

一种新的 ASON 恢复容量优化算法

徐 俊 常会友 衣 杨

(中山大学信息科学与技术学院 广州 510275)

摘 要 针对 ASON 网络恢复容量问题,建立了相应的数学模型并提出了一种基于粒子群的恢复容量优化算法。与线性规划寻优方法相比,该算法的可行解搜索空间及计算量大大降低,为算法在工程上的实现提供了可行性。该算法可处理不同故障情况下的多种最佳恢复路由的选取问题,能有效地解决链路波长信道恢复容量的“碎片”问题。仿真实验验证了该算法具有较强的实用性。

关键词 ASON, 格状网, 网络生存性, 恢复容量, 粒子群算法

中图分类号 TP319 **文献标识码** A

Novel Algorithm to Optimize the Capacity of the Restoration of ASON

XU Jun CHANG Hui-you YI Yang

(School of Information Science and Technology, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China)

Abstract In order to solve the NP-completely nonlinear programming of ASON restoration capacity assignment, the corresponding mathematical model was established and a new optimization method based on particle swarm optimization algorithm was presented in this paper. Compared with liner programming optimization method, this algorithm reduces the calculation work significantly, which facilitates the application of algorithm on projects. The algorithm can handle a variety of the best restoration routing of selected issues in the different failure cases and effectively address the “debris” problem of restoration capacity. The simulation experiments show that the algorithm is highly practical.

Keywords ASON, Mesh network, Network survivability, Restoration capacity, Particle swarm optimization

1 引言

ASON 控制平面智能性的一个重要体现就是具备快速的故障恢复能力,能够提供多种生存性方式。ASON 中,恢复就是指在工作业务发生故障的情况下,不是专门为其留有保护通路,而是按照一定的优化算法(通常为 RWA 算法),依据网络现在的空余资源为其选择一条合适的替代路由。恢复算法中,通常将路由问题和波长分配问题分开考虑,先为待恢复的业务寻找一条替代路由,以然后为故障业务分配波长。

恢复容量求解问题是一个 NP 完全的非线性组合优化问题^[1],实现在全局配置下动态灵活地组合所有受损业务节点对之间的路由,及各条光纤链路的波长信道恢复容量,使得网络恢复的造价达到或接近最低。S. Ramamurthy 利用线性规划算法对该问题进行求解^[2-4],但由于计算量太大而使得求解过程变得十分复杂。还有利用遗传算法求解恢复路由优化问题^[5],但仅考虑单个受损业务的恢复路由选择问题,却没有实现在全局配置下动态灵活地组合所有受损业务节点对之间的路由,使得整个网络恢复的造价达到或接近最低。

本文提出了一种全新的计算方法,亦即使用改进的粒子群算法来求解恢复容量问题。为了克服粒子群算法容易陷入

局部最优解的问题,引入了遗传算法中变异操作因子的思想,对粒子群算法进行了改进,以更好地满足恢复容量问题的求解。

2 ASON 网路由恢复问题的建模

(1)初始参数:网络拓扑结构的数学描述;正常网络状态下的负载需求以及与之相应的工作路由和恢复路由。

为了准确描述网状 ASON 网络路由恢复问题的数学模型,给出下列符号定义。

Δ : 光纤支持的最大复用波长数目。

E : 网络中所有光纤链路集合。

N : 网络中所有光纤节点集合。

Π : 网络正常状态下的工作路由集合,且 $|\Pi| = M$ 。

A_j : 受故障链路 j 影响的工作路由集合,显然关系 $A_j \subset \Pi$ 成立。

$C_{j,\lambda}$: 表示链路 $j(j=1,2,3,\dots,E)$ 的波长信道造价。

P_m : 工作路由 $m(m \in \Pi)$ 的恢复路由集合。

$\delta_{p,j}$: 如果恢复路由 p 经过链路 i 且占用波长 j ,则该符号取值为 1,否则取值为 0。

$W_{m,\lambda}$: 工作路由 m 对波长的需求数量。

到稿日期:2008-12-04 返修日期:2009-02-25 本文受基于人工生命计算的计算协同关键问题研究(60573159)资助。

徐 俊(1982-),男,博士研究生,主要研究方向为智能优化算法、ASON 网、工作流等, E-mail: xujun438@163.com; 常会友(1962-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为 ERP、敏捷供应链、工作流等; 衣 杨(1967-),女,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向为系统优化与建模、智能优化及软计算。

