

云计算中高性价比的虚拟资源分配策略^①

曾智斌, 许 力

(福建师范大学 网络安全与密码技术重点实验室, 福州 350007)

摘要: 社会对云计算需求的不断扩大需要构建规模巨大的数据中心, 如何高效地运行数据中心是一个亟待解决的问题。传统的虚拟资源分配策略没有充分地考虑如何有效地降低数据中心的能耗和策略生成的时间复杂度, 提出了一种高性价比的虚拟资源分配策略 (EEVRAS), 通过将云计算中的虚拟资源分配问题模型化为一个路径构建的问题, 同时改进精英策略的蚂蚁系统 (EAS) 来进行资源分配方案的优化。策略生成的时间复杂度较低。仿真结果表明相对传统的虚拟资源分配策略, 在服务器性能指标约束下, EEVRAS 策略能够使用较少的服务器构建虚拟集群, 从而有效地降低数据中心的能耗。

关键词: 云计算; 虚拟资源分配; 能量高效; 蚁群算法

Energy Efficiency Virtual Resource Allocation Strategy for Cloud Computing

ZENG Zhi-Bin, XU Li

(Key Lab of Network Security and Cryptology, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: The increasing requirements on cloud computing entail building up large-scale data centers. How to operate data center in an efficient way is an urgent problem to be solved. Traditional virtual resource allocation strategies didn't take into full consideration how to decrease energy consumption of data center and the time complexity of strategy formation. This paper proposes an energy efficiency virtual resource allocation strategy (EEVRAS) by modeling virtual resource allocation problem as a problem of path construction, improving elitist strategy for ant system (EAS) to optimize resource allocation scheme. Strategy has a lower time complexity. Simulation results illustrate that compared with traditional virtual resource allocation strategy, with the limit of server performance index, EEVRAS can use fewer servers to construct virtual cluster, thus efficiently decreasing the energy consumption of data center.

Key words: cloud computing; virtual resource allocation; energy efficiency; ant colony algorithm

1 引言

云计算将计算能力, 存储空间, 信息服务等大量资源集中起来, 统一地自动化管理。它具有可扩展性, 高可靠性, 面向服务等特点。使用云计算, 只需通过计算和存储能力都十分有限的终端设备, 就可获得近乎无限的计算能力。这些能力分布在资源池 (资源池是由大量服务器等基础设施构成的数据中心) 中。随着社会对云计算需求的扩大, 为了满足对基础设施的需要构建了规模巨大的数据中心。但是运行大规模的数据中心会消耗大量的能量, 研究表明目前的数据中

心的利用率一般保持在 5% 到 20%^[1,2], 大量的服务器常处于空闲状态。空闲状态的服务器功耗也超过满载情况下的 50%^[3]。因此如何高效地运行数据中心是一项非常重要的研究课题。

2 相关工作

目前针对高性价比利用数据中心提出的解决方法根据作用范围可以分为单服务器级别和服务器集群级别 2 类。单服务器级别策略^[4-7]是根据负载需求动态改变服务器的 CPU 速率以达到节能, 这类方法可以有效降

① 基金项目: 国家自然科学基金(61072080); 福建省教育厅项目(JA10079)

收稿时间: 2011-03-31; 收到修改稿时间: 2011-04-22

低单一服务器的功耗，但无法优化集群的能耗，并且会受制于硬件是否具备动态调压调频技术（DVFS）。服务器集群级别的方法包括开关服务器和基于虚拟化技术的虚拟资源分配策略。开关服务器指以关闭空负载的服务器来达到节能效果，当服务器数量不足以满足当前负载时再开启。其中文献[8, 9]使用模型预测数据中心的负载来选择性地关闭服务器达到节能。虚拟化技术既允许多个不同的虚拟主机聚合在一台服务器上，也允许虚拟主机实时地迁移到其他服务器上运行，如何充分地发挥虚拟化技术的这两个特点，研究人员提出了不同的节能方案。其中文献[10]和[11]将虚拟主机聚合在少数服务器。但没有充分考虑服务器性能和可承受能力，文献[12]中虚拟资源分配问题被建模为多维背包问题，并找到服务器执行单位事务功耗的最优点，但并没有提出有效的虚拟资源分配策略，文献[13]是根据对内存的竞争情况调度虚拟主机，没有考虑其他资源的竞争，文献[14]根据最大化服务器利用率的思想进行虚拟资源的分配，但同时导致了过程中大量的迁移操作，而文献[11]和[15]对 NP 问题的求解和大量的使用排序算法使策略生成的时间复杂度过高。文献[16]和[17]中依据耗能，时延等设置代价函数，使用启发式算法来搜索较优的虚拟资源分配方案。以上这些研究方案存在着如下几个方面的不足：

