

大型客车影响的双车道多速混合交通流 CA 模型研究

亢红霞, 钱勇生, 汪海龙

KANG Hong-xia, QIAN Yong-sheng, WANG Hai-long

兰州交通大学 交通运输学院, 兰州 730070

School of Traffic & Transportation, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China

E-mail: kang_hongxia@sina.com

KANG Hong-xia, QIAN Yong-sheng, WANG Hai-long. Research impact of passenger car of a two-lane highway based on cellular automaton model. Computer Engineering and Applications, 2008, 44(18): 211-214.

Abstract: Because of the large cube, low speed of the large-scale passenger cars, the impact of the passenger cars must be considered when the cellular automaton model is created. Based on the overall analysis of the existing classical cellular automaton model of the traffic flow, combined the characters of the freeway in our country, the length of the cellular, running speed, random slow mechanism and lane change are demarcated, and mixed multi-speed vehicles on two-lane cellular automaton model under the impact of the passenger car with period boundary condition is constructed. And the relationship between the speed, density and traffic capacity is analyzed by the computer simulation. The influence rules of the factors of the traffic flow of the method are found out, such as the proportion of large-scale passenger cars, random slow rate, the number of the lane change and so on. The theoretical foundation for reasonable to organize the freeway traffic administration is offered.

Key words: cellular automaton model; large-scale passenger car; mix traffic flow; computer simulation

摘要:在对现有经典交通流元胞自动机模型进行总体分析的基础上, 结合我国高速公路特点, 通过重新标定元胞长度、运行车速、随机慢化机制, 制定车道转换规则, 构建了周期边界条件下考虑大型客车影响的双车道多速混合交通流元胞自动机模型, 并通过计算机模拟分析了速度、密度、流量三参数之间关系, 寻找出了大型客车占有率、大型客车随机慢化概率、变换车道车辆数等因素对交通流的影响规律, 为合理的组织高速公路交通管理提供了理论依据。

关键词:元胞自动机; 大型客车; 混合交通流; 计算机仿真

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.18.066 **文章编号:** 1002-8331(2008)18-0211-04 **文献标识码:** A **中图分类号:** TP391

交通流在时间、空间上具有高度的随机性、动态性和复杂性, 交通系统表现出丰富的非线性特征, 传统的交通流模型如流体力学模型、气体动力学模型、跟驰模型对此难以解释, 由于元胞自动机^[1] (Cellular Automata, CA) 模型具有空间离散化、时间离散化、状态离散化的特点, 这使元胞自动机模型与其他的连续性模型相比运算速度更快, 而且能够在适合的时间获取交通行为特性。当模拟拥有数千汽车运行的城市网络情况时, 更加显示了元胞自动机交通流模型的优势, 其算法简单灵活, 易于在计算机上进行模拟, 因而在交通流研究中得到广泛应用和发展^[2-6]。

1 问题提出

实际交通中, 道路一般由多条车道组成, 由不同性能或类型的车辆混合行驶, 而目前建立的 CA 模型, 大多只考虑了其中一个因素^[7-10]。大型客车是高速公路中有较大影响的车型之一, 由于其具有车型大、运行速度低的特点, 其对高速流的影响十分明显, 合理的组织大型客车流是解决高速公路问题的核

心, 现有交通流元胞自动机模型很少考虑大型客车的影响。文献^[11]虽然对货运车辆影响的双车道交通流模型进行了研究, 但由于其设定的元胞长度、运行车速、换道规则均与现实高速公路的运行规则不符, 不能正确反映货运车辆对高速公路交通流的影响。本文在对高速公路交通流进行充分研究的基础上, 重新标定了元胞长度、运行车速、随机慢化机制和换道超车规则, 在上述研究基础上提出了周体边界条件下大型客车影响的双车道多速混合车辆交通流元胞自动机模型。