$D_{m,\lambda}$:工作路由 m 要求恢复路由 p 提供的波长信道数量。

$S_{l,\lambda}$:链路 l 需提供的波长数。

(2)约束条件:新配波长应能完整承载受损业务;新配路由必须是从源节点到宿节点的无环回路。

约束条件数学描述:

1) 当链路 j 发生故障时,每条受影响的路由必须得到完全恢复,恢复路由必须能够满足受损工作路由上的所有波长需求,即

$$\sum_{p \in P_m} D_{m,\lambda} = W_{m,\lambda} \quad (\forall j=1,2,\dots,E; \forall m \in A_j) \quad (1)$$

2) 恢复路由必须是从源节点到宿节点的无环回路,即该恢复路由不会两次经过一个节点。

(3)目标函数:

$$O_p = \text{Min} \left\{ \sum_{j=1}^E \sum_{\lambda=1}^{\Lambda} C_{j,\lambda} S_{j,\lambda} \right\} \quad (2)$$

3 恢复容量分配问题优化算法

(1)粒子群算法编码:采用十进制整数编码。每一粒子代表一种可行的恢复路由分配方案。每一粒子有 $\Lambda \times \sum_{m \in A_j} P_m$ 个维数(此式表示当链路 j 发生故障时,所有受影响的工作通道的恢复通道数总和乘以最大复用波长数目)。粒子每一维是 0 到 $\text{Max}\{W_{m,\lambda}\}$ 之间的十进制数,表示每条恢复通道提供给工作通道的波长信道数量。

表 1 表示第一条恢复通道提供给相应的工作通道各个波长 $\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4\}$ 上的信道数量为 $\{3, 1, 1, 0\}$,第二条恢复通道提供给相应的工作通道各个波长 $\{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4\}$ 上的信道数量为 $\{2, 1, 0, 2\}$,由此类推。

表 1 工作通道各波长的信道数量

λ_1	λ_2	λ_3	λ_4	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4
3	1	1	0	2	1	0	2

(2)粒子群算法主要参数

(a)粒子数(POPSIZE):一般取 20~40。其实对于大部分的问题,10 个粒子已经足够可以取得好的结果。不过,对于比较难的问题或者特定类别的问题,粒子数可以取到 100 或 200。可以通过仿真的结果而定。

(b)粒子的长度(DIMENSION):由给定的工作通道的业务需求通过网络拓扑图计算出的恢复通道条数决定。

(c)粒子的范围(DemandNum):由工作路由 m 对某个波长的最大需求数量决定。

(3)粒子群算法流程

根据以上所建的编码和主要参数的描述,设计粒子群算法的流程如图 1 所示。

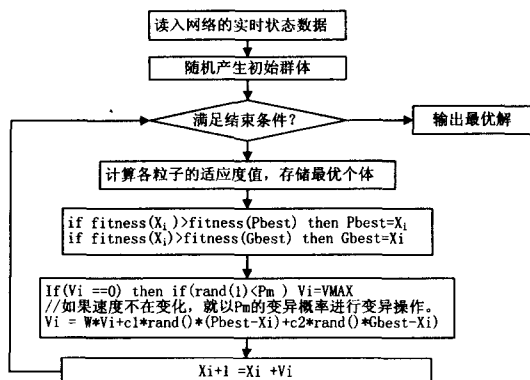


图 1 粒子群算法流程图

4 实验结果

本文实验环境为 HP PC 机,CPU 为 P42.4GHz,内存为 512MB,操作系统为 Windows XP,编程环境为 Eclipse。利用 JAVA 语言实现上述粒子群算法仿真程序,其中的网络拓扑使用二维数组描述,业务的工作路由由 Dijkstra 算法确定,而恢复路由则根据遗传算法^[5]确定。

