为此，你需要在你的数据库服务器主机上安装 PIL。

在 Debian/Ubuntu 中，你可以通过运行 sudo apt.get install python-imaging 来实现。对于大多数 Linux 发布版本，另外一种方式是通过运行 sudo easy\_install PIL，来使用 Python 自带的打包发布系统。

## 7.5.2 发送一封电子邮件

下一个函数例子是从数据库函数内部发送电子邮件：

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION send_email(
    sender text,          -- sender e-mail
    recipients text,       -- comma-separated list of recipient addresses
    subject text,          -- email subject
    message text,          -- text of the message
    smtp_server text        -- SMTP server to use for sending
) RETURNS void
AS $$

msg = "From: %s\r\nTo: %s\r\nSubject: %s\r\n\r\n%s" % \
    (sender, recipients, subject, message)
recipients_list = [r.strip() for r
                  in recipients.split(',')]
server = smtplib.SMTP(smtp_server)
server.sendmail(sender_address, recipients_list, msg)
server.quit()
$$ LANGUAGE plpythonu;

```

该函数格式化一条消息 (MSG="")，将以逗号分隔的 To：地址转换成一张电子邮件地址列表 (recipients\_list=[r.strip () ...])，连接到一个 SMTP 服务器，然后将消息传递到 SMTP 服务器，以便传递。

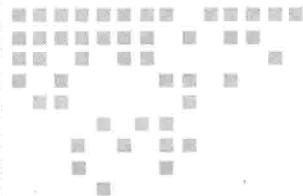
为了在生产系统中使用该函数，你可能需要仔细检查各种格式以及一些额外的错误处理，以防发生错误。你可以打开链接 <http://docs.python.org/library/smtplib.html>，阅读更多关于 Python 的 smtplib 信息。

## 7.6 小结

在本章中，我们看到，由于插接式语言的支持，我们可以轻松地实现简单的 SQL 数据库服务器所无法支持的功能。

事实上，你可以在 PostgreSQL 服务器上实现在任何其他的应用服务器上所能实现的任何事情。这一章只是触及了一些表层内容，我们希望你可以继续深入研究 PostgreSQL 服务器所能实现的功能。

在下一章中，我们将学习如何使用 C，来编写 PostgreSQL 更先进的函数。它将使你能够更深入地了解 PostgreSQL，帮助你使用 PostgreSQL 服务器来实现更强大的功能。



*Chapter 8*

## 第 8 章

# 使用 C 编写高级函数

在前面的章节中，我们向你介绍了 PostgreSQL 开发者采用不受信任的插件式的语言在大多数相关的数据库中实现功能的各种可能性。

对于大多数问题，我们采用插件式的脚本语言已足以解决，但这同时也存在两个主要缺陷：性能和功能深度。当执行相同的算法时，大多数脚本语言会比改良版 C 代码运行得慢。对于单一函数，这些基本都不成问题，因为诸如字典查询或字符串匹配这些事情经过这么多年的优化都已经得以解决，但一般情况下，C 代码会比脚本代码运行得快。另外，当遇到函数要被每个查询调用成千上万次的情况，那么运行过程中会出现各种超负荷运作，如函数调用，参数与返回值在脚本语言间的转化等。

第二个潜在问题是，大多数可插拔语言并不支持所有 PostgreSQL 提供的功能。就是有那么一些功能只能依靠 C 来进行编码。例如，当你为 PostgreSQL 定义一个全新的类型，这个类型的输入函数与输出函数需要进行类型的文本标识与内部标识之间的相互转化，这时候，这个函数就需要处理 PostgreSQL 的伪类型——`CString`。本质上，这个是 C 字符串或者零结尾的字符串。任何的 PL 语言（包括核心发布部分）均不支持返回 `cstring`，至少 PostgreSQL 9.2 不会支持。同样，PL 语言不支持伪类型 `ANYELEMENT`、`ANYARRAY`，尤其是“any” `VARIADIC`。

在下面的章节中，我们将逐步增加 C 语言难度，编写一些 PostgreSQL 扩展函数。

我们会从最简单的添加 2 个参数的函数开始，该函数与 PostgreSQL 说明书中所描述的类似，但是我们将按照不同顺序为大家展示，所以我们会先介绍构建环境的设置，以使得你能从一开始就跟着我们一起亲自实践。

在那之后，我们将介绍一些在服务器上设计和编写代码所需要注意的各个事项，例如

内存管理、执行查询以及检索结果等。

使用 C 语言进行 PostgreSQL 函数编写的话题可以是一个非常大的话题，但由于我们对这个话题的展开空间有限，所以我们偶尔会跳过一些细节，你可以在 PostgreSQL 手册上查看更多的信息、解释和说明。同时，我们也会限制本章内容对 PostgreSQL 9.2 的引用。虽然大多数事情可以在跨版本的情况下顺利解决，但是引用能够对一个版本做出明确的指引。

## 8.1 最简单的 C 函数——返回 (a+b)

让我们从一个简单的函数开始，该函数使用两个整数参数，返回参数总和。首先我们会呈现源代码，之后我们会告诉你如何对它进行编译，并加载到 PostgreSQL，然后将其作为原生函数使用。

### 8.1.1 add\_func.c

C 源文件实现 add(int, int) returns int 函数，类似代码片段如下：

```
#include "postgres.h"
#include "fmgr.h"

PG_MODULE_MAGIC;

PG_FUNCTION_INFO_V1(add_ab);

Datum
add_ab(PG_FUNCTION_ARGS)
{
    int32    arg_a = PG_GETARG_INT32(0);
    int32    arg_b = PG_GETARG_INT32(1);

    PG_RETURN_INT32(arg_a + arg_b);
}
```

让我们对代码的各个部分进行逐一的功能性解释：

- # include “postgres.h”：包括了在 PostgreSQL 中运行任何 C 代码所需的绝大多数基础定义与声明。
- # include “fmgr.h”：包括了这段代码中所使用的 PG\_\* 宏的定义。
- PG\_MODULE\_MAGIC;：这是 fmgr.h. 中一个“神奇的模块”。服务器使用该模块，能够确保服务器不会加载由不同 PostgreSQL 版本所编译的代码，这些代码极有可能会拖垮服务器。PostgreSQL 8.2 开始采用该模块。如果你真的需要编写那些同样可以由 PostgreSQL 8.2 之前编译的代码，你需要将它放在 #ifdef PG\_MODULE\_MAGIC / #endif 中间。网上的那些范例经常会有这种情况，但是你可能并不需要对任何新代码进行此番处理。8.2 之前的版本在 2010 年 11 月已被正式放弃，而即使是 8.2 版本

的支撑工作也在 2011 年 12 月宣告结束。

- ❑ PG\_FUNCTION\_INFO\_V1(add\_ab)：将 PostgreSQL 函数定义为 Version 1 调用约定函数，如果没有该行，函数会被当作旧式的 Version 0 函数。(更多 Version 0 参考见信息框)。
- ❑ Datum：这是一个 C 语言 PostgreSQL 函数的返回类型。
- ❑ add\_ab(PG\_FUNCTION\_ARGS)：该函数名是 add\_ab，其余均为它的参数。PG\_FUNCTION\_ARGS 定义可以表示参数的任何数值。即使函数没有使用任何参数，它也必须出现。
- ❑ int32 arg\_b = PG\_GETARG\_INT32(0);：为了获得参数值，你需要使用 PG\_GETARG\_INT32(<argnr>) 宏（或者其他参数类型的 PG\_GETARG\_xxx(<argnr>)）。
- ❑ int32 arg\_b = PG\_GETARG\_INT32(1);：类似于前面的描述。
- ❑ PG\_RETURN\_INT32(arg\_a + arg\_b);：最后使用 PG\_RETURN\_<rettype>(<retval>) 宏来创建与返回一个合适的返回值。

你也可以编写整个函数内容，代码如下：

```
PG_RETURN_INT32(PG_GETARG_INT32(0) + PG_GETARG_INT32(1));
```

但写出来之后，它的可读性更强，而且一个好的优化 C 编译器极有可能会将其编译到同等极速代码中。

对于前面的代码，大多数编译器会发出警告消息：warning: no previous prototype for 'add\_ab'，因此我们最好是为程序中的函数加入一个原型：

```
Datum add_ab(PG_FUNCTION_ARGS);
```

通常情况下，我们将这行代码放在 PG\_FUNCTION\_INFO\_V1(add\_ab) 之前就可以了。

当对原型未做严格要求的时候，编译会变得更清洁，没有任何警告出现。

### Version 0 调用约定

对于使用 C 语言编写的 PostgreSQL 函数，现在还有一种更为简单的方法，称为 Version 0 调用约定。之前的 a + b 函数可以用下面的代码编写：

```
int add_ab(int arg_a, int arg_b)
{
    return arg_a + arg_b;
}
```

对于简单函数而言，Version 0 更为简短。但它在用途上存在严重缺陷——你甚至不能完成一些基础事项，如检查传递过来的值参数是否为 null，返回一组值，或者编写聚合函数。同时，Version 0 不能自动处理按值传递与按引用类型传递之间的差异，这个 Version 1 便能够支持。因此，你最好使用 Version 1 调用约定进行所有函数的编写工作，而忽视 Version 0 的存在。

所以我们打算仅讨论 Version 1 调用约定对于 C 函数的作用。

如果你对 Version 0 有兴趣的话，你可以通过以下链接，查看 Version 0 的详细信息：<http://www.postgresql.org/docs/current/static/xfunc-c.html#AEN50495>，其中的 35.9.3 节，有关于 Version 0 调用约定的内容。

### 8.1.2 Makefile

下一步是编译 .c 源程序，并将其连接到一个结构，该结构可被加载到 PostgreSQL 服务器上。我们也可以通过 Makefile 函数中所定义的一系列命令来实现。

幸运的是，这一切借助 PostgreSQL 扩展程序构建基础（PostgreSQL Extension Building Infrastructure，简称为 PGXS）——或者 PGXS 能够自动变得更为友好，这也使大多数模块更易上手。

 根据你所安装的 PostgreSQL 的版本，你可能需要为你的平台添加开发包。这些通常是 -dev 或者 -devel 安装包。

现在我们来创建 Makefile 函数。代码如下：

```
MODULES = add_func

PG_CONFIG = pg_config
PGXS := $(shell $(PG_CONFIG) --pgxs)
include $(PGXS)
```

仅仅通过简单地运行 make，你就可以编译并连接该模块：

```
[add_func]$ make
gcc ... -c -o add_func.o add_func.c
gcc ... -o add_func.so add_func.o
rm add_func.o
```

这里的“...”代表滞后相当长一段，包括由 PGXS 添加的类库。

在当前目录中，这将产生一个可动态加载的模块，如果你的服务器可以访问这个目录，PostgreSQL 将使用该模块。开发服务器上可能会遇到这种情况。

对于一个“标准”服务器而言，它是通过软件包管理系统安装的，你需要将模块放到一个标准的位置。这也可能借助 PGXS 来完成。

你只需执行 sudo make install，所有东西都将被复制到正确的地方；[add\_func]\$ sudo make install：

```
[sudo] password for hanwu:
/bin/mkdir -p '/usr/lib/postgresql/9.2/lib'
/bin/sh /usr/lib/postgresql/9.2/lib/pgxs/src/makefiles/../../config/
install-sh -c -m 755 add_func.so '/usr/lib/postgresql/9.2/lib/'
```

### 8.1.3 创建 add(int,int) 函数

现在离数据库中使用此功能，仅有一步之遥。你只需要使用 CREATE FUNCTION 语句，向 PostgreSQL 数据库引入你刚编译的模块即可。

如果你按照示例一直至此，那么下面的所有语句都是必需的，同时当 PostgreSQL 被安装到你的服务器时，你也需要适当地调整路径。

```
hannu=# CREATE FUNCTION add(int, int)
hannu-#   RETURNS int
hannu-# AS '/usr/pgsql-9.2/lib/add_func', 'add_ab'
hannu-# LANGUAGE C STRICT;
CREATE FUNCTION
```

瞧，你已经成功创建了你的第一个 PostgreSQL C 语言扩展函数：

```
hannu=# select add(1,2);
add
-----
3
(1 row)
```

### 8.1.4 add\_func.sql.in

我们刚讨论的目的就是让你的数据库拥有一个 C 函数，但通常情况下，如果我们在一个 SQL 程序中放入之前所提及的 CREATE FUNCTION 语句，如此实现起来会更加便捷。

在编写代码的时候，你通常并不知道 PostgreSQL 安装的最后路径，尤其是考虑到在多个 PostgreSQL 版本上运行，或者是在多个操作系统上运行 PostgreSQL。PGXS 同样能提供相关支持。

你需要编写一个程序叫做 add\_funcs.sql.in，具体代码如下：

```
CREATE FUNCTION add(int, int) RETURNS int
AS 'MODULE_PATHNAME', 'add_ab'
LANGUAGE C STRICT;
```

接着，在你的 Makefile 函数中加入以下行，紧接着 MODULES= … :

```
DATA_built = add_func.sql
```

现在，当我们运行 make 时，add\_funcs.sql.in 会被编译到 add\_funcs.sql 中，而当模块被安装后，MODULE\_PATHNAME 会被真正的路径所替换。

```
[add_func]$ make
sed 's,MODULE_PATHNAME,$libdir/add_func,g' add_func.sql.in >add_func.sql
```

同时，sudo make install 会将已生成的 .sql 文件以及其他扩展程序所用到的 .sql 文件复制到目录中。

```
[add_func]$ sudo make install /usr/bin/mkdir -p '/usr/pgsql-9.2/share/contrib'
/usr/bin/mkdir -p '/usr/pgsql-9.2/lib'
/bin/sh /usr/pgsql-9.2/lib/pgxs/src/makefiles/../../config/install-sh -c
-m 644 add_func.sql '/usr/pgsql-9.2/share/contrib/'
/bin/sh /usr/pgsql-9.2/lib/pgxs/src/makefiles/../../config/install-sh -c
-m 755 add_func.so '/usr/pgsql-9.2/lib/'
```

在此之后，将 C 函数引入到 PostgreSQL 数据库中就会变得非常简单，如同 `hannu=# \i /usr/pgsql-9.2/share/contrib/add_func.sql`。

**CREATE FUNCTION**

到 `add_func.sql` 的路径 `/usr/pgsql-9.2/share/contrib/` 需要从 `make install` 命令的输出中查看。



一种更为简洁的代码打包方式叫做扩展。你不需要查询任何路径，之前的步骤就会变为如下：

```
CREATE EXTENSION chap8_add;
```

但它的设置会变得相对复杂，就此我们暂不在此进行解释。随后我们会用整章内容，对扩展进行深入探讨。

### 8.1.5 关于写 C 函数的总结

在 PostgreSQL 中写 C 函数是一个简单的过程。

- 1) 在 `modulename.c` 中写 C 代码。
- 2) 在 `modulename.sql.in` 中为 `CREATE FUNCTION` 写 SQL 代码。
- 3) 写一个 `Makefile` 函数。
- 4) 运行 `make`，编译一个 C 程序并生成 `modulename.sql`。
- 5) 运行 `sudo make install`，安装已生成的程序。
- 6) 在你的目标程序 `databasehannu# \i <path>/modulename.sql` 中，运行生成的 `modulename.sql`。

请注意，当你想在任何数据库中使用你的函数，你必须运行 SQL 代码。如果你希望所有新数据库能够访问新生成的函数，可以通过在 `template1` 数据库中运行 `modulename.sql` 文件，从而添加函数到你的模板数据库中，或者通过 `CREATE DATABASE` 命令所明确指定的其他数据库中。

## 8.2 为 `add(int, int)` 添加功能

尽管我们的函数可以运行，但仅适用 `SELECT A+B`，它不会为我们前面的代码增加任何内容。而用 C 写的函数便能实现更多功能。所以让我们开始为函数添加更多的功能。

### 8.2.1 NULL 参数的智能处理

请注意关键词 STRICT 在我们前面提到的 CREATE FUNCTION add(int a, int b) 的作用。这意味着，如果参数为 NULL，那么函数不会被调用，直接返回 NULL。这与大多数 PostgreSQL 的运行器运作模式类似，包括增加 2 个整数时的符号 +——如果参数为 NULL，那么完整的结果也为 NULL。

接下来，我们会扩展我们的函数，以提高对 NULL 输入的处理能力。这就如同 PostgreSQL 的 sum() 聚合函数，输入中忽略 NULL 值，继续产生所有非空值的总和。

对此，我们需要做两件事情：

1) 当出现任一参数为 NULL 时，确保函数仍被调用。

2) 有效处理 NULL 参数，将 NULL 参数转换为 0，当两个参数均为空时返回 NULL。

第一件事情是比较容易的，当声明函数的时候，我们忽略 STRICT 关键词即可。第二件事情也比较简单，我们只需要忽略 STRICT，让函数继续执行。但对于一个带有 int 参数的函数，这样处理就变得有点棘手。所有 NULL 值以 0's 形式出现，你唯一会遗漏的事情就是当两个参数均为 NULL 时，返回 NULL。

不幸的是，这种只是偶然处理方式。我们并不能保证在今后的版本中还能够适用，甚至更糟的是，如果你采用同样方式处理按引用类型传递，会使 PostgreSQL 在空指针引用上崩溃。

接下来我们将展示正确的处理方式。现在我们需要做两件事情：如果出现任何非空值，记录下来，并添加我们看到的所有非空值：

```
Datum
add_ab_null(PG_FUNCTION_ARGS)
{
    int32    not_null = 0;
    int32    sum = 0;
    if (!PG_ARGISNULL(0)) {
        sum += PG_GETARG_INT32(0);
        not_null = 1;
    }
    if (!PG_ARGISNULL(1)) {
        sum += PG_GETARG_INT32(1);
        not_null = 1;
    }
    if (not_null) {
        PG_RETURN_INT32(sum);
    }
    PG_RETURN_NULL();
}
```

这的确实现了我们所需要的：hannu=# CREATE FUNCTION add(int, int)

```

RETURNS int
AS '$libdir/add_func', 'add_ab_null'
LANGUAGE C;
CREATE FUNCTION
hannu=# SELECT add(NULL, NULL) as must_be_null, add(NULL, 1) as must_be_
one;
-[ RECORD 1 ]+-
must_be_null |
must_be_one | 1

```

为了实现相同的结果，我们使用标准的 PostgreSQL 语句、函数与运行符，如此会更加详细：hannu=# SELECT (case when (a is null) and (b is null)

