

# 基于科学计算语言的遗传算法工具箱

李重,胡包钢

(中科院自动化所中法实验室,北京 100080)

**摘要:**该文介绍了一个基于科学计算语言的遗传算法工具箱 GATS。与现有的基于科学计算语言的遗传算法工具箱相比, GATS 在功能上和使用上具有更多的优越性。GATS 可支持四种基因编码方式,支持小生境、尺度变换等功能,支持自适应遗传算法、分层遗传算法,支持多目标优化,支持并行处理(Linux/Unix 平台),以及更多的遗传算子等等。GATS 采用“主体框架+可替换模块”的结构,便于用户加以扩展,带有 Tcl/Tk 编写的用户界面,使用简单,软件开放源码,特别适用于科研和教育领域。该文详细介绍了 GATS 的结构、功能和使用方法,并给出了多个应用示例。

**关键词:**开放源软件;遗传算法;并行处理;多目标优化;科学计算

中图分类号:TP275 文献标识码:A

## Genetic Algorithm Toolbox Based on Scientific Computing Language

LI Zhong, HU Bao-gang

(Chinese - French Joint Laboratory for Computer Science, Control and Applied Mathematics (LIAMA),  
Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080, China)

**ABSTRACT:** This paper presents a Genetic Algorithm Toolbox for SCILAB (GATS), which is a scientific computing and simulation language. GATS is superior in functionality to most existing genetic algorithm (GA) toolboxes based on scientific computing language, and is easily to be used. GATS supports four gene coding schemes, niche and fitness scaling, adaptive GA, multi-level GA, multi-objective optimization, parallel processing (on Linux/Unix platform), etc. GATS uses "framework + exchangeable module" as its structure, so as to be extended easily. It uses Tcl/Tk language to build GUI for user friendly interface as well as for multiple platform. Several demos are given to show the effectiveness of GATS in this paper.

**KEYWORDS:** Open-source software; Genetic algorithm; Parallel processing; Multi-objective optimization; Scientific computing

## 1 引言

自从 Holland 在十九世纪 60 年代提出遗传算法以来<sup>[1]</sup>, 遗传算法以其良好的性质引起了许多领域的科学研究者和工程师的兴趣<sup>[2-4]</sup>。出现了一批基于科学计算语言的遗传算法工具箱,但存在功能不全面,源代码不开放因而不易扩展等缺点。本文介绍了一个基于科学计算语言 SCILAB 的遗传算法工具箱(Genetic Algorithm Toolbox for SCILAB, GATS)<sup>[5]</sup>,它集成了许多重要的遗传算法,支持多目标优化,支持并行处理,并且具有友善的用户界面,开放源码,易于完善和扩展。由于拥有这些优点,GATS 在科研和教育领域具有良好的应用前景。

## 2 遗传算法工具箱 GATS 简介

### 2.1 GATS 支持的特性

随着遗传算法的发展,出现了各种各样的增强和改进的算法,形成了一个遗传算法族。GATS 设计目标之一就是要集成尽可能多的重要的遗传算法。为此,它支持来自各种遗传算法的众多特性。例如:

- 四种编码方式:二进制、格雷码、实数编码、排列编码
- “硬”的和“软”的约束
- 各种遗传算子
- 最优保留
- 小生境技术
- 尺度变换
- 算法参数自适应调整
- 多目标优化(Pareto 优化)

- 多层遗传算法支持
- 并行处理
- 友善的用户界面

经典遗传算法采用二进制编码。格雷码与二进制码很类似,与之相比,它的主要优点是避免了所谓的海明悬崖“hamming cliff”,提高了遗传算法的局部搜索能力。实数编码适用于大范围数,高精度搜索。排列编码适用于带有序号的排列,主要用于排列组合问题,经典的如旅行商问题等,其特点是某一个个体的编码实际上是一个序列的某一种排列。

GATS 引入了 MATLAB 下遗传算法工具箱 GAOT 的主要遗传算子,并作了补充和增加,从而使得 GATS 拥有丰富的遗传算子,供用户针对不同应用选择使用。表 1 给出了 GATS 支持的主要遗传算子,按不同的编码方式加以分类。