网络拓扑结构是一个 12 节点、19 条光纤链路的全双工 ASON 通信,如图 2 所示。图中括号内的数字代表链路编号,括号外的数字表示波长信道。

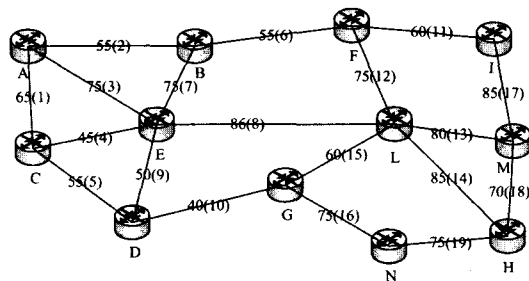


图 2 ASON 网络拓扑图

表 2 完整地给出了图 2 所示的 ASON 网络由于链路 8 故障而受损的工作路由的波长需求以及对应的恢复路由。

表 2 受损工作路由由恢复表及波长需求

受损工作路由 m	恢复路由集合 P_m
EL(2,1,0,1)	EBFL, EDGL, ECDGL
AEL(3,2,1,0)	ABFL, AEDGL, ACDGL
CEL(2,0,1,0)	CDGL, CEDGL, CAEDGL
DEL(1,2,2,3)	DGL, DEBFL, DCEBFL
ELM(0,1,1,0)	EBFIM, EBFLM, EDGLM
ELH(0,1,2,3)	EDGNH, EBFLH, EDGLH
...	...
...	...

从图 2 所示的网络拓扑结构和表 2 所列的工作路由及波长需求可以确定符号 $E, \Pi, A_j, C_{j,\lambda}, R_m, \mathcal{R}_j, D_{m,\lambda}$ 的初始值。在仿真实验中,为了克服粒子群算法容易陷入局部最优解的特点,引入了遗传算法中的变异操作,然后设置群体大小 POPSIZE=30、迭代次数 GEN=100,得到不同变异概率的仿真实验结果。

从表 3 中得出的最优解为 $Op^* = 16248$,而与之对应的 $C_{m,\lambda}$ 和 $S_{l,\lambda}$ 分别如表 4 和表 5 所列。

表 3 不同变异概率的优化结果

变异概率	0.001	0.003	0.005	0.007	0.01
Op^*	16272	16269	16257	16251	16248
变异操作次数	369	534	927	941	975

表 4 最优解 $C_{m,\lambda}$ 的数值

工作路由	恢复路由	恢复路由由波长容量需求			
		λ_1	λ_2	λ_3	λ_4
EL	EBFL	1	1	0	0
EL	EDGL	1	0	0	1
AEL	ABFL	2	1	1	0
AEL	AEDGL	1	1	0	0
CEL	CDGL	1	0	1	0
CEL	CEDGL	1	0	0	0
DEL	DGL	1	2	2	3
ELM	EBFIM	0	1	0	0
ELM	EBFLM	0	0	1	0

(下转第 234 页)

3	(60, -350, 150)	(59.014, -350.39, 149.754)	1.08833	(60.031, -350.007, 150.085)	0.130
4	(80, -300, 175)	(64.994, -300.082, 174.771)	15.0077	(79.952, -299.984, 174.952)	0.180
5	(100, -250, 200)	(64.997, -250.256, 199.833)	35.0039	(100.041, -250.024, 200.081)	0.133
6	(120, -200, 225)	(63.740, -199.728, 236.183)	57.3616	(120.032, -200.071, 224.957)	0.093
7	(140, -150, 250)	(64.999, -150.002, 250.056)	75.0001	(140.067, -150.035, 249.960)	0.217
8	(160, -100, 275)	(64.707, -105.369, 282.244)	95.7185	(159.982, -99.990, 275.037)	0.086
9	(180, -50, 300)	(64.759, -52.9903, 309.497)	115.671	(179.991, -49.983, 300.030)	0.060
10	(200, 0, 325)	(64.999, 0.120281, 324.949)	135.0	(19.973, -450.028, 100.038)	0.074

结束语 因为多关节机械臂的路径规划是一个多目标规划问题,所以它很难找到单一的优化解。而我们提出的 SA-PSO 算法不但利用了 SA 的快速搜索能力,而且能搜索较大的解空间。仿真试验表明,SA-PSO 相较于 A* 算法,能获得更高的精度。

参考文献

- [1] Geering H P, Guzzella L, Hepner S A R, et al. Time optimal motions of robots in assembly tasks[J]. IEEE Trans on Automatic Control, 1986, 31(6): 512-518
- [2] Dissanayake M W M, Goh C J, Phentien N. Time optimal trajectories for robotic manipulators[J]. Robotica, 1991, 9(2): 131-138

(上接第 229 页)

ELH	EDGNH	0	1	1	2
ELH	EDGLH	0	0	1	1
...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...

