

遗传算法在无源光网络中的应用研究 ——基于 ONU 与 OBD 的位置分配问题

张建萍, 刘希玉

(山东师范大学, 山东 济南 250014)

摘要:介绍了遗传算法在无源光网络(PON)规划中的光分支器(OBD)和光网络单元(ONU)位置分配问题的应用。以建设光学分配网络中总通信费用(路径和)最小为目标,提出了一个更具现实意义的模型,然后采用遗传算法求解,并给出了一个算法求解实例。实验证明文中采用的遗传优化算法可行,并具有较高的搜索效率。

关键词:遗传算法;无源光网络;建模

中图分类号:TP301.6

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2006)11-0204-03

Application Study of Genetic Algorithm on PON: Position Layout Based on ONU and OBD

ZHANG Jian-ping, LIU Xi-yu

(Shandong Normal Univ., Jinan 250014, China)

Abstract: Introduces the application of position layout of ONU and OBD on PON based on genetic algorithms. At first, presented a practical model aiming at the total communication expenses minimumly in building optical networks. Secondly, given a solution of GA. It is proved that the algorithm is available and efficient.

Key words: genetic algorithm; powerless optical network; modeling

0 引言

近年来,随着网络技术,特别是 Internet 网络的飞速发展^[1],由于光纤技术具备大容量、低费用、安全性、惊人的传输能力等优点,为了实现更高的带宽,人们开始通过无源光网络(PON)^[2]以更经济的方式将光纤拉近用户。而在建设光学分配网络中,如何解决 PON 规划中的光分支器(OBD)和光网络单元(ONU)位置分配成为一个重要的问题。在 PON 网络中有 N 个光网络单元,位置为 U_1, U_2, \dots, U_n 和 M 个光分支器,位置为 D_1, D_2, \dots, D_m 。要求将各个 ONU 连到 OBD,再将 OBD 连到光线路终端(OLT)(位置为 T_0)的全部通信费用(路径和)最小。ONU 到 OBD 以及 OBD 到 OLT 的所有连接都是点状和星状结构。约束条件 1: 每个 ONU 恰好连一个 OBD; 约束条件 2: 1 个 OBD 最多只能有 K 个 ONU 和它相连。那么,这个问题就转化为求节省通信费用(最小路径和)的组合优化问题。当 M 和 N 较小时,

不用穷举法得到结果,但是现实生活中 M 和 N 都比较大,计算复杂度与 M 和 N 的级数成正比,用穷举法不大可能。而一些传统的最短路径(SP)搜索算法:宽度优先搜索算法、Dijkstra 算法、Bellman-Ford 算法等,它们在有基础设施的无线网络和有线网络方面在多项式时间内能较好地解决最短路径问题。但在实时通信环境、高动态的拓扑结构以及 QoS 要求的网络结构下,通常需要同时找出一组最短或次最短路径作为方案评价和选择的依据。而 PON 规划中的光分支器和光网络单元位置分配问题就是带多个条件限制的最短路径问题。这是一个通常被称为组合规划中的 NP-Hard 问题,是不能用任何已知多项式算法求解的问题。这个问题不一定存在所有目标函数共同的极大点。为了解决这一类关于满足多约束的问题,引入了大量进化计算的方法如混合进化算法、遗传算法^[3]、神经网络^[4]和启发式进化算法^[5]。

遗传算法^[6]是美国 J. Holland 教授提出的一类随机搜索算法,它模拟生物界中的自然选择和遗传机制,通过群体搜索策略和个体间信息的交换,在解空间中进行最优点的搜索,因为遗传算法不依赖于梯度信息,隐含有并行算法机制,且兼顾搜索效率和搜索结果,所以特别适合解决传统算法难以解决的问题。GA 自提出以来在优化理论、数值分析等领域得到大量有效的应用^[7]。

收稿日期:2006-02-26

基金项目:国家自然科学基金资助项目(6037405);“泰山学者”建设工程专项经费资助;山东省自然科学基金重大项目(Z2004G02);山东省中青年科学家奖励基金资助项目(03BS003)

作者简介:张建萍(1979-),女,山东滨州人,硕士研究生,研究方向为遗传算法、数据挖掘;刘希玉,博士生导师,教授,研究方向为信息管理和信息管理系统(MIS)的研究及开发。

1 模型建立

模型及符号、变量、常量的定义如下:

定义 1: N 为 ONU(光网络单元)的个数;

