

基于演化细胞自动机的自适应交通控制研究^{*}

刘 鹏 阚亚斌 聂 鑫
(海军大连舰艇学院 大连 116018)

摘 要 提出了一种改进的二维细胞自动机交通流模型,此种细胞自动机边界固定为0,寻找满足细胞自动机全局状态变为全0的最小迭代次数的规则执行顺序。通过实验得出:通过演化提高了交通控制效率,而且优化效率与车辆密度和横纵车辆比相关,即横纵车辆比越小,优化效率越高,而在车辆密度为 50%左右,优化效率最好。进而得出一个一般的结论:较小和较大的车辆密度下交通调节效果不明显,只有在某种车辆密度下进行正确的调节才能发挥交通调节的最大作用。

关键词 演化算法;细胞自动机;BML模型;智能交通系统
中图分类号 TP301 **DOI:**10. 3969/j. issn. 1672-9722. 2018. 12. 016

Self-adaptive Traffic Signal Control Based on Evolvable Cellular Automata

LIU Peng KAN Yabin NIE Xin
(Dalian Navy Academy, Dalian 116018)

Abstract A new model of tow dimension cellular automata for traffic flow is proposed. The edge of this model is all zero. The problem is to find out the order of the implementation of the rule which makes the cellular automata's states to all 0s. Several experiments are taken and confirmed that the traffic control rate is improved by evolution, and the optimization efficiency is related to the vehicle density and the simulated vehicle ratio, that is, the smaller the horizontal and vertical vehicle ratio, the higher the optimization efficiency, and it will get the most efficiency at the density of the vehicle is fifty percent. And we can get a more general conclusion that only at the special density of vehicle and take right traffic regulation will play a significant role.

Key words evolvable algorithm, cellular automata, BML model, intelligent traffic system
Class Number TP301

1 引言

目前在交通流的研究中有两个主要的研究内容:一个是从宏观的角度上使用图论等方法对交通流进行模拟优化;另一个是从微观的角度上,以交通流中的车辆作为基本研究对象。细胞自动机(Cellular Automata, CA)离散和并行的特征,与微观角度上的交通流非常相似,再由于细胞自动机能够模拟复杂系统的潜能,所以细胞自动机被广泛地应用于交通流的研究中。其中,由 Biham, Middleton 和 Levine 提出的二维交通流理想模型(BML模型)^[2]已成为研究城市路网结构中交通流特性的重要基础。在 BML 模型之上, Nagatani^[3]研究了车辆的非对称分布情况, Fukui 等^[4]则研究了车辆非匀速行

驶的状况。此外,人们还提出了一些其它改进策略,来模拟更为切合实际的交通行为。

演化算法(Evolutionary Algorithms, EA)^[5]近年来已成为工程优化和计算机智能研究的一个热点。文献[6~7]等将演化算法用于对交通流模型的优化,进行城市交通流控制的分析与预测。然而,基于软件的交通流模拟与演化优化方式普遍效率低下,极大地限制了交通流模型的实时应用能力。这主要是因为其对细胞群体的演化采用的是串行处理方式,这样会在演化算法的适应值评价阶段消耗大量的时间。

本文正是从细胞自动机模型的内在并行性角度出发,对基于演化硬件(Evolvable Hardware, EHW)^[8]的交通流模型自适应优化进行了研究。利

^{*} 收稿日期:2018年6月14日,修回日期:2018年7月26日
作者简介:刘鹏,男,助理研究员,研究方向:软件工程与仿真。阚亚斌,男,副研究员,研究方向:作战软件模型。聂鑫,男,高级工程师,研究方向:软件工程与仿真。

用现场可编程门阵列(Field Programmable Gate Array, FPGA)^[9]极大地提高了细胞自动机的演化效率,并在演化硬件平台上,将BML模型表示成自适应、可重构的硬件电路模块,通过软硬件协同演化目标电路的配置串,实现BML模型的在线演化。同时对该模型进行了改进,通过实现交通灯信号依据实时车流状况进行自适应调节,表明了将其用于智能交通控制领域的可行性^[10]。

