

# 基于路口相似度的信号配时方案推荐算法

骆佳磊 孟利民

浙江工业大学信息工程学院 杭州 310023

(1491623908@qq.com)

**摘要** 信号配时控制是城市交通控制系统的重要组成部分,而传统的信号配时工作需要耗费大量的人力和时间成本,且方案的执行效果依托于配时人员的经验水平,难以满足实时调控的需求。为此,提出基于路口相似度的信号配时方案推荐算法。基于路口的各项静态属性与动态属性进行路口相似度计算,以提高路口匹配的精度。利用协同过滤的推荐方式进行推荐,将相似路口的方案推荐给目标路口,以提高信号配时工作的准确性和实效性。实验结果表明,该算法能准确推荐信号配时方案,并且具有较低的算法复杂度,适用于海量数据背景下的信号配时方案推荐。

**关键词:** 交通控制;相似度;协同过滤;推荐;信号配时

**中图法分类号** TP391

## Signal Timing Scheme Recommendation Algorithm Based on Intersection Similarity

LUO Jia-lei and MENG Li-min

College of Information Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China

**Abstract** Signal timing control is an important part of urban traffic control system, and traditional signal timing work requires a lot of manpower and time cost, and the implementation effect depends on the experience level of the staff. It is difficult to meet the needs of real-time regulation. Therefore, a signal timing scheme recommendation algorithm based on intersection similarity is proposed. The intersection similarity calculation is performed based on various static and dynamic attributes of the intersection to improve the accuracy of intersection matching. According to the recommendation method of collaborative filtering, the scheme of similar intersections is recommended to the target intersection to improve the accuracy and effectiveness of the signal timing work. The experimental results show that the proposed algorithm can accurately recommend the signal timing scheme and has lower algorithm complexity. It is suitable for signal timing scheme recommendation in the context of massive data.

**Keywords** Traffic control, Similarity, Collaborative filtering, Recommendation, Signal timing

### 1 引言

良好运转的交通系统与城市的健康发展息息相关<sup>[1]</sup>。而道路交叉口作为汇集了各个方向交通流的重要节点,在城市路网系统中处于关键位置<sup>[2]</sup>。一旦某个交叉口发生拥堵,如得不到及时疏散,将导致路网服务水平整体下降<sup>[3]</sup>。因此,合理配置城市路口的信号配时方案,成为了城市交通控制的核心问题<sup>[4]</sup>。

Foy等提出了基于遗传算法的绿时分配算法<sup>[5]</sup>。Pappis和Mamdani提出了一种用模糊理论解决城市单向路口优化配时问题的新思路<sup>[6]</sup>。Alvarez等把每一个交叉口看成非合作对策,以最小化车辆排队长度,并对交叉口的交通信号控制构建模型时应用了马尔可夫决策过程。其研究的为孤立交叉口<sup>[7]</sup>。Shahaboddin设计了一种带有模糊回报值的神经网络Q学习算法,该算法的基本原理是在线学习交通信号控制

行为,结合使用agent和对策论来进行信号协调控制<sup>[8]</sup>。Li等提出了一种基于最优预测模型的实时最优控制方法<sup>[9]</sup>。Gu等在研究车流显著性特征的基础上,把车流分为了关键车流和非关键车流,并给出了它们不同的定义;还研究了交通流这一关键交通因素对信号配时优化算法影响<sup>[10]</sup>。Tang等提出了基于模糊控制神经网络的单交叉口变相序控制<sup>[11]</sup>。Qu等根据交叉口进口道排队车辆数建立了有效绿灯利用率模型,提出了一种交叉口自适应控制策略<sup>[12]</sup>。

针对信号配时优化的研究虽然已经取得了巨大的发展<sup>[13]</sup>,但在实际生活中仍不能满足城市交通需求,而且我国相比发达国家,城市交通面临的问题更严重,形势也更为严峻<sup>[14]</sup>。传统的信号配时优化方案大多数都是针对排队长度或者车流等单参数进行计算的,往往忽略了多种交通因素的共同影响;且优化的方式又多以绿信比的调整为主,忽略了全局的相序寻优;实时计算的方式也难以保证准确性和即时性。

基金项目:国家自然科学基金项目(61871349);浙江省基础公益项目(LY18F010024, LQ19F010013)

This work was supported by the National Natural Science Foundation of China (61871349) and Natural Science Foundation of Zhejiang Province, China (LY18F010024, LQ19F010013).