表 1 GATS 所支持的主要遗传算子

	二进制码 / 格雷码	实数码	排列码
交叉算子 (重组)	单点交叉 双点交叉 均匀交叉 受限交叉	离散重组 线性重组 启发式重组	均匀交叉 单点交叉 部分匹配交叉 滑动交叉 循环交叉
变异算子	二进制变异	非均匀变异 边界变异	反转变异 单点变异
选择算子	基于排序的几何选择法 基于排序的线性选择法 锦标赛选择法 轮盘赌选择法 随机遍历抽样选择法		

由于遗传算法具有多点搜索的能力,它被广泛应用于多目标优化<sup>[4]</sup>。多目标优化的数学描述如下:

$$\min_{\vec{x} \in C} F(\vec{x}) = \begin{bmatrix} f_1(\vec{x}) \\ f_2(\vec{x}) \\ \vdots \\ f_n(\vec{x}) \end{bmatrix}$$

其中  $n \geq 2$  且  $C = \{\vec{x} | h(\vec{x}) = 0, g(\vec{x}) \leq 0, \vec{a} \leq \vec{x} \leq \vec{b}\}$  和  $\vec{a}$  和  $\vec{b}$  分别代表变量  $\vec{x}$  变化的上下界。 $h(\cdot)$   $g(\cdot)$  分别表示相等和不等约束。在多目标情况下,我们常常用“Pareto 最优”来衡量结果的优劣。一个结果是 Pareto 最优意味着没有其它的结果在全部目标上都不弱于此结果,并且至少在一个目标上超过此结果。

GATS 内部使用了一个基于距离的 Pareto 算法来得到 Pareto 最优集。并且,GATS 支持硬约束来满足  $g(\vec{x}) \leq 0$  类型的条件,凡不符合此条件的结果被抛弃;支持软约束来满足  $h(\vec{x}) = 0$  类型的条件,越接近满足此类条件,越可能存活到下一代。

在一些情况下,遗传算法的参数对算法的结果有非常重要的影响,而为算法选择合适的参数又很困难。于是,Srinivas 等提出自适应遗传算法,其算法的参数可以根据?

运行时的状况自动变化,以此来解决这个问题。为了支持这种增强算法,GATS 引入了动态改变主要遗传算子参数的机制。

通过提供图形界面,GATS 可以非常容易被用户使用。用户可以通过图形界面来设置和修改算法选项及其参数,而不需要深入到程序代码中去修改。这样,用户可以集中更多精力在遗传算法概念的学习上。

表 2 现有 MATLAB 遗传算法工具箱与 GATS 的比较

名称	GAOT	GEATbx	GAT	ElexGA	MOEA	GATS
编码方式	二进制 实数	二进制 格雷 整数 实数	二进制 格雷 整数 实数	二进制 实数	-	二进制 格雷 实数 排列
多目标优化	无	无	无	无	有	有
多种群	无	有	有	无	无	有
小生境	无	无	无	有	无	有
并行处理	无	无	无	无	无	有
用户界面	无	无	无	无	无	有
源代码	有	-	有	有	无	有
版权	GPL	商业	GPL	商业	-	GPL
开发语言	Matalab	Matalab	Matalab	Matalab	Matalab	Seilab

表 2 显示,与其它现有的基于 MATLAB 的遗传算法工具箱相比,GATS 支持更多的遗传算法的增强和改进。\*

## 2.2 GATS 的获取

GATS 可以运行在 Linux/Unix 和 Windows 等平台上, <http://liama.ia.ac.cn/SCILAB/works/GATS.html> 处提供 GATS 的免费下载和使用。非常欢迎提出对 GATS 的缺陷报告、使用反馈和建议。

GATS 是在 SCILAB 上开发使用的。SCILAB 是一种开放源码的科学计算和仿真软件,可以在多个平台上运行(Linux/Unix, Windows, Mac)。其语法与 MATLAB 非常相似,功能也并不弱于 MATLAB。它可以从互联网址 <http://www.scilab.org> 处免费下载使用。

GATS 的图形界面是用 Tcl/Tk 开发的。Tcl/Tk 是一种解释执行的脚本语言,能开发出跨平台的图形界面,开发和维护都较为简单。它可以从 <http://www.scriptics.com> 处下载。

## 2.3 GATS 的结构和运行机制

遗传算法的运行过程可以被视为一个循环过程,在循环的每一圈中,种群中的所有个体被选择、交叉和变异。随着遗

\* GAOT 网址:  
<http://www.ie.ncsu.edu/mirage/GATToolBox/gaot/>  
 GEATbx 网址 <http://www.geatbx.com/>  
 GAT 网址 <http://www.shef.ac.uk/~gaipp/ga-toolbox/>  
 FlexGA 网址 <http://www.flextool.com/>  
 MOEA 网址 <http://vlab.ee.nus.edu.sg/~kctan/moea.htm>