2 细胞自动机交通流模型

2.1 二维交通流模型

二维交通流模型中最典型的的就是BML模型。BML模型是1992年美国学者Biham, Middleton和Levine提出的一个细胞自动机交通流模型。该模型通过模拟交通灯,控制车辆的移动。如图1所示,标1的格子表示东西向车辆,标2的格子表示南北向车辆,标0的格子表示当前时刻该位置无车辆。

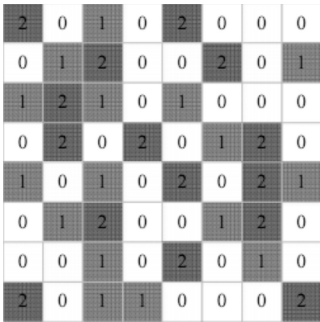


图1 BML模型

BML模型的演化规则是(如图2):奇数时刻,东西方向为绿灯,南北方向为红灯,东西方向的车辆如果前进方向的单元格是空的,则可以向前移动一格;偶数时刻,东西方向为红灯,南北方向为绿灯,南北方向的车辆如果前进方向的单元格是空的,则可以向前移动一格。即奇数时刻东西方向的车辆在其所处的行按一维细胞自动机交通流模型规则移动,偶数时刻南北方向的车辆在其所处的列按一维细胞自动机交通流模型移动。循环边界的BML模型模拟结果表明当车辆密度大于某一临界值时,交通会完全阻塞(如图3)。

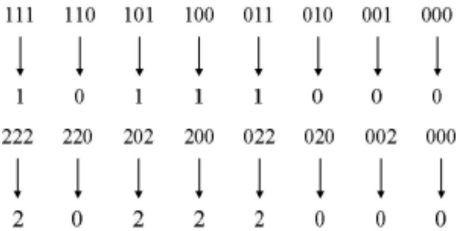


图2 BML模型的演化规则

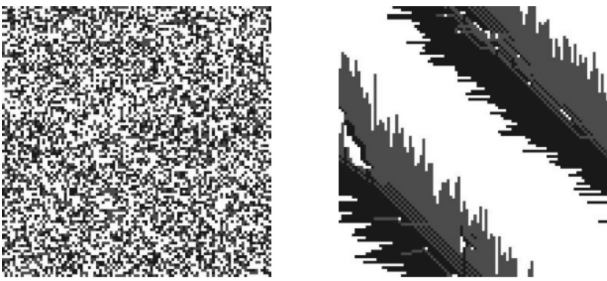


图3 BML模型(100×100,车辆密度50%)

2.2 改进的交通流模型

传统BML模型适合理论研究,根据实际应用情况,对传统BML模型需要做一些应用上的改进。

1)传统的BML模型采用的是循环边界,但是实际生活中某一区域内的车辆不是循环运动的,绝大多数的车辆只是通过该区域,交通堵塞并不是BML模型中的循环等待。所以本文的模型中假设边界固定为0,即假设下一时刻没有车辆加入该区域,而且脱离该区域的车辆都能加速离开,即不对区域内的车辆产生堵塞影响。

2)传统的BML模型都是根据时刻的奇偶性判断执行什么规则,保证了各条道路的通行时间的公平分配,但是假如相交的道路车流量不同,同样的控制时间,车流量大的道路上交通压力更大,车辆的总体堵塞时间也更长,对交通整体效率而言是不利的。应该根据车流量来决定如何控制交通。

基于上述假设,细胞自动机交通流模型的问题就是:在某种全局状态下,采取什么样的控制措施(即红绿等各控制多长时间),能够使得该细胞自动机的全局状态变为全0而经过的时间最短(即细胞自动机的迭代次数最少)。