2 模型建立

2.1 模型假设

为便于模拟, 并使总体符合实际情况, 特对模型进行以下假设。

(1) 车辆均为理想车辆, 行驶的道路也是理想的平坦道路, 在行驶过程中, 车辆不存在任何的侧倾、横摆等运动, 并且车辆的驾驶方向始终向前, 保持不变。且道路上车辆只分为大型客车和小型汽车两种车型。

基金项目: 甘肃省自然科学基金 (the Natural Science Foundation of Gansu Province of China under Grant No. 3ZX062-B-25-003)。

作者简介: 亢红霞 (1984-), 女, 硕士研究生, 研究方向: 交通规划, 运输组织仿真; 钱勇生 (1970-), 男, 博士, 教授, 研究方向: 交通运输。

收稿日期: 2007-11-09 **修回日期:** 2008-02-18

(2)换道时,忽略车辆在换道过程中的加减速行为,若车辆满足换道条件,则直接换置到相邻车道的下一位置。

2.2 道路与参数规定

将道路视为左右两条并列的、长度为 L 的一维离散格点链,每一个格点在每一时刻或为空或被一辆车占据,内侧车道定义为1车道(行车道),外侧车道定义为2车道(超车道)。为了更精确地反映高速公路交通状况,将元胞长度取3m,小型轿车占用2个元胞,大型客车占用4个元胞。1车道由小轿车和大型客车混合占用,可以变换车道。2车道只供超车使用,车辆应尽可能较少时间的占用超车道。

车辆 k 在 j 车道上 t 时刻的状态由其本身的速度 $V_k^j(t)$ 来表示,根据高速公路车辆行驶规定, $V_k^j(t) \in [V_{\min}, V_{\max}^j]$, $j=1,2$, $l=1,2, k=1,2, \dots, n$, V_{\max}^j 为车辆的最高限速, V_{\min} 为车辆的最低限速, $V_{\min}=5$, 对应实际速度 54 km/h, 如果车辆为小型汽车, $V_{\max}^1=11$, 对应实际速度 118.8 km/h, 如果是大型客车, $V_{\max}^2=9$, 对应速度 97.2 km/h。加速度为2个元胞或1个元胞, 对应为 6 m/s^2 或 3 m/s^2 。用 $X_k^j(t)$ 表示 j 车道上第 k 辆车在 t 时刻的位置, 则在 t 时刻 j 车道上第 k 辆车与前方紧邻车辆之间的距离 $D_k^{j-1}(t) = X_k^j(t) - X_{k-1}^j(t) - l_{k-1}$, 其中 l_{k-1} 为第 $k-1$ 辆车的长度。在 t 时刻1车道上第 k 辆车与相邻2车道前方紧邻车辆之间的距离为 $D_k^{1-2}(t)$, 与后方紧邻车辆之间的距离为 $B_k^{1-2}(t)$ 。2车道上第 k 辆车与相邻1车道前方紧邻车辆之间的距离为 $D_k^{2-1}(t)$, 与后方紧邻车辆之间的距离为 $B_k^{2-1}(t)$ 。

2.3 车辆行驶安全规则

根据高速公路车辆行驶规定,在行车道(1车道)上行驶时,车速为每小时 x 公里,应当与同车道前车至少保持 x 米的距离^[12],而在超车道(2车道)上行驶时,为保证车辆可以以最快的速度行驶,即最短时间超车,最短时间占用超车道,则如果车速为每小时 x 公里,假设应当与同车道前车至少保持 $1.1x$ 米的距离,则车辆行驶必须满足的安全性条件为: $D_k^{1-1}(t) \geq 3.6 * V_k^1(t)$ & $D_k^{2-2}(t) \geq 4 * V_k^2(t)$ 。

2.4 车辆超车换道规则

本文模型的换道规则采用基于空档的超车换道规则,主要考虑安全性、可移动性、交通法规和旅行时间最短原则^[9]。安全性通过保证换道后车辆的运行不阻碍目标车道车辆的正常行驶实现。