```

hannu(#      then null
hannu(#      else coalesce(a,0) + coalesce(b,0)
hannu(#      end)
hannu# FROM (select 1::int as a, null::int as b)s;
-[ RECORD 1 ]
case | 1

```

除了重组代码，我们还介绍了两种新的宏，当参数<argnr>为NULL，用 PG\_ARGISNULL(<argnr>) 进行检查，用 PG\_RETURN\_NULL() 从一个函数中返回NULL。



PG\_RETURN\_NULL() 与 PG\_RETURN\_VOID() 是不同的。后者用于声明会返回伪类型 void 的函数，或者换句话说它不返回任何东西。

## 8.2.2 与任何数量的参数一起运作

为了处理 NULL 值，我们重写了代码，在这之后，如果我们稍做一点点的努力，我们可以把它与任意数量的参数一起运作。只要将下面的代码围绕参数在 for(;;) 内进行循环：

```

if (!PG_ARGISNULL(<N>)) {
    sum += PG_GETARG_INT32(<N>);
    not_null = 1;
}

```

实际上，让代码使用数组而不使用简单的类型并不是一件简单的事情。更糟糕的是，官方 PostgreSQL 手册中对于 C 语言扩展函数如何使用数组并无任何资料或者示例。当编写 C 语言函数时，“支持”和“不支持”的界限非常模糊，程序员们也希望界限泾渭分明。

令人振奋的一面是，PostgreSQL 邮件列表所列的工作人员通常还是非常竭诚地为你服务的，特别当他们看到你的问题是非常严重的，而且你已经处理完基础信息。

为了查看数组类型的参数是如何处理的，你必须到互联网上或者在后端代码中进行探究。你可以在 PostgreSQL 源代码中的 contrib / hstore / 模块中找到一个实例。contrib 模块

是一个相当好的参考，例如对于 PostgreSQL 中官方支持的扩展模块。

虽然那些代码并没有实现我们真正所需要的，但它适用于 text[] 以及 not int []。通过借助数组处理的基础结构以及一些实用宏和函数的示例，它足以识别出我们真正需要的。

通过在后台代码或者网络进行搜索后，编写整数数组代码似乎并不那么困难。

以下是一个函数所使用的 C 代码，该函数在参数数组中累加了所有非空元素：

```
#include "utils/array.h" // array utility functions and macros
#include "catalog/pg_type.h" // for INT4OID

PG_MODULE_MAGIC;

Datum add_int32_array(PG_FUNCTION_ARGS);

PG_FUNCTION_INFO_V1(add_int32_array);

Datum
add_int32_array(PG_FUNCTION_ARGS)
{
    ArrayType *input_array;

    int32 sum = 0;
    bool not_null = false;
    // variables for "deconstructed" array
    Datum *datums;
    bool *nulls;
    int count;
    // for for loop
    int i;

    input_array = PG_GETARG_ARRAYTYPE_P(0);
    // check that we do indeed have a one-dimensional int array
    Assert(ARR_ELEMTYPE(input_array) == INT4OID);

    if (ARR_NDIM(input_array) > 1)
        ereport(ERROR,
                (errcode(ERRCODE_ARRAY_SUBSCRIPT_ERROR),
                 errmsg("1-dimensional array needed")));

    deconstruct_array(input_array, // one-dimensional array
                     INT4OID, // of integers
                     4, // size of integer in bytes
                     true, // int4 is pass-by value
                     'i', // alignment type is 'i'
                     &datums, &nulls, &count); // result here

    for(i=0;i<count;i++) {
```

```

    // first check and ignore null elements
    if ( nulls[i] )
        continue;
    // accumulate and remember there were non-null values
    sum += DatumGetInt32(datums[i]);
    not_null = true;
}

if (not_null)
    PG_RETURN_INT32(sum);
PG_RETURN_NULL();
}

```

因此，当我们将数组类型作为参数进行处理的时候，我们还需要准备什么呢？首先，你需要包含数组功能函数的定义。

```
#include "utils/array.h"
```

其次，你需要一个指针，指向你的数组。

```
ArrayType *input_array;
```

请注意，这里并没有特定的整数数组类型，只是一个适用于任何数组的普通 ArrayType。

通过使用一个已经熟悉的宏，我们从第一个参数开始，初始化数组。

```
input_array = PG_GETARG_ARRAYTYPE_P(0);
```

它并没有返回一个 INT32 值，而是返回了一个数组指针 ARRAYTYPE\_P。

当我们获得该数组指针之后，我们需要进行几项检查。

```
Assert(ARR_ELEMTYPE(input_array) == INT4OID);
```

我们断言返回数组的元素类型确实是一个整数。（PostgreSQL 代码中存在一些不一致性。普通的整数类型可以被称为 int32 类型，也可以被叫做 int4，视定义来源决定。尽管名称不同，但它们都代表了同一个意思，只是一个是以比特为单位，而另一个是以字节为单位。）

类型检查是必要的，且不能仅是简单的例行检查。因为当你完成函数的 SQL 定义部分之后，PostgreSQL 本身就不会调用具有其他类型的数组的函数。

第二项检查是为了检查该参数确实是一个一维数组（PostgreSQL 的数组即便是相同类型的，也可具有 n 个维度）。

```

if (ARR_NDIM(input_array) > 1)
    ereport(ERROR,
        (errcode(ERRCODE_ARRAY_SUBSCRIPT_ERROR),
         errmsg("use only one-dimensional arrays!")));

```

如果输入数组有多个维度，我们会报错。（在以下内容中，我们将用 C 讨论 PostgreSQL 的错误报告）。



如果你需要处理任意维度的数组，请查看 `unnest()` SQL 函数的源代码，该函数将任何数组转换为数组元素的集合。

代码存放在：C 函数 `array_unnest(...)` 下的 `backend/utils/adt/arrayfuncs.c` 文件中。

当我们对参数完成了最基本的合理性检查之后，我们可以开始处理该数组了。由于 PostgreSQL 的数组可以是多维度的且数组元素可从任意指标开始，最简易的方法就是在大多数任务中使用现成的功能函数。因此，我们使用 `deconstruct_array(...)` 函数，借助 3 个独立的 C 变量，来提取一个 PostgreSQL 数组：

```
Datum      *datums;
bool       *nulls;
int        count;
```

该 `datums` 指针将指向一个充满实际元素的数组。`*nulls` 将包含一个指向 Booleans 数组的指针，当相应的数组元素为 NULL 时，数组为真实的，而 `count` 将被设置成在数组中找到的元素的数量。

```
deconstruct_array(input_array,           // 一维数组
                  INT4OID,             // 整型
                  4,                   // 整数的大小（以字节为单位）
                  true,                // int4 是传值的
                  'i',                 // 排列类型是 'i'
                  &datums, &nulls, &count); // 这里是结果
```

其他参数如下：

```
input_array - PostgreSQL 数组的指针
INT4OID - 数组元素的类型
element size - 元素类型的内存占用大小
元素是传值的
元素排列 ID
```

对于 INT4 (=23) 的类型 OID，我们已将其定义为 INT4OID，而其他的，你需要查询一下。

对于 type、size、passbyvalue 以及 alignment，最简单的获取值的方法就是从数据库中进行查询。

```
c_samples=# select oid, typlen, typbyval, typalign from pg_type
c_samples# where typname = 'int4';
-[ RECORD 1 ]
oid      | 23
typlen   | 4
typbyval | t
typalign | i
```

当我们完成对 `deconstruct_array(...)` 的调用之后，剩下的就简单了——只需要进行数值与空数组之间的迭代，计算出总和：

```

for(i=0;i<count;i++) {
    // first check and ignore null elements
    if ( nulls[i] )
        continue;
    // accumulate and remember there were non-null values
    sum += DatumGetInt32(datums[i]);
    not_null = true;
}

```

这里唯一具有 PostgreSQL 特色的事情是利用 DatumGetInt32 (<datum>) 宏，将 Datum 转换为 integer。该宏 DatumGetInt32 (<datum>) 对其参数并不进行是否为整数的验证（这个是 C 记忆，所以数据本身不带有任何的类型信息）。借助宏 DatumGet\* ()，我们会大大提高编译器的工作效率。

返回的总和与前面的函数是完全一样的，我们成功了！

由于这些都是通过 C 来实现的，我们需要告诉 PostgreSQL 这个函数。最简单的办法就是声明一个使用 int[] 参数的函数。

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION add_arr(int[]) RETURNS int
AS '$libdir/add_func', 'add_int32_array'
LANGUAGE C STRICT;

```

对于你传递给它的任何的整数数组，这个函数都会搞定：

```

hannu=# select add_arr('{1,2,3,4,5,6,7,8,9}');
-[ RECORD 1 ]
add_arr | 45

```

```

hannu=# select add_arr(ARRAY[1,2,NULL]);
-[ RECORD 1 ]
add_arr | 3

```

```

hannu=# select add_arr(ARRAY=NULL::int);
-[ RECORD 1 ]
add_arr |

```

它甚至能查探出多维度数组，如果它只传递了一个维度，它还能报错：hannu=# select add\_arr('{{1,2,3},{4,5,6}}');

```
ERROR: 1-dimensional array needed
```

针对两参数函数 add(a,b) function，我们该如何以相同的方式使用它呢？

从 PostgreSQL 8.4 起，开始支持 VARIADIC 函数或者那些具有多个参数的函数。

创建函数，如下代码所示：

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION add(VARIADIC a int[]) RETURNS int
AS '$libdir/add_func', 'add_int32_array'
LANGUAGE C STRICT;

```

对于先前 add\_arr() 的调用，可以重写为如下代码：

```

hannu=# select add(1,2,3,4,5,6,7,8,9);
-[ RECORD 1 ]
add | 45

hannu=# select add(NULL);
-[ RECORD 1 ]
add |

hannu=# select add(1,2,NULL);
-[ RECORD 1 ]
add | 3

```

注意，你不会轻易犯如下错误：1-dimensional array needed，因为 VARIADIC 总从各参数中构建一维数组。

唯一比较缺憾的是，你不能让 PostgreSQL 的函数重载机制区别出 add( a int[]) 与 add(VARIADIC a int[]) 之间的不同之处。你不能同时对两者进行申报，因为对于 PostgreSQL 而言，它们属于相同的函数，只是最初的参数检测不同而已。这也是为什么函数的数组版本被命名为 add\_arr。如果你准备在 VARIADIC 函数之间进行调用，这里献上一计。通过在调用侧，将参数前缀以 VARIADIC 开头，你可以调用具有数组类型参数的 VARIADIC 版本：

hannu=# select add(ARRAY[1,2,NULL]);。

```

ERROR:  function add(integer[]) does not exist
LINE 1: select add(ARRAY[1,2,NULL]);
          ^
HINT:  No function matches the given name and argument types. You might
need to add explicit type casts.

```

```

hannu=# select add(VARIADIC ARRAY[1,2,NULL]);
-[ RECORD 1 ]
add | 3

```

你仍然可能将一个多维数组偷运进来：hannu=# select add(VARIADIC '{1,2,3},{4,5,6}');。

```
ERROR:  1-dimensional array needed
```

这个调用约定也意味着，即使当你创建了 VARIADIC 函数，你还是需要检查数组的维度。

## 8.3 C 函数编写的基础指南

在我们写完第一个函数之后，让我们来看看一些 PostgreSQL 后端编码的基本指引。

### 内存分配

在编写 C 代码时，你需要特别注意的一点是内存管理。对于任何 C 程序，你均需要仔

细地设计和执行程序，这样的话，当你完工的时候，所有分配的内存能够被释放，不然你会导致“内存泄漏”，且可能在某个点上耗尽所有的内存。

这也是 PostgreSQL 所关心的问题。PostgreSQL 为此也输出了一套自己的解决方案——内存语境。现在让我们对此进行深入探讨。

### 1. 使用 `palloc()` 和 `pfree()`

大多数 PostgreSQL 的内存分配是借助 PostgreSQL 的内存分配函数 `palloc()` 来实现的，而不是借助标准 C 的 `malloc()` 函数。`palloc()` 在当前的语境中进行内存分配。当语境被破坏的时候，整个存储器会一次性得到释放。例如，事务语境（当用户定义函数被调用时所使用的语境）被破坏了，被分配的内存在事务结束时被释放。这意味着大多数时候程序员并不需要担心如何跟踪 `palloc()` 分配的内存以及如何释放它。

倘若你需要不同寿命的内存分配，你也可以轻松地创建自己的内存语境。例如，对于返回一个行集合的函数需要传递一个结构，其中一个成员被预留给指针，为了在一个临时语境中保留函数级别的内存（本章后面将对此做详细描述）。

### 2. 零填充结构

在分配之后不管使用的是 `memset()` 还是 `palloc()`，我们需要始终确保新结构是零填充的。

PostgreSQL 有时会依赖于逻辑等效的数据项，该数据项也被适用于逐位比较。甚至当你在一个结构中设置了所有的项时，如果对齐填充是由编译器来完成的，那么一些对齐事件就有可能在结构元素之间的区域产生垃圾。

如果你不这样做，那么 PostgreSQL 的哈希索引和哈希连接就可能无法正常高效地工作，甚至可能会产生错误的结果。如果常量在逻辑上是相同的，但通过位同等的方式实际是不相同，这时候，规划器的常量对比也有可能是错误的，进而导致不良的规划结果。

### 3. 包含文件

大多数 PostgreSQL 的内部类型被定义在 `postgres.h` 中，而函数管理接口（`PG_MODULE_MAGIC`, `PG_FUNCTION_INFO_V1`, `PG_FUNCTION_ARGS`, `PG_GETARG_<type>`, `PG_RETURN_<type>`, 等等）位于 `fmgr.h`。因此，你的所有 C 扩展模块需要包含至少两个文件。最好是先包含 `postgres.h`，因为通过（重新）定义一些平台相关的常量和宏，它会让你的代码变得更具便携性。包括了 `postgres.h` 同时也会包括 `utils/elog.h` 与 `utils/palloc.h`。

`utils/` 子目录中同时也包含了其他有用的包含文件。你可能也需要包含文件，如我们在最近这个例子中所使用的 `utils/array.h`。

另一个经常使用到的包含目录是 `catalog/`，它会给你大多数系统表的最初部分（以及按约定的常量），所以你并不需要查找此类内容，例如 `int4` 数据类型的类型标识符（`type identifier for int4 data type`），但你可以直接使用预定义值 `INT4OID`。对于 PostgreSQL 9.2, `catalog/pgtype` 中定义的那些类型 ID 有 79 个常量。

考虑到结构定义以及系统目录表的内容，catalog/pg\_\* 包含文件中的值总是与数据库目录所获得的内容进行同步。当 initdb 命令创建了一个空的数据库集群，.bki 文件将借助 genbki.pl 脚本，从这些 .h 文件中生成。

#### 4. 公共符号名称

程序员需要履行的一个职责是确保当前可见的任何符号名与 PostgreSQL 后端中已有的名称不冲突，这里包括那些动态加载库所使用的名称。如果有冲突，你需要重新命名你的函数或者变量。如果冲突来自于代码所使用的第三方库，那问题就严重了。所以如果你可以将所有计划库链接到你的 PostgreSQL 扩展模块，最好尽早进行相关测试。

### 8.4 来自 C 函数的错误报告

在前面的例子中，我们未作明确阐述的是错误报告部分：

```
if (ARR_NDIM(input_array) > 1)
    ereport(ERROR,
            (errcode(ERRCODE_ARRAY_SUBSCRIPT_ERROR),
             errmsg("use only one-dimensional arrays!")));
```

PostgreSQL 中所使用的所有错误报告和通道外消息均借助宏 ereport (<errorlevel>, rest) 来实现。其主要目的是使错误报告看起来像一个函数调用。

由 ereport() 直接处理的唯一参数是一级参数错误级别，或者更确切地说是严重级别或者是日志级别。而所有其他参数实际上是函数调用，在系统中独立创建与存储的附加错误信息，并写入日志或发送到客户端。将其放置在 ereport() 的参数列表上并确保在汇报实际错误之前，这些函数被调用。这点相当重要，因为错误级别如果是 ERROR、FATAL 或者 PANIC，系统会将所有当前事务状态清空，在 ereport() 调用之后的任何内容都无法运行。错误状态结束事务。

如果发生错误，系统会返回到一个干净的状态，而且它将准备接受新的命令。

错误级别 FATAL 将清理后端并退出当前会话。

PANIC 是最具破坏性的一个错误级别，它不仅将结束当前连接，并且它会终止所有其他的连接。PANIC 意味着共享状态（共享内存）可能被损坏，不能安全继续。它被自动适用于事项，比如存储器清除或者其他“硬”崩溃。

#### 8.4.1 并非错误的“错误”状态

WARNING 是最高的非错误级别。这意味着部分内容可能是错误的，需要用户 / 管理员的注意。我们最好定期扫描系统，以获得日志警告。这仅对意外情况适用。查看定期发生的事情。警告会默认传给客户端或被写入服务器日志。

NOTICE 是那些用户可能较感兴趣的内容，例如主键索引或者串行类型的顺序的创建

信息（尽管这些信息在 PostgreSQL 的最新版本中被 NOTICE 拦截）。与上述的 WARNING 一样，NOTICE 也会默认传给客户端或被写入服务器日志。

INFO 被专门用于响应客户端的需求，如 VACUUM/ANALYSE VERBOSE。它总是被发送到客户端，忽略 client\_min\_messages GUC 的配置，但使用默认设置时，它不会被写入服务器日志。

LOG（与 COMMERROR）是为了响应服务器的运行消息，并且在默认情况下是仅被写入服务器日志。如果正确设置 client\_min\_messages，错误级别 LOG 也可以发送给客户端，但是 COMMERROR 无法发送给客户端。

同时也有递增顺序的 DEBUG1 到 DEBUG5。它们被专门用来汇报调试信息，但在大多数情况下它们并不那么实用，除非是出于好奇。在生产服务器上，我们并不建议设置较高的 DEBUGx 级别，因为要记录的或者要报告的数量实在太多。

#### 8.4.2 消息何时被发送到客户端

从服务器到客户端的通信大部分发生在命令完成之后（在 LISTEN/ NOTIFY 例子中，发生在事务被提交之后）。ereport() 释放的任何内容都将被立即发送到客户端，然后是之前提及的通道外消息。这使得 ereport() 成为了一个有用的工具，能够监控长时间运行的命令，如 VACUUM，也使其成为了一个简单的调试助手，能够打印出有用的调试信息。

你可以从链接 <http://www.postgresql.org/docs/current/static/error-message-reporting.html> 中获得更详细的错误报告信息。

### 8.5 运行查询与调用 PostgreSQL 函数

接下来我们要介绍的内容就是在数据库中运行 SQL 查询。当你想运行一个数据库查询时，你需要使用服务器编程接口（简称 SPI）。SPI 使程序员借助一套接口函数，运行 SQL 查询，这时会使用 PostgreSQL 的分析器、规划器和执行器。



如果你通过 SPI 运行 SQL 失败了，控制不返回到调用者，相反系统通过内部机制 ROLLBACK，恢复到干净的状态。对于你的调用，通过建立子事务，我们有可能捕捉到 SQL 错误。这个过程的稳定性尚未得到官方验证，因此并未出现在 C 扩展程序的文档中。如果你需要这些信息，我们推荐查看插件式语言的源代码 (pl/python, pl/proxy, ...)。如果接口发生变化，它们也会保持良好的顺序。在 PL/Python 源代码里面，函数在 plpython/plpy\_spi.c 文件中，并被相应的命名为 Ply\_spi\_subtransaction\_[begin|commit|abort]()。

无论是直接通过返回值或者借助全局变量 SPI\_result，SPI 函数确实能够在成功的情况下返回非负值。错误的情况下会产生一个负值或空值。

### 8.5.1 使用 SPI 的示例 C 函数

下面是一个示例函数，其通过 SPI\_\*() 函数来执行一个 SQL 查询。它是标准文档示例的一个改进版本。(它使用 Version 1 调用约定并输出几个信息位)。这个示例中的 .c、.sql.in 与 Makefile 函数可以在 spi\_samples/ 子目录下找到。