传算法的发展,许多改进和增强的算子被加入到这个过程中来。图1显示了GATS的算法运行过程,其中,白色块代表经典遗传算法的基本遗传算子,灰色块代表可选的各种增强或变形算子。尽管遗传算法多种多样,其基本的算法步骤还是一致的。因此,GATS使用了这样一个结构:主体框架和可替换的插入模块。主体框架是所有遗传算法都要使用的流程框架,而不同的遗传算法使用各自的可替换模块。当遗传算法需要某一种增强或改进的算子时,一个相应的可替换模块被插入到循环过程中。

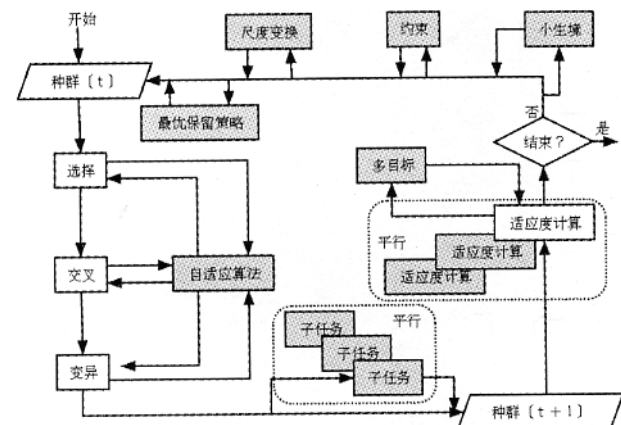


图1 GATS流程图(白色块代表基本算子,灰色块代表增强算子)

“任务文件”被GATS用于记录哪些可替换模块需要被使用。实际上,任务文件是GATS组织和运行的核心。当使用GATS时,用户必须先编辑一个任务文件来指定优化目标、编码方式、使用的可替换模块等信息,然后GATS使用一个分析器来分析任务文件的内容,并调用相关的过程,把得到的结果存入文件,如果需要的话也可以用图形的方式显示出来。用户可以手工编写任务文件,也可以使用图形界面来编辑,图形界面是用Tcl/Tk编写的。

### 3 GATS工具箱的使用

#### 3.1 GATS的界面

任务文件在组织和管理GATS所支持的遗传算法特性中扮演关键性的角色。由于遗传算法的多样性,在任务文件中许多内容具有多个可选项,如选择函数、编码方式等等。虽然任务文件的内容很容易理解,但是如果用手工方式编辑,还是比较麻烦的,并且容易出错。为了避免在编辑任务文件时记忆众多的可选项,GATS内含了一个图形界面来帮助用户编辑任务文件。

通过使用图形界面,GATS让用户可以交互式地设置遗传算法的各种可选项,自动生成相应的任务文件,而不用担心会弄错文件格式,如图2所示。如果碰到不明白的地方,用户可以按F1键来得到帮助。在编辑完任务文件后,用户不用离开图形界面就可以运行任务文件设定的遗传算法,并以图形的方式在线动态地显示算法的运行过程和结果。

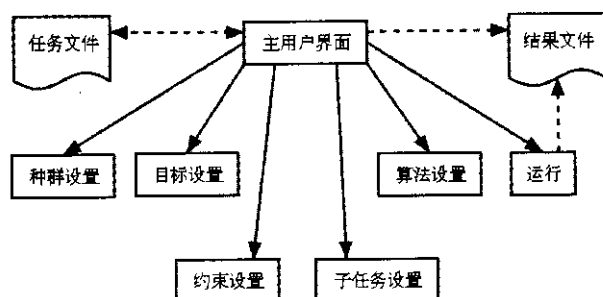


图2 GATS用户界面的组织

#### 3.2 GATS的应用示例

GATS工具箱附带了一些示例程序来演示一些重要的遗传算法概念,以及如何将GATS应用于不同的问题。通过这些示例程序,用户可以学习如何使用GATS来处理排列问题,多目标优化,并行处理等等。