通信作者:孟利民(mlm@zjut.edu.cn)

因此,本文考虑以路口的形状、车道数、车道功能、相位、周边大流量建筑物所处方位等静态参数建立路口相似模型,再结合路口各车道实时与前几个周期的流量和饱和度等动态参数计算出与当前路口状态最接近的信号配时方案,并将其推荐给目标路口。与传统的优化方案相比,基于路口相似度的推荐方法考虑了路口静态和动态因素的多方面影响,推荐已有方案的方式比实时计算具有更高的准确性和实时性,且更好地利用了历史资源与专家经验。

## 2 路口相似度

传统的相似度算法有欧几里得距离法<sup>[15]</sup>、切比雪夫距离法<sup>[16]</sup>、皮尔逊相关系数法<sup>[17]</sup>、余弦相似度法、斯皮尔曼等级相关系数法<sup>[18]</sup>等,在不同的应用领域中选取不同的相似度计算方法。鉴于交通系统的动态特性和时空差异所带来的特殊性,本文将重新定义路口相似度及其计算方法。算法中的相似度由两部分构成:一部分是由路口静态属性决定的路口相似度,通过计算目标路口与数据库路口之间的相似距离 $D_{P-E}$ 来度量,距离值越小,路口之间的相似度越高;另一部分是由路口动态属性决定的交通流相似度,计算由路口交通流状态构成的特征向量,值越大说明与目标路口当前交通流的相似度越高。最后将两部分相似度进行线性拟合,计算出路口的总相似度。

### 2.1 路口相似度的定义与描述

路口静态属性包括地理信息和渠化信息。地理信息包括路口岔口数、各路段对于正北方向的角度、路口周边是否有大流量建筑物及建筑物所处位置等。渠化信息包括路口进口道数、出口道数、各路段车道数、车道功能、灯组和相位等。对于地理信息属性,根据每个属性先前确定的编码规则,对不同的取值进行二进制编码并依次串连起来,计算目标路口与不同路口之间编码的海明距离,得到地理信息属性距离 $D_G$ ;对于渠化信息属性,首先基于每个路段的车道数与车道功能数建立车道功能矩阵,计算目标路口与对比路口之间的车道功能相似距离为 $D_{Function}$ ;然后建立相位矩阵,计算目标路口与对比路口之间相位的相似距离为 $D_{Phase}$ 。渠化信息距离 $D_C = D_{Function} + D_{Phase}$ 。

1)对于地理信息属性 $D_G$ ,对不同的取值进行编码。因地理信息属性的取值范围较为单一,可采用二进制编码来表示。如各路段对于正北方向的角度, $(315, 360] \cup (0, 45]$ 为北, $(45, 135]$ 为东, $(135, 225]$ 为南, $(225, 315]$ 为西,路口是否有对应角度的路段,以按北东南西顺序的四位二进制编码表示,0表示没有,1表示有,0111表示路口为拥有东南西三向路段的三岔路口,其他属性可以此类推。最终将路口的所有地理信息属性编码串联起来,形成一个二进制串 $B_{Num}$ ,通过计算二进制串 $B_{Num}$ 的海明距离来度量路口之间地理信息的距离,其权重是 $n$ 个地理信息属性权重的平均值:

$$k_{Num} = \frac{\sum_{i=1}^n k_i}{n}。$$

则:  
 $D_G = k_{Num} \cdot D(NumP, NumE)$  (1)

2)对于渠化信息属性,首先基于每个路段的车道数与车道功能数建立 $m \times n$ 的车道功能矩阵,其中 $m$ 代表每个路段按逆时针顺序排列的车道数, $n$ 代表车道功能数,0为没有该功能,1为有该功能。计算目标路口矩阵 $X_{FunctionP}$ 与对比路口矩阵 $Y_{FunctionE}$ 的皮尔逊距离 $D_{Function}$ ,区间在 $[0, 2]$ 。

$$D_{Function} = \frac{cov(X_{FunctionP}, Y_{FunctionE})}{\sigma X_{FunctionP} \sigma Y_{FunctionE}} + 1$$