- ①不能有效降低服务器集群的能耗。
- ②无法保证服务器的性能。
- ③不支持构建虚拟集群，即构建多个虚拟主机时，没有全局地考虑虚拟资源的分配。
- ④无考虑可信服务器的问题。

针对上述问题，本文改进了精英策略的蚂蚁系统（EAS, elitist strategy for ant system）[18]提出受限精英策略的蚂蚁系统（REAS, restrained elitist strategy for ant system），并以 REAS 为核心提出 EEVRAS（energy efficiency virtual resource allocation strategy）策略，EEVRAS 策略是在服务器性能指标约束的前提下，通过搜寻优化的虚拟资源分配方案，从而可以使用较少的可信度高的服务器来构建虚拟集群。EEVRAS 在提高服务器利用率的同时有效地降低服务器集群能耗，并且策略生成的时间复杂度较低。

3 建立问题模型

影响服务器能耗和性能的主要因素是 CPU 和 PF

使用率。我们在配置为 CPU: Intel Core 2 Duo T6670 2.2GHZ, Memory: 2048MB 的笔记本电脑上采集能耗和性能的数据，结果如图 1 所示。图 1-a 表明，当 CPU 和 PF 使用率增加时，服务器能耗曲面平滑上升。由图 1-b 可知当 CPU 和 PF 使用率增加时，服务器性能曲面下降。在某个性能值时，对应的 CPU 和 PF 使用率规定为阈值。如：当可接受的性能值为 10.6 时，CPU 使用率不超过 80%，PF 使用率不超过 1.2GB，分别记为 C_j^r , M_j^r ，表示当服务器 P_j 可接受的性能值为 r_j 时，CPU 和 PF 使用率的阈值。

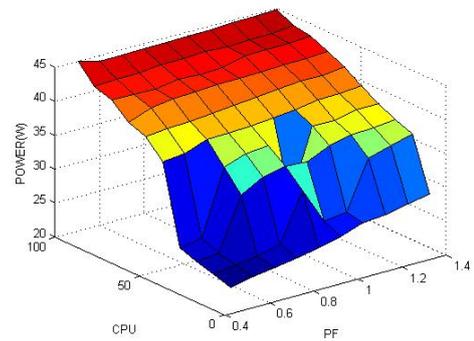


图 1-a 服务器功耗随 CPU 和 PF 使用率改变的变化

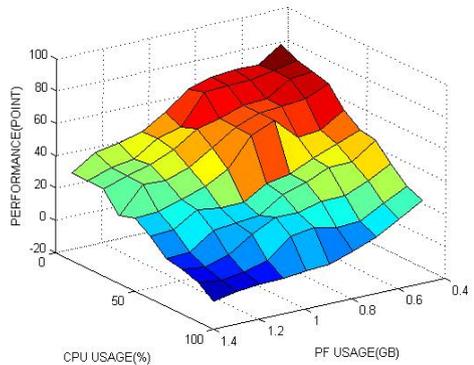


图 1-b 服务器性能随 CPU 和 PF 使用率改变的变化

有个虚拟主机需要创建，有 n 个可用服务器时，建立 m 行 n 列的点阵 $T_{m \times n}$ ，点 T_{ij} 代表虚拟主机 V_i 调度到服务器 P_j 上运行。每个 $V_i, i \in \{1, 2, \dots, m\}$ 都有 CPU 和 PF 使用率 C_{Vi} 和 F_{Vi} 。用欧几里得距离 E_j 的衡量 P_j 的资源利用率， $E_j = \sqrt{(C_j^r - C_{Vi}^r)^2 + (M_j^r - F_{Vi}^r)^2}$ ， C_j^r 表示 P_j 上运行的所有虚拟主机的 C_{Vi} 之和， M_j^r 为 F_{Vi} 之和。所以虚拟资源分配问题转化为在点阵 $T_{m \times n}$ 上构建一条遍历且仅遍历每层一次的路径，如图 2 所示。该路径的这组 T_{ij} 代表一个虚拟资源分配方案。路径的构建即