```
Datum
count_returned_rows(PG_FUNCTION_ARGS)
{
    char *command;
    int cnt;
    int ret;
    int proc;

    /* get arguments, convert command to C string */
    command = text_to_cstring(PG_GETARG_TEXT_P(0));
    cnt = PG_GETARG_INT32(1);

    /* open internal connection */
    SPI_connect();
    /* run the SQL command */
    ret = SPI_exec(command, cnt);
    /* save the number of rows */
    proc = SPI_processed;
    /* If some rows were fetched, print them via elog(INFO). */
    if (ret > 0 && SPI_tuptable != NULL)
    {
        TupleDesc tupdesc = SPI_tuptable->tupdesc;
        SPITupleTable *tuptable = SPI_tuptable;
        char buf[8192];
        int i, j;

        for (j = 0; j < proc; j++)
        {
            HeapTuple tuple = tuptable->vals[j];
            // construct a string representing the tuple
            for (i = 1, buf[0] = 0; i <= tupdesc->natts; i++)
                snprintf(buf + strlen(buf),
                         sizeof(buf) - strlen(buf),
                         " %s(%s)::%s)%s",
                         SPI_fname(tupdesc, i),
                         SPI_getvalue(tuple, tupdesc, i),
                         SPI_gettype(tupdesc, i),
                         (i == tupdesc->natts) ? " " : " | ");
            ereport(INFO, (errmsg("ROW: %s", buf)));
        }
    }

    SPI_finish();
}
```

```

    pfree(command);

    PG_RETURN_INT32(proc);
}

```

通过使用宏 PG\_GETARG\_\* 得到参数之后，展示的第一件事是通过 SPI\_connect()，打开一个内部连接。SPI\_connect() 为接下来的 SPI\_\*(...) 函数调用创建了内部状态。下一步骤就是使用 SPI\_exec(command, cnt)，执行一个完整的 SQL 语句。

SPI\_exec() 函数是 SPI\_execute(...) 的一个简单变种，其中 read\_only 标识符设置为 false。这里同时也存在第三个版本，立即执行 SPI 函数，用于查询准备的 SPI\_execute\_with\_args(...) 绑定传入的参数，在单一调用中执行查询。

在执行查询之后，我们保存了 SPI\_processed 值，返回到函数结束时所处理的行数。在这个例子中，这样的操作并不是严格要求的，但是一般情况下，你需要保存任何的 SPI\_\* 全局变量，因为它们可能会被下一个 SPI\_\*(...) 调用覆盖。

为了显示查询返回的内容以及展示如何访问由 SPI 函数返回的字段，接下来我们会借助 ereport(INFO, ...) 调用打印出由查询任何元组返回的详细的信息。首先，我们需要确认 SPI\_exec 调用是成功的，并且一些元组已经返回 (SPI\_tuptable != NULL)。接下来对于任何返回的元组 for(j = 0; j < proc; ...)，我们会在字段 for(i = 1; i <= tupdesc->natts; ...) 间进行循环，将字段信息格式化为一个缓冲区。通过使用 SPI 函数 SPI\_fname()、SPI\_getvalue() 与 SPI\_gettype()，我们得到了字段名称、值、数据类型的字符串表示形式。之后通过使用 ereport(INFO, ...)，将行传递给用户。如果你想从函数中返回值，请参阅下一节关于返回 SETOF 值和复合类型的内容。

最后，我们通过使用 SPI\_finish();，释放 SPI 内部状态。借助函数 text\_to\_cstring(<textarg>)，我们也可以释放由命令变量所分配的空间。由于函数调用语境被破坏，而且在函数退出时，分配的内存得以释放，这样的操作其实并不是严格要求的。

### 8.5.2 数据更改的可见性

在 PostgreSQL 中，数据更改的可见性规则是每个命令不能看到自己的变化，但通常可以看到之前命令所做的改变，即使这些命令是由外部命令或查询发起的。

也有一个例外情况，即当查询的执行是带有只读标识符设置的。在这种情况下，通过外部命令所做的更改对于内部命令或者被调用的命令是不可见的。

可见性规则已在文档 <http://www.postgresql.org/docs/current/static/spi-visibility.html> 中进行了阐述。一开始文档理解起来可能有点困难，但它可能有助于理解只读 SPI\_execute() 的调用，这是命令级别的，与事务隔离级别的 Serializable 相似，同时也有助于理解和 Read-Committed 隔离级别相似的读写调用。



SPI\_execute() 的读写标识符并不强制执行只读事务的状态！

在示例部分，你可以找到更多的解释说明：<http://www.postgresql.org/docs/current/static/spi-examples.html>。

### 8.5.3 SPI\_\* 函数的更多相关信息

官方文档中有关于 specific SPI\_\*() 函数的更多详细信息。

对于 PostgreSQL 9.2 的函数，SPI 文档的查询地址为：<http://www.postgresql.org/docs/9.2/static/spi.html>。

更多示例代码也可以在 PostgreSQL 源代码的回归测试（地址为：src/test/regress/regress.c）与 contrib/spi/ 模块中找到。

## 8.6 将记录集作为参数或返回值处理

让我们写一个函数，作为下一个练习的内容。将三个整数 a、b、c 作为参数，返回一组不同的记录——a、b、c 的所有排列以及由  $a*b+c$  计算获得一个额外的字段 x。

首先，为了让大家更轻松地理解我们将要进行的操作内容，我们使用 PL/ Python 编写该函数：

```

CREATE LANGUAGE
hannu=# CREATE TYPE abc AS (a int, b int, c int);
CREATE TYPE
hannu=# CREATE OR REPLACE FUNCTION
hannu-#     reverse_permutations(r abc)
hannu-#     RETURNS TABLE(c int, b int, a int, x int)
hannu-# AS $$

hannu$#     a,b,c = r['a'], r['b'], r['c']
hannu$#     yield a,b,c,a*b+c
hannu$#     yield a,c,b,a*c+b
hannu$#     yield b,a,c,b*b+c
hannu$#     yield b,c,a,b*c+a
hannu$#     yield c,a,b,c*a+b
hannu$#     yield c,b,a,c*b+a
hannu$# $$ LANGUAGE plpythonu;
CREATE FUNCTION
hannu=# SELECT * FROM reverse_permutations(row(2,7,13));
-[ RECORD 1 ]
c | 2

```

```

b | 7
a | 13
x | 27
-[ RECORD 2 ]
c | 2
b | 13
a | 7
x | 33
-[ RECORD 3 ]
c | 7
b | 2
a | 13
x | 62
-[ RECORD 4 ]
c | 7
b | 13
a | 2
x | 93
-[ RECORD 5 ]
c | 13
b | 2
a | 7
x | 33
-[ RECORD 6 ]
c | 13
b | 7
a | 2
x | 93

```

在以下类似函数的 C 语言实现过程中，我们将接触到三种新内容：

- 1) 如何获取 RECORD 的一个元素，其将作为参数进行传递？
- 2) 如何构建一个元组，以返回一个 RECORD 类型？
- 3) 如何返回该 RECORD 的 SETOF (又名 TABLE)？

接下来，开始研究 C 代码（在 chap8/c\_records/ 目录中可以找到一个示例）。

为了清楚起见，我们将分两部分来说明此函数。首先，我们做一个简单的 reverse(a,b,c) 函数，该函数将返回一个简单的 record of (c,b,a,x=c\*b+a)。之后，我们会将其展开，返回一组排列，例如 pl/pythonu 函数示例。

### 8.6.1 返回复杂类型的单个元组

当我们使用 C 来构建反向排列函数的一个版本时，我们首先需要返回 abc 类型的一条

记录。

```

Datum
c_reverse_tuple(PG_FUNCTION_ARGS)
{
    HeapTupleHeader th;
    int32    a,b,c;
    bool     aisNull, bisNull, cisNull;

    TupleDesc resultTupleDesc;
    Oid resultTypeId;
    Datum retvals[4];
    bool retnulls[4];
    HeapTuple rettuple;

    // get the tuple header of 1st argument
    th = PG_GETARG_HEAPTUPLEHEADER(0);
    // get argument Datum's and convert them to int32
    a = DatumGetInt32(GetAttributeByName(th, "a", &isNull));
    b = DatumGetInt32(GetAttributeByName(th, "b", &isNull));
    c = DatumGetInt32(GetAttributeByName(th, "c", &isNull));

    // debug: report the extracted field values
    ereport(INFO,
            (errmsg("arg: (a: %d,b: %d, c: %d)", a, b, c)) );

    // set up tuple descriptor for result info
    get_call_result_type(fcinfo, &resultTypeId, &resultTupleDesc);
    // check that SQL function definition is set up to return arecord
    Assert(resultTypeId == TYPEFUNC_COMPOSITE);
    // make the tuple descriptor known to postgres as valid return
    type
    BlessTupleDesc(resultTupleDesc);

    retvals[0] = Int32GetDatum(c);
    retvals[1] = Int32GetDatum(b);
    retvals[2] = Int32GetDatum(a);
    retvals[3] = Int32GetDatum(retvals[0]*retvals[1]+retvals[2]);

    retnulls[0] = aisNull;
    retnulls[1] = bisNull;
    retnulls[2] = cisNull;
    retnulls[3] = aisNull || bisNull || cisNull;

    rettuple = heap_form_tuple( resultTupleDesc, retvals, retnulls );

    PG_RETURN_DATUM( HeapTupleGetDatum( rettuple ) );
}

```

## 8.6.2 从参数元组中提取字段

获取一个参数元组的字段是非常容易的。首先，通过使用 PG\_GETARG\_HEAPTUPLEHEADER(0) 宏，你将获取到参数的 HeapTupleHeader 文件并传递到 th 变量。然后，对于每个字段，通过使用 GetAttributeByName() 函数，借助字段名称获得 Datum（泛型类型可容纳 PostgreSQL 中使用的任何字段值）。之后，依靠 DatumGetInt32()，将该值转换为 int32。最后，将该值分配到一个本地变量。

```
a = DatumGetInt32(GetAttributeByName(th, "a", &aisnull));
```

对于 GetAttributeByName(...), 第三个参数是 bool 的一个地址，如果字段为 NULL，其被设置为 true。

如果你喜欢通过数量而不是名称获得相应属性，这里也有一个类似的函数 GetAttributeByNum()。

## 8.6.3 构建一个返回元组

构建返回元组是非常容易的。

首先，通过使用 get\_call\_result\_type() 函数，你可以获得被调用函数返回类型的描述符。

```
get_call_result_type(fcinfo, &resultTypeId, &resultTupleDesc);
```

该函数的第一个参数是 FunctionCallInfo 结构——fcinfo。当调用你现在正在编写的函数时，该参数会被使用到（隐藏在 C 函数声明中的 PG\_FUNCTION\_ARGS 宏后面）。另外两个参数是返回类型 Oid 的地址，以及 TupleDesc。当函数返回一个记录类型的时候，TupleDesc 将接受返回元组的描述符。

接下来，进行一个安全性声明，检查返回类型确实是记录类型（或者复合类型）。

```
Assert(resultTypeId == TYPEFUNC_COMPOSITE);
```

这是为了防止在 SQL 的 CREATE FUNCTION 声明中出现错误，告诉 PostgreSQL 这个新函数。

在我们构造元组之前，还需要处理一件事情。

```
BlessTupleDesc(resultTupleDesc);
```

BlessTupleDesc() 的目的是为了填充结构中缺少的那部分内容。元组的内部操作并不需要该部分内容，但是当元组从函数中返回时，它是必不可少的。

因此，我们已经完成了元组描述符。最后，我们可以构造要返回的元组或记录本身。

元组是使用 heap\_form\_tuple( resultTupleDesc, retvals, retnulls ); 函数完成构建的，函数使用了我们刚刚准备的 TupleDesc。它同时还需要 Datum 的数组，在返回的元组中当作值以及 bool 的一个数组。bool 数组被用来决定字段是否该被设置为 NULL 而不是相应的 Datum 值。由于所有的字段都是类型 int32，retvals 中的值需要通过使用 Int32GetDatum(<localvar>) 进行设置。

数组 `retnull` 是一个简单的 `bool` 数组，并不需要特殊的技巧来设置它的值。

最后，我们返回所构造的元组：

```
PG_RETURN_DATUM( HeapTupleGetDatum( rettuple ) );
```

在这里，我们首先使用 `HeapTupleGetDatum()`，从我们刚刚构建的元组中构建一个 `Datum`。然后，我们使用 `PG_RETURN_DATUM` 宏。

### 8.6.4 插曲——什么是 Datum

在本章中，我们将在几处地方使用 `Datum`。这需要我们解释一下什么是“`Datum`”。

简而言之，`Datum` 是 PostgreSQL 处理与传递的任何数据项。`Datum` 本身并不包含任何类型信息或者能够表明它是否为 `NULL` 的相关信息。它仅仅是一个指针，指向一些内存。你总是需要找出（或事先知道）你所使用的任何 `Datum`，同时你也需要找出你的数据是否为 `NULL`，而不是任何真正的值。

在前面的例子中，`GetAttributeByName(th, "b", &bisnull)` 返回一个 `Datum`。当在元组中的字段为 `NULL`，它也可以返回一些内容。所以，总是首先检查空值。同时，返回的 `Datum` 本身不能大量使用，除非我们把它转换成一些真正的类型，如下一步中使用的 `DatumGetInt32()`，其将流行的 `Datum` 转换为真正的 `int32` 值，基本是为未定义的类型开辟一个内存位置，并将其转换为 `int32`。

`Datum` 在 `postgresql.h` 中的定义是 `typedef Datum *DatumPtr;`，其实为 `DatumPtr` 所指向的内容。尽管 `DatumPtr` 被定义为 `typedef uintptr_t Datum;`，但若将其当作 `void*`（稍做限制），可能会更容易一些。

再次，通过将实质内容转换为一个真正类型，任何的实质内容都会被添加到 `Datum`。你可以尝试其他方法，在函数的末尾，将几乎所有内容均转换为一个 `Datum`：

```
HeapTupleGetDatum( rettuple )
```

再次说明，PostgreSQL 其他的内容要利用 `Datum` 的话，该类型信息必须存在。在我们的例子中，类型信息是函数的返回类型定义。

### 8.6.5 返回一个记录集

接下来，我们对函数进行修改，不仅使其从参数记录中返回经过重新排序的字段的单个记录，而且也返回所有可能的排序。我们同时也增加了一个额外的字段 "`X`" 进行实例展示，说明我们是如何使用那些从参数中提取的值。

对于返回集合的函数，PostgreSQL 有一个特殊的调用机制，其中 PostgreSQL 的执行机构将反反复复地调用函数，直到函数返回报告，告知其不能再返回更多的值为止。这种返回 - 持续的行为与 `yield` 这个关键字在 Python 或 JavaScript 中的工作原理类似。对集合返回函数的所有调用都会得到一个参数，这是函数外保持的一个持久的结构。通过宏：`SRF_`

FIRSTCALL\_INIT() 完成第一个调用，而 SRF\_PERCALL\_SETUP() 对应于后续的调用。

为了让本例更浅显易懂，当我们置换值的时候，我们会提供所有可能排序的一个常量数组。

此外，我们仅在函数的开始读取字段 a、b、c，然后在结构 c\_reverse\_tuple\_args 中提取值，这些我们在第一次调用的时候就会进行分配和初始化。为了让结构存在于所有的调用中，我们会将这个结构分派在一个特殊的内存语境中，其被维护在 funcctx -> multi\_call\_memory\_ctx 中，然后将指针保存到 funcctx -> user\_fctx 结构中。同时，我们也会使用 funcctx 字段：call\_cntr 与 max\_calls。

对于在第一次调用中所运行的相同代码部分，我们同时也准备了描述符结构，用以返回元组。为了达到这个目的，我们将从 funcctx->tuple\_desc 中获得的地址传递给函数 get\_call\_result\_type(...)，由此我们获取到了返回的元组描述符。而且，我们通过调用 BlessTuple(...)，完成了准备工作，填充了用以返回值的丢失位。

在本节结尾部分，我们恢复内存环境。通常情况下，你并不需要 pfree() 那些你通过 malloc() 分配的内容，但当你使用完任何你切换过的内存语境时，请记得恢复它们，否则你就有可能搞乱 PostgreSQL，而且在一定程度上，你还无法进行后续调试！

剩下的内容就是每次调用所需要执行的，包括第一次调用。

首先，我们通过比较当前调用与最大调用参数，来检查我们是否仍有事项待处理。当然，这绝不是判断我们是否已经返回了所有值的唯一方法，但它确实是最简单的方法，如果你提前知道你需要返回多少行。如果已没有行可供返回了，我们可以通过使用 SRF\_RETURN\_DONE()，来进行示意。

剩下的事情就与之前单一元组函数所做的处理非常类似。我们通过使用索引排列数组 ips，计算 retvals 与 retnulls 数组。然后使用 heap\_form\_tuple(funcctx->tuple\_desc, retvals, retnulls);，构造一个元组进行返回。

最后，我们使用宏 SRF\_RETURN\_NEXT (...)，返回元组，然后将元组转换为 Datum，这正是宏所期望达到的目的。

还有一件事情值得注意，PostgreSQL 当前所有的版本将一直调用你的函数，直到它返回 SRF\_RETURN\_DONE()。目前还没有办法提前终止调用。这意味着，如果你的函数返回 100 万行，那你也只能买单。