对于相位信息,将每个路口的进口道按对于正北方向的角度分为东、南、西、北4个方向,将所有方向(东、南、西、北)与所有车道转向功能(掉头、左转、直行、右转、人行横道)建立矩阵以表示灯组 $[1, 0, 0, 0]^T \cdot [0, 1, 0, 0, 0]$ ,一个灯组只可以拥有一个方向和一个转向。将灯组矩阵叠加组合成各路口的实际相位矩阵,计算目标路口各相位矩阵与对比路口各相位矩阵的余弦相似度 $D_{Phase}$ ,区间在 $[0, 2]$ 。

$$D_{Phase} = \frac{X_{PhaseP} \cdot Y_{PhaseE}}{\|X_{PhaseP}\|^2 + \|Y_{PhaseE}\|^2 - 2X_{PhaseP} \cdot Y_{PhaseE}} + 1$$

车道功能平均相似度与相位平均相似度之和为渠化信息相似度 $D_C$ 。 $n_1$ 为路段数, $n_2$ 为相位数。

$$D_C = \frac{1}{n_1} \sum_{i=1}^{n_1} D_{Function} + \frac{1}{n_2} \sum_{i=1}^{n_2} D_{Phase} \quad (2)$$

3)最终得到目标路口 $P$ 与对比路口 $E$ 的路口静态属性距离为:

$$D_{P-E} = D_G + D_C \quad (3)$$

$D_{P-E}$ 越小,相似度越大。

### 2.2 路口动态属性相似度及计算

交通系统本身所具有的动态特性所产生的时段差异,使得单一一种信号配时方案无法满足一个路口全天的交通控制需求,根据路口流量与饱和度的变化,配时方案也随之调整。因此,为适应交通系统的特殊场景,算法中重点考虑了目标路口与对比路口各相位对应车道在全天时间内每一周期的流量与饱和度的相似度。对于路口动态属性,计算一个周期内各对应相位的平均流量与饱和度相似度作为路口动态属性相似度 $S$ ,其中 $P_i(VO, DS)$ 是以目标路口当前相位对应各车道的流量和饱和度构成的特征向量, $E_i(VO, DS)$ 是对比路口各周期方案中的各相位对应车道的流量和饱和度构成的特征向量, $VO$ 表示流量, $DS$ 表示饱和度, $n$ 表示相位数量。

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{P_i(VO, DS) \cdot E_i(VO, DS)}{\|P_i(VO, DS)\| \times \|E_i(VO, DS)\|} \quad (4)$$

若目标路口与对比路口的流量与饱和度相似,则直接将这些路口加入到推荐集中。

## 3 引入路口相似度的协同过滤推荐算法

路口相似度是将路口静态属性相似度和路口动态属性相似度线性拟合并计算得到的。交通系统中,大量路口只记录必需的信息,大流量建筑物等地理信息缺失相对严重。因此,为产生较好的推荐集,算法应结合实际情况为两部分定义不同的相似度权重。

### 3.1 路口相似度计算

根据前述说明,路口静态属性相似度 $D_{P-E}$ 和路口动态属性相似度 $S$ 对总体相似度的影响不同,所对应的权重 $k_D$ 和

$k_s$  的取值也应不同,可根据实际应用进行设置。对计算出的 2 个子相似度进行线性拟合,得出路口间相似度  $SIM_{P-E}$ 。 $SIM_{P-E}$  值越小,说明相似程度越高;反之,说明相似程度越低。