定义 2: M 为 OBD(光分支器)的个数;

定义 3: K 为每个 OBD 最多允许 ONU 连接的个数;

定义 4: d_{ij} 为 ONU _{i} 到 OBD _{j} 的距离;

定义 5: X_{ij} 为表示 ONU _{i} 是否通过 OBD _{j} 连接到 OLT;

定义 6: D_j 为 OBD _{j} 到 OLT 的距离;

定义 7: $C(t, n)$ 为各个 ONU 通过 OBD 连接到 OLT 的全部通信费用(路径和)。

在定义 5 中,可规定如下:

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{ONU}_i \text{ 通过 OBD}_j \text{ 连接到 OLT} \\ 0 & \text{未连接} \end{cases}$$

使用这种定义,那么无源光网络通信费用问题可转化为求最小值的优化问题。目标函数可表示为:

$$C(t, n) = \min \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (d_{ij} + D_j) * X_{ij} \quad (1)$$

$$\text{s.t.} \quad \begin{cases} \sum_{j=1}^M X_{ij} = 1 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} 0 \leq \sum_{i=1}^N X_{ij} \leq K \end{cases} \quad (3)$$

模式中:式(1)表示在无源光网络规划中光分支器和光网络单元中位置分配中的通信费用最小值,即目标函数;式(2)表示每个 ONU 恰好连接到一个 OBD;式(3)表示 1 个 OBD 最多只能有 K 个 ONU 和它相连。

2 算法描述

算法流程如下:

设置初始值(种群数、遗传代数等);

初始化种群;

计算个体的适应度;

while (未达到终止条件时)

组成新的个体(个体数目取决于复制策略)

从前代种群(选择操作)中生成新的个体

重新组合并且变异(交叉和变异)

计算新个体的适应度

删除种群中的个体为新的个体留出空间,从而产生新的种群

输出结果;

2.1 编码表示

设 PON 网络中有 1 个 OLT、 M 个 OBD(每个 OBD 最多允许 K 个 ONU 连接)和 N 个 ONU。第 t 代群体 $G(t)$ 规模为 S ,交叉概率为 P_c ,变异概率为 P_v 。

本算法采用自然编码,不妨设 $M = 5, N = 10, K = 3$,群体 $G(t)$ 中第 n 个个体的 ONU1 ~ 10 分别为连接到 OBD 的 2,3,5,1,5,5,2,2,3,4, 则该个体的基因序列为 $GENE(t, n) = 2351552234$ 。同时为了保证 OBD 不会过载,

建立 OBD 容量控制表 OBDCControl,记录群体中每个个体中各 OBD 已有的数目,例如在此处 $OBDCControl(t, n) = 13213$ 。

2.2 适应度函数的确定

遗传算法在进行进化搜索时几乎不利用外部的信息,仅以适应度函数为依据,利用个体的适应度函数值来进行搜索,因此适应度函数直接影响到遗传算法的搜索效率以及能否找到全局最优解。关于适应度函数有很多种表示的方法,文中的适应度函数可以定义为: $f(t, n) = 1/C(t, n)$;为了克服选择中出现收敛到局部最优解的情况,文中对适应度函数采用适应度函数变换方法来解决,原适应度函数为 f ,变换后为 f' ,则线性变换可用下式表示:

$$f' = f / \text{TOTAL}f * c$$

其中: $\text{TOTAL}f = \sum_{i=1}^G f$, G 表示群体的规模,即群体中个体的数目, c 是一个整数。

2.3 选择操作

选择(复制)是指依据群体中每个个体的适应度值 f 的大小来决定繁殖的机会, f 大的个体繁殖机会高, f 小的个体繁殖机会低或被淘汰。因此选择操作一般有两个步骤:计算适应度的值;把适应度的值按由大到小的顺序排列。当然,个体的选择概率与适应度值成一定的比例,适应度大的个体,被选择的概率就高,反之,则低。为了避免出现极少数适应度相当高的个体,容易过早产生早熟现象,难以找到全局最优解,因此,用上式中的适应度函数的变换的方法就可以很好地解决。