```
select * from mymillionrowfunction() limit 3;
```

该函数将在内部进行 100 万次调用，所有的结果将被缓存下来，而且也只有在此之后，前 3 行才会被返回，然后剩下的 999997 行将被丢弃。这不是一个基本的限制，而是一个实现细节，在将来的某个版本很可能会做改变。不过请不要高兴过早，因为只有当有人发现这很有价值时才会改变它。

前面所描述到的改进版的源代码如下：

```

struct c_reverse_tuple_args {
    int32    argvals[3];
    bool     argnulls[3];
    bool     anyargnull;
};

Datum
c_permutations_x(PG_FUNCTION_ARGS)
{
    FuncCallContext      *funcctx;

    const char  *argnames[3] = {"a", "b", "c"};
    // 6 possible index permutations for 0,1,2
    const int    ips[6][3] = {{0,1,2},{0,2,1},
                             {1,0,2},{1,2,0},
                             {2,0,1},{2,1,0}};
    int i, call_nr;

    struct c_reverse_tuple_args* args;

    if(SRF_IS_FIRSTCALL())
    {
        HeapTupleHeader th = PG_GETARG_HEAPTUPLEHEADER(0);
        MemoryContext oldcontext;
        /* create a function context for cross-call persistence */
        funcctx = SRF_FIRSTCALL_INIT();
        /* switch to memory context appropriate for multiple function
calls */
        oldcontext = MemoryContextSwitchTo(
            funcctx-
>multi_call_memory_ctx
        );
        /* allocate and zero-fill struct for persisting extracted
arguments*/
        args = palloc0(sizeof(struct c_reverse_tuple_args));
        args->anyargnull = false;
        funcctx->user_fctx = args;
        /* total number of tuples to be returned */
        funcctx->max_calls = 6; // there are 6 permutations of 3
elements
        // extract argument values and NULL-ness
        for(i=0;i<3;i++){
            args->argvals[i] = DatumGetInt32(GetAttributeByName(th,
argnames[i], &(args->arnulls[i])));
            if (args->arnulls[i])
                args->anyargnull = true;
        }
        // set up tuple for result info
        if (get_call_result_type(fcinfo, NULL, &funcctx->tuple_desc)
!= TYPEFUNC_COMPOSITE)

```

```

        ereport(ERROR,
                (errcode(ERRCODE_FEATURE_NOT_SUPPORTED),
                 errmsg("function returning record called in
context "
                        "that cannot accept type record")));
        BlessTupleDesc(funcctx->tuple_desc);
        // restore memory context
        MemoryContextSwitchTo(oldcontext);
    }

funcctx = SRF_PERCALL_SETUP();
args = funcctx->user_fctx;
call_nr = funcctx->call_cntr;

if (call_nr < funcctx->max_calls) {
    HeapTuple    rettuple;
    Datum        retvals[4];
    bool         retrnulls[4];

    for(i=0;i<3;i++){
        retvals[i] = Int32GetDatum(args->argvals[ips[call_nr]
[i]]);
        retrnulls[i] = args->argnulls[ips[call_nr][i]];
    }
    retvals[3] = Int32GetDatum(args->argvals[ips[call_nr][0]]
                           * args-
>argvals[ips[call_nr][1]]
                           + args-
>argvals[ips[call_nr][2]]);
    retrnulls[3] = args->anyargnull;

    rettuple = heap_form_tuple(funcctx->tuple_desc, retvals,
retrnulls);

    SRF_RETURN_NEXT(funcctx, HeapTupleGetDatum( rettuple ));
}
else /* do when there is no more left */
{
    SRF_RETURN_DONE(funcctx);
}
}

```

## 8.7 快速获取数据库变更

用C进行代码编写，其中一些显而易见的事件是日志或审核触发器，这些事件被每个对于表的INSERT、UPDATE或DELETE操作所调用。我们并没有在本书中预留足够的空

间，对 C 触发器的所有信息进行详细阐述，但是有兴趣的读者可以查看 `skytools` 包的源代码，这里你可以找到 C 触发器的更多编写方法。

针对两个主要触发器 `logtriga` 和 `logutriga` 进行高度优化的 C 源代码包括了你捕获表变化所需要的所有内容，甚至在代码运行的时候，它可以检测表结构的变化。

你可以在链接 <http://pgfoundry.org/projects/skytools>，找到 `skytools` 的最新源代码。

## 8.8 在提交 / 回滚时处理情况

截至目前为止，我们无法定义一个可以在提交 / 回滚的时候执行的触发器函数。但是，如果你真的需要在这些数据库事件中执行某些代码，你可能有必要注册一个 C 语言函数，使其在这些事件中被调用。不幸的是，这个注册不能像触发器那样保持不变。这个注册函数在每次新连接开始启用的时候就会被调用。

```
RegisterXactCallback(my_xact_callback, NULL);
```

在 PostgreSQL 源代码的 `contrib` / 目录下，使用 `grep -r RegisterXactCallback` 可以找到一些真正使用回调函数的示例文件。

## 8.9 在后端间进行同步

上述所有函数都是为了在一个单一的进程或后端中运行，仿佛其他 PostgreSQL 过程并不存在。

但是，如果你想从多个后端记录东西到一个单一的文件中，该怎么办？

似乎很容易！只要打开文件并写入你想要的内容。不幸的是，它实际上并不是那么容易的。如果你想从多个并行进程中来实现这样一个操作，而你又不能将数据与其他进程写的内容进行覆盖或者混合。

为了更好地控制后端之间的写入顺序，你需要有某种进程间的同步，而要在 PostgreSQL 中做到这一点，最简单的方法是使用共享内存（shared memory）与轻量锁（light-weight lock，LWLock）。

为了分配其自身的共享内存段，你的 `.so` 文件需要被预加载，也就是说，它应该是由 `postgresql.conf` 变量 `shared_preload_libraries` 指定的其中一种预加载库。

在模块函数 `_PG_init()` 中，你请求一个名称共享内存段的地址。如果你是第一个请求这个片段的人，你需要负责初始化共享结构，包括创建和存储任何你想在模块中使用的轻量锁。

## 8.10 C语言的额外资源

在本章中，我们已向你介绍了C语言的一些最基础的信息。为了获得更多的信息，这里我们将给出一些相关建议。

首先，在PostgreSQL手册的《C语言函数》一章中介绍了相关内容。你也可以在网上找到该部分内容 <http://www.postgresql.org/docs/current/static/xfunc-c.html>。而对于大多数PostgreSQL线上手册，你通常可以获得更早版本（如果还存在的话）。

毫不意外，下一个信息来源是PostgreSQL自身的源代码。但是，如果你只是打开相应文件或者使用grep，来查询所需要的内容，那你可能并不会获得多少信息。不过，如果你擅长使用ctags (<http://en.wikipedia.org/wiki/Ctags>) 或者类似工具的话，那我们肯定推荐这个途径。

另外，如果你对大型代码搜索系统的这些类型并不了解的话，那你在<http://doxygen.postgresql.org/>，找到很好的资源，用以查询与检查PostgreSQL的内部。这个指的是最新的git专家，它对于你的PostgreSQL版本可能不准确，但在通常情况下还是很好用的，至少它能够提供一个很好的起点，使你可以在你的版本的源代码中进行探究。

很多时候，你想在源代码的contrib/目录中找到一些东西，能让你的C源（或者部分内容）得以依赖。为了了解该目录下的内容，你可以查看Appendix F, Additional Supplied Modules (<http://www.postgresql.org/docs/current/static/contrib.html>)。甚至有些人可能已经写好了你想要的内容。打开链接<http://pgfoundry.org>，你甚至可以查找到更多的模块。在此提醒下，当contrib/中的模块由至少一个或者两个称职的PostgreSQL核心程序员进行检测的时候，pgfoundry中的内容质量可能参差不齐。项目最活跃当然是最好的，但是当你决定是否使用其作为学习源的时候，你还是需要看这个项目的活跃程度以及它最新的更新时间点。

还有一组GUC参数，专门用于开发和调试。在通常情况下，我们可以在postgresql.conf文件中找到范例。你可以通过链接<http://www.postgresql.org/docs/current/static/runtime-config-developer.html>，找到相应的描述和解释。

## 8.11 小结

由于PostgreSQL本身是用C语言编写的，所以我们也很难区分哪些是使用定义好的API开发的扩展函数，哪些是在攻击PostgreSQL。

以下是一些我们没有根本涉及话题：

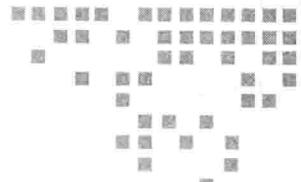
- 从头开始创建新的安装类型——看contrib/hstore/如何实现一种新类型。
- 创建新的索引方法——下载PosrgreSQL的一些旧版本，看全文索引的支持如何发挥辅助作用。

□ 执行一个新的 PL / \* 语言——搜索 PL / lolcode，获得一种语言，主要目的就是为了展示 PostgreSQL 的 PL / \* 语言如何进行编写（见 <http://pgfoundry.org/projects/pllolcode/>）。同时，你也可能想要为 PL/Proxy，查看源代码，获得一个干净且良好的 PL 语言。（PL/Proxy 的使用将在下一章中进行介绍。）

我们希望，本章带给你足够的信息，至少可以让你使用 C 进行 PostgreSQL 的扩展函数的编写。

如果你需要更多的信息，或者获得比官方 PostgreSQL 文档中更多的信息，记得很多存在源文件中的 PostgreSQL 的后端开发者文件——通常包括诸如问题“怎么样？”与“为什么？”的答案。而且大多数也与 C 扩展程序相关。

所以请记住——使用源代码，Luke!



## 第 9 章

*Chapter 9*

# 使用 PL/Proxy 扩展数据库

正如前面几章所建议的，如果你都通过函数进行所有的数据库访问，那你就能够顺利地在多个服务器上“横向”分配数据，进而扩展你的数据库。横向分配的意思是，你只需要在每个“分区”数据库上存放表的部分内容，然后就可以通过一个方法，在访问数据的时候自动访问正确的数据库。

我们会逐渐引入 PL/Proxy 分区的相关概念，然后探究语言本身的语法与正确用法。让我们从头开始编写一个可扩展的应用程序。然后，通过在多个服务器上传播以进行程序扩展。我们首先会让它在 PL/ Python 上完成执行，然后将其当作本章特殊语言（PL/Proxy）的范例进行阐述。

 如果你拥有（或者计划制作）一个真正的大型数据库，这种方法就非常值得考虑。对于大多数数据库而言，一台服务器加上一台或者两台热备份服务器，应该是绰绰有余的。

## 9.1 简单的单服务器通话

也许，需要这种扩展性的最简单的应用是一个消息（或聊天）应用程序，所以让我们写一个这样的程序。

最初的单一服务器实现有以下要求：

- 必须具有用户和消息。
- 每个用户都有一个用户名、密码、电子邮件、朋友列表，以及一个标记，以显示用户是否希望仅收到朋友的消息还是愿意收到所有人的消息。

□ 对于用户来说，存在以下几种方法：

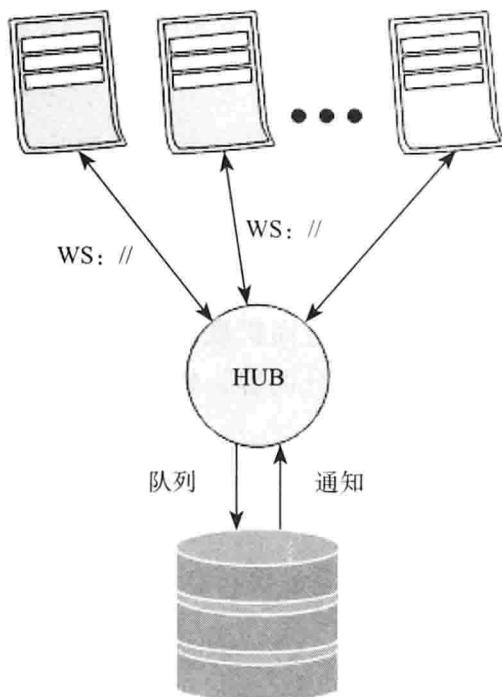
- 注册新用户
- 更新朋友列表
- 登录

□ 每个消息都有一个发送者、接收者、邮件正文以及发送与阅读消息的时间点。

□ 对于消息，存在以下几种方法：

- 发送一条消息
- 检索新消息

实施这一功能的最简化系统看起来可能如下图所示：



如图所示，一个网页针对一个 HUB（中枢）打开一个 WebSocket（WS://），然后反过来与一个数据库进行对话。对于每次新的连接，HUB 会进行登录，然后每次登录成功之后，打开一个 WebSocket，连接到 Web 页面。之后，它会向登录用户发送自上一次他们接收完消息之后的所有累积的信息。最后，HUB 会等待新消息，当消息到达之后，它会将这些新消息推送到网页上。

数据库部分有两张表，其中一张是 user\_info 表，如下：

```

CREATE TABLE user_info (
    username text primary key,
    pwdhash text not null, -- base64 encoded md5 hash of password
    email text,
    friend_list text[], -- list of buddies usernames
    friends_only boolean not null default false
);
  
```

而另一张是 message 表，如下：

```
CREATE TABLE message (
    from_user text not null references user_info(username),
    sent_at timestamp not null default current_timestamp,
    to_user text not null references user_info(username),
    read_at timestamp, -- when was this retrieved by to_user
    msg_body text not null,
    delivery_status text not null default 'outgoing' -- ('sent',
"failed")
);
```

由于这仍然是一个基于“多合一的数据库”的实现过程，所以与应用程序方法通信的数据库函数是非常简单的。

创建一个用户：

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION new_user(
    IN i_username text, IN i_pwdhash text, IN i_email text,
    OUT status int, OUT message text )
AS $$$
BEGIN
    INSERT INTO user_info( username, pwdhash, email)
        VALUES ( i_username, i_pwdhash, i_email);
    status = 200;
    message = 'OK';
EXCEPTION WHEN uniqueViolation THEN
    status = 500;
    message = 'USER EXISTS';
END;
$$ LANGUAGE plpgsql SECURITY DEFINER;
```

只有当用户已被定义的时候，这个方法才会出错。对于这种情况，一个更人性化的函数会提出一张可用的用户名列表。

下面是登录处理函数，当登录失败时，该方法会返回状态 500；当登录成功时，它会返回 200 或 201。201 意味着该用户有未读的消息：

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION login(
    IN i_username text, IN i_pwdhash text,
    OUT status int, OUT message text )
AS $$$
BEGIN
    PERFORM 1 FROM user_info
    WHERE (username, pwdhash) = (i_username, i_pwdhash);
    IF NOT FOUND THEN
        status = 500;
        message = 'NOT FOUND';
    END IF;
    PERFORM 1 FROM message
    WHERE to_user = i_username
        AND read_at IS NULL;
```

```

    IF FOUND THEN
        status = 201;
        message = 'OK. NEW MESSAGES';
    ELSE
        status = 200;
        message = 'OK. NO MESSAGES';
    END IF;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql SECURITY DEFINER;

```

另外两个用户方法是为了改变好友列表，并告诉系统是否只接收来自朋友的邮件。为简便起见，这里已省略错误检查：

```

CREATE or REPLACE FUNCTION set_friends_list(
    IN i_username text, IN i_friends_list text[],
    OUT status int, OUT message text )
AS $$

BEGIN
    UPDATE user_info
        SET friend_list = i_friends_list
    WHERE username = i_username;
    status = 200;
    message = 'OK';
END;
$$ LANGUAGE plpgsql SECURITY DEFINER;

CREATE or REPLACE FUNCTION msg_from_friends_only(
    IN i_username text, IN i_friends_only boolean,
    OUT status int, OUT message text )
AS $$

BEGIN
    UPDATE user_info SET friends_only = i_friends_only
    WHERE username = i_username;
    status = 200;
    message = 'OK';
END;
$$ LANGUAGE plpgsql SECURITY DEFINER;

```

用于传递消息的函数，仅进行消息发送，代码如下：

```

CREATE or REPLACE FUNCTION send_message(
    IN i_from_user text, IN i_to_user text, IN i_message text,
    OUT status int, OUT message text )
AS $$

BEGIN
    PERFORM 1 FROM user_info
    WHERE username = i_to_user
        AND (NOT friends_only OR friend_list @> ARRAY[i_from_user]);
    IF NOT FOUND THEN
        status = 400;
        message = 'SENDING FAILED';
    END IF;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql SECURITY DEFINER;

```

```

        RETURN;
    END IF;
    INSERT INTO message(from_user, to_user, msg_body, delivery_status)
    VALUES (i_from_user, i_to_user, i_message, 'sent');
    status = 200;
    message = 'OK';
EXCEPTION
    WHEN foreign_keyViolation THEN
        status = 500;
        message = 'FAILED';
END;
$$ LANGUAGE plpgsql SECURITY DEFINER;

```

用于传递消息的函数，仅进行消息接收，代码如下：

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION get_new_messages(
    IN i_username text,
    OUT o_status int, OUT o_message_text text,
    OUT o_from_user text, OUT o_sent_at timestamp)
RETURNS SETOF RECORD
AS $$

BEGIN
    FOR o_status, o_message_text, o_from_user, o_sent_at IN
        UPDATE message
        SET read_at = CURRENT_TIMESTAMP,
            delivery_status = 'read'
        WHERE to_user = i_username AND read_at IS NULL
        RETURNING 200, msg_body, from_user , sent_at
    LOOP
        RETURN NEXT;
    END LOOP;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql SECURITY DEFINER;