目标路口  $P$  与对比路口  $E$  的总相似度为:

$$SIM_{P-E} = k_D \cdot D_{P-E} + k_S \cdot S \quad (5)$$

其中,  $k_D + k_S = 1$ 。

### 3.2 基于路口相似度的协同过滤推荐算法

综合前面的论述,以下给出了为目标路口  $P$  产生推荐集合  $Q$  的过程。

(1) 相似度计算

1) 路口静态属性相似度计算

对于目标路口的地理信息属性,对属性取值进行二进制编码,再将取值的二进制编码串联,计算出海明距离  $D_G$ 。

根据渠化信息属性相似度公式,计算出目标路口与其他路口间的渠化相似度距离,即渠化信息距离  $D_C$ 。

根据  $D_{P-E} = D_G + D_C$  计算目标路口  $P$  与对比路口  $E$  之间的距离,以此来度量两路口的相似度。

2) 路口动态属性相似度计算

获取目标路口  $P$  各车道当前时刻对应的流量与饱和度,获取各个对比路口  $E$  在各周期内各车道的流量与饱和度,根据

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{P_i(VO, DS) \cdot E_i(VO, DS)}{\|P_i(VO, DS)\| \times \|E_i(VO, DS)\|}$$

计算出动态属性相似度  $S$ 。

3) 根据  $SIM_{P-E} = k_D \cdot D_{P-E} + k_S \cdot S$  得出目标路口  $P$  与对比路口  $E$  的总相似度  $SIM_{P-E}$ 。

(2) 产生推荐集

1) 确定候选集  $Q$ 。根据路口间的静态属性与动态属性相似度,确定与目标路口  $P$  当前时刻状态最相似的路口集合  $\{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ ,通过相似度高的路口的动态属性,找出对应动态属性所在周期的整套方案,产生方案集合  $\{Q_{P_1}, Q_{P_2}, \dots, Q_{P_n}\}$ 。

2) 产生推荐集。对上一步产生的候选集求并集  $Q = Q_{P_1} \cup Q_{P_2} \dots Q_{P_n}$ ,将候选集  $Q$  里的方案按照相似度进行排序,得出最后推荐的相似路口方案集合  $C = C_{Q\_Ranked} \cup Q_{SC}$ ,按照  $Top-N$  排序算法为目标路口产生推荐。

推荐周期一般为目标路口信号灯的周期,当目标路口当前方案启动时,开始计算,为下一周期推荐方案。杭州信号灯

周期一般为 160~180 s,不超过 220 s。

## 4 实验及结果分析

### 4.1 实验数据与实验环境

本节采用真实数据扩展的数据集对算法的可用性进行分析。真实数据集为 2019 年 4 月杭州各路口的数据,对其进行过滤得到较为清洁的数据。使用该数据集的优势在于,它包含大量的路口地理信息数据、渠化信息数据、全天各个周期内各车道的流量饱和度数据,及各路口全天各周期实际使用的配时方案数据,并且这些数据都是真实的,其出现的情况均为真实应用环境的情形,能够验证本文所述方法的真实有效性。

实验的硬件环境为:服务器端 centos7、内存 16.0 GB、磁盘 200 GB,数据库端 centos7 系统、安装 PostgreSQL 11.2,算法的实现代码为 python,均在服务器终端进行测试运行。

### 4.2 实验结果及性能分析

为了更好地评价推荐算法的质量和方案执行的效果,引入了以下两个度量因子:推荐准确度和运行效果。图 1 为杭州拥有 SCATS 系统的主干道路,其中,SCATS 编号为 131 的平海路与延安路交叉口为标准四叉路口,且位于市中心,一天的交通流具有极强的规律性,因此选择该路口作为实验对象以确保实验的普遍性和准确性。