T_{ij} 的选择, 应使最终这组 T_{ij} 所包括的每个列 j 对应的 P_j 达到以下三个目标:

1) $\text{sum}(\text{used}(P_j))$ 较小, $j \in \{1, 2, \dots, n\}$, 其中 $\text{used}(P_j)$ 定义为当第 j 列有点被选进路径时等于 1, 否则为 0。即使用较少的服务器;

2) $\sum E_j = \sum \sqrt{(C_j^q - C_j^p)^2 + (M_j^q - M_j^p)^2}$ 较小, where $\text{used}(P_j)=1$ 。即服务器的利用率较高;

3) $T(P_j)$ 较大, where $\text{used}(P_j)=1$ 。即服务器的可信度较高;

针对虚拟资源分配的路径构建问题本文使用改进的蚂蚁系统 REAS, REAS 算法定义的目标函数和启发式因素使所构建路径达到以上三个目标。

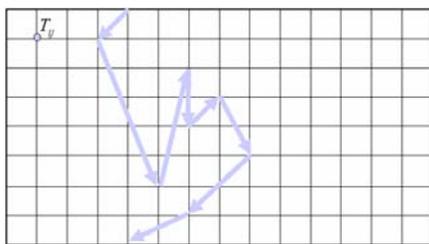


图 2 虚拟资源分配问题的路径

4 EEVRAS策略描述

4.1 EEVRAS 策略结构和流程

如图 3EEVRAS 策略包括 2 个子策略: 虚拟资源分配策略和动态调整策略。前者由 4 个模块组成: ①信息输入模块。②方案生成模块。③调度执行模块。④冗余处理模块。动态调整策略由监听决策模块组成。

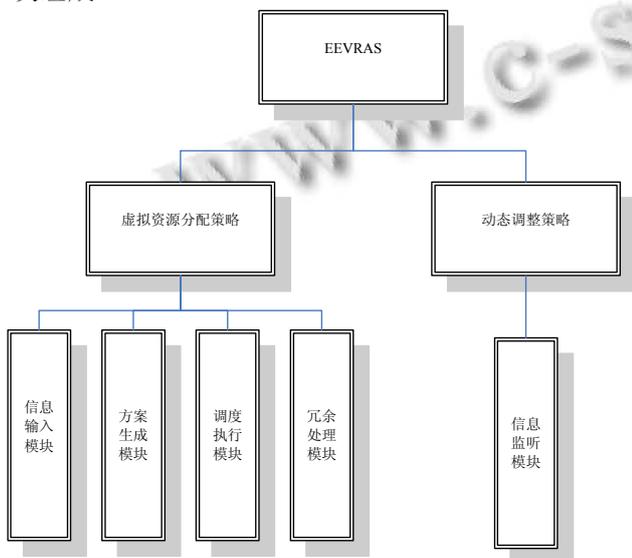


图 3 EEVRAS 策略结构图

EEVRAS 策略的运行流程如下: ①在构建虚拟集群阶段, 执行子策略虚拟资源分配策略, 由信息输入模块接收服务器和需构建虚拟主机的信息, 由方案生成模块生成虚拟资源分配方案, 调度执行模块按该方案将虚拟主机调度到对应服务器上运行, 最后由冗余处理模块关闭冗余的空闲服务器。②在虚拟集群运行阶段, 执行子策略动态调整策略, 其监听决策模块负责监听服务器的运行信息, 当某服务器的 CPU 和 PF 使用率低于预设阈值时, 将其上运行的虚拟主机执行子策略虚拟资源分配策略迁移到其他服务器, 并关闭该服务器。EEVRAS 的 2 个子策略流程如图 4 所示。