GATS中有一个示例程序来演示如何应用GATS工具箱来解决多目标优化问题。这个示例程序中,有两个互相矛盾的优化目标,当一个目标趋于最优,另一个目标就趋于最差,反之亦然。这个示例程序使用图形的方式来表示Pareto结果集,以及它们是如何作为一个整体进化的。这个示例程序使用了一个基于距离的Pareto算法来得到最终结果,图3是这个示例程序运行中的一个截图。图中有两条线,其中上方较光滑的一条是理论上的Pareto最优边界,下方曲折的一条是实际得到的Pareto最优边界,两者相当接近。

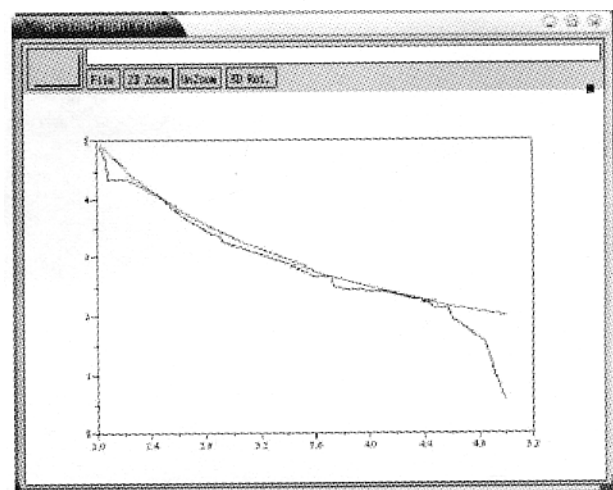


图3 多目标优化演示程序

为了能够方便地将遗传算法用于解决排列问题,GATS引入了一种新的编码方式,称之为排列编码。GATS也带有一个经典的旅行商问题的示例程序。有N个城市,有一个商人希望能从一个城市出发,不重复地游历全部城市并回到起点,其最短的路径是什么?在演示程序中,取 $N = 50$ ,即有50个城市。示例程序中,可以看到,开始时的游历路线是随机的,如图4所示,随着种群的进化,其游历路程越来越短,直到得到最优解或近似最优解,如图5所示。

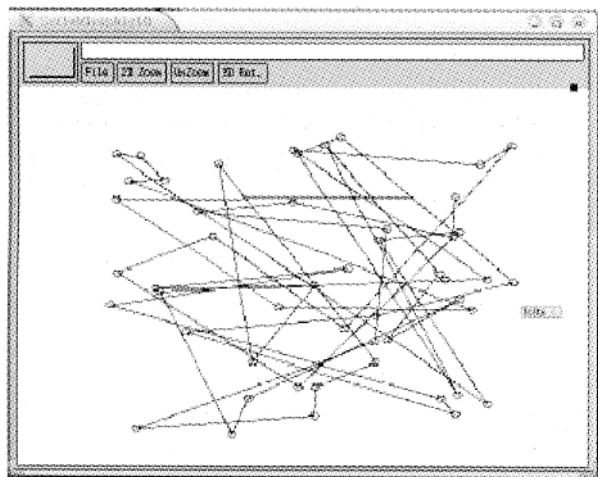


图4 旅行商问题中的初始路径

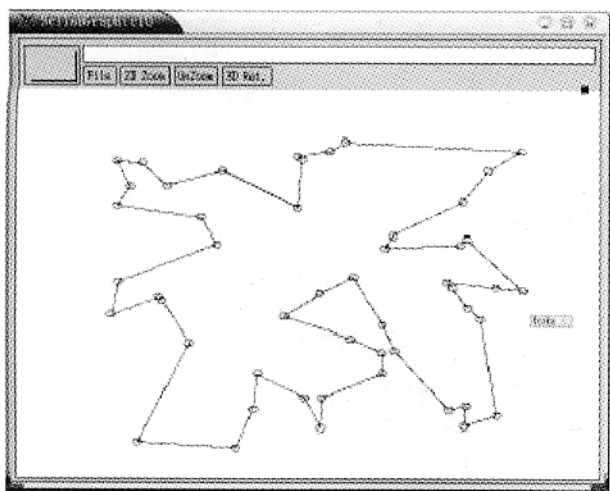


图5 旅行商问题中的最终路径

使用任务文件来组织遗传算法的各种算法选项给予了 GATS 极大的灵活性。例如 ,GATS 允许一个任务文件包含其它的任务文件作为子任务 ,子任务文件还可以有其自身的子任务。这样就形成了一个层状的结构 ,其运行如图 6 所示。通过引入子任务机制 ,GATS 得以支持多层遗传算法和多种群遗传算法。