(1)行车道换道原则

1车道小车向2车道换道必须满足的安全性条件为: $(D_k^{1-2}(t) + V_{k+1}^2(t)) \geq 4 * V_k^1(t)$ & $(B_k^{1-2}(t) + V_k^1(t)) \geq 4 * V_{k-1}^2(t)$ & $x_k^2(t) = 0$ 。

旅行时间最短原则,即以车辆减速次数最小、运行速度最快、旅行时间最短为最优目标,车辆一旦满足以下条件必须转换车道。

1车道换道条件为: $(D_k^{1-2}(t) + V_{k+1}^2(t)) \geq 4 * V_k^1(t)$ & $(B_k^{1-2}(t) + V_k^1(t)) \geq 4 * V_{k-1}^2(t)$ & $x_k^2(t) = 0$ & $(V_k^1(t) \leq V_{\max}^1)$ & $(V_k^1(t) \geq V_{k+1}^1(t)) \parallel (V_k^1(t) \leq V_{\max}^1)$ & $(V_k^1(t) \geq 0)$ & $(D_k^{1-1}(t) \leq V_k^1(t))$ 。

(2)超车道超车原则

2车道大型客车向1车道超车必须满足的安全性条件和换道条件为: $(D_k^{2-1}(t) + V_{k+1}^1(t)) \geq 3.6 * V_k^2(t)$ & $(B_k^{2-1}(t) + V_k^2(t)) \geq 3.6 * V_{k-1}^1(t)$ & $x_k^1(t) = 0$ 。

2车道小轿车向1车道超车必须满足的换道条件为: $(D_k^{2-1}(t) + V_{k+1}^1(t)) \geq 3.6 * V_k^2(t)$ & $(V_k^2(t) \geq V_{k+1}^2(t))$ & $(B_k^{2-1}(t) + V_k^2(t)) \geq 3.6 * V_{k-1}^1(t)$ & $x_k^1(t) = 0$ 。

如果满足换道条件则进行换道:

1车道换道规则: $V_{\text{换}}^2(t+1) = V_k^1(t)$, $V_{\text{换}}^2(t+1) = V_k^1(t) + V_k^1(t)$;

2车道换道规则: $V_{\text{换}}^1(t+1) = V_k^2(t)$, $V_{\text{换}}^1(t+1) = V_k^2(t) + V_k^2(t)$ 。

2.5 车辆演化规则

本文将转道机制和FI运行机制合为一体。即先判断该车是否满足换道条件,如果满足则变换车道,如果不满足则按FI模型演化规则进行速度和位置的变换并行更新。

车辆状态演化的更新规则为:

(1)确定性加速过程

if $(D_k^{1-1}(t) \geq 3.6 * V_{k-1}^1(t)) \parallel (D_k^{2-2}(t) \geq 4 * V_k^2(t)) \parallel (D_k^{1-1}(t) < 3.6 * V_k^1(t) \text{ \& } V_k^1(t) \leq V_{\min}^1) \parallel (D_k^{2-2}(t) < 4 * V_k^2(t) \text{ \& } V_k^2(t) \leq V_{\min}^2)$ 则 $V_k^j(t+1) = \min(V_k^j(t) + 2, V_{\max}^j)$

(2)一般性加速过程

if $((D_k^{1-1}(t) < 3.6 * V_k^1(t) \text{ \& } D_k^{1-1}(t) \geq V_k^1(t) \text{ \& } V_k^1(t) \leq V_{\max}^1) \text{ \& } V_k^1(t) > V_{\min}^1) \parallel (D_k^{2-2}(t) < 4 * V_k^2(t) \text{ \& } D_k^{2-2}(t) \geq V_k^2(t) \text{ \& } V_k^2(t) \leq V_{\max}^2) \text{ \& } V_k^2(t) > V_{\min}^2)$ 则 $V_k^j(t+1) = \min(V_k^j(t) + 1, V_{\max}^j)$