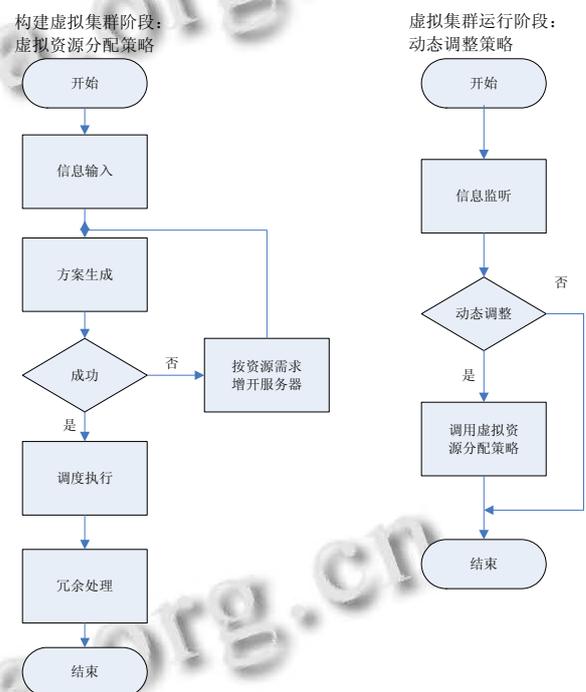


图 4 EEVRAS 流程图

4.2 方案生成模块

蚁群算法 (Ant Colony Algorithm, ACA) 是 20 世纪 90 年代初意大利学者多里戈从仿生学的角度, 观察蚂蚁的觅食行为提出的一种优化算法^[18]。基于蚂蚁行为的蚂蚁系统在求解大量问题时表现出了极佳的性能。方案生成模块根据信息输入模块所得信息将虚拟资源分配问题建模为第 3 节中的路径构建问题并使用改进的蚂蚁系统 REAS 求解, 在提高服务器利用率和降低服务器集群的能耗上获得了更佳的性能。

4.2.1 REAS 算法描述

m 只蚂蚁被初始地随机放置在 m 个点, 位于点 x 的蚂蚁 k 选择前进点 y 遵循概率 P_{xy}^k :

$$\begin{cases} P_{xy}^k = \frac{\tau_{xy}^\alpha \eta_{xy}^\beta}{\sum \tau_{xy}^\alpha \eta_{xy}^\beta}, & y \text{ 所在列已经有被选进路径;} \\ P_{xy}^k = \psi \frac{\tau_{xy}^\alpha \eta_{xy}^\beta}{\sum \tau_{xy}^\alpha \eta_{xy}^\beta}, & y \text{ 所在列无点被选进路径;} \end{cases} \quad (1)$$

y 是未被遍历层的一点, τ_{xy} 和 η_{xy} 是 x 到 y 的信息素浓度和启发式因素, 参数 α 和 β 决定 τ_{xy} 和 η_{xy} 在前进选择中所占的比重。参数 ψ 限制当 y 所在列无点被选进路径时 y 被选择的概率。即当服务器无虚拟主机运行时, 尽量避免将新的虚拟主机调度到其上运行。经过 m 步, 每只蚂蚁都构建出一条路径。边 xy, $x, y \in \{1, 2, 3, \dots, mn\}$ 上的信息素 τ_{xy} 被更新, 规则如式 (2)。

$$\tau_{xy} = \max((1 - \rho)\tau_{xy}, \sigma\tau_{initial}) \quad (2)$$

(2) 式是更新的第一步: 信息素挥发。 ρ 为挥发率, σ 为挥发限制因子, $\sigma\tau_{initial}$ 限制信息素不低于。更新的第二步是信息素释放, 规则如下:

$$\tau_{xy} = \tau_{xy} + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{xy}^k + w\Delta\tau_{xy}^{best} \quad (3)$$

$x, y \in \{1, 2, 3, \dots, mn\}$

其中

$$\Delta\tau_{xy}^k = \begin{cases} 1/F^k, & \text{边 } xy \text{ 在蚂蚁 } k \text{ 构建的路径 } R^k \text{ 上;} \\ 0, & \text{否则;} \end{cases} \quad (4)$$

F^k 为 R^k 的目标函数

$$\Delta\tau_{xy}^{best} = \begin{cases} 1/F^{best}, & \text{边 } xy \text{ 在当前最优路径 } R^{best} \text{ 上;} \\ 0, & \text{否则;} \end{cases} \quad (5)$$

F^{best} 是当前最优路径 R^{best} 的目标函数。

4.2.2 REAS 算法的目标函数与启发式因素

定义欧式距离之和 $\sum E_j$ 为聚合信息。分析知将虚拟主机聚合在少数服务器上运行, 降低了聚合信息, 同时也减少所使用服务器数量, 两者等价。故定义目标函数如式 (6),

$$F = \lambda \frac{1}{\sum E_j} + \mu \sum T(P_j), \quad \text{第 } j \text{ 列有点被选进路径} \quad (6)$$