```

对于简单服务器的数据库部分，我们基本已完成工作。但为了彻底完工，我们需要做一些初步的性能调整。为此，我们需要表中的一些数据。最简单的办法就是使用 generate\_series() 函数，来生成一张数字列表，这里我们将使用用户名。对于初步测试，使用姓名 7 或者 42 实际上与使用 Bob、Mary，或 Jill 会达到一样的效果：

```

hannu=# SELECT new_user(generate_series::text, 'pwd', generate_
series::text || '@pg.org')
hannu-#   FROM generate_series(1,100000);

hannu=# WITH ns(n,len) AS (
hannu(#     SELECT *,(random() * 10)::int FROM generate_
series(1,100000))
hannu-#         SELECT set_friends_list(ns.n::text,
hannu(#             ARRAY( (SELECT (random() * 100000)::int
hannu(#                 FROM generate_series(1,len))
hannu(#             )::text []

```

```

hannu(# )
hannu-# FROM ns ;

```

对于 10 万名用户，他们现在每个人都拥有了 0 ~ 10 位朋友。朋友总数达到 501900 位。

```

hannu=# SELECT count(*) FROM (SELECT username,unnest(friend_list)
FROM user_info) a;
-[ RECORD 1 ]-
count | 501900

```

现在，让我们向每位朋友发送一条消息：

```

hannu=# SELECT send_message(username,unnest(friend_list),'hello
friend!') FROM user_info;

```

看一下，我们获得消息有多神速：

```

hannu=# select get_new_messages('50000');
          get_new_messages
-----
(200,"hello friend!",49992,"2012-01-09 02:23:28.470979")
(200,"hello friend!",49994,"2012-01-09 02:23:28.470979")
(200,"hello friend!",49995,"2012-01-09 02:23:28.470979")
(200,"hello friend!",49996,"2012-01-09 02:23:28.470979")
(200,"hello friend!",49997,"2012-01-09 02:23:28.470979")
(200,"hello friend!",49999,"2012-01-09 02:23:28.470979")
(200,"hello friend!",50000,"2012-01-09 02:23:28.470979")
(7 rows)

```

Time: 763.513 ms

花费了近一秒钟的时间，我们获得了 7 条消息，这样的速度看上去挺慢的。所以我们需要优化一下。

第一件事情是添加索引，用以检索消息：

```

hannu=# CREATE INDEX message_from_user_ndx ON message(from_user);
CREATE INDEX
Time: 4341.890 ms
hannu=# CREATE INDEX message_to_user_ndx ON message(to_user);
CREATE INDEX
Time: 4340.841 ms

```

检查一下，看这样是否有助于解决问题：

```

hannu=# select get_new_messages('52000');
          get_new_messages
-----
(200,"hello friend!",51993,"2012-01-09 02:23:28.470979")
(200,"hello friend!",51994,"2012-01-09 02:23:28.470979")
(200,"hello friend!",51996,"2012-01-09 02:23:28.470979")
(200,"hello friend!",51997,"2012-01-09 02:23:28.470979")
(200,"hello friend!",51998,"2012-01-09 02:23:28.470979")

```

```
(200,"hello friend!",51999,"2012-01-09 02:23:28.470979")
(200,"hello friend!",52000,"2012-01-09 02:23:28.470979")
(7 rows)
Time: 2.949 ms
```

速度更快了——索引查找比顺序扫描快了300倍，而这种差异将随着表变得越来越大！

当我们更新消息并设置它们为可读取状态的时候，我们可以将填充因子设置成低于100%，这也不失为一个好计策。

 填充因子告诉PostgreSQL不要100%填充数据库页面，而是为HOT更新预留一些空间。当PostgreSQL更新了一行时，它只标记了旧的行，用以删除，并添加新的行到数据文件中。如果被更新的行只是改变了没有索引的字段，而且页面中仍有足够的空间来存储第二个副本，那么就完成一个HOT更新。在这种情况下，我们可以发现，通过使用原来的索引指针，副本被复制到第一个副本。在更新的时候，没有开销较大的索引更新发生。

```
hannu=# ALTER TABLE message SET (fillfactor = 90);
ALTER TABLE
Time: 75.729 ms
hannu=# CLUSTER message_from_user_ndx ON message;
CLUSTER
Time: 9797.639 ms

hannu=# select get_new_messages('55022');
      get_new_messages
-----
(200,"hello friend!",55014,"2012-01-09 02:23:28.470979")
(200,"hello friend!",55016,"2012-01-09 02:23:28.470979")
(200,"hello friend!",55017,"2012-01-09 02:23:28.470979")
(200,"hello friend!",55019,"2012-01-09 02:23:28.470979")
(200,"hello friend!",55020,"2012-01-09 02:23:28.470979")
(200,"hello friend!",55021,"2012-01-09 02:23:28.470979")
(200,"hello friend!",55022,"2012-01-09 02:23:28.470979")
(7 rows)

Time: 1.895 ms
```

速度变得更快。由于加快了HOT的更新速度，填充因子使得`get_new_messages()`函数的运行速度提高了20%~30%。

## 9.2 处理跨多数据库的成功分表

现在，让我们向前再迈进一步。假设你已经成功吸引到了成千上万的用户群体，你那个单一数据库因为负载，已开始“吱吱作响”。

凭我的经验，当一天中有几个小时数据库的利用率超过 80% 的时候，我一般会开始规划一台更大的机器或将数据库进行拆分。最好尽早制定一个计划，但现在你必须开始实现这项计划。

### 9.2.1 什么扩展计划有用和什么时候有用

目前存在几种流行的方法，可用以扩容数据库备份系统。但根据你的使用情况，并不是所有的方法都会奏效。

#### 1. 迁移到一个更大的服务器

如果你怀疑你已接近服务或产品的最高负荷，你可以简简单单地移动到一个更强大的服务器。如果你还只是处于发展中期，或者甚至是发展初期，这可能不是最佳的长期缩放解决方案。远在你真正完成之前，你可能会用完“更大”机器的负荷。在规模增大的同时，服务器成本也会不成比例地增加。最后，你剩下的就是一个“不同”的但不可轻易更换的服务器，在这个服务器上你曾经实现一个适当的扩展解决方案。

另一方面，这种方法在一段时间内是管用的，而且当我们在实现一个真正的扩展解决方案前，它通常还是获得余地最简单的方法。

#### 2. 主从复制——移动读取从站

在绝大多数的数据库访问都是读取操作的情况下，主从复制无论是基于触发器的还是基于 WAL 的，均能够合理地发挥功效。但网站内容管理器、博客等其他发布系统在这种情况下会失败。

由于我们的聊天系统基本会按照 1 : 1 的比例进行写入和读取，因此将读取移动到一个单独的服务器实际并不能发挥多少作用。复制本身的成本会比从第二个服务器成功读取内容的成本昂贵得多。

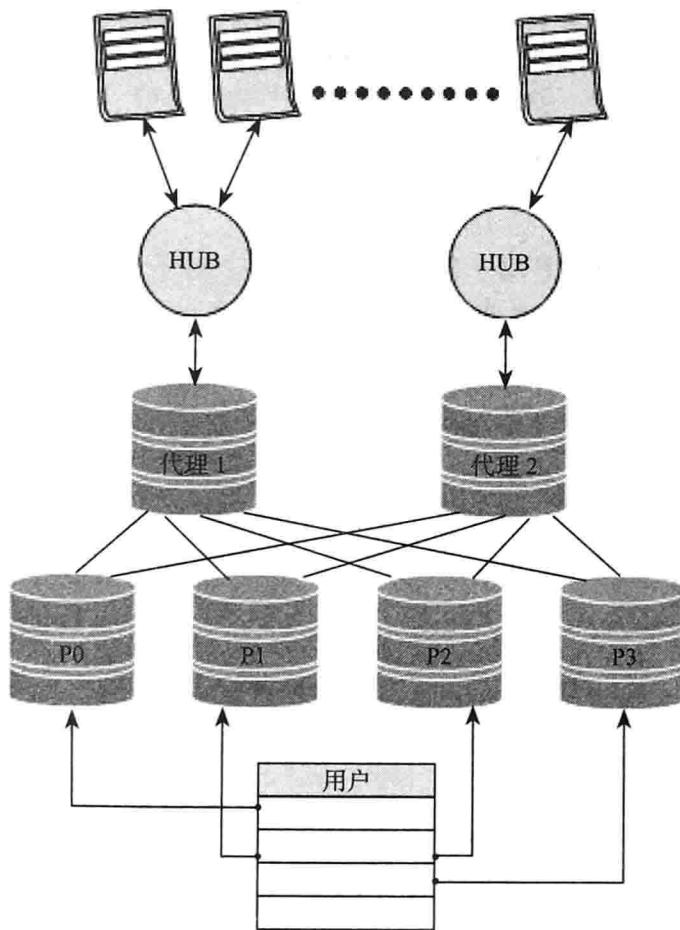
#### 3. 多主机复制

当要扩展一个以写为主要工作的服务器时，多主机复制会比主从复制带来更多的麻烦。它不仅具有主从复制的所有问题，而且它会通过跨分区锁定或者冲突解决要求，引入额外的负荷，进而减慢整个集群。

### 9.2.2 跨多服务器的数据分区

用于扩展写操作的最显著的解决方案是将其在几台服务器之间进行拆分。在理想情况下，例如，你可以有四台服务器，而且，每台能够精确地平摊 1/4 的负载。

在这种情况下，每个服务器将拥有四分之一的用户和消息，并处理四分之一的请求量。



为了将这些更改毫无保留地告知数据库客户端，我们引入了代理数据库的一个分层。这些代理数据库可以驻留在同一台主机，作为分区数据库，或驻留在自己的主机上。代理数据库的作用是在客户端面前假装成数据库，但实际上，通过在正确的分区数据库调用正确的函数，它将具体的工作委托给各个分区。

当你只有一个应用要访问数据库的时候，这种对客户端的透明度并不是非常重要。如果你已经进行了这样的操作，之后可以在客户端应用程序上进行拆分。当你的系统逐渐拥有了几个应用程序的时候，这样做是非常方便的。在客户端，应用程序还有可能使用多个不同的平台和框架。

拥有一个独立的代理数据库分层有助于数据拆分的高效管理。因此，客户端应用程序并不需要知道底层的数据架构。它们只需要调用所需的函数，而这一切就是它们需要知道的。实际上，你可以切换整个数据库结构，而客户端无任何感知，除了新架构所带来的性能优化。

之后，我们会介绍更多关于代理的工作原理。现在，让我们一起来解决数据拆分。

### 数据拆分

如果我们进行数据拆分，我们需要一个简单且有效的方法，来确定哪台服务器是用来

存储每个数据行的。如果数据有一个整数主键，你只需要进行循环，在第一台服务器上存储第一行，在第二台服务器上存储第二行，以此类推。这样会给你一个相当均匀的分布，即使某些 ID 出现缺失。

用于在四个服务器之间进行选择的分区函数，如下：

```
partition_nr = id & 3
```

分区掩码 3 (二进制 11) 是用于最初的两个比特。对于 8 个分区，可以使用 7 (二进制 111)，而对于 64 台服务器，它将是 63 (00111111)。它并不像用户名那样简单。对于所有用户名，我们可以从 A 开始，之后是 B，依次按照字母顺序，因此并不产生均匀分布。

通过散列函数，将用户名转化为一个分布相当均匀的整数，不仅可以解决上述问题，而且可以直接用来选择分区。

```
partition_nr = hashtext(username) & 3
```

这将按照下列方式，分布用户：

```
hannu=# SELECT username, hashtext(username) & 3 as partition_nr FROM
user_info;
-[ RECORD 1 ]+-----
username | bob
partition_nr | 1
-[ RECORD 2 ]+-----
username | jane
partition_nr | 2
-[ RECORD 3 ]+-----
username | tom
partition_nr | 1
-[ RECORD 4 ]+-----
username | mary
partition_nr | 3
-[ RECORD 5 ]+-----
username | jill
partition_nr | 2
-[ RECORD 6 ]+-----
username | abigail
partition_nr | 3
-[ RECORD 7 ]+-----
username | ted
partition_nr | 3
-[ RECORD 8 ]+-----
username | alfonso
partition_nr | 0
```

所以分区 0 得到用户 alfonso，分区 1 得到 bob 与 tom，分区 2 得到 jane 与 jill，而分区 3 得到用户 mary、abigail 与 ted。这样分布不是按照每个分区精确得到四分之一的用户，而是按照分区序号的增加，它得到非常接近平均的结果。

如果我们没有 PL/Proxy 语言，我们可以使用那些最不受信任的 PL 语言来编写分区函

数。例如，使用PL/Pythonu编写的一个简单登录代理函数，代码如下所示：

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION login(
    IN i_username text, IN i_pwdhash text,
    OUT status int, OUT message text )
AS $$

    import psycopg2
    partitions = [
        'dbname=chap9p0 port=5433',
        'dbname=chap9p1 port=5433',
        'dbname=chap9p2 port=5433',
        'dbname=chap9p3 port=5433',
    ]
    partition_nr = hash(i_username) & 3
    con = psycopg2.connect(partitions[partition_nr])
    cur = con.cursor()
    cur.execute('select * from login(%s,%s)', (i_username, i_
pwdhash))
    status, message = cur.fetchone()
    return (status, message)
$$ LANGUAGE plpythonu SECURITY DEFINER;

```

这里定义了一组包含四个分区的数据库。在变量partitions中，它们的连接字符串另存为一张列表。

当执行该函数的时候，我们首先针对用户名参数，对散列函数进行评估(hash(i\_username))，然后从(&3)提取两个比特，将索引加入到分区列表(分区号)，从而可执行每个调用。

然后，我们使用由分区号挑选的连接字符串，连接到一个数据库分区(con=psycopg2.connect(partitions[partition\_nr]))。

最后，我们在分区数据库上执行一个远程查询，并向代理函数的调用者返回结果。

如果按照这样执行，理论上是有效的，但它在两个方面不够理想化：

- 首先，在每次调用函数时，都会打开一个新的数据库连接，这样会降低性能。
- 其次，如果你对所有分区信息在所有的函数中都进行硬连接，对它进行维护将如同噩梦一般。

通过缓存方式打开连接，性能问题可以得到解决。而维护问题可以通过使用一个简单的函数，再返回分区信息得以解决。然而，即使我们进行了这些改变，如果仍使用PL/Pythonu进行分区，我们仍然需要在每个代理函数中进行大量的复制和粘贴操作。

当我们在Skype上扩展数据库系统时，一旦我们得到了上述结论，下一个合乎逻辑的步骤是相当明显的。我们需要一种特殊的分区语言，它将只进行这么一件事情——调用远程SQL函数，然后尽可能地提高其运行速度。这样，PL/Proxy数据库分区语言就诞生了。

### 9.2.3 PL/Proxy——分区语言

本章剩余的部分将专门介绍 PL/Proxy 语言。首先，我们将进行语言安装。然后，我们将学习它的语法以及分区配置的使用方法。最后，我们将讨论如何从单个数据库到分区数据库，进行实际的数据迁移。同时一起学习几个用法示例。

#### 1. 安装 PL/Proxy

如果你的操作系统基于 Debian、Ubuntu 或者 Red Hat 变种，那么安装语言是非常容易的。

1) 首先，你需要在你的操作系统上，安装所需的软件包：

```
sudo apt-get install postgresql-9.2-plproxy
```

或者：

```
sudo yum install plproxy92
```

2) 然后，在数据库中安装语言，并将它作为一个扩展程序，它将托管 PL/Proxy 服务器函数：

```
-bash-4.2$ psql -c "CREATE EXTENSION plproxy" proxy1
CREATE EXTENSION
```



在写这本书的时候，PL/Proxy 语言与 PostgreSQL 的标准发布并未完全集成。因此，SQL 命令 CREATE LANGUAGE plproxy 与其相对应的命令行 createlang plproxy 实际上并不能发挥作用。但当你阅读本书的时候，这个问题可能已经得到解决。所以你可以先尝试这些操作。

#### 2. PL/Proxy 语法规

PL/Proxy 语言本身是非常简单的。PL /Proxy 函数的目的是将处理过程切换到另一台服务器上。为此，它只需要 6 条语句：

- ❑ CONNECT 或者 CLUSTER 与 RUN ON，用于选择目标数据库分区
- ❑ SELECT 与 TARGET，用于指定要运行的查询
- ❑ SPLIT 用于拆分几个子阵列之间的 ARRAY 参数，在多个分区中运行

#### 3. CONNECT、CLUSTER 和 RUN ON

第一组语句用于处理远程连接到各个分区。这有助于确定哪个数据库来执行查询。使用 CONNECT 可以指定确切的分区，来运行查询：

```
CONNECT 'connect string' ;
```

在这里，connect string 决定运行的数据库。connect string 是 PostgreSQL 中标准的连接字符串。通过它，可以从一个客户端应用程序连接到数据库，例如：dbname=p0 port=5433。

或者，可以使用 CLUSTER，指定一个名称：

```
CLUSTER 'usercluster'; -
```

或者最后，可以使用 RUN ON，指定一个分区号：

```
RUN ON part_func(arg[, ...]);
```

part\_func() 可以是任何现有的或者用户定义的 PostgreSQL 的函数，可返回一个整数。PL/Proxy 使用给定参数调用该函数，然后从结果中，使用 N 个低位，来选择一个连接，连接到一个集群分区。

RUN ON 语句还有两个版本：

```
RUN ON ANY;
```

这意味着函数可以在集群中的任何分区执行。当函数中所有需要的数据存在于所有的分区中，这个可以使用。

另一个版本是：

```
RUN ON ALL;
```

这将在所有的分区表上并行运行，然后从各个分区中返回一个连接结果。这至少有三个主要用途：

- 当你不知道所需要的数据行的具体位置，或者不知道何时使用非分区键来获取数据的时候，你可以使用这个函数。例如，当表是由用户名来分区的时候，可通过电子邮件获得一个用户。
- 基于更大的数据子集，运行聚合函数，从而统计总用户数。例如，获得在其朋友列表中拥有某个用户的全部用户。
- 处理那些需要在所有分区都保持一致的数据。例如，当你拥有一个由其他函数所使用的价目表时，管理该价目表的一个简单方法就是使用 RUN ON ALL 函数。

#### 4. SELECT 与 TARGET

当不存在 SELECT 或者 TARGET 的时候，PL/Proxy 函数的一个默认行为是调用远程分区中与其自身签名完全相同的函数。

假设我们有这个函数：

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION login(
    IN i_username text, IN i_pwdhash text,
    OUT status int, OUT message text )
AS $$
    CONNECT 'dbname=chap9 host=10.10.10.1';
$$ LANGUAGE plproxy SECURITY DEFINER;
```