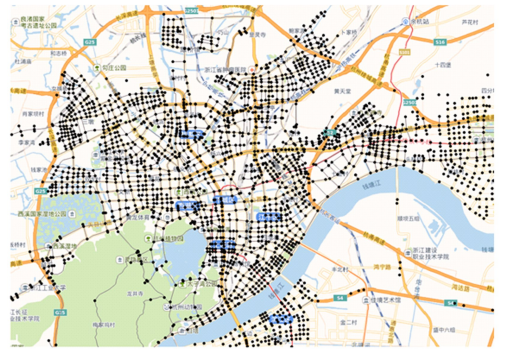


图 1 杭州拥有 SCATS 控制器的主干道路

Fig. 1 Main roads equipped with SCATS controllers in Hangzhou

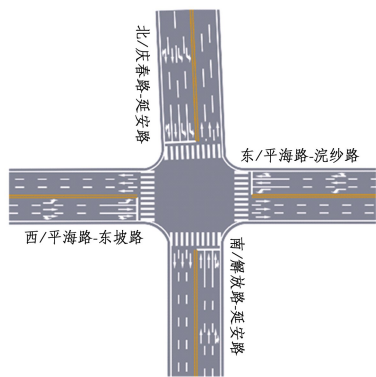
#### (1) 推荐准确度

在实验中,针对相似度计算的两个权重  $k_D$  和  $k_S$  的取值需要满足  $k_D + k_S = 1$ ,根据实际测试数据及线性规划的最小二乘拟合法,不断调整二者的取值。在  $k_D = 0.42$  和  $k_S = 0.58$  时,获取了最佳实验结果,如表 1 所列。

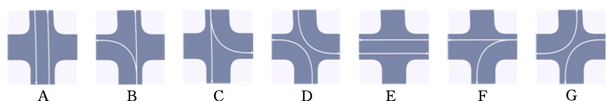
表 1 2019 年 5 月 4 日,专业信号配时工程师的人工调控方案与推荐系统的推荐方案的对比  
Table 1 Manual control scheme of the professional signal timing engineer was compared with the recommended scheme of the recommendation system, May 4, 2019.

时间	当前信号系统参数/%	人工调控参数/%	系统推荐参数/%
7:28	A:32,D:24,E:24,G:20	A:28,D:28,E:24,G:20	A:28,D:28,E:24,G:20
8:32	A:30,D:27,E:23,G:20	A:28,B:20,D:16,E:18,G:18	A:29,B:19,D:18,E:16,G:18
8:50	A:35,D:25,E:20,G:20	A:30,B:18,D:18,E:18,G:16	A:28,B:20,D:18,E:18,G:16
9:46	A:31,D:26,E:23,G:20	A:29,D:30,E:22,G:19	A:30,D:30,E:21,G:19
11:20	A:31,D:29,E:21,G:19	A:25,D:34,E:21,G:20	A:24,D:34,E:21,G:21
12:18	A:30,D:26,E:24,G:20	A:25,D:24,E:30,G:21	A:24,D:24,E:31,G:21
15:14	A:26,D:24,E:30,G:20	A:27,D:30,E:24,G:19	A:27,D:30,E:24,G:19
16:24	A:27,D:30,E:24,G:19	A:26,D:24,E:31,G:19	A:26,D:24,E:31,G:19
17:52	A:28,D:30,E:22,G:20	A:27,D:22,E:18,F:18,G:15	A:26,D:21,E:20,F:18,G:15
18:58	A:26,D:31,E:24,G:19	A:32,D:24,E:24,G:20	A:33,D:24,E:23,G:20

如表 1 所列,由平海路与延安路交叉口于 2019 年 5 月 4 日的交通信号控制参数记录可知,在需人工调控代替信号系统固定方案的特殊交通场景下,推荐系统所推荐的参数与拥有丰富经验的信号配时工程师的人工调控参数误差在 3% 以内;且于 8:32,8:50 早高峰时段开启主干道左转功能 D 相位并于 9:46 关闭 D 相位,于 17:52 晚高峰开启 F 相位并于 18:58 关闭 F 相位的推荐结果也与人工调控保持一致。平海路与延安路交叉口的渠化信息与相位信息如图 2 所示。



(a)平海路与延安路交叉口



相位运行顺序 A-B-C-D-E-F-G,默认执行方案 A-D-E-G

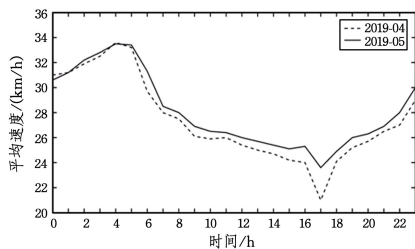
(b)SCATS131 信号控制器的相位布局定义

图 2 平海路与延安路交叉口

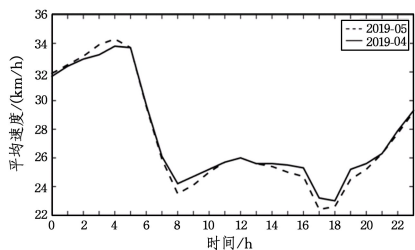
Fig. 2 Intersection of Pinghai Road and Yan'an Road