其中 λ 和 μ 为权值。启发式因素与目标函数相似, 区别为前者计算当前部分路径的 F, 后者计算完整路径的 F。

4.2.3 REAS 算法的收敛性

令 $P(z)$ 为 REAS 迭代次至少一次找到最优路径的概率, 参照文献[18]第四章中值收敛的证明, 任意一个 τ_{xy} 满足:

$$\lim_{z \rightarrow \infty} \tau_{xy}(z) \leq \tau_{xy}^{\max} = \frac{(m+1)q(R^{best})}{\rho} \quad (7)$$

其中 $q(R^{best})$ 是 (5) 式中的 $1/F^{best}$ 。

一旦找到最优路径 R^{best} , 任取 $xy \in R^{best}$:

$$\lim_{z \rightarrow \infty} \tau_{xy}^*(z) = \frac{(m+1)q(R^{best})}{\rho} \quad (8)$$

其中 τ_{xy}^* 是边 $xy \in R^{best}$ 上的信息素。

由式(7)任意一个 τ_{xy} 存在最大值 τ_{\max} 和最小值 $\tau_{\min} = \sigma\tau_{initial}$, 则不考虑 η_{xy} 的情况下, (1)式中的概率 P_{xy}^k 存在下界:

$$p_{\min} = \psi \frac{\tau_{\min}^\alpha}{(n-1)\tau_{\max}^\alpha + \tau_{\min}^\alpha} \quad (9)$$

其中 n 为可选择的前进点的数量, 则在一次迭代中能搜寻到最优路径的概率 $\hat{P} \geq \hat{P}_{\min}^m > 0$, 所以 $P(z)$ 存在下界 $\hat{P}(z) = 1 - (1 - \hat{P})^z$ 。当 z 足够大时, $\lim_{z \rightarrow \infty} P(z) = 1$ 。又因为 η_{xy} 对每个实例是一个存在上下界的值, 所以 η_{xy} 只对改变某个 \hat{P}_{\min} 起作用, 综上 $\lim_{z \rightarrow \infty} P(z) = 1$ 成立。

5 仿真结果

仿真系统采用 VC++ 开发。生成 500 台同构的服务器, 每台赋予初始的 PM_CPU 和 PM_MEMORY。服务器功耗随 CPU 和 PF 使用率改变的变化情况符合图 1-a 所示曲面。令 r_j 为 10.6。经过多轮实验, 使 REAS 性能良好的参数设置如下: $\alpha=1, \beta=2, \psi=1/50, \rho=0.5, \sigma=0.2, \omega=1, \lambda=1$, REAS 算法的迭代次数为 50。本文主要研究高效率的虚拟资源分配策略, 故实验中将服务器的可信度置为 1, 即 $\mu=0$ 。负载为随机生成的 m 个虚拟主机, 每个虚拟主机 V_i 随机赋予初始的 C_{Vi} 和 F_{Vi} 。我们的策略对比方案是爬山策略 (HILL-CLIMBING) [16] 和虚拟资源分配问题中被广泛使用的贪心策略 (GREEDY) [10,11]。