并行处理是遗传算法最重要的优点之一。但是 ,由于并行处理引入的复杂性 ,即使是对有经验的程序员来说 ,实现并行遗传算法也不是一件简单的工作<sup>[6]</sup>。为此 ,并行虚拟机 (PVM) 接口被集成到 SCILAB 当中了 ,这使在 SCILAB 上进行并行处理变成可能 ,并且相当容易。GATS 支持两个层次上的并行处理 :在子任务层次上的并行处理和适应度计算上的并行处理。当调用子任务时 ,GATS 允许多个子任务以并行的方式得到处理。同样的情况也可以发生在对种群中的多个个体进行适应度计算时。GATS 甚至允许同时使用这两种并行处理。需要提醒的是 ,由于 Windows 平台上对 PVM 的支持

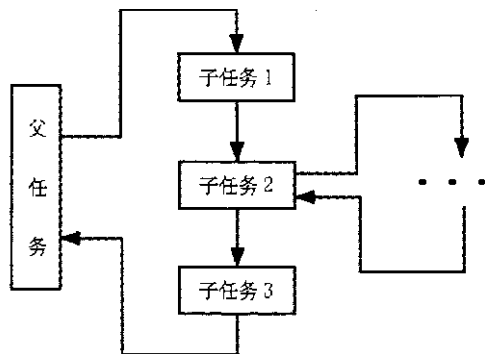


图6 子任务及其运行

不佳 ,GATS 仅提供 LINUX/UNIX 平台上的并行处理。GATS 包含了一个并行处理的示例程序 ,其主任务包括了两个并行运行的子任务。图 7 是这个并行遗传算法示例程序运行时的截图。

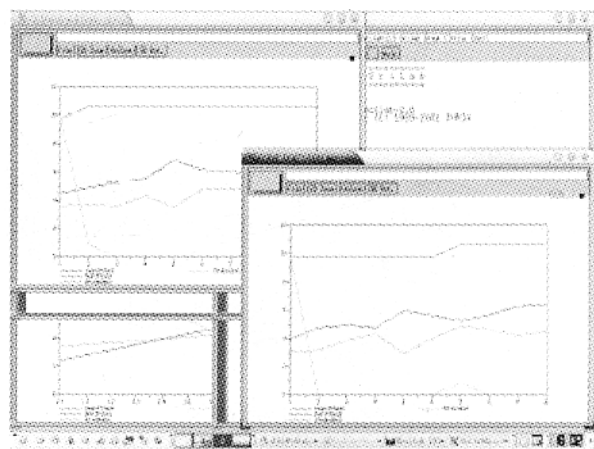


图7 GATS 在子任务层的并行处理示例程序

#### 4 使用 GATS 工具箱进行算法比较

在进行遗传算法的研究时 ,经常需要对两种算法进行比较。这种比较可能发生在以下三种情况下 :比较算法中相似的算子 (如不同的选择函数) ,比较使用和不使用某一种算法改进 (如小生境、最优保留) ,以及同一算法下取不同的参数。这种比较既要有理论上的论证 ,也需要实验的支持。GATS 是一个在实验比较上非常有用的工具。

GATS 为遗传算法的比较专门设计了两个小功能。第一个是自动多次运行任务 ,并将结果作为一个整体记录到文件中。第二是可以从多个结果文件中提取信息并显示在一张图形上。

因为遗传算法是以概率为基础的非确定性算法 ,运行同一个任务多次 ,每次都可能得到不同的结果。所以只在概率意义上的讨论算法的效率等指标才是有意义的。GATS 可以以指定次数运行同一任务文件 ,并将全部结果记入一个文件中。并且 ,GATS 可以从多个结果文件中获得信息并在一张图