如果它定义在公共模式下，那么下面的 select \* from login('bob', 'secret') 调用，将连接到主机 10.10.10.1 上的数据库 chap9，并运行以下 SQL 语句：

```
SELECT * FROM public.login('bob', 'secret')
```

这将得到结果，并返回给调用者。

如果你不想在远程数据库里定义函数，你可以通过在 PL/Proxy 函数的主体中编写自己的函数，并代替默认的 SELECT \* FROM <thisfunction> (<arg1>, ...) 调用：

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION get_user_email(i_username text)
RETURNS SETOF text AS $$

    CONNECT 'dbname=chap9 host=10.10.10.1';
    SELECT email FROM user_info where username = i_username;
$$ LANGUAGE plproxy SECURITY DEFINER;

```

仅支持单一的 SELECT，对于任何其他或者更复杂的 SQL 语句，你必须编写一个远程函数，并调用它。

第三个选择仍然是调用与自身类似的函数，但是命名成不同的名称。例如，如果你有一个代理函数，它并未被定义在一个单独的代理数据库中，但在一个分区中，你可能希望它，找到本地数据库，进而获得一些数据：

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION public.get_user_email(i_username text)
RETURNS SETOF text AS $$

    CLUSTER 'messaging';
    RUN ON hashtext(i_username);
    TARGET local.get_user_email;
$$ LANGUAGE plproxy SECURITY DEFINER;

```

在这种设置中，get\_user\_email() 的本地版本存在于各个分区的本地模式中。因此，如果其中一个分区连接到它被定义的那个数据库时，能够避免循环调用。

## 5. SPLIT——在多个分区之上分布数组元素

最后的 PL /Proxy 语句所适用的场景是当你想在适宜的分区中完成一些更大的工作块。例如，如果你有一个函数，在一次调用中创建了多个用户，而你希望在分区之后，仍然使用它，那么 SPLIT 语句就是这样一种方法，它会让 PL / Proxy 基于分区函数，拆分分区之间的数组：

```

CREATE or REPLACE FUNCTION create_new_users(
    IN i_username text[], IN i_pwdhash text[], IN i_email text[],
    OUT status int, OUT message text ) RETURNS SETOF RECORD
AS $$

BEGIN
    FOR i IN 1..array_length(i_username,1) LOOP
        SELECT *
        INTO status, message
        FROM new_user(i_username[i], i_pwdhash[i], i_email[i]);
        RETURN NEXT;
    END LOOP;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql SECURITY DEFINER;

```

下列 PL/Proxy 函数定义，创建在代理数据库上，可用于跨分区的情况下，进行调用拆分：

```

CREATE or REPLACE FUNCTION create_new_users(
    IN i_username text[], IN i_pwdhash text[], IN i_email text[],
    OUT status int, OUT message text ) RETURNS SETOF RECORD
AS $$

    CLUSTER 'messaging';
    RUN ON hashtext(i_username);
    SPLIT i_username, i_pwdhash, i_email;
$$ LANGUAGE plproxy SECURITY DEFINER;

```

通过向函数发送3个数组，完成它的调用：

```
SELECT * FROM create_new_users(
    ARRAY['bob', 'jane', 'tom'],
    ARRAY[md5('bobs_pwd'), md5('janies_pwd'), md5('toms_pwd')],
    ARRAY['bob@mail.com', 'jane@mail.com', 'tom@mail.com']
);
```

它会导致对分区1和分区2的平行的调用（使用hashtext(i\_username)）。按之前阐述的分区规则，tom与bob会映射到分区1，而mary会映射到分区2。以下是针对分区1的相关参数：

```
SELECT * FROM create_new_users(
    ARRAY['bob', 'tom'],
    ARRAY['6c6e5b564fb0b192f66b2a0a60c751bb',
          'edcc36c33f7529f430a1bc6eb7191dfe'],
    ARRAY['bob@mail.com', 'tom@mail.com']
);
```

以下是针对分区2的：

```
SELECT * FROM create_new_users(
    ARRAY['jane'],
    ARRAY['cbbbf391d3ef4c60afd851d851bda2dc8'],
    ARRAY['jane@mail.com']
);
```

然后，它返回了一串结果：

status	message
200	OK
200	OK
200	OK

(3 rows)

## 6. 数据的分布

首先，什么是PL/Proxy上的集群？集群是一组分区，这些分区组成了整个数据库。每个集群根据自身的配置，由多个分区组成。每个分区由它的连接字符串唯一指定。连接字符串列表则组成了一个集群。列表中分区的位置决定了分区序号。所以列表上的第一个元素是分区0，第二个是分区1，依此类推。

RUN ON函数的输出结果进行分区的挑选，之后通过位的正确序号进行分区的掩码处理，并将其映射到各个分区。因此，如果hashtext(i\_username)返回14，且有4个分区（2位，掩码为二进制11或者十进制3），分区号将是14与3=2，而函数将在分区2进行调用（从零开始），其在分区列表上是第三个元素。

 分区数量必须是2的倍数。这样的约束一开始看起来并不是那么必要。但这样做是为了确保分区数量可以轻松扩展，并不需要重新分配的所有数据。

例如，如果你想从 3 个分区移动到 4 个分区，很有可能的情况就是，分区 0 到分区 2 中的四分之三的数据行将被移动到新的分区，进而让分区 0-3 的数据均匀分布。另一方面，当从 4 个分区移动到 8 个分区，分区 0 与分区 1 中的数据将与之前分区 0 中的数据相同，而分区 2-3 是原来的分区 1，以此类推。也就是说，你的数据不需要立刻迁移。确切地说，一半的数据根本不需要进行迁移。

群集的实际配置与分区的定义可以通过两种方式来完成：通过在模式 plproxy 中的一组函数，或者你可以借助 SQL / MED 连接管理。（SQL / MED 在 PostgreSQL 8.4 及以上版本中都可以使用。）

## 7. 使用函数进行 PL/Proxy 集群的配置

这是配置 PL /Proxy 的原始方法。它适用于 PostgreSQL 的所有版本。当查询需要被转发到远程数据库时，函数 plproxy.get\_cluster\_partitions(cluster) 就会由 PL/Proxy 发起调用，以获得用于每个分区的连接字符串。

下面的函数例子，展示了通过四个分区 p0 到 p3，为一个集群返回信息：

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION plproxy.get_cluster_partitions(cluster_name
text)
RETURNS SETOF text AS $$

BEGIN
    IF cluster_name = 'messaging' THEN
        RETURN NEXT 'dbname=p0';
        RETURN NEXT 'dbname=p1';
        RETURN NEXT 'dbname=p2';
        RETURN NEXT 'dbname=p3';
    ELSE
        RAISE EXCEPTION 'Unknown cluster';
    END IF;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;
```

一个生产应用程序可能会查询一些配置表，甚至阅读一些配置文件，来返回连接字符串。再次说明一下，分区的数量必须是 2 的倍数。如果你能够确定一些分区从未使用过，你可以向这些分区返回空字符串。

同时，我们还需要定义一个 plproxy.get\_cluster\_version(cluster\_name) 函数。每次请求都会调用该函数。如果集群版本未作改动，plproxy.get\_cluster\_partitions 得出的缓存输出结果可重复使用。所以，最好确保这一函数的运作是非常快速的：

```
CREATE OR REPLACE FUNCTION plproxy.get_cluster_version(cluster_name
text)
RETURNS int4 AS $$

BEGIN
```

```

IF cluster_name = 'messaging' THEN
    RETURN 1;
ELSE
    RAISE EXCEPTION 'Unknown cluster';
END IF;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;

```

最后一个函数所需的是 `plproxy.get_cluster_config`, 它将有助于配置 PL/Proxy 的行为。以下示例将连接时长设定为 10 分钟:

```

CREATE OR REPLACE FUNCTION plproxy.get_cluster_config(
    in cluster_name text,
    out key text,
    out val text)
RETURNS SETOF record AS $$

BEGIN
    -- lets use same config for all clusters
    key := 'connection_lifetime';
    val := 10*60;
    RETURN NEXT;
    RETURN;
END;
$$ LANGUAGE plpgsql;

```

## 8. 使用 SQL/MED 配置 PL/Proxy 集群

从 PostgreSQL 8.4 开始支持 SQL 标准, 对外部数据进行管理, 通常称为 SQL / MED。SQL / MED 仅是访问驻留在数据库之外的数据的一个标准方式。当我们使用函数来配置分区时, 可以说这个时候是不安全的, 因为 `plproxy.get_cluster_partitions()` 的任何调用者都可以获知分区的连接字符串, 其中可能包含了敏感的信息, 例如密码。同时, PL/Proxy 也提供了使用 SQL/MED 来进行集群配置的方法。该方法遵循标准 SQL 的安全做法。

对于前面所讨论的相同配置, 我们使用 SQL / MED 来完成, 步骤如下:

1) 首先, 创建一个外部数据封装器, 名为 `plproxy`:

```
proxy1=# CREATE FOREIGN DATA WRAPPER plproxy;
```

2) 其次, 创建一个外部服务器, 定义两种连接选项和分区:

```
proxy1=# CREATE SERVER messaging FOREIGN DATA WRAPPER plproxy
proxy1-# OPTIONS (connection_lifetime '1800',
proxy1(#          p0 'dbname=p0',
proxy1(#          p1 'dbname=p1',
proxy1(#          p2 'dbname=p2',
proxy1(#          p3 'dbname=p3'
proxy1(# )
CREATE SERVER
```

3) 授予此服务器的使用权限, 可以是 PUBLIC, 因此所有用户都可以使用它:

```
proxy1=# CREATE USER MAPPING FOR PUBLIC SERVER messaging;
CREATE USER MAPPING
```

或者，仅对部分用户或群体开放：

```
proxy1=# CREATE USER MAPPING FOR bob SERVER messaging
proxy1-#   OPTIONS (user 'plproxy', password 'very.secret');
CREATE USER MAPPING
```

4) 之后，对需要使用集群的用户，授予集群的使用权限：

```
proxy1=# GRANT USAGE ON FOREIGN SERVER messaging TO bob;
GRANT
```



更多关于 PostgreSQL 上的 SQL/MED 的信息，可以查询 <http://www.postgresql.org/docs/current/static/sql-createforeigndatawrapper.html>。

#### 9.2.4 从单数据库移动数据到分区的数据库

如果你可以安排一些停机时间，而且你的新分区数据库与原来的单一数据库容量相同，那么对数据进行分区最简单的方法就是对每个节点进行完整复制，然后只需删除不属于分区的那些行：

```
pg_dump chap9 | psql p0
psql p0 -c 'delete from message where hashtext(to_user) & 3 <> 0'
psql p0 -c 'delete from user_info where hashtext(username) & 3 <> 0'
```

对分区 P1 至 P3 重复此操作，并且每次删除与分区号不匹配的行 (`psql chap9p1 -c 'delete ... & 3 <> 1'`)。



当你完成行的删除记得进行清空 (vacuum) 操作。PostgreSQL 会让无效的行滞留在数据表中，所以当你有停机时间的时候，你需要进行一些小量的维护。

当试图从 `user_info` 进行删除，你会发现，如果不删除来自 `messages.from_user` 的外部键，你是无法做到这一点的。

在这里，我们可以确定仅在接收者分区上保持信息是可行的，如果有需要的话，所发送的消息可以通过 RUN ON ALL 函数进行检索。因此，我们将删除来自 `messages.from_user` 的外部键。

```
psql p0 -c 'alter table message drop constraint message_from_user_fkey'
```

对于拆分数据，当数据库系统仅能提供较少的磁盘空间的时候，也存在其他的操作方法。同时，如果你愿意做更多手动的操作的话。

例如，你可以使用 `pg_dump -s` 来仅仅复制模式，然后使用 SQL 语句中的 COPY，移动所需要的行：

```
pg_dump -s chap9 | psql p0
psql chap9 -c "COPY (select * from messages where hashtext(to_user) & 3 =
0) TO stdout" | psql p0 -c 'COPY messages FROM stdin'
...

```

或者专门创建一个经过精心设计的 Londiste 副本，当副本达到稳定状态后，我们仅需要花费几秒钟的时间，便可将其从单个数据库切换到分区集群中。

### 9.3 小结

在本章中，我们阐述了如何将大数据库拆分为多个数据库，以此来减少单一主机上的写入负载，或者增加系统的弹性，特别当出现一台主机性能下降的时候，整个系统不至于发生瘫痪。

简而言之，整个拆分过程会包括：

- 确定那些要拆分到多个主机的表
- 添加分区数据库并迁移数据
- 设置代理函数，让所有函数访问这些表
- 关注片刻，看是否一切正常工作
- 放松

此外，我们也简单地介绍了如何使用 PL/Proxy，对其他 PostgreSQL 数据库进行简单的远程查询。即便在 PostgreSQL 中，新的外部数据包装（FDW）在多种功能点上对 PL/Proxy 进行了替代，但对于一些任务而言，PL/Proxy 还是非常简单的。

尽管 PL/Proxy 并不适合每一个人，但如果你的数据库快速增长，而你需要一种简单而且干净的方式来将数据库分布到多个主机上的时候，PL/Proxy 会发挥其作用。

## 发布自己的 PostgreSQL 扩展程序

如果你是一个 PostgreSQL 的新手，那此时你就该欢呼雀跃了。

也许你会问为什么要如此高兴呢？我来告诉你其中的缘由。因为此时的你已成功躲避了 contrib 模块会带来的各种虐心经历。contrib 模块是一套安装系统，它被用来安装 9.1 版本之前的相关 PostgreSQL 对象，可能是额外的数据类型，或者是升级版的管理功能，或者仅是你想要添加到 PostgreSQL 中的任何模块。它们由任何一组相关功能、视图、表格、运算符、类型和索引组成，这些均会被整合到一个安装文件中，再统一提交到数据库中。可不幸的是 contrib 模板仅仅提供安装。而事实上，它们不是真正的安装系统，只是一些不相关的 SQL 脚本，碰巧安装了我们认为你所需要的所有脚本。

PostgreSQL 扩展程序则提供了软件包管理系统所需要的许多新型服务。有了它，至少模块作者将不再怨声载道。

本章节所介绍的新功能包括版本管理、依赖关系、更新和移除。

### 10.1 什么时候创建扩展程序

首先，你要明白扩展程序就是各种集合。之前，我们一旦安装了 contrib 模块中的各种对象，PostgreSQL 便无法显示对象之间的相互关系。这将导致许多开发人员想方设法（有时候是一些非常巧妙的方法）通过版本管理、更新、升级和卸载所有必要的“东西”来获得一个正常的功能展示。

因此，当你准备将你的代码作为 PostgreSQL 扩展程序进行发布的时候，第一个需要思考的问题就是如何将扩展程序中的所有“东西”关联在一起？

这种思考将有助于你合理地创建各种貌似零散的扩展程序。如果你的目标是想让 PostgreSQL 具备提供库存管理系统的功能，那么也许你最好从提供材料数据类型清单的扩展程序开始，然后再创建其他依赖于此的额外扩展程序。这个比喻旨在说明我们要想得远，但同时创建的扩展程序需要从最小的相关项目做起。

目前一个较好的 PostgreSQL 扩展程序例子是 OpenFTS，这个程序通过创建相互关联的数据类型、索引和函数，为 PostgreSQL 提供全文搜索的功能。

另一类扩展程序的例子是 PostGIS，它能够提供一整套用以处理地理信息系统的工具。相比 OpenFTS，PostGIS 虽然具备更多功能点，但事实上它却更加颗粒化，因为它提供了地理软件开发中所需要的各种必备功能点。

也许你是一本书的作者，那么在你的扩展程序中唯一要处理的关系就是迅速移除你的读者所能接触到的各种对象。好吧，欢迎来到扩展程序的精彩世界！

以下是一些非常有用知名扩展程序，你可能会经常查阅到：<http://www.postgresql.org/download/products/6/>。

你也应该经常访问 PostgreSQL 扩展程序网站：<http://www.pgxn.org>。

你可以通过查看 PostgreSQL 文档中 ALTER EXTENSION ADD 命令，来找出什么对象可以被封装成一个扩展程序。网址为：<http://www.postgresql.org/docs/current/static/sql-alterextension.html>。

## 10.2 未封装的扩展程序

从 PostgreSQL 9.1 开始便提供了一个简易方法，该方法将把你从混乱的版本不受控的 contrib 模块带入到扩展程序的新世界。实质上，你所需要做的就是提供一个 SQL 文件，来展示各个对象在扩展程序中的关系。以上所述可通过 contrib 模块中的 cube 语段进行举例验证，即 cube--unpackaged--1.0.sql：

```
/* contrib/cube/cube--unpackaged--1.0.sql */

-- complain if script is sourced in psql, rather than via CREATE
EXTENSION
\echo Use "CREATE EXTENSION cube" to load this file. \quit

ALTER EXTENSION cube ADD type cube;
ALTER EXTENSION cube ADD function cube_in(cstring);
ALTER EXTENSION cube ADD function cube(double precision[],double
precision[]);
ALTER EXTENSION cube ADD function cube(double precision[]);
...
```

这段代码为 PostgreSQL 提供了多维数据集。代码本身已经稳定运作了相当长的一段时间。所以，在短时间内创建出来一个新的版本可能性并不大。这个模块能够被转换成一个

扩展程序，其中的唯一原因就是它能够快速进行安装和卸载。

到时你会执行命令：

```
CREATE EXTENSION cube FROM unpackaged;
```

此时这些不相关的项目则会被组合到名为 `cube` 的扩展程序中。这也同时使得任何平台上的封装维护者能够轻易将你的扩展程序收录到存储库中。我们也会在 10.5 节中，告诉你如何进行封装并安装你的扩展程序。

### 10.3 扩展程序版本

PostgreSQL 扩展程序的版本机制是非常简单的。你可以将它命名为任何你想要的。你可以将版本号定义成任意一个你看中的字母数字。很容易吧？就按如下格式进行文件命名：