(3)确定性减速过程

if $(D_k^{j-j}(t) < V_k^j(t))$ 则 $V_k^j(t+1) = \max(D_k^{j-j}(t) - 1, 0)$

(4)以概率 p 随机减速过程

if $(V_k^j(t) > V_{\min}^j)$ 则 $V_k^j(t+1) = \max(V_k^j(t) - 1, V_{\min}^j, p)$

(5)位置更新

$X_k^j(t+1) = X_k^j(t) + V_k^j(t+1)$

3 数值模拟与结果讨论

模型的基本参数定义如下:

为具体分析交通流系统的动力学性质,定义双车道上车辆的总密度 $\rho = \frac{N}{2L}$, 小车密度为 $\rho_c = \frac{N_c}{2L}$, 大型客车的密度为 $\rho_b = \frac{N_b}{2L}$, t 时刻的平均速度 $\bar{V}_t = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^2 \sum_{k=1}^{N_j} V_k^j(t)$, N 是1,2车道上车辆的总数; N_c 是小车的总数; N_b 是大型客车的总数; 大型客车所占比例为 $P = \frac{N_b}{N}$, 引入行车道占有率 R , $R = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^n l_{i1}$, 式中 l_{i1}

表示第1车道上第 i 辆车的长度。 C_{1-2} 为1车道转换到2车道的数量, C_{2-1} 为2车道转换到1车道的数量, f_c 为转换系数 $f_c = \frac{C_{1-2}}{C_{1-2} + C_{2-1}}$ 。 S_b 为大型客车的随机慢化概率, S_c 为小轿车的随机慢化概率。

本文模拟时取车道由3650个格子组成,对应的实际道路长度约为11km,采用周期性边界条件,初始时刻,两种车辆按

一定的比例混合分布在 1 车道上,由左至右编号为 0,1,...($N-1$),模型自初始状态开始运行,演化时步为 1 s,共运行 4 800 步,取其中 1 000~3 600 步为模拟结果(以排除初始状态的影响)。

3.1 通行能力分析

双车道通行能力究竟有多大,是单车道通行能力的几倍,一直是交通工程师关心的问题,由于该问题涉及因素多,如果再加上大型客车影响,用常规的算法无法得到满意解,用元胞自动机模拟是一种新思路。

图 1 中的(a)(b)(c)(d)分别为无大型客车,有一辆大型客车、有一定比例大型客车和全为大型客车时的车辆运行时空图。(a)中所有车辆均为小轿车,此时交通流处于畅通状态。车流平均速度模拟结果为 10.64(114.912 km/h),由于车辆类型相同,车头间距可基本保持一致,则基本无车辆换道。(b)描述了一辆插入高速公路交通流的大型客车引起的“换道瓶颈”现象,此情况下车流平均速度模拟结果为 10.17(109.836 km/h),且出现了车辆的换道现象。图中各条倾斜的点划线代表车辆随时间的运动轨迹,其斜率的倒数代表车速。(c)中插入的大型客车比例增加,引起的“换道瓶颈”现象更为明显,此情况下车流平均速度模拟结果为 9.56(103.248 km/h),且换道数有大幅度增加。(d)与(a)情况相似,不同的是由于大型客车车速的限制,平均速度模拟结果为 8.65(93.42 km/h)。