表 5 最优解 $Op^* = 16248$ 的波长需求 $S_{i,\lambda}$

链路编号	链路波长恢复容量需求			
	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4
1	8	3	5	5
2	5	6	6	7
3	4	6	7	5
4	4	8	5	10
5	9	8	4	7
6	11	10	4	5
7	3	7	9	7
8	6	8	9	11
9	7	5	3	9
10	9	3	5	7
...	...	...	...	...

基于图 2 所示的网络拓扑结构图,比较了整数线性规划、粒子群算法在通过受损链路的业务量分别为 15, 30, 45 时获得的最优解所耗费的时间,如表 6 所列。

表 6 不同算法获最优解所耗费的时间

业务请求通道数	执行时间(分)	
	POS	PATH ILP
15	0.0318	4.54
30	0.0532	175
45	0.0934	7451

从表 5 可明显看出粒子群算法的计算时间最少,同时随着业务量的增加,整数线性规划的计算机时间增长速度明显加快。

- [4] Saramago S F P, Junior V S. Optimal trajectory planning of robot manipulators in the presence of moving obstacles[J]. Mechanism and Machine Theory, 2000, 35(8): 1079-1094
- [5] Lee Young Dae, Lee Beom Hee, Kim Han Gyo. An evolutionary approach for time optimal trajectory planning of a robotic manipulator[J]. Information Sciences, 1999, 113(3/4): 245-260
- [6] Clerc M, Kennedy J. The Particle Swarm, Explosion, Stability, and Convergence in a Multi-Dimensional Complex Space. IEEE Trans. on Evolution Computer, 2002, 6(1): 58-73
- [7] Shi Y, Eberhart U C. A modified particle swarm optimizer[C]// Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC 1998). Piscataway, 1998: 69-73
- [8] Jonathan A, Daniel A. A Randomized Polynomial-Time Simplex Algorithm for Linear Programming, Electronic Colloquium on Computational Complexity[R]. No. 156. 2005
- [9] Tian Lianfang, Collins C. An effective robot trajectory planning method using a genetic algorithm[J]. Mechatronics, 2004, 14: 455-470
- [10] Pack D, Toussaint G, Haupt R. Robot trajectory planning using a genetic algorithm[J]. SPIE, 1996, 2824: 171-82
- [11] Nearchou A C. Solving the inverse kinematics problem of redundant robots operating in complex environments via a modified genetic algorithm[J]. Mechanism and Machine Theory, 1998, 33(3): 273-292
- [12] Tortopidis I, Papadopoulos E. On point-to-point motion planning for under actuated space manipulator systems[J]. Robotics and Autonomous Systems, 2007, 55: 122

结束语 本文首先在考虑所有受损业务恢复容量情况下,建立了恢复容量问题的数学模型;其次,在引入粒子群算法的基础上,提出并建立了一种改进的粒子群算法来求解 ASON 网络恢复容量优化问题,并通过仿真实验比较了不同变异概率下所得的最优解,从而确定求解具体网络拓扑结构下恢复容量问题的最优变异概率。本文采用粒子群算法来求解 ASON 网络恢复容量优化问题,它具有算法结构简单、搜索效率高、求解速度快且能够获得高质量的全局近似最优解等优点。仿真实验证明该方法可行性强,性能结果令人满意,具有良好的工程应用前景。

参考文献

- [1] Mohan G, Murthy C S R. Light path restoration in WDM optical networks[J]. IEEE Network, 2000, 14(6): 24-29
- [2] Van Caenegem B, van Parys W, Demeester P. Dimensioning of survivable WDM networks[J]. IEEE JSAC, 1998, 17(7): 1146-1157
- [3] Ramamurthy S, Mukherjee B. Survivable WDM mesh networks: part I Protection [A]// Proc IEEE INFOCOM'99[C]. Piscataway, USA: IEEE, 1999: 744-751
- [4] Ramamurthy S, Mukherjee B. Survivable mesh networks, part II restoration [A]// ICC'99[C]. 1999: 2023-2029
- [5] 霍晓莉,李艳和. 基于遗传算法的 WDM 光传送网恢复优化算法[J]. 电子学报, 2002, 4: 515-518
- [6] Huo Xiao-li, Li Yan-he. Optimization Restoration Algorithm Based on Genetic Algorithm in WDM Optical Transport Network[J]. Acta Electronica Sinica, 2002, 4: 515-518