该问题与细胞自动机密度分类问题很相似,鉴于演化计算在密度分类问题上的良好表现,本文采用演化计算的方法优化该问题。

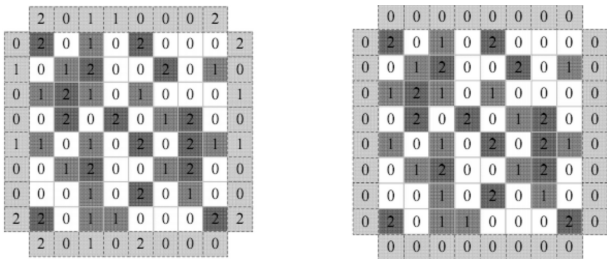


图4 二维细胞自动机交通流模型边界

3 自适应交通控制方法

3.1 演化交通流模型

我们采用遗传算法来优化交通流模型,遗传算

法是模拟达尔文的遗传选择和自然淘汰的生物进化过程的计算模型,是一种通过模拟自然进化过程搜索最优解的方法。算法从任意初始化群体出发,通过选择、交叉和变异操作,在群体中一代一代地进入到搜索空间中越来越好的区域,直至抵达最优解点,其本质是一种求解问题的高效并行搜索方法^[11]。

在遗传算法求解的过程中,适应值计算通常被认为是最耗时的部分,于是我们将这一部分在硬件上实现。配置串种群的生成和遗传操作部分使用软件方式实现。所以,整个算法优化过程使用了软硬件协同演化的设计思想,种群中的每一个染色体,都被下载到硬件上,计算其适应值,然后反馈给软件部分进行遗传操作,直至满足搜索条件,找到最优的染色体。这个染色体就代表了在当前道路车流状况下,最优的红绿灯信号配时策略。

算法实现的步骤如下:

- 1) 随机生成配置串种群。
- 2) 将配置串下载到 FPGA,连同已经做好的 Rule_we 和 Rule_ns 演化规则模块,生成电路。
- 3) 输入细胞种群的初始状态。
- 4) 计算此配置串的适应值,并返回结果。继续评价这一代种群中的下一个个体。
- 5) 当种群中的个体全部评价完毕后,通过一系列的遗传操作,生成新一代配置串种群,然后再执行第 2)步,直至满足遗传代数,找到最优解。

遗传算法的目的是找到最优的红绿灯信号时间配置,使当前状态下的所有车辆能尽快地全部离开。这里,我们不考虑使某一辆车离开该路段的时间长短,而是考虑全体车辆,也就是说,使得细胞格点矩阵的状态全部演化为 0 的时间越短越好,所以定义适应值评价函数 F :

$$S_i^{t+1}=f(S_i^t, S_N^t)=0 \tag{1}$$

式(3)中的 f 为细胞自动机的演化规则, S_N^t 表示 t 时刻 i 细胞的邻居细胞状态,求使得对于所有的 $1 \leq i \leq N \times N$, 上式成立的 t , 即为该配置串的适应值。且取种群中 t 值最小的个体,即为当前最优配置串^[12]。

3.2 算法流程

演化计算的设计:

- 1) 编码方式:以规则执行顺序作为个体,0 表示东西向车辆通行,1 表示南北向车辆通行,采用二进制的编码方式,种群存储与二维矩阵 popu 中,第一维是种群数据,第二维是每个个体占的多少个

- 32 位整数;
- 2) 适应值评价方法:以迭代的次数作为个体的适应值,存储于矩阵 fitness 中;
- 3) 选择策略:采用轮盘赌的方式选择父体;
- 4) 控制参数选取:种群规模:popusize, 杂交概率:pc, 变异概率:pm;
- 5) 遗传算子设计:杂交采用两点杂交,单点变异;
- 6) 终止条件确定:每次演化的最大代数为 maxage, 运行代数 age 超过最大代数后演化终止;
- 7) 种群替换策略:每次保留 keeppsize 个最优个体,每代产生其余 popusize-keeppsize 个个体,合并成为新种群。