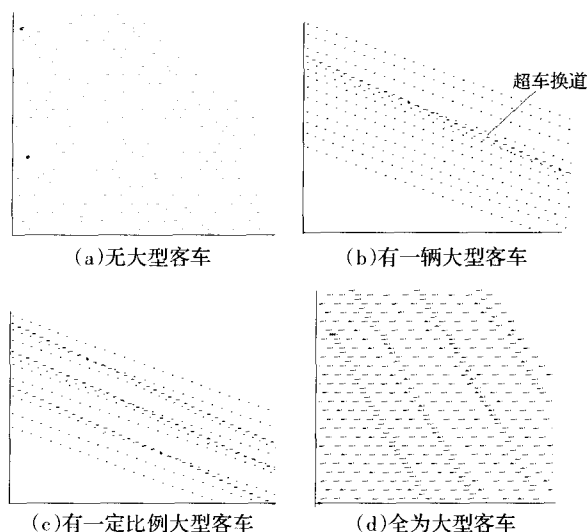


图 1 不同情况下车辆运行时空图

3.2 密度分析

图 2~图 4 给出在 $S_b=S_c=0.25$ 条件下,在不同客车比例情况下,双车道上车辆的密度与交通流量、速度、车道换道数之间的关系。

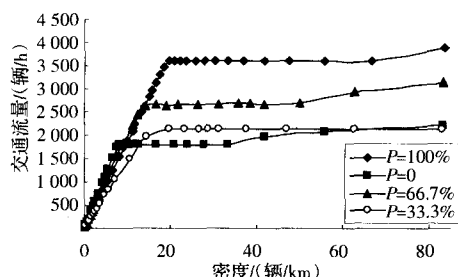


图 2 密度与交通流量关系图

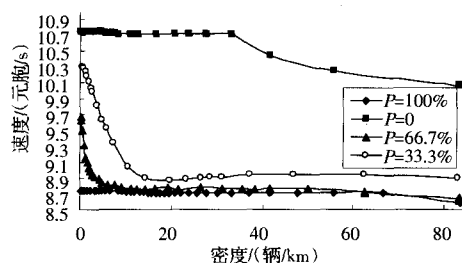


图 3 密度与速度关系图

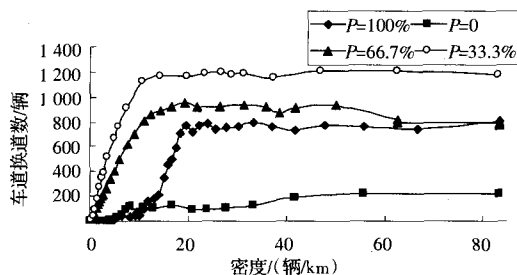


图 4 密度与车道换道数关系图

从图 2 中可看出,随着行车道上车辆密度的增大,交通流量随之增大,最后趋于饱和,由于大型客车的长度为小轿车的 2 倍,则换算为标准车的换算系数分别为 2,1,因此当所有车辆均为客车时,其所能达到的交通量的最大值约为小轿车的 2 倍,并且由于小轿车的速度快的特点,当所有车辆均为小轿车时,在相对更小的密度时,便可达到最大的交通流量。当客车比例为 0%~100%之间时,其数据也在客车比例为 100%和无客车之间。

从图 3 可看出,在无客车和客车比例为 100%的情况下,随着行车道上车辆密度的增大,车流的平均速度先平缓后慢慢下降,这是由于密度小时,车辆之间的车头间距大,车辆自由行驶空间大,车辆间相互影响小,车辆可自由行驶,而当密度增大到一定程度时,车头间距变小,车辆自由行驶空间减小。当客车比例为 33.7%,66.7%时,这种下降的趋势更快,也更为明显,且随着大型客车比例的增加,小轿车无法自由行驶,则图像就越接近于全为大型客车的图像。

从图 4 可看出,在无客车和客车比例为 100%的情况下,随着行车道上车辆密度的增大,车流的平均换道数的增加趋势基本相同,且相对于客车比例在 0%~100%之间的图像平均换道数要小的多,且由于规定的客车的换道规则,客车比例为 100%的图像幅度基本为无客车的 4 倍。而客车比例为 33.7%条件下的换道数明显比 66.7%的多,这是由于随着大型客车比例的增加,会引起车流的局部“换道瓶颈”,导致车辆无法换道行驶。