2.4 交叉操作

交叉操作^[8]是指按一定的交叉概率 P_c 从父代群体中随机选择两个个体,通过改变两个个体的结构,来生成新的个体。在文中,可以这样描述:通过以一定概率从父代群体中随机选择两条染色体,同时随机选定两条染色体的同一基因位作为断点,交换双亲断点的右端,生成新的子代个体。在选择断点时,应保证:交叉后的染色体要保证在可行解的范围内,即满足 OBD 不会过载的约束条件。在此,文中选择在双亲的同一基因位进行交叉操作的方法,这样做的目的是保证交叉后的两条染色体的长度不会改变,同时也尽可能把所表示的问题的解限定在可行解的范围,避免产生脏码。例如下面的两个父染色体,若随机选择断点在 4 号基因位,则交叉过程如下:

GENE(t, n) 1 = 2351552234

GENE(t, n) 2 = 5142153352

交叉后的结果:

GENE(t, n) 1' = 2351153352

GENE(t, n) 2' = 5142552234

则交叉成功!

若随机断点选择在 5 号基因位,则交叉后的结果为:

GENE(t, n) 1'' = 2351553352

GENE(t, n) 2'' = 5142152234

在 $GENE(t, n)1'' = 2351553352$ 中, $OBDControl(t, n) = 12304$, 因此群体中第五个个体中 $OBDC$ 已有的数目为 $4 > 3$, $OBDC$ 就会过载, 违反约束, 不在可行解范围内, 即不满足约束条件 2, 因此, 交叉后的结果一定要满足模型的约束条件, 否则, 换位交叉或者另选一对双亲进行交叉。

2.5 变异操作

变异操作是一种基本的操作, 它是通过赋予每一个基因一个相对较小的变异概率 P_v 来完成的。在染色体中随机选择一个基因为变异点, 当然在随机选择变异点时也应保证变化后的染色体所表示的问题的解, 仍属于问题的可行解即仍满足问题的约束条件。文中变异操作的处理过程如下: 从染色体中随机选择一个基因为变异点 M_i , 变异点之前的基因保持不变, 变异点之后的基因从连接的基因随机选择, 直到满足约束条件为止。例如上例中的 $GENE(t, n)$ 染色体, $GENE(t, n) = 2351552234$, 如果对第五个基因进行随机变异如下:

$$GENE(t, n) = 2351552234$$

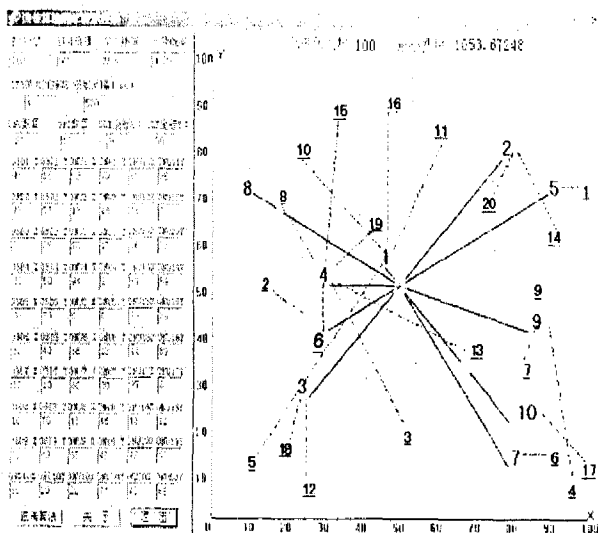
变异后的结果:

$$GENE(t, n)' = 2351252234$$

则: $OBDControl(t, n) = 14212$, 因此群体中第二个个体中 $OBDC$ 已有的数目为 $4 > 3$, 那么 $OBDC$ 就会过载, 违反约束, 不在可行解范围内。

3 实验研究及结论

上述算法思想用 VC++ 6.0 来实现^[9]。在程序实现时, 选定交叉概率为 0.6, 变异概率为 0.05, $OBDC$ 的最大连接数为 $K = 4$, ONU 数目为 $N = 20$, $OBDC$ 数目为 $M = 10$, 群体规模 $G = 50$ 。通过反复改变遗传代数来决定终止的条件。图 1 是程序运行的界面。



注: 五角星代表 OLT, 未加下划线数字代表 $OBDC$, 加下划线数字代表 ONU , 黑色粗线代表 $OBDC-ONU$ 连线, 虚线代表 $ONU-OBDC$ 连线。