形上加以比较,这对多种算法结果的比较是非常方便的。图8是使用和未使用小生境算法时算法的运行过程图。

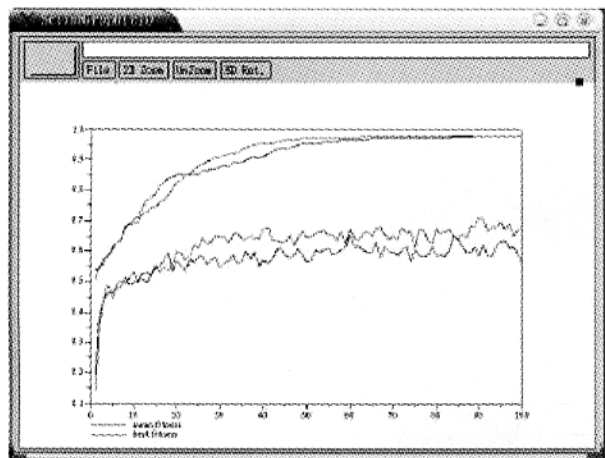


图8 有无小生境的遗传算法结果比较

## 5 结论

本文介绍了一个功能强大的基于科学计算语言的遗传算法工具箱 GATS。它支持众多遗传算法中的各种功能,设计精巧,易于使用,可跨平台运行。这些特性使其成为遗传算法在科研和教学应用中的一个强有力的工具。

### 参考文献:

- [1] J H Holland. Adaption in Natural and Artificial Systems[M]. Ann Arbor, Michigan: University of Michigan Press, 1975.
- [2] D E Goldberg. Genetic Algorithms in Search, Optimization and

Machine Learning[M]. Readings, MA, USA: Addison - Wesley, 1989.

- [3] J P Li, M E Balazs, G T Parks and P J Clarkson. Complexity analysis of evaluating distances in the genetic algorithm using species conservation[C]. in Proc. of the 2001 IEEE Congress on Evolutionary Computation, Seoul, Korea, May 2001. 52 - 59.
- [4] J Horn, N Nafpliotis and D E Goldberg. A Niched Pareto Genetic Algorithm for Multiobjective Optimization[C]. in Proceedings of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation, IEEE World Congress on Computational Intelligence, vol. 1. Piscataway, New Jersey: IEEE Service Center, 1994. 82 - 87.
- [5] Z Li. Genetic algorithm toolbox for SCILAB. <http://liama.ia.ac.cn/SCILAB/works/GATS.html>, Feb. 2004
- [6] K C Tan, A Tay and J Cai. Design and Implementation of a distributed Evolutionary Computing Software[J]. IEEE Trans Syst., Man, Cybern. C, 2003, 33: 325 - 337.
- [7] 王小平,曹立明. 遗传算法——理论、应用与软件实现[M]. 西安交通大学出版社, 2002.

### [ 作者简介 ]



李 重(1976.3 - )男(汉族),辽宁人,中科院自动化所模式识别与智能系统硕士研究生,研究方向为植物生长建模、遗传算法;  
胡包钢(1955.2 - ),男(汉族),北京人,加拿大 McMaster 大学哲学博士,中科院自动化所中法实验室中方主任,研究员,博士生导师,IEEE 高级会员,研究方向为智能系统、模式识别、计算机图形学。

(上接第 171 页)

的部分就是失效检测。检测失效花费的时间应尽量地短,才能实现有效的保护。常用的链路失效检测机制中,链路层的 keepalive 消息和网络协议 RSVP hello 使用超时来发现接口失效,都需要较长一段时间(几百毫秒)。如果 MPLS TE FRR 机制只需要回调物理层的告警,就能够快速检测到接口失效。我们在仿真中使用的是基于物理层的告警信息来检测链路失效。

## 5 结束语

本文通过设计仿真实例,比较了在网络出现拥塞及链路失效情况下,传统的动态路由协议和 MPLS TE 对网络性能和业务服务质量的影响,并对仿真结果进行了分析。可以看出, MPLS TE 通过更为灵活的方式在多条网络链路上实现负载均衡,可以改进网络资源利用率,在链路或节点失效时,能够提供快速的恢复机制。

### 参考文献:

- [1] Vivek Alwayn, CCIE #2995. 高级 MPLS 设计与实施[M]. 北京:人民邮电出版社, 2003.
- [2] Eric Osborne, CCIE #4122, Ajay Simha, CCIE #2970. 基于 MPLS 的流量工程[M]. 北京:人民邮电出版社, 2003.
- [3] D Awduche, J Malcolm, J Agogbua. Requirements for Traffic Engineering Over MPLS[S]. RFC2702, 1999.
- [4] F Le Faucheur, W Lai. Requirements for Support of Differentiated Services - aware MPLS Traffic Engineering[S]. RFC3564, 2003.

### [ 作者简介 ]



刘建军(1973 - )男(汉族),湖北人,博士研究生,工程师,主要研究方向:计算机应用技术。  
尹 浩(1959 - )男(汉族),江苏人,博导,研究员,主要研究方向:通信网总体规划与设计。