演化计算算法步骤:

Step0 将待演化的细胞自动机的初态写入 TF-CCA 中,写入传统规则(即规则为 0x55555555)计算传统控制方法需要的时间,转 Step1;

Step1 初始化种群。随机产生 popusize 个个体,因为要在传统规则的基础上优化,而且其具有一定的合理性,所以在初始化种群中应该包含该个体。初始化 age=0, 转 Step2;

Step2 计算种群适应值,转 Step3;

Step3 种群排序(按适应值降序),转 Step4;

Step4 age 是否大于 maxage? 是,转 Step6; 否,设置临时种群的个体数 tpsize=0, 转 Step5;

Step5 产生下一代。

Step5.1 tpsize>=popusize-keeppsize? 是, 转 Step5.5; 否, 转 step5.2;

Step5.2 随机产生一个 0 到 1 之间的数 r , 如果 $r < pc$, 执行杂交操作,

转 Step5.3; 如果 $r > 1-pm$, 执行变异操作, 转 Step5.4;

Step5.3 按轮盘赌方式选择两不同的父体,随机产生的两个数(0~indvsize-1)决定杂交位置,对这两者之间的编码互换,将两个新个体插入到临时种群中, tpszie=tpsize+2, 转 Step5.1;

Step5.4 按轮盘赌的方式选择一个父体,随机产生一个数(0~indvsize-1)作为变异位置,将变异后得到的个体插入临时种群中, tpsize=tpsize+1, 转 Step5.1;

Step5.5 将临时种群中的个体替换原种群中 keeppsize 个之后的个体,计算这些新个体的适应值, age=age+1, 转 Step3;

Step6 结束,将种群 popu 中第一个个体输出。

4 实验与分析

4.1 实验设计

演化计算基本参数设置:

演化计算的种群规模为 50,杂交概率为 0.7,变异概率为 0.2,每代保留上代 10 最优个体,最大代数 200。因为实验的目的是与传统执行顺序比较,所以优秀的个体应该执行时间不会大于传统规则的执行时间,所以实验中演化计算个体的编码长度(indvsize)选择和传统规则执行相同时间的长度(在演化计算的Step0步已经获得该值)。超过该值的部分没有任何作用,发生在该部分内杂交和变异中对结果不产生影响,如果产生影响,那说明该个体的执行时间比执行传统规则所需的时间更多,为避免浪费评价时间,当个体执行时间超过传统规则执行时间时,立即结束评价。

实验设计:

分析车辆不同密度(0.1,0.3,0.5,0.7,0.9,1)和不同横纵车辆比(1:1,1:2,1:3)情况下,演化计算对交通流细胞自动机演化硬件的优化效率。每种车辆密度和横纵车辆比下,随机产生 100 个细胞自动机的初态进行测试。

4.2 结果与分析

实验结果如表 1。

表 1 实验结果表

车辆密度	横纵车辆比	最大值		最小值		平均值		优化比例
		传统	演化	传统	演化	传统	演化	
0.1	1:1	48	43	38	32	41.62	39.22	5.77%
	1:2	48	42	35	31	41.24	38.67	6.23%
	1:3	45	43	37	32	40.97	38.09	7.03%
0.3	1:1	60	54	44	41	50.66	47.11	7.01%
	1:2	63	52	43	41	50.16	45.97	8.35%
	1:3	67	54	41	38	49.69	45.19	9.06%
0.5	1:1	90	77	57	54	70.16	62.88	10.83%
	1:2	87	76	55	51	68.60	60.10	12.39%
	1:3	89	70	53	48	65.64	57.34	12.64%
0.7	1:1	118	114	71	70	96.67	88.32	8.64%
	1:2	116	106	69	67	91.61	81.28	11.28%
	1:3	109	91	69	61	86.40	74.76	13.47%
0.9	1:1	152	139	106	103	126.08	117.01	7.19%
	1:2	142	121	99	93	115.49	105.82	8.37%
	1:3	125	112	93	81	106.96	95.85	10.39%
1	1:1	158	150	123	113	138.94	130.62	5.99%
	1:2	161	143	113	104	125.61	115.91	7.72%
	1:3	135	120	103	93	117.31	106.10	9.56%