```
extension--version.sql
```

如果你想为你的扩展程序提供一个版本升级路径，你可以将文件命名为：

```
extension--oldversion--newversion.sql
```

这种简单的命名机制可以让 PostgreSQL 及时升级已就绪的扩展程序。以前仅为了更改数据类型定义，就需要完成导出数据再重新导入数据这样的痛苦经历，这样的苦难日子已一去不复返。所以让我们继续向前进，使用文件 `postal--1.0--1.1.sql` 来升级我们的扩展程序范例。这个升级操作实际上是非常简单的：

```
ALTER EXTENSION postal UPDATE TO '1.1';
```

但这里有一个问题值得注意：PostgreSQL 无法识别你所定义的版本号的真实含义。在这个例子中，由于我们为那个特殊的转换提供了一个明确的脚本，但是 PostgreSQL 推断不出 1.1 是在 1.0 之后。我们如果用水果或历史上战舰的名称定义我们的版本号，结果也是一样的。

如有需要的话，PostgreSQL 将使用多个升级文件来达到我们所期望的结果。鉴于以下命令：

```
ALTER EXTENSION postal UPDATE TO '1.4';
```

PostgreSQL 将按照正确的顺序，使用文件 `postal - 1.1 - 1.2.sql`、`postal - 1.2 - 1.3.sql` 以及 `postal - 1.3 - 1.4.sql`，来实现所期望的版本。

与此同时，你也可以使用这项技术来进行名义上的脚本升级，实际上是进行脚本降级操作，即实际执行的是删除功能。但是，这个操作是要非常小心的。如果你为了达到所需的版本，所进行的操作是先降级再升级，那 PostgreSQL 将采用最短的路径。这可能会导致一些意想不到的结果，包括数据丢失。我的建议是不要提供降级脚本，这种风险绝对不值得一试。

## 10.4 .control 文件

除了扩展安装脚本文件之外，你必须提供一个名为 `.control` 的文件。我们的范例 `postal.control` 中的 `.control` 文件如下：

```
# postal address processing extension
comment = 'utilities for postal processing'
default_version = '1.0'
module_pathname = '$libdir/postal'
relocatable = true
requires = plpgsql
```

`.control` 文件的目的是为我们的扩展程序提供描述。元数据可能包括 `directory`、`default_version`、`comment`、`encoding`、`module_pathname`、`requires`、`superuser`、`relocatable` 以及 `schema`。

主要的 PostgreSQL 文档可以从以下地址查询到：<http://www.postgresql.org/docs/current/static/extend-extensions.html>。

这个例子展示了一个 `requires` 配置参数。我们的扩展程序依赖于过程语言 PL/pgSQL。在大多数的平台上，它都是默认安装的。但不幸的是，并不是所有的平台都会安装它，所以我们不能认为这一切都是理所当然要发生的。

我们可以使用逗号将各个依赖项进行分隔。当我们使用多个扩展程序来创建一套服务的时候，这样的操作实际上是非常方便的。

正如我们在上一节中提到的，PostgreSQL 并不能对扩展程序中的版本号进行智能化识别。我们可以使用名字也可以使用数字进行版本号的定义。因此，PostgreSQL 无法识别出 `postal--lamb.sql` 实际是 `postal--sheep.sql` 之前的版本。正是由于 PostgreSQL 无法识别出我们的扩展程序是基于另一个扩展程序的某个特定版本，那这种设计上的局限性就会给扩展程序开发人员带来麻烦。我更想看到的是，我们可以使用语法，如 `requires = postgis >= 1.3`，来提高这个配置参数的可用性，但可惜的是，目前这样的构建并不存在。

## 10.5 构建扩展程序

在之前的章节中，我们已经介绍了脚本文件与 `.control` 文件的基础知识。实际上，这些对于一个 PostgreSQL 扩展程序都是必需的。也许，你可以简简单单地将这些文件拷贝到你电脑上的共享扩展程序目录下，然后执行下面的命令：

```
CREATE EXTENSION postal;
```

这样就能将你的扩展程序安装到当前所选择的数据库中。

共享扩展程序路径依赖于 PostgreSQL 是如何安装的。对于 Ubuntu 而言，路径是 `/usr/share/postgresql/9.2/extension`。

然而，倘若结合平台上的包管理器，这便是一个更好的实现方式。

在 Ubuntu 安装这个程序包，你可以输入：

```
sudo apt-get install postgresql-dev-9.2
```

这将安装所有 PostgreSQL 的源代码，来完成一个扩展程序的创建和安装。然后你在同一目录下创建一个名为 Makefile 的文件，以补充你的扩展程序文件。这个文件的内容大致如下：

```
EXTENSION = postal

DATA = postal--1.0.sql
```

```
PG_CONFIG = pg_config

PGXS := $(shell $(PG_CONFIG) --pgxs)

include $(PGXS)
```

这个简单的 Makefile 文件将复制你的扩展程序脚本文件以及 .control 文件到任一平台上相对应的共享扩展程序目录下。使用下方命令来调用它：

```
sudo make install
```

你会看到结果输出，如下：

```
/bin/mkdir -p '/usr/share/postgresql/9.1/extension'
/bin/sh /usr/lib/postgresql/9.1/lib/pgxs/src/makefiles/../../config/
install-sh -c -m 644 ./postal.control '/usr/share/postgresql/9.1/
extension/'
/bin/sh /usr/lib/postgresql/9.1/lib/pgxs/src/makefiles/../../config/
install-sh -c -m 644 ./postal--1.0.sql '/usr/share/postgresql/9.1/
extension/'
```

你的扩展程序现在已经在正确的目录下等待安装。你可以使用如下代码将它安装到当前数据库中：

```
CREATE EXTENSION postal;
```

然后，你将看到一段确认文本，告知你已经完成 postal 扩展程序的创建：

```
CREATE EXTENSION
```

## 10.6 安装扩展程序

如果你的分发管理器已经完成扩展程序的封装，请使用下面的命令进行扩展程序的安装：

```
CREATE EXTENSION extension_name;
```

大多数 Linux 发行版都会有一个类似于 postgresql-contrib-9.2 的安装包。这个命名规则还是从 PostgreSQL 对象的 contrib 式安装风格遗留下来的。不过不用担心，对于 PostgreSQL9.2，这个安装包实际上提供了扩展程序，而不是 contrib 模块。

为了找出这些文件在 Ubuntu10.04 Linux 的存放地址，你可以执行如下命令：

```
pg_config --sharedir
```

这将显示共享组件的安装目录：

```
/usr/share/postgresql/9.2
```

而这些扩展程序将被放置在名为 extension 的目录下，刚好在共享组件的安装目录下面。这将被命名为 /usr/share/postgresql/9.2/extension。

要查看其他可供安装的扩展程序，你可以尝试以下命令：

```
ls $(pg_config --sharedir)/extension/*.control
```

通过 Linux 程序发布安装包管理系统，你可以找到所有相关的扩展程序。

对于那些你自己创建的扩展程序，你必须在 PostgreSQL 中调用 CREATE EXTENSION 之前，将 SQL 脚本文件以及 .control 文件复制到共享扩展程序目录下。

```
cp postal.control postal--1.0.sql $(pg_config --sharedir)/extension
```

为了你能够在任何一个平台上顺利执行上述这些步骤，你可以在 10.5 节中进行具体的操作查询。

## 10.7 发布扩展程序

非常感谢你对 PostgreSQL 社区所做的贡献！你的付出备受志同道合的开发者们的关注，特别是那些希望借助社区解决方案来解决问题的开发者们。你的支持已经让这个开源世界变得更美好。

既然我们开始讨论扩展程序的发布问题，那你必须要考虑你的扩展程序的权限许可形式。对于接下来将要阐述的发布方法，存在一个假设前提就是，我们认为这些扩展程序都可以向所有人员开放。因此，请为你的扩展程序考虑 PostgreSQL 的发布许可权。你可以从下面找到一个现成的许可权：<http://www.postgresql.org/about/licence/>。

### 10.7.1 关于 PostgreSQL Extension Network 的简介

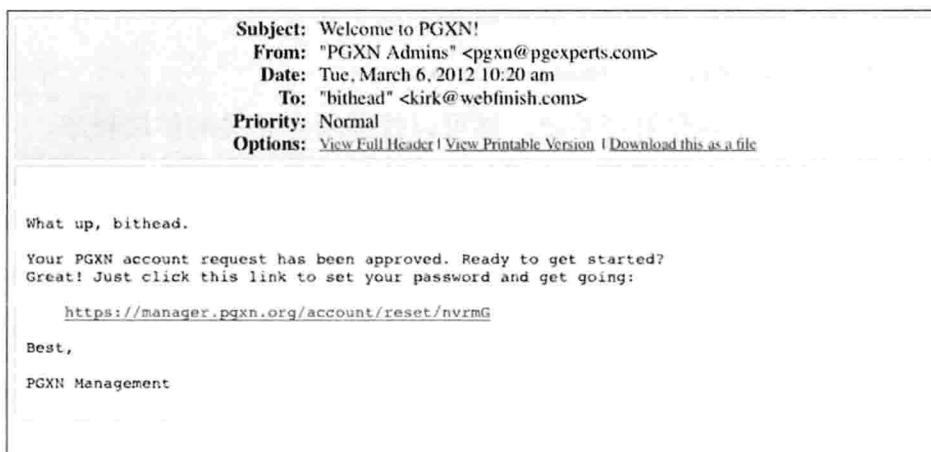
当你准备发布自己的模块，你可以开始为每个操作系统的各个发布系统编写相应的封装脚本。这个也是过去 PostgreSQL 扩展程序的发布方式，但这一套发布系统对于开源社区而言并不是那么受欢迎。为了让扩展程序的发布更容易被人接受，许多开源开发者联合企业力量，共同创建了 PostgreSQL Extension Network。

这个 PostgreSQL Extension Network 网址为 <http://pgxn.org/>，它是一个资源库，旨在为你提供主要的开源扩展程序。在此非常感谢网站维护人员付出的努力，因为这个网站同时会为你的扩展程序提供安装脚本，使得你的扩展程序适用于大多数流行的 PostgreSQL 部署操作系统。

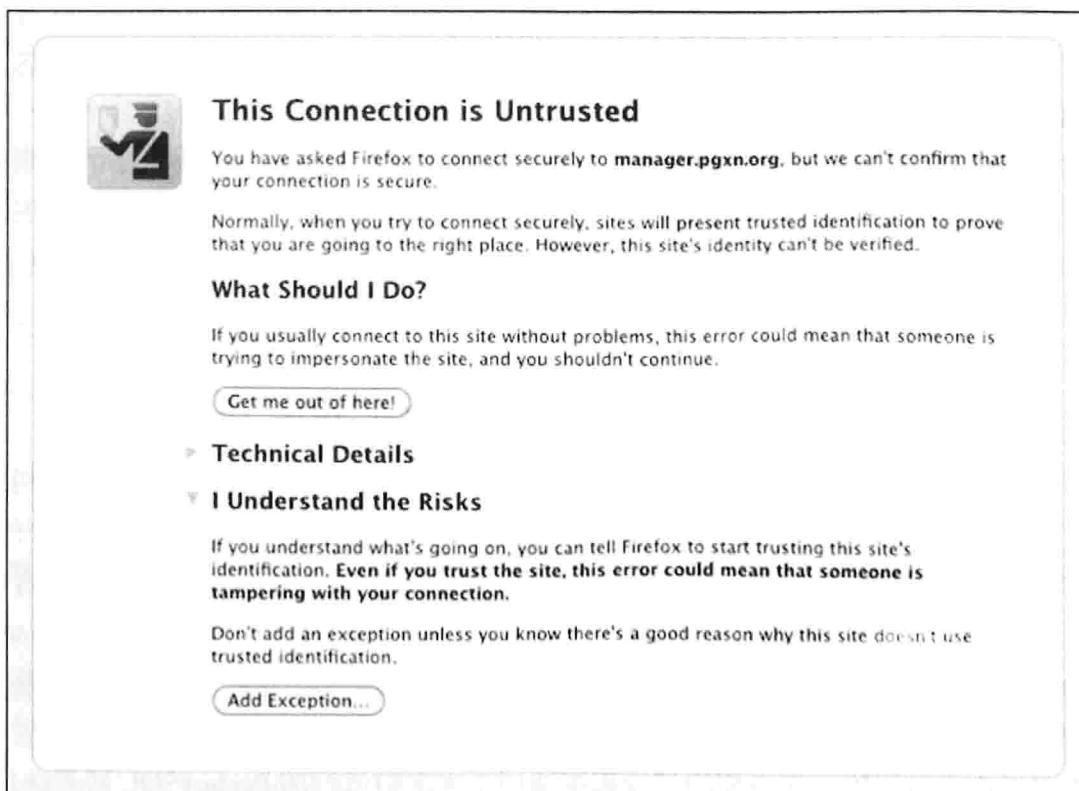
## 10.7.2 注册以发布扩展程序

按照下列步骤，完成扩展程序的注册：

- 1) 首先在管理页面 <http://manager.pgxn.org> 中申请一个账号。
- 2) 点击 Request Account，填写个人信息。当 PostgreSQL Extension Network 网站工作人员完成人工审核后，会通过邮件向你反馈注册结果。
- 3) 点击反馈邮件中提供的确认链接，并在 PGXN 网站上设置一个新密码。



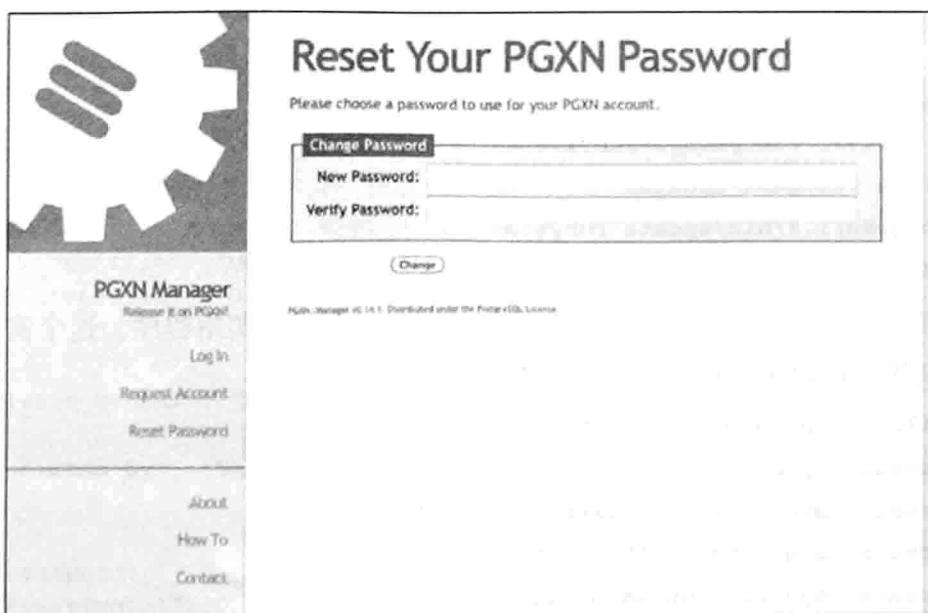
由于这个网站并未取得所有网站浏览器的信任许可，因此你会首先看到一个确认页面，确认你不是因为操作失误才访问该网站。



4) 在浏览器安全规则中添加安全例外情况，以确认服务器证书的安全性。点击 Add Exception，并在下一个页面将该证书设置成永久性添加。



5) 点击 Confirm Security Exception 之后，系统会提示你创建账户密码。



6) 设置一个你能记住的密码，并再次输入密码进行二次确认。点击 Change，你会来到如下页面：



到现在为止，你已经完成注册。一旦你完成了新账号的设置，你就能在 PostgreSQL 扩展程序编程的过程中顺风顺水了。

### 10.7.3 创建扩展项目的简单方法

首先，安装一些实用工具包，来创建大量样本文件。我们在前面的章节中都已描述过这些文件。

```
apt-get install ruby
apt-get install rubygems
apt-get install ruby1.8-dev
apt-get install libopenssl-ruby1.8
gem install rubygems-update
/var/lib/gems/1.8/bin/update_rubygems
gem install pgxn_utils
```

这个时候，你会发现你已经安装了一个名为 pgxn-utils 的实用程序，这个实用程序会使扩展项目的创建变得超级简单。

```
pgxn-utils skeleton myextension
  create  myextension
  create  myextension/myextension.control
  create  myextension/META.json
  create  myextension/Makefile
  create  myextension/README.md
  create  myextension/doc/myextension.md
  create  myextension/sql/myextension.sql
```

```
create myextension/sql/uninstall_myextension.sql
create myextension/test/expected/base.out
create myextension/test/sql/base.sql
```

哇！截至目前我们所提及的所有文件居然只需要一个简单步骤就能完成创建！同时，我们也创建了一些文件，用以支持老的 contrib 部署。在接下来的几节中，我们会向你说明哪些文件对你的扩展程序开发能够起到重要的作用。

这个安装包管理系统现在存在着一个较为明显的局限性。我们知道，PostgreSQL 能够使用任何字母数字文本进行版本号的定义，但这个包管理系统必须遵循语义规则进行版本号的定义。它的版本号中必须包括主要版本、次要版本、发行号这 3 项内容，具体展现格式为 major.minor.release。这样操作主要是为了保证包管理器在多个操作系统平台上能够成功安装你的软件包。就先这么使用它吧，你迟早会感谢我们的。

#### 10.7.4 提供扩展程序的相关元数据

目前我们有 3 个文件，可用来提供扩展程序的相关数据。PostgreSQL Extension Network 在其网站上便使用了其中一个名为 META.json 的文件，为扩展程序提供搜索标准与描述文档。META.json 被放置在 myextension/META.json 目录下。

下面是一个例子：

```
{
  "name": "myextension",
  "abstract": "A short description",
  "description": "A long description",
  "version": "0.0.1",
  "maintainer": "The maintainer's name",
  "license": "postgresql",
  "provides": {
    "myextension": {
      "abstract": "A short description",
      "file": "sql/myextension.sql",
      "docfile": "doc/myextension.md",
      "version": "0.0.1"
    }
  },
  "release_status": "unstable",
  "generated_by": "The maintainer's name",