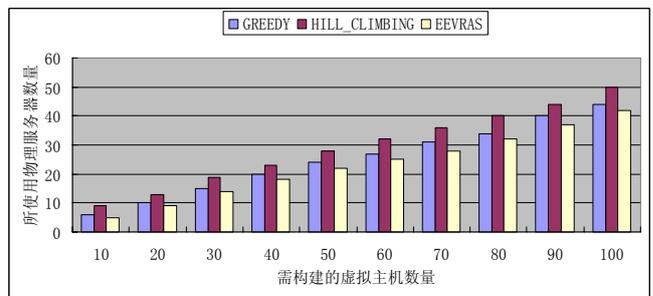


图 5 所使用的服务器数量随需构建的虚拟主机数量的变化图

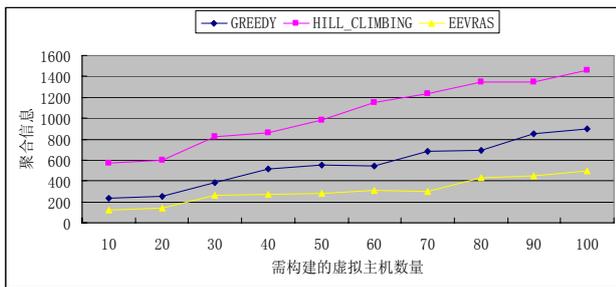


图 6 聚合信息随需构建的虚拟主机数量的变化图

图 5 表明, 随着需构建的虚拟主机数量的增加, 三种策略所使用的服务器数量都增加。相对于 GREEDY 和 HILL_CLIMBING, EEVRAS 所使用的服务器数量较少。图 6 所示是聚合信息随需构建的虚拟主机数量的增加而变化, 由图 6 可知 EEVRAS 相对于另两种策略表现出更小的聚合信息, 说明 EEVRAS 使服务器有更好的利用率。随着需构建的虚拟主机数量增加, GREEDY 和 HILL_CLIMBING 降低聚合信息的性能严重下降, EEVRAS 则表现的比较稳定, 将聚合信息控制在一个较低的水平, 保证服务器仍有一个良好的利用率。

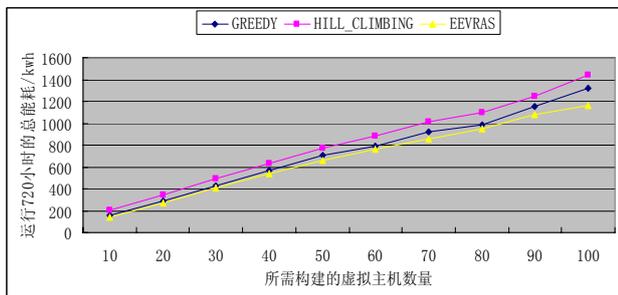


图 7 所使用的服务器的总能耗随需构建的虚拟主机数量变化图

图 7 所示是三种策略在相同负载(所需构建的虚拟主机数量)情况下, 所使用服务器集群的总能耗。由图可知 EEVRAS 控制能耗比另两种策略表现出更好的性能。相同负载时, EEVRAS 有更低的能耗。且随着负载增加, EEVRAS 的能耗增幅比较平缓, 在节能方面表现出了更好的性质。

6 结语

本文提出的云计算中高效率的虚拟资源分配策略 (EEVRAS), 将云计算中的虚拟资源分配问题模型化为

一个路径构建的问题。在服务器性能指标约束的前提下, 使用受限精英策略的蚂蚁系统 (REAS) 来生成优化的资源分配方案。仿真结果表明相对传统的虚拟资源分配策略, EEVRAS 可以使用较少的服务器来构建所需的虚拟集群。在提高服务器利用率的同时, 有效地降低了服务器集群的能耗, 从而降低数据中心的能耗。

参考文献

- 1 Rangan K. The Cloud Wars: \$100+ billion at stake. Tech.rep, Merrill Lynch, May 2008.
- 2 Siegele L. Let It Rise: A Special Report on Corporate IT. The Economist (October 2008).
- 3 Natural Resources Defense Council Recommendations for Tier I ENERGY STAR Computer Specification. http://www.energystar.gov/ia/partners/prod_development/revisions/downloads/computer/RecommendationsTierICompSpecs.pdf
- 4 汤慧明, 吴庆波, 谭郁松. 多层次的网络服务器集群功耗管理. 计算机工程与应用, 2011, 47(4): 72-76.
- 5 Kim KH, Beloglazov A, Buyya R. Power-aware provisioning of cloud resources for real-time services. In Proceedings of the 7th International Workshop on Middleware for Grids, Clouds and e-Science (MGC2009). Urbana Champaign, USA, December 2009.
- 6 Ge R, Feng X, Cameron KW. Performance-constrained Distributed DVS Scheduling for Scientific Applications on Power-aware Clusters. Proceedings of the ACM/IEEE SC 2005, Seattle, USA, November 2005.
- 7 Hsu CH, Feng W. A Power-Aware Run-Time System for High-Performance Computing. Proc. of Supercomputing'05, November 2005.
- 8 Duy TVT, Sato Y, Inoguchi Y. Performance Evaluation of a Green Scheduling Algorithm for Energy Savings in Cloud Computing. Proc. 24th IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (The 6th Workshop on High-Performance, Power-Aware Computing), 1-8, Apr. 2010.
- 9 刘斌, 杨坚, 赵宇. 基于在线负载预测的动态集群节能配置策略. 计算机工程, 2010, 36(24): 96-98.
- 10 Younge AJ, Gvon Laszewski, Wang L, et al. Efficient Resource Management for Cloud Computing Environments