图 1 程序运行界面图

变换后的种群的平均适应值与运行代数的关系见图 2。图 2 表示用遗传算法求解时, 变换后的种群平均适应度

与运行代数关系, 开始时平均适应度值迅速增大, 并在 100 代基本达到极优, 之后种群已基本变为齐次种群。

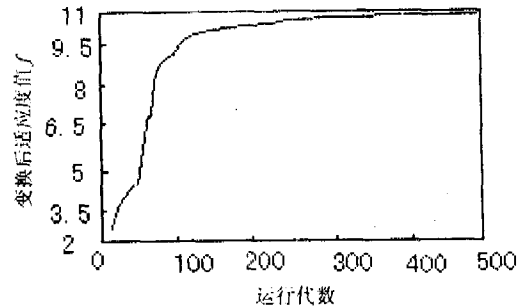


图 2 运行代数与种群平均适应度的关系

表 1 列出了本算法进行到不同代数的该代群体中的最小费用值即最短路径和, 可以看出从第一代到 100 代搜索效果明显, 最小费用从 1503 减小到 1053, 从 101 代到 1000 代时, 只从 1053 减小到 981, 从 1001 代到 2000 代时, 只从 981 减小到 979, 可以认为这时的 979 趋近于最优解了。很多实际情况下, 但连接终端比较多时, 不可能进行穷举, 但最小费用降低到可以接受的值时, 可以停止算法, 以这个极小值作为最后求得的解。遗传代数及该代中最小费用值如表 1 所示。

表 1 遗传代数及该代中最小费用值

遗传代数	该代群体中最小费用值
1	1503.39596
10	1270.67221
100	1053.67248
1000	981.41626
2000	979.12926

4 结论

文中主要研究了用遗传算法解决无源光网络(PON)规划中的光分支器(OBDC)和光网络单元(ONU)位置分配问题, 即网络连接中的最短路径和(即最小费用值)问题。在实际的应用中, 连接终端比较多, 用穷举法是不现实的, 试验的结果证明了文中使用的算法快速有效、可靠性高。

参考文献:

[1] 孙宝林, 李腊元. 基于遗传算法的最短路径路由优化算法[J]. 计算机工程 2005, 31(3): 142-144.
 [2] Greenfield D. The Essential Guide to Optical Networks[M]. 郑文箫, 译. 北京: 清华大学出版社, 2003.
 [3] Eiben A E, Raue P E, Ruttkay Z. Solving Constraint Satisfaction Problems Using Genetic Algorithms [C]//Evolutionary Computation, IEEE World Congress on Computational Intelligence, Proceedings of the First IEEE Conference. Munich University of Munich, 1994: 542-547.
 [4] Wang C J, Tsang E P K. Solving Constraint Satisfaction Problems Using Neural Networks[J]. IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1991, 28(3): 295-299.

求。运行结果可以直接在此仿真系统中得到。

1.4 Intel 8259“级联中断”的仿真原理

8259A 可以方便地构成一个主 8259A 最多带 8 个从

8259A 的系统,可控制 64 个优先级。在级联配置方式下,主片是通过级联总线 $CAS_0 \sim CAS_2$ 来控制从片的,相当于从片的片选信号。从片的输出 INT 连接到从片的中断请求输入端上。当某一从片 8259A 有中断请求输入并得到响应时,主 8259A 就允许该从片在 INTA 期间发出设备中断服务程序的入口地址(中断向量)。

1.5 Intel 8259“级联中断”仿真电路的构建

根据 8259 的级联中断方式,设计两个 Intel 8259 芯片,一个为主片 Intel 8259,一个为从片 Intel 8259。通过主片的 $CAS_0 \sim CAS_2$ 来控制从片,作为从片的选通信号。假设从片 8259 的中断输入端 IR_0 有高电平,则从片的输出 INT 连接到主片 8259 的 IR_3 的中断请求输入端,并由主片 8259 将中断信号发给 CPU,最后响应从片的 IR_0 中断。在此子系统中,从片 8259 的 IR_0 中断响应使得相应的发光二极管闪烁。

Intel 8259 级联中断是建立在 Intel 8259 单级中断基础之上的,组成机构类似于单级中断,不同的是级联中断是由两个 Intel 8259 组成,即一个为主 Intel 8259 子系统和一个为从 Intel 8259 子系统;在级联中断中加入了 CPU 子系统。主 Intel 8259 子系统是由 $IR_0 \sim IR_7$ (Simulink -> Sources -> In1) 与 $D_0 \sim D_7$ (Simulink -> Sinks -> Out1) 的直接相连,输出至 CPU; 通过常数模块 (Simulink -> Sources -> Constant) 设置 $CAS_0 \sim CAS_2$ (Simulink -> Sinks -> Out1) 的值,输出至从 Intel 8259 子系统。从 Intel 8259 子系统相应 IR_0 中断,即将 IR_0 的值设为高电平,其余的值设置为低电平。因此从 Intel 8259 子系统不需要调用选择情况子系统,只需要通过延时模块 (Simulink -> Continuous -> Transport Delay) 设置延时时间和初始值及自定义函数 (Simulink -> User -> Defined Functions -> Fcn) 实现。