从表 1 中可以看出,在同等的车辆密度情况

下,车辆分布越不平衡,演化效果越明显。这是因为传统的 0,1 规则交替执行顺序是给两个方向的车辆分配同样的通行时间,这样的时间分配给车流量大的道路压力较大,而车流量小的道路浪费了通行时间,从而导致交通整体效率下降,而演化出的规则执行顺序则能给车流量大的方向安排更多的执行时间,从而使整体优化。

车辆密度从 0.1 增长到 0.5 的过程中,同等横纵车辆比下,车辆密度越大,演化效果越明显。这是因为车流量很小的情况下,车辆堵塞情况少,按不同的执行次序对车流辆影响不大。

车辆密度从 0.7 增长到 1 的过程中,在同等横纵车辆比下,车辆密度越大,演化效果越差。这是因为车流辆很大时,堵塞情况非常严重,按不同的执行顺序并不能有效减少车辆的堵塞。

图 5 是三种横纵车辆比下演化计算在各种车辆密度下的优化程度比较。从图 5 中可以看出,演化计算优化的效果在车辆密度为 0.5 左右达到峰值,而这也是在循环边界中堵塞的临界密度。

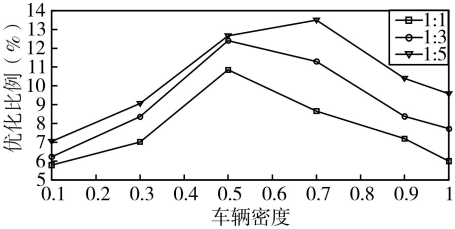


图 5 优化比例分布

演化计算作为一种通用的算法,它的搜索能力很强,其它算法即使能进行更大程度的优化但是优化程度的走势与演化计算是相同的。根据以上的实验结果和分析我们可以推广出一个一般的结论:车流量小的时候,堵塞情况非常少,交通调节不明显,当车流量非常大的时候,堵塞情况非常严重,交通调节效果也不明显。在车流量为某个值附近进行正确的交通调节才可以发挥交通调节的最大作用。

5 结语

本文提出了一种在实际生活中有现实指导意义的改进的 BML 模型。将 BML 模型通过演化计算演化该细胞自动机,寻找最好的交通控制规则。实验结果表明,演化计算确实对交通控制起到了优化的作用,而且优化效果呈现出一定的规律性。通过分析还可以得出一个一般的结论:车流量小的时候,堵塞情况非常少,交通调节不明显,当车流量非常大的时候,堵塞情况非常严重,交通调节效果也

不明显。在车流量为某个值附近进行正确的交通调节才可以发挥交通调节的最大作用。本章的设计系统在设计验证方面起到了作用,证明了基于细胞自动机演化硬件的交通控制系统可以有效地提高交通控制能力,在系统的实际应用中,还需要提供车流量采集等设备才能完整地形成一个实用的系统。

参 考 文 献

[1] Greenwood G.W., Tyrrell A.M. Introduction to evolvable hardware: a practical guide for designing self-adaptive systems[M]. Wiley-IEEE Press, 2006.

[2] Jim Torresen. An Evolvable Hardware Tutorial[C]//Proceedings of 14th International Conference on Field Programmable Logic and Applications (FPL' 2004), August 2004.

[3] Upegui A., Sanchez E. Evolving Hardware by Dynamically Reconfiguring Xilinx FPGAs[C]//ICES ' 2005. LNCS, vol. 3637, pp. 56-65. Springer, Heidelberg, 2005.