3.3 随机慢化概率分析

图 5,图 6 给出在 $S_b:S_c=1:1$, $p=124.932$ 辆/km, $R=0.75$ 条件下大型客车随机慢化概率与交通流量,平均速度之间的关系。由图可看出随着随机慢化概率的增大,交通流量随之增加,平均速度减小。这是由于随着随机慢化概率的增大,随机减速的车辆增加,因此平均速度将减小,且低于车辆最低限速的车辆将增加。

4 结论与说明

(1)构建了考虑大型客车影响的交通流元胞自动机模型,该模型与现有高速公路交通流元胞自动机模型相比更加接近

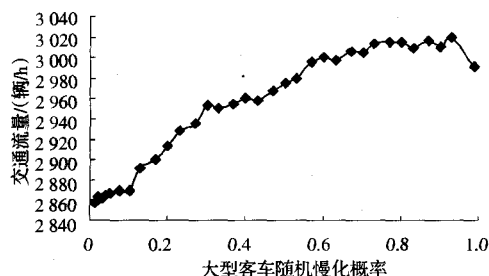


图5 随机慢化概率与交通流量关系图

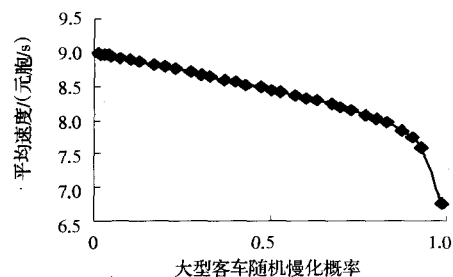


图6 随机慢化概率与平均速度关系图

实际交通流。

(2)通过对不同条件下高速公路交通流的仿真,发现随着双车道上车辆密度的增大,交通流量随之增大,最后趋于饱和,车流的平均速度下降,车流的平均换道数的增加,且当客车比例不同时,相应各参数的增加或减小的幅度也不同。

(3)本文考虑高速公路仅存在大型客车和小轿车两种车型,而实际中高速公路上还有一些大型货车,超长型客车等,其对高速公路交通流的影响也很大,因此本文只是更接近实际交

通流,并不能完全模拟实际的高速公路交通流。

参考文献:

- [1] Schadschneider A. Traffic flow: a statistical physics point of view[J]. Physica A, 2002, 313: 153-187.
- [2] 唐铁桥, 黄海军. 两车道交通流模型与数值计算[J]. 科学通报, 2004, 19(10): 1937-1943.
- [3] Cremer M, Ludwig J. A fast simulation model for traffic flow on the basis of Boolean operations[J]. Mathematics and Computers in Simulation, 1986, 28: 297-303.
- [4] Wolfram S. Theory and application of cellular automata[M]. Singapore: World Scientific, 1986: 18-59.
- [5] Wolf D. Cellular automata for traffic simulations[J]. Physica A 263: 438-451.
- [6] Wagner P, Nagel K, Wolf D. E. Realistic multi-lane traffic rules for cellular automata[J]. Physica A, 1997, 234: 687-698.
- [7] Schadschneider A, Schreckenberg M. Cellular automaton models and traffic flow[J]. J Phys, 1993, 26.
- [8] 邝华, 孔令江, 刘慕仁. 多速混合车辆单车道元胞自动机交通流模型的研究[J]. 物理学报, 2004, 53(9): 2894-2899.
- [9] 花伟, 林柏梁. 考虑行车状态的一维元胞自动机交通流模型[J]. 物理学报, 2005, 54(6): 2595-2605.
- [10] 薛郁, 董力耘, 戴世强. 一种改进的一维元胞自动机交通流模型及减速概率的影响[J]. 物理学报, 2001, 50(3): 445-450.
- [11] 邝华. 混合车辆元胞自动机交通流模型的研究[D]. 南宁: 广西师范大学, 2004-04.
- [12] 过秀成. 道路交通安全学[M]. 南京: 东南大学出版社, 2004.
- [13] 钱勇生, 汪海龙. 考虑公交车影响的城市场交通流元胞自动机模型[J]. 系统仿真学报, 2007, 19(14): 3358-3360.