1.6 Intel 8259“级联中断”的仿真结果

运行此系统,可以观察到从片 Intel 8259 的中断请求

线 IR_0 为高电平输出,所对应的二极管得到中断响应。当响应中断时,中断请求对应的二极管发亮,如图 2 所示。当结束响应时,对应的二极管熄灭。

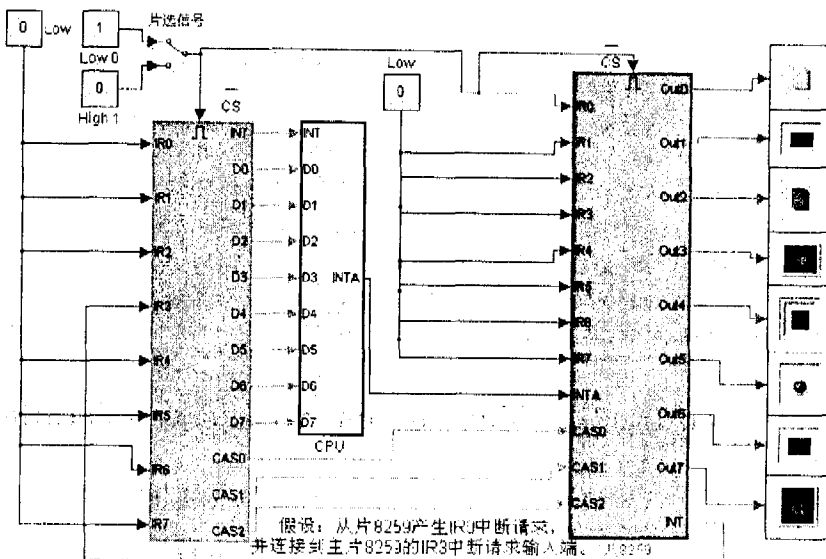


图 2 响应 IR_0 中断的效果

2 结束语

用 Simulink 实现可编程接口仿真系统模型的过程简单、直接,不需要复杂的编程或函数调用,只需要了解每个芯片的工作原理和工作方式,然后使用 Simulink 库中的功能模块就可建立仿真模型,并能够达到较好的仿真效果。

参考文献:

- [1] Znamirovski L, Palusinski O A, Vrudhula S B K. Programmable Analog/Digital Arrays in Control and Simulation[J]. Analog Integrated Circuits and Signal Processing, 2004, 39 (4):55-73.
- [2] 陶玲,叶继华,聂承启.可编程接口芯片的仿真[J].科技广场,2005,16(12):60-63.
- [3] 邢超,李言俊,张科.基于 MATLAB/Simulink 的实时控制实验环境[J].计算机应用与软件,2004,21(3):46-47.
- [4] 张建灵,安锦文,玉米娜.基于 Simulink 和 C/C++ 混合编程的模糊控制系统仿真[J].系统仿真学报,2004,16(12):2774-2776.
- [5] 胡琳静,孙政顺. SIMULINK 中自定义模块的创建与封装[J].系统仿真学报,2004,16(3):488-491.

(上接第 206 页)

- [5] Craenen B G W, Eiben A E, Marchiori E. Solving Constraint Satisfaction Problems with Heuristic-based Evolutionary Algorithms[J]. IEEE Transactions on Systems Man And Cybernetics, 2000, 2:1571-1577.
- [6] 李敏强,寇纪淞.遗传算法的基本理论与应用[M].北京:科学出版社,2003.

- [7] BUCKLES B P, PETRY F E. Genetic Algorithms[M]. Los-Alamitos, Calif: IEEE Computer Society Press, 1992.
- [8] 童刚.遗传算法在公交调度中的应用研究[J].计算机工程,2005,31:29-31.
- [9] 四维科技,赵辉. Visual C++ 系统开发实例精粹[M].北京:人民邮电出版社,2005.