[4] Hollingworth G., Smith S. Tyrrell A. Safe Intrinsic Evolution of Virtex Devices[C]//The Second NASA/DoD Workshop on Evolvable Hardware, 2000, 195-202.

[5] Kyrre Glette, Jim Torresen. A Flexible On-Chip Evolution System Implemented on a Xilinx Virtex-II Pro Device [C]//Proceedings of Sixth International Conference on Evolvable Hardware (ICES'05), September 2005.

[6] Pedroni V. A. VHDL 数字电路设计教程[M]. 乔庐峰, 等译. 北京:电子工业出版社,2005.

[7] J. Wang Q.S. Chen, Design and implementation of a virtu-

al reconfigurable architecture for different applications of intrinsic evolvable hardware [J]. IET Comput. Digit. Tech., 2008, 2(5):386-400.

[8] Jixiang Zhu, Yuanxiang Li, Guoliang He, et al., An Intrinsic Evolvable Hardware Based on Multiplexer Module Array[C]//ICES '2007. LNCS, vol. 4684, pp. 35-44.

[9] Martinek T., Sekanina L., An evolvable image filter: experimental evaluation of a complete hardware implementation in FPGA [C]//Proceedings of Sixth International Conference on Evolvable Hardware (ICES'05), 2005:76-85.

[10] 王帅飞. 基于元胞自动机的复杂系统演化与涌现机理研究[D]. 成都:电子科技大学,2017.

WANG Shuaifei. Study on Complex System Evolvment and Emergence model Based on Cellular Automata Model [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China, 2017.

[11] 祝树金,赖明勇,聂普焱. 基于元胞自动机的技术扩散和吸收能力问题研究[J]. 系统工程理论与实践, 2006, 26(8):63-68.

ZHU Shujin, LAI Mingyong, NIE Puyan. Study on Technology Spillovers and Absorptive Capability Based on Cellular Automata Model[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2006, 26(8):63-68.

[12] 杜宁睿,邓冰. 细胞自动机及其在模拟城市时空演化过程中的应用[J]. 武汉大学学报(工学版), 2001, 34(6):8-11.

DU Ningrui, DENG Bing. Cellular Automata and their application to modeling Spatial-temporal proceded of urban development[J]. Engineering Journal of Wuhan University(engineering edition), 2001, 34(6):8-11.

(上接第 2429 页)

Range-free localization algorithm based on proximity for wireless sensor networks [J]. Acta Electronica Sinica, 2014, 42(9):1712-1717.

[11] 王焱,单欣欣,姜伟. 无线传感网络中移动节点定位技术研究[J]. 传感技术学报, 2011, 24(9):1326-1330.

WANG Yan, SHAN Xinxin, JIANG Wei. The mobile nodes location technology in wireless sensor network[J]. Chinese Journal of Sensors & Actuators, 2011, 24(9): 1326-1330.

[12] 程伟,史浩山,王庆文. 基于差分修正的传感器网络加权质心定位算法[J]. 系统仿真学报, 2012, 24(2): 389-393.

CHENG Wei, SHI Haoshan, WANG Qingwen. Weighted centroid localization algorithm based on difference

correction for sensor networks[J]. Journal of System Simulation, 2012, 24(2):389-393.

[13] 刘辉,李智. 基于移动锚节点的无线传感器网络圆心定位[J]. 计算机与数字工程, 2012, 40(3):7-8.

LIU Hui, LI Zhi. Center of a Circle Localization Algorithms in Wireless Sensor Network with Mobile Anchor Node [J]. Computer & Digital Engineering, 2012, 40(3):7-8.

[14] 武建华,白凤娥. 无线传感器网络自定位算法的研究[J]. 计算机与数字工程, 2012, 40(1):46-48.

WU Jianhua, BAI Fenge. Research on Self-localization Algorithm in Wireless Sensor Network [J]. Computer & Digital Engineering, 2012, 40(1):46-48.