(下转第 69 页)

通过实验测试,验证了本梯形图编辑软件设计的正确性与可用性。

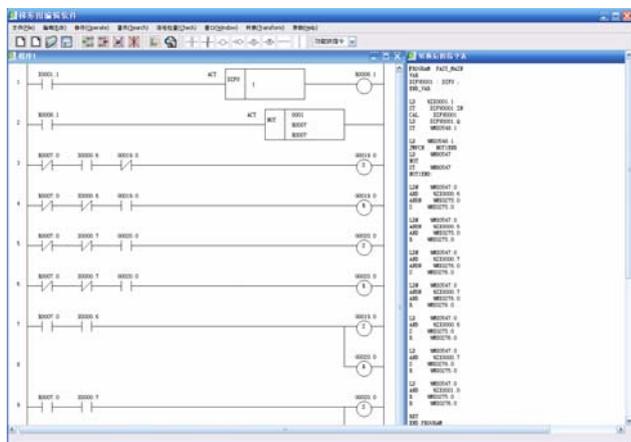


图 8 梯形图程序(图 5)及转换后的指令表程序

5 结语

基于 Qt 开发工具,设计了一款直观、方便、开放、高效的梯形图编辑软件,具有编辑和转换功能。经过测试,该软件的绘制、编辑操作方便、灵活,并能对梯形图程序进行语法逻辑检查,将其正确地转换为指

令表程序。

参考文献

- 1 王爱玲,张吉堂,吴雁.现代数控原理及控制系统.北京:国防工业出版社,2002.
- 2 刘晓玲,董平.数控技术发展新动向.装备制造技术,2008,(4):116-119.
- 3 John KH, Tiegelkamp M. IEC61131-3. Programming Industrial Automation Systems. Germany: Springer-Verlag Company, 2001.
- 4 蒲志新,熊永超,熊晓红.PLC梯形图语言编辑功能的软件实现.机械,2003,30(3):54-55.
- 5 Blanchette J, Summerfield M. C++ GUI Programming with Qt4. New York: Prentice Hall, 2008:138.
- 6 蔡志明,卢传富,李立夏等.精通 Qt4 编程.北京:电子工业出版社,2009.219-222.
- 7 葛芬,吴宁.基于 AOV 图及二叉树的梯形图及指令表互换算法.南京航空航天大学学报,2006,38(6):754-758.

(上接第 59 页)

- Proceedings of the IEEE International Green Computing Conference (IGCC).Chicago:IEEE,2010:357-364.
- 11 Wang Y, Wang X. Power Optimization with Performance Assurance for Multi-tier Applications in Virtualized Data Centers. 39th International Conference on Parallel Processing Workshops.San Diego: IEEE,2010:1-8.
 - 12 Srikantaiah S, Kansal A, Zhao F. Energy Aware Consolidation for Cloud Computing. HotPower'08, Dec 2008.
 - 13 Dhiman G, Marchetti G, Rosing T. vGreen: a System for Energy Efficient Computing in Virtualized Environments. Proceedings of International Symposium on Low Power Electronics and Design(ISLPED), 2009.
 - 14 Li B, et al. EnaCloud: An Energy-Saving Application Live Placement Approach for Cloud Computing Environments. Proc. IEEE Int. Conf. on Cloud Computing (CLOUD'09), 2009,17-24.
 - 15 Cardoso M, Korupolu M, Singh A, Shares and utilities based power consolidation in virtualized server environments. Proc. Of IFIP/IEEE Integrated Network Management 2009, 2009.
 - 16 Goiri I, et al. Energy-aware Scheduling in Virtualized Datacenters. Proceedings of the 12th IEEE International Conference on Cluster Computing (Cluster 2010), Heraklion, Crete, Greece, September 20-24, 2010.
 - 17 Liu L, Wang H, Liu X, Jin X, He WB, Wang QB, Chen Y. GreenCloud: a new architecture for green data center, Proceedings of the 6th international conference industry session on Autonomic computing and communications industry session, Barcelona, Spain: ACM, 2009,29-38.
 - 18 Dorigo M, Stutzle T. 张军,胡晓敏,罗旭耀等译.蚁群优化.北京:清华大学出版社,2006.