(2)运行效果

对 2019 年 5 月的平海路与延安路交叉口进行仿真实验,如图 3 所示。



(a)工作日路口速度



(b)非工作日路口速度

图 3 杭州 2019 年 4 月与 2019 年 5 月平海路与延安路交叉口

Fig. 3 Intersection of Pinghai Road and Yan'an Road in Hangzhou in April 2019 and May 2019

图 3 对比了平海路与延安路交叉口 4 月与 5 月全天各时段路口的平均速度。夜间某些时段的速度低于平均统计数据,这可能是由于驾驶员的随机行为所致。相比之下,关键时

段的速度有了显著提升,工作日的早晚高峰平均速度分别为 25.15 km/h 和 23.1 km/h,比 4 月提升了 1.8% 和 2.55%;非工作日的早晚高峰速度提升了 1.85% 和 3.6%。

**结束语** 本文在定义路口相似度构成与计算方法的基础上,提出了基于路口静态属性和路口动态属性的协同过滤推荐算法,并将其应用到智能交通控制系统中。与人工调控记录的和推荐系统运行前后路口平均速度的对比实验结果表明,本文提出的算法具有以下优点:

(1)相似度  $SIM_{P,E} = k_D \cdot D_{P,E} + k_S \cdot S$  的计算在 250 m 内即可运行完成,为路口产生推荐,其中当  $k_D = 0.42$  与  $k_S = 0.58$  时,算法取得较好的推荐效果,与人工调控结果的误差在 3% 以内。

(2)推荐系统运行后的一个月,实验路口的早晚高峰平均速度均有显著提升,说明推荐产生的方案确实能够有效提高通行效率。

后续拟增加更细化的参数,以建立更全面的路口相似度模型,并在推荐单一路口方案向推荐区域管控方案的扩展中,展开进一步的研究。

参考文献

[1] WU L B, NIE L, LIU B Y, et al. An intelligent traffic signal control method under VANET environment [J]. Journal of Computers, 2016, 39(6): 1105-1119.

[2] GAO W C, LI G L, TANA. Overview of road network matching algorithms [J]. Journal of Software, 2018, 29(2): 225-250.

[3] BAO J L, WANG B, YANG X C, et al. Nearest neighbor query technology under the road network environment [J]. Journal of Software, 2018, 29(3): 642-626.

[4] SONG Z Z, LIN L. Signal timing optimization and simulation based on regional coordinated control [J]. Computer Application, 2018, 38(S2): 313-316, 320.

[5] FOY M D, BENEKOHALR F, GOLDBERG D E. Signal timing determination using genetic algorithms[R]. National Research Council, Washington D C, 1992: 108-115.

[6] PAPPIS C P, MAMDAM E H. AFuzzy Logic Controller for a Traffic Junction [J]. IEEE Transactionson Systems. Man and Cygernetics, 1977, 1(10): 707-717.

[7] ALVAREZ I, POZNYAK A, MALO A. Urban traffic control problem a game theory approach[C]// International Federation of Automatic Proceedings. 2009.

[8] SHAMSHIRBAND S. A distributed approach for coordination between traffic lights based on game theory [J]. International Arab Journal of Information Technology, 2012, 2(2): 148-153.

[9] [9] LI L Y, CAO D Z. Optimal prediction of road traffic flow and optimal control of intersections [J]. Control Theory and Application, 1993, 10(1): 67-72.

[10] GU H Z, WANG W, CHEN S F. Research on prediction model of vehicle arrival at urban road intersection based on neural network [J]. China Journal of Highway and Transport, 1998(21): 73-77.

[11] TANG Z K, ZHENG J S, WANG W Z. Phase-change control of single intersection based on fuzzy control neural network [J]. Journal of Zhejiang University, 2006(2): 29-32.