(上接 176 页)

表1 图像隐藏与恢复效果评价

| | PSNR | RMSE |
|------------------------|------------|-------------|
| pepper and hidden1 | 45.465 136 | 1.359 200 |
| people and hidden2 | 31.493 835 | 6.789 666 |
| two person and hidden3 | 32.494 269 | 6.050 994 |
| watch and hidden4 | 31.694 031 | 6.634 965 |
| 恢复图像与预处理图像 | 34.355 122 | 4.884 095 |
| n=1 的恢复图像与预处理图像 | 6.572 818 | 119.646 301 |
| n=2 的恢复图像与预处理图像 | 6.232 902 | 124.421 396 |
| n=3 的恢复图像与预处理图像 | 4.818 861 | 146.418 897 |

由以上实验和计算结果可知,无论是载体图像和混合图像,还是恢复图像与预处理图像,它们之间的 PSNR 均大于 31 dB,所得 RMSE 的值也较小。从直观图上看,几乎看不出混合图像与载体图像,以及恢复图像与预处理图像之间的差别,即满足图像隐藏的要求。但是,如果攻击者缺少 4 幅载体图像中的任意一幅,就无法恢复出被隐藏图像,从图 7 可以看出,去掉的图像越多,恢复效果越差,PSNR 远小于 31 dB, RMSE 很大,恢复后的图像严重失真;从图 8 可以看出,任意去掉一幅图像都最终无法解密出原始图像,去掉的图像越多,解密图像的像素灰度值缺失程度越严重。

4 结论

本文给出了一种基于图像最低比特位和混沌序列的图像隐藏方法。此方法采用混沌序列作为加密序列,为了使混沌序列互相间更加不相关,本文的混沌序列在迭代 1 000 次之后取

值,使得加密效果更好,安全性更高。本文的创新点是基于数字图像的位运算,先加密,再隐藏。无论是在加密过程还是隐藏过程中,都是对图像像素的二进制比特位进行操作,方便实现,运行速度较快。同时将改进的魔方置乱应用到对像素二进制序列中,对图像进行预加密;在隐藏算法中,选取 4 幅载体图像来分存待隐藏图像。通过以上实验证明,4 幅载体图像缺一不可,否则无法完全恢复隐藏图像。更主要的是,即使攻击者恢复了隐藏图像,在不精确知道混沌密钥的情况下,很难从中解密出原始图像。这也是该方法的一个显著优点。实验结果表明,本文给出的图像隐藏方法是可行的,隐藏和加密效果均良好,安全性较高。

参考文献:

- [1] 汪滨, 汤光明. 基于图像最高有效位和混沌系统的图像置乱算法[J]. 计算机应用研究, 2007(1): 232-234.
- [2] Zhang Yong-hong, Kang Bao-sheng, Zhang Xue-feng. Image encryption algorithm based on chaotic sequence[C]/The 16th International Conference on Artificial and Reality and Telexistence-Workshops (ICAT'06), Hangzhou, China, 2006: 221-223.
- [3] 张贵仓, 王让定, 章毓晋. 基于迭代混合的数字图像隐藏技术[J]. 计算机学报, 2003, 26(5): 569-574.
- [4] Chang C C, Hwang R J. A new scheme to protect confidential image[C]/2004 IEEE Proceeding of the 18th International Conference on AINA'04, 2004: 158-163.
- [5] Zhang Jia-shu, Tian Lei, Tai Heng-ming. A new watermarking method based on chaotic maps[C]/IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Taipei, Taiwan, 2004: 939-942.
- [6] 王迺冉, 王春霞, 詹新生. 一种图像加密算法的性能评定方法[J]. 微计算机信息, 2006, 22(30): 313-314.