  "meta-spec": {
    "version": "1.0.0",
    "url": "http://pgxn.org/meta/spec.txt"
  }
}
```

你应该再添加一些内容，对你的关键字与可提供给用户的其他资源进行说明性备注。这部分内容可以如下代码所示：

```
"tags": [
  "cures cancer",
  "myextension",
  "creates world peace"
],
"resources": {
  "bugtracker": {
    "web": "https://github.com/myaccount/myextension/issues/"
  },
  "repository": {
    "type": "git",
    "url": "git://github.com/myaccount/myextension.git",
    "web": "https://github.com/myaccount/myextension/"
  }
}
```

完整的文件内容可以如下代码所示：

```
{
  "name": "myextension",
  "abstract": "A short description",
  "description": "A long description",
  "version": "0.0.1",
  "maintainer": "The maintainer's name",
  "license": "postgresql",
  "provides": {
    "myextension": {
      "abstract": "A short description",
      "file": "sql/myextension.sql",
      "docfile": "doc/myextension.md",
      "version": "0.0.1"
    }
  },
  "release_status": "unstable",

  "generated_by": "The maintainer's name",

  "meta-spec": {
    "version": "1.0.0",
    "url": "http://pgxn.org/meta/spec.txt"
  }
}
"tags": [
  "cures cancer",
  "myextension",
  "creates world peace"
],
"resources": {
```

```

"bugtracker":  

  { "web": "https://github.com/myaccount/myextension/issues/" },  

"repository": {  

  "type": "git",  

  "url": "git://github.com/myaccount/myextension.git",  

  "web": "https://github.com/myaccount/myextension/  

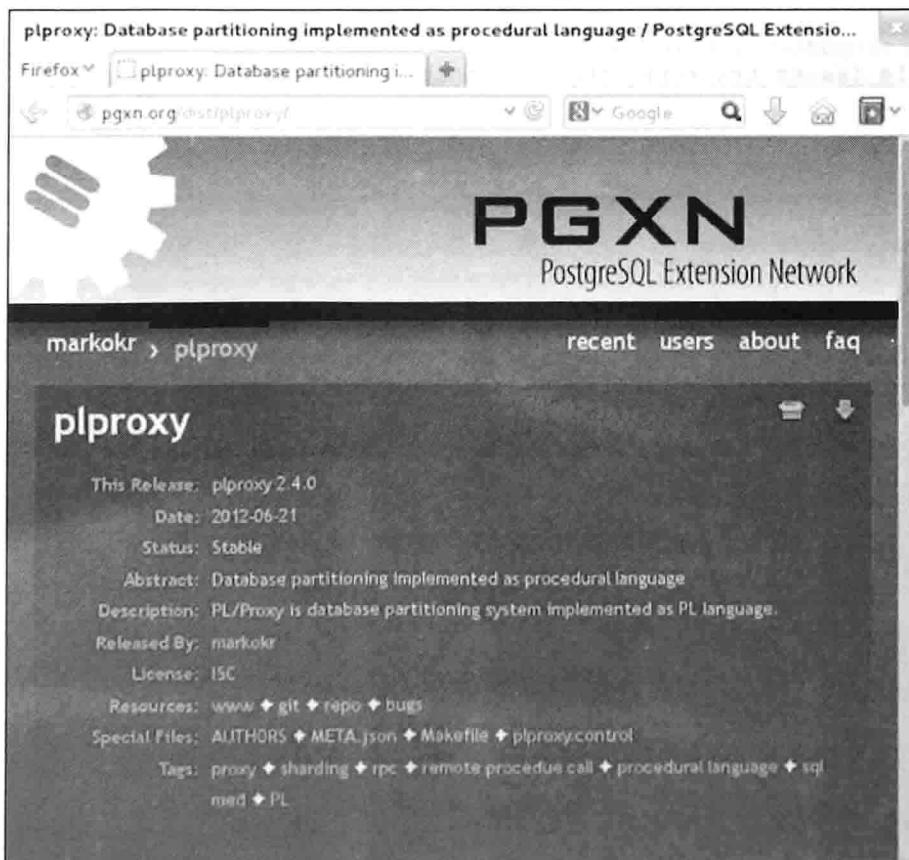
    }  

  }  

}

```

接下来你需要修改的文件就是 README.md。这个文件存放在 myextension/README.md 目录下。本书也提供了附有代码的例子。但考虑到行文长度，这里不再赘述。这个文件会与你的扩展程序同时发布。它仅是一个供人消遣的纯文本文件。在这个文件里面，你可以进行随意的内容编辑。我的文件就包括了一份烤羊肉串的食谱。很好吃的样子吧！但最重要的是，你需要在这个文件中突出阐述你的扩展程序的功能与价值。最后，我们会接触到一个名为 doc/myextension.md 的文件。PostgreSQL Extension Network 便会调用这个文件，为你的扩展程序提供一个漂亮的登录页面。登录界面可能如下图所示：



这个文件是按照 wiki 文本标记的格式展开的。这里你可以使用多种不同的标记语法。而关于 wiki 标记的讨论已经超出本书的讨论范围，但貌似例子中所涉及的格式可能就能满足你接下来的需求。

以下是该文件的具体内容：

```
myextension
=====
Synopsis
-----
Show a brief synopsis of the extension.

Description
-----
A long description

Usage
-----
Show usage.

Support
-----
There is issues tracker? Github? Put this information here.

Author
-----
[The maintainer's name]

Copyright and License
-----
Copyright (c) 2012 The maintainer's name.
```

在文件填写过程中，你可以进行一些描述性的文案编辑。你可以添加任何文案内容，尽可能地去引导开发者安装你的扩展程序。这个可是你打动广大 PostgreSQL 开发者的大好机会。这时候别害羞哦！

### 10.7.5 编写扩展代码

把你的 SQL 代码存放到名为 myextension/sql/myextension.sql 的文件中。这个文件必须包括所有对你的扩展程序进行补充的对象。

```
/* myextension.sql */

-- complain if script is sourced in psql, rather than via CREATE
EXTENSION
\echo Use "CREATE EXTENSION myextension" to load this file. \quit

CREATE FUNCTION feed_the_hungry() ...
```

在 10.3 节中，我们已经描述了扩展程序的版本事宜。为了更好地进行版本维护，你可以在同一个目录下添加任一其他 SQL 文件。在这个目录下，任何文件名为 \*.sql 的都会一起进行发布。

### 10.7.6 创建程序包

为了我们最终能够顺利地将扩展程序上传到 PostgreSQL Extension Network 上，现在我们需要将所有的文件打包成一个 zip 文件。假设我们将所有的源代码均放在了 Git 仓库中，那我们就可以通过一个简单的 git 命令，完成程序包的创建。让我们试一试如下代码：

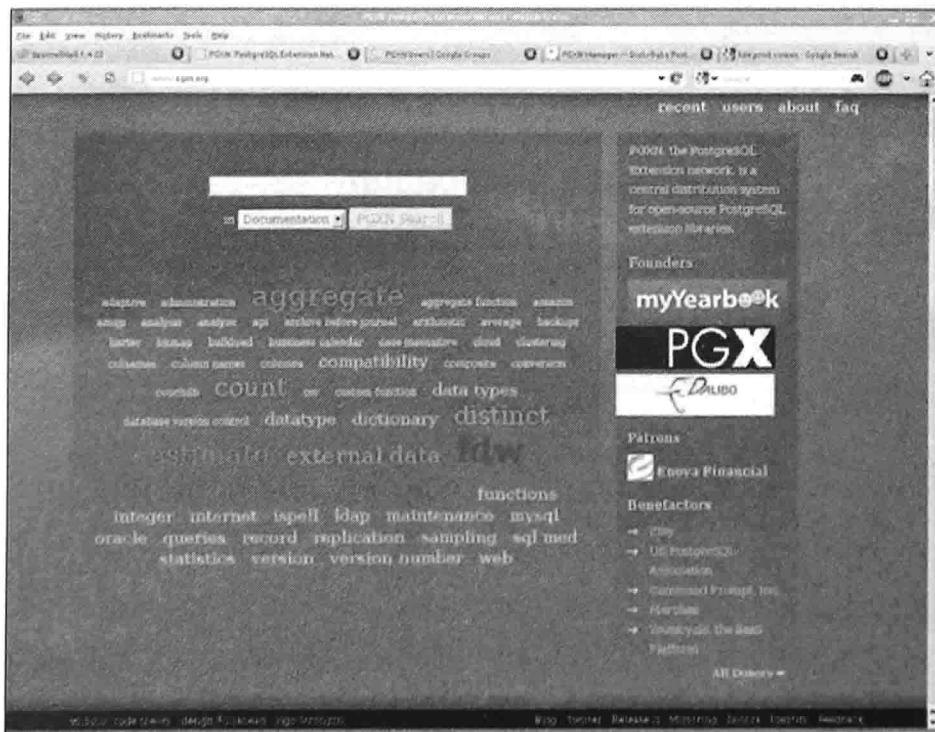
```
git archive --format zip --prefix=myextension-0.0.1/ \
--output ~/Desktop/myextension-0.0.1.zip master
```

待这个命令执行完毕后，我们就完成了程序包的创建。这个时候我们就可以向 PostgreSQL Extension Network 提交程序包。不用赘述，我们赶紧去提交程序包吧！

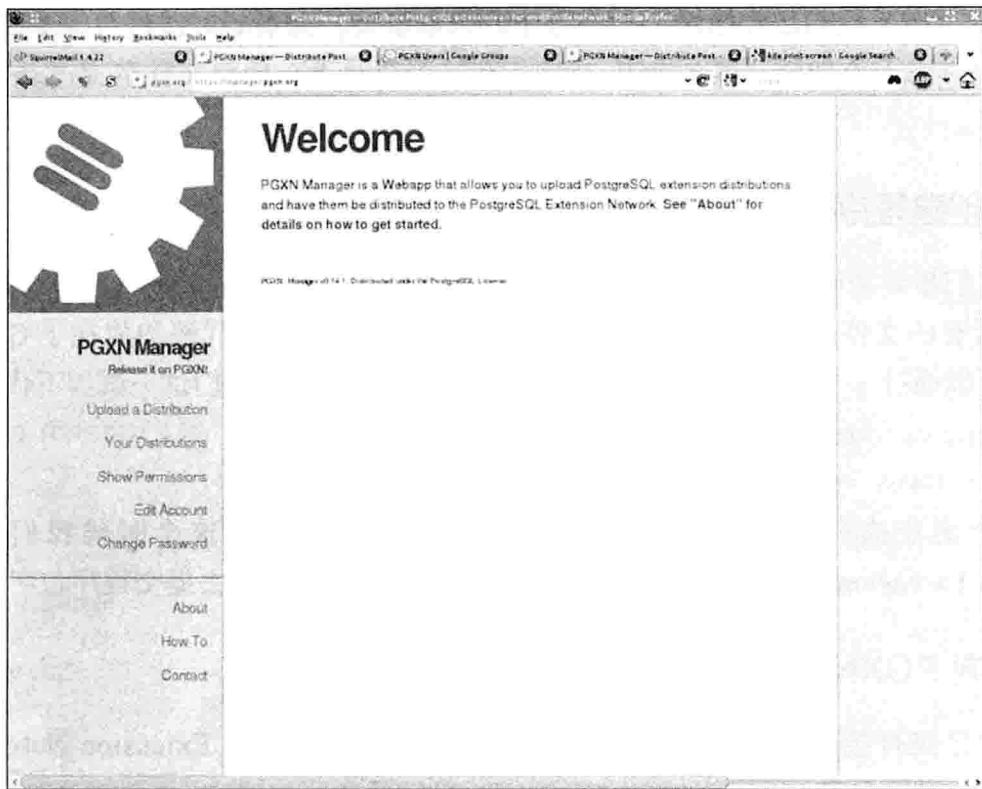
### 10.7.7 向 PGXN 提交程序包

现在你已经打包好了 zip 文件，接下来可以登录 PostgreSQL Extension Network 网站，将你的成果分享给大家。

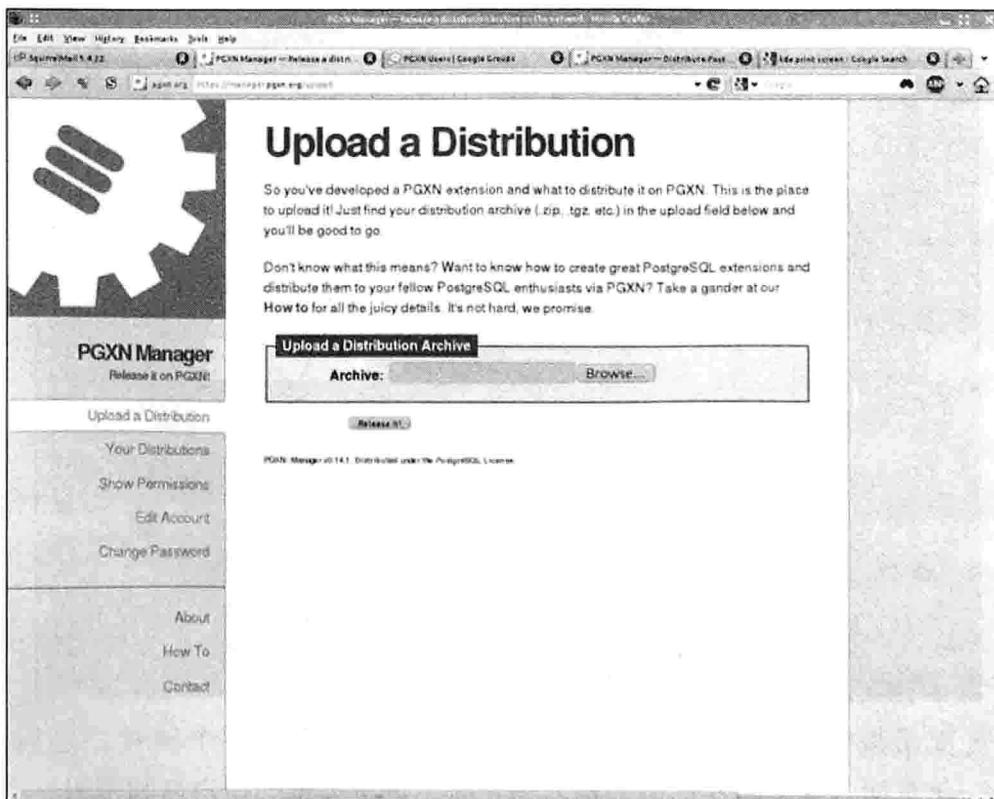
1) 首先登录网站 <http://www.pgxn.org>:



2) 在页面最底部，有一个叫 Release It 的链接。请点击这个链接，之后会跳转到 PGXN Manager 页面，这个时候你需要输入你在第 1 章中设置的用户名和密码。



3 ) 点击 Upload a Distribution 链接。点击之后，会跳转到上传页面。在这个页面中，你可以上传 10.7.6 节中设置好的 zip 文件。



4) 在你的电脑上查找 zip 文件，并将它上传到 PostgreSQL Extension Network 网站上。好了，大功告成！

在此，非常感谢你对 PostgreSQL 社区所做的贡献！

## 10.8 安装 PGXN 上的扩展程序

PostgreSQL Extension Network 网站提供了 PostgreSQL 扩展程序安装工具，该工具不受限于平台系统。工具本身采用 Python 编写，并使用 Python 安装系统进行发布。由于 Python 发布系统实际上存在于所有的 PostgreSQL 支撑平台上，所以使用这个工具是非常便捷的。同时，这个工具也使得 PostgreSQL 扩展程序在社区的发布操作变得非常简单。扩展程序安装器只需要一套简单的操作指示，就能完成在所有目标上的安装操作。

```
easy_install pgxnclient
Installing pgxncli.py script to /usr/local/bin
Installing pgxn script to /usr/local/bin
Processing dependencies for pgxnclient
Finished processing dependencies for pgxnclient
```

到目前为止，你已经完成了工具的安装。该工具可以帮助你管理 PostgreSQL Extension Network 上的 PostgreSQL 扩展程序。

实际上，安装扩展程序并不那么简单。例如，如果我们需要使用一个新的 tinyint 数据类型，我们就需要添加下面这段命令：

```
pgxn install tinyint
INFO: best version: tinyint 0.1.1
INFO: saving /tmp/tmpKvr0kM/tinyint-0.1.1.zip
INFO: unpacking: /tmp/tmpKvr0kM/tinyint-0.1.1.zip
INFO: building extension
...
```

现在你就可以在你的机器上的共享扩展程序目录下，找到这个扩展程序了。为了让任何数据库能够激活它，你需要使用如下命令，在前面的章节中就已经提到过：

```
CREATE EXTENSION tinyint;
```

然后你会看到确认文本，与你确认 tinyint 已经完成添加：

```
CREATE EXTENSION
```

恭喜你，现在你的本地数据库就可以调用这个扩展程序了！

## 10.9 小结

到目前为止，我们已经成功完成对一个扩展程序的配置、安装。哇，这可真是一条

漫漫长路！在这个过程中，我们使用了我们的编程技巧、系统管理技巧、数据库管理技能以及 wiki 的编辑技能。同时，我们也见证了 ruby、python、shell 脚本、PL/pgSQL 以及 MediaWiki。

但不管你相信与否，我们所介绍的操作流程实际上已经是目前最简单的。难以想象吗？当然，我们也进一步加大在 PostgreSQL Extension Network 的精力投入，努力简化目前的开发系统。这里，我要感谢 David E. Wheeler 及其团队，感谢他们创建这个新系统。由于目前这个框架已经能够帮助我们执行任务，那么在不久的将来，这块将会有明显的改善。

尽管我有各种的抱怨，但这套扩展程序系统的意义实际还是革命性的。为什么我会这么说呢？因为目前没有第二家数据库平台能够提供类似的框架。PostgreSQL 能够修改产品基本功能，在这方面它绝对是领先者。扩展程序可以从产品上进行安装与卸载的事实表明，对于开源社区来说，PostgreSQL 是多么有吸引力。

加油创建各种 PostgreSQL 扩展程序吧！它们会给你提供相应的开发工具。这也保证了 PostgreSQL 服务器成为你处理数据需求时优先选用的最佳框架。