- genome[J]. *Cell Rep.*, 2016, 17: 2042-2059.
- [5] RAO S S, HUNTLEY M H, DURAND N C, et al. A 3D map of the human genome at kilobase resolution reveals principles of chromatin looping[J]. *Cell*, 2014, 159(7): 1665-1680.
- [6] DIXON J R, SIDDARTH S, YUE F, et al. Topological domains in mammalian genomes identified by analysis of chromatin interactions[J]. *Nature*, 2012, 485(7398): 376-380.
- [7] HAYAT K. Multimedia super-resolution via deep learning: A survey[J]. *Digital Signal Processing*, 2018.
- [8] WANG Y H, LIU T, XU D, et al. Predicting DNA Methylation State of CpG Dinucleotide Using Genome Topological Features and Deep Networks[J]. *Scientific Reports*, 2016, 6: 19598.
- [9] DUCHON C E. Lanczos Filtering in One and Two Dimensions [J]. *Journal of Applied Meteorology*, 1979, 18(8): 1016-1022.
- [10] FREEMAN W T, PASZTOR E C, OWEN T, et al. Learning Low-Level Vision [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2000, 40: 2000.
- [11] FREEMAN W T, JONES T R, PASZTOR E C. Example-based superresolution[J]. *Computer Graphics and Applications*, 2002, 22(2): 56-65.
- [12] SCHULTER S, LEISTNER C, BLSCHOF H. Fast and accurate image upscaling with super-resolution forests[C]// *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. 2015: 3791-3799.
- [13] DAI D, TIMOFTE R, VAN GOOL L. Jointly optimized regressors for image super-resolution[C]// *Eurographics*. 2015: 8.
- [14] DONG C, LOY C C, HE K, et al. Learning a Deep Convolutional Network for Image Super-Resolution[D]. Cham: Springer International Publishing, 2014: 184-199.
- [15] ZHANG Y, AN L, XU J, et al. Enhancing Hi-C data resolution with deep convolutional neural network HiCPlus [J]. *Nature Communications*, 2018, 9(1): 750.
- [16] AY F, BAILEY T L, NOBLE W S. Statistical confidence estimation for Hi-C data reveals regulatory chromatin contacts[J]. *Genome Res.*, 2014, 24: 999-1011.
- [17] ERNST J, KELLIS M. ChromHMM: automating chromatin-state discovery and characterization[J]. *Nat. Methods*, 2012, 9: 215-216.
- [12] QU X M, YAO H Y, WANG Y G, et al. Research on Adaptive Control Strategy Based on Effective Green Light Time Utilization [J]. *Transportation Research*, 2015(1): 54-58.
- [13] SUN D H, YANG C C, LIAO X Y, et al. Timing parameter estimation of intersection signals based on GPS data of public transportation [J]. *Control and Decision*, 2018, 33(4): 724-730.
- [14] XIA X H. Urban traffic signal timing decision-making under interactive coordination reinforcement learning [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2018, 54(11): 265-270.
- [15] RONG H G, HUO S X, HU C H, et al. Collaborative filtering recommendation algorithm based on user similarity [J]. *Journal of Communications*, 2014, 35(2): 16-24.
- [16] CHEN H Y, LIU C H, SUN B. A summary of the similarity measure of time series data mining [J]. *Control and Decision*, 2017, 32(1): 1-11.
- [17] KONG X X, SU B C, WANG H Z, et al. Research on recommendation model and algorithm based on label weight scoring [J]. *Journal of Computers*, 2017, 40(6): 1440-1452.
- [18] PAN Y T, HE F Z, YU H P. A social recommendation algorithm based on the implicit similarity of trust relationships [J]. *Journal of Computers*, 2018, 41(1): 65-81.



**CHENG Zhe**, born in 1994, postgraduate. His main research interests include deep learning, computer vision and bioinformatics.



**LIANG Yu**, born in 1968, postgraduate, professor, Ph.D supervisor. His main research interests include computer networks, software-defined networks and cloud computing.



**LUO Jia-lei**, born in 1995, master. His main research interests include smart transportation.



**MENG Li-min**, born in 1963, Ph.D, professor, Ph.D supervisor, is member of China Computer Federation. Her main research interests include wireless communication and network, streaming media transmission and IoT communications.

(上接第 69 页)